



Aplikace Lean Six Sigma ve vybraném podniku

Diplomová práce

Studijní program:

N0413A050007 Podniková ekonomika

Studijní obor:

Management podnikových procesů

Autor práce:

Bc. Anita Vaňová

Vedoucí práce:

Ing. Eva Šírová, Ph.D.

Katedra podnikové ekonomiky a managementu





Zadání diplomové práce

Aplikace Lean Six Sigma ve vybraném podniku

Jméno a příjmení: **Bc. Anita Vaňová**
Osobní číslo: E20000303
Studijní program: N0413A050007 Podniková ekonomika
Specializace: Management podnikových procesů
Zadávací katedra: Katedra podnikové ekonomiky a managementu
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická východiska a vymezení základních pojmů.
2. Analýza současného stavu ve vybraném podniku.
3. Aplikace principů Lean Six Sigma.
4. Shrnutí dosažených výsledků a závěrečné vyhodnocení.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

65 normostran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- GEORGE, Michael L., 2010. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity*. Brno: SC&C Partner, spol. s r. o. ISBN 978-80-904099-2-7.
- MENČÍK, Jaroslav, 2017. *Introduction to Experimental Analysis*. Pardubice: University of Pardubice. ISBN 978-80-7560-069-1.
- MORGAN, John a Martin BRENIG-JONES, 2012. *Lean six sigma for dummies*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-119-95370-8.
- SVOZILOVÁ, Alena, 2011. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-3938-0.
- VÁCHAL, Jan a Marek VOCHOZKA, 2013. *Podnikové řízení*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4642-5.
- PROQUEST, 2021. Databáze článků ProQuest [online]. Ann Arbor, MI, USA: ProQuest. [Cit. 2021-09-26]. Dostupné z: <http://knihovna.tul.cz>

Konzultant: David Malhous, Lean manažer

Vedoucí práce:

Ing. Eva Šírová, Ph.D.
Katedra podnikové ekonomiky a managementu

Datum zadání práce:

1. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

31. srpna 2023

doc. Ing. Aleš Kocourek, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Eva Štichhauerová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

14. dubna 2022

Bc. Anita Vaňová

Anotace

Předmětem diplomové práce je aplikace metodiky Lean Six Sigma na vybraný projekt ve společnosti DuPont, která své výrobky dodává do firem z různých odvětví průmyslu po celém světě. Více než polovina objednávek podniku směřuje do automotive. Cílem diplomové práce je pomocí metod štíhlé výroby zefektivnit proces výroby heatsinků za účelem snížení zmetkovitosti. Rešeršní část práce je věnována definicím základních metodik Lean Six Sigma a řízení kvality. V analytické části je úvodem analýza současného stavu výrobního procesu. Na základě použitých nástrojů Lean Six Sigma jsou zefektivněny výrobní postupy a nalezeny příčiny zmetkovitosti. Díky následnému navržení a aplikaci nápravných opatření došlo ke zvýšení kvality a optimalizaci procesu. Závěrečná část diplomové práce shrnuje výsledky, kterých projektový tým dosáhl.

Klíčová slova

ANOVA, Design of Experiments, Lean management, proces, R&R analýza, Six Sigma.

Annotation

The topic of the diploma thesis is the application of the Lean Six Sigma method in a chosen project utilized by the DuPont company, which has customers in various industry branches all around the globe. More than half of the company's products is meant for the automotive industry. The aim of the thesis is to improve the effectiveness of heatsink production by the use of lean methods, which should secure lower scrap rates. The theoretical part of the thesis will focus on defining the basic Lean Six Sigma methods and quality control. In the introduction part of the study, the current state of the manufacturing process is analysed. Then, the main causes for current scrap rates are discovered and the whole process is made more effective by using the tools of Lean Six Sigma method. To improve quality, corrective solutions are proposed and applied to optimize the process. The final part of the thesis summarizes the findings and results of the entire research team.

Key words

ANOVA, Design of Experiments, Gage R&R, Lean management, process, Six Sigma.

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Evě Šírové, Ph.D. za odborné rady a vstřícnost při vedení diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Davidu Malhousovi za sdílení praktických znalostí a zkušeností z oboru, pozitivní jednání a trpělivost, kterou při spolupráci prokázal.

Obsah

Seznam ilustrací	13
Seznam tabulek	14
Seznam použitých zkratk, značek a symbolů	15
Úvod	16
1 Teoretická východiska spojená se zlepšováním procesů	18
1.1 Základní pojmy Lean Six Sigma	18
1.2 Pravidla Lean Six Sigma	21
1.2.1 Potěšit zákazníky rychlostí a kvalitou	22
1.2.2 Zlepšovat procesy	23
1.2.3 Pracovat společně pro dosažení maximálního zisku	25
1.2.4 Rozhodovat se na základě faktů a dat	25
1.3 DMAIC	26
1.4 Value stream mapping	28
1.5 Druhy plýtvání	30
1.6 Řízení kvality	34
1.7 Nástroje řízení kvality	36
1.7.1 Formulář pro sběr údajů	36
1.7.2 Paretův diagram	36
1.7.3 Histogramy	37
1.8 Opakovatelnost a reprodukovatelnost	38
1.9 Design of experiments	39
1.10 ANOVA	42
2 Analýza a návrhy na zlepšení výrobního procesu	44
2.1 Představení podniku	44
2.2 Základní charakteristika projektu	45
2.3 Value stream mapping	46
2.4 7 druhů plýtvání	53
2.5 Repeatability and reproducibility analýza	54

2.5.1	První R&R analýza	54
2.5.2	Druhá R&R analýza	59
2.5.3	Vyhodnocení R&R analýzy	63
2.6	Analýza DoE	65
2.6.1	DoE pro hledané parametry řípu	65
2.6.2	DoE pro kavity	69
2.7	ANOVA	73
2.8	Nápravná opatření	85
2.9	Zhodnocení projektu	88
	Závěr	91
	Seznam použité literatury	93
	Seznam příloh	95

Seznam ilustrací

Obrázek 1: Pravidla Lean Six Sigma	22
Obrázek 2: Variabilita procesů	24
Obrázek 3: Postup experimentu.....	40
Obrázek 4: Ishikawův diagram příčin a následků	41
Obrázek 5: Value stream mapping výroby adaptabilních radarů	47
Obrázek 6: Hotová schránka adaptabilního radaru.....	48
Obrázek 7: Heatsinky v platu	49
Obrázek 8: Disperzní stroj datron.....	50
Obrázek 9: Očíslované heatsinky v platu pro R&R analýzu.....	55
Obrázek 10: 1. statistika - 1. R&R analýza	57
Obrázek 11: 2. statistika - 1. R&R analýza	58
Obrázek 12: 3. statistika - 1. R&R analýza	59
Obrázek 13: 1. statistika - 2. R&R analýza	61
Obrázek 14: 2. statistika - 2. R&R analýza	62
Obrázek 15: 3. statistika - 2. R&R analýza	63
Obrázek 16: Ukázka z katalogu vad	64
Obrázek 17: Ukázka špatně nanesených fipů.....	65
Obrázek 18: Pareto diagramy	67
Obrázek 19: Optimalizace faktorů.....	68
Obrázek 20: Digitální mikroskop VHS -950F	69
Obrázek 21: Výstup z optimizeru v ose x	72
Obrázek 22: Výstup z optimizeru v ose y	72
Obrázek 23: Lůžka datronu	73
Obrázek 24: Histogram – datron 1.....	81
Obrázek 25: Histogram – datron 3.....	82
Obrázek 26: Histogram – datron 4.....	83
Obrázek 27: Bodový graf s daty pro osu x.....	84
Obrázek 28: Bodový graf s daty pro osu y.....	84
Obrázek 29: Nákres lůžek	86
Obrázek 30: Výsledek z optimalizéru v ose x	87
Obrázek 31: Výsledek z optimalizéru v ose y	87

Seznam tabulek

Tabulka 1: Výpočet cycle time	52
Tabulka 2: 7 druhů plýtvání	53
Tabulka 3: Vstupní hodnoty první R&R analýzy	56
Tabulka 4: Vstupní hodnoty druhé R&R analýzy	60
Tabulka 5: Naměřené hodnoty v milimetrech – DoE kavity	70
Tabulka 6: DoE – lůžka – 1. datron	74
Tabulka 7: Variační rozpětí naměřených hodnot	85
Tabulka 8: Přehled zmetkovitosti v čase	90

Seznam použitých zkratk, značek a symbolů

C/T	Cycle time
DMADV	Define Measure Analyze Design Verify
DMAIC	Define Measure Analyze Improve Control
DoE	Design of experiments
JIT	Just in time
OEE	Overall equipment effectiveness
R&R	Repeatability and reproducibility
VSM	Value stream mapping

Úvod

Předmětem této diplomové práce je zlepšování výrobních procesů v podniku. Rozhodování o procesech patří mezi důležité podnikové činnosti, a to obzvláště v dnešní době, kdy je konkurenční boj mezi podniky velmi intenzivní. Podnik, který chce být konkurenceschopný, by měl zlepšovat své procesy. I postupným zlepšováním v podobě drobných změn je možné dosáhnout lepších výkonů podniku. Pokud podnik nebude pracovat na zeštíhlování výroby, je možné, že si zákazník najde jiného dodavatele, který poskytuje výrobky levněji či ve vyšší kvalitě. Od Lean Six Sigma projektů očekává podnik zpřehlednění výroby, zvýšení kvality, snížení plýtvání a nákladů. Aby toho podnik mohl dosáhnout, je zapotřebí pracovat v týmech, kde členové spolupracují a každý je specialista ve svém oboru.

Procesy jsou pro podnik velmi významné a je důležité je kontinuálně zlepšovat. Tato diplomová práce se proto zaměřuje na identifikování příčin zmetkovitosti ve výrobě, navrhuje opatření na snížení zmetkovitosti a zlepšení procesů v konkrétním podniku. V podniku nesoucí název DuPont je analyzován stávající stav výrobních procesů, pomocí metod Lean Six Sigma je docíleno zlepšení procesů a následně jsou vyhodnoceny dosažené výsledky projektu.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část v úvodu obecně definuje základní pojmy a pravidla Lean Six Sigma. Značná část práce je věnována konkrétním metodám Lean Six Sigma, které jsou používány v praxi. Je zde vymezen postup pětifázového cyklu DMAIC, který je základem pro manažery při zefektivňování výrobních procesů. První kroky projektového týmu by měly směřovat k mapování toku hodnot, které je shrnuto v kapitole Value stream mapping. Následuje kapitola o plýtvání, kde jsou charakterizovány jednotlivé druhy plýtvání a je na ně nahlíženo i z ekologického hlediska. Na základě určení druhů plýtvání je poukázáno na problémová místa v procesu, kterým by se měl zlepšovatelství tým primárně věnovat. Dále se závěrečná práce věnuje řízení kvality, ta se mimo jiné rozděluje na kvalitu u zdroje, kde je snahou nekvalitu řešit ihned na místě, a standardy na pracovišti, které kromě jiného napomáhají snižovat variabilitu procesů. Následující tematický celek se zabývá konkrétními nástroji řízení kvality, mezi které patří: formulář pro sběr údajů, Paretův diagram, histogramy apod. Poslední kapitoly teoretické části práce jsou zaměřeny na statistické metody užívané při zeštíhlování výroby, jde např.

o princip opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, ten slouží k analýze systému měření. Do statistických metod se řadí také design of experiments, který se snaží nalézt nejlepší kombinaci faktorů pro optimálního nastavení procesu. Poslední statistický nástroj je představen v kapitole ANOVA, která zhodnocuje vliv různých faktorů.

Analytická část se rozsáhle věnuje procesům týkající se výroby heatsinků ve firmě DuPont, ta je v úvodní části stručně představena. V práci je nastíněna základní charakteristika osmiměsíčního projektu, jedná se zejména o snížení zmetkovitosti a zefektivnění výroby heatsinků, které jsou dodávány odběratelům v automotive k dalšímu zpracování. První fáze projektu se zaměřuje na mapování toku hodnot, kde bylo specifikováno 6 hlavních procesů: plazma, datron, komora, automatická linka, stoprocentní kontrola a balení. Z analýzy 7 druhů plýtvání vyplývají problematické procesy, kterými jsou stoprocentní kontrola a datron. První problematický proces je řešen pomocí repeatability a reproducibility analýzy. Ta přispěla k tomu, že operátoři lépe vyhodnocují mezní díly. Stěžejní částí projektu je design of experiments analýza, která byla provedena na disperzních strojích – datronech za účelem snížení zmetků. Analýza pomohla určit, které faktory jsou významné a na které je zapotřebí se při výrobě zaměřit. Následně bylo pomocí DoE nalezeno jedno optimální nastavení stroje pro všechny výrobky. Toto nastavení se v praxi neosvědčilo, a tak byla provedena ANOVA, která prokázala, že jednotlivá lůžka datronu mezi sebou vzájemně nekorelují. V závěrečné části práce jsou popsána nápravná opatření a shrnuty dosažené výsledky projektu.

1 Teoretická východiska spojená se zlepšováním procesů

První část diplomové práce se zaměřuje na literární rešerši v oblasti Lean Six Sigma. Jsou zde definovány základní pojmy a přiblíženy jednotlivé postupy a nástroje, které si při zlepšovatelských projektech v praxi využívají.

1.1 Základní pojmy Lean Six Sigma

Lean je někdy označován také jako štíhlá výroba nebo štíhlý podnik, vychází z filozofie řízení výrobního systému firmy Toyota. Lean management se zaměřuje na vytvoření přidané hodnoty, kterou požaduje zákazník. Všechny procesy a zdroje, které nepřispívají k vytváření přidané hodnoty, musí být eliminovány. Lean je zaměřen na zvyšování přidané hodnoty pomocí efektivnější práce. Té je dosaženo díky nástrojům, které napomáhají k identifikaci a případné eliminaci plýtvání. Tento přístup předpokládá, že pokud je plýtvání eliminováno, tak se kvalita a doba výroby zlepší a náklady se sníží. Lean management spočívá v tom, dostat správnou věc na správné místo ve správný čas ve správném množství, aby mohlo být dosaženo dokonalého toku práce, a to vše při minimalizaci plýtvání a maximalizaci flexibility a schopnosti změny. Výrobní systém Toyoty, z něhož vychází štíhlá výroba, je často považován za odpověď na otázku nefunkčních procesů. Není to ale kompletní odpověď, Lean je pouze součástí odpovědi, stejně tak jako vytvoření firemní kultury. Což není vůbec jednoduché, je to naopak velmi časově náročné a je nutné vložit do podnikání mnoho zdrojů (Jeston 2018).

Metodologie Lean byla původně vyvinuta s důrazem na zlepšování procesů v oblasti průmyslové výroby, postupně však našla široké uplatnění i v dalších oborech jako jsou služby a administrativa. Základní uvažování Lean managementu je velmi jednoduché a přímočaré. Všeobecně užívané přístupy Lean vycházejí z těchto principů:

- Zákazník určuje hodnotu procesu. Hodnotou může být výrobek či služba, která pokrývá potřebu zákazníka a je mu poskytnuta v čase a ceně, jež odpovídá jeho představám.
- Je kladen důraz na identifikaci činností, které se podílejí na postupném vytváření hodnoty. Proces je sledem kroků, které se na tvorbě hodnoty podílejí, od objednávky k dodávce a od materiálu na výrobu až po konečný výrobek.

- Řídí se potřebami zákazníka, to znamená, že se vyrábí, to, co zákazník chce, a tehdy, kdy si o to řekne. Dochází k nahrazení klasické výroby na sklad.
- Snaha o dokonalost spočívá ve snížení úsilí, času, nákladů, prostor, chyb a závad při současném poskytování služeb, které uspokojí zákazníka (Svozilová 2011).

Lean je založen na opakujícím se zlepšovatelem procesu, to znamená, že týmy se cyklicky soustředí na menší zlepšovateľské kroky a vyvíjí soustavné úsilí o dosažení dokonalosti procesu. S tím, že Lean předpokládá, že neexistuje žádná úroveň dokonalosti, o níž by bylo možné říci, že je dostatečná a že nemůže být dále zlepšována. Má-li být skutečně využit potenciál Lean managementu, pak musí prorůst hluboko do myšlení zaměstnanců a musí se stát součástí firemní kultury. Správně aplikovaný Lean management může napomoci ke zvýšení výkonnosti procesu, snížení nákladů pomocí snížení zásob, zmenšení výrobní rozlohy či úsporou práce vynaložené na určitý výkon. Lean je využíván tam, kde je potřeba procesy zjednodušit a zkrátit dobu mezi vstupem a výstupem produktu z procesu. V praxi se Lean management využívá zejména tam, kde si tržní podmínky žádají vyšší výkonnost procesů nebo zkrácení objednávkových cyklů. Dále se využívá proto, aby podnik ustál konkurenční tlaky zejména v oblasti ceny a kvality služeb, nebo pokud chce podnik zvýšit tržní potenciál prostřednictvím zlepšení kvality produktů. Mezi základní nástroje metodologie Lean patří: 7 druhů plýtvání, určování hodnoty procesů, mapování hodnotového řetězce, teorie omezení, principy tlaku a tahu a kromě mnoho dalších nástroj pět S (Svozilová 2011).

Počátky konceptu **Six Sigma** sahají do roku 1986, kdy společnost Motorola chtěla zlepšit kvalitu výstupů ve výrobních procesech minimalizací variability vlastností výstupů procesu, identifikací a odstraňováním příčin vad. Defekt v Six Sigma termínech je popsán jako jakýkoli procesní výstup, který nesplňuje specifikace, nebo který by mohl vést k vytvoření výstupu, který nesplňuje specifikace zákazníka. Aplikace Six Sigma byla později rozšířena i na další nevýrobní podnikové procesy. Mezi nejčastěji užívané metodiky v oblasti Six Sigma patří například: Define Measure Analyze Improve Control (dále také DMAIC), analýza variací, Ishiakův diagram a Paretova analýza (Jeston 2018).

Jak název napovídá, metoda se zakládá na statistických východiscích. Dle tradičního pohledu je proces způsobilý, pokud je variabilita procesu na úrovni 3σ . To znamená, že horní a dolní mez specifikací je vzdálena o 3σ od střední hodnoty μ . V tomto případě je plocha

Gaussovy křivky mezi oběma specifikačními intervaly rovna 99,73 % celkové plochy a představuje podíl výrobků vyhovující požadavkům specifikace. Plocha mimo mezery je rovna 0,27 % a představuje nevyhovující výrobky. Tento přístup nemusí být vhodný v případě větší četnosti produkce. Jako přesnější se proto jeví propočty na bázi 6σ na každou stranu od střední hodnoty. Pro takto způsobilý proces je podíl defektů v rozsahu 3,4 na jeden milión produkovaných jednotek (Veber et al. 2006).

Cílem Six Sigma je se stejnou technologií, dělníky i výrobními vzory vyrábět větší množství výrobků s vyšší kvalitou, a to dokonce při nižších výrobních nákladech. V rámci kvality se Six Sigma soustřeďuje na zvýšení hodnoty dodávané zákazníkům a na celkovou efektivitu procesů. Nástroje, které Six Sigma využívá, se zaměřují na minimalizaci obecných příčin vzniku závad, zvýšení kvality výstupů procesu, snížení operačních nákladů, zvýšení výkonnosti procesu a na eliminaci závad způsobených jinými než běžnými vlivy. Six Sigma je založena na strukturovaném přístupu ke zlepšování, takže týmy postupují v cyklu DMAIC. Six Sigma je metodologie obsahující vizi a filosofii, jež se zaměřuje na zvyšování efektivity procesů prostřednictvím zlepšování kvality procesních výstupů. Zároveň však obsahuje manažerský systém, který vede týmy jednotlivými projekty zkoumání, navrhování a implementace procesních změn. Metodologie rovněž přináší vědecké metody rozhodování na základě zjištěných faktů a soubory nástrojů, jejichž pomocí je možné odhalit skutečné příčiny problémů v procesech (Svozilová 2011).

Společným znakem Six Sigma a Lean je zaměření na potřeby zákazníků. V pojetí Six Sigma je zaměření na požadavky zákazníka reprezentováno kritickou hodnotou. Ta vyjadřuje kvantifikovanou úroveň určité kvalitativní vlastnosti produktu nebo služby. Kritická hodnota může mít různá pojmenování dle veličiny, k níž se vztahují. Podle svého původu nebo dopadu mohou být na straně podniku i na straně zákazníka různě pojmenována. Kritická hodnota říká, co je nutné zlepšit. Podnik nedosáhne úspěchu, pokudlepší své procesy, aniž budou zákaznickovy potřeby reprezentované kritickou hodnotou správně pochopeny. Podle toho, co je důležité pro zákazníka procesu, jsou poté nastaveny zlepšovateľské cíle (Svozilová 2011).

Lean Six Sigma je nejmladším manažerským konceptem, který byl představen v roce 2002, kombinuje dvě předcházející metody: Lean a Six Sigma. Lean management byl kritizován za to, že se nezaobíral kvalitou produktu a Six Sigma se nezaměřovala na snižování nákladů.

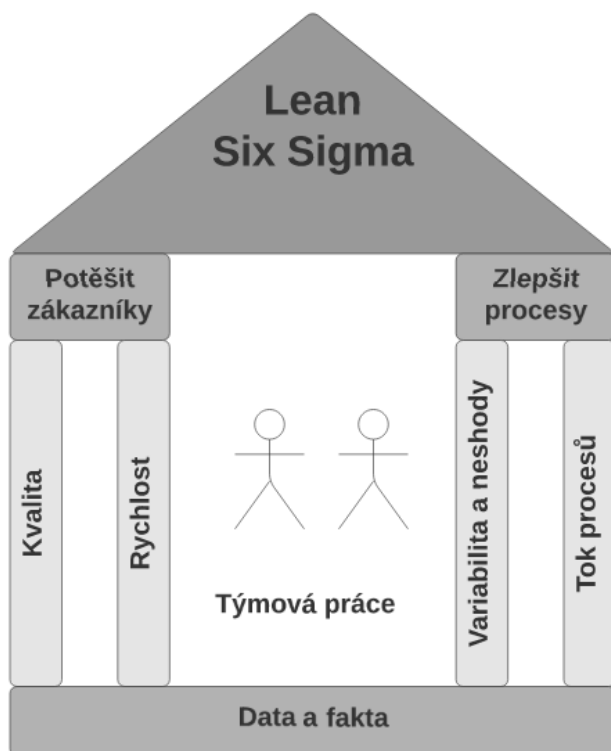
Lean Six Sigma se proto zaměřuje souběžně na zlepšování kvality a snižování nákladů procesů v organizaci. Před zavedením Lean Six Sigma se zdálo, že zlepšování kvality a snižování nákladů jsou vzájemně se vylučující cíle. Koncept je ale důkazem toho, že oba cíle mohou být implementovány současně (Franchetti 2015).

Odlišné zaměření konceptů spočívá v tom, že cílem Lean je vytvářet přesně takové hodnoty, které zákazník požaduje, Six Sigma se orientuje na měřitelné cíle a zlepšování kvality prostřednictvím snižování chybovosti. Lean je silnější v oblasti celkového zlepšování a zpřehledňování procesů, Six Sigma se soustředí zejména na vylepšování problémových míst. Rovněž v oblasti řízení jsou odlišnosti, Lean se spoléhá na cyklické zlepšovateľské kroky a postupy analytické Six Sigmy jsou mnohem podrobněji strukturovány. Lean projekty bývají menšího rozsahu a méně rizikové. Ve spojení Lean Six Sigma je kladen důraz na kontinuální zlepšování procesů v souladu s hodnotou, kterou podnik cíleně generuje pro zákazníky a jež je hluboce zakotvena v podnikové kultuře (Svozilová 2011).

Obě metodologie prošly vývojem od jednotlivých nástrojů ke komplexním systémům řízení. Shodují se v zaměření na potřeby a přání zákazníků a obě pokládají začlenění do organizační kultury podniku za velmi podstatné. Užití konceptů se v jednotlivých projektech liší. Někdy se mohou překrývat a je obtížné je roztřídit. Aplikovaná metodologie se přizpůsobuje konkrétním potřebám a cílům řešeného projektu. Je zároveň ovlivněná specifickým prostředím, zkušenostmi a preferencemi zlepšovateľského týmu. V odborné literatuře jsou popsány celé řady postupů, doporučení a analytických nástrojů. Ale bez znalostí vlastního projektu je obtížné určit, které nástroje jsou vhodné pro řešení problému či nikoliv. Při volbě postupů musí projektový tým nejen náležitě rozumět výchozí situaci, ale musí i správně interpretovat dosažené výsledky. Má-li podnik v tvrdých podmínkách tržního prostředí uspět, musí nalézt správnou rovnováhu přístupů, jenž se nejlépe hodí ke konkrétním podmínkám podniku. Síla Lean Six Sigma spočívá ve flexibilitě, která pokud to projekt vyžaduje, umožňuje použití nejvhodnější kombinace nástrojů (Svozilová 2011).

1.2 Pravidla Lean Six Sigma

Základní koncept Lean Six Sigma je názorně ukázán na obrázku 1 níže. Jsou zde vidět jednotlivé pilíře, na kterých je Lean Six Sigma postaven. V následujících kapitolách budou jednotlivá pravidla blíže rozebrána a specifikována (George et al. 2005).



Obrázek 1: Pravidla Lean Six Sigma

Zdroj: Vlastní zpracování v programu Lucidchart dle George et al. (2005, str. 14)

1.2.1 Potěšit zákazníky rychlostí a kvalitou

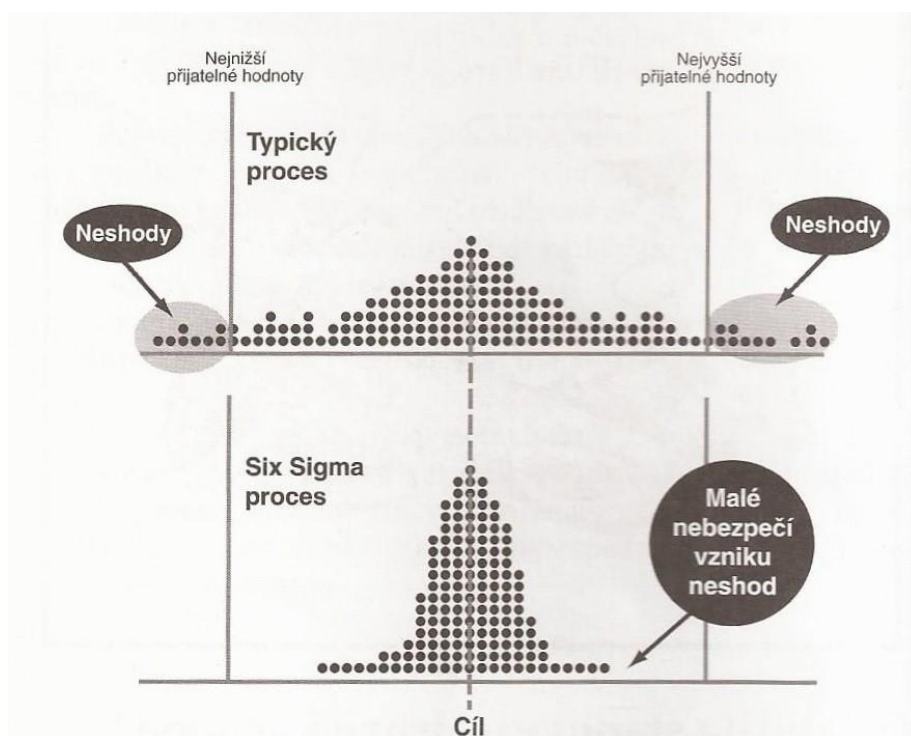
Prvním pravidlem, kterým by se měl podnik řídit, je potěšit zákazníky svou rychlostí a kvalitou. Často se společnosti při rozhodování ohledně charakteristik jejich výrobků rozhodují pouze na základě představ inženýrů nebo marketingových pracovníků. Lidé považovali za jediný relevantní názor pouze názor vedoucího. Přístup Lean Six Sigma hovoří o tom, že jen zákazník může stanovit, co je kvalitní výrobek. Vychází to z toho, že právě zákazníci jsou těmi, kdo se rozhodují, zda za výrobek či službu zaplatí. Právě oni porovnávají nabídku s ostatními na trhu a rozhodují se, která z nich nejlépe vyhovuje jejich potřebám. Zároveň existují tzv. interní zákazníci uvnitř podniku, kteří používají výstupy práce. Často užívaným termínem v Lean Six Sigma je hlas zákazníka angl. Voice of the Customer, který označuje názory a potřeby zákazníků, jež jsou brány v úvahu při rozhodnutích o výrobcích. Existuje řada technik, prostřednictvím kterých se společnosti snaží naplnit zákaznickovy požadavky. Například návštěva u zákazníka či zaznamenávání došlých telefonických a elektronických stížností. Důležité pro podnik je si uvědomit, že všechna rozhodnutí ohledně produktu by měla začít u zákazníka. Tím je dán jasný cíl, a to konkrétně odstranění neshod, tedy čehokoliv, co nespĺňuje zákaznickovy požadavky.

Podstatné je, aby neshody byly definovány a následně měřeny, abychom přesně věděli, jak splňujeme požadavky. Vedení podniku musí vidět souvislosti mezi kvalitou, rychlostí a nízkou cenou, a najít mezi těmito faktory synergii. Nejlepším způsobem, jak soustavně nabízet nejnižší cenu, a přitom mít zisk, je zvýšit kvalitu a rychlost. Zvýšení kvality je možné pomocí Six Sigma a pro zlepšování toku procesu metody Lean. Kombinací těchto dvou metod získáme velmi účinný nástroj na zlepšování (George et al. 2005).

1.2.2 Zlepšovat procesy

Jakmile jsou známé požadavky zákazníků, musí jich být společnost schopna dosáhnout, a to nejlépe zlepšováním procesů. Doktor W. Edwards Deming, statistik, který stál v čele hnutí kvality, tvrdí, že většina problémů kvality spočívá v nastavení procesu, ne v lidech. Je přesvědčen, že až 96 % problémů vychází ze způsobu provádění práce. To znamená, že operátoři pracují za podmínek zaručujících špatnou kvalitu. To z důvodů nedostatečného školení, špatnou komunikací a vybavením. Zbytek je dle Deminga zapříčiněn chybou jednotlivých zaměstnanců. Klíčové je, že většina problémů spočívá v systému, a zlepšování kvality vyžaduje právě změnu systému (George et al. 2005).

Zlepšování procesů má dvě kategorie: za prvé odstranit kolísání kvality a rychlosti, a za druhé zlepšit tok procesu a jeho rychlost. Variabilita ukazuje rozptýlenost dat od sebe navzájem. Variabilita procesu může naznačit příčinu problémů a naznačit tak cestu k možným řešením. V obrázku 2 níže jsou zobrazeny dva procesy – první s vysokou variabilitou a druhý s nízkou. Čárami je označena nejnižší a nejvyšší hodnota, kterou zákazník ještě toleruje. Cokoliv, co nesplňuje zákaznickovy potřeby, je neshoda. Pokud porovnáme oba obrázky, je zřejmé, že obraz s vysokou variabilitou vyprodukuje hodně neshod. Za to u obrázku s malou variabilitou jsou datové body seskupeny těsně okolo středu a plní tak lépe potřeby zákazníka. Zlepšování procesu vede k odstranění variability, tím bude práce spolehlivější a předvídatelnější s vyšším stupněm kvality (George et al. 2005).



Obrázek 2: Variabilita procesů

Zdroj: George et al. (2005, str. 28)

Vysoká variabilita je nežádoucí, její odstranění je základem pro dosažení výrazného zlepšení v jakémkoli procesu. Variabilita procesu může být způsobena příčinami náhodnými nebo vymezitelnými. Náhodné příčiny je obtížné specifikovat a může jich působit současně více najednou. Náhodné příčiny se vyskytují s vyšší pravděpodobností. Mezi náhodné příčiny patří: okolní teplota, vlhkost vzduchu či odchylky kvality od různých dodavatelů. Vymezitelné příčiny na proces působí výjimečněji, jsou způsobeny poruchou stroje, nevyškolenou obsluhou, nesprávným materiálem, nesprávným nastavením stroje (Gupta 2004).

Druhá kategorie se zabývá tokem procesu neboli předáním polotovaru od jednoho člověka (nebo pracoviště) k jinému, tedy samotná fyzická cesta výrobku. Nejlepším způsobem urychlení procesu je odstranění procesních kroků, které neodpovídají požadavkům zákazníka. Dalším možným způsobem je znovu navrhnout tok práce na pracovišti. Proto je podstatné v počátečních fázích zlepšovacího procesu mapování procesů. Je zapotřebí prozkoumat každý krok a stanovit, zda je nezbytný či nikoliv (George et al. 2005).

1.2.3 Pracovat společně pro dosažení maximálního zisku

V rámci Lean Six Sigma týmová práce neznamená jen vytvoření formálních týmů. Je nutné svolat dohromady lidi ze všech částí procesu a rozdílných oddělení, aby bylo možné využít jejich znalosti o procesu s cílem nalezení klíčových příčin. K tomu je zapotřebí vytvořit prostředí, kde jsou lidé povzbuzováni a motivováni ke společné práci. Lidé by se měli podělit o zkušenosti s ostatními a na oplátku se od nich něco naučit. Informace by měly být sdíleny otevřeně v rámci schůzí, aby nedocházelo ke zkreslování zpráv. K tomu, aby spolupráce mohla v organizaci takto fungovat, by měli být zaměstnanci vyškoleni. Pracovníci by poté měli být schopni naslouchat, vést brainstorming, uspořádat nápady a rozhodovat se. Dodatečnými dovednostmi pro efektivní týmy jsou dovednosti typu: stanovení cílů, přidělení zodpovědnosti, zvládání konfliktů, věnování pozornosti způsobu přijímání rozhodnutí, zajištění efektivnosti schůzek, podporování trvalého vzdělávání a spolupráce s jinými skupinami. Nejde pouze o seskupení lidí a zadání projektu, k dosažení efektivity je zapotřebí výše vypsanych týmových dovedností. Ty společnost své zaměstnance většinou neučí (George et al. 2005).

1.2.4 Rozhodovat se na základě faktů a dat

Data mohou výrazně změnit rozhodnutí, která činíme, a ve zlepšovacích projektech jsou obzvláště důležitá. Práce s daty je ale obtížnější, než by se mohla zdát, například z důvodu nedostatku dostupných dat. Dále nejsou poskytována dostatečná školení v oblasti sběru a analýzy dat. Zaměstnanci často nevědí, jaká data, jakým způsobem a jak často mají sbírat. V minulosti bylo zvykem používat data pouze k potrestání nebo odměnění, ne jako prostředek k rozhodnutí ohledně zlepšování. V Lean Six Sigma projektech se data používají k poznání procesu a k monitorování jeho výkonu. Podstatné je sbírat data i ve fázi po zlepšení procesu, aby podnik věděl, jak se proces vyvíjí, jestli nebyly odhaleny případné potíže a zda byly udrženy dosažené zisky. Pro úspěch je zapotřebí měřit jak výsledky, tak i samotný proces. Mezi data, která v podniku měří výsledek, patří názory zákazníků na výrobek či poskytovanou službu. Velmi důležitá jsou data o finančních výsledcích, tj. jaký vliv má kvalita na výnosy a náklady. Je nezbytné sledovat konečný výsledek, přičemž jediným způsobem, jak jej vylepšit, je změnit proces. Měření procesu napovídá, co je možné změnit a jak, zahrnuje data týkající se toho, jak rychlý či pomalý je proces. Dále se v rámci měření procesu sbírají data o kvalitě a počtu neshod (George et al. 2005).

1.3 DMAIC

DMAIC je pětifázový cyklus, který se skládá z následujících kroků: define, measure, analyze, improve a control neboli definování, měření, analyzování, zlepšování a kontrola. Cílem metodiky je řešit problémy v organizacích za účelem snížení plýtvání a vytvoření konkurenceschopnější organizace. Každá fáze DMAIC má určitou funkci a využívá několik Lean nástrojů. Některé nástroje lze implementovat ve více fázích (Ferreira, C. et al. 2019).

DMAIC se užívá k postupnému zlepšování stávajících procesů organizace. Zaměřuje se na důvody, proč proces, produkt nebo služba nemohou důsledně plnit klíčové požadavky zákazníka. Za to funkce Define Measure Analyse Design Verify (dále také DMADV) se aplikuje při zavádění zcela nového procesu nebo produktu. DMADV cílí více na analýzu přání zákazníka. Soustředí se na to, aby byl proces či produkt navržen tak, aby vyhovoval požadavkům zákazníka hned od začátku (Ginn a Varner 2004).

Existují dva možné přístupy k implementaci DMAIC. Prvním je týmový přístup, kde expert na kvalitu nebo zlepšování procesů je vedoucí projektů a vede jich více najednou. Ostatní členové jsou odborníci zblhlí v užívaných nástrojích a metodách. Na projektu pracují na částečný úvazek a zároveň se starají o své každodenní povinnosti. Jedná se o dlouhodobé projekty, jejichž dokončení trvá v řádech měsíců. Oproti tomu druhá taktika bývá provedena přibližně za týden pomocí metody kaizen. Přípravné práce provádí Lean manažer nebo odborník na kvalitu, zahrnují zejména fáze definování a měření. Zbytek fází provádí tým jednotlivců, kteří byli pod dobu trvání akce kaizen vyřazeni ze svých běžných povinností. Výhoda metody spočívá ve schopnosti rychlé změny. Ve většině případů jsou změny testovány v průběhu zlepšování a implementace v plném rozsahu je dokončena po projektu. Důležité je, aby byl dopad pozitivních či negativních změn monitorován (Berardinelli, Carl F. 2016). Podstata metody kaizen spočívá v neustálém zlepšování firemních procesů v postupných malých krocích za účasti všech zaměstnanců (Váchal a Vochozka 2013).

Ve fázi **definování** se stanovují základy projektu. Mezi ty patří přesný popis aktuálního stavu procesu a problému, který bude řešen. Na něj navazuje část stanovení cíle, kterého chce podnik v rámci projektu dosáhnout. Z toho vychází časový harmonogram činností. Jsou identifikováni zákazníci a jejich potřeby. Musí být určeny potřebné dovednosti a předpokládané použité metody, aby mohl být správně sestaven projektový tým

s konkrétními členy. Mohou být stanovena projektová opatření, komunikační plán a finance (Berardinelli 2016).

Druhá etapa **měření** může být velmi zdoluhavá a komplikovaná, soustředí se na získání údajů o chování současného procesu. Je potřeba zjistit, jaké faktory se podílejí na vzniku problému v procesu. Výstupem fáze měření jsou definovaná měřítka výkonnosti a hluboké porozumění tomu, jak proces v přítomnosti funguje. K tomu, abychom v následujícím období mohli své závěry a rozhodnutí opřít o fakta, je nutné získat potřebné znalosti, které vycházejí ze skutečných hodnot získaných měřeními a sběrem potřebných údajů. Informace o výkonnosti procesu před zahájením zlepšovatelství iniciativ a po jejich provedení je důležitým aspektem v Lean Six Sigma (Svozilová 2011).

Následným krokem je **analýza**, jejímž úkolem je vyhodnotit údaje, které byly shromážděny v předchozí etapě měření. Pomocí grafických, matematických a statistických nástrojů jsou zjištěny příčiny, které způsobují rozdíl mezi současnou výkonností procesu a cílovým stavem, z prvního kroku v rámci definování. Analýza vychází z naměřených údajů a jejím záměrem je odhalení trendů a odchylek identifikujících problémová místa procesu. Analýza může pomoci určit, zda se jedná o náhodnou událost, nebo o opakovaně se vyskytující problém. Při hledání a sestavování informací o výchozím stavu procesu je zapotřebí využívat celé řady analytických metod (Svozilová 2011). Mezi využívané metody patří zejména: Ishikawův diagram, FMEA, regresní analýza, Design of Experiments a statistické hypotetické testy (Töpfer 2008).

Jakmile bylo ověřeno, že se nejedná o náhodnou událost, je možné přikročit k hledání řešení pomocí **zlepšování**. Etapa se zaměřuje na navrhování variant řešení pro problémová místa procesu a výběr nejvhodnějších variant, které pomohou naplnit cíl. Součástí je kreativní práce, která spočívá v navrhování nových postupů, reorganizace práce, stanovování technologických změn a vlastní implementace zvolených změn. Při výběru řešení je potřeba přihlížet jak k náročnosti implementace změny, nákladnosti a účinnosti, tak k tomu, jak budou výsledky udržitelné v praktickém provozu. Nemá smysl nasadit řešení, které bude náročné na finance i vynaložené úsilí, protože to dlouho nevydrží a vše se vrátí ke starému. Je dobré mít na paměti, že každý problém má více možných řešení. Při výběru opatření je za potřebí vybrat takové, které se nejlépe hodí k eliminaci problémů v konkrétních podmínkách a situaci, v jaké se podnik nachází (Svozilová 2011).

Poté, co byl proces inovován a změny implementovány, nastává fáze **kontrolování**. Účelem fáze je změřit výsledky projektu a řídit změnu v širším měřítku. Tým by měl ověřit, že školení a implementace změny proběhla správně. Dále musí novým sběrem a analýzou dat dokázat, že došlo ke zlepšení a splnění cílů. I po ukončení projektu je vhodné monitorovat charakteristické veličiny procesu. Je možné vytvořit kontrolní plán, který zahrnuje nové zásady, odstranění zastaralých, implementaci nových standardů, upravené postupy, kritéria hodnocení kvality, revidované rozpočty a školení (Furterer 2013).

1.4 Value stream mapping

Mapování toku hodnot neboli value stream mapping (dále také VSM) je vynikající nástroj pro identifikaci plýtvání času a zásob. Avšak jednou ze slabých stránek VSM je, že mapa nepoukazuje na variabilitu procesu, je to statická mapa zachycená v určitém okamžiku. Pokud je VSM provedena v jednom týdnu a opět zopakována v týdnu následujícím, výsledek mapy může být zcela odlišný. To může ztížit rozhodování na základě dat (Antony a Kumar 2011).

Mapování toku hodnot spočívá v zachycení všech klíčových toků (práce, materiál, informace) v procesu a dalších důležitých ukazatelů procesu. Při sestavování mapy je nutné stanovit výrobek, který bude analyzován. Mapa se sestavuje od konce procesu a postupuje se k předchozím činnostem. Je zapotřebí identifikovat hlavní činnosti a umístit je do mapy dle pořadí. Následně se znázorňuje veškerý tok materiálu, informací a komunikace se zákazníkem a dodavatelem. Dalším krokem je sběr dat o procesu, kam se řadí: doba nastavení a zpracování, počet zmetků, rozpracovanost výroby a počet pracovníků (George et al. 2010).

V rámci VSM se stanovuje **doba cyklu**, angl. cycle time (dále také C/T). Je to celková doba od začátku procesu do jeho konce, která je potřebná pro výrobu jedné jednotky. Zahrnuje čas jak přidané, tak nepřidané hodnoty. Doba cyklu je nejčastěji uváděna jako průměrná hodnota všech měření. To se provádí pomocí stopek, kdy se měří čas několika cyklů od začátku až do konce. Jakmile jsou data shromážděna, vypočte se průměr a případně se výsledek přepočte na 1 kus. Výsledná hodnota ukazuje aktuální stav procesu, který je možné použít k určení možností zlepšení (Franchetti 2015).

Průběžná doba, angl. **lead time**, označuje dobu trvání od přijetí objednávky do okamžiku dodání výrobku či služby. Průběžná doba označuje, jak dlouho trvá, než projde jednotka procesem od začátku do konce. Dlouhá průběžná doba značí pomalý proces a možné plýtvání. Proces je možné urychlit snížením rozpracované výroby při ponecháním konstantní rychlosti na výstupu. Pokud se podaří odstranit rozpracovanost procesu, je možné práci dokončit rychleji, aniž by došlo ke skutečnému zlepšení (George et al. 2005).

Mezi informace o procesech také patří celková efektivita zařízení, angl. **overall equipment effectiveness** (dále také OEE), která se používá pro měření účinnosti a efektivity automatizovaného nebo poloautomatizovaného procesu. OEE se skládá ze tří základních složek: dostupnost, výkon a kvalita zařízení. OEE měří hodnoty kvality výstupu, využití a dostupnosti stroje zvlášť, a poté je kombinuje do jedné metriky (Franchetti 2015). Dostupnost zařízení se stanoví dle následujícího vzorce 1:

$$Dostupnost = \frac{\textit{skutečný čas provozu}}{\textit{plánovaný čas provozu}} \quad (1)$$

kde skutečný čas provozu je čistý dostupný čas mínus prostoje (tj. poruchy, doba nastavení a údržba). Plánovaný čas provozu je celkový plánovaný čas mínus smluvně požadované prostoje (tj. obědy a přestávky). Výpočet pro určení výkonu stroje nabývá tvar:

$$Výkon = \frac{\textit{ideální čas cyklu} \times \textit{skutečná produkce}}{\textit{skutečný čas provozu}} \quad (2)$$

kde ideální čas cyklu se rovná nejvyšší hodnotě z následujících: normální očekávaná doba cyklu; nejlepší doba cyklu, jaká kdy byla dosažena a odhad založený na zkušenostech s podobným zařízením. Skutečná produkce je celkový počet všech vyrobených dílů. Kvalitu je možné vyjádřit vzorcem číslo 3:

$$Kvalita = \frac{\textit{kvalitní produkce}}{\textit{skutečná produkce}} \quad (3)$$

kde kvalitní produkce se rovná celkový počet všech vyrobených kusů mínus počet vadných kusů (Ginn a Varner 2004). Výsledné OEE bere v úvahu všechny tři faktory a počítá se jako:

$$OEE = \text{dostupnost} \times \text{výkon} \times \text{kvalita} \quad (4)$$

OEE poskytuje procentuální hodnotu od 0 do 100 % celkové síly stroje z hlediska přidané hodnoty pro organizaci. OEE je skvělý nástroj k identifikaci slabých nebo málo výkonných strojů a určení příčiny nízkého výkonu. To slouží jako měřítko pro tým Lean Six Sigma a je to první oblast, na kterou se tým musí zaměřit, aby zlepšil celkový výkon stroje. OEE je také vynikající nástroj pro porovnání výkonu skupiny strojů pro identifikaci slabých článků nebo oblastí pro zlepšení v zařízení (Franchetti 2015).

1.5 Druhy plýtvání

Plýtvání je jakákoli činnost, která nepřidává hodnotu, a přitom stojí výrobce peníze a zdroje. Plýtvání je ve výrobních operacích tak běžné, že je často přehlíženo. Druhy plýtvání definoval zesnulý Taiichi Ohno, který byl hlavním inženýrem výrobního systému společnosti Toyota. Původních sedm druhů plýtvání (japonsky muda) určil takto: transportation, inventory, motion, waiting, overproduction, overprocessing a defects, z těchto anglických pojmů pochází akronym TIMWOOD. Osmé plýtvání, kterým je skills, bylo doplněno v 90. letech. V důsledku toho se akronym rozrostl na TIMWOODS. Když jsou výrobci schopni identifikovat plýtvání, mohou ho snížit a tím zabránit ztrátám času, peněz a dalších zdrojů (Neuwirth 2019).

Činnosti s přidanou hodnotou musí splňovat všechna tři kritéria z pohledu externího zákazníka, mezi ty patří: zákazník činnost požaduje, výrobní jednotka je v procesu přetvářena a předpokládá se správné provedení práce hned napoprvé. **Činnosti bez přidané hodnoty** nesplňují žádné ze tří kritérií pro klasifikaci přidané hodnoty (Pande et al. 2002). Pro zákazníka činnosti nepřidávají hodnotu, a tudíž za ně není ochoten platit. Mezi tyto činnosti se řadí kromě jiného například: zpoždění, kontroly, skladování a pohyb materiálu. Některé činnosti jsou ale nezbytné z důvodů právních, účetního výkaznictví nebo dokumentace. Podíl činností s přidanou hodnotou je možné vypočítat jako: celkový čas strávený aktivitami s přidanou hodnotou / celkový čas strávený na procesu. Zpravidla se procento času s přidanou hodnotou pohybuje kolem 5 %, přičemž celkový čas bez přidané hodnoty je až 95 %. Cílem zlepšovateľského týmu je činnosti nepřidávající hodnotu odstranit nebo při nejmenším redukovat (Furterer 2013).

U každého **transportu** dílů a produktů je potřeba čas, práce a vybavení. Každý krok v přepravním cyklu může zvýšit riziko zpoždění, poškození nebo krádeže. Plýtváním jsou dlouhé složité manipulace s materiálem mezi více skladovacími místy, vzdálenými dodavateli. Špatný návrh pracovního postupu a neuspořádané továrny vytváří zbytečné mezery mezi operacemi. Pracovníci musí často zvedat a přenášet produkt i s pomocí mechanické přepravy. Procesy by měly být co nejbližší k sobě v logickém sledu. Z dlouhodobého hlediska snižuje nadměrný pohyb produktivitu a ziskovost (Neuwirth 2019).

Nadbytečné **zásoby** dávají podnikům pocit kontroly v případě nouze. Zároveň podnik váže kapitál, jak ve fyzických zásobách, tak s držením a údržbou. Mezi tyto náklady se řadí správa, manipulace, skladování, přeprava a pojištění. Hrozí ztráta, poškození, znehodnocení, odcizení nebo zastarání nadbytečných zásob. Nárůst zásob může být způsoben nadprodukcí, špatným plánováním, nevyvážeností procesů, neefektivním pracovním postupem, nadměrným objednáváním za účelem získání množstevních slev nebo některým z řady dalších skrytých faktorů. Správná velikost zásob na úrovni just in time (dále také JIT) umožňuje posílit dodavatelský řetězec, zkrátit dodací lhůty a zefektivnit výrobní procesy (Neuwirth 2019).

Zbytečný **pohyb** je škodlivý pro výkon. Kdykoli pracovníci tráví čas vytahováním, ohýbáním a zvedáním, aby splnili své pracovní úkoly, nepracují se špičkovým výkonem, ani nedodržují správné ergonomické postupy. Nadměrný pohyb zvyšuje riziko zranění pracovníků, opotřebení nástrojů a zařízení. To může vést k potenciální ztrátě nebo poškození produktu, aniž by to produktu nebo procesu přidalo nějakou hodnotu. Na rozdíl od pasivních odpadů, které může být obtížné identifikovat a měřit, plýtvání pohybem aktivně vyčerpává energii a účinnost, takže je snazší ho rozpoznat a opravit. Eliminací kroků, zkrácením vzdáleností a zefektivněním operací se mohou výrobci přiblížit špičkovému výkonu (Neuwirth 2019).

Rytmus je ve výrobním prostředí zásadní, cokoli, co jej narušuje v kterémkoli bodě toku, vytváří zpoždění proudu. Nejčastější příčiny zpoždění spočívají v **čekání** na dokončení předchozího kroku ve výrobním cyklu, čekání na přepravu materiálu z jiného místa, čekání na informace, autorizace nebo potvrzení, čekání na chybějící položku k dokončení dávky nebo čekání na vyřešení problému s kvalitou. Čekací doba nemusí vždy znamenat, že se

práce úplně zastaví, důsledkem čekání dochází často ke zpomalení práce operátorů. Příznaky čekání mohou být následující faktory nebo jejich kombinace: nevyvážené procesy, neodpovídající časy cyklů, nekonzistentní plány doplňování, špatné komunikační cesty, nesprávné řízení zásob, nespolehlivé vybavení. Dopadem čekání jsou operace, které neprobíhají hladce, a nízká produktivita (Neuwirth 2019).

Problémem u **nadvýroby** je, že objem vyrobené práce nemusí nutně korelovat s hodnotou této práce. Pokud je produkt vyroben dříve nebo ve větším množství, než je požadováno, dochází k plýtvání časem, prací a materiály. Příliš mnoho produktů vytváří zásoby, což zvyšuje náklady na skladování a správu zásob. Mezi další běžné příklady nehospodárné nadprodukce patří přebalování; plánování schůzek častěji, než je potřeba; vytváření a distribuce příliš velkého množství papírování; vytváření zpráv s více podrobnostmi, než příjemci chtějí; udržování práce a vybavení v pohotovostním režimu a duplikování systémů. Řešením je vyvážit objem a hodnotu pečlivou kalibrací plánů a procesů tak, aby se výroba synchronizovala s potřebami zásob. Nejde o to, kolik se vyprodukuje výstupů, ale jestli je žádaný (Neuwirth 2019).

Je lákavé věřit, že zvyšování standardů je dobrá věc, to však neplatí, zejména ve výrobních a distribučních provozech. Přidávání toho, co je nesprávně vnímáno jako hodnota, ve skutečnosti vytváří plýtvání časem, materiály, a dokonce kapacitou a životností zařízení. Klasickým příkladem **nadměrného zpracování** je lakování mechanické části, která není po montáži nikdy vidět. Pokud není tento nátěr nezbytný k zabránění korozi nebo zlepšení funkce, netvoří pro zákazníka přidanou hodnotu. Přepřacování obecně začíná dobrými úmysly nebo velkou opatrností a často začíná ve fázi návrhu. Pro minimalizaci plýtvání by společnosti měly zkoumat, zda lze procesy kombinovat, komprimovat nebo eliminovat. Jasně pochopení toho, co si zákazník cení, poskytuje přehled pro zlepšení výrobních metod a zefektivnění procesů za účelem eliminace plýtvání (Neuwirth 2019).

Vadné produkty mohou snižovat ziskovost a mohou také poškodit pověst společnosti. Zákazníci ztrácejí důvěru ve výkon dodavatele, když musí odmítnout zásilky, čelit zpoždění kvůli přepracování či vlastním potížím kvůli problémům s kvalitou. Když dojde k chybám ve výrobě, je důležité rychle identifikovat příčinu a přijmout okamžitá nápravná opatření. Oprava závad není levnou záležitostí, neboť vznikají náklady spojené s hledáním, řešením problémů, resetováním zařízení, přepracováním, papírováním, urychlenou dopravou

a dodáním. Výrobek je považován za vadný, pokud se odchyluje od předepsaných norem kvality nebo specifikací. Příčiny mohou sahat od použití nekvalitních materiálů, nesprávnou montáž, vadné zařízení až po chybu operátora. Většinou plýtvání lze předejít preventivním opatřením ještě předtím, než dojde k závadám. Výrobky mohou být například navrženy tak, aby nedocházelo k nesprávné montáži. Postupy a kontroly by měly být standardizovány, různí operátoři na směnách pak budou produkovat konzistentní kvalitu. Měla by být minimalizována přeprava materiálu, který by se měl před uvedením do výroby zkontrolovat. Stejně tak by se mělo udržovat prostředí a zařízení, díky čemuž se stabilizují výrobní podmínky. Operátoři by měli být vyškoleni, aby zjistili závady a zastavili linku v případě nutných oprav. Aby se zaměstnanci motivovali k minimalizaci plýtvání, měla by být odměňována jejich kvalita. (Neuwirth 2019).

Poslední kategorie zahrnuje plýtvání **lidským potenciálem**. Zneužití potenciálu může být důsledkem nesprávné struktury a distribuce práce. Mohou za to nesladěné cíle jednotlivých oddělení, které způsobují, že zaměstnanci pracují neúčelně. Je podstatné správně definovat úkol a zkontrolovat porozumění požadavku vykonávající strany. Zbytečnou formou plýtvání je soutěžení mezi týmy v rámci organizace namísto spolupráce, která může ušetřit mnoho zbytečného úsilí. Manažeři svoje zaměstnance někdy podceňují, nejsou schopni využít a podpořit jejich potenciál dovedností a talentu (Morgan a Brenig-Jones 2012).

Metodiky Lean Six Sigma mohou být přátelské k životnímu prostředí, nicméně v současnosti jsou metodiky většinou implementovány bez ohledu na pozitivní či negativní dopad na životní prostředí. Užívání principu 7 druhů plýtvání hraje velkou roli pro životní prostředí. Proto se tato metoda řadí mezi principy **Green Lean Sigma**, což je udržitelná interpretace Lean Six Sigma. Efekty pro životní prostředí jsou názorně vidět na příkladech transportu, kdy se při zkrácení vzdálenosti mezi procesy, které vyžadují manipulační systémy, výrazně snižuje spotřeba energie. U čekání pomáhá redukce prodlev mezi procesy, a to pomocí sjednocení práce operátora a strojů, to může mít velký dopad na roční emise. Užití nástrojů pro snížení variací, tj. redukci zmetků nebo oprav výrobků, ušetří kromě času a peněz také drahocenné zdroje, a navíc snižuje CO₂. Základem u nadvýroby produktů s omezenou trvanlivostí v potravinářském průmyslu je vyrábět to, co zákazník chce, když to chce – snižuje se tím množství vyhozených potravin. Všemi výše zmíněnými kroky organizace přispívají ke snížení své uhlíkové stopy, ale mnoho společností si této skutečnosti ani nemusí být vědoma (Antony a Kumar 2011).

1.6 Řízení kvality

Kvalita je v podnicích řešena zejména ve vztahu k certifikaci a auditu zákazníka. Zákazníci více tlačí na požadavky kvality a podniky se jim snaží vyhovět. Procesy kvality ve filozofii štíhlého podniku se místo sbírání objemného množství a někdy i zbytečných dat soustředí na rychlé odhalení příčin nekvality a jejich okamžité a konečné odstranění. V podnicích se obrovské množství času a úsilí věnuje statistikám, rozborům a hlášením o kvalitě, které jsou vyžadovány auditory či vedením podniku. Tyto samotné analýzy bývají plýtváním a většinou končí v databázích, místo toho, aby byly odhalovány a odstraňovány skutečné příčiny nekvality. Kvalita se zpravidla pohybuje okolo stejného průměru, ale počet s ní spojené administrativy roste. Všechny statistiky nemají význam, pokud ukazatel kvality neroste. Podniky potřebují nástroje k zaznamenávání průběhu kvality, jejich vyhodnocování a plánování nápravy. Mnohé prostředky kvality však fungují pouze byrokraticky na papíře, v kancelářích, bez detailní znalosti konkrétního procesu. Štíhlé procesy kvality v podniku se zakládají na zastavení výroby při vzniku nekvality, hledání příčiny přímo v procesu a definitivní odstranění příčiny problému. Za to tradiční procesy kvality stavějí na sepsání protokolu o neshodě, porady kvality a návrhy opatření, katalog nápravných opatření a hodnocení plnění opatření. Čím později je nekvalita odhalena, tím více to stojí peněz a času. Mezi nástroje pro řešení problémů kvality patří: 7 nástrojů kvality, SPC, FMEA, QFD a Design of Experiments. Dva podstatné prvky zabezpečující kvalitu ve štíhlém podniku jsou kvalita u zdroje a standardizace práce (Košturiak a Frolík 2006).

Kvalitou u zdroje se rozumí, že jsou procesy zabezpečeny tak, aby byla vada v procesu a zmetek okamžitě odhalen a problém se ihned řešil. Z toho důvodu dochází k zastavení linek, to je jeden z největších rozdílů v kultuře managementu na Západě a v Japonsku. Manažeři Toyoty, jakožto nejproduktivnějším výrobcem automobilů na světě tvrdí, že linka nemusí pracovat na 100 %. Stačí méně a zbylý čas je potřeba věnovat řešení kvality a zlepšování procesů. Pro okamžité řešení problémů se využívají různé nástroje, např. samokontrola, kterou provádějí operátoři přímo na pracovišti. Další možností je linka stop, kde každý pracovník má právo zastavit linku v případě vzniku chyby. Linku je možné zastavit pomocí zatažení provázku či světelným signálem, poté co linka stojí, musejí všichni kompetentní pracovníci věnovat pozornost odstranění problému. V podnicích se také užívají zařízení na automatické zachycení abnormality a zastavení procesu, tento nástroj se nazývá jidoka (Košturiak a Frolík 2006).

Jidoka pochází z japonského výrazu pro stroje s tzv. lidskou inteligencí. Stroje se při zjištění závady automaticky zastaví a informují operátora. Tím je zajištěno, že nedojde k opakování chyby, dokud nebude příčina problému odstraněna (Váchal a Vochozka 2013). Jednoduchým příkladem Jidoka může být tiskárna, která se zastaví, pokud dojde inkoust. Jidoka zabraňuje přechodu vadné položky do dalšího procesu. Výrobní stroje pracují autonomně, dokud se něco nepokazí, pak se automaticky vypnou. U ručních procesů je třeba procesy ukončit, například pomocí zastavení linky, kdykoli dojde k abnormálnímu stavu (Morgan a Brenig-Jones 2012).

Posledním možným prostředkem, který zabraňuje vzniku chyb v procesech, je **poka yoke**. Tento princip musí být zabudován již při konstrukci výrobku a výrobního procesu (Košturiak a Frolík 2006). Poka yoke znamená v japonštině vyhnout se neúmyslným chybám. Přístup se tak snaží předcházet chybám, nebo je činí zřejmé na první pohled. Poka yoke přístupy jsou založené na jednoduchosti a vynalézavosti, jsou levné a efektivní. Existuje mnoho přístupů jako kontrola chyb při kontaktu, to znamená, že fyzický design produktu umožňuje instalaci dílů pouze ve správné poloze. Toho je dosaženo pomocí různých kombinací velikostí dílů, tvarů a barev. Další možností je otvor s pevným průměrem, kudy neprojde žádný nadrozměrný produkt. Využívá se také kontroly kroků pomocí tlakově citlivých položek. Chyby se kontrolují také pomocí zásobníků, pokud je jedna přihrádka plná, je zřejmé že na výrobku součástka chybí (Morgan a Brenig-Jones 2012).

Kvalita a produktivita práce mají úzký vztah se **standards na pracovišti** a s jejich dodržováním. V praxi mají podniky standardy na všechno, ale pracovníci o nich nejsou informováni nebo je nedodržují. Ve štíhlém podniku je nutné všechny procesy standardizovat s ohledem na kvalitu, bezpečnost a efektivní využití pracovníků, materiálů, strojů a náradí. Standardy v podniku pomáhají udržet podmínky z pohledu kvality, nákladů, produktivity, termínů a etiky. Standardy práce se zaměřují především na redukci variability procesů a oprav chyb, usnadnění komunikace, zviditelnění problémů, pomoc vzdělávání a zlepšování a zvýšení pracovní disciplíny. Standardy práce musí být na rozdíl od technologické a výrobní dokumentace stručné, jednoduše vizualizované a jednoznačné. Standardy na pracovišti se dají využít zejména ve výrobě, vývoji, logistice a administrativě. Standardy se v podnicích vytvářejí při potřebě zvýšení kvality, vyšší stabilizace procesů a zvyšování spokojenosti zákazníka (Košturiak a Frolík 2006).

1.7 Nástroje řízení kvality

Existuje sedm základních nástrojů pro řízení kvality a zlepšování procesů, mezi ty patří: vývojové diagramy, diagram příčin a následků, korelační a regulační diagramy. V této kapitole jsou z důvodu využití v praktické části závěrečné práce blíže specifikovány následující tři nástroje: formulář pro sběr údajů, histogramy a Paretův diagram.

1.7.1 Formulář pro sběr údajů

Formulář pro sběr údajů slouží k systematickému zaznamenávání dat, k hodnocení stávajícího procesu, ke směřování neustálého zlepšování a hodnocení účinnosti provedených opatření. Záznamník nemusí mít jen papírovou podobu, v současném rozvoji informačních technologií má často elektronickou podobu. Výhodou je, že mohou být rychle sdíleny mezi pracovníky, jsou vždy čitelné, mohou mít ochranu proti zapsání nesprávných údajů či automatickou kontrolu úplnosti údajů. Data mohou být okamžitě vyhodnocena například pomocí grafických výstupů (Nenadál 2018).

Při přípravě formuláře pro sběr údajů je zapotřebí vědět, na jaké otázky mají shromážděná data odpovědět a jaké informace potřebujeme z dat získat. Vypovídací schopnost dat nezávisí na jejich počtu, ale na vhodné volbě sledovaných veličin. Vhodným podkladem pro to může být diagram příčin a následků, který identifikoval problémy. I když v současné době podniky směřují k monitorování téměř všech údajů ohledně procesu, je nutné se v obrovském množství dat zorientovat. Před návrhem formuláře je potřeba vyjasnit, jak budou získaná data zpracována, čemuž by měl být přizpůsoben návrh formuláře. Záznamník musí být srozumitelný, přehledný a vhodně uspořádaný. Důležité jsou taky identifikační znaky, které zahrnují datum, čas a místo, výrobní zařízení, jméno pracovníka, systém měření a další důležité údaje. Identifikační údaje jsou podstatné pro následné třídění dat (Nenadál 2018).

1.7.2 Paretův diagram

Paretova analýza vychází z principu, který je známý jako pravidlo 80:20. To říká, že obecně je 80 % důsledků způsobeno jen 20 % příčin. Joseph Moses Juran tento základní princip převedl do pojetí kvality a tvrdí, že pouze 20 % příčin vytváří 80 % problémů s kvalitou. Z tohoto pravidla vyplývá, že se podnik musí soustředit na všechny problémy např. reklamace související s kvalitou, aby je lépe poznal. Teprve následně musí rozdělit, jak která příčina, tj. reklamace přispívá ke vzniku daného důsledku. Důsledkem mohou být nákladové

veličiny či počet reklamovaných kusů. Dále jsou důsledky, tj. náklady seřazeny do klesající řady podle příčin, tedy hodnot nákladů. Pomocí relativní kumulace se určí, kde se nachází hodnota 80 % nákladů, které jsou způsobeny 20 % reklamacemi. Tyto vybrané reklamace kvality způsobují podniku nejvyšší náklady, takže by se měl primárně zaměřit na eliminaci těchto problémů kvality. Z toho vyplývá, že počet reklamací nemusí znamenat stejné množství problémů. Jedna reklamace může mít mnohem větší dopad než desítky opakujících se (Filip 2019).

Paretův diagram je spojením sloupcového a bodového diagramu. Pomocí sloupců, které by na sebe měly navazovat, jsou sestupně porovnány příspěvky jednotlivých příčin. Osa y zahrnuje hodnotu celkového součtu všech příspěvků. Zakreslený bodový diagram je doplněn o Lorenzovu křivku, která znázorňuje průběh hodnot relativních kumulativních součtů příspěvků v procentech. Lomená křivka předchází doplnění pravé osy pro hodnoty relativních kumulativních součtů v procentech (Nenadál 2018).

1.7.3 Histogramy

Histogram je sloupcový diagram vyjadřující rozdělení četnosti hodnot ve vhodně zvolených intervalech. Oproti jiným sloupcovým diagramům je zvláštní skutečnost, že šířka sloupce odpovídá šířce intervalu sledovaného znaku, ve kterém se zjišťuje četnost hodnot. Sloupce v histogramu by na sebe měly vždy navazovat, protože dolní hranice intervalu je zároveň horní hranicí předchozího intervalu a horní hranice daného intervalu zároveň dolní hranicí následujícího intervalu. Graf poskytuje informace o charakteru rozdělení sledovaného znaku. Možnosti využití histogramu jsou široké, od analýzy kvality vstupů přes analýzy způsobilosti procesu, hodnocení úspěšnosti zlepšování. K sestavení histogramu je dnes využíván zejména software. Na základě dat lze sestavit variační rozpětí hodnot, které je uvedeno ve vzorci 5 níže:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (5)$$

kde R...variační rozpětí hodnot,

x_{max} ... maximální hodnota souboru,

x_{min} ... minimální hodnota souboru (Nenadál 2018).

Stupnice na ose x odpovídá hodnotám sledovaného znaku a šířka sloupců tak umožňuje vymezení jednotlivých intervalů. Výška sloupců pak odpovídá četnostem hodnot

v jednotlivých intervalech, které jsou na ose y. Analýza histogramu se soustřeďuje na polohu, která charakterizuje střední hodnotu sledovaného znaku; na jeho šířku, která vypovídá o variabilitě hodnot a na jeho tvar, který umožňuje odhalit některé zvláštní příčiny variability. Histogram může nabývat několika tvarů: dvouvrcholový, hřebenový, plochý atd., nejčastěji se lze však setkat se zvonovitým tvarem. Ten je obrazem hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení a vyskytuje se zejména v případech, kdy variabilita hodnot je vyvolána pouze působením náhodných příčin (Nenadál 2018).

1.8 Opakovatelnost a reprodukovatelnost

Opakovatelnost a reprodukovatelnost, angl. repeatability and reproducibility (dále také R&R), patří mezi analýzy systému měření. Opakovatelnost systému měření charakterizuje variabilitu měření stejného výrobku v opakujících se situacích. Podmínky opakovatelnosti jsou splněny, pokud výsledky měření získává stejný operátor, stejnou metodou, stejným měřicím přístrojem a ve stejném místě měření. Za to reprodukovatelnost systému měření představuje variabilitu středních hodnot opakovaných měření stejného znaku, provedených za různých podmínek. To může být v případě, kdy měření provádějí různí operátoři nebo pokud jeden operátor měří různými prostředky. V praxi se často využívá kombinace obou systémů měření. Důvodem je, že při měření většinou nelze zajistit stabilní podmínky, protože se rychle mění. Nejčastější změnou bývá samotný operátor, který měření provádí (Nenadál 2018).

V praxi by to mohlo vypadat tak, že v případě opakovatelnosti je požádán první operátor, aby změřil dávku položek, přičemž se mu počítá čas. Za určitou dobu je znovu požádán ten samý operátor, zda by změřil stejnou dávku. Za situace reprodukovatelnosti by byl osloven druhý operátor, aby zkontroloval stejnou dávku vzorků, následně je nutné zjistit, zda se jeho výsledky liší od první osoby. Důležité je, že osoba provádějící měření nezná předchozí výsledky. Následně se vyhodnotí případné rozdíly a určí se, zda jsou signifikantní a zdali jsou zapotřebí nápravná opatření. Může nastat situace, že se vzorky v dávce klasifikují do různých kategorií. Pak je možné kromě posouzení shody mezi operátory porovnat jejich hodnocení s výsledky odborníků. Stává se, že operátoři jsou mezi sebou sjednoceni, ale nejsou v souladu s hodnocením odborníka. Tím je zajištěna konzistentní klasifikace a někdy jsou zdůrazněny i potřeby školení (Morgan a Brenig-Jones 2012).

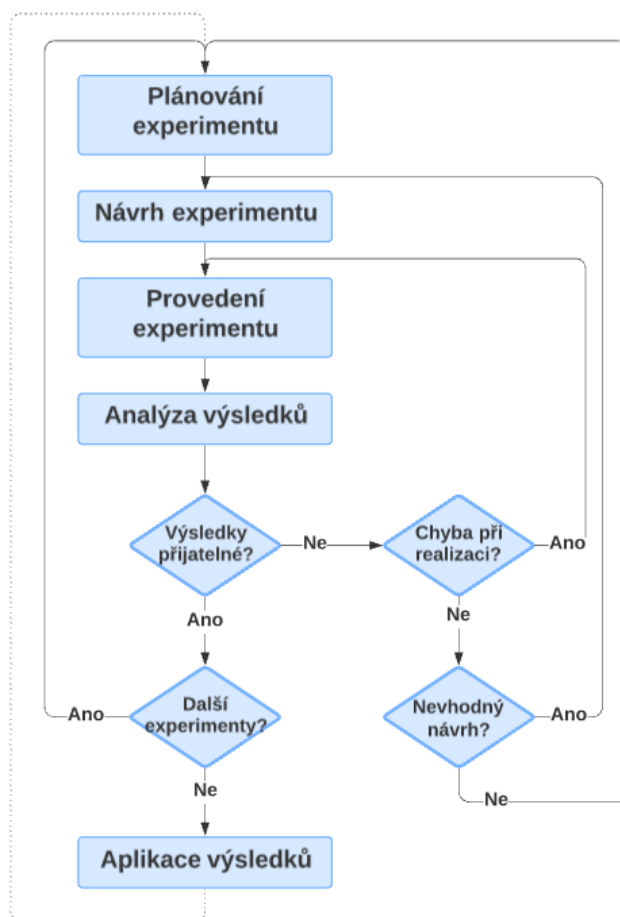
1.9 Design of experiments

Design of experiments (dále také DoE) je relevantní především, je-li žádoucí určit, které z mnoha možných změn systémových vstupů způsobují průměrné změny výstupu. Na začátku experimentu bývá dlouhý seznam možných vlivných faktorů. Cílem je tento seznam faktorů zkrátit o ty faktory, u kterých se předpokládá, že neovlivňují výsledek. Metoda umožňuje simulování několika nastavení variant faktorů (Allen 2006).

Cílem DoE je zajistit v optimálním počtu experimentů technologickou koncepci výrobku. Počet pokusů se odvíjí od procesních toků, jejich rozdílných charakteristik a číselných možností. Přijatelných kombinací takového experimentu je mnoho, a proto je třeba jejich počet snížit za účelem ušetření času a nákladů na vývoj. Přistupuje se tedy k statistickému plánování dílčího faktoriálního experimentu, jako je DoE, kde nejsou všechny kombinace faktorů otestovány. Smyslem DoE je docílit nejlepší kombinace komponentů optimálního průběhu procesu. Nutná je přitom znalost nejdůležitějších požadavků/faktorů z pohledu zákazníka a podniku. Z pohledu Six Sigma je každá činnost proces, který přináší výsledný výstup a jeho kvalita závisí na různých ovlivňujících faktorech. Pokud jsou známy všechny ovlivňující náhodné proměnné pro definovanou kvalitu výrobku, vyvstává otázka, jak veliký je vliv jednotlivých náhodných proměnných na výstup. Vliv se může pohybovat mezi 0 a 100 %, takže kvalita výrobku může v extrémním případě záviset jen na jednom faktoru. V jiném pravděpodobnějším případě mají všechny faktory více méně stejně velký vliv na kvalitu výrobku. Může se stát, že na výsledek mají vliv nejen hlavní faktory, ale také kombinace dvou nebo více faktorů. Nevýhodou je možný únik informací, protože nebudou zkontrolovány všechny kombinace. Z toho vyplývá hlavní omezení metody, že žádné tvrzení nemůže být 100% pravděpodobné. Výhoda metody spočívá v tom, že může být zkoumán větší počet faktorů díky sníženému počtu pokusů, tím je pokus přehlednější a dochází k úspoře nákladů a času (Töpfer 2008).

Design of experiments lze považovat za souhrn řady činností, které je možné rozdělit do pěti etap: plánování experimentu, návrh experimentu, provedení experimentu, analýza výsledků a aplikace výsledků. Experiment je vhodný v situaci, kdy nejsou k dispozici dostatečné informace, aby bylo možné pomocí jednoho experimentu nalézt optimální nastavení procesu. Proto je nutné naplánovat více drobných experimentů, v jejichž průběhu je možné získat více znalostí o procesu a dostat se do blízkosti optima. Je proto pravděpodobné, že se

celý postup výše zmíněných pěti kroků bude několikrát opakovat. Celý postup je znázorněn na obrázku 3 níže. Po čtvrtém kroku analýzy výsledků je zapotřebí se ujistit, zda jsou výsledky přijatelné či nikoliv. Pokud jsou přijatelné, záleží, zda jsou nutné další experimenty, pokud ano začne se opět od prvního kroku. Pokud není zapotřebí dalších experimentů, je možné přejít k aplikaci výsledků. Nastane-li situace, že výsledky nejsou přijatelné, může to být z důvodu chyby při experimentu, v tomto případě je vhodné začít znovu u třetího kroku. Pokud není identifikována chyba při realizaci experimentu, může být problém v rámci nevhodného návrhu, pak je nutné začít znovu od druhého kroku. Pokud ani návrh nebyl vhodný, je doporučováno začít úplně od začátku plánování experimentu (Miller 2010).



Obrázek 3: Postup experimentu

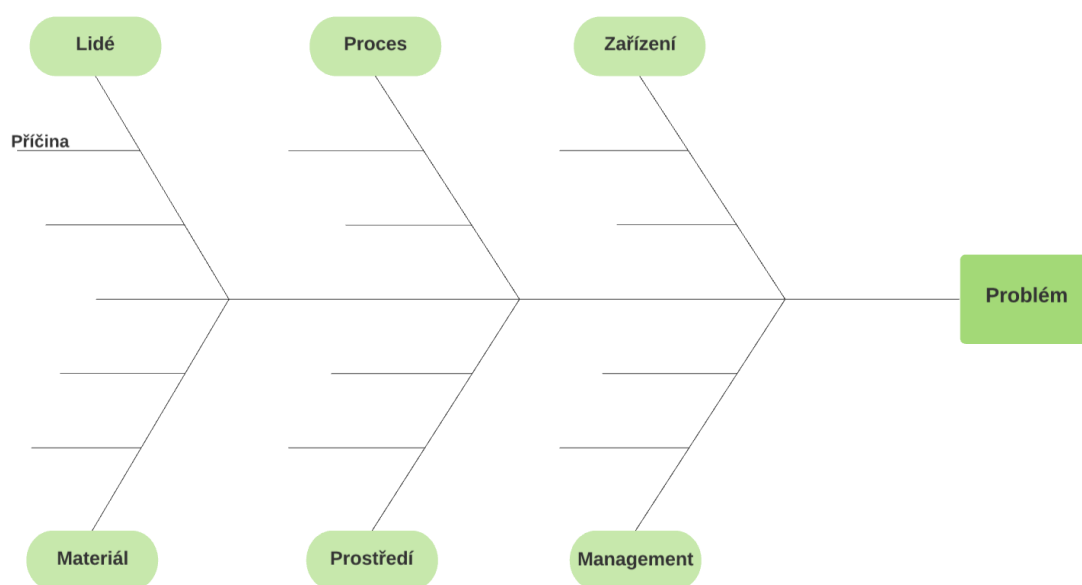
Zdroj: Vlastní zpracování v programu Lucidchart dle Millera (2010, str. 26)

Při plánování experimentu v rámci projektu Six Sigma je důležité pracovat v týmu. V týmu by měli být především: odborníci na samotný proces (technologové, procesní inženýři, analytici); lidé zabývající se kvalitou; zástupci zákazníka (interního i externího); lidé, kteří

s procesem přicházejí do styku; lidé, kteří mají zkušenosti s vyhodnocováním dat (např. za pomoci statistického softwaru). Před zahájením experimentu je zapotřebí naplánovat zdroje experimentu, těmi jsou: kapacita strojů či zařízení, peníze, lidé, čas, vhodný software (Miller 2010).

Zejména v oblasti výroby jsou některé procesy složité a znalosti vedení nestačí k tomu, aby bylo spočítáno jejich nejvýhodnější nastavení. Často není zřejmé, jaké faktory mají na výsledek procesu největší vliv. V takových případech je potřebné, aby se oddělily důležité faktory od těch méně důležitých. K tomu je vhodné použít nástroj Ishikawův diagram, také nazýván rybí kost či diagram příčin a následků (Miller 2010).

Jak již název diagramu napovídá, byl vyvinut Dr. Ishikawem a poskytuje užitečný způsob seskupování a prezentace nápadů z brainstormingu. Při samotném brainstormingu je vhodné používat lepicí papírky, které se dají snadno přesouvat. Do hlavy rybí kosti, která je vidět na obrázku 4 níže, se zapíše zkoumaný problém, ten musí být správně definovaný. Team postupně přichází s nápady možných příčin problému, které tvoří hlavní větve. U každé možné hlavní příčiny je dobré položit si otázku „Proč si myslíme, že je to možná příčina?“, odpovědi mohou být blíže specifikované příčiny, které tvoří menší kosti, vycházející z těch hlavních (Morgan a Brenig-Jones 2012).



Obrázek 4: Ishikawův diagram příčin a následků

Zdroj: Vlastní zpracování v programu Lucidchart dle Morgan a Brenig-Jones (2012, str. 140)

Aby byl udržěn nízký počet kroků experimentu a tím i nízké náklady, je nutné dále stanovit úroveň faktorů. Faktory se dělí na dolní a horní úroveň a postup se nazývá screening, tedy použití síta. Pokud jsou k dispozici všechna data, je možné vytvořit návrh faktoriálního experimentu v programu Minitab. Tam je nutné zadat faktor s jednotkami, dolní a horní úroveň, které může faktor nabývat. Výsledkem je model procesu a dále kroky procesu, dle nich je možné provádět vlastní experiment. Minitab je schopen pomocí Paretova diagramu oddělit významné faktory, které mají v procesu skutečný vliv, od těch, které tvoří experimentální šum. Celková vypovídací hodnota modelu je dána koeficientem R-Sq neboli R^2 , což je koeficient mnohonásobné determinace. Ten udává, z jaké části jsou naměřené hodnoty vysvětlitelné pomocí manipulace s faktory, neboli kolika procenty dokáže model procesu vysvětlit proměnlivost (Miller 2010).

1.10 ANOVA

Pomocí testování hypotéz lze zjistit, zda existuje statisticky významný rozdíl či nikoliv. Prvním krokem je vytvoření nulové a alternativní hypotézy. Nulová hypotéza, obvykle vyjádřená jako H_0 , navrhuje, že mezi údaji není žádný rozdíl. Alternativní hypotéza, označená jako H_1 , uvádí, že rozdíl je evidentní. Obvykle se užívá 95% hladina významnosti. Ta znamená, že si můžeme být na 95 % jisti, že výsledky zobrazují buď statistický rozdíl, nebo ne (Morgan a Brenig-Jones 2012).

Často uplatňovanou statistickou metodou je analýza rozptylu (dále také ANOVA). Využívá se zejména ve výzkumech, kde je zapotřebí zhodnotit vliv různých faktorů a zjistit, který faktor má nejsilnější vliv na proces a který naopak zanedbatelný. Základní myšlenkou analýzy rozptylu je rozložit celkový rozptyl zkoumané veličiny na části způsobené jednotlivými faktory a zbytkovou část zapříčiněnou náhodnými vlivy. Porovnání rozptylů odpovídajících jednotlivým faktorům se zbytkovými rozptyly způsobenými náhodnými vlivy může odhalit, zda jsou ty první skutečně vlivem příslušných faktorů, nebo jsou pouze náhodné. Analýza rozptylu je založena na testování hypotéz. Nulová hypotéza testuje, zda mezi vlivy jednotlivých faktorů není významný rozdíl. Alternativní hypotéza nulovou hypotézu popírá. Vzorové rozptyly mají chí-kvadrát distribuci a poměr dvou veličin s chí-kvadrát distribucí má F-rozdělení. Proto se pro kontrolu vlivu jednotlivých faktorů používají F-testy. Je-li F-hodnota vypočtená z naměřených dat vyšší než kritická hodnota, vyplývá z toho, že rozdíly mezi jednotlivými faktory jsou významné. Nulová hypotéza je zamítnuta na hladině významnosti α . Nastane-li opačná situace, že F-hodnota je nižší než kritická

hodnota, znamená to, že rozdíl mezi jednotlivými faktory není podstatný (Menčík 2017). Tento závěr lze interpretovat jedním ze tří způsobů: vzorky pocházejí ze stejné původní populace, vyskytuje se příliš mnoho variací nebo jsou vzorky příliš malé na to, aby detekovaly jakýkoli skutečný rozdíl (Morgan a Brenig-Jones 2012).

2 Analýza a návrhy na zlepšení výrobního procesu

Analytická část závěrečné práce je zaměřena na analýzu a zlepšení výrobního procesu konkrétního druhu výrobku pomocí metodologie Lean Six Sigma za účelem snížení zmetkovitosti ve výrobě.

2.1 Představení podniku

Následující část práce je zpracována ve společnosti Laird Group, která byla založena v roce 1864 a od té doby působí v různých oborech průmyslu. Laird Group zaměstnává zhruba 9 000 zaměstnanců po celém světě. Laird s.r.o. má sídlo v Liberci od roku 2003. Před rokem 2016 existovaly výrobní závody podniku v Belgii a Švédsku, ty však byly uzavřeny a kompletní výroba se tak přesunula do libereckého závodu, který je v současné době jediným v Evropě. Liberecký závod zaměstnává okolo 300 pracovníků (Interní materiály ze školení zaměstnanců 2021).

Laird produkuje rozmanitou škálu výrobků, které dodává do různorodých odvětví průmyslu, jedná se o automotive, zdravotnictví, telekomunikace, průmysl 4.0, IT a high-tech. Polovina objemu výroby tvoří zakázky právě do automotive průmyslu. Společnost Laird má tři základní výrobní řady, první z nich se zabývá teplem a energií. Laird produkuje materiály tepelného rozhraní, které udržují elektroniku v chladu, spolu s indukčními součástmi, které měřitelně zlepšují dodávku energie zachováním integrity signálu. Tyto materiály tepelného rozhraní mohou mít buď tuhý, nebo tekutý charakter. Druhá výrobní řada se zabývá elektromagnetickým zářením. Obsahuje výrobu absorbérů, které mají schopnost snižovat rozptýlené rušivé elektromagnetické vlnění u elektronických produktů. V poslední řadě se Laird zaměřuje na poskytování integrovaných řešení. Díky své letité zkušenosti ve společném inženýrství je Laird vhodným odborným poradcem pro zákazníky, kteří mají otázky ohledně překážek při návrhu zařízení. Překážky se týkají problémů s designem zahrnující vysokorychlostní a velkoobjemový přenos dat, při kterém vzniká více energie a tepla ve stále se zmenšujících prostorech.

Nadnárodní společnost Laird Group se skládá z více nezávislých podniků: Laird Thermal Systems a Laird Connectivity, které jsou ve vlastnictví soukromé kapitálové společnosti. Třetí samostatný podnik, v němž je zpracována závěrečná práce, se nazývá Laird

Performance Materials, ten spadá od 1. července 2021 pod společnost DuPont. V tento den DuPont úspěšně dokončil akvizici společnosti Laird Performance Materials s jeho přibližně 4 300 zaměstnanci. Akvizice světového lídra v oblasti vysoce výkonných řešení elektromagnetického stínění a řízení teploty je pro DuPont dalším smysluplným krokem při prosazování strategie růstu a vytváření dlouhodobé hodnoty pro akcionáře firmy. Výrobní sortiment Lairdu skvěle doplňuje a rovněž rozšiřuje portfolio DuPontu. Společně využijí možnosti efektivního vývoje multifunkčních řešení a zvýší rychlost uvádění nových produktů na trh pro svou rozšířenou zákaznickou základnu (Laird 2021).

2.2 Základní charakteristika projektu

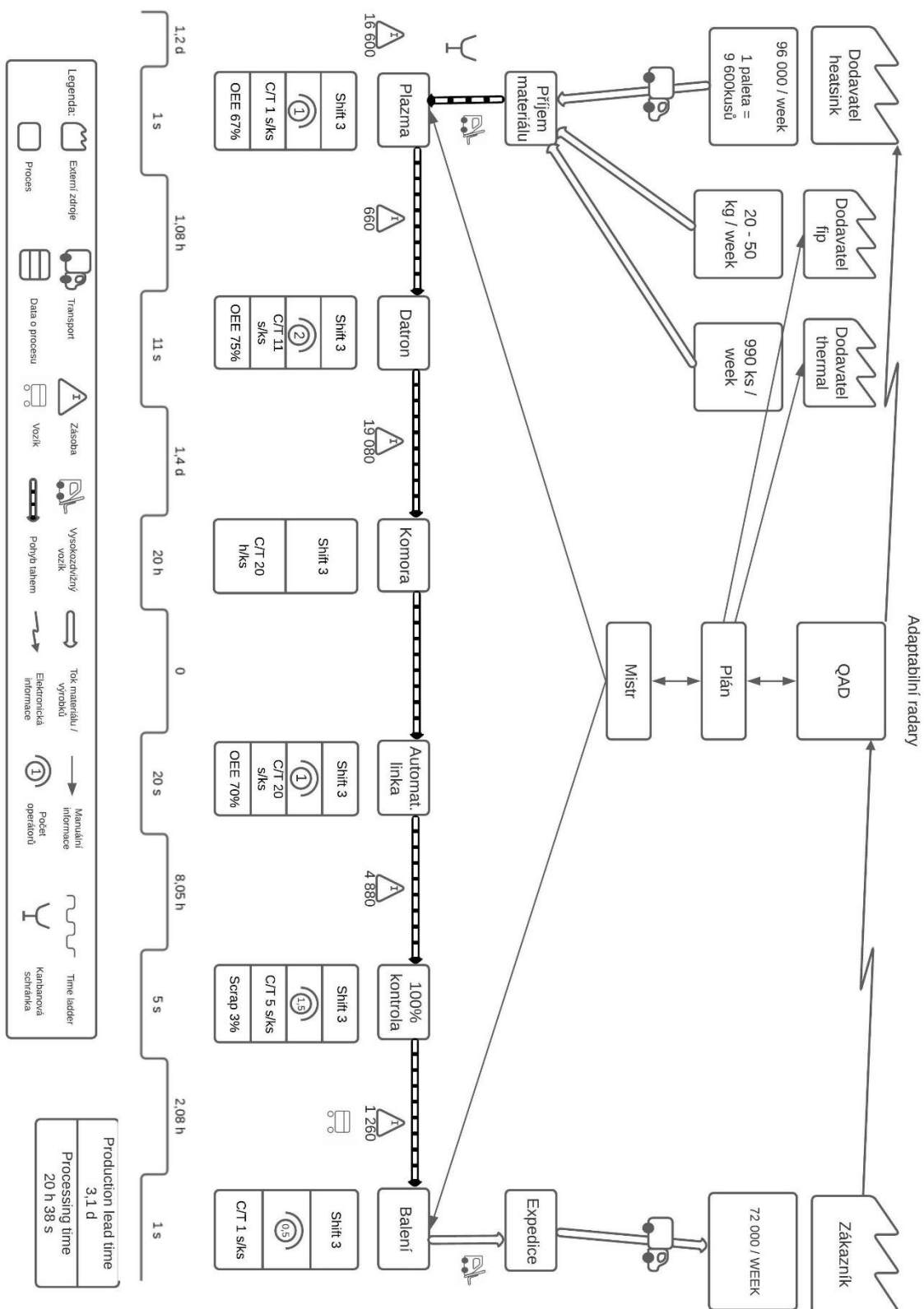
V rámci závěrečné práce je analyzována výroba schránky adaptabilního radaru. Adaptabilní radar se v podniku vyrábí od roku 2018 a užívá se např. v automobilovém průmyslu. Podnik vyrábí pouze část výrobku, aby celý výrobní postup zůstal zachován v tajnosti. Z důvodu očekávaného růstu poptávky je nutné zefektivnit celý výrobní proces a snížit zmetkovitost. Ta v celém výrobním řetězci činí 7 %, z toho 3,5 % na oddělení automatické výrobní linky, kde jsou zmetky identifikovány kamerou a většina jich vzniká již na tzv. datronech – disperzních strojích. Další 3,5 % zmetků je odhaleno na procesu kontroly kvality. Cílem je snížení zmetkovitost pod 4 % a zvýšení výrobní produktivity. Cílů bude dosaženo pomocí metod Lean Six Sigma, kterým se praktická část závěrečné práce věnuje. Na oddělení kontroly kvality bude zmetkovitost analyzována pomocí R&R analýzy. Zmetky na automatické lince budou redukovány pomocí metod DoE a ANOVY, jež budou provedeny na procesu s datrony.

Na analýze a zlepšení výrobního procesu pracoval celý projektový tým v čele s vedoucím projektu, jenž vedl celý projekt, rozhodoval o použití nástrojů Lean Six Sigma, prováděl analýzy dat a školení zaměstnanců. Dalším členem týmu byl technolog, který zajišťoval seřízení jednotlivých zařízení, určoval technologické postupy a prováděl následné zlepšování procesů. Dále se na projektu podílel kvalitář, neboť vykonával kontrolu kvality vzorků. Tým doplňovala samotná autorka, která kooperovala s technologií a kvalitou a prováděla měření vzorků. Projekt byl v podniku realizován v časovém rozmezí od března do října roku 2021.

2.3 Value stream mapping

Prvním krokem v rámci analýzy procesu je value stream mapping neboli mapování toku hodnot. Pomocí uvedené metody je možné vytvořit přehledné schéma současného stavu výrobních a informačních toků. Výsledné schéma je uvedeno na obrázku 5 na následující stránce. Value stream mapping bylo v podniku provedeno v březnu roku 2021.

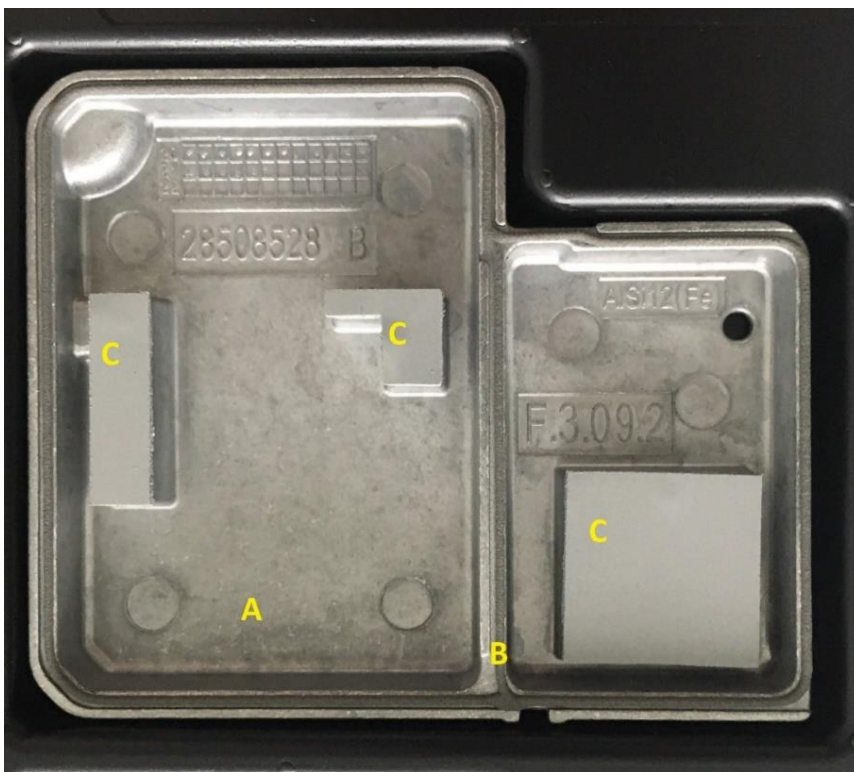
V horní části schématu jsou uvedeny informační toky. Vpravo nahoře je uveden externí zdroj neboli zákazník, který podává elektronickou objednávku výrobků přes podnikový ERP systém nazývaný se QAD. Ze systému se vygeneruje výrobní plán a na základě tohoto plánu je objednan materiál pro výrobu.



Obrázek 5: Value stream mapping výroby adaptabilních radarů

Zdroj: Vlastní zpracování v programu Lucidchart na základě podkladů společnosti

Dále je ze schématu možné vyčíst, že výrobek se skládá ze tří komponentů, které dodávají podniku externí zdroje. Základním materiálem je tzv. heatsink, kovová destička o rozměru zhruba 7 x 6 cm. Právě ta je dodávána externím dodavatelem, jemuž se elektronická objednávka heatsinku zasílá pomocí QAD systému. Zbylé dvě pomocné látky se vyrábějí přímo v podniku a požadavky na jejich výrobu se odvíjejí od výrobního plánu. Prvním z těchto komponentů je tzv. fip, hustá směs, která se na heatsinky nanáší. Druhým je tzv. thermal, tím se heatsinky polepují. Pro názornost je na obrázku 6 níže zobrazen hotový výrobek s označením jednotlivých komponentů. Kovová destička je označena písmenem A, fip je označen písmenem B a thermaly písmeny C.



Obrázek 6: Hotová schránka adaptabilního radaru

Zdroj: Vlastní zpracování

Ve střední části schématu z obrázku 5 jsou popsány materiálové toky, procesy a data související s procesy. Heatsinky se od externího podniku objednávají týdně po 96 000 kusech. Na jedné paletě je umístěno 9 600 kusů. Materiál je do podniku dopravován pomocí nákladního automobilu. Zbylé dva komponenty se vyrábí po 20-50 kg a 990 kusech týdně. Mapa toku hodnot obsahuje 6 hlavních procesů, jsou jimi: plazma, datron, komora, automatická linka, stoprocentní kontrola kvality a balení. Dále je potřeba zmínit dva vedlejší

procesy, které stojí na začátku a na konci: příjem materiálu a expedice. Ve zbylé části mapy jsou popsány materiálové toky a informace o hlavním komponentu, kterým je heatsink.

Z výrobního plánu je sestavován příkaz, který mistr předává seřizovači na plazmě. Na základě příkazu vydává seřizovač kanbanové karty do určené schránky, aby byl dodán materiál ze skladu. Materiál se musí dopravit k následnému procesu zpracování, kterým je plazma. Z příjmu materiálu se materiál pohybuje pomocí kanbanu, tj. tahem. K plazmě je materiál poté dopravován vysokozdvíhými vozíky na paletách, kde je uskladněn v bednách.

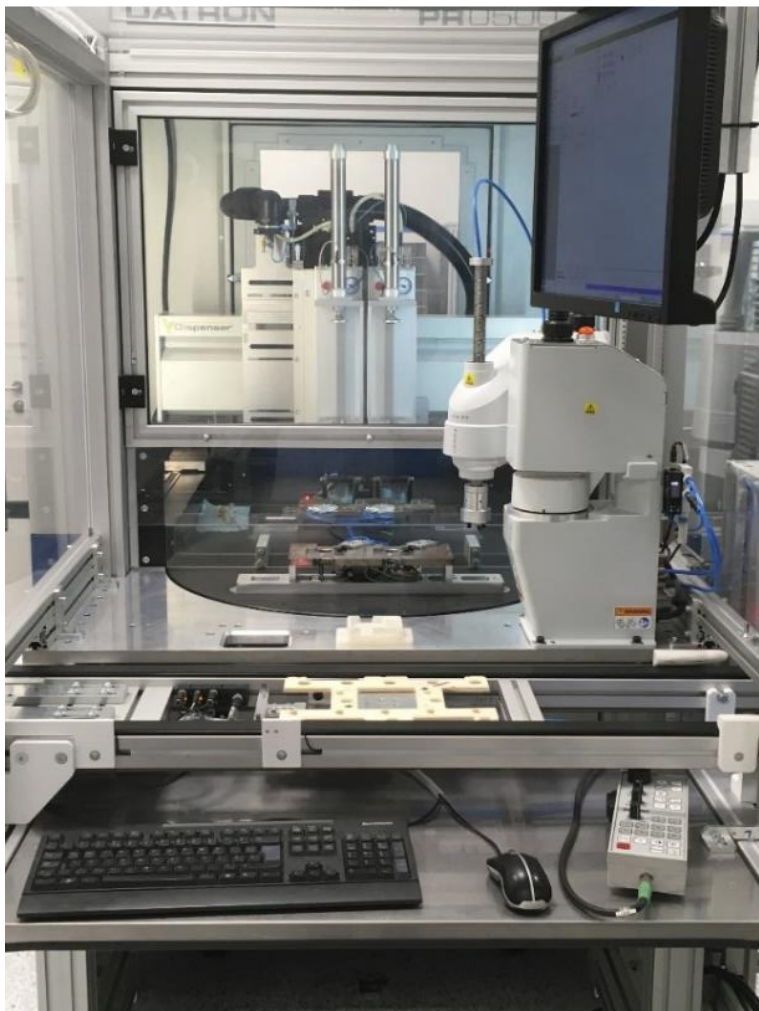
Před plazmou je zajištěna zásoba ve výši 16 600 kusů heatsinků. Pracovní náplň dělníka na plazmě je vyndat destičky z beden a umístit je do plastových plat znázorněných na obrázku 7. Do jednoho plata se umístí 15 kusů heatsinků, ty v něm zůstávají po celý zbytek výroby až do expedice. Dělník plata postupně umisťuje do plazmy, kde je kov zbaven mastnoty a nečistot, aby měl lepší přilnavé vlastnosti pro následné zpracování.



Obrázek 7: Heatsinky v platu

Zdroj: Vlastní zpracování

Následující procesy se nacházejí v clean roomu, což je místnost, kde musí být řádně dodržována čistota. Dělníci a všichni, kdo do ní vstoupí, jsou povinni mít ochranný oděv, který se skládá z pláště, jednorázové čepice a návleků na obuv. Prvním procesem probíhajícím v clean roomu je tzv. datron. Jde o disperzní stroj, pomocí něhož se na heatsinky nanáší hustá směs označovaná jako fip. Podnik vlastní celkem 4 disperzní stroje, jeden z nich je možné vidět na obrázku číslo 8. Před datronem byla zjištěna zásoba ve výši 660 kusů. Na datrony navazuje další část procesu – komora, v té se nacházelo 19 080 kusů heatsinků. V komoře musí heatsinky zůstat po dobu 20 hodin, aby došlo k zaschnutí fipu. Z komory putují destičky na automatickou linku, kde je na heatsinky nalepen thermal, který absorbuje teplo. Materiál umístěný v komoře je zároveň zásobou pro automatickou linku.



Obrázek 8: Disperzní stroj datron

Zdroj: Vlastní zpracování

Z výrobní linky se výrobky posouvají na kontrolu kvality, ta se nachází mimo clean room. Ve sledovaném čase bylo před kontrolou 4 880 kusů. V rámci procesu dělníci kontrolují, zda mezi výrobky nejsou vadné kusy. Jakmile dělníci zkontrolují 1 260 kusů heatsinků, převáží je na vozíku k předposlednímu procesu, tím je balení. Mistr dává příkaz dělníkovi, kolik kusů je nutné za danou směnu zabalit. Dělník balí výrobky po sedmi platech do bublinkové fólie a poté je skládá do boxů na paletách. Pro palety si přijedou skladníci a odváží je vysokozdvížným vozíkem do skladu, odkud jsou výrobky expedovány zákazníkovi. Ten má pro výrobky zajištěný vlastní odvoz nákladním automobilem. Zpravidla se expeduje 72 000 kusů týdně.

Dodatečná data o procesech jsou zaznamenána v tabulkách pod jednotlivými názvy procesů na obrázku 5. První zmíněnou informací je počet směn, ve kterých dělníci pracují. Na hlavních šesti procesech probíhá třisměnný provoz. Dalším ukazatelem je počet pracovníků podílejících se na procesu. Plazmu obsluhuje jeden pracovník, na datronech operují dva pracovníci, v komoře se nepohybuje žádný pracovník, automatickou linku obsluhuje jeden dělník, na stoprocentní kontrole pracuje jeden a půl zaměstnanec a na posledním procesu balí výrobky půl zaměstnanec. Důvodem pro půlení je, že zaměstnanec tráví pracovní dobu jak na kontrole, tak na balení.

U hlavních operací byl spočítán cycle time, který vyjadřuje čas od začátku do konce jednoho pracovního procesu na jeden kus. V praxi byl několikrát měřen čas doby trvání jednoho procesu. Naměřené časy byly sečteny a poté vyděleny počtem provedených měření a počtem zpracovaných kusů. Tak byl vypočítán průměrný čas zpracování na jeden kus. Jednotlivá měření a vypočtený zaokrouhlený cycle time je názorně uveden v tabulce 1. Součet všech C/T se nazývá processing time, který činí 20 hodin a 38 vteřin. Je to doba, za kterou je podnik nejrychleji schopen vyrobit jeden kus bez plýtvání.

Tabulka 1: Výpočet cycle time

	Plazma (s)	Datron (m)	Komora (h)	Automat. linka (s)	Kontrola kvality (m)	Balení (m)
Naměřený čas	15	2:46	20	21	1:18	1:31
	16	1:59		19	0:29	
	15	3:27			2:25	
	14				0:56	
Počet kusů	15	15	1	1	15	7x15=105
C/T	1 s / ks	11 s / ks	20 h / ks	20 s / ks	5 s / ks	1 s / ks

Zdroj: Vlastní zpracování na základě podkladů společnosti

Mezi další informace o procesech patří overall equipment effectiveness vyjadřující efektivitu výrobních strojů. Ukazatel byl vyčten z QAD systému, kde se shromažďují veškerá data o výrobních zařízeních. OEE plazmy činí 67 %, datronu 75 % a automatické linky 70 %. U všech výše zmíněných procesů byl nejslabší článek availability. Dodatečným ukazatelem zaznamenaným u stoprocentní kontroly je zmetkovitost, ta činila ve sledovaném období 3 %.

Pod procesy se v mapě na obrázku 5 nachází časové údaje na tzv. „časovém žebříku“. Ve spodním řádku nacházejícím se přímo pod procesy je C/T. Mezi procesy je umístěn vrchní řádek, kde je uvedeno, kolik času je zapotřebí pro zpracování materiálových zásob zjištěných před jednotlivými procesy. Doba byla určena na základě dat z ERP systému společnosti stanovujících normu pro zpracování materiálu. Součtem hodnot je získán production lead time, který činí 3,1 dne. V závěrečné části mapy je legenda s vysvětlením užitých symbolů.

Z value stream mapping kromě dvou zmíněných časů vyplývá fungování informačního systému v podniku, posloupnost jednotlivých výrobních procesů, materiálové zásoby a jejich toky. Záměrem podniku je eliminovat kontrolu kvality, jelikož tento proces nevytváří přidanou hodnotu a nadbytečně zaměstnává pracovníky. Aby bylo možné kontrolu kvality redukovat, je zapotřebí nastavit normy pro pracovníky a zlepšit nastavení výrobních strojů za účelem dosažení nižší zmetkovitosti v celém výrobním procesu. Dalším poznatkem je, že automatická linka je úzkým místem ve výrobním procesu. Doba zpracování jednoho kusu je totiž nejdelší z celého procesu výroby, tudíž se před linkou hromadí zásoby.

2.4 7 druhů plýtvání

Metoda 7 druhů plýtvání úzce navazuje na VSM. Z výše uvedené mapy je možné vyčíst vše potřebné k analýze plýtvání, která je zobrazena v tabulce 2 níže. Vzhledem k tomu, že každý vnímá souvislosti jinak, je potřeba zdůraznit, že analýza může být velice subjektivní. V prvním sloupci tabulky jsou vypsány jednotlivé druhy plýtvání, tedy: transport, inventory, motions, waiting, overproduction, overprocessing, defects a skills. V prvním řádku je vyjmenováno 6 hlavních procesů výroby adaptabilního radaru.

Tabulka 2: 7 druhů plýtvání

Druhy plýtvání/ Procesy	Plazma	Datron	Komora	Aut. linka	Kontrola kvality	Balení
Transport						
Inventory	x		x		x	
Motions	x			x		x
Waiting	x ↑	x ↑	x ↑	x		x
Overproduction	x ↑					
Overprocessing			x ↑	x ↑↑		
Defects				x ↓		x ↑↑
Skills				x ↓		x ↑↑

Zdroj: Vlastní zpracování na základě podkladů společnosti

V tabulce jsou křížkem znázorněny jednotlivé projevy plýtvání u daných procesů. Černý křížek znázorňuje méně významné plýtvání, rozsáhlejší a na první pohled viditelnější plýtvání představuje křížek červený. Druhým prvkem jsou zakreslené šipky, které vyjadřují spojitost mezi jednotlivými kategoriemi plýtvání a procesy. Tam, kde se nachází shluk šipek, se vytvoří tzv. uzel.

Přeprava u všech procesů fungovala a nebyly tak identifikovány žádné známky plýtvání. Křížky v řádku inventory se identifikovaly na základě VSM, ze které lze vyčíst, že před plazmou, komorou a stoprocentní kontrolou se vyskytují příliš vysoké zásoby. Křížky vyznačené u pohybů jsou znázorněné z důvodu špatného rozložení pracoviště. Pokud by bylo pracoviště lépe uspořádané, operátoři by snížili počet nadbytečných kroků. Nadvýroba u plazmy vzniká z toho důvodu, že plazmou dokáže projít mnohem více výrobků, než je následující proces datron schopen zpracovat. To je z VSM zřetelné na mnohem kratším C/T. Důsledkem toho musí dělník operující na plazmě čekat, což není žádoucí. Na datronu se

navzájem ovlivňuje čekání s defekty, protože při vzniku velkého počtu zmetků je nutné seřadit stroje v průběhu výroby. To chvíli trvá a mezitím zaschne fip, který se na heatsink nanáší, čímž dochází opět ke vzniku defektů. V komoře dochází k čekání z důvodu nadměrného zpracování. Odhaduje se, že doba 20 hodin potřebná k zaschnutí materiálu v komoře je nadhodnocená a stačil by i nižší časový úsek. Operátor obsluhující automatickou linku musí chvíli čekat, než plato projede linkou, která na heatsink nalepí thermal. Linka je nastavená tak, že automaticky vyhazuje zmetky, většina z nich pochází již ze špatného nanesení fipu na datronu. Ačkoliv to není správný pracovní postup, zaměstnanci zmetky nechávají linkou projet znovu, a tím vzniká nadvýroba, která ovlivňuje počet zmetků. Na kontrole kvality z důvodu špatných pracovních postupů vzniká nadměrné zpracování a zmetky. Proces nedodává žádnou přidanou hodnotu výrobku.

Z tabulky 2 výše je zřetelné, na jaké problémy je nutné se v rámci zefektivnění procesu zaměřit. Problematickým procesem je především stoprocentní kontrola a datron, kde jsou vyznačeny shluky šipek uzly. Na každý uzel je možné využít určitou metodu z Lean Six Sigma, která by plýtvání eliminovala. Nejvýraznější plýtvání bylo identifikováno v oblastech zásob, čekání a defektů. Následující podkapitola se zabývá snížením plýtvání právě u procesu kontroly kvality.

2.5 Repeatability and reproducibility analýza

Z analýzy 7 druhů plýtvání vyšlo najevo, že proces stoprocentní kontroly je problematický, proto bude dále provedena repeatability and reproducibility analýza. Na oddělení je zmetkovitost ve výši 3,5 %. Pomocí R&R analýzy je zjišťováno, zda zaměstnanci dokáží korektně identifikovat správný (OK) kus a vadný (NOK) kus. Prostřednictvím R&R analýzy jsou dále určeny mezní díly, které činí zaměstnancům problém při vyhodnocení. Tyto díly, ačkoliv jsou OK, mohou být vyhodnoceny jako zmetkové, což zvyšuje plýtvání. Právě na mezní díly je nutné zaměřit školení zaměstnanců. Za účelem sledování trendu efektivnosti práce zaměstnanců byla v podniku R&R analýza provedena několikrát. Pro názornost jsou v závěrečné práci blíže popsány dvě analýzy s časovým rozestupem necelých dvou měsíců.

2.5.1 První R&R analýza

První analýza byla uskutečněna na konci března roku 2021. Pro zajištění experimentu v podniku bylo nasbíráno celkem 45 vzorových dílů, které byly následně očíslovány. Pracovník z oddělení kvality stanovil, zda se jedná o OK či NOK kus. Zmíněné díly lze

shlédnout na obrázku 9. Z vybraných 45 kusů bylo 16 dílů bez vad a 29 zmetků. Vady zmetkových dílů byly variabilní, jednalo se o vady naneseného fipu či thermalu. Na pracovišti kontroly byli vybráni náhodně dva dělníci, kteří po jednom hodnotili plata s očíslovanými heatsinky. Byly jim přitom zajištěny stejné podmínky jako obvykle, tj. seděli na svém pracovním místě s osvětlením. Postupně každý z nich uvedl číslo dílu a informaci, zda je díl podle něj OK či NOK, výsledek byl zapsán do záznamového archu. Stejní dva dělníci byli osloveni následující den a se stejnými vzorky se test opakoval. Celkem tedy bylo zaznamenáno 180 odpovědí (45 vzorků x 4 opakování).



Obrázek 9: Očíslované heatsinky v platu pro R&R analýzu

Zdroj: Vlastní zpracování

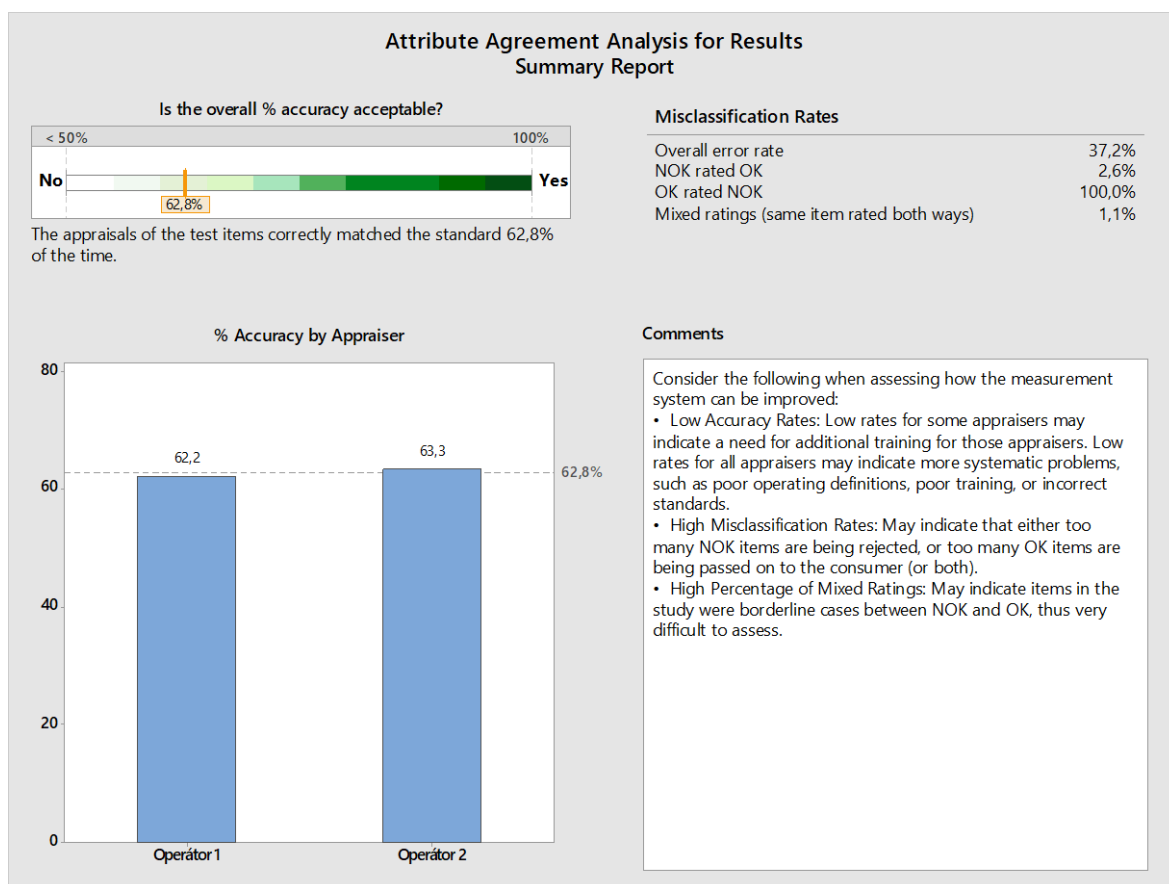
Výsledky z experimentu byly zadány do statistického softwaru Minitabu, jenž se používá pro zpracování dat. V tabulce 3 jsou znázorněna vstupní data pokusů 1-10 a 170-180. Kompletní tabulka sloužící jako základní zdroj pro R&R analýzu, je se zbylými daty vložena do přílohy A. Z prvního sloupce tabulky lze vyčíst pořadí pokusu, druhý sloupec tabulky říká, jaký ze dvou operátorů odpovídal. Ve třetím sloupci je uvedeno číslo testu, přičemž každý pracovník měl dva pokusy. Čtvrtý sloupec udává číslo dílu, Minitab díly vygeneroval náhodně. V předposledním sloupci jsou zaznamenané odpovědi pracovníků a poslední sloupec říká, zda je díl dle hodnocení kvalitáře skutečně OK nebo NOK.

Tabulka 3: Vstupní hodnoty první R&R analýzy

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
1	Operátor 1	1	Item 9	NOK	OK
2	Operátor 1	1	Item 8	NOK	OK
3	Operátor 1	1	Item 45	NOK	OK
4	Operátor 1	1	Item 40	NOK	OK
5	Operátor 1	1	Item 7	NOK	OK
6	Operátor 1	1	Item 24	NOK	OK
7	Operátor 1	1	Item 29	NOK	NOK
8	Operátor 1	1	Item 15	NOK	NOK
9	Operátor 1	1	Item 39	NOK	OK
10	Operátor 1	1	Item 26	NOK	NOK
...					
170	Operátor 2	2	Item 14	NOK	NOK
171	Operátor 2	2	Item 28	NOK	NOK
172	Operátor 2	2	Item 12	NOK	OK
173	Operátor 2	2	Item 4	NOK	OK
174	Operátor 2	2	Item 45	NOK	OK
175	Operátor 2	2	Item 40	NOK	OK
176	Operátor 2	2	Item 2	NOK	NOK
177	Operátor 2	2	Item 42	NOK	NOK
178	Operátor 2	2	Item 31	NOK	NOK
179	Operátor 2	2	Item 13	NOK	NOK
180	Operátor 2	2	Item 27	NOK	NOK

Zdroj: Vlastní zpracování na základě podkladů z Minitabu

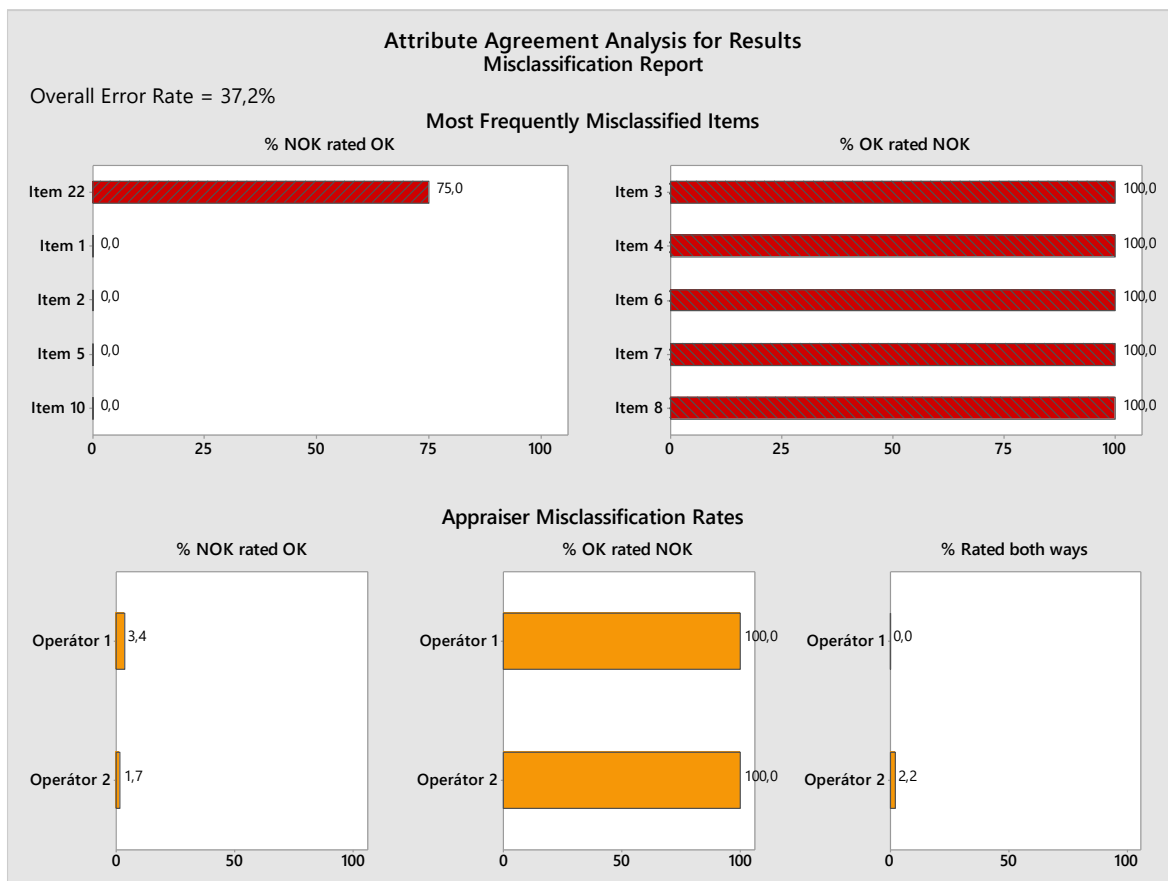
Obrázek 10 ukazuje vyhodnocení analýzy v programu Minitab. Na zelené škále vlevo nahoře je znázorněno, s jakou přesností operátoři odhalili OK a NOK díly. Operátoři v 62,8 % případů analyzovali díl korektně. Tento výsledek je velmi nízký a poukazuje na velké rezervy v možnostech zdokonalení operátorů. V experimentu bylo dělníky špatně vyhodnoceno 37,2 % výrobků. V modrém sloupcovém grafu jsou znázorněny procentuální výsledky obou operátorů zvlášť. První operátor ohodnotil díly správně z 62,2 % a druhý v 63,3 % případech. Z výsledků vyplývá, že se operátoři od sebe v hodnocení téměř neliší.



Obrázek 10: 1. statistika - 1. R&R analýza

Zdroj: Program Minitab na základě nasbíraných dat v podniku

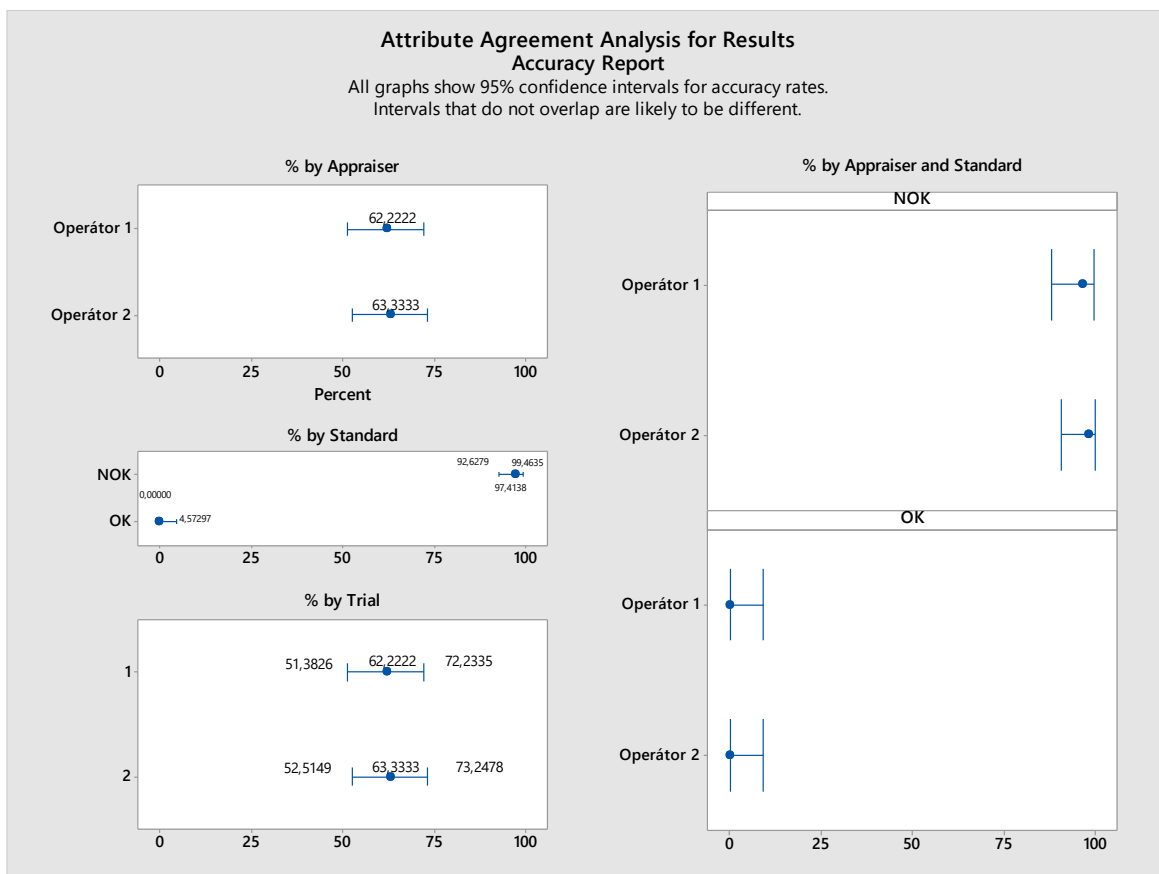
První dva červené sloupcové grafy v obrázku číslo 11 znázorňují očíslované díly, které operátorům činily potíže při vyhodnocení. Graf vlevo nahoře ukazuje procentuální podíl NOK kusů, které byly vyhodnoceny jako OK. Je to kus číslo 22 a to v 75 % hodnocení. Červený graf vpravo nahoře znázorňuje opačný jev, a to OK kusy, které byly vyhodnoceny jako NOK. Těch je podstatně více, jsou to kusy číslo: 3, 4, 6, 7, 8. Zmíněné kusy bez vad byly vyhodnoceny jako vadné ve 100 % případech. Minitab uvádí vždy jen prvních 5 jevů, kusů však bylo více. Zbylé 3 oranžové grafy ve spodní části obrázku znázorňují mylnost operátorů. První oranžový graf ukazuje, že první operátor vyhodnotil ze všech zkoumaných dílů 3,4 % zmetků jako dobré kusy, druhý operátor pouze 1,7 % kusů. Druhý oranžový graf značí, že oba dva operátoři vyhodnotili dobré kusy jako zmetky ve 100 % případů. Poslední graf znázorňuje situaci, při které operátor ohodnotil stejný kus jako OK poprvé a podruhé NOK či naopak.



Obrázek 11: 2. statistika - 1. R&R analýza

Zdroj: Program Minitab na základě nasbíraných dat v podniku

Poslední statistika z programu Minitab na obrázku 12 zobrazuje 95% intervaly spolehlivosti přesnosti operátorů. První graf znázorňuje intervalové odhady celkového hodnocení obou operátorů. Naproti tomu druhý graf zobrazuje intervalové odhady pro hodnocení OK a NOK dílů. Je vidět, že NOK díly poznají operátoři s vysokou spolehlivostí, za to OK díly nedokáží s přesností určit. Se spolehlivostí 95 % lze tvrdit, že operátoři špatné kusy rozpoznají v intervalu od 93 % do 99 %. Se spolehlivostí 95 % lze usuzovat, že se operátoři při rozpoznávání dobrých kusů budou pohybovat v intervalu od 0 % do 4,6 %. Dále jsou v uvedeném obrázku představeny intervaly spolehlivosti s bodovým odhadem zvlášť pro první a pro druhé kolo pokusu. Poslední grafy na pravé straně znázorňují intervaly spolehlivosti alternativního rozdělení pro NOK kusy dělené pro dva operátory, to samé pro OK kusy.



Obrázek 12: 3. statistika - 1. R&R analýza

Zdroj: Program Minitab na základě nasbíraných dat v podniku

2.5.2 Druhá R&R analýza

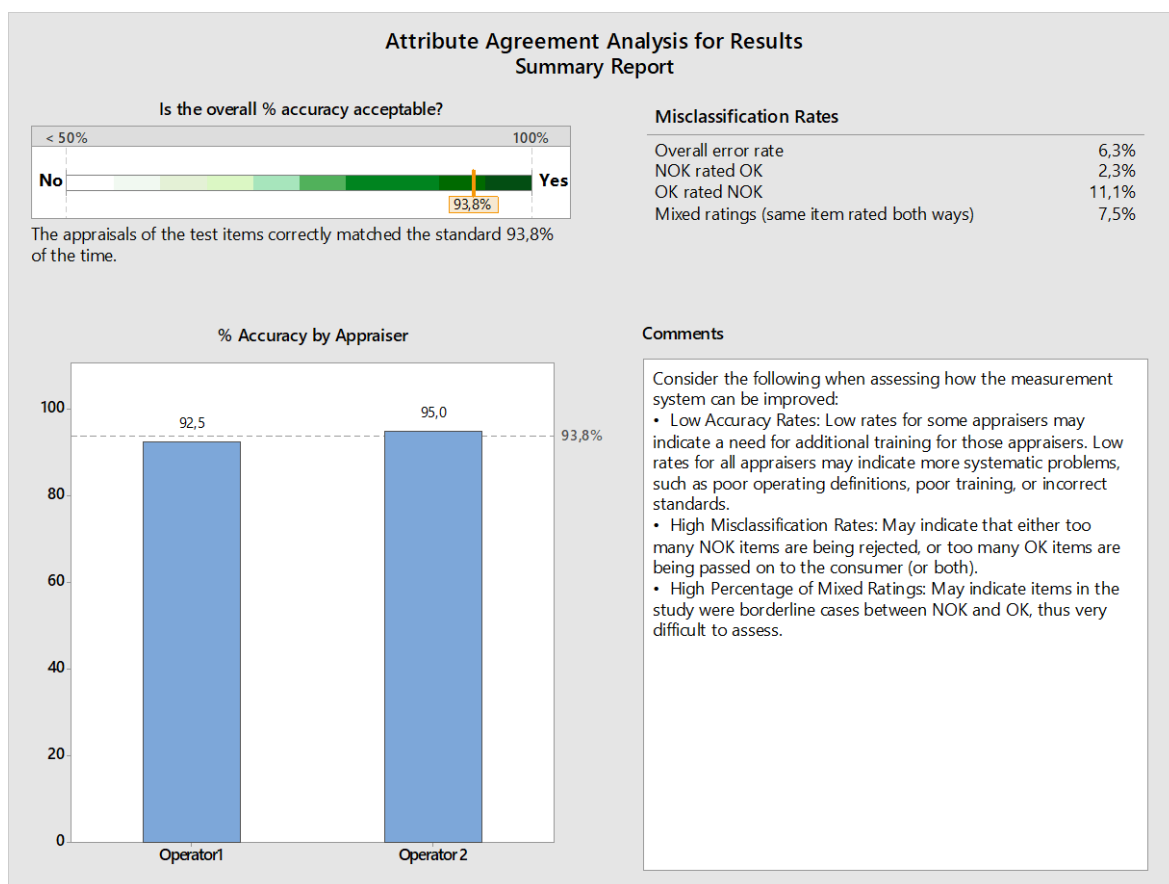
Druhá analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti proběhla na konci května roku 2021 a její průběh byl totožný s první analýzou. Vzorkem bylo 40 dílů a nasbíráno tak bylo celkem 160 odpovědí. Opět totiž byli dotazováni dva pracovníci a každý z nich odpovídal dvakrát. Tentokrát byli však vybráni jiní operátoři než při první analýze. V níže zobrazené tabulce 4 jsou uvedeny zaznamenané hodnoty pokusu 1-10 a pokusu 150-160. Celá tabulka s údaji je vložena do přílohy B.

Tabulka 4: Vstupní hodnoty druhé R&R analýzy

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
1	Operátor 1	1	Item 17	OK	OK
2	Operátor 1	1	Item 26	OK	OK
3	Operátor 1	1	Item 38	NOK	NOK
4	Operátor 1	1	Item 3	NOK	OK
5	Operátor 1	1	Item 40	NOK	NOK
6	Operátor 1	1	Item 5	NOK	NOK
7	Operátor 1	1	Item 37	NOK	NOK
8	Operátor 1	1	Item 21	NOK	NOK
9	Operátor 1	1	Item 29	NOK	NOK
10	Operátor 1	1	Item 28	NOK	NOK
...					
150	Operátor 2	2	Item 13	NOK	NOK
151	Operátor 2	2	Item 24	NOK	NOK
152	Operátor 2	2	Item 32	OK	OK
153	Operátor 2	2	Item 40	NOK	NOK
154	Operátor 2	2	Item 20	NOK	NOK
155	Operátor 2	2	Item 35	NOK	NOK
156	Operátor 2	2	Item 14	NOK	NOK
157	Operátor 2	2	Item 5	NOK	NOK
158	Operátor 2	2	Item 16	OK	OK
159	Operátor 2	2	Item 26	OK	OK
160	Operátor 2	2	Item 39	OK	OK

Zdroj: Vlastní zpracování na základě podkladů z Minitabu

První ukázka ze softwaru Minitab, kterou lze vidět na obrázku číslo 13, určuje opět celkovou charakteristiku experimentu. Zelená škála vlevo nahoře vypovídá o tom, že zaměstnanci průměrně ohodnotili správně 93,8 % ze všech testovaných dílů. Z toho vyplývá, že se zaměstnanci mýlili pouze v 6,2 % všech zkoumaných vzorků. Modrý sloupcový graf v obrázku opět vystihuje přesnost jednotlivých zaměstnanců. První odhalil 92,5 % dílů korektně, zatímco druhý zaměstnanec byl úspěšnější a ohodnotil správně až 95 % heatsinků. Opět se hodnocení obou operátorů příliš neliší.

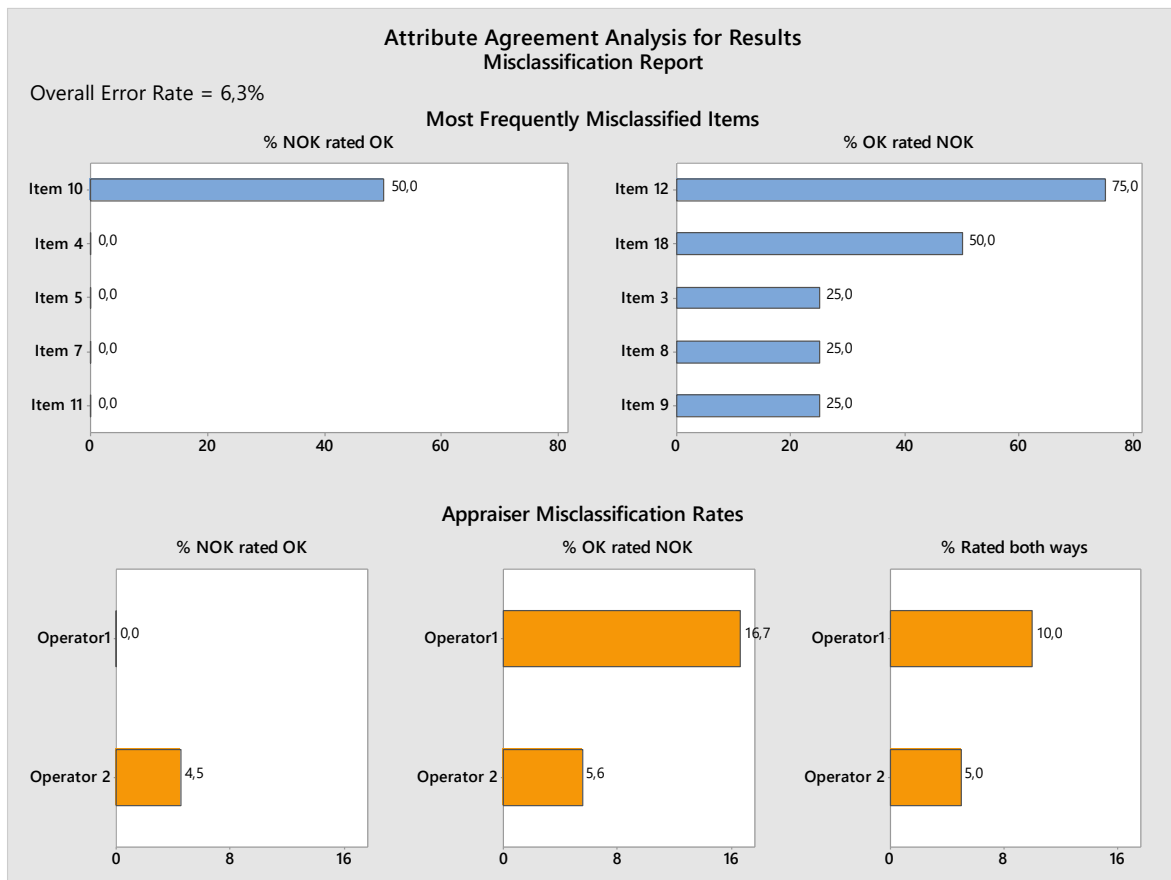


Obrázek 13: 1. statistika - 2. R&R analýza

Zdroj: Program Minitab na základě nasbíraných dat v podniku

V následujícím obrázku číslo 14 lze vlevo nahoře vidět modrý sloupcový graf, který zobrazuje procentuální podíl NOK dílů, jež byly vyhodnoceny jako OK díly. Jedná se pouze o jeden díl označený číslem 10, ten byl vyhodnocen špatně v polovině všech případech hodnocení. Naopak OK dílů vyhodnocených jako NOK je opakovaně více. Jedná se o vzorky: 12, 18, 3, 8, 9. Vzorek 12 byl v 75 % případech vyhodnocen jako zmetek, ačkoliv je díl v pořádku. Díl 18 byl vyhodnocen v 50 % špatně, díly 3, 8 a 9 byly vyhodnoceny nesprávně ve 25 %. Z analýzy je viditelné, že dělníkům činí větší problém rozpoznat správné díly, protože v těchto případech častěji chybují. Oranžové sloupcové grafy zobrazují, jak si vedli jednotliví zaměstnanci při vyhodnocování heatsinků. První graf vlevo značí, že první operátor byl bezchybný v rozpoznání NOK dílů, tzn., že žádný NOK díl neoznačil nesprávně za OK díl. Druhý operátor určil v 4,5 % případech, že NOK díl je OK, což je poměrně znatelný rozdíl. Střední sloupcový graf udává procentuální podíl OK kusů hodnocených jako NOK, u prvního operátora byl podíl poměrně vysoký a činil 16,7 % kusů. Druhý dělník měl nižší podíl a to sice 5,6 % dílů. Poslední oranžový graf vpravo dole ukazuje případ, při

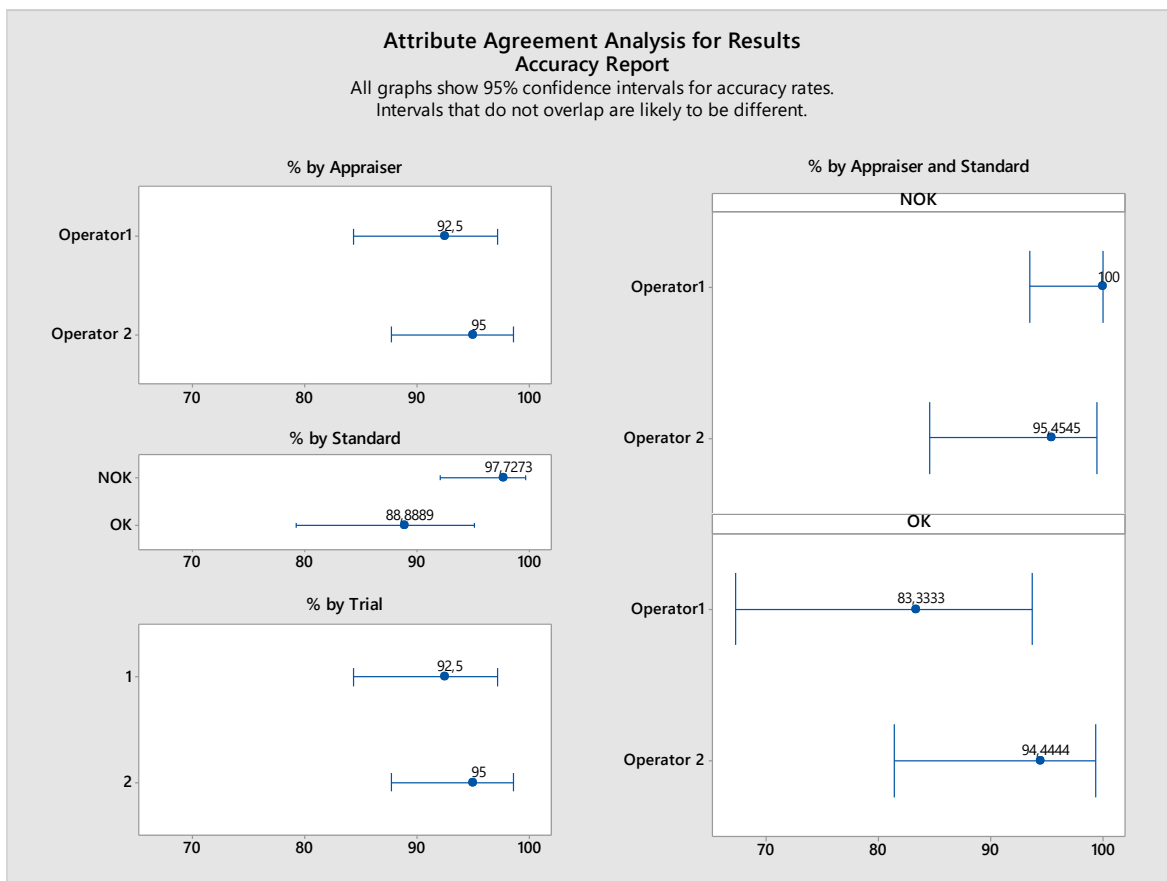
kterém operátor ohodnotil jeden stejný kus pokaždé jinak. První operátor vyhodnotil 10 % dílů při každém pokusu jinak, druhý operátor o polovinu méně.



Obrázek 14: 2. statistika - 2. R&R analýza

Zdroj: Program Minitab na základě nasbíraných dat v podniku

Poslední statistika z programu Minitab na obrázku číslo 15 ukazuje 95% intervaly spolehlivosti alternativního rozdělení. První interval v prvním grafu říká, že se spolehlivostí 95 % lze usuzovat, že se první operátor bude při hodnocení dílů pohybovat v intervalu od cca 87 % do 98 %. Podobně jako u předchozí analýzy, i zde operátoři poznají NOK kusy s vysokou spolehlivostí. Rozpoznání OK kusů se oproti minulé R&R analýze zlepšilo. Třetí graf vlevo dole ukazuje, že se od sebe provedené dva pokusy příliš nelišily. Velký graf vpravo ukazuje se spolehlivostí 95 % intervaly, ve kterých se pohybují operátoři při poznávání NOK či OK kusů.



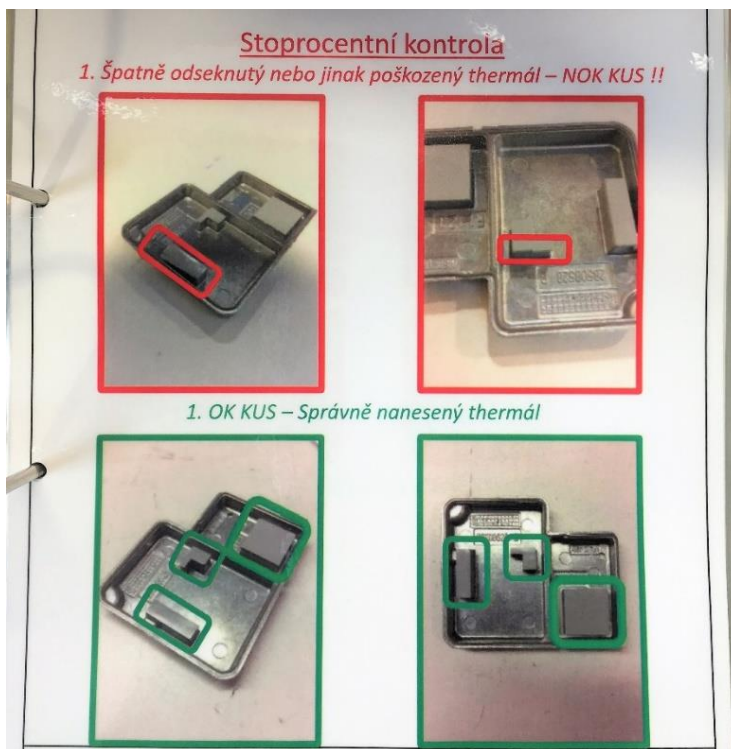
Obrázek 15: 3. statistika - 2. R&R analýza

Zdroj: Program Minitab na základě nasbíraných dat v podniku

2.5.3 Vyhodnocení R&R analýzy

Při porovnání dvou provedených analýz vychází jasně najevo, že se operátoři při vyhodnocení dílů zlepšili o 31 %, což představuje pro podnik velký posun. V obou případech není odchylka mezi názory na hodnocení kusů zaměstnanců příliš velká. V první i druhé analýze vyhodnotili zaměstnanci pouze jeden kus jako OK díl ten, který byl ve skutečnosti NOK. Zmetky tak zaměstnanci poznají bez přílišných obtíží. Z první R&R analýzy vyplývá, že dělníci mají naproti tomu potíže s vyhodnocením správných kusů. Oba operátoři totiž vyhodnotili všechny správné kusy pokaždé jako zmetky. Pokud narazili na mezní díl, raději jej vyhodnotili jako špatný, i když byl heatsink v pořádku. Důvodem pro to mohou být obavy z možné reklamace. Vyhazování kusů bez vad představuje pro podnik obrovské plýtvání. V druhé analýze však došlo v tomto ohledu k výraznému zlepšení. Počet OK kusů vyhodnocených jako NOK se u prvního operátora snížil na 16,7 % a u druhého až na 5,6 %. Toto výrazné snížení chybovosti zaměstnanců je možné přisuzovat efektivní spolupráci mezi oddělením Lean managementu a oddělením kvality v podniku.

Pomocí R&R analýzy odhalili zaměstnanci Lean oddělení mezní díly, které operátorům činily potíže při vyhodnocování. Tyto díly byly předány oddělení kvality, aby se na ně zaměřili v rámci pravidelného školení zaměstnanců. Školení v popisovaném období probíhalo jednou týdně, zaměstnanci kvality s operátory procházeli mezní díly a vysvětlovali si, proč je díl OK či NOK. Dále mohou zaměstnanci kvality s fotografiemi mezních dílů doplnit katalog vad, který je pracovníkům běžně k dispozici. Ukázkou z katalogu vad lze vidět na obrázku 16.



Obrázek 16: Ukáзка z katalogu vad

Zdroj: Vlastní zpracování

Po uskutečnění první R&R analýzy na konci března, tj. ve 13. týdnu roku 2021, činila zmetkovitost na kontrole kvality 3,5 %. Na základě nových školení a změn v pracovních postupech klesla zmetkovitost ve 14. týdnu na 3,3 %. V 15. týdnu se zmetkovitost pohybovala kolem 2,8 %. Od 16. týdnu se zmetkovitost ustálila na 2,5 %. Budoucím plánem je stoprocentní kontrolu úplně eliminovat, a to díky správnému nastavení stroje datron pomocí něhož bude produkováno méně vadných kusů. Optimálnímu seřízení stroje se věnuje následující kapitola DoE.

2.6 Analýza DoE

V červnu roku 2021 započala společnost DuPontu analýzu DoE na výrobním procesu se čtyřmi disperzními stroji nesoucí název Datron. Účelem analýzy bylo eliminovat vysoký počet vyprodukovaných zmetků. Jelikož zákazník stále zpřísňuje své požadavky na kvalitu výrobků, narůstá každým rokem také zmetkovost. DoE analýza byla zaměřena na hlavní problém zmetkovosti, kterým je správné umístění pasty neboli fipu. Ten je datrony nanášen na několik desetin milimetru tenký vnitřní okraj heatsinku. Fip musí být dostatečně vzdálen od vyvýšené kovové hrany tak, aby se na ni nenalepil. Zároveň však pasta nesmí být příliš daleko od vnějšího okraje, protože by z něj padala dolů. Názornou ukázkou umístění fipu lze vidět na obrázku číslo 17, kde na levém obrázku fip padá z rohů a na pravé fotografii je fip nalepený na dolní kovový okraj.



Obrázek 17: Ukázka špatně nanesených fipů

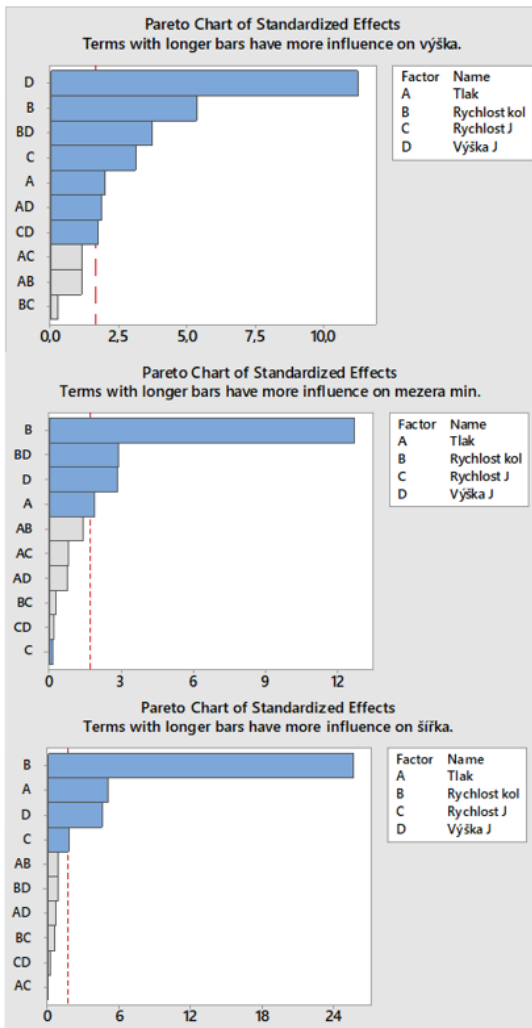
Zdroj: Vlastní zpracování

2.6.1 DoE pro hledané parametry fipu

Nanášení fipu je ovlivněno celou řadou faktorů. Analýza DoE pomáhá určit, které faktory se dají z hlediska zmetkovosti považovat za významné a které nikoliv. Méně významné faktory je možné nastavit na strojích fixně, čímž se sníží čas pro seřizování stroje. Tím by mělo dojít také ke snížení zmetkovosti a zvýšení produktivity. S pomocí technologa bylo

stanoveno, že nanášení fípu je ovlivněno následujícími faktory: tlak nanášení, rychlost otáčení koleček, výška a rychlost jehly. Tyto faktory ovlivňují parametry fípu, kterými jsou: mezera mezi fípem a vyvýšenou kovovou hranou, výška a šířka fípu. Analýza DoE byla provedena pouze na jednom druhu kavit neboli otisků. Jde o formy, ve kterých dodavatel lisuje heatsinky. Každá kavita má své číselné označení a celkem je jich 12.

V programu Minitab byly pro analýzu DoE stanoveny čtyři faktory s dolní a horní úrovní, kterých by hodnoty mohly nabývat. Co se týče úrovně tlaku, dolní hranice byla označena 1 a horní 3. Pro rychlost kol byly zadány hodnoty 3-6, pro rychlost jehly 1-4 a u výšky jehly bylo stanoveno rozmezí 1,2-1,5. Minitab vytvořil všechny možné kombinace faktorů a parametrů fípu. Dále v něm bylo pomocí Paretova diagramu zjištěno, které faktory jsou pro jednotlivé parametry fípu významné či nikoliv. Obrázek číslo 18 zobrazuje tři diagramy – každý parametr má svůj diagram. Prvním parametrem je výška fípu, pro tu je nejvýznamnější nastavení výšky jehly. Druhým faktorem je rychlost kol a následně kombinace těchto dvou faktorů. U minimální mezery je nejpodstatnější rychlost kol, naopak nejméně významným faktorem je rychlost jehly. Na šířku fípu mají největší vliv samotné faktory, nikoli jejich kombinace. Nejvíce ji ovlivňuje rychlost kol. Jelikož jsou všechny faktory považovány za významné, nebyl dále pokus opakován s vyloučením nevýznamných faktorů. Na základě DoE byla variabilním faktorem stanovena rychlost kol, která nejvíce ovlivňuje požadované parametry fípu. Mezi tři zafixované faktory patří: tlak, rychlost jehly a výška jehly.



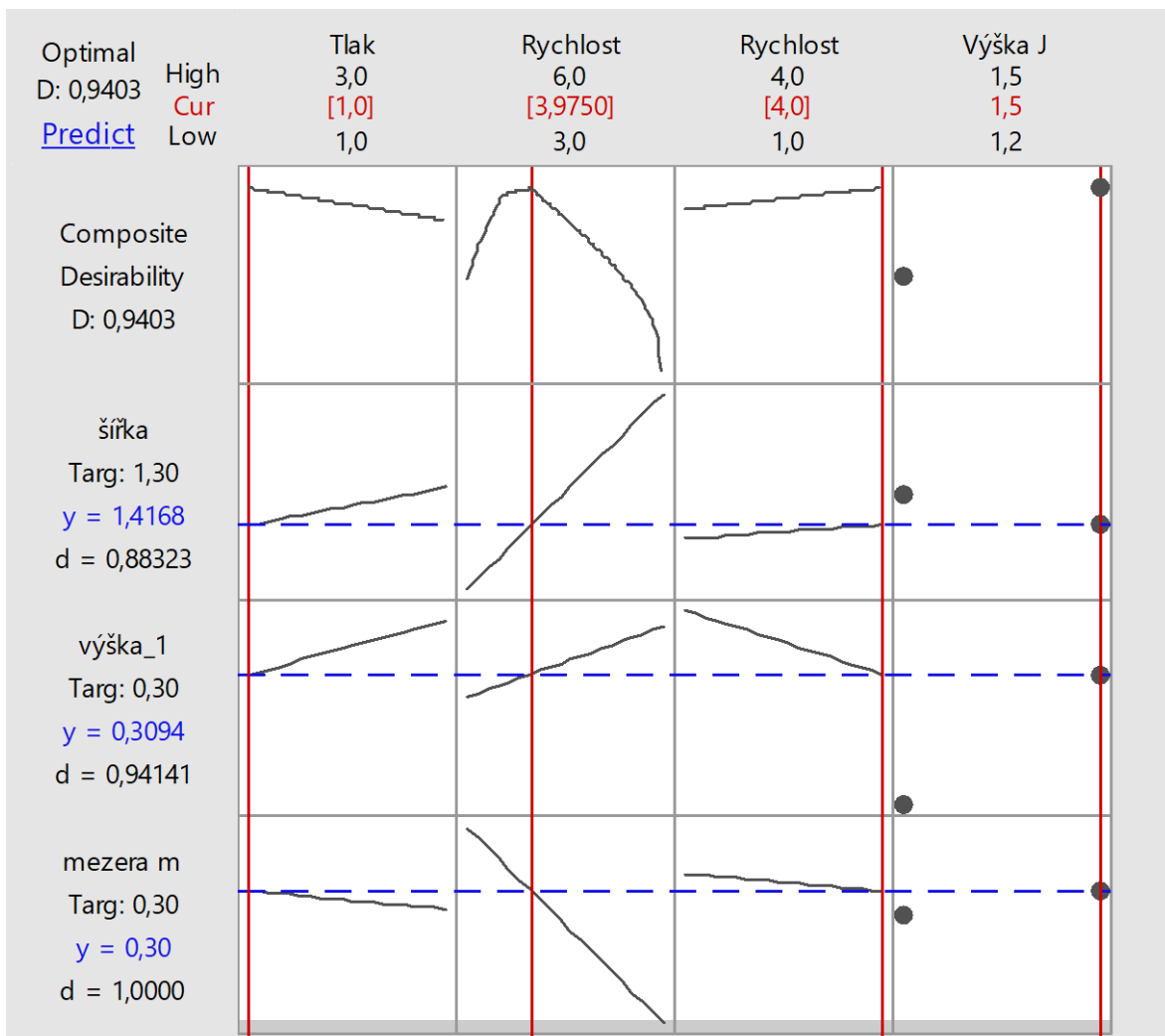
Obrázek 18: Pareto diagramy

Zdroj: Program Minitab

Program Minitab vyčíslil sílu kvality celého modelu na základě ukazatele R-sq neboli koeficientu determinace. Síla modelu je vysoká, protože R-sq bylo ve všech případech 86 % nebo více, to znamená, že nalezené faktory jsou významné. Je možné konstatovat, že 86 % variability výšky fipu je vysvětleno modelem. Dále 95 % variability šířky fipu může být vysvětleno faktory modelu. Modelem procesu může být vysvětlena proměnlivost minimální mezery z 87 %.

Pro dosažení požadovaných parametrů fipu bylo dále nutné nalézt optimální nastavení čtyř faktorů na stroji Datron. K tomu napomáhá funkce Response optimizer v programu Minitab, jejíž výsledek je možné shlédnout na obrázku číslo 19. V záhlaví sloupců jsou uvedeny jednotlivé faktory s dolní a horní úrovní nastavení. Program stanovil, že pokud se jednotlivé faktory na stroji nastaví podle červených hodnot, tak s pravděpodobností D bude hledaná

hodnota parametru ve výši y (neboli ve výši modrého čísla). V záhlaví řádků u každého parametru fipu jsou uvedeny optimální hodnoty, kterých by měl fip nabývat, např. šířka fipu by měla ideálně být 1,3 mm. Tj. nastaví-li se tlak na hodnotu 1, rychlost kol na 3,975, rychlost jehly na 4 a výška jehly na 1,5, bude šířka fipu s pravděpodobností 88 % činit 1,44168 mm. Zároveň bude výška fipu s pravděpodobností až 94 % nabývat hodnoty 0,3094 mm. Mezera mezi fipem a vyvýšenou kovovou hranou bude činit 0,3 mm s pravděpodobností 100 %. Toto doporučené nastavení bylo následně vyzkoušeno v praxi – parametry byly nastaveny na stroji, který dále nanesl fip na heatsinky. Výsledné hodnoty fipu byly identické s předpokládanými výsledky z programu Minitab. Bylo potvrzeno, že pro získání tří optimálních parametrů fipu stačí zafixovat 3 faktory v ideálních nastaveních a pro dosažení ideálních rozměrů fipu měnit pouze jeden z těchto faktorů.



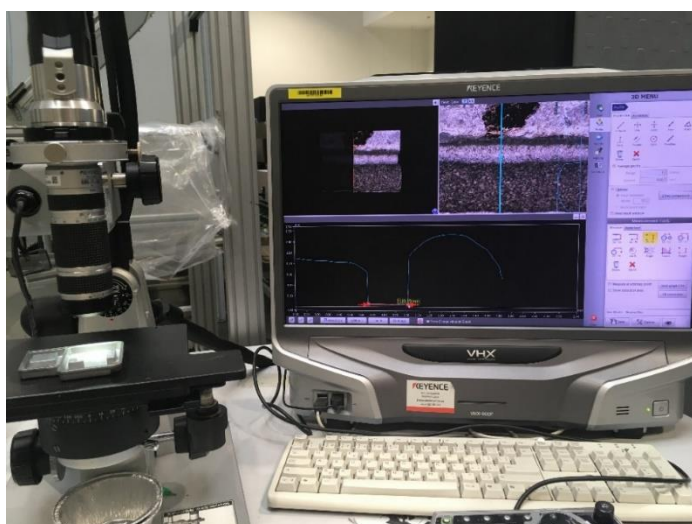
Obrázek 19: Optimalizace faktorů

Zdroj: Program Minitab

2.6.2 DoE pro kavity

Cílem druhé DoE analýzy bylo zjistit, zda existuje jedno vyhovující nastavení disperzního stroje datronu pro všechny druhy kavit heatsinku. Jak bylo již uvedeno výše, kavity neboli otisky jsou dutiny, ve kterých dodavatel lisuje kovové heatsinky. Celkem je rozlišováno 12 kavit, přičemž každá z nich má číselné označení v rozmezí 1-12. Vzhledem k tomu, že se mezi sebou kavity mnohdy liší o desetiny milimetru, mohou mít právě druhy kavit vliv i na nanášení fipu. Úspěšná analýza by vedla k zefektivnění výrobního procesu a ušetření nákladů. Doposud totiž dodavatel zasílal heatsinky roztríděné podle kavit v bednách a za jejich třídění si účtoval 0,10 Kč za kus. Pro pracovníky na plazmě to dále znamenalo zvýšenou pozornost, museli totiž hlídat, aby jedno plato obsahovalo heatsinky pouze z jedné kavity. Dle této kavity pak seřizovač nastavoval datron, což mělo za následek seřizování datronu několikrát za den. Za předpokladu úspěšné analýzy by stačilo jednotné seřízení disperzního stroje pro všechny druhy otisků, do kterého by nebylo nutné po celou výrobu zasahovat.

Před zahájením analýzy bylo nasbíráno 11 vzorků heatsinků od každé kavity, celkem se tak testovalo 132 kusů (11 vzorků x 12 kavit). Nejprve byl zvolen 1 ze 4 datronů, který technolog seřídil na nominál podle některé z kavit, a od tohoto bodu měřil všechny ostatní kavity stejně. Dále byl na vzorky nanesen fip, následovalo umístění heatsinků na 20 hodin do vulkanizační komory. Pro ověření vzdálenosti mezi vyvýšenou kovovou hranou a fipem byl poté použit digitální mikroskop VHX-950F, který je možné vidět na obrázku 20 níže.



Obrázek 20: Digitální mikroskop VHS -950F

Zdroj: Vlastní zpracování

Na digitálním mikroskopu byly na heatsinku ve dvou bodech změřeny mezery mezi fipem a vyvýšenou kovovou hranou na osách x a y. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v následující tabulce číslo 5 a jsou uvedeny v milimetrech. V tabulce je celkem 264 naměřených hodnot (132 kusů x 2 osy). V prvních dvou sloupcích je uvedeno 11 heatsinků s kavitou číslo jedna. Dále se každá kavita rozpadá na hodnoty naměřené na ose x a y.

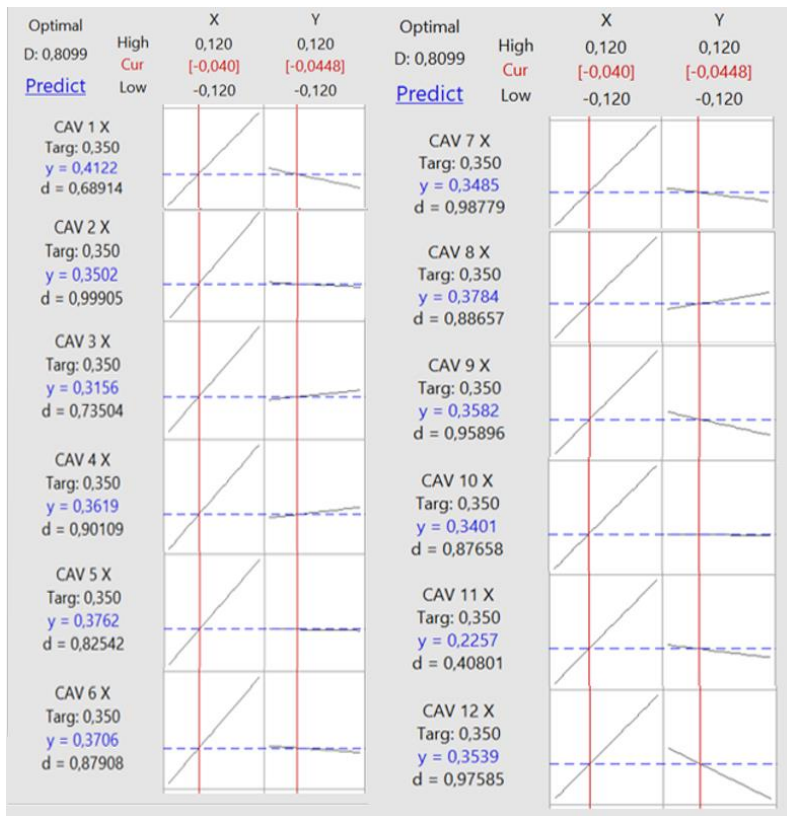
Tabulka 5: Naměřené hodnoty v milimetrech – DoE kavity

1 X	1 Y	2 X	2 Y	3 X	3 Y	4 X	4 Y	5 X	5 Y	6 X	6 Y
0,42	0,43	0,46	0,42	0,36	0,42	0,36	0,46	0,45	0,37	0,42	0,41
0,34	0,38	0,3	0,36	0,22	0,39	0,32	0,38	0,32	0,39	0,27	0,27
0,35	0,52	0,32	0,53	0,3	0,51	0,33	0,48	0,27	0,48	0,29	0,53
0,51	0,56	0,50	0,50	0,43	0,51	0,45	0,55	0,43	0,49	0,50	0,55
0,50	0,37	0,38	0,55	0,43	0,60	0,47	0,57	0,49	0,50	0,50	0,55
0,37	0,35	0,22	0,32	0,22	0,37	0,32	0,36	0,27	0,38	0,33	0,28
0,44	0,43	0,39	0,41	0,39	0,40	0,38	0,44	0,42	0,40	0,41	0,43
0,48	0,39	0,36	0,44	0,36	0,45	0,43	0,47	0,42	0,37	0,40	0,44
0,55	0,30	0,51	0,39	0,44	0,32	0,43	0,37	0,49	0,30	0,52	0,35
0,55	0,34	0,47	0,38	0,46	0,32	0,44	0,33	0,50	0,30	0,51	0,34
0,29	0,52	0,27	0,61	0,25	0,48	0,31	0,56	0,38	0,54	0,29	0,56
7 X	7 Y	8 X	8 Y	9 X	9 Y	10 X	10 Y	11 X	11 Y	12 X	12 Y
0,39	0,42	0,40	0,39	0,40	0,32	0,38	0,32	0,23	0,28	0,38	0,29
0,30	0,33	0,34	0,31	0,27	0,29	0,29	0,25	0,14	0,25	0,28	0,30
0,23	0,52	0,33	0,49	0,26	0,36	0,27	0,50	0,18	0,39	0,20	0,44
0,51	0,56	0,50	0,50	0,49	0,47	0,44	0,45	0,32	0,39	0,37	0,38
0,45	0,53	0,60	0,48	0,44	0,47	0,50	0,54	0,33	0,46	0,44	0,46
0,32	0,32	0,29	0,26	0,31	0,19	0,28	0,27	0,18	0,29	0,36	0,29
0,35	0,46	0,41	0,40	0,38	0,41	0,37	0,35	0,17	0,35	0,37	0,46
0,38	0,47	0,40	0,40	0,39	0,32	0,36	0,40	0,27	0,28	0,35	0,39
0,48	0,33	0,52	0,27	0,51	0,33	0,47	0,26	0,32	0,23	0,51	0,23
0,46	0,36	0,48	0,29	0,55	0,27	0,45	0,30	0,46	0,17	0,48	0,27
0,27	0,59	0,33	0,48	0,25	0,48	0,27	0,47	0,18	0,44	0,29	0,47

Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených hodnot v podniku

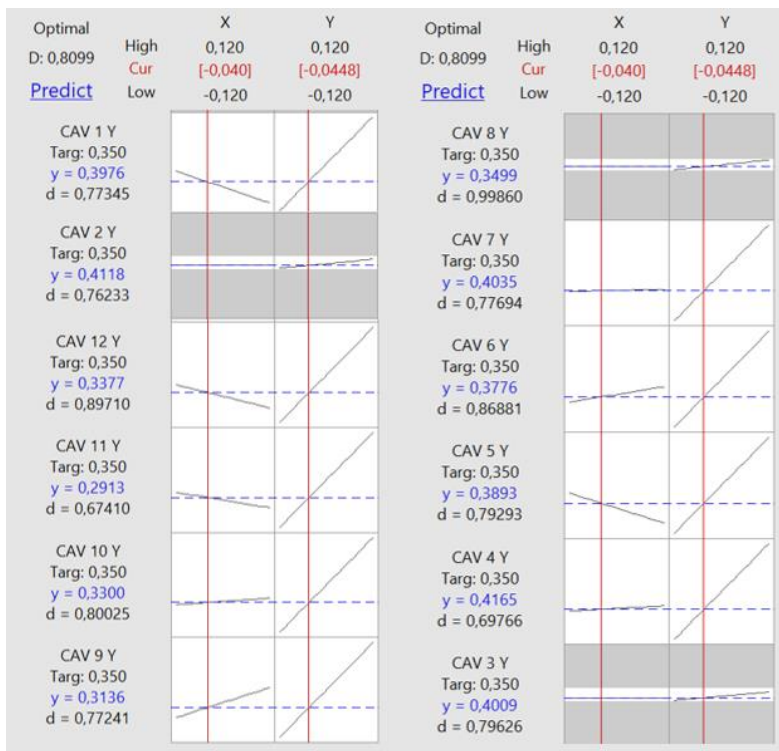
Naměřené hodnoty byly následně vloženy do programu Minitab. Programu bylo zadáno, aby našel správné nastavení datronu tak, aby mezera mezi fipem a kovovou hranou nabývala hodnot v rozmezí 0,2-0,5 mm, nominální hodnota je tak 0,35. Výsledek osy x je možné shlédnout na obrázku 21 a osy y na obrázku 22. Hodnoty -0,04 a -0,0448 v záhlaví sloupců stanovil Minitab. Jestliže by se na stroji nastavily uvedené hodnoty, s pravděpodobností na 68,9 % by např. mezera x u kavity č. 1 činila 0,4122 mm nebo méně. Naproti tomu mezera v ose y u stejné kavity by na 77 % činila 0,3976 mm či méně. Mezi otisky nejbliže nominálu v ose x patří kavity 2, 7, 9 a 12. V ose y vyšla z analýzy nejlépe kavita 8, její výsledná hodnota se nejvíce přibližuje nominálu. S pravděpodobností 99 % by mezera činila 0,3499 mm. Nejvíce problematická je kavita 11, a to jak v bodě x, tak v bodě y. Na souřadnici x bude na 40,8 % mezera činit 0,2257 mm či méně. V bodě y bude s pravděpodobností 67,4 % mezera v hodnotě 0,2913 mm nebo méně.

Z analýzy DoE vyplývá doporučení seřadit stroj dle kavity 8 na nominál v obou osách. Tolerance zkoumané mezery od nominálu činí $\pm 0,15$ mm, dle Response optimizeru v programu Minitab všechny kavity tuto toleranci splňují. Nastaví-li se datron podle kavity 8 na nominál a dispergují se (nanese se fip) takto i všechny ostatní kavity, mají díly optimální mezera mezi fipem a vyvýšenou kovovou hranou. Je tak možné pomocí jednoho nastavení dispergovat všechny kavity a již nebude nutné seřizovat datron pro každou kavitu zvlášť. Pokud otisk 8 i 11 budou v normě, tak zákonitě i všechny ostatní kavity musí být správně nadispergované.



Obrázek 21: Výstup z optimizera v ose x

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu



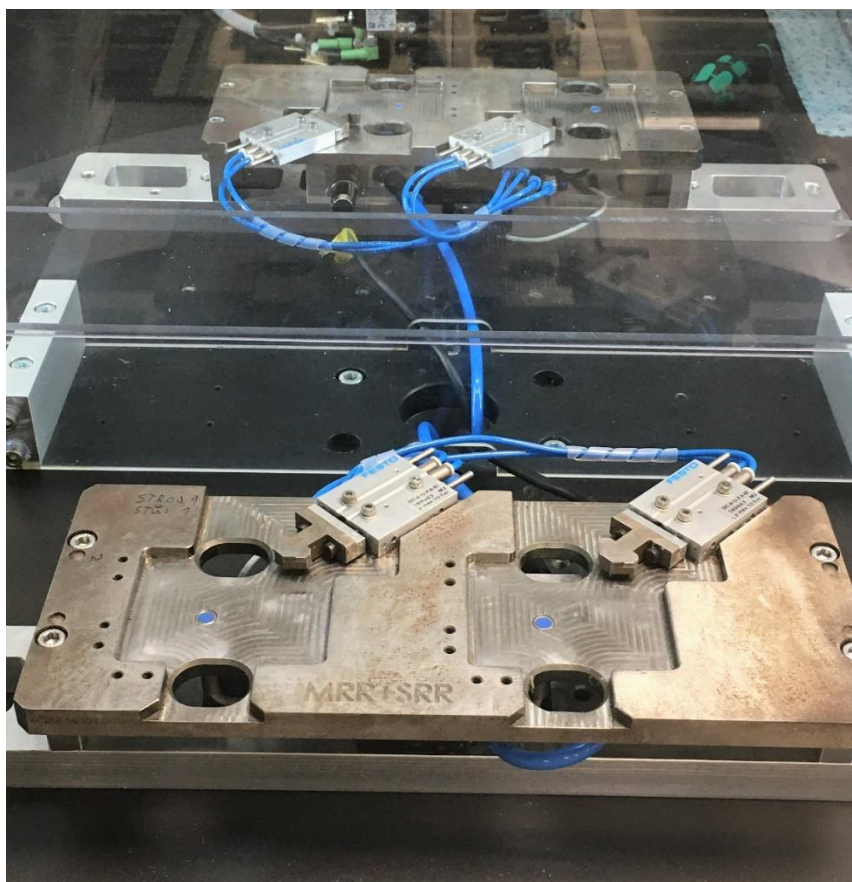
Obrázek 22: Výstup z optimizera v ose y

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu

Do výroby byly předány informace o tom, že díky analýze mohou všechny kavity fungovat na jedno optimální nastavení stroje datron. Po zkušební době ve výrobě nebyla však zpětná vazba seřizovačů uspokojivá. Tvrdili, že disperzní stroje nelze seřídít dle realizovaného experimentu. Někdy se stroj povede okamžitě seřídít a nastavení funguje bez problémů, jindy je nutné opakovaně stroj seřizovat a každý otisk se tak musí neustále seřizovat zvlášť. Oddělení Lean managementu proto naplánovalo další experiment – analýzu variací jednotlivých lůžek, kterým se zabývá následující kapitola.

2.7 ANOVA

Poté, co se výsledky z DoE ve výrobě neosvědčily, bylo přistoupeno k analýze variací lůžek datronu. Každý datron má 4 lůžka, do kterých stroj pomocí ramene pokládá heatsink. Lůžka postupně rotují tak, aby byl na každý heatsink nanesen fip z jehly. Lůžka jsou znázorněna na obrázku číslo 23 níže.



Obrázek 23: Lůžka datronu

Zdroj: Vlastní zpracování

Lůžka byla testována pouze na datronu 1, 3 a 4, protože datron 2 byl v době testování z technických důvodů mimo provoz, celkem tedy bylo ověřeno 12 lůžek (3 datrony x 4 lůžka). Do analýzy bylo v rámci nasbíraných vzorových dílů zahrnuto všech 12 kavit. Na jednotlivých datronech se otestovalo 64 dílů (16 vzorků x 4 lůžka). Technolog postupně seřídil datrony a nanas na vzorky fip. Aby fip uzrál, umístily se heatsinky na dobu 20 hodin umístily do vulkanizační komory. Poté bylo opět na digitálním mikroskopu provedeno v každé ose (tj. ve dvou bodech heatsinku) měření mezer mezi fipem a vyvýšenou kovovou hranou heatsinku. Naměřené hodnoty z prvního datronu jsou přehledně uvedeny v tabulce číslo 6 v milimetrech. Výsledné hodnoty pro 3. a 4. datron byly vloženy do příloh C a D.

Tabulka 6: DoE – lůžka – 1. datron

Lůžko 1		Lůžko 2		Lůžko 3		Lůžko 4	
1 X	1 Y	2 X	2 Y	3 X	3 Y	4 X	4 Y
0,30	0,45	0,36	0,43	0,34	0,44	0,33	0,41
0,31	0,40	0,33	0,51	0,34	0,43	0,36	0,46
0,32	0,39	0,31	0,48	0,36	0,37	0,36	0,44
0,34	0,40	0,32	0,47	0,34	0,41	0,31	0,45
0,31	0,40	0,33	0,48	0,34	0,43	0,34	0,42
0,31	0,34	0,32	0,46	0,32	0,42	0,33	0,41
0,31	0,38	0,33	0,45	0,32	0,45	0,35	0,45
0,29	0,34	0,32	0,50	0,32	0,42	0,33	0,48
0,34	0,41	0,34	0,43	0,31	0,42	0,37	0,42
0,34	0,40	0,36	0,54	0,36	0,42	0,37	0,47
0,30	0,39	0,34	0,49	0,34	0,43	0,36	0,50
0,33	0,37	0,33	0,48	0,31	0,41	0,30	0,46
0,34	0,37	0,36	0,50	0,35	0,46	0,35	0,46
0,32	0,40	0,33	0,53	0,32	0,44	0,35	0,41
0,32	0,39	0,32	0,45	0,33	0,43	0,34	0,46
0,31	0,38	0,31	0,44	0,35	0,38	0,30	0,46

Zdroj: Vlastní zpracování na základě naměřených hodnot v podniku

ANOVA 1. datron – osa x

Naměřená data byla dále zpracována v programu Statgraphics 18 – X64 pomocí ANOVY neboli analýzy rozptylu. U každého datronu byly zvlášť vyhodnoceny hodnoty os x a y, celkem bylo tedy provedeno 6 analýz rozptylu. První ANOVA byla zpracována pro první datron pro hodnoty z osy x. Aby mohla být použita ANOVA, musí být splněno několik předpokladů. Jedním z nich je například fakt, že nezávislou proměnnou je druh lůžka a závislou proměnnou jsou jednotlivé naměřené hodnoty. Výběry pochází z normálního rozdělení a jsou nezávislé. Další předpoklad říká, že počet pozorování musí být větší než počet skupin, tedy $n > k$. V tomto případě $64 > 4$. Výše uvedené předpoklady jsou platné i u dalších analýz, proto již nebudou opakovaně rozebrány. Posledním předpokladem metody ANOVA je homoskedasticita, tj. že hodnoty závisle proměnné y mají pro všechny hodnoty nezávisle proměnné x konstantní rozptyl, kterou je možné ověřit pomocí Bartlettova testu:

1) Stanovení hypotéz

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$$H_1: \text{non } H_0$$

2) Testové kritérium

Bartlettův test

3) Kritický obor

$$W \equiv \{B; B \geq \chi^2_{1-\alpha}(k-1)\}$$

$$W \equiv \{B; B \geq \chi^2_{0,95}(3)\}$$

$$W \equiv \{B; B \geq 7,815\}$$

4) Hodnota testového kritéria

$$B = 2,67191$$

5) $B \notin W$

Na hladině významnosti 5 % není zamítán předpoklad o tom, že rozptyly jsou ve všech skupinách stejné. Všechny předpoklady pro použití ANOVY, která následuje níže, jsou splněny.

1) Stanovení hypotéz

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (y nezávisí na x)

$H_1: \text{non } H_0$

2) Testové kritérium

$$F = \frac{\frac{S_{ym}}{k-1}}{\frac{S_{yv}}{n-k}}$$

3) Kritický obor

$W \equiv \{F; F \geq F_{1-\alpha}(k-1; n-k)\}$

$W \equiv \{F; F \geq \chi^2_{0,95}(3; 60)\}$

$W \equiv \{F; F \geq 2,758\}$

4) Hodnota testového kritéria

$F = 4,42$

5) $F \in W$

Na hladině významnosti 5 % bylo prokázáno, že naměřené hodnoty na disperzních strojích jsou závislé na druhu lůžka. Je zamítnuta tedy H_0 a přijmata H_1 . P-value testu vyšlo 0,0081.

ANOVA 3. datron – osa x

Ve druhé analýze byla opět ověřena homoskedasticita dat pomocí Bartlettova testu. P-value v programu Statgraphics vyšlo 0,882511, což je větší než alfa – 0,05. Nulová hypotéza o shodě rozptylů ve všech skupinách se nezamítá, takže je předpoklad splněn a může následovat analýza rozptylu.

1) Stanovení hypotéz

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (y nezávisí na x)

$H_1: \text{non } H_0$

2) Testové kritérium

$$F = \frac{\frac{s_{ym}}{k-1}}{\frac{s_{yv}}{n-k}}$$

3) Kritický obor

$$W \equiv \{F; F \geq F_{1-\alpha}(k-1; n-k)\}$$

$$W \equiv \{F; F \geq \chi^2_{0,95}(3; 60)\}$$

$$W \equiv \{F; F \geq 2,758\}$$

4) Hodnota testového kritéria

$$F = 55,64$$

5) $F \in W$

Na 5% hladině významnosti bylo prokázáno, že naměřené hodnoty závisí na druhu lůžka.

Zamítá se tedy H_0 a je přijmata H_1 . P-value vyšlo 0,000.

ANOVA 4. datron – osa x

Předpoklad o homoskedasticitě je splněn, protože P-value u Bartlettova testu dosahuje hodnoty 0,074. Výsledek je opět větší než alfa (0,05), tudíž se H_0 nezamítá a H_1 nepřijímá. Následuje opět ANOVA.

1) Stanovení hypotéz

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \text{ (y nezávisí na x)}$$

$$H_1: \text{non } H_0$$

2) Testové kritérium

$$F = \frac{\frac{s_{ym}}{k-1}}{\frac{s_{yv}}{n-k}}$$

3) Kritický obor

$$W \equiv \{F; F \geq F_{1-\alpha}(k-1; n-k)\}$$

$$W \equiv \{F; F \geq \chi^2_{0,95}(3; 60)\}$$

$$W \equiv \{F; F \geq 2,758\}$$

4) Hodnota testového kritéria

$$F = 8,15$$

5) $F \in W$

Na 5% hladině významnosti je možné zamítnout nulovou hypotézu a přijmout H_1 , která říká, že mezery mezi fipem a kovovou hranou jsou závislé na lůžku stroje. P-value vyšlo 0,0001.

ANOVA 1. datron – osa y

Následně jsou zpracovány analýzy na osách y u všech tří datronů. U prvního datronu vyšlo P-value u Bartlettova testu 0,542, P-value je vyšší než 0,05, z čehož vyplývá, že na 5% hladině významnosti se nezamítá nulová hypotéza o shodě rozptylů ve všech skupinách. Předpoklady jsou splněny a může následovat ANOVA.

1) Stanovení hypotéz

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \text{ (y nezávisí na x)}$$

$$H_1: \text{non } H_0$$

2) Testové kritérium

$$F = \frac{\frac{S_{ym}}{k-1}}{\frac{S_{yv}}{n-k}}$$

3) Kritický obor

$$W \equiv \{F; F \geq F_{1-\alpha}(k-1; n-k)\}$$

$$W \equiv \{F; F \geq \chi^2_{0,95}(3; 60)\}$$

$$W \equiv \{F; F \geq 2,758\}$$

4) Hodnota testového kritéria

$$F = 30,03$$

5) $F \in W$

Na hladině významnosti 5 % lze zamítnout H_0 a přijmout H_1 . Bylo prokázáno, že naměřené mezery mezi fipem a hranou heatsinku závisí na druhu lůžka. P-value vyšlo 0,000.

ANOVA 3. datron – osa y

Na základě Bartlettova testu má P-value hodnotu 0,221, je proto možné na 5% hladině významnosti nezamítnout nulovou hypotézu. Po splnění tohoto předpokladu následuje analýza rozptylu.

1) Stanovení hypotéz

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (y nezávisí na x)

$H_1: \text{non } H_0$

2) Testové kritérium

$$F = \frac{\frac{S_{ym}}{k-1}}{\frac{S_{yv}}{n-k}}$$

3) Kritický obor

$W \equiv \{F; F \geq F_{1-\alpha}(k-1; n-k)\}$

$W \equiv \{F; F \geq \chi^2_{0,95}(3; 60)\}$

$W \equiv \{F; F \geq 2,758\}$

4) Hodnota testového kritéria

$F = 7,66$

5) $F \in W$

Z výše uvedeného a také z P-value, které vyšlo 0,0002, vyplývá, že na hladině významnosti 5 % je možné zamítnout H_0 a přijmout H_1 . Tudíž opět naměřené hodnoty mezer závisí na druhu lůžka.

ANOVA 4. datron – osa y

U poslední analýzy rozptylu se opět podařilo splnit předpoklad o homokedasticitě. P-value u Bartlettova testu je v hodnotě 0,239, na základě toho se hypotéza o shodě rozptylů ve všech skupinách nezamítá. Poslední analýza rozptylu je uvedena níže.

1) Stanovení hypotéz

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (y nezávisí na x)

$H_1: \text{non } H_0$

2) Testové kritérium

$$F = \frac{\frac{S_{ym}}{k-1}}{\frac{S_{yv}}{n-k}}$$

3) Kritický obor

$W \equiv \{F; F \geq F_{1-\alpha}(k-1; n-k)\}$

$W \equiv \{F; F \geq \chi^2_{0,95}(3; 60)\}$

$W \equiv \{F; F \geq 2,758\}$

4) Hodnota testového kritéria

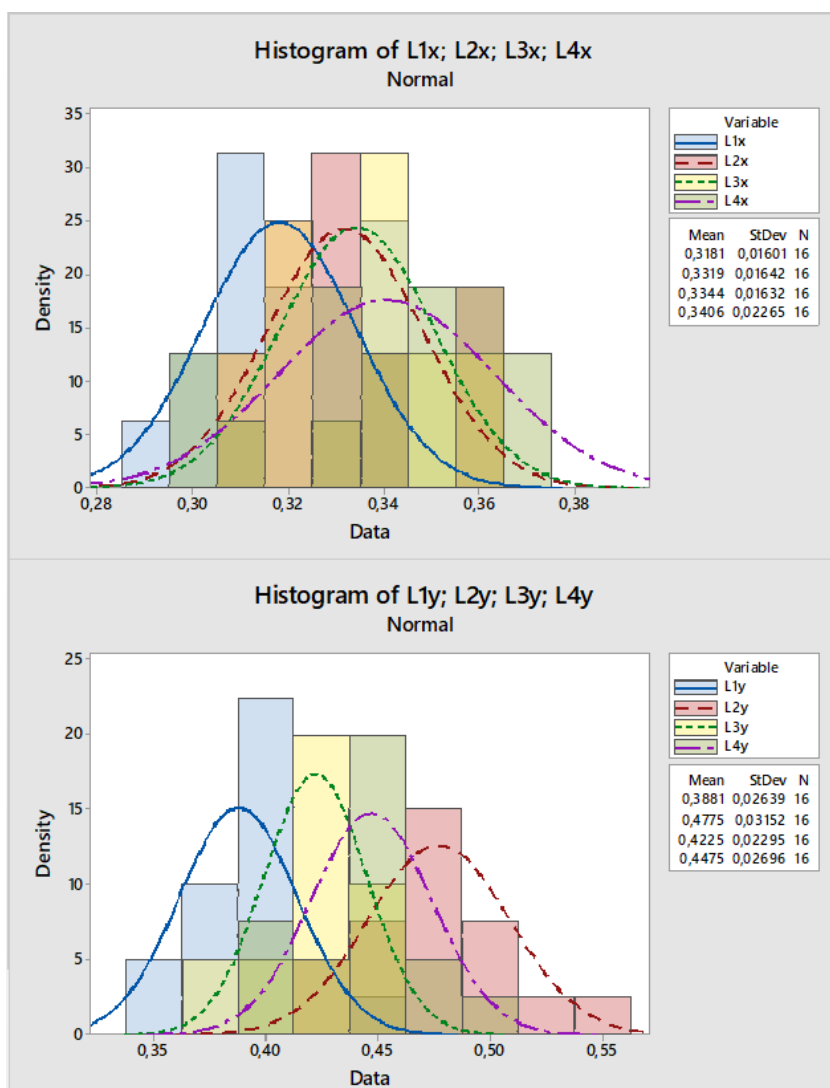
$F = 3,88$

5) $F \in W$

Test je statisticky významný a na 5% hladině významnosti je možné zamítnout H_0 a přijmout H_1 , která říká, že y závisí na x. P-value dosahuje v tomto případě hodnoty 0,0133. Ve všech výše uvedených analýzách bylo prokázáno, že naměřené hodnoty mezer mezi fípem a kovovou hranou heatsinku závisí na druhu lůžek datronů jak v ose x, tak v ose y.

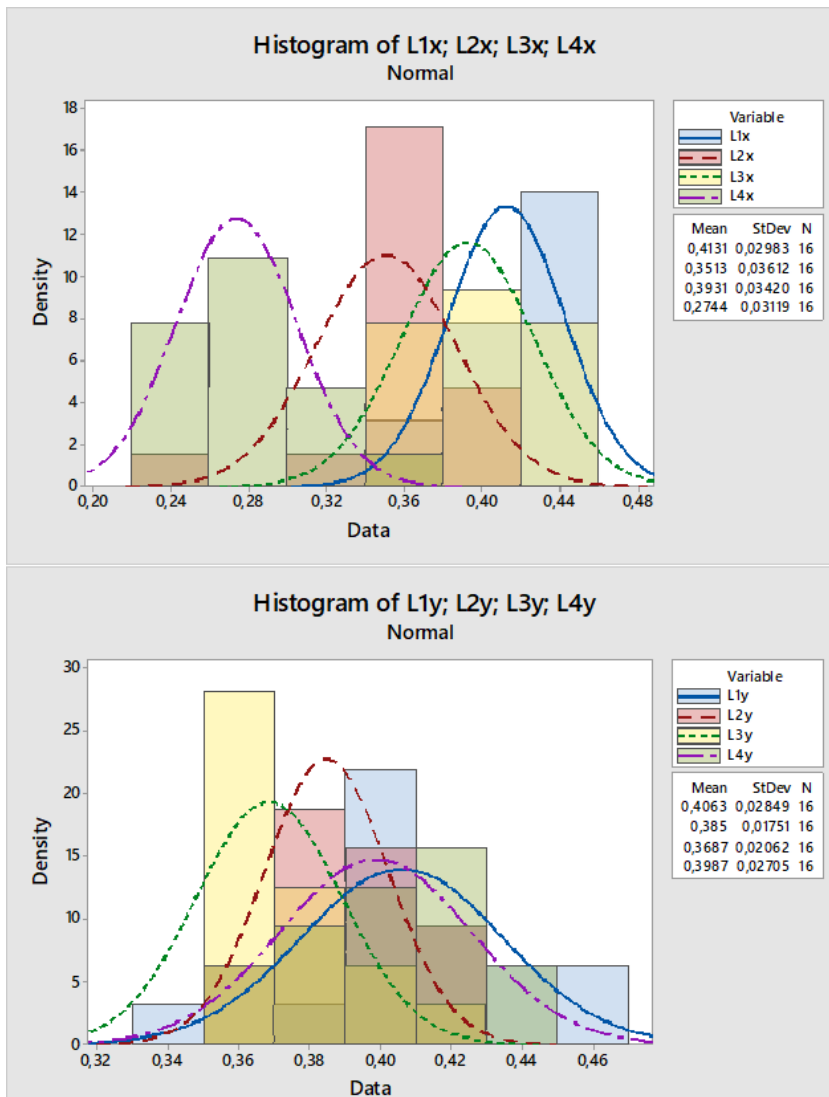
Možným způsobem zobrazení naměřených hodnot jsou níže uvedené čtyřvrcholové histogramy na obrázku 24, 25 a 26. Obrázky zahrnují dva histogramy – vždy pro každou osu jeden. Na ose x jsou uvedena naměřená data v mm a na ose y je četnost naměřených dat. V grafech je znázorněné propojení naměřených dat ze 4 lůžek. Každé lůžko má své barevné označení, které je možné vyčíst z legendy umístěné v pravé části obrázku. Pokud se některé hodnoty vyskytují současně ve více lůžkách, barvy se překrývají a dochází k různým odstínům zelené. Pod legendou jsou dále uvedeny průměry naměřených hodnot pro jednotlivá lůžka, směrodatná odchylka a četnost sledovaného znaku. Počet výskytů v každé skupině činí 16 měření. Hodnoty osy x datronu č. 1 a jeho prvního lůžka lze interpretovat následovně: Průměrná mezera mezi fípem a kovovou hranou činí 0,3181 mm. Směrodatnou odchylku je možné vyjádřit tak, že mezery mezi fípem a kovovou hranou se v průměru

odlišují od průměrných mezer mezi fipem a kovovou hranou o 0,01601 mm. Z histogramů lze pozorovat, jak jsou četnosti a průměry naměřených mezer jednotlivých lůžek velmi odlišně rozptýlené. Je vidět, že lůžka ze stejného datronu mezi sebou nekorelují.



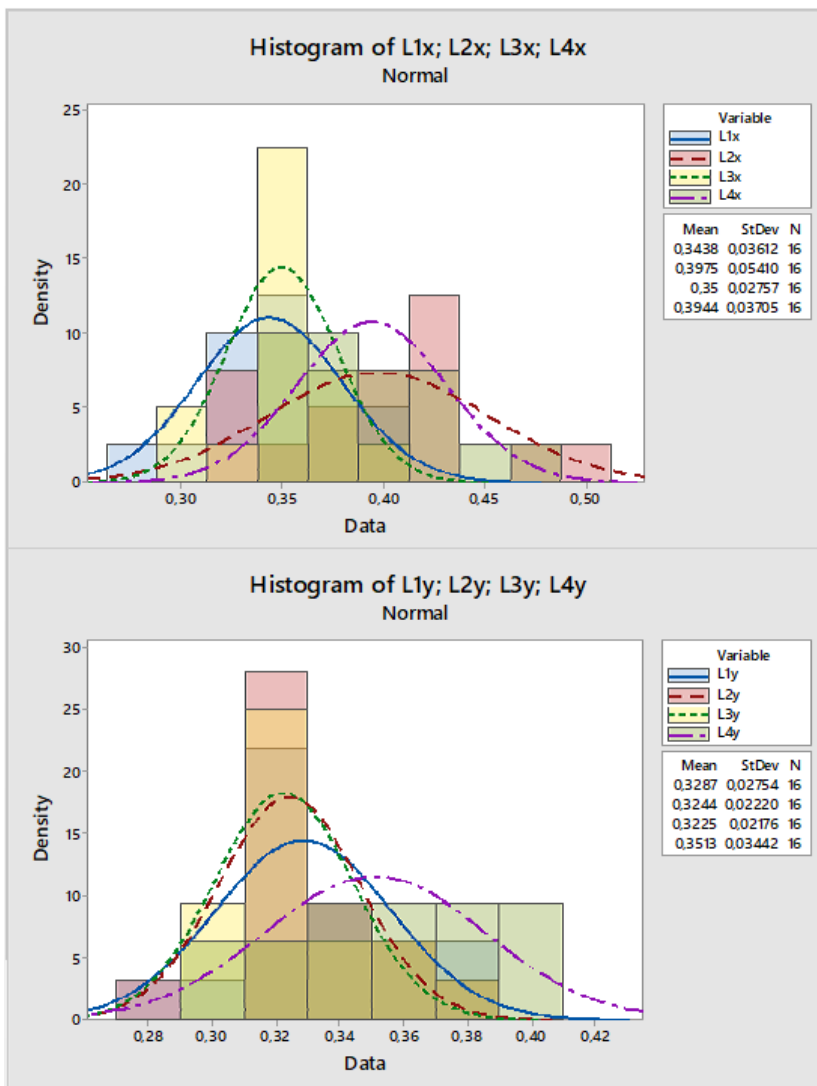
Obrázek 24: Histogram – datron 1

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu



Obrázek 25: Histogram – datron 3

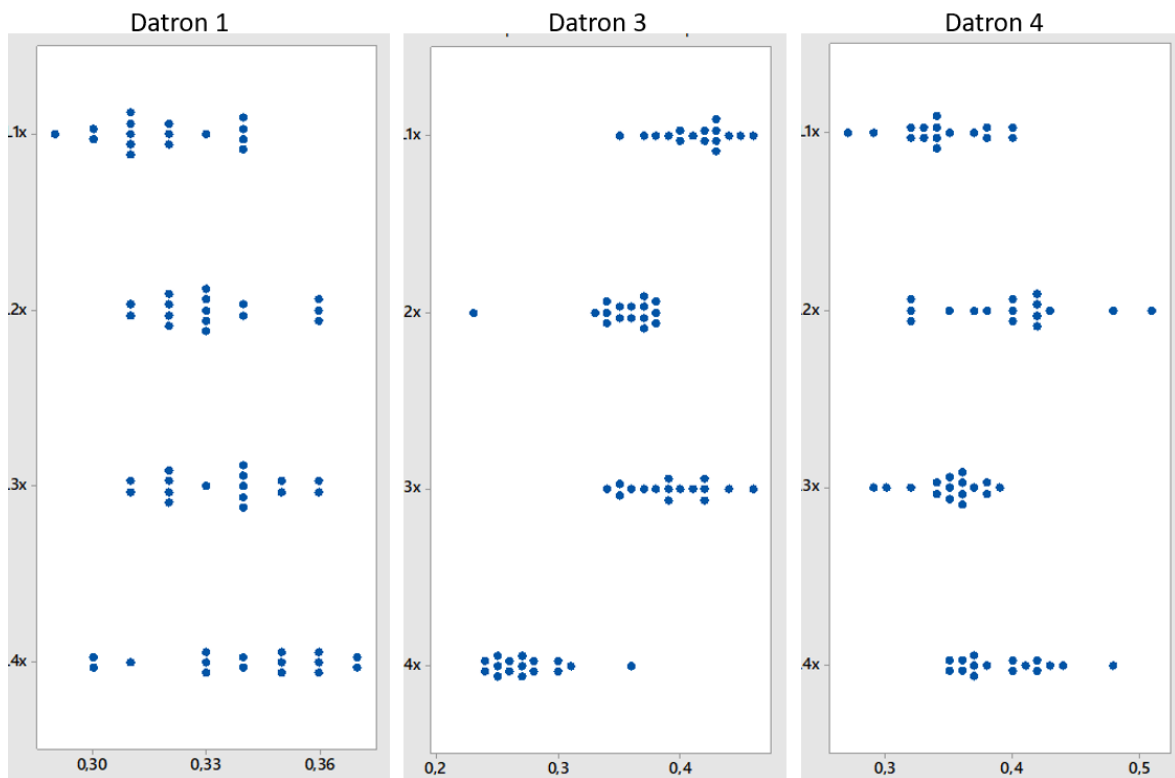
Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu



Obrázek 26: Histogram – datron 4

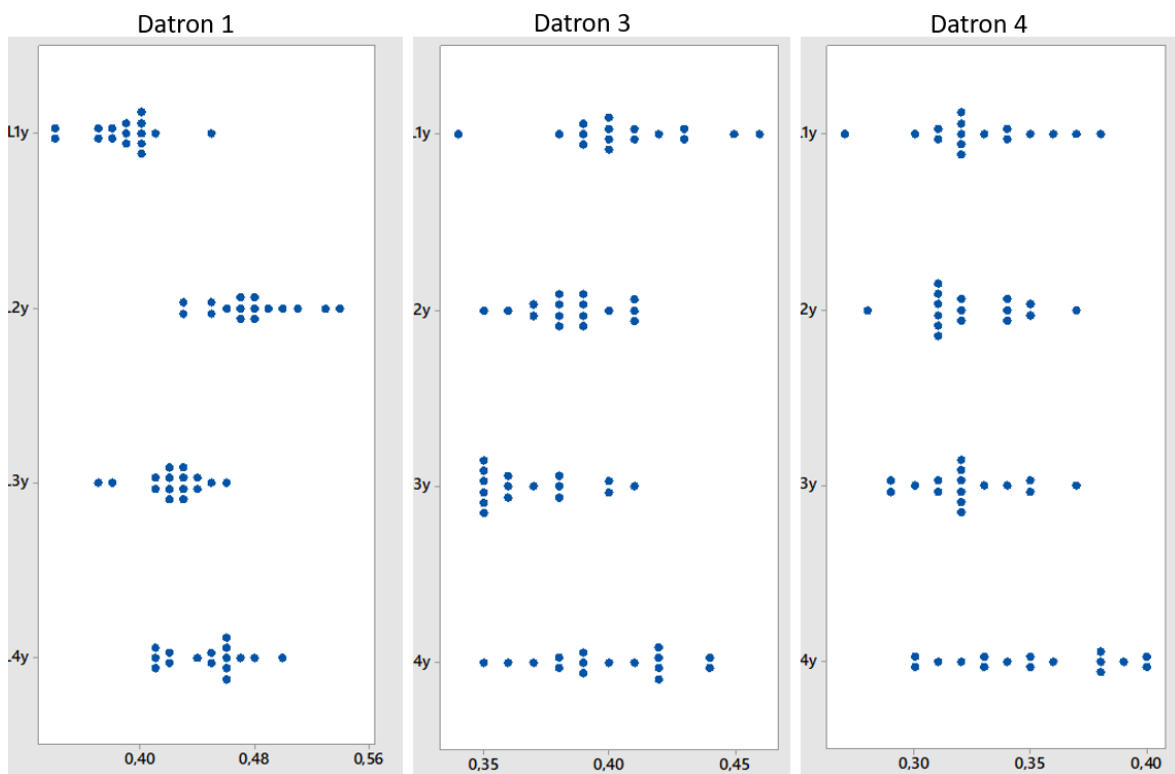
Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu

Naměřené hodnoty mezer lze kromě histogramu také znázornit na bodovém grafu znázorněném na obrázku číslo 27, kde jsou naměřené hodnoty z osy x. Obrázek obsahuje tři grafy – pro každý datron jeden. V grafu na ose y jsou vypsaná jednotlivá lůžka a na ose x jsou škály v milimetrech, ve kterých se získaná data pohybují. Na obrázku číslo 28 je znázorněno to samé pro data z osy y heatsinku. Z grafů je zřetelné, že nanášení fípu je v rámci jednoho lůžka poměrně stejnorodé, v porovnání s ostatními lůžky ze stejného datronu jsou však mezery velmi odlišné.



Obrázek 27: Bodový graf s daty pro osu x

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu



Obrázek 28: Bodový graf s daty pro osu y

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu

Na základě naměřených dat bylo spočítáno variační rozpětí, které je možné shlédnout v tabulce číslo 7. Variační rozpětí v ose x je největší u datronu 4, poté u datronu 3 a 1, hodnoty jsou ve výši 0,24 mm, 0,23 mm a 0,08 mm. V ose y je variační rozpětí nejvyšší u datronu 1 a t sice 0,2 mm, následuje datron 4 s hodnotou 0,13 mm a poslední datron 3 s hodnotou 0,12 mm. Variační rozpětí lůžek v ose x je nejsignifikantnější u druhého lůžka datronu 4 a činí 0,19 mm. Nejnížší hodnoty variačních rozpětí má datron 1. V ose y je nejvyšší rozpětí 0,12 u datronu 3 v prvním lůžku. Z výše uvedených informací lze vyvodit, že hodnoty v rámci jednoho lůžka jsou poměrně sjednocené, ale data všech lůžek v rámci jednoho datronu jsou velmi nestabilní. Řešením tohoto rozdělení lůžek se zabývá následující kapitola.

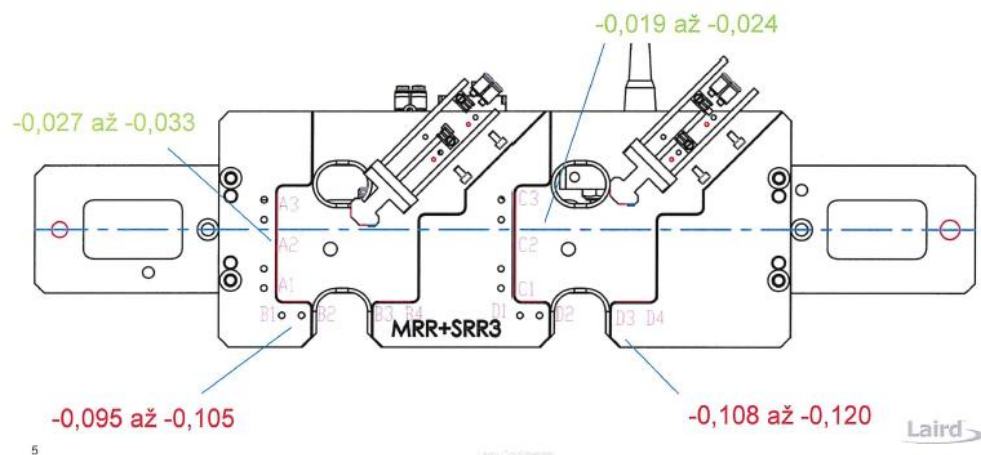
Tabulka 7: Variační rozpětí naměřených hodnot

Rozpětí	Datron	1 X	2 X	3 X	4 X	1 Y	2 Y	3 Y	4 Y
Os	1	0,08				0,20			
	3	0,23				0,12			
	4	0,24				0,13			
Lůžek	1	0,05	0,05	0,05	0,07	0,11	0,11	0,09	0,09
	3	0,11	0,15	0,12	0,12	0,12	0,06	0,06	0,09
	4	0,13	0,19	0,10	0,13	0,11	0,09	0,08	0,10

Zdroj: Vlastní zpracování na základě podnikových dat

2.8 Nápravná opatření

V předchozí kapitole byla detailně rozebrána ANOVA pro jednotlivá lůžka datronů. Z analýzy je zřejmé, že lůžka mezi sebou vzájemně nesouvisí. V rámci projektu v podniku DuPont bylo proto nutné najít řešení. V červenci 2021 proběhlo přeměření všech lůžek v podnikové nástrojárně, při kterém bylo zjištěno, že dodavatel přípravků nedodržel v některých případech požadované rozměry o více než 0,2 mm. Nákres dvou lůžek s odchýlenými rozměry je znázorněn níže na obrázku 29. Heatsink je kvůli úchytu v protilehlém rohu zafixovaný v nepravém úhlu. Z tohoto důvodu byl každý heatsink ve stejném lůžku umístěn o desetiny či setiny milimetru jinak, a tak docházelo k nesprávnému nanášení fipu. Jelikož už přípravky prošly šestiměsíční záruční lhůtou, přistoupilo se k opravě lůžek v podnikové nástrojárně.

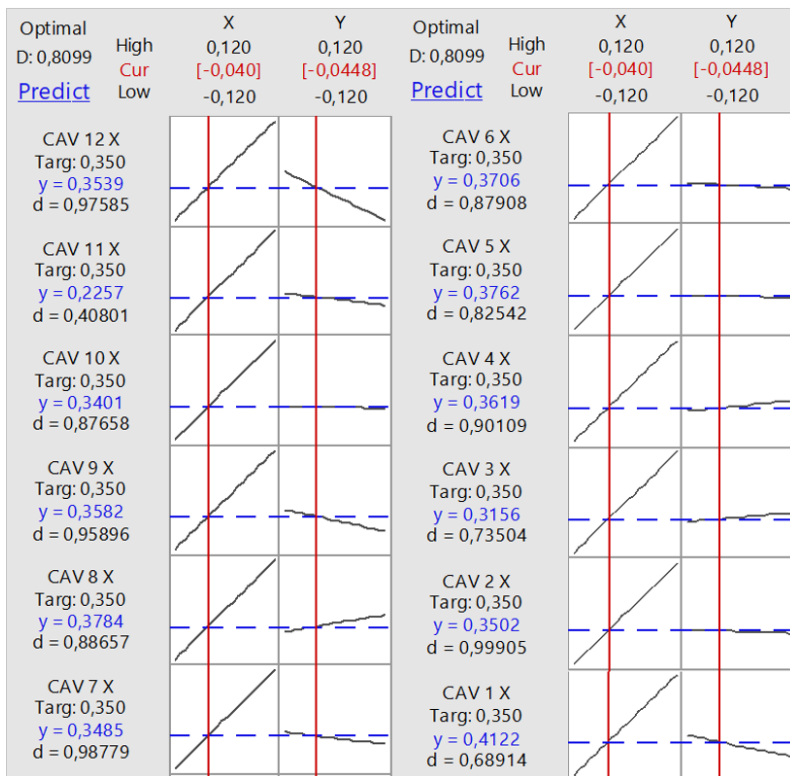


Obrázek 29: Návrh lůžek

Zdroj: Podniková data

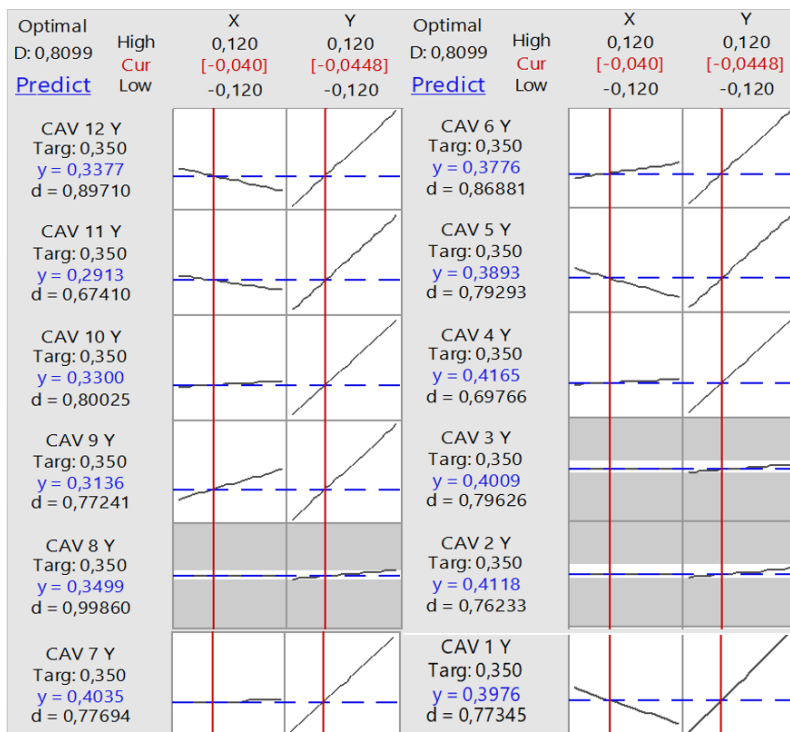
Jakmile došlo ke zbrúšení lůžek v nástrojárně, následovala analýza, která měla za úkol ověřit, zda úprava lůžek vedla k přesnějšímu nanášení fípu. Analýza probíhala ve druhé polovině srpna 2021 a opět bylo nasbíráno několik kusů heatsinků od každé kavity. Na ně byl na datronu nanášen fip a po dozrání v komoře byly na digitálním mikroskopu změřeny mezery mezi fipem a kovovou hranou v ose x a y heatsinku. Znovu nápomocná byla funkce Response optimizer v Minitabu, jejíž výsledky je možné shlédnout v obrázku číslo 30 a 31. Funkcí byla určena klíčová kavita, podle které je vhodné datrony seřizovat. Optimální kavita k nastavení je opět kavita číslo 8. Pokud se stroj nastaví podle kavity 8 na nominál, všechny ostatní kavity budou spadat s mezerou mezi fipem a kovovou hranou do tolerance v hodnotě $\pm 0,15$ mm.

Výše uvedené předpoklady nastavení byly vyzkoušeny ve výrobě a zpětná vazba byla skutečně uspokojivá. Mezery heatsinků byly přeměřeny a všechny spadaly do stanovené normy. Bylo potvrzeno, že s jedním nastavením datronu je možné heatsinky všech kavit dispergovat tak, že nanášený fip bude odpovídat stanoveným požadavkům. Díky tomu se výrazně snížil čas strávený při seřizování stroje. Důležité je také to, že třídění heatsinků podle kavit nebude již potřeba, což pro podnik představuje další snížení nákladů.



Obrázek 30: Výsledek z optimalizéru v ose x

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu



Obrázek 31: Výsledek z optimalizéru v ose y

Zdroj: Podniková data zpracovaná v Minitabu

2.9 Zhodnocení projektu

V závěrečné fázi projektu byl prezentován postup realizovaného experimentu a dosažených výsledků. Bylo nutné vypracovat prezentaci se získanými výsledky a tu představit všem zúčastněným stranám. Zvláště důležitá byla pro vedoucí výroby a seřizovače. Seřizovači byli totiž poměrně nedůvěřiví k tvrzení, že s jedním nastavením datronu lze fip nanášet na všechny druhy kavity. V prezentaci bylo toto tvrzení vyvráceno, podkladem byly mnohočetné testy a měření. Seřizovači tak získali nové zkušenosti a uznali, že je projekt nejen pro ně, ale i pro podnik přínosem. Potvrdilo se tedy, že předpokládaných výsledků lze skutečně dosáhnout. Závěrečná prezentace byla mj. vhodnou příležitostí pro diskusi a konstruktivní zpětnou vazbu mezi všemi účastníky projektu.

Podstatnou částí projektu byla analýza výrobního procesu pomocí mapování toků hodnot a sedmi druhů plýtvání. Pomocí těchto metod byla odhalena slabá místa výroby. Další metoda

Lean Six Sigma pak sloužila k vylepšení a zefektivnění právě těchto slabých míst ve výrobě. Pomocí analýzy R&R byly hned v počátku odhaleny mezní díly, se kterými měli operátoři ve výrobě potíže při vyhodnocování. Na tyto mezní díly se poté zaměřilo oddělení kvality při pravidelném školení operátorů. Cílem školení bylo zaměstnancům vysvětlit, že ne každý mezní díl musí být hned označen za zmetek. Díky těmto krokům se na oddělení snížila zmetkovitost a také byly sjednoceny pracovní postupy pro efektivnější práci zaměstnanců.

Další část projektu si kladla za úkol snížení zmetkovitosti na disperzních strojích označovaných jako datron. Na těchto strojích vznikal největší počet zmetků v rámci procesu, a to z důvodu špatného nanášení fipu. Problémem byl buď příliš těsně nanesený fip u kraje, nebo z rohu naopak fip padal. Pomocí metody DoE bylo nalezeno správné nastavení faktorů (tlak nanášení, rychlost otáčení koleček, výška a rychlost jehly), které ovlivňují parametry naneseného fipu (mezera mezi fipem a vyvýšenou kovovou hranou, výška a šířka fipu). Podařilo se nastavit celkem tři ze čtyř faktorů fixně, tj. tak, aby nemusely být pokaždé nastavovány. Jediným variabilním faktorem je rychlost kol, to znamená, že pouze pomocí nastavení rychlosti kol je možné dosáhnout všech požadovaných parametrů fipu. Tento výsledek ušetří mnoho času seřizovači při nastavování strojů.

Účelem projektu bylo dále nalézt jedno nastavení pro všechny druhy kavit, které se od sebe liší v desetinách až setinách milimetru. Pomocí programu Minitab bylo stanoveno, že pokud se datron seřídí dle kavity číslo 8 na nominál v obou osách, tak i všechny ostatní kavity budou mít optimální mezeru mezi fipem a hranou. Jednotné nastavení pro všechny kavity bylo pomocí optimalizéru v programu Minitab zdánlivě nalezené. Ve výrobě se však toto jednotné nastavení neosvědčilo. Zaměstnanci tvrdili, že není možné nanášet fip na všechny kavity dle jednoho nastavení. V rámci projektu bylo snahou problém vyřešit, a tak bylo přistoupeno k analýze variací lůžek. Díky této analýze bylo zjištěno, že lůžka nesvírají pravý úhel, tím byl každý heatsink v lůžku zasazený jinak a došlo k nesprávnému nanášení fipu. Aby se ověřilo, zda je fip nanesen správně, proběhlo v podnikové nástrojárně zkušební zbroušení lůžek. Výsledek byl pozitivní – jednotlivá lůžka mezi sebou skutečně již korelují. Tímto bylo prokázáno, že jedno nastavení pro všechny kavity existuje a není již nutné opakovaně stroje nastavovat. To úzce souvisí s efektivitou práce a využití pracovních sil, neboť seřizovač bude mít v tomto případě více času pro jinou práci, např. na odlišném pracovišti. Dále bylo zjištěno, že třídění dílů dle kavit již není nutné, čímž se výrazně zrychlí a zjednoduší procesy na plazmě. Navíc dojde i ke snížení nákladů na dodání, protože dodavatel si za třídění dílů dle kavit účtoval poplatky.

V tabulce 8 níže jsou přehledně uspořádány sazby zmetkovitosti ve výrobním procesu. Na začátku projektu, tj. v březnu roku 2021 činila zmetkovitost ve výrobě 7 %. Cílem projektu bylo snížit zmetkovitost pod 4 %. Zmetkovitost na oddělení kontroly kvality činila v březnu 3,5 % a po provedení R&R analýzy byla v dubnu snížena až na 2,5 %. Došlo tak ke snížení o 1 %. Zpětná vazba v listopadu roku 2021, tedy po jednom měsíci od doby ukončení projektu, je velmi pozitivní. Zmetkovitost procesu kontroly kvality se pohybuje kolem 1,5 %, což je ještě o procento méně než v dubnu. Zmetkovitost na automatické lince činila v březnu také 3,5 %, většina zmetků však pocházela již z datronů, jelikož byl vadně nanesený fip. Zde se po ukončení projektu, tj. v listopadu 2021 podařilo snížit zmetkovitost o 3,3 % až na pouhých 0,2 %. Výsledná zmetkovitost celého výrobního řetězce se tak pohybuje na úrovni 1,7 %. Na základě použitých metod Lean Six Sigma je datron seřizován pouze v nezbytných případech, díky čemu vzrostla efektivita v průměru o 11 %. Rok po zahájení projektu, tedy v březnu 2022, činí celková zmetkovitost 1,4 %. Z toho 1,2 % na procesu stoprocentní kontroly a 0,2 % na automatické lince. Nejvíce zmetků v roce 2022 vznikne při seřizování stroje, to nastává při zahájení výroby nebo při výměně materiálu – fipu. V budoucnosti by bylo možné proces stoprocentní kontroly úplně zrušit. Podniku

nepřidává hodnotu a je pro něj pouze plýtváním, na odhalení zmetků by postačila kamera umístěná na automatické lince.

Tabulka 8: Přehled zmetkovitosti v čase

Proces / Měsíc	Celá výroba	Stoproc. kontrola	Automatická linka
Březen 2021	7 %	3,5 %	3,5 %
Duben 2021	X	2,5 %	X
Listopad 2021	1,7 %	1,5 %	0,2 %
Březen 2022	1,4 %	1,2 %	0,2 %

Zdroj: Vlastní zpracování na základě podkladů společnosti

Závěr

Zeštíhlování podniku je dlouhodobý a náročný proces. Pokud chce však podnik nadále rozvíjet svou podnikatelskou činnost a obstát v dnešní době před konkurencí, měl by jej podstoupit. Základem funkčního zeštíhlování je důkladná znalost požadavků zákazníka. Podnik také musí přesně znát všechny výrobní procesy, a především odhalit jejich slabá místa, na kterých lze pracovat a zkvalitňovat je.

Závěrečná práce je rozdělena do dvou částí. V první části jsou pomocí literární rešerše vysvětleny pojmy Lean Six Sigma a jejich pravidla. Tato část se týká zejména charakteristiky klasických a statistických nástrojů užívaných pro zlepšování procesů. Druhá část se věnuje charakteristice současného výrobního procesu konkrétního podniku, užití nástrojů pro zlepšování výroby a navržení nápravných opatření.

Praktické poznatky práce přinesla autorka se svým zlepšovatelským týmem díky projektu realizovaném v podniku DuPont působícím v mnoha odvětvích průmyslu, především však v automotive. V podniku byly pro experiment vybrány procesy týkající se výrobku s názvem heatsink. Důvodem byl očekávaný nárůst výroby heatsinku v budoucích měsících.

Po rozsáhlé analýze pomocí nástrojů Lean a Six Sigma došlo v podniku k zefektivnění výrobních procesů a snížení zmetkovitosti při výrobě adaptabilních radarů užívaných v automobilovém průmyslu ze 7 % na 1,7 %. Analýza R&R pomohla sjednotit vyhodnocování dílů operátory na oddělení stoprocentní kontroly. Po výsledcích a jejich aplikaci v podniku je výrobek klasifikován jako dobrý či zmetkovitý všemi zaměstnanci stejně, což se předtím jevilo jako problematické.

Analýza DoE byla pro podnik také přínosná, pomocí ní byl nalezen nejpodstatnější ze čtyř faktorů pro správné nastavení výroby stroje datron. Současně s tím bylo stanoveno jedno konkrétní nastavení pro všechny druhy kavit heatsinků, čímž se měla významně snížit doba strávená opakovaným seřizováním strojů nanášející tzv. fip na heatsink. První zpětná vazba k těmto výsledkům však nebyla příznivá, jelikož nastavení nevyhovovalo všem předpokladům a nanášení fipu na heatsink nebylo uspokojivé.

Dále bylo přistoupeno k analýze ANOVA, jejímž cílem bylo výše zmíněný problém vyřešit a najít ideální nastavení stroje. Analýza pomohla zjistit, že lůžka, do kterých se vkládá heatsink, nebyla správně seřizena, a proto bylo nanášení fipu nevyhovující. Ve výrobě tedy došlo k opravě lůžek a všechna výše zmíněná nastavení stroje skutečně fungovala – při dispencování fipu bylo dosaženo požadovaných výsledků. Díky navrženému nastavení plynoucí z analýzy DoE a ANOVA se v podniku snížil počet zmetků se špatně naneseným fipem. Podniku navíc odpadlo nutné třídění kavit, čímž se snížily náklady a zefektivnily procesy uvnitř podniku.

Seznam použité literatury

ALLEN, Theodore T., 2006. *Introduction to engineering statistics and six sigma: statistical quality control and design of experiments and systems*. 1st ed. London: Springer. ISBN 978-1-85233-955-5.

ANTONY, Jiju a Maneesh KUMAR, 2011. *Lean Six Sigma: Research and Practice*. B.m.: BookBoon.com. ISBN 978-87-7681-768-8.

BERARDINELLI, CARL F., 2016. To DMAIC or Not to DMAIC? *Quality Progress* [online]. [vid. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://www.proquest.com/magazines/dmaic-not/docview/1762043854/se-2?accountid=17116>

FERREIRA, C., SÁ, J. C., FERREIRA, L. P., LOPES, M. P., PEREIRA, T., a SILVA, F. J. G., 2019. iLeanDMAIC – A methodology for implementing the lean tools [online]. [vid. 2022-01-09]. ISSN 2351-9789. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919312004>

FILIP, Ludvík, 2019. *Efektivní řízení kvality*. Praha: Pointa. ISBN 978-80-907530-5-1.

FRANCHETTI, Matthew J., 2015. *Lean Six Sigma for engineers and managers: with applied case studies*. U. S.: Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4822-4352-9.

FURTERER, Sandra L., 2013. *Lean six sigma case studies in the healthcare enterprise*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-1-4471-5582-9.

GEORGE, Michael L., Dave ROWLANDS a Bill KASTLE, 2005. *Co je Lean Six Sigma?* Brno: SC&C Partner, spol. s r. o. ISBN 978-80-239-5172-1.

GEORGE, Michael L., ROWLANDS, DAVID, PRICE, MARK, a MAXEY, JOHN, 2010. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity*. Brno: SC&C Partner, spol. s r. o. ISBN 978-80-904099-2-7.

GINN, Dana a Evelyn VARNER, 2004. *The design for Six SIGMA memory jogger tools and methods for robust processes and products*. Salem, NH: GOAL/OPC. ISBN 978-1-57681-047-7.

GUPTA, Praveen, 2004. *Six Sigma Business Scorecard: ensuring performance for profit*. New York: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-141730-3.

JESTON, John, 2018. *Business process management: practical guidelines to successful implementations*. Fourth Edition. New York: Routledge. ISBN 978-1-138-73840-9.

KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK, 2006. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing. ISBN 978-80-86851-38-9.

LAIRD, 2021. *Announcement* [online]. [vid. 2021-10-07]. Dostupné z: <https://www.laird.com/resources/announcement/dupont-completes-acquisition-laird-performance-materials>

- LIBEREC DUPONT, 2021. Interní materiály ze školení zaměstnanců.
- MENČÍK, Jaroslav, 2017. *Introduction to experimental analysis*. Pardubice: University of Pardubice. ISBN 978-80-7560-068-4.
- MILLER, Ivan, 2010. *DOE: návrh a analýza experimentu s pomocí MINITAB®*. Praha: Interquality. ISBN 978-80-902770-5-2.
- MORGAN, John a Martin BRENIG-JONES, 2012. *Lean six sigma for dummies*. 2nd edition. Chichester [England]: John Wiley & Sons. For dummies. ISBN 978-1-119-95370-8.
- NENADÁL, Jaroslav, 2018. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-561-2.
- NEUWIRTH, B., 2019. *Eliminating the seven deadly wastes* [online]. 2019. B.m.: Assembly, 62(13), 54-59. [vid. 2022-01-07]. Dostupné z: <https://www.proquest.com/trade-journals/eliminating-seven-deadly-wastes/docview/2328344502/se-2?accountid=17116>
- PANDE, Peter S, Roland R CAVANAGH a Robert P NEUMAN, 2002. *Zavádíme metodu Six Sigma, aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. Brno: TwinsCom. ISBN 978-80-238-9289-5.
- 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.
- VÁCHAL, Jan a Marek VOCHOZKA, 2013. *Podnikové řízení*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4642-5.
- VEBER, Jaromír, Marie HŮLOVÁ a Alena PLÁŠKOVÁ, 2006. *Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce: legislativa, systémy, metody, praxe*. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-146-1.

Seznam příloh

Příloha A:	Vstupní hodnoty první R&R analýzy.....	96
Příloha B:	Vstupní hodnoty druhé R&R analýzy.....	101
Příloha C:	DoE – lůžka – 3. datron.....	105
Příloha D:	DoE – lůžka – 4. datron.....	106

Příloha A: Vstupní hodnoty první R&R analýzy

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
1	Operátor 1	1	Item 9	NOK	OK
2	Operátor 1	1	Item 8	NOK	OK
3	Operátor 1	1	Item 45	NOK	OK
4	Operátor 1	1	Item 40	NOK	OK
5	Operátor 1	1	Item 7	NOK	OK
6	Operátor 1	1	Item 24	NOK	OK
7	Operátor 1	1	Item 29	NOK	NOK
8	Operátor 1	1	Item 15	NOK	NOK
9	Operátor 1	1	Item 39	NOK	OK
10	Operátor 1	1	Item 26	NOK	NOK
11	Operátor 1	1	Item 42	NOK	NOK
12	Operátor 1	1	Item 44	NOK	NOK
13	Operátor 1	1	Item 43	NOK	NOK
14	Operátor 1	1	Item 35	NOK	OK
15	Operátor 1	1	Item 41	NOK	NOK
16	Operátor 1	1	Item 22	OK	NOK
17	Operátor 1	1	Item 6	NOK	OK
18	Operátor 1	1	Item 2	NOK	NOK
19	Operátor 1	1	Item 21	NOK	NOK
20	Operátor 1	1	Item 34	NOK	NOK
21	Operátor 1	1	Item 13	NOK	NOK
22	Operátor 1	1	Item 1	NOK	NOK
23	Operátor 1	1	Item 4	NOK	OK
24	Operátor 1	1	Item 36	NOK	NOK
25	Operátor 1	1	Item 3	NOK	OK
26	Operátor 1	1	Item 30	NOK	OK
27	Operátor 1	1	Item 23	NOK	NOK
28	Operátor 1	1	Item 18	NOK	NOK
29	Operátor 1	1	Item 19	NOK	NOK
30	Operátor 1	1	Item 11	NOK	NOK
31	Operátor 1	1	Item 33	NOK	OK
32	Operátor 1	1	Item 27	NOK	NOK
33	Operátor 1	1	Item 5	NOK	NOK
34	Operátor 1	1	Item 37	NOK	NOK
35	Operátor 1	1	Item 16	NOK	OK
36	Operátor 1	1	Item 12	NOK	OK
37	Operátor 1	1	Item 17	NOK	OK
38	Operátor 1	1	Item 14	NOK	NOK
39	Operátor 1	1	Item 10	NOK	NOK
40	Operátor 1	1	Item 20	NOK	NOK
41	Operátor 1	1	Item 38	NOK	NOK
42	Operátor 1	1	Item 25	NOK	NOK
43	Operátor 1	1	Item 28	NOK	NOK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
44	Operátor 1	1	Item 31	NOK	NOK
45	Operátor 1	1	Item 32	NOK	NOK
46	Operátor 2	1	Item 21	NOK	NOK
47	Operátor 2	1	Item 38	NOK	NOK
48	Operátor 2	1	Item 40	NOK	OK
49	Operátor 2	1	Item 32	NOK	NOK
50	Operátor 2	1	Item 33	NOK	OK
51	Operátor 2	1	Item 13	NOK	NOK
52	Operátor 2	1	Item 37	NOK	NOK
53	Operátor 2	1	Item 41	NOK	NOK
54	Operátor 2	1	Item 29	NOK	NOK
55	Operátor 2	1	Item 17	NOK	OK
56	Operátor 2	1	Item 25	NOK	NOK
57	Operátor 2	1	Item 4	NOK	OK
58	Operátor 2	1	Item 6	NOK	OK
59	Operátor 2	1	Item 20	NOK	NOK
60	Operátor 2	1	Item 30	NOK	OK
61	Operátor 2	1	Item 23	NOK	NOK
62	Operátor 2	1	Item 31	NOK	NOK
63	Operátor 2	1	Item 9	NOK	OK
64	Operátor 2	1	Item 11	NOK	NOK
65	Operátor 2	1	Item 10	NOK	NOK
66	Operátor 2	1	Item 1	NOK	NOK
67	Operátor 2	1	Item 3	NOK	OK
68	Operátor 2	1	Item 7	NOK	OK
69	Operátor 2	1	Item 19	NOK	NOK
70	Operátor 2	1	Item 22	OK	NOK
71	Operátor 2	1	Item 15	NOK	NOK
72	Operátor 2	1	Item 12	NOK	OK
73	Operátor 2	1	Item 16	NOK	OK
74	Operátor 2	1	Item 42	NOK	NOK
75	Operátor 2	1	Item 26	NOK	NOK
76	Operátor 2	1	Item 8	NOK	OK
77	Operátor 2	1	Item 2	NOK	NOK
78	Operátor 2	1	Item 34	NOK	NOK
79	Operátor 2	1	Item 14	NOK	NOK
80	Operátor 2	1	Item 39	NOK	OK
81	Operátor 2	1	Item 36	NOK	NOK
82	Operátor 2	1	Item 35	NOK	OK
83	Operátor 2	1	Item 28	NOK	NOK
84	Operátor 2	1	Item 45	NOK	OK
85	Operátor 2	1	Item 44	NOK	NOK
86	Operátor 2	1	Item 27	NOK	NOK
87	Operátor 2	1	Item 43	NOK	NOK
88	Operátor 2	1	Item 18	NOK	NOK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
89	Operátor 2	1	Item 24	NOK	OK
90	Operátor 2	1	Item 5	NOK	NOK
91	Operátor 1	2	Item 41	NOK	NOK
92	Operátor 1	2	Item 14	NOK	NOK
93	Operátor 1	2	Item 39	NOK	OK
94	Operátor 1	2	Item 5	NOK	NOK
95	Operátor 1	2	Item 24	NOK	OK
96	Operátor 1	2	Item 45	NOK	OK
97	Operátor 1	2	Item 36	NOK	NOK
98	Operátor 1	2	Item 18	NOK	NOK
99	Operátor 1	2	Item 32	NOK	NOK
100	Operátor 1	2	Item 23	NOK	NOK
101	Operátor 1	2	Item 35	NOK	OK
102	Operátor 1	2	Item 26	NOK	NOK
103	Operátor 1	2	Item 19	NOK	NOK
104	Operátor 1	2	Item 30	NOK	OK
105	Operátor 1	2	Item 28	NOK	NOK
106	Operátor 1	2	Item 4	NOK	OK
107	Operátor 1	2	Item 2	NOK	NOK
108	Operátor 1	2	Item 22	OK	NOK
109	Operátor 1	2	Item 8	NOK	OK
110	Operátor 1	2	Item 9	NOK	OK
111	Operátor 1	2	Item 33	NOK	OK
112	Operátor 1	2	Item 27	NOK	NOK
113	Operátor 1	2	Item 17	NOK	OK
114	Operátor 1	2	Item 10	NOK	NOK
115	Operátor 1	2	Item 21	NOK	NOK
116	Operátor 1	2	Item 44	NOK	NOK
117	Operátor 1	2	Item 40	NOK	OK
118	Operátor 1	2	Item 15	NOK	NOK
119	Operátor 1	2	Item 13	NOK	NOK
120	Operátor 1	2	Item 31	NOK	NOK
121	Operátor 1	2	Item 38	NOK	NOK
122	Operátor 1	2	Item 7	NOK	OK
123	Operátor 1	2	Item 20	NOK	NOK
124	Operátor 1	2	Item 37	NOK	NOK
125	Operátor 1	2	Item 3	NOK	OK
126	Operátor 1	2	Item 12	NOK	OK
127	Operátor 1	2	Item 25	NOK	NOK
128	Operátor 1	2	Item 34	NOK	NOK
129	Operátor 1	2	Item 16	NOK	OK
130	Operátor 1	2	Item 1	NOK	NOK
131	Operátor 1	2	Item 6	NOK	OK
132	Operátor 1	2	Item 11	NOK	NOK
133	Operátor 1	2	Item 43	NOK	NOK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
134	Operátor 1	2	Item 29	NOK	NOK
135	Operátor 1	2	Item 42	NOK	NOK
136	Operátor 2	2	Item 23	NOK	NOK
137	Operátor 2	2	Item 5	NOK	NOK
138	Operátor 2	2	Item 34	NOK	NOK
139	Operátor 2	2	Item 19	NOK	NOK
140	Operátor 2	2	Item 1	NOK	NOK
141	Operátor 2	2	Item 44	NOK	NOK
142	Operátor 2	2	Item 16	NOK	OK
143	Operátor 2	2	Item 6	NOK	OK
144	Operátor 2	2	Item 33	NOK	OK
145	Operátor 2	2	Item 32	NOK	NOK
146	Operátor 2	2	Item 24	NOK	OK
147	Operátor 2	2	Item 29	NOK	NOK
148	Operátor 2	2	Item 8	NOK	OK
149	Operátor 2	2	Item 22	NOK	NOK
150	Operátor 2	2	Item 17	NOK	OK
151	Operátor 2	2	Item 10	NOK	NOK
152	Operátor 2	2	Item 18	NOK	NOK
153	Operátor 2	2	Item 11	NOK	NOK
154	Operátor 2	2	Item 43	NOK	NOK
155	Operátor 2	2	Item 15	NOK	NOK
156	Operátor 2	2	Item 21	NOK	NOK
157	Operátor 2	2	Item 9	NOK	OK
158	Operátor 2	2	Item 41	NOK	NOK
159	Operátor 2	2	Item 25	NOK	NOK
160	Operátor 2	2	Item 38	NOK	NOK
161	Operátor 2	2	Item 39	NOK	OK
162	Operátor 2	2	Item 30	NOK	OK
163	Operátor 2	2	Item 3	NOK	OK
164	Operátor 2	2	Item 35	NOK	OK
165	Operátor 2	2	Item 37	NOK	NOK
166	Operátor 2	2	Item 7	NOK	OK
167	Operátor 2	2	Item 26	NOK	NOK
168	Operátor 2	2	Item 20	NOK	NOK
169	Operátor 2	2	Item 36	NOK	NOK
170	Operátor 2	2	Item 14	NOK	NOK
171	Operátor 2	2	Item 28	NOK	NOK
172	Operátor 2	2	Item 12	NOK	OK
173	Operátor 2	2	Item 4	NOK	OK
174	Operátor 2	2	Item 45	NOK	OK
175	Operátor 2	2	Item 40	NOK	OK
176	Operátor 2	2	Item 2	NOK	NOK
177	Operátor 2	2	Item 42	NOK	NOK
178	Operátor 2	2	Item 31	NOK	NOK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
179	Operátor 2	2	Item 13	NOK	NOK
180	Operátor 2	2	Item 27	NOK	NOK

Příloha B: Vstupní hodnoty druhé R&R analýzy

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
1	Operator1	1	Item 17	OK	OK
2	Operator1	1	Item 26	OK	OK
3	Operator1	1	Item 38	NOK	NOK
4	Operator1	1	Item 3	NOK	OK
5	Operator1	1	Item 40	NOK	NOK
6	Operator1	1	Item 5	NOK	NOK
7	Operator1	1	Item 37	NOK	NOK
8	Operator1	1	Item 21	NOK	NOK
9	Operator1	1	Item 29	NOK	NOK
10	Operator1	1	Item 28	NOK	NOK
11	Operator1	1	Item 8	NOK	OK
12	Operator1	1	Item 18	OK	OK
13	Operator1	1	Item 6	OK	OK
14	Operator1	1	Item 34	NOK	NOK
15	Operator1	1	Item 35	NOK	NOK
16	Operator1	1	Item 11	NOK	NOK
17	Operator1	1	Item 14	NOK	NOK
18	Operator1	1	Item 33	OK	OK
19	Operator1	1	Item 9	NOK	OK
20	Operator1	1	Item 13	NOK	NOK
21	Operator1	1	Item 24	NOK	NOK
22	Operator1	1	Item 15	NOK	NOK
23	Operator1	1	Item 7	NOK	NOK
24	Operator1	1	Item 19	NOK	NOK
25	Operator1	1	Item 32	OK	OK
26	Operator1	1	Item 23	OK	OK
27	Operator1	1	Item 36	OK	OK
28	Operator1	1	Item 12	NOK	OK
29	Operator1	1	Item 31	NOK	NOK
30	Operator1	1	Item 10	NOK	NOK
31	Operator1	1	Item 39	OK	OK
32	Operator1	1	Item 30	OK	OK
33	Operator1	1	Item 25	OK	OK
34	Operator1	1	Item 22	NOK	NOK
35	Operator1	1	Item 27	NOK	NOK
36	Operator1	1	Item 20	NOK	NOK
37	Operator1	1	Item 4	NOK	NOK
38	Operator1	1	Item 1	OK	OK
39	Operator1	1	Item 2	OK	OK
40	Operator1	1	Item 16	OK	OK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
41	Operator 2	1	Item 12	NOK	OK
42	Operator 2	1	Item 33	OK	OK
43	Operator 2	1	Item 1	OK	OK
44	Operator 2	1	Item 21	NOK	NOK
45	Operator 2	1	Item 24	NOK	NOK
46	Operator 2	1	Item 7	NOK	NOK
47	Operator 2	1	Item 29	NOK	NOK
48	Operator 2	1	Item 20	NOK	NOK
49	Operator 2	1	Item 6	OK	OK
50	Operator 2	1	Item 14	NOK	NOK
51	Operator 2	1	Item 4	NOK	NOK
52	Operator 2	1	Item 16	OK	OK
53	Operator 2	1	Item 36	OK	OK
54	Operator 2	1	Item 10	OK	NOK
55	Operator 2	1	Item 23	OK	OK
56	Operator 2	1	Item 8	OK	OK
57	Operator 2	1	Item 35	NOK	NOK
58	Operator 2	1	Item 9	OK	OK
59	Operator 2	1	Item 19	NOK	NOK
60	Operator 2	1	Item 34	NOK	NOK
61	Operator 2	1	Item 18	OK	OK
62	Operator 2	1	Item 26	OK	OK
63	Operator 2	1	Item 3	OK	OK
64	Operator 2	1	Item 31	NOK	NOK
65	Operator 2	1	Item 15	NOK	NOK
66	Operator 2	1	Item 32	OK	OK
67	Operator 2	1	Item 30	OK	OK
68	Operator 2	1	Item 5	NOK	NOK
69	Operator 2	1	Item 25	OK	OK
70	Operator 2	1	Item 39	OK	OK
71	Operator 2	1	Item 13	NOK	NOK
72	Operator 2	1	Item 2	OK	OK
73	Operator 2	1	Item 40	NOK	NOK
74	Operator 2	1	Item 11	NOK	NOK
75	Operator 2	1	Item 37	NOK	NOK
76	Operator 2	1	Item 17	OK	OK
77	Operator 2	1	Item 38	NOK	NOK
78	Operator 2	1	Item 28	NOK	NOK
79	Operator 2	1	Item 22	NOK	NOK
80	Operator 2	1	Item 27	NOK	NOK
81	Operator1	2	Item 5	NOK	NOK
82	Operator1	2	Item 39	OK	OK
83	Operator1	2	Item 27	NOK	NOK
84	Operator1	2	Item 17	OK	OK
85	Operator1	2	Item 36	OK	OK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
86	Operator1	2	Item 38	NOK	NOK
87	Operator1	2	Item 33	OK	OK
88	Operator1	2	Item 4	NOK	NOK
89	Operator1	2	Item 40	NOK	NOK
90	Operator1	2	Item 19	NOK	NOK
91	Operator1	2	Item 35	NOK	NOK
92	Operator1	2	Item 10	NOK	NOK
93	Operator1	2	Item 22	NOK	NOK
94	Operator1	2	Item 25	OK	OK
95	Operator1	2	Item 7	NOK	NOK
96	Operator1	2	Item 13	NOK	NOK
97	Operator1	2	Item 37	NOK	NOK
98	Operator1	2	Item 30	OK	OK
99	Operator1	2	Item 6	OK	OK
100	Operator1	2	Item 32	OK	OK
101	Operator1	2	Item 34	NOK	NOK
102	Operator1	2	Item 20	NOK	NOK
103	Operator1	2	Item 24	NOK	NOK
104	Operator1	2	Item 9	OK	OK
105	Operator1	2	Item 26	OK	OK
106	Operator1	2	Item 1	OK	OK
107	Operator1	2	Item 11	NOK	NOK
108	Operator1	2	Item 8	OK	OK
109	Operator1	2	Item 16	OK	OK
110	Operator1	2	Item 18	NOK	OK
111	Operator1	2	Item 23	OK	OK
112	Operator1	2	Item 31	NOK	NOK
113	Operator1	2	Item 3	OK	OK
114	Operator1	2	Item 2	OK	OK
115	Operator1	2	Item 28	NOK	NOK
116	Operator1	2	Item 12	NOK	OK
117	Operator1	2	Item 29	NOK	NOK
118	Operator1	2	Item 21	NOK	NOK
119	Operator1	2	Item 14	NOK	NOK
120	Operator1	2	Item 15	NOK	NOK
121	Operator 2	2	Item 33	OK	OK
122	Operator 2	2	Item 37	NOK	NOK
123	Operator 2	2	Item 3	OK	OK
124	Operator 2	2	Item 36	OK	OK
125	Operator 2	2	Item 31	NOK	NOK
126	Operator 2	2	Item 4	NOK	NOK
127	Operator 2	2	Item 22	NOK	NOK
128	Operator 2	2	Item 29	NOK	NOK
129	Operator 2	2	Item 28	NOK	NOK
130	Operator 2	2	Item 11	NOK	NOK

Run Order	Appraisers	Trials	Test Items	Results	Standards
131	Operator 2	2	Item 8	OK	OK
132	Operator 2	2	Item 30	OK	OK
133	Operator 2	2	Item 21	NOK	NOK
134	Operator 2	2	Item 15	NOK	NOK
135	Operator 2	2	Item 25	OK	OK
136	Operator 2	2	Item 17	OK	OK
137	Operator 2	2	Item 19	NOK	NOK
138	Operator 2	2	Item 27	NOK	NOK
139	Operator 2	2	Item 2	OK	OK
140	Operator 2	2	Item 1	OK	OK
141	Operator 2	2	Item 23	OK	OK
142	Operator 2	2	Item 9	OK	OK
143	Operator 2	2	Item 18	NOK	OK
144	Operator 2	2	Item 6	OK	OK
145	Operator 2	2	Item 12	OK	OK
146	Operator 2	2	Item 7	NOK	NOK
147	Operator 2	2	Item 34	NOK	NOK
148	Operator 2	2	Item 38	NOK	NOK
149	Operator 2	2	Item 10	OK	NOK
150	Operator 2	2	Item 13	NOK	NOK
151	Operator 2	2	Item 24	NOK	NOK
152	Operator 2	2	Item 32	OK	OK
153	Operator 2	2	Item 40	NOK	NOK
154	Operator 2	2	Item 20	NOK	NOK
155	Operator 2	2	Item 35	NOK	NOK
156	Operator 2	2	Item 14	NOK	NOK
157	Operator 2	2	Item 5	NOK	NOK
158	Operator 2	2	Item 16	OK	OK
159	Operator 2	2	Item 26	OK	OK
160	Operator 2	2	Item 39	OK	OK

Příloha C: DoE – lůžka – 3. datron

Lůžko 1		Lůžko 2		Lůžko 3		Lůžko 4	
1 X	1 Y	2 X	2 Y	3 X	3 Y	4 X	4 Y
0,43	0,45	0,38	0,39	0,44	0,38	0,28	0,39
0,40	0,42	0,37	0,41	0,39	0,37	0,26	0,42
0,35	0,39	0,23	0,38	0,46	0,40	0,26	0,44
0,37	0,34	0,35	0,37	0,41	0,38	0,36	0,36
0,38	0,46	0,38	0,41	0,36	0,36	0,31	0,38
0,40	0,40	0,37	0,38	0,42	0,38	0,30	0,42
0,45	0,43	0,34	0,40	0,39	0,35	0,28	0,42
0,39	0,41	0,38	0,35	0,37	0,36	0,27	0,42
0,41	0,40	0,34	0,39	0,35	0,35	0,27	0,40
0,43	0,39	0,34	0,38	0,42	0,40	0,24	0,41
0,43	0,40	0,35	0,39	0,42	0,35	0,25	0,44
0,42	0,40	0,37	0,37	0,40	0,35	0,27	0,39
0,46	0,39	0,36	0,41	0,34	0,41	0,25	0,37
0,44	0,43	0,36	0,39	0,35	0,35	0,25	0,39
0,42	0,41	0,33	0,36	0,38	0,35	0,30	0,38
0,43	0,38	0,37	0,38	0,39	0,36	0,24	0,35

Příloha D: DoE – lůžka – 4. datron

Lůžko 1		Lůžko 2		Lůžko 3		Lůžko 4	
1 X	1 Y	2 X	2 Y	3 X	3 Y	4 X	4 Y
0,38	0,32	0,48	0,37	0,29	0,35	0,37	0,38
0,40	0,35	0,51	0,32	0,35	0,31	0,36	0,38
0,33	0,32	0,40	0,34	0,36	0,33	0,38	0,38
0,33	0,30	0,42	0,31	0,36	0,34	0,40	0,30
0,34	0,32	0,40	0,35	0,36	0,32	0,48	0,40
0,32	0,32	0,38	0,31	0,38	0,29	0,43	0,35
0,35	0,38	0,32	0,34	0,30	0,32	0,36	0,39
0,29	0,34	0,32	0,32	0,35	0,31	0,40	0,36
0,34	0,37	0,40	0,31	0,38	0,37	0,44	0,35
0,38	0,31	0,37	0,34	0,39	0,35	0,37	0,33
0,37	0,32	0,35	0,28	0,37	0,32	0,41	0,40
0,27	0,27	0,32	0,31	0,34	0,32	0,42	0,30
0,34	0,36	0,42	0,31	0,36	0,32	0,42	0,32
0,34	0,31	0,42	0,31	0,35	0,29	0,35	0,34
0,40	0,34	0,42	0,32	0,32	0,30	0,35	0,31
0,32	0,33	0,43	0,35	0,34	0,32	0,37	0,33
0,38	0,32	0,48	0,37	0,29	0,35	0,37	0,38