



Aplikace metodiky Six Sigma na vybraný projekt v podniku

Diplomová práce

Studijní program: N6208 – Ekonomika a management
Studijní obor: 6208T085 – Podniková ekonomika - Vybrané procesy v podniku
Autor práce: **Bc. Martin Kaňovský**
Vedoucí práce: Ing. Eva Štichhauerová, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Kaňovský**
Osobní číslo: **E14000265**
Studijní program: **N6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Podniková ekonomika - Vybrané procesy v podniku**
Název tématu: **Aplikace metodiky Six Sigma na vybraný projekt v podniku**
Zadávací katedra: **Katedra podnikové ekonomiky a managementu**

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

1. Teoretická východiska spojená s principy lean managementu a metodiky Six sigma.
2. Popis metody DMAIC.
3. Prezentace projektu snížení počtu netěsných baterií na truck linkách v podniku Johnson Controls autobaterie Česká Lípa.
4. Aplikace metody DMAIC na daný projekt.
5. Ekonomické vyhodnocení.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 65 normostran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3938-0.

GYGI, Craig, Bruce WILLIAMS a Stephen R. COVEY. Six Sigma For Dummies, 2nd Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012. ISBN 978-1-118-12035-4.

AARTSENGEL, Aristide a Selahattin KURTOGLU. Handbook on Continuous Improvement Transformation: The Lean Six Sigma Framework and Systematic Methodology for Implementation. New York: Springer, 2013. ISBN 978-364-2359-002.

ELBERT, Mike. Lean production for the small company. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. ISBN 978-143-9877-791.

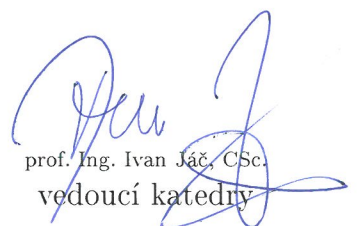
SHANKAR, Rama. Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide. Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press, 2009. ISBN 978-087389-752-5.

Elektronická databáze článků ProQuest (knihovna.tul.cz)

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Eva Štichhauerová, Ph.D.**
Katedra podnikové ekonomiky a managementu
Konzultant diplomové práce: **Ing. Michal Ježek**
Six Sigma Black Belt, Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o.
Datum zadání diplomové práce: **30. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2017**



doc. Ing. Miroslav Žižka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Ivan Jáč, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 30. října 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na aplikaci metodiky Six Sigma na vybraný projekt v podniku. Rešeršní část diplomové práce je věnovaná základním principům metodiky Lean, metodiky Six Sigma a jednotlivým nástrojům používaných ve fázích cyklu DMAIC. Ve druhé části diplomové práce je představena společnost Johnson Controls Autobaterie a stručně popsán její výrobní proces. Dále se autor zaměřuje na aplikaci některých nástrojů metodiky Six Sigma, pomocí kterých je zpracován projekt na snížení množství netěsných baterií pro nákladní vozidla v dané společnosti. Provedením projektu všemi pěti fázemi cyklu DMAIC vede k dosažení cíle projektu, kterým bylo snížení podílu netěsných baterií pro nákladní vozidla o 30 % a více.

Klíčová slova

Six Sigma, DMAIC, Lean, optimalizace procesu, snížení objemu šrotu

Annotation

Application of Six Sigma methodology for selected project in a company

The diploma thesis is focused on the application of Six Sigma methodology for selected project in a company. The research part of the thesis is devoted to the basic principles of Lean methodology, Six Sigma methodology and tools used in the various stages of the DMAIC cycle. In the second part of the thesis the company Johnson Controls Autobatterie is introduced and there is briefly described its manufacturing process. Further, the author focuses on the application of certain Six Sigma tools by which the project is processed to reduce the amount of leaking truck batteries in the company. Getting the project through all five stages of DMAIC cycle leads to the achievement of the project objective, which was to reduce the proportion of leaky truck batteries by 30% and more.

Key words

Six Sigma, DMAIC, Lean, process optimization, scrap reduction

Poděkování

Poděkování patří vedoucí diplomové práce, paní Ing. Evě Štichhauerové, Ph.D., za ochotu, cenné rady a připomínky při tvorbě této práce. Děkuji panu Ing. Michalovi Ježkovi a celému oddělení neustálého zlepšování společnosti Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o. za užitečnou pracovní zkušenost v dobře fungujícím kolektivu.

Obsah

Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	11
Seznam zkratek.....	12
Úvod	13
1 Teoretická východiska spojená s principy Lean managementu a metodiky Six Sigma.....	15
1.1 Historický přehled zlepšování procesů.....	15
1.2 Metodika Lean.....	16
1.2.1 Devět hlavních druhů plýtvání.....	18
1.2.2 Vybrané nástroje štíhlé výroby	20
1.3 Metodika Six Sigma – historie, koncepce a porovnání se štíhlou výrobou	22
1.4 Cyklus DMAIC	26
1.4.1 Define	27
1.4.2 Measure.....	32
1.4.3 Analyze	36
1.4.4 Improve.....	44
1.4.5 Control	46
2 Aplikace metodiky Six Sigma na vybraný projekt v podniku	50
2.1 Představení společnosti	50
2.2 Popis výroby.....	52
2.3 Seznámení se s projektem a fáze Define cyklu DMAIC.....	54

2.4	Measure	61
2.5	Analyze.....	68
2.6	Improve	80
2.6.1	Řešení jednotlivých příčin	81
2.6.2	Zhodnocení návrhů řešení.....	87
2.7	Control.....	88
3	Vyhodnocení Six Sigma projektu	96
	Závěr.....	97
	Seznam použité literatury	99
	Přílohy	101

Seznam obrázků

Obr. 1: Hierarchie pracovníků Six Sigma	24
Obr. 2: Grafické znázornění způsobilosti Six Sigma procesu	35
Obr. 3: Příklad druhů histogramů	43
Obr. 4: Příklad krabicového grafu	44
Obr. 5: Příklad regulačního diagramu	48
Obr. 6: Paretův diagram pro množství šrotu.....	55
Obr. 7: Jednoduché znázornění výrobního procesu startovací baterie	57
Obr. 8: Ukázka defektu.....	62
Obr. 9: Procesní mapa	64
Obr. 10: Místa měření na baterii.....	65
Obr. 11: Analýza měřicího systému	67
Obr. 12: Ověření příčiny X1	71
Obr. 13: Ověření příčiny X3.....	73
Obr. 14: Ověření příčiny X4.....	74
Obr. 15: Ověření příčiny X5.....	75
Obr. 16: Ověření příčiny X6.....	76
Obr. 17: Ověření příčiny X7.....	77
Obr. 18: Ověření příčiny X8.....	78
Obr. 19: Ověření příčiny X10.....	80
Obr. 20: Ověření řešení příčiny X3-1	82
Obr. 21: Ověření řešení příčiny X3-2.....	83
Obr. 22: Zjednodušený náčrt stroje pro přivaření vík.....	84
Obr. 23: Ověření řešení příčiny X8	85
Obr. 24: Nová procesní mapa.....	92
Obr. 25: Srovnání plánovaného a skutečného počtu netěsných baterií	93
Obr. 26: Analýza způsobilosti optimalizovaného procesu	94
Obr. 27: Regulační diagram procesu před a po zlepšení	95

Seznam tabulek

Tab. 1: Počet chyb na milion příležitostí (DPMO).....	23
Tab. 2: Hlavní znaky a porovnání Lean a Six Sigma	26
Tab. 3: Příklad SIPOC diagramu	30
Tab. 4: SIPOC diagram	58
Tab. 5: Plán projektu	58
Tab. 6: Přehled požadavků zákazníků	59
Tab. 7: Odhad nákladů na nekvalitu	60
Tab. 8: Zakládací listina projektu	61
Tab. 9: Ukázka sesbíraných dat	66
Tab. 10: Současná způsobilost procesu	68
Tab. 11: Potenciální příčiny netěsnosti baterií	70
Tab. 12: Seznam nastavení jednotlivých parametrů	87
Tab. 13: Zhodnocení navržených řešení	88
Tab. 14: Implementační plán	89
Tab. 15: Kontrolní plán	90
Tab. 16: Plánované a skutečné úspory za rok 2015 v tis. eur	95
Tab. 17: Shrnutí výsledků projektu	96

Seznam zkratek

ANOVA	Analysis of Variance
CL	Střední přímka
CMS	Casting, Milling, Stamping
COPQ	Cost of Poor Quality
COQ	Cost of Quality
CTC	Critical to Cost
CTD	Critical to Delivery
CTQ	Critical to Quality
CTx	Critical to x
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
DOE	Design of Experiments
DPMO	Defects Per Million Opportunities
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
Gage R&R	Repeatability and Reproducibility
H_0	Testovaná (nulová) hypotéza
H_1	Alternativní hypotéza
LCL	Dolní regulační mez
LSL	Dolní toleranční mez
MSA	Measurement Systems Analysis
OEM	Original Equipment Manufacturer
PAF model	Prevention-Appraisal-Failure Model
PPM	Parts Per Million
RPN	Risk Priority Number
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
SMED	Single Minute Exchange of Die
SMEs	Subject Matter Experts
SPC	Statistical Process Control
TIPS	Theory of Inventive Solving
UCL	Horní regulační mez
USL	Horní toleranční mez

Úvod

V současné době se požadavky zákazníků na kvalitu neustále zvyšují. Aby společnosti uspěly v silném konkurenčním prostředí, musejí kvalitu svých výrobků a služeb neustále zlepšovat. Existuje několik metod pro řízení kvality a každá firma se snaží nalézt vlastní přístup k řízení a zvyšování výkonnosti, aby dosáhla uspokojení všech zainteresovaných stran. Tato diplomová práce se zabývá metodikou Six Sigma a její aplikací na vybraný projekt v reálném prostředí výrobního podniku. V průběhu práce jsou také představeny jednotlivé nástroje využívané při aplikaci metodiky Six Sigma. Není zde však kladen důraz na úplný výčet možných nástrojů používaných při aplikaci Six Sigma, ale autor se zaměří pouze na ty, které jsou využívány běžně ve výrobních procesech firmy, s kterou měl možnost spolupracovat.

Six Sigma je strategií mnoha úspěšných světových společností s orientací na kvalitu, kterými jsou například Motorola, General Electric nebo Honeywell. Díky vidině úspěchu se jimi inspirují i další společnosti, které chtějí využívat výhod principů Six Sigma a zavádějí tuto metodiku do svých výrobních procesů. Téma diplomové práce bylo autorem zvoleno z důvodu osobní zkušenosti s metodikou Six Sigma během absolvování praktikantské stáže ve společnosti Johnson Controls Autobaterie, která se zabývá výrobou startovacích baterií pro osobní i nákladní vozidla.

Six Sigma, stejně jako ostatní koncepce řízení kvality, stojí na základním požadavku dokonale uspokojit zákazníka a přitom dosáhnout hospodářského zisku. Cílem je dosáhnout kvality na úrovni nulových defektů díky neustálému zlepšování procesů v podniku, orientace na požadavky zákazníka, zvyšování efektivity a snižování počtu neshodných výrobků. Poslední dobou je ze všech stran zmiňován pojem udržitelnost, který také souvisí s dobře nastavenými kvalitními výrobními procesy. Udržitelnost znamená využívání dostupných zdrojů tak, aby nedošlo k jejich vyčerpání a tím i ohrožení uspokojení základních potřeb budoucích generací. I z tohoto důvodu je vhodné se do budoucna zabývat problematikou zvyšování výkonnosti procesů, efektivním využíváním omezených zdrojů a eliminací defektů ve výrobě.

Dílním cílem diplomové práce nazvané „Aplikace metodiky Six Sigma na vybraný projekt v podniku“ je přehledně shrnout a vysvětlit základní principy metodiky Six Sigma,

jednotlivé fáze cyklu DMAIC a také nástroje používané v těchto fázích. Hlavním cílem práce je aplikace metodiky Six Sigma na projekt týkající se snížení objemu šrotu ve společnosti Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o. Přínosem práce bude zaprvé přehledné zpracování teoretických východisek metodiky Six Sigma a nástrojů používaných v tomto přístupu řízení kvality. Hlavním přínosem však bude aplikace metodiky Six Sigma na vybraný projekt v reálném prostředí výrobního podniku v rámci případové studie, kterou lze označit jako příklad dobré praxe. Autor diplomové práce působil jako praktikant v oddělení neustálého zlepšování, kde asistoval při řešení projektů.

První část diplomové práce je věnována teoretickým východiskům týkajících se zlepšování procesů v podniku. Následuje základní představení metodiky Lean, která je často využívána spolu s metodikou Six Sigma ve výrobních podnicích. V rešeršní části diplomové práce jsou dále uvedeny principy metodiky Six Sigma a jednotlivé nástroje, které se používají v rámci zlepšovateľských projektů. Druhá část diplomové práce je věnována praktické ukázce použití metodiky Six Sigma na projekt týkající se snížení množství netěsných baterií pro nákladní vozidla ve společnosti Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o.

1 Teoretická východiska spojená s principy Lean managementu a metodiky Six Sigma

S procesy se člověk setkává na denním pořádku ať už v roli zaměstnance nebo v roli zákazníka. Většinou se však zabývá jen výsledky daných procesů a to z hlediska, zda dané výsledky splňují jeho požadavky či nikoliv. V případě, že je zákazník nespokojen s daným výrobkem nebo službou, vznikne zde podnět ke zlepšení daného procesu, který začíná definováním výrobního procesu.

„Proces je série logicky souvisejících činností nebo úkolů, jejichž prostřednictvím – jsou-li postupně vykonány – má být vytvořen předem definovaný soubor výsledků.“ (Svozilová, 2011, s. 14)

Neustálé zlepšování procesů je v dnešní době velmi důležité. Vzhledem k technologickému pokroku se výrobní procesy stávají čím dál tím složitější, tudíž je nezbytné jim do hloubky porozumět a snažit se je optimalizovat. Díky zlepšování podnikových procesů může firma ušetřit velké množství finančních prostředků a také může získat konkurenční výhodu vůči ostatním firmám na trhu. Pokud chce firma na trhu obstát, měla by především dodávat výrobky podle požadavků zákazníka v žádoucí kvalitě, množství a čase.

Svozilová (2011, s. 19) definuje zlepšování podnikových procesů jako: *„Zlepšování podnikových procesů je činností zaměřenou na postupné zvyšování kvality, produktivity nebo doby zkracování podnikového procesu prostřednictvím eliminace neproduktivních činností a nákladů.“*

1.1 Historický přehled zlepšování procesů

Zlepšováním jednotlivých pracovních úkonů se už dříve zabývalo mnoho lidí, ale na dění v podniku z hlediska procesního řízení se začalo nahlížet až od 90. let 20. století. Odborníci se soustředili především na zlepšování výrobních procesů – řízení sledu operací a kvality v každém kroku. Identifikace, hodnocení a následné zlepšování podnikových procesů se stalo uznávanou manažerskou disciplínou. Tento přístup se využívá k řízení

podnikových aktivit zaměřených na zvýšení výkonnosti, a to v oblasti výroby, služeb i státní správy. V současné době jsou předmětem zájmu procesních manažerů hlavně komplexní procesní toky (Svozilová, 2011).

Od začátku 90. let minulého století se neustále hovořilo o reengineeringu. Provést reengineeringu firmy v podstatě znamená zásadní přehodnocení a změnu podnikových procesů za účelem dosažení výrazně lepších výsledků v oblasti nákladů, kvality, služeb a rychlosti. Tento nový druh řízení se ve firmách často aplikoval až s příliš velkým nadšením změnit od základu vše. Jenže díky nedostatečné znalosti nebo použití zdravého rozumu byly tyto změny spíše zklamáním a jen málokdy se výsledek blížil požadovaným očekáváním (Svozilová, 2011).

Když se ukázalo, že ne všechno lze snadno a rychle změnit, naději na zlepšení přinesly informační technologie. Kolem roku 2000 firmy nakupovaly velmi drahé informační systémy od společností jako je SAP či Oracle. Tyto integrované balíky zahrnovaly téměř všechny funkce podniku a převládal názor, že obsahují ty nejlepší praktiky, které zaručí i ty nejlepší výsledky, takže řízení podnikových procesů ustoupilo. Jenže samotná implementace těchto velkých systémů řízení ještě nezaručila dosažení očekávaných výsledků. Velké systémy pokryly statické potřeby podniku, ale dynamika dílčích funkcionalit měla být podpořena přizpůsobením podnikových procesů, což se méně úspěšným firmám často nepovedlo (Svozilová, 2011).

Od pojmu „udělat více s více“ se začalo přecházet k požadavku „udělat více s méně“. Konečně se začaly propojovat dva hlavní proudy a to modelování podnikových procesů a jejich podpora informačními technologiemi. Navrhování a zlepšování procesů během 90. let mělo za následek rozšíření metodiky Six Sigma z původně masové výroby do téměř všech oborů průmyslu i služeb. Poté co do sebe metodické přístupy Six Sigma zahrnuly přístupy metodiky Lean, hovoří se o Lean Six Sigma (Svozilová, 2011).

1.2 Metodika Lean

Základní myšlenkou štíhlé výroby (angl. *Lean Production*, *Lean Manufacturing*) je odstranění plýtvání ze všech procesů ve společnosti s cílem v maximální míře uspokojit

požadavky zákazníka v co nejkratší době, s minimálními náklady a bez ztráty kvality. Jakákoliv činnost, která nevytváří hodnotu pro zákazníka, by měla být rozpoznána a eliminována (Elbert, 2013).

Počátky Lean managementu lze nalézt již kolem roku 1910, kdy průmyslník Henry Ford začal prosazovat ve svém podniku průlomové teorie Fredericka Taylora, Franka Gilbertha a dalších. Jeho přínos k procesnímu řízení spočíval v tom, že seřadil veškeré pracovní úkony výroby do jediné výrobní linky, kde se automobily postupně montovaly. Jenomže hromadná výroba měla nevýhodu v tom, že nebyla moc flexibilní. Například nebylo možné, aby si zákazník mohl vybrat automobil jiné barvy než černé nebo mít na výběr z více modelů (Svozilová, 2011).

Koncepce štíhlé výroby jako takové pochází z firmy Toyota, kde se vyvinula v 50. až 60. letech minulého století jako alternativa k hromadné výrobě. V té době nebyl v Toyotě dostatek finančních prostředků na rozsáhlé investice a byla zde potřeba přesunu od masové výroby ke kratším flexibilnějším cyklům dodávek menších typových řad. Manažer jménem Tiiachi Ohno se zasloužil o zrod výrobního systému firmy Toyota. Měl za úkol odstranit zbytečnosti a zvýšit produktivitu. Na začátku vymyslel linku, na které pracovník mohl obsluhovat více strojů najednou a ne jen jeden, jak tomu bylo doposud. Toto převratné řešení mělo za následek zvýšení produktivity na dvojnásobek až trojnásobek. Dále společně se svým kolegou Shigeo Shingem představili techniku SMED (angl. *Single Minute Exchange of Die*), což je systematický proces pro minimalizaci prostojů (Svozilová, 2011).

Základem výrobního systému Toyoty se staly dva níže uvedené pilíře, na kterých společně s eliminací plýtvání vznikl výrobní systém firmy Toyota (Liker, 2004).

- Just-in-time (v českém jazyce známo jako „právě včas“), což znamená, že se potřebné díly dostanou na montážní linku přesně v požadovaném množství a v čase, kdy jsou potřeba.
- JIDOKA neboli automatizace s lidskou inteligencí, znamená, že stroj dokáže rozlišit špatný výrobek od dobrého a v případě problému se automaticky zastaví. JIDOKA tedy znemožní vznik vadných výrobků.

Další významnou osobou v oblasti procesního managementu byl James Womack, který se zasloužil o celosvětové rozšíření termínu štíhlá výroba. Ve svém výzkumu porovnával systémy řízení průmyslu ve Spojených státech, Japonsku a Německu. V roce 1990 publikoval své výsledky v knize *The Machine That Changed The World* (Stroj, který změnil svět). Následně v roce 1996 společně s Jonesem vydal knihu *Lean Thinking*, v které popsali principy štíhlého myšlení (Svozilová, 2011).

Autoři tvrdí, že štíhlá výroba umožňuje firmám specifikovat ty činnosti, které přinášejí hodnotu, seřadit je nejlepším možným způsobem, provádět je bez přerušení a efektivněji. S tímto tvrzením souvisí **pět základních principů štíhlého myšlení**, kterými jsou hodnota, hodnotový řetězec, tok, řízení se potřebami zákazníka a snaha o dokonalost. **Hodnota** je dána jako schopnost poskytnout zákazníkovi výrobek nebo službu, která uspokojuje jeho potřeby, a to v požadovaném čase a za odpovídající cenu. **Hodnotový řetězec** je definován jako souhrn zvláštních činností, od návrhu až po finální produkt, které se podílejí na tvorbě hodnoty pro zákazníka. Činnosti ve výrobním procesu se tedy dělí na aktivity, které jednoznačně přinášejí hodnotu a na aktivity, které jsou označovány japonským slovem pro odpad – „*muda*“, neboli takové činnosti, které netvoří žádnou hodnotu.

Dalším principem je progresivní plnění úkolů v celém **hodnotovém toku** tak, že celý proces proběhne bez zbytečných odstávek, šrotu nebo zpětných toků. Smyslem principu štíhlé výroby je umožnit rychlé změny, efektivnější přizpůsobení nástrojů výrobě a také optimalizaci nastavení strojů. Od tradiční výroby na sklad se přešlo k výrobě, která vychází z iniciativy **zákazníka**. Jinak řečeno firma vyrábí to, co si zákazník přeje a až tehdy, kdy si o to řekne. Poslední princip je podle autorů definován jako snaha o eliminaci veškerého plýtvání, aby v procesu zůstaly pouze aktivity, které přinášejí určitou hodnotu. **Dokonalost** je spíše nějaký žádaný konečný stav, než reálný cíl, ke kterému se firma snaží neustálým zlepšováním výrobních procesů přiblížit (Womack, 2003).

1.2.1 Devět hlavních druhů plýtvání

V podnikové výrobě je plýtvání velký problém. V rámci štíhlé výroby je eliminace plýtvání nezbytnou podmínkou pro optimalizaci a zlepšení procesů. Nejčastěji je možné se setkat s následujícími druhy plýtvání.

- 1. Nadvýroba** – Tento druh plýtvání je nejhorší, protože firma vyrábí více, než její zákazníci poptávají. Firma zaměstnává více lidí, vznikají nadbytečné zásoby a skladové náklady.
- 2. Skladování** – Nadbytečné množství materiálu a finálních výrobků způsobuje delší čekací lhůty. Zboží skladované po delší dobu může ztratit hodnotu nebo se nějakým způsobem poškodit. Tento druh plýtvání v sobě skrývá problémy s dodavateli, prostoje na linkách, delší doby seřizování strojů nebo špatně vyvážené výrobní linky, přičemž dochází k hromadění meziproductů.
- 3. Čekání** – Ať už čekání dělníka na materiál nebo čekání administrativního pracovníka v řadě na kopírku, obojí je plýtváním. Toto čekání může mít různé příčiny, například zpoždění dodávky od dodavatele nebo porucha na stroji.
- 4. Zbytečné přesuny materiálu** – Zbytečné přemísťování materiálu ze skladu nebo do skladu, ale také delší trasy, které musí materiál urazit, aby se dostal do další fáze zpracování, jsou formou plýtvání. Například vrácení hotových výrobků zpět do výroby k přepracování nebo přesun materiálu mezi dvěma budovami.
- 5. Nepotřebné procesy** – Situace, kdy je zapotřebí až příliš mnoho operací, přičemž některé nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu. Příkladem může být potřeba různých schválení od mnoha nadřízených na provedení jednoduché operace, nebo když se jedna činnost dělá zbytečně dvakrát (rozkopání nově opravené silnice kvůli opravě vodovodního řádu). Dalším příkladem tohoto druhu plýtvání může být výroba produktu ve vyšší kvalitě, než je vyžadováno.
- 6. Nadbytečný pohyb** – Každý pohyb pracovníka navíc je zbytečný, tudíž je formou plýtvání. Špatná ergonomie daného pracoviště, hledání potřebného nástroje, zbytečná chůze pro potřebný nástroj, který by měl být po ruce, toto jsou příklady plýtvání ve formě nadbytečného pohybu.
- 7. Výroba vadných dílů** – Nedostatky v jednotlivých částech produktu mají za následek přepracování, opravy nebo vyřazení do šrotu. Jakékoliv kroky, včetně inspekce, které napoprvé nevedou k zajištění požadované kvality, jsou označeny za plýtvání.
- 8. Nevyužitý lidský potenciál** – Nevyslechnutí nápadů od zaměstnanců, jak vylepšit procesy nebo výrobky, je ztráta příležitosti. Nápady, které zaměstnanci mají,

mohou snížit dobu čekání, zvýšit kvalitu a uspokojení zákazníka. Manažeři a inženýři nejsou jediní, kdo mají cenné nápady na zlepšení.

- 9. Environmentální složka** – Toto je poměrně nový druh plýtvání spojovaný s pojmem *Green Lean* aneb „zelená štíhlá výroba“. Environmentální složka obsahuje velké příležitosti na snížení nákladů, například z likvidace kartonových krabic, plastových obalových materiálů a dalších (Elbert, 2013).

1.2.2 Vybrané nástroje štíhlé výroby

Zlepšování výrobních procesů v metodologii Lean probíhá pomocí určitých nástrojů. Takovýchto nástrojů existuje celá řada a některé z nich se používají i v jiných metodologiích než je štíhlá výroba. Některé z používaných nástrojů pro optimalizaci výrobních procesů jsou zde stručně popsány.

Hodnota a hodnototvorné činnosti

Ve výrobě je důležité si uvědomit, jaké požadavky kladou uživatelé na výstup procesu. Tento výstup představuje nějakou hodnotu, za níž jsou zákazníci ochotni zaplatit nebo ji ocení management či vlastníci firmy. Klade se důraz na posuzování, jak dané činnosti sdružené do procesů přispívají k tvorbě hodnoty. Rozlišují se dva základní druhy činností z hlediska přispívání k vytvoření výsledné hodnoty.

- Činnosti, které hodnotou přímo přispívají (angl. *Value-Adding*), neboli takové činnosti, za které zaplatí zákazník vyšší cenu, než kdyby nebyly vykonány.
- Činnosti, které k tvorbě hodnoty přímo nepřispívají (angl. *Non-Value-Adding*). To mohou být činnosti, které jsou vyžadovány například nějakým regulačním orgánem, pro zákazníka však nemají žádný význam a v ceně se zpravidla neodráží. Nebo také činnosti, které jsou zcela nepotřebné, a jsou označeny za plýtvání. Cílem je tedy eliminovat tyto činnosti (Svozilová, 2011).

Mapování toku hodnot

Mapování toku hodnot (angl. *Value Stream Mapping*) je technika určená k analýze a grafickému znázornění toku materiálů a informací potřebných k dodání pro výrobu

produktu nebo služby, a to od dodavatele až po zákazníka. Úkolem hodnotového řetězce je ukázat, jak dané činnosti přispívají k tvorbě hodnoty. Umožňuje odhalit případné zdroje plýtvání (Elbert, 2013).

Analýza procesních toků

V této analýze se hodnotí celý proces výroby od začátku do konce, se všemi aktivitami, případně na všech pracovištích. Napomáhá odhalit, kde jsou v procesu překážky a úzká hrdla (angl. *Bottleneck*), která značí, že v určitém bodě procesu dochází ke zpomalení výroby nebo snížení kapacity výroby, což vede k omezení či zpomalení celého výrobního procesu. Současně pomáhá zjišťovat nevyužité kapacity. Příčinami neefektivity procesů mohou být akumulace zásob, rozpracované výroby nebo prodleva mezi jednotlivými činnostmi. Příkladem jsou čekající pracovníci a zároveň přetížení pracovníci v jednom výrobním procesu, přičemž tato situace nastala pravděpodobně špatně rozloženou pracovní zátěží mezi pracovišti (Svozilová, 2011).

System 5S

System 5S popisuje, jak uspořádat pracoviště, aby bylo dosaženo větší efektivity. Název pochází z pěti japonských hesel začínající písmenem S (Svozilová, 2011).

- *Seiri* (Třídění) – Principem je vyřadit nástroje a činnosti, které jsou nepotřebné.
- *Seiton* (Umístění) – Smyslem je umístit potřebné a užívané věci tak, aby byly snadno přístupné. Po určení nejlepšího umístění věci, je dobré dané místo označit, aby bylo zřejmé, kam ji po použití vrátit.
- *Seiso* (Úklid) – Udržování pořádku a čistoty na pracovišti.
- *Seiketsu* (Standardizace) – Pracovní postupy, které jsou standardizovány, zajišťují stabilní stav vytvořený předchozími kroky.
- *Shitsuke* (Udržení) – Kontrola nastavených pravidel v předchozích krocích.

Poka-Yoke

Poka-Yoke je nástroj, který umožňuje nastavení operace tak, aby operátor nemohl udělat chybu. V rámci tohoto nástroje se využívají různá preventivní opatření a systémy včasné signalizace, aby se tak eliminovaly chyby, které by člověk mohl udělat. Výhodami tohoto nástroje jsou nízké náklady, vysoká efektivita a jednoduchost (Gygi, 2012).

1.3 Metodika Six Sigma – historie, koncepce a porovnání se štíhlou výrobou

Six Sigma je soubor technik a nástrojů, které slouží ke zlepšení skutečné kvality – to, čeho proces skutečně dosahuje, a je zde snaha přiblížení se k potenciální kvalitě – to, čeho lze v oblasti kvality s dostupnými prostředky dosáhnout. Metodika Six Sigma se používá v praxi tam, kde je potřeba snížit variabilitu vlastností výstupu procesu a chybovost. Nástroje používané touto metodikou se zaměřují na zvýšení kvality výstupu, minimalizaci příčin vzniku závad a zvýšení výkonnosti procesu (Svozilová, 2011).

Historie metodiky Six Sigma

Na rozdíl od štíhlé výroby je historie Six Sigma podstatně mladší. Six Sigma vznikla ve firmě Motorola v 80. letech. Zasloužili se o to noví japonští vlastníci, kteří v 70. letech vstoupili do podniku, kde každý pátý hotový výrobek byl vadný. Vedení firmy tedy přijalo náročný cíl, kterým bylo výrazně zlepšit kvalitu výrobků s využitím stejné technologie a stejných pracovníků, ale s nižšími náklady. Díky tomu v polovině 80. let vznikl koncept Six Sigma, který následně implementovali do výroby. Firma Motorola se záhy stala vedoucí firmou v oblasti kvality a profitu, za co v roce 1988 obdržela Národní ocenění Malcolma Baldrige (angl. *Malcolm Baldrige National Quality Award*) (Svozilová, 2011). Mnoho firem se nechalo inspirovat úspěchem firmy Motorola a v 90. letech ji začaly následovat další velké společnosti, jakou je například General Electric. Six Sigma se postupem času stala celosvětovým standardem kvality nejen v oblasti výrobních podniků (Gygi, 2012).

Koncepce metodiky Six Sigma

Písmeno řecké abecedy σ se používá pro identifikaci variability. Úroveň kvality sigma udává, jak často se mohou vyskytnout vady v procesu. Vyšší úroveň kvality sigma je znamením, že proces bude produkovat menší počet defektů. Jedním ze způsobů, jak je metodika Six Sigma vysvětlována, je prostřednictvím stanovení počtu závad na milion příležitostí. Proces, který funguje na úrovni kvality Six Sigma, vyprodukuje pouze 3,4

vadných jednotek výstupu na milion příležitostí¹ (angl. *Defects Per Million Opportunities, DPMO*). Příležitost je definována jako šance pro výskyt neshody nebo nedodržení požadovaných specifikací. S implementovanou metodikou Six Sigma může management společnosti očekávat významné finanční úspory, snižování nákladů a objemu šrotu (Mehrerdi, 2011).

Sigma stupnice je univerzálním měřítkem toho, jak dobře funguje daná charakteristika v porovnání s požadavky. Čím vyšší je sigma skóre, tím je schopnější charakteristika. Například pokud je zkoumaný znak vadný 31 % času, lze říci, že tato charakteristika pracuje na úrovni 2 sigma. Pokud je proces spolehlivý z 93,3 %, to znamená, že 93,3 % výstupu splňuje kladené nároky, poté proces dosahuje úrovně 3 sigma (Gygi, 2012). Tabulka 1 ukazuje počet vadných jednotek výstupu na milion vyrobených jednotek výstupu při dané úrovni sigma.

Tab. 1: Počet chyb na milion příležitostí (DPMO)

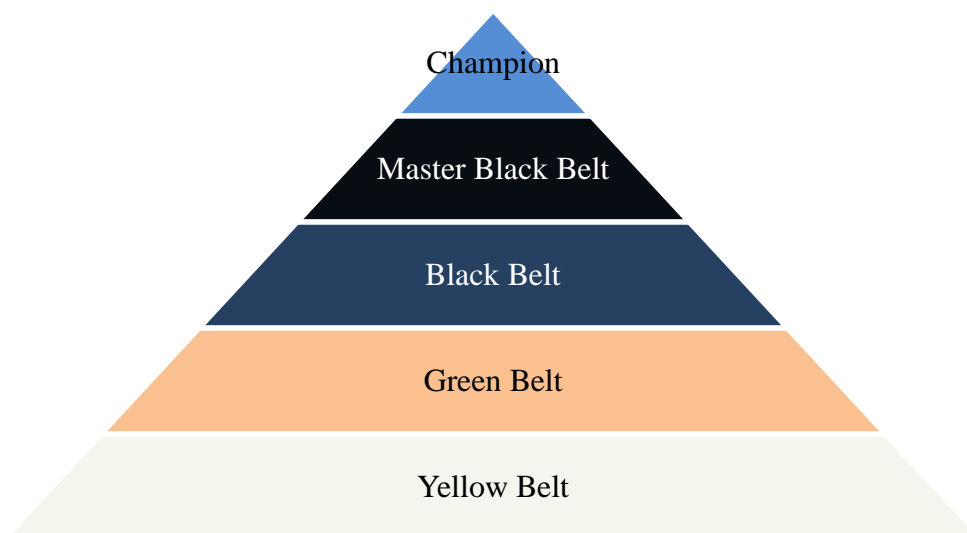
Úroveň sigma	Selhání procesu v %	Počet defektů na 1 000 000 příležitostí	Spolehlivost procesu v %
1	69,00000	691 462,0	31,00000
2	31,00000	308 538,0	69,00000
3	6,70000	66 807,0	93,30000
4	0,62000	6 210,0	99,38000
5	0,02300	233,0	99,97700
6	0,00034	3,4	99,99966

Zdroj: vlastní zpracování.

V pojetí Six Sigma je zaměření na potřeby zákazníka reprezentováno **kritickou hodnotou**. Kritická hodnota je určitá kvalitativní vlastnost produktu, která musí být nějakým způsobem vyjádřitelná a říká, co se má zlepšit. Cíle zlepšovateľského projektu jsou nastaveny podle toho, co je důležité pro zákazníka procesu. Velmi často se pro kritickou hodnotu používá zkratka CTx (angl. *Critical-To-x*) (Svozilová, 2011).

¹ Toto platí za předpokladu normálního rozdělení a posunu střední hodnoty charakteristiky procesu až o $\pm 1,5 \sigma$.

Řešení projektů pomocí metodiky Six Sigma vyžaduje různé stupně dovednosti v aplikované statistice. Společnosti General Electric a Motorola vyvinuly certifikační programy jako součást jejich implementace Six Sigma. Jak je znázorněno na obrázku 1, úrovně jsou rozděleny, podobně jako je tomu v bojových sportech, podle různých barev pásku (angl. *Belt*).



Obr. 1: Hierarchie pracovníků Six Sigma (vlastní zpracování)

Jednotlivé úrovně pracovníků v rámci certifikace Six Sigma jsou specifikovány níže.

- *Champion* – „Šampionem“ je většinou označován výkonný manažer, který má v daném organizačním útvaru odpovědnost za implementaci Six Sigma. Pomáhá při výběru témat projektů, zabezpečuje zdroje a komunikuje se členy zlepšovatelských týmů. Odstraňuje vnitřní bariéry, které by mohly bránit úspěšnému dokončení projektu.
- *Master Black Belt* – Takto je označována osoba, která má celkový přehled o podniku a zná podnikovou strategii. Má hlubokou znalost metodiky Six Sigma a řídí ostatní pracovníky. Další náplní jeho práce je trénovat osoby na pozicích *Black Belt*, *Green Belt* a *Yellow Belt* v oblasti Six Sigma. V případě nějakého problému, poskytuje konzultace a rady. Také asistuje při identifikaci témat projektů.
- *Black Belt* – Osoba s touto kvalifikací je vedoucí projektového týmu s perfektní znalostí metodiky a ovládá pokročilé metody statistické analýzy či průmyslového

inženýrství. Je schopen řídit velké projekty a současně poskytovat podporu dalším vedoucím týmů.

- *Green Belt* – Tento pracovník je členem projektového týmu. Ovládá základní nástroje sběru dat a analýzy procesů. Musí dobře rozumět metodě DMAIC (bude vysvětlena v kapitole 1.4) a měl by být dobrým týmovým hráčem.
- *Yellow Belt* – Pracovník s nejnižší kvalifikací, který disponuje základními dovednostmi, potřebnými pro řešení problémů v týmu. Napomáhá se sběrem dat, provádí jednodušší zlepšení a jeho úkolem je uplatnění metodiky Six Sigma na jeho pracovišti.

Velmi důležitou úlohu v prosazování změn, které tým navrhuje, má **sponzor projektu**. Obvykle to je vedoucí daného úseku neboli vlastník procesu, který má potřebné pravomoci pro prosazení změn. Sponzor se s členy týmu pravidelně schází a také poskytuje podporu.

Na základě tohoto přístupu, mnoho organizací v roce 1990 začalo nabízet pro své zaměstnance certifikace Six Sigma. Kritéria certifikace pro *Green Belt* a *Black Belt* se liší. Některé společnosti požadují pouze účast v kurzu a na projektu Six Sigma, jiné navíc složení patřičných zkoušek. Neexistuje žádný standardní certifikační orgán, který by stanovoval jednotná pravidla pro všechny (Gygi, 2012).

Porovnání štíhlé výroby a Six Sigma

V současné době se při zlepšování výrobních procesů metodika Lean a Six Sigma dost často kombinují, v literatuře je tedy možné se setkat s metodologií Lean Six Sigma. Existují však mezi nimi určité rozdíly. Následující tabulka 2 porovnává metodologii Lean a Six Sigma z pohledu několika charakteristik.

Tab. 2: Hlavní znaky a porovnání Lean a Six Sigma

	Lean	Six Sigma
Záměr	Efektivní vytvoření hodnoty, která je definována na základě znalosti požadavku zákazníka.	Efektivní zajištění kvality, která je vymezena kritickými vlastnostmi předmětu (CTs) podle definice zákazníka.
Cesta	Odstranění plýtvání.	Snížení variability.
Předmět zkoumání	Horizontální pohled na zkoumání a souhru procesních toků.	Vertikální pohled na vyhledávání a eliminace problémových míst v procesech.
Hlavní předpoklady	Odstranění plýtvání ovlivní celkovou výkonnost procesu. Opakovaná malá zlepšení přinášejí jistější úspěchy a méně rizik než jedna rozsáhlá změna.	Odstranění variability procesu zvýší celkovou kvalitu jeho výstupů. Poznání vycházející z faktů je obrovskou hodnotou.
Nejvýraznější přínos	Zkrácení doby trvání procesu.	Zvýšená uniformita výstupů procesu.
Další přínosy	Omezení plýtvání. Zrychlený průchod. Snížení provozních zásob. Řízení prostřednictvím měření procesů. Zvýšená kvalita zajištěná prostřednictvím zlepšování toku činností.	Omezení variability výstupů. Stabilita kvality výstupů. Snížení provozních zásob. Řízení provozních zásob. Řízení prostřednictvím měření chybovosti. Zvýšená kvalita zajištěná prostřednictvím odstraňování rušivých vlivů.
Organizace cyklu projektu	Cyklický/iterativní PDCA/PDSA, Naplánuj-Udělej-Zkontroluj-Zasáhni.	Přímý DMAIC, Definuj-Měř-Analyzuj-Zlepší-Kontroluj.
Organizace týmu	Integrované zlepšovateľské týmy.	Integrované zlepšovateľské týmy s doporučenou strukturou rolí.
Klíčové metody	Mapování a měření procesních toků. Optimalizace procesních toků.	Měření výskytů a četností. Analýzy příčin a důsledků.

Zdroj: SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů, s. 49.

1.4 Cyklus DMAIC

Jádrem metodiky Six Sigma je řešení problémů, které mají dopad na výkon dané firmy. Nemusí se jednat vyloženě o řešení problému, neboť cyklus DMAIC je vhodný i pro neustálé zlepšování procesů. DMAIC je akronym z počátečních písmen anglických slov

Define (Definování), *Measure* (Měření), *Analyze* (Analýza), *Improve* (Zlepšování) a *Control* (Kontrola). Tato slova reprezentují jednotlivé fáze zlepšovateľského projektu Six Sigma. Někdy se vyčleňuje ještě jedna fáze *Pre-Define*, která celému procesu předchází a jejímž cílem je najít podmět ke zlepšení.

Cyklus DMAIC v základním principu řeší identifikovaný problém pomocí logického použití sady nástrojů a technik, které vedou k dosažení udržitelného cíle. Konečné řešení má za následek minimalizaci nebo odstranění problému (Shankar, 2009).

1.4.1 Define

Fáze **definování** začíná rozpoznáním problému, ke kterému je nutné nalézt řešení. Než je možné začít daný problém řešit, je důležité ho nejprve správně a jasně definovat. Následně je problém převeden do podoby Six Sigma projektu, který má jasně daný rozsah, časový rámec a tým, který bude pracovat na tomto projektu. Existuje několik možností pro výběr zlepšovateľského projektu, například je projekt určen vrcholovým management s ohledem na podnikovou strategii. Dále je možné při výběru projektu použít sběr hlasu zákazníka procesu uvnitř organizace, brainstorming nebo výsledky reportingu a další.

Pro úspěšné zadání projektu je potřeba daný problém stručně a výstižně popsat. Krátký a jasný popis problému bez použití odborných či technických termínů je velmi důležitý z toho hlediska, že se daný problém bude předkládat i dalším zaměstnancům v podniku, kteří o problému uslyší poprvé, a některé technické termíny by mohly být překážkou v porozumění. V popisu problému by se neměly objevovat přibližné údaje, ale naopak by se měla uvést konkrétní fakta. Dále by se neměly uvádět příčiny ani řešení problému (Gygi, 2012).

Co má být zlepšeno?

V prvním kroku je nutné určit, co má být zlepšeno, jaký produkt, služba či proces. Náměty ke zlepšení by měly být v souladu s firemní strategií a jejími cíli. Vhodný projekt by měl zlepšovat stávající proces, ve kterém se nachází určitý problém, ke kterému je však nutné vymyslet řešení. Kdyby bylo známo řešení problému, poté by stačilo toto řešení aplikovat a nebyla by zde potřeba provést daný projekt celým cyklem DMAIC. Proces určený

ke zlepšení by měl být měřitelný, například v řádu jednotek výstupu nebo času, a měl by se dát zlepšit bez zásadního vlivu na chod organizace. Častou chybou při určování potenciálního projektu je příliš široký rozsah problému, který zasahuje do více oddělení. Vhodným řešením by poté bylo rozdělit tento široký rozsah problému do více projektů (Gygi, 2012).

Jedním z nástrojů pro výběr vhodného projektu ke zlepšení je *Cost of Quality (COQ)*, česky **náklady na kvalitu**. Tento nástroj je používán managementem ve snaze zvýšit kvalitu výrobků a zisk firmy. Pokaždé, když se daný výrobek musí předělat nebo opravit, náklady na kvalitu rostou. Příkladem nákladů na kvalitu může být opakované testování nastavení výrobní linky, oprava nástroje nebo vadný materiál. V sektoru služeb to může být přepracování žádosti o půjčku, ztráta zavazadla nebo nepřipravený pokoj v hotelu. Náklady na kvalitu jsou součtem nákladů na opatření zajišťující to, že kvalita bude odpovídat požadavkům, nákladů na kontrolu, zdali výrobek nebo služba splňuje určité požadavky, a nákladů plynoucích z nedodržení požadované kvality. Nejčastěji se náklady na kvalitu dělí podle **modelu PAF** (angl. *Prevention-Appraisal-Failure Model*) (Wood, 2013).

- **Náklady na prevenci** (angl. *Prevention Cost*) – Náklady na veškeré aktivity potřebné pro prevenci vůči nedostatečné kvalitě výrobku nebo služby. Příkladem jsou náklady na překontrolování nového produktu, hodnocení schopností procesu, činnost zlepšovatelských týmů, projekty na zlepšení kvality, školení a vzdělávání personálu.
- **Náklady na měření a hodnocení** (angl. *Appraisal Cost*) – Náklady související s různým měřením a kontrolou, aby kvalita výrobků nebo služeb odpovídala daným standardům a požadavkům. Patří sem vstupní a výstupní kontrola, kontrola dokumentace, interní a externí audit nebo také kalibrace měřících přístrojů.
- **Náklady plynoucí z vadných výrobků** (angl. *Failure Cost*) – Tyto náklady jsou známé také pod pojmem náklady nedostatečné kvality (angl. *Cost of Poor Quality, COPQ*). Dělí se dále na interní vady, které jsou odhaleny ještě v procesu výroby (například opravy nebo předělovky), a externí vady, které vznikají během nebo až po doručení výrobku či služby zákazníkovi (například stížnosti či reklamace) (Wood, 2013).

Výstupem modelu PAF může být graf, kde je na vertikální ose znázorněna výše nákladů a na horizontální ose jednotlivé kategorie nákladů. Každá kategorie je reprezentována součtem nákladů vynaložených na prevenci, posuzování a na interní i externí vady za určité období. Bez ohledu na to, jestli firma má nebo nemá formálně zavedený program nákladů na kvalitu, manažeři a pracovníci obvykle vědí, kde vznikají náklady na interní a externí vady. Identifikace problémů, které potřebují řešení, by měla proběhnout nejprve z kategorie externích vad a následně z kategorie interních vad (Shankar, 2009).

Pro vyhledávání nejpodstatnějších problémů a přesnější definici rozsahu problému se používá další nástroj **Paretův diagram**, který je pojmenovaný podle Vilfreda Pareta. Jedná se o kombinaci sloupcového a spojnicového grafu, kde jednotlivé sloupce reprezentují četnost pro dané kategorie a jsou seřazeny podle velikosti (od nejvyšší po nejnižší), dále spojnicový graf znázorňuje kumulativní četnost vyjádřenou v procentech. Paretův princip říká, že přibližně 80 % důsledků je způsobeno 20 % příčin. Z toho plyne, že je důležité se zaměřit nejprve na ty problémy s nejvyšší četností výskytu. Občas je potřeba vytvořit několik úrovní Paretova diagramu pro náhled na daný problém z různých úhlů (Shankar, 2009).

Sestavení projektového týmu

Při sestavování týmu, který bude následně pracovat na zlepšovatelském projektu, by se měly dodržovat určité zásady. Určitě by v takovém týmu neměli chybět odborní pracovníci z oddělení (angl. *Subject Matter Experts*, SMEs), kde se daný problém nachází. Je také vhodné přizvat osobu z úplně rozdílného oddělení, která může přispět svými otázkami, jelikož nezná daný proces do detailu. Zastoupení ve zlepšovatelském týmu by měli mít pracovníci z různých úrovní organizační struktury, kvůli náhledu na problém z různých perspektiv. Uvádí se, že počet členů by neměl být vyšší než osm a tým by se měl scházet každý týden. Vedoucí týmu a celého projektu může být určen managementem. Vedoucí projektu je zpravidla pracovník s kvalifikací *Black Belt* (viz jednotlivé úrovně pracovníků v rámci certifikace Six Sigma v kapitole 1.3), což svědčí o tom, že dobře zná daný úsek výroby a ovládá techniky a nástroje potřebné ke zpracování zlepšovatelského projektu (Shankar, 2009).

Poté, co byl daný problém vybrán ke zlepšení pomocí nákladů na nedostatečnou kvalitu (*COPQ*), by mělo být už snadné odhadnout hrubé úspory v závislosti na cíli daného zlepšovateľského projektu. Ke zpřehlednění návrhu zlepšovateľského projektu se používá tzv. **Project Charter** neboli zakládající listina projektu, který je následně předložen ke schválení odpovědnému manažerovi nebo vedení. Tento dokument je písemná dohoda mezi zlepšovateľským týmem a managementem (Shankar, 2009).

Určení rozsahu daného problému

Poté, co byl vybrán problém ke zlepšení, je důležité vymezit hranice daného problému. Přesné vymezení rozsahu problému zamezuje nekontrolovatelným změnám, které dále poskytují prostor pro nově vznikající požadavky. Vhodným nástrojem pro základní vymezení rozsahu procesu je **SIPOC diagram**. Skládá se z pěti kategorií, kterými jsou *Supplier* (Dodavatel), *Input* (Vstup), *Process* (Proces), *Output* (Výstup) a *Customer* (Odběratel). Je to metoda pro velice přehledné a jednoduché znázornění procesu (Svozilová 2011), jak ukazuje tabulka 3.

Tab. 3: Příklad SIPOC diagramu

Supplier (Dodavatel)	Input (Vstup)	Process (Proces)	Output (Výstup)	Customer (Odběratel)
Lidé	Materiály	Aktivita 1	Výrobky	Osoby
Oddělení	Informace	Aktivita 2	Služby	Skupiny lidí
Další dodavatelé zdrojů	Další zdroje	Aktivita 3		Společnosti

Zdroj: vlastní zpracování.

Sběr informací od zákazníků, neboli **sběr hlasu zákazníka** (angl. *Voice of Customer*) je nástroj, který se používá pro poznání potřeb zákazníka a porozumění tomu, co si zákazník představuje jako kvalitní výrobek nebo službu. Získáváním informací o zákaznických potřebách a požadavcích dokáže firma dodávat zákazníkovi to, o co má skutečně zájem a za co je ochotný zaplatit. Zákazníci mohou být buď interní (např. zaměstnanci nebo oddělení uvnitř firmy) nebo externí (např. zákazníci a spotřebitelé vně firmy). Sběr hlasu zákazníka může probíhat několika způsoby. Nejčastěji se používají různé formy dotazníků, tematicky zaměřená skupinová jednání, interview, pozorování chování zákazníků, analýza dostupných dat nebo skryté nákupy konkurenčních produktů (Svozilová, 2011).

Dostupné informace od zákazníků je vhodné dále převést na **kritickou hodnotu** (CTx), o které bylo stručně pojednáno v obecném úvodu do metodiky Six Sigma v kapitole 1.3. Při optimalizaci procesu je nezbytné porozumět tomu, co je důležité pro dosažení požadovaného výstupu, aby bylo možné zaměřit se na zlepšování těch správných aktivit. Kritická hodnota je určitý parametr, který musí být jasně měřitelný, definovatelný a na kterém závisí uspokojení zákazníka. V závislosti na tom co je analyzováno či optimalizováno se rozlišují různé kritické hodnoty, například:

- **kritické pro kvalitu** (angl. *Critical to Quality, CTQ*), neboli určení toho, co přispívá ke kvalitě produktu či procesu;
- **kritické pro náklady** (angl. *Critical to Cost, CTC*), to znamená, co tvoří náklady nebo finální cenu;
- **kritické pro včasné doručení** (angl. *Critical to Delivery, CTD*), neboli na čem závisí čas potřebný pro doručení daného výstupu procesu (Gygi, 2012).

K další analýze požadavků zákazníka lze využít **Kano model**². Tento model je vhodné použít zejména při vývoji nových výrobků pro splnění očekávání cílových zákazníků. Rozlišují se tři skupiny požadavků – základní, výkonnostní, vyvolávající nadšení. **Základní požadavky** jsou brány jako samozřejmé a často nejsou ani zmiňovány. Nesplněním základních požadavků se zvyšuje nespokojenost zákazníka, na druhou stranu normální stupeň splnění požadavků nepřinese žádnou spokojenost. Jako příklad se uvádí možnost přepínat mezi potkávacími a dálkovými světly u automobilu. **Výkonnostní požadavky** jsou jasně měřitelné a definovatelné. Spokojenost zákazníka roste se stupněm jejich plnění. Halogenový světlomet vyvolá u zákazníka větší spokojenost než světlomet normální. Velmi důležité jsou **požadavky vyvolávající nadšení**, které zákazník ani předem neočekává. Splněním těchto požadavků je dosaženo vysokého stupně spokojenosti. Příkladem může být natáčení světlometu při průjezdu zatáčkou (Töpfer, 2008).

²*Kano model* byl vyvinut japonským profesorem Noriaki Kano v 80. letech 20. století.

1.4.2 Measure

Ve druhé fázi cyklu DMAIC je zapotřebí hlavně zjistit současný výkon procesu, proto je potřeba stanovit měřicí systém, ověřit jeho správnost a sesbírat data v závislosti na zadání zlepšovateľského projektu. Výstupem fáze **měření** by měl být jasně daný systém měření a také hluboké porozumění toho, jaký má proces v současnosti výkon a jak funguje. Výsledkem měřicího systému jsou data, která jsou nezbytná pro další analýzy a návrhy zlepšovacích řešení. To značí velmi důležitou návaznost následující fáze. Aby bylo možné provést některé analýzy a správná rozhodnutí, je nezbytné mít k dispozici správné výsledky získané měřeními a sběrem potřebných údajů (Svozilová, 2011).

Měření procesů je důležité také z toho hlediska, že pro určení přínosů zlepšovateľského projektu je potřeba dané výsledky implementovaných změn porovnat s původními údaji. Navrhnout systém měření, který bude vykazovat potřebné údaje a v požadované přesnosti, není příliš jednoduché. Kvalita měřicího systému závisí na znalosti daného problému určeného ke zlepšení, působí zde také lidský faktor, tedy chyby člověka, který měření provádí. Některé veličiny jsou snadno měřitelné, příkladem může být zjišťování času, který je potřebný ke zpracování výrobku v určité fázi procesu výroby. Některá měření jsou obtížně proveditelná, například subjektivní měření spokojenosti pracovníků (Svozilová, 2011).

Mapování procesu

Jedním z prvních kroků ve fázi měření je obvykle podrobnější zmapování procesu, na který je zaměřený zlepšovateľský projekt. Základním nástrojem pro mapování procesu je **procesní mapa**. Vhodným východiskem pro tvorbu procesní mapy a pochopení celého procesu je SIPOC diagram, který znázorňuje proces velmi obecně a byl popsán v předchozí kapitole 1.4.1 Define.

Procesní mapa je diagram, který pomocí grafických nástrojů znázorňuje hlavní činnosti procesu a vazby mezi nimi. Často je doplněna o údaje týkající se kapacity, časů, odpovědnosti nebo o další informace potřebné pro pochopení daného procesu. Podrobnost diagramu je závislá na fázi, ve které se projekt nachází, rozsahu nebo cíli řešeného

problému a na účelu, ke kterému bude následně využíván. Výhodou těchto nástrojů je, že přehledně znázorňují daný proces v čase, názorně vymezují hranice procesu a usnadňují konzultaci daného problému s ostatními pracovníky (Svozilová, 2011).

Při tvorbě procesní mapy se dají použít různé počítačové programy, příkladem těch jednodušších je Microsoft Visio. Složitější software jako iGrafXProcess nebo SigmaFlow umožňují tvorbu sofistikovanějších diagramů pro simulaci a analýzu procesů. Často se dají využít i jednodušší pomůcky, jako lepící papírové štítky, tabule, flip chart nebo obyčejný blok pro náčrt diagramu. Při dokumentaci procesního toku je důležité dodržovat určité zásady pro znázorňování jednotlivých elementů procesní mapy. V celé organizaci je vhodná určitá standardizace, tudíž by měly být používány stejné symboly procesního mapování a v průběhu času symboly neměnit (Gygi, 2012). Základní znaky používané při procesním mapování je možné nalézt v příloze A.

Při zpracování procesní mapy se obvykle začíná výběrem typu diagramu, který je vhodný pro specifický příklad. Následně se stanoví hranice procesu a jeho hlavní toky. Pokračuje se pojmenováním jednotlivých kroků procesu a jejich logické uspořádání. Obvykle je diagram orientován shora dolů nebo zleva doprava. Nakonec se prověří správnost diagramu, také je vhodné daný diagram přenést a uložit do počítače pro případné budoucí použití, pokud byl zpracováván ručně (Svozilová, 2011).

Měření výkonu procesu (výpočet způsobilosti)

Výpočet způsobilosti měří schopnost procesu splňovat požadavky zákazníka. Jedním z cílů fáze měření je sběr kvalitních dat pro zjištění výkonu procesu a následnou analýzu příčin. Při sběru dat je důležité rozlišovat diskrétní a spojité ukazatele. Diskrétní data nabývají pouze celočíselných obměn (např. počet vyrobených jednotek za směnu). Spojitá data jsou data, která mohou nabývat libovolných hodnot z určitého intervalu (např. doba čekání na materiál). U diskrétních dat se k výpočtu Sigma-hodnoty používá DPMO nebo PPM. Na spojitá data se spíše vztahuje index způsobilosti C_p a kritický index způsobilosti C_{pk} . Indexy způsobilosti porovnávají maximálně přípustnou a skutečnou variabilitu zkoumaného znaku kvality (Töpfer, 2008).

DPMO (angl. *Defects Per Million Opportunities*) neboli počet neshod ve smyslu chybných možností, tzn. počet možných neshod zjištěný početně před vývojem respektive výrobou

výrobku. Možnost neshod jedné jednotky OFD (angl. *Opportunities for Defects*) popisuje, na kolika místech se mohou objevit neshody. **PPM** (angl. *Parts Per Million*) neboli míra neshod vyjadřuje skutečně vyrobený počet neshod. Pokud je u výrobku nebo procesu sledována pouze jedna vlastnost, je počet i míra neshod stejně veliké (Töpfer, 2008).

$$DPMO = \frac{\text{Počet defektů} \times 1\,000\,000}{\text{Počet zkoumaných jednotek} \times \text{Počet chybných možností na jednotku}} \quad (1)$$

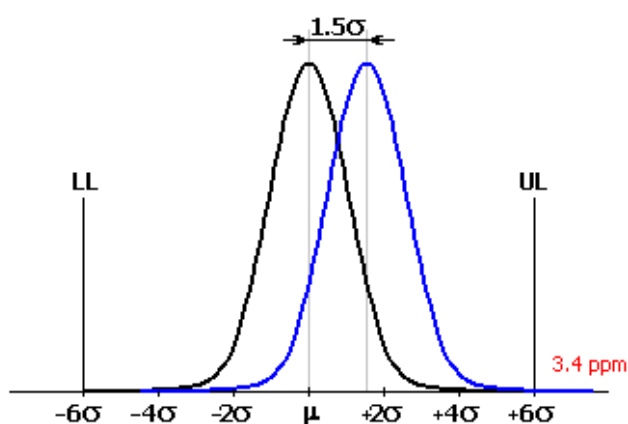
$$PPM = \frac{\text{Počet defektů} \times 1\,000\,000}{\text{Počet zkoumaných jednotek}} \quad (2)$$

Index způsobilosti C_p je statistický parametr určující způsobilost procesu neboli schopnost procesu produkovat výstup splňující požadovaná kritéria jakosti. Znalost způsobilosti procesu je důležitým podkladem pro zlepšování kvality. Lze ji určit variabilitu skutečných naměřených hodnot kolem předpokládané střední hodnoty normálního rozdělení. Hodnota indexu způsobilosti C_p je poměrem maximálně přípustné variability a skutečné variability bez ohledu na umístění v daných mezích. Proces na úrovni Six Sigma dosahuje hodnoty $C_p = 2$ (Töpfer, 2008).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3)$$

Ve vzorci (3), USL a LSL značí horní a dolní toleranční mez, μ je střední hodnota a σ je směrodatná odchylka.

Z důvodu působení různých faktorů (např. chybné nastavení stroje, opotřebení materiálu, teplotní změny atd.) dochází u velkých objemů výroby v průběhu času k posunu střední hodnoty charakteristiky procesu o $1,5\sigma$ od ideální hodnoty. Jádrem metodiky Six Sigma je dosáhnout toho, že střední hodnota charakteristiky procesu je vzdálena 6σ od obou tolerančních mezí, takový případ je znázorněn na obrázku 2. Pro výrobní proces fungující na úrovni Six Sigma platí, že i při předpokládaném posunu střední hodnoty o $1,5\sigma$ je z 1 000 000 vyrobených výrobků pouze 3,4 vadných (Metoda "6 Sigma", ©2003-2016).



Obr. 2: Grafické znázornění způsobilosti Six Sigma procesu (Metoda "6 Sigma", ©2003-2016)

Kritický index způsobilosti C_{pk} zohledňuje nejen variabilitu sledovaného znaku jakosti, ale i jeho polohu vůči specifikovaným tolerančním mezím.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\} \quad (4)$$

Předpokladem pro výpočet indexů způsobilosti je normální rozdělení sledovaného znaku. K ověření normality se například používá test dobré shody (známý jako Chí-kvadrát test) nebo Kolmogorov-Smirnovův test (Janíček, 2013). V praxi obvykle platí, že způsobilé procesy by měly dosahovat minimálně hodnoty 1,33 ($C_p \geq 1,33$, $C_{pk} \geq 1,33$).

MSA – ověření měřicího systému

Způsobilost procesů se vypočítává z dat získaných měření. Aby bylo možné provádět manažerská rozhodnutí na základě naměřených hodnot, je nutné ověřit jejich správnost a kvalitu. Ověření měřicího systému se provádí kvůli zjištění, jaký podíl celkové variability je zapříčiněn kolísáním procesu a jaký je následkem proměnlivosti výsledků měření.

Analýza systému měření (angl. *Measurement Systems Analysis, MSA*) je právě zaměřená na porozumění a kvantifikování variability, která souvisí se systémem měření. Systém měření se skládá z několika prvků, jako jsou hodnotitelé, měřidla, pomůcky, software, metody měření atd. Pro určení způsobilosti systému měření existuje několik ukazatelů,

přičemž nejznámější je asi **ukazatel Gage R&R** (angl. *Repeatability and Reproducibility* neboli opakovatelnost a reprodukovatelnost). Výpočty se doplňují různými typy grafických analýz.

Opakovatelnost se týká variability výsledků měření generované měřicím přístrojem. Jeden pracovník provádí opakované měření jedné charakteristiky na jednom výrobku jedním měřicím přístrojem (angl. *Equipment Variation, EV*). **Reprodukovatelnost** souvisí s kolísáním naměřených hodnot, které je způsobeno operátory provádějícími měření. Různí pracovníci provedou několik měření stejné charakteristiky na jednom výrobku jedním přístrojem (angl. *Appraiser Variation, AV*). Existuje několik metod, jak vypočítat hodnoty ukazatelů Gage R&R, příkladem jsou metoda ANOVA nebo metoda průměru a rozpětí (Walker, 2012).

Společnost Automotive Industry Action Group vydala příručku *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, kde jsou sepsány veškeré standardy týkající se MSA. Obecně tedy platí, že je-li:

- Gage R&R < 10 %, systém měření je vyhovující;
- $10 \% \leq \text{Gage R\&R} \leq 30 \%$, systém měření může být přijatelný, ale záleží na konkrétní aplikaci a nákladech měřicího zařízení;
- Gage R&R > 30 %, systém měření je nevhodný (Walker, 2012).

1.4.3 Analýze

Další navazující fází cyklu DMAIC je fáze **analýzy**. V této fázi dochází k vyhodnocení naměřených výsledků z předchozí fáze. Dále se zlepšovatelství tým snaží určit veškeré možné příčiny, které mají za následek rozdíl mezi současným a cílovým stavem procesu. S využitím matematických, statistických a grafických metod jsou určeny (otestovány) kořenové příčiny, které mají největší dopad na variabilitu v daném procesu, a naopak eliminovány příčiny méně významné. Výstupem fáze analýzy jsou statisticky ověřené příčiny vzniku variace a defektů (Svozilová, 2011).

Obsah fáze analýzy, společně s použitými metodami či nástroji, velmi záleží na povaze Six Sigma projektu, daného procesu a také na oboru, ve kterém firma působí. Základní princip se však nemění. Jedná se o hledání příčin (značených malým „x“), které jsou zdrojem problému v procesu (značeným velkým „Y“). Lze použít funkční závislost (5).

$$Y = f(x) \tag{5}$$

V prvních krocích této fáze se hledají různé potenciální příčiny daného problému, z nichž je potřeba vybrat ty závažnější a jejich působení prokázat pomocí naměřených údajů. Údaje mohou pocházet jak z fyzického měření, skladových záznamů, interního systému, tak i z pozorování. Při použití statistických metod pro ověření hypotéz hraje velkou roli rozsah souboru. Počet měření by měl být natolik rozsáhlý, aby mohla být hypotéza s jistotou ověřena. Při velkém množství údajů je vhodné odstranit jevy, které jsou s vysokou pravděpodobností náhodné. Statistické analýzy se používají pro určení skutečných příčin. Testuje se, zda určitý jev (Y) způsobený několika příčinami (x) bude dosahovat stejných výsledků, i když se změní parametry některých příčin. Různé metody a nástroje používané v této fázi budou blíže popsány v následujícím textu. Aby bylo možné v dalším kroku navrhnout určitá řešení, která budou maximálně účinná s ohledem na složitost provedení a náklady, je nutné vybrat pouze příčiny podílející se na nedostatecích největší měrou (Svozilová, 2011).

Hledání potenciálních příčin

K hledání potenciálních příčin slouží například skupinové diskuse, brainstorming, sdružování námětů, tvorba Ishikawa diagramu, hloubkové analýzy „Pětkrát proč“, analýzy trendů a rozptylů.

Doporučuje se začít **brainstormingem**. Brainstorming je skupinová metoda pro generování co nejvíce nápadů na dané téma v relativně krátkém čase (Aartsengel, 2013). V tomto případě se hledají jakékoliv potenciální příčiny daného problému. Při brainstormingu je potřeba dodržovat několik zásad. Z počátku je vhodné při výběru účastníků diskuse myslet na to, kteří účastníci budou prospěšní z hlediska jejich kvalifikace, pozice ve firmě či jejich osobnosti. Dále zde platí pravidlo, že žádný nápad či návrh se nesmí kritizovat, protože i ty méně pravděpodobné příčiny mohou inspirovat

ostatní účastníky brainstormingu k dalším nápadům. Důležitá je také uvolněná atmosféra, vhodné je neformální prostředí. Nenahraditelnou výhodou je, když se členové navzájem znají a neobávají se toho, že by jejich návrh byl zkritizován ostatními.

Při tomto druhu hledání příčin jde především o kvantitu nápadů. Velice praktické je určit zapisovatele, který má za úkol zaznamenat veškeré návrhy během brainstormingu. Lze použít různé pomůcky, například tabule, závěsný blok nebo počítačové nástroje s dataprojektorem. Zapisovatel se může i nemusí účastnit vymýšlení návrhů. Během brainstormingu by měl vždy mluvit pouze jeden člověk, i když je to někdy kritizováno z toho důvodu, že někdo další může svůj nápad zapomenout, než se dostane ke slovu (Aartsengel, 2013).

V konečné fázi se musejí veškeré návrhy utřídit do několika skupin, k čemuž slouží jako vhodný nástroj **afinitní diagram** (angl. *Affinity Diagram*). Jeho prostřednictvím se jednotlivé náměty třídí do logických skupin podle společných vlastností, hledají se určité trendy a hromadné znaky jednotlivých kategorií. Skupiny se následně pojmenují (Svozilová, 2011).

Pro generování kořenových příčin lze použít několik metod. Základní a jednoduchou metodou je tvorba diagramu příčin a následků neboli **Ishikawova diagramu**, diagramu rybí kosti. Při tvorbě diagramu tvoří identifikovaný problém hlavu pomyslné rybí kosti a hlavní kosti napojující se na páteř představují jednotlivé kategorie (např. vybavení, pracovníci, metody, materiály, prostředí, atd.). V jednotlivých kategoriích se většinou pomocí brainstormingu určí právě ty potenciální příčiny, které by mohly souviset s hlavním problémem. Výhodou Ishikawova diagramu je přehledné grafické znázornění souvisejících jevů a příčin, dále jednoduchost a snadná upravitelnost (Gygi, 2012).

Pro hlubší analýzu kořenových příčin existuje **metoda „Pětkrát proč?“** (angl. *5 Whys*). Tato technika spočívá v kladení otázky „Proč?“ několikrát za sebou, dokud není odhalena skutečná základní příčina identifikovaného problému. Někdy se stane, že k nalezení počáteční kořenové příčiny je zapotřebí více či méně než pět otázek. Rozpoznání základní příčiny je nezbytnou podmínkou pro její odstranění a tím i odstranění nežádoucích

důsledků. Výhoda tohoto nástroje analýzy spočívá v jednoduchosti, protože není potřeba žádných složitých statistických analýz náročných na sběr dat (Determine the Root Cause: 5 Whys, ©2000-2016).

Testování hypotéz

Testování hypotéz slouží k ověření určitých předpokladů o základním souboru. Hlavním úkolem je na základě výběrových dat rozhodnout, zda se určitá hypotéza přijme nebo zamítne. Existuje několik různých testů a testovacích způsobů, vždy však záleží na konkrétní situaci, známých charakteristikách a typu dat. Přesto je možné shrnout postup do několika obecných kroků. V prvním kroku se začíná formulací hypotéz. Nulová hypotéza, tj. testovaná hypotéza, se značí H_0 , ke které je potřeba určit alternativní hypotézu H_1 . Hypotézy se navzájem nesmějí překrývat. Je jednodušší začít s formulací hypotézy H_1 , protože ta může být po zamítnutí H_0 na základě testu prokázána.

Dále je potřeba určit hladinu významnosti daného testu neboli pravděpodobnost chyby prvního druhu, která se označuje α . Tato pravděpodobnost chyby prvního druhu značí, že H_0 bude zamítnuto, ačkoli platí. Hodnota α je zpravidla malé číslo blízké nule, obvykle 0,5. Z toho vyplývá, že potom je hladina významnosti testu 5 %. Při použití statistických programů je výstupem testu hodnota *P-Value*, na základě které se rozhodne o výsledku testu. Pokud je hodnota *P-Value* $< \alpha$, potom se na předem dané hladině významnosti hypotéza H_0 zamítá a přijímá se platnost hypotézy H_1 . Pokud je hodnota *P-Value* $> \alpha$, hypotézu H_0 nelze zamítnout a hypotéza H_1 tudíž nemůže být přijata (Shankar, 2009).

Regresní analýza

Regresní analýza slouží jako nástroj pro zkoumání jednostranné závislosti mezi závislou proměnnou y (též vysvětlovaná proměnná, důsledek) a nezávislou proměnnou x (též vysvětlující proměnná, příčina), resp. proměnnými x_1, x_2, \dots, x_n . V případě analýzy pouze dvou proměnných se jedná o jednoduchou regresi. Pokud se zkoumá vztah mezi jednou závislou proměnnou a několika nezávislými proměnnými, hovoří se o vícenásobné regresi. Závislost je popisována většinou na základě grafického znázornění pozorovaných dat příslušnou matematickou funkcí, která se označuje jako regresní funkce. Pomocí této funkce lze pak odhadovat hodnoty výstupu proměnné y tím, že se pozmění hodnoty vstupu proměnné x . Regresní modely obsahují deterministickou složku a složku náhodnou, která

zachycuje náhodné vlivy. Vhodnost regresního modelu se určuje podle koeficientu determinace R^2 , který udává, z kolika procent zvolená regresní funkce popisuje závislost mezi proměnnými. Nejjednodušším modelem je lineární regrese, kde závislost mezi proměnnými je popsána rovnicí přímky (6), kde a , b jsou neznámé konstanty a ε je náhodná složka.

$$y = a + b \cdot x + \varepsilon \quad (6)$$

Polohu regresní přímky lze určit metodou nejmenších čtverců a je popsána vztahem (7), kde koeficienty a , b jsou vyčísleny jako součet čtverců odchylek v jednotlivých bodech neboli platí (8), potažmo (9).

$$y_i = a + b \cdot x_i \quad (7)$$

$$b = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (8)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (9)$$

Index i značí všechny body, které jsou k dispozici (Svozilová, 2011), doplněno z (Shankar, 2009).

Korelační analýza

Korelační analýza se spíše zabývá intenzitou vztahu proměnných než směrem závislosti. Je to metoda sloužící k posuzování lineární závislosti mezi dvěma náhodnými proměnnými. Jinak řečeno zkoumá, zda existují nějaké vztahy mezi dvěma proměnnými či veličinami x a y . Tuto analýzu lze použít pouze tehdy, pokud jsou k dispozici spojitá data. Míru korelace určuje korelační koeficient, který může nabývat hodnot od -1 do 1. Vzorec pro Pearsonův koeficient korelace (10) je znázorněn níže.

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2) \cdot (\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}; r_{xy} \in \langle -1; 1 \rangle \quad (10)$$

Čím více se r_{xy} blíží k 1 nebo -1, tím silnější je lineární závislost mezi sledovanými znaky. Dále platí, že pokud $r_{xy} > 0$, jedná se o přímou závislost a naopak když $r_{xy} < 0$, jde

o nepřímou závislost. Pokud $r_{xy} = 0$, neexistuje lineární závislost mezi proměnnými (Shankar, 2009).

Analýza FMEA

Dalším analytickým nástrojem používaným v metodologii Six Sigma je FMEA (angl. *Failure Modes and Effects Analysis*). Existuje několik modifikací této metody, v souvislosti s procesy se jedná hlavně o PFMEA (angl. *Process Failure Modes and Effects Analysis*). Hlavním cílem je identifikovat místa možného vniku vad a defektů ve výrobním procesu, výrobku či systému. Tato metoda dokáže odhalit riziková místa už v procesu plánování. Potenciální selhání v každém kroku procesu jsou hodnocena z hlediska závažnosti dopadu, pravděpodobnosti výskytu a pravděpodobnosti detekce příčiny pomocí **čísla RPN** (angl. *Risk Priority Number*). Nejvyšší číslo RPN označuje nejrizikovější část výrobního procesu, ve kterém může dojít k selhání. Po odhalení možných příčin vzniku defektů následuje snaha o snížení pravděpodobnosti jejich výskytu či dopadu na výstup, v nejlepší případě obojího. Při této analýze je vhodné vycházet z detailní procesní mapy, dobrých znalostí a zkušeností s daným procesem (Gygi, 2012).

Analýza rozptylu

Analýza rozptylu neboli ANOVA (angl. *Analysis of Variance*) je metoda statistické analýzy sloužící k testování rozdílů více středních hodnot. Pro provedení analýzy rozptylu musejí být splněny tyto předpoklady – normální rozdělení dat, shoda rozptylů uvnitř skupin a nezávislost měření uvnitř i mezi skupinami. Tato metoda analýzy se používá, když je potřeba ověřit vliv vstupních faktorů na závislou proměnnou kvantitativního typu. Pokud se zkoumá vliv pouze jednoho faktoru, jedná se o **jednofaktorovou analýzu rozptylu** (angl. *One-Way ANOVA*). Při testování působení více faktorů se pak hovoří o **vícefaktorové analýze rozptylu** (angl. *Two-Way ANOVA* při vlivu dvou faktorů).

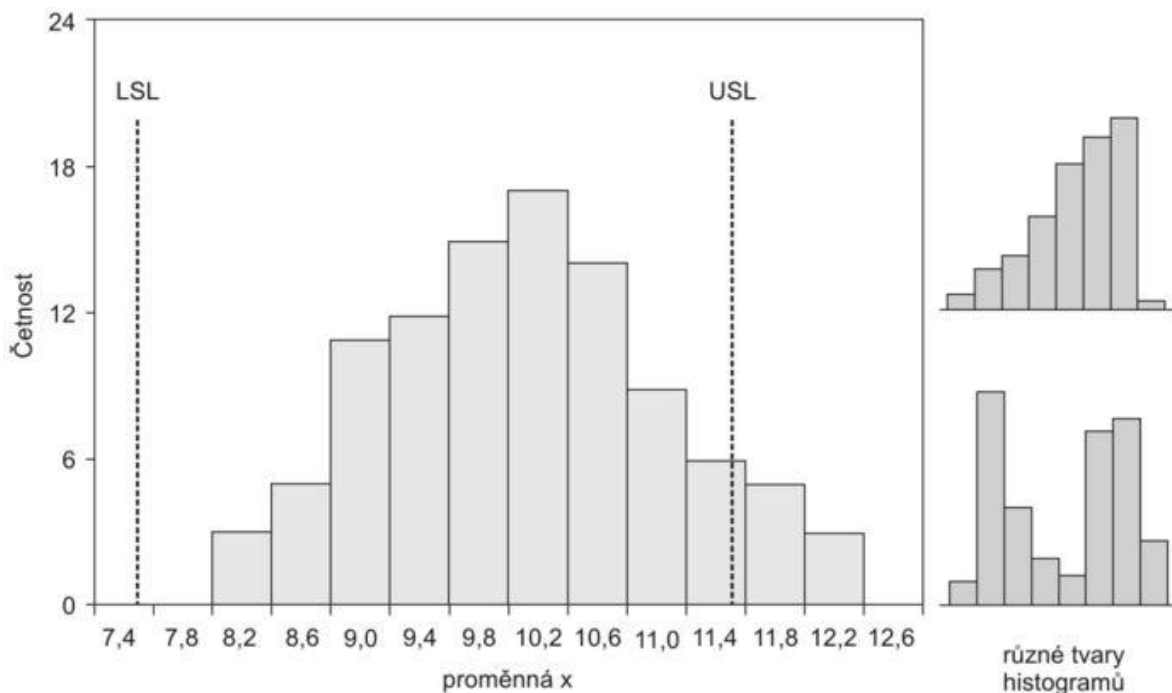
K testování shody středních hodnot se používá F-test. Hodnota F-ratio vyjadřuje poměr mezi rozptylem meziskupinovým a vnitroskupinovým. Pokud je meziskupinový rozptyl značně větší než vnitroskupinový, tak lze vyvodit, že vliv některého faktoru či více faktorů je významný. Skupiny reprezentují jednotlivé úrovně sledovaného faktoru. Na základě hodnoty P-Value (pokud je menší než hodnota α) se zamítá $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ a

přijímá H_1 : alespoň jedna střední hodnota se liší od ostatních. Pokud se pomocí analýzy rozptylu zamítne nulová hypotéza, je potřeba provést další analýzu existujících rozdílů středních hodnot, používá se například *Tukey Test* (Shankar, 2009).

Uvedené statistické metody používané v metodologii Six Sigma jsou popsány obecně pro pochopení základních principů. V praxi se využívají různé statistické softwary či tabulkové procesory a tím se velmi usnadňuje použití těchto nástrojů. Pro hlubší rozbor statistických nástrojů se doporučuje odborná literatura v oblasti statistiky.

Nástroje grafické analýzy

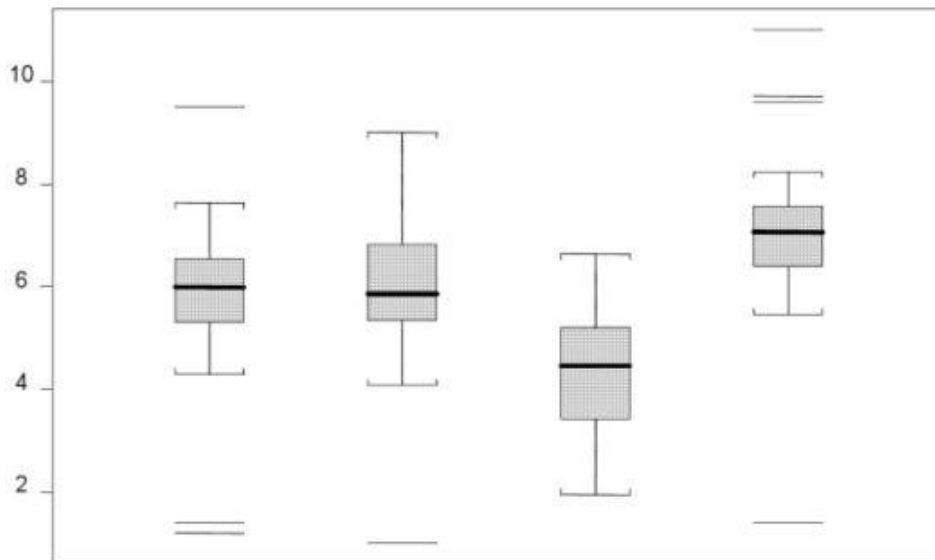
Jedním z jednoduchých grafických nástrojů analýzy je histogram. **Histogram** graficky znázorňuje intervalové rozdělení četností spojitého náhodného znaku (např. rozměry výrobků, chemické složení, pevnost materiálu, výkon stroje, atd.). Tento druh grafu má sloupcový tvar. Šířka jednotlivých sloupců odpovídá šířce požadovaných intervalů a výška sloupce koresponduje s četností výskytu daného znaku v jednotlivých intervalech. Při analýze histogramů hraje velkou roli jejich tvar. Histogramy lze použít pro hodnocení toho, zda proces splňuje požadavky zákazníka. Na obrázku 3 je vidět, že daný proces nevyhovuje požadavkům zákazníka, protože překračuje horní toleranční mez. Dále lze vyzorovat, že se jedná o normální rozdělení, neboť je jasně rozeznatelný zvonovitý tvar. V pravé části obrázku se nacházejí další možné tvary histogramů. Nahoře jde o pravostranně useknutý histogram, kde příčinou tohoto tvaru může být měřicí přístroj, nebo nebyla uvedena všechna data. Dole je zobrazen dvouvrcholový tvar histogramu, který značí, že se jedná pravděpodobně o data ze dvou výběrových souborů, příkladem jsou dvě výrobní linky, dva různí pracovníci, atd. (Janíček, 2013).



Obr. 3: Příklad druhů histogramů (Janiček, 2013, s. 359)

Dalším grafickým nástrojem analýzy je **Paretův diagram**. Tento diagram byl popsán v části 1.4.1 Defíne.

Krabicový graf (angl. *Boxplot*) je také příkladem jednoduchého grafického nástroje používaného ve fázi analýzy. Graf zobrazuje horní a dolní kvartil, medián, spodní a horní mez určitého souboru dat. Tento graf je tvořen obdélníkem, který je ohraničen 1. a 3. kvartilem a znázorňuje 50 % vnitřních dat. Linie uvnitř krabicové části grafu představuje medián. Koncové úsečky grafu pak znázorňují meze, kde data mimo horní a dolní mez jsou tzv. podezřelá. Obrázek 4 ukazuje více krabicových grafů pro několik vzorků dat za sebou, což je výhodné k určení a porovnání rozdílů mezi nimi (Kupka, 2001).



Obr. 4: Příklad krabicového grafu (Kupka, 2001, s. 3 - 45)

1.4.4 Improve

Ve fázi **zlepšování** cyklu DMAIC probíhá generování různých návrhů a řešení k odstranění příčin, které byly analyzovány v předchozí fázi. Dále se vyberou ta řešení, která se považují za nejefektivnější, nejsnáze proveditelná a nejlevnější. Pokračuje se návrhem experimentů a snahou o testování daných řešení ještě před tím, než se úplně implementují do procesu výroby. Po implementaci daných řešení je zároveň nutné statisticky prokázat funkčnost těchto nápravných řešení.

V této fázi zlepšovateľského projektu jsou k dispozici kořenové příčiny x , které mají zásadní dopad na daný výstup Y (viz vztah (5) na straně 27). Díky předchozím fázím je identifikovaný problém společně s kořenovými příčinami detailně popsán a nyní je jen potřeba nalézt, jakým způsobem daný problém eliminovat či alespoň snížit jeho dopady. Nástroje metodiky Six Sigma jsou užitečné zejména při **snižování chybovosti** a při optimalizaci procesů za účelem **zvýšení kvality výstupu**.

Na počátku je tedy nezbytné navrhnout možná řešení pro jednotlivé kořenové příčiny způsobující selhání výstupu. Při hledání nových návrhů řešení lze využít například brainstormingu, konzultací s odborníky nebo strukturovaných metod inovace, kterými jsou

tvorba a řešení inovačních zadání (angl. *Theory of Inventive Solving, TIPS*, více se však užívá akronym *TRIZ*³ z ruského jazyka). TRIZ je metoda využívající systematický přístup k řešení technických problémů, podporuje tvořivost a přes analýzu systému vede až k návrhu řešení (Svozilová, 2011).

Pokud je poté k dispozici dostatek potenciálních řešení daného problému, musí se začít s výběrem těch nejvhodnějších. Dané návrhy řešení se hodnotí z hlediska schopnosti eliminovat problém nebo alespoň snížit jeho dopady, dále z hlediska jednoduchosti implementace, velikosti nákladů a udržitelnosti řešení. Provádí se různé zkoušky, experimenty a pilotní šetření, aby se zajistil výběr nejlepší varianty. Obecně se totiž nevyplatí zavést řešení, které sice daný problém do jisté míry vyřeší, ale vyžaduje obrovské náklady a kvalifikační nároky na udržení, jež si firma nemůže dovolit. V některých případech z praxe si zlepšovatelství tým vystačí pouze s matematickými či grafickými analýzami a doporučením odborníků, jindy je však zapotřebí použití složitějších metod, kterými jsou například návrhy experimentů či testování hypotéz.

Poté, co jsou zvolena vhodná řešení, následuje sestavení implementačního plánu s časovým rozvrhem a postupné zavádění nápravných řešení. V závěrečné fázi implementování nesmí chybět ověření účinnosti implementovaných řešení (Svozilová, 2011).

Plánování experimentů DOE

Zkratka DOE pochází z anglického názvu *Design of Experiments*. Plánování experimentů je strukturovaná metoda používaná k určení vztahu mezi faktory (x), které ovlivňují proces, a výstupem tohoto procesu (Y). Faktory neboli vstupy do procesu, které mohou být modifikovány v experimentu či samotném procesu jsou označovány jako faktory kontrolovatelné, opakem jsou faktory nekontrolovatelné, které nemohou být změněny. Faktory nabývají různých úrovní, cílem je nastavení takových úrovní vstupů a jejich limitů, aby bylo dosaženo požadovaného výstupu. Postup metody lze shrnout do následujících kroků.

³ *Metoda* byla zformulována v 60. a 70. letech 20. století ruským inženýrem Genrichem Saulovičem Altšullerem.

1. **Plánování a návrh experimentu** – Nejprve jsou definovány problém a výstupní veličiny, které se budou měřit, i způsob, jakým se budou měřit. Definují se také vstupní faktory včetně jejich úrovní. Dále sem patří sestavení plánu sběru dat a nastavení konkrétních hodnot pro každý vstupní faktor. Měly by se odhadnout náklady a čas potřebný k provedení experimentu.
2. **Provedení experimentu** – Samotné provedení experimentu je realizováno podle návrhu buď v provozních, či v laboratorních podmínkách. Zadávají se kombinace hodnot pro vstupní faktory a zaznamenává se jejich vliv na výstup procesu. Pokud testování všech variant představuje velký počet zkoušek, lze použít zkrácené metody, které zkoumají pouze určitou část možných kombinací, například tzv. Taguchiho přístup. Experiment by neměl být ovlivněn žádnými zásahy a je také vhodné provádět experimenty v náhodném pořadí.
3. **Analýza výsledků** – Získaná data je potřeba vyhodnotit a nalézt kombinaci významných vstupních faktorů, která má nejlepší vliv na výstup procesu. Analýza představuje poměrně rozsáhlé výpočty, používá se například ANOVA (viz kapitola 1.4.3 Analýza v části analýza rozptylu). Výstupem je matematický model popisující dopad významných vstupů na požadovaný výstup (Shankar, 2009).

1.4.5 Control

Poslední a neméně důležitou fází cyklu DMAIC je fáze **kontroly**, v některých pramenech označovaná jako fáze řízení.

Pokud nebyla doposud zavedena zcela všechna optimalizační řešení, mělo by tak být učiněno na začátku této fáze. S tím souvisí vyhotovení **implementačního plánu**, který udává, kde, kým, kdy a jak bude co implementováno. Teprve až když jsou zavedena všechna vybraná řešení, přichází na řadu hlavní náplň této fáze, kterou je kontrola procesu a dokázání toho, že implementovaná řešení vedou ke splnění definovaného cíle zlepšovateľského projektu a udržitelnosti zavedených řešení.

Je vytvořen systém kontroly a sběru dat, aby mohl být celý proces monitorován. Nastává i porovnání nového optimalizovaného procesu s tím původním, k čemuž slouží například

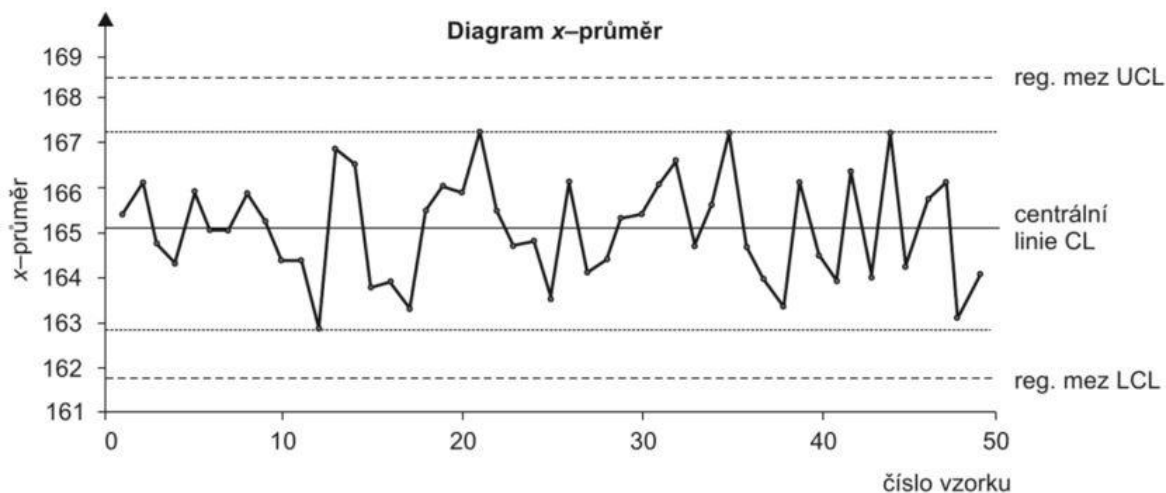
nově sestavená procesní mapa nebo porovnání indexů způsobilosti před a po implementaci daných řešení. Dále se kontroluje, zda bylo dosaženo finančních cílů projektu a kolik tvoří celkové úspory po zlepšení procesu.

Projekt se na závěr po celkovém vypracování předává vlastníkovi procesu s veškerou dokumentací a nově vytvořenými standardy pro kontrolu procesu, což je důležité z hlediska udržitelnosti zavedených změn. Po vyhodnocení celého projektu se doporučuje nalézt příležitosti k převedení hlavních zlepšení i do jiných oddělení dané firmy a využít tak benefitů plynoucích ze zlepšovatelského projektu naplno.

Statistická regulace procesu

Statistická regulace procesu (angl. *Statistical Process Control, SPC*) umožňuje monitorovat stabilitu procesu a realizovat zásahy do procesu v případě, že dojde k výraznému odchýlení od předem stanovené hodnoty (Janíček, 2013). Variabilita sledovaného procesního parametru může být způsobena náhodnými vlivy (např. momentální fyzický či psychický stav pracovníka, okolní teplota či vlhkost) nebo konkrétními příčinami (např. seřízení stroje, neproškolený personál).

Jako nástroj se používají **regulační diagramy**, které znázorňují hodnoty sledovaného parametru v průběhu času. Existuje několik variant regulačních diagramů v závislosti na typu dat, která jsou k dispozici. Příklad regulačního diagramu je uveden na obrázku 5. Horizontální osa znázorňuje čísla vzorků a na vertikální osu se vynášejí výběrové charakteristiky sledovaného znaku jakosti (např. výběrový průměr, výběrová směrodatná odchylka, výběrové rozpětí nebo počet nevyhovujících výrobků). V regulačním diagramu je vyznačena střední hodnota (CL) a horní (UCL) a dolní regulační mez (LCL). Regulační meze jsou většinou vzdáleny $\pm 3 \sigma$ od střední hodnoty, což za předpokladu normálního rozdělení pokrývá 99,73 % dat. V této fázi se regulační diagramy používají ke kontrole stability procesu, čili ověření toho, zda proces funguje jako stabilní systém s působením pouze několika náhodných vlivů. Dále mohou být tyto diagramy použity ke sledování cyklů, trendů, odstranění nepříznivých vlivů nebo k získání zpětné vazby pro nastavení výrobních procesů (Janíček, 2013).



Obr. 5: Příklad regulačního diagramu (Janiček, 2013, s. 360)

Nástroj **Poka-Yoke** (viz vybrané nástroje štíhlé výroby) je technika používaná k znemožnění vniku defektů v procesu, ale může se na ni pohlížet i jako na nástroj kontroly (Shankar, 2009). Využitím **analýzy FMEA** lze nalézt krok v procesu, u kterého by bylo vhodné zvolit tuto techniku Poka-Yoke, neboť FMEA identifikuje nejrizikovější místa v celém procesu, která by podnik mohl zabezpečit využitím nástroje Poka-Yoke. Příkladem může být navržení nástroje tak, aby se zajistila správná orientace dílu při montáži nebo instalace alarmu do procesu, který se spustí, když není něco v pořádku. Tato technika preferuje kreativní a levné řešení před drahými a složitými systémy.

Kontrolní plán

Shankar (2009) uvádí tři nejdůležitější dokumenty související s daným procesem kontroly, kterými jsou procesní mapa, analýza FMEA a plán kontroly. Plán kontroly je tvořen krok po kroku s využitím zbylých dvou dokumentů. Měl by se zohlednit každý krok procesu, použité nástroje, charakteristiky určené ke kontrole, specifikace, tolerance, vlastnosti produktu, systém měření i jeho ověření atd.

Aktualizace klíčových dokumentů

Z průběhu fáze kontroly je tedy zřejmé, že musí také dojít k aktualizaci některých dokumentů ještě před tím, než bude zlepšovatelský projekt považován za kompletní. Jsou to především dokumenty z fáze měření. Je potřeba tedy vytvořit novou procesní mapu, která bude zahrnovat přidání implementovaná řešení. Analýzu FMEA je také potřeba

aktualizovat a dále provést nové výpočty čísla RPN (*Risk Priority Number*). Další dokumenty, které mohou být aktualizovány či nově vytvořeny, jsou například standardní pracovní postupy, plány školení a audity (Shankar, 2009).

Kalkulace úspor

Úplným závěrem zlepšovateľského projektu je kalkulace úspor. Každá organizace má svá pravidla pro kalkulaci úspor projektů. Snížení počtu výstupů nevyhovujících požadavkům zákazníka nemusí být jediným ukazatelem úspor, které zlepšovateľský projekt přinesl. Významné mohou být i úspory nákladů na materiál, mzdových nákladů, režijních nákladů atd.

V části této diplomové práce věnované literární rešerši byly uvedeny a vysvětleny základní nástroje používané v metodice DMAIC. Jejich výčet není určité konečný, existují i další nástroje používané v metodice Six Sigma.

2 Aplikace metodiky Six Sigma na vybraný projekt v podniku

Tato kapitola je věnována praktické ukázce využití metodiky Six Sigma při optimalizaci procesů ve společnosti Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o. zabývající se výrobou startovacích baterií pro automobily. Daný projekt je zpracován a proveden všemi fázemi cyklu DMAIC. Číselné údaje uvedené v aplikační části diplomové práce jsou upraveny určitým koeficientem z důvodu ochrany dat společnosti před zneužitím. Toto zkreslení nemá žádný vliv na zpracování postupů při aplikování metodiky Six Sigma. Autor této diplomové práce působil jako asistent Balck Belta v oddělení neustálého zlepšování a při zpracování tohoto projektu se mimo jiné účastnil týmových brainstormingů a pomáhal při sběru dat.

2.1 Představení společnosti

Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o. (dříve se jmenovala AUTOBATERIE, spol. s r.o.) byla založena v květnu roku 1992 a sídlí v České Lípě. Jediným vlastníkem je JOHNSON CONTROLS AUTOBATERÍAS, S.A., UNIPERSONAL se sídlem v Madridu ve Španělsku. Společnost v České Lípě patří do skupiny Johnson Controls, jejíž mateřská společnost je Johnson Controls Inc., která má centrálu v Millwaukee v americkém státě Wisconsin. Johnson Controls Inc. je globální společnost působící v mnoha technologických a průmyslových odvětvích, která poskytuje své produkty a služby zákazníkům ve více než 150 zemích. Společnost Johnson Controls byla založena v roce 1885 Warrenem Johnsonem, který vynalezl první elektrický pokojový termostat. Celosvětově zaměstnává 170 000 lidí a působí hlavně ve stavebním a automobilovém průmyslu. Jejich podnikání je rozděleno do tří divizí. *Building Efficiency* je divize zaměřená na vybavení, regulaci a služby v oblasti vytápění, ventilace, klimatizace, chlazení a bezpečnostní systémy. V rámci *Automotive Experience* je Johnson Controls přední světový dodavatel pěnových výplní, textilií, potahů, kovových konstrukcí a kompletních automobilových sedadel. Divize *Power Solutions* patří ke světové špičce v oblasti výroby automobilových baterií, pokročilých technologií pro hybridní a elektrické

automobily a vozidla využívající technologii Start-Stop. Akcie společnosti Johnson Controls Inc. jsou obchodované na newyorské burze. Za fiskální rok 2014 byl roční obrát celé skupiny 42,8 miliard amerických dolarů.

Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o. (dále jen „JC Autobaterie“) patří do divize Power Solutions a od roku 2004 se orientuje na výrobu olovených startovacích baterií pro osobní i nákladní automobily. V této oblasti má od roku 2007 v České republice téměř monopolní postavení. Olovené startovací baterie jsou distribuovány jak na trh náhradní spotřeby, tak pro finalisty automobilového průmyslu (zákazníci OEM⁴).

JC Autobaterie zaujímá významné postavení mezi výrobními závody autobaterií i v rámci celé skupiny Johnson Controls. Z pohledu objemu výroby se společnost řadí mezi největší výrobce nejen v rámci skupiny v Evropě, ale i ve světě. Společnost vyrobila za fiskální rok 2014 celkem 8 446,1 tis. kusů finálních baterií, což byl meziroční pokles o 4 %. Bylo to způsobeno především klimatickými podmínkami zimního období, tudíž klesl prodej baterií na trh náhradní spotřeby. Tržby z prodeje vlastních výrobků a služeb za fiskální rok 2014 poklesly meziročně o 2 % na 8 337 680 tis. Kč a zisk byl 235 972 tis. Kč. Díky mnoha inovativním projektům minulých let se docílilo výrazného zlepšení pracovního prostředí a snížení emisí, vyšší produktivity i snížení olovených odpadů. Investice za fiskální rok 2014 činily 38 883 tis. Kč. Společnost zaměstnává přibližně 580 lidí.

Po několika úspěšných zákaznických auditech došlo k docela výrazné změně orientace na zákazníka. Společnost byla v minulosti výhradně zaměřena na trhy pro náhradní spotřebu, ale během posledních několika let se zvýšil podíl zákazníků OEM na 11 % z celkové vyráběné produkce (údaj za fiskální rok 2014). Těmito zákazníky jsou hlavně přední světoví výrobci automobilů. Společnost zajišťuje dodávky baterií nejen pro výrobce Škoda Auto, ale podílí se na dodávkách baterií i do ostatních závodů v Evropě, např. pro výrobce PSA Peugeot Citroën ve Francii, Ford v Kolíně nad Rýnem, Magna v Linci, do závodu Suzuki v Maďarsku, Hyundai v Nošovicích, KIA v Žilině, Volvo, Daimler, John Deere a další.

⁴ OEM (angl. *Original Equipment Manufacturer*) je termín používaný pro výrobce, jehož výrobky nejsou určené pro koncového zákazníka. V češtině by se dal použít termín subdodavatel.

Oddělení neustálého zlepšování

V rámci společnosti se zlepšovateľské projekty zpracovávají pomocí metodiky Six Sigma v oddělení neustálého zlepšování (angl. *Continuous Improvement*). Hlavní náplní práce odborníků z tohoto oddělení je optimalizace výrobních procesů, zvyšování efektivity a produktivity, snižování objemu šrotu a hledání příležitostí k úsporám v celé společnosti Johnson Controls Autobaterie. V oddělení neustálého zlepšování působí pět pracovníků s certifikací *Six Sigma Black Belt*, kteří mají na starost několik zlepšovateľských projektů během roku, dále jeden koordinátor vysoce výkonných týmů a jeden lean implementátor. Celé toto oddělení řídí pracovník na vedoucí pozici Continuous Improvement Manager.

2.2 Popis výroby

Výrobu olověných startovacích baterií ve společnosti JC Autobaterie lze rozdělit do tří základních fází: předvýroba, montáž, formace a dokončování.

Předvýroba zahrnuje výrobu mřížkopásů a olověných pásů, dále výrobu olověného prachu a přípravu aktivní hmoty. K výrobě **olověných mřížkopásů** se používá technologie CMS (angl. *Casting, Milling, Stamping*). Linka CMS se skládá ze sedmi jednoúčelových strojů, jimiž jsou tavicí kotel, licí hlava, akumulátor, válcovací stolice, navíječ, odvíječ, děrovací stolice a navíječ cívek.

Výrobní proces začíná u tavicího kotle, který se plní vstupní surovinou. Vstupní surovinou jsou ingoty olova, které se roztaví v kotli a následně je olovo odléváno na pás, kde dochází k jeho tuhnutí. Dále olověný pás prochází akumulátorem, který slouží ke kumulaci pásu při výměně svitků na navíječi. Následuje válcování olověného pásu na požadovanou tloušťku na válcovacích stolicích a navíjení pásu do svitků. Svitek je následně přemístěn z navíječe na odvíječ a pokračuje se ražením designu mřížky do olověného pásu na děrovací stolici, odkud je mřížkopás navíjen na cívku.

Po vytvrzení mřížkopás slouží pro výrobu pozitivních elektrod. Negativní elektrody se vyrábějí technologií tahokov z **olověných pásů**. Proces výroby olověných pásů je stejný

jako u pozitivních elektrod, ale struktura mřížky se do pásu nerazí, nýbrž dochází k naseknutí a roztažení olověného pásu pro tvorbu mřížky.

Olověný prach se vyrábí z čistého kovového olova, které se roztaví v tavícím kotli a je následně přivedeno do reaktoru, kde dochází k oxidaci olova na oxid olovnatý neboli olověný prach. Olověný prach spolu s demineralizovanou vodou, kyselinou sírovou a polypropylénovou stříží tvoří hlavní komponenty používané pro výrobu **aktivní hmoty**.

Předvýroba pokračuje na pastovacím stroji, kde se nanáší aktivní hmota na pás mřížek a pás je potažen z obou stran pastovacím papírem. Na dělicím stroji dochází k rozdělení pásu na jednotlivé elektrody, které jsou srovnány a následně procházejí sušícím tunelem. Výsledkem jsou pozitivní a negativní elektrody, které jsou stohovány pomocí stohovače, uloženy na paletu a přemístěny do blokového zráni.

Před samotnou montáží baterií jsou pozitivní elektrody na separovacím stroji uzavřeny do tzv. kapsy a zkompletovány s negativními elektrodami pro konkrétní baterii. **Montáž** je realizována na samostatných linkách. Pomocí automatu COS dochází k odlití můstků u separovaných sad elektrod a vzniká vzájemné propojení pozitivních a negativních elektrod v rámci sady. Dále jsou sady vkládány pomocí podavače automatu do plastových monobloků. Následuje kontrola zkratu mezi pozitivními a negativními deskami, svařování můstků mezi sadami, tepelné přivaření víka k monobloku baterie, letování pólů a kontrola.

Po montáži následuje **formace** (nabíjení), do níž jsou baterie dopravovány po pásu nebo přivezeny na paletách. Připravené baterie se naplní formační kyselinou a jsou dopraveny manipulátorem do formačních van, kde jsou po propojení nabíjeny dle formačních programů. Po nabití jsou baterie propláchnuty, naplněny konečným elektrolytem a přemístěny do klidové zóny.

Po vyskladnění z klidové zóny probíhá **dokončování**. Provádí se kontrola hladiny elektrolytu a jeho případné dolití. Dále dochází k navaření krycího víka nebo našroubování zátek, omytí a osušení baterie, testování elektrických parametrů a těsnosti baterie vysokým napětím. Posledními kroky jsou kódování, dekorace a balení baterií.

2.3 Seznámení se s projektem a fáze Define cyklu DMAIC

Oddělení neustálého zlepšování mělo na starost v minulém roce projekt, který měl za cíl snížit počet netěsných baterií pro nákladní vozidla. Tento projekt byl řešen pomocí aplikace metodiky Six Sigma. Projekt byl zadán, protože z dostupných historických dat vyplynulo, že za poslední rok podstatná část nevyhovujících baterií byla odmítnuta z důvodu jejich netěsnosti. Snížení počtu netěsných baterií povede k redukování celkového šrotu, finančním úsporám, zvýšení produktivity a efektivnosti výroby. Projekt byl postupně rozpracován pomocí všech fází metodiky DMAIC, za účelem dosažení cíle projektu. V následujících částech diplomové práce bude popsáno, k jakým výsledkům se dospělo.

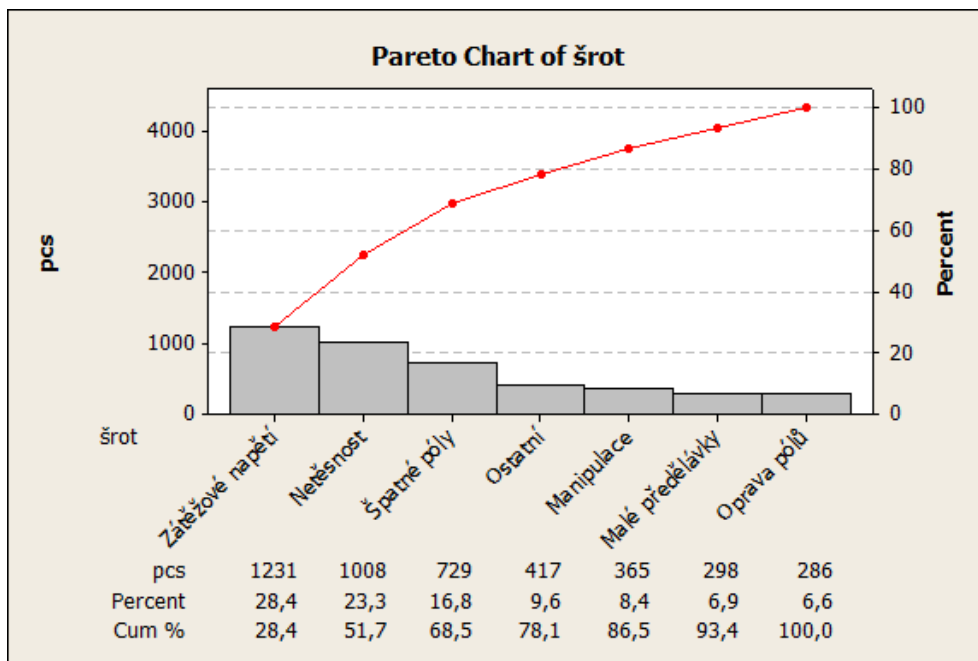
První fáze metodiky DMAIC začíná výběrem vhodného projektu s přesnou definicí problému, pro který se musí sestavit náležitý zlepšovatelství tým. Tým se poté zabývá rozsahem projektu a určí časový plán pro daný projekt. Dále jsou identifikováni zákazníci procesu a jejich potřeby. Ve fázi definování se také odhadují přínosy projektu a všechny základní informace o projektu jsou shrnuty v zakládací listině projektu.

Výběr vhodného projektu

Většina projektů ve společnosti je vybírána na základě diferenční analýzy⁵ (angl. *Gap Analysis*) a benchmarkingu⁶. Zadání tohoto projektu však proběhlo po dohodě vlastníka procesu s vedoucím oddělení neustálého zlepšování na základě analýzy směnových protokolů. Do směnových protokolů se mimo jiné uvádí i počet nevyhovujících baterií a druh zjištěného defektu. Z analýz za rok 2014 vyplynulo, že druhým nejčastějším defektem je netěsnost baterií, na který je projekt zaměřen.

⁵ *Diferenční analýza* patří mezi metody rozhodování a řešení problémů. Jedná se o jednoduchý postup, který slouží k odhalení mezery mezi současným a cílovým stavem (Diferenční analýza (Gap analýza), ©2011-2013).

⁶ *Benchmarking* je neustálé porovnávání vybraných ukazatelů vlastní organizace s těmi, kdo jsou vybráni pro toto porovnání (většinou nejlepší konkurence v oboru) (Benchmarking, ©2011-2013).



Obr. 6: Paretův diagram pro množství šrotu (interní dokumenty)

Z obrázku 6 lze vyčíst, že netěsnost baterií byla druhou nejčetnější příčinou vzniku defektů u hotových výrobků. Celkové množství netěsných baterií na lince formace a dokončování bylo 1 008 kusů za fiskální rok 2014, tj. cca 23 % z celkového počtu nevyhovujících baterií na linkách, kde jsou baterie pro nákladní vozidla kompletovány. Z Paretova diagramu vyplývá, že první čtyři kategorie mají za následek 80 % vzniklého šrotu. Tento projekt je věnován pouze problematice netěsnosti baterií pro nákladní vozidla. Ostatní příčiny vzniku šrotu jsou předmětem jiných projektů.

Co má být zlepšeno?

Pracovníci určili cíl projektu, kterým byl požadavek od ledna do prosince 2015 snížit množství netěsných baterií pro nákladní vozidla na lince montáž, formace a dokončování o 30 % a více. Po zlepšení definovaného problému by měl podíl netěsných baterií klesnout minimálně o 30 %.

Sestavení projektového týmu

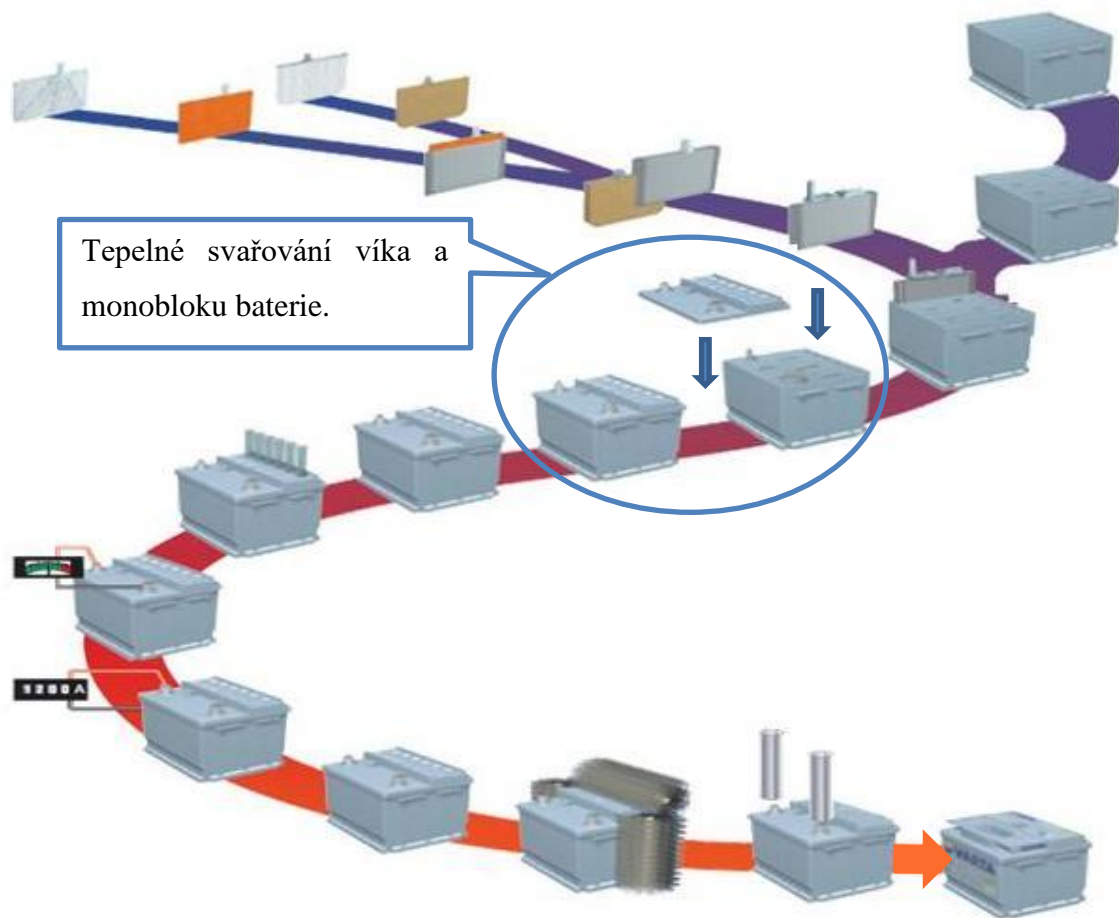
Projektový tým je sestavován vedoucím projektu s ohledem na charakteristiku a rozsah definovaného problému. Vedoucím projektu na snížení počtu netěsných baterií pro

nákladní vozidla je pracovník z oddělení neustálého zlepšování s certifikací Six Sigma Black Belt. Projektový tým se skládá z níže uvedených pracovníků:

- výrobní ředitel (vlastník procesu),
- vedoucí výrobní haly – montáž,
- vedoucí výrobní haly – formace a dokončování,
- procesní inženýr – montáž,
- procesní inženýr – formace a dokončování,
- mistr směny – montáž,
- mistr směny – formace a dokončování,
- konzultant z oddělení kvality.

Určení rozsahu projektu

Celý výrobní proces společnosti je rozdělen na předvýrobu, montáž, formaci a dokončování. Jednoduchý přehled výrobního procesu startovací baterie je znázorněn na obrázku 7, schéma zobrazuje především montáž, formaci a dokončování, kterých se projekt týká. Poté co byly sady elektrod založeny do monobloku baterie a spojeny, přichází na řadu tepelné přivaření víka k monobloku baterie. Na stroji pro přivaření vík dochází nejprve k natavení plastového monobloku a víka na topné desce a následně se stlačením těchto dvou komponent k sobě pomocí hydraulického tlaku vytváří těsné spojení.



Obr. 7: Jednoduché znázornění výrobního procesu startovací baterie (interní dokumenty)

Může zde působit hned několik faktorů, které způsobí netěsné spojení víka a monobloku baterie. Důsledkem netěsnosti baterie je nesplnění požadavků zákazníků a vznik šrotu. Počet defektů na všech linkách je monitorován a vyhodnocován každý měsíc. Na montáži probíhá první kontrola těsnosti baterií vzduchem, kde se v případě defektu většinou odhalí pouze větší netěsnosti. Výrobní proces pokračuje přes formaci a dokončování, kde kontrola těsnosti baterií probíhá vysokým napětím. Při této kontrole se odhalí i mikro díry způsobující netěsnosti.

Dále k základnímu vymezení projektu je použit diagram SIPOC. Díky tomuto diagramu jsou přehledně vymezené hranice výrobního procesu, na který je projekt zaměřen. Projekt je orientován na proces, při kterém dochází k přivaření víka baterie. Základní kroky přivaření víka baterie jsou popsány ve třetím sloupci diagramu. Diagram byl zpracován zlepšovatelem týmem do tabulky 4.

Tab. 4: SIPOC diagram

Supplier (Dodavatel)	Input (Vstup)	Process (Proces)	Output (Výstup)	Customer (Odběratel)
Interní dodavatel vík a monobloků (Johnson Controls)	Plastový monoblok Plastové víko Energie Hydraulický tlak	Nahřátí topné desky Natavení plastového víka a monobloku Přítlačení víka na monoblok	Dobře svařená a těsná baterie	Formace a dokončování (interní) Management společnosti (interní) Konečný zákazník (externí)

Zdroj: vlastní zpracování.

Plán projektu

Plán projektu (Tab. 5) znázorňuje časové rozložení jednotlivých fází projektu. Plán je sestaven projektovým týmem na dobu devíti měsíců, přičemž byl konec fáze Improve stanoven na březen roku 2015. Plán dále pokračuje další tři měsíce fází Control, v které by už všechna protiopatření měla být nastavena a využívána.

Tab. 5: Plán projektu

	2014			2015					
	říj.	lis.	pro.	led.	úno.	bře.	čun.	kvě.	čvn.
Define									
Measure									
Analyze									
Improve									
Control									

Zdroj: vlastní zpracování.

Sběr hlasu zákazníka a požadavky zákazníků

Zlepšovateľský tým identifikoval celkem tři skupiny zákazníků procesu přivaření víka baterie určeného k optimalizaci, jimiž jsou:

1. **interní zákazníci z procesu formace a dokončování**, to jsou pracovníci, kteří se podílejí na dokončení baterií. Jejich požadavkem jsou dobře sestavené baterie bez jakýchkoli netěsností.

2. **Management společnosti;** požadavky této skupiny interních zákazníků jsou zaměřené na snížení počtu netěsných baterií s ohledem na cíle projektu.
3. **Externí zákazníci,** tedy uživatelé, resp. **koneční zákazníci** – to jsou lidé, kteří kupují hotové baterie. Požadavky konečných zákazníků jsou dobře fungující baterie bez jakéhokoli defektu.

Přehled kritických požadavků zákazníků a toho, na čem zákazníkům záleží nejvíce, uvádí tabulka 6.

Tab. 6: Přehled požadavků zákazníků

Proces	Sváření víka a monobloku baterie		
Výstup	Dobře utěsněné baterie		
Zákazník	Formace a dokončování	Management společnosti	Koneční zákazníci
Požadavky zákazníka	Svařené baterie bez jakýchkoli netěsností	Zmetkovitost blížící se 0 %	Fungující baterie bez jakéhokoli defektu
CTD/CTC/CTQ	CTQ	CTC, CTQ	CTQ
Kontrolní parametr	Počet a umístění netěsností	Náklady na šrot (šrot v eurech či v %)	Počet stížností za rok
Následky	Zvýšení počtu odmítnutých baterií z důvodu netěsnosti	Zvýšení nákladů na nekvalitu (COPQ)	Snížení spokojenosti zákazníků

Zdroj: vlastní zpracování.

Z tabulky 6 vyplývá, že v rámci projektu je nutné se zaměřit na těsnost baterií. To znamená, že se musí zlepšit tepelné sváření víka a monobloku baterie, aby se docílilo nepropustného spojení. Jsou to tedy požadavky kritické hlavně pro kvalitu (CTQ). S tímto zlepšením souvisí i zvýšení úspor v oblasti nákladů na šrot a také snížení počtu stížností od externích zákazníků.

Identifikace přínosů

Přínosy vyřešeného projektu spočívají především ve snížení množství šrotu produkovaného při výrobě baterií pro nákladní vozidla. Se šrotem souvisejí i náklady na nekvalitu (COPQ), proto je možné počítat i s finanční úsporou, kterou by měl projekt přinést. Finanční úspory plynoucí z tohoto projektu jsou odhadovány přibližně na 3 130 eur. Snížením úrovně zmetkovitosti se také docílí vyšší produktivity a efektivity výroby.

Přínosy projektu je vhodné vyčíslit odhady z prostředí definovaného problému, které poukáží na možné finanční úspory. Za poslední fiskální rok bylo 1 008 ks baterií odmítnuto z důvodu netěsnosti, to odpovídá určitým nákladům na nekvalitu. Náklady na nekvalitu jsou ve společnosti počítány většinou pomocí zbývající hodnoty materiálu šrotu (např. cena olova). Při zachování stejné míry zmetkovitosti a podle počtu plánovaných výrobků byly odhadnuty náklady na nekvalitu ve výši 11,61 tis. eur pro následující rok. Po snížení počtu netěsných baterií pro nákladní vozidla minimálně o 30 % jsou náklady na nekvalitu odhadovány na 8,48 tis. eur, což znamená pro společnost úsporu ve výši 3,13 tis. eur. Tabulka 7 znázorňuje odhad finančních úspor, které by měl projekt přinést.

Tab. 7: Odhad nákladů na nekvalitu

Měsíc/rok	Odhad nákladů na nekvalitu (COPQ) v tis. eur	Odhad nákladů na nekvalitu po zlepšení (COPQ) v tis. eur	Odhad úspor v tis. eur
01/2015	1,05	0,97	0,08
02/2015	0,98	0,83	0,14
03/2015	0,83	0,58	0,25
04/2015	1,01	0,70	0,30
05/2015	1,08	0,75	0,33
06/2015	1,05	0,73	0,32
07/2015	0,98	0,68	0,30
08/2015	0,70	0,49	0,21
09/2015	1,05	0,73	0,32
10/2015	1,08	0,75	0,33
11/2015	1,05	0,73	0,32
12/2015	0,77	0,54	0,23
Celkem	11,61	8,48	3,13

Zdroj: vlastní zpracování.

Vytvoření základací listiny projektu

Pro zpřehlednění informací o projektu je vytvořena základací listina projektu (angl. *Project Charter*), ve které je definován zjištěný problém, cíl projektu, rozsah projektu, složení týmu, odhady finančních úspor, hlavní milníky, začátek a konec projektu. Formální dokument o existenci projektu v podobě základací listiny projektu (Tab. 8) je následně předložen managementu ke schválení.

Tab. 8: Zakládací listina projektu

Název projektu: Snížení množství netěsných baterií pro nákladní vozidla.	
Vedoucí projektu: Black Belt	Vlastník procesu: výrobní ředitel
Definice problému: Netěsnost baterií pro nákladní vozidla. Za minulý fiskální rok bylo vyraženo celkem 1 008 ks baterií pro nákladní vozidla z důvodu netěsnosti.	Projektový tým: výrobní ředitel (vlastník procesu), vedoucí výrobní haly – montáž, vedoucí výrobní haly – formace a dokončování, procesní inženýr – montáž, procesní inženýr – formace a dokončování, mistr směny – montáž, mistr směny – formace a dokončování, konzultant z oddělení kvality.
Cíl projektu: Snížení podílu netěsných baterií pro nákladní vozidla nejméně o 30 % od ledna do prosince roku 2015.	
Rozsah projektu: Výrobní závod Česká Lípa – Montáž – Formace a dokončování	Hlavní milníky: Define 3. 11. 2014 Measure 1. 12. 2014 Analyze 2. 2. 2015 Improve 2. 3. 2015 Control 15. 6. 2015
Úspory projektu: Úspory, které by měl projekt přinést, byly odhadnuty na 3,13 tis. eur.	
Začátek projektu: 1. 10. 2014	Konec projektu: 30. 6. 2015

Zdroj: vlastní zpracování.

Ke konci první fáze metodiky DMAIC jsou ještě identifikovány možné překážky projektu, kterými mohou být nedostatek zájmu operátorů, nepřesná evidence defektů provedená kontrolorem, velké množství příčin určených k měření nebo pouze jednotýdenní setkání zlepšovatele týmu s vlastníkem procesu. Tímto byla zkompletována první fáze definování a projekt pokračuje do druhé fáze měření.

2.4 Measure

Ve fázi měření je důležité zjistit současný stav procesu, tzn. určit způsobilost daného procesu splňovat požadavky zákazníků. Níže bude nejprve popsán defekt, ke kterému u baterií dochází. Následuje sestavení procesní mapy, která slouží k názornému přehledu výrobního procesu i se zaměřením na oblast určenou k optimalizaci. Dále se identifikují data, která jsou k dispozici, a data, která je potřeba sesbírat. Důležitou součástí této fáze je i ověření měřicího systému. Výstupem fáze je aktuální způsobilost procesu přivaření víka k monobloku baterie a veškerá data, která poslouží v další fázi pro následnou analýzu.

Popis defektu

Netěsné spojení víka a monobloku baterie vzniká při jejich tepelném svařování. Výstupem procesu tepelného přivaření má být hermetické spojení víka s monoblokem baterie, tzn. těsné spojení bez jakýchkoli defektů a mikro děr. Svár spojuje víko a monoblok baterie do jednoho celku.

Monoblok baterie je určitou rychlostí transportován pomocí dopravníkového pásu ke stroji na přivaření vík a zastaven na určené pozici díky dorazu. Operátor bere plastová víka z palety a vkládá je do zásobníku. Přivaření probíhá pomocí topné kovové desky, která se díky elektrickému proudu přehřeje na požadovanou teplotu v závislosti na typu baterie. Automatický podavač vík vezme víko ze zásobníku a vloží ho do držáku vík. Topná deska se posune ze základní pozice mezi víko a monoblok, následuje pohyb topné desky svisle dolů pro natavení vrchních hran monobloku a v ten samý okamžik se držák vík posune také svisle dolů na topnou desku pro natavení víka. Natavení probíhá předepsanou dobu. Poté se držák vík i topná deska vrátí zpět do základních pozic a následuje přitlačení víka na monoblok baterie pod předepsaným tlakem.

Defektem, na který je zlepšovateľský projekt zaměřen, je **nedostatečně přivařené víko k monobloku baterie**, tzn. špatná pozice víka vůči monobloku, vznik plastových otřepů po přivaření víka nebo nevyhovující výška baterie. Působí zde několik různých faktorů ovlivňujících správné přivaření víka k monobloku, např. doba natavení, teplota, velikost hydraulického tlaku a kvalita materiálu víka a monobloku. Pro lepší představu vzniklých defektů jsou na obrázku 8 znázorněny některé příklady.

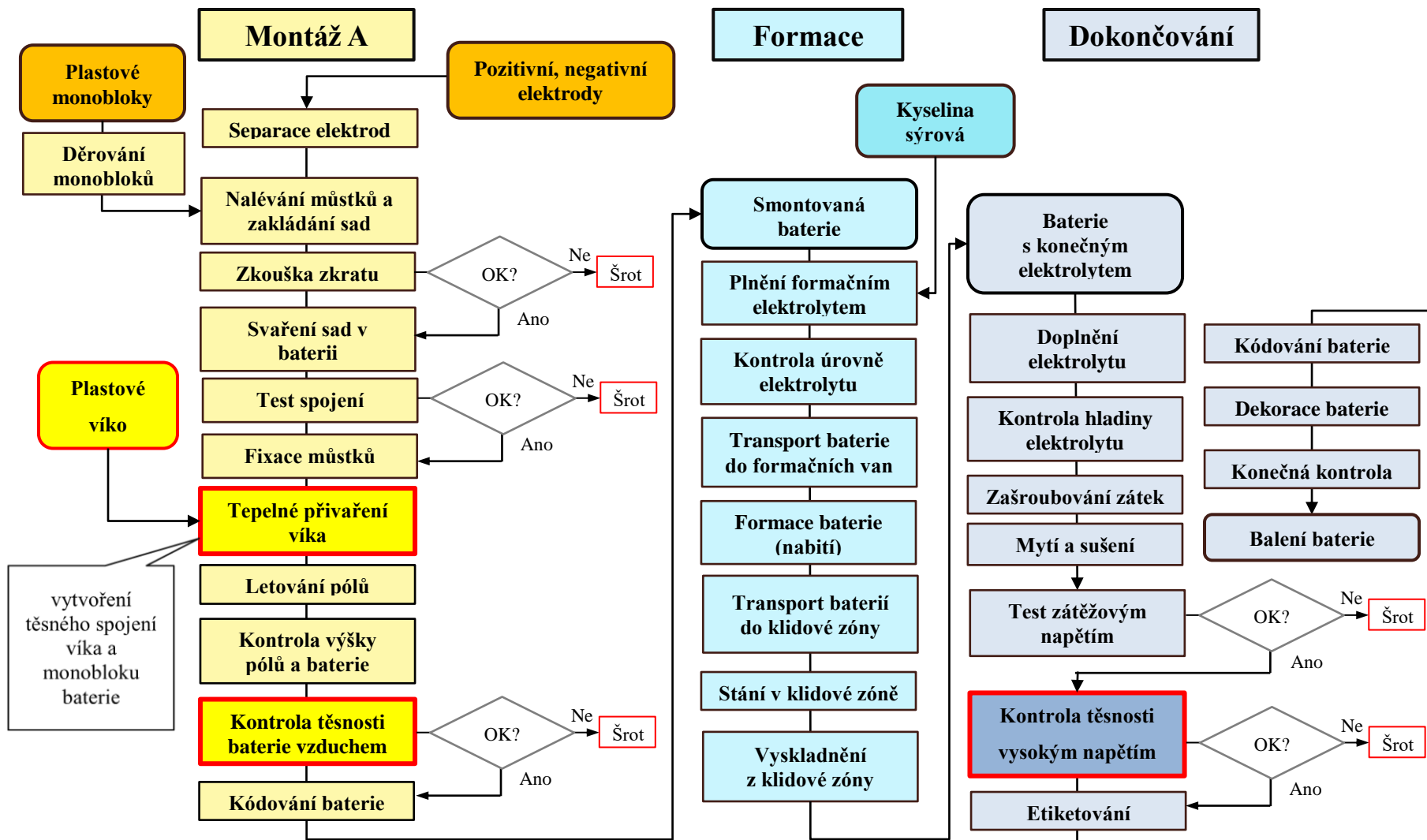


Obr. 8: Ukázka defektu (interní dokumenty)

Na fotografii vlevo je zobrazena vyřazená netěsná baterie, na které je vidět, že po nekvalitním svaření zůstal na baterii plastový otřep. Baterie s otřepy jsou podle požadavků linky formace a dokončování nevyhovující a navíc mohou být jednou z možných příčin netěsností. Baterie na pravé fotografii byla vyřazena, protože víko je ve špatné pozici vzhledem k monobloku baterie, a tudíž je spojení netěsné.

Procesní mapa

Procesní mapa (Obr. 9) byla vytvořena pro znázornění jednotlivých činností ve výrobním procesu a vazeb mezi nimi. Pro účel zlepšovateľského projektu je procesní mapa zaměřena na celý proces montáže, formace a dokončování. Celý proces výroby baterií byl již popsán v kapitole 2.2 Popis výroby. Vstupem do procesu montáže jsou již hotové pozitivní a negativní desky z předvýroby, plastové monobloky a víka od interního dodavatele skupiny Johnson Controls. V procesní mapě jsou zvýrazněny důležité kroky, na které se projekt zaměřuje. Procesní mapa znázorňuje polohu problému vzhledem k výrobnímu procesu a jsou v ní také zvýrazněny místa, kde dochází ke kontrole těsnosti baterií.

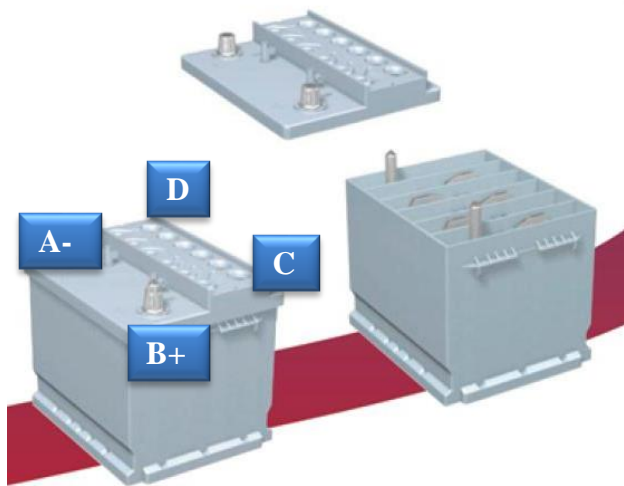


Obr. 9: Procesní mapa (vlastní zpracování)

V procesní mapě jsou pomocí obrázců pro rozhodování znázorněna místa kontroly, kde při nesplnění požadovaných parametrů vzniká šrot. Těsnost baterií se měří celkem na dvou místech. První kontrola vzduchem následuje po přivaření víka na monoblok baterie na montážní hale, při této kontrole se odhalí pouze velké netěsnosti. Druhá kontrola se provádí při dokončování baterie, kde se měří klidové napětí, po kterém následuje test pomocí vysokého napětí, který simuluje startování automobilu. V tomto testu jsou odhaleny i mikro díry způsobující netěsnost baterií. Procesní mapa tedy ukazuje dvě místa, ve kterých dochází k odhalení netěsností, a na tento typ šrotu je projekt zaměřen.

Sběr potřebných dat

K dispozici jsou historická data o počtu netěsných baterií, podle linek i podle typu baterie, získaná ze směnových protokolů. Během fáze měření je potřeba získat nová data o výšce baterie z toho důvodu, aby se zjistilo, jestli splňují požadované limity linky formace a dokončování. Výšku baterie je potřeba měřit ve čtyřech rozích, místa měření jsou znázorněna na obrázku 10 (A-, B+, C, D). K měření výšky baterie bylo zvoleno posuvné digitální měřidlo připevněné ke stolu (viz příloha B).



Obr. 10: Místa měření na baterii (interní dokumenty)

Pro získání co nejdůvěryhodnějších dat o výšce baterie je měření prováděno dvěma různými operátory ve všech čtyřech rozích baterie dvakrát. Celkem bylo měření provedeno u 20 ks baterií pro nákladní vozidla. Zkrácená ukázka sesbíraných dat je znázorněna pomocí tabulky 9.

Tab. 9: Ukázka sesbíraných dat

Baterie	Část	Operátor	Hodnota	Baterie	Část	Operátor	Hodnota
1	A-	1	194,82	1	A-	2	194,85
	A-	1	194,85		A-	2	194,83
	B+	1	194,80		B+	2	194,81
	B+	1	194,78		B+	2	194,81
	C	1	194,87		C	2	194,86
	C	1	194,80		C	2	194,89
	D	1	194,43		D	2	194,40
	D	1	194,53		D	2	194,50
2	A-	1	194,68	2	A-	2	194,65
	A-	1	194,69		A-	2	194,67
	B+	1	194,77		B+	2	194,80
	B+	1	194,70		B+	2	194,79
	C	1	194,80		C	2	194,79
	C	1	194,82		C	2	194,82
	D	1	194,61		D	2	194,60
	D	1	194,63		D	2	194,61
3	A-	1	194,83	3	A-	2	194,78
	A-	1	194,78		A-	2	194,75
	B+	1	194,58		B+	2	194,55
	B+	1	194,59		B+	2	194,57
	C	1	195,28		C	2	195,33
	C	1	195,31		C	2	195,34
	D	1	194,29		D	2	194,36
	D	1	194,31		D	2	194,35

Zdroj: vlastní zpracování.

Ověření měřicího systému

Pro ověření systému měření zlepšovateľský tým zvolil statistickou metodu *Gage R&R study* (opakovatelnost a reprodukovateľnost). Výpočty byly provedeny pomocí statistického softwaru Minitab. V první části analýzy systému měření je provedena dvoufaktorová analýza rozptylu s interakcí. Výsledkem této analýzy je, že vzájemná interakce mezi operátorem a vzorkem je nevýznamná. Dále ze studie vyplynulo, že pouze 3 % variability jsou způsobena chybou měřicího systému. Většina variability (97 %) je způsobena rozdílem mezi jednotlivými měřeními částmi. Vliv operátora na výsledek měření se také neprokázal. Výsledkem analýzy měřicího systému je, že navržený měřicí systém je dostačující. Zjištěné výstupy z analýz jsou zobrazeny na obrázku 11.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
sample	19	3,48581	0,183463	102,993	0,000
operator	1	0,00041	0,000405	0,227	0,639
sample * operator	19	0,03385	0,001781	1,725	0,073
Repeatability	40	0,04130	0,001032		
Total	79	3,56136			

Vzájemná interakce mezi operátorem a vzorkem je nevýznamná. (P-Value > 0,05)

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0014069	3,00
Repeatability	0,0010325	2,20
Reproducibility	0,0003744	0,80
operator	0,0000000	0,00
operator*sample	0,0003744	0,80
Part-To-Part	0,0454205	97,00
Total Variation	0,0468274	100,00

Jen malá část variability je způsobena chybou měřicího systému.

Variabilita je z převážné míry způsobena rozdílem mezi jednotlivými měřeními částmi.

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,037509	0,22505	17,33
Repeatability	0,032133	0,19280	14,85
Reproducibility	0,019350	0,11610	8,94
operator	0,000000	0,00000	0,00
operator*sample	0,019350	0,11610	8,94
Part-To-Part	0,213121	1,27873	98,49
Total Variation	0,216396	1,29838	100,00

Number of Distinct Categories = 8

Obr. 11: Analýza měřicího systému (interní dokumenty)

Současný stav procesu

Aby bylo možné daný proces dále analyzovat a určit přesnější cíle projektu, je nutné zjistit jeho současný výkon. Původní stav také poslouží k porovnání s procesem po zlepšení a ověření, zdali bylo dosaženo stanovených cílů.

V tomto projektu jsou dostupná historická data o počtu zmetků způsobených netěsností baterií pro nákladní vozidla. Jako znak jakosti je tedy sledováno to, zdali je baterie těsná nebo netěsná. Z toho plyne, že se jedná o diskrétní data (nespojité), přesněji o data atributivní. Sledovaný znak jakosti může nabývat pouze dvou obměn: těsná baterie nebo netěsná baterie. Pro určení současného stavu procesu přivaření víka na monoblok baterie je zvolen ukazatel míry zmetkovitosti. Jedná se tedy o podíl netěsných baterií vzhledem

k počtu vyrobených baterií vyjádřený v procentech. Dále byl zvolen ještě ukazatel PPM (angl. *Parts Per Million*), který vyjadřuje počet netěsných baterií z jednoho milionu vyrobených baterií.

Pomocí softwaru Minitab byla zpracována data za posledních šest měsíců o počtu netěsných baterií pro nákladní vozidla ze tří montážních linek, na kterých se tyto baterie kompletují. Na základě těchto dat byla určena současná způsobilost procesu, hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10: Současná způsobilost procesu

Ukazatel	Současný stav	Cíl projektu
Míra zmetkovitosti	0,10430 %	0,07301 %
PPM	1043	730

Zdroj: vlastní zpracování.

Současná způsobilost procesu vyjádřená pomocí míry zmetkovitosti je 0,1043 %. Cílem projektu je snížit podíl netěsných baterií pro nákladní vozidla nejméně o 30 %, tudíž by proces po zlepšení měl dosahovat hodnoty 0,07301 %. Hodnoty týkající se aktuální způsobilosti procesu jsou velmi důležité nejen pro následnou analýzu a generování potenciálních příčin, ale i pro konečné porovnání procesu po zlepšení s původním procesem.

2.5 Analyze

Poté, co byla identifikována a sesbírána důležitá data v předchozí fázi, přichází na řadu fáze analýzy. V této fázi se identifikují potenciální příčiny, ze kterých jsou následně vybrány ty, které mají největší vliv na netěsnost baterií pro nákladní vozidla. Dále se statisticky testuje vliv těchto příčin na daný problém určený ke zlepšení. Výstupem fáze analýzy je seznam statisticky ověřených kořenových příčin, které způsobují netěsnost baterií pro nákladní vozidla.

Hledání potenciálních příčin

Pro generování potenciálních příčin lze využít několika metod. V tomto projektu je použit Ishikawův diagram. Pro hledání možných příčin je na začátku proveden týmový brainstorming, při kterém jsou veškeré návrhy členů týmu zaznamenány pro jejich další zpracování. Poté jsou odstraněny návrhy, které se opakují a jsou identifikovány hlavní kategorie příčin, tj. materiál, lidé, stroje a metody. Ishikawův diagram nemá v tomto případě klasickou podobu rybí kosti, ale pro účely následného hodnocení jsou potenciální příčiny zpracovány do tabulky 11, aby se s nimi mohlo dále pracovat.

Pro redukci potenciálních příčin je vytvořen systém hodnocení, kde je hodnocen vliv jednotlivých příčin na problém netěsnosti baterií. Hodnotitelé se rozhodují na základě znalostí a zkušeností s daným procesem. Vliv jednotlivých příčin na definovaný problém je bodován od 1 do 5, přičemž 1 značí minimální vliv příčiny na netěsnost baterií a 5 velmi významný vliv dané příčiny na problém netěsnosti baterií pro nákladní vozidla.

Tab. 11: Potenciální příčiny netěsnosti baterií

Potenciální příčina		VH MO	VH MO	PI FO	VH FO	PI MO	OP 1	OP 2	OP 3	Sum
Materiál	Ohnuté víko									
	Ohnutý monoblok									
	Poškozené víko								5	5
	Kvalita víka a monobloku		3		3	3			2	11
	Poškozený monoblok								5	5
	Různé rozměry monobloků	3	3			3		3		12
	Špatná pozice víka vůči monobloku baterie	5	5			5				15
	Výška baterie			4		5		3		12
	Otřepty na víku a monobloku									
	Lidé	Neproškolení operátoři								
Nekonzentrování operátorů										
Žádná analýza netěsností od auditorů na formaci a dokončování										
Stroje	Krátký čas natavení	5	5			5	5	3		23
	Nízký hydraulický tlak	5	5			5	5	3		23
	Nečistoty na topné desce	5	5			3	3	3		19
	Teplota topné desky	5	5			5	5	3		23
	Prodleva mezi natavením a přitlačením	5	5			5				15
Metody	Ostré hrany na přepravním páse na lince formace a dokončování			3						3
	Manipulace s bateriemi s úchopem za víko			3						3
	Úniky na spodku baterie způsobené ostrými výstupky na paletě			3						3
	Spálení víka při formační lázni			3						3
	Skladování monobloků v nevhodných podmínkách (venku/uvnitř)			5	5		3	3	3	19
VH MO – vedoucí výrobní haly montáž PI MO – procesní inženýr montáž VH FO – vedoucí výrobní haly formace a dokončování OP – Operátor					1 – nízký vliv 5 – vysoký vliv					

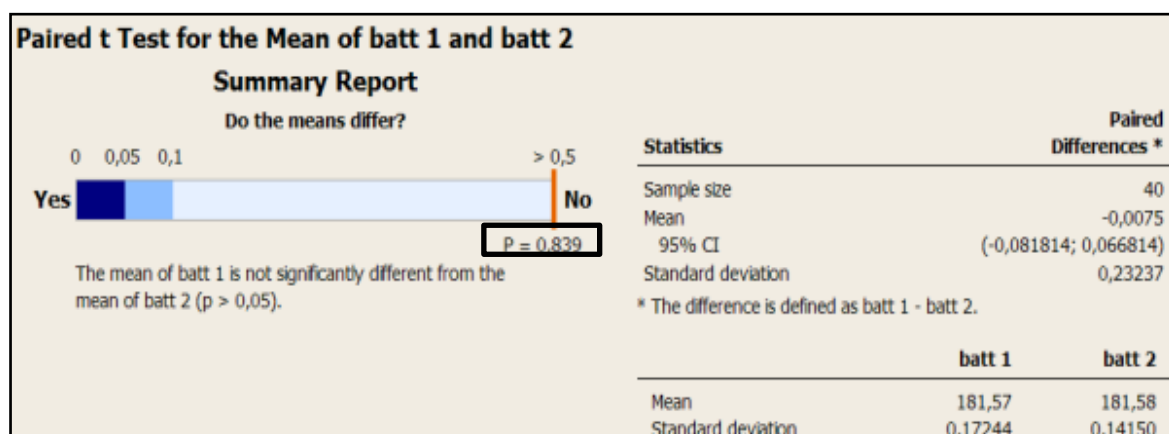
Zdroj: vlastní zpracování.

Příčiny, ke kterým nebyly přiřazeny žádné body, jsou považovány hodnotitelem za nevýznamné. V tabulce jsou vyznačeny potenciální příčiny, které získaly nejvíce bodů, a ty jsou také určeny k následné analýze. U vybraných potenciálních příčin se pomocí softwaru Minitab statisticky ověřuje, jestli skutečně ovlivňují zkoumaný znak jakosti, kterým je těsnost baterie.

Příčina X1: Různé rozměry monobloků baterií

U první potenciální příčiny je zkoumáno, zdali se liší rozměry monobloků. K otestování této hypotézy se použije párový T-test neboli test shody dvou průměrů. Někdy se stane, že monobloky pro jeden typ akumulátoru mohou mít různou výšku. To by vedlo ke špatnému tepelnému přivaření víka k monobloku baterie. Pro tento test jsou použity náhodně vybrané monobloky ze dvou různých palet od jednoho dodavatele. Nejprve je změřena výška monobloků a na základě sesbíraných dat je proveden test.

- $H_0: \mu_a = \mu_b$, průměrná výška monobloků z první palety je stejná jako průměrná výška monobloků z druhé palety.
- $H_1: \mu_a \neq \mu_b$, průměrná výška monobloků z první palety se významně liší od průměrné výšky monobloků z druhé palety.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).



Obr. 12: Ověření příčiny X1 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je 0,839 a je vyšší než hladina významnosti testu 0,05, proto nulová hypotéza není zamítnuta a alternativní hypotéza není přijata. Výsledek testu neprokázal, že

by zde byl významný rozdíl mezi průměrnou výškou monobloků baterií. Z toho plyne, že se vliv této potenciální příčiny na netěsnost baterií pro nákladní vozidla neprokázal.

Příčina X2: Špatná pozice víka vůči monobloku baterie

V případě druhé potenciální příčiny se zkoumá, jestli nevhodná pozice víka vůči monobloku baterie či nevhodná pozice monobloku má významný vliv na netěsnost baterií. Ojedinele se může stát, že monoblok baterie je zastaven na nepřesné pozici nebo víko je špatně zasazeno do držáku vík. Poté by mohlo dojít ke špatnému natavení a po spojení obou dílů k netěsnosti baterie.

K testování byly určeny dvě skupiny baterií. V první skupině se zkoumalo sváření celkem 70 ks baterií a ve druhé skupině 100 ks baterií. V obou případech nenastala ani jedna situace, že by bylo víko přivařeno ve špatné pozici vzhledem k monobloku baterie. Na základě testu se neprokázal významný vliv této příčiny na netěsnost baterií.

Příčina X3: Nečistoty na topné desce

Během sváření mohou na topné desce zůstat zbytky roztaveného plastu z víka či monobloku. V tomto testu je potřeba ověřit, zdali nečistoty na topné desce mají významný vliv na netěsnost baterie. Pro ověření této potenciální příčiny je v softwaru Minitab zvolen test dvou podílů (angl. *2 Proportions Test*), který slouží k určení toho, jestli se podíl například vadných výrobků u dvou skupin liší.

Nejprve je sledováno přivaření víka u 50 ks baterií bez jakékoli kontroly nebo odstranění nečistot z topné desky. Celkem v pěti případech došlo ke špatnému svaření víka a monobloku. Nečistoty na topné desce vedou po svaření ke vzniku plastových otřepů okolo baterie, což má pravděpodobně dopad na netěsnost baterií. U sváření dalších 50 ks baterií byla topná deska pravidelně kontrolována a čištěna, a proto nedošlo ani v jednom případě ke vzniku defektu. Na základě těchto dat je proveden *2 Proportions Test*, aby byl statisticky ověřen vliv nečistot na topné desce na netěsnost baterií.

- H_0 : $p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny bez čištění topné desky je stejný jako u skupiny s pravidelným čištěním topné desky.
- H_1 : $p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny bez čištění topné desky není stejný jako u skupiny s pravidelným čištěním topné desky.

- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	5	50	0,100000
2	0	50	0,000000

1 – bez odstranění nečistot
2 – s odstraněním nečistot

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0,1
95% CI for difference: (0,0168458; 0,183154)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2,36 P-Value = 0,018

Obr. 13: Ověření příčiny X3 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je 0,018, a je nižší než 0,05, tudíž je možné s 95 % pravděpodobností zamítnout hypotézu H_0 a přijmout hypotézu H_1 . Potenciální příčina byla potvrzena a v následující fázi zlepšování metodiky DMAIC bude potřeba zavést určitá protiopatření, aby plastové nečistoty na topné desce nezpůsobovaly netěsnost baterií pro nákladní vozidla.

Příčina X4: Nízká teplota topné desky

U další potenciální příčiny je potřeba ověřit, jestli nižší teplota topné desky má významný vliv na netěsnost baterií. Víko a monoblok se natavují na topné desce po určitou dobu a poté jsou k sobě přitisknuty pod určitým tlakem. Teplota topné desky se nastavuje v definovaných limitech podle jednotlivých typů baterií. Pro test byla teplota na stroji pro přivaření vík snížena z 370 °C na 365 °C u jednoho typu baterií. Tato simulace představuje nestabilní teplotu topné desky při běžné výrobě, která závisí na elektrickém proudu. Změna teploty topné desky trvá přibližně 10 minut.

Nízká teplota by mohla způsobit nedostatečné natavení víka a monobloku a to by mohlo vést k netěsnosti baterie. Nízká teplota topné desky může být způsobena špatným nastavením stroje operátorem, kolísáním elektrického proudu či mechanickými a elektrickými poruchami. Opět je zvolen *2 Proportions Test* pro ověření této příčiny. Sleduje se počet nevyhovujících baterií za normálních podmínek a poté při snížené teplotě topné desky.

- $H_0: p_a = p_b$, podíl netěsných baterií u skupiny se standardní teplotou je stejný jako u skupiny se sníženou teplotou topné desky.
- $H_1: p_a \neq p_b$, podíl netěsných baterií u skupiny se standardní teplotou není stejný jako u skupiny se sníženou teplotou topné desky.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	0	200	0,000000
2	0	60	0,000000

1 – standardní teplota

2 – nižší teplota

```
Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0
95% CI for difference: (*; *)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = * P-Value = *
```

* NOTE * The normal approximation may be inaccurate for small samples.

Fisher's exact test: P-Value = 1,000

Obr. 14: Ověření příčiny X4 (interní dokumenty)

Při nastavení teploty topné desky na standardní hodnotu bylo testováno celkem 200 ks baterií a po snížení teploty bylo otestováno dalších 60 ks baterií. V obou případech nedošlo ani k jednomu defektu, tudíž poměr vadných a testovaných kusů je v obou skupinách stejný. Hodnota P-Value je vyšší než 0,05, proto nulová hypotéza není zamítnuta a alternativní hypotéza není přijata. Pomocí testu nebylo prokázáno, že by snížená teplota topné desky měla významný vliv na netěsnost baterií.

Příčina X5: Nízký hydraulický tlak

Další potenciální příčinou je nízký hydraulický tlak a jeho vliv na netěsnost baterií. Víko je po nastavení přitlačeno na monoblok baterie pod požadovaným tlakem. Nastavení hydraulického tlaku by mohlo ovlivňovat těsnost baterií nebo způsobit nedodržení tolerancí pro výšku baterie.

Vyžadovaný limit u hydraulického tlaku při přivařování víka je 0,6–1,0 MPa. Pro určitý typ baterií je nastaven tlak na 0,95 MPa. Aby se ověřil vliv nižšího tlaku na netěsnost

baterií, bylo nastavení změněno na 0,85 MPa. V obou případech se test provedl u 100 ks baterií. Při původním nastavení došlo k defektu u 4 ks baterií, po snížení tlaku byly všechny testované kusy v pořádku.

- H_0 : $p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny s původním nastavením tlaku je stejný jako u skupiny se sníženým tlakem.
- H_1 : $p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny s původním nastavením tlaku není stejný jako u skupiny se sníženým tlakem.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	4	100	0,040000
2	0	100	0,000000

1 – hydraulický tlak 0,95 MPa
2 – hydraulický tlak 0,85 MPa

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0,04
95% CI for difference: (0,00159271; 0,0784073)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2,04 P-Value = 0,041

Obr. 15: Ověření příčiny X5 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je nižší než 0,05, tudíž H_0 se zamítá a H_1 se přijímá. Z výsledku testu vyplývá, že nižší tlak má pozitivní vliv na přivaření víka. Díky snížení hydraulického tlaku se odstranil zbytečně veliký nápor na baterii během sváření. Pomocí testu bylo prokázáno, že tato příčina má vliv na netěsnost baterií při sváření víka a monobloku baterie.

Příčina X6: Krátký čas natavení

Další možnou příčinou vzniku netěsností je krátký čas natavení. Testuje se určitý typ baterie a pro zkoušku byl nastaven nižší limit pro dobu natavení víka a monobloku baterie. Nastavení teploty se odvíjí od typu baterie. V tomto případě byla doba tavení snížena ze čtyř sekund na tři sekundy. Je potřeba ověřit, jestli kratší doba natavení může způsobit nedostatečné spojení mezi monoblokem a víkem.

- H_0 : $p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny testovaných baterií s nastaveným standardním časem natavení je stejný jako u skupiny se sníženým časem natavení.

- $H_1: p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny testovaných baterií s nastaveným standardním časem natavení není stejný jako u skupiny se sníženým časem natavení.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Sample	X	N	Sample p
1	0	50	0,000000
2	10	10	1,000000

1 – standardní čas natavení
2 – zkrácený čas natavení

```
Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: -1
95% CI for difference: (*; *)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = * P-Value = *
```

* NOTE * The normal approximation may be inaccurate for small samples.

Fisher's exact test: P-Value = 0,000

Obr. 16: Ověření příčiny X6 (interní dokumenty)

První vzorek obsahuje 50 ks baterií a při nastavení standardní doby natavení nedošlo ani k jednomu defektu. Po snížení doby natavení bylo vyřazeno 10 z 10 testovaných baterií. Pokud se nastaví kratší čas natavení, stroj pro přivaření víka použije automaticky vyšší tlak pro přitlačení víka k monobloku baterie a to má vliv na výšku baterie. Baterie byly tudíž vyřazeny, protože neprošly kontrolou výšky baterie a pólů. Hodnota P-Value vyšla nižší než 0,05, proto je na hladině významnosti 5 % nulová hypotéza zamítnuta a alternativní hypotéza přijata.

Příčina X7: Skladování monobloků v nevhodných podmínkách

Monobloky vyžadují určité podmínky skladování – teplota min. 5 °C a max. 30 °C, vlhkost max. 70 %, zabránit působení UV záření (přímé sluneční světlo). Některé palety s monobloky jsou umístěny venku mimo sklad a v případě působení velmi nízkých či naopak velmi vysokých teplot by mohly být poškozeny. Je tedy vhodné vliv této potenciální příčiny na netěsnost baterií také ověřit. Je otestováno 50 baterií, které byly skladovány venku při nízkých teplotách a dalších 50 kusů, které byly uloženy ve skladu v požadovaných podmínkách.

- H_0 : $p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny testovaných baterií, které byly skladovány venku, je stejný jako u skupiny baterií umístěných ve skladu.
- H_1 : $p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny testovaných baterií, které byly skladovány venku, není stejný jako u skupiny baterií umístěných ve skladu.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

```
Sample X N Sample p
1 0 50 0,000000
2 0 50 0,000000
```

1 – nízká venkovní teplota
2 – normální podmínky ve skladu

```
Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0
95% CI for difference: (*; *)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = * P-Value = *
```

* NOTE * The normal approximation may be inaccurate for small samples.

Fisher's exact test: P-Value = 1,000

Obr. 17: Ověření příčiny X7 (interní dokumenty)

V obou případech nedošlo ani k jednomu defektu. Hodnota P-Value je vyšší než 0,05, z toho důvodu se H_0 nezamítá a H_1 nepřijímá. Statistický test neprokázal, že by existoval významný vliv nevhodného skladování monobloků na netěsnost baterií.

Příčina X8: Prodleva mezi natavením a přitlačením

V případě této příčiny je nutné analyzovat, zdali prodleva mezi natavením a přitlačením víka k monobloku má významný vliv na netěsnost baterií. Je proveden experiment, u kterého se zkrátily pohyby držáku vík po natavení. V procesu přivaření víka na monoblok baterie se držák vík po natavení víka na topné desce zvedne svisle vzhůru až do základní pozice, topná deska se vrací zpět do základní pozice mimo víko a monoblok a víko je přitlačeno směrem dolů na monoblok baterie. Čas po natavení a před přitlačením by bylo vhodné snížit, aby se zabránilo chladnutí natavených stran víka a monobloku.

V rámci experimentu byla provedena úprava pohybu držáku vík vzhůru, a to tak, že se držák vík nevrací až nahoru do výchozí pozice, ale zvedne se pouze o kousek výše nad pozici, při které probíhalo natavení víka. Díky této úpravě by nemělo docházet k chladnutí

natavených stran před přitlačením víka na monoblok. Nejprve byl proveden test s původním nastavením a z 300 baterií byly celkem 4 nevyhovující. Poté, co došlo ke zkrácení pohybu držáku vík a tím pádem i ke zkrácení času mezi natavením a přitlačením víka k monobloku, bylo všech 300 svařených baterií v pořádku.

- $H_0: p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny s původním nastavením polohy držáku vík po natavení je stejný jako u skupiny testovaných baterií, kde došlo ke zkrácení pohybu držáku vík.
- $H_1: p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny s původním nastavením polohy držáku vík po natavení není stejný jako u skupiny testovaných baterií, kde došlo ke zkrácení pohybu držáku vík.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	4	300	0,013333
2	0	300	0,000000

1 – původní nastavení

2 – nová úprava nastavení

```
Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0,0133333
95% CI for difference: (0,000354309; 0,0263124)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2,01 P-Value = 0,044
```

Obr. 18: Ověření příčiny X8 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je nižší než 0,05, tudíž je zamítnuta H_0 a přijata H_1 . Z výsledku testu vyplývá, že zkrácení času mezi natavením a přitlačením má pozitivní dopad na svaření víka a monobloku. Pokud se odstraní zbytečný pohyb držáku vík zpět do výchozí pozice po natavení, tak se dosáhne lepšího spojení těchto dvou komponent.

Příčina X9: Vliv nastavení svářecího stroje

Aby bylo možné měnit nastavení stroje pro přivaření vík, je nutné znát výchozí nastavení pro každý typ baterie. Po diskuzi s operátory a údržbáři se zjistilo, že není k dispozici dokument, kde by byla uvedena veškerá nastavení svářecího stroje pro všechny vyráběné typy baterií. Jako pomůcku mají pracovníci k dispozici pouze seznam tolerancí jednotlivých parametrů nastavení svářecího stroje pro některé typy baterií (např. tolerance

pro nastavení teploty topné desky, doby natavení, velikosti tlaku a doby lisování). Po konzultaci s vedoucím úseku montáž se dospělo k závěru, že nebude vhodné manipulovat s nastavením svářecího stroje. Je totiž velice obtížné správně a přesně provést kalibraci stroje a dokonce i malé změny v nastavení mohou vést ke vzniku šrotu.

Z tohoto důvodu by bylo vhodné vytvořit určitý dokument, který by obsahoval kompletní nastavení tohoto stroje pro jednotlivé typy vyráběných baterií. V případě, že se mění typ montované baterie, je potřeba změnit celý program na stroji. Velmi často se stává, že operátoři musejí provádět složité úpravy hodnot v nastavení programu (např. různé pozice, časy) a najít optimální nastavení stroje pro daný typ baterie. Při této kalibraci dochází k tvorbě šrotu, což je nežádoucí. Dokument by byl tedy užitečný pro operátory, údržbáře i vedoucí pracovníky při kontrole či kalibraci stroje. Z této analýzy vyplývá, že nastavení stroje má vliv i na netěsnost baterií.

Příčina X10: Výška baterie

Poslední potenciální příčinou určenou k analýze je vliv výšky baterie na její netěsnost. Je proveden opět *2 Proportions Test*. Pro ověření vlivu této příčiny byl zkoumán počet netěsných baterií nejprve u tisíce kusů baterií o výšce 194 mm a pak u tisíce kusů baterií o výšce 195 mm. U prvního vzorku došlo k netěsnosti ve čtyřech případech a u druhého v šesti.

- $H_0: p_a = p_b$, podíl netěsných baterií u skupiny s výškou baterií 194 mm je stejný jako u skupiny s výškou baterií 195 mm.
- $H_1: p_a \neq p_b$, podíl netěsných baterií u skupiny s výškou baterií 194 mm se výrazně liší od podílu netěsných baterií u skupiny s výškou baterií 195 mm.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions (Sample 1: Flatness 194 mm / sample 2: Flatness 195 mm)

Sample	X	N	Sample p
1	4	1000	0,004000
2	6	1000	0,006000

1 – výška baterie = 194 mm

2 – výška baterie = 195 mm

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: -0,002
95% CI for difference: (-0,00818181; 0,00418181)
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0,63 P-Value = 0,526

Obr. 19: Ověření příčiny X10 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value vyšla v tomto případě vyšší než 0,05 a proto není H_0 zamítnuta a H_1 není přijata. Provedení statistického testu nepřineslo žádné výsledky, které by naznačovaly významný vliv výšky baterie na její těsnost.

Ve fázi analýzy byly identifikovány možné příčiny vzniku netěsností u baterií pro nákladní vozidla. Po ohodnocení závažnosti jednotlivých příčin byly vybrány ty, které bylo nutné dále statisticky ověřit. U následujících potenciálních příčin byl vliv na netěsnost baterií statisticky prokázán:

- příčina X3: Nečistoty na topné desce,
- příčina X5: Nízký hydraulický tlak,
- příčina X6: Krátký čas natavení,
- příčina X8: Prodleva mezi natavením a přitlačením,
- příčina X9: Vliv nastavení svářečského stroje.

K těmto pěti příčinám je nutné v další fázi nalézt řešení, aby nadále nedocházelo k netěsnosti baterií pro nákladní vozidla.

2.6 Improve

Ve fázi zlepšování se hledají možná řešení jednotlivých potenciálních příčin, které byly analyzovány v předchozí fázi. Hledají se taková preventivní a nápravná opatření, která jsou co nejefektivnější, nejsnáze implementovatelná a nevyžadují obrovské náklady. Je důležité zajistit, aby budoucí zlepšující opatření nijak negativně neovlivnila úroveň produkce

baterií pro nákladní automobily za den. Po nalezení optimálních řešení pro jednotlivé příčiny následuje jejich postupná implementace a hlavně ověření toho, jestli fungují. Navržená řešení se budou testovat na montážních linkách, kde se baterie pro nákladní vozidla kompletují. Po částečné implementaci jednotlivých řešení musí baterie projít dvěma kontrolami těsnosti. První kontrola je prováděna vzduchem ke konci procesu montáže a druhá kontrola těsnosti baterie je prováděna během formace a dokončování vysokým napětím.

2.6.1 Řešení jednotlivých příčin

Následuje řešení pouze těch příčin, které byly v předchozí fázi ověřeny, a byl u nich prokázán vliv na netěsnost baterií. Jednotlivá řešení jsou výsledkem týmových porad a diskuzí.

Častá kontrola a čištění topné desky (řešení příčiny X3)

V předchozí fázi analýzy bylo ověřeno, že plastové nečistoty na topné desce mají vliv na těsnost baterií. Doposud operátoři nečistili topnou desku od kousků nataveného plastu, které tam zůstávaly. Zlepšovatelství tým navrhnul opatření k eliminaci této příčiny v podobě pravidelného sledování a čištění topné desky. Operátoři by měli být zodpovědní za pravidelnou vizuální kontrolu každou hodinu a za čištění topné desky škrabkou. Také by se měl sledovat výskyt plastových otřepů okolo sváru baterie, které nejsou povoleny zákazníkem (formace a dokončování).

Dále je potřeba toto řešení statisticky ověřit. V testu *2 Proportions* se sleduje počet netěsných baterií před a po zavedení pravidelné vizuální kontroly a čištění topné desky. Před zavedením pravidelného čištění byly ze 100 ks baterií celkem 4 baterie odmítnuty z důvodu netěsnosti. V případě, když probíhala pravidelná kontrola a čištění topné desky každou hodinu, nedošlo v testovaném vzorku o počtu 220 ks baterií ani k jednomu případu netěsnosti.

- $H_0: p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny bez čištění topné desky je stejný jako u skupiny se zavedeným protiopatřením v podobě pravidelného čištění topné desky.

- $H_1: p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny bez čištění topné desky není stejný jako u skupiny se zavedeným protiopatřením v podobě pravidelného čištění topné desky.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	4	100	0,040000
2	0	220	0,000000

1 – bez čištění topné desky

2 – pravidelné čištění topné desky

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0,04

95% CI for difference: (0,00159271; 0,0784073)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2,04 P-Value = 0,041

Obr. 20: Ověření řešení příčiny X3-1 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je nižší než 0,05, takže nulová hypotéza se zamítá a alternativní hypotéza se přijímá. Z výsledků testu plyne, že pravidelná kontrola a čištění topné desky škrabkou od plastových nečistot má pozitivní vliv na snížení počtu netěsných baterií pro nákladní vozidla.

Dále je proveden ještě jeden test, kde se sleduje počet baterií s plastovými ořepky okolo sváru. Bez čištění topné desky došlo k tomuto defektu u 23 ks baterií ze 100 testovaných. Po zavedení navrženého opatření se u 220 ks testovaných baterií neobjevil žádný plastový ořep.

- $H_0: p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl baterií s plastovými ořepky okolo sváru u skupiny bez čištění topné desky je stejný jako u skupiny se zavedeným protiopatřením v podobě pravidelného čištění topné desky.
- $H_1: p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl baterií s plastovými ořepky okolo sváru u skupiny bez čištění topné desky není stejný jako u skupiny se zavedeným protiopatřením v podobě pravidelného čištění topné desky.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	23	100	0,230000
2	0	220	0,000000

1 – bez čištění

2 – pravidelné čištění topné desky

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0,23

95% CI for difference: (0,147518; 0,312482)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 5,47 P-Value = 0,000

Obr. 21: Ověření řešení příčiny X3-2 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je nižší než 0,05 a proto se na hladině významnosti 5 % H_0 zamítá a H_1 se přijímá. Druhým testem je prokázáno, že pravidelná vizuální kontrola a čištění topné desky každou hodinu snižuje výskyt baterií s plastovými otřepy.

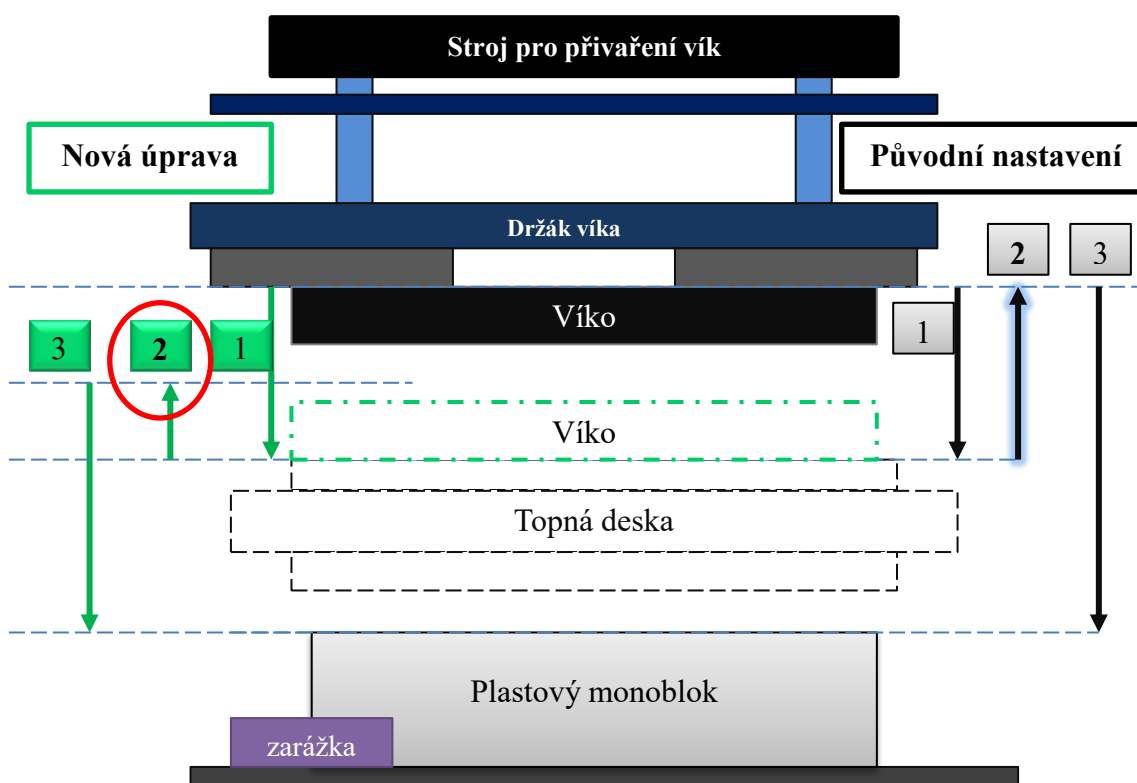
Na základě těchto testů bylo prokázáno, že navržené řešení funguje dobře. Operátoři jsou zodpovědní za pravidelnou vizuální kontrolu a odstranění plastových nečistot z topné desky minimálně každou hodinu. Operátoři musejí také při vyplňování směnového protokolu uvést časy, kdy bylo čištění během směny prováděno.

Nové nastavení pro nižší hydraulický tlak (řešení příčiny X5)

Během analýzy vlivu velikosti hydraulického tlaku na počet netěsných baterií se zjistilo, že odstranění zbytečně velkého tlaku při přivařování víka vede ke snížení počtu netěsných baterií. Jak již bylo zmíněno, operátoři mají k dispozici pouze dokument s limity jednotlivých parametrů nastavení svářečského stroje. Limity pro hydraulický tlak používaný pro přilísování víka na monoblok baterie jsou 0,6–1,0 MPa. Snížením tlaku z 0,95 MPa na 0,85 MPa pro určitý typ baterie se odstranil zbytečně velký nápor na baterii při lisování, což bylo jednou z příčin netěsnosti baterií, jak test prokázal již ve fázi analýzy. Toto nové nastavení hydraulického tlaku pro daný typ baterie zůstává a mělo by být zavedeno i do nového seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla.

Nové nastavení pohybů držáku vík po natavení na stroji pro přivaření vík (řešení příčiny X8)

Další příčinou netěsnosti baterií je prodleva mezi natavením a lisováním víka na monoblok. Jako možné řešení bylo zlepšovacím týmem navrženo zkrácení pohybu držáku vík po natavení. Na obrázku 26 je červeně vyznačen pohyb víka držáku (pohyb č. 2), který je zkrácen a tím je odstraněna zbytečná prodleva mezi natavením a lisováním víka na monoblok. Při původním nastavení se po natavení víka vracel držák vík svisle vzhůru až do základní pozice. Po úpravě nastavení byl tento pohyb zkrácen a držák vík se po natavení víka na topné desce posune pouze o kousek nad polohu, při které probíhalo natavení.



Obr. 22: Zjednodušený náčrt stroje pro přivaření vík (vlastní zpracování)

Toto řešení je potřeba ještě statisticky ověřit. Je opět použit *2 Proportions Test* a zkoumá se počet netěsných baterií před a po zavedení tohoto nápravného opatření. Pro potvrzení toho, že navržené řešení funguje, je testováno 200 ks baterií před zavedením daného řešení, kdy bylo celkem 6 baterií vyřazeno kvůli netěsnosti. Po implementaci nového nastavení pozice držáku vík po natavení nedošlo z 200 ks baterií ani k jednomu defektu v podobě netěsnosti.

- $H_0: p_{\text{původní}} = p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny s původním nastavením polohy držáku vík po natavení je stejný jako u skupiny testovaných baterií po zavedení řešení v podobě zkrácení pohybu držáku vík.
- $H_1: p_{\text{původní}} \neq p_{\text{nový}}$, podíl netěsných baterií u skupiny s původním nastavením polohy držáku vík po natavení není stejný jako u skupiny testovaných baterií po zavedení řešení v podobě zkrácení pohybu držáku vík.
- Hladina významnosti testu je stanovena na obvyklých 5 % ($\alpha = 0,05$).

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	6	200	0,030000
2	0	200	0,000000

1 – původní nastavení
2 – nová úprava nastavení

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0,03
 95% CI for difference: (0,00635825; 0,0536417)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2,49 P-Value = 0,013

* NOTE * The normal approximation may be inaccurate for small samples.

Fisher's exact test: P-Value = 0,030

Obr. 23: Ověření řešení příčiny X8 (interní dokumenty)

Hodnota P-Value je menší než 0,05, z toho důvodu se H_0 zamítá a H_1 přijímá. Pomocí testu bylo ověřeno, že řešení v podobě zkrácení pohybu držáku vík po natavení funguje dobře a podíl netěsných baterií se snížil. Po odstranění zbytečné prodlevy mezi natavením a lisováním víka na monoblok nedochází k chladnutí natavených stran víka a monobloku a je dosaženo lepšího spojení těchto dvou komponent bez jakýchkoli netěsností. Navíc by bylo vhodné zaznamenat hodnoty nového nastavení pohybu držáku vík do seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla.

Vytvoření seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla (řešení příčiny X9 a X6)

Je velmi neefektivní měnit nastavení jednotlivých parametrů u stroje pro přivaření vík, když nejsou k dispozici údaje o výchozím nastavení. I nepatrné změny v nastavení vedou ke vzniku šrotu. Vytvoření seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy

baterií pro nákladní vozidla přispěje ke snížení šrotu v situaci, kdy se provádí přestavba linky na jiný typ baterie, protože budou k dispozici přesné údaje o nastavení jednotlivých parametrů a tím se zkrátí proces kalibrace stroje pro přivaření vík. Dále tento seznam nastavení pomůže i operátorům vrátit nastavení stroje do výchozích hodnot po předělvkách výrobků. Po vytvoření seznamu nastavení jednotlivých parametrů bude možné tyto hodnoty dále analyzovat a případně optimalizovat.

Seznam nastavení by měl obsahovat:

- všechny pozice držáku vík a topné desky,
- čas natavení,
- čas lisování,
- velikost hydraulického tlaku,
- teplotu topné desky.

Výstupem je tabulka, která je doplněna přesnými hodnotami všech parametrů pro jednotlivé typy baterií pro nákladní vozidla. Z důvodu ochrany citlivých údajů společnosti nejsou uvedeny přesné hodnoty parametrů nastavení pro jednotlivé typy baterií, proto tabulka 12 slouží pouze jako názorná ukázka provedení tohoto zlepšení.

Tab. 12: Seznam nastavení jednotlivých parametrů

Seznam nastavení jednotlivých parametrů			Typ baterie		
Část stroje	Parametr	Jednotka	A	B	C
Držák vík	Čas lisování	sec.			
	Hydraulický tlak	MPa			
	Rychle dolů k odebrání víka (svisle)	mm			
	Pomalů dolů k odebrání víka (svisle)	mm			
	S víkem nahoru (svisle)	mm			
	Rychle dolů k natavení (svisle)	mm			
	Pomalů dolů k natavení (svisle)	mm			
	Nahoru po natavení (svisle)	mm			
	Rychle dolů k lisování (svisle)	mm			
	Pomalů dolů k lisování (svisle)	mm			
Topná deska	Základní nastavení (vodorovně)	mm			
	Topná deska vepředu (vodorovně)	mm			
	Topná deska základní nastavení (svisle)	mm			
	Topná deska dolů natavit (svisle)	mm			
	Natavení pomalu (svisle)	mm			
	Teplota topné desky	°C			
	Čas natavení	sec.			

Zdroj: vlastní zpracování.

Příčina X6: krátký čas natavení se týká jednoho z parametrů nastavení stroje pro přivaření vík, konkrétně doby natavení. Čas natavení víka a monobloku měřený v sekundách je také zahrnut do seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla. Zaznamenáváním údajů o času natavení pomůže k optimalizování procesu hlavně při přestavbách linky na jiný typ baterie a při předělvkách výrobků.

2.6.2 Zhodnocení návrhů řešení

Jednotlivá navržená řešení jsou hodnocena z hlediska efektivnosti, nákladů a jednoduchosti implementace. V tabulce 13 je přehledně znázorněno hodnocení jednotlivých řešení.

Tab. 13: Zhodnocení navržených řešení

Příčina	Řešení a nápravná opatření	Efektivnost	Jednoduchost implementace	Náklady	Implementováno?	Statisticky ověřeno?
	😊 Velmi efektivní, snadno implementovatelné, nízké náklady 😐 Poměrně efektivní, docela snadno implementovatelné, přiměřené náklady ☹️ Ne příliš efektivní, těžko implementovatelné, vysoké náklady					
X3	Častá kontrola a čištění topné desky	😊	😊	😊	Ano	Ano
X5	Nové nastavení pro nižší hydraulický tlak	😊	😊	😊	Ano	Ano
X8	Nové nastavení pohybů držáku vík po natavení na svářecím stroji	😊	😊	😊	Ano	Ano
X9, X6	Vytvoření seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla	😊	😊	😊	Ano	Ne

Zdroj: vlastní zpracování.

Z prvních výsledků je zřejmé, že pravidelná kontrola a čištění topné desky a zkrácení prodlevy mezi natavením a lisováním přispívají k dosažení cíle projektu nejvíce. V poslední fázi metodiky DMAIC je nutné všechna řešení plně implementovat i pro ostatní montážní linky, na kterých se kompletují startovací baterie pro nákladní vozidla. Následně je nutné prokázat zlepšení procesu na základě dlouhodobějších dat.

2.7 Control

Hlavní náplní poslední fáze metodiky DMAIC je prokázání toho, že proces po zlepšení přináší požadované výsledky. Než je možné prokázat, že navržená řešení přispívají k dosažení cíle projektu, je potřeba sestavit implementační plán, aby bylo zajištěno kompletní zavedení navržených řešení. Následuje kontrolní plán, který slouží k monitorování jednotlivých příčin v průběhu času. Dále je potřeba sestavit novou procesní mapu se zavedenými změnami a nakonec zhodnotit výkon procesu a finanční přínosy projektu.

Implementační plán

Na začátku této fáze je nutné dokončit implementaci všech navržených a ověřených řešení, a to v celém jejich rozsahu. Implementační plán obsahuje informace a přehled o tom, která řešení byla již kompletně zavedena, a která řešení jsou potřeba ještě implementovat. Implementační plán je zpracován do přehledné tabulky 14, kde je určeno, o které řešení se jedná, jakou příčinu řeší, kde je řešení implementováno, kdy a jak je implementace provedena a kdo dané řešení zavádí. Důraz je kladen na odpovědnost za implementaci jednotlivých řešení. Určité řešení může být jakkoliv dokonalé a efektivní, ale bez jeho řádného zavedení v celém rozsahu je prakticky neúčinné.

Řešení, které se týká nového nastavení pro nižší hydraulický tlak, bylo zahrnuto v implementačním plánu do seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla (viz poslední řádek tabulky 14).

Tab. 14: Implementační plán

Příčina	Zavedené řešení	Kde	Kdy	Jak	Kdo
Nečistoty na topné desce	Častá kontrola a čištění topné desky	Montážní linka 1, 2, 3	Od 1. 1. 2015	Čištění topné desky škrabkou při výskytu plastových nečistot	Operátoři/údržba
Prodleva mezi natavením a přitlačením	Nové nastavení pohybů držáku vík po natavení na svářecím stroji	Montážní linka 1, 2, 3	Od 1. 3. 2015	Nová pozice držáku vík po natavení	Procesní technik
Vliv nastavení svářecího stroje	Seznam nastavení jednotlivých parametrů pro všechny typy baterií pro nákladní vozidla	Montážní linka 1, 2, 3	Od 1. 3. 2015	Vytvoření seznamu všech nastavení pro všechny typy baterií	Black Belt

Zdroj: vlastní zpracování.

Současně se zavedením jednotlivých řešení a nápravných opatření je také důležité proškolit operátory, pracovníky údržby i ostatní pracovníky, kterých se nově zavedená řešení týkají. Operátoři jsou proškoleni v tom, jak topnou desku čistit a také jak často. Pracovníci údržby jsou obeznámeni s novým nastavením poloh držáku vík na stroji pro přivaření vík. Po vytvoření dokumentu s nastavením jednotlivých parametrů stroje na přivaření vík pro všechny typy baterií jsou operátoři a pracovníci z údržby seznámeni s tímto dokumentem.

Kontrolní plán

Kontrolní plán je sestaven zlepšovatelem týmem, aby bylo možné monitorovat jednotlivá řešení v průběhu času. Tabulka 15 znázorňuje kontrolní plán, kde je stanoveno co, jak, kým, kde a jak často se kontroluje. Tabulka je doplněna o případná nápravná opatření, která stanovují, jak lze situaci napravit, pokud kontrola ukáže, že proces není v pořádku.

Tab. 15: Kontrolní plán

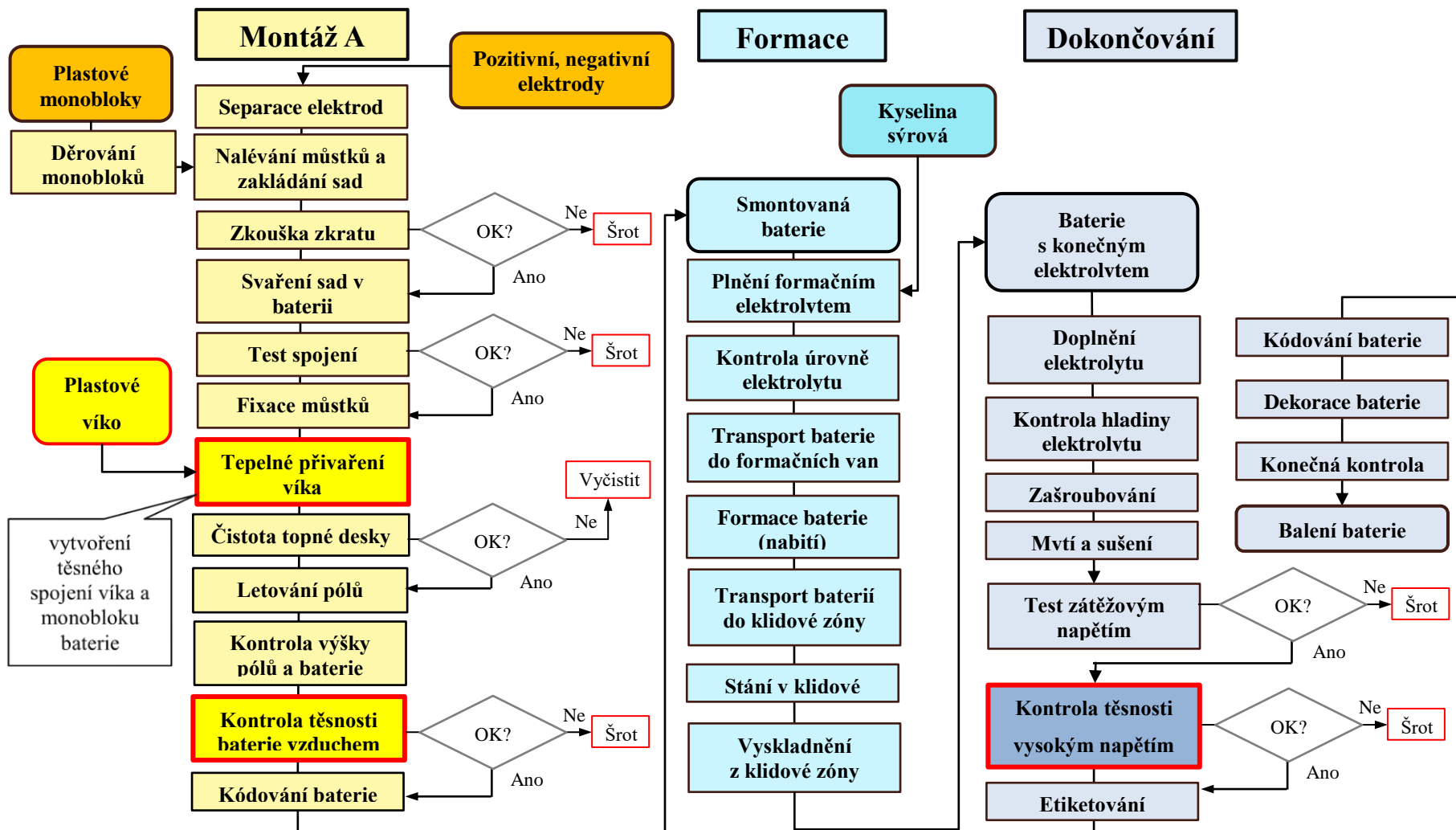
Proces	Montáž baterií pro nákladní vozidla		
Parametr	Topná deska bez platových nečistot	Plastové otřepy	Nastavení stroje pro přivaření vík
Specifikace	Plastový odpad přichycený na topné desce	Plastové otřepy okolo baterie	Parametry pro jednotlivé baterie
Metoda měření	Vizuální kontrola	Vizuální kontrola	Vizuální kontrola
Vzorek	Topná deska	Baterie	Baterie
Frekvence	Každou hodinu	Každé 2 hodiny	Po údržbě nebo předělvkách
Kdo provádí měření	Operátor	Operátor	Operátor nebo pracovník údržby
Kde se měření provádí	Montážní linka 1, 2, 3	Montážní linka 1, 2, 3	Montážní linka 1, 2, 3
Nápravná opatření	Provede se vizuální kontrola a v případě potřeby operátor musí zastavit linku a vyčistit topnou desku pomocí škrabky.	Jestliže se objeví plastové otřepy okolo baterie, operátor musí zastavit linku, vyčistit topnou desku pomocí škrabky a odstranit otřepy z baterie.	Nastavení svářečského stroje se musí řídit podle seznamu nastavení jednotlivých parametrů pro každou baterii.

Zdroj: vlastní zpracování.

V kontrolním plánu je znázorněno, co je nutné kontrolovat, aby se dospělo ke snížení počtu netěsných baterií. Pro účely kontrolního plánu je kontrola zkrácení prodlevy mezi natavením a přitlačením víka k monobloku baterie spojena s kontrolou nastavení jednotlivých parametrů stroje pro přivaření vík, protože se jedná o nastavení polohy držáku vík (viz poslední sloupec tabulky 15).

Nová procesní mapa

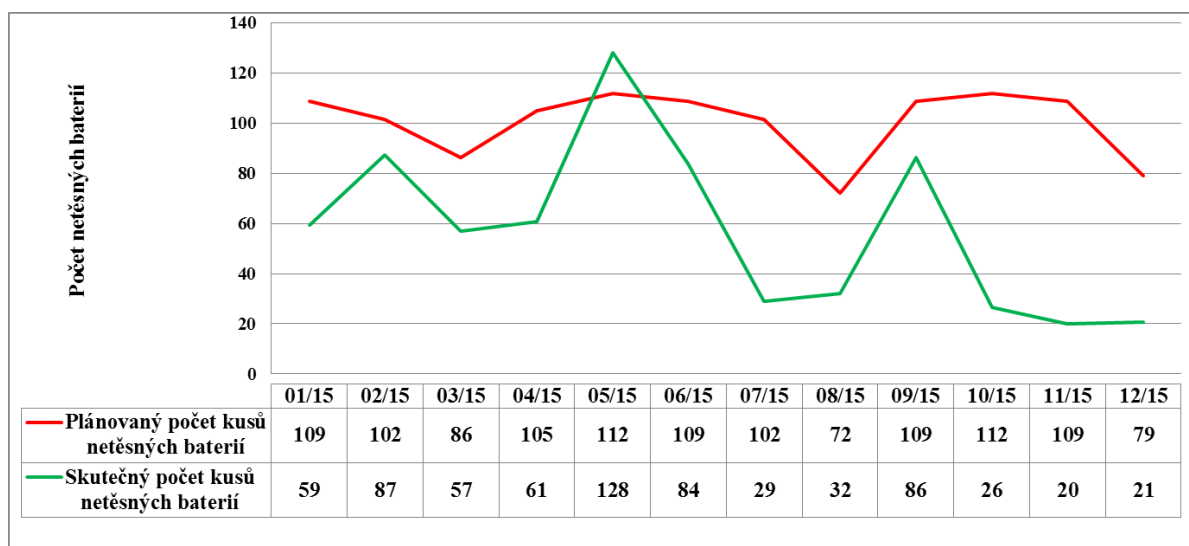
Po zavedení jednotlivých řešení je vytvořena nová procesní mapa pro přehled aktuálního procesu. Nová procesní mapa (Obr. 24) slouží také pro porovnání s procesem před zlepšením. Jediný rozdíl, který lze v procesní mapě zřetelně pozorovat, je nově implementovaná změna v podobě kontroly a čištění topné desky.



Obr. 24: Nová procesní mapa (vlastní zpracování)

Ověření procesu po zlepšení

Po zavedení všech zlepšení a vytvoření nové procesní mapy přichází na řadu monitorování optimalizovaného procesu. Jsou sbírána data o počtu netěsných baterií pro nákladní vozidla vyřazených na linkách montáž, formace a dokončování. Grafický přehled porovnání mezi plánovaným a skutečným množstvím netěsných baterií za rok 2015 je na obrázku 29.



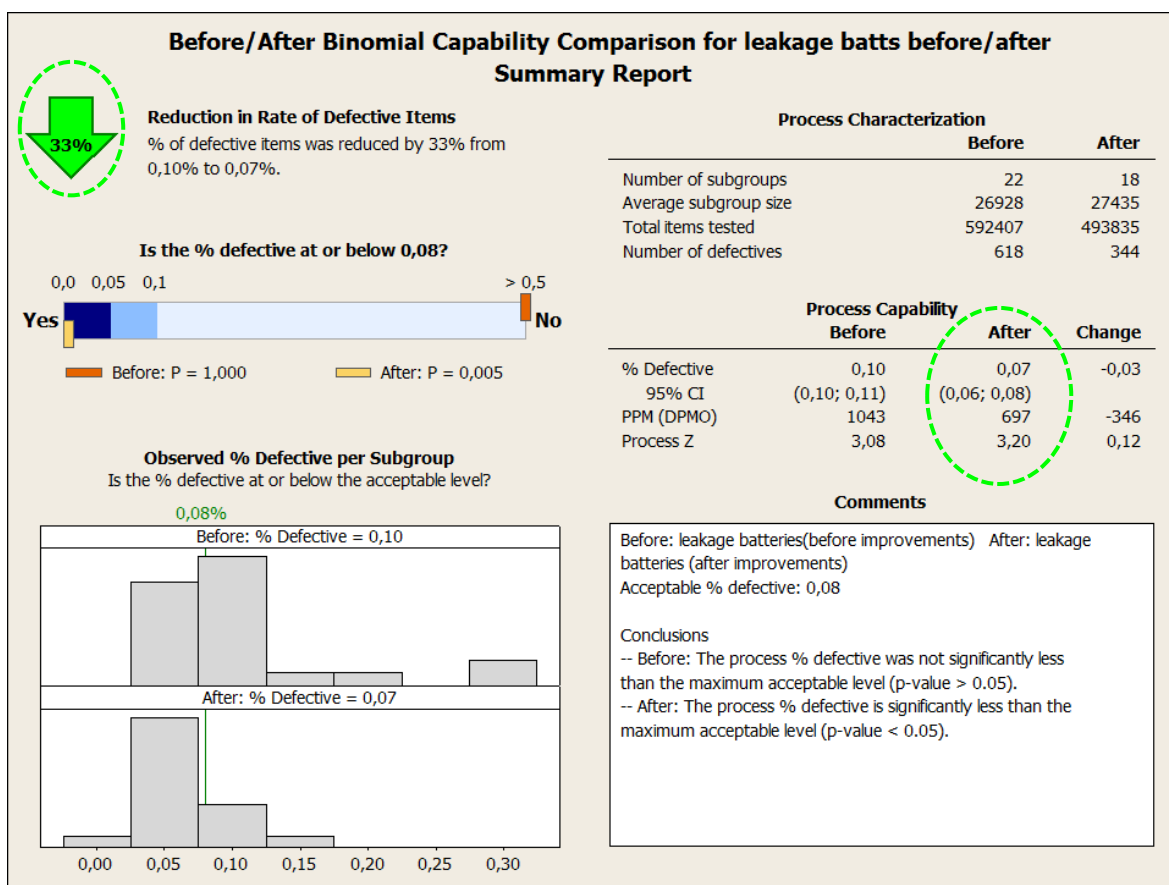
Obr. 25: Srovnání plánovaného a skutečného počtu netěsných baterií (vlastní pracování)

Z grafického porovnání je již na první pohled zřejmé, že došlo ke snížení počtu netěsných baterií pro nákladní vozidla. Plánovaný počet netěsných baterií byl odhadován za předpokladu původního výkonu procesu, tzn. při 0,1043 % podílu netěsných baterií. Zřetelný výkyv lze pozorovat v pátém měsíci roku 2015, kdy došlo ke změně vyráběného typu baterie na jedné z montážních linek. Objevily se komplikace s nastavením stroje a s kvalitou použitého materiálu, které způsobily větší počet netěsných, baterií než bylo plánováno. Tento problém byl následně odstraněn, což vyplývá z poklesu skutečného počtu kusů netěsných baterií pod počet plánovaný v šestém a dalších měsících.

Analýza dlouhodobých dat týkajících se počtu vyřazených baterií z důvodu jejich netěsnosti za určité období prokázala celkové zlepšení procesu o 33 % (viz obrázek 26). Výsledky analýzy dat o počtu netěsných baterií před (angl. *Before*) a po (angl. *After*) zlepšení procesu byly zpracovány pomocí softwaru Minitab a jsou znázorněny na obrázku 26. V přehledu je uvedeno kolik baterií bylo celkem testováno (angl. *Total items tested*), kolik z těchto baterií bylo netěsných (angl. *Number of defectives*). Dále je v přehledu

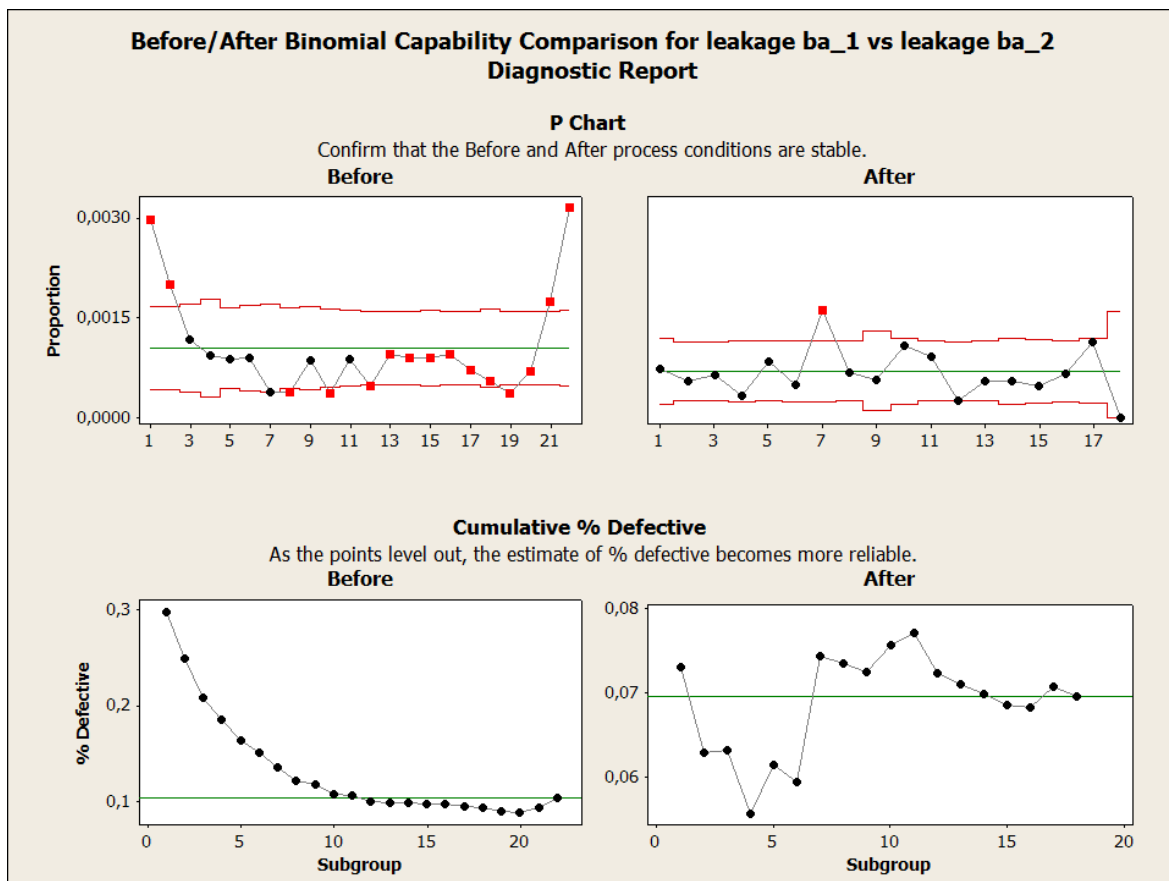
uveden údaj o počtu podskupin (angl. *Number of subgroups*) a průměrné velikosti podskupiny (angl. *Average subgroup size*). V jednotlivých podskupinách je zkoumán znak jakosti, kterým je podíl netěsných baterií pro nákladní vozidla.

Po optimalizaci procesu došlo ke snížení podílu netěsných baterií z 0,1043 % na 0,0697 %. Po zavedení všech zlepšení je způsobilost procesu na úrovni 697 PPM, jinak řečeno, z jednoho milionu vyrobených baterií pro nákladní vozidla je pouze 697 baterií netěsných.



Obr. 26: Analýza způsobilosti optimalizovaného procesu (interní dokumenty)

Z porovnání regulačních diagramů (Obr. 27) za určitá období lze pozorovat, že po optimalizaci procesu došlo ke snížení střední přímky, která představuje střední hodnotu pro podíl netěsných baterií u jednotlivých podskupin. Došlo také ke snížení počtu měření, která jsou vychýlena mimo regulační meze. Z toho vyplývá, že proces po zlepšení je stabilní.



Obr. 27: Regulační diagram procesu před a po zlepšení (interní dokumenty)

Finanční zhodnocení

Tabulka 16 znázorňuje porovnání mezi plánovanými a skutečnými úsporami. Plánované úspory vycházejí z odhadů nákladů na nekvalitu před a po snížení množství netěsných baterií pro nákladní vozidla. Původně bylo počítáno s úsporou ve výši 3,13 tis. eur, ale skutečné úspory dosáhly 8,81 tis. eur. Vyšších finančních úspor bylo dosaženo díky celkovému snížení podílu netěsných baterií o 33 %, s tím souvisejí i materiálové úspory a zvýšení produktivity procesu.

Tab. 16: Plánované a skutečné úspory za rok 2015 v tis. eur

Měsíc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Celkem
Plánované úspory	0,08	0,14	0,25	0,30	0,33	0,32	0,30	0,21	0,32	0,33	0,32	0,23	3,13
Skutečné úspory	0,85	0,25	0,38	0,63	0,00	0,42	1,22	0,67	0,38	1,54	1,54	0,92	8,81

Zdroj: vlastní zpracování.

3 Vyhodnocení Six Sigma projektu

Six Sigma projekt na snížení množství netěsných baterií lze hodnotit kladně, protože bylo dosaženo stanovených cílů. Tabulka 17 přehledně shrnuje výsledky projektu po zlepšení procesu tepelného přivaření víka k monobloku baterie. Celkově bylo dosaženo snížení podílu netěsných baterií pro nákladní vozidla o 33 % na linkách, kde se tyto baterie montují. Poznatky a zkušenosti získané během zpracování projektu by měly být použity i v ostatních částech společnosti.

Tab. 17: Shrnutí výsledků projektu

Ukazatel	Současný stav	Cíl projektu	Po zlepšení
Míra zmetkovitosti (v %)	0,1043	0,07301	0,07
PPM (v ks)	1043	730	697
Finanční úspory (v tis. eur)		3,13	8,81

Zdroj: vlastní zpracování.

Ve společnost Johnson Controls Autobaterie je metodika Six Sigma plně zavedena jako nástroj pro řízení kvality. Pracovníci z oddělení neustálého zlepšování využívají jak nástroje z metodiky DMAIC, tak i nástroje z metodiky Lean v závislosti na povaze daného projektu určeného ke zlepšení. Velkou výhodou je, že ve společnosti existuje standard v podobě otázek ke každé fázi metodiky DMAIC. Projekt je zpracován postupným zodpovídáním jednotlivých otázek ke každé fázi. Avšak znalosti a zkušenosti vedoucího projektu jsou nezbytné pro výběr správných nástrojů, pomocí kterých je dosaženo cílů projektu.

Závěr

Cílem této diplomové práce byla aplikace metodiky Six Sigma na projekt týkající se snížení šrotu ve společnosti Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o. Za tím účelem byla v diplomové práci nejprve popsána teoretická východiska spojená s principy Lean managementu a metodiky Six Sigma se zaměřením na vysvětlení jednotlivých nástrojů používaných v metodice DMAIC, která je součástí Six Sigma. V navazující části pak byla provedena aplikace metodiky Six Sigma na projekt, který se týká snížení množství netěsných baterií pro nákladní vozidla ve společnosti Johnson Controls Autobaterie. Autor diplomové práce se podílel na řešení projektu svými nápady a návrhy při týmových poradách, asistoval Black Beltovi při zpracování projektu a pomáhal se sběrem potřebných dat.

Projekt byl zpracován pomocí metodiky DMAIC, přičemž v každé fázi projektu byly použity odpovídající nástroje za účelem dosažení stanovených cílů projektu. Cílem projektu bylo snížení podílu netěsných baterií pro nákladní vozidla minimálně o 30 % od ledna do prosince roku 2015.

Tepelné přivaření víka k monobloku baterie je složitý výrobní proces, při kterém působí mnoho faktorů ovlivňujících kvalitu a těsnost vzniklého sváru mezi víkem a monoblokem baterie. Implementací několika nápravných řešení, ke kterým se dospělo využitím metodiky Six Sigma, bylo nakonec dosaženo zlepšení podílu netěsných baterií celkem o 33 %. Největší přínos pro dosažení stanoveného cíle mělo řešení v podobě pravidelného čištění topné desky a úprava pohybu držáku vík. Prostřednictvím těchto nápravných řešení nejenže bylo dosaženo snížení objemu šrotu, ale také došlo ke zvýšení produktivity na daných montážních linkách.

Poznatky ze zpracování projektu mohou být použity dále při budoucích projektech i v ostatních částech výroby. Oddělení neustálého zlepšování využíváním metodiky Six Sigma a Lean pro jednotlivé projekty dosahuje velmi dobrých výsledků v oblasti snižování objemu šrotu, zvyšování produktivity, lepšího využití zdrojů a eliminace plýtvání. Six Sigma je v této společnosti plně zavedena a ročně přináší velké finanční úspory, které mohou být investovány do dalších oblastí podniku.

Správně používaná metodika Six Sigma je velmi účinný nástroj pro dosahování kvality na úrovni nulových defektů. Proto tato metodika může být doporučena všem výrobním podnikům, které chtějí dosáhnout v očích svých zákazníků označení „výrobce kvalitních produktů“.

Seznam použité literatury

AARTSENGEL, Aristide van a Selahattin KURTOGLU, 2013. *Handbook on continuous improvement transformation: the lean six sigma framework and systematic methodology for implementation*. New York: Springer. ISBN 978-364-2359-002.

Benchmarking, ©2011-2013. In: *ManagementMania* [online]. Plzeň [cit. 2016-04-16].
Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/benchmarking>

Determine the Root Cause: 5 Whys, ©2000-2016. In: *iSixSigma* [online]. [Cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <https://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/determine-root-cause-5-whys/>

Diferenční analýza (Gap analýza), ©2011-2013. In: *ManagementMania* [online]. Plzeň [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/diferencni-analyza>

ELBERT, Mike, 2013. *Lean production for the small company*. Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978-143-9877-791.

GYGI, Craig, Bruce WILLIAMS a Stephen R. COVEY, 2012. *Six Sigma For Dummies*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1-118-12035-4.

Interní dokumenty společnosti Johnson Controls Autobaterie spol. s r.o.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK, 2013. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4127-7.

KUPKA, Karel, 2001. *Statistické řízení jakosti*. 3. vyd. Pardubice: TriloByte. ISBN 80-238-1818-X.

LIKER, Jeffrey K., 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill. ISBN 00-713-9231-9.

MEHRJERDI, Yahia Zare, 2011. Six-Sigma: methodology, tools and its future. *Assembly Automation* [online]. Bedford: Emerald Group Publishing, Limited, **31**(1), 79-88 [cit. 2016-04-15]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/01445151111104209>. ISSN 01445154.
Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/855071335?accountid=17116>

Metoda "6 Sigma", ©2003-2016. In: *MITCalc* [online]. Děčín [cit. 2016-04-15].
Dostupné z: <http://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis1d/help/cz/tolanalysis1d.txt.htm>

SHANKAR, Rama, 2009. *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*.
Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press. ISBN 978-087389-752-5.

SVOZILOVÁ, Alena, 2011. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada Publishing.
ISBN 978-80-247-3938-0.

TÖPFER, Armin, 2008. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno:
Computer Press. ISBN 978-80-251-1766-8.

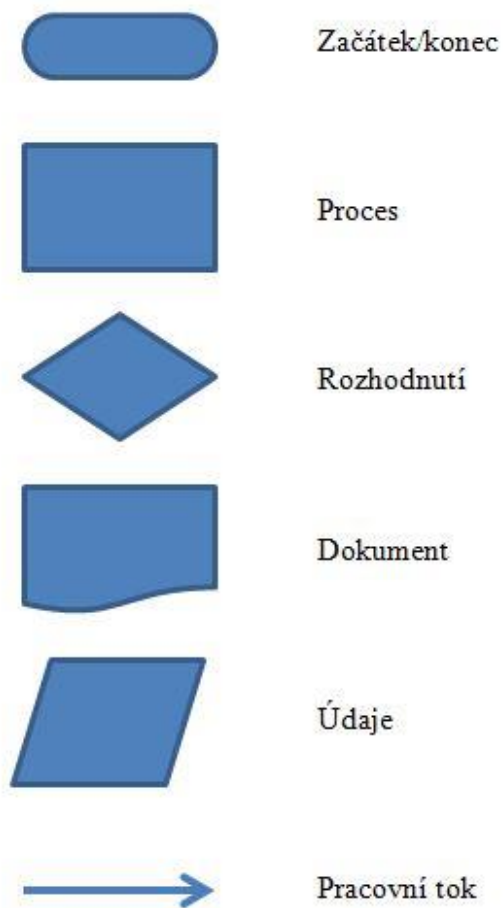
WALKER, H. Fred, 2012. *The certified quality inspector handbook*. 2nd ed. Milwaukee,
Wisconsin: ASQ Quality Press. ISBN 978-087-3898-454.

WOMACK, James P. a Daniel T. JONES, 2003. *Lean thinking: banish waste and create
wealth in your corporation*. New York: Free Press. ISBN 07-432-4927-5.

WOOD, Douglas C., 2013. *Principles of quality costs: financial measures for strategic
implementation of quality management*. 4th ed. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality
Press. ISBN 978-0-87389-849-2.

Přílohy

Příloha A: Základní symboly používané při tvorbě procesních map



Obr.A1: Základní symboly používané při tvorbě procesních map (vlastní zpracování)

Příloha B: Digitální posuvné měřidlo



Obr. B1: Digitální posuvné měřidlo (interní dokumenty)