



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

STATISTICKÁ REGULACE PROCESŮ A SNÍŽENÍ ZMETKOVITOSTI

STATISTICAL PROCESS CONTROL AND REDUCTION OF SCRAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Stefania Negrová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Josef Bednář, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Bc. Stefania Negrová
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Josef Bednář, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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

Statistická regulace procesů a snížení zmetkovitosti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámení se základními nástroji pro statistické řízení procesu, a jejich užití na konkrétní v technické praxi. Data mohou být generovaná nebo transformovaná vzhledem k povaze a ut skutečných dat z provozu.

Cíle diplomové práce:

Popis regulačních diagramů.

Popis vhodných náhodných rozdělení užívaných v technice.

Analýza zmetkovitosti konkrétního procesu.

Návrh vhodných opatření ke snížení zmetkovitosti.

Seznam doporučené literatury:

MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to statistical quality control. 7th ed. Hoboken, NJ: W c2013. ISBN 9781118146811.

Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.

TOŠENOVSKÝ, Josef. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 7225-040-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je analýza zmetkovitosti konkrétního procesu pomocí nástrojů statistického řízení procesů a následný návrh vhodných opatření ke snížení zmetkovitosti. V práci je popsáno všech sedm základních nástrojů řízení kvality, přičemž největší pozornost je věnována Shewartovým regulačním diagramům. Jedna kapitola se zabývá třemi vybranými metodami řešení problémů v technické praxi, přičemž právě jedna z popsaných metod je využita v praktické části práce.

ABSTRACT

The aim of the diploma's thesis is analysis of the scrap of the chosen process, using the tools of statistical process control and proposal of appropriate containment to reduce the scrap. The thesis describes all seven basic tools of quality and the greatest attention is aimed to Shewart's control charts. One chapter discusses three methods of problem solving in technical practice, while one of the described methods is used in the practical part of the thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Statistické řízení procesů, regulační diagramy, Six Sigma, Red X, Systematické řešení problémů, Ishikawův diagram, Paretova analýza, histogram, vývojový diagram, kontrolní tabulka, bodový diagram, zmetkovitost

KEYWORDS

Statistical process control, control charts, Six Sigma, Red X, Systematic Problem Solving, Cause-and-effect diagram, Pareto chart, histogram, flowchart, Check sheet, scatter diagram, scrap

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEGROVÁ, Stefania. *Statistická regulace procesů a snížení zmetkovitosti* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117965>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Josef Bednář.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu práce panu Ing. Josefovi Bednářovi, Ph.D. za jeho pomoc, ochotu, konzultace a cenné připomínky při zpracovávání diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat vedení a kolektivu společnosti, v níž jsem vykonávala praktickou část, za pomoc a poskytnutí potřebných dat ke zpracování diplomové práce. Můj velký dík patří v neposlední řadě mojí rodině a přátelům za podporu při psaní této práce a také během celého mého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Josefa Bednáře, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.5.2019

.....
Negrová Stefania

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PRAVDĚPODOBNOSTNÍ ROZDĚLENÍ	17
2.1	Základní modely rozdělení pravděpodobností [2] [14] [3].....	17
2.1.1	Pro diskrétní náhodné veličiny	17
	Poissonovo rozdělení	17
	Binomické rozdělení	18
2.1.2	Pro spojité náhodné veličiny.....	19
	Rovnoměrné rozdělení	19
	Normální rozdělení	20
3	STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESŮ	21
3.1	Sedm základních nástrojů zlepšování kvality	21
3.1.1	Kontrolní tabulky a seznamy	22
3.1.2	Histogram [10] [16] [1]	22
3.1.3	Vývojový diagram [1]	23
3.1.4	Paretův diagram [1] [9].....	25
3.1.5	Ishikawův diagram [9].....	27
3.1.6	Bodový diagram [1].....	28
3.1.7	Statistická regulace procesu.....	29
4	SHEWARTOVY REGULAČNÍ DIAGRAMY	31
4.1	Variabilita procesu [4]	31
4.1.1	Náhodné příčiny variability [4][8].....	31
4.1.2	Zvláštní příčiny variability [4][8]	31
4.2	Cyklus zlepšování procesu a regulace procesu [8] [12]	33
4.3	Principy regulačních diagramů [4]	36
4.3.1	Interpretace regulačních diagramů [4].....	37
4.4	Rozdělení regulačních diagramů [12].....	38
4.5	Regulační diagramy pro SPC měřením [8].....	39
4.6	Regulační diagramy pro SPC srovnáváním [8] [4] [16].....	43
5	VYBRANÉ METODY ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ	47
5.1	Typy řešení problémů	47
5.2	SPS – „Systematic Problem Solving“	48
5.3	Systém Shainin RED X [13].....	50
5.3.1	Dominantní příčiny variace a progresivního vyhledávání v Shainin Red X ...	50
5.4	Six sigma [18] [26]	51
5.4.1	DMAIC [10]	52
6	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ZMETKOVITOSTI	55
6.1	Přestavení společnosti Y	55
6.2	Popis výrobního procesu.....	56
6.3	Použití metody SPS	57
6.3.1	Výběr projektu dle velikosti COPQ.....	60
6.3.2	Uskutečnění projektu	64
6.4	MSA [7] [24]	71
6.5	Tvorba regulačního diagramu	73

7	NÁVRHY VHODNÝCH OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ZMETKOVITOSTI	77
7.1	Návrh nápravného opatření na snížení vlivu vstupního komponentu	77
7.2	Návrh nápravného opatření pomocí správného nastavení procesu	77
7.3	Doporučení do budoucna.....	79
8	ZÁVĚR.....	80
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	83
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	85
10.1	Seznam symbolů.....	85
10.2	Seznam zkratk.....	85
10.3	Seznam grafů.....	86
10.4	Seznam tabulek.....	86
10.5	Seznam obrázků.....	87

1 ÚVOD

V dnešní době počet obyvatel na Zemi neustále roste a nároky moderního člověka se neustále zvyšují. Potřebuje čím dál tím více věcí, které si vybírá nejen na základě jejich funkce, ale také na základě kvality, vzhledu, referencí atd. Z toho důvodu, pokud chce jakýkoliv výrobní podnik být konkurenceschopný, musí svoji pozornost soustředit již od předvýrobních etap na neustálé zvyšování kvality, ale zároveň snižovat zbytečné náklady. To se někdy může zdát jako protichůdný požadavek, ale opak je pravdou. V případě, že bude dosažena vysoká kvalita výroby, spolu s ní budou klesat zbytečné náklady plynoucí ze zmetkovitosti. Zároveň je hospodárnější vyhnout se chybě dříve, nežli nastane a než ji bude nutné později dodatečně odstraňovat, v nejhorším případě přímo u zákazníka.

Otázka tedy zní – jak těchto cílů dosáhnout? Existuje nepřeberné množství metod a nástrojů, které se využívají v různých etapách výrobního procesu. Avšak především, chceme-li mít pod kontrolou kvalitu, je důležité procesy řídit, ať už si zvolíme jakýkoliv přístup k řešení problematice. Proces je vlastně sekvence různých činností, které přetváří vstupy na předem definované výstupy. Každá činnost je vykonávána účastníkem procesu a ten je chápán jako prvek určitého systému. Proces je tedy vždy realizován na struktuře některého systému. Řízení kvality spočívá v dodržení stanovených cílů, tedy očekávaných výstupů. Jendou z cest, jak těchto cílů dosáhnout, je statistické řízení procesů – SPC (z anglického Statistical Process Control). V širším slova smyslu je to označení souboru metod a postupů.

Statistické řízení procesů se dá považovat za základní kámen pro produkci, která je zaměřená na „dokonalost“, tedy zaměřená na výsledek, to znamená že v celém svém rozsahu musí být zvládnuté procesy v celém podniku. V případě, že jsou procesy statisticky řízeny a kontrolovány, je možné zavčas rozpoznat odchylku a vyhnout se jí. SPC využívá téměř ve všech svých jednotlivých krocích také jedna z nejznámějších strukturovaných metod – Six Sigma, jak bude rozebráno dále v této diplomové práci.

Tato diplomová práce se zabývá popisem základních statistických metod, ze kterých je největší pozornost věnována Shewartovým regulačním diagramům. Dále popisuje také tři různé metody, respektive jejich přístupy, k řešení problémů. Následně byly některé statistické metody využity v analýze zmetkovitosti firmy Y. Na základě této analýzy pak mohly být navrženy kroky, které by měly vést ke snížení zmetkovitosti a dosáhnout tak cíle na velikost zmetkovitosti, který byl zadán na začátku roku managementem firmy a který je závazný.

2 PRAVDĚPODOBNOSTNÍ ROZDĚLENÍ

2.1 Základní modely rozdělení pravděpodobností [2] [14] [3]

Náhodná veličina

Jedná se o libovolnou veličinu – proměnnou, která připisuje výsledku náhodného pokusu sledovanou hodnotu a je jí možné opakovaně měřit. Změřit se dá v různých místech, v různém čase a její hodnoty pak dále zpracovávat. Náhodná veličina se značí velkým písmenem z konce abecedy X, Y, \dots a její konkrétní realizace malým písmenem x, y, \dots a množina jejich hodnot se nazývá *obor hodnot* a značí se písmenem M .

Distribuční funkce náhodné veličiny X :

$$F(x) = P(X < x) \quad (1.1)$$

2.1.1 Pro diskrétní náhodné veličiny

Diskrétní náhodná veličina

K popisu diskrétní náhodné veličiny X se využívá pravděpodobnostní funkce $p(x)$, ta přiřazuje každému reálnému číslu x pravděpodobnost, že veličina nabude této hodnoty. Z toho vyplývá, že výsledkem jednoho náhodného pokusu bude právě jedna hodnota.

Pravděpodobnostní funkce diskrétní náhodné veličiny X má tvar:

$$p(x) = P(X = x) \quad (1.2)$$

Poissonovo rozdělení

Toto rozdělení pravděpodobnosti, jež se označuje $Po(\lambda)$, mají ty náhodné veličiny, které popisují četnost jevů s následujícími vlastnostmi:

- To, že jev v časovém nebo prostorovém intervalu nastane, či nenastane, nezávisí na tom, co se stalo jindy nebo jinde, tedy nezávisí na jiných realizacích
- Pro každý časový okamžik je pravděpodobnost jevu v malém časovém nebo prostorovém intervalu stejná
- Není možné, aby nastaly dva jevy přesně v jednom časovém okamžiku nebo místě v prostoru

Parametr λ – průměrný počet výskytů zkoumaného jevu v určeném úseku jednotkové délky

Pravděpodobnostní funkce tohoto rozdělení má tvar:

$$p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}, x = 0, 1, \dots \quad (1.3)$$

Číselné charakteristiky rozdělení jsou:

$$E(X) = \lambda \quad (1.4)$$

$$D(X) = \lambda \quad (1.5)$$

Příklady náhodných veličin s Poissonovým rozdělením – počet poruch stroje za směnu, počet nehod na jednom místě za rok, počet vad na povrchu produktu atd.

Binomické rozdělení

Toto rozdělení pravděpodobnosti, jež se označuje $B(n, \pi)$, popisuje četnost výskytu náhodného jevu v n nezávislých pokusech, ve kterých má jev stále stejnou pravděpodobnost π .

Pravděpodobnostní funkce tohoto rozdělení má tvar:

$$p(x) = \binom{n}{x} \pi^x (1 - \pi)^{n-x} \text{ pro } x = 0, 1, \dots, n \quad (1.6)$$

Číselné charakteristiky rozdělení jsou:

$$E(X) = n\pi \quad (1.7)$$

$$D(X) = n\pi(1 - \pi) \quad (1.8)$$

Je to zároveň i popis tzv. náhodného výběru s vracením – za to se dá např. považovat postupný výběr z dodávky n výrobků ke kontrole a poté se každý vybraný kus vrací zpátky do dodávky (to tedy znamená, že může být opět zkontrolován).

Příklady náhodných veličin s Binomickým rozdělením – počet padnutí určitého čísla v 5 hodech kostkou, počet spojení v 10 telefonních voláních, počet minut při 20 nezávislých výstřelech puškou.

2.1.2 Pro spojité náhodné veličiny

Spojité náhodná veličina

K popisu spojité náhodné veličiny X se využívá funkce hustoty pravděpodobnosti $f(x)$.

Hustota spojité náhodné veličiny X má tvar:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (1.9)$$

Rovnoměrné rozdělení

Toto pravděpodobnostní rozdělení se značí $R(\alpha, \beta)$, a používá se tehdy, když má náhodná veličina konstantní hustotu pravděpodobnosti na intervalu (α, β) , kde α i β jsou reálná čísla. To tedy znamená, že pravděpodobnost, že spojitá náhodná veličina z jakéhokoliv intervalu v rozmezí α až β , je stejná jako pravděpodobnost, že nabude hodnoty z kteréhokoliv jiného intervalu stejné délky.

Pravděpodobnostní funkce tohoto rozdělení má tvar:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{pro } x \notin \langle a, b \rangle \\ 0 & \text{pro } x \in \langle a, b \rangle \end{cases} \quad (1.10)$$

Číselné charakteristiky rozdělení jsou:

$$E(X) = x_{0.5} = \frac{a+b}{2} \quad (1.11)$$

$$D(X) = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (1.12)$$

Příkladem náhodné veličiny s tímto rozdělením může být doba čekání na uskutečnění jevu, který se opakuje v pravidelných intervalech (např. doba čekání na tramvaj, doba čekání na kurýra, pokud se pravidelně opakují, dále pak velikost chyby při zaokrouhlování čísel, chyby při odečítání hodnot z měřících zařízení) s lineární stupnicí atd.

Normální rozdělení

Normální rozdělení, které se značí $N(\mu, \sigma^2)$, kde parametr μ je střední hodnota a parametr σ^2 je rozptyl, je pravděpodobně nejvíce rozšířené rozdělení jak v teorii, tak v aplikaci statistik. Často je také nazýváno Gaussovým rozdělením.

Pravděpodobnostní funkce tohoto rozdělení má tvar:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad x \in (-\infty, \infty) \quad (1.13)$$

Číselné charakteristiky rozdělení jsou:

$$E(X) = x_{0.5} = \hat{x} = \mu \quad (1.14)$$

$$D(X) = \sigma^2 \quad (1.15)$$

Z hlediska aplikací je vhodné k vyjádření náhodných veličin, které jdou interpretovat jako přídavný výsledek mnoha nezávislých vlivů (jedná se např. o chybu měření, odchylku rozměru výrobku od požadovaných hodnot atd.)

Klasickým typem veličin, které se řídí normálovým rozdělením, jsou náhodné chyby. Z toho důvodu toto rozdělení bývá někdy označováno jako zákon chyb.

3 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESŮ

3.1 Sedm základních nástrojů zlepšování kvality

Jedná se o 7 základních nástrojů a technik, které se podílejí na zvyšování kvality, zlepšování procesů, či identifikaci příčin nekvality. Ve většině případů jsou to techniky založené na grafické vizualizaci statistických informací nasbíraných během procesu. [11]

- Diagram příčin a následků – Ishikawa
- Vývojové diagramy – Flowcharty
- Histogramy
- Kontrolní tabulky, seznamy
- Paretův diagram
- Bodové diagramy
- Regulační diagramy

Tyto nástroje jsou zároveň součástí cyklu zlepšování výkonnosti procesů – DMAIC (viz kapitola 7), jež je součástí metodiky Six Sigma (tab. 3.1). [12]

Tab. 3.1 Zařazení jednotlivých nástrojů do fází cyklu DMAIC [12]

Fáze	Metody
Definování (D)	-
Měření (M)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diagram příčin a následků – Ishikawa ○ Vývojové diagramy – Flowcharty ○ Kontrolní tabulky, seznamy ○ Paretův digram ○ Regulační diagramy
Analýza (A)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diagram příčin a následků – Ishikawa ○ Paretův digram ○ Bodové diagramy
Zlepšování (I)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diagram příčin a následků – Ishikawa ○ Vývojové diagramy – Flowcharty ○ Kontrolní tabulky, seznamy ○ Paretův díagram ○ Regulační diagramy

Kontrola a regulace (C)

- Histogramy
- Kontrolní tabulky, seznamy
- Paretův diagram
- Bodové diagramy
- Regulační diagramy

Využití:

Tyto metody nalézají využití především v opakovaných procesech, neboť tyto nástroje jsou založené především na statistických datech. Toho se využívá hlavně v sériových výrobcích, ale také kdekoli jinde, kde se opakované procesy vyskytují, např. v obchodních procesech, ve vývoji software, v podpoře zákazníků, v poskytování služeb a v dalších oblastech. [11]

3.1.1 Kontrolní tabulky a seznamy

Jedná se o první nástroj a slouží ke sběru a záznamu prvotních dat o procesu (tab. 3.2). Zapisování probíhá ručně, vyškoleným personálem. Jeho účelem je získání kvantitativních dat. [11]

Hlavní aplikace kontrolních tabulek je v následujících třech oblastech:

- 1) Jako nástroje pro záznam výsledků z jednoduchého čítání různých položek (např. různé typy vad)
- 2) Jako nástroj, jenž zobrazuje rozdělení souboru měření
- 3) Jako nástroj pro zobrazení výskytu míst pozorovaných jevů, např. vady na produktu [12]

Tab. 3.2 Příklad kontrolní tabulky [1]

KONTROLNÍ TABULKA PRŮMĚRU HŘÍDELE		Tabulka č.: 114
Datum: 4. 8. 1996	Číslo nože: B32	Operátor:
Číslo soustruhu: 32146		Poznámky: výběr. kontrola
Stupnice (mm)	Záznam	Součet
<0,4–0,7)	### ////	9 LSL
<0,7–1,0)	### ///	8
<1,0–1,3)	### ### ### ###	20
<1,3–1,6)	### ### ### ### ### ### ###	35 USL
<1,6–1,9)	### ### ### ///	18
<1,9–2,2)	###	5

3.1.2 Histogram [10] [16] [1]

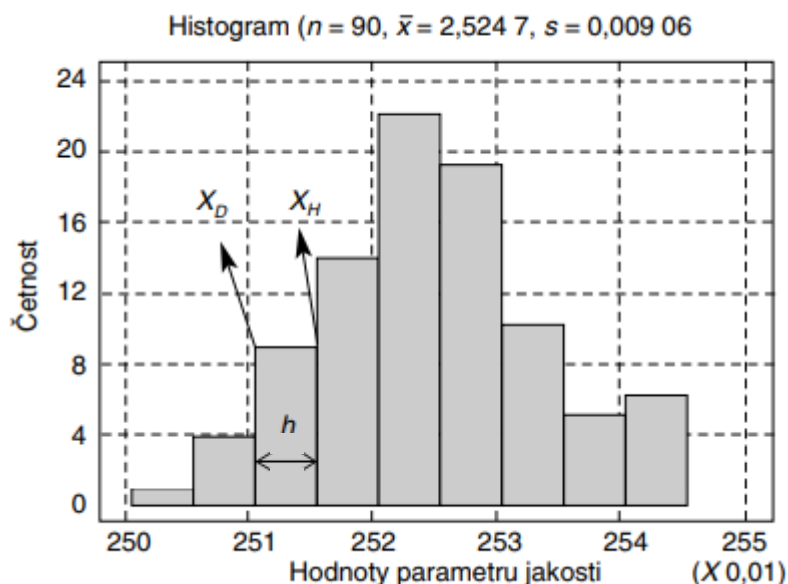
Histogram je souhrn údajů z naměřených hodnot v grafické podobě. Pro sestavení histogramu spojitých dat musíme rozdělit soubor hodnot do intervalů, které se obvykle nazývají intervaly

tříd. Pokud je to možné, měly by mít třídy stejnou šířku, aby se zlepšily vizuální informace v histogramu. Počet tříd závisí např. na počtu pozorování. Histogram, který používá buď příliš málo, nebo příliš mnoho tříd, ztrácí informační hodnotu. Obvykle zjistíme, že rozsah tříd od 5 do 20 je ve většině případů uspokojivý a počet tříd by se měl zvyšovat s n .

V oblasti kvality se využívá např. k zobrazení rozdělení četnosti hodnot znaku kvality – rozměry produktů, chemické složení produktů, pevnosti, napětí atd., nebo hodnot výrobních činitelů, kteří ovlivňují kvalitu produktů – řezných rychlostí, tlaků, teploty atd.

Jedná se o sloupcový graf se sloupci většinou stejné šířky, přičemž základna jednotlivých sloupců odpovídá šířce intervalu třídy h a výška sloupců vyjadřuje četnost hodnot zkoumané veličiny (např. počet neshod na určitém produktu). Každý takovýto interval je charakterizován dolní – X_D a horní – X_H hranicí (obr. 3.1).

Mezi přednosti histogramu patří především jeho přehlednost a vcelku jednoduché sestavení, tudíž patří k nejnámějším a v praxi hojně používaným statistickým nástrojem.



Obr. 3.1 Ukázka histogramu četnosti [1]







3.1.3 Vývojový diagram [1]

Vývojový diagram patří mezi univerzální nástroje popisu jakéhokoliv procesu. Jedná se o orientovaný graf s jedním začátkem a jedním koncem – tj. konečný graf. Struktura a řazení aktivit popisovaného procesu je v grafu vyjádřena pomocí operačních bloků (obr.3.2), které zobrazují činnosti a rozhodovací bloky.

Vývojové diagramy se užívají například při

- Popisu procesu zákazníkům nebo uživatelům při prokazování kvality
- Vysvětlování vazeb mezi činnostmi procesu novým zaměstnancům

- Zjišťování a objasňování vazeb mezi útvary účastnicími se na daném procesu
- Odkrývání nedostatků ve výrobě (nevhodné, zbytečné procesy, chybějící činnosti, zdvojování úsilí, zpoždování) a navrhování zlepšení
- Porovnání skutečného a ideálního průběhu procesu

Symbol	Význam
	Spojka, přechod na jinou část nebo pokračování vývojového diagramu
	Výkon operace, činnost
	Rozhodovací proces vždy jeden vstup a jen dva výstupy
	Subproces popsáný v jiném subdiagramu
	Začátek nebo konec procesu
	Dokument

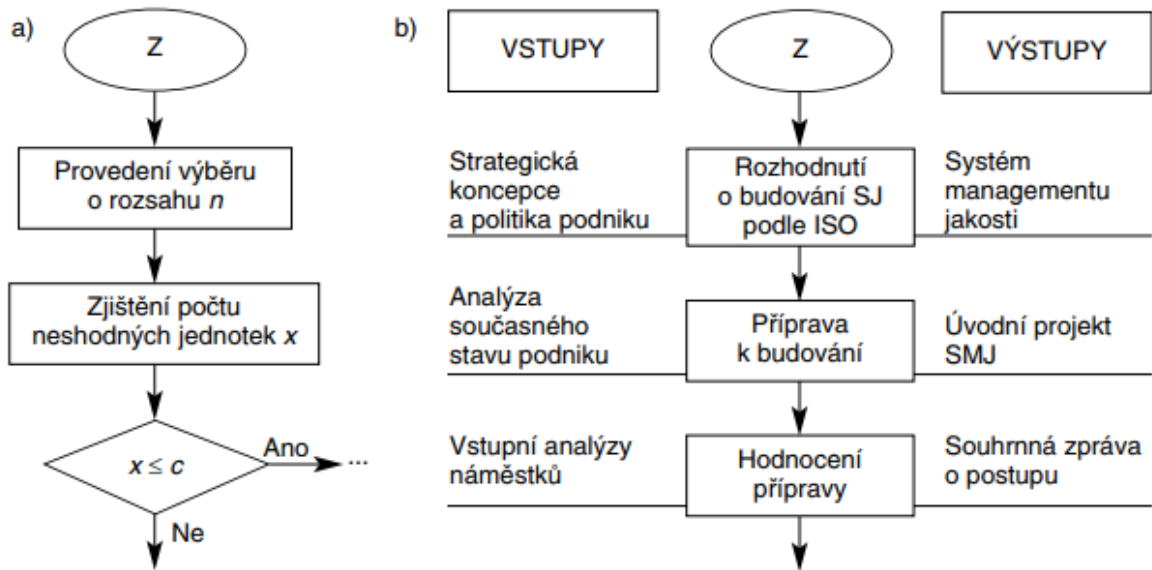
Obr. 3.2 Přehled nejčastějších symbolů užívaných při tvorbě vývojových diagramů [1]

Typy vývojových diagramů

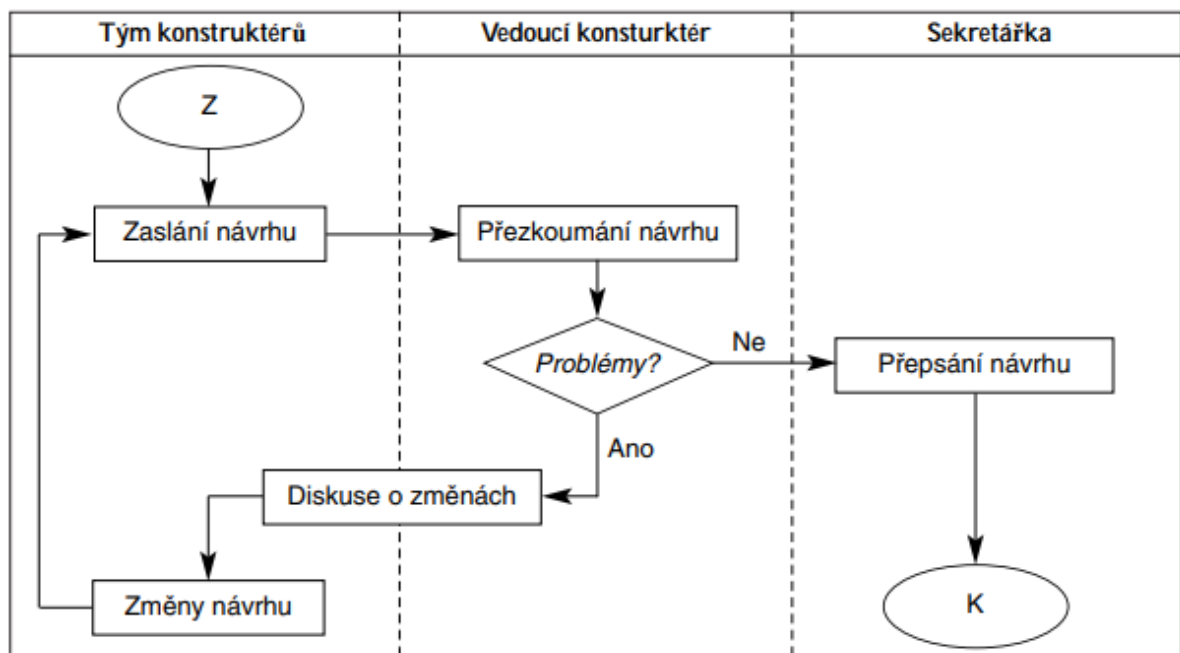
Vývojové diagramy se dají rozdělit do 3 základních typů:

- lineární vývojový diagram
- vývojový diagram vstup/výstup
- integrovaný vývojový diagram,

poslední jmenovaný je z výše uvedených druhů nejkomplexnější. Rozdíly mezi jednotlivými diagramy lze vidět v ukázkách na obrázcích 3.3 a), b) a 3.4.



Obr. 3.3 a) Lineární vývojový diagram, b) Vývojový diagram vstup/výstup [1]



Obr. 3.4 Integrovaný vývojový diagram [1]

3.1.4 Paretův diagram [1] [9]

Paretova analýza – Pareto (1848-1923) byl italský národní ekonom – je grafickým znázorněním informací vedoucích k nalezení nejdůležitějších ovlivňujících faktorů (např. z hlediska nákladů) z celé řady různých dalších faktorů. Pareto zjistil, že 80 % majetku drží 20 % obyvatelstva. Podobně je možné prokázat, že často malý počet příčin způsobuje největší podíl

efektů, a proto lze „Paretův diagram“, který Pareto používal, využít k upřednostnění určitých procesů při řešení problémů.

Na základě Paretova principu se tak základním nástrojem této analýzy stává Paretův diagram (obr. 3.5). V oblasti řízení kvality je Paretův diagram nepostradatelný, je to v dnešní době jeden z nejefektivnějších běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů. Jedná se o sloupcový graf, který zobrazuje Paretovo rozdělení. Sloupce jsou řazeny od nejvyššího k nejnižšímu. Tato analýza je technika, která využívá Paretova principu v rámci procesu řešení problémů ke stanovení priorit. Sestavuje se na základě konstrukce Paretova diagramu a následně se uplatní Paretův princip či další kritéria pro výběr životně důležité menšiny. Cílem této analýzy je tedy oddělit podstatné faktory (např. příčina vysokého množství neshodných výrobků) od těch méně podstatných a ukázat tak, jakým směrem prioritně zaměřit úsilí při zlepšování procesů.

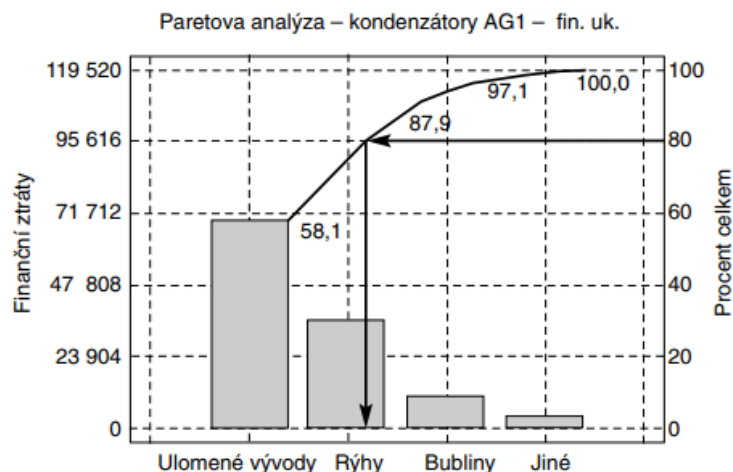
Uplatnění Paretovy analýzy v oblasti řízení kvality je mnohostranné. Může se využít například v následujících oblastech:

- Analýza počtu neshodných produktů
- Analýza ztrát s nimi spojených
- Analýza časových a finančních ztrát spojených s vypořádáním neshodných produktů
- Analýza reklamací z důvodu finančních ztrát
- Analýza příčin neshodných produktů
- Analýza příčin prostoje u stroje
- Analýza poruch a havárií strojů
- Analýza opotřebování náradí
- Srovnávání stavu před realizací a po realizaci nápravných opatření

Paretovy analýzy lze využívat jak při vyhledávání a definování těch nejpodstatnějších problémů (následků), které jsou např. nejpočetnější nebo nejnákladnější (např. druh vady na produktu), tak při stanovování „životně důležité menšiny“ příčin, které způsobují předem definovaný, již zjištěný problém (např. příčiny výskytu nejčastějšího druhu neshodných výrobků). V takovém případě se Paretova analýza nejčastěji uplatňuje po sestavení diagramu příčin a následků (Ishikawův diagram) vybraným týmem odborníků.

Tab. 3.3 Příklad Paretovy analýzy – tabulka se vstupními daty [1]

Druh neshody	Označení neshody	Fin. ztráty (Kč)	Kumulované fin. ztráty	Relativní kumulované fin. ztráty (%)
Ulomené vývody	A	69 420	69 420	58
Rýhy	B	35 670	105 090	88
Bublíny	C	10 920	116 010	97
Jiné	D	3 510	119 520	100
Σ		119 520	-	-



Obr. 3.5 Ukázka Paretova pravidla - 80/20 [1]

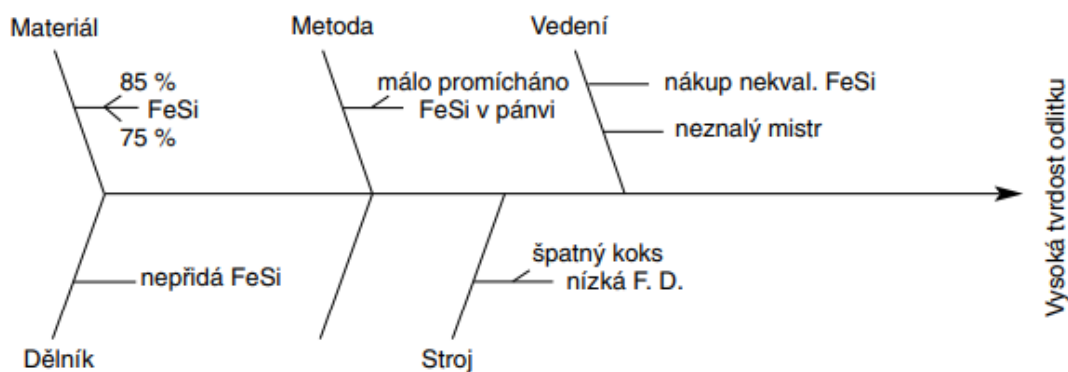
3.1.5 Ishikawův diagram [9]

Diagram příčin a následků neboli Ishikawův diagram (obr. 3.6), je grafické znázornění, které zobrazuje příčiny logicky (je také známé jako diagram rybí kosti). Analyzovaný efekt je uveden na pravé straně na konci vodorovné čáry. Hlavní skupiny příčin pak odbočují ve formě rybí kosti, zatímco jednotlivé příčiny poukazují na hlavní příčiny pomocí šipek.

Ishikawův diagram je standardně utvářen v týmu, např. pomocí brainstormingu, a může být použit univerzálně, zejména pro následující:

- Objasnění vylepšení procesu, zvýšení kvality, produktivity, nákladů atd.
- Analyzování chyb, reklamací a jiných zvláštností

Pokud je to nutné, lze hlavní body v Ishikawově diagramu zvýraznit na základě závažnosti různých příčin tak, aby bylo možné nastavit priority pro opravu chyb. Toto „zvýraznění“ může mít například podobu bodového přidělení.



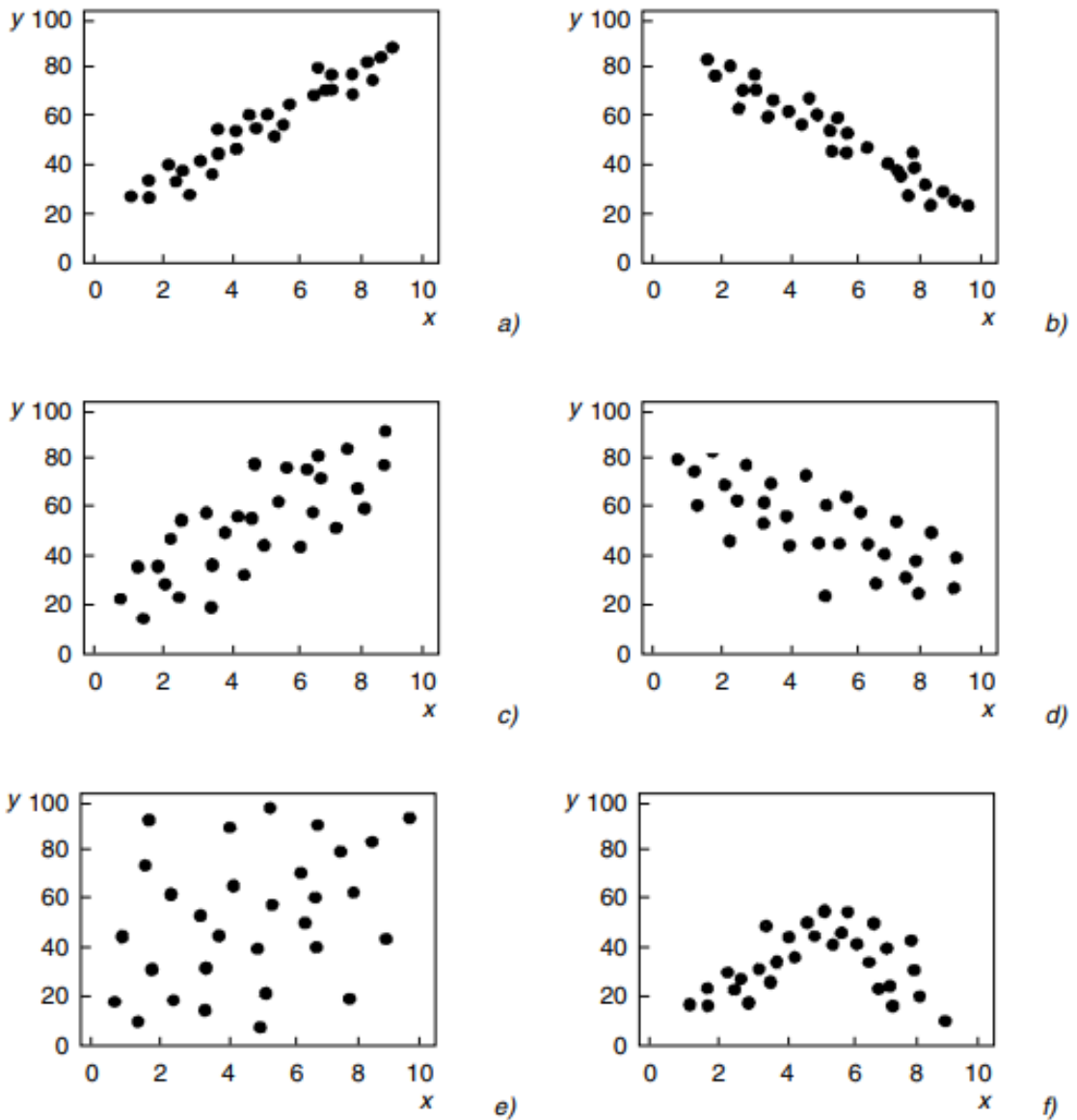
Obr. 3.6 Ishikawův diagram [1]

3.1.6 Bodový diagram [1]

Bodový diagram představuje grafické zobrazení stochastické závislosti dvou náhodných proměnných. Tento diagram poskytuje prvotní informace o existenci stochastické závislosti, o jejím tvaru a míře těsnosti.

Při řízení procesu neustálého zlepšování kvality, se často společnost dostává do situace, kdy regulovat proces podle vybraného nebo normou stanoveného znaku kvality, je časově nebo ekonomicky tak náročné, že by regulační zásahy nebyly efektivní, případně dokonce téměř nerealizovatelné. V takové situaci je ale relativně jednoduché zjistit (např. změřit) jiný znak kvality, který je s původně požadovaným znakem kvality vzájemně závislý, tzv. koreluje. V takovém případě je třeba najít vhodnou regresní funkci a s její pomocí, současně i s pomocí hodnot znaku kvality (který je možno rychle a zároveň levně zjistit), stanovit hodnoty požadovaného parametru kvality. Podmínkou tedy je existence stochastické závislosti mezi požadovaným a rychle či levně měřitelným znakem kvality.

Analýzou bodového diagramu se dají zjistit cenné prvotní informace o sledovaném znaku kvality, respektive o procesu, u něhož je tento znak kvality výsledkem. Základní typy stochastických závislostí jsou ukázány na obr. 3.7. Bodové diagramy na obrázcích a) a c) ukazují případ přímé lineární stochastické závislosti. Na obrázku a) se jedná o silnou (těsnou) korelaci, jelikož, jak lze vidět, body jsou velmi málo rozptýleny. Obrázky b) a d) zobrazují nepřímou lineární závislost, která je na obrázku b) silnější než na obrázku d). Na obrázku f) lze pozorovat nelineární stochastickou závislost.



Obr. 3.7 Ukázka základních typů stochastické závislosti dvou proměnných [1]

3.1.7 Statistická regulace procesu

Regulační diagram je forma zobrazení hodnot v grafické podobě zaznamenaných při testování série náhodných vzorků, které jsou porovnány s varovnými a/nebo intervenčními limity poté, co byly zadány pro účely kontroly kvality.

Dále se regulačními diagramy podrobněji zabývá následující kapitola.

4 SHEWARTOVY REGULAČNÍ DIAGRAMY

4.1 Variabilita procesu [4]

Průběh jakéhokoliv procesu, i za relativně stálých podmínek, je vždy ovlivňován řadou skutečností, které způsobují nemožnost produkce dvou naprosto stejných výrobků. Proto účelem statistické regulace procesů je tyto vlivy studovat a následně vytvářet podmínky tak, aby se variabilita procesu pohybovala v přirozených mezích, byla stálá a zároveň aby bylo možné na základě znalostí přirozených mezí variability predikovat chování procesu v budoucnu.

Díky menší variabilitě procesu je možné dosáhnout:

- Stejnoměrnější výroby
- Zmenšení pravděpodobnosti výskytu neshodných výrobků
- Snížení časnosti kontrol a zkoušek a s tím souvisejících nákladů
- Snížení nákladů vyvolaných poruchou procesu, produkováním neshodných výrobků a nutností jejich přepracování
- Zvýšení počtu spokojených zákazníků

Princip statistické regulace procesů vychází ze základního členění variability:

- 1) Variabilita vyvolaná náhodnými (přirozenými) příčinami
- 2) Variabilita vyvolaná vymezitelnými (identifikovatelnými) příčinami

4.1.1 Náhodné příčiny variability [4][8]

Tyto zdroje kolísání (obr. 4.1) v procesu jsou vztaženy k mnoha zdrojům, které působí na proces neustále. Výsledkem tohoto působení je v čase stálé a opakující se rozdělení pravděpodobnosti pozorovaného znaku kvality. Tento stav procesu je nazýván „statisticky zvládnutý proces“. Přirozené příčiny variability se chovají jako stálý systém náhodných příčin. Jsou-li v procesu přítomny pouze náhodné příčiny a nemění se, výstup procesu je předvídatelný.

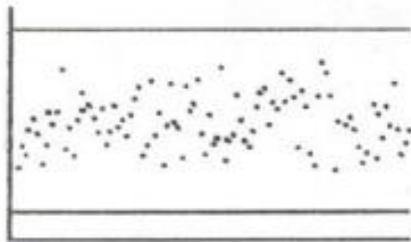
Zdrojem náhodných příčin může být např. chvění stroje, vlhkost v ovzduší, nestejnorodost materiálu, kolísání teploty chladicí kapaliny, nestejnomyšlnost otáčení obrobku atd.

4.1.2 Zvláštní příčiny variability [4][8]

Tyto zdroje kolísání v procesu se vztahují ke každému z faktorů, který způsobuje proměnlivost, jež ovlivňuje pouze některé výrobky z výstupů procesu. Tyto příčiny působí zpravidla přerušovaně a jsou prakticky nepředvídatelné. Jejich přítomnost je indikována jedním či více

body mimo regulační meze, nebo nenáhodným seskupením těchto bodů uvnitř regulačních mezí. Do doby než jsou všechny zvláštní příčiny proměnlivosti procesu identifikovány, mohou pokračovat v neustálém ovlivňování výstupu z procesu. V případě přítomnosti těchto příčin v procesu je takový proces v čase nestabilní.

Různé tvary kolísání procesu



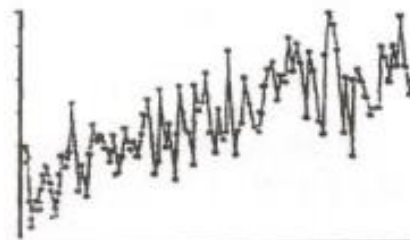
a) Stabilizovaný proces



b) Proces se stabilizovanou střední hodnotou, větší variabilitou a přítomností korelace mezi sousedními hodnotami



c) Proces pod vlivem periodicky působících příčin



d) Proces vykazující trend (lineárně rostoucí střední hodnota)

Obr. 4.1 Různé tvary kolísání procesu [8]

4.2 Cyklus zlepšování procesu a regulace procesu [8] [12]

Jedním z požadavků v normách pro systémy managementu kvality je neustálé zlepšování procesů a systémů. Níže je uveden výpis některých požadavků normy ČSN EN ISO 9001 [5]:

- *Organizace musí vytvořit, dokumentovat, uplatňovat a udržovat systém managementu jakosti a neustále zlepšovat jeho efektivnost*
- *Vrcholové vedení musí poskytnout důkazy o svém závazku k rozvíjení a uplatňování systému managementu kvality a neustálému zlepšování jeho efektivnosti*
- *Závazek k plnění požadavků a k neustálému zlepšování efektivnosti systému managementu kvality musí být zahrnut v politice kvality*
- *Přezkoumání systému managementu kvality vrcholovým vedením musí zahrnovat posouzení příležitostí ke zlepšování a potřebu změn v systému managementu kvality, včetně politiky kvality a cílů kvality*
- *Organizace musí určovat, shromažďovat a analyzovat vhodné údaje, aby se prokázala vhodnost a efektivnost systému managementu kvality a aby se vyhodnotilo, kde lze provádět neustálé zlepšování*
- *Organizace musí provést opatření vedoucí k odstranění příčin potenciálních neshod, aby se zabránilo jejich opakovanému výskytu*
- *Organizace musí mít vytvořen dokumentovaný postup pro realizaci opatření k nápravě*
- *Organizace musí mít vytvořen dokumentovaný postup pro realizaci preventivních opatření*

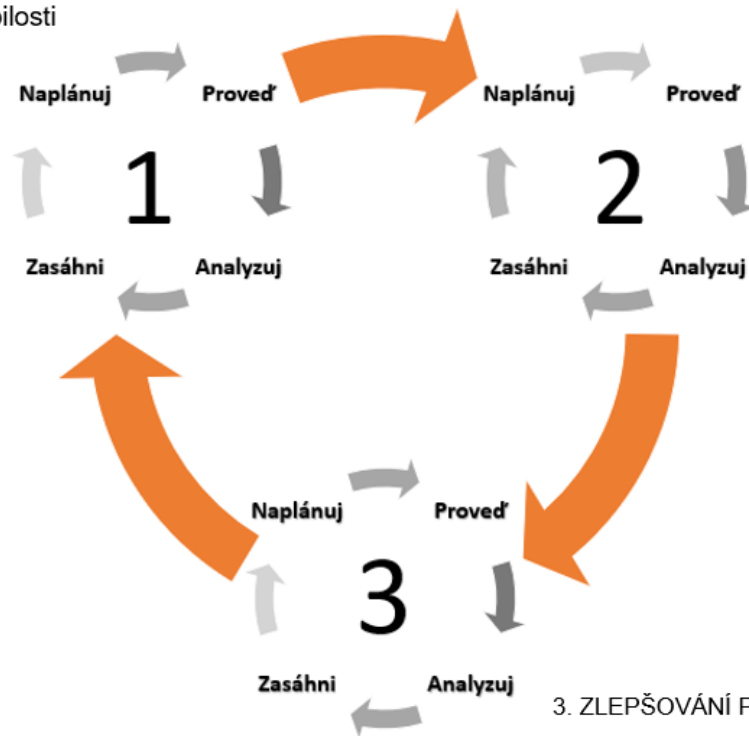
Dle příručky „Statistická regulace procesů“ od České společnosti pro jakost se cyklus zlepšování procesu a regulace procesu dá rozdělit do tří fází, přičemž každý proces se nachází v jedné z fází tohoto cyklu (obr. 4.2)

1. ANALÝZA PROCESU

- Jak má proces pracovat?
- Co špatného se může stát?
- Jak proces pracuje
- Dosažení statisticky zvládnutého stavu
- Stanovení způsobilosti

2. ÚDRŽBA PROCESU

- Monitorování výkonu procesu
- Detekce zvláštní příčiny a opatření na její odstranění



3. ZLEPŠOVÁNÍ PROCESU

- Změna procesu pro lepší pochopení kolísání způsobeného náhodnými příčinami
- Snížení kolísání způsobeného náhodnými příčinami

Obr. 4.2 Cyklus zlepšování procesu (překresleno z [8])

1) Analýza procesu

V případě jakékoliv analýzy je potřeba porozumět samotnému procesu do hloubky. Je zapotřebí odpovědi na určité otázky, aby bylo dosaženo lepších znalostí o procesu:

- Jak by měl proces fungovat?
 - ✓ Očekávání od každého kroku v procesu
- Co špatného se může stát?
 - ✓ Jaké mohou nastat negativní změny v procesu
 - ✓ Jaké parametry jsou nejnáchylnější ke kolísání
 - ✓ Jaká je variabilita daného procesu

- Jak proces funguje?
 - ✓ Jestli proces produkuje neshodné výrobky a v jakém množství
 - ✓ Je proces ve statisticky zvládnutém stavu
 - ✓ Je proces způsobilý

Pro hlubší pochopení procesu může být využita řada pomocných metod jako například:

- Jednání pracovních skupin
- Konzultace s odborníky, kteří proces vyvinuli
- Studium historie daného procesu
- Aplikace FMEA

Regulační diagramy, o kterých pojednává tato kapitola, jsou mocnými nástroji a měly by být používány v rámci cyklu neustálého zlepšování procesu. Tyto jednoduché statistické metody jsou nápomocné v rozlišování kolísání, které je způsobeno náhodnými příčinami od kolísání způsobeného zvláštními příčinami. Poté je nutné se zaměřit na kolísání vznikající od zvláštních příčin.

2) Udržování procesu

V okamžiku, kdy je dosaženo lepších znalostí o daném procesu, je nutné ho udržovat na odpovídající úrovni způsobilosti, jelikož procesy jsou dynamické a v čase se postupně mění. Výkonnost procesu tedy musí být neustále sledována těmi nejúčinnějšími nástroji, aby se včas předešlo nežádoucím změnám. Naopak mohou také nastat v průběhu procesu změny žádoucí, ty je potřeba také řádně pochopit a dále co nejvhodněji využít.

K účinnému sledování procesu může být opět nápomocné sestrojení a zavedení regulačního diagramu. V takovém případě je pak možné včas podchytit změnu v procesu a mohou být tak zavedena rychlá a účinná opatření pro izolování příčin zjištěných změn.

3) Zlepšování procesu

V předešlých dvou krocích bylo úsilí soustředěno na dosažení stability procesu a na jeho udržení v tomto stavu. V případě, kdy je dosaženo stability procesu a daří se ho v tomto stavu udržovat, přichází na řadu krok samotného zlepšování procesu. Jeden z podnětů může přijít např. i od zákazníka, který může být citlivý na kolísání uvnitř tolerančního pole. V takových případech nebude dosaženo hlavního záměru neustálého zlepšování procesu do té doby, než dojde k redukci kolísání. Zde pak mohou pomoci další nástroje analýzy procesu včetně pokročilejších statistických metod, jako jsou například plánované experimenty či více sofistikované typy regulačních diagramů.

Součástí zlepšování procesu pomocí snižování jeho kolísání je zcela záměrné uvádění změn do procesu a následné měření vlivů těchto změn. Cílem těchto změn je lepší poznání

procesu, aby mohlo následovat další snížení kolísání, které bylo způsobeno náhodnými příčinami. Výsledkem této redukce by mělo být zvýšení kvality při nižších nákladech.

V případě, že bylo záměru dosaženo, byly určeny nové parametry a kolísání procesu se zmenšilo, cyklus se posouvá zpátky do stupně analýzy procesu. Jelikož byly provedeny změny v procesu, je nezbytné znovu prověřit a potvrdit stabilitu procesu. Poté proces může pokračovat a probíhá tak cyklus neustálého zlepšování.

PDCA cyklus [17]

Každá fáze z třífázového cyklu neustálého zlepšování procesů, jak je zobrazeno na obr. 4.2, je tvořeno Demingovým cyklem PDCA (Plan – Do – Check – Act), který je základním modelem pro zlepšování.

Tento cyklus se skládá ze čtyř fází, ve kterých by mělo probíhat zlepšování kvality nebo provádění změn. Jako v předešlé případě jde opět o cyklus, který nemá konce, a měl by se pro zajištění neustálého zlepšování stále opakovat.

V první fázi „Naplánuj“ se na základě identifikovaných příležitostí ke zlepšení a stanovených cílů vypracuje plán nápravných nebo preventivních opatření. Ve fázi „Proved“ se tato naplánovaná opatření realizují (obvykle v menším měřítku). Třetí fáze „Analyzuj“ je zaměřena na měření a analýzu dosažených výsledků po změně v procesu a jejich porovnání se stanovenými cíli. Čtvrtá fáze „Zasáhni“ se pak odvíjí od výsledků z fáze třetí. V případě, že bylo stanovených cílů dosaženo, následuje standardizace provedených opatření, případně jejich implementace na další vhodné projekty. V případě, že provedená opatření nebyla dostatečně účinná, hledají se jiné cesty, jak těchto výsledků dosáhnout.

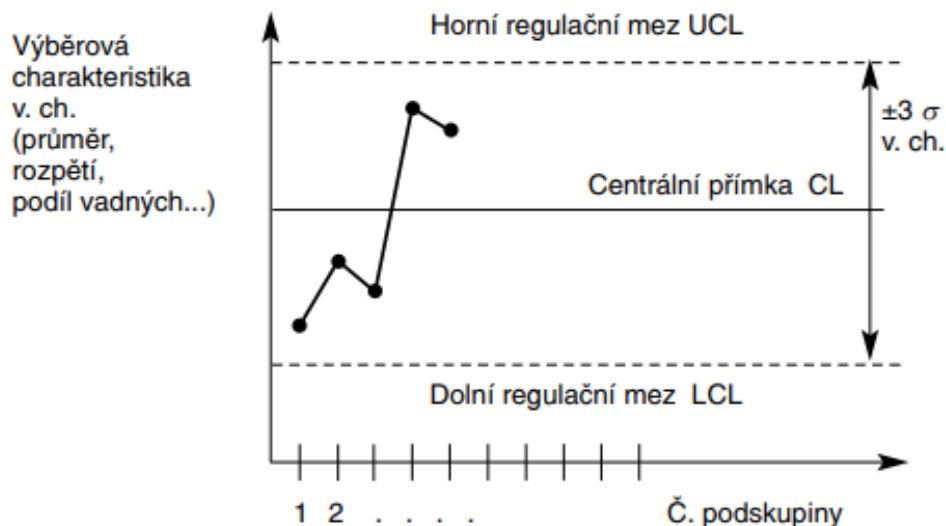
Ve své podstatě všechny běžně používané metodiky zlepšování jsou rozpracováním těchto čtyř základních kroků Demingova cyklu, popřípadě jsou jeho upravenou podobou.

4.3 Principy regulačních diagramů [4]

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, jedním ze základních nástrojů SPC jsou regulační diagramy (obr. 4.3). Jedná se o grafický prostředek využívaný k zobrazení vývoje variability procesu v čase.

Každý regulační diagram se skládá ze tří základních čar:

- CL (Central line) – je střední přímkou, odpovídá tzv. referenční, tedy požadované hodnotě, ta může být definována několika způsoby:
 - Nominální hodnotou (tj. jmenovitá hodnota nebo hodnota udaná v technické dokumentaci)
 - Hodnotou, založenou na minulých zkušenostech s daným výrobním procesem
 - Odhadem z hodnot regulované veličiny získaných v podmínkách statisticky zvládnutého procesu



Obr. 4.3 Struktura regulačního diagramu [1]

Dále je z hlediska účinnosti regulačních diagramů a základních rozhodnutí o statistickém zvládnutí procesů rozhodující stanovení horní a dolní regulační meze.

- UCL (Upper Control Limit) – je tzv. Horní regulační mez
- LCL (Lower Control Limit) – je tzv. Dolní regulační mez

Tyto regulační meze se také někdy nazývají „akční meze“. Jejich úkolem je vymezit působení pouze náhodných příčin variability a jsou tak základním rozhodovacím kritériem, zda se má učinit zásah do procesu, či nikoliv. V některých aplikacích se lze také setkat v regulačních diagramech také s dalšími mezemi, tzv. *výstražné meze*: UWL (Upper Warning Limit – horní výstražná mez) a LWL (Lower Warning Limit – dolní výstražná mez). Pásmo, které tyto meze vymezují, je vždy užší než pásmo akční meze, a to nejčastěji o 1σ , jeho velikost je tedy $\pm 2\sigma$ od CL.

4.3.1 Interpretace regulačních diagramů [4]

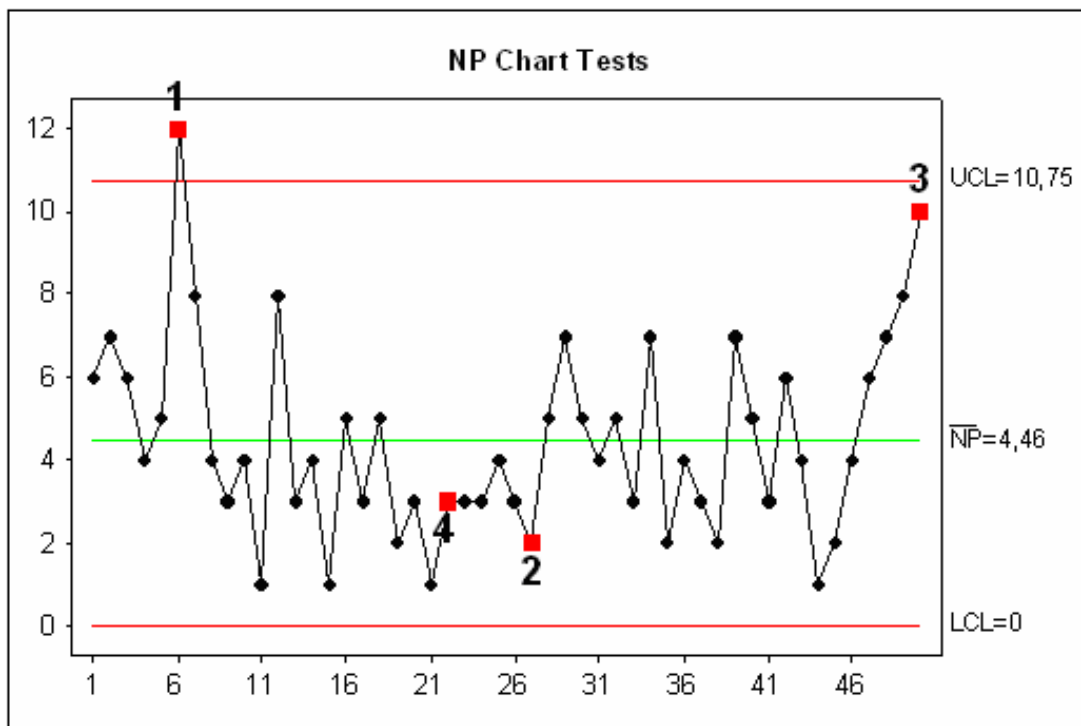
Pro interpretaci regulačních diagramů platí obecně následující základní pravidlo:

- Vyskytují-li se všechny body uvnitř mezi UCL a LCL, proces se pokládá za statisticky zvládnutý a není proto vyžadován žádný zásah do procesu
- Vyskytuje-li se některý bod mimo meze UCL nebo LCL, proces se pokládá za statisticky nezvládnutý. Z toho důvodu je nutná identifikace vymezitelných příčin této odchylky a následně přijetí opatření s cílem úplně nebo alespoň částečně eliminovat tuto vymezitelnou příčinu

Toto pravidlo se pak rozšiřuje ještě o další kritéria pro rozhodnutí o působení vymezitelných příčin a to tzv. testy nenáhodných seskupení. Objevuje-li se v regulačním diagramu zvláštní seskupení bodů, je třeba takovou situaci brát v potaz, považovat ji za signál působení vymezitelné příčiny a provést do procesu zásah.

V případě regulace atributivní veličiny jsou používány zejména následující 4 testy (obr. 4.4):

- 1) **Test 1** – 1 bod dále než 3σ od střední hodnoty,
- 2) **Test 2** – 9 bodů v řadě na stejné straně od střední hodnoty,
- 3) **Test 3** – 6 bodů v řadě rostoucích, resp. klesajících,
- 4) **Test 4** – 14 bodů v řadě pravidelně kolísá nahoru a dolů [25]



Obr. 4.4 Označení testů v regulačním diagramu pro atributivní data [25]

Dále se dají využít jak u atributivních, tak variabilních dat další 4 testy:

- 5) **Test 5** – 2 ze 3 jsou ve vzdálenosti větší nežli 2σ od centrální přímky (na stejné straně),
- 6) **Test 6** – 4 z 5 jsou ve vzdálenosti větší nežli 1σ od centrální přímky (na stejné straně),
- 7) **Test 7** – 15 bodů v řadě leží uvnitř prostřední třetiny pásma mezi regulačními mezemi,
- 8) **Test 8** – 8 bodů v řadě se nachází ve dvou vnějších třetinách v pásmu mezi regulačními mezemi [8]

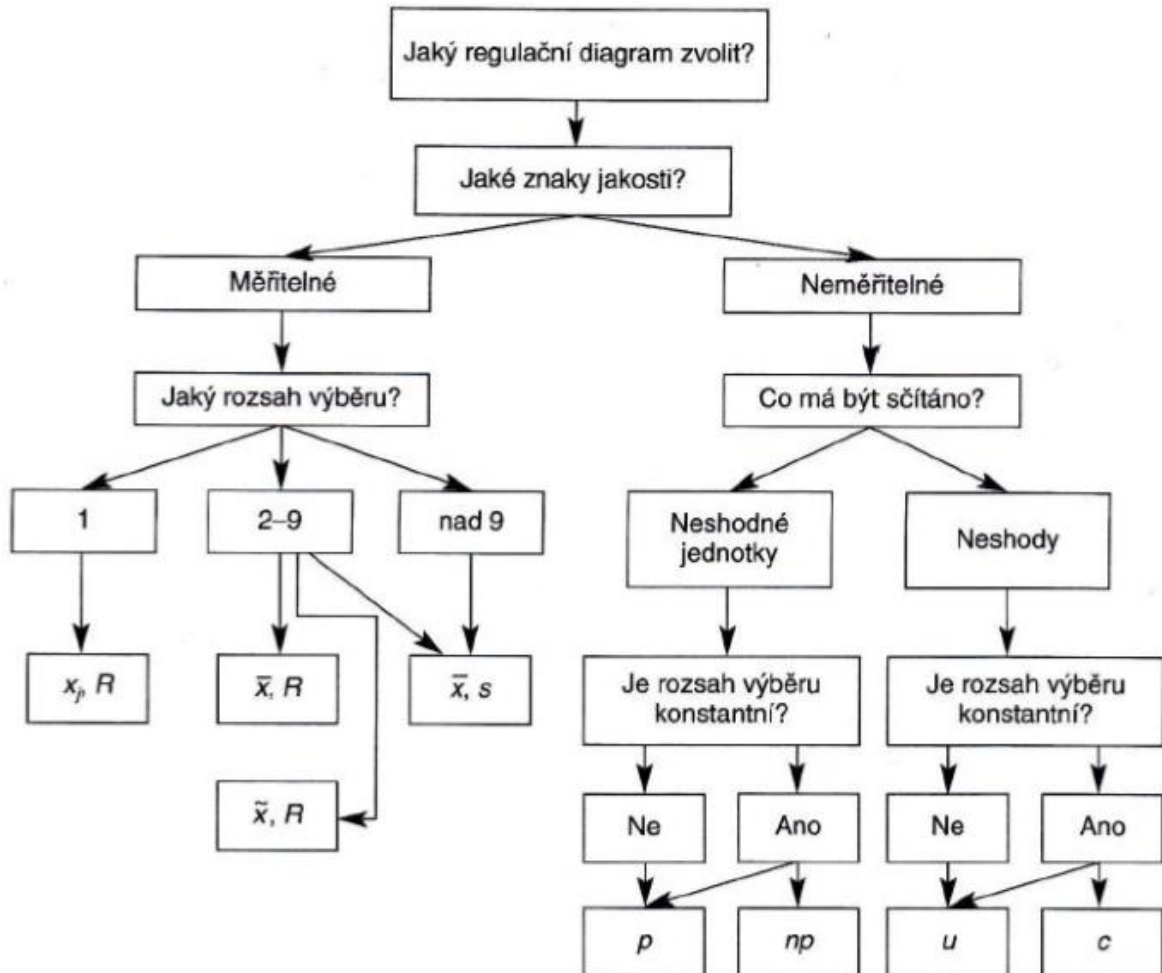
4.4 Rozdělení regulačních diagramů [12]

Podle znaků kvality je možné rozdělit zpracovávaná data do dvou skupin:

- 1) Znaky měřitelné (variabilní)
- 2) Znaky neměřitelné (atributivní)

Na základě těchto znaků se následně vybere typ Shewartova regulačního diagramu. Postup pro tento výběr je znázorněn v následujícím schématu na obr. 4.5.

Jelikož regulační diagram poskytuje provozní definici termínu „provoz je ve statisticky zvládnutém stavu“, je užitečným nástrojem pro každý cyklus neustálého zlepšování procesu (dle obr. 4.2). Vevnitř každého stupně se využije cyklus PDCA (Plan-Do-Check-Act). [8]



Obr. 4.5 Výběr regulačního diagramu [8]

4.5 Regulační diagramy pro SPC měřením [8]

Tyto regulační diagramy při kontrole měřením jsou typickou aplikací statistické regulace procesů, kde procesy a výstupy z nich lze charakterizovat hodnotami měření kvantitativního znaku.

Regulační diagramy při kontrole měřením jsou výhodné z několika následujících důvodů:

- Kvantitativní hodnota (např. průměr hřídele) obsahuje více informace než pouhý výrok ano-ne (např. rozměr průměru je v toleranci)
- Přestože sběr kvantitativních dat je obvykle složitější než sběr kvalitativních dat, rozhodnutí při regulaci měřením může být dosaženo mnohem rychleji s menším rozsahem výběru (podskupiny). To v konečném výsledku vede k nižším celkovým nákladům na měření právě díky vyšší hodnotě informace v kvantitativních datech
- Jelikož před spolehlivým rozhodnutím je zapotřebí překontrolovat méně kusů, je obvykle kratší zpoždění mez signálem o změně v procesu a nápravným opatřením
- Díky kvantitativním datům je možno vyhodnocovat výkonnost procesu a následné zlepšení lze kvantifikovat, i když všechny hodnoty jsou uvnitř mezních hodnot daných specifikací. To je nesmírně důležité v rámci neustálého zlepšování procesu

Regulační diagramy při kontrole měřením mohou lépe objasnit data z procesu v souvislosti s jeho kolísáním, kolísáním od jednoho kusu ke druhému a pomocí průměru procesu. Z těchto důvodů jsou regulační diagramy při kontrole měřením obvykle připravovány a analyzovány ve dvojicích, jeden diagram pro průměr procesu a druhý pro kolísání procesu.

Společná pravidla pro statistickou regulaci měřením: [16]

- 1) organizace sběru dat – nutná volba rozsahu výběru
- 2) pravidelné měření výběrů v intervalech dle rychlosti změn sledované veličiny a následný zápis
- 3) výpočet výběrových charakteristik a následná tvorba průběhového diagramu (Run chart)
- 4) po vytvoření souborů výběru v určeném rozsahu jsou vypočteny průměrné hodnoty procesu a regulačních mezí
- 5) následně se posoudí stabilita procesu (dle testů v kap. 4.3.1)
- 6) v případě, že byl proces vyhodnocen jako stabilní, tj. nejsou přítomny žádné speciální příčiny, vypočítá se index způsobilosti procesu c_p, c_{pk}
- 7) V případě, že je proces způsobilý, pak pokračuje jeho sledování, přičemž regulační meze zůstávají stejné, případně v rámci neustálého zlepšování procesu lze meze zúžit

Regulační diagram pro výběrový průměr a rozpětí (\bar{x}, R) [4] [16]

Tato dvojice regulačních diagramů – pro výběrový průměr \bar{x} a výběrové rozpětí R , je v praxi využívána nejvíce. Je totiž vhodná i pro situace, kde se pracuje s menšími rozsahy výběrů (2-10). \bar{x} je výběrový aritmetický průměr hodnot, které byly získány z malých podskupin = míra průměru procesu. R je výběrové rozpětí hodnot uvnitř každé podskupiny (největší naměřená hodnota mínus ta nejmenší) = míra kolísání procesu.

Z jednotlivých hodnot se vypočítá výběrový průměr podskupiny:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (4.1)$$

n – počet vzorků v podskupině

Průběh hodnot výběrového průměru podskupiny \bar{X} charakterizuje parametr polohy v rozdělení náhodné veličiny. Posouzení rozptylu se provádí pomocí výběrového rozpětí R :

Rozpětí podskupiny:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (4.2)$$

(uvnitř každé podskupiny)

V případě určování regulačních mezí je zapotřebí určit střední hodnoty veličin \bar{X} a R :

Celkový (totální) průměr:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k} \quad (4.3)$$

k – počet podskupin použitých pro výpočet celkového průměru a průměrného rozpětí

Průměrné rozpětí:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (4.4)$$

Poté následují parametry samotného diagramu dle tabulky 4.1:

Tab. 4.1 Vzorce pro regulační diagramy SPC měřením

Vzorce pro diagramy (\bar{x} , R), (\bar{x} , s)

RD	CL	UCL	LCL
\bar{X}	$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ $UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{s}$	$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{s}$
R	$CL_R = \bar{R}$	$UCL_R = D_4\bar{R}$	$LCL_R = D_3\bar{R}$
s	$CL_s = \bar{s}$	$UCL_s = B_4\bar{R}$	$LCL_s = B_3\bar{R}$

(\bar{x}, s) – Regulační diagram pro výběrový průměr a směrodatnou odchylku

Regulační diagram pro výběrový průměr a výběrovou směrodatnou odchylku je nevhodnější používat v okamžiku, kdy se pracuje s rozsahy výběru většími než 10 jednotek v podskupině. Je to z toho důvodu, že výběrové rozpětí pak je v případě většího rozsahu výběru méně přesným odhadem variability procesu.

Výpočet výběrového průměru \bar{X} je analogický s předchozí kapitolou. Výběrová odchylka se vypočítá následovně:

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum (x_{i,k} - \bar{X}_k)^2}{n - 1}} \quad (4.5)$$

Analogicky s předchozí kapitolou se vypočítá střední hodnota procesu, parametry regulačního diagramu jsou uvedeny v tabulce 4.1.

(\tilde{x}, R) – Regulační diagram pro výběrový medián a rozpětí

Jedná se o alternativu k regulačním diagramům pro výběrový průměr a výběrové rozpětí. To znamená, že je určen pro malé rozsahy výběru a využívá se tak nejčastěji v malosériových výrobcích.

Medián podskupiny:

$$\tilde{x} = \begin{cases} X^{(\frac{n+1}{2})} & \text{když } n \text{ je liché} \\ \frac{X^{(\frac{n}{2})} + X^{(\frac{n+2}{2})}}{2} & \text{když } n \text{ je sudé} \end{cases} \quad (4.6)$$

Analogicky s předchozí kapitolou se vypočítá střední hodnota procesu, parametry regulačního diagramu jsou uvedeny v tabulce 4.2.

(x_i, R_{kl}) – Regulační diagram pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí

Využívá se zejména v situacích, kdy je buď z důvodu technických, nebo např. administrativních, příliš náročné vytvářet logické podskupiny.

Regulační meze jsou založeny na míře variability, která je vypočtená z klouzavých rozpětí dvou po sobě jdoucích měření hodnot kvality znaků.

Analogicky s předchozí kapitolou se vypočítá střední hodnota procesu, parametry regulačního diagramu jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tab. 4.2 Vzorce pro regulační diagramy SPC měřením

Vzorce pro diagramy $(\bar{x}, R), (x_i, R_{kl})$

RD	CL	UCL	LCL
X_i	$CL_{X_i} = \bar{X}$	$UCL_{X_i} = \bar{X} + E_2\bar{R}$	$LCL_{X_i} = \bar{X} - E_2\bar{R}$
R_{kl}	$CL_{R_{kl}} = \bar{R}$	$UCL_{R_{kl}} = D_4\bar{R}$	$LCL_{R_{kl}} = D_3\bar{R}$
\bar{x}	$CL_s = \bar{x}$	$UCL_s = \bar{x} + A_4\bar{R}$	$LCL_s = \bar{x} - A_4\bar{R}$

4.6 Regulační diagramy pro SPC srovnáváním [8] [4] [16]

Přestože regulační diagramy byly původně zamýšleny jen pro kvantitativní znaky, byly nakonec vyvinuty také pro znaky kvalitativní. Kvalitativní znaky obsahují diskrétní hodnoty a ty mohou být načítány a analyzovány. Při takovéto analýze se data separují do oddělených skupin (OK/NOK, přítomen/nepřítomen, tlustý/tenký atd.) Tento příklad zahrnuje třeba přítomnost požadované nálepky, vzhledovou kontrolu natřeného povrchu atd.

Jiné příklady atributivních dat se mohou týkat charakteristik, které jsou sice měřitelné, ale v konečném výsledku měření se zaznamenávají ve formě tvrzení ano/ne. Jedná se např. o shodu průměru hřídele s kalibrem, vizuální kontrolu okrajů dveří nebo včasnou dodávku. Regulační diagramy pro atributivní data jsou důležité z několika následujících důvodů:

- S kvalitativními daty se lze setkat v každé technické nebo administrativní oblasti, tudíž využití této metody je možné a užitečné v mnoha aplikacích. Největším problémem bývá vymezit přesnou provozní definici toho, co je shodné či vyhovující.
- S kvantitativními daty se dá setkat i v mnoha dalších situacích – obecně všude tam, kde existuje kontrola, záznamy oprav, třídění podezřelé výroby atd. V takových případech nejsou kladeny žádné další požadavky na sběr dat. Jediné náklady tak vznikají pouze s převedením dat do regulačních diagramů.
- V případech, kde se musejí získat nová data, se informace z kvalitativních dat obecně získávají rychle a levně.

Spousta dat získaných pro management v rámci přehledových zpráv má často charakter kvalitativního znaku (vyhovuje/nevyhovuje) a mohou být získány z analýzy regulačních diagramů. Příkladem může být podíl zmetků nebo auditů o kvalitě či zamítnutí materiálu. Díky schopnosti rozlišení zvláštní a náhodné příčiny kolísání může být pro interpretaci zpráv, které jsou určené managementu, cenná analýza pomocí regulačních diagramů.

Společná pravidla pro statistickou regulaci měření: [16]

- 1) Organizace sběru dat – atributivní data, jejichž číselná část vyjadřuje frekvenci výskytu sledovaného znaku (np). Je nezbytné vědět, zda prověřovaná data mají stejný rozsah n nebo proměnlivý. V případě, že je rozsah proměnlivý, musí být souběžně zaznamenán jak rozsah souboru, tak počet neshodných jednotek souboru (popř. počet neshod)
- 2) U metod p a np se předpokládá binomické rozdělení. Výchozí číselné hodnoty (n , np) jsou vždy z celých čísel, p vyjadřuje pravděpodobnost nalezení np neshodných mezi n kontrolovanými jednotkami
- 3) U metod c a u se předpokládá Poissonovo rozdělení sledovaných hodnot. Pro metodu c je nezbytný předpoklad stejného rozsahu prověřovaných výběrových vzorků (popř. stejný typ materiálu – např. bavlněný pás látky, vyráběný pruh papíru atd.). V případě, že tato podmínka není splněna, využije se metody u .
- 4) Číselné hodnoty sledovaného znaku se zapisují do tabulek, z nichž se vytvoří průběhový diagram (Run chart)
- 5) Po vytvoření souboru v určeném rozsahu a výsledku pozorování jsou vypočteny regulační meze a vznikne regulační diagram
- 6) V případě, že je proces způsobilý, pak pokračuje jeho sledování, přičemž regulační meze zůstávají stejné, případně v rámci neustálého zlepšování procesu lze meze zúžit

p – regulační diagram pro podíl neshodných jednotek v podskupině

Tento regulační diagram se využívá k regulaci podílu neshodných jednotek v jednotlivých výběrech. Z toho důvodu je vhodný i v situacích, kdy rozsah výběrů není konstantní.

Jelikož výpočet regulačních mezí je založen na aproximaci normálního rozdělení, měl by být rozsah výběru takový, aby bylo dodrženo $n\bar{p} \geq 5$, jinak by mohly být výsledky zkreslené a neměly by vypovídající hodnotu.

Výpočet jednotlivé hodnoty:

$$p_i = \frac{np_i}{n_i} \quad (4.7)$$

n_i – rozsah kontrolované podskupiny

np_i – počet zjištěných neshodných jednotek

Průměr jednotlivých hodnot:

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (4.8)$$

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_k}{k} \quad (4.9)$$

v případě, že jsou všechny rozsahy n_i stejné

k – počet podskupin

Konstantní rozsah n výběru:

Centrální přímka

$$CL_p = \bar{p} \quad (4.10)$$

Regulační meze

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (4.11)$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (4.12)$$

Konstantní regulační meze při změně rozsahu skupiny:

- V případě, kdy $\frac{\min n_i}{\max n_i} \geq 0,75$

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (4.13)$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}}{\sqrt{n_i}} \quad (4.14)$$

np – regulační diagram pro počet neshodných jednotek

V případě konstantního velikosti podskupin je využíván np-diagram, který poskytuje informaci o počtu neshodných jednotek ve výběru. Při sběru dat je zaznamenáván počet neshodných jednotek, ze kterých se vypočítá průměrná hodnota, charakterizující centrální přímku diagramu.

Průměrný počet vadných prvků:

$$n\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m np_i}{m} \quad (4.15)$$

m – počet výběrů

z – regulační diagram pro počet neshod

U tohoto typu diagramu se sledují vady na objektu, objektem může být jakýkoliv výrobek, u kterého se stanoví konkrétní vada, za předpokladu, že všechny kontrolované objekty jsou stejné.

Střední hodnota procesu pro počet vad na objektu:

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^m z_i}{m} \quad (4.16)$$

u – regulační diagram pro počet neshod na jednotku

Tento regulační diagram pro počet neshod na jednotku v podskupině, se využívá v případě, kdy nelze zajistit konstantní rozsah kontrolovaných podskupin nebo kde jsou různé neshody.

Střední hodnota poměrného počtu vad:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{\sum_{j=1}^m n_j} \quad (4.17)$$

Tab. 4.3 Vzorce regulačních diagramů pro SPC srovnáváním

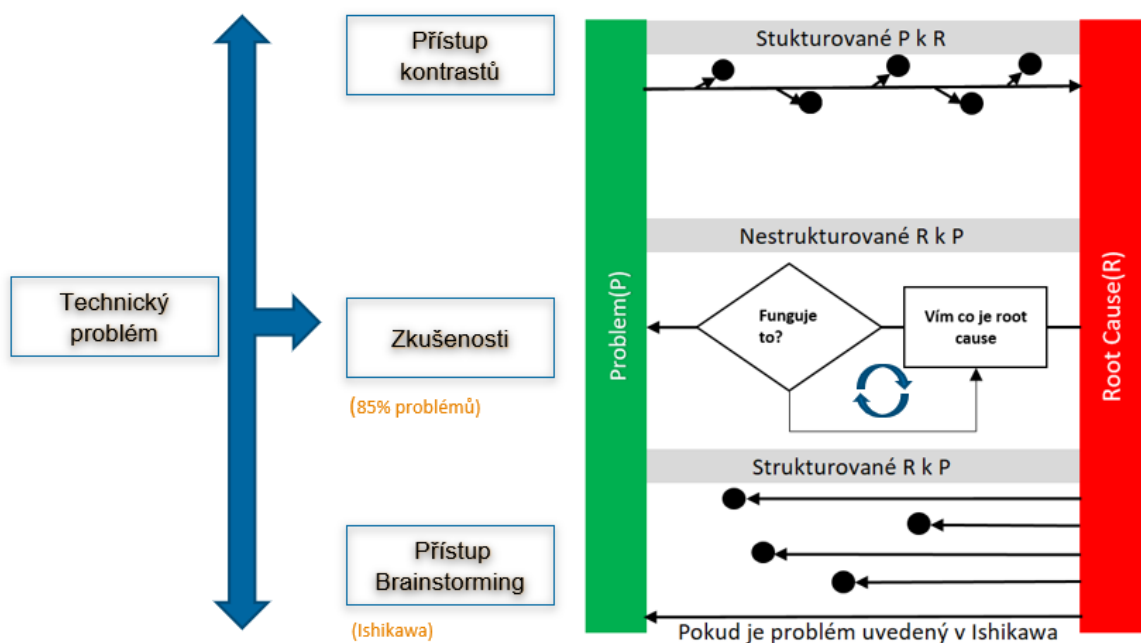
Vzorce pro diagramy – np, z, u

RD	CL	UCL	LCL
np	$n\bar{p}$	$\bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})}$	$\bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})}$
z	\bar{z}	$\bar{z} + 3\sqrt{\bar{z}}$	$\bar{z} - 3\sqrt{\bar{z}}$
u	\bar{u}	$\bar{u} + 3\frac{\sqrt{\bar{u}}}{n}$	$\bar{u} - 3\frac{\sqrt{\bar{u}}}{n}$

5 VYBRANÉ METODY ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ

5.1 Typy řešení problémů

K řešení problémů se dá přistupovat různými způsoby. Takovým hlavním rozdílem mezi přístupy je, jak danou věc uchopit. V případě že mám technický problém (jak je znázorněno na obrázku 5.1), je možno si zvolit cestu tzv. přístup kontrastů, tedy orientaci na příčinu a pomocí konvergentního myšlení. Dále je možno řešit problém na základě zkušeností (v praxi to bývá řešení až pro 85 % problémů), nebo pak zvolit přístup na základě tzv. „brainstormingu“, kde se zase uplatňuje divergentní myšlení.



Obr. 5.1 Typy přístupů k řešení problémů

Six Sigma: Divergentní myšlení – rozbíhavé myšlení, velké množství vstupů, alternativ.

Příčina: Konvergentní myšlení – orientace na jednu správnou odpověď. Zdůrazňuje rychlost, správnost, logiku

Filozofie vztahu Problém (Výstup) - Příčina

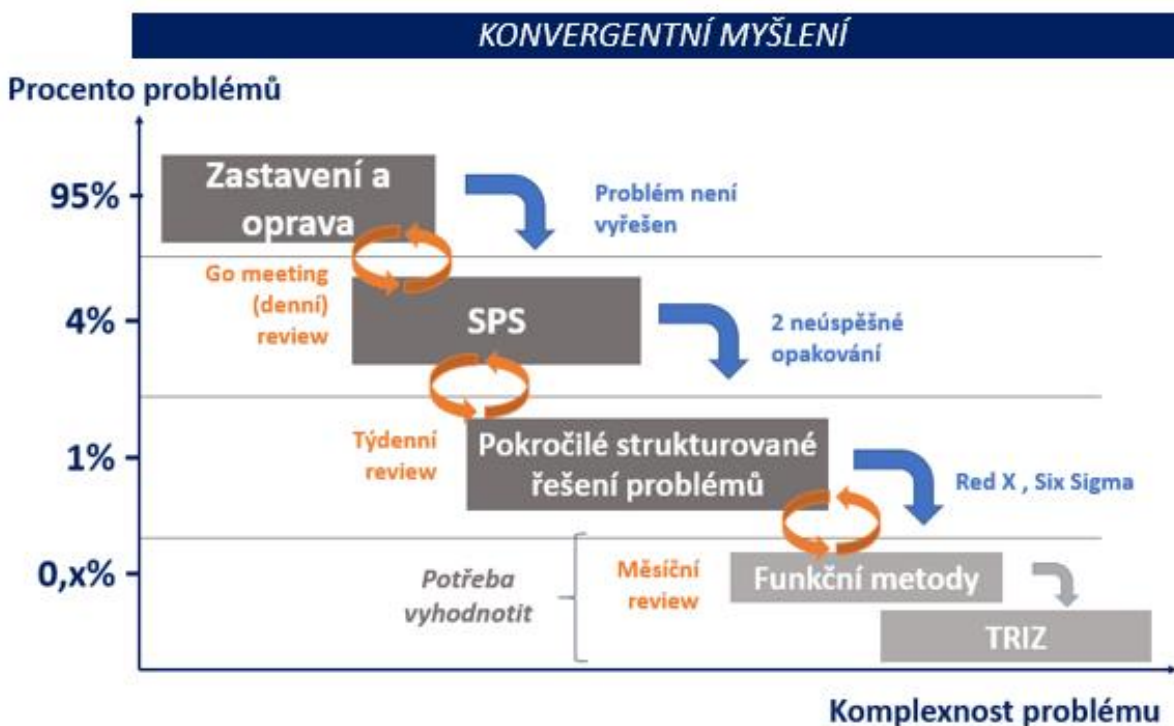
- Příčina – hlavní efekt, který způsobuje největší změnu u požadovaného výstupu.
- Vždy lze objevit Příčinu. Často se jedná o interakce.
- Nejrychlejší cesta k nalezení Příčiny je postupným hledáním. Začíná správně definovaným výstupem.

- Výstup – výstup produktu nebo procesu. Způsob a velikost změn Výstupu nás vede k Příčině.
- Ukazatelé výroby nemohou poskytnout obraz fyzikální podstaty a rozměrů.

Příčina může být:

- rozměr, vlastnost, nebo defekt, který způsobí událost
- procesní parametr, který způsobí defekt, špatný rozměr nebo vlastnost

Obrázek 5.2 zobrazuje strukturu řešení problémů. Říká, že 95 % problémů je vyřešeno ihned během výroby, kdy v případě problémů, je stroj zastaven a následně opraven. V případě, že tento zásah není úspěšný, je nutné postoupit dál a problém řešit systematicky – metodou SPS. V této fázi bývá vyřešeno 4 % případů. Pokud ani to nepomůže, přejde se na pokročilejší strukturovanou metodu RED X, nebo následně na Six Sigma. V případě neúspěchu i těchto metod a přetrvávajícího problému, musí být zváženo, jak kritický a potřebný je další zásah a zda je opodstatněné přejít na funkční metodu TRIZ.



Obr. 5.2 Struktura řešení problémů

5.2 SPS – „Systematic Problem Solving“

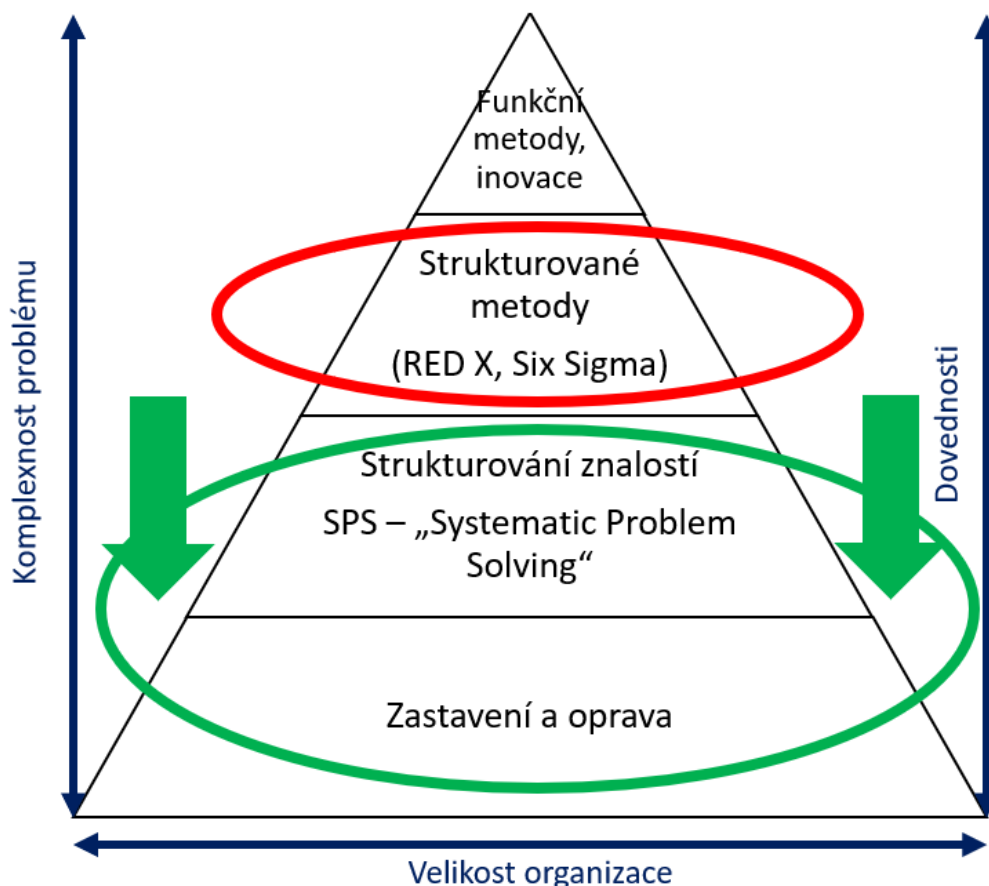
SPS – „Systematic Problem Solving“, tedy systematické řešení problémů, je metodika, která může být využita jako mezistupeň při řešení komplexních problémů, tj. problémů mezi „Zastavit a Opravit“ a pokročilejším strukturovaným řešením problémů, jako například Shainin RED X nebo Six Sigma (jak lze vidět na obrázku 5.3).

Tato metoda je založena na faktech a číslech, ale na rozdíl od pokročilejších strukturovaných metod není potřebné dlouhodobé školení a ovládnutí složitých statistických nástrojů.

V dnešní době při reálném řešení problémů ve výrobě, tým standardně diskutuje problémy na schůzkách, kde každý může vyjádřit svůj názor, nápady, teorii, dá se říct, že se jedná o takový „brainstroming“. Diskutují tak daný problém paralelně a nezávisle se stává, že například smíchají čtyři různé věci, které spolu vlastně nesouvisí v jednu. Je pak těžké se v takové situaci vyznat a rozhodnout, co bude následovat a jaký bude vlastně další postup.

Metoda SPS tedy vlastně bere fakta a teorie, které se běžně při týmových schůzkách vyskytují dává jim strukturovanou podobu a využívá přístup konvergentního řešení příčin. Skládá se z 10 jednotlivých otázek, které dávají odpovědi do kontrastu a pomáhá tak najít příčinu.

Jednou z nesporných výhod této metody je tak zapojení širší části zaměstnanců do řešení problému, poskytnutím jednodušší metody pro řešení.



Obr. 5.3 Pyramida řešení problémů

5.3 Systém Shainin RED X [13]

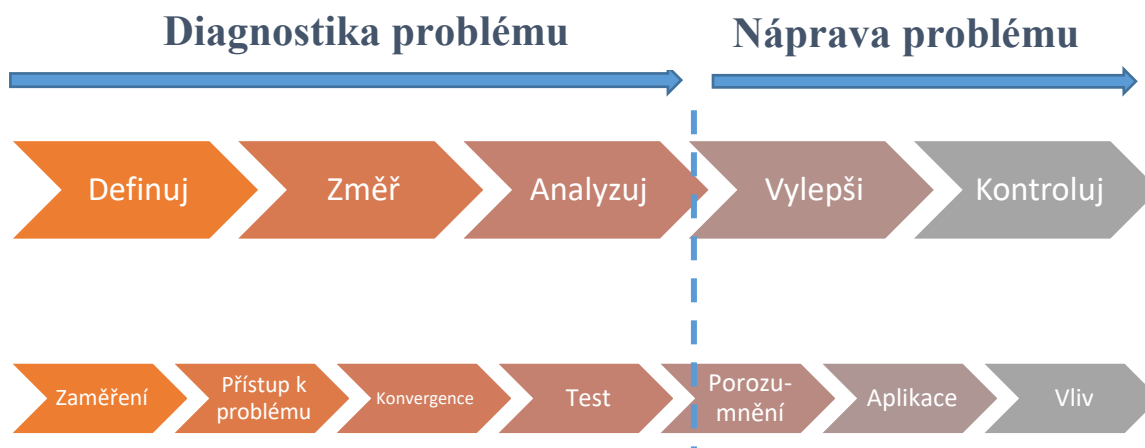
Systém Shainin RED X je definován jako: systém řešení problémů navržený pro středně až vysoce objemové procesy, kde jsou data levně dostupná, statistické metody jsou široce využívány a zásah do procesu je obtížný. Většinou se uplatňuje v organizacích, které se zabývají různými druhy montáží.

Systém Shainin System™ pro zlepšení kvality byl vyvíjen po mnoho let pod vedením Doriana Shainin.

Systém Shainin je také označován jako Statistické inženýrství a strategie Red X® (v rámci automobilového průmyslu).

Celková metodika systému Shainin nebyla kriticky přezkoumána. Jeho základní principy však mohou být rozděleny do dvou skupin:

1. Víra, že existují dominantní příčiny variací.
2. Víra, že existuje diagnostická cesta a cesta k nápravě (Shaininův systémový algoritmus), znázorněná na obrázku 5.4.



Obr. 5.4 Porovnání přístupu Six Sigma a RED X (překresleno z [6])

5.3.1 Dominantní příčiny variace a progresivního vyhledávání v Shainin Red X

Základním principem Shaininova systému (dále jen SS) je, že v každém problému existuje dominantní příčina variací ve výstupech procesu, která definuje problém. Tento předpoklad je založen na aplikaci Paretova principu.

V tomto případě je dominantní příčina definována jako hlavní přispívatel k vadám a faktor, který musí být napraven dříve než bude možné nalézt odpovídající řešení. V Shainin systému je dominantní příčina označována jako Red X1.

V rámci SS existuje poznání, že může existovat druhá nebo třetí velká příčina zvaná jako „Pink XTM“ a „Pale Pink XTM3“, která významně přispívá k celkové variaci a musí být řešena za účelem odstranění problému. Je důležité si uvědomit, že pokud neexistuje jediná dominantní příčina, snížení variability je mnohem obtížnější

Existuje riziko, že více poruchových režimů přispívá k problému a tudíž vede k různým dominantním příčinám pro každý režim.

Systém Shainin používá proces eliminace nazývaný jako progresivní vyhledávání k identifikaci dominantních příčin. Progresivní vyhledávání funguje podobně jako úspěšná strategie ve hře „20 otázek“, kde se uživatelé snaží najít správnou odpověď pomocí řady otázek (ano = ne), které rozdělují vyhledávací prostor na menší a menší oblasti.

Kroky metody RED X:

Zaměření na problém

V tomto kroku je definován projekt, na základě stanoviska daného managementem firmy

Přístup k vybranému problému

Definice typu problému, zvolení strategie při jeho řešení.

Konvergence

Výběr nejlepšího (BOB) a nejhoršího (WOW) případu a jejich porovnání. Identifikace dominantní příčiny.

Test

Určená dominantní příčina je ověřena například pomocí metody DOE.

Porozumění

Porozumění interakcím. Zákaznickovy požadavky jsou přeneseny do tolerančního pole. Určení parametrů, které je potřeba řídit.

Aplikace

Nápravná opatření jsou implementována a ověřena například pomocí Run chartu.

Vliv

Výpočet benefitů a ponaučení pro další nebo podobné projekty.

5.4 Six sigma [18] [26]

„Six sigma je strukturovaná metodologie pevně založená na přesných datech sloužící k eliminování defektů, ztrát či problémů v řízení jakosti ve všech směrech výroby, služeb nebo dalších obchodních aktivit. Metodologie Six Sigma je založena na kombinaci ustálených technik statistického řízení jakosti, jednoduchých i pokročilých metod analýzy dat a systematického tréninku všech osob v organizaci, které se zabývají aktivitami a cíli určenými Six sigma.“ [24]

I v případě, že ještě nebyla koncepce Six Sigma plně objasněna a zajištěna v daném podniku ve všech aspektech, lze i přesto v podnikové sféře pomocí Six Sigma dosáhnout

kýžených výsledků. V tomto ohledu nejde jen o perfekcionistačtý koncept, ale především o souvislou a rychlou realizaci určitého know-how.

V Six Sigma nejde jen o jakousi aplikaci statistických metod, ale především je potřeba brát ji jako určitou strategii, díky které se docílí zlepšení víceústupňového procesu – začíná u prospěchu zákazníka, přechází na vnitřní procesy a tržní výkony a končí výsledky podniku. Motto strategie Six Sigma tedy zní: „Work smarter, not harder“.

Ve své podstatě jed v Six Sigma o:

- Přesvědčivě využít systematické metody, které nabízí projektový management
- Neustále pracovat s daty a využívat je ke statistickým analýzám
- Neustále zaznamenávat operativní výkon podniku a následně ho zlepšovat
- Dosáhnout praktikované kvality nulových defektů

Jedná se o metodu, díky které by se měla zvýšit spokojenost zákazníků, zisk a také zajistit pracovní místa. Pomocí Six Sigma firma zvyšuje svou hospodárnost a výkon, což má za následek větší konkurenceschopnost. Krátkodobé zlepšení, které se dosáhlo pomocí metody Six Sigma, vede k dlouhodobě účinnému navýšení hodnoty.

5.4.1 DMAIC [10]

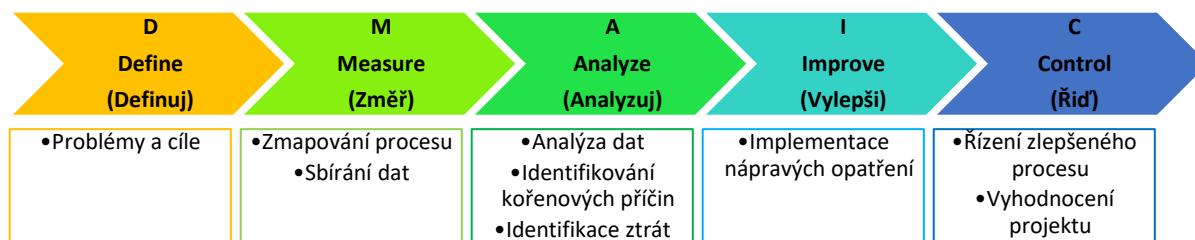
Zlepšování kvality a procesů probíhá nejúčinněji na základě jednotlivých projektů. Metoda DMAIC, která je součástí Six Sigma, je strukturovaný pětistupňový postup řešení problémů, který lze použít k úspěšnému dokončení projektů. Prostřednictvím implementací řešení, která jsou určena k vyřešení základních příčin problémů s nízkou kvalitou a procesem, zavádí osvědčené postupy, které zajistí, že řešení jsou trvalá.

DMAIC je strukturovaný postup řešení problémů, který se široce používá při zlepšování kvality a procesů. To je často spojeno s aktivitami Six Sigma, a téměř všechny implementace Six Sigma používají DMAIC pro řízení projektu a dokončení. Nicméně DMAIC není nutně formálně vázán jen na Six Sigma a může být použit bez ohledu na to, zda organizace Six Sigma používá. Jedná se o velmi obecný postup. Například Lean-projekty, které se zaměřují na zkrácení doby cyklu, zlepšení výkonu a odstranění plýtvání, lze snadno a efektivně provádět pomocí DMAIC.

Písmena DMAIC tvoří zkratku pro pět kroků:

1. Definuj
2. Změř
3. Analyzuj
4. Vylepši
5. Řiď

Tyto kroky jsou graficky znázorněny na obrázku 5.5.



Obr. 5.5 DMAIC (překresleno z [15])

D – Definuj

Cílem tohoto kroku je identifikovat příležitost projektu a ověřit nebo potvrdit, že představuje legitimní průlomový potenciál. Projekt musí být důležitý pro zákazníky (hlas zákazníka) a důležitý pro podnikání – organizaci. Zúčastněné strany, které pracují v procesu a jeho následní zákazníci se musí dohodnout na potenciální užitečnosti projektu.

M – Změř

Účelem tohoto kroku je vyhodnotit a pochopit současný stav procesu. To zahrnuje sběr dat o měření kvality, nákladů a doby cyklu. Je důležité vypracovat seznam všech klíčových vstupních a výstupních proměnných procesu. Tyto ukazatele mohou být identifikovány někdy alespoň předběžně již během kroku Definice, ale definitivně jsou určeny a zjišťovány během průběhu kroku měření.

Důležitým faktorem může být čas strávený prováděním různých pracovních činností a čas při čekání na další zpracování. Rozhodování o tom, jaké údaje shromáždit a kolik jich má být, jsou důležité úkoly; musí existovat dostatečné množství údajů, které umožní důkladnou analýzu a pochopení současného výkonu procesu s ohledem na klíčové ukazatele.

A – Analyzuj

V tomto kroku je cílem použít data z kroku předešlého k určení vztahů příčiny a následků v procesu a k pochopení různých zdrojů variability. Jinými slovy, v kroku „Analyzuj“ se zjišťují potenciální příčiny závad, problémů s kvalitou, problémů zákazníků, doby cyklu a problémů se ztrátami a neefektivnostmi, které projekt motivovaly. Je důležité oddělit zdroje variability na běžné příčiny a zvláštní příčiny.

I – Vylepši

Ve fázích „Měř“ a „Analyzuj“ se tým zaměřuje na rozhodnutí, které ukazatele se mají studovat, jaká data shromažďovat, jak analyzovat a zobrazovat data, jak potenciální zdroje variability a jak interpretovat získaná data. V kroku „Vylepši“ je třeba zapojit kreativní myšlení o konkrétních změnách, které mohou být provedeny v procesu a také v dalších opatřeních, které

lze provést, aby měly požadovaný dopad na výkonnost a stabilitu procesu a zároveň použít analytické nástroje, například plánovaný experiment či testování hypotéz.

C – Řidí

Cílem posledního kroku je dokončit všechny zbývající práce na projektu a předat zlepšený proces vlastníkovému procesu spolu s plánem kontroly procesu a dalšími nezbytnými postupy, aby bylo zjištěno, jaké zisky projekt přinesl. To znamená, že cílem je zajistit, aby zlepšení procesu pomohlo společnosti i v budoucnu a pokud to bude možné, budou tato zlepšení implementována do dalších podobných procesů v podniku.

Vlastníkovi procesu by měly být poskytnuty údaje o klíčových procesních metrikách, operacích a vzdělávacích dokumentech a aktualizované aktuální mapy procesů. Plán řízení procesů by měl být systémem pro monitorování implementovaného řešení včetně metod a metrik pravidelného auditu. Kontrolní diagramy jsou důležitým statistickým nástrojem používaným v kontrolním kroku DMAIC; mnoho plánů řízení procesů zahrnuje kontrolní diagramy kritických procesních metrik.

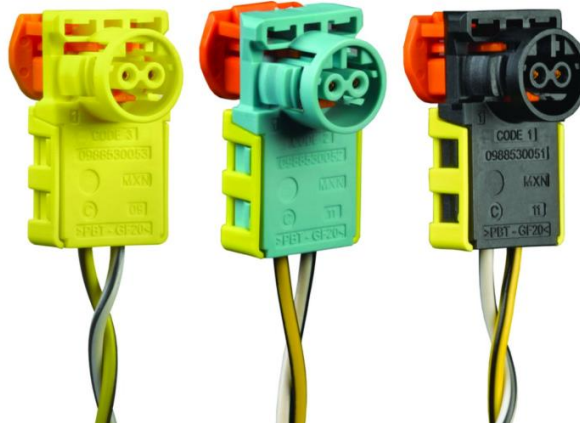
6 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ZMETKOVITOSTI

6.1 Přestavení společnosti Y

Společnost Y je světovým lídrem v oblasti konektivity. Jedná se o nadnárodní společnost, působící ve více než sto čtyřiceti zemích světa prostřednictvím prodejních a distribučních sítí. Provozuje více než sto výrobních a inženýrských center, zaměstnává více než osmdesát tisíc zaměstnanců a vlastní více než patnáct tisíc patentů po celém světě. Portfolio firmy je zaměřeno především na konektory a senzory, které nabízí ve třech hlavních segmentech trhu: dopravní, komunikační a průmyslový.

Stěžejními produkty jsou konektory, optická vlákna, přesné vodiče a kabely, antény těsnění a ochrana okruhů. Nabízí tak řešení, která pohánějí elektrická vozidla, letadla, digitální továrny a inteligentní domy. Představuje inovace, které umožňují zlepšení záchranné lékařské péče, efektivní sítě a globální komunikační strukturu.

Výrobní závod, ve kterém byla provedena praktická část této diplomové práce, se zabývá výrobou produktů určených pro automobilový průmysl. Závod se skládá z několika samostatných středisek jako je např. lisovna kovů, lisovna plastů, mechatronika atd. Tato práce analyzuje zmetkovitost na oddělení, které se zabývá výrobou konektorů (tzv. Squib konektor), jež jsou určeny do airbagů.



Obr. 6.1 Squib konektor [19]

Celá výroba těchto konektorů je plně automatická a celý proces je vždy proveden v rámci jediného stroje. Jedná se o výrobní linku typu „TransferLine“, což je přesný a flexibilní lineární systém pro automatické zpracování kabelů. [20]

Modulární a standardizovaný design základního systému stroje zajišťuje nákladově efektivní řešení a umožňuje přesné přizpůsobení pro požadovanou aplikaci. Koncepce nosiče nástrojů je určena speciálně pro axiální zpracování jednotlivých těles a více vodičových vedení.

Stanice pro podavače a montážní stanice jakož to i testovací stanice mohou být integrovány podle individuálních požadavků. Systém lze navíc rozšířit o periferní zařízení. [20]

„TransferLine“ je nejpřesnější a robustní základ pro automatizované aplikace v průmyslu zpracování kabelů. Více než sto těchto systémů je úspěšně provozováno u zákazníků po celém světě. [20]



Obr. 6.2 SHU "TransferLine" stroj pro výrobu kabelů [22]

6.2 Popis výrobního procesu

Oddělení nyní disponuje třemi TransferLine linkami, které jsou schopny zpracovat kabely o délkách 110 mm – 7500 mm, přičemž průřez vodiče je buď 0,14 mm² nebo 0,5 mm².

Všechny tři plně automatické linky nacházející se na daném oddělení, ač jsou různého stáří, mají obdobné schéma procesu. Každá linka se skládá z třiceti samostatných stanic, které jsou uloženy lineárně za sebou. Celý proces se dá shrnout do deseti základních kroků.

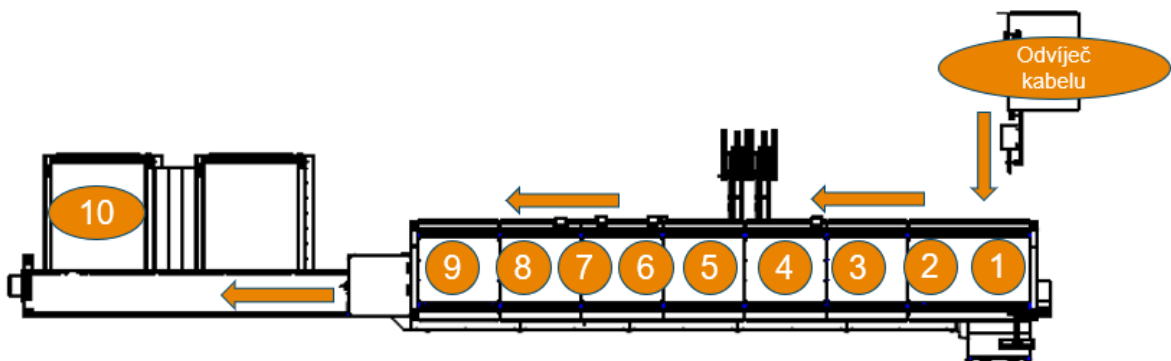
První krok je stříh kabelu. Kabel je odvíjen z cívky přímo do stroje, kde je hned v první stanici ustřižen na požadovanou délku. V tu chvíli je kabel umístěn do tzv. vozíku, díky němuž se kabel dostává k jednotlivým stanicím. Následuje odizolování dvou vodičů. Kabel je obvykle „twistovaný“ – dva vodiče jsou spleteny dohromady, může být ale i tzv. „single“ – v tu chvíli jsou v jednom vozíku umístěny oba kabely. Dalším krokem je krimpování kontaktů na každý vodič, kdy pak následně mohou být vodiče vloženy do tzv. „housingu“, na ten je v dalším kroku

nasazeno víko a poté je přidána pojistka, která je ovšem vložena jen do předpolohy a to z důvodu dalšího zpracování u zákazníka.



Obr. 6.3 Konektor s twistovaným kabelem

Součástí linky je také testovací stanice, tzv. „EOL“ (End of line) tester. Ten zkontroluje funkční a vizuální parametry, které byly předem stanoveny pomocí FMEI. V případě, že je kus vyhodnocen jako NOK – nesplňuje předepsané parametry a byl vyhodnocen jako neshodný výrobek, poslední stanicí je stříhač, který takový kabel přestřihne a výrobek tím znehodnotí. Naopak OK kus po pozitivním testu vyjede na odkládací pás, kde je již odebrán operátorem, zkontrolován dle zkušebního plánu, vizuálních pomůcek a posléze zabalen.



Obr. 6.4 Stručné schéma výrobní linky „TransferLine“

6.3 Použití metody SPS

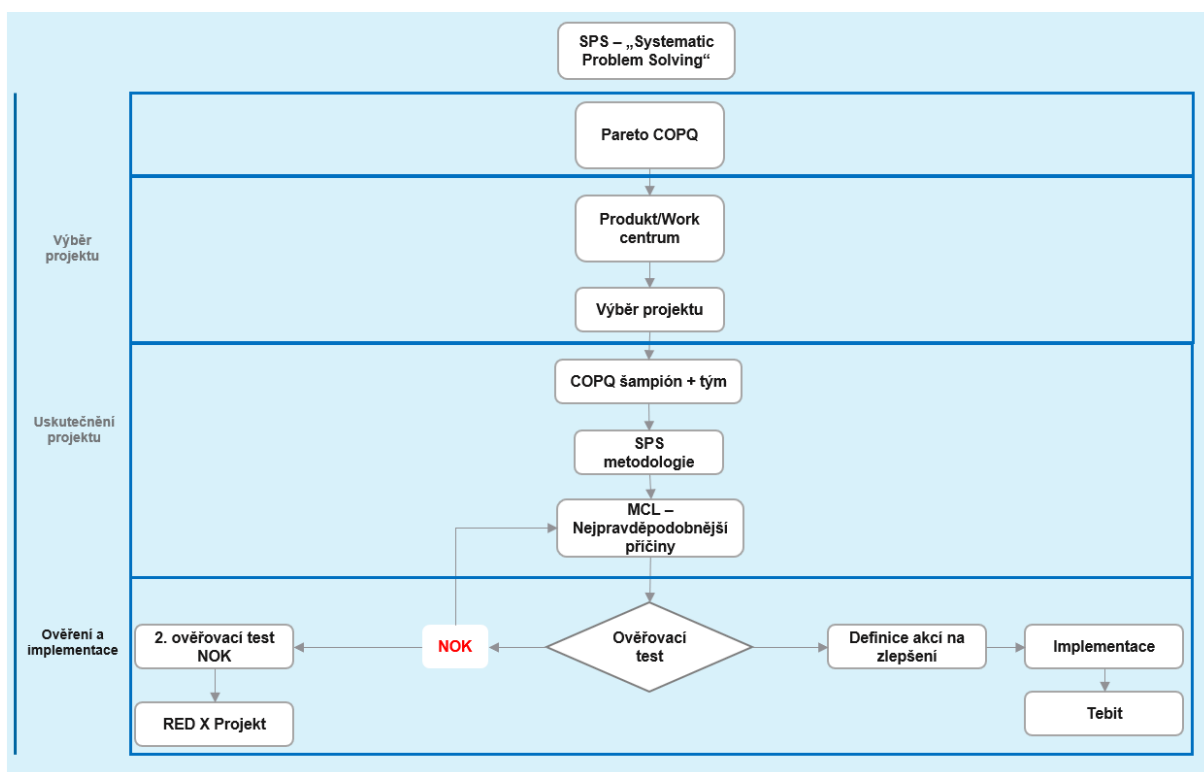
Společnost Y používá k analýze nákladů na zmetkovitost, COPQ – Cost of Poor Quality „Náklady na nekvalitu“. Tyto náklady vznikají v důsledku výroby neshodných produktů, tzv. NOK kusů. Jinak řečeno jsou to náklady, které by zmizely, kdyby všechny systémy, procesy a produkty byly dokonalé.

Zahrnuje také náklady na ztrátu příležitosti v důsledku ztráty zdrojů použitých při nápravě vady. Tato cena zahrnuje veškeré náklady na práci, náklady na přepracování, náklady na vyřazení a náklady na materiál, který byl do produktu přidán, až do okamžiku jeho vyhodnocení jako neshodného výrobku. Zároveň zahrnuje náklady na interní/externí třídění z důvodu reklamace či nalezení neshody a následného ohraničení podezřelé výroby. [21]

COPQ by mělo obsahovat materiálové a pracovní náklady na výrobu a opravu vadného produktu. Pokud jsou během výroby přítomna kontrolní stanoviště, může zahrnovat také část nákladů na posouzení kvality produktu. [21]

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že v případě nákladu na nekvalitu není nejpodstatnější počet neshodných kusů, ale především jejich cena. Je tedy důležité sledovat Pareto dle COPQ, ne podle počtu kusů neshodných výrobků.

V této diplomové práci je při analýze zmetkovitosti na daném středisku využita také metoda SPS, jež byla použita jako vhodný systémový prostředek pro analýzu, následné zjištění příčiny problému a definici nápravného opatření.



Obr. 6.5 Flowchart SPS (Převzato z [22])

Prvním krokem dle metody SPS je analýza COPQ je Paretovi analýzy (graf 6.1). V rámci analýzy byla použita data z období 29/09/2018 – 05/03/2019. Z důvodu utajení důvěrných informací nejsou v diplomové práci zveřejňována finanční data, s kterými bylo po celou dobu pracováno.

Za výše zmíněné období bylo COPQ daného střediska 1,2 % (obr. 6.6), přičemž cíl střediska pro fiskální rok 2019 je 1 %. Z toho důvodu je potřeba najít místa v procesu s největším podílem na COPQ a v nich následně provést určitá opatření/vylepšení a tím snížit COPQ minimálně o 0,2 %.

6.3.1 Výběr projektu dle velikosti COPQ

Z důvodu neplnění cíle na COPQ, který byl zadán managementem firmy na začátku fiskálního roku, byl v prvním kroku aplikován Paretův diagram na COPQ. V tomto diagramu jsou obsažena data ze všech workcenter, kterými dané oddělení disponuje. V danou chvíli jsou to tři plně automatické výrobní linky pro Squib konektory a dále několik karuselových, opět plně automatických linek na před-asebláž plastových pojistek.

Z následujících dvou tabulek je jasně patrné, jak důležité je si ujasnit, čeho ze získaných dat chceme dosáhnout. V tab. 7.1 jsou workcentra seřazena dle velikosti COPQ. Na první místo se dostalo workcentrum Q-826 s 2,19 %, přičemž podíváme-li se do tab. 7.2, kde jsou workcentra seřazena dle celkové ceny neshodných výrobků, toto workcentrum se dostalo až na místo páté. Proto je nesmírně důležité vytvořit Paretův diagram dle ceny zmetků, ne dle velikosti COPQ, což by mohlo vést k velkému omylu.

Tab. 6.1 Seřazení workcenter dle velikosti COPQ

Workcentrum	COPQ	Vyrobena kusů	Cena kusů (Kč)	Scrap kusů	Cena scrap (Kč)
Q-826	2,19 %	300 763		6 682	
Q-807	2,11 %	1 790 925		37 394	
Q-822	2,08 %	1 480 802		30 388	
Q-726	1,56 %	2 288 654		36 725	
Q-825	0,68 %	307 153		2 051	

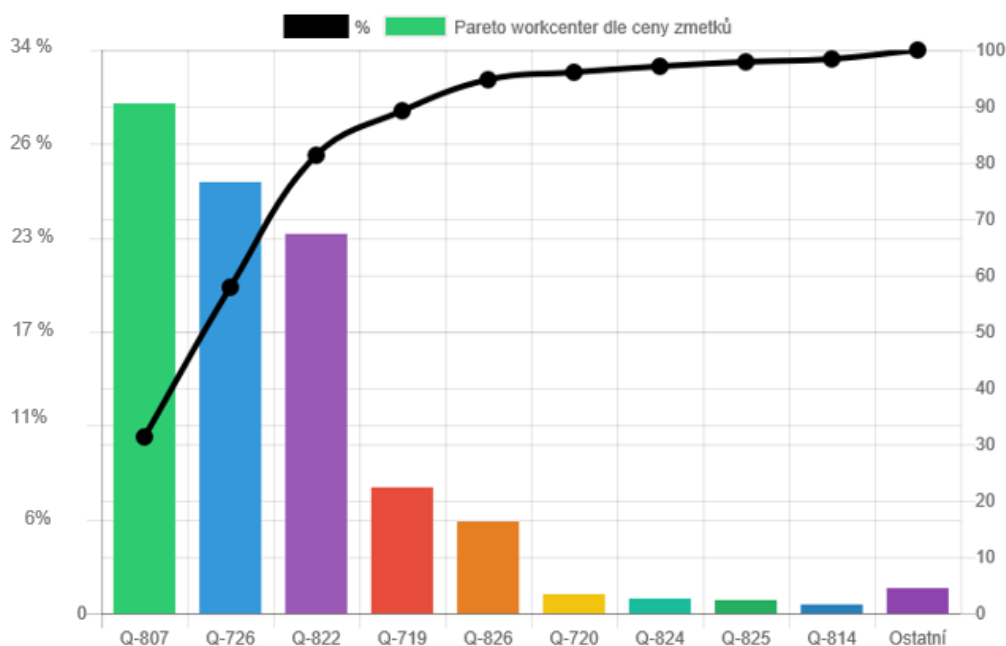
Tab. 6.2 Seřazení workcenter dle ceny neshodných výrobků

Workcentrum	COPQ	Vyrobena kusů	Cena kusů (Kč)	Scrap kusů	Cena scrap (Kč)
Q-807	2,11 %	1 790 925		37 394	
Q-726	1,56 %	2 288 654		36 725	
Q-822	2,08 %	1 480 802		30 388	
Q-719	0,43 %	1 543 175		6 922	
Q-826	2,19 %	300 763		6 682	

Z Paretova diagramu (graf 6.1*) a tab. 6.3 je patrné, že největšími přispívajícími COPQ jsou tři linky – Q-807, Q-726, Q-822, které jsou všechny určené pro asebláž Squib konektorů. Tento výsledek zcela odpovídá využití těchto linek a ceně produktů, které vyrábí. V dalších krocích je tedy zapotřebí se soustředit především na tyto tři linky.

*Následující grafy jsou autentické z firemního systému, z toho důvodu se v nich vyskytuje slangový pojem „zmetky“, i když v psané části práce je tento výraz nahrazen pojmem „NOK kus“

Graf 6.1 Paretův diagram workcenter dle ceny neshodných výrobků



Tab. 6.3 Procentuální poměr, jakým se workcentrum podílí na celkovém COPQ

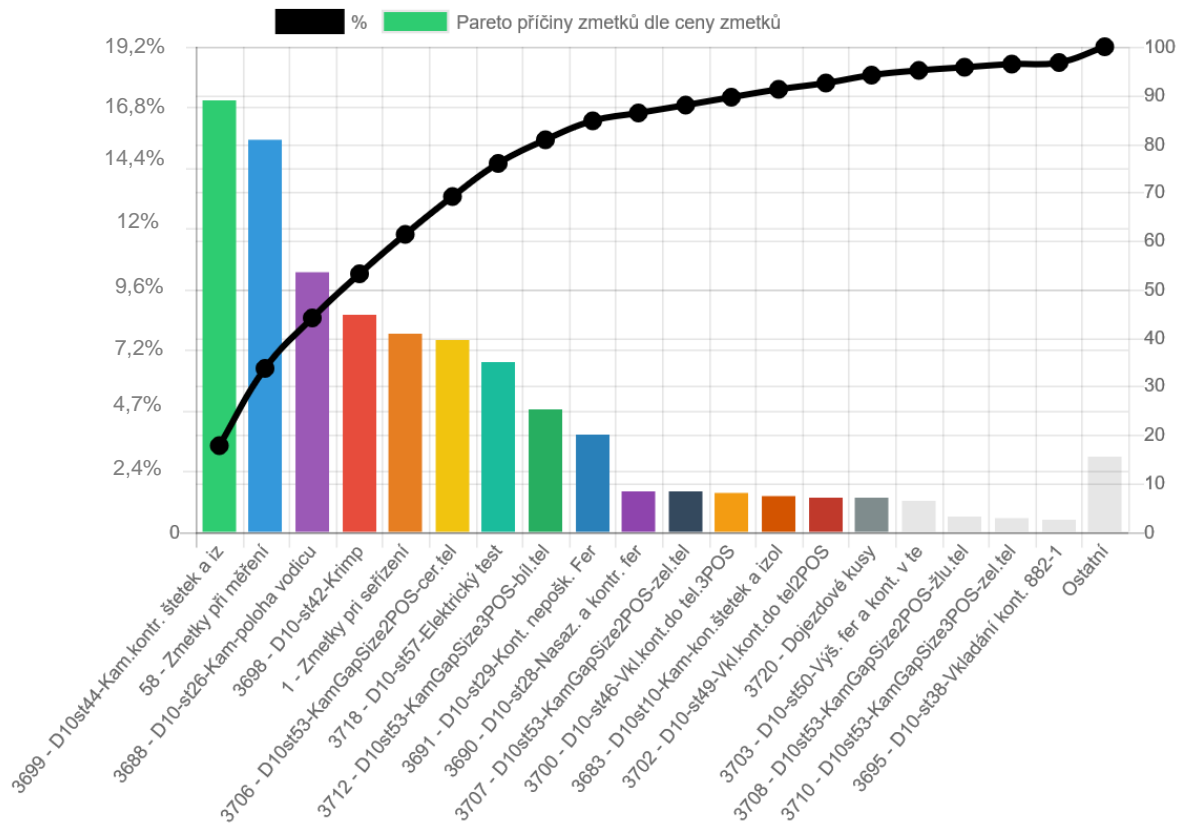
Workcentrum	Cena zmetků (Kč)	Poměr
 Q-807		31,4%
 Q-726		26,6%
 Q-822		23,4%
 Q-719		7,8%
 Q-826		5,7%
 Q-720		1,2%
 Q-824		0,9%
 Q-825		0,9%
 Q-814		0,6%
Ostatní		1,6%

Přestože se má standardně začínat od příčiny s největším podílem na velikosti COPQ, v této diplomové práci bude věnována pozornost workcentru Q-822, jelikož velikost COPQ workcenter Q-807 a Q-726 je již řešena v rámci jiného projektu.

Výběr Q-822 by měl zároveň pomoci snížit náklady na nekvalitu v budoucnu, jelikož velikost COPQ je silně ovlivňována objemem produkce a ten bude na workcentru Q-822 v následujících měsících zvyšován.

Následně byl opět vytvořen Paretoův diagram, tentokrát jen pro workcentrum Q-822. Zde už je patrný rozpad příčin na jednotlivé chyby, které vznikají na různých stanicích. Každá chyba má svůj číselný kód a název.

Graf 6.2 Pareto příčiny neshodné výroby workcentra Q-822 dle ceny neshodných výrobků



Tab 6.4 Procentuální poměr, jakým se chyba podílí na celkovém COPQ

Příčina zmetků	Cena zmetků	Množství zmetků	Poměr
3699 - D10st44-Kam.kontr. štetek a iz		5 463	17,6%
58 - Zmetky při měření		5 098	16%
3688 - D10-st26-Kam-poloha vodiču		3 199	10,6%
3698 - D10-st42-Krimp		2 474	8,9%
1 - Zmetky při seřizení		2 328	8,1%
3706 - D10st53-KamGapSize2POS-cer.tel		3 442	7,8%
3718 - D10-st57-Elektrický test		1 903	6,9%
3712 - D10st53-KamGapSize3POS-bíl.tel		636	5%
3691 - D10-st29-Kont. nepošk. Fer		1 164	3,9%
3690 - D10-st28-Nasaz. a kontr. fer		523	1,7%
3707 - D10st53-KamGapSize2POS-zel.tel		656	1,7%
3700 - D10-st46-Vkl.kont.do tel.3POS		219	1,6%
3683 - D10st10-Kam-kon.štetek a izol		175	1,4%
3702 - D10-st49-Vkl.kont.do tel2POS		626	1,4%
3720 - Dojezdové kusy		578	1,4%

Při pohledu na tento rozpad chyb je počet příčin, které je třeba vyřešit, mnohem větší než v předešlém diagramu. Je opět potřeba začít od první příčiny. Ta je ovšem znovu řešena v rámci projektu zmíněného výše, jelikož se tato chyba na prvním místě objevuje na prvním místě u všech tří linek. Tyto linky se totiž liší svým stářím a dále také možnostmi, jaké typy kabelů se na nich dají vyrábět (průřez vodiče, délka kabelu atd.). Konstrukčně jsou ale velmi podobné.

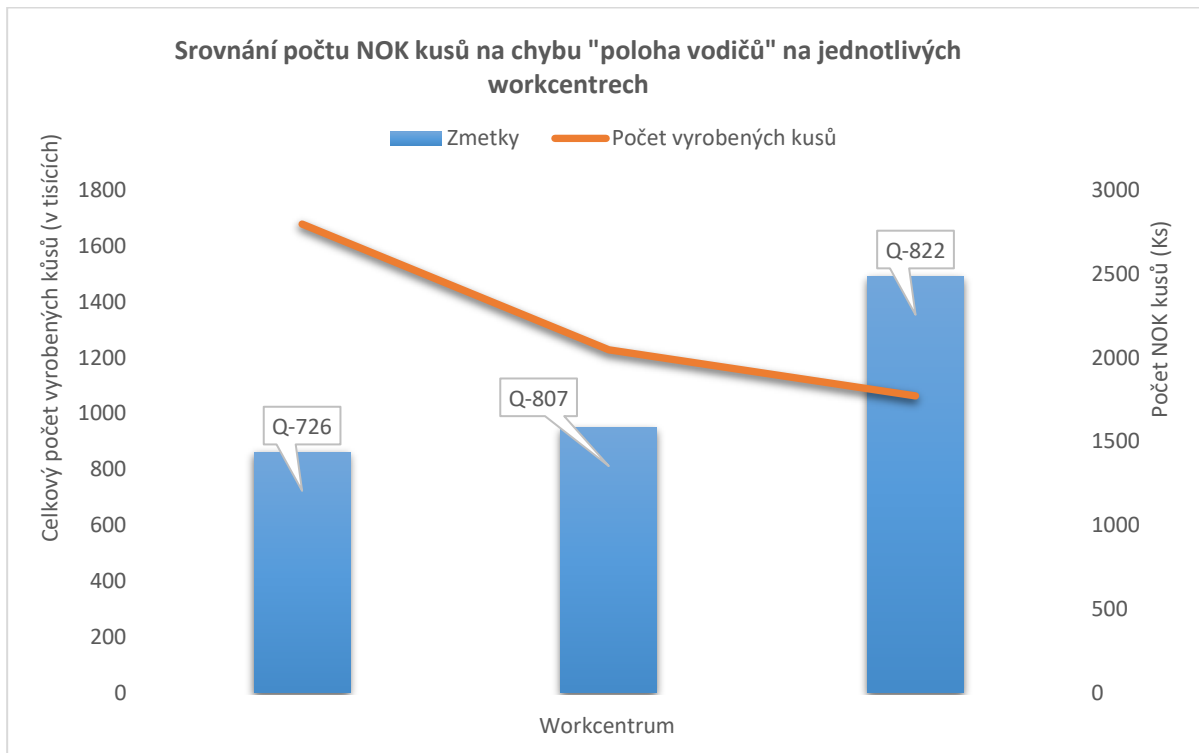
Druhou příčinou jsou „zmetky z měření“, ty představují nezbytné náklady na kvalitu produktu, frekvence měření a počet kusů. Jsou jasně definovány v kontrolním plánu a jejich počet již nelze zredukovat, přesto jsou jako náklad na nekvalitu do COPQ započítávány.

Skutečnost, že všechny tři stroje jsou si konstrukčně podobné a mají stejné fáze výroby, byla využita v následujícím kroku. V grafu 6.2 byl porovnán počet NOK kusů na třetí chybu v pořadí 3688-D10.st.26-Kam-poloha vodičů – dále jen „poloha vodičů“, v rámci tří linek. I přesto, že na lince Q-822 bylo za dané období vyrobeno nejméně kusů, počet zmetků na tuto chybu je zde téměř dvojnásobný v porovnání s ostatními výrobními linkami.

Tab. 6.5 Počet vyrobených kusů vůči neshodným výrobkům na jednotlivých workcentrech

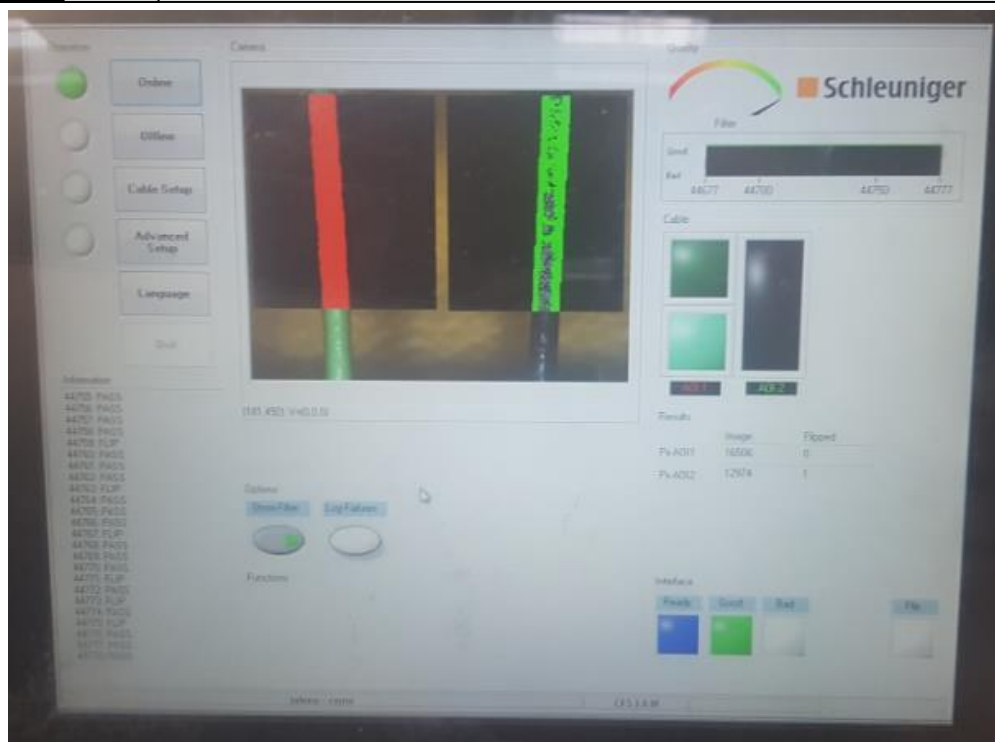
	NOK kusy	Počet vyrobených OK kusů
Q-726	1435	1678794
Q-807	1583	1228314
Q-822	2486	1063512

Graf 6.3 Chyba "poloha vodičů" na jednotlivých workcentrech



6.3.2 Uskutečnění projektu

Chyba „poloha vodičů“ se vyskytuje na stanici, která se nachází na začátku procesu. Workcentrum Q-822 zpracovává jen twistované kabely, které se musí rozmotat (roztwistovat), aby se na každý vodič mohl nakrimpovat kontakt. Tak vzniknou dva volné konce dlouhé cca 10 mm. Vyhodnocení, zda vodiče byly rozmotány tak, jak je požadováno, je provedeno kamerovým systémem. Toto vyhodnocení je čistě atributivní – ve zvoleném regionu se musí vždy nacházet jeden vodič, jak je ukázáno na obrázku 6.8, zároveň je kontrolována barva, jelikož vodiče jsou různobarevné. Ve výkrese je vždy uvedeno, který vodič má být na které straně. V případě, že kamera zaznamená barvu vodiče na špatné straně, stanice, která následuje, kabel pootočí.



Obr. 6.8 Kamerové vyhodnocení polohy vodičů

Jelikož chyba „poloha vodičů“ nebyla za celou dobu provozu linek více analyzována, nebylo možné říci, v čem přesně tato chyba spočívá. I přesto, že tato kontrola je vyhodnocována kamerovým systémem, nikde nejsou ukládány fotky, ani jiná data.

Z toho důvodu musela být využita externí kamera, která byla krátkodobě přidělána k workcentru Q-822 a snímala obrazovku kamerového systému. Vzniklo tak video, ze kterého bylo patrné, co všechno pojem „poloha vodičů“ může obsahovat. Opakovaly se čtyři následující případy:

- Dva vodiče se nacházely v jednom regionu
- Žádný vodič nebyl ani v jednom regionu přítomen
- Byl přítomen jen jeden vodič v jednom regionu
- Překřížené vodiče – vodič byl ve svém regionu, ale zároveň i v sousedním



Obr. 6.9 Foto chyb vyskytujících se na st. 26

Z video záznamu nebylo možné zjistit systematickou chybu, nikdy se nevyskytlo více chyb za sebou.

Dalším krokem bylo zjistit, zda tato chyba nenastává převážně např. u jednoho druhu produktu. Výroba na stroji Q-822 je vcelku monotónní – do procesu vstupuje jen pár komponentů, které jsou tvarově stejné a liší se pak pouze v maličkostech, případně jen barvou. Stroj Q-822 dokáže zpracovat kabely o dvou průřezech – 0,35 mm² a 0,5 mm². Tyto kabely pak mají různá PN, která v první řadě označují průřez kabelu, současně ale jeho barvu, případně kombinace barev – vodič může být jednobarevný nebo také dvoubarevný.

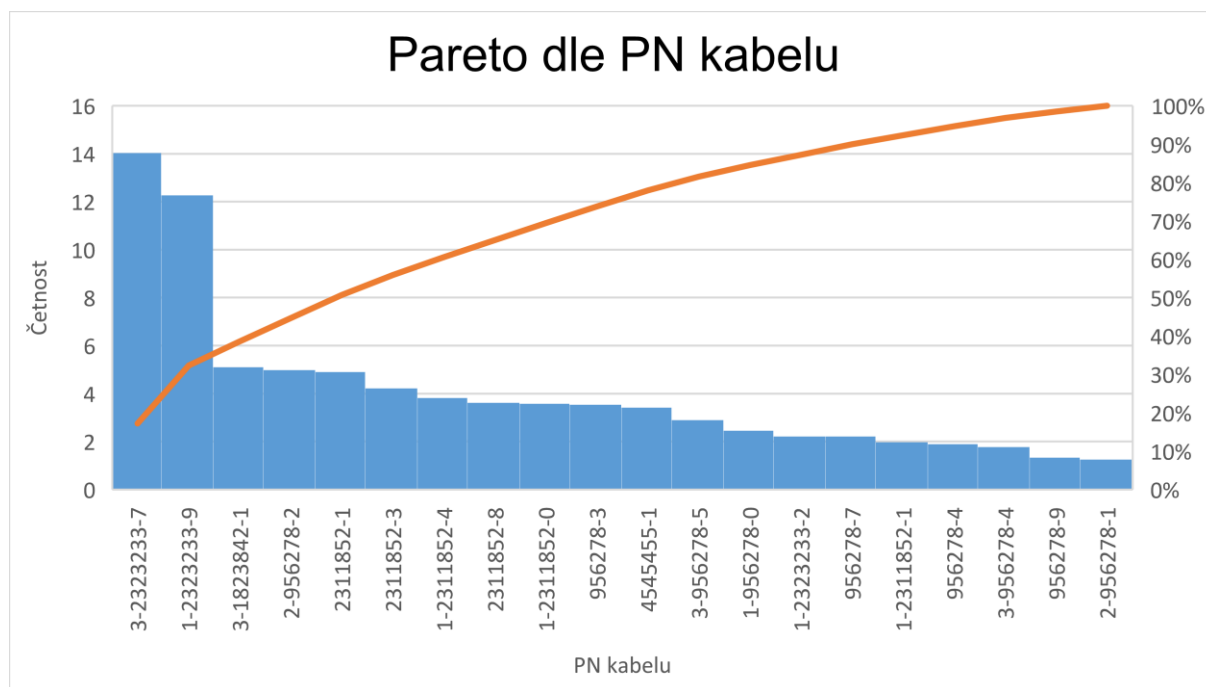
Ze získaných dat byl vytvořen Paretův diagram NOK kusů dle PN kabelu, ze kterého je vyroben finální produkt. Pareto dle PN finálního produktu nemělo smysl, jelikož množství vyráběných produktů je obrovské a i v případě, že dva produkty jsou naprosto totožné, mají jiné PN finálního produktu kvůli rozlišení, pro kterého zákazníka je produkt určený. Naopak PN kabelu je jen jedno. Určené je podle druhu kabelu a je již dáno dodavatelem.

Tab. 6.6 Přiřazení typu kabelu dle PN

PN Kabelu	Četnost %	Typ Kabelu [mm ²]
3-2323233-7	14	0,5
1-2323233-9	12	0,5
3-1823842-1	5	0,5
2-956278-2	5	0,35
2311852-1	5	0,35
2311852-3	4	0,35
1-2311852-4	4	0,35
2311852-8	4	0,35
956278-3	4	0,35
4545455-1	3	0,5
3-956278-5	3	0,35
1-956278-0	2	0,35
1-2323233-2	2	0,5
956278-7	2	0,35
1-2311852-0	2	0,35
1-2311852-1	2	0,35
956278-4	2	0,35
3-956278-4	2	0,35
1-2311852-0	2	0,35
956278-9	1	0,35
2-956278-1	1	0,35

V tabulce 6.2 lze vidět, že zmetkovitost je větší u kabelu 0,35 mm², což ovšem bylo porovnáno s rozpisem výroby. Tento rozdíl koresponduje s tím, že kabely o průřezu 0,35 mm² se zpracovávají častěji než kabely o průřezu 0,5 mm².

Graf 6.4 Paretův diagram dle PN kabelu



Po získání faktických informací pomocí grafů a Pareto analýzy. Dalším krokem bylo dát těmto informacím strukturovanou podobu a spojit je se zkušenostmi seřizovačů, kteří pracují se strojem prakticky denně. V tom spočívá základní princip použité metody SPS. Příklad práce s touto metodou a zaznamenávání všech kroků je vidět na obr. 6.10. Z důvodu, že je tato metoda licencována, není možné ji v této práci detailněji popsat a vysvětlit přesný postup, který byl použit během této metody.

V první kroku SPS bylo cílem definovat oblast problému, tento krok spočívá v položení 10 základních otázek, které se dají rozdělit do čtyř kategorií:

- 1) Co?
- 2) Kde?
- 3) Kdy?
- 4) Množství?

Cílem je, pomocí těchto otázek definovat oblast problému, která se dá do kontrastu. Jinými slovy se definuje, kde je problém pozorován/hlášen a kde naopak tento problém není pozorován/hlášen. Samozřejmě ne vždy je možné na danou otázku odpovědět.

Druhým krokem bylo nalezení potenciální příčiny, kdy tým vydefinoval vysoce pravděpodobné příčiny na základě jejich názoru a zkušeností.

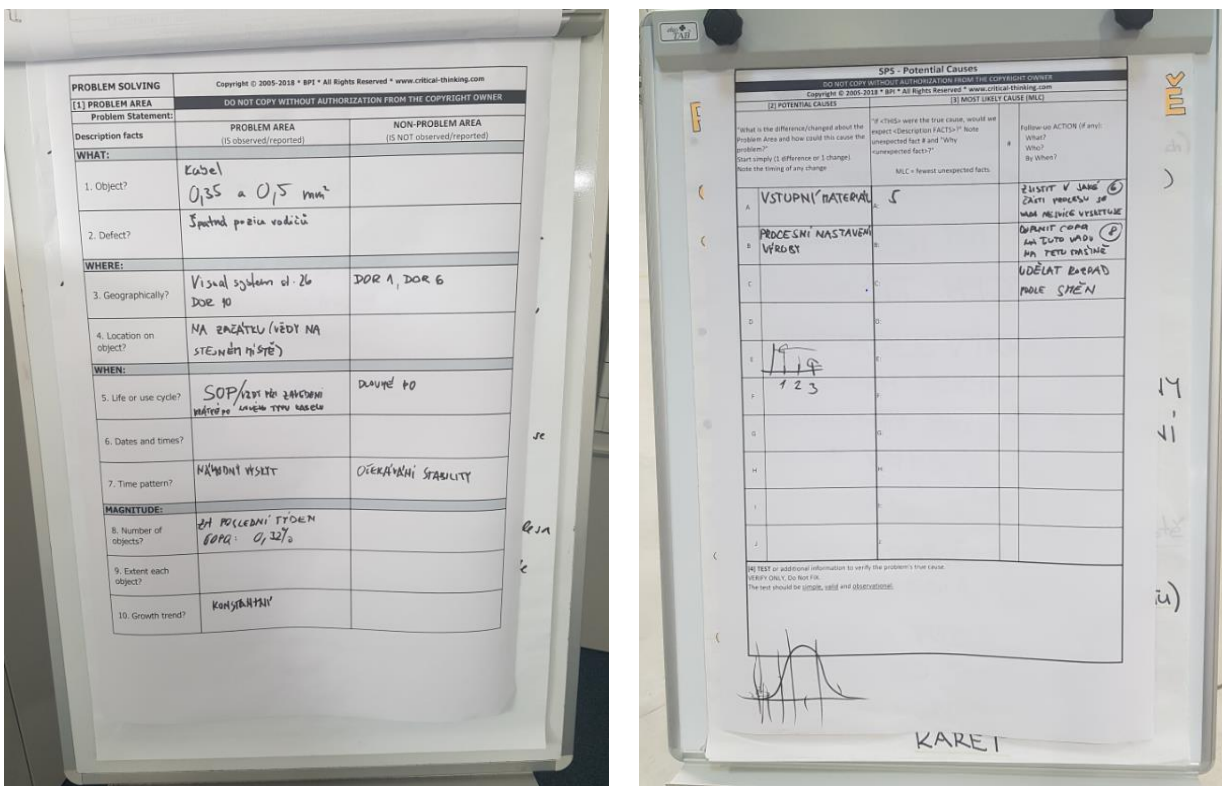
Ve třetím kroku bylo cílem určit, která z potenciálních příčin se nejvíce hodí k dostupným faktům, které byly uvedeny v kroku jedna. U každé předpokládané příčiny bylo důležité položit si otázku „Pokud je tato příčina správná, očekávali bychom tato fakta?“.

Jako dvě nejpravděpodobnější příčiny byly určeny:

- 1) Vstupní materiál – jelikož je linka Q-822 hodně univerzální, kde se vstupní materiál kabelu hodně mění, mají tyto kabely na proces velký vliv. Na rozdíl od procesu ovšem kabely „vylepšit“ nemůžeme, tudíž se práce dále zaměřuje na samotný proces
- 2) Procesní nastavení výroby

Jelikož po určení nejpravděpodobnějších příčin, nebylo vlastně jasné, na jakou část procesu se zaměřit, byly vydefinovány následné dvě akce na získání více informací:

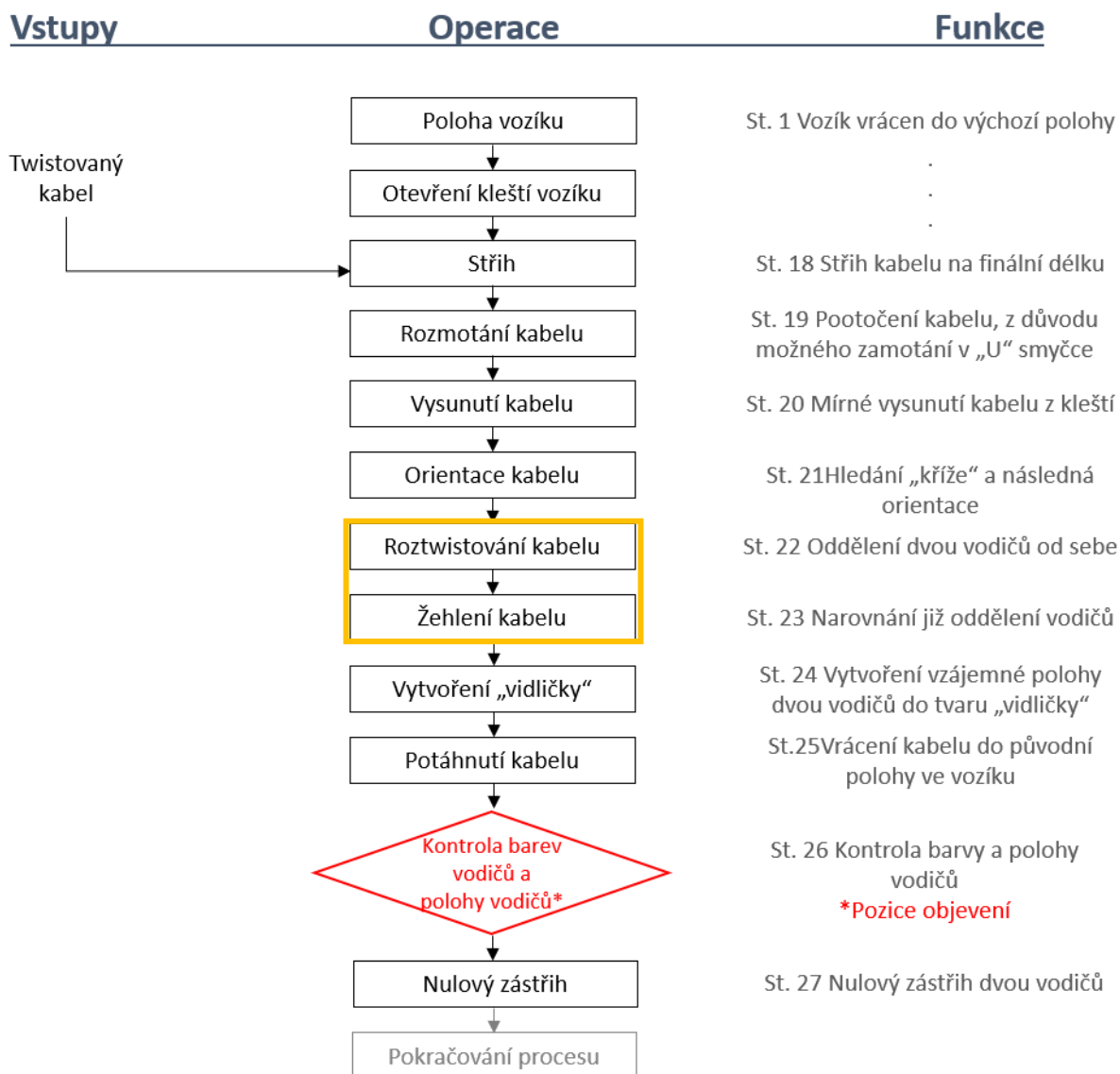
- 1) Tvorba vývojového diagramu
- 2) Quick Changeover



Obr. 6.10 Použitý formulář během metody SPS

Vývojový diagram

Aby bylo více zřejmé, na jakou část se v procesu zaměřit, bylo nezbytné vytvořit vývojový diagram. Přesto, že samotný proces se skládá z mnohem více kroků (= stanic), vývojový diagram na obrázku 6.14, je zaměřen pouze na určitou relevantní část procesu, tj. od začátku až do prvního kontrolního bodu, tj. pozice objevení zkoumané vady. Další části procesu v této diplomové práci nejsou podstatné, a tudíž nejsou uvedeny.



Obr. 6.11 Procesní vývojový diagram

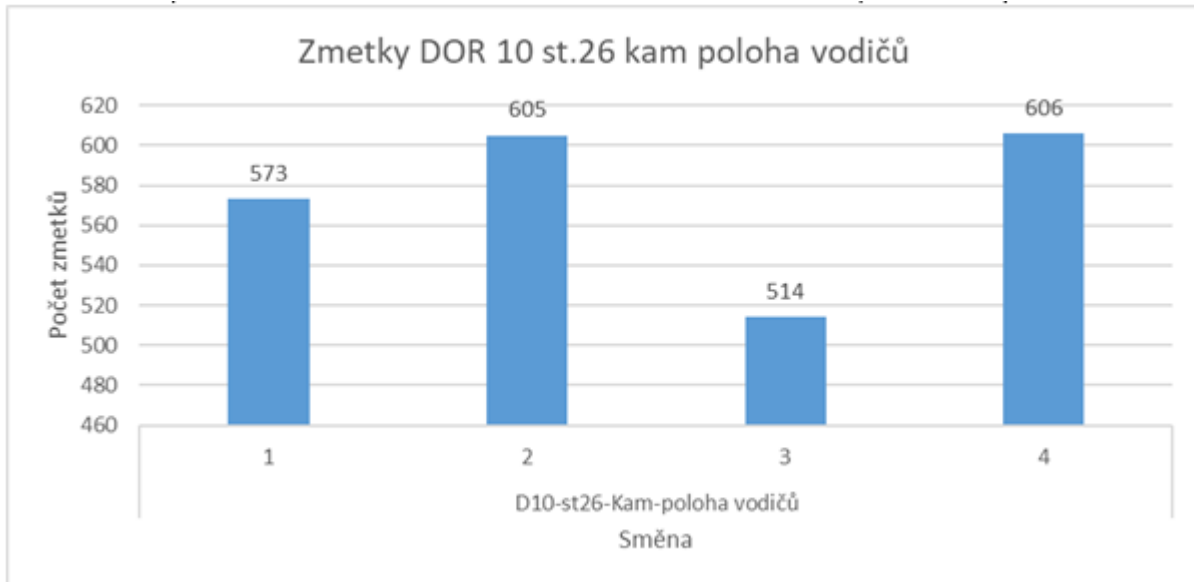
Ve žlutém rámečku jsou vyznačeny dva kroky, které by mohly mít vliv na vznik zkoumané vady. Těmto krokům bylo potřeba věnovat jim větší pozornost.

Když jsme chtěli zjistit, jak a na jaké hodnoty jsou tyto stanice nastavovány, zjistili jsme, že neexistují žádné pracovní pokyny pro tyto dvě stanice a seřizovači je v případě, že zmetkovitost se na kontrolní stanici 26 zvýší, seřizují podle „pocitu“. To samozřejmě může mít na tuto chybu velký vliv, už jen z toho důvodu, že ve firmě je provoz čtyř směnný a na každé směně jsou tři seřizovači.

Proto byl vytvořen graf 6.5, ve kterém je zobrazeno, kolik NOK kusů bylo ve třech měsících vyrobeno během každé směny. V grafu lze vidět, že směny 2 a 4 mají o téměř 100 NOK kusů více, než směna 3. Zde je ovšem důležité podotknout na další nedostatek, který byl

během tvoření grafu zjištěn. V případě analýzy dat za delší časový úsek, je z databáze prakticky nemožné získat počet OK kusů, které byly vyrobeny během jednotlivých směn. V tomto případě, se tedy dá jen předpokládat, že během tří měsíců byl vyroben podobný počet OK kusů. Tento předpoklad byl podpořen kontrolou dat, kdy linka Q-822 vyráběla.

Graf 6.5 Počet NOK kusů st. 26 během výroby každé jedné směny za období tří měsíců



Quick Changeover

Dalším krokem byl Quick Changeover u tří směn (určených na základě dat z grafu 6.5) a následně jejich porovnání. I když je tento pojem standardně spíše spojován s metodikou Lean a aplikuje se především za účelem snížení ztrát, v určitých případech se dá využít i pro sledování rozdílu přístupu/techniky mezi směnami.

Z analýzy nastavení polohy kabelů pod kamerou bylo zjištěno:

- 1) Až 1/5 zmetků je způsobena kamerovým systémem při změně cívky (v rámci stejného PN kabelu) nebo změně výroby. Vodiče na různých cívkách mohou mít různé odstíny barvy, což pak často vede k nutnému přenastavení kamery seřizovačem. Bohužel, než si toho seřizovač všimne, vede ke generování několika jednotek až desítek NOK kusů
- 2) Stanice Roztwistování a Žehlení kabelu jsou z pohledu nastavení polohy vodičů nejdůležitější

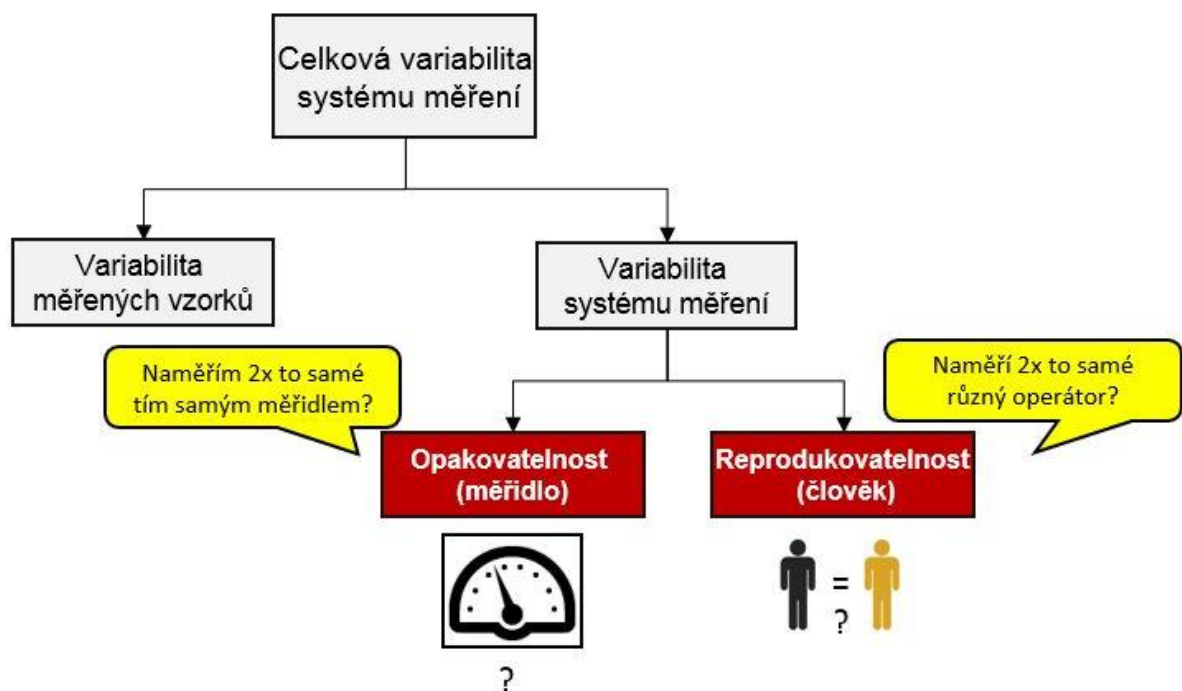
6.4 MSA [7] [24]

K tomu, aby se data dala pokládat za spolehlivá, je třeba ověřit, zda měřicí systém funguje správně. Jedná se o tzv. analýzu systému měření – MSA. Cílem je potvrdit, že výsledky měření nejsou ovlivněny ani měřidlem, ani osobou (neplatí u kamerových systémů, kde člověk na reprodukovatelnost nemá žádný vliv), která měření provádí, nebo postupem měření.

Analýzu lze aplikovat jak na variabilní, tak na atributivní data. Standardně se v analýze hodnotí opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Opakovatelnost – schopnost měřidla dosáhnout stejného výsledku při opakovaných měřeních a za stále stejných podmínek

Reprodukovatelnost – schopnost různých osob dosáhnout stejných výsledků se stejným měřidlem a za stále stejných podmínek



Obr. 6.12 Analýza systému měření [24]

Jelikož analyzovaná data jsou atributivní, bylo ověřováno procento shody a Cohenovo Kappa. Kontrola na stanici č. 26 je prováděna kamerovým systémem, tudíž operátor nemá na reprodukovatelnost vliv. Jelikož stroj obsahuje velký počet vozíků, do kterých je kabel na začátku procesu vložen, byly zvoleny tři konkrétní vozíky pro ověření nejen opakovatelnosti, ale i reprodukovatelnosti. Celkem bylo ověřeno 50 vzorků. Každý vzorek byl do každého vozíku vložen celkem třikrát. Ve všech případech kamerový systém vyhodnotil vzorek dobře, opakovatelnost tedy je 100 % a Cohenovo Kappa má hodnotu 1. Detail analýzy lze vidět na obr. 6.13.

		Kappa	A	B	C	Ref				
Vozík 1	A	-	1,00	1,00	1,00	1,00	≥ 0,90	Acceptable for appraiser		
Vozík 2	B	1,00	-	1,00	1,00	1,00	≥ 0,80	Marginally acceptable for appraiser		
Vozík 3	C	1,00	1,00	-	1,00	1,00	< 0,80	Unacceptable for appraiser		
Visual inspection has to be yellow at least / Gauge inspection has to be green										
% among appraisers		100%								
% All appraisers vs Ref values		100%								
% between trails		100%			100%		100%			
% Trails result vs Ref value		100%			100%		100%			
Appraiser:		A			B			C		
Name:		Vozík 1			Vozík 2			Vozík 3		
Measure or Characteristic	Ref value	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
Part Number:										
1	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
2	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
3	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
4	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
5	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
6	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
7	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
8	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
9	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
10	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
11	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
12	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
13	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
14	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
15	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
16	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
17	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
18	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
19	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
20	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
21	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
22	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
23	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
24	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
25	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
26	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
27	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
28	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
29	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
30	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
31	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
32	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
33	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
34	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
35	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
36	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
37	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
38	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
39	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
40	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
41	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
42	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
43	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
44	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
45	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
46	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
47	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
48	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
49	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
50	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s

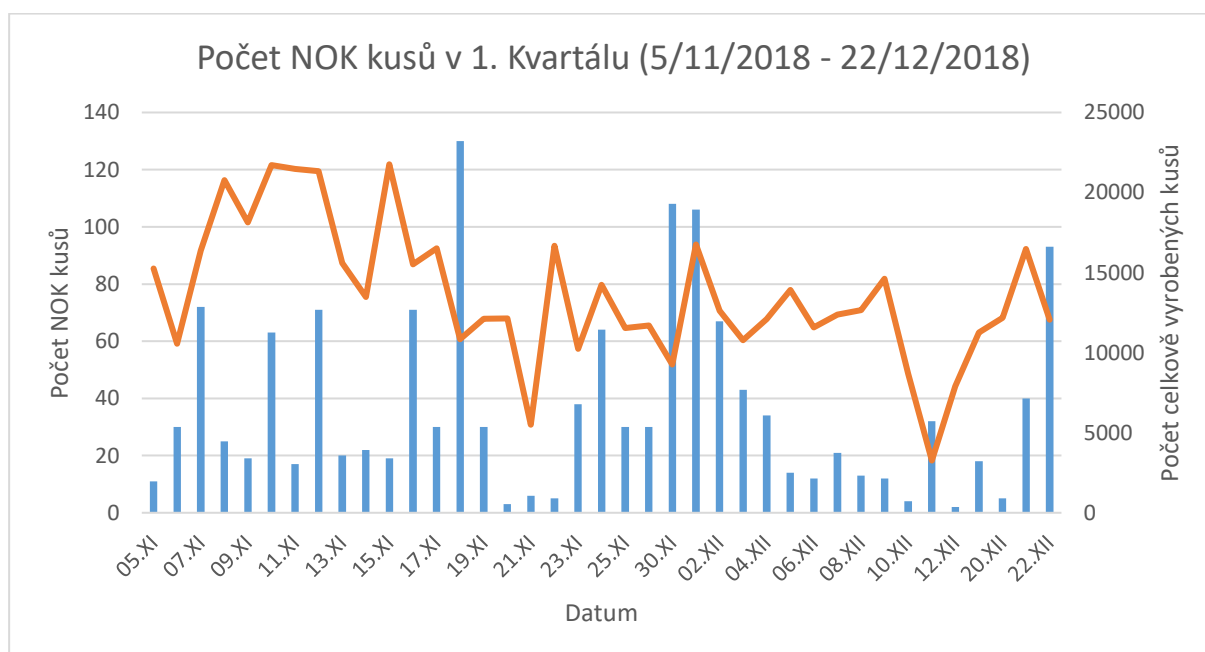
Obr. 6.13 MSA

6.5 Tvorba regulačního diagramu

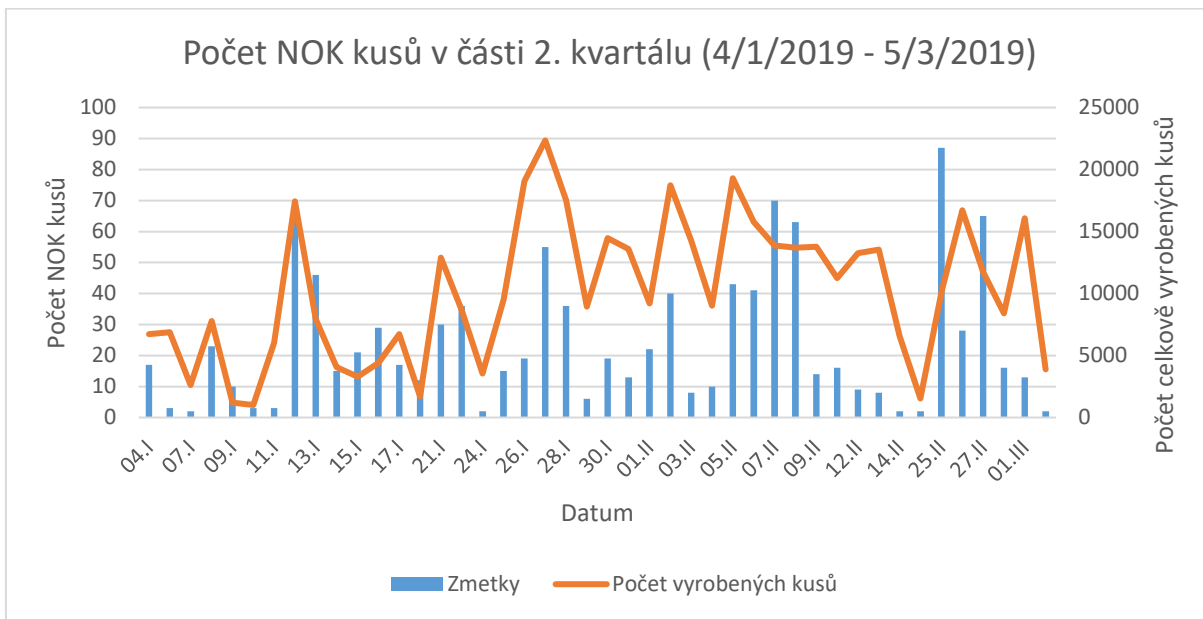
V této diplomové práci jsou zpracovávána data z prvního a z části druhého kvartálu. Níže jsou dva tzv. „Run-charty“, které ukazují, jak velká byla zmetkovitost na st. 26 během každého dne v porovnání s počtem vyrobených OK kusů tohoto dne. V grafech lze pozorovat, že v některých dnech byl počet NOK kusů nízký a objem výroby vysoký, anebo naopak počet NOK kusů byl vysoký a objem výroby mnohem menší.

Z toho důvodu byl na tato data aplikován regulační digram, aby bylo zjištěno, zdali je proces ve statisticky zvládnutém stavu.

Graf 6.6 Run-chart 1. kvartál

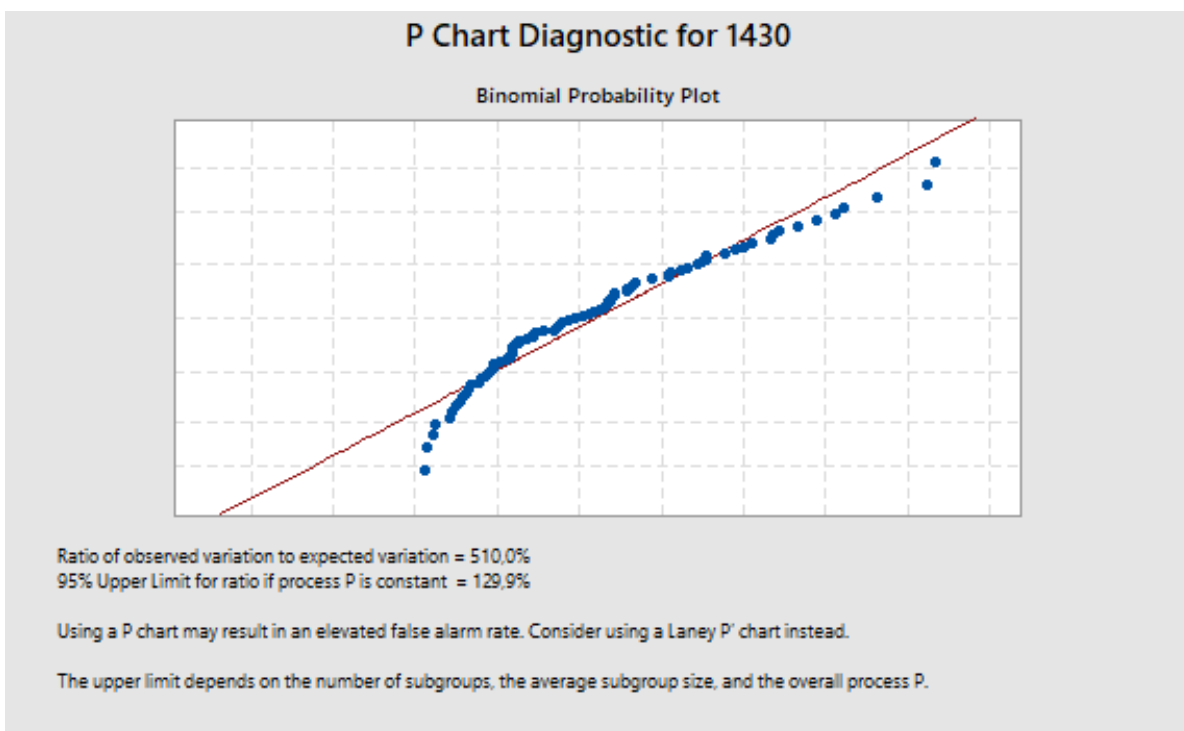


Graf 6.7 Run-chart část 2. kvartálu



Jelikož data, s kterými se pracuje, jsou atributivní – tedy neměřitelné, byl na ně aplikován diagram pro počet neshodných jednotek, u kterých není počet podskupin konstantní: P-diagram.

U dat, které reflektují počet neshodných jednotek, se předpokládá, že mají binominální rozdělení. Z toho důvodu byl v rámci prvního kroku předpoklad ověřen aplikací grafu pro binomické pravděpodobnostní rozdělení. Níže zobrazované grafy, byly vytvořeny v programu MINITAB.



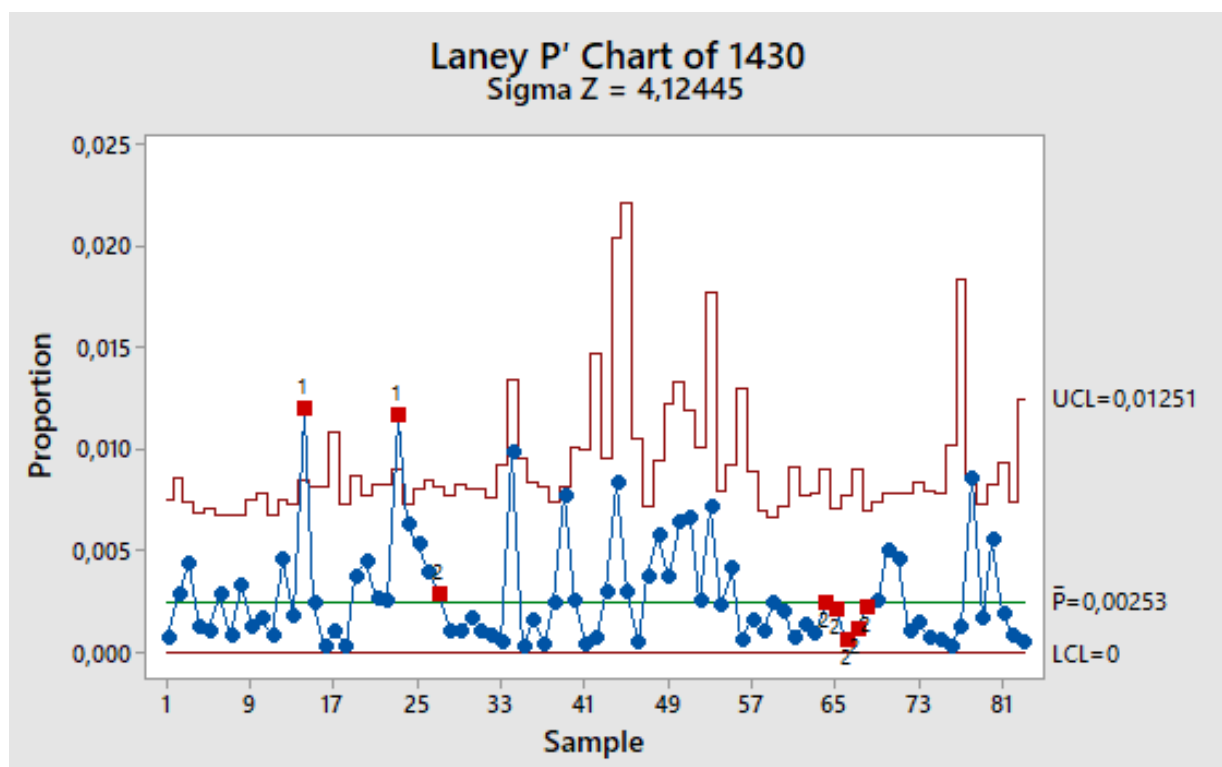
Obr. 6.14 Ověření binomického rozdělení

Dle výše uvedeného grafu by měl být pro vyhodnocení statického zvládnutí procesu použit LaneyP' diagram. [23]

LaneyP' diagram se využívá pro sledování podílu vadných položek, které jsou vytvořeny daným procesem, ale na rozdíl od „klasického“ P-diagramu nabízí přizpůsobení pro nadměrné rozptýlení nebo nedostatečné rozptýlení v analyzovaných datech. Nadměrné rozptýlení může způsobit, že tradiční P-diagram zobrazuje zvýšený počet bodů mimo kontrolní limity. Naopak nedostatečné rozptýlení může způsobit, že tradiční graf P-diagram bude zobrazovat příliš málo bodů mimo kontrolní limity. LaneyP' diagram na tyto skutečnosti reaguje a přizpůsobuje jim regulační meze. [23]

Výpočty pro diagramy atributů LaneyP' zahrnují Sigma Z, což je úprava pro nadměrné nebo nedostatečné rozptýlení. Hodnota Sigma Z = 1 znamená, že není nutná žádná úprava a že graf LaneyP' je stejný jako tradiční P diagram. [23]

Velké velikosti podskupin mají za následek velmi úzké kontrolní limity tradičního P diagramu. S úzkými kontrolními limity nadměrné rozptýlení způsobí, že se několik podskupin objeví mimo kontrolu. LaneyP' diagram však toto nadměrné rozptýlení upravuje a ukazuje, že ve skutečnosti mnohem více bodů spadá mezi kontrolní limity. I přesto lze dle diagramu LaneyP' říci, že proces není ve statisticky zvládnutém stavu.



Obr. 6.15 Regulační diagram pro podíl neshodných jednotek

7 NÁVRHY VHODNÝCH OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ ZMETKOVITOSTI

Na základě výsledků, které byly získány při analýze zmetkovitosti pomocí metody SPS, byly určeny dvě hlavní příčiny vysoké zmetkovitosti na stanici 26, která vyhodnocuje barvu a polohu vodičů.

Jsou to:

- 1) Vstupní komponent (tzv. sub-komponent) – kabel
- 2) Procesní nastavení výroby

7.1 Návrh nápravného opatření na snížení vlivu vstupního komponentu

Optimalizace plánu výroby

Na základě poznatku, že na analyzovaný proces má velký vliv vstupní materiál – v tomto případě kabel, přičemž se využívá několik typů kabelů, navrhuji optimalizovat plán výroby.

Plánovač by měl rozvrhnout výrobu tak, aby výrobní objednávky, které se budou vyrábět po sobě, byly vyráběny ze stejného sub-komponentu, tedy stejného PN kabelu. To by mělo pomoci ke snížení variability procesu. Jelikož v případě správného nastavení stanic, které mají na zkoumanou vadu vliv, by toto nastavení bylo využito na větší objem stejné výroby a tím se tak zvýší stabilita procesu.

7.2 Návrh nápravného opatření pomocí správného nastavení procesu

Vliv vstupního komponentu se v danou chvíli nedá ovlivnit jinak než optimalizací plánu výroby, je tedy zapotřebí se soustředit především na správné nastavení procesních parametrů pro různé typy kabelů, protože jedině tento faktor dokážeme nějakým způsobem nyní ovlivnit.

Zaučení barvy při výměně nové cívky

Při Quick Changeoveru v rámci směn bylo zjištěno, že až 1/5 NOK kusů na kontrolní stanici 26 je způsobeno po změně cívky (v rámci stejného PN kabelu) nebo změně výroby. Jedná se o vyhodnocování barvy vodiče. Vodiče na různých cívkách mohou mít různé odstíny barvy, i v případě že se jedná o naprosto stejné PN kabelu a šarže, což pak často vede k pseudo-zmetkovitosti.

Z tohoto důvodu doporučuji zaučení kamerového systému na barvu vždy při změně cívky, i v případě, že se bude jednat o stejné PN kabelu a šarže.

Dále je po získání dostatečného množství dat u stanice 23 navrženo aplikovat tzv. „Full factorial test“ – u tří nastavovacích parametrů žehličky se budou nastavovat extrémy pro každý jeden parametr a tím se zjistí vliv jednotlivých parametrů na počet NOK kusů.

Tvorba pracovního pokynu

Po zjištění správných nastavovacích parametrů bude následně vytvořen detailní standardizovaný pokyn na nastavování stanic 22 a 23, aby tak každá směna postupovala stejně.

7.3 Doporučení do budoucna

Během analýzy zmetkovitosti byly zjištěny dva problémy při sbírání a zpracovávání potřebných dat. Proto by bylo vhodné upozornit na ně a současně se zamyslet nad jejich nápravou a to jak u stávajících linek, tak u projektů, kterými se bude firma zabývat v budoucnu.

Úprava softwaru na sběr dat

Všechna data o výrobě, která byla zapisována během výroby do kontrolních tabulek, jsou pak následně přepisována do firemního softwaru. Zároveň se však některá data do tohoto softwaru zasílají z linky automaticky. Bohužel pak ale není možné tato data „spojit“ a zjistit tak z nich například nejen počet NOK kusů, které daná směna vyrobila, ale zároveň i počet vyrobených OK kusů touto směnou, což je nezbytná informace pro to, aby analýza měla vypovídající hodnotu. Jak již bylo uvedeno, to ovšem v danou chvíli není možné ze zapsaných dat v softwaru zjistit (jak je prakticky ukázáno v grafu 6.5)

Proto by bylo vhodné do budoucna tento software přinstalovat tak, aby se s daty dalo lépe pracovat a propojit tak informace, které bez sebe nemají vypovídající hodnotu.

Ukládání všech dat z kamerových systémů

I když kontrolní stanice 26 je kamerový systém, jehož výsledky se vizualizují na blízké obrazovce, není možné s těmito daty dále pracovat. Žádná, ani omezená paměť tento systém nemá, proto nebylo možné kromě počtu NOK kusů zjistit, jaké vady se zde vyskytují, a ty dále analyzovat. Bylo tedy nutné připojit externí kameru, která proces natáčela a ani toto řešení se neukázalo jako nejideálnější.

Proto by bylo do budoucna dobré u kontrolního systému v rámci automatických linek zajistit, aby data z kontrol byla (alespoň na nějaký čas) ukládána a mohla být dále zpracovávána.

Dále by bylo přínosné navrhnout, aby spolu s výsledky z kontrol byla ukládána také data ze stroje, tj. s jak nastavenými parametry v danou chvíli stroj vyráběl.

Jelikož se v podnicích stále více klade důraz na snižování nákladů, je nezbytné mít co nejdetailnější data, se kterými se dá dále pracovat a neustále se tak zlepšovat.

8 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá analýzou zmetkovitosti pomocí metod statistického řízení procesů ve společnosti Y, přičemž využívá také metodu SPS. Analýza je zaměřena na plně automatickou výrobní linku, která zpracovává kabely spolu s konektory a vyrábí kabelové svazky do airbagů.

Práce se dá rozdělit do dvou částí. V první části se zabývá teoretickým popisem 7 základních nástrojů kvality, přičemž největší důraz je kladen na problematiku Shewartových regulačních diagramů, díky kterým se zjišťuje, zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu, či nikoliv. Dále jsou zde popsány čtyři základní pravděpodobnostní rozdělení, která se vyskytují právě u Shewartových regulačních diagramů. Součástí teoretické části je také popis tří různých přístupů k řešení problémů v technické praxi a jejich vzájemná hierarchie, přičemž jedna z metod – SPS pak byla použita v rámci analýzy v praktické části této práce.

Praktická část je věnována analýze zmetkovitosti konkrétního procesu. Je zde ve stručnosti popsán výrobní proces a krátce představena společnost Y a důvod, proč byla tato analýza požadována – neplní se cíl na velikost zmetkovitosti, který byl zadán managementem firmy na začátku fiskálního roku. Jelikož tento cíl není splňován, bylo nutné zanalyzovat velikost zmetkovitosti všech strojů nacházejících se na analyzovaném oddělení a určit velikost jejich „příspěvku“ do celkové zmetkovitosti celého oddělení. K tomuto byla využita Paretova analýza, díky které byly zjištěny potřebné informace a vybrán jeden stroj, který byl podroben další analýze. Opět k tomu posloužil Paretův diagram. Jelikož se stroj skládá z 30 samostatných stanic, bylo nutné určit, na kterou stanici se primárně zaměřit. Na základě analýzy byla vybrána stanice 26, která kontroluje barvu a polohu vodičů. Jelikož však tato stanice je kontrolní stanicí, což znamená, že pouze detekuje vadu, ale nevytváří ji, bylo nutné vytvořit vývojový diagram, díky němuž bylo možné vytipovat stanice, které tuto vadu mohou způsobit. Nastavení vytipovaných stanic od všech čtyř směn bylo sledováno pomocí metody Quick Changeover a díky tomu bylo zjištěno, že ačkoliv neexistují žádné pracovní pokyny s hodnotami parametrů, které je potřeba nastavit, každá směna nastavuje tyto stanice trošku jinak. Toto nepatrné, ale různé nastavování stanic může mít výrazný vliv na samotný proces a vede tak ke statisticky nezvládnutému stavu, který byl potvrzen aplikací Shewartova regulačního diagramu pro podíl neshodných jednotek. Před samotnou tvorbou tohoto regulačního diagramu však bylo provedeno MSA, abychom si byli jisti, že zvolený měřicí systém funguje a vyhodnocuje správně a vyhodnocení regulačního diagramu je tak plnohodnotné.

Na základě analýzy a jejích výsledků pak mohlo být navrženo 6 různých opatření ke snížení zmetkovitosti na analyzovaném stroji a tím i snížení zmetkovitosti celého střediska, jelikož tento stroj začíná být vytěžován čím dál více a přispívá tak k celkové zmetkovitosti střediska dosti výrazně.

Jelikož cíl na zmetkovitost na daném středisku je pro rok 2019 stanoven na 1 % a nyní se středisko nachází na hodnotě 1,2 %, je čím dál tím těžší hledat potenciální úspory a navrhovat opatření na snižování nákladů na nekvalitu. To samozřejmě zvyšuje nároky na prostředky, se

kterými se pracuje. Jsou kladeny větší nároky na využívání sofistikovanějších metod a statistického řízení procesů, než když se snižuje zmetkovitost např. z 10 % na 5 %. To je ovšem princip neustálého zlepšování procesů, který je zakotven v samotné normě ČSN ISO 9001.

Proto dvě navržená opatření se nevztahují pouze na analyzovaný stroj, ale na stroje nacházející se v celém výrobním závodě, jelikož jde o návrhy, které vznikly na základě zkušenosti během zpracovávání výše analyzovaných dat, kdy nebylo možné některá data jednoduše získat nebo zpracovat tak, jak by bylo potřebné. Proto by bylo dobré vzít tuto skutečnost v potaz a zamyslet se nad ní s ohledem na budoucnost.

Další myšlenka této práce je také v uvědomění si, že ačkoliv existuje spousta metod a přístupů k řešení problémů, neznamená to, že vždy musí být zvolena striktně pouze jedna metoda. Je také důležité v různých metodách mít základní přehled a umět z nich použít třeba jen určitou část. Tak tomu bylo i v případě této práce. I když jako „šablona“ pro analýzu byla zvolena metoda SPS, byl v rámci řešení problémů a hledání odpovědi na položenou otázku metody SPS využit Quick Changeover, který primárně vychází z metody Lean, nebo byl využit Shewartův regulační diagram pro podíl neshodných jednotek.

Cílem práce bylo seznámení se se základními statistickými nástroji a jejich využití v praxi při analýze zmetkovitosti konkrétního procesu a následně pak návrh opatření vedoucí ke snížení zmetkovitosti. Z výše uvedeného vyplývá, že zadaný cíl byl splněn.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NENADÁL, Jaroslav. *Měření v systémech managementu jakosti*. 2. dopl. vyd. Praha: Management Press, 2004, 335 s. ISBN 80-7261-110-0.
- [2] NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. *Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha: Grada, 2012, 236 s. ISBN 978-80-247-4273-1.
- [3] *Základní rozdělení pravděpodobnosti* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <file:///C:/Users/te320787/Downloads/M4ZaklRozdNEW.pdf>
- [4] TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000, 362 s. ISBN 80-7225-040-X.
- [5] HNÁTEK, Jan, Otakar HRUDKA, Ondřej HYKŠ, Miroslav JEDLIČKA, Miroslav STANĚK, Elena STIBŮRKOVÁ, Marie ŠEBESTOVÁ a Milan TRČKA. *Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001: 2016*. Praha: Česká společnost pro jakost; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 138 s. ISBN 978-80-02-02642-6.
- [6] KOSINA, Jan. *Shainin Methodology: An Alternative or an Effective Complement to Six Sigma* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Diagnostic-and-Remedial-Journey_fig1_288887851
- [7] PETRAŠOVÁ, Ivana a Vratislav HORÁLEK. *Analýza systémů měření (MSA): příručka*. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003, 233 s. ISBN 80-02-01562-2.
- [8] MICHÁLEK, Jiří. *Statistická regulace procesů (SPC): příručka*. 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006, 216 s. ISBN 80-02-01810-9.
- [9] *Zajištění kvality před sériovou výrobou: FMEA produktu, FMEA procesu*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008, 124 s.: il.
- [10] MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to statistical quality control*. 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013. ISBN 9781118146811.
- [11] *Sedm základních nástrojů řízení kvality (Seven basic tools of quality)* [online]. [cit. 2019-01-27]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/sedm-zakladnich-nastroju-rizeni-kvality-seven-basic-tools-of-quality>
- [12] NENADÁL, Jaroslav, et al. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. 337 s. ISBN 978-80-7261-186-7

- [13] *What is the SHAININTM systém?* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://asq.org/quality-resources/shainin-system>
- [14] *4. Základní typy rozdělení pravděpodobnosti diskrétní náhodné veličiny* [online]. [cit. 2019-01-27]. Dostupné z: <https://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP04/PRAV4.HTM>
- [15] SCHLEUNIGER, *TransferLine* [online]. [cit. 2019-01-27]. Dostupné z: <https://www.schleuniger.com/global/en/solutions/process-automation/transferline>
- [16] FIALA, Alois. *Statistické řízení procesů*. Brno: ICB Brno, 1996, 79 s.
- [17] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [18] TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008, x, 508 s. ISBN 978-80-251-1766-8.
- [19] OEM Off-Highway, *Squib Right-Angle AK-2 Cable Assemblies* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.oemoffhighway.com/electronics/connectors/electrical-electronic-components/product/10282343/molex-incorporated-squib-rightangle-ak2-cable-assemblies>
- [20] <https://www.schleuniger.com/na/en-us/solutions/process-automation/transferline>
- [21] ISIXSIGMA, *Cost of Poor Quality (COPQ)* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.isixsigma.com/dictionary/cost-of-poor-quality-copq/>
- [22] Interní dokumenty firmy Y
- [23] Minitab, *Overdispersion and underdispersion* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/supporting-topics/understanding-attributes-control-charts/overdispersion-and-underdispersion/>
- [24] Lean6sigma, *MSA – Analýza systému měření* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/msa-analyza-systemu-mereni/>
- [25] BEDNÁŘ, Josef. *Aplikovaná statistika v průmyslu* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <file:///C:/Users/te320787/Downloads/PST%20text%20Bedn%C3%A1%C5%99%20pracovn%C3%AD%20verze.pdf>
- [26] ŠKOP, M. a P. POŠÍK. *Six Sigma: skripta ke kurzu*. Praha: StatSoft, c2008. ISBN 978-80-903630-2-1.

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, GRAFŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam symbolů

$F(x)$	Distribuční funkce
$p(x)$	Pravděpodobnostní funkce
$E(X)$	Střední hodnota
$D(X)$	Rozptyl
σ	Směrodatná odchylka
μ	Střední hodnota
cp	Ukazatel způsobilosti procesu
cpk	Ukazatel způsobilosti procesu
\bar{x}	Výběrový průměr
R	Výběrové rozpětí
s	Výběrová směrodatná odchylka
\tilde{x}	Výběrový medián
R_{kl}	Klouzavé rozpětí
i	Jednotlivé logické podskupiny
k	Počet logických podskupin
$A_2, A_3, A_4, B_3, B_4, D_3, D_4, E_2$	Součinitelé pro regulační diagramy

10.2 Seznam zkratk

DMAIC	z angl. Define, Measure, Analyze, Improve, Control
FMEA	z angl. Failure Mode and Effects Analysis
TRIZ	Tvorba a Řešení Inovačních Zadání
PDCA	z angl. Plan, Do, Check, Act
SPC	Statistické řízení procesů
SPS	Systematické řešení problémů
COPQ	z angl. Cost of Poor Quality
PN	Číslo produktu (z angl. Product Number)
SHU	Schleuniger
MSA	Analýza měřicího systému (z angl. Measurement System Analysis)

CL	Centrální přímka (z angl. Central Line)
UCL	Horní regulační mez (z angl. Upper Control Limit)
LCL	Dolní regulační mez (z angl. Lower Control Limit)
UWL	Horní výstražná mez (z angl. Upper Warning Limit)
LWL	Dolní výstražná mez (z angl. Lower Warning Limit)
OK	Dobrý
NOK	Špatný
EOL	End of Line
BOB	nejlepší z nejlepších (z angl. Best of the Best)
WOW	nejhorší z nejhorších (z angl. Worst of the Worst)
DOE	Metoda plánovaných experimentů (z angl. Design of Experiment)

10.3 Seznam grafů

Graf 6.1 Paretův diagram workcenter dle ceny neshodných výrobků.....	61
Graf 6.2 Pareto příčiny neshodné výroby workcentra Q-822 dle ceny neshodných výrobků..	62
Graf 6.3 Chyba "poloha vodičů" na jednotlivých workcentrech.....	64
Graf 6.4 Paretův diagram dle PN kabelu.....	67
Graf 6.5 Počet NOK kusů st. 26 během výroby každé jedné směny za období tří měsíců.....	70
Graf 6.6 Run-chart 1. kvartál.....	73
Graf 6.7 Run-chart část 2. kvartálu.....	74

10.4 Seznam tabulek

Tab. 3.1 Zařazení jednotlivých nástrojů do fází cyklu DMAIC [12]	21
Tab. 3.2 Příklad kontrolní tabulky [1]	22
Tab. 3.3 Příklad Paretovy analýzy – tabulka se vstupními daty [1]	26
Tab. 4.1 Vzorce pro regulační diagramy SPC měřením.....	41
Tab. 4.2 Vzorce pro regulační diagramy SPC měřením.....	43
Tab. 4.3 Vzorce regulačních diagramů pro SPC srovnáváním.....	46
Tab. 6.1 Seřazení workcenter dle velikosti COPQ.....	60
Tab. 6.2 Seřazení workcenter dle ceny neshodných výrobků	60
Tab. 6.3 Procentuální poměr, jakým se workcentrum podílí na celkovém COPQ.....	61
Tab. 6.4 Procentuální poměr, jakým se chyba podílí na celkovém COPQ	63
Tab. 6.5 Počet vyrobených kusů vůči neshodným výrobkům na jednotlivých workcentrech .	63
Tab. 6.6 Přiřazení typu kabelu dle PN.....	66

10.5 Seznam obrázků

Obr. 3.1 Ukázka histogramu četnosti [1]	23
Obr. 3.2 Přehled nejčastějších symbolů užívaných při tvorbě vývojových diagramů [1]	24
Obr. 3.3 a) Lineární vývojový diagram, b) Vývojový diagram vstup/výstup [1]	25
Obr. 3.4 Integrovaný vývojový diagram [1]	25
Obr. 3.5 Ukázka Paretova pravidla - 80/20 [1]	27
Obr. 3.6 Ishikawův diagram [1]	27
Obr. 3.7 Ukázka základních typů stochastické závislosti dvou proměnných [1]	29
Obr. 4.1 Různé tvary kolísání procesu [8]	32
Obr. 4.2 Cyklus zlepšování procesu (překresleno z [8])	34
Obr. 4.3 Struktura regulačního diagramu [1]	37
Obr. 4.4 Označení testů v regulačním diagramu pro atributivní data [25]	38
Obr. 4.5 Výběr regulačního diagramu [8]	39
Obr. 5.1 Typy přístupů k řešení problémů	47
Obr. 5.2 Struktura řešení problémů	48
Obr. 5.3 Pyramida řešení problémů	49
Obr. 6.1 Squib konektor [19]	55
Obr. 6.2 SHU "TransferLine" stroj pro výrobu kabelů [22]	56
Obr. 6.3 Konektor s twistovaným kabelem	57
Obr. 6.4 Stručné schéma výrobní linky „TransferLine“	57
Obr. 6.5 Flowchart SPS (Převzato z [22])	58
Obr. 6.6 Hodnota COPQ v období 29/09/2018-05/03/2019	59
Obr. 6.7 Kontrolní tabulka využívaná ve firmě Y	59
Obr. 6.8 Kamerové vyhodnocení polohy vodičů	65
Obr. 6.9 Foto chyb vyskytujících se na st. 26	65
Obr. 6.10 Použitý formulář během metody SPS	68
Obr. 6.11 Procesní vývojový diagram	69
Obr. 6.12 Analýza systému měření [24]	71
Obr. 6.13 MSA	72
Obr. 6.14 Ověření binomického rozdělení	74
Obr. 6.15 Regulační diagram pro podíl neshodných jednotek	75
Obr. 7.1 Kontrolní tabulka pro zjištění hodnot 4 nastavovacích parametrů	78