

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATEMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATHEMATICS

ZÁKLADNÍ MYŠLENKY METODY SIX SIGMA

INTRODUCTION TO SIX SIGMA METHOD

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JANA KOŠÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF BEDNÁŘ, Ph.D.

BRNO 2008

Abstrakt

V diplomové práci jsme se zabývali metodou Six Sigma, zejména pak analýzou vad forem na výrobu pneumatik firmy Barum Continental.

V první, teoretické části, jsem definovala metodu Six Sigma, její metody zlepšování, její aplikaci do praxe, dále pak jsem se věnovala nástrojům metody Six Sigma, mezi které patří např. regulační diagramy, regresní analýza, Paretova analýza.

V druhé, praktické části, jsem zanalyzovala výrobní proces. Představila jsem firmu Barum Continental spol. s.r.o., která nám poskytla data. Pro jejich zpracování jsem využila nástroje metody Six Sigma a také histogram.

Klíčová slova

Metoda Six Sigma

DMAIC

Regulační diagram

Regresní analýza

Paretova analýza

Krabicový graf

Histogram

Abstract

This diploma thesis deals with a Six Sigma method, about especially analysis defects of forms for tire production company Barum Continental.

In the first, theoretic part, there is the Six Sigma method, improvement method and implementation into practice defined, and at last I attended to the tools of Six Sigma method, e. g. Control Charts, Regression analysis, Pareto analysis.

In the second, practical part, there is the industrial process analyzed. Then I was introduced Barum Continental spol. s.r.o. concern, which data extended. Up to data processing I was used tools of Six Sigma method and also histogram.

Key words

Six Sigma method

DMAIC

Control Charts

Regression analysis

Pareto analysis

Boxplot

Histograms

Bibliografická citace mé práce:

KOŠÍKOVÁ, J. *ZÁKLADNÍ MYŠLENKY METODY SIX SIGMA*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Bednář, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem byla seznámena s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně. Ustanovení předpisů pro vypracování diplomové práce jsem vzala na vědomí a jsem si vědoma toho, že v případě jejich nedodržení nebude vedoucím moje diplomová práce přijata.

V Brně dne 23. 5. 2008

.....
Podpis diplomanta

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Josefu Bednářovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a informace, které mi pomohly při zpracování této diplomové práce.

Obsah

1 ÚVOD	9
2 ÚVOD DO METODY SIX SIGMA, DEFINICE A VZNIK	10
2.1 ZÁKLADNÍ NÁSTROJE METODY SIX SIGMA	11
2.2 PRINCIPY METODY SIX SIGMA	11
2.3 VYTVÁŘENÍ VZPĚTNÉ VAZBY	12
2.4 ROZDĚLENÍ PRACOVNÍKŮ A JEJICH ÚLOHA V METODOLOGII SIX SIGMA.....	14
3 ZLEPŠENÍ DLE METODY SIX SIGMA	16
3.1 STRATEGIE ŘÍZENÍ	16
3.2 DMAIC	16
4 PĚT ZÁKLADNÍCH KROKŮ APLIKACE METODY SIX SIGMA	18
Krok 1 = Identifikace klíčových zákazníků a procesů	18
Krok 2 = Definování požadavků zákazníků.....	19
Krok 3 = Sledování současné výkonnosti	19
Krok 4 = Analýza možných zlepšení, jejich rozbor a uvedení do praxe	20
Krok 5 = Rozšíření a další integrace systému metody Six Sigma	22
5 NÁSTROJE METODY SIX SIGMA	23
5.1 ROZDĚLENÍ POKROČILÝCH NÁSTROJŮ METODY SIX SIGMA PODLE POUŽITÍ	23
5.2 REGULAČNÍ DIAGRAMY	23
Typy regulačních diagramů	23
Použití regulačních diagramů	24
Výběr typu regulačních diagramů	25
Základní postup konstrukce regulačních diagramů	25
Základní předpoklady pro Shewhartův regulační diagram měřením	26
Pravidla pro určování zvláštních případů	26
5.3 REGRESNÍ ANALÝZA	28
Regresní funkce	28
Lineární regresní funkce	29
5.4 PARETOVA ANALÝZA	33
5.5 KRABICOVÝ GRAF	34
5.6 HISTOGRAM	34
6 ANALÝZA VÝROBNÍHO PROCESU	36
6.1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY Barum Continental spol. s.r.o.	36
6.2 ZADANÉ DATA	37
Značení plášťů na bočnici	40
Měrné jednotky, definice pojmů	41
Základní rozměry pneumatik	41
Obecné pojmy	42
Konstrukce pneumatik	43
6.3 REGULAČNÍ DIAGRAM XBAR-S	43
Regulační diagram XBar-S pro sumu	43
Regulační diagram XBar-S pro sumu v závislosti na fázi procesu	45
Regulační diagram XBar-S pro sumu pro hrubý povrch	46

Regulační diagram XBar-S pro pro hrubý povrch v závislosti na fázi procesu.....	48
6.4 REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM	50
Regulační diagram CUSUM pro sumu v závislosti na fázi procesu	50
6.5 REGRESE	50
6.6 HISTOGRAM	53
6.8 PARETŮV DIAGRAM	53
Paretův diagram sumy slévárenských vad	54
7 ZÁVĚR	55
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	58
SEZNAM PŘÍLOH	59

1 Úvod

Od poloviny minulého století dochází k neustálému nárůstu sériové výroby a s tím souvisí i zvýšení nároků na výkonnost procesů a na kvalitu. Pojem kvalita (jakost) se používá v celé šíři řízení podniků i v obchodní sféře a má velký vliv u spotřebitelů. Spokojený zákazník je hlavním cílem všech zlepšovacích procesů. Jakost výstupu ovlivňují různé faktory a proto je vhodné využívat co nejrozsáhlejší šíři použitelných nástrojů a prostředků pro jeho zlepšení.

Metodu Six Sigma zavedla společnost Motorola. Metoda Six Sigma je systém zlepšení, který si dává za cíl omezit výskyt chyby a dosáhnout úrovně „šest sigma“ (odtud název „Six Sigma“), což je 3,4 výskytu vad (chyb, neshod...) na milión příležitostí. Této úrovně zatím dosáhlo pouze pár firem. Metoda Six sigma je soubor nástrojů jakými lze dosáhnout výrazného zlepšení. Je to také projektově orientovaná metodika řešící problémy s využitím statistických nástrojů. V metodě Six Sigma se klade velký důraz na porozumění očekávání a potřeb zákazníka.

V této diplomové práci se především zabývám popisem, již výše ve zkratce zmíněné, metody Six Sigma, jejími principy, metodologií a zejména pak fází analýza procesu. Dále jsem v diplomové práci zmínila nástroje metody Six Sigma, mezi které patří např. regulační diagramy, regresní analýza a Paretova analýza. V následující části práce jsou nástroje metody Six Sigma a nástroje kvality (např. histogram) použity na analýzu konkrétního procesu, a tím je výroba (odlévání) forem pneumatik, které se využívají pro výrobu plášťů pneumatik, firmy Barum Continental spol. s.r.o.

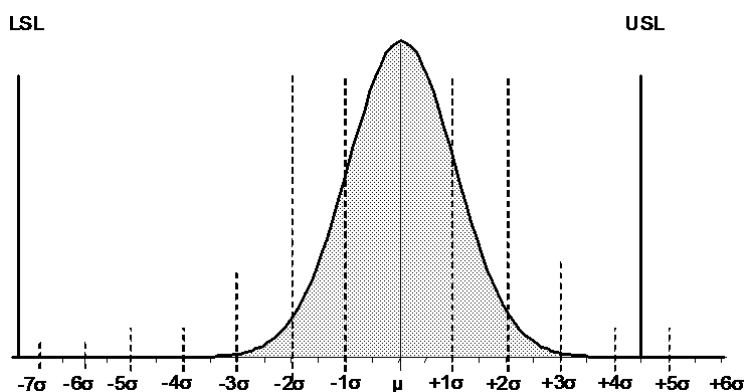
2 Úvod do metody Six Sigma, definice a vznik

Metoda Six Sigma je cíl úplného pokrytí očekávání zákazníků. Je to nový zlepšovateľský nástroj kvality. Metoda Six Sigma není o teorii, nýbrž o praxi.

Firma Motorola vymyslela původní koncepty metody Six Sigma, které přizpůsobila svému systému řízení. Tento nový přístup zlepšování se datuje k roku 1987.

K hlavním součástem zlepšování dle metody Six Sigma patří měření a statistika. Metoda Six Sigma je založená na detailní statistické analýze. Koncepty Six Sigma jsou založené na kreativité lidí, jejich vzájemné spolupráci, komunikaci a dovednostech.

Jiná definice říká, že je to cíl úplného pokrytí očekávání zákazníků. Pojem „Six Sigma“ (nebo – li „Šest Sigma“) je odvozen od řízení procesu, který vykáže méně jak 3,4 defektů na milion příležitostí i při obvyklém vybočení střední hodnoty „ μ “ veličiny reprezentující kvalitu procesu o $1,5\sigma$, kterého dosáhlo pouze pár společností.



Obr. 2.1: Proces posunutý o $1,5\sigma$

Nejpřesnější definicí pojmu Six Sigma je tato [9] :
„Metoda Six Sigma je flexibilní a úplný systém dosahování, udržování a maximalizace obchodního úspěchu. Je založena na porozumění a očekávání zákazníků, správném používání dat, faktů a na detailní statistické analýze a na základě pečlivého přístupu k řízení, zlepšování a vytváření nových výrobních, obchodních a obslužných procesů.“

Metodu Six sigma lze aplikovat ve všech oborech podnikání a není omezená jen na výrobní sféru, ale i na služby. Metoda Six Sigma se týká všech zákazníků společnosti, tj. nejen těch interních, ale i externích. Aby její implementace měla smysl, je nutné zapojení se všech lidí v podniku a také je nutná podpora managementu.

Zavádění metody Six Sigma se skládá z několika fází a každá z nich vyžaduje investici a energii. Správné zavedení metody Six Sigma s sebou přináší zvýšení produktivity, obecně snížení nákladů (na výrobu, oprav atd.), růst podílu na trhu a s tím souvisí i udržení si zákazníků, návrh nových produktů a mnoho dalších.

Existuje mnoho důvodů proč firmy zavádějí metodu Six Sigma. Mezi ně patří to,

že tato metoda zabezpečuje trvalý úspěch díky neustálé obnově, stanovuje trvalý výkonnostní cíl (výkonnost dle Six Sigma: 99,9997% „dokonalosti“), zvětšuje význam zákazníka (porozumět jeho potřebám), zvětšuje tempo zlepšování, podporuje vzdělání, pomáhá uskutečňovat strategické změny.

▪ **Srovnání výkonnosti 99% a výkonnosti Six Sigma (tj. 99,9997%):**

- Doručování: kolik z 300 tisíc dopisů dojde na nesprávnou adresu?
 - výkonnost 99%: 3000 dopisů
 - výkonnost Six Sigma: 1 dopis
- 500 tisíc zapnutí PC: kolikrát z celkového počtu dojde k selhání?
 - výkonnost 99%: 5 000 selhání
 - výkonnost Six Sigma: < 2 selhání
- Firemní měsíční uzávěrka během 500let: kolikrát nebude balance na účtech vzájemně souhlasit?
 - výkonnost 99%: 60 uzávěrek v nesouladu
 - výkonnost Six Sigma: 1 uzávěrka (0,018)
- TV vysílání: jak dlouhý bude výpadek ve vysílání při týdenním vysílání jednoho kanálu?
 - výkonnost 99%: 1,68 hodin bez signálu
 - výkonnost Six Sigma: 1,8 s bez signálu

2.1 Základní nástroje metody Six Sigma

Mezi základní nástroje metody Six Sigma patří:

- hlas zákazníka (VOC)
- kreativní myšlení
- **návrh experimentů**
- procesní řízení
- **statistické řízení procesů**
- **průběžné zlepšování**
- návrh nových procesů
- **analýza rozptylu**
- vyvážené vztahy.

2.2 Principy metody Six Sigma

Existuje šest principů, které mají pomoci k zahajování implementace metody Six Sigma:

Princip první - Ryzí zaměření na zákazníka:

Porozumět požadavkům a očekáváním zákazníků, což je prioritou u metody Six Sigma.

Princip druhý – Řízení založené na faktech a informacích:

Stanovení klíčových postupů k posouzení obchodní výkonnosti. Posbírat data, zanalyzovat a určit, které potřebujeme a zjistit, jak je maximálně využít.

Princip třetí – Zaměření na procesy a jejich zlepšování:

Ovládnout procesy podle metody Six Sigma znamená udržet si konkurenční výhodu a předávat skutečnou užitnou hodnotu zákazníkům.

Princip čtvrtý – Proaktivní management:

Proaktivní je opakem reaktivního přístupu, tj. předstihnout události. Definovat cíle, revidovat je, stanovovat priority a předcházet problémům. Proaktivita je výchozí bod pro kreativitu a efektivní změnu.

Princip pátý – Spolupráce bez hranic:

Zlepšit spolupráci mezi společnostmi, jejich prodejci a zákazníky.

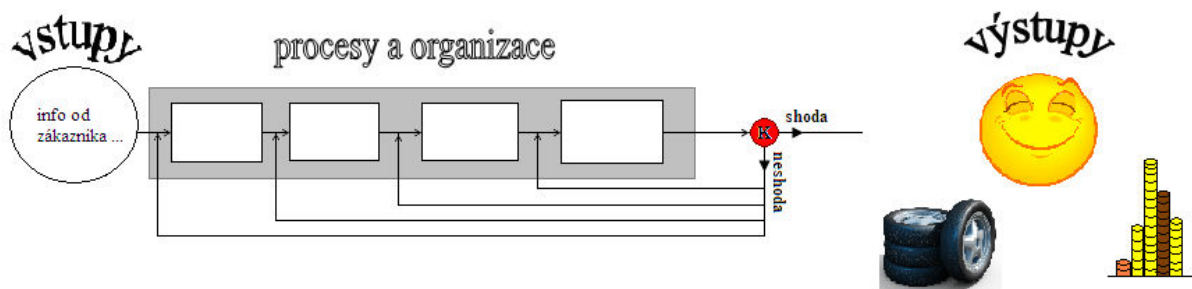
Princip šestý – honba za dokonalostí a tolerance neúspěchu:

Nově nápady a přístupy s sebou přinášejí i určité riziko. Z důvodů nezaleknutí se jich, přinášejí zlepšovací techniky i nástroje k řízení rizik.

2.3 Vytváření zpětné vazby

Úspěšné řízení podniku závisí na funkci systému zpětné vazby. Dle [9] je metoda Six Sigma založena hlavně na vytváření přirozené podnikové zpětné vazby, která citlivě koriguje „zakolísání“ a tím udržuje společnost bezpečně na klikaté cestě k dosazení firemních cílů. Firemní procesy jsou prostředkem pohybu. Ukazatele odečítané z aktivit probíhajících uvnitř procesů jsou vnitřními podměty („vnitřním sluchem“). Zpětnou vazbu tvoří vnější informace, jsou zastoupeny ekonomickými pojmy udávající informace o společnosti, jestli dosahuje vytyčených cílů; například: zisk, spokojenost zákazníka. Pojem „odchylka“ používáme pro označení nestálosti podnikových procesů. Vady, chyby, závady, zmetek atd. jsou negativně působící odchylky na zákazníka. V rámci metody Six Sigma postupy vytváření, sledování a zlepšování podnikového systému a jeho zpětné vazby nazýváme „návrhem procesů“, „řízením procesů“ a „zlepšováním procesů“.

K popisu procesů se zpětnou vazbou se používá algebraický aparát a termíny. Obrázek 2.2 je ukázkou toho, jak procesní model může vypadat. Na levé straně jsou vstupy do procesu / systému. Vnitřní organizace / struktura procesů je uprostřed (popsána pomocí procesní mapy nebo vývojového diagramu). Napravo jsou zákazníci, produkty a případné zisky.

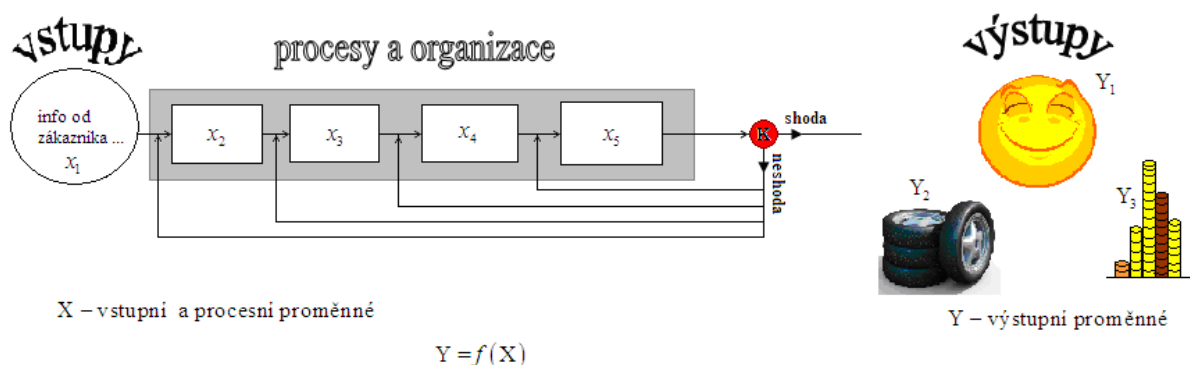


Obr. 2.2: Model procesu v podniku

Do obrázku 2.2 přidám proměnné a vznikne obrázek 2.3. Proměnná „x“ na vstupu

a v průběhu toku procesů znamená změny či okamžitou výkonnost v průběhu toku procesů. Proměnná „y“ představuje hodnoty výsledné výkonnosti procesů, tzv. „konečné skóre“.

$Y = f(X)$, tj. Y je funkcí X , kde $X = x_1, x_2, x_3, \dots$, je matematický zápis použitý pro vyjádření toho, jak změny nebo proměnné na vstupech a uvnitř procesů budou určovat konečné skóre, tj. výstupní hodnotu „y“.



Obr. 2.3: Role vstupních a výstupních proměnných

Popis podniku pomocí aparátu systému se zpětnou vazbou poskytuje hlavně dvě výhody:

1. pokud chci maximalizovat výstup podniku, tj. hodnotu „y“, tak musím určit, které z proměnných „x“ na vstupu anebo uvnitř procesů nejvíce ovlivňují příslušná „y“,
2. pomocí informací o změnách probíhajících na výstupních hodnotách „y“ můžeme hledat a navrhovat úpravy vnitřních procesů tak, abychom udrželi podnik rentabilní.

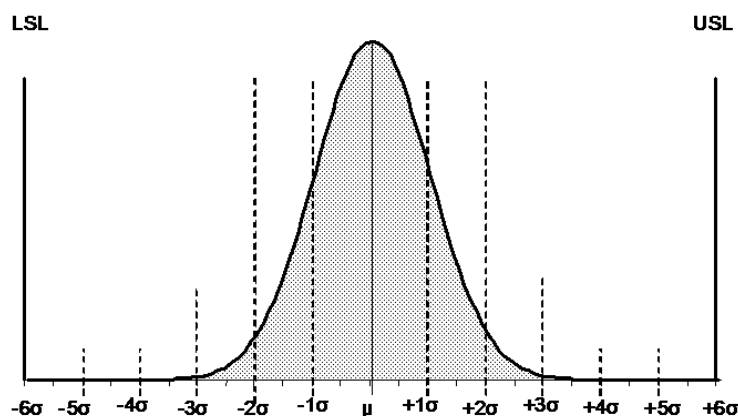
Příklad veličiny „y“: strategický cíl nebo zisk, spokojenost či očekávání zákazníka.

Veličinou „x“ může být například:

- kvalita práce dosahovaná v závodě,
- věci ovlivňující spokojenost zákazníka,
- kvalita vstupů od zákazníků a dodavatelů,
- akce potřebné k dosažení strategických cílů,
- proměnné procesu – čas procesního cyklu, počet pracovníků, atd.

Znak sigma „σ“ (tj. znak řecké abecedy) je statistiky používaný termín pro směrodatnou odchylku populace. Směrodatná odchylka vymezuje rozsah rozdílů nebo odlišností v určité skupině položek anebo dat z procesu. Odchylky by neměly negativně ovlivňovat naše zákazníky.

Cílem řízení výkonnosti podniku na základě metodologie Six Sigma je systematicky snižovat či zužovat odchylky do té doby, než se mezi průměrnou hodnotu „μ“ a mez stanovenou zákazníkem, tzv. „hraniční limit“ (**LSL** = dolní tolerance, anglicky „*Lower Specification Limit*“, **USL** = horní tolerance, anglicky „*Upper Specification Limit*“), nevměstná šest směrodatných odchylek „σ“ (odtud název „Six Sigma“).



Obr. 2.4: Normálně rozdělený a centralizovaný proces

Prvním základním krokem metody Six Sigma je stanovení explicitních požadavků zákazníka, tzv. „ σ “, označující charakteristiku rozhodující o kvalitě. Druhým krokem je sečtení vad (tj. cokoliv, co nesplnilo požadavky zákazníka), které se v procesu vyskytly a pak spočítat „výnos“ procesu (*Yield of the Process* – procento položek bez chyb / poruchy) a dle tabulky 2.1 určit hodnotu Sigma.

Hodnoty sigma jsou často vyjádřeny jako „DPMO“ (**D**efects **P**er **M**ilion **O**pportunities = počet vad na milion příležitostí), tj. kolik chyb by se vyskytlo, kdybychom to opakovali milionkrát.

Výnos (v %)	DPMO	Hodnota sigma
30,9	690 000	1
69,2	308 000	2
93,3	66 800	3
99,4	6 210	4
99,98	320	5
99,9997	3,4	6

Tab. 2.1: Zjednodušená konvergentní tabulka hodnot Sigma

2.4 Rozdělení pracovníků a jejich úloha v metodologii Six Sigma

Při zavádění metody Six Sigma hrají klíčovou roli pracovníci na těchto pozicích:

- **Champion**

Prezentuje vizi úspěšného zavedení Six Sigma. Stanoví projekty pro absolventy Black Belt kursů a určí jejich priority. Strategicky je řídí, poskytuje jim rady a podporuje jejich činnost. Odstraňuje vnitřní bariéry, které by mohly bránit úspěšnému dokončení projektu.

▪ Sponzor

Vlastník procesu (zodpovědný za proces), který se podílí na výběru projektů. Zodpovědný za autorizaci změn v procesu. Schvaluje termíny pro školení jednotlivých zaměstnanců. Sleduje pokrok týmu a podporuje ho. Přispívá k udržení výsledků zlepšovacího projektu.

▪ Master Black Belt

Rozumí podnikové strategii a má celkový přehled o podniku. Partner Championa, který vytváří a realizuje trénink pro různé úrovně organizace. Má hlubokou znalost metodiky Six Sigma. Asistuje při identifikaci projektů. Koučuje Black Belty při projektové práci a pomáhá s jejich tréninkem a certifikací. Spolupracuje na přípravě zpráv o stavu projektu. Má a poskytuje informace o nejlepších zkušenostech pro celý podnik.

▪ Black Belt

Expert na strategii Six Sigma, je pro ni nadšený a svým pozitivním přístupem motivuje ostatní. Podporuje myšlenky Championů a v případě potřeby je žádá o pomoc. Identifikuje překážky v projektech. Vede a řídí prováděcí týmy. Informuje o pokroku na příslušné stupni vedení podniku. Ovlivňuje bez přímé formální autority a zároveň má vliv na aplikaci neefektivnějších nástrojů. Získává vstupní informace od zasvěcených operátorů, supervizorů a vedoucích týmů. Učí a trénuje metody a nástroje strategie Six Sigma.

▪ Green Belt

Přibližně 20 – 30% pracovní doby věnuje řešení Six Sigma projektů, přičemž vykonává své běžné povinnosti. Spolupracuje na projektech Black Beltů v rámci svých existujících povinností. Učí se metodologii Six Sigma a aplikuje ji ve svých dílčích projektech. Pokračuje ve studiu zavádění metod a nástrojů Six Sigma i po dokončení projektu.

Role	Úloha v Six Sigma	Počet hodin tréninku
Manažér	Určování vizí a vytváření podmínek pro implementaci programu Six Sigma	24
Sponzor / Garant	Schvalování jednotlivých projektů	
„Black Belt“	Vedení Six Sigma projektů	160
„Green Belt“	Vedení částečných (menších) projektů / úloh	80
Člen týmu	Spolupráce při řešení úloh	24
Zaměstnanec	Spolupráce při realizaci úloh, případně na sběru dat pro řešení	8

Tab. 2.2: Délka školení jednotlivých pracovníků a jejich úloha v Six Sigma

Ke zpravování této kapitoly jsem využila [9] a doplnila o informace z [4,10].

3 Zlepšení dle metody Six Sigma

3.1 Strategie řízení

Existují tři strategie řízení metody Six Sigma (*návrh procesů, procesní řízení a zlepšování procesů*):

- **Zlepšování procesů:**
 - Představuje promyšlené hledání cílených řešení, která vedou k odstranění hlavních příčin snížené výkonnosti procesu. Jeho prostřednictvím se snažíme odstranit problém, přičemž neměníme strukturu pracovního procesu
 - Pomocí brainstormingu sestavíme seznam možných zlepšení našeho procesu
- **Návrh procesů:**
 - Je spojen se zlepšováním procesů, neboť jejich kombinací zabezpečíme udržení dlouhodobějšího úspěchu podniku
 - Cílem je nahradit nevyhovující proces novým, který navrhne pomocí „Six Sigma Designu“
- **Procesní řízení:**
 - Zdokumentování a řízení procesů v plném rozsahu
 - Jasně definování požadavků zákazníků a jejich pravidelná aktualizace
 - Důkladné měření výstupů, procesních postupů a vstupů
 - Zavedením procesního řízení jsem metodu Six Sigma rozšířili na celý systém řízení podniku

3.2 DMAIC

Jako model zlepšování dle Six Sigma slouží **DMAIC** („Define-Measure-Analyze-Improve-Control“ = „Definice-měření-analýza-zlepšení-řízení“; vyslovujeme „*dýmejka*“). DMAIC je model pětifázového postupu zlepšení dle metody Six Sigma.

- **Define:**
 - Definování cíle, rozsahu projektu
 - Vymezení rozhodujících výstupů, které jsou často zaměřeny na dosažení lepší úrovně sigma
 - Určit, co je třeba zlepšit, identifikovat chyby a vymežit základní podmínky, za kterých má proces probíhat
 - Co se bude sledovat, kdy, jak a kde měřit
 - Naslouchat hlasu zákazníka
 - Využití: Paretovy analýzy, různé typy diagramů – např. vývojový diagram a jednoduché statistické nástroje
- **Measure:**
 - Získat informace o procesu, zmapovat jej, aby se vymezila problémová oblast
 - Zabezpečit vyhovující úroveň sběru dat

- Ověřit, zda je správně nastaven měřicí systém
 - Provést analýzu R&R (*podstatou je opakující se pozorování z hlediska přesnosti, opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a stability*)
 - Vyhodnotit variabilitu procesu a jeho způsobilost
 - Vyhodnotit míru náhodných a vymezitelných příčin variability
 - Využívá: FMEA („Analýza typů selhání a jejich následků“), Paretovu analýzu
- **Analyze:**
- Identifikace hlavních příčin problému a potvrdit jejich přítomnost pomocí vhodného nástroje pro analýzu dat
 - Pochopit proces a způsob měření
 - Najít možné příčiny problému
 - Testování hypotéz a regresní analýza
 - Návrhem experimentu odstranit problém a zabezpečit tak, aby se už znova nemohly opakovat
 - Formulovat hypotézy a interpretovat výsledky
 - Využíváme: Ishikawův digram („rybí kost“), metody testování statistických hypotéz, DOE („navrhování a vyhodnocování experimentů“) a metody regresní analýzy
- **Improve:**
- Návrh, odzkoušení a uplatnění řešení, které jsou zaměřena na hlavní problémy
 - Vytvořit a provést implementační plány
 - Aplikace FMEA, statistických metod testování hypotéz, opakování často nově navržených experimentů
- **Control:**
- Zhodnocení výsledků předcházejících 4 fází
 - Dokumentovat účinné metody zlepšení
 - Průběžně sledovat proces
 - Vyhodnotit výsledky
 - Návrh dalších zlepšovacích kroků
 - Využití regulačních diagramů

Tuto kapitolu jsem vypracovala s použitím [9] a doplňovala o další informace z [4,10,13].

4 Pět základních kroků aplikace metody Six Sigma

- Identifikace klíčových procesů a klíčových zákazníků
- Definice požadavků zákazníků
- Sledování současné výkonnosti
- Analýza možných zlepšení, výběr nejvhodnějších zlepšení a jejich uvedení do praxe
- Rozšíření a integrace systému metody Six Sigma do praxe

Tento pěti krokový návod není jedinou cestou k zavedení metody a dosažení zlepšení Six Sigma. Skoro určitě si budeme muset upravit pořadí kroků a možná také začít s několika současně.

Krok 1 = identifikace klíčových zákazníků a procesů:

V tomto kroku bychom měli zformulovat cíle, kterého chceme dosáhnout. Dále také určit jaké jsou klíčové procesy a jaký nám přinášejí užitek. Je důležité si neplést pojmy podpůrný a klíčový proces. Klíčovým procesem nazýváme řetězec úloh, které slouží k vyrobení a dodání hodnoty výrobků, služeb zákazníkovi, například zpracovávání a vyřizování objednávek, získávání zákazníků a zákaznický servis. Podpůrným procesem je například získání kapitálu, nábor pracovníků, hodnocení a s tím související odměňování, informační systémy a další..

Dále definujeme klíčové výstupy procesů a identifikujeme klíčové zákazníky, kteří je využívají. Cestou k úspěchu je pochopení a zdokonalování pracovních procesů, porozumění nejproblémovějším místům, které znemožňují správný chod organizace a jejímu vztahu s vnějšími zákazníky.

V tomto kroku také vytváříme procesní mapu klíčových a řídicích procesů. Dá se také využít **SIPOC** (*suppliers-inputs-process-outputs-customer*) diagram, což je často využívaná technika řízení a optimalizace procesů

- **Suppliers** = dodavatelé:
 - Osoby či skupiny dodávající klíčové informace, materiály a jiné zdroje
- **Inputs** = vstupy:
 - Dodávané zdroje
- **Process** = proces:
 - Řada činností, které transformují vstup (a nejlépe, že zvyšují jeho hodnotu)
- **Outputs** = výstupy:
 - Výsledky procesu
- **Customer** = zákazník:
 - Příjemce hodnoty výstupu (člověk, skupina anebo proces)

Krok 2 = definování požadavků zákazníků:

Pokud nemáme konkretizovaná očekávání a přesné požadavky od zákazníků, tak nelze vytvořit smysluplné ukazatele. Nutné nepřetržitě sbírat data o zákaznících a vytvářet strategii naslouchání „hlasu zákazníka“:

- Zjištění požadavků zákazníka a toho, co ovlivňuje jeho spokojenost ;-)
- Sestavit kritéria výkonnosti a definovat požadavky zákazníků
- Stanovení důležitosti jednotlivých požadavků zákazníka a porovnat je s podnikovou strategií.

Tento přehled nám umožní lépe předvídat, jak se budou požadavky zákazníka dále vyvíjet

Krok 3 = sledování současné výkonnosti:

Cílem je získat kvalitní data, pomocí kterých se chceme dostat k úrovni Six Sigma .
Také vyhledat vady procesu a snížit jejich výskyt.

Vytvořit měřicí infrastrukturu, která sleduje průběžně změny ve výkonnosti. Měli bychom změřit i současnou výkonnost vnitřních procesů (např. náklady na energii, spotřeba materiálu, náklady na opravy ..). Dále přesně stanovit výkonnost vzhledem k zákazníkům a jeho požadavkům.

Stanovení základního měření výskytu vad a určení možnosti zlepšení:

- Pro hodnocení vadných položek a konečného výnosu použijeme:
 - **Podíl vadných položek (*proportion defective*):**
 - Udává podíl vadných jednotek vzhledem k celku
 - Vzorec:
$$\frac{\text{počet vadných jednotek}}{\text{počet jednotek na výstupu}}$$
 - **Konečný výnos (*Y_{final}, Final Yield*):**
 - určuje podíl bezchybně vyrobených nebo obsloužených jednotek vzhledem k rozsahu celého souboru
 - vzorec: $1 - \text{podíl vadných jednotek}$
- pro hodnocení vad se používá **počet vad na jednotku = „DPU“ (*Defect per Units*)**:
 - vyjadřuje průměrný počet vad všech druhů vztažený na celkový počet jednotek souboru
 - vzorec:
$$\frac{\text{celkový počet vad na výstupu}}{\text{počet jednotek na výstupu}}$$
 - pokud nám vyjde číslo 0,25 tak to znamená, že se může 1 vada objevit v průměru v každé 4. jednotce
- kritéria hodnocení příležitosti výskytu vady:
 - **počet vad na příležitost = „DPO“ (*Defects per Opportunity*):**
 - vyjadřuje počet vad na celkový počet příležitostí k výskytu vady k celé skupině

- vzorec:
$$\frac{\text{počet vad}}{\text{počet jednotek} \cdot \text{počet příležitostí}}$$
 - hodnota DPO 0,05 $\approx$ pravděpodobnost výskytu vady je 5%
 - **počet vad na milión příležitostí** = „DPMO“ (Defects per Million Opportunities):
 - je to počet vad, které se vyskytnou při milionu příležitostí
 - vzorec: $\text{DPMO} = \text{DPO} \cdot 10^6$
 - **hodnota Sigma** (Sigma measure):
 - určíme ji tak, že vypočteme DPMO, ten najdeme v převodní tabulce a z ní pak odečteme hodnotu Sigma
- měření uvnitř procesu:
- kritéria vnitřní chybovosti vyjadřují výnos nebo množství nutných předělávek v procesu

Dále v tomto kroku máme průběžně sledovat změny ve výkonnosti a také stanovit hodnoty Sigma. Je nutné rozlišit spojité veličiny od diskrétních:

- **spojité měření:**
 - používá se pro faktory, které lze měřit na nekonečně dělitelné stupnici
 - často se převádí na diskrétní
 - lze na ně použít vyspělejší statistické nástroje
 - měříme rozptyl, směrodatnou odchylku
 - př. spojitých veličin: peníze, čas, teplota, výška
- **diskrétní veličiny:**
 - vše ostatní, nesplňují podmínky spojitosti
 - určujeme jak často se vyskytuje vada
 - např.: typ výrobku, četnost položek, úroveň spokojenosti

Metoda sběru dat má 5 kroků:

- určit, co se má sledovat
- vytvořit definici operace a postupy zdroje dat
- identifikovat zdroje dat
- naplánovat sběr dat a výběr vzorku
- zavést sběr dat a zdokonalovat ho
- v případě potřeby se 4. krok opakuje a zas následuje pátý krok

Krok 4 = Analýza možných zlepšení, jejich rozbor a uvedení do praxe:

Nalezení potencionálních zdokonalení a rozvinutí procesně orientovaných řešení, podporovaných konkrétní analýzou a kreativním myšlením. Zavést do praxe nové procesy a s nimi dosáhnout měřitelných a udržitelných výhod. Stanovit priority a rozhodnout, kde a jak nejdříve začít se zlepšováním. Určit nejlepší metodu pro dosažení zlepšení a odstranění hlavní příčiny vad. Zlepšení stávajících procesů a návrh nových. Zde se uplatňuje DMAIC.

- **Zlepšení stávajících procesů:**
 - **Fáze D:**
 - Objasnění problému, vymezení cíle a určení, který proces řešíme
 - Identifikace zákazníka a naslouchání hlasu zákazníka
 - Identifikovat a zdokumentovat proces pomocí procesního diagramu
 - **Fáze M:**
 - Vymezení a vytřídění problému
 - Začít s hledáním hlavních příčin problému
 - Sběr dat probíhá v několika fázích i po dobu několika měsíců
 - **Fáze A:**
 - Hledat hlavní příčinu chyby
 - Generovat a vyhodnocovat „hypotézy“ o příčině problému
 - 2 strategie vedoucí k určení hlavní příčiny problému:
 - analýza dat:
 - využívá získaná měření a údaje
 - data buď potvrzují anebo zamítají příčinu problému
 - analýza procesu:
 - zkoumání práce procesu, jakým způsobem se provádí
 - určení problémové oblasti
 - Nejlepší je kombinace obou strategií:
 - prověřit hlavní příčinu logicky
 - prověřit ji pozorováním
 - potvrdit svoje podezření s obeznámenými lidmi
 - využití „testu shody“
 - Využití: rybí kostry, Pareto diagramu, histogramu, analýza rozptylu ANOVA, frekvenčního diagramu, průběhového diagramu a časové řady, grafu závislosti a korelačního diagramu
 - **Fáze I:**
 - Generovat, vybrat a zavést efektivní řešení
- **návrh nových procesů:**
 - **Fáze D:**
 - Definování cíle, rozsahu a požadavků na změnu
 - Obecnější stanovení problému a cíle (*oproti předchozímu*)
 - Pro vymezení rozsahu projektu použijeme následující postup:
 - Pojmenovat proces
 - Určit koncový bod
 - Definovat bod počáteční
 - Otestovat definici rozsahu, tj. jestli je zvládnutelný
 - Ověřit výstupní požadavky
 - **Fáze M:**
 - Stanovit výchozí ukazatele výkonnosti

- Vybrat taková měření, která později využijeme při ověřování navrhovaných řešení
- **Fáze A:**
 - Budování základů pro sestavení změny
 - Nalézt způsoby vedoucí k dosažení větší výkonnosti procesu
 - Analyzovat nové technologie, pracovní postupy ...
 - Cílem je zjistit, co vede ke zlepšení procesu a dosažení lepší výkonnosti
 - Analýza přidané hodnoty procesu:
 - Slouží k uvědomění si, jak se na proces dívají naši zákazníci
 - *Práce přidávající hodnotu (VA – Value Adding):*
 - Úkoly a činnosti, které jsou hodnotné z vnějšího zákaznického pohledu
 - *Práce umožňující vznik přidané hodnoty (VE – Value Enabling):*
 - Má zpravidla malý podíl na celkovém procesu
 - Činnosti, které umožňují udělat práci efektivněji anebo rychleji pro zákazníka
 - *Práce nepřidávající hodnotu (NVA – Non Value Adding):*
 - Zpoždění, kontrola, příprava výroby, přepracování
 - Analýza času procesního cyklu:
 - Analýza doby práce a čekací doby
- **Fáze I:**
 - Plánování a implementace nového procesu
 - Zkonstruovat nový způsob vykonávání práce, která by měla být praktická, nákladově efektivní a bez zbytečných příležitostí k vzniku chyb
 - Na počátku je fáze návrhu, pak fáze úprav, během níž se proces testuje a upravuje, pak fáze implementační, kdy je proces uveden do plného provozu
 - Identifikace pravidel a předpokladů vládnoucích stávajícímu procesu
 - Stanovit výkonnostní požadavky a na jejich základě provést finální analýzu či vylepšení návrhu
 - Proces v několika fázích vyzkoušet, pokud ta možnost je, z důvodu snadnější implementace a porozumění novým procesům pracovníky v provozu
 - Hospodárně využít zkušební provoz, otestovat proces v různých podmínkách, netestovat na malém vzorku případů, ale na co největším

Krok 5 = rozšíření a další integrace systému metody Six Sigma:

Nejvyšších hodnot Six Sigma nelze dosáhnout jen zlepšením, ale i dodržováním a průběžným rozšiřováním metody Six Sigma do celé organizace. Tudiž je nutné zavést měření k udržení dosažené úrovně zlepšení a zavést kontrolní diagramy. Určit vlastníky procesu a jejich zodpovědnosti za řízení procesu. Zavést zpětnou vazbu do řízení. Tímto krokem začíná cesta k budování organizace typu Six Sigma.

Při zpracování této podkapitoly jsem využila [9].

5 Nástroje metody Six Sigma

5.1 Rozdělení pokročilých nástrojů metody Six Sigma podle použití:

- **Statistické řízení procesu (SPC) a kontrolní diagramy:**
 - Identifikace problému
- **Testy statistické významnosti:**
 - Formulace a definice problému a analýza hlavní příčiny chyby
 - Chi-square, t-test, ANOVA
- **Korelace a regrese:**
 - Ověření hlavní příčiny chyby
 - Předpověď výsledků
- **Návrh experimentů (DOE):**
 - Analýza optimálního řešení
 - Ověření výsledků
- **Analýza typů selhání a jejich následků (FMEA):**
 - Stanovení priorit problému a jejich plán prevence
- **Sledování chyb (Pola – Yoke):**
 - Prevence vad
 - Zlepšování procesů formou inspekce procesů
- **Rozvinutí funkce kvality (QFD):**
 - Návrh procesu, služby, výrobku

Tady jsem čerpala z [9].

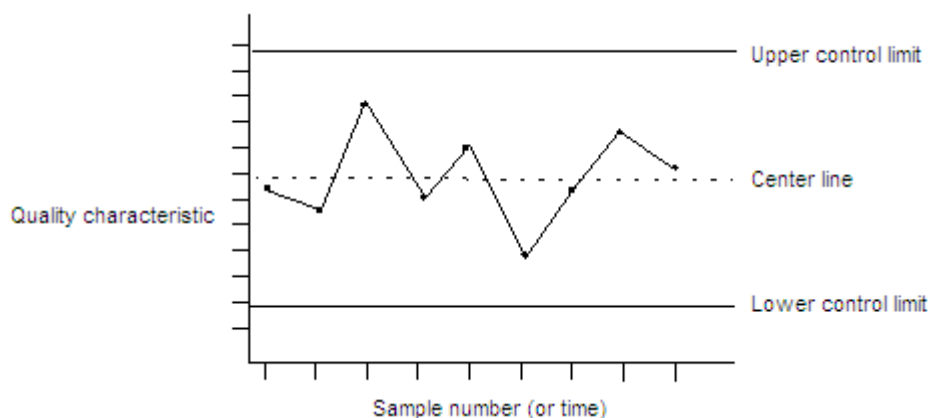
5.2 Regulační diagramy

Regulační diagramy patří k základním nástrojům pro regulaci jakosti při výrobních procesech. Dají se použít všude tam, kde jsou postupně v čase získávány informace o jakosti. Umožňují pro procesy, které jsou *statisticky regulovatelné*, měřený znak jakosti má stejné v čase neměnné rozdělení, modifikovat tak, aby procento zmetků, kdy znak jakosti leží mimo předepsané meze, bylo dostatečně malé. Velmi dobře se hodí pro monitorování procesů pomocí počítače.

▪ Typy regulačních diagramů:

První regulační diagram navrhl W. A. Shewhart z Bell Telephone Laboratory - regulační diagram pro posouzení, zda variabilita sledovaného procesního parametru je způsobena náhodným kolísáním, nebo vymežitelnými příčinami (změna surovin, seřízení strojů atd.).

V současné době Shewhartovy regulační diagramy představují v praxi nejpoužívanější typ, i když nejsou zdaleka univerzální. Typický regulační diagram Shewhartova typu je diagram, kde je znázorněna centrální linie CL = „*Central Line*“, značící standardní, očekávanou cílovou hodnotu charakteristiky znaku jakosti, a obě regulační meze (dolní – LCL = „*Lower Control Limit*“ a horní – UCL = „*Upper Control Limit*“). Tyto meze určují interval, ve kterém se s velkou pravděpodobností pohybují charakteristiky znaku jakosti, pokud proces je v *požadovaném stavu*. Pokud hodnoty charakteristiky znaku jakosti padnou mimo regulační meze, je proces „*mimo*“ *požadovaný stav* a je třeba provést korelace (neřízení stožů atd.).



Obr. 5.1: Příklad regulačního diagramu

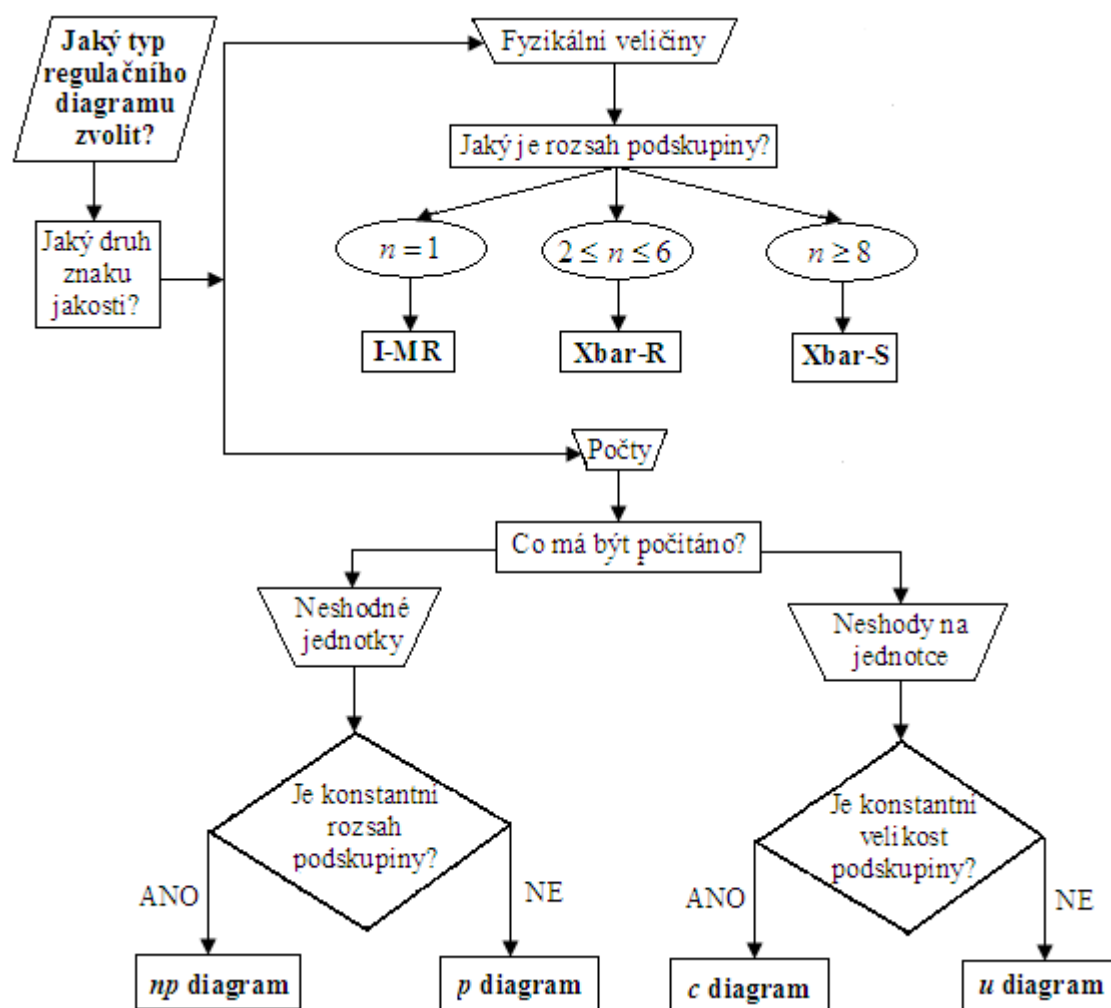
Jako charakteristiky znaku jakosti se používají zejména *průměr* $\bar{x}_s$, *směrodatná odchylka* s , *variační rozpětí* R , *podíl nestandardních výrobků* p , *počet defektních výrobků* c a *počet defektů na výrobek* u .

Speciální typy regulačních diagramů jako jsou *kumulativní součty* CUSUM, *pohyblivé průměry* MA atd. vycházejí z metod analýzy časových řad a konstrukčně se poněkud liší od Shewhartových regulačních diagramů. Konečně je možné sestřít také vícerozměrné Hotellingovy regulační diagramy pro více znaků jakosti současně.

▪ Použití regulačních diagramů:

Regulační diagramy mají obecně sloužit jako diagnostický nástroj k posouzení, zda se sledovaný proces chová tak, jak očekáváme, zvláště pak, jestli nedošlo-li k nečekané změně procesu. Pokud k takové změně došlo, pak je třeba ji interpretovat – vysvětlit a případně přistoupit k nějakému zásahu. Příkladem měřených veličin jsou spojité veličiny jako je pevnost, koncentrace, rozměr, elektrický odpor a diskrétní veličiny jako je podíl zmetků na 1000 výrobků, počet povrchových vad na laku nebo počet uzlíků na 1 m² tkaniny. V případě spojitých veličin je nutné sledovat nejen její samotné hodnoty, ale také její variabilitu (tj. míru kolísání či rozptylu), která je stejně důležitá pro posouzení procesu. Proto Shewhartův regulační diagram musí vždy obsahovat informace jak o sledované hodnotě samotné, tak o její variabilitě.

▪ **Výběr typu regulačního diagramu:**



▪ **Základní postup konstrukce Shewhartova diagramu:**

1. Zvolit takovou část procesu, která odpovídá naší představě, předpisu, nebo zkušenosti, a připravíme příslušná procesní data.
2. Na základě těchto dat stanovíme jejich statistický model, představovaný pouze střední hodnotou (aritmetický průměr) a směrodatnou odchylkou a ověříme platnost statistických předpokladů Shewhartova diagramu.
3. Z těchto dvou parametrů se zkonstruuje vlastní regulační diagram, který má podobu základní linie *CL* (angl. *Central Line*), a horní a dolní regulační meze *LCL* a *UCL* (angl. *Lower Control Limit* a *Upper Control Limit*).
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. vymežitelná příčina (pokud se jí podaří identifikovat) a opatření, které bylo přijato.

▪ **Základní předpoklady pro Shewhartův regulační diagram měřením jsou:**

- (1) Normalita rozdělení dat, symetrie,
- (2) konstantní středí hodnota procesu,
- (3) konstantní rozptyl (směrodatná odchylka) dat,
- (4) nezávislost, nekorelovanost dat,
- (5) nepřítomnost vybočujících hodnot,
- (6) vhodně zvolené podskupiny.

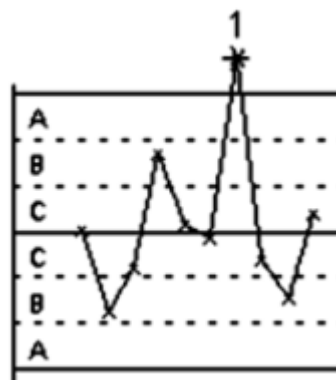
Tyto předpoklady je nutné testovat před samotnou konstrukcí regulačního diagramu postupy pro analýzu jednorozměrného výběru. Pokud se nepodaří ověřit předpoklady pro použití diagramu v bodě (1), je nutno zdroje porušení předpokladů ověřit. V případě, že je zdroj náhodný a není předpoklad, že by se měl opakovat, je možné „problematická data“ (např. vybočující hodnoty) ze souboru vyloučit a diagram konstruovat bez nich. Pokud je ale porušení předpokladů systematické, je inherentní vlastností procesu, nebo se jej nepodaří uspokojivě vysvětlit, není možné příslušná data vylučovat. Pak je třeba uvažovat o jiném typu regulačních diagramů.

Zvláštní situace jsou takové situace, které jsou při optimálním průběhu procesu velmi nepravděpodobné. Historicky prvním případem je překročení regulačních mezí. Jsou-li regulační meze pro normálně rozdělena data stanoveny jako $\pm 3\sigma$, je pravděpodobnost jejich překročení 0,27%. To znamená, že k překročení dojde v průměru jednou za $\frac{1}{0,0027} = 370$ případů, tj. pokud máme jedno měření za denně, tak k překročení dojde přibližně jednou za rok.

▪ **Pravidla pro určování zvláštních případů:**

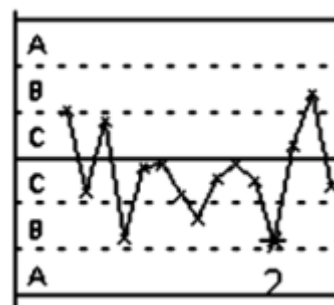
Pravidlo 1: *Jedna hodnota je mimo regulační meze.*

Lokální porucha procesu, chybné měření, výpadek. Chybně stanovené regulační meze, malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Opakuje-li se na téže straně, může jít o posunutí střední hodnoty nebo o asymetrické rozdělení dat. Opakuje-li se na obou stranách, může jít o zvýšení nestability nebo rozptylu dat.



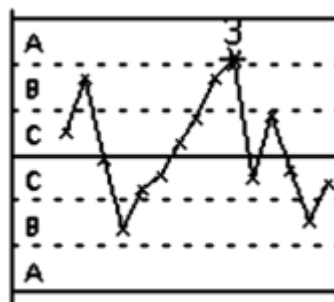
Pravidlo 2: 9 hodnot je na téže straně od centrální linie.

Pravděpodobné posunutí střední hodnoty, snížení variability mezi podskupinami, asymetrie dat, příliš široké nebo neodpovídající regulační meze.



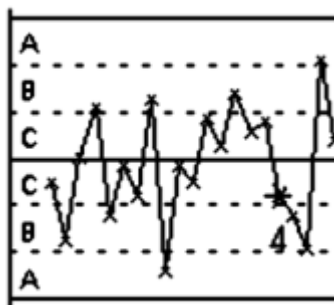
Pravidlo 3: 6 hodnot monotónně roste či klesá.

Autokorelovaný proces, závislá měření. Lineární trend, způsobený opotřebením nebo výpadkem. Příliš široké regulační meze. Odstraněním vymezitelné příčiny lze někdy zvýšit C_p .



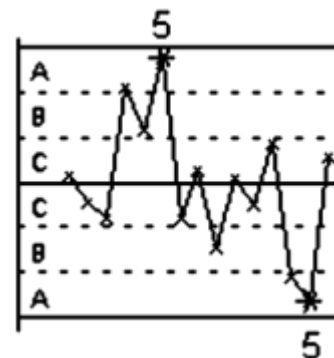
Pravidlo 4: 14 alternujících hodnot.

Přeregulovaný nebo nestabilní proces. Autokorelovaná měření. Odstraněním vymezitelné příčiny lze někdy zvýšit C_p . Podvádění operátorem, vymyšlená čísla.



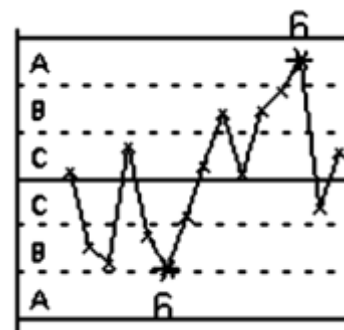
Pravidlo 5: 2 ze 3 hodnot jsou mimo interval $\pm 2\sigma$.

Varování před možným překročením regulačních mezí.



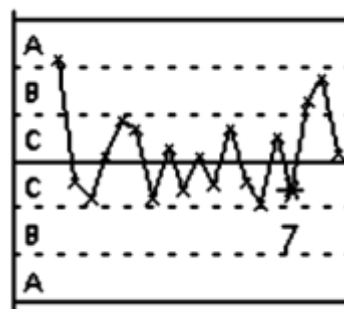
Pravidlo 6: 4 z 5 hodnot jsou mimo interval $\pm \sigma$ na téže straně centrální linie.

Pravděpodobné posunutí střední hodnoty. Varování před možným překročením regulačních mezí.



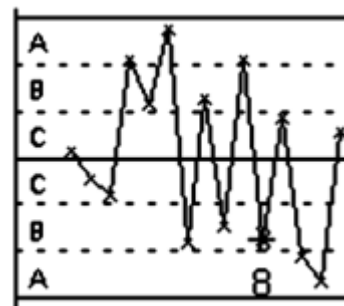
Pravidlo 7: 15 hodnot je uvnitř intervalu $\pm \sigma$.

Snížení variability mezi podskupinami. Při opakování uvažovat o nových regulačních mezích. Nesprávná volba regulačních mezí. Podvádění operátorem, vymyšlená čísla.



Pravidlo 8: 8 hodnot je mimo interval $\pm \sigma$ na obou stranách centrální linie.

Zvýšení variability mezi podskupinami. Varování před překročením regulačních mezí. Porucha procesu.



5.3 Regresní analýza

■ Regresní funkce

Hledání a zkoumání závislostí proměnných, jejichž hodnoty dostaneme realizací experimentu, je důležitou statistickou úlohou. Mají náhodný charakter. Náhodný vektor $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_k)$ reprezentuje nezávislé proměnné a náhodná veličina Y zastupuje závislé proměnné. **Regresní analýza** se používá k popisu a vyšetřování závislosti Y na $\mathbf{X}$; tuto závislost vyjadřuje **regresní funkce**

$$y = \varphi(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = E(Y | \mathbf{X} = \mathbf{x}),$$

kde $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_k)$ – vektor nezávisle proměnných (hodnota náhodného vektoru $\mathbf{X}$)

y – závisle proměnná (hodnota náhodné veličiny Y)

$\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_m)$ – vektor parametrů, tzv. **regresních koeficientů** $\beta_j, j = 1, \dots, m$

V aplikacích často vektor $\mathbf{X}$ bývá i nenáhodný anebo rozptyly všech složek $X_1, \dots, X_k$ jsou zanedbatelné vůči rozptylu náhodné veličiny Y .

Při vyšetřování závislosti Y na $\mathbf{X}$ realizací n experimentů dostaneme $(k + 1)$ -rozměrný statistický soubor $((\mathbf{x}_1, y_1), \dots, (\mathbf{x}_n, y_n))$ s rozsahem n , kde je $\mathbf{x}_i$ pozorovaná hodnota vektoru nezávisle proměnných $\mathbf{X}$ a y_i pozorovaná hodnota náhodné veličiny Y_i , $i = 1, \dots, n$.

V regresní analýze není nezbytné opakování pozorování pro danou hodnotu nezávisle proměnné $\mathbf{x}$. Pro určení odhadu neznámých regresních koeficientů β_j minimalizujeme tzv. **reziduální součet čtverců**

$$S^* = \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(\mathbf{x}_i, \beta)]^2$$

A hovoříme tedy o tzv. **metodě nejmenších čtverců**. Před výpočtem regresních koeficientů bychom měli zvolit takový tvar regresní funkce, který odpovídá co nejvíce uvažované a vyšetřované závislosti. Regresní funkci bývá zvykem volit s co nejmenším počtem regresních koeficientů, avšak dostatečně flexibilní a s požadovanými vlastnostmi: předepsané hodnoty, monotonie, asymptoty a další. Většinou se přitom vychází ze zkušeností, v poslední době se často úspěšně používají při realizaci regresní analýzy vhodné databáze regresních funkcí.

■ **Lineární regresní funkce**

Lineární regresní funkce je lineární vzhledem k regresním koeficientům a má tvar:

$$y = \sum_{j=1}^m b_j f_j(\mathbf{x})$$

kde $f_j(\mathbf{x})$ jsou známé funkce neobsahující regresní koeficienty $\beta_1, \dots, \beta_m$.

Uvažujme tzv. **lineární regresní model** založený na těchto předpokladech:

1. vektor $\mathbf{x}$ je nenáhodný a tedy funkce $f_j(\mathbf{x})$ nabývají nenáhodných hodnot $f_{ji} = f_j(\mathbf{x}_i)$ pro $j = 1, \dots, m$ a $i = 1, \dots, n$

2. matice $\mathbf{F} = \begin{pmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{pmatrix}$ typu (m, n) s prvky f_j má hodnotu $m < n$.

3. náhodná veličina Y_i má střední hodnotu $E(Y_i) = \sum_{j=1}^m \beta_j f_{ji}$ a konstantní rozptyl

$$D(Y_i) = \sigma^2 > 0 \text{ pro } i = 1, \dots, n.$$

4. náhodné veličiny Y_i jsou nekorelované a mají normální rozdělení pravděpodobnosti pro $i = 1, \dots, n$.

V jiné části literatury [5] se místo popsaného lineárního regresního modelu uvádí ekvivalentní model $Y_i = \sum_{j=1}^m \beta_j f_j(\mathbf{x}_i) + E_i$, $i = 1, \dots, n$, kde E_i jsou nekorelované náhodné

veličiny, které např. vyjadřují náhodné chyby měření, s normálním rozdělením pravděpodobnosti $N(0, \sigma^2)$.

Označme matice

$$\mathbf{H} = \mathbf{F}\mathbf{F}^T = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n f_{1i}f_{1i} & \cdots & \sum_{i=1}^n f_{1i}f_{mi} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n f_{mi}f_{1i} & \cdots & \sum_{i=1}^n f_{mi}f_{mi} \end{pmatrix}, \mathbf{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}, \mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \mathbf{g} = \mathbf{F}\mathbf{y} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n f_{1i}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n f_{mi}y_i \end{pmatrix},$$

kde „T“ v horním indexu označuje transpozici matice.

Odhady regresních koeficientů, rozptylu a funkčních hodnot, a testy statistických hypotéz o regresních koeficientech počítáme pomocí těchto matic a následujících vztahů:

1. **bodový odhad regresního koeficientu** β_j je b_j , $j = 1, \dots, m$, kde matice $\mathbf{b}$ je řešení soustavy lineárních algebraických rovnic (tzv. *soustava normálních rovnic*)

$$\mathbf{H}\mathbf{b} = \mathbf{g}.$$

2. **bodový odhad lineární regresní funkce** je

$$y = \sum_{j=1}^m b_j f_j(\mathbf{x})$$

3. **bodový odhad rozptylu** σ^2 je

$$s^2 = \frac{S_{\min}^*}{n - m},$$

$$\text{kde } S_{\min}^* = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^m b_j f_{ji} \right)^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{j=1}^m b_j g_j \text{ a } g_j \text{ je prvek matice } \mathbf{g}.$$

4. **intervalový odhad regresního koeficientu** β_j se spolehlivostí $1 - \alpha$, $j = 1, \dots, m$ je:

$$\left\langle b_j - t_{1-\alpha/2} s \sqrt{h^{jj}}; b_j + t_{1-\alpha/2} s \sqrt{h^{jj}} \right\rangle,$$

kde h^{jj} je j -tý diagonální prvek matice $\mathbf{H}^{-1}$ a $t_{1-\alpha/2}$ je $\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ - kvantil

Studentova rozdělení s $n - m$ stupni volnosti

5. **intervalový odhad střední funkční hodnoty** y se spolehlivostí $1 - \alpha$ je:

$$\left\langle \sum_{j=1}^m b_j f_j(\mathbf{x}) - t_{1-\alpha/2} s \sqrt{h^*}; \sum_{j=1}^m b_j f_j(\mathbf{x}) + t_{1-\alpha/2} s \sqrt{h^*} \right\rangle,$$

$$\text{kde } h^* = \mathbf{f}(\mathbf{x})^T \mathbf{H}^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}), \text{ přičemž } \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} f_1(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ f_m(\mathbf{x}) \end{pmatrix}, \text{ a } t_{1-\alpha/2} \text{ je}$$

$\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ -kvantil Studentova rozdělení s $n - m$ stupni volnosti

Intervalový odhad individuální funkční hodnoty y se spolehlivostí $1 - \alpha$ dostaneme analogicky: místo h^* dosazujeme $1 + h^*$.

6. **test hypotézy** $H: \beta_j = \beta_{j0}$ proti alternativní hypotéze $\bar{H}: \beta_j \neq \beta_{j0}$ na hladině významnosti α , kde j je jeden pevně zvolený index, děláme pomocí pozorované hodnoty testového kritéria

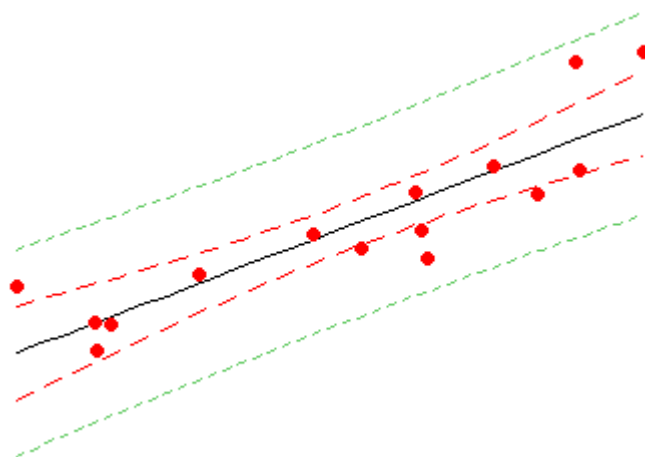
$$t = \frac{b_j - \beta_{j0}}{s \sqrt{h^{jj}}},$$

$\bar{W}_\alpha = \langle -t_{1-\alpha/2}; t_{1-\alpha/2} \rangle$ a $t_{1-\alpha/2}$ je $\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ -kvantil Studentova rozdělení s $n - m$ stupni

volnosti. Tento test lze udělat i pomocí výše uvedeného intervalového odhadu koeficientu β_j se spolehlivostí $1 - \alpha$.

Test hypotézy $H: \beta_j = \beta_{j0}$ se týká jen jednoho regresního koeficientu, i když je libovolný. Pomocí tzv. **testu sdružené hypotézy** se provádí test pro více regresních koeficientů současně.

Pás spolehlivosti pro střední hodnotu se konstruuje z intervalových odhadů střední funkční hodnoty (užší pás kolem regresní přímky) a **pás spolehlivosti pro individuální hodnotu** sestavujeme z intervalových odhadů individuální funkční hodnoty (širší pás kolem regresní přímky).



Obr. 5.2: Regresní přímka (černě), pás spolehlivosti pro střední hodnotu (červeně) a pás spolehlivosti pro individuální hodnotu (zeleně)

Koeficient vícenásobné korelace $r = \sqrt{1 - \frac{S_{\min}^*}{\sum y_i^2 - n(\bar{y})^2}}$, resp. **index (koeficient)**

determinace r^2 jsou orientační míry vhodnosti vypočtené regresní funkce pro získaná data a

nabývají hodnot z intervalu $\langle 0;1 \rangle$. Procentuální podíl z rozptylu hodnot y_i „vysvětlený“ vypočtenou regresní funkcí udává číslo $r^2 100\%$.
Vhodnost zvoleného tvaru regresní funkce vyjadřují hodnoty r , a tedy i r^2 , blízké 1.

Grafický rozbor regresní funkce vzhledem k pozorovaným bodům $[x_1, y_1], \dots, [x_n, y_n]$ se provádí pro bližší posouzení vhodnosti vypočtené regresní funkce.

Pro rigorózní závěr je nutné provést tzv. *regresní diagnostiku* a testovat další statistické hypotézy.

Regresní funkce jsou: **lineární** nebo **nelineární** vzhledem k regresním koeficientům. Některé nelineární regresní funkce lze pomocí vhodné linearizace převést na lineární (např. zlogaritmuje mocninou nebo exponenciální funkci). Je to běžně používaný postup, kdy ale řešíme jiný regresní model nežli původně uvažován.

Funkce $y = \beta_1 + \beta_2 x$ je nejčastěji používanou lineární regresní funkcí pro dvourozměrný pozorovaný statistický soubor $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$. Jejím grafem je tzv. **regresní přímka**. Pro tuto funkci je $k=1$, $\mathbf{x}_1 = x$ (místo x_1 píšeme x), $m=2$, $f_1(x)=1, f_2(x)=x$, a tedy:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ x_1 & \dots & x_n \end{pmatrix}, \mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}.$$

Následující *explicitní vztahy* lze použít pro ruční počítání regresní funkce $y = \beta_1 + \beta_2 x$.

Pro jednoduchost místo $\sum_{i=1}^n$ použijí $\sum$.

$$\text{a) } \mathbf{H} = \begin{pmatrix} \sum 1 & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{pmatrix}, \mathbf{g} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \end{pmatrix}, \sum 1 = n;$$

$$\text{b) } \det \mathbf{H} = n \sum x_i^2 - \left(\sum x_i \right)^2, b_2 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\det \mathbf{H}}, b_1 = \bar{y} - b_2 \bar{x};$$

$$\text{c) } S_{\min}^* = \sum (y_i - b_1 - b_2 x_i)^2 = \sum y_i^2 - b_1 \sum y_i - b_2 \sum x_i y_i, s^2 = \frac{S_{\min}^*}{n-2};$$

$$\text{d) } h^{11} = \frac{\sum x_i^2}{\det \mathbf{H}}, h^{22} = \frac{n}{\det \mathbf{H}};$$

$$\text{e) } h^* = \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2} = \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\det \mathbf{H}}$$

$$\text{f) } r = |r(x, y)|, \text{ kde } r(x, y) \text{ je koeficient korelace}$$

5.4 Paretova analýza

Používá se pro porovnání příčin odstávek stroje, výrobní linky, druhů vad atd. a k tomu, abychom mohli srovnat příčiny poškození (druhy vad), které se vyskytly v procesu.

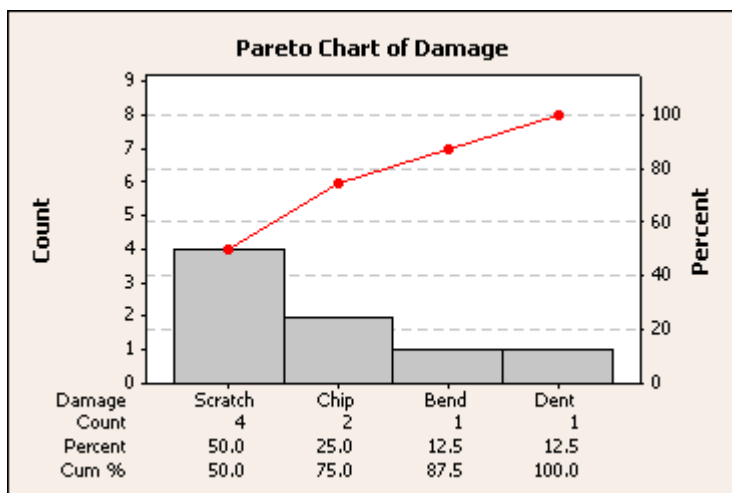
Vilfredo Pareto (ital. Ekonom) v roce 1895 publikoval princip o vztahu jednotlivých faktorů k celkovému účinku. Prokázal, že nepatrná část obyvatel má významný podíl na celkovém majetku a na straně druhé, že velký počet obyvatel se na něm podílí zcela nepatrně. Tento princip je tzv. Paretovo pravidlem 80/20, podle kterého je 80% problémů je způsobeno 20% příčin. Tzn., že pokud rozlišujeme 10 různých příčin reklamací nějakého výrobku a mám 100 reklamací, pak 80 reklamací je způsobeno 2 příčinami a 20 reklamací 8 příčinami.

Výstupem je tzv. Paretův diagram, který znázorňuje četnosti výskytu jednotlivých poruch v pořadí od nejčastějších po nejméně časté. Na osu x se píší druhy vad (poškození), na levou stranu osy y se vynáší počet výskytů poruch a na pravou procenta. Sloupce reprezentují zastoupení jednotlivých příčin a rostoucí křivka, „Lorenzova“, představuje kumulativní hodnoty v %.

Sestavení Paretova diagramu probíhá ve 4 krocích:

1. vytvoření seznamu problémových kategorií a sestavení formuláře pro zaznamenávání dat
2. sběr dat, určení podílů výskytu příčin defektů během stanoveného časového intervalu (v procentech)
3. vykreslení sloupcového grafu podle klesajícího procentového zastoupení; nejmenší hodnoty se sečtou do jednoho sloupce, který by neměl být větší jak poslední samostatný sloupec
4. dokreslení křivky kumulativního zastoupení kategorií

Paretovo optimum je situace, kdy neexistuje možnost zlepšení na jedné straně, aniž bychom něco zhoršili jinde.



Obr. 5.3: Příklad Paretova diagramu.

Vlivy působící na výrobek jsou:

- životně důležité (malý počet, mají rozhodující vliv a analyzují se jednotlivě),
- zanedbatelné (je jich mnoho, mají nepodstatný vliv a analyzují se jako celek).

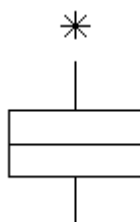
Paretův diagram nám umožňuje oddělit životně důležité jevy od těch zanedbatelných.

K určení životně důležitých položek nám slouží následující kritéria:

- 50-ti% kritérium – ty položky, které soustředí více než 50% všech vad,
- průměrný počet – vyžívá se hodnota průměrného počtu vad připadajícím na jednu položku
 - určuje bod zlomu Lorenzovy čáry, tj. bod od kterého je přírůstek menší než průměrný

5.5 Krabicový graf

Využívá se pro částečnou sumarizaci dat. Vystihuje polohu „středu“ dat, mediánu, a spodním a horním kvartilem. Obdélník přibližně obsahuje asi $\frac{1}{2}$ všech hodnot datového souboru tak, že nahoru a dolů od obdélníku leží vždy čtvrtina hodnot statistického souboru. Ve středu obdélníku se nachází medián (čára uvnitř obdélníku), který odděluje horní kvartil (horní strana obdélníku) od dolního (dolní strana obdélníku). Hodnoty mimo obdélník jsou „podezřelé“ (příp. extrémně odchýlené). Statistický software Minitab je označuje symbolem „*“.



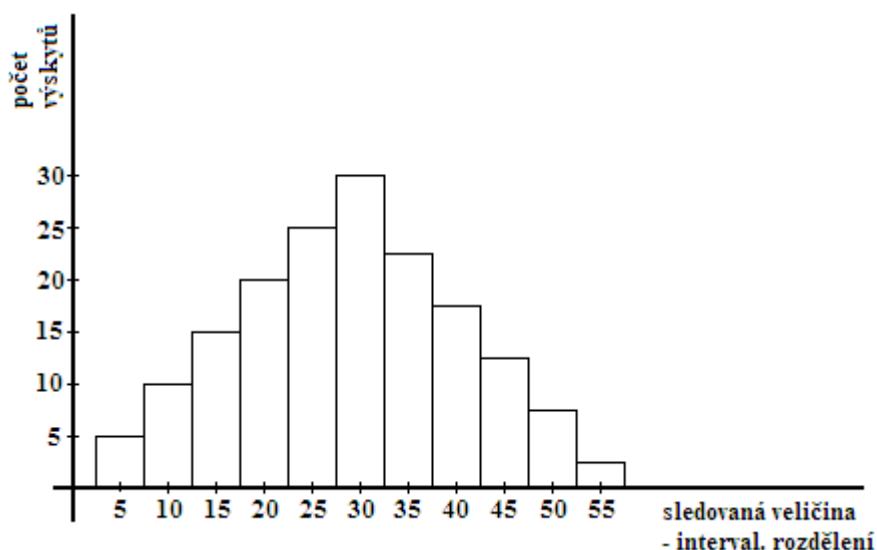
Obr. 5.4: *Krabicový graf*

5.6 Histogram

Slouží ke grafickému znázornění velkého datového souboru, za předpokladu, že data jsou kvantitativní. Histogram je grafické znázornění intervalového rozdělení činností. Podává informaci o tvaru a typu rozdělení statistického souboru. Pomocí něj se dají identifikovat systematické příčiny variability procesu.

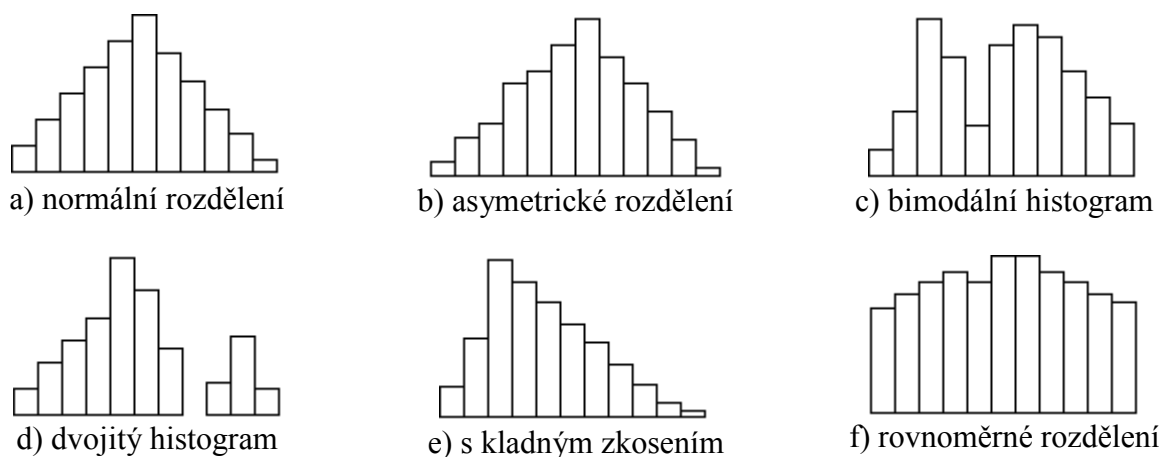
Histogram je v podstatě soustava obdélníků v kartézské souřadné soustavě (na ose x – proměnné, na ose y- měrné hustoty pravděpodobnosti). Základny tvoří třídy a výšky jsou četnosti tříd (absolutní, relativní, kumulativní). Počet tříd ovlivní kvalitu histogramu. Pro určení optimálního počtu tříd se nejčastěji používají tyto vztahy:

- $m = 1 + 3,3 \log n$
- $m = \sqrt{n}$ až $m = 2\sqrt{n}$



Obr. 5.5: Histogram

Vlastní analýza histogramu spočívá ve vyhodnocení tvaru histogramu.



Obr. 5.6: Nejběžnější typy histogramů

■ **Základní druhy histogramů (viz. obr. 5.6):**

- a) **histogram s normálním rozdělením dat** - obecný tvar, zvonovitý tvar
- b) **asymetrické rozdělení dat**
- c) **bimodální histogram** - svědčí o rozdvojení procesu, např. dva stroje, dva operátoři
- d) **dvojitý histogram** - graf s odlehlými hodnotami, může indikovat vymezitelné příčiny ovlivňující proces
- e) **histogram se zkosením** - má zešikmený tvar grafu obvykle signalizuje abnormalitu dat, která může být způsobena např. fyzikální podstatou měřené veličiny, která má exponenciální průběh; nebo nebyly zaznamenány všechny hodnoty
- může být s kladným anebo se záporným zkosením
- f) **rovnoměrné rozdělení** - histogram má plochý tvar, zpravidla indikuje, že je proces špatně nastaven

Kapitola byla zpracována pomocí [8,6] a doplňovaná informacemi z [3,7,11,12,14].

6 Analýza výrobního procesu

Data na zpracování nám poskytla firma Barum Continental. Mým úkolem bylo analyzovat vady forem pneumatik, které jsou použity při výrobě plášťů. Tyto formy se odlévají z lehkých kovů, především z hliníku.

Na zpracování podkapitol 6.1 a 6.3 bylo využito informace z [1,2]. Grafické výstupy jsou sestaveny pomocí statistického software Minitab 14.

6.1 Představení firmy Barum Continental

■ Sídlo firmy:

Barum Continental spol. s r.o.

Objízdna 1628

765 31 Otrokovice, okres Zlín

Czech Republic

■ Profil společnosti:

Prodejní a servisní síť Barum je součástí největšího českého výrobce pneumatik, firmy Barum Continental. Společnost Barum Continental se v roce 1999 stala také největším závodem na výrobu pneumatik v Evropě. Servisní prodejny v charakteristických barvách najdete ve více než 50 místech České republiky.

Těží jak z historie svého oboru (první pneumatiky u nás vyráběla již ve čtyřicátých letech firma Baťa), tak z moderních vývojových trendů a obchodní strategie. Spojení otrokovické pneumatikárny se strategickým zahraničním partnerem v roce 1993 se ukázalo navýsost správným rozhodnutím. Koncern Continental přinesl do Otrokovic nejen nejmodernější technologie a nové strojní zařízení, ale i novou podnikovou kulturu a nové přístupy k práci.

Vstupem servisních provozoven Barum do největší evropské prodejní a servisní sítě "pneus expert" byla odstartována i nová koncepce našich pneuservisů, orientovaná v duchu myšlenky "Od pneuservisu k autoservisu". Rozšíření nabídky služeb nad rámec běžně poskytovaných služeb osobního a nákladního pneuservisu, včetně oprav pneu a duší, je zaměřeno především na kontrolu a rychlou výměnu vybraných dílů v oblasti podvozku vozidla. Tedy zejména v oblasti, která souvisí s bezpečností provozu a využitím vlastností pneumatik. Cílem vždy byl a stále zůstává spokojený zákazník.

Rozvoj tzv. rychlého servisu "Fast-Fit" zahájili pilotními projekty ve vybraných servisech. Rozšíření nabídky služeb bylo zaměřeno na kontrolu a seřízení geometrie podvozku, kontrolu a výměnu výfukového potrubí, kontrolu a seřízení světlometů, výměnu olejů, filtrů, tlumičů a brzdových destiček. V návaznosti na vybavení a odbornost mechaniků jsou schopni provést i další práce na vybraných dílech podvozku vozidla dle požadavků zákazníka.

Cílem "Prodejní a servisní sítě Barum" je stát se "servisní organizací" evropského formátu.

6.2 Zadané data

Celkem bylo zadáno 1406 položek. Data zahrnují období od června 2006 do konce roku 2007. Začátkem února roku 2007 došlo ke zlepšení v procesu výroby forem pneumatik a proto se v tabulce dat a grafech objevuje fáze před a po. „Fáze před“ se datuje do 31. 1. 2007, vše ostatní je vedeno jako „fáze po“; viz. sloupec „C46-T“ Dále pro stručnost jsem v kolonce „C2“ psala všechny měsíce související s rokem 2007 bez dolní pomlčky.

Pro přehled uvádím výňatek z tabulky zadaných dat - prvních 12 položek; názvy sloupců byly převzaty z firemní databáze a nebyly přepracovávány:

C1	C2-T	C3	C4	C5-T	C6	C7	C8-T	C9	C10-T
Měsíc	měsíc_rok	Číslo interní zakázky	Číslo zakázky MCZMF	Rozměr	šířka	Tloušťka	R ZR	R ["]	Název
6	6_2006	516	6059585801	205/55	205	55	R	16	PCI_W
6	6_2006	518	6061644801	225/45	225	45	ZR	17	CONTI_EXTREME_CONTACT
6	6_2006	519	6061530801	205/55	205	55	R	16	CWC_TS_810_S
6	6_2006	520	6061530802	205/55	205	55	R	16	CWC_TS_810_S
6	6_2006	521	6061533801	215/70	215	70	R	16	4x4_CONTI_ICE_CONTACT
6	6_2006	524	6057614801	195/60	195	60	R	14	CWC_TS_800
6	6_2006	525	6059192801	225/75	225	75	R	16	VANCO_WINTER_2
6	6_2006	526	6059322801	245/35	245	35	ZR	18	CONTI_SPORT_CONTACT_3
6	6_2006	538	6061646801	195/65	195	65	R	15	SNOW_TECH
6	6_2006	533	6058955801	195/60	195	60	R	15	ALTIMAX_HP
6	6_2006	534	6059203801	185/60	185	60	R	15	SPORTIVA_Z_60
6	6_2006	541	6061843801	245/40	245	40	R	18	CONTI_PRO_CONTACT

C11-T	C12	C13-T	C14-T	C15-D	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23
Komplexita	T_complexity	Konteiner	Tolerance	Datum lití	nezabéh.žebra_nebo_rysky	vyboulená_pole	propadlá_pole	vysoké_výronky_na_žebrech	mapy_-výronky_na_žebrech	hrubý_povrch	porezita_v_běžné_ploše	porezita_na_žebrech
T3	3	U	B	9.5.2006	0	55	0	260	275	600	0	0
T2	2	V	A	2.5.2006	10	0	90	155	220	600	0	0
T4	4	U	B	3.5.2006	0	0	0	0	160	400	10	10
T4	4	U	B	4.5.2006	0	0	0	0	210	465	30	20
T5	5	G40	B	4.5.2006	0	0	0	0	240	380	165	145
T5	5	S	B	12.5.2006	0	0	0	0	190	350	85	85
T3	3	G43	A	11.5.2006	0	0	0	0	290	290	60	20
T2	2	V	A	16.5.2006	0	0	0	10	140	365	0	0
T4	4	U	C	4.5.2006	0	0	240	140	135	290	0	10
T2	2	S	B	16.5.2006	0	0	0	0	290	290	260	225
T2	2	S	C	17.5.2006	0	0	0	0	170	500	0	0
T3	3	V	A	9.5.2006	440	0	0	0	305	540	235	165

C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38
Zadrogeniny	zborcený_povrch_vboč.dekoru	chyb_přebýv_mater.u_lamel	lamely_v_dělení	lamely_kolem_hrotů	chybějící_lamely	návaznosti_žeber	technologické_přidavky	VAI	návaz_rádus+bok_vrcholu_zebra	hroty_(vše_kolem_)	oprava_rundlaufu	odlomení_kotev_z_lamel	úprava_spoju_po_nevyšší_spáře	oprava_TWI_navařením_na_1,9
0	660	80	0	0	0	185	190	0	0	0	0	0	0	0
0	0	320	0	0	0	20	185	0	0	0	0	0	0	0
0	470	300	0	0	0	260	440	0	0	0	0	0	0	0
0	505	305	0	0	0	0	225	0	0	0	0	0	0	0
0	380	290	0	340	0	125	190	0	0	0	0	0	0	0
0	290	380	0	0	0	270	380	0	0	0	0	0	0	0
0	0	600	0	0	0	190	545	0	0	0	0	0	0	0
0	0	180	0	0	0	0	135	0	0	0	0	0	0	0
0	600	0	0	0	0	0	245	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	140	190	0	0	0	0	0	0	0
0	0	15	0	0	0	0	145	0	0	0	0	0	0	0
0	0	340	0	0	0	15	295	0	0	0	0	0	0	0

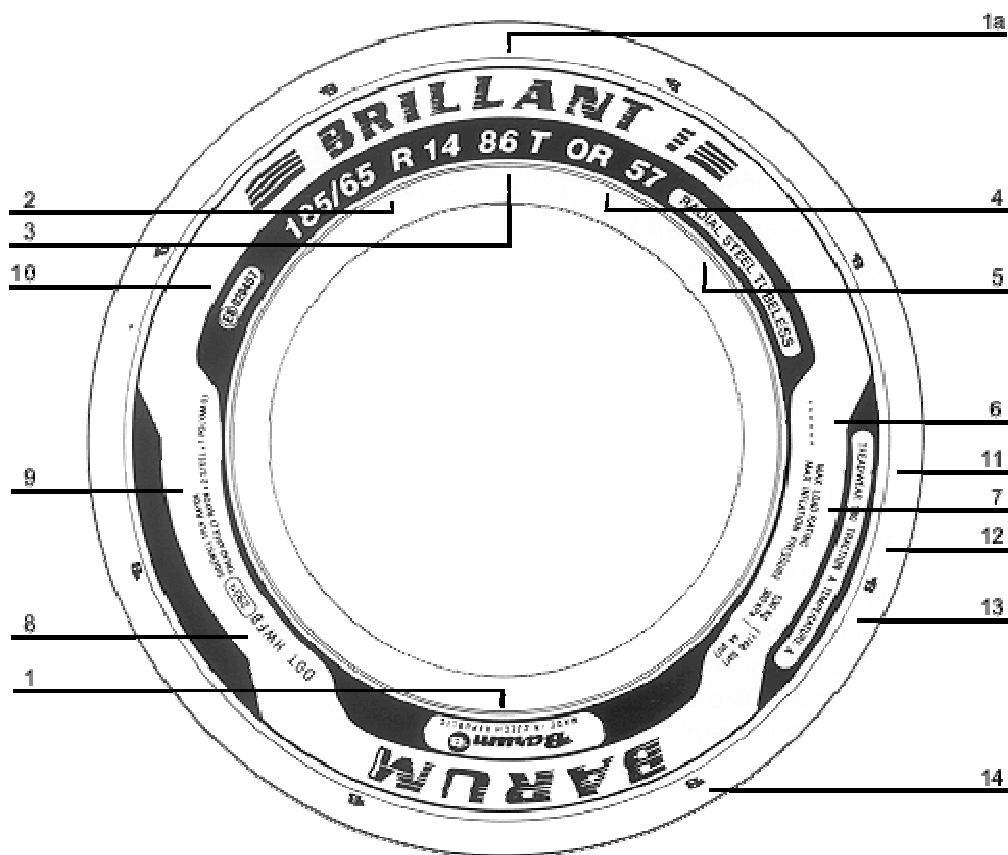
C39	C40	C41	C42	C43	C44	C45	C46-T	C47
mechanické_poškození	návaznost_zeber_na_pásek	vysoká_žebra	nizká_žebra	šíroká_žebra	úzká_žebra	jiné	fáze	suma
0	0	0	0	0	0	0	pred	2305
0	0	0	0	0	0	0	pred	1600
0	0	0	0	0	0	0	pred	2050
0	0	75	0	330	0	100	pred	2265
0	0	220	0	0	0	0	pred	2475
0	0	0	0	0	180	0	pred	2210
180	0	240	0	60	695	0	pred	3170
15	0	0	0	155	0	0	pred	1000
0	0	0	0	20	0	0	pred	1680
0	0	30	0	0	0	120	pred	1545
20	0	0	0	0	0	0	pred	850
15	0	35	0	20	280	135	pred	2820
410	0	0	0	505	0	0	pred	2160
0	0	0	0	0	0	340	pred	3280
0	0	20	0	0	0	10	pred	1735

Zadané data jsem zpracovávala pomocí statistického software Minitab, verze 14.

6.3 Charakteristiky pneumatik

K tomu, abychom porozuměli dále zpracovávaným defektům, uvedeme některé charakteristiky pneumatik, tedy co které číslo a název znamená.

■ Značení pláštěů na bočnici

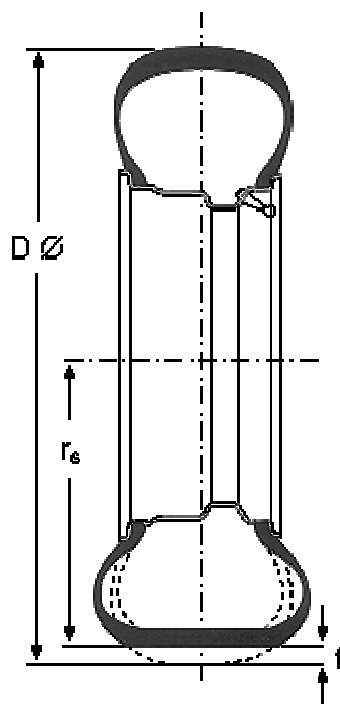


1	ochranná značka BARUM, název výrobce a jeho sídlo
1a	obchodní značení výrobku
2	označení rozměru pláště
3	86 = index nosnosti, T = kategorie rychlosti
4	označení dezénu pláště
5	RADIAL - plášť s radiální konstrukcí kostry STEEL - nárazník z ocelového kordu TUBELESS - bezdušové provedení pláště (TUBE TYPE - provedení pláště a duší)
6	T1 - označení a pořadové číslo formy
7	nejvyšší nosnost pneumatiky v kg(lbs) a nejvyšší dovolené huštění pneumatiky v kPa(psi)
8	DOT - Department of Transportation HW - kód výrobce FB - kód rozměru 295 – datum výroby 29 = týden, 5 = rok, = dekáda 1990-1999
9	materiál kostry pláště a skutečný počet vložek v oblasti boku a běhounu SIDEWALL 1PLY RAYON - oblast boku 1 vložka RAYON TREAD AREA - oblast koruny

10	E8 = homologační znak a číslo země(ČR) podle EHK 30 020457 = přidělené schvalovací číslo
11	odolnost běhounu proti opotřebení v procentech
12	velikost součinitele adheze A, B, C
13	odolnost proti dynamické únavě A, B, C
14	indikátor opotřebení (Tread Wear Indicators - TWI)

■ Měrné jednotky, definice pojmů

Šířka pneumatiky je vždy uváděna v mm, následující průměr ráfku je v palcích.



Standardní rozměry jsou teoretické hodnoty platné pro novou pneumatiku, šířka je vztažena na hladkou bočnici, vnější průměr na střed běhounu.

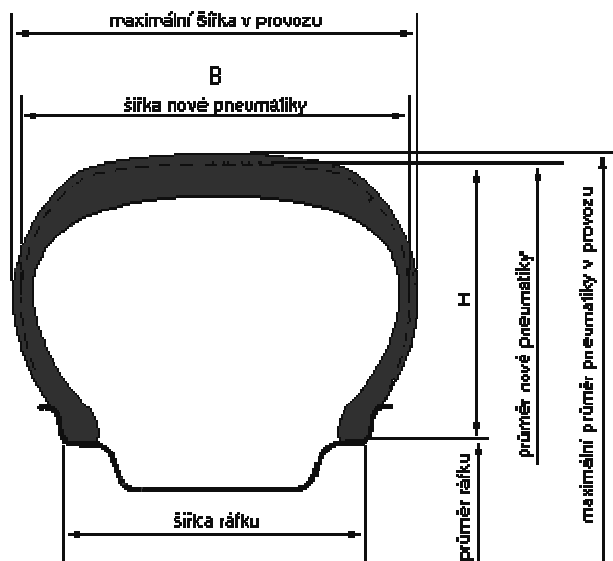
Maximální rozměry jsou skutečné hodnoty nahuštěné nezátížené pneumatiky včetně nárůstu, ale s vyloučením dynamických deformací. Šířka je maximální povolená šířka pláště namontovaného na měrný ráfek včetně výstupků na bočnici. Vnější průměr je maximální povolený průměr.

Statický poloměr je vzdálenost osy rotace nepohybující se pneumatiky od opěrné rovinné podložky rovnoběžné s osou rotace pneumatiky při předepsaném radiálním zatížení a huštění.

Odvalený obvod pneumatiky je dráha odvalená pneumatikou na pevné rovné vozovce při jedné otáčce.

Huštění pneumatiky je udáváno v kPa a platí pro rychlost do 160 km/h.

■ Základní rozměry pneumatik



185/65 R 14 85 T	
185	jmenovitá šířka pneumatiky (mm)
65	profilové číslo (%)
R	označení radiální konstrukce pláště
14	jmenovitý průměr ráfku v palcích
85	index nosnosti
T	kategorie rychlosti

■ Obecné pojmy

- **Diskové kolo** - nerozebíratelné kolo sestávající z ráfku a disku
- **Ráfek** - část kola, na kterou se nasazuje plášť
- **Disk kola** - část kola, která je spojovacím prvkem mezi hlavou kola a ráfkem
- **Okraj ráfku** - část ráfku, která zajišťuje boční opěr pro patky pláště
- **Dosedací plocha** - část ráfku, na níž je usazena patka pláště (u bezdušových ráfků je součástí této plochy tzv. bezpečnostní profil zabraňující sesmeknutí patky pláště z ráfku)
- **Prohloubení** - část ráfku umožňující montáž a demontáž pláště přes okraj ráfku
- **Zális** - vzdálenost roviny souměrnosti ráfku od dosedací plochy disku; podle konstrukce kola může být kladný, záporný nebo nulový
- **Vzdálenost dosedacích ploch v ramíncích** - vzdálenost roviny souměrnosti ráfku od dosedací plochy disku; podle konstrukce kola může být kladný, záporný nebo nulový
- **Jmenovitý průměr** ráfku - průměr ráfku v palcích měřený v oblasti dosedací plochy patky pláště
- **TWI / indikátor hloubky dezénu:**
 - ve většině zemí světa se předepisuje minimální hloubku dezénu pneumatiky pro zajištění bezpečnosti řidičů
 - na pneumatice jsou umístěné malé přechodové můstky označené TWI (Tread Wear Indicator) sloužící pro rychlé posouzení aktuální hloubky dezénu
 - umístění TWI můstků je po obvodu pneumatiky rovnoměrné a je vyznačeno z boční strany dezénu šipkou a písmeny "TWI".
 - V případě, že je hloubka dezénu malá, splynou nám v místech označených TWI tyto můstky napříč pneumatiky s dezénem a je nutné neprodleně vyměnit ojetou pneumatiku za novou

▪ Konstrukce pneumatik



Moderní pneumatiky jsou zhotoveny z různých částí a rozdílných materiálů.

Např.: **Vnitřní guma** - je zhotovena z butylového kaučuku a zabraňuje úniku vzduchu z vnitřku pláště. Plní roli duše v bezdušových pneumatikách.

Základní části pneumatiky jsou následující:

1. Vnitřní guma
2. Kostrový materiál - kordy
3. Patní lano
4. Jádro
5. Výztužný pásek
6. Patní pásek
7. Bočnice
8. Nárazník
9. PA nárazník – nulový
10. Běhoun

Každá z těchto částí plní určitou roli a jsou na ni kladeny specifické požadavky.

6.4 Regulační diagram Xbar-S:

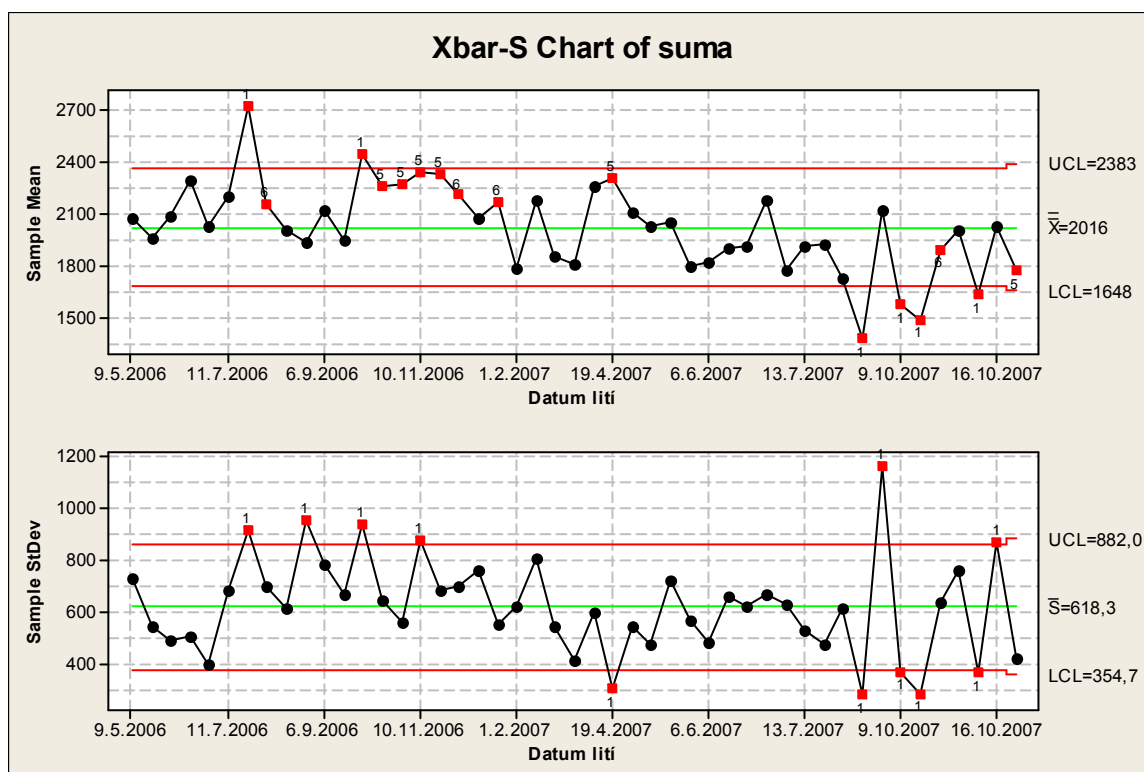
Zajímá nás stabilita procesu. Zvolila jsem dělení do skupin po 30-ti hodnotách. Suma je součet časů na odstranění všech vad, které se na daném typu formy pneumatiky objevily. Dle vzoru tabulky (viz. podkapitola 6.2) je suma časů dána následujícím vztahem:

$$(C47) = (C16) + (C17) + \dots + (C45),$$

kde suma je pod číslem sloupce C47 a jednotlivé vady jsou zapsány ve sloupcích C16 až C45.

Kromě sumy nás zajímal „hrubý povrch“ (C21), který je nejčastější vadou forem na výrobu plášťů pneumatik, která se vyskytla a tedy i na její odstranění bylo potřeba nejvíce času.

■ *regulační diagram $\bar{X}$ – S pro sumu:*



Výsledky testů k odhalení zvláštních případů zpracovaných statistickým softwarem:

Xbar-S Chart of suma

Test Results for Xbar Chart of suma

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.

Test Failed at points: 7; 13; 39; 41; 42; 45

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).

Test Failed at points: 14; 15; 16; 17; 26; 39; 41; 42; 47

TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).

Test Failed at points: 8; 16; 17; 18; 20; 42; 43; 45

Test Results for S Chart of suma

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.

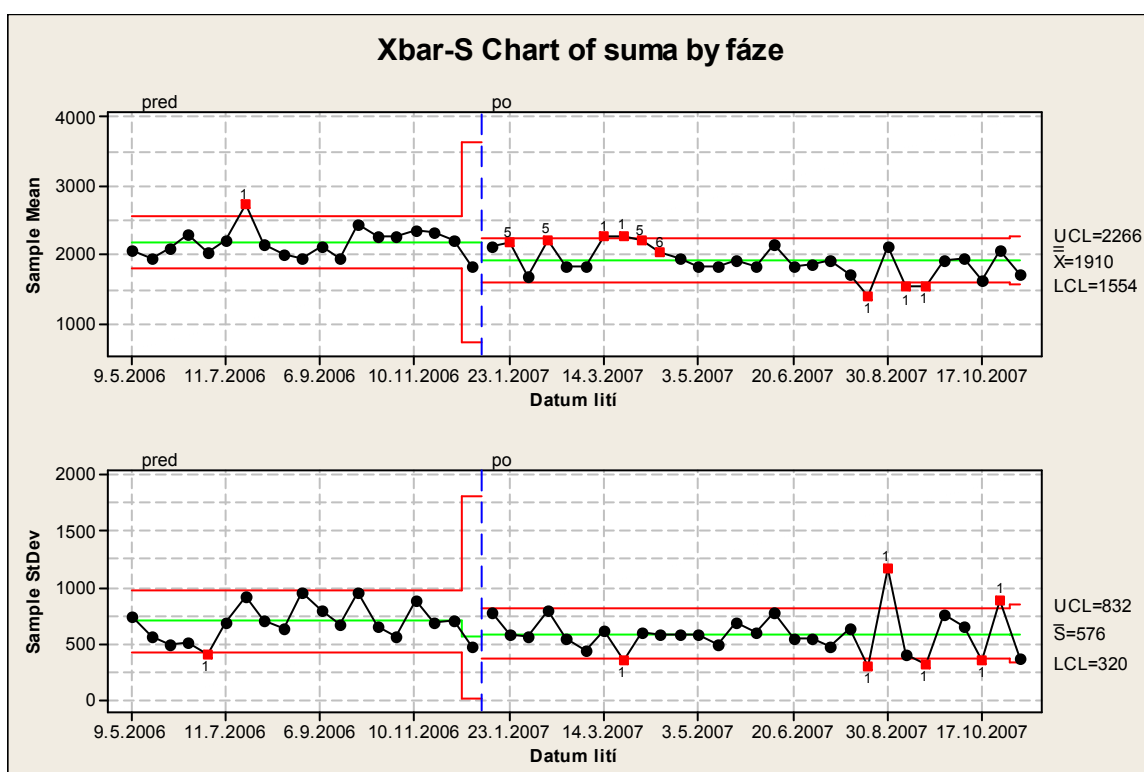
Test Failed at points: 7; 10; 13; 16; 26; 39; 40; 41; 42; 45; 46

Z výsledku pro Xbar, i u S diagram vidíme výskyt „zvláštních případů“, signalizujících nečekanou změnu chování procesu. Objevilo se porušení pravidel č. 1 = „Jedna hodnota je mimo regulační meze“, pravidlo č.5 = „2 ze 3 hodnot jsou mimo interval $\pm 2\sigma$ “ a č. 6 = „4 z 5 hodnot jsou mimo interval $\pm \sigma$ na téže straně centrální linie“ a S diagramu pouze pravidlo 1.

Podle pravidla č. 1 mohou být špatně stanoveny regulační meze anebo došlo k lokální poruše procesu. Pravidla č. 5 a 6 varují před možným překročením mezí, a navíc pravidlo č. 6 upozorňuje na pravděpodobné posunutí střední hodnoty. Navíc kvůli výskytům těchto „zvláštních případů“ je proces nestabilní

K posunutí střední hodnoty opravdu došlo, neboť byl začátkem února roku 2007 proveden zlepšující zásah do procesu a tím se i snížila střední hodnota. Více je uvedené v následujícím bodě.

■ **regulační diagram $\bar{X}$ – S pro sumu v závislosti na fázi:**



Výsledky testů k odhalení zvláštních případů zpracovaných statistickým softwarem:

Test Results for Xbar Chart of suma by fáze

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 7; 26; 27; 40; 42; 43

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).
Test Failed at points: 21; 23; 27; 28; 42; 43

TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).
Test Failed at points: 29; 43

Test Results for S Chart of suma by fáze

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 5; 27; 40; 41; 43; 46; 47

* WARNING * If graph is updated with new data, the results above may no longer be correct.

Z výsledku pro Xbar diagram vidíme výskyt „zvláštních případů“, signalizujících nečekanou změnu chování procesu. Objevilo se porušení pravidla č. 1, 5 a 6.

Pravidlem 1 (TEST 1) = „Jedna hodnota je mimo regulační meze“ neprošly skupiny bodů číslo 7; 26; 27; 40; 42; 43. A tedy se vyskytla lokální porucha procesů, chybné měření, výpadek. Chybně stanovené regulační meze, malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Opakuje se to na obou stranách, může jít o zvýšení nestability nebo rozptylu dat.

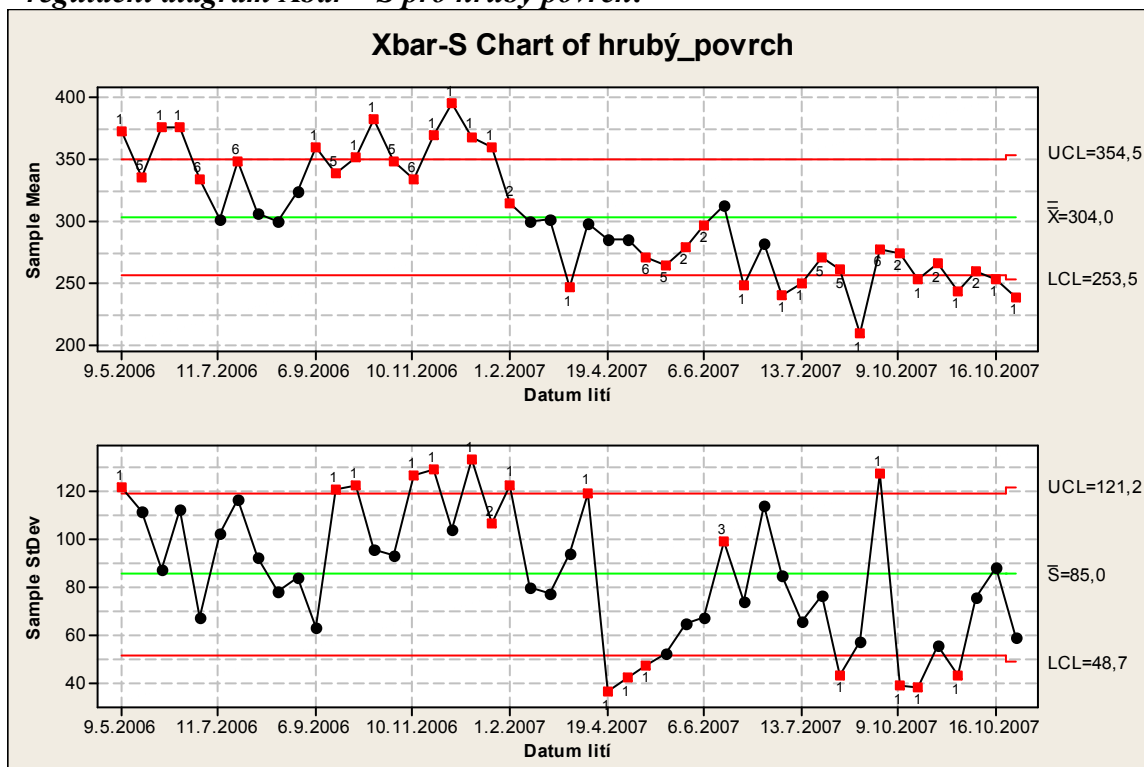
Pravidlem 5 (TEST 5) = „2 ze 3 hodnot jsou mimo interval $\pm 2\sigma$ “ neprošly skupiny bodů číslo 21; 23; 27; 28; 42; 43. Tyto skupiny bodů jsou varovným signálem, že může dojít k překročení regulačních mezí.

Pravidlem 6 (TEST 6) = „4 z 5 hodnot jsou mimo interval $\pm \sigma$ na téže straně centrální linie“ neprošly skupiny bodů číslo 29; 43. Podle tohoto pravidla je pravděpodobné, že jsou posunuty střední hodnoty. Dále to je pak varování před možným překročením regulačních mezí.

U S diagramu došlo k překročení pravidla č. 1 (TEST 1) = „Jedna hodnota je mimo regulační meze“ u skupiny bodů číslo 5; 27; 40; 41; 43; 46; 47. A tedy se vyskytla lokální porucha procesů, chybné měření, výpadek. Chybně stanovené regulační meze, malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Opakuje se to na obou stranách, může jít o zvýšení nestability nebo rozptylu dat.

Z obou diagramů je zřejmý celkový pokles chyb po zavedení zlepšení. A celkový klesající trend výskytu chyb. Dále vidíme, že proces je kvůli výskytům „zvláštních případů“ nestabilní. Navíc z grafu je zřejmé, že došlo ke snížení regulačních mezí po zlepšení procesu.

■ regulační diagram Xbar – S pro hrubý povrch:



Výsledky testů k odhalení zvláštních případů zpracovaných statistickým softwarem:

Xbar-S Chart of hrubý_povrch

Test Results for Xbar Chart of hrubý_povrch

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 1; 3; 4; 11; 13; 14; 17; 18; 19; 20; 24; 33; 35; 36;
39; 42; 44; 46; 47

TEST 2. 9 points in a row on same side of center line.
Test Failed at points: 18; 19; 20; 21; 30; 31; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).
Test Failed at points: 2; 3; 4; 12; 13; 14; 15; 17; 18; 19; 20; 29; 35; 36;
37; 38; 39; 43; 44; 45; 46; 47

TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).
Test Failed at points: 4; 5; 7; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 28; 29; 30;
36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47

TEST 8. 8 points in a row more than 1 standard deviation from center line (above and below CL).
Test Failed at points: 17; 18; 19; 20; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47

Test Results for S Chart of hrubý_povrch

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 1; 12; 13; 16; 17; 19; 21; 25; 26; 27; 28; 38; 40; 41;
42; 44

TEST 2. 9 points in a row on same side of center line.
Test Failed at points: 20; 21

TEST 3. 6 points in a row all increasing or all decreasing.
Test Failed at points: 32

Dále vidíme, že proces je kvůli výskytům „zvláštních případů“ nestabilní. Navíc z grafu je zřejmé, že došlo ke snížení regulačních mezí po zlepšení procesu.

Z výsledků testů výskytu „zvláštních případů“ diagramů XBar a S diagramu vidíme, že pravidla č. 1, 2, 5, 6 a 8 byla porušena u XBar a u S diagramu došlo k porušení pravidel č. 1, 2 a 3.

Test č. 1 = „Jedna hodnota je mimo regulační meze“ porušilo 19 skupin bodů u XBar a 16 skupin u S diagramu, pravidlo č. 2 = „9 hodnot je na téže straně od centrální linie“ 13 skupin bodů u XBar a 2 skupiny u S diagramu.

Dále pak bylo nesplněno pravidlo č.5 = „2 ze 3 hodnot jsou mimo interval $\pm 2\sigma$ “ u 22 skupin, č. 6 = „4 z 5 hodnot jsou mimo interval $\pm \sigma$ na téže straně centrální linie“ u 26 skupin bodů a test č.8 = „8 hodnot je mimo interval $\pm \sigma$ na obou stranách centrální linie“ nesplnilo 12 skupin bodů; u diagramu XBar.

U diagramu S ještě došlo k porušení pravidla č. 3 = „6 hodnot monotónně roste či klesá“.

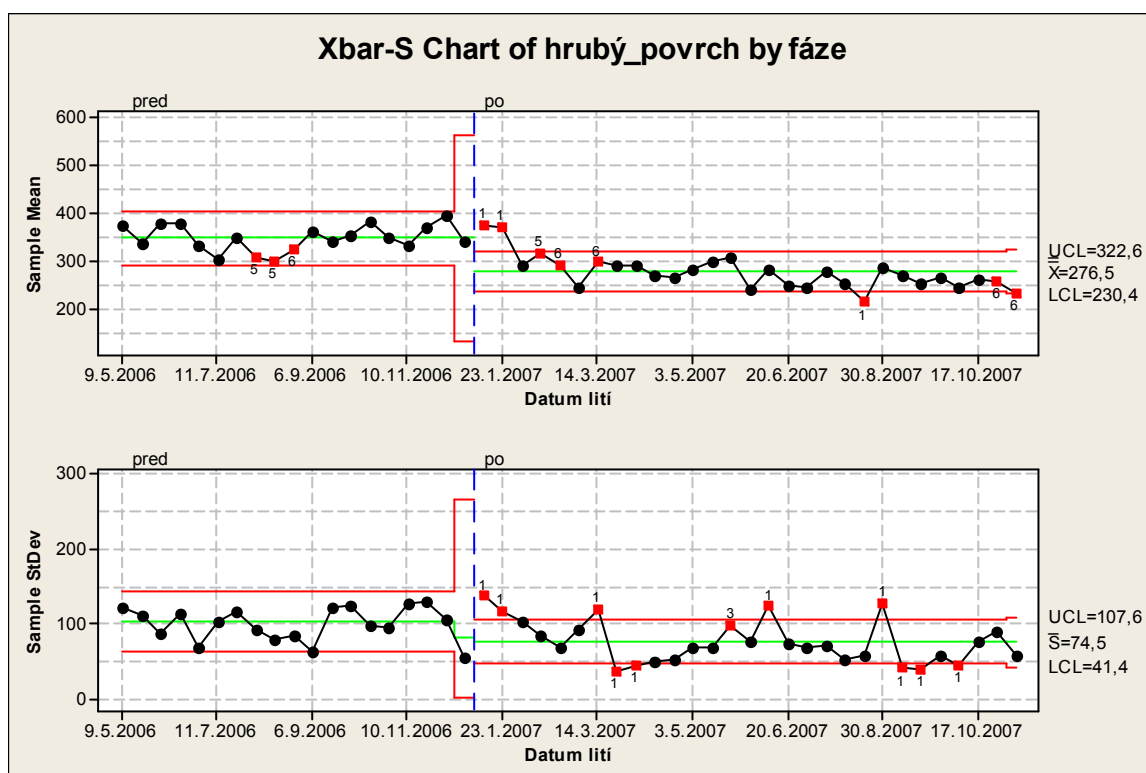
Při porušení pravidla č. 2 = „9 hodnot je na téže straně od centrální linie“ je pravděpodobné, že došlo k posunu střední hodnoty, snížení variability mezi podskupinami, jsou buď příliš široké anebo neodpovídající regulační meze a nebo se vyskytla asymetrie dat.

Porušení pravidla č. 3 = „6 hodnot monotónně roste či klesá“ nám naznačuje, že by to mohl být autokorelovaný proces a nebo měření jsou závislá. Dále pak, lineární trend způsobený opotřebením anebo výpadkem. Když se podaří odstranit vymežitelnou příčinu chyb, mohlo by dojít ke zvýšení C_p .

Nesplnění pravidla č. 8 = „8 hodnot je mimo interval $\pm \sigma$ na obou stranách centrální linie“ nás upozorňuje na překročení regulačních mezí a že je zvýšená variabilita procesu. Také jde o poruchu procesu.

Z výsledku je dále patrné, že k porušení pravidel došlo nejčastěji u podskupin kolem čísla 40, která vlastně zasahují do fáze po zlepšení. A k porušení pravidel také často docházelo na začátku sledování procesu. Z tohoto důvodu je patrné, že je nutné uvažovat rozdělení fází procesu, aby nedošlo ke špatné interpretaci výsledků procesu.

■ regulační diagram $\bar{X}$ – S pro hrubý povrch v závislosti na fázi:



Výsledky testů k odhalení zvláštních případů zpracovaných statistickým softwarem:

Test Results for Xbar Chart of hrubý_povrch by fáze

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 20; 21; 40

TEST 5. 2 out of 3 points more than 2 standard deviations from center line (on one side of CL).
Test Failed at points: 8; 9; 21; 23

TEST 6. 4 out of 5 points more than 1 standard deviation from center line (on one side of CL).
Test Failed at points: 10; 23; 24; 26; 40; 47; 48

Test Results for S Chart of hrubý_povrch by fáze

TEST 1. One point more than 3,00 standard deviations from center line.
Test Failed at points: 20; 21; 26; 27; 28; 35; 41; 42; 43; 45

TEST 3. 6 points in a row all increasing or all decreasing.
Test Failed at points: 33

* WARNING * If graph is updated with new data, the results above may no longer be correct.

Ve výstupu Xbar diagramu je zřejmý výskyt „zvláštních případů“, které signalizují nečekanou změnu v chování procesu. Bylo porušeno pravidlo č. 1, 5 a 6.

Pravidlem 1 (TEST 1) = „*Jedna hodnota je mimo regulační meze*“ neprošly skupiny bodů číslo 20; 21 a 40. A tedy se vyskytla lokální porucha procesů, chybné měření, výpadek. Chybně stanovené regulační meze, malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Opakuje se to na obou stranách, může jít o zvýšení nestability nebo rozptylu dat.

Pravidlem 5 (TEST 5) = „*2 ze 3 hodnot jsou mimo interval $\pm 2\sigma$* “ neprošly skupiny bodů číslo 8; 9; 21; 23. Tyto skupiny bodů jsou varovným signálem, že může dojít k překročení regulačních mezí.

Pravidlem 6 (TEST 6) = „*4 z 5 hodnot jsou mimo interval $\pm \sigma$ na téže straně centrální linie*“ neprošly skupiny bodů číslo 10; 23; 24; 26; 40; 47; 48. Podle tohoto pravidla je pravděpodobné, že jsou posunuty střední hodnoty. Dále to je pak varování před možným překročením regulačních mezí.

U S diagramu došlo k překročení pravidel číslo 1 a 3:

Pravidla č. 1 (TEST 1) = „*Jedna hodnota je mimo regulační meze*“ u skupiny bodů číslo 5; 27; 40; 41; 43; 46; 47. A tedy se vyskytla lokální porucha procesů, chybné měření, výpadek. Chybně stanovené regulační meze, malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Opakuje se to na obou stranách, může jít o zvýšení nestability nebo rozptylu dat.

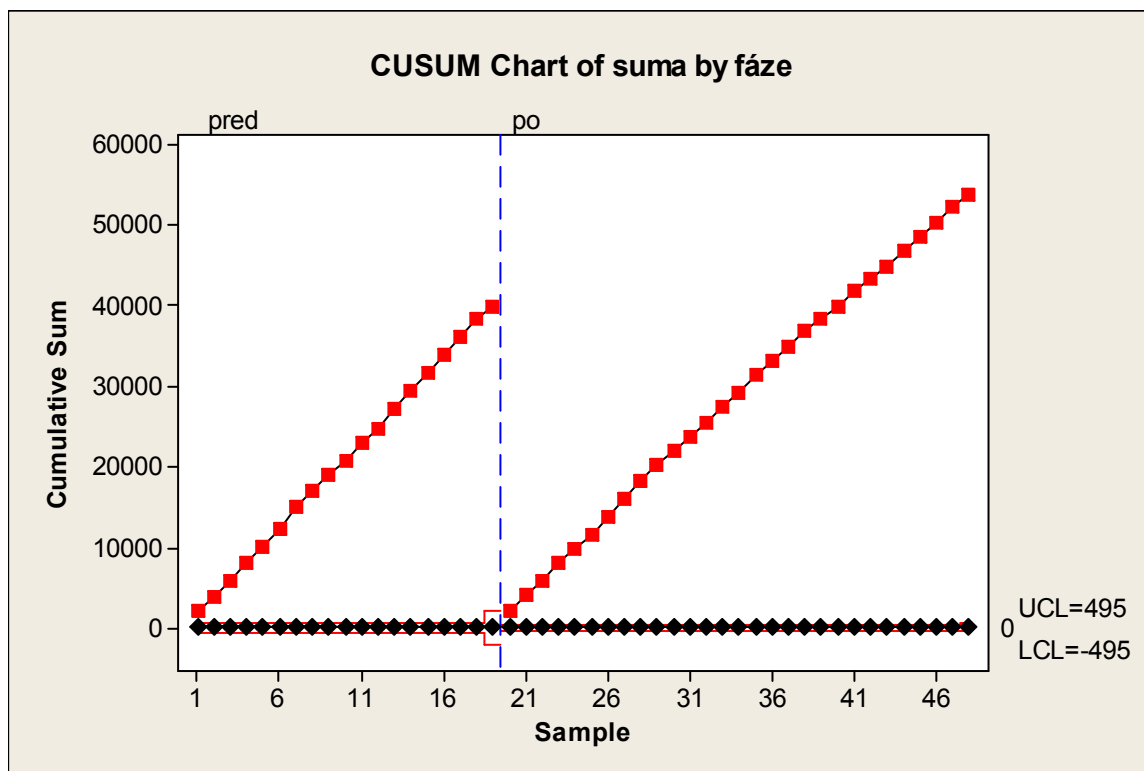
Pravidla č. 3 (TEST 3) = „*6 hodnot monotónně roste či klesá*“ nesplnily skupina bodů č. 33. Autokorelovaný proces, závislá měření. Lineární trend, způsobený opotřebením nebo výpadkem. Příliš široké regulační meze. Odstraněním vymezitelné příčiny lze někdy zvýšit C_p .

Z obou diagramů je zřejmý celkový pokles chyb po zavedení zlepšení. A celkový klesající trend výskytu chyb. Dále vidíme, že proces je kvůli výskytům „zvláštních případů“ nestabilní.

6.5 Regulační diagram CUSUM

CUSUM pochází z angl. „*Cumulative Sum Control Chart*“. CUSUM JE regulační diagram založený na metodě kumulativních součtů odchylek od cílové střední hodnoty. Oproti klasickým Shewhartovým regulačním diagramům dovede zachytit nenáhodný trend z co nejmenšího počtu výběrů. Citlivost diagramu CUSUM je 5-8krát větší než u Shewhartova regulačního diagramu. CUSUM vychází z analýzy časových řad.

- *regulační diagram CUSUM pro sumu v závislosti na fázi:*



Výsledky testů k odhalení zvláštních případů zpracovaných statistickým softwarem:

Test Results for CUSUM Chart of suma by fáze

TEST. One point beyond control limits.

Test Failed at points: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16;
17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30;
31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44;
45; 46; 47; 48

Test „*Jeden bod mimo kontrolní meze*“ nesplnila žádná skupin bodů, tj. všechny body leží mimo regulační meze UCL, LCL. Z tohoto důvodu je proces nestabilní. Z CUSUM je zřejmý dlouhodobý pokles výskytu vad.

6.6 Regrese

- regrese se používá pro zkoumání závislosti proměnných získaných z experimentu; tuto závislost vyjadřuje tzv. regresní funkce

- když je hodnota $P < 0,05$ zamítám nulovou hypotézu H_0 , která říká, že koeficienty se neliší od hodnot nula, a z tohoto důvodu musím brát člen regresní funkce v úvahu

Mám úkolem prvně bylo zjistit, jak suma závisí na datu lití.

Výstup z Minitabu 14: Regression Analysis: suma versus Datum lití

The regression equation is
 $\text{suma} = 35420 - 0,8535 \cdot \text{Datum lití}$

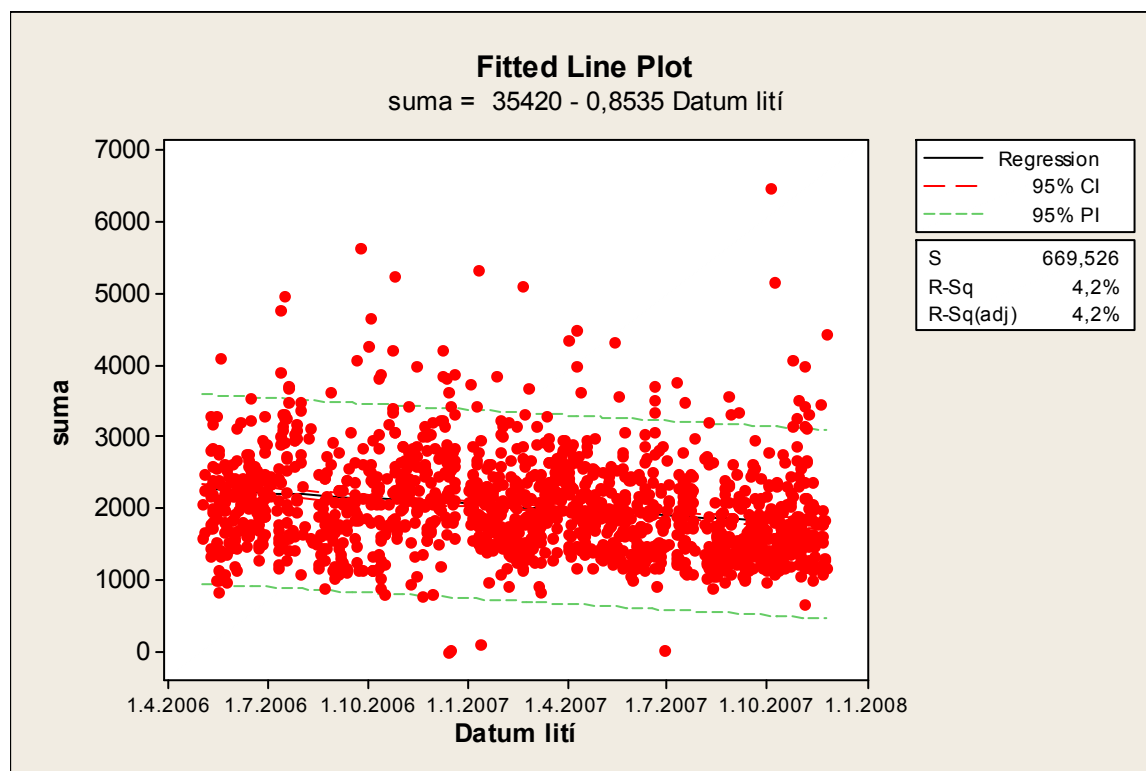
S = 669,526 R-Sq = 4,2% R-Sq(adj) = 4,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	27824387	27824387	62,07	0,000
Error	1404	629365061	448266		
Total	1405	657189448			

Rovnice regresní přímky má tvar: $\text{suma} = 35420 - 0,8535 \cdot \text{Datum lití}$. Z této rovnice se dá vyčíst pokles průměrného času na vícepráci, který je 0,8535 minut za den, tj. 311,5275 minut za rok.

Podle hodnot S a R-Sq, R-Sq(adj.) vidím, že to není zcela vhodný model. Když hledám vhodný model, tak se dívám na tyto hodnoty. Čím je hodnota S blíže 100% a hodnoty R-Sq jsou vyšší, tím je model přesnější. V tomto případě nám šlo o posouzení, zda to má klesající charakter, o který firmě vlastně šlo.



Černá čára označuje regresní křivku. Červená přerušovaná čára (CI) pak značí pás spolehlivosti, který udává nepřesnost regresní přímky. Zelenou přerušovanou čarou je označen toleranční pás (PI), v kterém můžeme očekávat další měření.

Dalším mým úkolem bylo nalézt vhodný regresní model.

Regression Analysis: suma versus Číslo zakázky MCZMF; šířka; ...

The regression equation is

suma = - 103 - 0,0000002 Číslo zakázky MCZMF + 11,2 šířka
+ 8,85 tloušťka + 209 T_komplexity

1391 cases used, 15 cases contain missing values

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-102,5	308,3	-0,33	0,740
Číslo zakázky MCZMF	-0,00000020	0,00000003	-6,61	0,000
šířka	11,2342	0,6402	17,55	0,000
tloušťka	8,853	1,762	5,02	0,000
T_komplexity	209,13	14,47	14,45	0,000

S = 561,581 R-Sq = 32,6% R-Sq(adj) = 32,4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	211831695	52957924	167,92	0,000
Residual Error	1386	437107374	315373		
Total	1390	648939069			

Tento model je vzhledem k R-Sq nejvhodnější, který jsem sestrojila (vytvořila jsem všechny lineární kombinace vstupních faktů). Vidím, že ještě hodnota P u konstanty nesplňuje nulovou hypotézu, která říká, že konstanta může být nula, tj. P hodnota je vyšší jak 0,05 a tak ji z modelu musím vypustit. Po úpravě:

Regression Analysis: suma versus Číslo zakázky MCZMF; šířka; ...

The regression equation is

suma = - 0,0000002 Číslo zakázky MCZMF + 11,1 šířka + 8,48 tloušťka
+ 209 T_komplexity

1391 cases used, 15 cases contain missing values

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
Číslo zakázky MCZMF	-0,00000021	0,00000002	-10,53	0,000
šířka	11,0923	0,4770	23,25	0,000
tloušťka	8,483	1,367	6,21	0,000
T_komplexity	209,06	14,47	14,45	0,000

S = 561,401

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	5889718049	1472429512	4671,84	0,000
Residual Error	1387	437142251	315171		
Total	1391	6326860300			

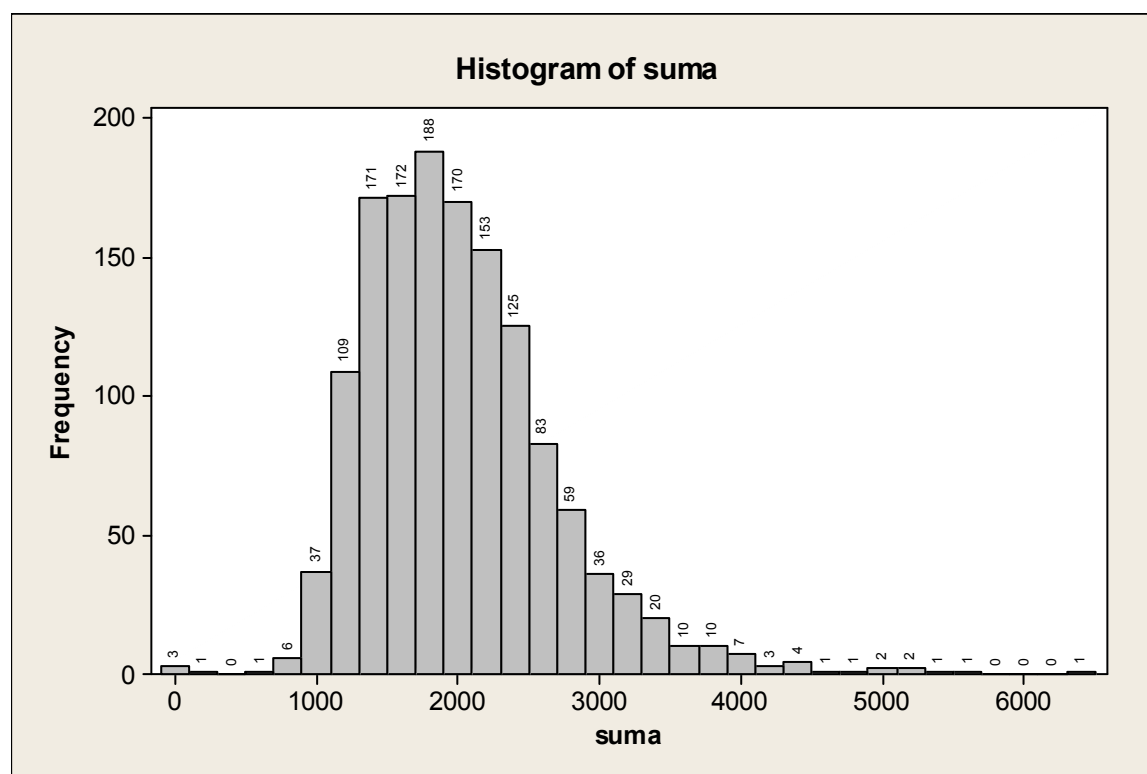
Rovnice regrese tedy má následující tvar:

$$\text{suma} = -0,0000002 \cdot \text{Číslo zakázky MCZMF} + 11,1 \cdot \text{šířka} + 8,48 \cdot \text{tloušťka} + 209 \cdot T_komplexity$$

6.7 Histogram

Podle tvaru grafu histogramu vidím, že naše data mají kladné zkosení, které obvykle signalizuje abnormalitu dat. Ta může být způsobena např. fyzikální podstatou měřené veličiny (která má exponenciální průběh) nebo nebyly zaznamenány všechny hodnoty.

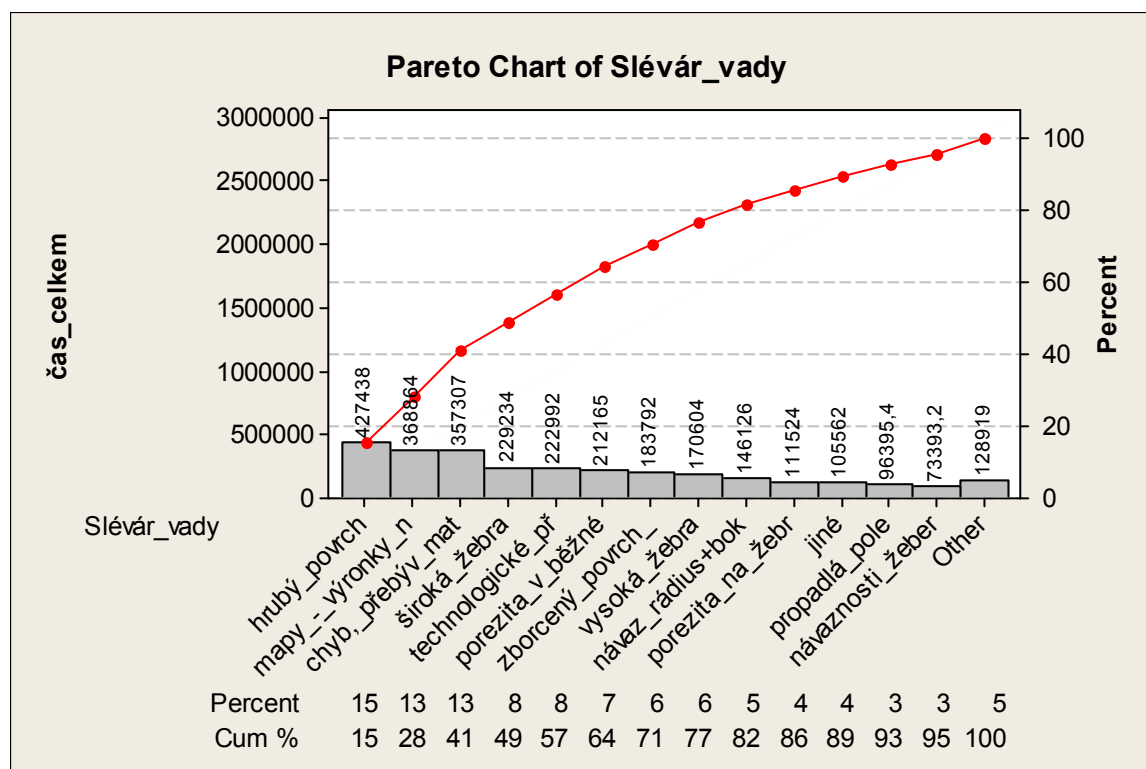
Dále z grafu mohu vyčíst, že nejvíce minut potřebných na opravu všech vad odlitých forem pneumatik je 2000 minut, která se vyskytuje u 188 ks forem. Druhý nejvyšší čas je 1800, který je potřebný na opravu všech vad, jenž se vyskytly u forem pneumatiky, je u 172 případů.



6.8 Paretův diagram

- znázorňuje četnost, v našem případě jde o minuty potřebné na opravu výskytu jednotlivých vad od nejčastějších po ty nejméně časté
- určuje jejich podíl na celkovém účinku a tím naznačuje prioritu přiřazené, tj. kterými vadami by se člověk měl nejdříve zabývat

■ *Paretův diagram „Slévárenské vady“:*



- nejvíce času na opravu u všech pneumatik zabere oprava hrubého povrchu. Na celkovém počtu výskytu vady a následné opravě se podílí z 15% . Pak následují výronky na žebrech (13-ti % podíl na celkové sumě)
- mezi životně důležité vady, tj. ty které mají rozhodující vliv:
 - podle 50-ti % kritéria patří vady všechny vady ležící mezi „hrubý povrch“ a „technologické přídatky“, další vady jsou už nepodstatné
 - podle průměrného počtu životně důležité vady jsou od „hrubý povrch“ po „vysoké žebra“, další jsou nepodstatné vady

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zanalyzovat proces výroby forem pneumatik zejména za použití nástrojů metody Six Sigma. Tyto formy jsou využívány k výrobě plášťů. K lepšímu porozumění čísel a názvů u zadaných dat, byly uvedeny základní charakteristiky plášťů pneumatik.

V první teoretické části jsme se seznámili v poslední době čím dál tím více expandující metodou zlepšování a tou je metoda Six Sigma. V úvodu jsem se v krátkosti zmínila o jejím vzniku. Dále pak o základních nástrojích metody Six Sigma. Jsou zde také uvedeny principy metody Six Sigma. Aby metoda Six Sigma byla účinná je nutné do procesu zlepšování zapojit všechny osoby podniku a s tím souvisí i nutnost školení. Každý v metodě zlepšování dle metody Six Sigma má své místo.

Metoda Six Sigma má také svoji strategii řízení. Existují 3 druhy – zlepšování procesů, návrh procesů a procesní řízení. Implementace metody Six Sigma do podniku / procesu probíhá v pěti krocích. A těmi jsou identifikace klíčových zákazníků a procesů, pak definování požadavků zákazníků, sledování současné výkonnosti, dále pak analýza možných zlepšení, jejich rozbor a zavedení do praxe a nakonec rozšíření metodologie Six Sigma do celého podniku.

Dále metoda Six Sigma má také svůj specifický model zlepšování, kterým je DMAIC. Je to pětifázový model zlepšování. DMAIC je zkratka, utvořena z počátečních písmen všech pěti fází a těmi jsou: „**Define-Measure-Analyze-Improve-Control**“, v češtině jsou to fáze Definování-Měření-Analýza-Zlepšení-Řízení. Mým úkolem bylo více se zaměřit na prostřední fázi, kterou je „fáze Analýza“.

Jako poslední jsem se v teoretické části věnovala nástrojům metody Six Sigma, které jsem pak použila na konkrétní výrobní proces. Zmínila jsem se o pokročilých nástrojích metody Six Sigma a jejich použití. Podrobněji jsem se zaměřila hlavně na regulační diagramy a regresní analýzu. Dále pak jsem se zabývala Paretovou analýzou.

V praktické části jsem představila firmu Barum Continental, která nám poskytla data. Podrobně sledovali výrobní proces a zaznamenávali údaje o procesu. Data zahrnují období od června roku 2006 do konce roku 2007. Během této doby došlo k zásahu do procesu; na začátku února roku 2007. Mým úkolem bylo tento proces zanalyzovat a přesvědčit se, že díky tomuto došlo ke zlepšení odlévání forem pneumatik a tím i k poklesu časů na vícepráci (tj. k odstranění všech vad vyskytnuvších u formy).

Jako první jsem udělala součet všech vad, které se vyskytly na dané položce. Pak jsem udělala základní statistickou analýzu procesu. Z ní vyšlo najevo, že vadou forem pneumatiky, která potřebuje nejvíce minut na vícepráci je „hrubý povrch“, pak „mapy_výronky_na_žebrech“ a „chyb_přebýv_mater.u_lamel“.

Následně jsem na daný proces aplikovala regulační diagramy. Použila jsem regulační diagram XBar-S a CUSUM na sumu časů na odstranění vad forem pneumatik a na nejčastější vadu – „hrubý povrch“. Regulační diagram je vztažen k datu lití. Jako první jsem ze zadaných

dat vytvořila pomocí statistického software Minitab, verze 14, regulační diagramy XBar-S. Udělala jsem je v závislosti na fázi zlepšení a pak bez ní. V diagramech, kde se neuvažovala fáze zlepšení se častěji docházelo porušení pravidel pro určování zvláštních případů. Většina z nich naznačovala varování před překročením regulačních mezí, že tedy možnost, že jsou chybně stanoveny meze. Dále se pak u hrubého povrchu objevilo porušení pravidla číslo 8, které naznačuje, že se zvýšila variabilita mezi podskupinami a také, že došlo k poruše procesu (toto porušení se u diagramu XBar-S s uvedením fází zlepšení neobjevuje). Aby výsledky o procesu nebyly formulovány, je nutné brát v úvahu fázi zlepšení, která v procesu proběhla. Přes zlepšení je proces pořád nestabilní.

V regulačním digramu CUSUM všechny skupiny bodů překročili regulační meze, jak v případě „sumy“, tak i v případě „hrubého povrchu“. Když porovnáme regulační diagram s uvedením fáze a bez ní, zjistíme, že se regulační meze u diagramu s fází zlepšení zmenšili.

Poté jsem udělala regresní analýzu. Zajímalo nás jaká je závislost sumy vad forem pneumatiky na datu lití. Využili jsme lineární regresi. Zjistili jsme, že dochází k poklesu času na vícepráci vad forem pneumatiky, každý den o 0,8535 minuty, tj. 311,5275 minut za rok. Daný model ale není adekvátní, což nám ukázaly hodnoty S a R-Sq, R-Sq(adj.). V tomto případě nám to moc nevadilo, neboť jsme měli posoudit, zda to má klesající charakter, o který firmě vlastně šlo. To se i potvrdilo.

Následně jsem ze zadaných dat hledala nejvhodnější regresní model s lineární závislostí koeficientů. Dana rovnice regresní přímky má tvar:

$$\text{suma} = - 0,0000002 \cdot \text{Číslo zakázky MCZMF} + 11,1 \cdot \text{šířka} + 8,48 \cdot \text{tloušťka} + 209 \cdot T_komplexity$$

Dále jsem se zadaných dat utvořila histogram. Z grafu mohu můžeme vyčíst, že nejvíce minut potřebných na opravu všech vad odlitých forem pneumatik je 2000 minut, která se vyskytuje u 188 ks forem. Následně jsem pak provedla Paretovu analýzu na součet minut potřebných na opravu všech vad na dané formě, pro hrubý povrch a na typy forem pneumatik. Nakonec jsem vytvořila krabicový a bodový graf pro sumu.

Firmě Barum Continental šlo o prokázání zlepšení ve výrobě, pro úpravě výrobního procesu. K další změně došlo počátkem tohoto roku a tedy moje práce má spíše posloužit jako materiál, s kterým se bude porovnávat nový proces výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Barum Continental spol. s.r.o. [online]. c2007 [cit. 2008-03-28]. Dostupné na Internetu: <<http://www.contitrade.cz/main.php>>
- [2] Barum Continental spol. s.r.o. *Slovník oboru pneumatik*. [online]. c2008 [cit. 2008-03-28]. Dostupné na Internetu: <http://www.conti-online.com/generator/www/cz/cz/barum/automobil/temata/vyber_pneumatiky/master_reifenle_xikon_cz.html>
- [3] FIALA, A. *Statistické řízení jakosti: Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1997. 95 s. ISBN: 80-214-0895-2.
- [4] FBE Bratislava, s.r.o.. *Six Sigma*. [online]. c2007 [cit. 2007-12-10]. Dostupné na Internetu: <<http://www.sixsigma.sk/index.htm>>.
- [5] KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost*. 2. dopl. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2003. 170 s. ISBN: 80-214-2522-9
- [6] KUPKA, K., *Statistické řízení jakosti*. 2. vyd. Pardubice: TriloByte, 2001. 191 s. ISBN 80-238-1818-X.
- [7] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Kompendium statistického zpracování dat: Metody a řešené úlohy včetně CD*. 1. vyd. Praha: Academia, 2002. 764 s. ISBN 80-200-1008-4.
- [8] MILITKÝ, J., *Statistické techniky v řízení jakosti*. Pardubice: TriloByte, 1997. 66 s.
- [9] PANDE, P. S., CAVANAGH, R. R., NEUMAN, R. P. *Zavádíme metodu Six Sigma: aneb jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. 1. vyd. Brno: TwinsCom, 2002. 416 s. ISBN: 80-238-9289-4.
- [10] SC&C Partner. *Co je Six Sigma?* [online]. c2007 [cit. 2007-11-08]. Dostupné na Internetu: <<http://www.scacp.cz/cz/lean-a-six-sigma/co-je-six-sigma/>>.
- [11] TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. 1. vyd. Ostrava: Montanex a.s., 2000. 262 s. ISBN: 80-7225-040-X.
- [12] TriloByte. *Regulační diagram CUSUM.* [online]. c2001 [cit. 2008-04-07]. Dostupné na Internetu: <<http://www.trilobyte.cz/qcsum.htm>>
- [13] Vlastní cesta, STŘELEČ, J. *Akademie: Six Sigma*. [online]. c2006-2008 [cit. 2008-11-08]. Dostupné na Internetu: <<http://www.vlastnicesta.cz/akademie/system-kvality/kvalita-metody/six-sigma/>>
- [14] TriloByte. *Regulační diagram CUSUM.* [online]. c2001 [cit. 2008-04-07]. Dostupné na Internetu: <<http://www.trilobyte.cz/qcsum.htm>>

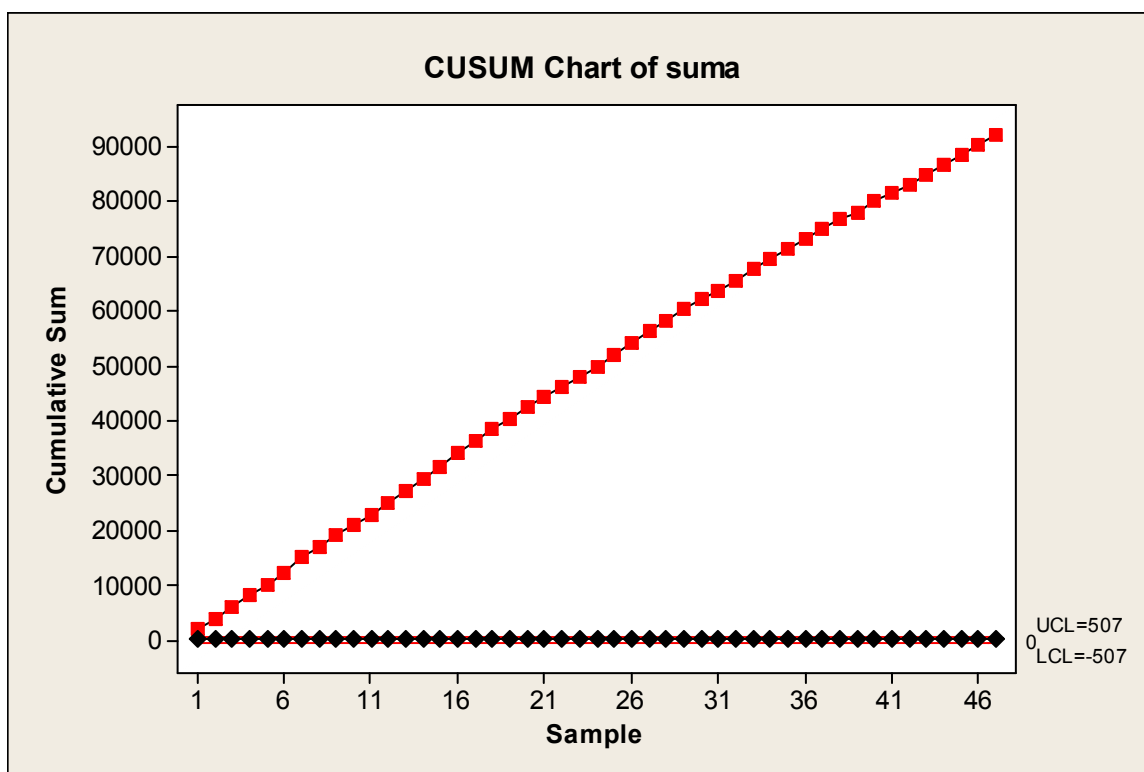
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\bar{x}$	výběrový průměr
$\bar{x}$	průměrná hodnota procesu
μ	střední hodnota veličiny
σ	směrodatná odchylka veličiny
Analýza R&R	<i>opakující se pozorování z hlediska přesnosti, opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a stability</i>
CL	„ <i>Central Line</i> “ = centrální přímka
C_p	index způsobilosti procesu
CUSUM	regulační diagram pro <i>kumulativní součty</i>
DMAIC	„ <i>Define-Measure-Analyze-Improve-Control</i> “ = „Definice-měření-analýza-zlepšení-řízení“; pětifázový model zlepšení dle metody Six Sigma
DOE	návrh experimentů
DPMO	„ <i>Defects Per Milion Opportunities</i> “ = počet vad na milion příležitostí
DPO	„ <i>Defects per Oportunity</i> “ = počet vad na příležitost
DPU	„ <i>Defect per Units</i> “ = počet vad na jednotku“
LCL	„ <i>Lower Control Limit</i> “ = dolní regulační mez
LSL	„ <i>Lower Specification Limit</i> “ = dolní toleranční limit
r	koefficient korelace
SIPOC	„ <i>Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customer</i> “ = diagram, což je často využívaná technika řízení a optimalizace procesů
SPC	Statistické řízení procesu
UCL	„ <i>Upper Control Limit</i> “ = horní regulační mez
USL	„ <i>Upper Specification Limit</i> “ = horní toleranční limit
VOC	„ <i>Voice of customer</i> “ = hlas zákazníka

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM PRO SUMA (bez uvedení fáze)
Příloha B: REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM PRO HRUBÝ POVRCH (bez uvedení fáze)
Příloha C: REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM PRO HRUBÝ POVRCH
Příloha D: HISTOGRAM SUMY ČASŮ VAD FOREM PNEUMATIK
Příloha E: HISTOGRAM PRO HRUBÝ POVRCH
Příloha F: GRAF KORELACE SUMY ČASŮ VAD FOREM PNEUMATIK
Příloha G: KRABICOVÝ GRAF VŠECH VAD FOREM PNEUMATIK
Příloha H: PARETO DIAGRAM VŠECH SLÉVÁRENSKÝCH VAD
Příloha I: PARETO DIAGRAM SUMA ČASŮ VZHLEDEM K NÁZVU FOREM
Příloha J: PARETO DIAGRAM ČASŮ HRUBÉHO POVRCHU PODLE NÁZVU FOREM
Příloha K: PARETO DIAGRAM SUMY VŠECH ČASŮ FOREM PNEUMATIK PODLE ROZMĚRŮ

Příloha A: REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM PRO SUMA (bez uvedení fáze):

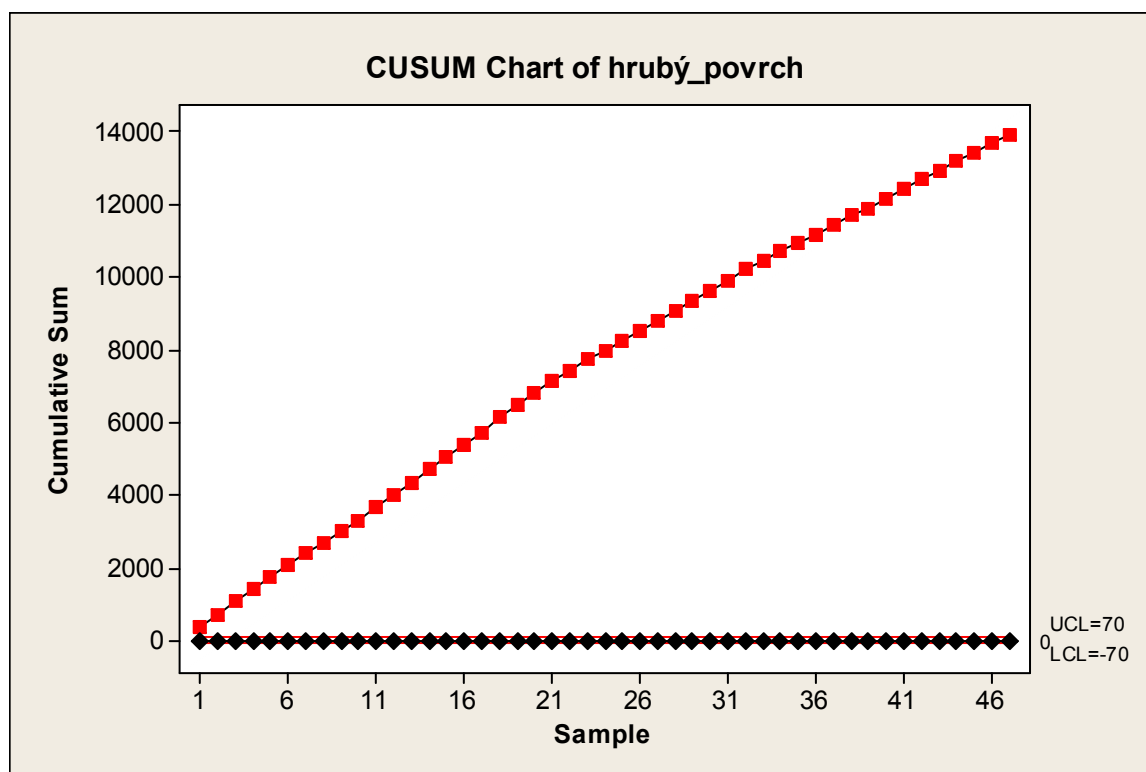


Test Results for CUSUM Chart of suma

TEST. One point beyond control limits.

Test Failed at points: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16;
17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30;
31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44;
45; 46; 47

Příloha B: REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM PRO HRUBÝ POVRCH (bez uvedení fáze):

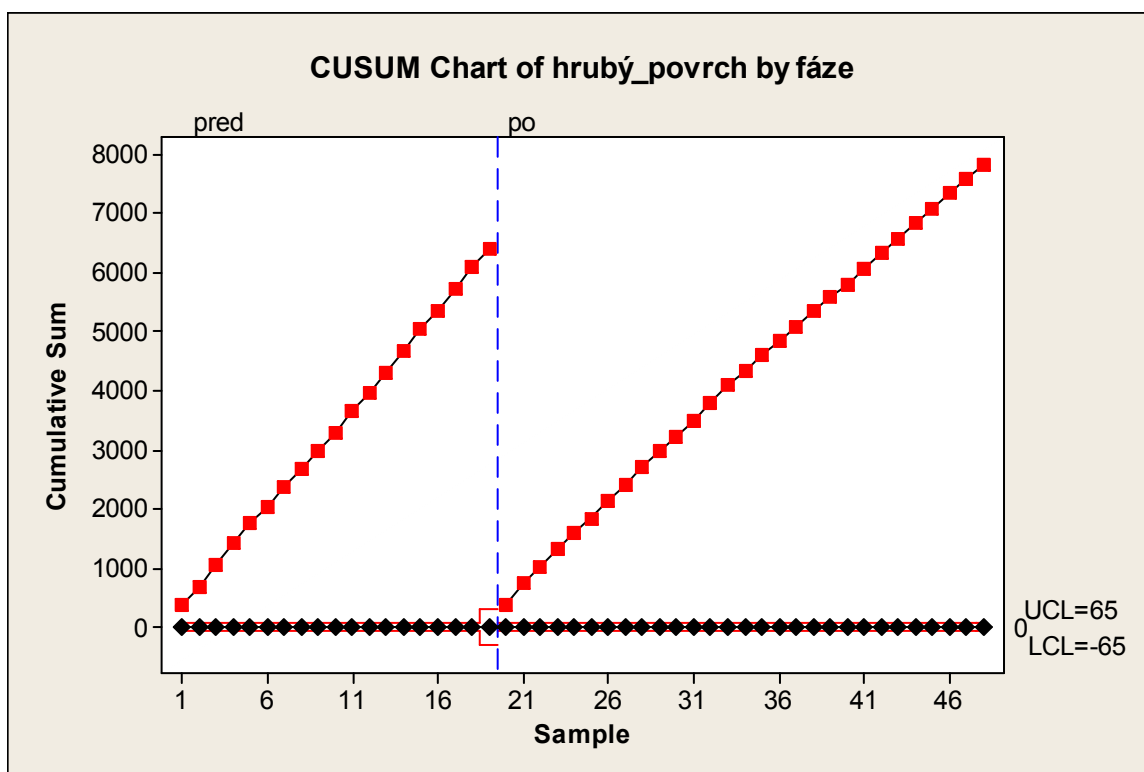


Test Results for CUSUM Chart of hrubý_povrch

TEST. One point beyond control limits.

Test Failed at points: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16;
17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30;
31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44;
45; 46; 47

Příloha C: REGULAČNÍ DIAGRAM CUSUM PRO HRUBÝ POVRCH:

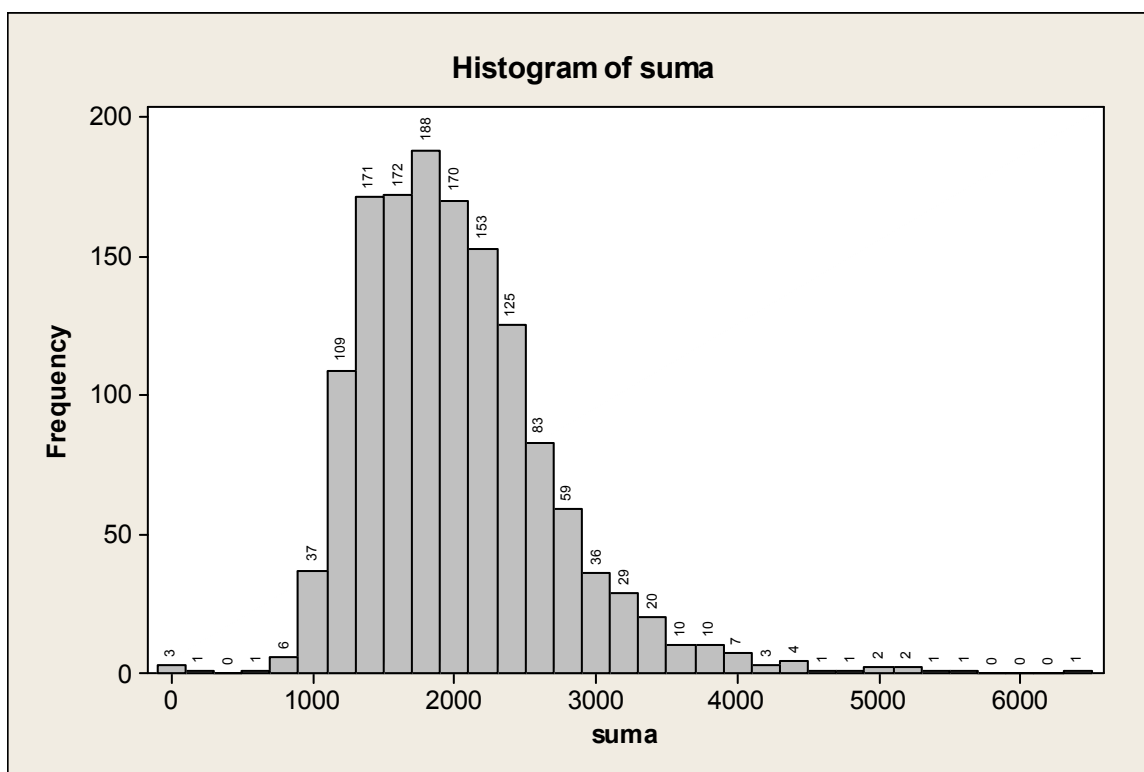


Test Results for CUSUM Chart of hrubý_povrch by fáze

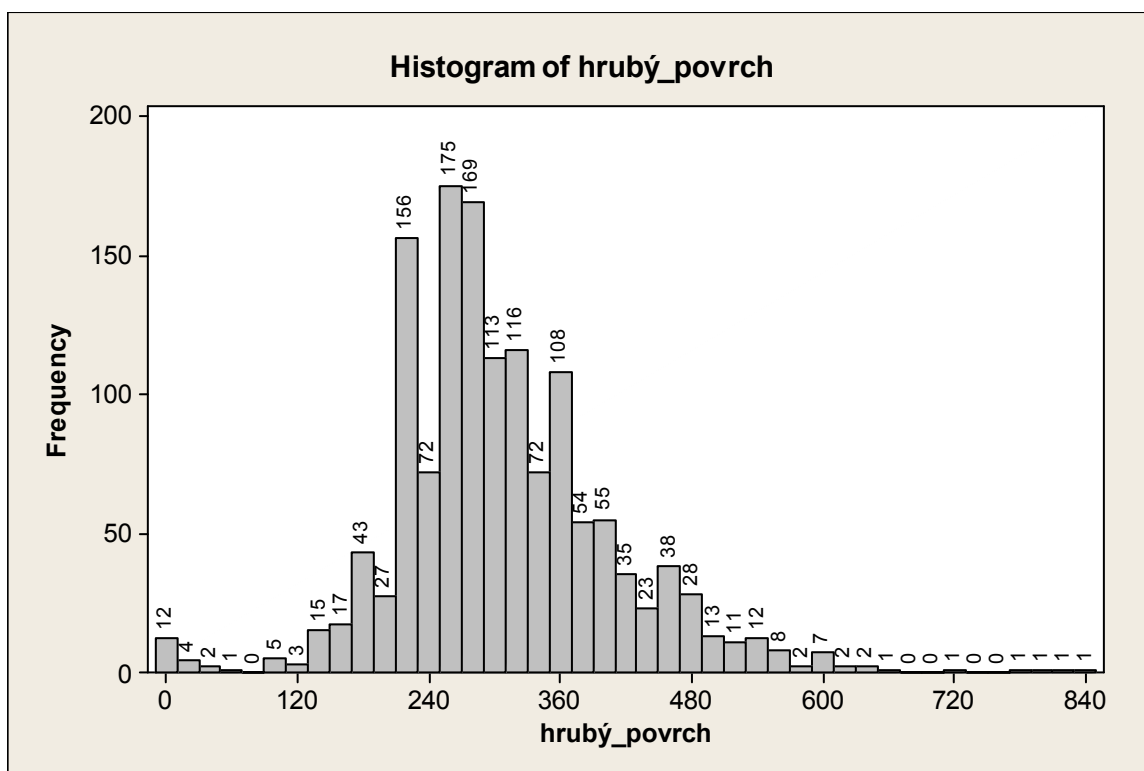
TEST. One point beyond control limits.

Test Failed at points: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16;
17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30;
31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44;
45; 46; 47; 48

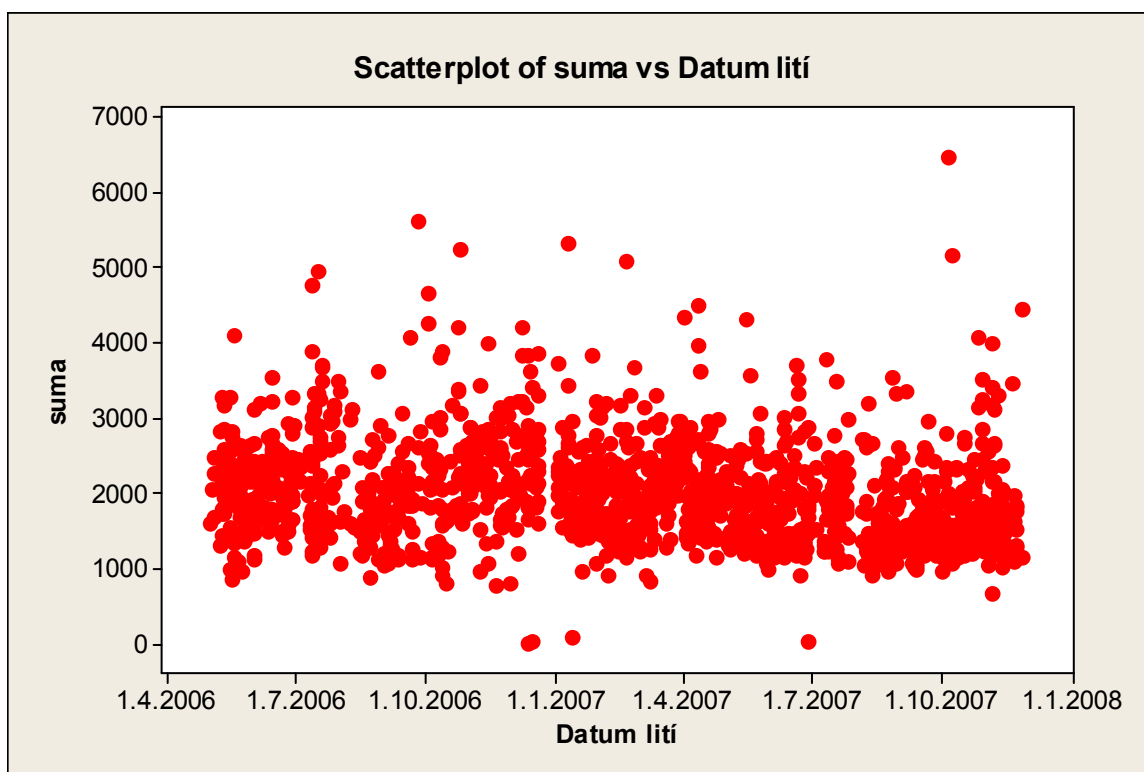
Příloha D: HISTOGRAM SUMY ČASŮ VAD FOREM PNEUMATIK:



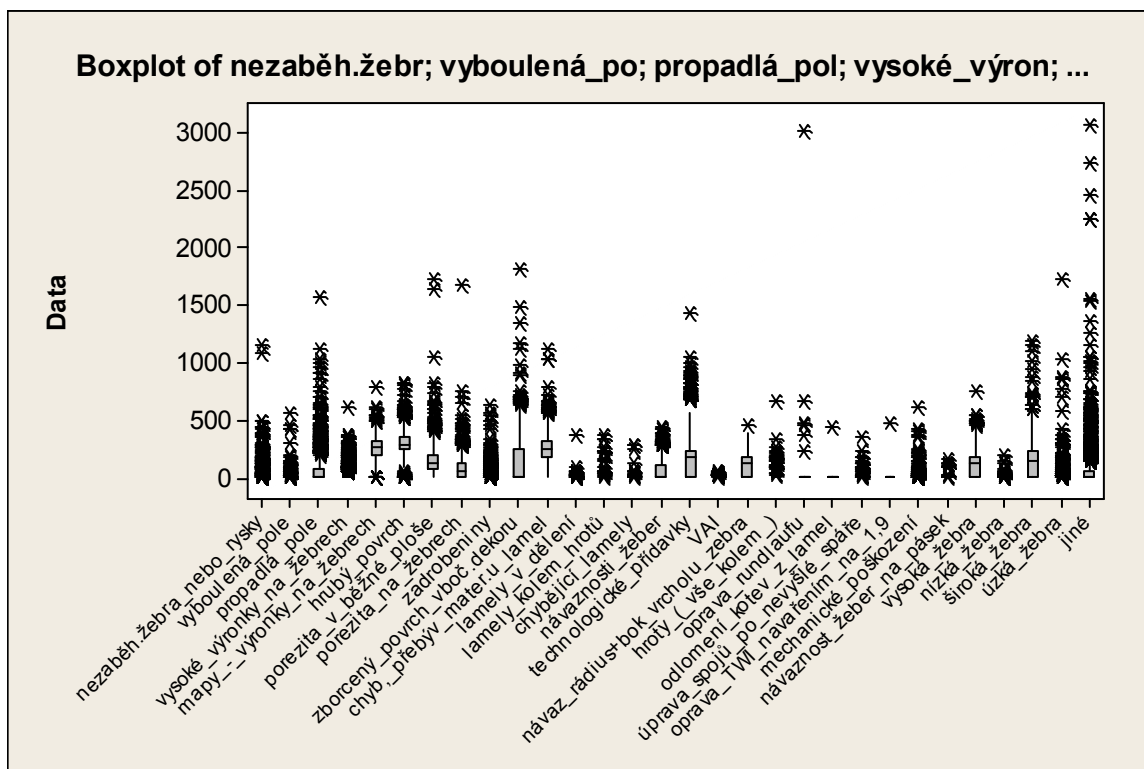
Příloha E: HISTOGRAM PRO HRUBÝ POVRCH:



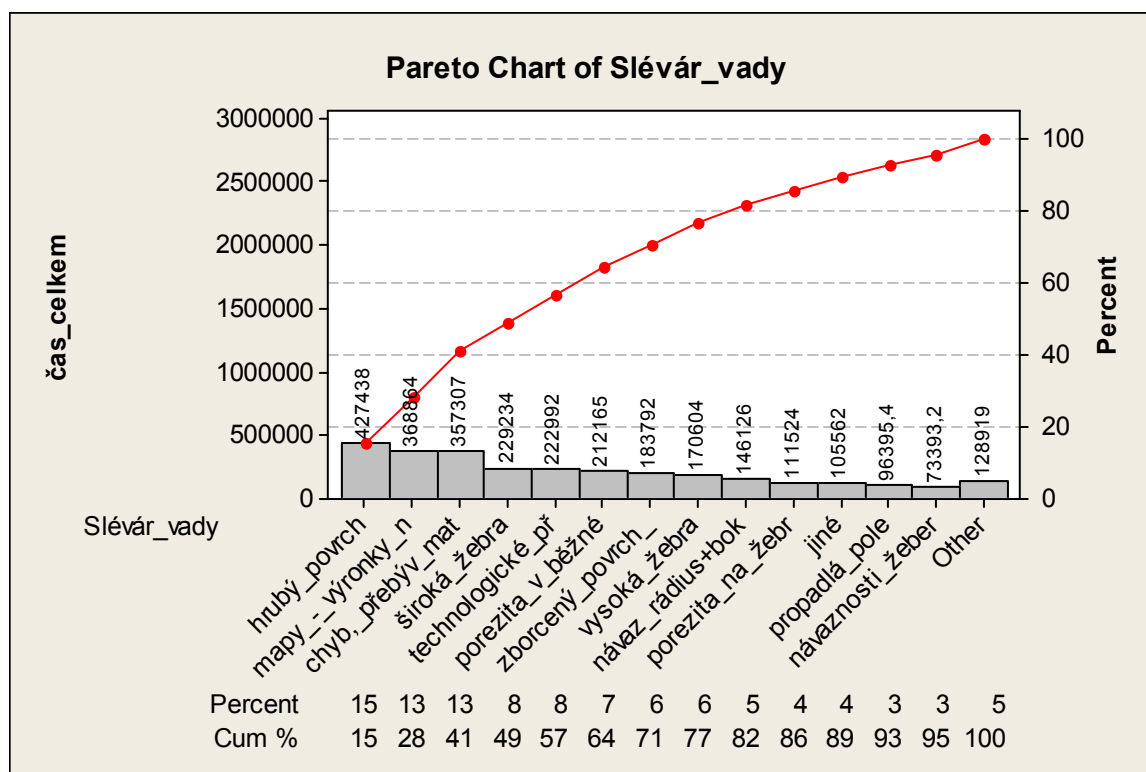
Příloha F: GRAF KORELACE SUMY ČASŮ VAD FOREM PNEUMATIK:



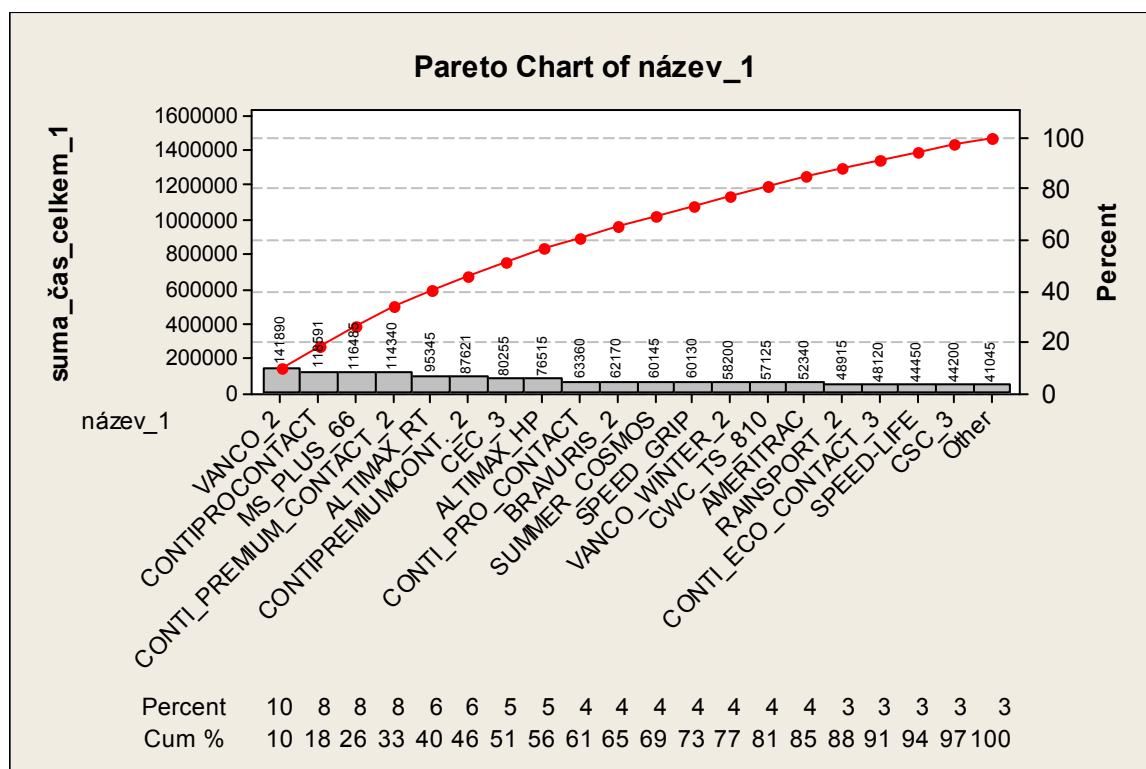
Příloha G: KRABICOVÝ GRAF VŠECH VAD FOREM PNEUMATIK:



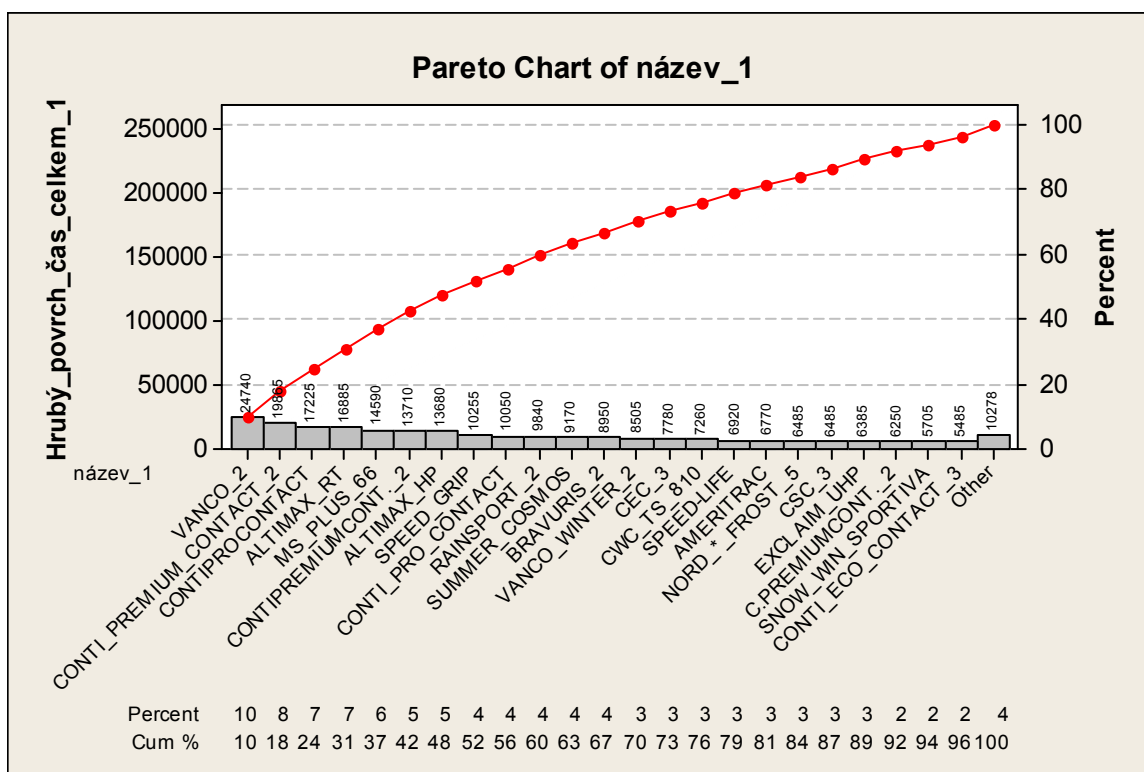
Příloha H: PARETO DIAGRAM VŠECH SLÉVÁRENSKÝCH VAD:



Příloha I: PARETO DIAGRAM SUMA VŠECH ČASŮ VZHLEDEM K NÁZVU FOREM:



Příloha J: PARETO DIAGRAM ČASŮ HRUBÉHO POVRCHU PODLE NÁZVU FOREM:



Příloha K: PARETO DIAGRAM SUMY VŠECH ČASŮ FOREM PNEUMATIK PODLE ROZMĚRŮ:

