

# **Využití optimalizačních nástrojů v řízení kvality procesů ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o.**

Bc. Vendula Holubová

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky

Ústav podnikové ekonomiky  
akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vendula Holubová**  
Osobní číslo: **M110059**  
Studijní program: **N6208 Ekonomika a management**  
Studijní obor: **Podniková ekonomika**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Využití optimalizačních nástrojů v řízení kvality  
procesů ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o.**

Zásady pro vypracování:

Úvod

### I. Teoretická část

- Provedte literární průzkum zdrojů a zpracujte literární rešerši z oblasti matematicko–statistických metod.

### II. Praktická část

- Aplikujte matematicko–statistické metody ve výrobním procesu společnosti Continental Barum spol. s r. o.
- Zhodnoťte přínos použitých matematicko–statistických metod ve výrobním procesu.
- Navrhněte analytický aparát pro výběr vhodné metody analýzy dat.

Závěr

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

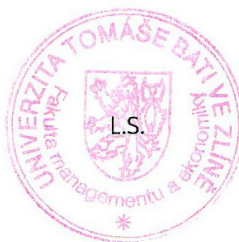
Seznam odborné literatury:

**HINDLS, Richard, Stanislava HRONOVÁ a Jan SEGER. Statistika pro ekonomy. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-26-6.**  
**KOVÁŘÍK, Martin a Petr KLÍMEK. Využití matematicko-statistických metod v řízení kvality. 1. vyd. Žilina: Georg, 2011. 218 s. ISBN 978-80-89401-54-3.**  
**MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Kompendium statistického zpracování dat. 2. vyd. Praha: Academia, 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.**  
**MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. 6. vyd. United States of America: John Wiley & Sons, 2009. 734 s. ISBN 978-0-470-16992-6.**  
**TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. Statistické metody pro zlepšování jakosti. 1. vyd. Ostrava: Montanex, a.s., 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Kovářík, Ph.D.**  
Ústav statistiky a kvantitativních metod  
Datum zadání diplomové práce: **22. února 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **2. května 2013**

Ve Zlíně dne 22. února 2013

prof. Dr. Ing. Drahomíra Pavelková  
*děkanka*



doc. Ing. Boris Popesko, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

# PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1</sup>;
- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému,
- na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2</sup>;
- podle § 60<sup>3</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

---

<sup>1</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

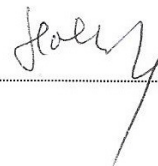
(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

- podle § 60<sup>4</sup> odst. 2 a 3 mohou užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Prohlašuji, že:

- jsem bakalářskou/diplomovou práci zpracoval/a samostatně a použité informační zdroje jsem citoval/a;
- odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 2.5.2013



<sup>4</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

- (2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.
- (3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Ve své diplomové práci se zabývám využitím statistických metod pro řízení kvality ve výrobním podniku Continental Barum spol. s.r.o. Hlavním cílem této práce je aplikovat matematicko-statistické metody na výrobní proces a navrhnout vhodnou statistickou metodu, která povede ke zlepšení analytického určování odlehlých hodnot a posunů střední hodnoty u výrobních procesů. Teoretická část vysvětluje vybrané statistické metody. V projektové části aplikuji získané teoretické poznatky na reálný proces. K numerickým výpočtům a grafickým znázorněním využívám software Minitab 16.

Klíčová slova: statistická regulace procesu, variabilita procesu, Shewhartovy regulační diagramy, způsobilost procesu, odlehlá pozorování

## **ABSTRACT**

In my thesis I deal with the using of statistical methods for quality control in the company Continental Barum Ltd. The main objective of this thesis is apply statistical methods to the production process and propose an appropriate statistical method that improve the analytical determination of outliers and shifts in the mean value in production processes. The theoretical part explains selected statistical methods. In the project part I apply theoretical knowledge to the real proces. For numerical calculations and graphical representation I use software Minitab 16.

Keywords: statistical process control, process variability, Shewhart's control charts, process capability, outliers

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Ing. Bc. Martinu Kovářikovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během zpracování této práce a za čas, který mi věnoval při výkonu odborné praxe ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ KVALITY PROCESŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 VARIABILITA PROCESU .....	12
1.2 FÁZE STATISTICKÉ REGULACE PROCESU .....	13
1.3 REGULAČNÍ DIAGRAMY .....	13
1.3.1 Základní charakteristika regulačních diagramů.....	14
1.3.2 Typy regulačních diagramů.....	15
1.3.3 Konstrukce regulačních diagramů.....	15
1.4 KLASICKÉ SHEWHARTOVY REGULAČNÍ DIAGRAMY .....	16
1.4.1 Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci měřením.....	17
1.5 REGULAČNÍ DIAGRAM EWMA.....	20
1.5.1 Dynamický diagram EWMA.....	21
1.6 REGULAČNÍ DIAGRAM ARIMA .....	21
1.7 METODA KUMULOVANÝCH SOUČTŮ (CUSUM).....	22
1.7.1 Interpretace průběhu diagramu CuSUM .....	23
1.7.2 Pomůcky diagramů kumulativních součtů CuSUM.....	23
1.8 ZPŮSOBILOST PROCESU .....	24
1.8.1 Indexy způsobilosti procesu .....	24
<b>2 PARETOVA ANALÝZA</b> .....	<b>28</b>
2.1 SESTROJENÍ PARETOVA DIAGRAMU .....	28
<b>3 IDENTIFIKACE ODLEHLÝCH HODNOT PROCESU</b> .....	<b>30</b>
3.1 TEST $\pm 4s$ .....	30
3.2 DIXONŮV TEST .....	31
3.3 GRUBBSŮV TEST.....	31
3.4 KRABICOVÝ DIAGRAM.....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>4 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI</b> .....	<b>35</b>
4.1 HISTORIE SPOLEČNOSTI .....	37
4.2 ORGANIZAČNÍ STRUKTURA PODNIKU .....	38
4.3 VÝROBKOVÉ PORTFOLIO.....	38
4.4 ZÁKLADNÍ POPIS VÝROBNÍHO PROCESU .....	39
4.4.1 Technologický postup výroby osobních plášťů a materiálové toky.....	40
4.5 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU V CONTINENTAL BARUM SPOL. S.R.O.....	43
<b>5 EKONOMICKÉ NÁKLADY SPOLEČNOSTI VYVOLANÉ POČTEM NESHODNÝCH VÝROBKŮ</b> .....	<b>45</b>



5.1	NÁKLADY NA NESHODNÉ VÝROBKY V ROCE 2011 .....	46
5.2	NÁKLADY NA NESHODNÉ VÝROBKY V ROCE 2012 .....	48
<b>6</b>	<b>VYUŽITÍ MATEMATICKO-STATISTICKÝCH METOD V PROCESU MĚŘENÍ ŠÍŘE BOČNIC .....</b>	<b>51</b>
6.1	OVĚŘENÍ NORMALITY DATOVÝCH SOUBORŮ .....	51
6.2	CELKOVÁ ANALÝZA PROCESU POMOCÍ NÁSTROJŮ SPC .....	52
6.3	ZHODNOCENÍ POUŽITÝCH MATEMATICKO-STATISTICKÝCH METOD V PROCESU MĚŘENÍ ŠÍŘE BOČNIC .....	57
<b>7</b>	<b>NÁVRH APARÁTU PRO IDENTIFIKACI ODLEHLÝCH HODNOT PROCESU .....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>NÁVRH APARÁTU PRO IDENTIFIKACI POSUNU STŘEDNÍ HODNOTY PROCESU .....</b>	<b>63</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>77</b>

## ÚVOD

V současnosti, době velké mezinárodní konkurence, je cílem každé výrobní společnosti zefektivnění a zkvalitnění všech procesů. Výrobní společnosti se tedy musí zaměřit zejména na zvýšení výstupů procesů při daném množství zdrojových vstupů. Aby bylo možné mít proces „pod kontrolou“, je nezbytně nutné získávat a vyhodnocovat informace o tom, jak se daný proces chová a jak se nejspíše bude chovat, dále jaké příčiny vyvolávají v procesu neočekávané a nežádoucí změny, které je nutno eliminovat. Při monitorování a měření procesů získáváme nepřehledné množství dat, které je zapotřebí zpracovat a vyhodnotit tak, aby v případě odhalení významných odchylek bylo možné do procesu včas zasáhnout a udržet jej na stabilní a přípustné úrovni.

Cílem této diplomové práce je aplikovat matematicko-statistické metody na procesy ve výrobním podniku Continental Barum spol. s.r.o., dále zhodnotit jejich přínosy a následně navrhnout případná opatření či doporučení na zlepšení.

V první části práce se zaměřím na teorii problematiky z oblasti matematicko-statistických metod. Pokusím se objasnit názvosloví týkající se statistické regulace procesu a využívané nástroje. Popíši, kdy je možné proces považovat za zvládnutelný a způsobilý, jak pomocí grafických nástrojů, tak pomocí indexů způsobilosti. Následně zmíním princip Paretovy analýzy. V závěru teoretické části se budu věnovat popisu testů, které slouží k identifikaci odlehlých hodnot procesu. Tyto získané teoretické poznatky budou využity v praktické a projektové části diplomové práce.

V praktické části nejprve představím společnost Continental Barum spol. s.r.o., popíši výrobní procesy v podniku a průběh statistické regulace procesů. Poté se zaměřím na vyčíslení nákladů, které společnosti vznikají v důsledku vzniku neshodných výrobků. Následovat bude aplikace matematicko-statistických metod na výrobní proces podniku. Součástí projektové části bude také návrh vhodného aparátu pro analýzu dat ve společnosti. K vyhodnocování a zpracování získaných dat budu využívat statistický software Minitab 16.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ KVALITY PROCESŮ

Statistická regulace procesu udržuje výrobní technologický proces v ustáleném nebo požadovaném stavu, kontroluje a řídí proces statistickými metodami tak, aby byla udržena kvalita výrobků na žádoucí úrovni. Účelem regulace je určit podle výsledků kontroly malého počtu výrobků odebraných z výrobní dávky za určitý časový interval, zda působením nějakého systematického jevu nenastaly takové změny, které by ohrozily splnění požadavků na kvalitu. Statistická regulace má preventivní charakter, umožňuje zásah do výroby ještě před skutečným výskytem neshodných výrobků. (Tůmová, 2009)

## 1.1 Variabilita procesu

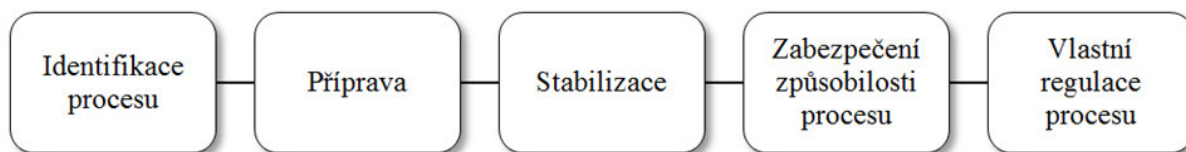
Za relativně stálých podmínek působí na proces a jeho výstupy objektivně řada vlivů, které způsobují, že nelze vyprodukovat dva zcela totožné produkty. Je však možné tyto vlivy studovat a vytvářet podmínky, aby se variabilita procesu pohybovala ve svých přirozených mezích, byla stabilní a aby bylo možné na základě znalosti přirozených mezí variability předvídat chování procesu v budoucnu. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

Rozlišujeme dva typy variability, a to variabilitu vyvolanou náhodnými příčinami a variabilitu vyvolanou vymezitelnými příčinami.

- Náhodné příčiny (Random Causes) vytvářejí široký komplex jednotlivě neidentifikovatelných příčin, z nichž každá sama o sobě přispívá k celkové variabilitě malou měrou.
- Vymezitelné příčiny (Assignable Causes) představují vliv zdrojů variability, které za běžných podmínek na proces nepůsobí. Vyvolávají reálné změny procesu, projevující se v nepřirozeném kolísání údajů, pomocí nichž variabilitu procesu hodnotíme.

Chceme-li realizovat neustálé zlepšování procesu, pak je nutné permanentně monitorovat chování procesu s cílem dosáhnout a udržovat statisticky zvládnutý stav cestou zjišťování a odstraňování či alespoň částečné eliminace působení vymezitelných příčin. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

## 1.2 Fáze statistické regulace procesu



Obr. 1 Fáze statistické regulace procesu (Zdroj: vlastní zpracování)

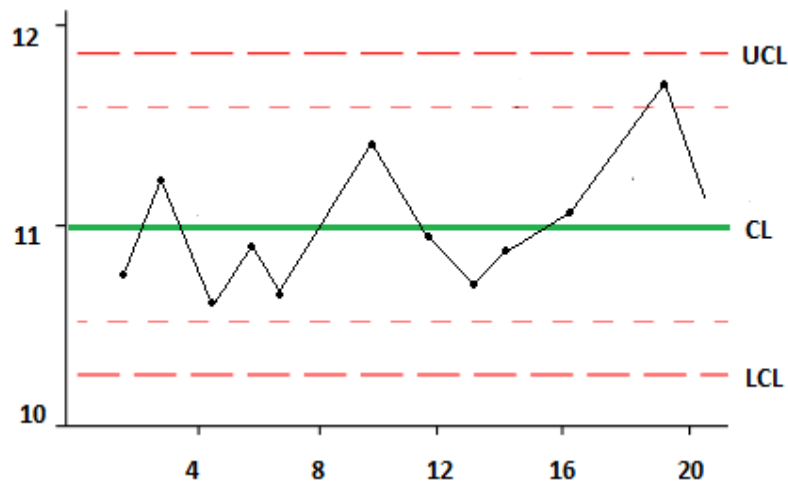
V první fázi se procesy analyzují, zda splňují požadavky, které jsou na ně kladeny a zda jsou způsobilé realizovat proces v požadované kvalitě. Nejprve je nutno analyzovat, zda byla variabilita procesu vyvolána v důsledku náhodných příčin nebo také působením příčin vymežitelných. V druhé fázi jsou procesy trvale monitorované a vyhodnocuje se jejich způsobilost. Pokud je zjištěno působení vymežitelných příčin, je nutno tyto příčiny odstranit tak, aby variabilitu procesu vyvolávaly pouze náhodné příčiny. Proces, na který působí pouze náhodné příčiny, se nazývá statisticky zvládnutý proces. K identifikaci vlivu vymežitelných příčin se využívá regulační diagram. V další fázi zjišťujeme, zda proces, který je po předchozím kroku statisticky zvládnutý, je schopen také dosahovat požadavků zákazníka a zda přirozená variabilita procesu vyhovuje předepsaným kritériím jakosti, obvykle předepsaným tolerančním mezím. U procesu, který je statisticky zvládnutý a způsobilý, se pak aplikuje vlastní statistická regulace. V poslední fázi je proces udržován ve stavu, kdy je statisticky zvládnutý a způsobilý. Cílem je pomocí regulačního diagramu signalizovat poruchy ve stabilitě procesu, identifikovat je a odstraňovat. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

## 1.3 Regulační diagramy

Regulační diagramy patří k základním nástrojům pro regulaci jakosti při výrobních procesech. Umožňují pro procesy, které jsou statisticky regulovatelné a měřený znak jakosti má stejné v čase neměnné rozdělení, modifikovat výrobní procesy, tak aby procento zmetků, kdy znak jakosti leží mimo předepsané meze, bylo dostatečně malé. (Meloun a Militký, 2002, s. 694)

### 1.3.1 Základní charakteristika regulačních diagramů

Základním nástrojem SPC je regulační diagram. Je to grafický prostředek zobrazení vývoje variability procesu v čase využívající principů testování statistických hypotéz. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)



Obr. 2 Regulační diagram (Zdroj: vlastní zpracování)

Regulační diagram se konstruuje pro danou charakteristiku znaku jakosti (např. průměr, směrodatnou odchylku, rozpětí). Na vodorovné ose je pořadí výběru (logické podskupiny) a na svislé ose hodnoty charakteristiky. Střední hodnota této charakteristiky je v grafu znázorněna rovnoběžkou s vodorovnou osou. Je to tzv. **centrální přímka CL**. Dále jsou v diagramu tzv. regulační meze. Jsou to zpravidla dvě rovnoběžky s centrální přímkou, které znázorňují **horní regulační mez UCL** a **dolní regulační mez LCL**. Regulační meze jsou typicky ve vzdálenosti  $\pm 3$  sigma od střední hodnoty procesu. Pokud všechny body leží uvnitř regulačního pásma, proces je pod kontrolou. Pokud některý bod leží mimo toto pásmo, proces je mimo kontrolu. (Piskáček, Kašová a Zmatlík, 2001; Blecharz, 2011)

V některých aplikacích se zakreslují do regulačního diagramu další meze nazývané výstražné meze: **UWL** horní výstražná mez a **LWL** dolní výstražná mez. Pásmo, které vymezují tyto meze, je vždy užší než pásmo mezi akčními mezemi, nejčastěji  $\pm 2$  sigma od CL. Pokud některý bod leží mezi UWL a UCL, resp. mezi LWL a LCL, doporučuje postupovat následovně: Ihned bez ohledu na kontrolní interval se provede další výběr. Jestliže nový bod, odpovídající tomuto bezprostřednímu výběru, leží mezi výstražnými mezemi, není třeba do procesu zasahovat. Jestliže však i tento nový bod leží mimo výstražné meze,

je to signál, že na proces s velkou pravděpodobností působí vymežitelná příčina a je nutné provést regulační zásah. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

### 1.3.2 Typy regulačních diagramů

Metody SPC dnes představují širokou škálu prostředků analýzy procesu. Podle charakteru regulované veličiny dělíme regulační diagramy na:

- regulační diagramy pro regulaci měřením – používají se v případě, kdy je regulovaná veličina spojitou náhodnou veličinou,
- regulační diagramy pro regulaci srovnáváním – používané v případě, kdy je regulovaná veličina diskrétní náhodnou veličinou.

Podle počtu znaků jakosti simultánně sledovaných na jedné jednotce výběru dělíme regulační diagramy na:

- regulační diagramy pro sledování jednoho znaku jakosti (klasické Shewhartovy diagramy).
- regulační diagramy pro sledování více znaků jakosti najednou (např. Hotellingův diagram, MCUSUM, MEWMA) (Kovářík a Klímek, 2011)

U regulačních diagramů při kontrole měřením se sleduje vždy jediný znak jakosti a pracuje se vždy se dvěma diagramy (jeden pro sledování polohy procesu a druhý pro sledování variability procesu), kdežto při kontrole srovnáváním se pracuje vždy jen s jedním regulačním diagramem, ale současně může být sledováno i několik znaků jakosti. SPC založená na kontrole měřením vyžaduje podstatně nižší rozsahy podskupin, než SPC založená na kontrole srovnáváním, neboť kvantitativní data poskytují bohatší informace než kvalitativní data. (Horálek, 2004)

Jestliže při výpočtu aktuální hodnoty regulované veličiny se neuvažují její předchozí získané hodnoty, jsou to regulační diagramy bez paměti, pokud se předchozí hodnoty regulované veličiny uvažují, jde o regulační diagramy s pamětí. (Kovářík a Klímek, 2011)

### 1.3.3 Konstrukce regulačních diagramů

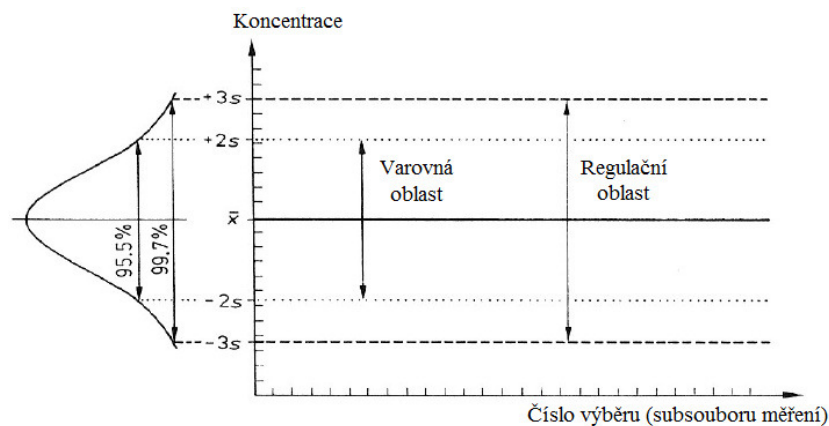
Postup konstrukce regulačního diagramu můžeme shrnout do následujících bodů:

1. Zvolíme takovou část procesu, která odpovídá naší představě, předpisu nebo zkušenosti a připravíme příslušná procesní data.
2. Na základě těchto dat stanovíme jejich statistický model. Obyčejně však máme pouze střední hodnotu (aritmetický průměr) a směrodatnou odchylku a ověříme platnost statistických předpokladů Shewhartova diagramu.
3. Z těchto dvou parametrů se zkonstruuje vlastní regulační diagram, který má podobu základní linie CL a horní a spodní regulační meze LCL a UCL.
4. Do tohoto regulačního diagramu se pak vynášejí další data z procesu a sleduje se výskyt „zvláštních případů“, signalizujících nečekanou změnu chování procesu, z nichž základní je překročení regulační meze.
5. Výskyt zvláštních případů se eviduje a hledá se tzv. přiřaditelná příčina (pokud se jí podaří identifikovat) a opatření, které bylo přijato. (Meloun a Militký, 2002)

#### 1.4 Klasické Shewhartovy regulační diagramy

*Pojem regulační diagram (anglicky control chart) byl zaveden Shewhartem pracujícím v Bellových laboratořích AT&T v letech 1924-1931. (Kupka, 2001, s. 106)*

Shewhartovy regulační diagramy pomáhají při sledování kolísání údajů, získaných z opakujících se dějů a hledají kritéria pro odhalení jejich příčin. Do Shewhartových diagramů se zaznamenávají údaje v pravidelných intervalech. Intervaly mohou být časové nebo kvantitativní. Obvykle se vytvářejí podskupiny stejných výrobků nebo stejných služeb, které mají stejné měřitelné jednotky a stejný rozsah podskupiny. (Tůmová, 2009)



*Obr. 3 Shewhartův regulační diagram  
(Zdroj: Kovářik, 2012, s. 37)*



Postup konstrukce Shewhartova regulačního diagramu:

1. Příprava dat – zvolíme část analýzy (procesu).
2. Určení odhadu střední hodnoty a směrodatné odchylky.
3. Ověření předpokladů pro konstrukci RD.
4. Konstrukce RD: získání CL, UCL a LCL.
5. Vynášení dalších experimentálních dat do RD.
6. Evidence zvláštních případů – hledání a odstranění příčin. (Kupka, 2001)

#### 1.4.1 Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci měřením

Regulační meze jsou ve vzdálenosti  $\pm 3\sigma$  od centrální přímky, kde  $\sigma$  je směrodatná odchylka příslušného souboru, z něhož se odebírají podskupiny. Možnost překročení mezí  $\pm 3\sigma$  je u stabilizovaného procesu pouze 0,3%, proto se tyto meze nazývají také akční. Často se do regulačních diagramů značí meze  $\pm 2\sigma$ , které se označují jako meze varovné, neboť každá výběrová hodnota, která padne mimo tyto meze, varuje, že výrobní proces může být statisticky nezvládnutý. (Tůmová a Pirich, 2003)

*Základní předpoklady pro Shewhartův regulační diagram měřením:*

- *normalita rozdělení dat, symetrie,*
- *konstantní střední hodnota procesu,*
- *konstantní rozptyl (směrodatná odchylka) dat,*
- *nezávislost, nekorelovanost dat,*
- *nepřítomnost vybočujících hodnot.*

*Tyto předpoklady je nutno testovat před konstrukcí regulačního diagramu postupy pro analýzu jednorozměrného výběru. (Kupka, 2001, s. 107)*

#### **Regulační diagramy ( $\bar{x}$ , R)**

Dvojice regulačních diagramů pro výběrový průměr ( $\bar{x}$ ) a výběrové rozpětí (R) se v praxi používá nejčastěji. Je vhodný pro situace, kdy se pracuje s menšími rozsahy výběrů (2-10) jednotek. Je to dáno tím, že výběrové rozpětí pro výběry o rozsahu  $n > 10$  není dostatečně přesným odhadem variability procesu. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

**Regulační diagram pro výběrové průměry ( $\bar{x}$ )**

Testové kritérium, jehož hodnoty se zakreslují do regulačního diagramu ( $\bar{x}$ ), je výběrový průměr z výběru o konstantním rozsahu  $n$ . Hodnota výběrového průměru v  $j$ -tém výběru se vypočte dle vztahu:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad (1)$$

kde  $x_{ij}$  je  $i$ -tá naměřená hodnota regulované veličiny v  $j$ -tém výběru. V případě volby rizika zbytečného signálu  $\alpha = 0,0027$  a neznáme cílové hodnoty  $\mu_0$  a  $\sigma_0$ , určíme CL následujícím způsobem:

$$CL = \hat{\mu}_0 = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{x}_j, \quad (2)$$

Protože ve dvojici regulačních diagramů ( $\bar{x}$ ,  $R$ ) se odhaduje variabilita procesu pomocí výběrového rozpětí  $R$ , použijeme pro stanovení odhadu směrodatné odchylky procesu  $\hat{\sigma}_0$  vztah:

$$\hat{\sigma}_0 = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (3)$$

kde  $\bar{R}$  je průměrné výběrové rozpětí ve výběrech,  $d_2$  je Hartleyova konstanta závislá na rozsahu výběru  $n$  a odvozená za předpokladu regulované veličiny pocházející z normálního rozdělení.  $\bar{R}$  se vypočte ze vztahu:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^k R_j}{k}, \quad (4)$$

kde  $k$  je počet výběrů použitých k výpočtu  $\bar{R}$  (alespoň 20),  $R_j$  je výběrové rozpětí v  $j$ -tém výběru a stanoví se ze vztahu:

$$R_j = x_{\max, j} - x_{\min, j}, \quad (5)$$

kde  $x_{\max, j}$  je největší naměřená hodnota v  $j$ -tém výběru,  $x_{\min, j}$  je nejmenší naměřená hodnota v  $j$ -tém výběru. Nyní dostaneme pro výpočet akčních regulačních mezí v diagramu ( $\bar{x}$ ) tyto vztahy:

$$UCL = \bar{x} + \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} = UCL = \bar{x} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (6)$$

$$a \quad LCL = \bar{x} - \frac{3}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\bar{R}}{d_2} = LCL = \bar{x} - A_2 \cdot \bar{R}. \quad (7)$$

Hodnoty  $A_2$  a  $d_2$  pro  $n = 2$  až 25 jednotek nalezneme v normě ČSN ISO 8258. (Tošenovský a Noskviečová, 2000, s. 182)

### Regulační diagramy ( $\bar{x}$ , $s$ )

Při konstrukci tohoto diagramu se vychází z průměrů a směrodatných odchylek tzv. logických podskupin. Aby bylo možné sledovat, jak úroveň procesu, tak i průběh variability, je nutné používat dva diagramy. První je založen na průměrech a druhý na směrodatných odchylkách. Hodnoty LCL a UCL zde představují 0,135% a 99,865% kvantily. Interval tak vymezuje 99,73% očekávaných naměřených dat. Pravděpodobnost překročení regulačních mezí je tak malá (0,27%), že považujeme překročení za indikaci poruchy procesu. (Kupka, 2001)

### Regulační diagram ( $s$ )

Testovým kritériem v regulačním diagramu ( $s$ ) je výběrová směrodatná odchylka  $s_j$ . Při  $\alpha = 0,0027$  a neznámých cílových hodnotách  $\mu_0$  a  $\sigma_0$  se stanoví CL pro tento regulační diagram dle vztahu  $CL = \bar{s}$ , kde  $\bar{s}$  vypočteme podle vztahu:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{j=1}^k s_j}{k} \quad (8)$$

Při odvození vztahů pro stanovení akčních mezí v diagramu ( $s$ ) vyjdeme ze vztahu pro odhad směrodatné odchylky výběrové směrodatné odchylky  $\hat{\sigma}_s$ :

$$\hat{\sigma}_s = \frac{\bar{s}}{C_4} \cdot \sqrt{1 - C_4^2}. \quad (9)$$

Dále platí:

$$LCL = \bar{s} \sqrt{\frac{\chi_{0,00135}^2 (n-1)}{n-1}}, \quad (10)$$

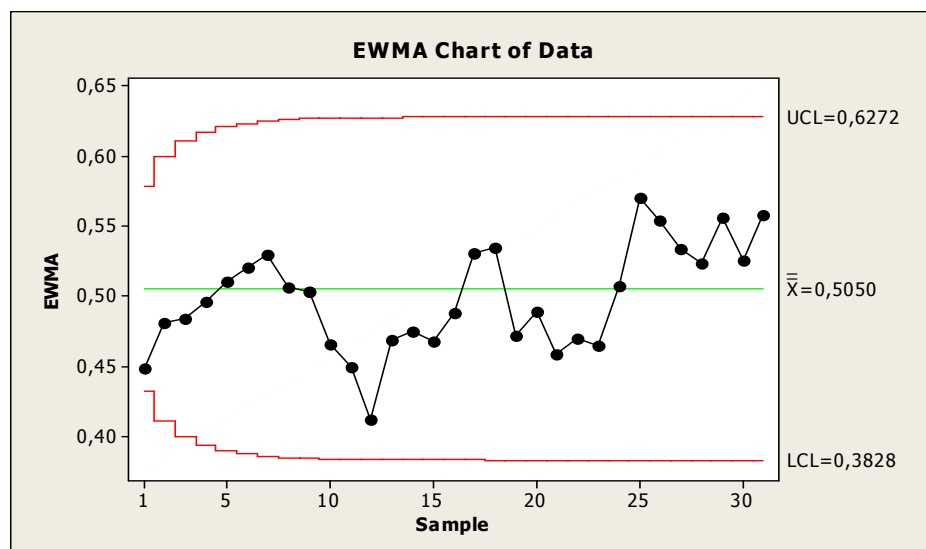
$$UCL = \bar{s} \sqrt{\frac{\chi_{0,99865}^2 (n-1)}{n-1}}. \quad (11)$$

Při výpočtu regulačních mezí pro směrodatnou odchylku jsme využili kvantilů, které odpovídají pravidlu  $3\sigma$ . Symbol  $\chi^2_{\alpha}(v)$  označuje  $\alpha$ -kvantil rozdělení chí-kvadrát s  $v$  stupni volnosti. (Tošenovský a Noskovičová, 2000, s. 185; Kupka, 2001, s. 109)

## 1.5 Regulační diagram EWMA

Diagram EWMA se používá v případě, že v procesu dochází k náhlým malým, ale přetrvávajícím změnám a hodnoty sledovaného znaku jakosti jsou nezávislé. Na rozdíl od klasických diagramů závisí regulační meze na okamžiku výběru. Název je zkratkou výrazu Exponentially Weighted Moving Average, neboli exponenciálně vážené klouzavé průměry (někdy nazývané exponenciální zapomínání).

Každý bod diagramu  $W_j$  je váženým průměrem nové naměřené hodnoty  $x_j$  a posledního bodu diagramu  $W_{j-1}$ . Základním volitelným parametrem diagramu EWMA je parametr  $\lambda$ , který nabývá hodnot mezi 0 a 1. Čím nižší hodnota  $\lambda$ , tím pomaleji reagují vynášené hodnoty  $W_j$  na lokální změny sledovaného parametru. Volbou parametru  $\lambda$  lze diagram nastavit tak, aby nereagoval na lokální odchylky od cílové hodnoty tak rychle, jako Shewhartův regulační diagram. Tento diagram má tendenci zvýraznit systematickou dlouhodobější odchylku tím, že se vrací pomaleji k cílové hodnotě, než vlastní měřená veličina. (Kupka, 2001)



Obr. 4 Regulační diagram EWMA  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Střední přímká CL se stanoví ze vztahu:

$$CL = \mu_0. \quad (12)$$

Regulační meze se pak určí ze vztahů:

$$UCL = CL + K \cdot \sigma_{EWMA} \quad (13)$$

$$LCL = CL - K \cdot \sigma_{EWMA}, \quad (14)$$

a kde  $K$  je konstanta pro stanovení regulačních mezí při zvoleném riziku  $\alpha$  a směrodatná odchylka  $\sigma_{EWMA}$  se vypočte ze speciálního vztahu využívajícího parametr zapomínání  $\lambda$ :

$$\sigma_{EWMA} = \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} \cdot [1 - (1-\lambda)^{2k}]}, \quad (15)$$

kde  $\sigma_0$  je požadovaná úroveň směrodatné odchylky regulované veličiny. (Kovářík a Klímek, 2011)

### 1.5.1 Dynamický diagram EWMA

Dynamický diagram EWMA je vhodné použít pro automatizované procesy tehdy, když hodnoty sledované veličiny vykazují pozitivní autokorelaci a proces má nekonstantní střední hodnotu s pomalými změnami. Překročení regulačních mezí způsobí v tomto diagramu pouze náhlá změna střední hodnoty, malé změny procesu diagram toleruje. Dynamický diagram EWMA tedy poskytuje informaci jak o statistické stabilitě procesu, tak o jeho dynamice. (Noskiewičová, ©2008)

### 1.6 Regulační diagram ARIMA

V klasické Shewhartovské koncepci SPC se předpokládá neautokorelovanost naměřených dat. I velmi nízký stupeň autokorelace dat způsobuje selhání klasických Shewhartových regulačních diagramů. Selhání se projevuje velkým počtem bodů mimo regulační meze v regulačním diagramu. K tomuto jevu často dochází v případě spojitých procesů, kdy je autokorelace dat dána setrvačností procesů v čase. Stále častěji se však setkáváme s autokorelovanými daty v podmínkách diskrétních výrobních procesů s krátkými výrobními cykly, velkou rychlostí výroby a s vysokým stupněm automatizace výrobních, zkušebních a kontrolních operací. Za těchto podmínek lze získat data o každém produktu s tím důsledkem,

že doba mezi měřeními dvou po sobě jdoucích hodnot sledované veličiny je velmi krátká. V těchto případech je možné řešit otázku autokorelovaných dat pomocí stochastické koncepce modelování časových řad s použitím autoregresních integrovaných modelů klouzavých průměrů, tzv. modelů ARIMA. (Noskiewičová, ©2008)

*V rámci stochastické koncepce tvorby lineárních autoregresních modelů (autoregressive, tzv. modely AR), modelů klouzavých průměrů (mean average, modely MA), smíšených modelů (modely ARMA) a modelů ARIMA, vycházející z Boxovy-Jenkinsovy metodiky, je časová řada chápána jako realizace stochastického procesu. Boxova-Jenkinsova metodika tak představuje moderní koncepci analýzy stacionárních a nestacionárních časových řad, založenou na teorii pravděpodobnosti. (Noskiewičová, ©2008, s. 40)*

## 1.7 Metoda kumulovaných součtů (CuSUM)

Shewhartovy diagramy jsou ekvivalentní opakovaným testům významnosti pro konstantní velikosti výběru. Jejich základní výhodou je jednoduchost a rychlá indikace velkých změn stavu procesu. Na střední a malé změny reagují pomalu. Základním omezením je předpoklad, že jednotlivé dílčí výběry jsou nezávislé. Pokud je účelem z co nejmenšího počtu výběrů zachytit nenáhodný trend (indikovaný např. posunem střední hodnoty), je vhodné použít regulačních diagramů typu CUSUM. Diagramy založené na kumulativních součtech (anglicky CUMulative SUMs) jsou rychlou detekcí relativně malého posunutí střední hodnoty procesu. Ve srovnání s Shewhartovými diagramy je tato detekce až o řád rychlejší. Ke konstrukci těchto diagramů se používá postupných součtů odchylek měřené veličiny od předepsané nebo očekávané konstantní cílové hodnoty  $K$ . Takový proces se ve statistice nazývá náhodná procházka. (Meloun a Militký, 2002)

Na ose  $x$  se vynáší pořadí výběru  $k$ , na ose  $y$  pak kumulativní součet odchylek zvolené výběrové charakteristiky, pro který platí,

$$C_k = \sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \mu_0) = C_{k-1} + (\bar{x}_k - \mu_0) \quad (16)$$

$C_0 = 0$ , kde  $k$  je pořadí výběru a  $\bar{x}_j$  je výběrový průměr z hodnot regulované veličiny v  $j$ -tém výběru. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

### 1.7.1 Interpretace průběhu diagramu CuSUM

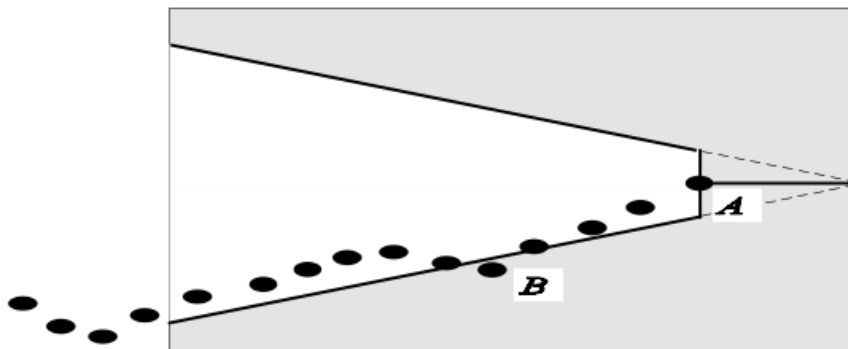
Interpretace průběhu diagramu CuSUM vychází z následující úvahy:

1. Jestliže je proces udržován na cílové hodnotě  $\mu_0$ , pak body v diagramu zachovávají směr přibližně rovnoběžný s osou  $x$ .
2. Jestliže došlo k náhlé změně střední hodnoty regulované veličiny přibližně v době, kdy byl odebrán  $q$ -tý výběr, a tato změna přetrvává, pak body v diagramu počínaje bodem  $[q, C_q]$  náhodně oscilují kolem přímky, která není rovnoběžná s osou  $x$ .
3. Jestliže střední hodnota procesu roste nebo klesá a ještě se nestabilizovala (v procesu existuje trend), pak body v diagramu tvoří křivku viditelně se zakřívující nahoru nebo dolů. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

### 1.7.2 Pomůcky diagramů kumulativních součtů CuSUM

Studium samotného průběhu diagramu CuSUM nám neposkytne odpověď na otázku, zde změna průběhu diagramu signalizuje již významnou odchylku, to znamená působení vymezitelného vlivu na proces, či jde o odchylku náhodnou. Proto je třeba doplnit diagram o rozhodovací kritéria, kterými jsou rozhodovací maska a rozhodovací interval. (Kovářík a Klímeček, 2011)

Rozhodovací maska – má nejčastěji tvar V, proto je také někdy nazývána V-maskou.



Obr. 5 Oboustranná rozhodovací V-mask  
(Zdroj: Meloun a Militký, 2002, s. 729)

Pokud nemáme k dispozici vhodný počítačový software, který pracuje s diagramy CuSUM a masku automaticky sestavuje a vykreslí do diagramu CuSUM, je možné masku nakreslit na průsvitnou fólii a přiložit na graf. Při použití V-masky se postupuje podle obr. 5. Maska

se přiloží vodorovně bodem na poslední vnesený bod diagramu (A). Ocitne-li se některý z předchozích vnesených bodů mimo výseč (B), je bod A (nikoli B!) označen a proces se považuje za odchýlený od K. Výhodou tohoto postupu je jednoduchost výpočtu vynášených hodnot, což mělo význam na pracovištích bez výpočetní techniky. Nevýhodou je to, že vidíme vždy jen jediný bod (v našem případě bod A). Když chceme testovat jiný bod, musíme posunout masku. Nemáme tak přehled o delším úseku procesu, jak jsme na to byli zvyklí u Shewhartových diagramů. (Meloun a Militký, 2002)

Rozhodovací interval – je další způsob regulace pomocí metod CuSUM. Tento způsob je bližší představě, kterou máme získanou na základě znalostí klasických Shewhartových diagramů. Pro regulaci se využívá rozhodovací interval. Při jednostranné regulaci použijeme horní rozhodovací mez  $+H$  a pro dolní mez  $-H$ . Při oboustranné regulaci aplikujeme meze obě. (Kovářík a Klímek, 2011)

## 1.8 Způsobilost procesu

Způsobilost výrobního procesu je určena celkovým kolísáním zjišťovaných údajů, které je dáno pouze náhodnými příčinami. Dříve, než je stanovena způsobilost výrobního procesu, musí být tento proces uveden do statisticky zvládnutého stavu. O statisticky zvládnutém procesu hovoříme, pokud je ve statisticky zvládnutém stavu alespoň posledních 25 podskupin. Hodnocení způsobilosti procesů je dnes velice často požadováno zákazníkem, neboť představuje důkaz o tom, zda výrobek vznikl ve stabilních výrobních podmínkách zabezpečujících dodržování předepsaných kritérií jakosti. Stejně tak je znalost způsobilosti procesu důležitá pro výrobce, neboť mu umožňuje vybrat vhodný proces pro výrobu určitého výrobku a odhadnout rizika vzniku neshodných výrobků. (Tůmová, 2003; Nenadál et al., 2005)

### 1.8.1 Indexy způsobilosti procesu

Z potřeby porovnat výkonnost jednotlivých procesů, technologií a výrobců z hlediska jakosti vyplynula potřeba jednoduchého nástroje, nejlépe jediného čísla, kterým by jakost, či schopnost jejího udržení, bylo možné relativně porovnat. Takovým číslem se stal index způsobilosti. Je založen na známé skutečnosti, že stupeň jakosti, s nímž výrobce zvládl danou technologii, je úměrný převrácené hodnotě rozptylu. (Kupka, 2001)

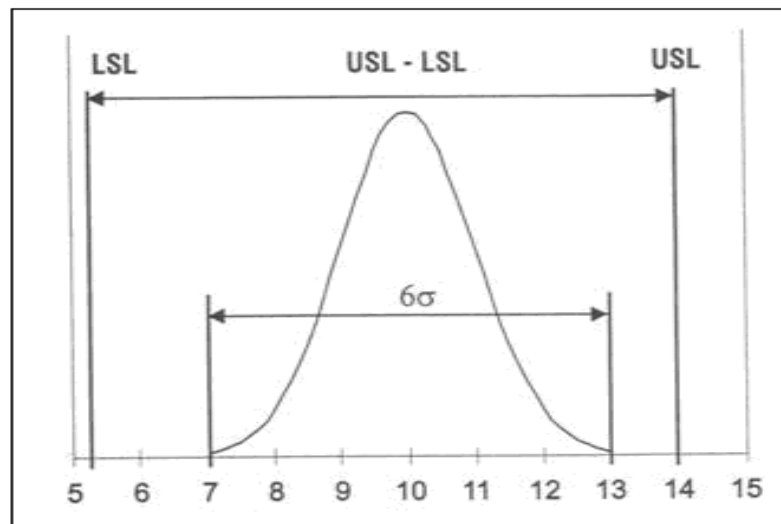


### 1. Index $C_p$

Index způsobilosti  $C_p$  je mírou potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Lze ho počítat pouze v případě, že jsou specifikovány oboustranné toleranční meze a jeho hodnota je poměrem přípustné a skutečné variability hodnot bez ohledu na jejich umístění v tolerančním poli. Index  $C_p$  tedy charakterizuje potenciální možnosti procesu dané jeho variabilitou, ale již nic neříká o tom, jak jsou tyto možnosti ve skutečnosti využity. Počítá se podle vztahu:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad (17)$$

kde LSL je dolní toleranční mez, USL je horní toleranční mez a  $\sigma$  je směrodatná odchylka. (Nenadál et al., 2005)



Obr. 6 Toleranční pole indexu  $C_p$   
(Zdroj: Kovářik a Klímek, 2011, s. 149)

### 2. Index způsobilosti $C_{pk}$

Index způsobilosti  $C_{pk}$  na rozdíl od indexu  $C_p$  zohledňuje jak variabilitu, tak umístění hodnot sledovaného znaku jakosti v tolerančním poli, a charakterizuje tedy skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Hodnotu indexu  $C_{pk}$  lze počítat jak v případě specifikace oboustranných, tak jednostranných tolerančních mezí. K příslušným výpočtům se využívá vztahů:

a) při předepsané dolní toleranční mezi

$$C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \quad (18)$$

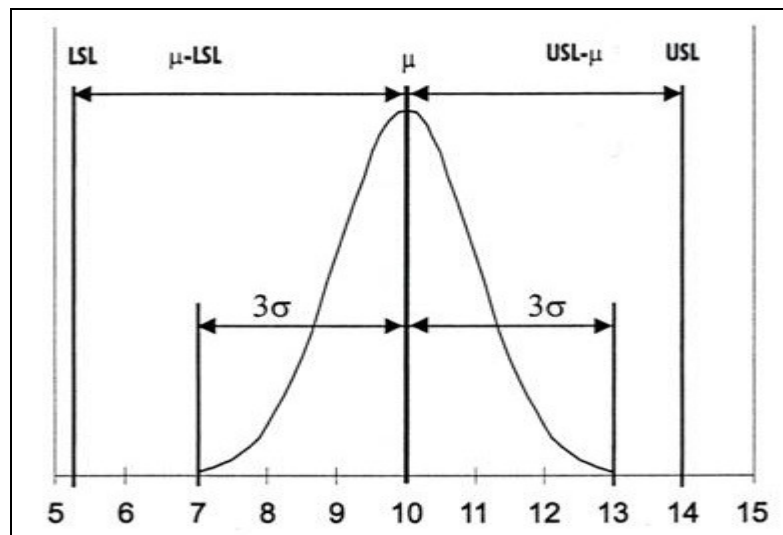
b) při předepsané horní toleranční mezi

$$C_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \quad (19)$$

c) při předepsané dolní i horní toleranční mezi

$$C_{pk} = \min \{C_{pL}; C_{pU}\}, \quad (20)$$

kde  $\mu$  je střední hodnota sledovaného znaku jakosti.



Obr. 7 Toleranční pole indexu  $C_{pk}$   
(Kovářík a Klímeck, 2011, s. 149)

Určitou nevýhodou použití indexu  $C_{pk}$  při posuzování zlepšení procesu je to, že změna jeho hodnoty může souviset, jak se změnou variability, tak se změnou polohy procesu, a tím například v případech, kdy neregistrujeme žádnou změnu  $C_{pk}$ , se mohou obě tyto charakteristiky měnit. (Plura, 2001)

### 3. Index způsobilosti $C_{pm}$ (Taguchiho index způsobilosti)

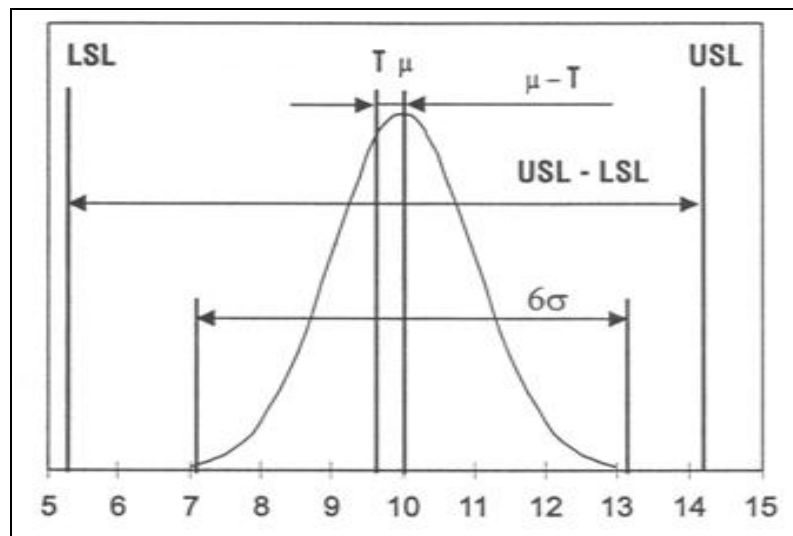
V případě použití indexu  $C_{pm}$  se variabilita sledovaného znaku jakosti necharakterizuje rozptylem kolem střední hodnoty, ale rozptylem kolem optimální hodnoty. Tento index tedy zohledňuje variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti a míru dosažení optimální hodnoty.

Počítá se podle vztahu:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \quad (21)$$

kde T je cílová hodnota.

Podmínkou pro jeho použití je, aby optimální hodnota ležela ve středu tolerančního rozpětí.



Obr. 8 Toleranční pole indexu  $C_{pm}$   
(Kovářík a Klímek, 2011, s. 150)

Pro lepší interpretaci dosažené hodnoty indexu  $C_{pm}$  je vhodné současné uvedení indexu  $C_p$ , jež umožní posoudit, v jaké míře je dosažená hodnota ovlivněna přirozenou variabilitou sledovaného znaku a v jaké míře posunem střední hodnoty znaku vůči cílové hodnotě. (Nenadál et al., 2005)

## 2 PARETOVA ANALÝZA

Jedním z hlavních cílů programu řízení jakosti je snížení nákladů na neshodné výrobky. Je celá řada typů neshod a každá z nich se objevuje jinou intenzitou, Je tedy třeba si v prvním kroku analýzy neshod učinit objektivní obraz o četnostech jednotlivých typů neshod na každém ze zkoumaných výrobků a o ztrátách, které jednotlivá neshoda vyvolává. (Horálek, 2004)

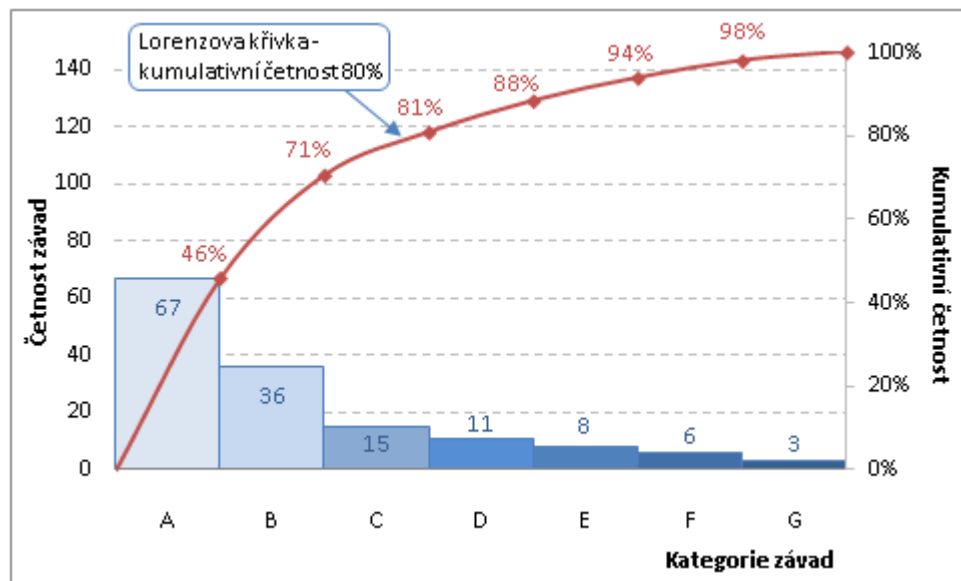
Paretův princip byl formulován jako nástroj řízení jakosti v roce 1980, kdy dr. Juran zjistil, že „nepravidelné rozložení jakosti přináší vyšší ztráty“. Tento jev pojmenoval podle italského ekonoma Vilfreda Pareta, který již v 19. století zjistil nepravidelnost v rozložení bohatství mezi lidmi, neboť největší část bohatství je vlastněna relativně malou skupinou osob. Tento princip je pravdivý i v mnoha dalších jevech, včetně jakosti technologií a výrobků. (Tůmová a Pirich, 2003)

### 2.1 Sestrojení Paretova diagramu

Sestrojení Paretova diagramu předpokládá:

- 1) vymezit si všechny typy neshod či specifikovat všechny příčiny, které vyvolávají situaci, že výrobek je neshodný, případně, že vzniká daný problém;
- 2) stanovit si kritérium, podle kterého se budou analyzované neshody, příčiny či problémy hodnotit, můžeme se rozhodnout využít striktně Paretova pravidla 80/20 a nebo si také můžeme vybrat, že chceme odstranit jen 60% neshod apod.;
- 3) uspořádat si jednotlivé neshody, příčiny či problémy podle stanoveného kritéria v klesající řadu ve formě tabulky, v níž pro každou neshodu je uvedena nejen absolutní četnost, ale i kumulativní četnost a kumulativní relativní četnost;
- 4) sestrojít graf, v němž na vodorovné ose jsou uvedeny všechny druhy neshod nebo identifikační čísla zkoumaných neshod v pořadí stejném jako v připravené tabulce, na levé svislé ose jsou vyneseny příslušné absolutní četnosti a na pravé svislé ose jsou vyznačeny kumulativní relativní četnosti; spojením bodů kumulativní relativní četnosti se dostane lomená čára – Lorenzova křivka. Z ní pak spustíme svislou čáru, která nám oddělí ty případy, příčiny, kterými se máme zabývat. Ty, které mají největší vliv na následky;

5) stanovit nápravná opatření k odstranění nebo rozvoji příčin, které nám způsobují nejvíce ztrát nebo naopak vedou k navýšení zisku. (Horálek, 2004)



Obr. 9 Paretův diagram (Zdroj: Lorenc, ©2007)

### 3 IDENTIFIKACE ODLEHLÝCH HODNOT PROCESU

V praxi se často setkáváme s případy, kdy skupina výsledků v náhodném výběru, která by měla obsahovat homogenní data, obsahuje hodnotu, která se svou velikostí výrazně liší od ostatních. Takovou hodnotu označujeme jako odlehlou. V současné době máme k dispozici mnoho softwarů, které danou problematiku řeší.

Postup:

Máme-li hodnoty jednoho výběru, uspořádáme je podle velikosti

$$X_1 < X_2 < \dots < X_n$$

a testujeme hypotézu  $H_0$ : naměřené hodnoty představují homogenní výběr ze souboru, který má normální rozdělení  $N(\mu, \sigma^2)$ , oproti hypotéze alternativní  $H_1$ , která je zaměřena na:

- a) největší hodnotu pozorování  $X_n$
- b) nejmenší hodnotu pozorování  $X_1$
- c) obě krajní hodnoty  $X_1$  a  $X_n$

Hodnoty podezřelé jako odlehlé se označují  $X_i^*$ . (Tůmová, 2009)

#### 3.1 Test $\pm 4s$

Tento test je snadno proveditelný a používá se, jestliže má analyzovaný statistický soubor alespoň 10 pozorování. Vybočující extrémní hodnota je zjištěna pomocí jednoduchého pravidla čtyř sigma, jež se opírá o Bienaymé-Čerebyševovu respektive Gaussovu nerovnost. Z těchto fundamentálních nerovností teorie pravděpodobnosti vyplývá, že v intervalu  $(\bar{x} - 4s, \bar{x} + 4s)$ , kde  $\bar{x}$  respektive  $s$ , jsou výběrový aritmetický průměr respektive výběrová směrodatná odchylka, leží 99,99 % hodnot pro výběry z normálního rozdělení, 97 % hodnot pro výběry ze symetrického unimodálního rozdělení a 94 % hodnot u výběrů ze zcela libovolného pravděpodobnostního rozdělení. Pokud některá výběrová hodnota bude ležet mimo tento interval, je možné s vysokou pravděpodobností zamítnout hypotézu, že odlehlé pozorování patří do téže populace jako ostatní výběrové hodnoty. Test  $\pm 4s$  má pouze orientační charakter. (Mason a Young, 2002)

### 3.2 Dixonův test

Pro detekci odlehlých hodnot lze u malých výběrů ( $n \leq 25$ ) z normálního rozdělení uskutečnit pomocí Dixonova testu. Hodnoty  $X_i$  se uspořádají podle velikosti, u vzestupně uspořádaného výběru  $x_{(1)} < x_{(2)} < \dots < x_{(n-1)} < x_{(n)}$  se jedná o jeho minimum, u sestupně uspořádaného výběru  $x_{(1)} > x_{(2)} > \dots > x_{(n-1)} > x_{(n)}$  se jedná o maximum. Předpokládaná odlehlá hodnota  $X_i^*$  nebo  $X_n^*$  je první nebo poslední nebo obě krajní hodnoty náhodného výběru a provede se výpočet testové veličiny  $q^*$ . Testujeme hypotézu  $H_0: q^* \leq q_{\text{krit}}$  na zvolené hladině významnosti  $\alpha$  proti hypotéze alternativní  $H_1: q^* > q_{\text{krit}}$ .

Testování největší hodnoty

$$q^* = \frac{X_n^* - X_{n-1}}{X_n^* - X_1} \leq q_1 \quad (22)$$

Testování nejmenší hodnoty

$$q^* = \frac{X_2 - X_1^*}{X_n - X_1^*} \leq q_1 \quad (23)$$

Testování obou krajních hodnot

$$q^* = \frac{X_n^* - X_{n-1}}{X_n^* - X_2} \leq q_2 \quad (24)$$

$$q^* = \frac{X_2 - X_1^*}{X_{n-1} - X_1^*} \leq q_2 \quad (25)$$

Kritické hodnoty  $q_1$  ( $1-\alpha, n$ ) jsou tabelovány pro  $n = 3$  až 30 a kritické hodnoty  $q_2$  ( $1-\alpha, n$ ) jsou tabelovány pro  $n = 4$  až 30. Je-li vypočtená testová veličina  $q^* > q_{\text{krit}}$  kritická, zamítá se hypotéza  $H_0$  na hladině významnosti  $\alpha$  a testová hodnota je odlehlá. (Tůmová, 2009; Dixon 1950)

### 3.3 Grubbsův test

Pro větší výběry ( $n > 25$ ) z normálního rozdělení může být odlehlost hodnoty  $X_1^*$  posuzována pomocí Grubbsova testu. Hodnoty  $X_i$  se opět uspořádají podle velikosti. Vypočte se výběrový průměr  $\bar{x}$  a odhad výběrového rozptylu  $s^2$  ze všech hodnot výběru. Za předpo-

kladu normálního rozdělení se stanoví testové charakteristiky pro největší hodnotu  $X_n$  nebo nejmenší hodnotu  $X_1$ .

1. testová charakteristika

$$T_n = \frac{X_n^* - \bar{x}}{s}, \quad (26)$$

2. testová charakteristika

$$T_1 = \frac{\bar{x} - X_1^*}{s}. \quad (27)$$

Je-li testová charakteristika  $T_n$  nebo  $T_1 >$  kritická hodnota  $T(\alpha)$  pro  $n = 3$  až 20, je testovaná hodnota odlehlá. (Tůmová, 2009)

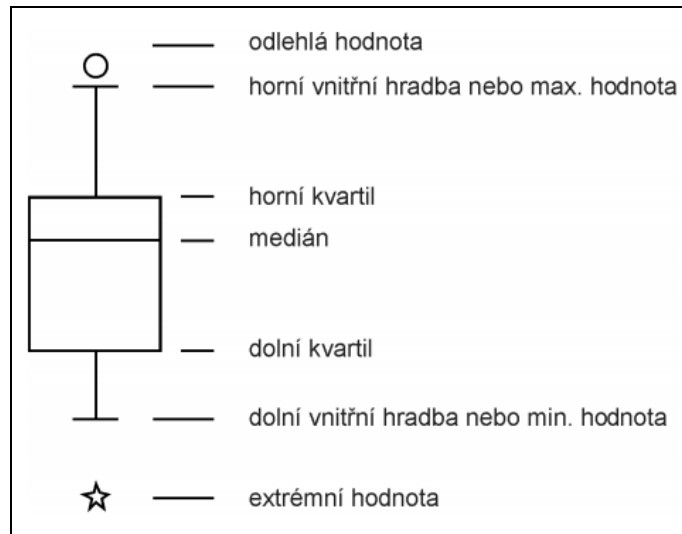
### 3.4 Krabicový diagram

Krabicový diagram (Box-and-Whisker Plot, zkráceně boxplot) umožňuje posoudit symetrii a variabilitu datového souboru a existenci odlehlých či extrémních hodnot. Boxplot zobrazuje analyzovaná data ve tvaru obdélníkové krabice a dvou úseček (whiskers), které z ní vybíhají nalevo a napravo. Levá respektive pravá strana obdélníka odpovídá dolnímu respektive hornímu kvartilu daného datového souboru. Obdélník je předělen svislou příčkou v místě mediánu  $\tilde{x}$ . Úsečky, které vybíhají z krabice, spojují body, jež vyhovují relaci:

$$0,5IQR \leq |x - \tilde{x}| \leq 1,5IQR, \quad (28)$$

kde  $IQR$  je kvartilové rozpětí. Hodnoty, které leží mimo interval vymezený vztahem (28), tedy jsou vzdáleny od dolního nebo horního kvartilu o více než  $1,5 IQR$ , jsou považovány za odlehlé (*outliers*), pokud se od některého z kvartilů vzdálí o více než trojnásobek kvartilového rozpětí, interpretují se jako extrémní (*extremes*). Odlehlá respektive extrémní pozorování se v boxplotu zobrazují jako izolované body. (Dohnal, 1999; Kába, 1998)





*Obr. 10 Krabicový diagram  
(Zdroj: Budíková, 2006, s. 39)*

Odlehlá hodnota leží mezi vnějšími a vnitřními hradbami, tj. v intervalu  $(X_{0,75} + 1,5q, X_{0,75} + 3q)$  či v intervalu  $(X_{0,25} - 3q, X_{0,25} - 1,5q)$ . Extrémní hodnota leží za vnějšími hradbami, tj. v intervalu  $(X_{0,75} + 3q, \infty)$  či v intervalu  $(-\infty, X_{0,25} - 3q)$ . (Budíková, 2006)

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Ve Zlínském kraji sahá tradice výroby pneumatik do roku 1932. V tomto roce začala firma Baťa ve Zlíně vyrábět pneumatiky určené pro svůj vozový park. S postupem času se výroba plášťů pneumatik úspěšně rozvíjela až do válečných let, kdy byla ochromena bombardováním. Po druhé světové válce byla firma Baťa znárodněna a došlo ke vzniku společnosti Barum. V roce 1972 byla výroba přesunuta do Otrokovic, kde výroba úspěšně setrvává dodnes. (Interní materiály)

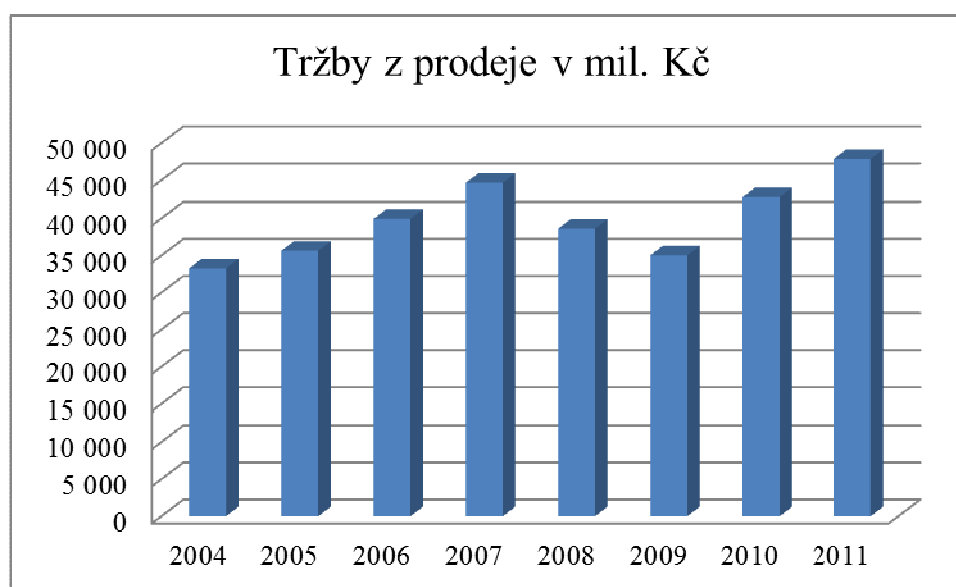
V 70. a 80. letech 20. století začala společnost Continental intenzivně působit v mezinárodním měřítku. Prvním krokem tímto směrem byla akvizice Uniroyal® v roce 1979. Součástí koncernu Continental se staly rovněž společnosti Semperit Reifen GmbH (1985), General Tire® (1987) a Matador (2007). V Německu byly v srpnu 2009 všechny aktivity v oblasti pneumatik, spolupracovníci a příslušné obchodní vztahy společnosti Continental AG převedeny do nové, 100% dceřiné společnosti koncernu: Continental Reifen Deutschland GmbH. (Continental Barum s.r.o., ©2013)



Obr. 11 Odběratelé společnosti Continental Barum s.r.o. (Interní materiály)

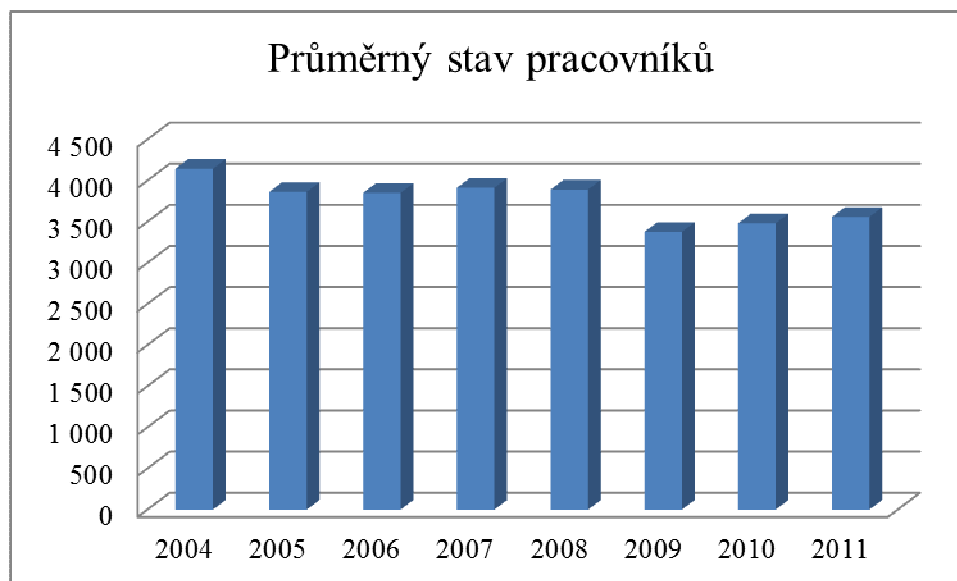
V současné době je podnik Continental Barum s.r.o. největší výrobce pneumatik v Evropě. Společnost splňuje ty nejnáročnější nároky na kvalitu a obstála na výbornou i při zákaznických auditech nejprestižnějších výrobců automobilů jako je Volvo, BMW, VW, Škoda, Renault, Ford či Peugeot. (Interní materiály)

Na následujícím grafu je zobrazen vývoj tržeb v letech 2004 až 2011. Jak je z grafu patrné za krizové období lze považovat roky 2008 a 2009, kdy se společnost Continental Barum spol. s.r.o. potýkala s dopady celosvětové hospodářské krize. Propad tržeb v letech 2008 a 2009 byl 13,5% resp. 21,5% oproti roku 2007. Vedení společnosti se podařilo flexibilně reagovat na zvýšené požadavky trhu a prostřednictvím strategie udržení zaměstnanosti a orientaci na nízkonákladové inovace se vyrovnalo s dopady globální hospodářské krize. V roce 2010 se situace začala zlepšovat a rok 2011 již přinesl tržby překračující 47 000 mil. Kč.



*Graf 1 Tržby z prodeje výrobků a služeb v letech 2004-2011  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)*

Z grafu 1 je patrný každoroční růst počtu zaměstnanců a to až do roku 2007. V roce 2005 došlo k přijímání nových pracovníků z důvodu nově otevřené haly. Globální hospodářská krize se odrazila také v počtu zaměstnanců. V roce 2009 došlo k poklesu počtu zaměstnanců oproti roku 2008 o 14%. Aby mohla společnost přestát hospodářskou krizi, bylo nutné omezit výrobu a snížit náklady na minimum. Toto omezení souvisí se snižováním počtu zaměstnanců. V roce 2010 se začala opět rozjíždět výroba a využívání veškerých výrobních kapacit. Na níže uvedeném grafu můžeme vidět v tomto roce růst počtu zaměstnanců. V současné době patří společnost Continental Barum spol. s.r.o. k největším zaměstnavatelům ve Zlínském kraji.



*Graf 2 Průměrný stav zaměstnanců v letech 2004-2011*

*(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)*

#### 4.1 Historie společnosti

Za více než 70-ti letou tradici výroby pneumatik na Zlínsku se původně malá dílna na výrobu pneu proměnila v největší výrobní jednotku osobních pneumatik v Evropě.

V následujícím přehledu uvedu nejdůležitější milníky ve vývoji společnosti.

**1924** - Baťa zakládá výrobu obuvi ve Zlíně.

**1931** - Díky zvyšujícím se nákladům na přepravu obuvi po železnici se Baťa rozhodl přepravovat zboží pomocí nákladní dopravy. Problém byl s pneumatikami, které byly nízké kvality, a proto docházelo k defektům. Baťa se rozhodl založit vlastní výrobu pneumatik ve své továrně.

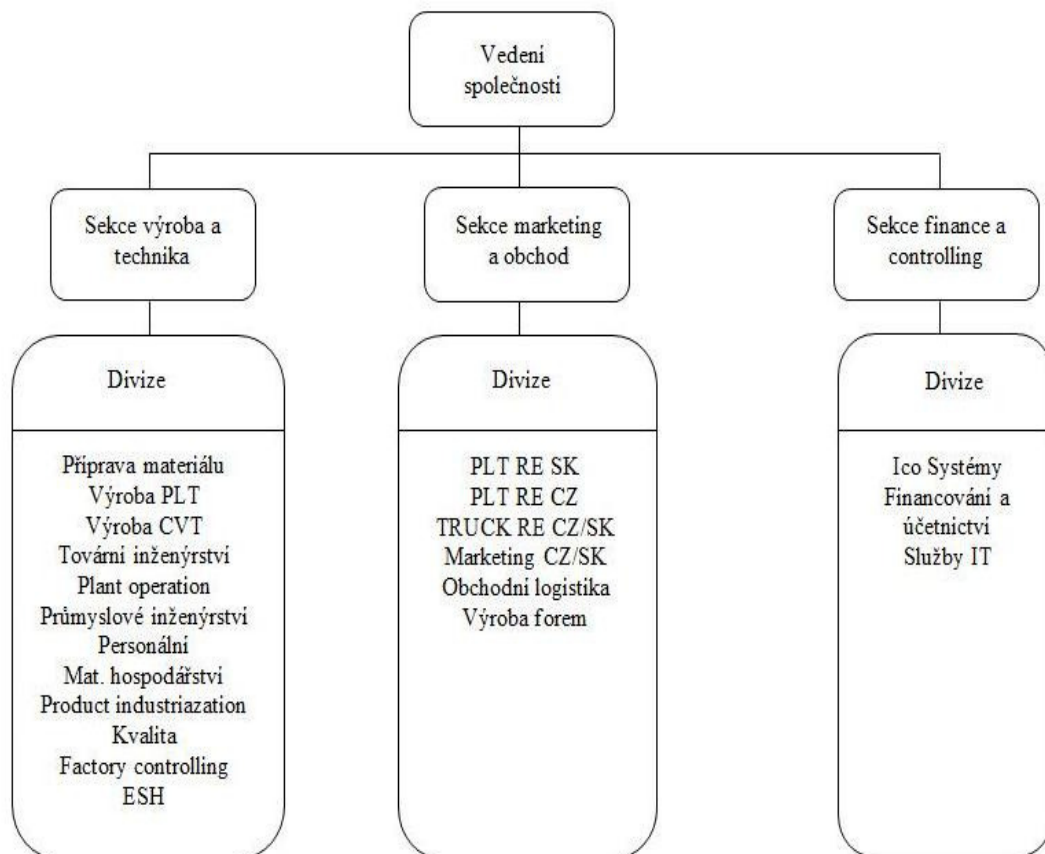
**1945** - Tři největší výrobci pneumatik vytvořili pro zjednodušení exportní politiky společnou značku pro své produkty. Pro novou značku byla použita počáteční písmena názvů firem **Ba**ťa, **Ru**bena a **Ma**tador. Novou značkou **BARUM** byly následně označovány výrobky všech tří výrobců.

**1972** - Proběhlo slavnostní otevření nové pneumatikárny v Otrokovicích. Hlavní část výroby pneumatik Barum byla převedena ze Zlína do Otrokovic.

**1993** - 1. března byl založen společný podnik Barum Continental spol. s r.o. Barum se stává součástí koncernu Continental.

**Současnost** - Proces velkých investic do výrobního závodu v Otrokovicích umožnil nárůst produktivity práce. V souladu s koncernovou strategií rostla kapacita i kvalita výroby. Barum Continental spol. s r.o. získal nejvyšší stupeň hodnocení kvality a současně se stal největší výrobní jednotkou na výrobu osobních pneumatik v Evropě. (Continental Barum s.r.o., ©2013)

## 4.2 Organizační struktura podniku



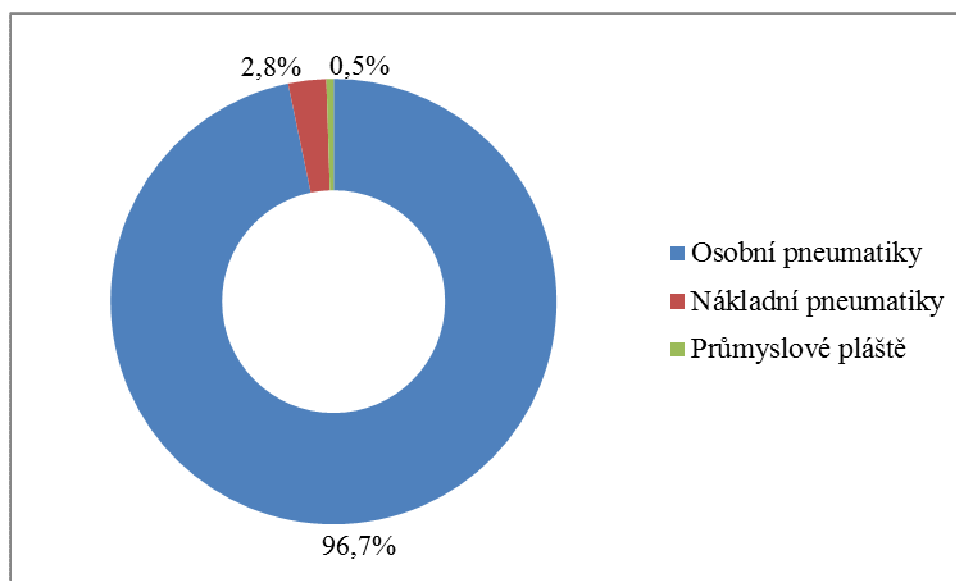
*Obr. 12 Organizační struktura společnosti Continental Barum s.r.o.  
(Zdroj: vlastní zpracování)*

## 4.3 Výrobní portfolio

Výrobní sortiment firmy Continental Barum s.r.o. tvoří tyto druhy plášťů:

- osobní,
- High Tech,
- nákladní,
- průmyslové.

Do kategorie osobních pláštů společnost zařazuje pneumatiky pro osobní automobily, High Tech pláště s rozměrem větším než 17 palců a VAN pneumatiky určené pro dodávková vozidla, která se od osobních odlišují vedle užitého dezénu vyšší nosností. V kategorii nákladních pneumatik můžeme pláště dělit na lehké nákladní do rozměrů 17,5" a těžké nákladní pneumatiky až do rozměrů 24". Dále jsou nákladní pneumatiky členěny podle aplikace do šesti základních skupin: pro dálkovou, regionální, městskou, zimní, staveništní a off-road přepravu. Do kategorie průmyslových pneumatik patří zejména pneumatiky pro manipulační techniku, především vysokozdvizné vozíky. (Barum Continental, 2008)



*Graf 3 Průměrný objem produkce v letech 2004-2011  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)*

Jak je z výše uvedeného grafu patrné, největší část výrobního objemu tvoří výroba osobních pláštů (96,7%).

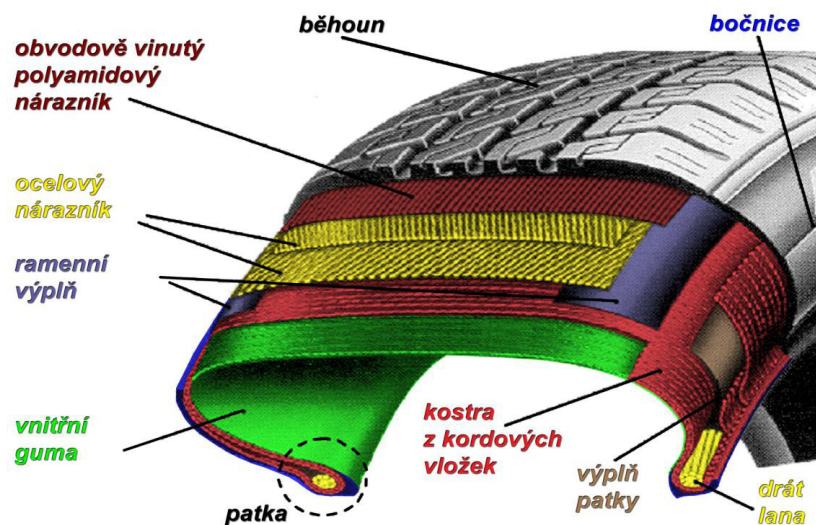
#### **4.4 Základní popis výrobního procesu**

Společnost zavedla v roce 2007 ve všech závodech vyrábějících pláště pro užitková vozidla „Výrobní systém Continental Tires – CT.MS“ Výrobní systém zahrnuje uplatňování a propojení zásad The Basics, které stanovují podnikatelskou a výrobní filozofii zaměřenou na tvorbu hodnot, a základních výrobních principů s metodami a nástroji štíhlé výroby. Systematických hodnocením a neustálým zlepšováním procesů a zaváděním nejlepších výrobních praktik na základě výměny zkušeností mezi závody se dosáhne zvýšení efektivnosti

výrobních procesů. Účelem výrobního systému je tvořit podmínky pro dosahování excellentních výsledků, ze kterých vyplývá spolehlivost výrobních procesů. Vysoká kvalita pláštěů a nízké výrobní náklady. (Barum Continental, 2008)

#### 4.4.1 Technologický postup výroby osobních pláštěů a materiálové toky

Na následujícím obrázku je znázorněn řez pneumatikou a detailně zaznačeny její jednotlivé části.

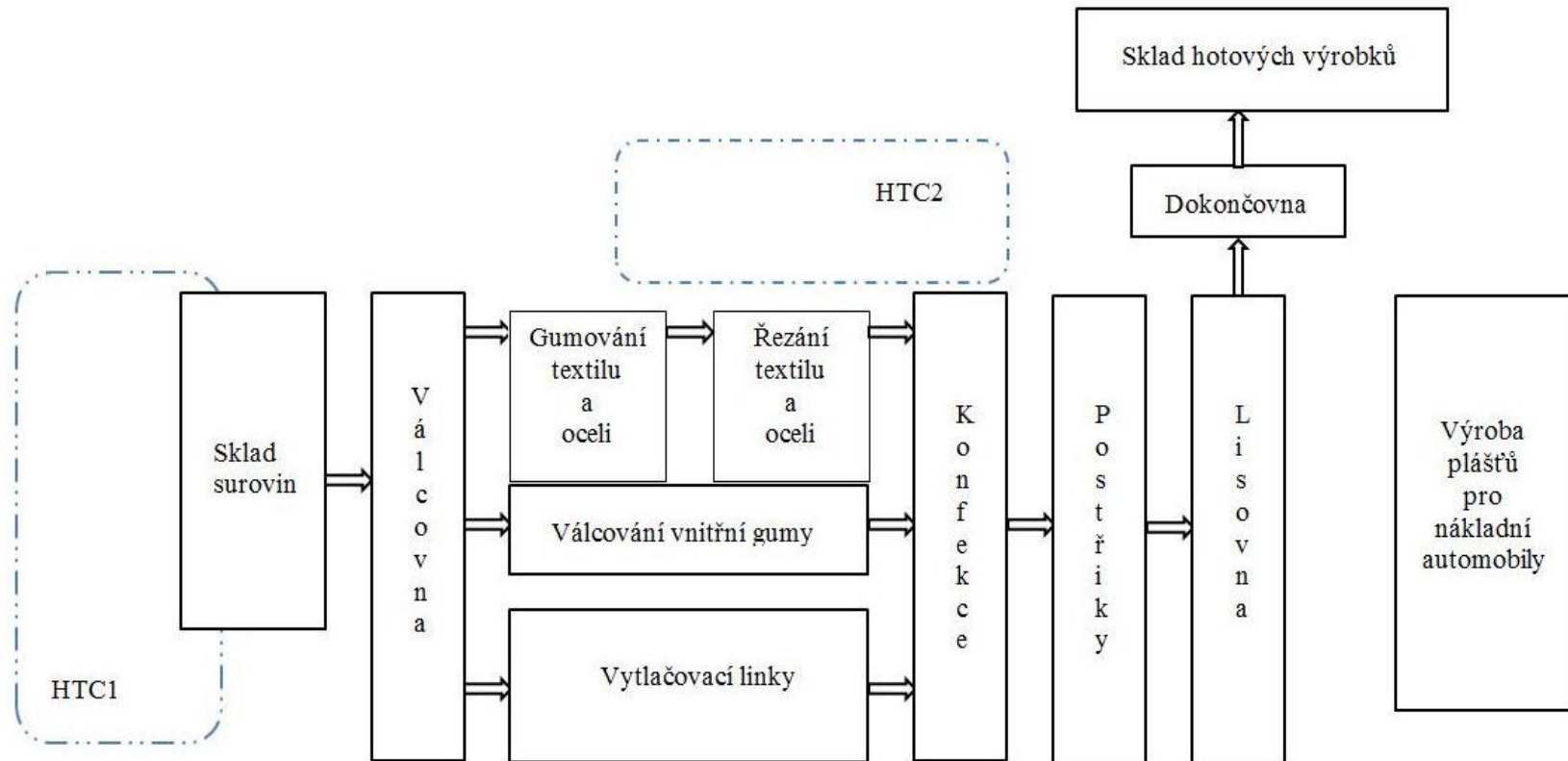


Obr. 13 Řez osobní pneumatikou  
(Zdroj: Barum Continental, 2008)

Ve společnosti Continental Barum s.r.o. jsou jednotlivá výrobní pracoviště rozmístěna podle výrobního procesu výroby pláštěů pneumatik tak, aby materiálové toky byly co nejkratší. Celý výrobní proces začíná přípravou a namícháním směsi, která je následně nanášena na víceválcích na výztužné kordy z textilu nebo oceli. Poté polotovar prochází válcováním a řezáním výztužných materiálu podle zadaných parametrů a následně je spojen do nekonečného pásu. Výroba pokračuje pogumováním a navíjením ocelových lan do vrstev. Nyní nastává jedna z nejnáročnějších částí výrobního procesu. Na konfekčním bubnu vzniká kostra pláště postupným umístováním jednotlivých komponent – vnitřní gumy, textilního kordu, patních lan, bočnic, nárazníků a běhounu. Poté je do kostry pneumatiky zaváděn vzduch pod tlakem a tlakem se kostra vyboulí a je obemknuta pásovým celkem. Tímto dostaneme surový plášť, který je následně opatřen postříkem, který zabrání přilepení na membránu při lisování. V této fázi výrobního procesu je surový plášť vkládán do vulkanizačního lisu, kde je za vysoké teploty polotovar přitlačen proti profilovému vzoru a formě



popisu bočnic. Již má pneumatika svou konečnou podobu a je připravena na dokončování a kontrolu. Kontrola je prováděna jak strojově, tak i vizuálně proškoleným personálem. Pokud pneumatika projde kontrolou, kdy je dbáno zejména na tvar pneumatiky a možné závady na vnějším povrchu, je umístěna do skladu a připravena na dodání zákazníkovi.



Obr. 14 Jednoduchý layout výrobní haly společnosti (Zdroj: vlastní zpracování)

#### 4.5 Statistická regulace procesu v Continental Barum spol. s.r.o.

Na výrobní proces působí mnoho činitelů jako je například kvalita surovin, zodpovědnost pracovníků, organizace práce či pracovní prostředí. Působení těchto činitelů zapříčiní, že ani dva výrobky vyrobené stejným výrobním procesem nejsou nikdy zcela shodné. Takto vzniklé rozdíly se nazývají rozptyl. Aby se minimalizoval vliv těchto uvedených činitelů na výrobní proces, jsou ve společnosti zaváděny systémy managementu jakosti. Nedílnou součástí je monitorování zvláštních znaků a statistická regulace procesu.



Obr. 15 Postup při statistické regulaci procesu ve společnosti  
(Zdroj: vlastní zpracování)

Cílem ověřování způsobilosti procesů je zabezpečení shody výrobních procesů s požadavky zákazníka. Aby bylo možné proces regulovat, je nutné znát jeho průběh. Pro statistickou regulaci výrobního procesu společnost využívá přesných a přehledných informací, které jsou získávány během pravidelných kontrol od obsluhy jednotlivých strojů a linek. Zaznamenávají se informace například o jednotlivých výrobcích, způsobu měření, naměřených hodnotách, a odpovědné osobě. Za pravidelné odebrání vzorků, ověřování parametrů a zaznamenávání naměřených hodnot do regulačních karet odpovídají pracovníci MOK (mezioperační kontroly). Takto získaná data se porovnávají s předepsanými parametry. Následně jsou data v podobě základních statistických charakteristik zaznamenávány do regulačního diagramu. Touto grafickou metodou je tedy možné pravidelné sledování toho, jak celý výrobní proces probíhal. Zaznamenané hodnoty v regulačním diagramu jsou posuzovány vzhledem k zobrazeným regulačním mezím. Na základě toho je možné rozhodnout, zda proces probíhá přesně podle předpisů či nikoliv. Pokud se regulovaná hodnota nachází mezi dolní a horní regulační mezí, je tento proces posuzován jako zvládnutelný. V případě, že dojde k překročení horní nebo dolní regulační meze či je v diagramu zaznamenáno zvláštní seskupení více bodů zanesených do diagramu, je nutno do procesu zasáhnout a přijmout taková nápravná opatření, aby se proces dostal zpět do zvládnutelného stavu.

Jako další nástroj pro statistickou regulaci procesu společnost využívá také koeficienty způsobilosti a kritické způsobilosti procesu  $C_p$  a  $C_{pk}$ .

Pokud platí:  $C_p \geq 1,33$  a zároveň  $C_{pk} \geq 1,33$ , můžeme proces považovat za způsobilý.

## 5 EKONOMICKÉ NÁKLADY SPOLEČNOSTI VYVOLANÉ POČTEM NESHODNÝCH VÝROBKŮ

V této části diplomové práce se zaměřím na ekonomické náklady vyvolané množstvím neshodných výrobků. Bude se jednat o výrobky, které neprošly výstupní kontrolou a zjištěné závady byly vyhodnoceny jako neopravitelné.

Ve společnosti Continental Barum s.r.o. zaznamenávají při výrobě pneumatik několik desítek možných vad. Vzhledem k tomu, že není možné se v této práci zabývat všemi druhy závad, rozhodla jsem se pro výběr 11-ti nejčastějších vad. Přehled nejčastějších závad a jejich kódy jsou uvedeny v následující tabulce.

*Tab. 1 Přehled nejčastějších závad  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)*

Kód	Vada
6D	Přelis patka, křivé bombírování
20	Separace v rameni
2A	Zalisovaná nečistota - gumová
46	Přetok na patce
50A	Separace vnitřní gumy
30B	Separace v boku - zóna B
50C	Separace v okraji nárazníku
66D	Převulkanizovaný plášť
30A	Separace v boku – zóna A
32B	Nedolisovaný v boku – zóna B
32A	Nedolisovaný v boku – zóna A

Společnost mi poskytla interní materiály za období 2011 a 2012, ze kterých jsem v následujících tabulkách uvedla přehled nejčastějších závad a množství neshodných vý-

robnů. Následně jsem využila Paretovy diagramy pro lepší a přesnější zachycení této problematiky.

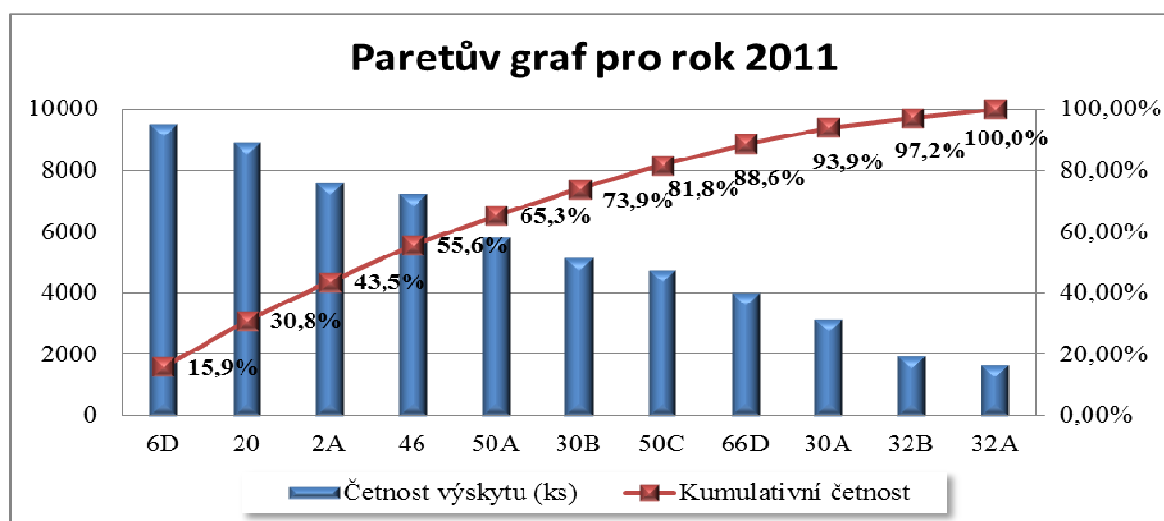
## 5.1 Náklady na neshodné výrobky v roce 2011

V roce 2011 tvořilo těchto 11 vybraných vad 59 822 ks zmetků. Jednotlivé vady a četnosti výskytu neshodných výrobků jsou uvedeny níže v tabulce.

Tab. 2 Přehled vad a četnosti výskytu v roce 2011

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Vada	Četnost výskytu (ks)	Četnost výskytu	Kumulativní četnost
6D	9498	15,9%	15,9%
20	8905	14,9%	30,8%
2A	7603	12,7%	43,5%
46	7234	12,1%	55,6%
50A	5819	9,7%	65,3%
30B	5148	8,6%	73,9%
50C	4756	8,0%	81,8%
66D	4035	6,7%	88,6%
30A	3160	5,3%	93,9%
32B	1989	3,3%	97,2%
32A	1675	2,8%	100,0%
Celkem	59822		



Graf 4 Paretův graf pro přehled vad a četnosti výskytu v roce 2011

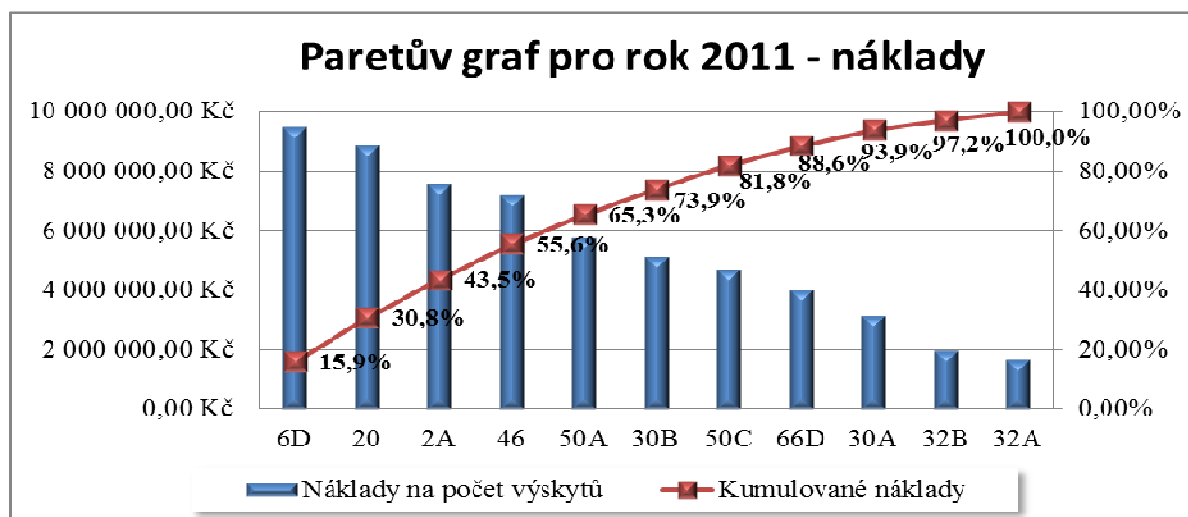
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Jak ukázala Paretova analýza 20% příčin, které představují příčiny křivé bombírování, separace v rameni a zalisovaná nečistota – gumová, přináší přibližně 44% následků.

Tab. 3 Přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2011

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Vada	Četnost výskytu (ks)	Náklady na počet výskytů	Kumulovaná četnost nákladů	Náklady na počet výskytu (%)	Kumulované náklady
6D	9498	9 450 510,00 Kč	9 450 510,00 Kč	15,9%	15,9%
20	8905	8 860 475,00 Kč	18 310 985,00 Kč	14,9%	30,8%
2A	7603	7 564 985,00 Kč	25 875 970,00 Kč	12,7%	43,5%
46	7234	7 197 830,00 Kč	33 073 800,00 Kč	12,1%	55,6%
50A	5819	5 789 905,00 Kč	38 863 705,00 Kč	9,7%	65,3%
30B	5148	5 122 260,00 Kč	43 985 965,00 Kč	8,6%	73,9%
50C	4756	4 732 220,00 Kč	48 718 185,00 Kč	8,0%	81,8%
66D	4035	4 014 825,00 Kč	52 733 010,00 Kč	6,7%	88,6%
30A	3160	3 144 200,00 Kč	55 877 210,00 Kč	5,3%	93,9%
32B	1989	1 979 055,00 Kč	57 856 265,00 Kč	3,3%	97,2%
32A	1675	1 666 625,00 Kč	59 522 890,00 Kč	2,8%	100,0%
Celkem	59822	59 522 890,00 Kč			



Graf 5 Paretův graf pro přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2011

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Co se týče nákladů vzniklých v důsledku výskytu neopravitelných vad, jedná se v roce 2011 o více jak 59 500 000 Kč. Na této částce se 20% příčin podílí z cca 44%, což tvoří náklady ve výši 25 875 970 Kč.

## 5.2 Náklady na neshodné výrobky v roce 2012

V roce 2012 se vybrané vady podílely na 70 272 ks zmetků. Zmetkovitost zapříčiněná těmito 11-ti vadami se tak zvýšila oproti roku 2011 téměř o 15%. Četnosti výskytu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4 Přehled vad a četnosti výskytu v roce 2012

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Vada	Četnost výskytu (ks)	Četnost výskytu	Kumulativní četnost
6D	11098	15,8%	15,8%
2A	9565	13,6%	29,4%
20	8404	12,0%	41,4%
30A	7977	11,4%	52,7%
46	6611	9,4%	62,1%
30B	5897	8,4%	70,5%
50A	4902	7,0%	77,5%
66D	4689	6,7%	84,2%
50C	4557	6,5%	90,6%
32B	3866	5,5%	96,1%
32A	2706	3,9%	100,0%
Celkem	70 272		



Graf 6 Paretův graf pro přehled vad a četnosti výskytu v roce 2012  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

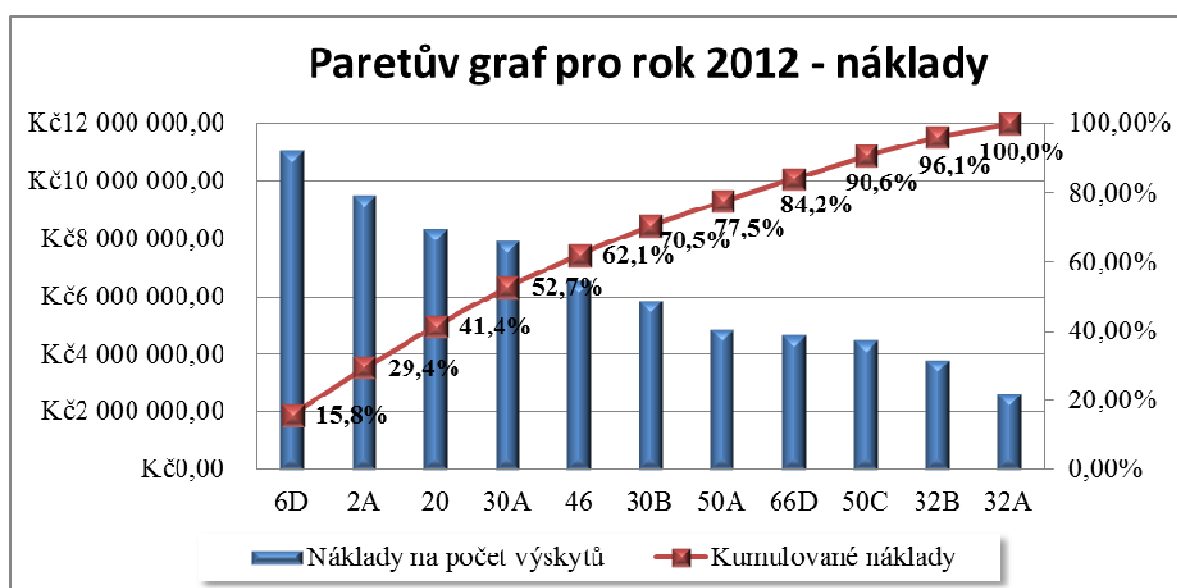


Z Paretovy analýzy vyplývá, že v roce 2012 opět 20% příčin tvoří stejné vady. Došlo ovšem ke změně četností a pořadí v jakém se vady podílí na celkové zmetkovitosti. Největší podíl zmetkovitosti nese křivé bombírování poté zalisovaná nečistota – gumová a separace v rameni. Tyto příčiny přináší asi 42% následků.

Tab. 5 Přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2012

(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Vada	Četnost výskytu (ks)	Náklady na počet výskytů	Kumulovaná četnost nákladů	Náklady na počet výskytu (%)	Kumulované náklady
6D	11098	11 064 706,00 Kč	11 064 706,00 Kč	15,8%	15,8%
2A	9565	9 536 305,00 Kč	20 601 011,00 Kč	13,6%	29,4%
20	8404	8 378 788,00 Kč	28 979 799,00 Kč	12,0%	41,4%
30A	7977	7 953 069,00 Kč	36 932 868,00 Kč	11,4%	52,7%
46	6611	6 591 167,00 Kč	43 524 035,00 Kč	9,4%	62,1%
30B	5897	5 879 309,00 Kč	49 403 344,00 Kč	8,4%	70,5%
50A	4902	4 887 294,00 Kč	54 290 638,00 Kč	7,0%	77,5%
66D	4689	4 674 933,00 Kč	58 965 571,00 Kč	6,7%	84,2%
50C	4557	4 543 329,00 Kč	63 508 900,00 Kč	6,5%	90,6%
32B	3866	3 854 402,00 Kč	67 363 302,00 Kč	5,5%	96,1%
32A	2706	2 697 882,00 Kč	70 061 184,00 Kč	3,9%	100,0%
Celkem	70272	70 061 184,00 Kč			



Graf 7 Paretův graf pro přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

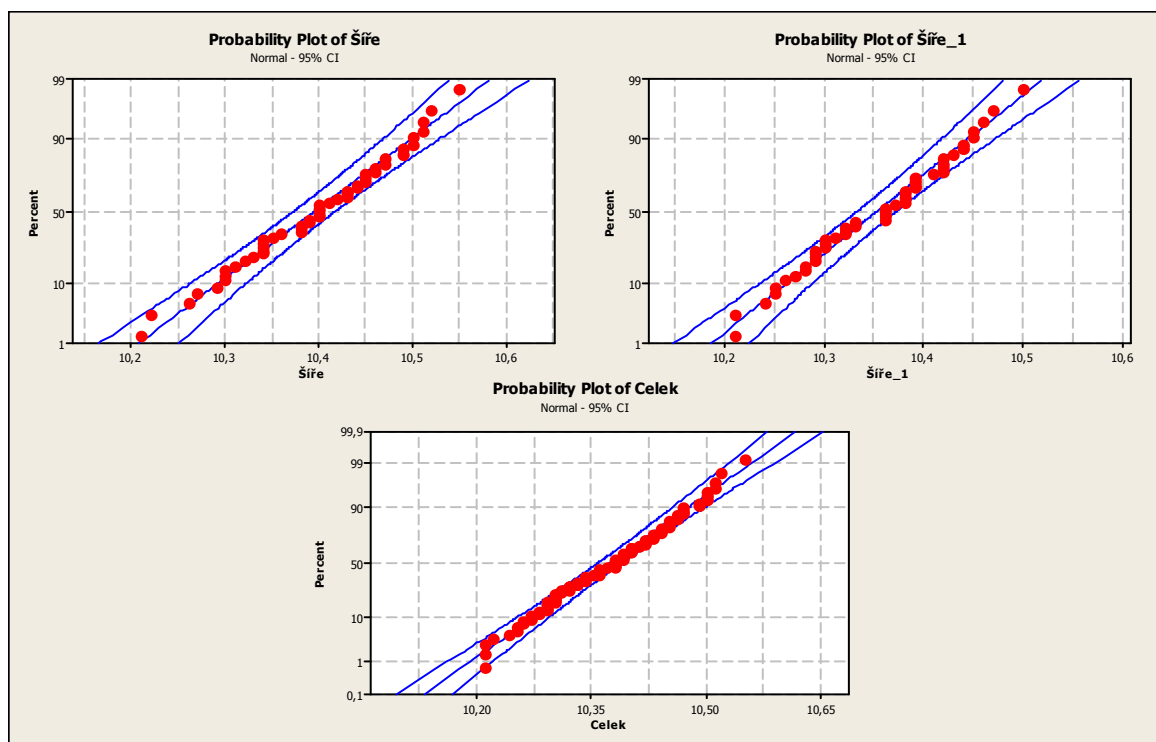
V roce 2012 dosáhly celkové náklady na neopravitelné vady 70 061 184 Kč. To je o téměř 10 600 000 Kč více, než v předešlém roce. Tento nárůst celkových nákladů byl zapříčiněn jak z důvodu nárůstu počtu vadných kusů, tak zvýšením nákladů na vadný výrobek o 2Kč/ks. Podle Paretovy analýzy tvoří 20% příčin cca 42% následků, což představuje náklady ve výši 28 979 799 Kč.

## 6 VYUŽITÍ MATEMATICKO-STATISTICKÝCH METOD V PROCESU MĚŘENÍ ŠÍŘE BOČNIC

Nyní ve své diplomové práci provedu pomocí nástrojů pro statistickou regulaci procesu analýzu způsobilosti a výkonnosti procesu měření šíře bočnic. Data jsou získána z reálného procesu vytlačování bočnic na vytlačovacích linkách. Při pravidelné kontrole ve dnech od 10. 2. 2013 do 6. 3. 2013 bylo provedeno celkem 50 měření jednoho úseku bočnice, které jsem ve své práci označila jako "Šíře" a dalších 50 měření z druhého úseku bočnice označených jako "Šíře\_1". Pro analýzu dat a zobrazení grafů využiji statistický software Minitab 16. Aby bylo možné se získanými daty nadále pracovat, je nutné ověřit, zda jde o nezávislé veličiny, stejně rozdělené a pocházející z normálního rozdělení.

### 6.1 Ověření normality datových souborů

Pro ověření normality jsem zvolila grafický nástroj v podobě pravděpodobnostních grafů, které jsou zobrazeny níže jak pro data z prvního náměru, tak pro data pocházející z druhého náměru. Pro analýzu jsem se rozhodla využívat data z obou souborů, které jsem označila jako "Celek".



Obr. 16 Pravděpodobnostní grafy pro ověření normality datových souborů  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Pravděpodobnostní grafy znázorňují, do jaké míry je rozdělení datového souboru blízké normálnímu rozdělení. Čím více se naměřené hodnoty blíží k přímce, která odpovídá normálnímu rozdělení, tím se datový soubor blíží normálnímu rozdělení.

V případě naměřených dat z vytlačovacích linek se hodnoty nachází na zobrazené přímce, data tedy odpovídají normálnímu rozdělení.

*Tab. 6 Testování normality pomocí Anderson-Darlingova testu  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)*

Šíře	P-value (0,674) > $\alpha$ (0,05)
Šíře_1	P-value (0,331) > $\alpha$ (0,05)
Celek	P-value (0,429) > $\alpha$ (0,05)

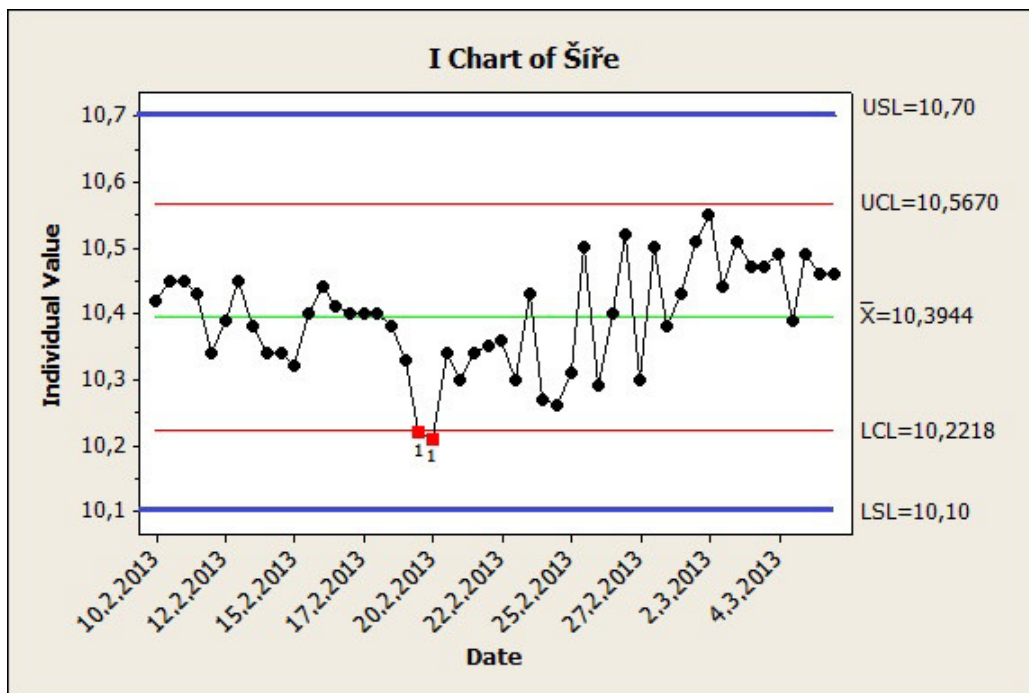
Z pravděpodobnostního grafu je tedy patrné, že studovaný znak jakosti je normálně rozdělen. Tento fakt potvrzuje i P-Value Anderson-Darlingova testu normality, kde se vypočítané hodnoty pohybují vysoko nad obvykle využívanou hladinou významnosti  $\alpha = 0,05$ .

## 6.2 Celková analýza procesu pomocí nástrojů SPC

V předchozí kapitole jsem zjistila, že naměřená data pochází z normálního rozdělení. Nyní tedy můžu začít s analýzou způsobilosti a výkonnosti procesu měření šíře bočnic. Nejdříve sestrojím pro jednotlivé naměřené hodnoty klasické Shewhartovy regulační diagramy a zhodnotím, zda je daný proces ve zvládnutelném stavu či nikoliv. Poté pomocí krabicových diagramů a dvouvýběrového T-testu otestuji, zda se naměřené hodnoty na jednom úseku bočnice liší od naměřených hodnot druhého úseku bočnice a následně provedu pomocí softwaru Minitab 16 analýzu způsobilosti procesu.

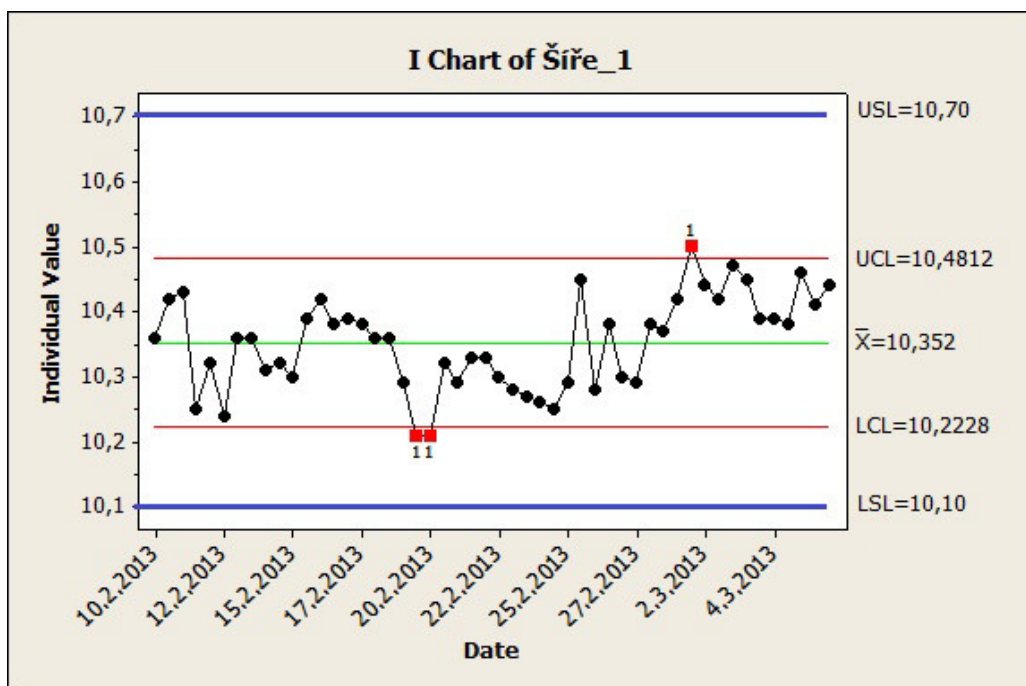
Jako první sestrojím klasický Shewhartův regulační diagram pro naměřené hodnoty na prvním úseku bočnice označené jako "Šíře".

Dolní specifikační mez byla stanovena LSL = 10,1 a horní specifikační mez USL = 10,7.



Obr. 17 Regulační diagram x individual pro naměřené hodnoty "Šíře"  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

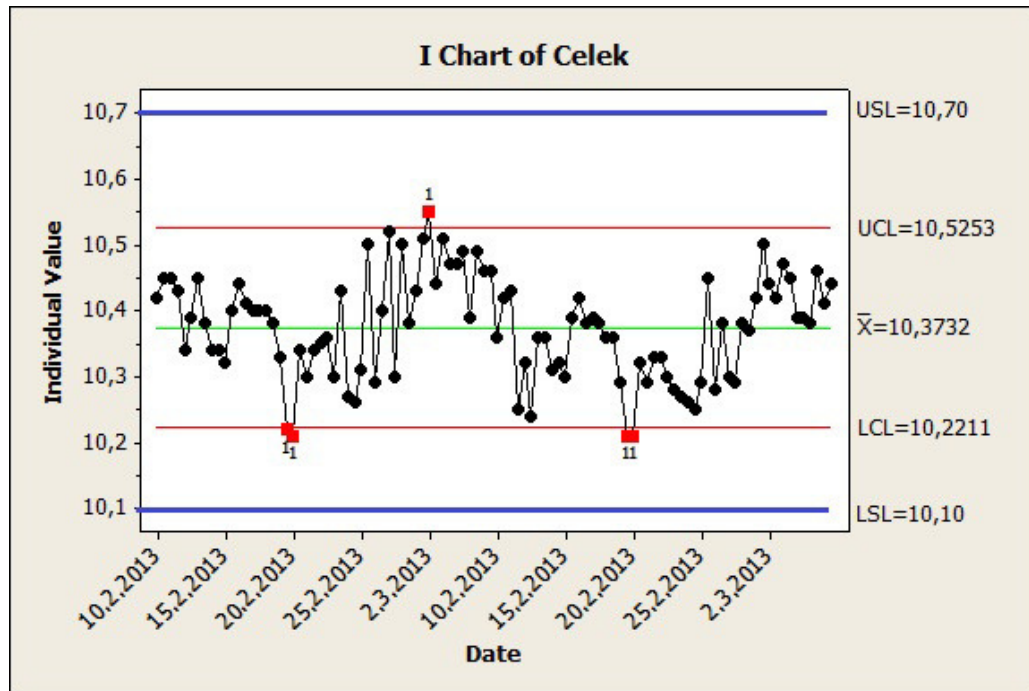
Z regulačního diagramu na obrázku 16 můžeme vypočítat dvě hodnoty, které přesáhly dolní regulační mez. Ovšem z pohledu USL lze tento proces považovat za statisticky zvládnutelný. Ke specifikačním mezím 10,1 resp. 10,7 se nepřiblížila ani jedna z hodnot.



Obr. 18 Regulační diagram x individual pro naměřené hodnoty "Šíře\_1"  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

U druhého souboru naměřených dat označených jako "Šíře\_1" došlo také ke dvěma překročením dolní regulační meze a navíc jedna hodnota přesáhla horní regulační mez. Opět se specifikačním mezím kriticky nepřiblížila ani jedna z naměřených hodnot. Tento proces lze považovat z hlediska specifikačních mezí za stabilní a statisticky zvládnutelný.

Nyní zkonstruuji klasický Shewhartův regulační diagram pro oba naměřené soubory označené jako "Celek".



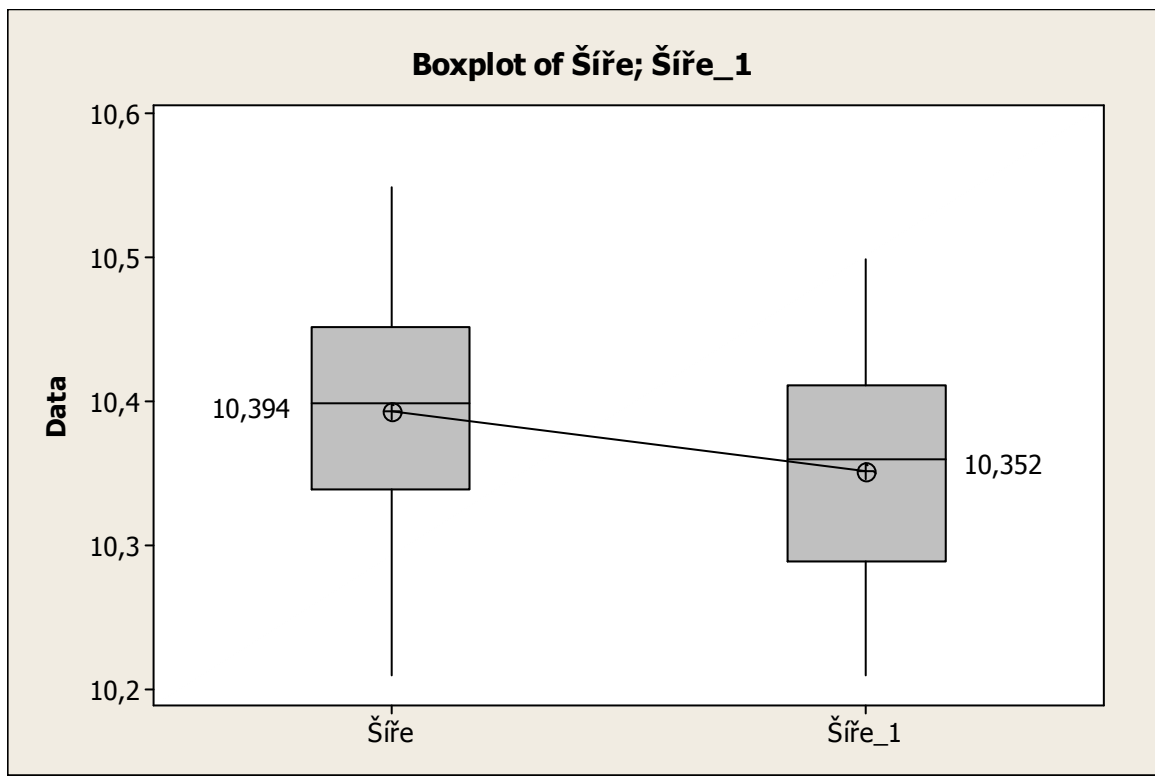
Obr. 19 Regulační diagram  $x$  individual pro naměřené hodnoty "Celek"

(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Po sestavení regulačního diagramu pro oba soubory se regulační meze UCL a LCL přepočítaly. Tímto přepočítáním došlo k tomu, že se objevila nová hodnota z prvního souboru "Šíře", která překročila horní regulační mez. Kdežto hodnota, která na obrázku 17 překročila horní regulační mez, se nyní vlezla do intervalu  $\pm 3\sigma$ . V procesu se nevyskytly žádné extrémní hodnoty, které by se kritickým způsobem přiblížily horní či dolní toleranční mezi.

Vzhledem k širokým specifikačním mezím lze tento proces považovat za statisticky zvládnutelný a stabilní. Čím více by se naměřené hodnoty přibližovaly k  $\bar{x} = 10,3732$ , tím by se dal proces považovat za stabilnější.

Na následujícím obrázku 19 jsem sestrojila krabicové diagramy pro naměřené hodnoty "Šíře" a "Šíře\_1". Cílem bylo zjistit, zda mají oba soubory shodné střední hodnoty.



Obr. 20 Krabicový diagram pro "Šíře" a "Šíře\_1"  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Z krabicových diagramů je patrné, že se naměřené hodnoty jednoho úseku bočnice liší od naměřených hodnot druhého úseku bočnice. Rozdíl mezi vypočtenými mediány souborů je 0,042 mm. Nyní pomocí dvouvýběrového T-testu ověřím hypotézu o shodě středních hodnot.

### Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	50	10,3900	0,0804	0,011
2	50	10,3500	0,0713	0,010

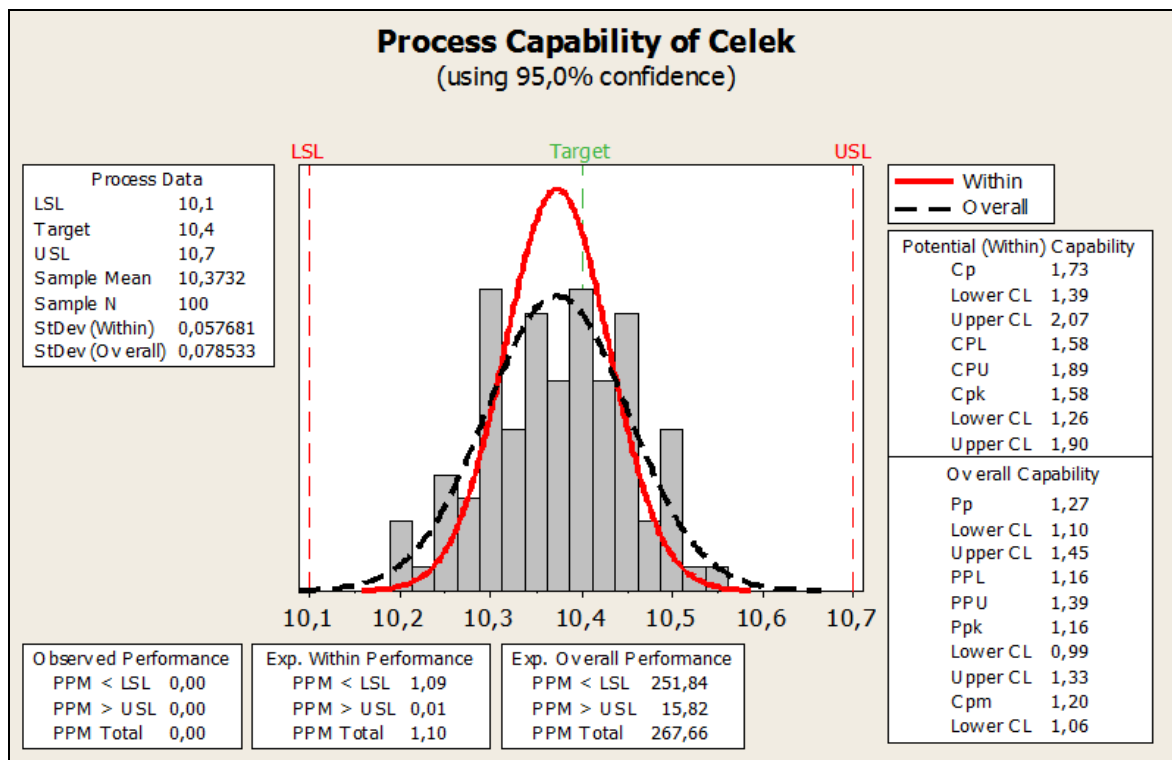
Difference = mu (1) - mu (2)  
 Estimate for difference: 0,0400  
 95% CI for difference: (0,0098; 0,0702)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2,63 P-Value = 0,010 DF = 96

Obr. 21 Dvouvýběrový T-test pro shodu středních hodnot  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

$P\text{-Value} (0,01) < \alpha (0,05) \implies$  zamítáme nulovou hypotézu o shodě středních hodnot.

Dvouvýběrový T-test potvrdil, že střední hodnoty naměřených souborů jsou odlišné. Znamená to, že v prvním úseku bočnice byla naměřena jiná šíře, než v druhém úseku bočnice. Proto by bylo vhodné provést nápravná opatření v podobě seřízení strojů a úpravy forem na vytlačování bočnic.

Po ověření statistické zvládnutelnosti a stability procesu se zaměřím na vyhodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu pomocí vypočtených indexů. Způsobilost procesu (Process Capability) vyjadřuje schopnost procesu trvale poskytovat výrobky splňující požadování kritéria jakosti zákazníkem. Znalost způsobilosti procesu je pro výrobce velmi důležitá, protože může posloužit jako podklad pro plánování a zlepšování jakosti. Pro odběratele jsou informace o způsobilosti procesu důkazem, že požadovaný výrobek vzniká v požadovaných stabilních podmínkách a je tak zabezpečena předepsaná jakost. Protože při ověřování způsobilosti procesu u naměřených hodnot "Šíře" a "Šíře\_1" bylo vyhodnocení indexů velmi podobné, uvedu zde pouze výsledky pro "Celek".



Obr. 22 Analýza způsobilosti procesu u naměřených hodnot "Celek"

(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)



Tab. 7 Výběr důležitých indexů způsobilosti procesu  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)

Index	Výsledná hodnota	Požadovaná hodnota	
$C_p$	1,73	$C_p \geq 1,33$	✓
$C_{pk}$	1,58	$C_{pk} \geq 1,33$	✓
$P_{pk}$	1,16	----	----
$C_{pm}$	1,20	----	----

Hodnota indexu  $C_p$  je 1,73, což odpovídá požadavku  $C_p \geq 1,33$ . Proces je tedy schopen při ideálním centrování a působením pouze náhodných příčin variability zajistit, aby se naměřené hodnoty nacházely uvnitř specifikačních mezí. Hodnota indexu  $C_{pk}$  vychází větší než 1,33. Jelikož byla v datech potvrzena normalita, je možné využít indexy výkonnosti procesu ( $P_p$  a  $P_{pk}$ ). Horní mez konfidenčního intervalu pro  $P_{pk} = 1,33$ , tudíž je proces po stránce celkové variability způsobilý. Z hlediska indexu  $C_{pm} = 1,20$  a spodního konfidenčního intervalu, který je 1,06 není proces centrováný vzhledem k cílové hodnotě ( $T = 10,4$ ).

Ve výrobních podnicích se také často využívá výpočet PPM (Parts per million), který slouží ke sledování zmetkovitosti. Tento index udává množství neshodných výrobků v kusech na jeden milion vyprodukovaných výrobků. V případě tohoto procesu by se po zaokrouhlení jednalo o 268 kusů neshodných výrobků na jeden milion.

### 6.3 Zhodnocení použitých matematicko-statistických metod v procesu měření šíře bočnic

V této kapitole diplomové práce jsem se věnovala aplikaci matematicko-statistických metod na proces měření šíře bočnic na vytlačovacích linkách. Jako první bylo nutné ověřit, z jakého rozdělení naměřená data pocházejí. Využila jsem jak grafických nástrojů v podobě pravděpodobnostního grafu, tak numerický test v podobě Anderson-Darlingova testu. Obě tyto metody potvrdily, že data pochází z normálního rozdělení. Poté jsem sestrojila pro naměřená data klasické Shewhartovy regulační diagramy, abych otestovala, zda je proces statisticky zvládnutelný. Zde jsem narazila na skutečnost, že procesy ve společnosti mají nastaveny úzké regulační meze a široké specifikační meze, proto hodnoty často překročily

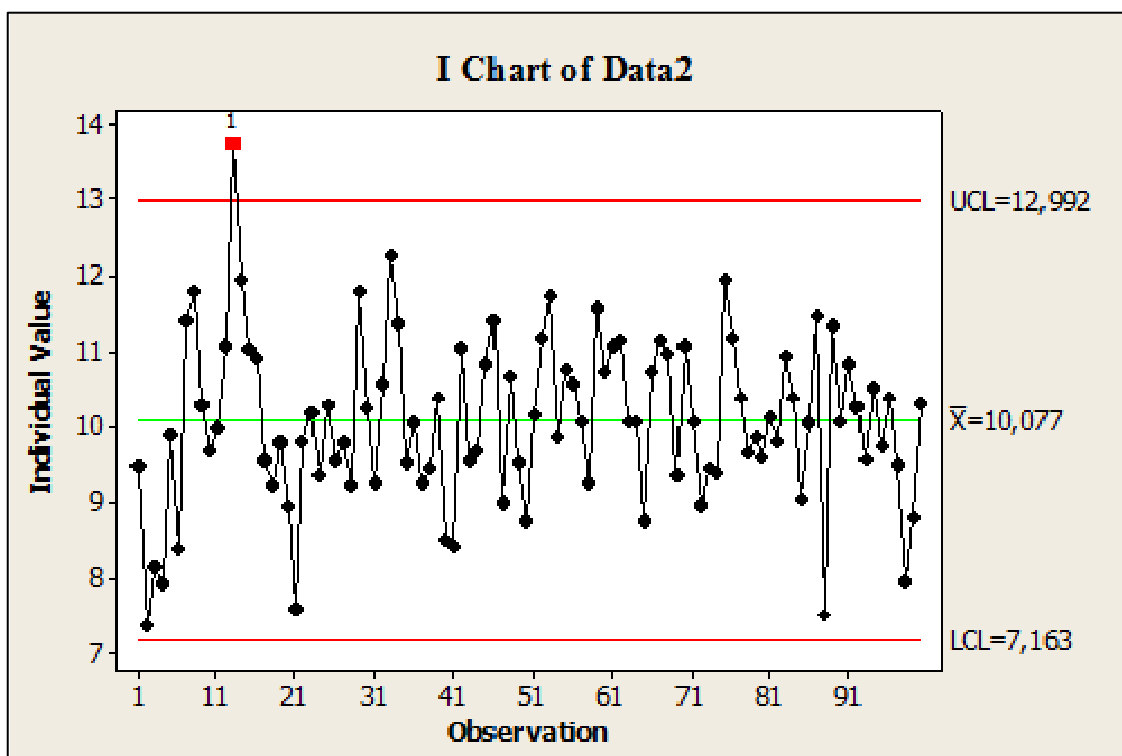
regulační meze, ovšem ke specifikačním mezím se kriticky nepřiblížily. Dále jsem otestovala pomocí krabicového diagramu a dvouvýběrového T-testu, zda se shoduje střední hodnota obou naměřených souborů. Výsledkem bylo zjištění, že střední hodnota souborů se liší. V závěru jsem provedla analýzu způsobilosti a výkonnosti procesu, kdy jsem srovnávala vypočítané indexy získané z programu Minitab 16. Proces jsem definovala jako způsobilý.

Vzhledem k poznatkům získaným v této kapitole jsem se rozhodla, že se dále v práci zaměřím na návrh aparátu pro identifikaci odlehlých hodnot procesu, aby bylo možné eliminovat rizika falešného signálu a na návrh aparátu pro včasnou detekci posunu střední hodnoty procesu.

## 7 NÁVRH APARÁTU PRO IDENTIFIKACI ODLEHLÝCH HODNOT PROCESU

Ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o. využívají k identifikaci odlehlých hodnot krabicové diagramy – BoxPloty. Tyto BoxPloty reflektují Shewhartovský koncept regulačních diagramů po stránce překročení regulačních mezí. Znamená to, že tyto BoxPloty tedy hlásí outliers již na úrovni asi  $3\sigma$  regulačního diagramu. Protože jsou ve společnosti procesy nastaveny tak, že mají úzké regulační meze a široké toleranční meze neboli specifikační meze zadané odběratelem, dochází při vizuální kontrole zobrazením Boxplotů k zobrazení spousty odlehlých pozorování. Analytici jsou tak upozorňováni i na nevýznamné hrozby. Tento fakt mě dovedl k zamyšlení, jestli by pro společnost nebylo přínosnější nahradit stávající BoxPlot, který počítá odlehlé hodnoty z 1,5IQR novým konceptem BoxPlotu s výpočtem odlehlých hodnot z 3IQR, a tím tedy zachycovat procesní outliers mnohem věrohodněji.

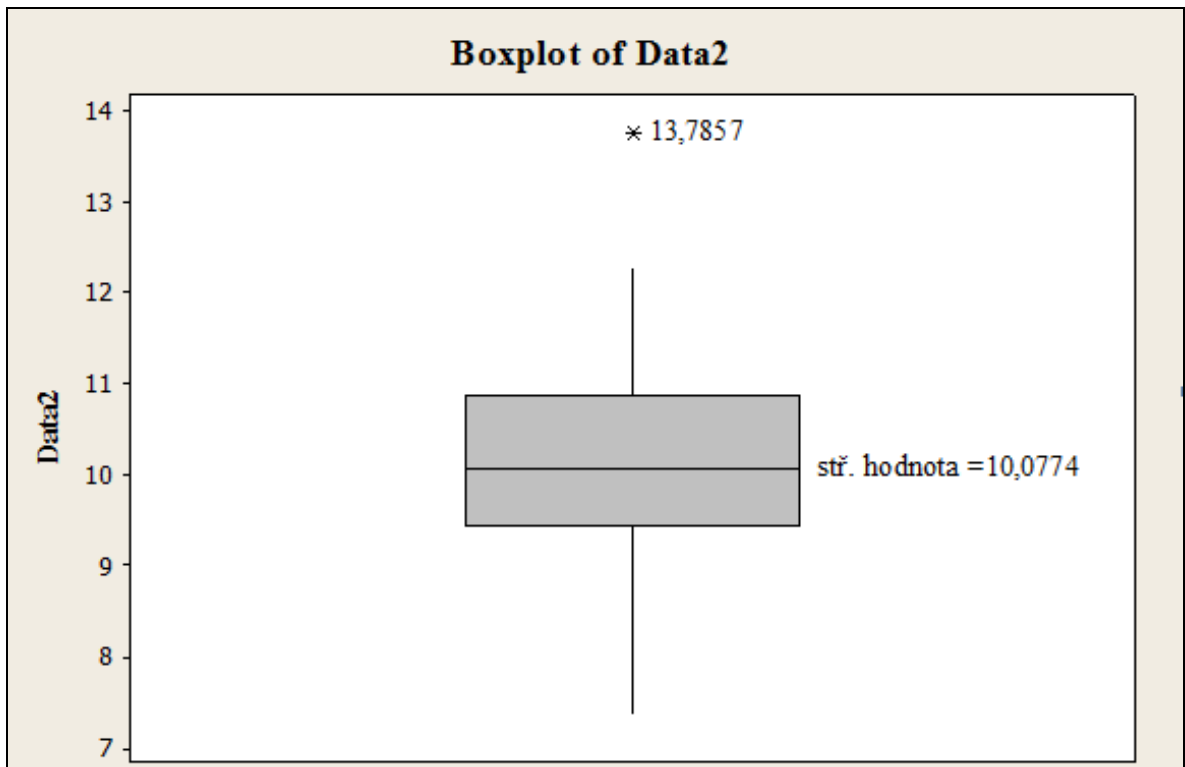
Pro analýzu jsem získala data z reálného procesu určování šíře [v mm] určitého úseku bočnice. Při měření bylo provedeno 100 náměrů a tento proces byl identifikován, že pochází z normálního rozdělení  $N(\mu = 10,1; \sigma^2 = 1)$ . Tento proces se empiricky chová stabilně.



Obr. 23 Regulační diagram  $\bar{x}$  individual pro měření procesu určování šíře úseku bočnice (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

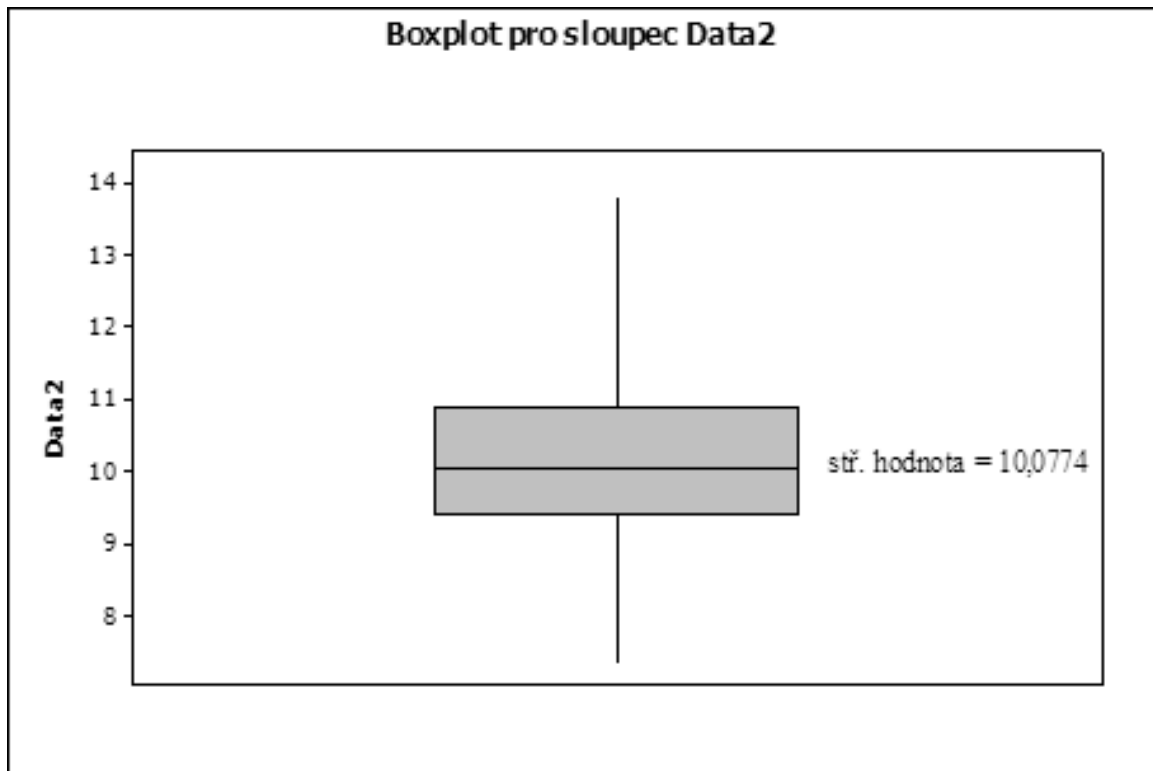
Regulační diagram upozorňuje na překročení regulační meze ve 12. výběru, jedná se o pravděpodobnost  $\alpha = 0,27\%$  v Shewhartových regulačních diagramech, tedy riziko falešného signálu. Možnost překročení regulační meze u stabilního procesu je  $0,27\%$ . Tento proces je tedy vycentrovaný, chová se stabilně a je normálně rozložený.

Pokud pro identifikaci odlehlých hodnot využijí BoxPlot, který vypočítává outliers z  $1,5IQR$ , dostanu následující obrázek.



Obr. 24 Krabicový diagram, který odpovídá konceptu  $1,5IQR$   
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Tento BoxPlot využívá klasickou Shewhartovskou koncepci regulačních diagramů v rozpětí variance  $\pm 3\sigma$ . V diagramu je zaznačena odlehlá hodnota, která byla způsobena rizikem falešného signálu. Analytiky tak diagram upozornil na nevýznamnou chybu. Nyní vyzkouším BoxPlot, který vypočítá odlehlé hodnoty z  $3IQR$ .



*Obr. 25 Krabicový diagram, který odpovídá konceptu 3IQR  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)*

BoxPlot na obrázku 17 neupozorňuje na žádnou odlehlou hodnotu. Důvodem je nastavení variance na úroveň 3IQR, což je v podstatě úroveň specifikačních limit u centrovaného reálného procesu. Tento nově navržený koncept se jeví jako přínosnější, a to zejména pro technology, kteří analyticky vyhodnocují kritické procesy pomocí exploratorní diagnostiky. Analytici tak budou tímto algoritmem upozorňováni pouze na vážné hrozby.

Ve společnosti Continental Barum využívají k analyzování dat síťovou licenci statistického softwaru Minitab 16. Tento software ovšem nezahrnuje žádný z numerických testů, který by bylo možné využít pro odlehlá pozorování. Proto využijí výpočetního jádra softwaru Minitab 16 a doprogramují v makrech numerické testy pro identifikaci odlehlých hodnot. V úvahu připadá Grubbsův test pro odlehlé hodnoty nebo jeho obdoba Dixonův test pro malé výběry.

V command line editoru Minitabu 16 jsem pomocí příkazu

```
% grubbs C2  
alpha .05
```

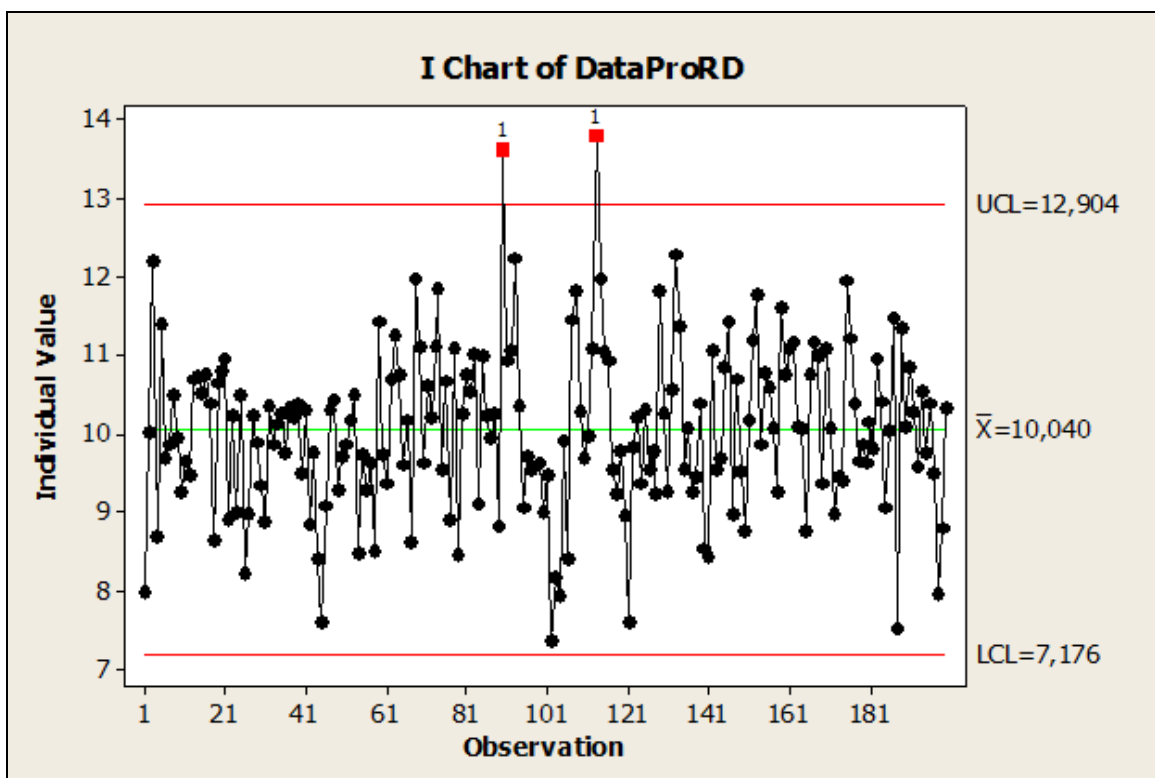
zavolala makro s Grubbsovým testem, který mi vrátil následující hlášku: „*Použitím Grubbsova kritéria nebyl v datovém souboru nalezen žádný outlier*“. Tento Grubbsův numerický test odpovídá nově navrženému 3IQR BoxPlotu. V případě Grubbsova testu se jedná o sekvenční testování hypotézy o odlehlosti hodnoty.

Výsledkem této kapitoly je návrh vhodné statistické metody pro určování odlehlých hodnot u procesních dat ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o. Po zavedení mého návrhu 3IQR BoxPlotu pro identifikaci odlehlých hodnot a jeho numerické podoby v podání Grubbsova testu by odpadlo upozorňování na nevýznamné hrozby a analytici by se tak mohli soustředit pouze na vážné hrozby.

## 8 NÁVRH APARÁTU PRO IDENTIFIKACI POSUNU STŘEDNÍ HODNOTY PROCESU

Pokud chce společnost statisticky regulovat proces a zefektivnit a zkvalitnit tak výrobu a produkty, je nezbytně nutné mít přehled o tom, co se během procesu děje. Pouze v případě, kdy jsou pracovníci včas upozorněni na závažné chyby v procesu, je možné do tohoto procesu zasáhnout a eliminovat tak chyby, než dojde k velkým ztrátám. Proto se nyní zaměřím na návrh aparátu, který bude vhodný pro rychlou detekci posunu střední hodnoty procesu. Opět využiji data získána z reálného procesu vytlačování bočnic na vytlačovacích linkách, kde bylo provedeno 100 náměrů na jednom úseku bočnice, tento proces byl identifikován, že pochází z rozdělení  $N(\mu = 10; \sigma^2 = 1)$  a následně dalších 100 náměrů na druhém úseku bočnice, tento proces byl identifikován, že pochází z  $N(\mu = 10,1; \sigma^2 = 1)$ .

Jako první otestuji Shewhartův regulační diagram pro individuální hodnoty. Tento diagram je ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o. běžně využívám v rámci statistického řízení procesu.



Obr. 26 Diagram  $x$  individual pro proces měření bočnic  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Jak je vidět na výše zrekonstruovaném Shewhartově regulačním diagramu, došlo ke dvěma překročením horní regulační meze, toto překročení je identifikováno jako pravděpodobnost  $\alpha$ , tedy riziko falešného signálu. Ovšem důležitější je, že regulační diagram nezaznamenal žádný posun střední hodnoty. Při zobrazení procesu pomocí tohoto diagramu by analytici nebyli včas upozorněni na to, že v procesu došlo ke změně.

Nyní otestuji hypotézu o posunu střední hodnoty numerických testem v podobě dvouvýběrového T-testu, kde položím nulovou hypotézu následovně:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 \leq 0 \text{ oproti}$$

$$H_A: \mu_1 - \mu_2 > 0$$

Pomocí statistického softwaru Minitab jsem 16 získala výpočet P-Value zobrazené na následujícím obrázku.

```
Two-sample T for Data1 vs Data2

      N      Mean  StDev  SE Mean
Data1 100  10,003  0,990   0,099
Data2 100  10,08  1,11    0,11

Difference = mu (Data1) - mu (Data2)
Estimate for difference:  -0,075
95% lower bound for difference:  -0,321
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = -0,50  P-Value = 0,692  DF = 198
Both use Pooled StDev = 1,0520
```

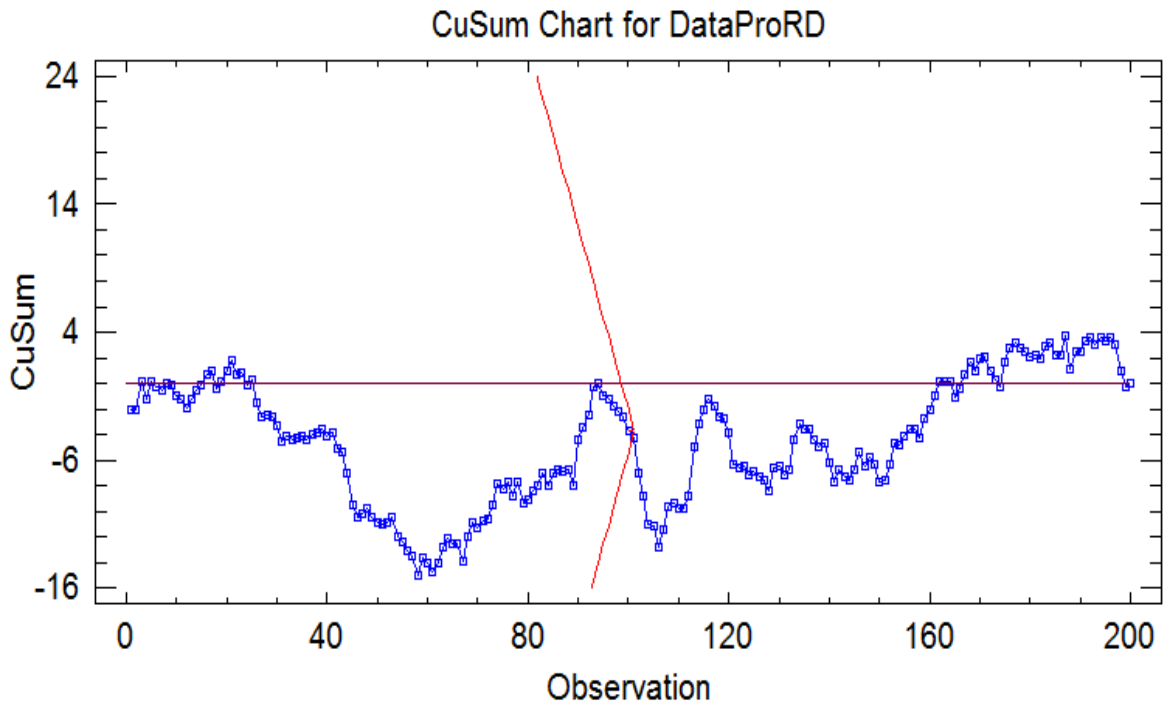
*Obr. 27 T-test pro shodu středních hodnot*

*(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)*

P hodnota je  $> \alpha$  (0,05), tudíž nezamítáme nulovou hypotézu o shodě středních hodnot.

Aby bylo možné tuto proceduru zautomatizovat, je nutné využít vizuální nástroj v podobě regulačního diagramu, který je citlivý na posun střední hodnoty. Mezi moderní regulační diagramy, které by mohly zaznamenat posun střední hodnoty v tomto procesu, patří regulační diagram CuSUM a regulační diagram EWMA. Jako první otestuji regulační diagram CuSUM.

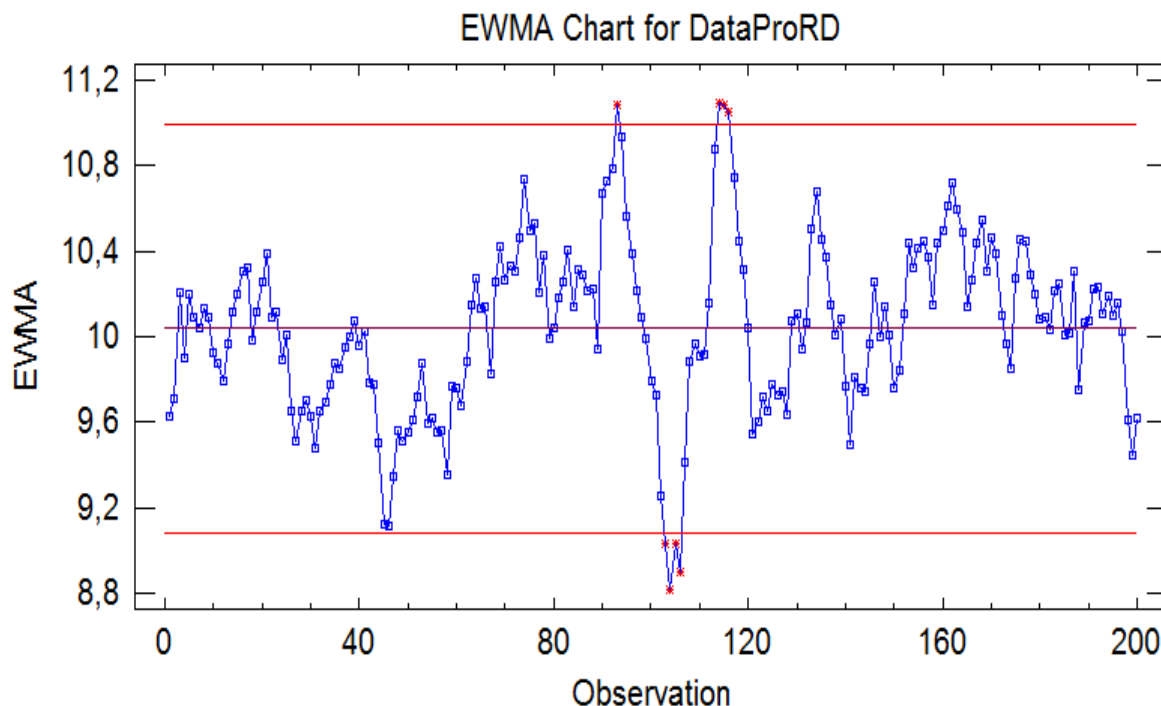




*Obr. 28 Regulační diagram CuSUM a testování detekce posunu střední hodnoty pomocí V- masky (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)*

V regulačním diagramu CuSUM jsem nastavila citlivost detekce posunu střední hodnoty na úroveň  $3\sigma$ . Jako pomůcka v diagramu CuSUM slouží rozhodovací V-masky, kterou jsem nastavila na 105 pozorování. Znamená to, že by měl být tento diagram vysoce citlivý na posun střední hodnoty po 100 náměrech. Z regulačního diagramu je patrné, že žádná ze zakreslených hodnot se nenachází vně rozhodovací V-masky. Tento diagram tedy jednoznačně nezaznamenal posun střední hodnoty, pouze upozornil na směs dvou různých lineárních funkcí.

Mezi další diagramy s citlivostí na posun střední hodnoty je diagram EWMA.



Obr. 29 EWMA diagram pro autokorelované a mírně asymetrické procesy  
(Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)

Na první pohled je z výše sestrojeného regulačního diagramu EWMA patrné, že proces není statisticky zvládnutý. V regulačním diagramu EWMA byl zaznamenán posun střední hodnoty mezi 103 – 106 náměrem, to je 3 náměry po vzniku posunu střední hodnoty.

Diagram EWMA se tedy jeví jako nejvhodnější pro detekci posunu střední hodnoty, jelikož je robustní pro mírnější porušení normality dat a na rozdíl od diagramu CuSUM je vhodný i pro větší výběry. Jestliže by byl v datech trend, bylo by možné využít regulační diagram ARIMA.

Nejjednodušší procedura pro numerickou identifikaci posunu střední hodnoty by byla kombinace EWMA algoritmu a sekvenčního T-testu, kdy by se sekvenčně testovala hypotéza:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 \leq 0 \text{ proti}$$

$$H_A: \mu_1 - \mu_2 > 0.$$

Cílem této kapitoly diplomové práce bylo navrhnout aparát pro identifikaci posunu střední hodnoty procesu. Po otestování grafických metod v podobě klasických a moderních regulačních diagramů citlivých na posun střední hodnoty procesu i numerické metody v podobě dvouvýběrového T-testu se nejlépe osvědčila kombinace regulačního diagramu EWMA,

který je vysoce citlivý na posun střední hodnoty a sekvenčního dvouvýběrového T-testu, který by sekvenčně testoval hypotézu o shodě středních hodnot. Zavedením tohoto aparátu by bylo možné včas identifikovat změnu v procesu, zasáhnout a eliminovat případné chyby.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo využití optimalizačních nástrojů v řízení kvality procesů ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o. Pro svou práci jsem získala data z reálného procesu určování šíře bočnic.

Nejprve jsem se ve své práci zaměřila na analýzu nákladů, které jsou ve společnosti vyvolány vznikem neshodných a neopravitelných výrobků. Pro analýzu jsem vybrala 11 nejčastějších závad, které tvoří ročně náklady v řádech desítek milionů korun. Aby bylo možné snížit výskyt těchto závad, je potřeba včas zachytit jejich vznik a zasáhnout do procesu.

Pro monitorování chybných pochodů ve výrobním procesu jsem následně využila matematicko-statistických metod, které jsem aplikovala na data z procesu vytlačování bočnic. Po sestavení klasických Shewhartových diagramů, jsem zjistila, že má společnost nastaveny úzké regulační meze a široké toleranční meze. Proto docházelo k častému překročení regulačních mezí, ovšem k tolerančním mezím se naměřené hodnoty kriticky nepřiblížily. Vzhledem k tomu jsou analytici společnosti upozorňováni na mnoho falešných signálů vyvolaných nevýznamnými hrozbami. Proto jsem se v práci zaměřila na návrh aparátu ke zlepšení analytického určování odlehlých hodnot. S nově navrženým 3IQR BoxPlotem odpadá upozorňování na nevýznamné hrozby a analytici se tak mohou soustředit na vážné chyby. Součástí této kapitoly byl také návrh numerické podoby testu pro identifikaci odlehlých hodnot v podobě Grubbsova testu. Jako nejprínosnější se tedy pro identifikaci odlehlých hodnot procesu jeví využití 3IQR BoxPlotu v kombinaci s Grubbsovým testem, kde by se sekvenčně testovala hypotéza o odlehlosti hodnot.

Dalším cílem práce bylo navrhnout vhodnou metodu pro detekci posunu střední hodnoty procesu. Zde jsem využila jak klasických, tak moderních typů regulačních diagramů. Diagram EWMA identifikoval posun střední hodnoty 3 náměry po vzniku, na rozdíl od předchozího Shewhartova regulačního diagramu a digramu CuSUM, kde nedošlo k jednoznačnému zachycení posunu střední hodnoty. Proto doporučuji pro identifikaci posunu střední hodnoty využívat citlivější regulační diagram EWMA a sekvenční T-test pro testování hypotézy o shodě středních hodnot. Díky tomuto návrhu je možné včas identifikovat změny v procesu a eliminovat tak vznik neshodných výrobků.

Troufám si tvrdit, že použitím vhodně zvolených nástrojů pro statistickou regulaci procesu ušetří společnost nemalou částku z nákladů vyvolaných počtem neshodných výrobků.

Z hromadného charakteru výroby plyne, že i mírné zlepšení a zefektivnění výrobního procesu povede k úspoře nákladů, zvýšení zisku a v neposlední řadě posílení konkurenceschopnosti. Vzhledem k tomu, že společnost již využívá síťovou licenci softwaru Minitab 16 nevznikají společnosti žádné investiční výdaje související s návrhy analytických aparátů pro identifikaci odlehlých hodnot a posunu střední hodnoty procesu.

Při zpracování diplomové práce jsem využila teoretických poznatků získaných během studia na vysoké škole a samostudiem. Díky odborné diplomové praxi ve společnosti Continental Barum spol. s.r.o. jsem měla i tu možnost nahlédnout do podnikové praxe a učit se tak od zkušených odborníků ve svém oboru. Zkušenosti a vědomosti získané touto praxí jsem využila i v této práci a domnívám se, že i v budoucnu mi budou přínosem.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

BARUM CONTINENTAL. *Gumárenská technologie: učební texty Barum Continental spol. s r.o.* Otrokovice, 2008.

BLECHARZ, Pavel. *Základy moderního řízení kvality*. 1. vyd. Praha: Ekopress, s.r.o., 2011. 122 s. ISBN 978-80-86929-75-0.

BUDÍKOVÁ, Marie. *Statistika II*. Brno, 2006. 156s. Dostupné z: [http://econ.muny.cz/data/PMSTII/PMSTII\\_dso.pdf](http://econ.muny.cz/data/PMSTII/PMSTII_dso.pdf)

CONTINENTAL AG, ©2013 conti-online.com [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: [http://www.conti-online.cz/www/pneumatiky\\_cz\\_cz/temata/company/history-cz.html](http://www.conti-online.cz/www/pneumatiky_cz_cz/temata/company/history-cz.html).

CONTINENTAL BARUM S.R.O. ©2013 barum-online.com [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: [http://www.barum-online.com/generator/www/cz/cz/barum/automobil/temata/znacka/historie/geschichte\\_cz.html](http://www.barum-online.com/generator/www/cz/cz/barum/automobil/temata/znacka/historie/geschichte_cz.html).

DIXON, W. J. *Analysis of Extreme Values*, Ann. Mathematics Statistics 21, 1950.

DOHNAL, Luděk. *Chybějící a odlehle hodnoty, robustní statistiky, neparametrické postupy*, FONS No. 3, 42-49, 1999.

HORÁLEK, Vratislav. *Jednoduché nástroje řízení jakosti I*. 1. vyd. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004. 84 s. ISBN 80-02-01689-0.

**INTERNÍ MATERIÁLY FIRMY.**

KOVÁŘÍK, Martin. *Využití regulačních diagramů a stochastických diferenciálních rovnic pro detekci bodu změny ve volatilitě časových řad*. 1 vyd. Žilina: Georg, 2012. 201 s. ISBN 978-80-89401-61-1.

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

KUPKA, Karel. *Statistické řízení jakosti*. 1. vyd. Pardubice: TriloByte, 2001. 191 s. ISBN 80-238-1818-X.

LORENC, Miroslav ©2007-2013 lorenc.info [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://lorenc.info/3MA381/graf-paretova-analyza.htm>

MASON, Robert L. a John C. YOUNG. *Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications*. 1. vydání. Vydalo The American Statistical Association and the Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2002. 263 s. ISBN 0-89871-496-6.

MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. 2. vyd. Praha: Academia, 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.

MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2009. 734 s. ISBN 978-0-470-16992-6.

NENADÁL, Jaroslav et. al. *Moderní systémy řízení jakosti*. 2. vyd. Praha: Management Press, 2002. 282 s. ISBN 80-7261-071-6002.

NOSKIEVIČOVÁ, Olga ©2008 odbornecasopisy.cz [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37926.pdf>

PISKÁČEK, Bedřich et. al. *Řízení jakosti*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 220 s. ISBN 80-01-02276-5.

ŠIMONOVÁ, Stanislava. *Modelování procesů a dat pro zvyšování kvality*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. 193 s. ISBN 978-80-7395-205-1.

TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. 1. vyd. Ostrava: Montanex, a.s., 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.

TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009. 232 s. ISBN 978-80-7300-249-7.

TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. 153 s. ISBN 80-7043-247-0.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average
CL	Centrální přímka
CPI	Index způsobilosti
CUSUM	Cumulative Summary, kumulativní součet
EWMA	Exponentially Weighted Moving Average
LCL	Low Control Limit, dolní regulační mez
LSL	Low specification Limit, dolní toleranční mez
SPC	Statistical Process Control, statistická regulace procesů
UCL	Upper Control Limit, horní regulační mez
USL	Upper Specification Limit, horní toleranční mez



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Fáze statistické regulace procesu (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	13
<i>Obr. 2 Regulační diagram (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	14
<i>Obr. 3 Shewhartův regulační diagram (Zdroj: Kovářík, 2012, s. 37)</i> .....	16
<i>Obr. 4 Regulační diagram EWMA (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	20
<i>Obr. 5 Oboustranná rozhodovací V-masky (Zdroj: Meloun a Militký, 2002, s. 729)</i> .....	23
<i>Obr. 6 Toleranční pole indexu <math>C_p</math> (Zdroj: Kovářík a Klímek, 2011, s. 149)</i> .....	25
<i>Obr. 7 Toleranční pole indexu <math>C_{pk}</math> (Kovářík a Klímek, 2011, s. 149)</i> .....	26
<i>Obr. 8 Toleranční pole indexu <math>C_{pm}</math> (Kovářík a Klímek, 2011, s. 150)</i> .....	27
<i>Obr. 9 Paretův diagram (Zdroj: Lorenc, ©2007)</i> .....	29
<i>Obr. 10 Krabicový diagram (Zdroj: Budíková, 2006, s. 39)</i> .....	33
<i>Obr. 11 Odběratelé společnosti Continental Barum s.r.o. (Interní materiály)</i> .....	35
<i>Obr. 12 Organizační struktura společnosti Continental Barum s.r.o. (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	38
<i>Obr. 13 Řez osobní pneumatikou (Zdroj: Personální divize, 2008)</i> .....	40
<i>Obr. 14 Jednoduchý layout výrobní haly společnosti (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	42
<i>Obr. 15 Postup při statistické regulaci procesu ve společnosti (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	43
<i>Obr. 16 Pravděpodobnostní grafy pro ověření normality datových souborů (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	51
<i>Obr. 17 Regulační diagram <math>x</math> individual pro naměřené hodnoty "Šíře" (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	53
<i>Obr. 18 Regulační diagram <math>x</math> individual pro naměřené hodnoty "Šíře_1" (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	53
<i>Obr. 19 Regulační diagram <math>x</math> individual pro naměřené hodnoty "Celek" (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	54
<i>Obr. 20 Krabicový diagram pro "Šíře" a "Šíře_1" (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	55
<i>Obr. 21 Dvouvýběrový T-test pro shodu středních hodnot (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16)</i> .....	55

<i>Obr. 22 Analýza způsobilosti procesu u naměřených hodnot "Celek" (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16).....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 23 Regulační diagram x individual pro měření procesu určování šíře úseku bočnice (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16).....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 24 Krabicový diagram, který odpovídá konceptu 1,5IQR (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16).....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 25 Krabicový diagram, který odpovídá konceptu 3IQR (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16).....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 26 Diagram x individual pro proces měření bočnic (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16) .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 27 T-test pro shodu středních hodnot (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16) .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 28 Regulační diagram CuSUM a testování detekce posunu střední hodnoty .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 29 EWMA diagram pro autokorelované a mírně asymetrické procesy (Zdroj: vlastní zpracování v programu Minitab 16).....</i>	<i>66</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Přehled nejčastějších závad (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 2 Přehled vad a četnosti výskytu v roce 2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 3 Přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 4 Přehled vad a četnosti výskytu v roce 2012 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 5 Přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2012 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 6 Testování normality pomocí Anderson-Darlingova testu (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 7 Výběr důležitých indexů způsobilosti procesu (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel) .....</i>	<i>57</i>

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1 Tržby z prodeje výrobků a služeb v letech 2004-2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	36
<i>Graf 2 Průměrný stav zaměstnanců v letech 2004-2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	37
<i>Graf 3 Průměrný objem produkce v letech 2004-2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	39
<i>Graf 4 Paretův graf pro přehled vad a četnosti výskytu v roce 2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	46
<i>Graf 5 Paretův graf pro přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	47
<i>Graf 6 Paretův graf pro přehled vad a četnosti výskytu v roce 2012 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	48
<i>Graf 7 Paretův graf pro přehled vad a náklady na počet výskytu v roce 2011 (Zdroj: vlastní zpracování v programu MS Excel)</i> .....	49

## **SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA PI: MAKRO BOXPLOT3

PŘÍLOHA PII: MAKRO DIXONŮV Q-TEST

PŘÍLOHA PIII: MAKRO GRUBBSŮV TEST

## PŘÍLOHA P I: MAKRO BOXPLOT3

```
macro

boxplot3 y;
    store z.

mcolumn y newy sorty xplot yplot ycuts hiout1 loout1 tmp1 tmp2 z
mcolumn mline xline xwhisk lowhisk hiwhisk xout
mconstant medy loadjy hiadjy hiquary loquary
mconstant typelo typehi minplot maxplot namey namey2 namey3 n_out

mreset
noecho
brief 0
notitle

kkname namey y
kkset namey2 "Boxplot pro sloupec "
kkcat namey2 namey namey3
medi y medy
hcut y ycuts
copy ycuts minplot;
    use 1.
sort ycuts ycuts;
    by ycuts;
    desc ycuts.
copy ycuts maxplot;
    use 1.
let maxplot = maxplot + .025*(maxplot-minplot)
let minplot = minplot - .025*(maxplot-minplot)
sort y sorty
stats sorty;
    qone tmp1;
    qthree tmp2.
copy tmp1 loquary
copy tmp2 hiquary
let loadjy = loquary - (3*(hiquary-loquary))
let hiadjy = hiquary + (3*(hiquary-loquary))
copy sorty newy;    #omits the low outliers
    omit sorty = -1000000000000000000:loadjy.
copy newy newy;    #omits the high outliers
    omit newy = hiadjy:1000000000000000000.
copy sorty loout1;    #stores the low outliers
    use sorty = -1000000000000000000:loadjy.
copy sorty hiout1;    #stores the high outliers
    use sorty = hiadjy:1000000000000000000.
dtype hiout1 typehi
dtype loout1 typelo
if (typehi < 10) or (typelo < 10)
    stack loout1 hiout1 z
    count Z n_out
    set xout
        (1.5)n_out
    end
elseif (typehi > 9) and (typelo > 9)
    let n_out = 0
endif
copy newy loadjy;
    use 1.
sort newy newy;
    by newy;
    desc newy.
copy newy hiadjy;
```

```

    use 1.
copy 1.125 1.125 1.875 1.875 xplot
copy loquary hiquary hiquary loquary yplot
copy 1.5 1.5 xwhisk
copy loquary loadjy lowhisk
copy medy medy mline
copy 1.125 1.875 xline
copy hiquary hiadjy hiwhisk

layout;
  wtitle namey3;
  graph;
  type 0;
  title namey3.
  plot yplot*xplot;
  symbol;
  type 0;
  scale 2;
  mini minplot;
  maxi maxplot;
  poly xplot yplot;
  line xline mline;
  line xwhisk lowhisk;
  line xwhisk hiwhisk;
  scale 1;
  mini .5;
  maxi 2.5;
  ldisplay 1 0 0 0;
  xlabel 2 namey;
  xlabel 1 " ";
  nodtitle;
  data;
  type 0;
  footnote "Odlehle hodnoty jsou zalozeny na interkvartilovem rozhrani
3(Q3-Q1)".

  if n_out > 0
    plot Z*xout;
    scale 2;
    mini minplot;
    maxi maxplot;
    scale 1;
    mini .5;
    maxi 2.5;
    ldisplay 1 0 0 0;
    xlabel 2 namey;
    xlabel 1 " ";
    nodtitle;
    symbol;
    type 4;
    color 16;
    data;
    type 0;
    footnote "Odlehle hodnoty jsou zalozeny na interkvartilovem rozhra-
ni 3(Q3-Q1)".
  endif
endlayout
endmacro

```

## PŘÍLOHA P II: MAKRO DIXONŮV Q-TEST

```
macro

qtest x;
conf perc;
max.

mcolumn x y q90 q95 q99 txt1 txt2 txt3 txt4 pcol
mconstant xlen gap perc rng qexp qcrit qexpt qcritt k1 k2 k3 k4 k5 msg
mconstant xmax xmin xmaxt xmint maxm minm perct

default perc=95
mreset
noecho
brief 0
notitle

# check data type of input column

dtype x k5

if k5=0
    call writerror 3
endif

# sort values in a separate column

sort x y;
by x.

count x xlen

# determine if sample size can be accomodated

if xlen < 3 or xlen > 100
    call writerror 1
endif

# calculate and prepare to display min and max of data

let xmax=max(x)
let xmin=min(x)

kkset maxm "The maximum value of the sample is "
kkset minm "The minimum value of the sample is "

mtitle "Dixon's Q-Test"

brief 2

# calculate appropriate "gap"

if max = 1

    let gap=y[xlen]-y[xlen-1]
    copy xmax txt3
    text txt3 txt3
    let txt3=concat(txt3, ".")
    copy txt3 xmaxt
    kkcat maxm xmaxt maxm
```



```

else

    let gap=y[2]-y[1]
    copy xmin txt4
    text txt4 txt4
    let txt4=concat(txt4, ".")
    copy txt4 xmint
    kkat minm xmint minm

endif

brief 0

# calculate range and test statistic

let rng=y[xlen]-y[1]

let qexp=gap/rng

# determine critical value

if perc=90

    set q90
    0.941
    0.765
    0.642
    0.560
    0.507
    0.468
    0.437
    0.412
    end
    let qcrit=q90[xlen-2]

else if perc=95

    set q95
    0.970
    0.829
    0.710
    0.625
    0.568
    0.526
    0.493
    0.466
    end
    let qcrit=q95[xlen-2]

else if perc=99

    set q99
    0.994
    0.926
    0.821
    0.740
    0.680
    0.634
    0.598
    0.568
    end
    let qcrit=q99[xlen-2]

else

```

```

    call writerror 2

endif

# prepare session window output

copy qexp txt1
text txt1 txt1
copy txt1 qexpt

copy qcrit txt2
text txt2 txt2
copy txt2 qcritt

kkset k1 "The test statistic ("
kkset k2 ") is greater than or equal to the critical value ("
kkset k3 ") is less than the critical value ("
kkset k4 ") at a confidence level of "

copy perc pcol
text pcol pcol
let pcol=concat(pcol,"%.")
copy pcol perct

# produce output

brief 2

if qexp>qcrit
    kkcat k1 qexpt msg
    kkcat msg k2 msg
    kkcat msg qcritt msg
    kkcat msg k4 msg
    kkcat msg perct msg

    if max=1

        write maxm msg "There is a significant difference between the suspect
value and the remainder of the data."

    else

        write minm msg "There is a significant difference between the suspect
value and the remainder of the data."

    endif

else
    kkcat k1 qexpt msg
    kkcat msg k3 msg
    kkcat msg qcritt msg
    kkcat msg k4 msg
    kkcat msg perct msg

    if max=1

        write maxm msg "There is not a significant difference between the
suspect value and the remainder of the data."

    else

        write minm msg "There is not a significant difference between the
suspect value and the remainder of the data."

    endif
endif

```

```
endif

endmacro

#####
#####

macro

writererror x

mconstant x

if x = 1
  brief 2
  NOTE
  NOTE ** Error ** Sample size must be between 3 and 10 (inclusive)
  NOTE
  exit
elseif x = 2
  brief 2
  NOTE
  NOTE ** Error ** You must enter 90, 95, or 99 as the confidence level
  NOTE
  exit
elseif x = 3
  brief 2
  NOTE
  NOTE ** Error ** Input column must be numeric
  NOTE
  exit
endif

endmacro
```

## PŘÍLOHA P III: MAKRO GRUBBSŮV TEST

```
macro

grubbs data;
alpha aa.

mcolumn data x gru sdata row tmp1
mconstant aa ndata avgdata stdata i z outly t p p2 df t2 rw j toutly trw
tt
mconstant tp2 rt rp2 cnt

default aa = .05
mreset
notitle
noecho
brief 1

name outly " Potencialni outlier" trw " Cislo radku" tt " Testove krite-
rium" tp2 " P-hodnota"

mtitle "          Grubbsuv test pro odlehle hodnoty"
note
note          Predpokladane rozdeleni: Normalni
note
brief 0
copy data x
n x ndata
let j = floor(ndata*.50)
if aa > 0 and aa < 1
  do i = 1:j
    n x ndata
    count x cnt
    mean x avgdata
    stdev x stdata
    let df=n(x)-2
    set row
      1:cnt
    end
    let gru = (abso(x-avgdata))/stdata
    sort gru x row gru sdata row;
      by gru;
      descending gru.
    copy gru sdata row gru sdata row;
    exclude;
      where "sdata = '*'".
    let z=gru[1]
    let outly=sdata[1]
    let rw = row[1]
    let t=sqrt((ndata*(ndata-2)*(z**2))/(((ndata-1)**2)-ndata*(z**2)))
    let t2=abs(t)
    cdf t2 p;
      t df.
    let p2=(1-p)*2*ndata
    stack t p2 tmp1
    text tmp1 tmp1;
      deci 5.
    unstack tmp1 tt tp2
    erase tmp1
    let tmp1[1] = rw
    text tmp1 tmp1;
      deci 0.
    let trw = tmp1[1]
```

```

if p2>aa and i = 1 # odlehla hodnota nenalezena
  brief 1
  note
  note Pouzitim Grubbsova kriteria nebyl v datovem souboru nale-
zen zadny outlier.
  note
  note
  note
  note
  exit
elseif p2 > aa and i > 1
  goto 10
else
  brief 1
  print outly trw tt tp2
  note
  note Tato hodnota bude docasne odstranena pro dalsi proceduru
testovani potencialnich odlehlych hodnot
  note
  brief 0
  let x(rw)= '*'
endif
enddo
  mlabel 10
  Brief 1
  note
  Note
  Note Zadny dalsi potencialni outlier nebyl identifikovan
  note
  note
  note
  note
  note
elseif aa > 1
  brief 1
  note
  note ** Error ** Hladina vyznamnosti (alfa) musi byt mensi nez 1
  note
elseif aa <= 0
  brief 1
  note
  note ** Error ** Hladina vyznamnosti (alfa) musi byt vetsi nez 0
  note
endif
endmacro

```