

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Použití statistických metod pro řízení procesů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

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

Jméno a příjmení: **Ondřej LENK**
Osobní číslo: **E10B0069P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Použití statistických metod pro řízení procesů**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Uveďte současně používané statistické metody
2. Uveďte příklady již zavedených statistických metod pro řízení procesů v elektrotechnice
3. Zhodnoťte přínos statistických metod pro řízení procesů v elektrotechnice

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Veronika Maříková**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá statistickými metodami pro řízení procesů. V první části jsou popsány statistické metody (histogram, korelační závislost, Paretova analýza, regulační diagram, ANOVA, statistická přejímka). Následuje popis metody Six Sigma, která je založena na statistických metodách, a její využívané metodiky DMAIC a DMADV. Dále tato bakalářská práce obsahuje ukázkový proces s návrhy na zavedení statistických metod, jejich přínos a zhodnocení celého procesu.

Klíčová slova

Statistické metody, SPC, histogram, korelační diagram, Paretova analýza, Paretův diagram, regulační diagram, ANOVA, statistická přejímka, Six Sigma, DMAIC, DMADV

Abstract

My Bachelor's thesis deals with statistical methods for process control. In first part there are described statistical methods (histogram, scatter plot, Pareto analysis, regulating chart, ANOVA, statistical inspection). It's followed by Six Sigma's description which is based on statistical methods and its used methodology DMAIC and DMADV. Thereinafter you can find exemplary process with plans to establish statistical methods, their contribution and analysis of the whole process.

Key words

Statistical methods, SPC, histogram, scatter plot, Pareto analysis, Pareto chart, control chart, ANOVA, statistical inspection, Six Sigma, DMAIC, DMADV

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2013

Ondřej Lenk

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Veronice Maříkové za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 STATISTICKÉ METODY	11
1.1 STATISTICKÁ REGULACE PROCESŮ	11
1.2 SEDM ZÁKLADNÍCH NÁSTROJŮ PRO ŘÍZENÍ A ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY	12
1.2.1 <i>Sběr dat</i>	12
1.2.2 <i>Histogramy</i>	14
1.2.3 <i>Paretova analýza a diagram</i>	16
1.2.4 <i>Korelační analýza</i>	18
1.2.5 <i>Regulační diagram</i>	19
1.3 ANOVA	20
1.3.1 <i>Jednofaktorová ANOVA</i>	20
1.4 STATISTICKÁ PŘEJÍMKA	21
1.4.1 <i>Dělení statistických přejímek</i>	23
1.4.2 <i>Statistická přejímka jedním výběrem</i>	23
1.5 SIX SIGMA.....	25
1.5.1 <i>Historie</i>	25
1.5.2 <i>Definice</i>	25
1.5.3 <i>DMAIC</i>	26
1.5.4 <i>DMADV</i>	28
2 PŘÍKLADY STATISTICKÝCH METOD PRO ŘÍZENÍ PROCESŮ.....	30
2.1 ŘÍZENÍ PROCESŮ	30
2.2 PROCES OSAZOVÁNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	31
2.2.1 <i>Histogram</i>	33
2.2.2 <i>Paretova analýza</i>	35
3 PŘÍNOS STATISTICKÝCH METOD PRO ŘÍZENÍ PROCESŮ.....	37
ZÁVĚR.....	39
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	41

Seznam symbolů a zkratek

ANOVA	Analysis of variance
AQL	Acceptance quality level
CL	Central line
DMADV	Define, measure, analyse, design, verify
DMAIC	Define, measure, analyse, improve, control
DPMO	Defects per million opportunities
ESSC	European Six Sigma club
LCL	Lower control limit
LQ	Limited quality
SPC	Statistical Process Control
UCL	Upper control limit

Úvod

Cílem této bakalářské práce je popsat statistické metody pro řízení procesů využívaných společnostmi. Pro společnosti je dnes velice těžké obstát v tvrdé konkurenci, dostat se na vrchol a udržet se tam. Neodpouští se žádné chyby. Při jakémkoliv zaváhání hrozí, že nás předběhne konkurence, která jen čeká na náš omyl. Je třeba do posledních detailů plnit přání zákazníků na kvalitu výrobku při co nejnižší ceně a samozřejmě v co nejkratším časovém úseku. Firmě, která dokáže naslouchat zákazníkům, pracovat rychle, bez chyb a s přijatelnou cenou, se daří. Firmy, které mají chyby v procesu a nedokáží je odstranit, vyrábějí výrobky s vadami a tím přichází o zákazníky a o zisky.

Chyby v procesu se dají identifikovat a minimalizovat různými metodami a nástroji. Nástrojů a metod použitelných v různých částech procesu se vyskytuje opravdu hodně. Tato bakalářská práce je v první části zaměřená na obecný popis využívaných statistických metod a metodiky Six Sigma. První statistické metody vznikly již v 30. letech 20. století a po 2. světové válce došlo k velkému rozmachu těchto metod. Metody vznikly díky novému pohledu, kdy se filosofie změnila na prevenci místo detekce (předcházení místo hledání vad). Statistické metody vycházejí z teorie matematické statistiky a jsou tedy založeny na datech – jejich sběru, analýze a interpretaci dat pro zlepšení procesů. Bez potřebných dat jsou statistické metody pro firmy naprosto nevyužitelné. Statistické metody mohou dopomoci společnostem zefektivnit svoje procesy ve výrobě, odstranit chyby, kterých se dopouští a zlepšit tak své zisky a postavení na trhu.

V další části je využití statistických metod pro řízení procesů ukázáno na vzorovém procesu. Tvorba některých statistických metod, které byly využity ve vzorovém procesu, jsou prezentovány na příkladech. Přínos statistických metod pro řízení procesů je následně zhodnocen.

1 Statistické metody

1.1 Statistická regulace procesů

Statistická regulace procesu (SPC = Statistical Process Control) je velmi efektivní metoda používaná v případě, kdy daný proces potřebuje kontrolu nad vývojem procesu v čase. Jde o soubor aplikovaných statistických metod a nástrojů. Prvky jsou běžně použitelné v provozu a vychází z matematické a popisné statistiky. S SPC lze procesy kontrolovat, ale také i ovlivňovat. Proces je podroben kontrole. Kontrola odhalí většinu změn v chování procesu a tak může být provedena náprava procesu. Tímto SPC minimalizuje výskyt odchylek a udržuje proces na žádoucí úrovni a umožňuje zvýšit zisk při snižování nákladů. Proces je ovlivňován náhodnými a vymezitelnými příčinami. [1], [2], [4]

Náhodné příčiny se objevují ve velkém počtu a každá příčina má malý účinek, kterým přispívá ke krátkodobým rozdílům mezi jednotlivými kusy výstupu. Náhodné příčiny mají trvalý vliv a není možnost je úplně eliminovat. Změnu parametrů způsobené těmito vlivy lze odhadnout a předvídat tak změnu v procesu a udržet jeho žádoucí úroveň. [2], [3], [4]

Vymezitelné příčiny běžně na proces nepůsobí. Tyto příčiny se vyskytují v malém množství, jsou náhodné, nepravidelné a lze je nalézt, odstranit či minimalizovat v krátké době. V procesu s neodstraněnými příčinami může dojít ke změně faktorů procesu a tím ovlivnit výstup procesu. Proces s vymezitelnými příčinami je považován za statistiky nezládnutelný. [2], [4]

Existují dva typy regulace. Regulace měřením a srovnáváním. Regulace měřením vyhodnocuje data o sledovaném znaku jakosti. Tato data jsou zjištěna měřením. Používaná data musí dosahovat velmi vysoké kvality a musí být pravdivá. Regulace měřením dokáže včas zjistit klesající kvalitu a zabránit tak výrobě zmetků. Regulace srovnáváním využívá regulačních diagramů. V jednom grafu je vždy možnost pozorovat více znaků. Sledovaná hodnota má kvalitativní charakter (shoda či neshoda určité vlastnosti). U této metody není možnost včas zjistit klesající kvalitu výroby před samotným vyrobením. [1], [4]

1.2 Sedm základních nástrojů pro řízení a zlepšování kvality

Základní nástroje aplikované do oblasti řízení a zlepšování kvality byly definovány japonským profesorem a průkopníkem japonského a celosvětového managementu kvality Kaorou Ishikawou za pomoci Američana, žijícího po II. světové válce v Japonsku, Williama Edwardse Deminga. Tyto základní nástroje byly vypracované na přelomu 40. a 50. let 20. století v Japonsku. Jednotlivé metody mají za cíl nalézt problémy a vyřešit je. Užívají se tedy ke zlepšování jakosti pomocí sběru a následném vyhodnocení informací. [3], [7], [8]

1.2.1 Sběr dat

Pro sběr dat se využívají formuláře, tabulky či dotazníky. Do těchto prvků se poté zapisují důležitá data, hodnoty nebo informace, které se později dále analyzují pomocí dalších metod. Tabulky, dotazníky a formuláře se používají hlavně z důvodu jejich jednoduchosti a přehlednosti získávaných údajů. Získané údaje lze poté z těchto tabulek a formulářů velmi rychle evidovat. [3], [7], [8], [11]

Formuláře se vykytují v různých formách. Neexistuje pouze jeden všeobecný formulář na všechno. Při vytváření formuláře je potřeba dbát na princip stratifikace (roztřídění dat podle určitých kritérií) a princip jednoduchosti, standardizace a vizuální interpretace. Formulář nesmí být příliš složitý, musí být srozumitelný, aby mohl poskytovat věrohodné informace. Věrohodné informace musí být zároveň vhodné informace, které nebude potřeba při dalším zpracování přepisovat do dalších formulářů, a budou moci vyřešit problém. V praxi se využívají 3 hlavní druhy formulářů:

- *čárkové,*
- *symbolické,*
- *číselné.* [3], [8], [10]

1.2.1.1 Čárkový formulář

Čárkový formulář se vyskytuje především na výstupní kontrole, kdy kontrolor zkoumá výrobek a zaznamenává typy vad a jejich četnost na výrobku do připravené tabulky (tabulka výskytu závad). Ve stejném řádku v tabulce, kde se vyskytuje popsána vada, udělá kontrolor čárku, proto název čárkový formulář. Čárkový formulář se vyskytuje i v dalším kroku, kdy dochází ke specifikaci místa s výskytem vady (tabulka lokalizace závad). [3], [8], [11]

Tabulka 1: Čárkový formulář pro sběr dat (zdroj [8])

Podnik	Záznam o neshodách	Číslo
Neshodu zjistil: Místo:		Datum: Předáno k řešení
Neshoda	Četnost	Celkem
A	//// // /	11
B	//// // // // // /	21
C	////	5
D	//// // // // // // // /	26
E	//// // // // // //	18
Celkem		81

1.2.1.2 Symbolický formulář

Symbolický formulář využívá symbolů pro označení typů závad nebo označení místa závad na obrázku dílu. V tomto typu formuláře se využívá princip stratifikace, kdy vodorovné buňky tabulky představují čas a svislé jsou vyznačeny výrobní faktory. [3], [8]

Tabulka 2: Symbolický formulář pro sběr dat (zdroj [8])

Pracovník / dny	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek
1	▲ ▲	▲ ○	○	▲	○
2	○ ▲	○	▲	○	
3		▲ ○			○
4	○		○ ▲		▲
Provedl: Čas: Nedodržení rozměru: ▲ Prasklina: Nečistota: ○					

1.2.1.3 Číselný formulář

Využívá se především při měření hodnot a jejich následné zapisování do číselného formuláře [8].

Tabulka 3: Číselný formulář pro sběr hodnot (zdroj [8])

Měření hmotnosti dávek			
Odběr 1	Odběr 2	Odběr 3	Odběr 4
99,6	100,3	99,7	92,9
100,2	99,9	100,3	95,4
100,1	100,1	100,1	99,5
99,8	96,8	99,5	100
98,9	99,5	98,9	100,1
„			
Provedl:			
Místo:			
Datum:			

1.2.2 Histogramy

Histogram znázorňuje grafickou závislost intervalů hodnot a jejich četnost. Zobrazuje charakter proměnlivosti procesu, přesnost a střední hodnotu. Histogram je sloupcový graf, kdy šířka sloupců (intervalů) je pro všechny sloupce v grafu stejná. Výška sloupců je daná četností sledovaných hodnot v daném intervalu. Počet intervalů v grafu by se měl pohybovat v rozmezí od 5 do 12 a žádný interval nesmí být prázdný. Počet sloupců se vyvíjí dle počtu nastřádaných hodnot (viz Tabulka 4). Šířka sloupců se vypočítává z rovnice 1.1. Nesprávně zvolená šířka intervalů by mohla negativně zapůsobit na informační hodnotu vyplývající z grafu. Pro správně vypovídající histogram je potřeba minimálně 100 hodnot. Z histogramu lze vyčíst chyby v procesu a informace o něm. Histogram může být zobrazen v 8 základních tvarech:

- *histogram zvonovitého tvaru,*
- *dvouvrcholový histogram,*
- *histogram plochého tvaru,*
- *histogram hřebenového tvaru,*
- *histogram asymetrického tvaru,*
- *levostranně useknutý histogram,*
- *histogram zvonovitého tvaru s izolovanými hodnotami,*
- *dvouvrcholový histogram s výraznou četností v krajní třídě.* [1, 3, 6, 7, 11]

Tabulka 4: Určení počtu sloupců (zdroj [4])

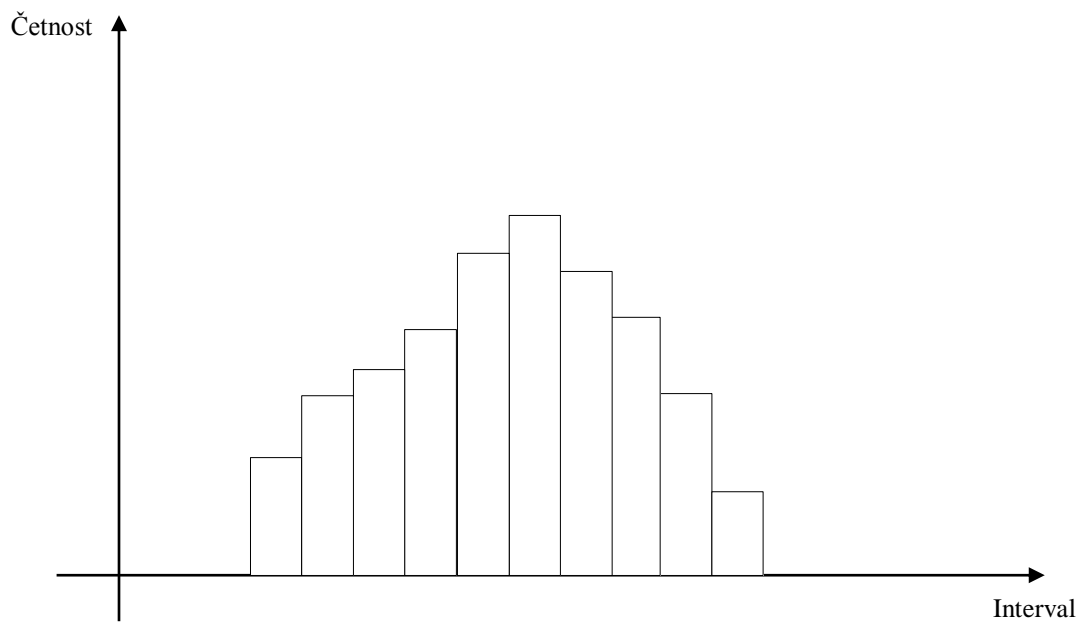
Rozsah výběru	Počet intervalů
$n < 50$	5 – 7
50 – 100	6 – 10
101 – 150	7 – 12
$n > 150$	10 - 12

Výpočet šířky intervalu:

$$\text{šířka intervalu} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\text{počet intervalů}} \quad (1.1)$$

Kde:

X_{\max} = maximální hodnota,
 X_{\min} = minimální hodnota. [4]



Obrázek 1: Histogram zvonovitého tvaru (Zdroj [3])

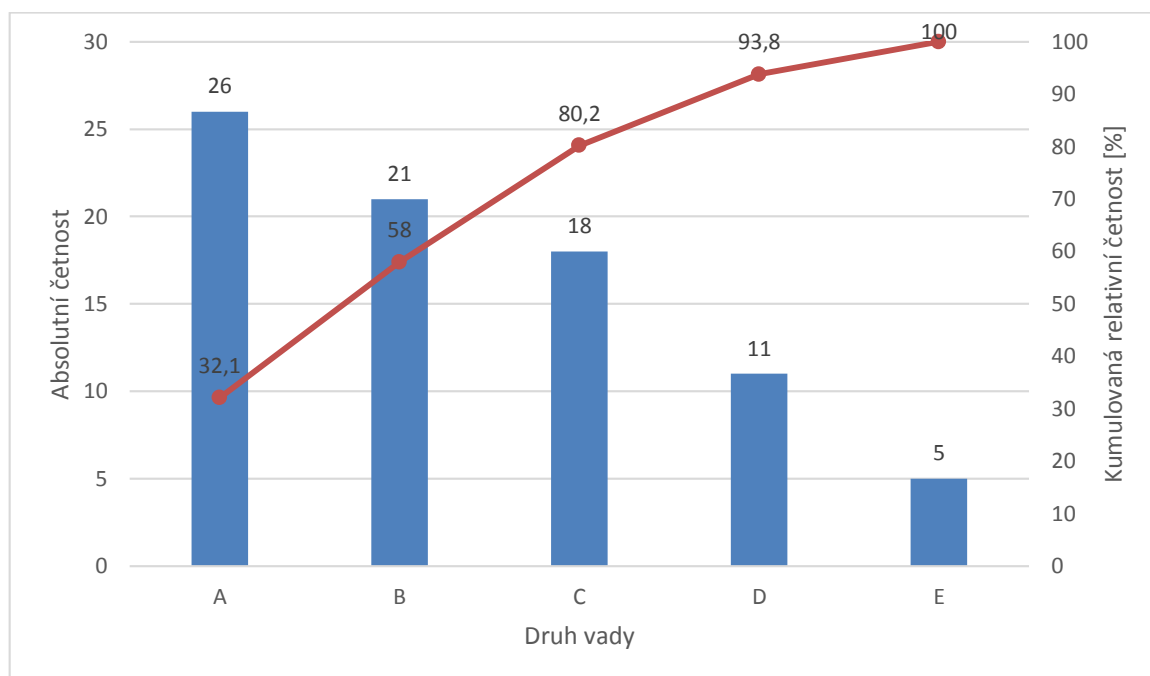
1.2.3 Paretova analýza a diagram

První myšlenku objevil italský ekonom Vilfredo Pareto. V roce 1895 Pareto zveřejnil zjištění, že malé množství obyvatel (konkrétně 20 %) vlastní většinu (80 %) z celkového majetku v Itálii. Paretův diagram vznikl a začal se používat pro řízení procesů až po roce 1970. Paretův diagram vymyslel Joseph Moses Juran, který tvrdil, že 80 – 95 % problémů v managementu kvality je způsobeno pouze 5 – 20 % příčin. Pro sestavení Paretova diagramu J. M. Juran využil vztahů z roku 1905, které popsal americký statistik Max Otto Lorenz. Tyto vztahy byly zobrazeny Lorenzem pomocí křivky, dnes známé jako Lorenzova křivka. Tato metoda je také známa jako pravidlo 80 : 20. Paretův diagram vyjadřuje, že odstraněním 20 % hlavních příčin (zvané jako životně důležitá menšina), snížíme ztráty o 80 % (triviální či užitečná většina). Paretova analýza se nejčastěji používá pro snižování ztrát vadných výrobků a nákladů. Paretova analýza ztráty sama o sobě nesníží, ale její výsledek ukazuje, kam se zaměřit při odstraňování problému.

Paretův diagram je graf zkombinovaný ze sloupcového a čárového grafu, kde na vodorovné ose jsou vypsány druhy vad, na vertikální ose jsou kumulované ztráty. Pro sestavení Paretova diagramu je potřeba nejdříve seřadit zkoumané hodnoty (např. vady) dle jejich četnosti od největší po nejmenší. Poté vypočteme kumulativní sčítání a kumulativní součty (udávané v %) z celkového součtu hodnot. Vytvoříme Lorenzovu křivku. Dle průsečíku 80 % ztrát s Lorenzovou křivkou zjistíme, jaké vady je třeba odstranit. [3], [6], [8]

Tabulka 5: Setříděné údaje pro Paretův diagram (Zdroj [8])

Neshoda	Absolutní četnost	Kumulovaná absolutní četnost	Kumulovaná relativní četnost
A	26	26	32,1
B	21	47	58
C	18	65	80,2
D	11	76	93,8
E	5	81	100
Celkem	81		

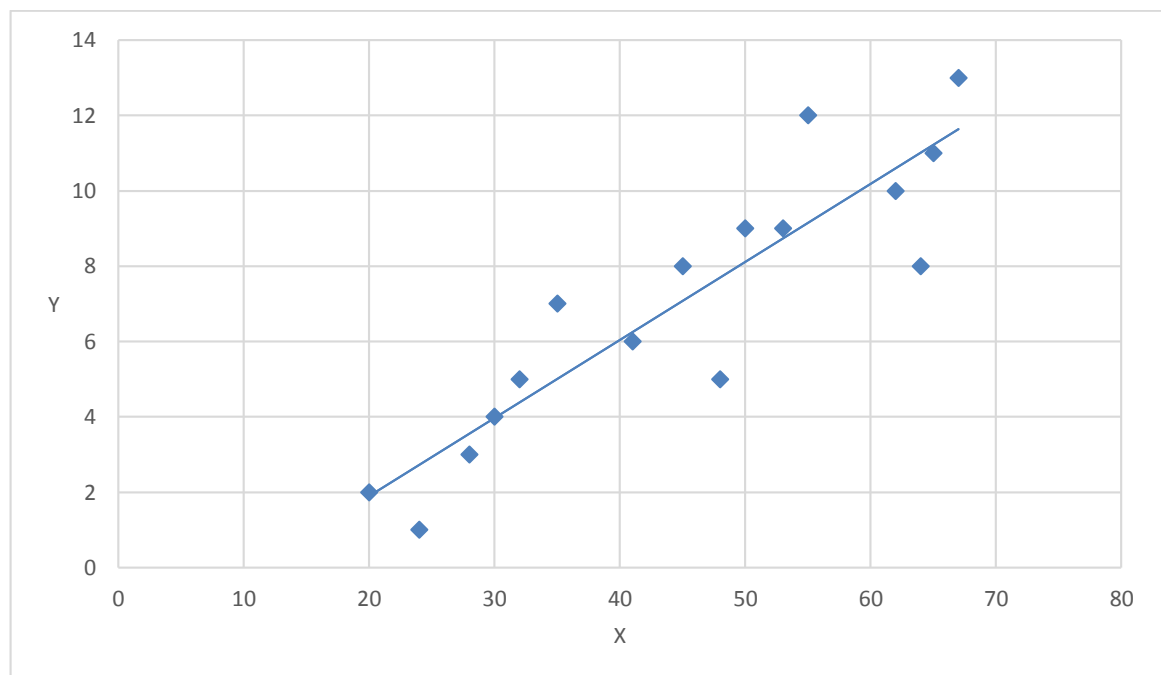


Obrázek 2: Paretův diagram (Zdroj [8])

1.2.4 Korelační analýza

Korelační analýza slouží pro zjištění závislosti mezi dvěma proměnnými. Proměnné jsou znázorněny v kartézském systému souřadnic. Pomocí korelační analýzy se zjišťuje vzájemná závislost nebo nezávislost proměnných na sobě, jejich povaha a síla závislosti. Tato analýza se používá především při nemožnosti, složitosti nebo neefektivnosti zjištění jedné proměnné. Dle korelačního diagramu dokážeme zjistit, zda existuje souvislost mezi proměnnými. Hodnota destruktivní proměnné (náročnější na zjištění) by se pak dopočítávala ze zjištěného vztahu z nedestruktivní proměnné, která se určí rychlejším a jednodušším způsobem. Doporučený počet dvojice údajů pro určení závislosti je 30 dvojic. Korelační diagram je také znám pod pojmem bodový diagram. Korelační diagram může nabývat těchto závislostí:

- *silná přímá závislost,*
- *silná nepřímá závislost,*
- *slabá přímá závislost,*
- *slabá nepřímá závislost,*
- *křivková závislost,*
- *žádná závislost.* [3], [8]

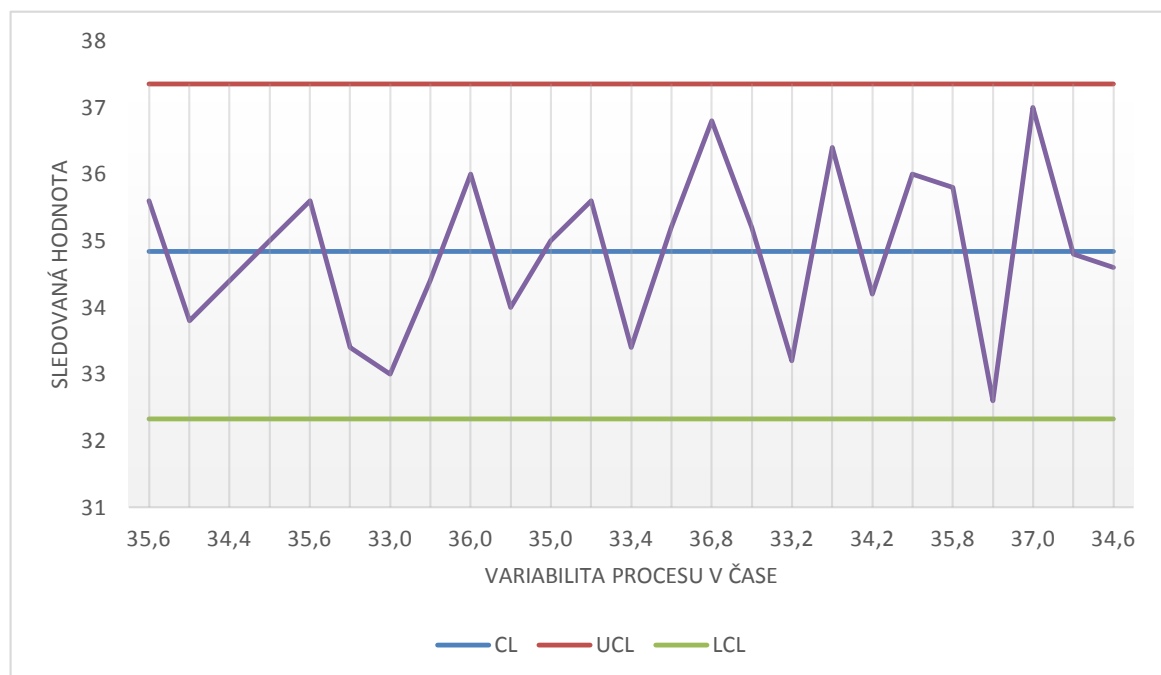


Obrázek 3: Korelační diagram (Zdroj [3])

1.2.5 Regulační diagram

Regulační diagramy byly vytvořené v roce 1926 americkým statistikem Walterem Andrewem Shewhartem. Regulační diagramy se používají jako hlavní nástroj statistické regulace procesu. Diagram graficky zobrazuje vývoj variability procesu v čase. V diagramu se vyskytují meze, které určují statistickou zvládnutelnost procesu a určují, zda se musí či nemusí učinit zákrok do procesu. Pokud nedojde k žádnému porušení z osmi stanovených kritérií, tak se proces nachází ve stabilním procesu a nemusí se do procesu zasahovat. Základní čarou je střední přímka (CL – Central Line) rovnoběžná s osou x. Další dvě rovnoběžky se střední přímkou se nazývají akční meze. Jde o horní regulační mez (UCL – Upper Control Limit) a dolní regulační mez (LCL – Lower Control Limit).

Lze využít dvou metod regulace. Regulace měřením anebo regulace srovnáváním. Při použití regulace měřením se druh diagramu zvolí dle rozsahu výběru v podskupině. U regulace srovnáváním je bráno v úvahu konstantní počet hodnot v podskupině, a zda se jedná o neshody (vady). [1], [2], [6], [9]



Obrázek 4: Regulační diagram (Zdroj [1])

1.3 ANOVA

ANOVA je zkratka z anglického slova Analysis of variance (česky analýza rozptylu) vyvinutou R. A. Fisherem na počátku 20. století. Jedná se o matematickou statistickou metodu. Tato metoda se uplatňuje pro zjištění hlavního zdroje variability pomocí vhodného rozkladu rozptylu. Dle tohoto výsledku lze poté určit, jaké faktory mají největší vliv na sledovaný ukazatel kvality. Analýza rozptylu může nabývat více možností. ANOVA se dělí dle počtu uvažovaných faktorů, a tak se rozděluje na jednofaktorovou, dvoufaktorovou a vícefaktorovou analýzu rozptylu. [2], [12]

Obecné vyjádření:

$$X = \mu + (\alpha + \beta + \dots) + (\alpha\beta + \dots) + \epsilon \quad (1.2)$$

Kde:

μ - měřená hodnota při nulovém vlivu faktoru,
 α - vliv faktoru na měřenou veličinu,
 β - vliv faktoru na měřenou veličinu,
 součin $\alpha\beta$ - představuje interakci vlivů faktorů,
 ϵ - náhodná veličina modelující náhodné chyby. [12]

1.3.1 Jednofaktorová ANOVA

Jednofaktorová analýza rozptylu je z existujících druhů nejjednodušší, jelikož sleduje sledovaný výsledek v závislosti pouze na jednom faktoru.

Mezitřídní součet čtverců:

$$SS_B = n \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (1.3)$$

Vnitřní součet čtverců:

$$SS_W = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (1.4)$$

Celkový součet čtverců:

$$SS_{TOTAL} = SS_W + SS_B \quad (1.5)$$

$$SS_{TOTAL} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (1.6)$$

Mezitřídní průměrný součet čtverců:

$$MS_B = \frac{SS_B}{k-1} \quad (1.7)$$

Vnitřní průměrný součet čtverců:

$$MS_W = \frac{SS_W}{N-k} \quad (1.8)$$

F-poměr:

$$F = \frac{MS_B}{MS_W} \quad (1.9)$$

Statistické chování F-poměru se využívá pro posouzení a rozhodnutí o nulové hypotéze. Nulová hypotéza znamená, že pouze náhodné chyby ovlivňují výsledné hodnoty. [2], [12]

1.4 Statistická přejímka

Statistické přejímka má za úkol jednoznačně zjistit stav kvality prvků a zabránit následnému nežádoucímu pokračování produktů se špatnou kvalitou do další fáze procesu. Statistická přejímka rozhodne o přijetí nebo zamítnutí produktu podle již dříve stanoveného přejímacího pravidla. Statistická přejímka se využívá při vstupní, mezioperační a výstupní kontrole produktu. Statistická přejímka je známa především jakožto výběrová, kdy testuje kvalitu pouze u náhodně vybraných produktů z celé dávky. To se uplatňuje především u procesů, kde jsou stoprocentní kontroly velice nákladné (po finanční nebo časové stránce) nebo tam kde kontrolu nelze realizovat. Kontrola výběru je hospodárnější, lze testovat menší množství prvků s větší pečlivostí. Pokud se navíc jedná o destruktivní testování, je tato metoda bezpochyby lepší. Statistická přejímka nijak nepřispívá ke zlepšení kvality produktu,

pouze rozhoduje, zda produkt splnil kvalitu potřebnou pro postup k dalšímu kroku či nikoliv. [2 - 8]

I ve statistické metodě se vyskytnou chyby, jelikož neznáme kvalitativní úroveň celé dávky. Rozlišujeme dva základní druhy chyb – chyba I. druhu a chyba II. druhu. Chyba I. druhu spočívá v odmítnutí dávky, přestože měla dostatečně dobré vlastnosti na přijetí. Tato chyba se nazývá riziko dodavatele a pravděpodobnost chyby se značí α . Přípustná úroveň jakosti se označuje AQL (acceptance quality level). Chyba II. druhu je opak předešlé chyby. Při této chybě je přijata várka, která kvalitativně neodpovídala přijímacím pravidlům. Jedná se o riziko odběratele a pravděpodobnost chyby se značí β . Čím menší jsou obě tyto rizika, tím lépe pro proces. Nepřípustná úroveň kvality se značí LQ (limited quality). [2, 4, 8]

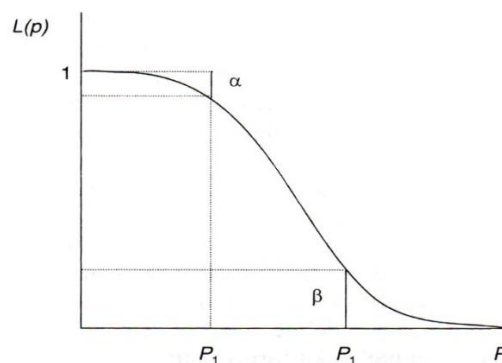
Informaci o účinnosti statistické přejímky lze graficky znázornit pomocí grafu operativní charakteristiky. Přičemž na ose x se nalézá podíl neshodných jednotek v dávce p . Na ose y ($L(p)$) je pravděpodobnost přijetí dávky s podílem neshodných p . Z grafu lze odvodit maximální pravděpodobnost zamítnutí vyhovující dávky α a maximální pravděpodobnost přijetí nevyhovující dávky β . [3], [4], [7]

Maximální pravděpodobnost zamítnutí vyhovující dávky:

$$\alpha = 1 - L(p_1). \quad (1.10)$$

Maximální pravděpodobnost přijetí nevyhovující dávky:

$$\beta = L(p_2) \quad (1.11)$$



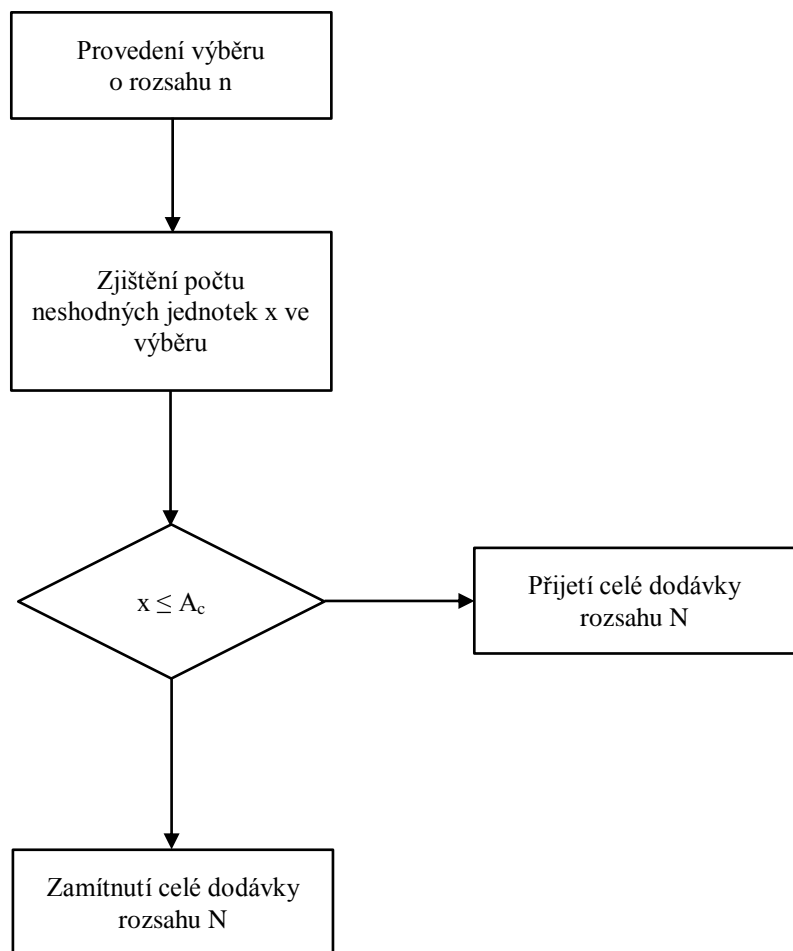
Obrázek 5: Operativní charakteristika (Zdroj [8])

1.4.1 Dělení statistických přejímek

- 1) Dělení podle charakteru znaku jakosti:
 - a) statistická přejímka srovnáním (znak jakosti má charakter diskrétní náhodné veličiny),
 - b) statistická přejímka měřením (znak jakosti má charakter spojité náhodné veličiny).
- 2) Dělení podle počtu výběrů, na jejichž základě se rozhoduje o přijetí, resp. nepřijetí dávky:
 - a) přejímka jedním výběrem,
 - b) přejímka dvojným a několikerým výběrem,
 - c) přejímka postupným výběrem.
- 3) Dělení podle způsobu nakládání se zamítnutou dávkou:
 - a) přejímka nerektifikační (bezopravná), nepřijatá dávka se vrací dodavateli celá,
 - b) přejímka rektifikační (opravná), nepřijatá dávka se nevrací, ale provede se 100% kontrola a neshodné jednotky se vytřídí a nahradí se shodnými jednotkami. [3]

1.4.2 Statistická přejímka jedním výběrem

Statistická přejímka jedním výběrem je nejjednodušší přejímkou, ale také nepříliš hospodárnou přejímkou. Přejímka jedním výběrem udává z výsledků jediného výběru o rozsahu n , zda je dodávka přijata nebo odmítnuta. Princip statistické přejímky jedním výběrem je takový, že je vybrán náhodný počet jednotek (značený n) z celkového počtu N dodaných kusů. Poté se srovnáváním zjišťuje kvalita výrobků a počítá se počet neshodných jednotek ve výběru x . Počet neshodných jednotek x se poté porovnává s přejímacím číslem A_c (přípustný počet neshodných jednotek ve výběru). Dodávka je přijata v případě, že počet neshodných jednotek x je menší, než přípustný počet neshodných jednotek A_c . Pokud je číslo neshodných jednotek x větší než počet přípustných neshodných jednotek A_c , je dodávka zamítnuta. Postup je jasně viditelný v následujícím diagramu. [2], [3], [8], [9]



Obrázek 6: Statistická přejímka jedním výběrem (Zdroj [3])

1.5 Six Sigma

1.5.1 Historie

Na začátku všeho byla společnost Motorola na území USA vlastněná od 70. let japonskými vlastníky. Jelikož firma vyprodukovala každý pátý výrobek vadný, tak vlastníci požadovali zlepšení kvality výrobků s nižšími výrobními náklady. Tohoto cíle se jim podařilo dosáhnout roku 1987 pomocí metody Six Sigma. Za vynálezce Six Sigma je považován Bill Smith. V roce 1995 Six Sigma vyzkoušela i další velká firma – General Electric. Výsledky byly i zde úchvatné, a proto se Six Sigma stávala velmi úspěšnou. Začala se šířit po společnostech v USA a později se dostala i do Evropy, také díky Evropskému klubu Six Sigma (ESSC). [14], [15], [17]

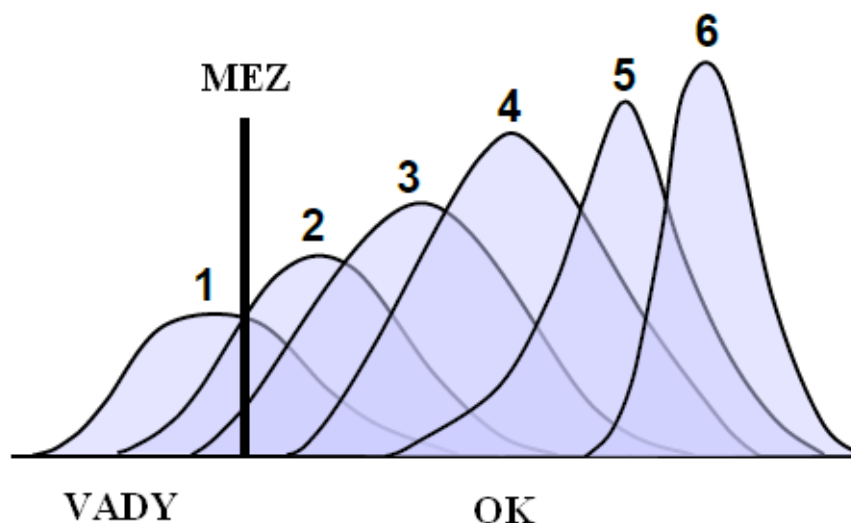
1.5.2 Definice

Six Sigma je metodika na minimalizaci chyb a zlepšení výrobních procesů. Pomocí Six Sigmy lze dosáhnout lepší kvality, zvýšení produkce, menšího počtu zmetků a snížení nákladů. To vše dopomáhá k novým potencionálním zákazníkům a tím i spojené větší zisky. To vše lze dosáhnout správným zpracováním dat pomocí matematické analýzy a statistických metod. Využitím metody Six Sigma lze dosáhnout kvality 3,4 DPMO (defects per million opportunities), tedy maximálně 3,4 chyb na milion příležitostí. Počet chyb se odvíjí dle stupně σ . Závislost úrovně σ a počet chyb je popsán v následující tabulce. [12], [13], [14]

Tabulka 6: Tabulka hodnot Sigma (Zdroj [12])

Úroveň Sigma [σ]	V pořádku [%]	Vada [%]	DPMO
1	30,9	69,1	691462
2	69,1	30,9	308538
3	93,3	6,7	66807
4	99,38	0,62	6210
5	99,977	0,023	233
6	99,99966	0,00034	3,4

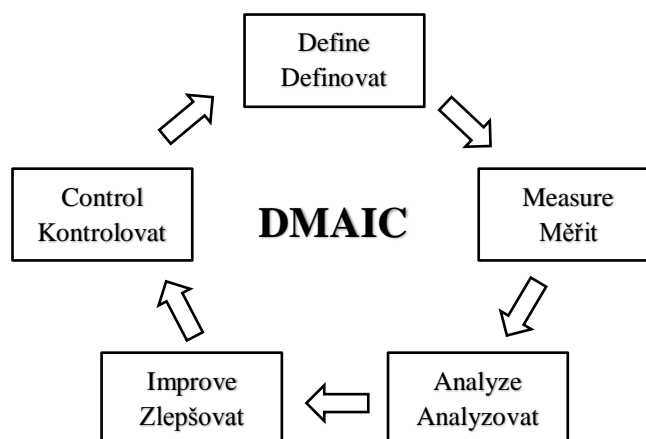
Úrovně Sigma se dají zobrazit pomocí Gaussovy křivky. Na následujícím obrázku můžeme vidět zobrazení předchozí tabulky 6, neboli závislost Gaussovy křivky na hodnotě Sigma.



Obrázek 7: Závislost Gaussovy křivky na velikosti Sigma (Zdroj [18])

1.5.3 DMAIC

DMAIC je jedním ze základních cyklů využívaný v Six Sigma pro postupné zlepšování procesů. DMAIC je zkratka složená z počátečních písmen anglických slov: Define, Measure, Analyze, Improve, Control. Překlad do češtiny zní: definovat, měřit, analyzovat, zlepšovat, kontrolovat. Těchto 5 slov nám naznačuje, v jakých krocích se procesy postupně vylepšují. Cyklus DMAIC se používá především při zlepšování již zavedených procesů. [12], [13], [16], [17]



Obrázek 8: DMAIC cyklus (Zdroj [16])

1.5.3.1 Define

Define, česky definovat, je první krok cyklu DMAIC, ve kterém se jednoznačně definují cíle (problémy), které mají být vylepšeny (odstraněny), postup jakým se ho má dosáhnout a určení týmu pracovníků. Definování cílů (problémů) musí být velmi přesné a konkrétní, což usnadňuje a zvyšuje pravděpodobnost zdárného výsledku. V mnoha případech za neúspěšným zlepšením stojí právě nekvalitně nadefinované cíle. Nejvyšší prioritu na zlepšování procesů mají zákazníci a jejich požadavky, jelikož tvoří cílovou skupinu. [12], [13], [17]

1.5.3.2 Measure

Measure, česky měření, je druhá etapa cyklu DMAIC, ve které se získávají důležité informace a data o chování současného procesu, která nám dopomohou pochopit stávající stav a která budou muset být upravena, abychom dosáhli vylepšení procesu. Je velmi důležité vyhodnotit, která data jsou pro proces důležitá a která nám dopomohou proces vylepšit. [12], [13], [17]

1.5.3.3 Analyze

Analyze, neboli analyzovat, je fáze zajišťující analyzování získaných informací (dat) pomocí grafických, matematických a statistických nástrojů (Ishikawův diagram, FMEA – analýza možného výskytu a vlivu vad, Paretova analýza či metoda 5 Why) a snaží se objevit skutečnou příčinu problému. V dalším kroku přichází na řadu ověření, zda informace (data), které jsme zjistili při měření, jsou pro zlepšení procesu opravdu důležitá. [12], [13], [17]

1.5.3.4 Improve

Zlepšování definuje a navrhuje varianty pro vyřešení problému. Poté následuje vyhodnocení a vybrání té nejlepší varianty pro úpravu procesu, která zajistí jeho vylepšení. [12], [13], [17]

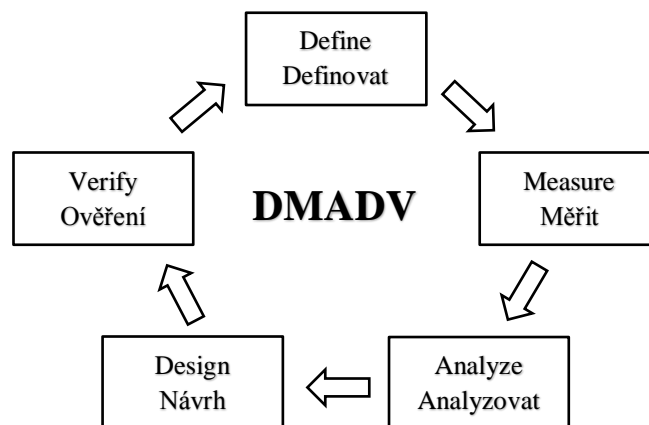
1.5.3.5 Control

Poslední etapa cyklu DMAIC je kontrola neboli řízení. Po úspěšném vylepšení procesu je potřeba udržet proces ve vylepšeném stavu, tedy zavést všechny potřebné změny do procesu a ověřit, že se jedná o dlouhodobé vylepšení, nikoliv o náhodné jednorázové. Pro správné

udržování procesu se často používá dokumentace, která kdykoliv a komukoliv dopomůže k seznámení s pracovními postupy a opatřeními. [12], [13], [17]

1.5.4 DMADV

DMADV je pětikrokový cyklus používaný v Six Sigma. DMADV je zkratka anglických slov: define, measure, analyse, design, verify. Jednotlivá slova opět symbolizují jednotlivé fáze, kterými proces projde až k výslednému řešení, tedy definovat, měřit, analyzovat, návrh a ověření (cyklus a jednotlivé kroky viz *Obrázek 9*). Tento cyklus se používá při zavádění nového procesu, nebo pokud stávající proces vyžaduje tak velkou změnu, že cyklus DMAIC je nedostačující. Stejně jako DMAIC je u této metody nejdůležitější naslouchat slovům a potřebám zákazníka. [15], [16], [17]



Obrázek 9: DMADV cyklus (Zdroj [16])

1.5.4.1 Define

Definování je podobné jako u metodiky DMAIC. V tomto první kroku se definují cíle, kterých se chce dosáhnout a sestavuje se tým, který vytváření procesu bude řešit. Jednotlivé dílčí aktivity procesu musí být oproti cyklu DMAIC velmi podrobně teoreticky popsány, jelikož se u této metodiky nemůžeme opřít o žádná data z praxe, ze kterých by šlo zlepšení odvodit. [15], [16], [17]

1.5.4.2 Measure

Krok měření se v první fázi nejdříve zabývá vymezením cílové skupiny zákazníků a následném stanovení přání a potřeb zákazníka. Dle toho se poté vytvoří měřitelné parametry, které poslouží jako sledovací prvky a budou také sloužit k další korekci. [15], [17]

1.5.4.3 Analyze

Ve fázi analýzy se navrhuje několik způsobů vyřešení požadavků. Jednotlivá řešení se vzájemně mezi sebou porovnávají a volí se nejoptimálnější řešení. Nejoptimálnější řešení může vzniknout například i kombinací dvou různých prvotních řešení. [15], [17]

1.5.4.4 Design

Navrhování se soustředí na podrobné posouzení a upřesnění zvoleného řešení ve fázi analýzy. Na konci této fáze je hotový výsledný návrh procesu, který co nejpřesněji splňuje požadavky zákazníka při úměrné přiměřené ceně. [15], [17]

1.5.4.5 Verify

Zkoumání je poslední fáze cyklu, při kterém se zkoumá a kontroluje, zda navržené řešení opravdu splňuje požadované parametry. Navržené řešení se poté převede do denního provozu a předá se kompletní dokumentace k navrhnutému procesu. [15], [17]

2 Příklady statistických metod pro řízení procesů

2.1 Řízení procesů

Dnes se setkáme s procesy téměř všude. Celý svět je složen z úkonů, které lze nazvat procesy. Tudiž i v každé společnosti existují procesy, ať jsou to opravdové výrobní procesy nebo takové, které si ani neuvědomujeme. Řízení těchto procesů, obzvláště těch výrobních, je pro společnosti velmi důležité. Společnosti musí obstát v tvrdé konkurenci a uspokojit své zákazníky. Proto společnosti řídí své procesy.

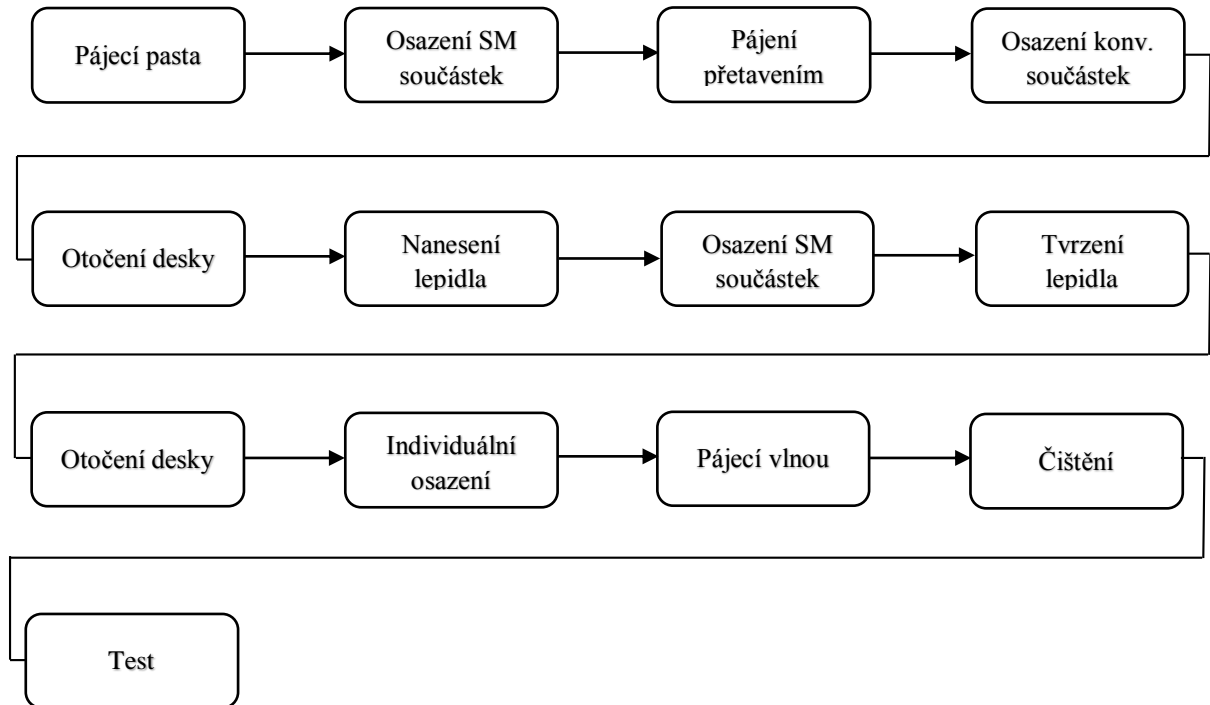
Řízení procesů souvisí s plánováním, organizací a optimalizací potřebných činností při výrobě. Řízení procesu je proces ze vstupu na výstup (ze zdroje k výrobku), který se neustále opakuje dokola. Řízení procesů má za cíl zefektivnění postupů procesů směřující k danému cíli. Na procesy působí mnoho jevů, které nelze všechny eliminovat, proto je nutné mít tyto jevy alespoň pod kontrolou. Procesy jsou pod neustálým dohledem, který vyhodnocuje správnou funkčnost procesů a případně udává návrhy na vylepšení. Procesy je potřeba řídit neustále, jelikož může dojít ke změně parametrů (změna vstupních materiálů, výměna dílů zařízení a jiné) a bude potřeba provést korekci. Nestačí tedy proces jednou optimálně nastavit a myslet si, že máme na dlouhou dobu vystaráno. Celkový proces je rozdělen na jednotlivé kroky, které se dělají postupně, tak jak jsou za sebou seskládány. Jedná se tedy o tok činností navazující na sebe. Řízení vytváří podmínky pro tyto jednotlivé kroky.

Pro správné řízení procesů je velmi důležité znát dokonale celý proces, aby se vědělo, jak ho optimalizovat a udržet ho stabilní. Pro poznání procesu je třeba znát správná data a umět je zpracovat a vyvodit z nich operace, které způsobují změnu v procesu. Pro správné nastavení celého řízení procesů je důležité znát nejen data z procesu, ale také verzi finálního produktu vyplývajícího z procesu. Dle výsledku se definují jednotlivé prvky a optimalizuje se celý proces. Pokud bude proces opravdu správně nastavený, výstup by měl odpovídat zadání.

Pro ideální nastavení procesů se používá spousta metod, například právě také statistické metody, které se dají do procesů zaimplementovat. Statistické metody v procesech dopomáhají odhalit závady v řízení procesů a nastítnit tak jejich vylepšení, zefektivnění a zlepšení kvality.

2.2 Proces osazování desek plošných spojů

Pro ukázkou využívání statistickým metod pro řízení procesů v elektrotechnice poslouží jako ukázkový proces osazování desek plošných spojů. Proces je zobrazený v následujícím obrázku.



Obrázek 10: Osazování desek plošných spojů (Zdroj [19])

Celkový proces osazování desek plošných spojů je rozkouskovan do jednotlivých fází. Řízení procesu má za úkol tento proces zefektivnit. V jakémkoliv kroku tohoto procesu může docházet k poruchám, které ovlivňují funkčnost výsledného produktu. Některé jevy nelze ovlivnit (tolerance součástek a zařízení, atmosférický tlak, teplota), ale musí se do jisté míry tolerovat a mít je pod kontrolou. Abychom tomu zabránili, je třeba proces hlídat a v případě poruchy jej opravit. Abychom mohli analyzovat tento proces, je nejdříve nutné získat správná data z výrobního procesu. V tomto procesu se zaměříme na sledování tloušťky nanesené pájky. Udržování správné tloušťky pájky je při výrobě plošných spojů velmi důležité. Tloušťka pájky udává, jak dobře budou komponenty na desce sedět a jak dobře budou ve výsledné fázi fungovat. Špatná tloušťka pájky může způsobit kalibrační problémy přístroje nebo nedostatečné čištění šablony. Je zde riziko vady, které by se mohlo stát velmi nákladnou

položkou, a proto se nabízí využití statistických metod, která by analyzovala změřené hodnoty tloušťky pájky.

Pro kontrolu tloušťky pájky se dají využít následující statistické metody. Regulační diagram poslouží pro kontrolu, zdali se tloušťka pájky nachází v mezích UCL a LCL (upper a lower control limit). Pokud problém opravdu nastane (hodnota bude mimo vytyčené meze), je potřeba ho co nejrychleji vyřešit. V tomto případě může za chybu nést odpovědnost špatný materiál desky či samotný přístroj pro nanášení pájky nebo také připadá v úvahu poškození měřicího přístroje. Další možností kontroly tohoto ukázkového procesu je histogram, kterým by se mohlo zjišťovat, zda proces netrpí kolísáním a neovlivňuje tak správný výstup procesu. Pokud by docházelo k ovlivňování, opět by byla potřeba oprava. Zde by nejspíše stačila kalibrace přístroje či jeho oprava. V případě různých druhů chyb vzniklých při pájení můžeme využít Paretovu analýzu. Paretova analýza jasně specifikuje četnost vad a dle její definice jasně určí, které závady je třeba odstranit.

V dalším případě může chyba nastat v osazování součástek. Součástky jsou osazovány automatickým osazováním, kdy vakuové pipety vezmou ze zásobníku součástky, které poté osadí na desku plošného spoje. Při osazování může dojít k chybám, které je nutné kontrolovat. Při osazování součástek plošných spojů může dojít ke špatnému umístění součástky na plošný spoj, jejímu neosazení, osazení špatné součástky, osazení poškozené součástky nebo součástka, která je na desce plošného spoje špatně otočená. Kontrola se provádí až po usazení všech součástek.

Celý proces, každý krok, je nutné znát takhle dopodrobna, aby bylo možné identifikovat vadu v procesu a poté proces znova optimalizovat. Každý krok celého procesu je potřeba kontrolovat a nepřetržitě řídit. Při případné změně bude muset dojít ke kalibraci, která systém vrátí zpět do správného chodu.

2.2.1 Histogram

Názorný příklad vytvoření histogramu z procesu osazování desek plošných spojů.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty v procesu (Vlastní zpracování)

Naměřené hodnoty tloušťky pájky[μm]									
386	308	253	427	378	458	395	453	393	426
337	373	442	412	400	343	407	463	341	483
496	416	422	368	469	482	405	269	466	364
386	436	303	375	422	292	396	470	413	379
458	345	380	504	375	435	402	326	322	456
378	424	442	349	328	485	258	405	458	419
431	344	398	404	540	322	428	395	403	413
377	470	271	381	402	387	473	396	549	378
431	376	438	477	351	479	382	420	353	522
349	498	399	429	472	418	336	461	422	432

Jestliže máme kompletní tabulku hodnot, tak nejdříve z této tabulky 7 určíme rozpětí hodnot R. Rozpětí hodnot R je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou v tabulce.

Rozpětí hodnot R:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (2.1)$$

$$R = 549 - 253 = 296 \quad (2.2)$$

Dále určíme počet intervalů dle tabulky 4. V tabulce 7 se nachází 100 naměřených hodnot, což dle tabulky 4 spadá do rozsahu výběru 50 – 100. Jak z tabulky vyplývá, počet intervalů bude 6 – 10, pro tento příklad zvolíme počet intervalů 8.

V dalším kroku musíme určit šíři intervalu. Šířka intervalu se spočte jako podíl mezi rozpětím hodnot R a počtem intervalů.

Šířka intervalu:

$$\text{šířka intervalu} = \frac{R}{\text{počet intervalů}} \quad (2.3)$$

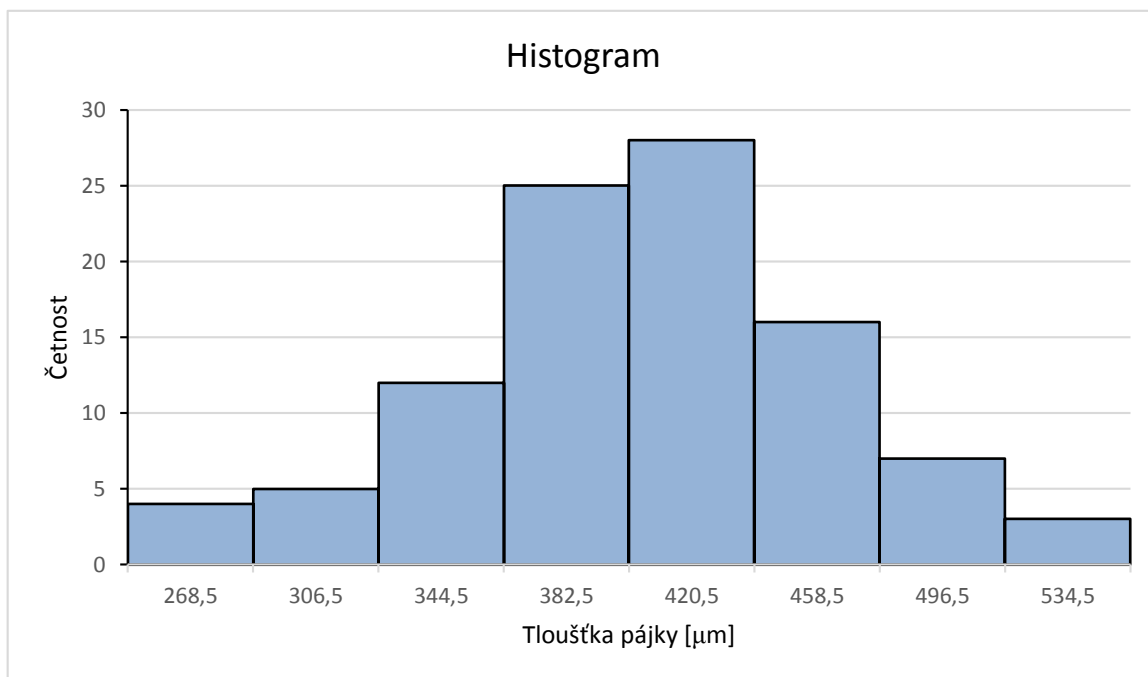
$$\text{šířka intervalu} = \frac{296}{8} = 37,0 \quad (2.4)$$

Dle výsledku šířky intervalu z rovnice 2.4 si vytvoříme novou tabulku, ve které vytvoříme jednotlivé intervaly dle vypočtené šířky a budeme zapisovat počet hodnot z tabulky 7 v jednotlivých intervalech.

Tabulka 8: Četnost hodnot v intervalech (Vlastní zpracování)

Interval	Střed	Přirazené hodnoty	Četnost
250 – 287	268,5	////	4
288 – 325	306,5	/////	5
326 – 363	344,5	///// ///// //	12
364 – 401	382,5	///// ///// ///// ///// /////	25
402 – 439	420,5	///// ///// ///// ///// ///// ///	28
440 – 477	458,5	///// ///// ///// /	16
478 – 515	496,5	///// //	7
516 – 553	534,5	///	3
		CELKEM	100

Po dokončení tabulky 8 již můžeme vytvořit finální graf – histogram.



Obrázek 11: Histogram k procesu (Vlastní zpracování dle tabulky 8)

2.2.2 Paretova analýza

V procesu osazování desek plošných spojů dochází v průběhu procesu k několika vadám. Typ vad při pájení: přebytek a nedostatek (nebo nenanesení) pájky, vznik kuliček, děr a pájkových můstků (způsobí zkrat), studený spoj (nesmočené pájecí plochy a vývody), ostatní vady.

Tabulka 9: Četnost vad v procesu (Vlastní zpracování)

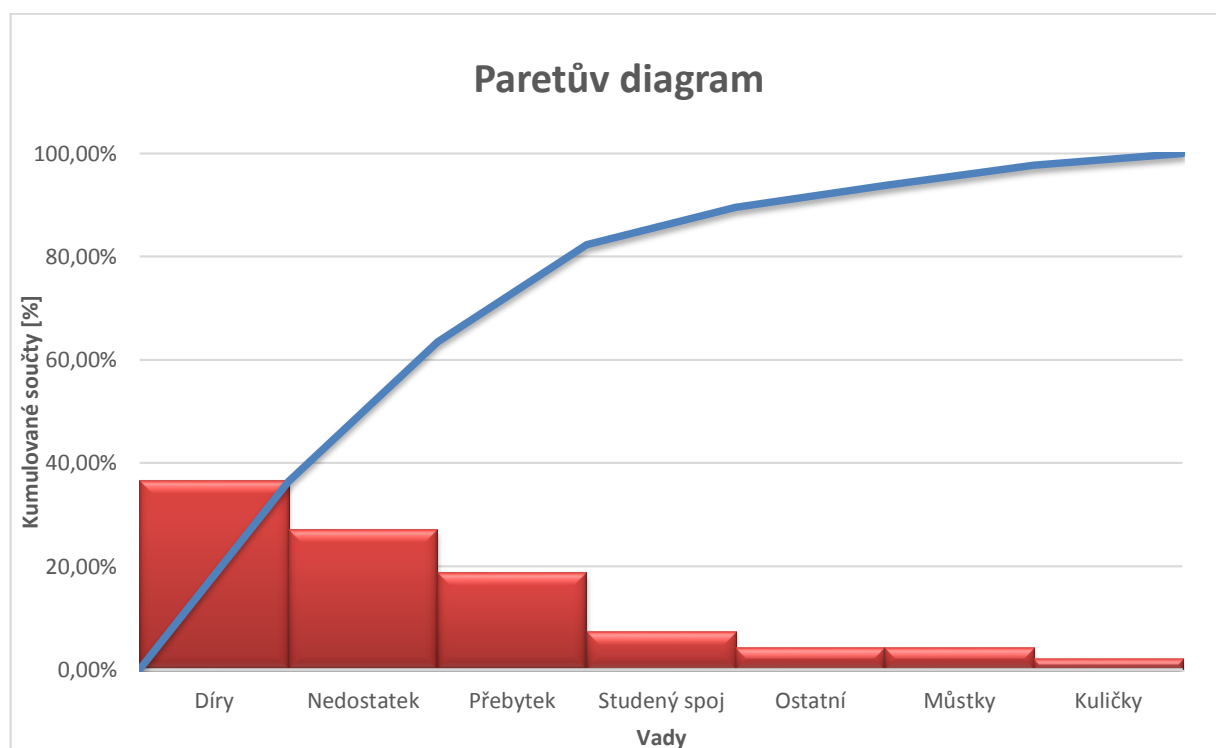
Vada	Četnost
Přebytek pájky	10
Nedostatek pájky	17
Kuličky pájky	5
Díry v pájce	28
Pájkové můstky	6
Studený spoj	9
Ostatní vady	8

Tabulku četností vad je potřeba v danou chvíli seřadit sestupně dle četností, tedy od největší hodnoty četnosti po nejmenší, a vypočteme kumulativní součty.

Tabulka 10: *Uspořádané hodnoty (Vlastní zpracování)*

Vada	Četnost	Kumulativní součet	Četnost v %	Kumulativní součet %
Díry v pájce	35	35	36,46	36,46
Nedostatek pájky	26	61	27,08	63,54
Přebytek pájky	18	79	18,75	82,29
Studený spoj	7	86	7,29	89,58
Ostatní vady	4	90	4,17	93,75
Pájkové můstky	4	94	4,17	97,92
Kuličky pájky	2	96	2,08	100

Tabulka 10 už je dostačující pro vytvoření Paretova diagramu.



Obrázek 12: *Paretův diagram z ukázkového procesu (Vlastní zpracování dle tabulky 10)*

3 Přínos statistických metod pro řízení procesů

Řízení procesů společnosti využívají pro sledování jednotlivých kroků procesu, které se vyhodnocují a dále optimalizují pro výrobní proces. Díky počítačové technice jsou tyto kroky dělány počítači, které si výsledky mezi sebou posílají z jedné fáze do další fáze. Vymazávají tak možnost výskytu chyb způsobené čitelností záznamů, jejich přepisu nebo jejich zfalšování. Navíc lze proces přesně optimalizovat ještě před samotným spuštěním. Využitím počítačů při řízení procesů se dá proces velmi dobře nastavit. Počítače jsou schopné pomocí matematických a fyzikálních metod nasimulovat celý proces a výsledek porovnat se zadáním. To může společností ušetřit spoustu nákladů (finanční, materiálové) spojených se špatnou optimalizací procesů a výrobou nepovedených výrobků. Pro ideální nastavení procesů se například používají statistické metody.

Statistické metody přináší do řízení procesů velký přínos. Společnosti tyto a jiné metody využívají z jasných důvodů. Díky těmto metodám se společnosti dokáží udržet v těžké konkurenci. Statistické metody mohou při správném používání zvýšit produkci, snížit chyby a provádět proces za kratší časový úsek. To vše přináší společností, využívající statistické metody, obrovské výhody. Udrží si své zákazníky, naláká nové zákazníky a tím samozřejmě zvýší i své zisky. Statistické metody se využívají, jelikož pouhé ověření zařízení není dostatečnou zárukou, že proces bude pracovat správně. Jednoduše řečeno statistické metody dohlíží na správnou funkčnost procesu. Odečítáním potřebných hodnot z procesu a jejich zpracováním se dokáže určit, zda proces splňuje či nesplňuje požadavky. Potřebná data jsou taková, která přímo ovlivňují kvalitu výrobku. V tomto ukázkovém procesu se jedná o hodnoty tloušťky pájky při osazování desek plošných spojů. Do tohoto ukázkového procesu byly implementovány 3 statistické metody – regulační diagram, histogram a Paretova analýza.

Regulační diagram je jedním z hlavních statistických nástrojů. Regulační diagram určuje statistickou zvládnutelnost procesu, na který působí náhodné vlivy. Tyto náhodné vlivy ovlivňují proces, ale pouze v malém měřítku, které nemá negativní dopad na celkový proces. Diagram zobrazuje, zda se hodnoty vyskytují v mezích, pokud ano, tak není nutné zasahovat do procesu. Pokud se hodnoty v grafu dostanou mimo určené meze, tak dochází k zásahu nepříznivých vlivů do procesu. Nepříznivé vlivy jsou regulačním diagramem objeveny a začíná se pracovat na jejich odstranění. Regulační diagramy se také dají použít při

nastavování procesu. Tak slouží jako odezva na změny provedené při nastavování a lze kontrolovat změny v procesu.

Pomocí histogramu můžeme zjistit, zda proces vyhovuje požadavkům. Dle výsledného tvaru histogramu můžeme určit závady v procesu. Síla histogramu tkví především v jeho jednoduchosti pro sestavení a v jednoduchosti pochopení při odečítání z grafu. Histogram je v tomto procesu použit pro pozorování kolísání naměřených hodnot. V tomto ukázkovém příkladu vyšel histogram zvonovitého tvaru, což představuje normální rozdělení. Tento tvar histogramu vypovídá, že proces je statisticky zvládnut a působí na něj pouze malé náhodné příčiny, které nemají velký vliv na celkový proces.

Paretova analýza pomáhá vyhledat příčiny ztrát, kterými proces trpí. Příčiny ztrát oddělit na podstatné a méně podstatné a nalézt nejdůležitější příčiny, které je potřeba odstranit. Paretova analýza říká, že odstraněním 20 % hlavních příčin odstraníme 80 % ztrát. V ukázkovém procesu jsme měli seznam vad, které na pájecí proces působí a ovlivňují tak kvalitu výrobku. Do seznamu poruch při pájení patří: nedostatek pájky, přebytek pájky, díry v pájce, studený spoj, ostatní vady, pájkové můstky a kuličky pájky. Aplikací Paretovy analýzy se určilo, které vady v procesu by měly být odstraněny. Z Paretova diagramu vytvořeného v ukázkového procesu vyplývá (*Obrázek 12*), že odstraněním první třech závad s největší četností lze dosáhnout zmenšení ztrát. Konkrétně odstraněním chyb děr v pájce, nedostatek a přebytek pájky lze dosáhnout snížení ztrát přes 80 %.

Závěr

V této bakalářské práci jsou obsaženy informace o statistických metodách využívaných v praxi. Nejdříve je zaměřeno na teoretickou část, kde jsou všechny metody popsány teoreticky, a v další fázi je vypracován vzorový proces s aplikovanými statistickými metodami. Statistické metody určily nový směr pro řízení procesů. Dříve se na výstupu procesu hledali nevyhovující výrobky s vadami. Nové myšlení a statistické metody nevyhovující výrobky nevyhledává, ale snaží se těmto výrobkům předejít a co nejvíce je potlačit. Potlačením vad se lze dostat až na hranici 3,4 DPMO – 3,4 vad na milion příležitostí. K tomuto úchvatnému číslu se lze dopracovat plným využitím metodiky Six Sigma. Six Sigma vznikla v americké společnosti Motorola a svůj princip zakládá na využívání statistických metod s cílem vylepšení procesů. Vylepšení procesů ve velmi širokém měřítku, zahrnuje zlepšení všech fází od objednávky až po finální výstup. Six Sigma využívá především dva cykly (dvě metody) – DMAIC a DMADV. Metody se využívají pro navrhování nových řešení, DMAIC pro zlepšení stávajícího procesu a DMADV pro nový proces. Jak DMAIC tak DMADV využívají při svých etapách statistické metody. Zavedení Six Sigma klade velké nároky, ale může se vyplatit velkým společně a ušetřit jim spoustu peněz. Na druhou stranu i zavádění Six Sigma něco stojí, především hodně peněz a času, proto zavádění Six Sigma je především doménou velkých společností s dostatečným obratem.

Statistické metody jsou založeny na matematické statistice. Statistické metody sbírají data z procesů, které poté zpracovávají a udávají výsledky, které dopomohou proces vylepšit. Metody lze využít v různých fázích procesu. V předvýrobní etapě se využívá analýza rozptylu (ANOVA) a Paretova analýza. Ve výrobní části poté regulační a korelační diagramy a v povýrobní etapě čárkový formulář a statistická přejímka (ta se používá i v ostatních fázích). Pomocí statistických metod máme možnost vyšetřovat proces z pohledu časového vývoje, porovnávat závislosti proměnných mezi sebou, zkoumat tvary diagramů, které nám pomohou určit o jaký problém v procesu se jedná, či jakých maximálních a minimálních hodnot může proces nabývat a zda je statisticky zvládnutý. Statistické metody jsou velmi závislé na správných datech a jejich dostatečném počtu pro vytvoření adekvátních výsledků. Statistické metody sami o sobě proces nezlepší, ale udržují proces na žádoucí úrovni a upozorňují na problémy, které v procesu nastaly, což vede k jejich následné eliminaci. Statistické metody jsou velmi využívanými metodami při zlepšování procesů, jen v České republice je používá více jak polovina podniků.

V další části bakalářské práce byl vypracován ukázkový proces osazování desek plošných spojů. Na tomto procesu byla ukázána možnost implementace statistických metod do řízení procesů. Konkrétně v tomto procesu pro osazování desek plošných spojů se měřila tloušťka nanesené pájky, která hraje roli ve správné funkčnosti výsledného prvku. Jako vhodné statistické metody pro kontrolu řízení procesu v tomto ukázkovém procesu osazování desek plošných spojů byly navrženy metody: regulační diagram, histogram a Paretova analýza. Regulační diagram posloužil jako kontrola tloušťky pájky, která by se při statisticky zvládnutém procesu měla nacházet ve vymezených mezích a nevykazovat porušení žádného ze stanovených kritérií. Dále byl využit histogram. Histogram byl vytvořen z hodnot naměřených tloušťky pájky a z jeho tvaru (histogram zvonovitého tvaru) je patrné, že proces není nijak ovlivněn a působí na něj pouze náhodné příčiny. Dále byly stanovené chyby, které v průběhu ukázkového procesu mohou při pájení vzniknout. Pro zjištění, které chyby jsou nejdůležitější a které je potřeba odstranit, byla využita Paretova analýza. Postup při tvorbě Paretova diagramu a histogramu byl ukázán v ukázkovém příkladu.

V závěrečné části došlo ke zhodnocení statistických metod pro řízení procesů. Statistické metody jsou hojně využívány pro kontrolu řízení procesů mnoha společnostmi. Vytvoření grafů lze sestavit samozřejmě ručně, ale sběr hodnot může narušit proces. Proto společnosti využívají naprogramovaný software, který data sbírá, analyzuje je a v případě odchylky na problém upozorní. Samozřejmě je tento způsob rychlejší a přesnější. Statistické metody se dají dobře implementovat do řízení procesu. Statistické metody mají velikou přednost, jsou velmi jednoduché. Jednoduché jak na sestavení, tak na vyvozování důsledků z jejich výsledků. Právě proto jsou tak vcelku využívanými metodami pro řízení procesů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] FIALA, Alois. *Statistické řízení procesů*. Brno: ICB Brno, 1996, 79 s.
- [2] TOŠENOVSKÝ, Josef, NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000, 362 s. ISBN 80-722-5040-X.
- [3] NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody v řízení jakosti*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1996, 81 s. ISBN 80-707-8318-4.
- [4] HŮLOVÁ, Marie a Eva JAROŠOVÁ. *Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti*. 4. vyd. Praha: Oeconomica, 2011, 119 s. ISBN 978-80-245-1748-3.
- [5] KOŽÍŠEK, Jan a Eva JAROŠOVÁ. *Statistické zabezpečování jakosti*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 189 s. ISBN 80-010-2304-4.
- [6] PISKÁČEK, Bedřich, KAŠOVÁ, Vlasta, ZMATLÍK, Jiří. *Řízení jakosti*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 222 s. ISBN 80-010-2276-5.
- [7] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2003, 153 s. ISBN 80-704-3247-0.
- [8] VEBER, Jaromír. *Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce: legislativa, systémy, metody, praxe*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2006, 358 s., viii s. barev. obr. příl. ISBN 80-726-1146-1.
- [9] KUPKA, Karel. *Statistické řízení jakosti: legislativa, systémy, metody, praxe*. Vyd. 1. Pardubice: TriloByte, 1997, 191 s. ISBN 80-238-1818-X.
- [10] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [11] Ikvalita.cz: řízení jakosti. [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=23>
- [12] GEORGE, Michael L. *Co je Lean Six Sigma?*. 1. vyd. Brno: SC, c2005, 94 s. ISBN 80-239-5172-6
- [13] GEORGE, Michael L. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity*. 1. vyd. Brno: SC, 2010, vi, 280 s. ISBN 978-80-904099-2-7
- [14] PANDE, Peter S. *Zavádíme metodu Six Sigma: aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. 1. vyd. Brno: TwinsCom, 2002, 416 s. ISBN 80-238-9289-4
- [15] TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008, x, 508 s. ISBN 978-80---1766-8
- [16] GINN, Dana. *Návrh Six Sigma - memory jogger™: nástroje a metody pro robustní procesy a produkty*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 1-57681-047-3X.
- [17] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 223 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0
- [18] Tůmová, Olga. *Řízení jakosti a technická diagnostika (prezentace)* Plzeň: FEL ZČU.
- [19] Skočil, Vlastimil. *Technologie elektrotechniky (prezentace)* Plzeň: FEL ZČU.