

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav řízení a ekonomiky podniku

**Statistická analýza a regulace výrobního procesu
v podniku**

Statistical process analysis and control in a company

Diplomová práce

Studijní obor

Výroba a ekonomika ve strojírenství

Autor:

Viktor Vassilenko

Vedoucí práce:

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.

Praha

2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svojí diplomovou práci zpracoval samostatně a v seznamu uvedl veškerou použitou literaturu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejícím s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 17.08.2018

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce, Ing. Barbora Stieberová, Ph.D., za cenné připomínky, trpělivost a doporučenou literaturu, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

Dále děkuji manažerům společnosti Continental AG za poskytnutá data a spolupráci.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vassilenko** Jméno: **Viktor** Osobní číslo: **384322**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení a ekonomika podniku**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Statistická analýza a regulace výrobního procesu v podniku

Název diplomové práce anglicky:

Statistical process analysis and control in a company

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod, cíle a úkoly práce
2. Teoretická východiska - předpoklady, typy regulačních diagramů, postupy, Six Sigma
3. Praktická část
- analýza stávajícího stavu statistické regulace výrobního procesu u vybraných výrobků,
- vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu u vybraných výrobků, optimalizace statistické regulace výrobního procesu
4. Návrh doporučení pro podnik, závěr

Seznam doporučené literatury:

1. DeVor, R. E., Chang, T.H., Sutherland, J. W. Statistical quality design and control: contemporary concepts and methods, Prentice Hall, 2007, 2nd ed.
2. Tošenovský, J., Noskovičová, D. Statistické metody pro zlepšování jakosti, Montanex, 2000
3. Václavěk, J. Statistická regulace výrobních procesů, 1996.
4. Statistická regulace procesů (SPC): příručka; [Překl. Jiří Michálek]. Česká společnost pro jakost, 2006, 2. vyd.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

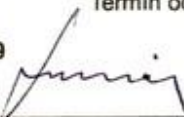
Datum zadání diplomové práce: **10.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **03.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2019**



Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis otkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.04.2018

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Anotace

Předmětem diplomové práce „Statistická analýza a regulace výrobního procesu v podniku“ je teoretický rozbor problematiky statistické analýzy a regulace a následná aplikace této teorie v praxi. První část práce zahrnuje teoretický základ, především vymezení základních přístupů pro analýzu jakosti výrobního procesu, a definování nástrojů pro management jakosti podniku. V druhé části je aplikace statistických metod v praxi v společnosti Continental AG.

Annotation

The subject of the thesis "Statistical analysis and regulation of the production process in the enterprise" is the theoretical analysis of the problems of statistical analysis and regulation and subsequent application of this theory in practice. The first part of the thesis includes a theoretical basis, namely defining the basic approaches for the analysis of the quality of the production process and defining the tools for the quality management of the company. The second part is application of statistical methods in practice at Continental AG.

Klíčová slova

Statistická analýza, statistická regulace, variabilita, regulační diagram, Shewhartovy diagramy, hodnocení způsobilosti, indexy způsobilosti

Keywords

Statistical analysis, statistical regulation, variability, control chart, Shewhart diagrams, eligibility rating, capability index

Obsah

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | Teoretická část..... | 8 |
| 1.1. | Úvod | 8 |
| 1.2. | Statistická analýza výrobního procesu | 8 |
| 1.2.1. | Systematické a náhodné jevy..... | 9 |
| 1.2.2. | Vliv přesnosti výrobního zařízení na výrobní proces | 10 |
| 1.2.3. | Typy procesů | 11 |
| 1.2.3.1. | Proces typu A | 12 |
| 1.2.3.2. | Proces typu B..... | 12 |
| 1.2.3.3. | Proces typu C..... | 13 |
| 1.2.3.4. | Proces typu D | 13 |
| 1.2.4. | Ukazatele způsobilosti..... | 14 |
| 1.2.4.1. | Index Cp | 14 |
| 1.2.4.2. | Index Cpk | 16 |
| 1.3. | Statistická regulace..... | 16 |
| 1.3.1. | Fáze statistické regulace procesu | 17 |
| 1.3.1.1. | Přípravná etapa | 17 |
| 1.3.1.2. | Etapa zabezpečení stability procesu | 17 |
| 1.3.1.3. | Etapa analýzy způsobilosti procesu:..... | 18 |
| 1.3.1.4. | Etapa vlastní statistické regulace | 18 |
| 1.3.2. | Regulační diagram..... | 18 |
| 1.3.3. | Analýza regulačního diagramu | 19 |
| 1.3.4. | Statistická regulace měření | 20 |
| 1.3.4.1. | Průměr a rozpětí..... | 20 |
| 1.3.4.2. | Průměr a směrodatná odchylka | 21 |
| 1.3.5. | Odhady parametrů | 21 |
| 1.3.6. | Statistická regulace srovnáváním | 22 |
| 1.3.7. | Statistická regulace metodou kumulovaných součtů | 23 |
| 1.3.7.1. | Princip metody kumulovaných součtů..... | 24 |
| 1.3.7.2. | Rozhodovací maska | 24 |
| 1.3.8. | Diagramy EWMA | 26 |
| 1.4. | Statistická přejímka | 29 |
| 1.4.1. | Druhy statistických přejímek dle způsobů kontroly..... | 29 |
| 1.4.2. | Druhy statistických přejímek dle postupu hodnocení..... | 30 |
| 1.4.3. | Rozdělení přejímek dle postupu při zamítnutí dávky..... | 30 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.5. | Zlepšování jakosti | 31 |
| 1.5.1. | Six Sigma | 31 |
| 1.5.2. | Zavedení Six Sigma v praxi | 32 |
| 2. | Praktická část | 34 |
| 2.1. | Popis společnosti Continental AG | 34 |
| 2.2. | Statistická regulace měřením | 34 |
| 2.2.1. | Zadní kryt | 35 |
| 2.2.2. | Stabilita výrobního procesu | 37 |
| 2.2.3. | Regulační diagramy zadního krytu | 41 |
| 2.2.4. | Metoda CuSum a rozhodovací maska | 46 |
| 2.2.5. | EWMA | 47 |
| 2.2.6. | Maska palubní desky | 49 |
| 2.2.7. | Stabilita výrobního procesu | 51 |
| 2.2.8. | Regulační diagramy masky | 54 |
| 2.2.9. | Metoda CuSum a rozhodovací maska | 59 |
| 2.2.10. | EWMA | 61 |
| 2.3. | Aplikace statistické regulaci srovnáváním | 62 |
| 2.4. | Závěr | 68 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 69 |
| | SEZNAM TABULEK | 70 |
| | SEZNAM OBRAZKŮ | 71 |
| | Seznám přílohy | 74 |

1. Teoretická část

1.1. Úvod

Úkolem této diplomové práce je aplikace teoretických základů statistické analýzy a regulace ve velkém výrobním podniku.

První část této práce zahrnuje teoretické aspekty statistické analýzy a regulace výrobních procesů. Tyto aspekty jsou popsány ve dvou dimenzích, a to je statistická regulace měřením a statistická regulace srovnáváním. Kromě těchto aspektů v teoretické části jsou uvedeny různé metody pro jejich implementaci.

Cílem mé diplomové práce je zavedení statistické analýzy a regulace ve strojírenském podniku Continental AG. Praktická část je rozdělena na dvě části – statistická analýza a regulace měřením, a statistická analýza a regulace srovnáváním. Celkem bylo vybráno pět různých produktů, a analýza byla provedena od 26.10.2017.

1.2. Statistická analýza výrobního procesu

Účelem statistické analýzy výrobního procesu je odhad vybraných charakteristik na základě pravděpodobnostního rozboru tohoto procesu. Pomocí zjištěných dat lze navrhnout a aplikovat opatření, která pak bude zajišťovat optimální charakteristiky přesnosti a ustálenosti (stability) výrobního procesu.

V konceptu statistické analýzy existují dva pojmy, které musí být přesně rozhraničeny. Prvním pojmem je tak zvaná jakost návrhu. To je míra shody koncepce konstrukce nebo technologického aspektu projektu s požadovanou úrovní zákazníka. Druhý pojem je jakost výrobního provedení, a to je míra shody jednotlivého výrobku v moment převzetí s předem domluvenými charakteristikami. Z hlediska komplexního řízení jakosti tyto pojmy musejí být propojeny a integrovány ve všech podnikových úrovních.

Přesnost výrobního procesu je jeden z klíčových parametrů, který musí být sledován, protože je takovým parametrem, který vyjadřuje schopnost výrobního zařízení dodržet technický předpis nebo technologický postup, které byly stanovené dřív na základě určitých norem.

Statistická analýza výrobního procesu je založena na sledování vývoje jakosti v závislosti na čase, kdy tato jakost je vyjádřena měřitelnými nebo kvalitativními znaky. Při jakékoliv úrovni kvality výroby na jakost působí celá řada různých vlivů, které tvoří samotný a vzájemný efekt na proměnlivost jakosti.

1.2.1. Systematické a náhodné jevy

Podle četnosti výskytu jevů a jejich míry působení můžeme rozdělit tyto jevy na náhodné a systematické. Liší se v tom, že systematické jevy jsou jednoduše identifikovatelné a lze definovat příčiny jejich vzniku. Na druhé straně jsou jevy náhodné, které jsou definovány jako přirozené příčiny proměnlivosti.

Vlivy systematických jevů se řídí podle určité zákonitosti. Následky jejich působení se projevují jako odchylky v jakosti výrobků nebo procesů, které mají negativní charakter. V praxi jsou označovány za zmetky. Základní příčiny výkyvů jakosti jsou například: opotřebení nástrojů, špatná dodávka materiálu, nesprávně zvolený materiál, nesprávná zvolená technologie výroby, postupné opotřebování stroje, nedostatečná úroveň kvalifikace pracovníků a tak dále.

Vlivy náhodných jevů působí na kvalitu výrobků při každé jednotlivé činnosti výrobního procesu bez jasné zákonitosti. Nejeví žádnou tendenci. Počet náhodných vlivů ve srovnání se systematickými vlivy je větší, ale jejich působení je méně patrné. Mezi vlivy náhodnými a systematickými není přesné rozhraní.

„Na základě centrální limitní věty a statistické interpretace lze stanovit následující aspekty:

- Na výrobní proces působí náhodné vlivy, jejichž počet je veliký a jejichž působení je nepatrné.
- Předpokládáme stochastickou (pravděpodobnostní) nezávislost jednotlivých jevů.
- Působení náhodných vlivů je přibližně stejného řádu.“¹

Když na nějaký proces působí jenom náhodné vlivy, můžeme použít normální rozdělení pravděpodobnosti (Laplace-Gaussovo) pro určení četnostního rozdělení měřitelného znaku jakosti.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Funkce normálního rozdělení je určena na základě hodnot parametrů μ a σ , které označují střední hodnotu a směrodatnou odchylku. V ideálním případě tyto dvě hodnoty musí být konstantní během výrobního procesu. V případě, kdy na výrobní proces působí systematické vlivy, hodnoty těchto parametrů se budou měnit. A to se bude projevovat zhoršením kvality.

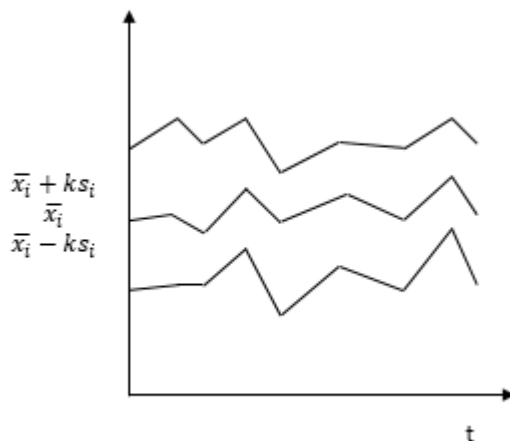
¹ KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I*. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.

V případě, kdy mezi všemi náhodnými vlivy, které působí na výrobní proces, existuje jeden dominantní vliv, musíme používat jiná rozdělení (Maxwellovo rozdělení, gama rozdělení, lognormální rozdělení).

1.2.2. Vliv přesnosti výrobního zařízení na výrobní proces

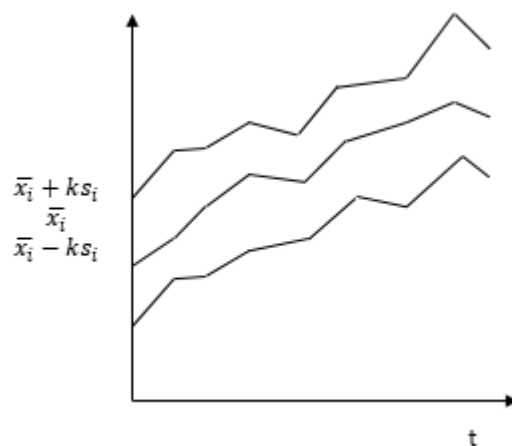
Jeden z hlavních úkolů statistické analýzy je posouzení přesnosti nastavení výrobního zařízení. Když je nějaký stroj sledován během nějakého časového úseku, můžeme sledovat změny hodnot μ a σ , a na základě toho posoudit, jestli sledovaný stroj dodržuje požadovanou úroveň přesnosti a stability.

Obyčejně se zkoumá soubor ze 150 až 300 chronologicky naměřených hodnot, který je pak rozdělen na určitý počet podskupin. A to tak, aby v každé podskupině bylo 10 až 30 hodnot. U každé podskupiny je nutné určit průměr a směrodatnou odchylku, které se pak nanášejí na svislé ose diagramu přesnosti.



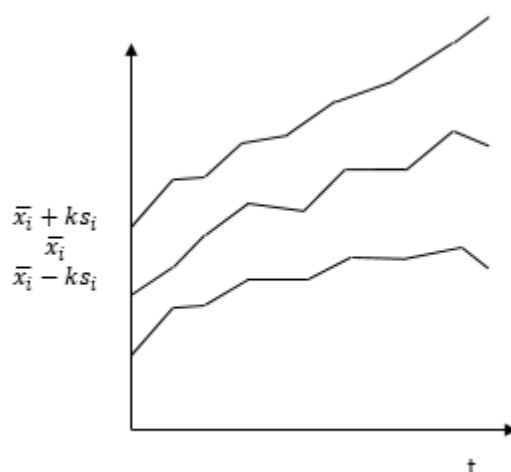
Obr. 1: Diagram přesnosti
Zdroj: Vlastní tvorba

Obrázek číslo ukazuje, že na proces nepůsobí žádné systematické vlivy. Trend podskupinových průměrů kolísá v určitých mezích. Šířka oblasti, která je tvořena trendy směrodatných odchylek, se nemění během sledovaného časového úseku t .



Obr. 2: Diagram přesnosti
Zdroj: Vlastní tvorba

Obrázek číslo zobrazuje situaci, kdy vzniká systematický vliv, který mění nastavení stroje. Ale šířka oblasti, která je ohraničena trendy směrodatných odchylek, nemění, to znamená, že přesnost se zůstává na stejné úrovni.



Obr. 3: Diagram přesnosti
Zdroj: Vlastní tvorba

Obrázek číslo popisuje situaci, kdy kvůli systematickým vlivům se mění nastavení zařízení a také se zhoršuje úroveň přesnosti.

Když výsledky statistické analýzy mají pozitivní charakter (výrobní proces je přesný a stabilní), lze přestoupit ke statistické regulaci výrobního procesu.

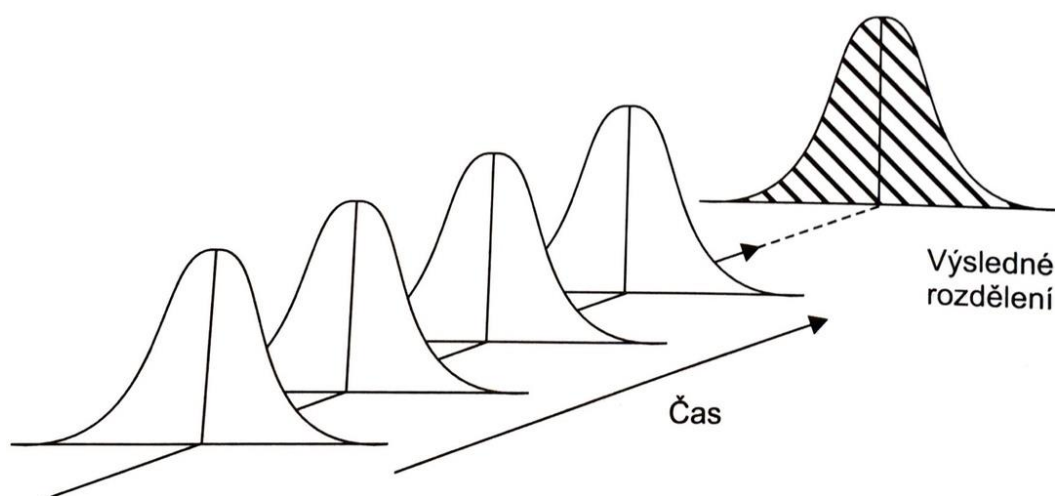
1.2.3. Typy procesů

Při identifikaci modelu sledovaného procesu rozlišujeme 4 typy procesů, které se liší v rozdělení hodnot získaných za celé období. Hlavní kritéria při určení typu procesu jsou střední hodnota a rozptyl: jestli jsou konstantní nebo ne, jestli změny jsou systematické nebo náhodné, a jaký tvar má rozdělení.

JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ² rozlišuje následující typy:

1.2.3.1. Proces typu A

Procesy typu A jsou charakterizovány stejností okamžitých rozdělení v různých časových úsecích. To znamená, že střední hodnota a rozptyl jsou konstantní. Na obrázku je uveden klasický příklad procesu typu A, při kterém celková variabilita je stejná jako vnitroskupinová variabilita.



Obr. 4: Proces typu A

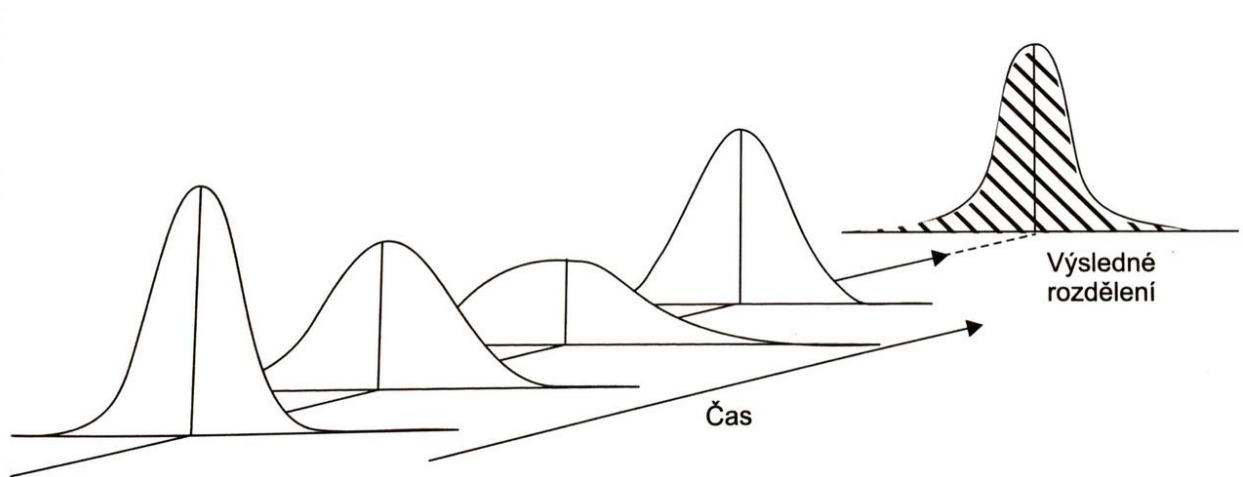
Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

1.2.3.2. Proces typu B

Procesy typu B mají konstantní střední hodnotu, ovšem hodnoty rozptylu jsou proměnlivé. Problematika daného typu procesů je v tom, že je těžké určit, jestli změny rozptylu jsou náhodné nebo systematické.

Z důvodu toho, že výsledné rozdělení je souhrn několika normálních rozdělení se stejnou střední hodnotou, ale zároveň s odlišnými rozptyly, není normální, ale je jednovrcholové.

² JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3

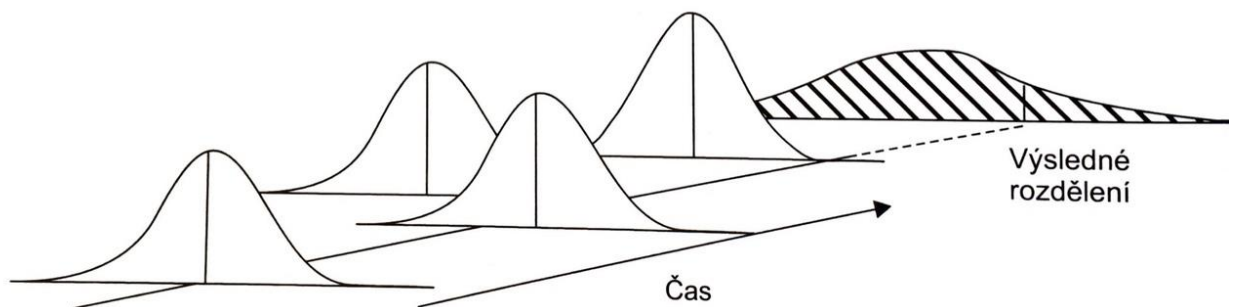


Obr. 5: Proces typu B

Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

1.2.3.3. Proces typu C

Procesy typu C se často vyskytují v podnicích s nízkou úrovní kvality. Pro podobný model je charakteristický velký počet náhodných a systematických vlivů, které působí na střední hodnotu. Při podobných podmínkách je viditelný výslovný trend sledované charakteristiky.

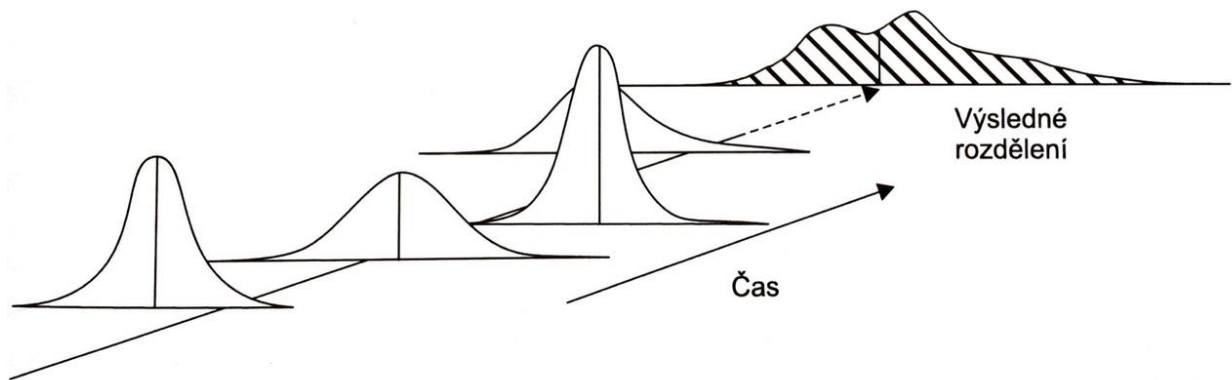


Obr. 6: Proces typu C

Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

1.2.3.4. Proces typu D

Poslední typ procesu popisuje jevy, ve kterých neexistuje žádná zákonitost. Mění se střední hodnota a rozptyl, proto každé podskupinové rozdělení může mít různý tvar. Výsledné rozdělení může mít několik vrcholů a určení jeho modelu skoro není možné.



Obr. 7: Proces typu D

Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

1.2.4. Ukazatele způsobilosti

V případě, jestliže statistický proces je zvládnutý (patří ke skupině procesů typu A), předpokládáme, že tento proces bude odpovídat charakteristikám normálního rozdělení. Proto při následující analýze statistického procesu lze použít další statistické ukazatele.

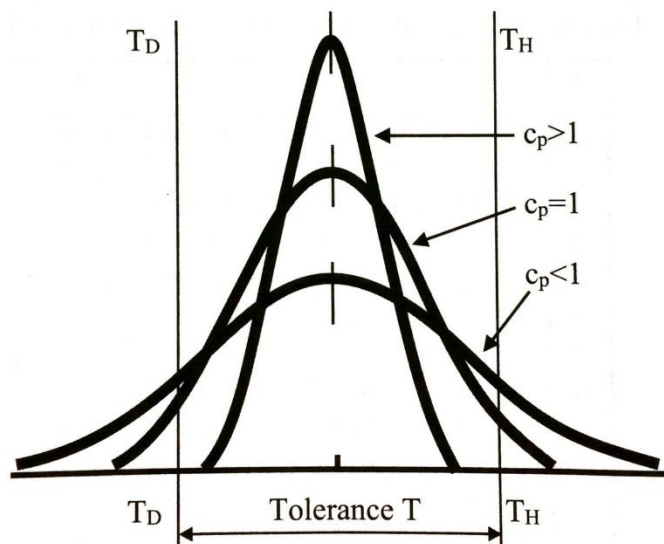
1.2.4.1. Index Cp

Koeficient způsobilost **Cp** je jeden z nejstarších a nejpoužívanějších indexů, který vyjadřuje polohu hodnot v intervalu tolerančních mezí.

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T_H - T_D}{6\sigma}$$

V případech, kdy koeficient **Cp** je menší než jedna, část naměřených hodnot se vyskytuje mimo interval tolerančních mezí. Když koeficient **Cp** je roven jedné, znamená to, že interval, ve kterém leží všechny hodnoty, je roven hodnotě 6σ . Pokud koeficient **Cp** je větší než jedna, pak je interval LSL, USL větší než výskyt naměřených hodnot.

Při hodnotě **Cp** větší než jedna, můžeme říct, že výrobní proces je způsobilý. ČSN ISO 8258 určuje hodnotu koeficientu $Cp = 1,33$. Takovou hodnotu používá Škoda Mladá Boleslava. V některých podnicích je $Cp = 1,67$, například v gumárenském průmyslu. Většina podniků, které jsou zaměřené na výrobu elektronických produktů, mají $Cp = 2$.



Obr. 8: Vliv Cp na toleranci
Zdroj:

Jestli výrobní proces není centrován (jeho nastavení není na středu tolerančního pole), může vzniknout situace, kdy má proces vysokou hodnotu koeficientu způsobilosti Cp, ale podíl neshodných výrobků je větší, než bylo požadované odběratelem.

„Vychází se přitom z předpokladu normálního rozdělení sledovaného znaku $N(\mu, \sigma^2)$. Je-li proces centrován, tj. je-li střední hodnota procesu μ ve středu tolerance, je podíl neshodných jednotek při dané hodnotě σ minimální a je s ukazatelem Cp vázán vztahem“³

$$p_t = 2 \varphi(-3C_p) = 2 [1 - \varphi(3C_p)]$$

Ukazatel Cp může identifikovat potenciál procesu, kterého lze teoreticky dosáhnout. Podíl neshodných jednotek je přímo závislý na posunu střední hodnoty při různých veličinách Cp.

| Cp | Pt (ppm) | |
|------|-------------------|---|
| | Centrováný proces | Střední hodnota posunuta o 1,5 σ |
| 1,00 | 2700 | 66808 |
| 1,33 | 63 | 6210 |
| 1,67 | 0,573 | 233 |
| 2,00 | 0,002 | 3,4 |

Tab. 1: vliv Cp na ppm

³ JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3. 250

Zdroj: TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1766-8.

1.2.4.2. Index Cpk

Dalším důležitým ukazatelem ve statistické regulaci je index **Cpk**, jež je definován jako kritický ukazatel způsobilosti. Hodnota **Cpk** je vždycky rovna nebo menší než hodnota **Cp**.

$$C_{pk} = \min(C_{pkU}, C_{pkL})$$

$$C_{pkU} = \frac{T_H - \bar{x}}{3\bar{s}}$$

$$C_{pkL} = \frac{\bar{x} - T_D}{3\bar{s}}$$

Index **Cpk** vyjadřuje vzdálenost střední hodnoty od nejbližší předepsané toleranční meze, která je vyjádřena jako násobek půlky intervalu přirozeného kolísání.

Ještě jeden způsob určení indexu **Cpk** je odvození pomocí indexu **Cp**:

$$C_{pk} = C_p(1 - k)$$

Poznámka: koeficient **k** vyjadřuje relativní odchylku střední hodnoty od cílové hodnoty **T**:

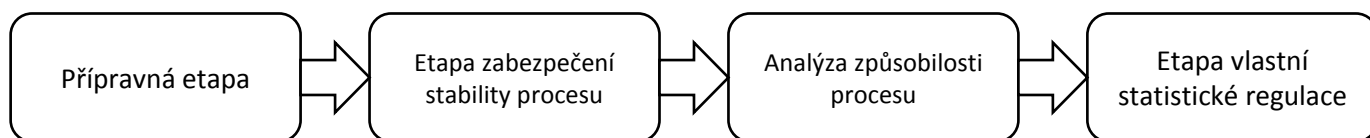
$$k = \frac{2|T - \mu|}{USL - LSL}$$

1.3. Statistická regulace

Statistická regulace procesů je nejvýhodnější způsob mezioperační kontroly hromadné a sériové výroby. Představuje preventivní přístup ke kontrole kvality. Ve většině případů je regulace realizována pravidelnou kontrolou předem zvolené charakteristiky. Tato veličina se nazývá znak jakosti nebo parametr procesu. A úkolem statistické regulace je dodržování této veličiny na požadované úrovni. Tato úroveň může být určena zákazníkem nebo je stanovena uvnitř podniku. Primárním cílem statistické regulace je minimalizace objemu neshodných jednotek.

1.3.1. Fáze statistické regulace procesu

Statistickou regulaci jakéhokoliv procesu můžeme rozdělit na čtyři hlavní etapy, abychom mohli strukturalizovat jeho problematiku, zjistit hlavní úkoly regulace, dosáhnout požadovaných výsledků a udržet proces ve statistické zvládnutém stavu.



*Obr. 9: Etapy statistické regulace
Zdroj: vlastní tvorba*

1.3.1.1. Přípravná etapa

Přípravná etapa zahrnuje všechny činnosti, které jsou potřebné pro vytvoření všech nutných podmínek, a bez kterých nelze provádět statistickou analýzu a regulaci procesu. K této etapě patří následující činnosti:

- Identifikace cílů statistické regulace
- Určení znaků (tedy regulované veličiny)
- Určení místa kontroly
- Určení vhodné metody a vypracování analýzy měřicího systému (MSA)
- Určení vhodné délky intervalu
- Určení způsobu realizace výběru
- Určení velikosti výběru
- Určení počtu výběrů (podskupin)
- Určení typu regulačního diagramu

1.3.1.2. Etapa zabezpečení stability procesu

Tato etapa slouží ke stanovení a odstranění negativních vlivů působících na proces a zajištění toho, aby k těmto vlivům dále nedocházelo:

- Sestavení vhodného regulačního diagramu
- Analýza sestaveného regulačního diagramu (určení nenáhodných seskupení a bodových mraků, trendů a jejich příčin).

- Výpočet Centrální Přímky (Central Line) a hranic

1.3.1.3. Etapa analýzy způsobilosti procesu:

V této etapě musíme zjistit, jestli regulovaný proces je ve statisticky zvládnutém stavu a zda v tomto stavu vyhovuje požadavkům na výrobek.

„Statistické zvládnutý proces je jedním z předpokladů pro posuzování jeho způsobilosti. Je-li proces statistické zvládnutý a způsobilý, jde o ideální stav a postačuje monitorování chování procesu. Je-li proces statistické zvládnutý, ale není způsobilý, je nutné redukovat variabilitu procesu v důsledků působení náhodných příčin“⁴

1.3.1.4. Etapa vlastní statistické regulace

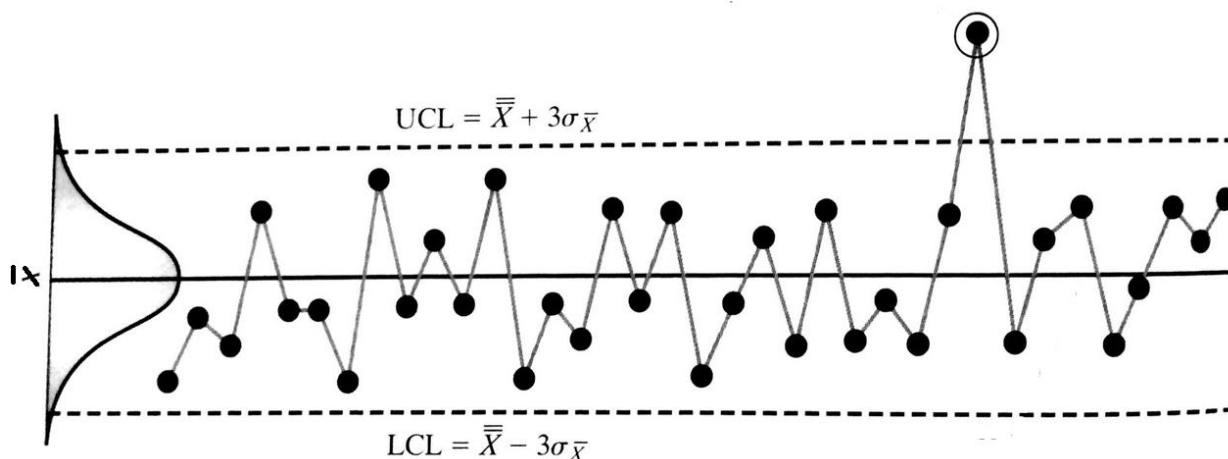
V této etapě je proces soustavně udržován ve statisticky zvládnutém stavu, případné neshody ve stabilitě je nutné určit a odstranit. V této etapě regulační diagram signalizuje poruchy ve stabilitě procesu, a tyto poruchy musejí být identifikovány a odstraněny.

1.3.2. Regulační diagram

Pro určitý znak jakosti na určitém výrobku je sestaven předpis regulace, který určuje její postup. Prostředkem ke statistické regulaci je regulační diagram, kde jsou zaznamenávány všechny výsledky kontroly. Regulační diagram je základním grafickým a analytickým nástrojem regulace procesů, který zobrazuje variabilitu procesu a trend jeho vývoje v čase. Na vodorovné ose se nanášejí časy kontroly jednotlivých podskupin. Na svislé ose jsou napsané hodnoty vybrané charakteristiky. Na regulačním diagramu také mohou být uvedeny údaje o závodu, středisku, stroji, čísle výrobku, výrobní operaci, směně, pracovníku.

V každém regulačním diagramu jsou nakresleny regulační meze, které jsou určeny podle zásad pro zvolenou metodu regulace. Regulační meze představují hodnoty, intervaly, v nichž se mají pohybovat výběrové ukazatele za předpokladu, že proces je stabilní. A to jsou Střední přímka (CL, Central Line), Dolní Regulační Mez (LCL, Lower Control Limit), a Horní Regulační mez (UCL, Upper Control Limit). U některých regulačních diagramu lze nakreslit doplňkové přímky: Upper Warning Limit a Lower Warning Limit (UWL a LWL). Tyto dvě meze určují ještě užší oblast než regulační meze.

⁴ JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3. 53



Obr. 10: Regulační diagram

Zdroj: DEVOR, Richard E, Tsong-how CHANG a John W SUTHERLAND. Statistical quality design and control: contemporary concepts and methods. New York: Maxwell Macmillan International, c1992. ISBN 002329180X.

Obrázek číslo popisuje chování teoretického trendu. Každý bod na obrázku představuje průměrnou hodnotu každé podskupiny, střední přímka je určena průměrnou hodnotou průměrů všech podskupin. Bod, který leží nad Horní regulační mezí je signálem toho, že během sledovaného procesu vznikla náhodná chyba.

1.3.3. Analýza regulačního diagramu

Následující etapa statistické regulace – je analýza výsledku na regulačním diagramu. V té fázi lze zjistit, jestli sledovaný proces je statisticky zvládnut: poloha a variabilita jsou stabilní. Proces není zvládnut v tom případě, když některé body leží mimo regulační meze, a příčiny nejsou náhodné; nebo body tvoří extrémní seskupení.

Jeden ze statistických nástrojů v regulaci procesů je testování hypotéz. Nezamítnutí hypotézy vede k tomu, že regulovaný proces je statisticky stabilní. Opačná situace znamená, že v tomto procesu musíme provést statistickou regulaci.

Existují dva typy chyb při testování statistických hypotéz:

- Sledovaný proces zůstává v oblasti ohraničenou regulačními mezemi, ale jedna nebo několik hodnot výběrové charakteristiky leží náhodně nad nebo pod regulační mezí. Výsledkem může být nesprávné rozhodnutí o tom, že proces není „pod kontrolou“ a jako následek vznikají extra náklady na hledání příčin, které neexistují. Podobný typ chyb se nazývá „chyba I. druhu“. (Riziko zbytečného signálu).
- Proces neodpovídá požadavkům, to znamená, že existují nějaké nenáhodné příčiny, které ovlivňují celý proces. Ale výběrové hodnoty leží uvnitř regulačních mezí. Následkem je přijetí špatné dávky jako statisticky zvládnuté: dále vznikají

náklady spojené se selháním schopností odhalit příčiny, které způsobují produkování neshodných výrobků. Podobný typ chyb se nazývá „chyba II. druhu“ (riziko chybějícího signálu).

V praxi je většinou používán regulační diagram, který zohledňuje jenom chybu I. druhu.

„Základní pravidlo říká, že v případě, kde se vyskytuje hodnota výběrové charakteristiky mimo vypočtené regulační meze, působí na proces nějaké zvláštní vlivy. Toto překročení je signálem pro zásah do procesu.“⁵

1.3.4. Statistická regulace měření

Statistická regulace měření se používá v situacích, kdy vybraný znak jakosti je spojitou náhodnou veličinou. Analýza spojitých znaků jakosti je časově a nákladově náročnější než statistická regulace srovnáním. Na druhou stranu, ve většině případů rozsah výběru je mnohem menší: stačí 4 až 10 jednotek v jedné podskupině.

Při statistické regulaci měření v praxi se obvykle používají následující parametry:

- Výběrový průměr
- Výběrový medián
- Výběrová směrodatná odchylka
- Výběrové rozpětí
- Jednotlivé výběrové hodnoty

Při sestavování regulačních diagramů vždy používáme dvojici parametrů: jeden musí charakterizovat polohu procesu, druhý musí charakterizovat variabilitu procesu. Nejčastěji se používají kombinace diagramů průměr-rozpětí, a průměr-směrodatná odchylka.

1.3.4.1. Průměr a rozpětí

„Regulační diagramy měření mohou charakterizovat chování výrobního procesu vzhledem k jeho poloze a proměnlivost (od jednoho kusu ke druhému). Proto jsou regulační diagramy měření navrhovány ve dvojicích.“⁶

⁵ NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody v řízení jakosti*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-318-4.

⁶ KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I*. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8. str 95

| | Předpis neexistuje | | Předpis existuje | |
|-----------|--------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------------|
| | Střední průměr | Regulační meze (UCL, LCL) | Střední průměr | Regulační meze (UCL, LCL) |
| \bar{X} | $\bar{\bar{X}}$ | $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ | X_0, μ_0 | $X_0 \pm A\sigma_0$ |
| R | \bar{R} | $D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$ | $R_0, d_2 \sigma_0$ | $D_1 \sigma_0, D_2 \sigma_0$ |

Tab. 2: Regulační diagram pro \bar{X} a R

Zdroj: Norma ČSN ISO 8258, uvedeno v KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I.* 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.

Poznámka: hodnoty $X_0, R_0, \mu_0, \sigma_0$ jsou dány předpisem na základě předchozích dat nebo požadavků zákazníků.

$A_2, A, D_1, D_2, D_3, D_4, d_2$ jsou součinitele pro regulační meze dané tabulkou.

1.3.4.2. Průměr a směrodatná odchylka

| | Předpis neexistuje | | Předpis existuje | |
|-----------|--------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------------|
| | Střední průměr | Regulační meze (UCL, LCL) | Střední průměr | Regulační meze (UCL, LCL) |
| \bar{X} | $\bar{\bar{X}}$ | $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{S}$ | X_0, μ_0 | $X_0 \pm A\sigma_0$ |
| S | \bar{S} | $B_3 \bar{S}, B_4 \bar{S}$ | $S_0, c_4 \sigma_0$ | $B_5 \sigma_0, B_6 \sigma_0$ |

Tab. 3: Regulační diagram pro \bar{X} a S

Zdroj: Norma ČSN ISO 8258, uvedeno v KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I.* 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.

Poznámka: hodnoty $X_0, R_0, \mu_0, \sigma_0$ jsou dány předpisem na základě předchozích dat nebo požadavků zákazníků.

$A_3, A, B_3, B_4, B_5, B_6, c_4$ jsou součinitele pro regulační meze dané tabulkou.

1.3.5. Odhady parametrů

Parametry a charakteristiky, které jsou základem regulačního diagramu, jsou parametry normálního rozdělení regulované veličiny μ a σ . V regulačních diagramech pro průměr a medián je nejdůležitější odhad σ . V regulačních diagramech, kde jsou sledovány

individuální hodnoty X_i , je důležitý odhad μ_0 a požadovaná úroveň střední hodnoty, která definuje střední regulované veličiny.

Hodnota μ_0 může být zvolena z technických požadavků, nebo je odhadnuta jako dlouhodobý průměr hodnot té veličiny, která je regulována. Dlouhodobý průměr se odhaduje podle následujícího vzorce:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i = \bar{\bar{x}}$$

Kde počet hodnot n musí být větší než 100.

Pro výpočet celkového průměru ze skupinových průměrů je používán další vzorec:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$$

V regulačních diagramech pro výběrové rozpětí R a výběrovou směrodatnou odchylku S musí být spočítaná hodnota σ_0 (požadovaná úroveň směrodatné odchylky). Odhad σ je možný z k skupin po n hodnotách regulované veličiny a musí existovat předpoklad, že v každé skupině je stejná variabilita.

1.3.6. Statistická regulace srovnáváním

Statistická regulace srovnáváním se používá v situacích, kdy vybraný znak jakosti je diskrétní náhodnou veličinou. Nejčastější případ — počet vad. Při statistické regulaci srovnáváním se obvykle pracuje s daty, které představují pozorování získaná přítomnost nebo nepřítomnost určitého znaku u každého výrobku ve zvolené skupině (volí se určitý typ výrobku). V této skupině se měří, kolik jednotek vykazuje (nebo naopak nevykazuje) zvolený znak. Podobná kontrola je podstatně levnější než kontrola výrobků měření. Na druhou stranu, statistická regulace srovnáváním požaduje větší rozsah podskupin (v některých situacích musí být provedena stoprocentní kontrola), a na rozdíl od statistické regulace měření máme jenom jeden regulační diagram, se kterým se dále pracuje.

Norma ČSN 8258 určuje následující charakteristiky:

p – podíl neshodných jednotek ve výběru (skupině)

np – počet neshodných jednotek ve skupině rozsahu n

c – počet neshod v podskupině

u – počet neshod na jednotku v podskupině

Tyto čtyři regulační diagramy jsou používány v situacích, kdy se mění rozsah podskupin (například podskupiny představuje celodenní objem výroby). Podskupina by měla mít rozsah 50 – 200 jednotek, a minimální počet výběru by měl činit 25.

| | Předpis neexistuje | | Předpis existuje | |
|----|--------------------|--|------------------|--------------------------------|
| | Střední průměr | Regulační meze (UCL, LCL) | Střední průměr | Regulační meze (UCL, LCL) |
| p | \bar{p} | $\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$ | p_0 | $p_0 \pm 3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$ |
| np | $n\bar{p}$ | $n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ | np_0 | $np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$ |
| c | \bar{c} | $\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$ | c_0 | $c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$ |
| u | \bar{u} | $\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$ | u_0 | $u_0 \pm 3\sqrt{u_0/n}$ |

Tab. 4: Regulační diagram srovnáváním

Zdroj: Norma ČSN ISO 8258, uvedeno v KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I*. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.

Poznámka: hodnoty p_0, np_0, c_0, u_0 jsou dány předpisem na základě předchozích dat nebo požadavků zákazníků.

1.3.7. Statistická regulace metodou kumulovaných součtů

Jeden z možných požadavků, který vzniká ve fázi udržování regulovaného procesu, je odhalení odklonů od požadovaného stavu co nejrychleji, a aby během procesu statistické kontroly vznikalo co nejméně zbytečných signálů (vznik bodů mimo regulační meze). Pro splnění těchto požadavků lze použít metodu kumulovaných součtů.

K výhodám této metody patří větší citlivost na malé změny regulovaného parametru a menší riziko vzniku chyby I. Druhu, možnost přesně určit místo, nebo okamžik změny regulovaného parametru (okamžik začátku působení zvláštní příčiny, velikost a směr této změny), vizualizace této změny na grafech.

K nevýhodám patří větší pracnost, proto tato metoda se nepoužívá velmi často v praxi během fáze udržování regulovaného procesu.

Metodu kumulovaných součtů se velmi často používají pro následující veličiny:

- Výběrový průměr
- Výběrové rozpětí
- Počet neshodných jednotek ve výběru o velikosti n

- Počet neshod na definovaném objektu

1.3.7.1. Princip metody kumulovaných součtů

„Metoda kumulovaných součtů je založena na kumulaci odchylek cílové hodnoty od hodnoty použité výběrové charakteristiky pro všechny dosud provedené výběry.“⁷

$$C_j = \sum_{i=1}^j (x_i - \mu_0)$$

Poznámka: x_i je naměřená hodnota, μ_0 je cílová střední hodnota, C_j je hodnota kumulativních součtů rozdílů po j-tém výběru.

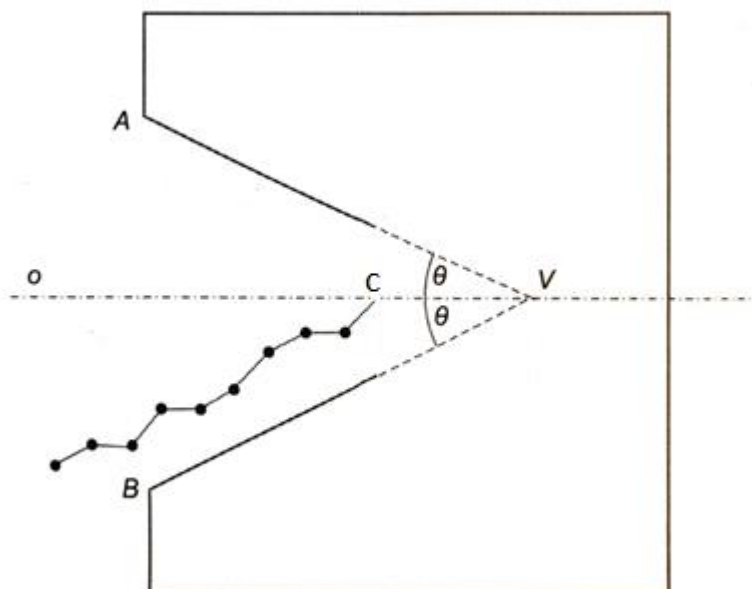
Hodnoty C_j se pak postupně zakreslují do diagramu.

Jestli proces je charakteristický výrobou jednotlivých kusů (je typickým příkladem strojírenských výrobků), pak v určitých časových intervalech se odebírají předem stanovené podskupiny kusů, u kterých se pak počítá výběrový průměr.

1.3.7.2. Rozhodovací maska

Pro následující posouzení výsledků metody kumulativních součtů se používá tak zvaná rozhodovací maska. Rozhodovací maska má stejný princip jako Horní a Dolní regulační meze u Shewhartového diagramu.

⁷ JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3. 146



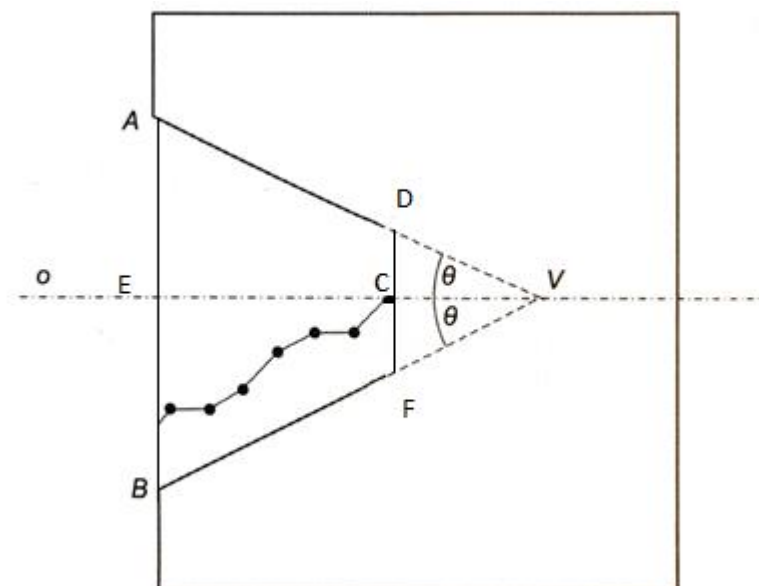
Obr. 11: Rozhodovací maska

Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

Maska je tvořena úhlem AVB a je 2Θ (určující úhel). Ramena AV a BV jsou tak zvané rozhodovací přímky, pak je důležitá vzdálenost mezi body C a V. Pro určení masky je nutné zadat dva parametry: vzdálenost mezi body C a V, a úhel Θ .

Signálem pro pozastavení procesu, hledání a odstranění chyb je bod, který bude ležet mimo úhel AVB. Jestli během zkoumání procesu všechny hodnoty leží uvnitř masky, provádí se další výběr.

Existuje ještě jeden způsob sestavení masky a určení úhlu Θ pro metodu kumulovaných součtů. Bod C je poslední měření (nebo podskupina), ve kterém se bude nacházet vrchol masky. Délka úseků CD a DF je určena jako $5 \cdot \sigma$, délka úseku EC je počet měření (nebo podskupin), délka AE a EB je určena jako $d \cdot \sigma$, kde d je počet měření (nebo podskupin).



Obr. 12: Rozhodovací maska

Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

1.3.8. Diagramy EWMA

Diagramy EWMA mají podobný princip jako metoda kumulovaných součtů – a to je analýza všech předcházejících pozorování. Na rozdíl od metody kumulovaných součtů, diagramy EWMA přiřazují různou váhu důležitosti v závislosti na času. Ale zásadní koncept zůstává stejný – a to je detekce menších změn během sledovaného procesu.

„Diagramy EWMA jsou výhodné především pro individuální pozorování, lze je však aplikovat i v situaci, kdy rozsah výběru je větší než 1. Existují diagramy EWMA jak pro regulaci měření, tak srovnáváním.“⁸

$$EWMA_j = (1 - \lambda) * EWMA_{j-1} + \lambda x_j$$

Kde λ je konstanta ($0 < \lambda < 1$), která určuje, k čemu se blíží testovací kritérium: když λ se blíží k 1, testovací kritérium bude podobný jako má Shewhartův regulační diagram. Když λ se blíží k 0, testovací kritérium bude podobný jako má metoda kumulovaných součtů.

$$EWMA_0 = z_0$$

Poznámka: z_0 je cílová hodnota (může to být hodnota, která byla spočítána dříve, nebo to může být požadavek zákazníků).

⁸ JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.178

Regulace střední hodnoty sledovaného znaku pomocí diagramu EWMA se provádí určením Horní a Dolní regulačních mezí.

$$UCL_j = CL + L\sigma_{EWMA_j} = \mu_0 + L\sigma_{EWMA_j}$$

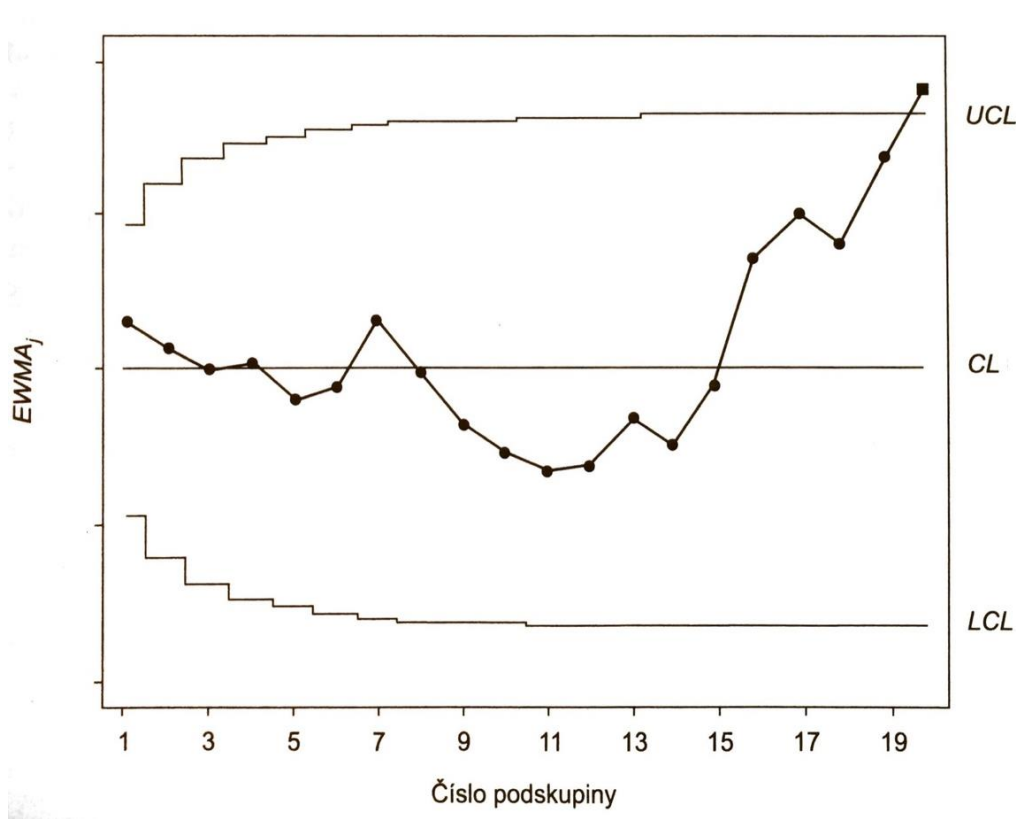
$$LCL_j = CL - L\sigma_{EWMA_j} = \mu_0 - L\sigma_{EWMA_j}$$

Poznámka: L je konstanta, která odpovídá zvolenému riziku α (chyba I. Druhu). μ_0 je průměr základního souboru, nebo požadována zákazníkem hodnota.

Směrodatná odchylka je pak dále odvozena následujícím vztahem:

$$\sigma_{EWMA_j} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2j}]}$$

Poznámka: n je počet kusů ve výběru.



Obr. 13: EWMA diagram

Zdroj: JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

Pro to, abychom mohli správně zvolit koeficienty L a λ , potřebujeme vědět požadovanou hodnotu ARL. ARL je ukazatel, který představuje průměrný počet výběrů vedoucí k signálu. Jestli všechna data jsou nezávislá, a všechny parametry rozdělení jsou znamy, můžeme odvodit ARL následujícím způsobem:

$$ARL = 1/p$$

Poznámka: p je pravděpodobnost výskytu signálu o tom, že proces není statisticky zvládnutý.

V případě, že statisticky proces je zvládnutý, index ARL má hodnotu $ARL(0)$. Pro riziko falešného signálu platí vztah:

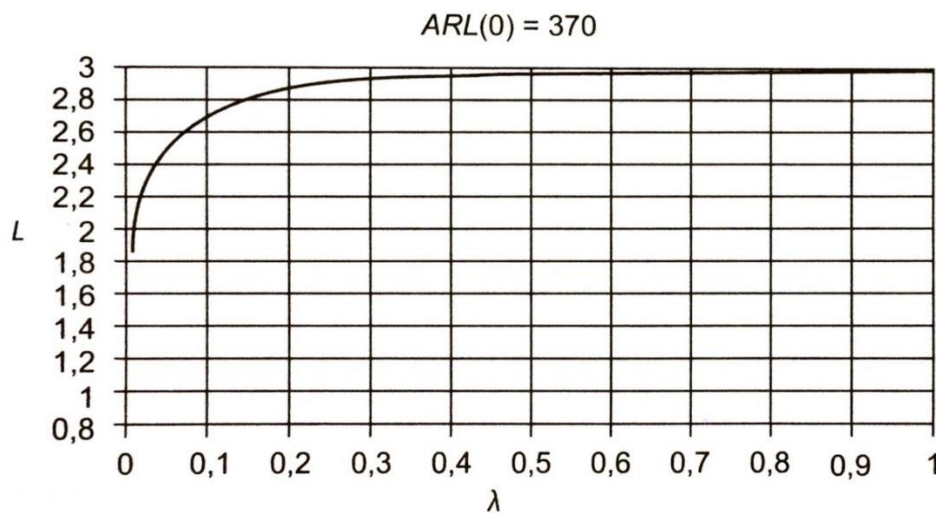
$$ARL(0) = 1/\alpha$$

Tento způsob odvození indexu ARL můžeme použít jenom pro Shewhartovy regulační diagramy. Pro metodu EWMA index ARL musí být spočítán jiným způsobem.

$$ARL(\Delta) = 1 + \left(\frac{1}{\alpha}\right) \int_{LCL}^{UCL} ARL(x) f\{[x - (1 - \lambda)\Delta]/\lambda\} dx$$

Integrální rovnice Crowdera je příliš komplikovaná, a proto existuje alternativní způsob určení parametrů λ a L .

Za prvé je nutné zvolit akceptovatelnou hodnotu $ARL(0)$. Crowder⁹ určuje hodnoty 50, 100, 250, 370, 500, 750, 1000, 1500, 2000. Pro následující výpočty v teoretické části jsem zvolil hodnotu $ARL(0) = 370$. Pro tuto hodnotu byl sestrojen Crowderový nomogram:



Obr. 14: Crowderový diagram

Zdroj: *Journal of quality technology*. Milwaukee: American Society for Quality Control. ISSN 0022-4065.

$$\lambda = 0,15$$

$$L = 2,8$$

⁹ *Journal of quality technology*. Milwaukee: American Society for Quality Control

1.4. Statistická přejímka

„Statistická přejímka představuje postupy zaměřené na následnou přejímací kontrolu (vstupní, mezioperační, výstupní) produktů s cílem odhadnout stav jakosti dodávek (sérií, souborů) a zabránit nežádoucímu průniku produktů s neodpovídající úrovní jakosti do sféry kterékoliv další fáze reprodukčního procesu.“¹⁰

Hlavní podmínky statistické přejímky:

- **výběrová** (kontroluje se jenom malá skupina)
- **statistická** (založena na principu statistické indukce)
- **objektivní** (předem jsou stanoveny přejímací podmínky mezi dodavatelem a odběratelem, nebo mezi jednotlivými pracovišti)

Statistická přejímka umožňuje při dodržení zásadních pravidel rozhodnout, jestli dodávka výrobků vyhovuje požadavkům na jakost.

Existuje také pojem stoprocentní přejímka, který znamená, že celý soubor musí být kontrolován. Stoprocentní kontrola se velmi často vyskytuje v oblasti výroby elektrotechniky. Aby tento proces byl rychlejší a méně nákladově náročný, v praxi se používá kontrolní stroje, třídící automaty, kontrolní přípravky atd.

Při vytvoření statistické přejímky, je nutné stanovit několik základních kritérií, určit tak zvaný **Přejímací Plán**. Přejímací plán je pravidlo pro rozhodování o přijetí nebo zamítnutí dávky. Tento plán musí mít přesně určené následující charakteristiky:

- Rozsah výběru (Sample Size) – počet náhodně kontrolovaných výrobků z jedné dávky. Náhodný výběr znamená, že všechny výrobky v jedné dávce mají stejnou pravděpodobnost, že budou vybrány.
- Přejímací kritérium – pro posouzení jakosti celého souboru, na základě výsledků kontroly výběru (například maximální počet vadných výrobků).
- Přejímací číslo (Acceptance Number) nejvýše přípustný počet neshodných jednotek ve výběru.
- Zamítací číslo (Rejectance Number) nepřípustný počet neshodných jednotek ve výběru.

Statistická přejímka může mít větší účinnost než stoprocentní kontrola, protože při stoprocentní kontrole vzniká celá řada faktorů, které mají negativní vliv na výsledky kontroly. Lidský faktor je jeden z nejčastějších problémů, které může ovlivnit proces – nízká míra zodpovědnosti, nebo úmyslná falsifikace. Jestli stoprocentní kontrola se provádí pomocí automatických třídíčů nebo měřidel, je nutné také kontrolovat stav těchto třídíčů a měřidel.

1.4.1. Druhy statistických přejímek dle způsobů kontroly

¹⁰ NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody v řízení jakosti*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-318-4.

Statistické přejímky dle způsobů prováděné kontroly dělíme na přejímky **srovnáváním a měřením**.

„Při kontrole měřením hodnoty jakostního znaku získáváme měřením. Jakostními ukazateli mohou být výběrový průměr, výběrová směrodatná odchylka, variační rozpětí. Přejímacím kritériem je zde rozhodné číslo, se kterým srovnáváme ukazatele.“¹¹

Při kontrole srovnáváním jsou používány různé kalibry a měrky a všechny kontrolované výrobky jsou roztrženy na neshodné (vadné) a na shodné (dobré). Počet vadných výrobků je jakostním ukazatelem, přejímacím kritériem je rozhodné číslo c (A_c), které určuje maximální počet vadných výrobků ve výběru n .

1.4.2. Druhy statistických přejímek dle postupu hodnocení

Ještě jeden způsob třídění statistických přejímek je rozdělení dle postupu při hodnocení dávek:

- Přejímka jedním výběrem – provádí se pouze jeden výběr o rozsahu n z dodávky o rozsahu N výrobků.
- Přejímka dvojím výběrem – poskytuje přesnější výsledky
- Přejímka několikerým výběrem – časově náročnější postup, při kterém se provádí sedm až osm výběrů
- Přejímka sekvenční – po kontrole každého náhodně zvoleného výrobku se provádí rozhodnutí, jestli jakost souboru odpovídá požadavkům, nebo se musí vybrat další výrobek. K výhodám patří jednoduchost, ale na druhou stranu tato metoda je pomalá. Přejímka je provedená do té doby, až dojde k rozhodnutí.

1.4.3. Rozdělení přejímek dle postupu při zamítnutí dávky

Existuje čtyři typy rozdělení přejímek, podle toho, jaký musí být následující krok po zamítnutí dávky:

- Přejímky bezopravné (nonrectifying inspections) – jsou charakterizovány tím, že v případě překročení určené předem meze podílu zmetků v dávce, celá dodávka musí být pozastavena a vrácena dodavateli.
- Přejímky opravné (rectifying inspections) – při zamítnutí dávky se provádí stoprocentní přetřídění všech výrobků na dobré a vadné, a pak následně vadné výrobky jsou nahrazeny dobrými.
- Přejímky měřením – provádí se jenom jedním výběrem a obvykle jsou opravné.
- Přejímka pro plynulou výrobu

¹¹ KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I*. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8. str 105

1.5. Zlepšování jakosti

Celý proces zlepšování jakosti jakéhokoliv produktu nebo služby můžeme rozdělit na dvě základní etapy: za prvé musíme identifikovat problémové místo (odhalit ty hodnoty, které se odchyľují od stanovených parametrů) a za druhé musíme nějakým způsobem řešit vzniklý problém. Řešení problému lze provádět buď preventivně, nebo hledat příčiny problému až v tu dobu, kdy on vznikne.

K základním nástrojům zlepšování kvality patří sedm jednoduchých metod, které používají i menší podniky:

- Sběr dat a třídění informací – je základní formulář, který slouží ke shromáždění naměřených dat
- Histogram – je grafické zobrazení distribuovaných dat ve formě sloupcového grafu, který umožňuje vizuálně identifikovat problém
- Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram) – je nástroj pro analýzu problémů, na základě indukce různých možných příčin vzniku. Tento model pomáhá rozlišovat hlavní příčiny (primární) a vedlejší (sekundární a terciální).
- Vývojový diagram – je logickou formulací postupu nějakého procesu. V tomto diagramu je důležitý nejen počet operací, ale i jejich pořadí.
- Paretova analýza – je eliminování malého počtu důležitých problémů z velkého počtu problémů. Paretova analýza je jedním z obecných prostředků diagnózy a následné opatření při zlepšování jakosti výrobků, jakosti práce a služeb. Jde o rozdělení podstatných a méně podstatných faktorů.
- Bodový diagram – stanovení korelací (závislosti) mezi dvěma a více faktory. Jde o formulaci matematického modelu, na základě kterého lze provést prognózu hodnot závislé proměnné.
- Regulační diagram – je nejpoužívanější metoda pro odhalení mezí, ve kterých by se měl nacházet regulovaný proces.

Mezi moderní koncepty existuje ještě jedna strategie trvalého zlepšování – a to je Six Sigma.

1.5.1. Six Sigma

Jeden z nejpoblárnějších modelů řízení podniku je tak zvaný princip Six Sigma. Six Sigma je manažerský nástroj, který propojuje znaky kvality ve všech úrovních podniku. Tento nástroj můžeme chápat jako manažerskou filosofii, která je založena na principu neustálého zlepšování všech firemních činností. Six Sigma používá procesní řízení a provádí rozhodování na základě naměřených dat.

Nyní existuje moderní trend, který říká, že každý velký podnik musí dosazovat takovou úroveň kvality produktu nebo procesu, při kterém kdy na jeden milion příležitostí připadá maximálně 3,4 chyby. Ale existují takové podniky, kde se tento ukazatel liší.

- One Sigma (efektivita 31%) - 690 000 chyb na jeden milion
- Two Sigma (efektivita 69,2%) - 308 000 chyb na jeden milion

- Three Sigma (efektivita 93,32%) - 66 800 chyb na jeden milion
- Four Sigma (efektivita 99,379%) - 6 210 chyb na jeden milion
- Five Sigma (efektivita 99,977%) - 230 chyb na jeden milion
- Six Sigma (efektivita 99,9997%) - 3,4 chyby na jeden milion

„Zajistit měřitelnost a přesnost ve výrobních procesech je podstatně jednodušší na základě převážně kvantitativních a metrických kritérií, než v procesech poskytování servisu a služeb s vysokými kvalitativními kritérií, která podléhají navíc subjektivnímu vnímání“¹²

Proto v konceptu Six Sigma jsou zavedeny tak zvané „pojmy měření úrovně Six Sigma“, aby bylo jednodušší definovat různá kritéria.

CTQ (Critical To Quality Characteristics) – důležitý z pohledu zákazníka

Defects (Neshody) – důležitý z pohledu zákazníka a podniku

OFD (Opportunities For Defects) - důležitý z pohledu zákazníka

DPMO (Defects per Million Opportunities) - důležitý z pohledu podniku

PPM (Parts Per Million) - důležitý z pohledu zákazníka a podniku

„DPMO označuje počet neshod ve smyslu chybných možností, to znamená počet možných neshod zjištěný početně před vývojem respektive výrobou výrobku. Možnost neshod jedné jednotky (OFD) tak popisuje, na kolika místech se mohou objevit neshody. PPM označuje naproti tomu míru neshod, tzn. Skutečně vzniklý a po vyrobení numerický zjištěný počet neshod.“¹³

Pro praktickou část mojí diplomové práce je nejdůležitějším kritériem PPM, neboť dále budu analyzovat počet vadných produktů.

1.5.2. Zavedení Six Sigma v praxi

Nejpoužívanější metoda pro zavedení principu Six Sigma je cyklus DMAIC. Tato zkratka je název pěti fází pro úspěšné implementaci změn, které zlepšují kvalitu ve všech podnikových úrovních.

Metodu lze používat pro řešení jakéhokoli problému, zavedení nových změn, dosažení lepších vnitropodnikových výsledků nebo spokojenosti zákazníka. Z toho důvodu, že tento model chápeme jako cyklus, můžeme to nekonečně zopakovat. Jako výsledek

¹² TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1766-8.

¹³ TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1766-8.

budeme mít tak zvanou spirálu postupného zlepšování a dosahování lepších výsledků. Dále jsou uvedeny jednotlivé fáze:

Define (definovat) – v počáteční fázi musíme definovat cíle, nebo stav, který musí být dosažen. Provádíme sběr dat a delegujeme zodpovědnosti mezi členy předem sestaveného týmu. Pak je důležité popsat každou činnost procesu, který musí být zlepšen. Kromě toho musí být definovány všechny vstupy a výstupy procesu. Až bude definován cíl, musíme k tomu navrhnout plán dosažení tohoto cílu.

Measure (měřit) – v této fázi je nutné určit měřitelné ukazatele a pak následně sebrat všechna data. Na základě sebraných informací ve formě měřitelných ukazatelů je jednoduše vyhodnotit informaci o současném stavu. To může být počet vad, podíl mezi vstupem a výstupem a tak dále.

Analyse (analyzovat) – na základě zjištěných informací musíme provést třídění a následnou analýzu skutečného stavu procesu, který musí být zlepšen. Zásadou je analýza příčin problémů, nedostatků, nespokojenosti zákazníků. Cílem fáze Analyse je určení primárních příčin problému, a definování těch vstupů, které mají negativní vliv na vznik vad.

Improve (zlepšovat) – hlavní způsob zlepšení je odstranění negativních faktorů. Po jejich odstranění musí být nastaveny aktualizované parametry procesu. Hlavním ukazatelem efektivnosti nových parametrů je spokojenost zákazníků. Sekundárním ukazatelem může být snížení nákladů a zvýšení celkové hodnoty produktu. Pro nastavení přesnějších parametrů lze otestovat tyto parametry pomocí výroby malého počtu prototypů.

Control (řídit) – v případě, kdy nový model procesu úspěšně odstraňuje problém, je nutné provést standardizaci změn systému. Následně kontrolovat provoz tohoto model po určitý časový úsek, jestli během něj nevznikají anomální výkyvy.

2. Praktická část

2.1. Popis společnosti Continental AG

Continental AG je německá společnost, která je zaměřena na výrobu automobilových součástí, specializuje se především na pneumatiky, brzdové systémy, elektronické stabilizační programy, vstřikovací systémy spalovacích motorů, palubní desky, displeje a dalších druhů automobilových součástí. Společnost Continental byla založena v roce 1871 v Hanoveru jako akciová společnost.

V dnešní době patří společnost Continental mezi 5 největších dodavatelů na automobilovém trhu na světě. Jakožto dodavatel brzdových systémů, systémů a komponentů pro pohony a podvozky, přístrojové techniky, informačních a zábavných řešení pro řidiče a posádku, elektroniky vozidel, pneumatik a technických výrobků z elastomerů přispívá společnost Continental k větší bezpečnosti jízdy a ke globální ochraně životního prostředí. Kromě toho je společnost Continental kompetentním partnerem v oblasti síťové automobilové komunikace.

Společnost Continental se dělí na dvě skupiny – a to je Automotive Group a Rubber Group. Pak je rozdělena na pět divizí:

- Divize Chassis a Safety (podvozky a bezpečnost) vyrábí vysokotechnologické komponenty pro aktivní a pasivní bezpečnost vozidel.
- Divize Powertrain zaměřena na inovace v oblasti hnacích jednotek pro vozidla všech kategorií.
- Divize Interior (interiér) kombinuje všechny aktivity týkající se prezentace a řízení informací ve vozidle.
- Divize Tires (pneumatiky) nabízí správné pneumatiky pro každé použití – od osobních automobilů přes nákladní automobily, autobusy a stavební stroje až po speciální vozidla, kola a motocykly. Pneumatiky Continental jsou zárukou vynikajícího přenosu sil, výjimečně spolehlivého držení stopy za všech povětrnostních podmínek a vysoké efektivity nákladů.
- Divize ContiTech

V roce 2014 vygenerovalo obrát ve výši přibližně 34,5 miliardy eur. Společnost Continental v současnosti zaměstnává cca 200 000 zaměstnanců v 53 zemích.

2.2. Statistická regulace měřením

Pro statistickou regulaci měřením byly zvoleny 2 součásti, které jsou komponenty jednoho montážního celku. Tento montážní celek je dodáván pro velkou automobilovou společnost XY, a tvoří tak zvanou palubní desku. Jeden výrobek plní funkci zadního krytu palubního přístroje, druhá součást je tak zvaná „maska“, nebo přední část palubního přístroje.

Obě součásti se vyrábí stejnou technologií vstřikování plastu, a jsou ze stejného materiálu. Pro kontrolu byly vybrány dva parametry, a to je délka a váha komponentu.

Problematika tohoto úkolu spočívá v tom, že při výrobě pomocí technologie vstřikování plastu rozměry výrobku je nutno kontrolovat až po určité době (24 hodin).

„Jediným ukazatelem kvality výstřiku měřitelným bezprostředně po vyjmutí z formy je hmotnost. Hmotnost, resp. záznam naměřených hodnot v průběhu vstřikování, je do jisté míry ukazatelem stability procesu.“¹⁴

2.2.1. Zadní kryt

Prvním komponentem pro analýzu a regulaci byl zadní kryt palubní desky. Hlavní parametry, které jsou sledovány po výrobě, jsou délka a váha. Statistická analýza byla provedena v období od 26.10.2017 až do 25.07.2018. Celkem bylo zkoumáno 300 kusů, a tyto kusy byly rozděleny na 20 podskupin, po 15 kusů každý.



Obr. 15: Zadní kryt palubní desky
Zdroj: Vlastní tvorba

Předem byly stanoveny toleranční meze a požadována střední hodnota délky a šířky součásti podle technických předpisů:

| Délka [mm] | Váha [g] |
|------------|----------|
|------------|----------|

¹⁴ [online]. [cit. 2018-08-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pozadavky-na-kvalitu-a-realne-moznosti-technologie-vstrikovani.html>

| Dolní limit | Nominální hodnota | Horní limit | Dolní limit | Nominální hodnota | Horní limit |
|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| 327,35 | 328 | 328,65 | 69,87 | 71,30 | 72,73 |

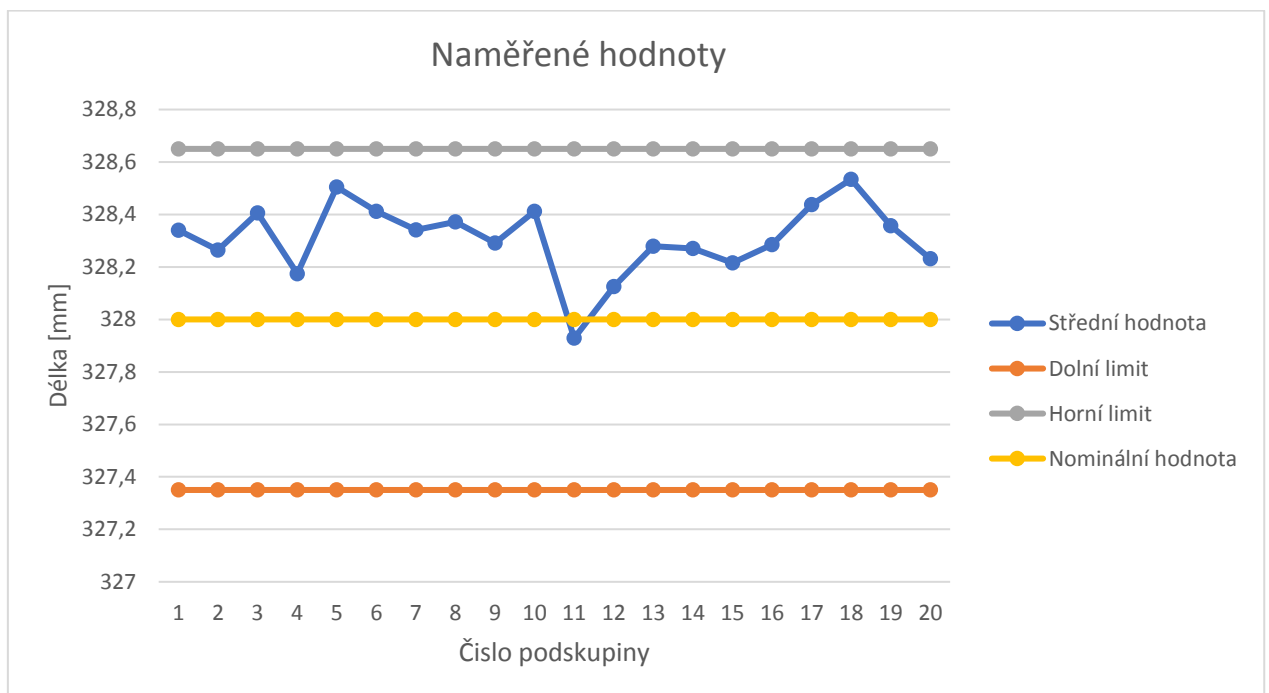
Tab. 5: Technický předpis pro zadní kryt
Zdroj: vlastní tvorba

Prvním úkolem byl výpočet podskupinových průměrů, a jejich následná kontrola, jestli jejich hodnoty leží v oblasti ohraničené tolerančními mezí.

Střední hodnota podskupiny:

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^{15} x_i}{15}$$

Poznámka: k je číslo podskupiny

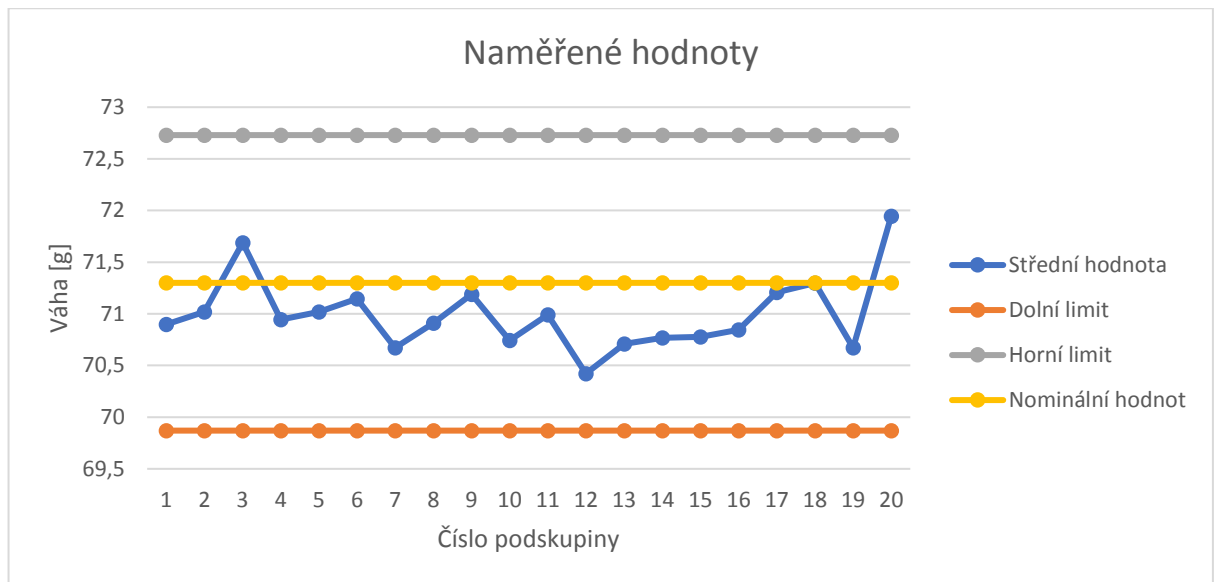


Obr. 16: graf podskupinových hodnot délky zadního krytu

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 1

Graf zobrazuje situaci, kde všechny body leží uvnitř tolerančního pásma. Ale je jasně viditelně to, že skoro všechny hodnoty se nachází v oblasti nad nominální hodnotou. Příčinou může být vlastnosti technologie vstřikování plastu – a to je smršťování materiálu po době chladnutí. Pro hlubší analýzy je nutné provést další analýzu.



Obr. 17: graf podskupinových hodnot váhy zadního krytu

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 2

Graf podskupinových průměrných hodnot váhy zadního krytu také ukazuje pozitivní výsledky. Žádná hodnota neleží mimo tolerančního pole a není viditelný žádný trend stoupání nebo klesání hodnot.

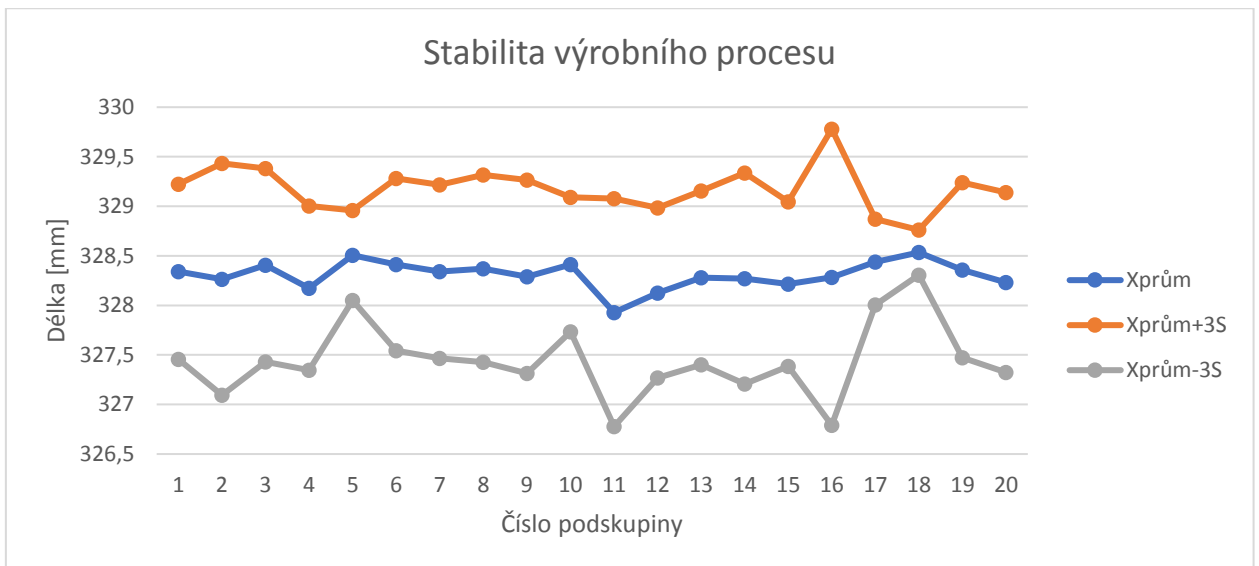
Ale skoro všechny hodnoty leží oblasti pod nominální hodnotou, což je může být následkem špatně centrovaného výrobního procesu.

2.2.2. Stabilita výrobního procesu

Pro to, abychom mohli posuzovat, jestli výrobní proces je přesný a stabilní, byly sestrojeny grafy stability výrobního procesu:

$$S_{xk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (x_i - \bar{x}_k)^2}{15}}$$

Poznámka: k je číslo podskupiny



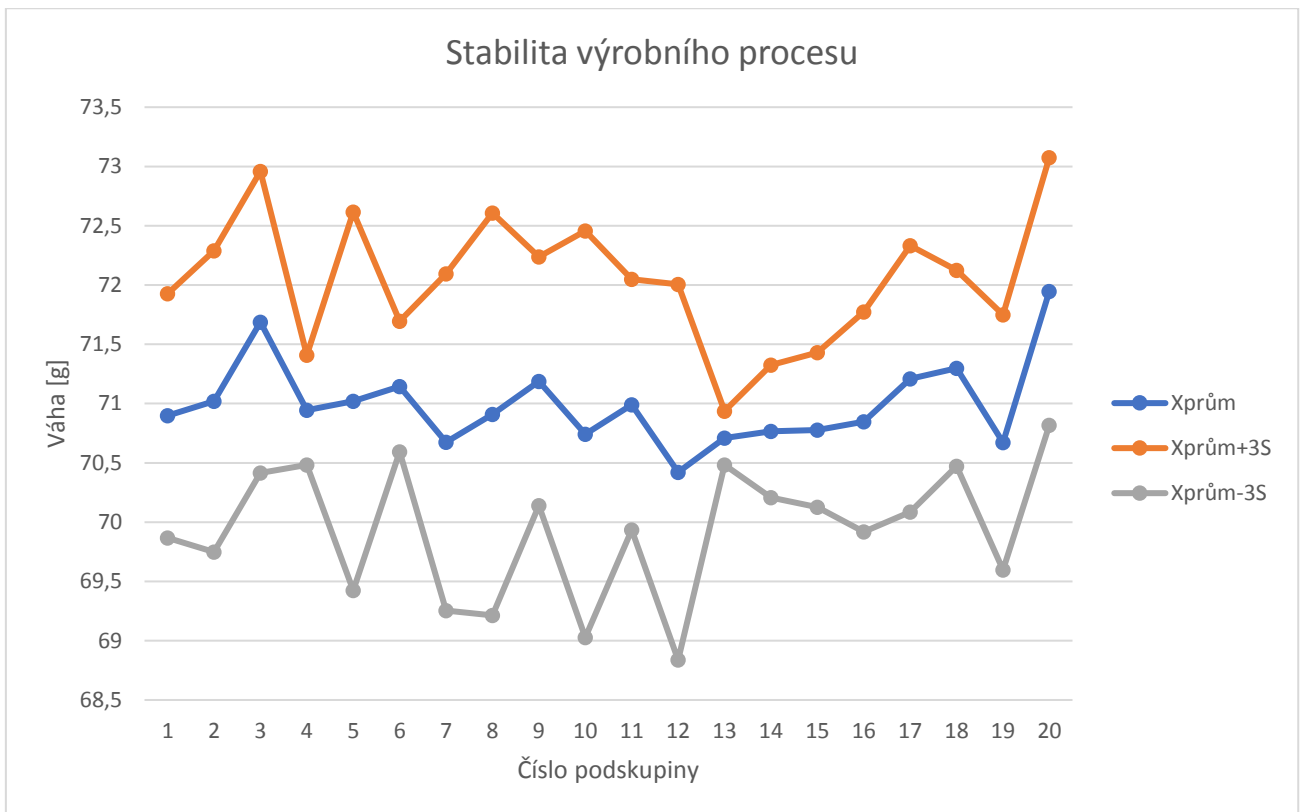
Obr. 18: graf stability výrobního procesu (délka zadního krytu)

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 1

Poznámka: Xprům je střední hodnota podskupiny, S je směrodatná odchylka.

Diagram přesnosti zobrazuje to, že výrobní proces je přesný. Čára Xpům kolísá jen v určitých mezích a zachovává rovnoběžnou s osou OX trend. Kromě toho, tento diagram ukazuje na to, že nastavení výrobního zařízení se nemění, protože se nemění šířka pásma. Jenom podskupina číslo 18 má velmi úzké pásmo, a to je charakterizováno tím, že hodnota směrodatné odchylky této podskupiny je velmi nízká.



Obr. 19: graf stability výrobního procesu (váha zadního krytu)

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 2

Poznámka: \bar{X} prům je střední hodnota podskupiny, S je směrodatná odchylka.

Diagram přesnosti hodnoty váhy zadního krytu ukazuje větší výkyvy. Přesnost je na nižší úrovni, čára \bar{X} prům kolísá s větší amplitudou a v podskupině číslo 20 má jasně viditelný trend růstu hodnoty. Kromě toho, šířka pásma se mění u každé podskupiny (až do třinácté podskupiny) což je následkem přeměn v nastavení výrobního zařízení. Od třinácté podskupiny šířka pásma se neustále zvětšuje.

Pro hlubší analýzu způsobilosti výrobního procesu je nutné spočítat koeficient způsobilosti C_p a koeficient využití způsobilosti C_{pk} :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T_H - T_D}{6\bar{s}}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{T_H - \bar{\bar{x}}}{3\bar{s}}; \frac{\bar{\bar{x}} - T_D}{3\bar{s}}\right)$$

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^k s_i}{k}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k}$$

Poznámka: k je počet podskupin.

Délka zadního krytu má následující indexy:

$$C_p = 0,747928084$$

$$C_{pk} = 0,39230554$$

Pomocí normálního rozdělení byla spočítána hustota pravděpodobnosti:

$$C_p = \frac{T_H - T_D}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

$$T = 0,747928084 * 6 * \sigma = 4,48756848 * \sigma$$

$$\begin{aligned} P(Z) &= 1 - [\phi(2,24) - \phi(-2,24)] = 1 - [0,987454538564053 - 0,0125454614359466] \\ &= 0,0250909228718932 \end{aligned}$$

Poznámka: P(Z) je pravděpodobnost výskytu zmetků.

Pravděpodobnost toho, že hodnota délky zadního krytu bude ležet mimo toleranční meze (bude tvořit zmetek) je 2,5091%.

Váha zadního krytu má následující indexy:

$$C_p = 1,347557946$$

$$C_{pk} = 1,058665395$$

Pomocí normálního rozdělení byla spočítána hustota pravděpodobnosti:

$$C_p = \frac{T_H - T_D}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

$$T = 1,347557946 * 6 * \sigma = 8,08534764 * \sigma$$

$$\begin{aligned} P(Z) &= 1 - [\phi(4,04) - \phi(-4,04)] = 1 - [0,9999732743992 - 0,00002672560071947] \\ &= 0,00005345120143895 \end{aligned}$$

Poznámka: P(Z) je pravděpodobnost výskytu zmetků.

Příloha 17

Pravděpodobnost toho, že hodnota váhy zadního krytu bude ležet mimo toleranční meze (bude tvořit zmetek) je 0,005345%.

Hodnoty váhy mají dostatečně vysoký index Cp, činí až 1,34756, což odpovídá pásmu 8 σ . Tato hodnota ukazuje, že toleranční rozpětí překračuje interval $\mu \pm 3\sigma$, který je označován za přirozenou variabilitu procesu.

Nevýhoda indexu Cp spočívá v tom, že on nezohledňuje polohu μ . I při vysoké hodnotě tohoto indexu, sledovaný parametr může nebýt shodným se specifikacemi. Proto je důležité analyzovat koeficient Cpk, který zahrnuje polohu procesu. Pro váhu hodnota indexu Cpk činí 1,05866, což je dostatečně pozitivní výsledek.

2.2.3. Regulační diagramy zadního krytu

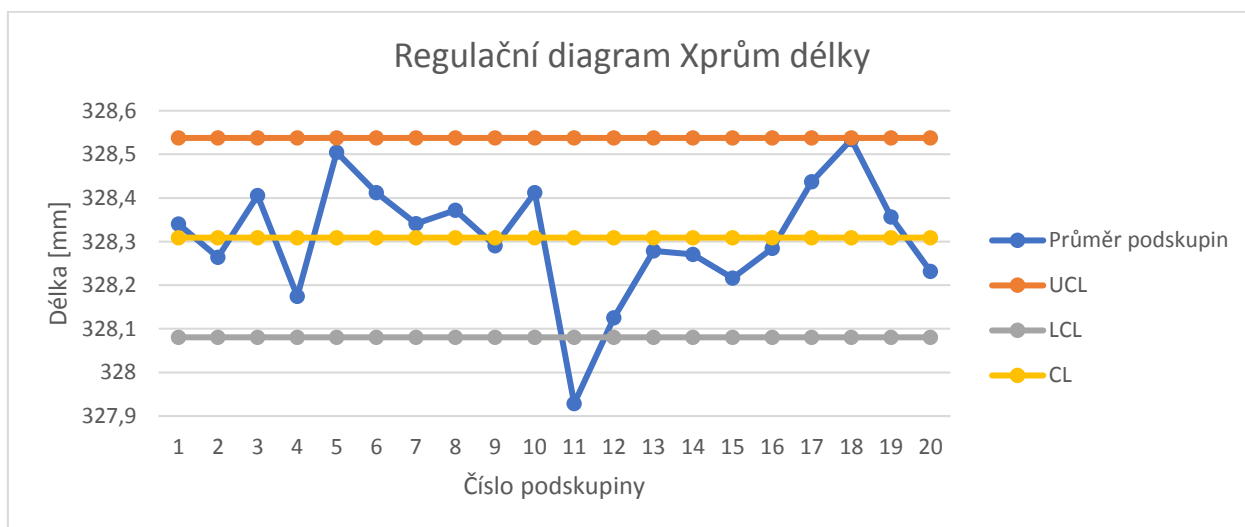
Pro vytvoření regulačního diagramu byla vybrána dvojici výběrový průměr a výběrová směrodatná odchylka. Regulační diagram pro výběrový průměr obsahuje následující čáry:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{s}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{s}$$

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

Poznámka: A_3 je součinitel pro regulační meze, pro rozsah výběru $n = 15$ tento součinitel činí 0,789.



Obr. 20: regulační diagram průměrů délky zadního krytu

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 5

Z grafu je viditelně, že jeden bod leží mimo regulační meze. Příčinou může být několik faktorů:

- Proces se změnil v tomto bodě
- Změna měřicího systému
- Chybně vypočtena regulační mez

Pro analýzu průměrné hodnoty délky této podskupiny jsem vybral jednotlivé hodnoty této podskupiny:

| | | |
|------------|-------|--------|
| 09.03.2018 | 6:40 | 327,78 |
| 11.03.2018 | 14:25 | 327,67 |
| 11.03.2018 | 16:30 | 327,65 |
| 11.03.2018 | 18:30 | 327,51 |
| 12.03.2018 | 3:40 | 328,6 |
| 13.03.2018 | 21:30 | 328,17 |
| 13.03.2018 | 4:10 | 327,95 |
| 14.03.2018 | 6:35 | 327,62 |
| 14.03.2018 | 16:40 | 328,6 |
| 15.03.2018 | 6:25 | 327,8 |
| 15.03.2018 | 17:25 | 328,6 |
| 15.03.2018 | 19:20 | 327,69 |
| 15.03.2018 | 22:55 | 327,41 |
| 15.03.2018 | 4:40 | 327,87 |
| 26.03.2018 | 19:45 | 328,01 |

*Tab. 6: hodnoty délky jedenácté podskupiny
Zdroj: vlastní tvorba*

Žádná hodnota neleží mimo tolerance, která byla určena technickým předpisem. Proto tato podskupina může být přijata jako bezvadná, i když leží mimo regulační meze. Ale tento výkyv musí být signálem pro následující kontrolu.

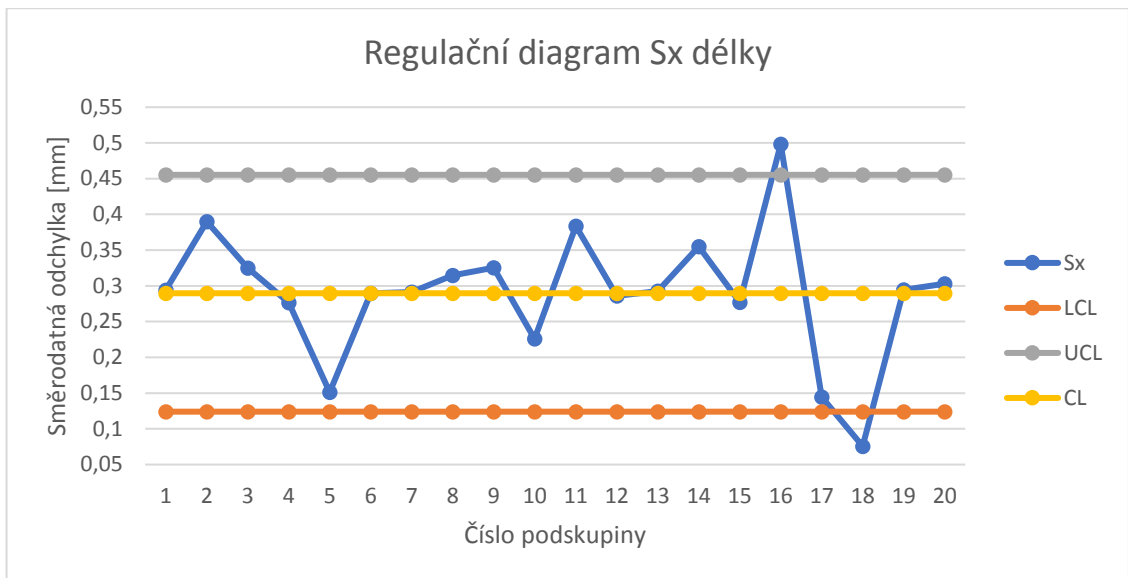
Jak bylo uvedeno dříve, regulační diagramy jsou založeny na analýze dvou parametrů, proto je nutné sestavit regulační diagram pro směrodatnou odchylku:

$$UCL = B_3\bar{s}$$

$$LCL = B_4\bar{s}$$

$$CL = \bar{s}$$

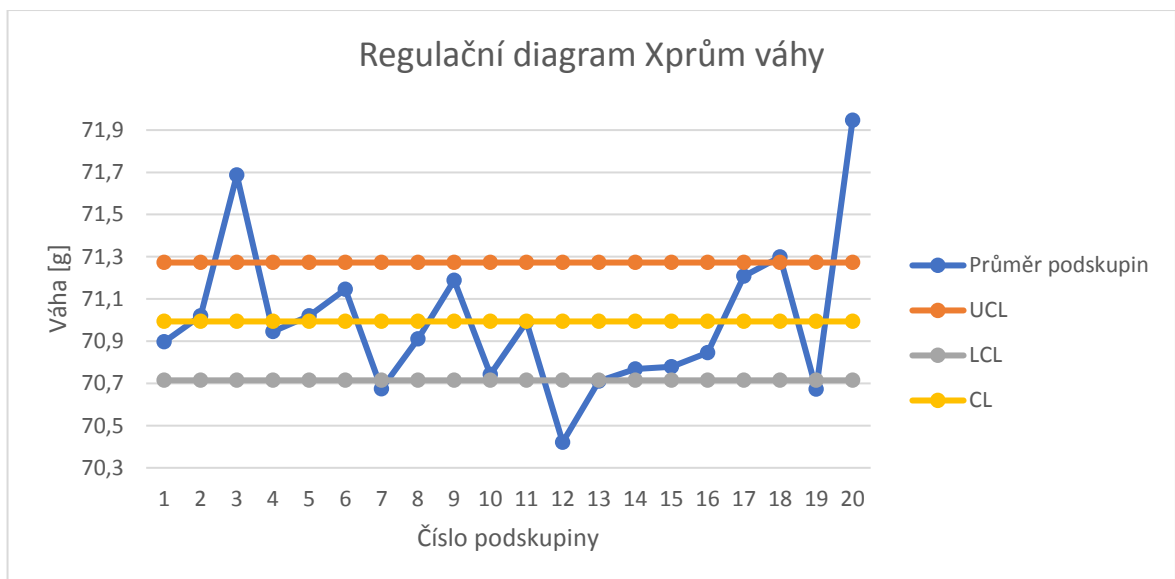
Poznámka: B_3 a B_4 jsou součinitele pro regulační meze, pro rozsah výběru $n = 15$ tyto součinitele činí 0,428 a 1,572.



Obr. 21: Regulační diagram směrodatné odchylnky délky zadního krytu
 Zdroj: vlastní tvorba
 Příloha 6

Regulační diagram také obsahuje body, které leží mimo regulační meze.

Regulační diagramy pro průměrnou hodnotu a směrodatnou odchylnku váhy zadního krytu byli spočítány stejným způsobem.



Obr. 22: Regulační diagram průměrů váhy zadního krytu
 Zdroj: vlastní tvorba
 Příloha 7

Na základě regulačního diagramu lze říct, že tento proces je také mimo kontrolu, protože má čtyři body mimo regulační meze.

Pro podrobnější rozbor jsem vybral hodnoty třetí, dvanácté a dvacáté podskupiny:

| | | |
|------------|-------|-------|
| 11.11.2017 | 19:10 | 71,57 |
| 18.11.2017 | 2:15 | 72 |
| 18.11.2017 | 5:20 | 71,98 |
| 18.11.2017 | 9:50 | 72,23 |
| 18.11.2017 | 17:00 | 72,3 |
| 18.11.2017 | 19:20 | 72,08 |
| 19.11.2017 | 4:50 | 71,98 |
| 19.11.2017 | 7:30 | 71,97 |
| 19.11.2017 | 16:45 | 71,89 |
| 19.11.2017 | 19:20 | 71,4 |
| 20.11.2017 | 2:20 | 71,2 |
| 23.11.2017 | 17:30 | 71,13 |
| 23.11.2017 | 19:10 | 71,11 |
| 24.11.2017 | 4:20 | 71,45 |
| 24.11.2017 | 7:00 | 71,02 |

*Tab. 7: hodnoty váhy třetí podskupiny zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba*

Stejně jako v předchozím případě, žádná z hodnot neleží mimo tolerance stanovené technickým předpisem.

| | | |
|------------|-------|-------|
| 26.03.2018 | 19:45 | 70,23 |
| 27.03.2018 | 4:30 | 70,47 |
| 27.03.2018 | 6:30 | 70,2 |
| 27.03.2018 | 16:00 | 70,3 |
| 27.03.2018 | 19:10 | 70,22 |
| 01.04.2018 | 15:15 | 69,87 |
| 01.04.2018 | 18:40 | 70,01 |
| 02.04.2018 | 4:00 | 69,94 |
| 02.04.2018 | 16:35 | 69,9 |
| 02.04.2018 | 18:45 | 69,93 |
| 02.04.2018 | 18:40 | 70,63 |
| 02.04.2018 | 22:10 | 71,74 |
| 04.04.2018 | 4:50 | 70,67 |
| 04.04.2018 | 7:15 | 71,25 |
| 08.04.2018 | 5:20 | 70,96 |

*Tab. 8: hodnoty váhy dvanácté podskupiny zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba*

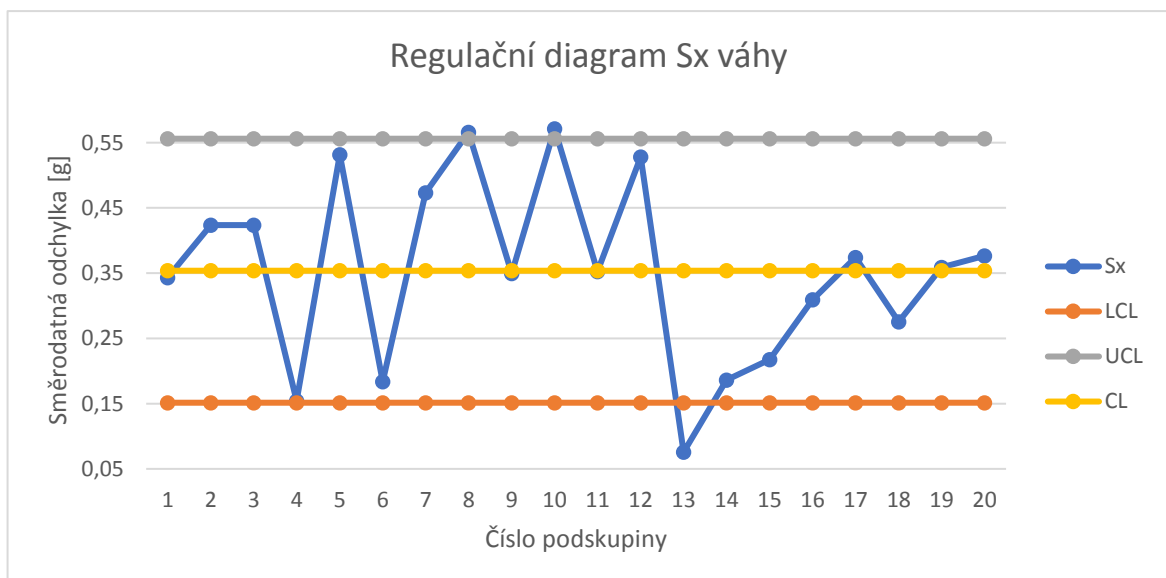
Stejně jako v předchozím případě, žádná z hodnot neleží mimo tolerance stanovené technickým předpisem, ale je jedná hodnota, která je stejná, jako dolní limit (vyznačena žlutě).

| | | |
|------------|------|-------|
| 10.07.2018 | 6:40 | 72,39 |
|------------|------|-------|

| | | |
|------------|-------|-------|
| 10.07.2018 | 17:00 | 71,83 |
| 10.07.2018 | 18:50 | 71,76 |
| 11.07.2018 | 4:05 | 71,74 |
| 19.07.2018 | 18:50 | 72,64 |
| 23.07.2018 | 7:05 | 72,14 |
| 23.07.2018 | 16:10 | 72,23 |
| 23.07.2018 | 18:50 | 72,43 |
| 24.07.2018 | 5:00 | 72,42 |
| 24.07.2018 | 6:55 | 71,6 |
| 24.07.2018 | 16:30 | 71,52 |
| 24.07.2018 | 19:00 | 71,7 |
| 25.07.2018 | 4:40 | 71,56 |
| 25.07.2018 | 6:30 | 71,77 |
| 25.07.2018 | 16:10 | 71,46 |

Tab. 9: hodnoty váhy dvacáté podskupiny zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba

Stejně jako v předchozím případě, žádná z hodnot neleží mimo tolerance stanovené technickým předpisem.



Obr. 23: Regulační diagram směrodatné odchylky váhy zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba
Příloha 8

Regulační diagram směrodatné odchylky váhy zadního krytu také ukazuje na to, že proces není pod kontrolou. Kromě toho, že některé hodnoty leží mimo regulační meze, některé hodnoty periodicky oscilují mezi dvěma úrovněmi. Podobná situace může nastat kvůli:

- Různému způsobu měření

- Různé dávky materiálu

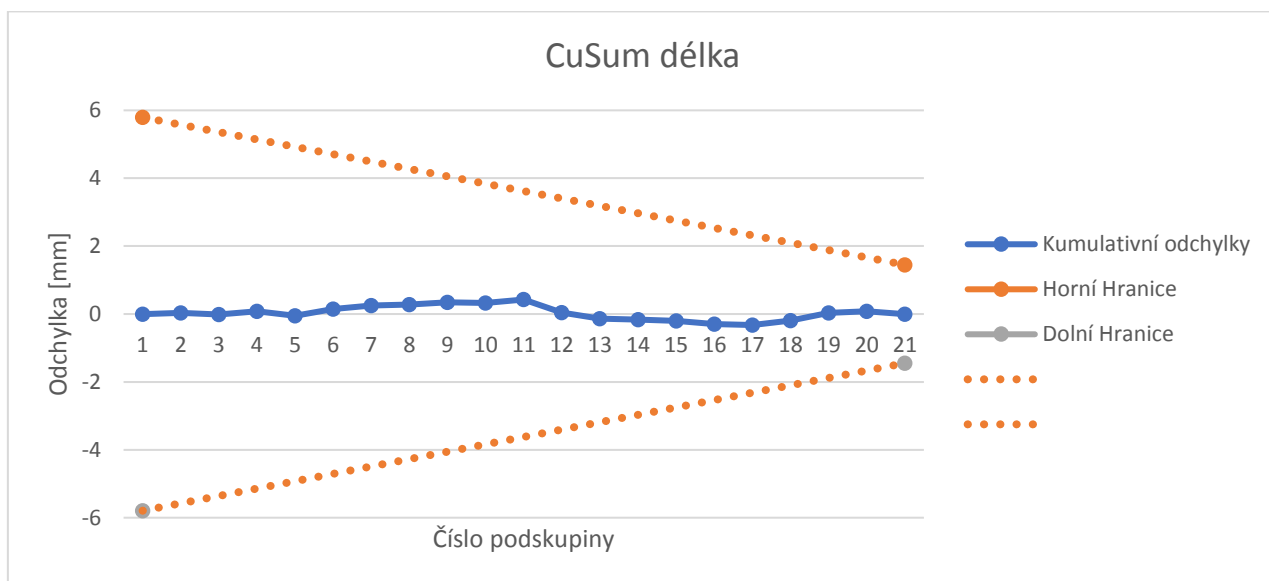
2.2.4. Metoda CuSum a rozhodovací maska

Metoda CuSum je založena na postupném přičítání odchylek průměrných hodnot podskupin od cílové hodnoty.

$$C_j = \sum_{i=1}^j (x_i - \mu_0)$$

Poznámka: x_i je naměřená hodnota podskupiny, μ_0 je cílová střední hodnota, C_j je hodnota kumulativních součtů rozdílů po j -tém výběru.

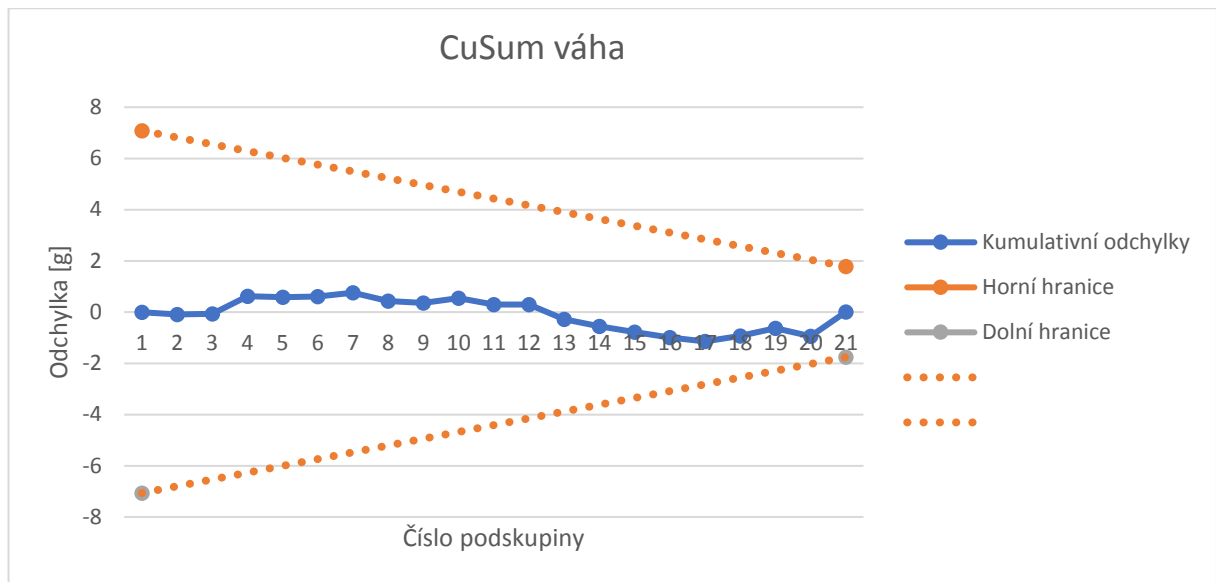
Pro aplikaci metody kumulovaných součtů a rozhodovací masky bylo nutné stanovit určující úhel Θ nebo vzdálenost krajních bodů horní a dolní hranice od první a poslední hodnoty odchylek. Zvolil jsem druhý způsob, kdy vzdálenost byla určena hodnotami $5 \cdot \sigma$ a $k \cdot \sigma$ (kde k je počet podskupin)



Obr. 24: Diagram CuSum délky zadního krytu

Zdroj: Vlastní tvorba

Příloha 5



Obr. 25: Diagram CuSum váhy zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba
Příloha 6

Oba grafy ukazují na to, že tento proces je dostatečně stabilní, a žádná hodnota kumulativní odchylky se ani nepřibližuje ke hranicím rozhodovací masky. Jenom hodnoty kumulativních odchylek váhy zadního krytu se oscilují s větší amplitudou, ale tato amplituda je skoro zanedbatelná.

2.2.5. EWMA

Diagramy EWMA byli spočítány pomocí následujících vztahů:

$$EWMA_j = (1 - \lambda) * EWMA_{j-1} + \lambda x_j$$

$$EWMA_0 = z_0$$

$$UCL_j = CL + L\sigma_{EWMA_j} = \mu_0 + L\sigma_{EWMA_j}$$

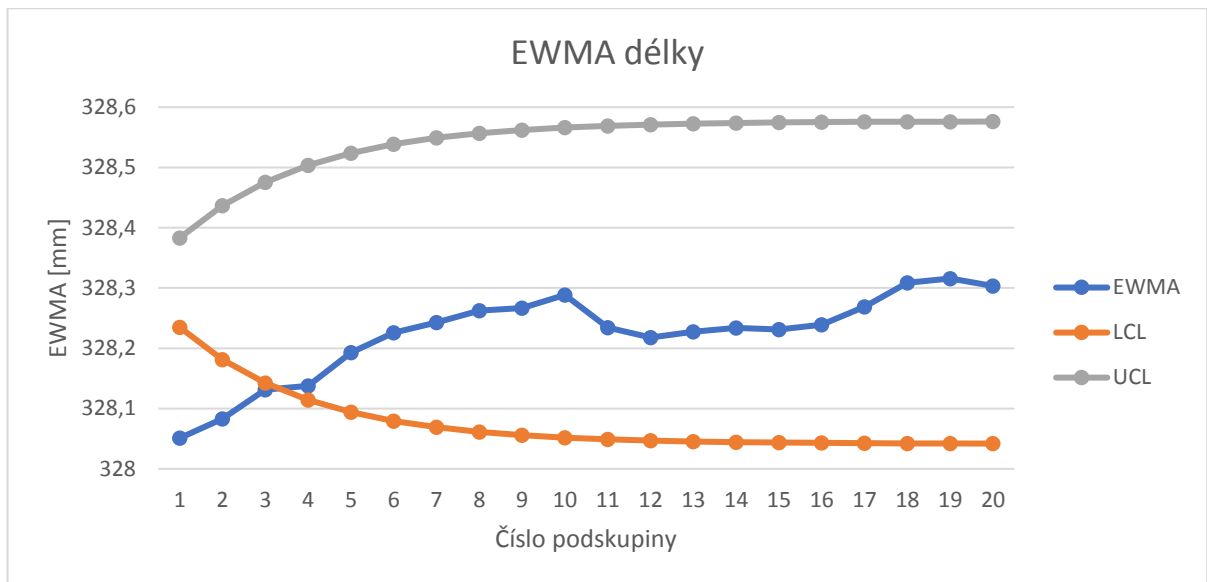
$$LCL_j = CL - L\sigma_{EWMA_j} = \mu_0 - L\sigma_{EWMA_j}$$

$$\sigma_{EWMA_j} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2j}]}$$

Jak bylo uvedeno v teoretické části, zvolil jsem další hodnoty konstant:

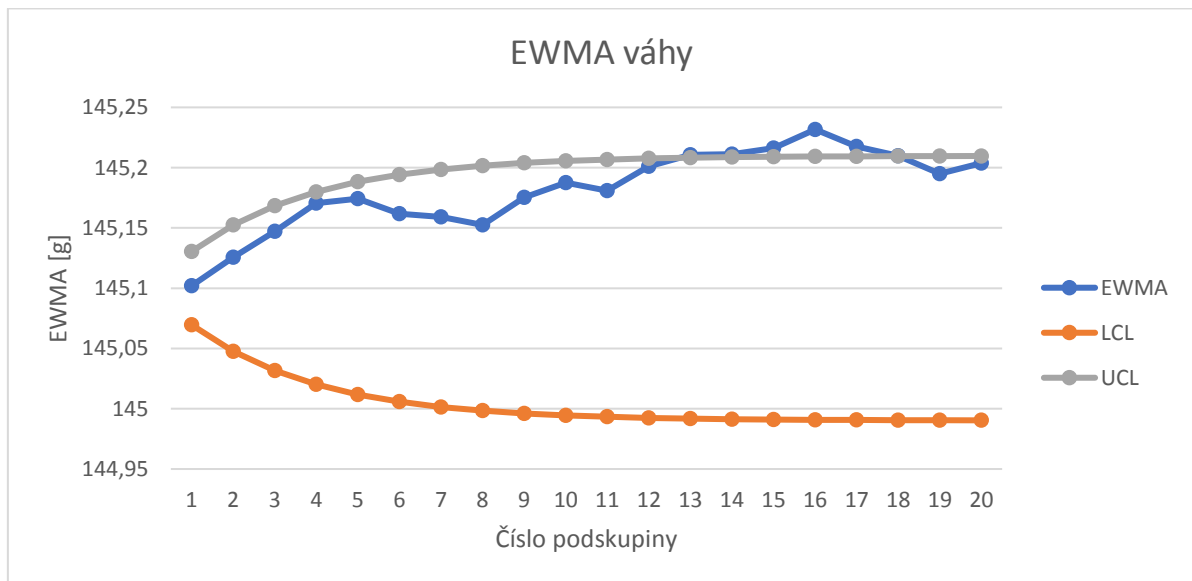
$$\lambda = 0,15$$

$$L = 2,8$$



Obr. 26: Diagram EWMA délky zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba
Příloha 7

Graf EWMA délky zadního krytu má dostatečně dobrý trend, ale jeho počátek se nachází mimo dolního limitu. To je může být následkem špatně centrovaného procesu.



Obr. 27: Diagram EWMA délky zadního krytu
Zdroj: vlastní tvorba
Příloha 8

Graf EWMA váhy zadního krytu má opačnou situaci: jeho počátek je přesně centrován, ale od třináctého výběru hodnoty překračují horní limit. Na základě této analýzy lze říct, že tento výrobní proces není statistické zvládnutý.

2.2.6. Maska palubní desky

Druhým komponentem pro analýzu a regulaci byla tak zvána maska (nebo přední část) palubní desky. Hlavní parametry, které jsou sledovány po výrobě, jsou váha a délka. Statistická analýza se prováděla od 28.08.2017 až do 30.07.2018. Celkem bylo zkoumáno 300 kusů, a tyto kusy byly rozděleny na 20 podskupin, po 15 kusů každý.



Obr. 28: maska palubní desky

Zdroj: vlastní tvorba

Předem byly stanoveny toleranční meze a požadována střední hodnota délky a váhy součásti podle technických předpisů:

| Délka [mm] | | | Váha [g] | | |
|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|
| Dolní limit | Nominální hodnota | Horní limit | Dolní limit | Nominální hodnota | Horní limit |
| 302,68 | 303,23 | 303,78 | 162,68 | 166,00 | 169,32 |

Tab. 10: Technický předpis pro masku

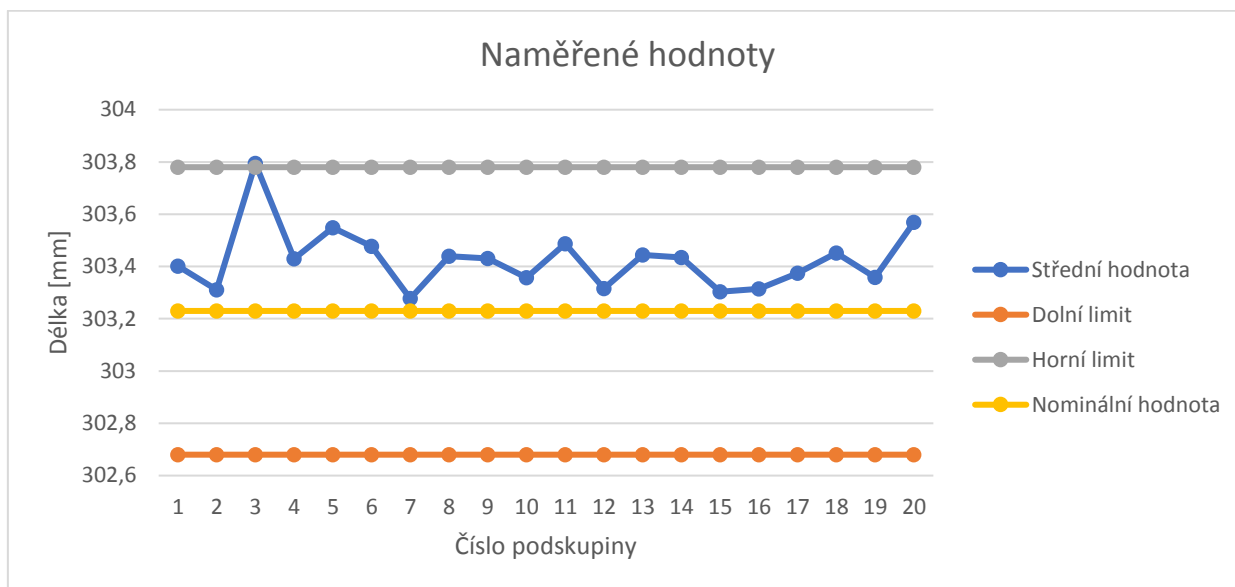
Zdroj: vlastní tvorba

Stejně, jako v předchozí kapitole, musel jsem spočítat podskupinové průměry, následně jich zkontrolovat, jestli všechny hodnoty leží v oblasti ohraničené tolerančními mezí.

Střední hodnota podskupiny:

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^{15} x_i}{15}$$

Poznámka: k je číslo podskupiny



Obr. 29: graf průměrů délky masky

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 9

Graf zobrazuje situaci, kde všechny body kromě třetího leží uvnitř tolerančního pásma. Ale je také viditelně to, že skoro všechny hodnoty se nachází v oblasti nad nominální hodnotou. Zde působí stejná příčina, která působila na hodnoty délky zadního krytu. A to je vlastnosti technologie vstřikování plastu – smršťování materiálu po době chladnutí.

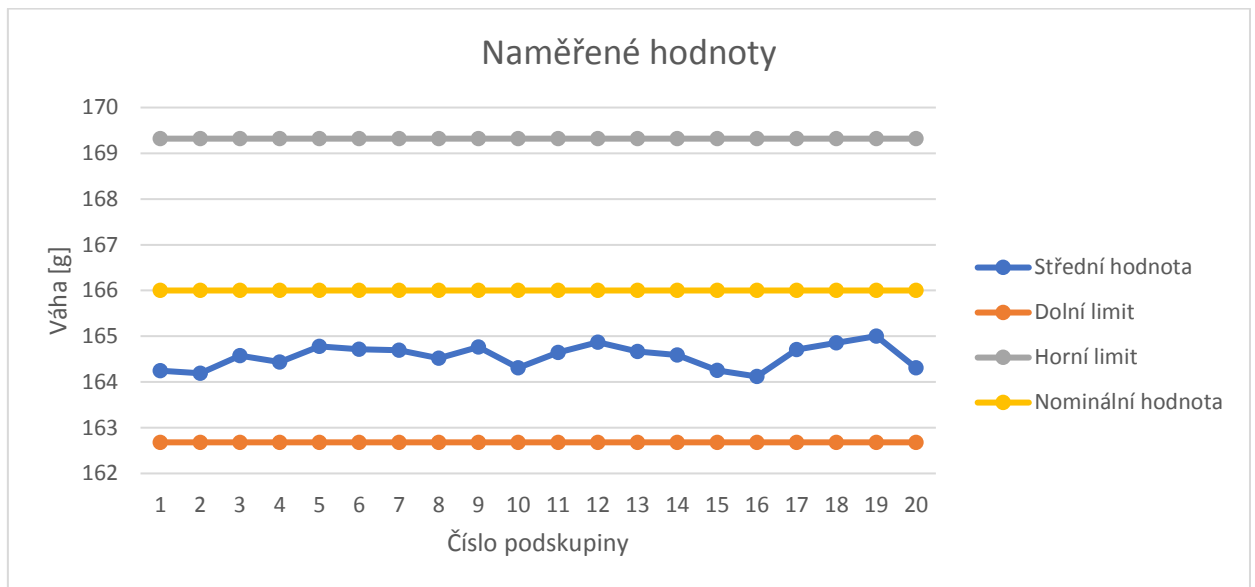
Vybral jsem třetí podskupinu, aby bylo jasně, kolik hodnot leží mimo tolerance:

| | | |
|------------|-------|--------|
| 04.10.2017 | 8:00 | 303,08 |
| 04.10.2017 | 16:10 | 303,09 |
| 04.10.2017 | 20:40 | 303,5 |
| 11.10.2017 | 7:00 | 303,73 |
| 11.10.2017 | 15:40 | 303,64 |
| 11.10.2017 | 19:35 | 303,59 |
| 12.10.2017 | 5:25 | 303,64 |
| 12.10.2017 | 7:35 | 303,71 |
| 12.10.2017 | 17:20 | 303,69 |
| 12.10.2017 | 18:50 | 303,72 |
| 18.10.2017 | 8:15 | 303,7 |

| | | |
|------------|-------|--------|
| 18.10.2017 | 16:00 | 303,7 |
| 18.10.2017 | 19:00 | 303,58 |
| 18.10.2017 | 0:20 | 307,03 |
| 18.10.2017 | 4:15 | 303,52 |

Tab. 11: hodnoty délky třetí podskupiny masky
Zdroj: vlastní tvorba

Červeně označená hodnota leží mimo toleranční meze, a to je jediný zmetek, který se objevil v této podskupině.



Obr. 30: graf průměrů váhy masky
Zdroj: vlastní tvorba
Příloha 10

Graf podskupinových průměrných hodnot váhy masky také ukazuje pozitivní výsledky. Žádná hodnota neleží mimo tolerančního pole a není viditelný žádný trend stoupání nebo klesání hodnot.

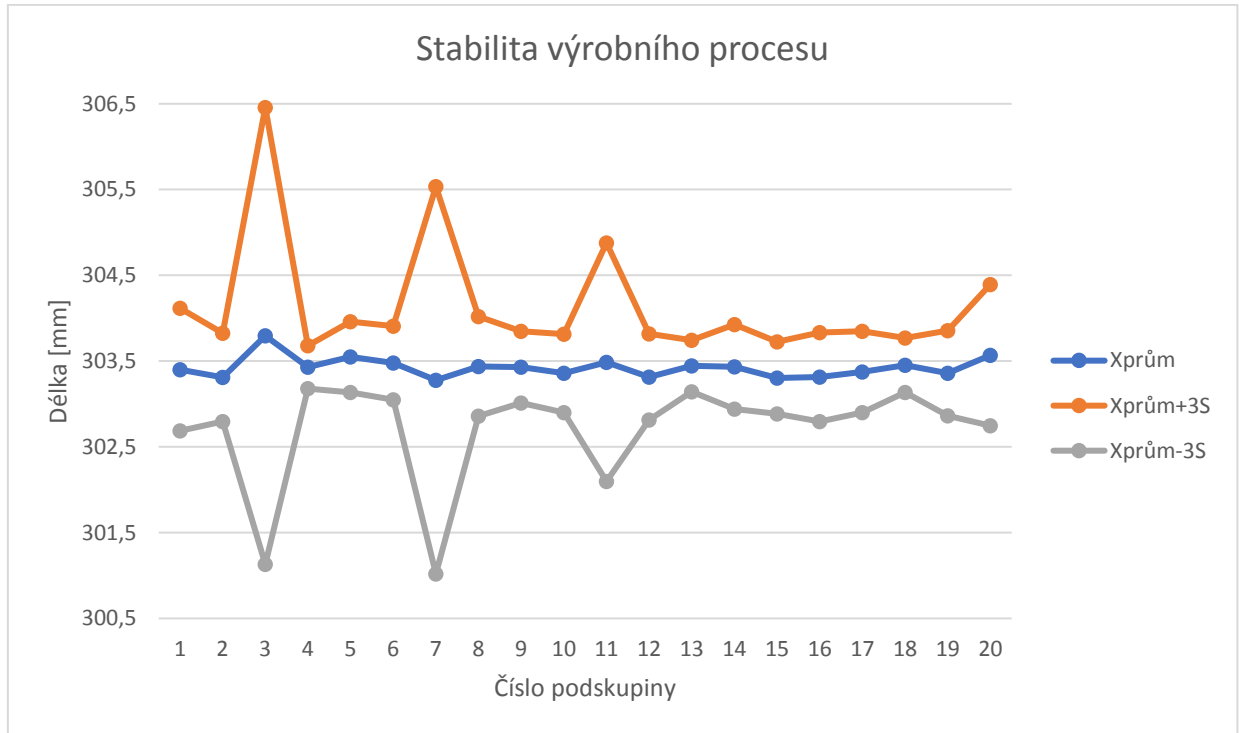
Ale skoro všechny hodnoty leží oblasti pod nominální hodnotou, což je může být následkem špatně centrovaného výrobního procesu.

2.2.7. Stabilita výrobního procesu

Pro to, abychom mohli posuzovat, jestli výrobní proces je přesný a stabilní, byly sestrojeny grafy stability výrobního procesu:

$$S_{xk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (x_i - \bar{x}_k)^2}{15}}$$

Poznámka: k je číslo podskupiny

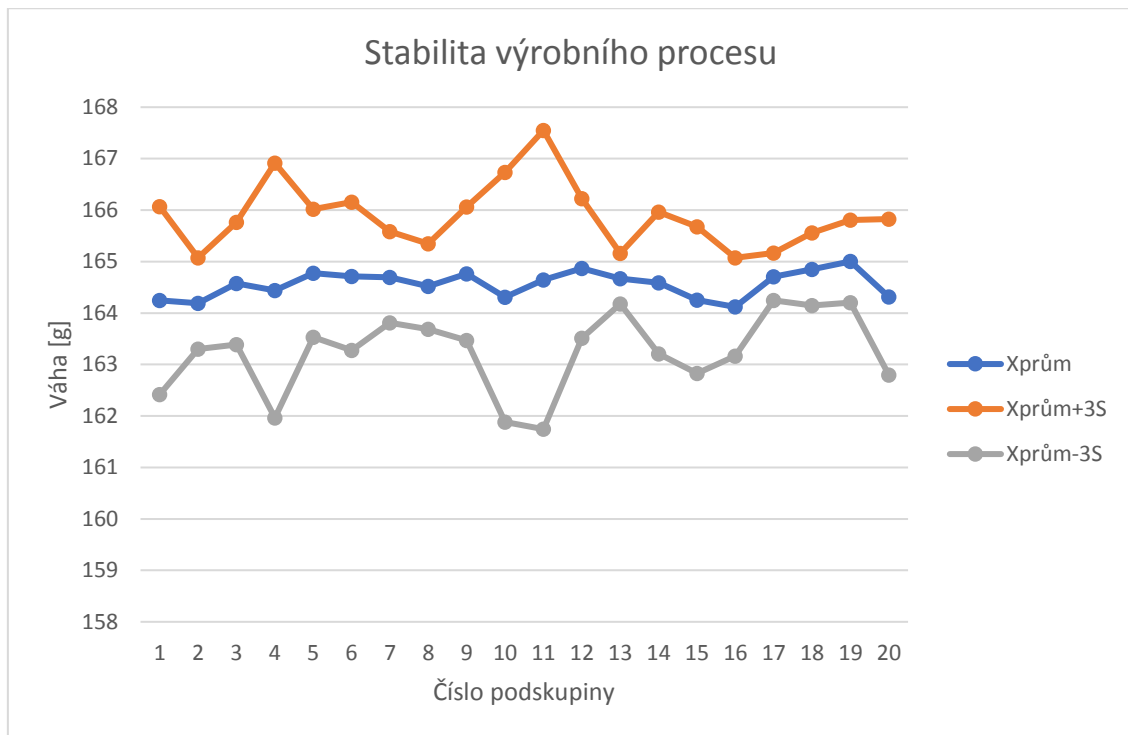


Obr. 31: graf stability výrobního procesu (délka maska)

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 9

Čára $X_{prům}$ kolísá jen v určitých mezích a zachovává rovnoběžnou s osou OX trend, což může být pozitivním signálem. Ale na tom diagramu se projevují anomální výkyvy přesnosti výrobního zařízení. Třetí, sedmá a jedenáctá podskupiny mají velmi široká pásma, a to může být následkem špatného nastavení stroje, systematické špatné dodávky materiálu nebo profesionální schopnosti pracovníka. Ale šířka pásma se zmenšuje s každým výkyvem, což může být pozitivním signálem toho, že přesnost toho procesu se neustále zlepšuje.



Obr. 32: graf stability výrobního procesu (váha maska)

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 10

Diagram přesnosti zobrazuje to, že výrobní proces je přesný. Čára Xpřům kolísá jen v určitých mezích a zachovává rovnoběžnou s osou OX trend. Stejně jako v předchozím diagramu tady jsou viditelné oblasti, kde přesnost výrobního procesu je příliš nízká.

Pro dané parametry byly také spočítány koeficienty **C_p** a **C_{pk}**:

Délka masky má následující hodnoty indexů:

$$C_p = 0,762138535$$

$$C_{pk} = 0,490401505$$

Pomocí normálního rozdělení byla spočítána hustota pravděpodobnosti:

$$T = 0,762138535 * 6 * \sigma = 4,57283121 * \sigma$$

$$P(Z) = 1 - [\phi(2,29) - \phi(-2,29)] = 1 - [0,988989341675 - 0,0110106583244] = 0,0220213166488228$$

Poznámka: P(Z) je pravděpodobnost výskytu zmetků.

Pravděpodobnost toho, že hodnota délky masky bude ležet mimo toleranční meze (bude tvořit zmetek) je 2,2021 %.

Váha zadního krytu má následující indexy:

$$C_p = 2,506059999$$

$$C_{pk} = 1,420478084$$

Pomocí normálního rozdělení byla spočítána hustota pravděpodobnosti:

$$T = 2,506059999 * 6 * \sigma = 15,036359994 * \sigma$$

$$P(Z) = 1 - [\phi(7,51) - \phi(-7,51)] = 1 - [0,999999999999997 - 0,000000000000003] \\ = 0,000000000000006$$

Poznámka: P(Z) je pravděpodobnost výskytu zmetků.

Pravděpodobnost toho, že hodnota váhy masky bude ležet mimo toleranční meze (bude tvořit zmetek) je 0,000000000006 %.

Hodnoty váhy masky mají dostatečně vysoký index C_p , činí až 2,50606, což odpovídá pásmu 15σ . Tato hodnota ukazuje, že toleranční rozpětí překračuje interval $\mu \pm 3\sigma$, který je označován za přirozenou variabilitu procesu.

Pro parametr váhy hodnota indexu C_{pk} činí 1,42048, což je dostatečně pozitivní výsledek.

BOOKER, J. M.; RAINES, M.; SWIFT, K. G.¹⁵ uvádí, že jestli proces má index způsobilosti větší než 2,5, další zlepšení tohoto procesu mohou příliš drahá.

2.2.8. Regulační diagramy masky

Pro vytvoření regulačního diagramu byla vybrána dvojici výběrový průměr a výběrová směrodatná odchylka. Regulační diagram pro výběrový průměr obsahuje následující čáry:

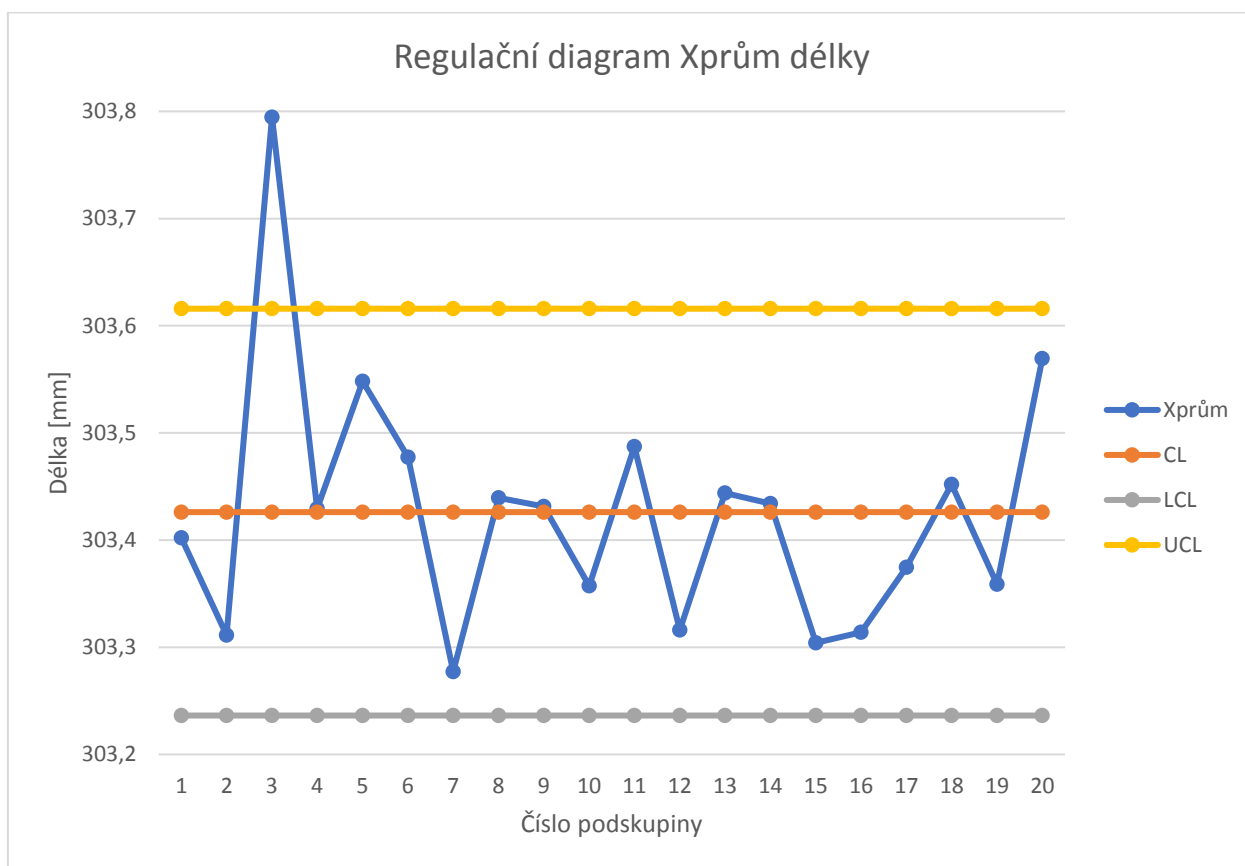
$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{s}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{s}$$

¹⁵ BOOKER, J. M.; RAINES, M.; SWIFT, K. G. *Designing Capable and Reliable Products*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. [ISBN 9780750650762](#).

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

Poznámka: A_3 je součinitel pro regulační meze, pro rozsah výběru $n = 15$ tento součinitel činí 0,789.

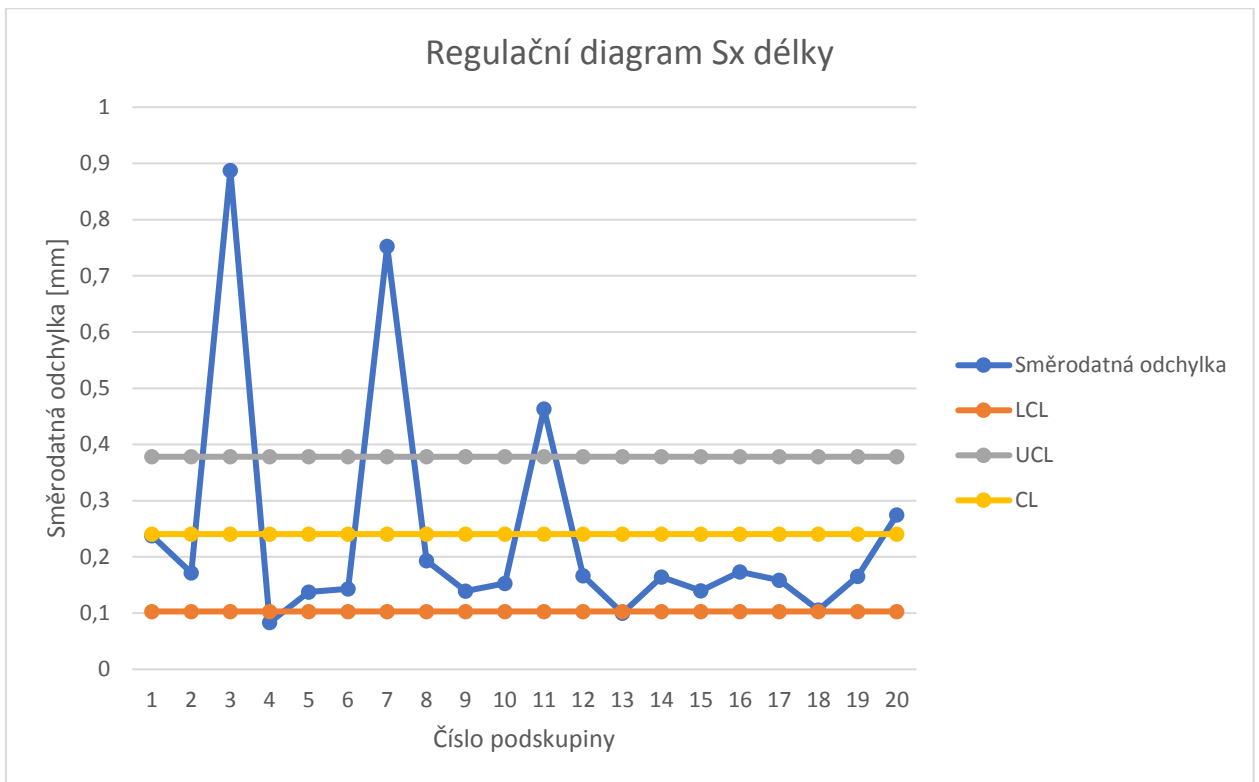


Obr. 33: Regulační diagram průměrů délky masky
Zdroj: vlastní tvorba

Z grafu je viditelně, že jenom jeden bod leží mimo regulační meze. Příčinou může být několik faktorů:

- Proces se změnil v tomto bodě
- Změna měřicího systému
- Chybně vypočtena regulační mez

Při předchozí analýze jsem už našel příčinu tohoto výkyvu – to byl výrobek v třetí podskupině, hodnota délky kterého leží nad horním limitem technického předpisu.

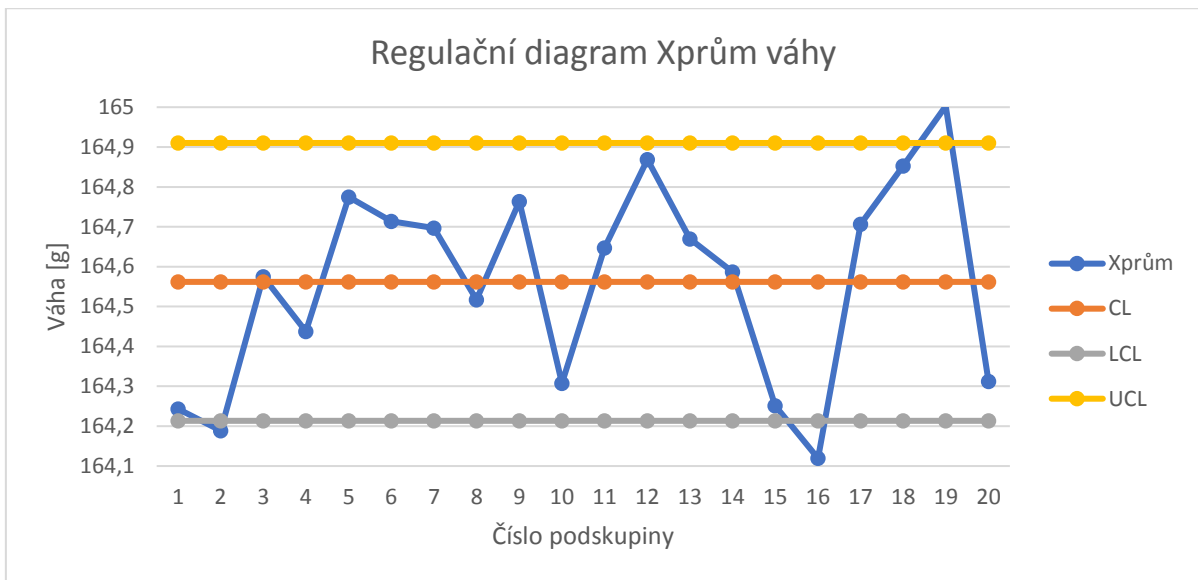


Obr. 34: Regulační diagram směrodatné odchyłky délky masky

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 11

Čára Xpům kolísá jen v určitých mezích a zachovává rovnoběžnou s osou OX trend, což může být pozitivním signálem. Ale na tom diagramu se projevují anomální výkyvy přesnosti výrobního zařízení. Třetí, sedmá a jedenáctá podskupiny mají velmi široká pásma, a to může být následkem špatného nastavení stroje, systematické špatné dodávky materiálu nebo profesionální schopnosti pracovníka. Ale šířka pásma se zmenšuje s každým výkyvem, což může být pozitivním signálem toho, že přesnost toho procesu se neustále zlepšuje.



Obr. 35: Regulační diagram průměrů váhy masky
Zdroj: vlastní tvorba

Na základě regulačního diagramu lze říct, že tento proces je také mimo kontrolu, protože má tři body mimo regulační meze.

Pro podrobnější rozbor jsem vybral hodnoty šestnácté a devatenácté podskupiny (hodnoty druhé podskupiny leží vedle regulační meze):

| | | |
|------------|-------|--------|
| 24.04.2018 | 16:10 | 164 |
| 25.04.2018 | 20:20 | 164,36 |
| 26.04.2018 | 4:35 | 164,09 |
| 26.04.2018 | 6:50 | 163,8 |
| 26.04.2018 | 14:20 | 164,11 |
| 27.04.2018 | 4:25 | 164,08 |
| 27.04.2018 | 18:40 | 164,03 |
| 27.04.2018 | 6:30 | 164,12 |
| 27.04.2018 | 16:30 | 164,17 |
| 08.05.2018 | 4:40 | 163,76 |
| 08.05.2018 | 9:00 | 163,64 |
| 08.05.2018 | 17:00 | 163,72 |
| 09.05.2018 | 4:10 | 164,57 |
| 08.05.2018 | 18:30 | 164,61 |
| 09.05.2018 | 6:30 | 164,73 |

Tab. 12: hodnoty váhy šestnácté podskupiny masky
Zdroj: vlastní tvorba

Žádná hodnota neleží mimo tolerance, která byla určena technickým předpisem. Proto tato podskupina může být přijata jako bezvadná, i když leží mimo regulační meze.

| | | |
|------------|-------|--------|
| 08.06.2018 | 2:40 | 165,37 |
| 08.06.2018 | 4:50 | 164,95 |
| 08.06.2018 | 7:50 | 165,03 |
| 08.06.2018 | 16:30 | 165,14 |
| 08.06.2018 | 20:00 | 165,1 |
| 16.06.2018 | 6:50 | 165,06 |
| 16.06.2018 | 16:15 | 165,02 |
| 17.06.2018 | 6:50 | 165,68 |
| 17.06.2018 | 13:05 | 164,56 |
| 24.06.2018 | 12:10 | 164,95 |
| 24.06.2018 | 16:50 | 164,87 |
| 24.06.2018 | 18:25 | 164,85 |
| 25.06.2018 | 4:10 | 164,91 |
| 25.06.2018 | 6:40 | 164,99 |
| 25.06.2018 | 17:10 | 164,56 |

*Tab. 13: hodnoty váhy devatenácté podskupiny masky
Zdroj: vlastní tvorba*

Žádná hodnota neleží mimo tolerance, která byla určena technickým předpisem. Proto tato podskupina může být přijata jako bezvadná, i když leží mimo regulační meze.

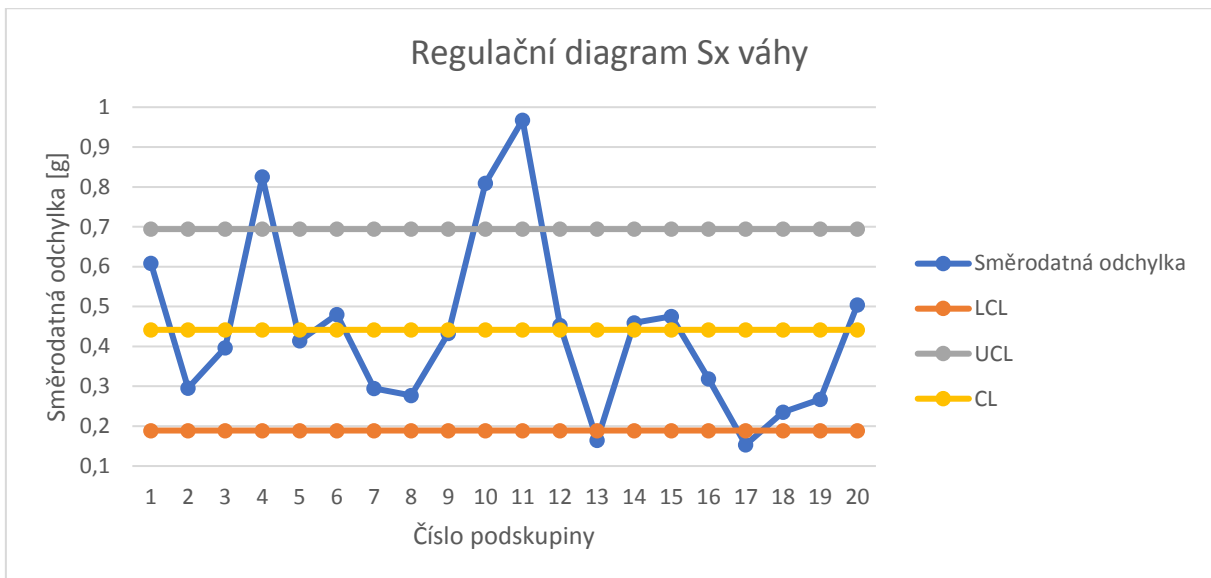
Jak bylo uvedeno dříve, regulační diagramy jsou založeny na analýze dvou parametrů, proto je nutné sestavit regulační diagram pro směrodatnou odchylku:

$$UCL = B_3\bar{s}$$

$$LCL = B_4\bar{s}$$

$$CL = \bar{s}$$

Poznámka: B_3 a B_4 jsou součinitele pro regulační meze, pro rozsah výběru $n = 15$ tyto součinitele činí 0,428 a 1,572.



Obr. 36: regulační diagram směrodatné odchylky váhy masky

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 12

Regulační diagram směrodatné odchylky váhy zadního krytu také ukazuje na to, že proces není pod kontrolou, protože několik bodů leží mimo regulační meze

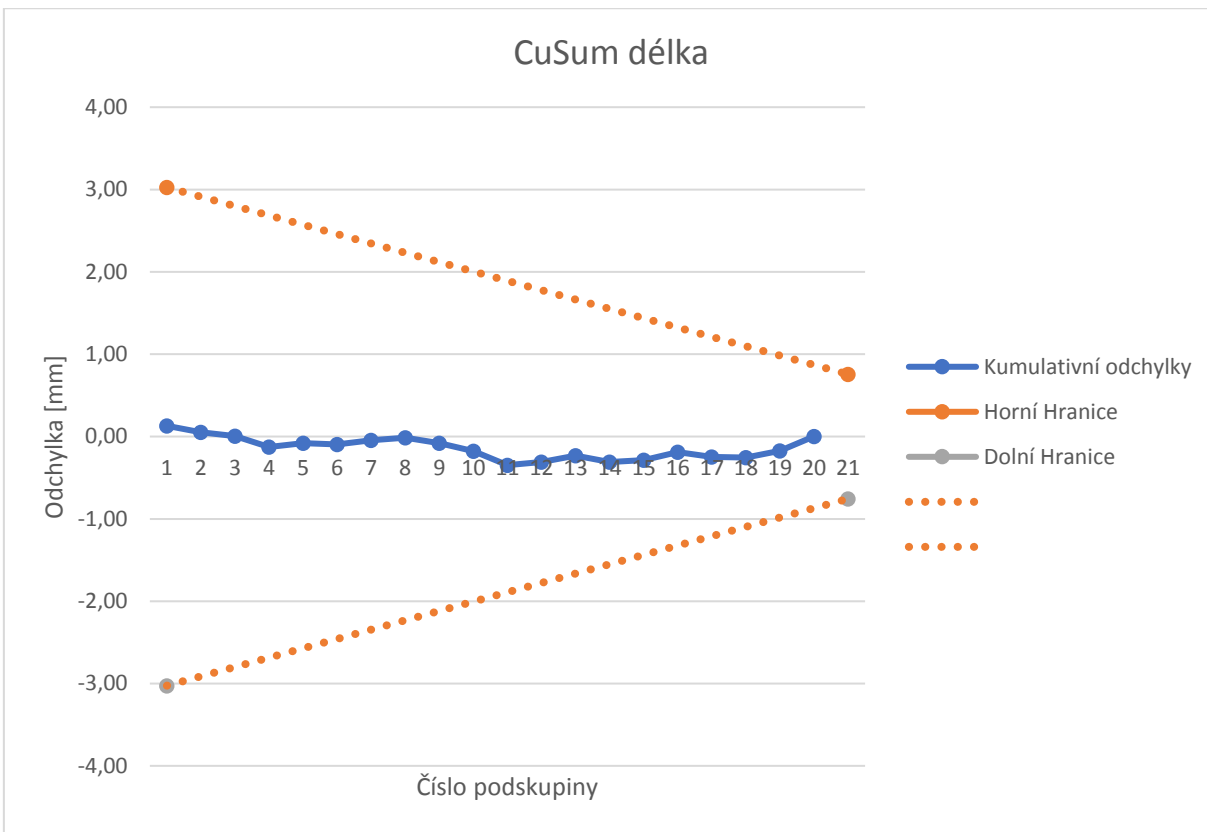
2.2.9. Metoda CuSum a rozhodovací maska

Pro masku palubní desky jsem použil stejný vzorec metody CuSum

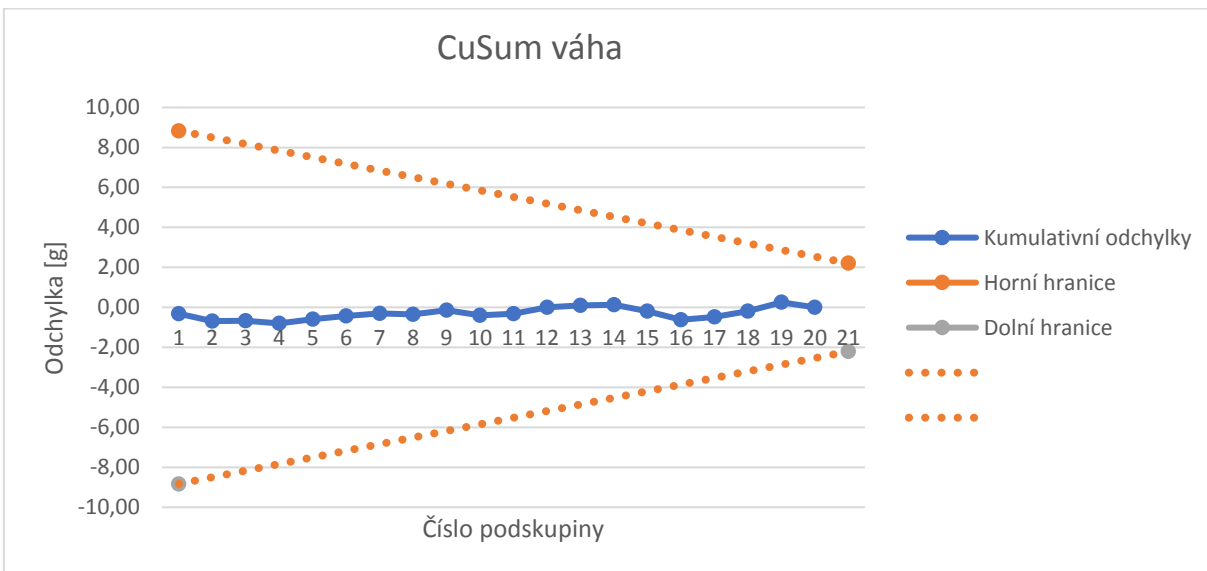
$$C_j = \sum_{i=1}^j (x_i - \mu_0)$$

Poznámka: x_i je naměřená hodnota podskupiny, μ_0 je cílová střední hodnota, C_j je hodnota kumulativních součtů rozdílů po j -tém výběru.

Pro aplikaci metody kumulovaných součtů a rozhodovací masky bylo nutné stanovit určující úhel Θ nebo vzdálenost krajních bodů horní a dolní hranic od první a poslední hodnoty odchylek. Zvolil jsem druhý způsob, kdy vzdálenost byla určena hodnotami $5 \cdot \sigma$ a $k \cdot \sigma$ (kde k je počet podskupin)



Obr. 37: diagram CuSum délky masky
Zdroj: Vlastní tvorba
Příloha 13



Obr. 38: diagram CuSum váhy masky
Zdroj: vlastní tvorba
Příloha 14

Oba grafy ukazují na to, že tento proces je dostatečně stabilní, a žádná hodnota kumulativní odchylky se ani nepřibližuje ke hranicím rozhodovací masky.

2.2.10. EWMA

Diagramy EWMA byli spočítány pomocí následujících vztahů:

$$EWMA_j = (1 - \lambda) * EWMA_{j-1} + \lambda x_j$$

$$EWMA_0 = z_0$$

$$UCL_j = CL + L\sigma_{EWMA_j} = \mu_0 + L\sigma_{EWMA_j}$$

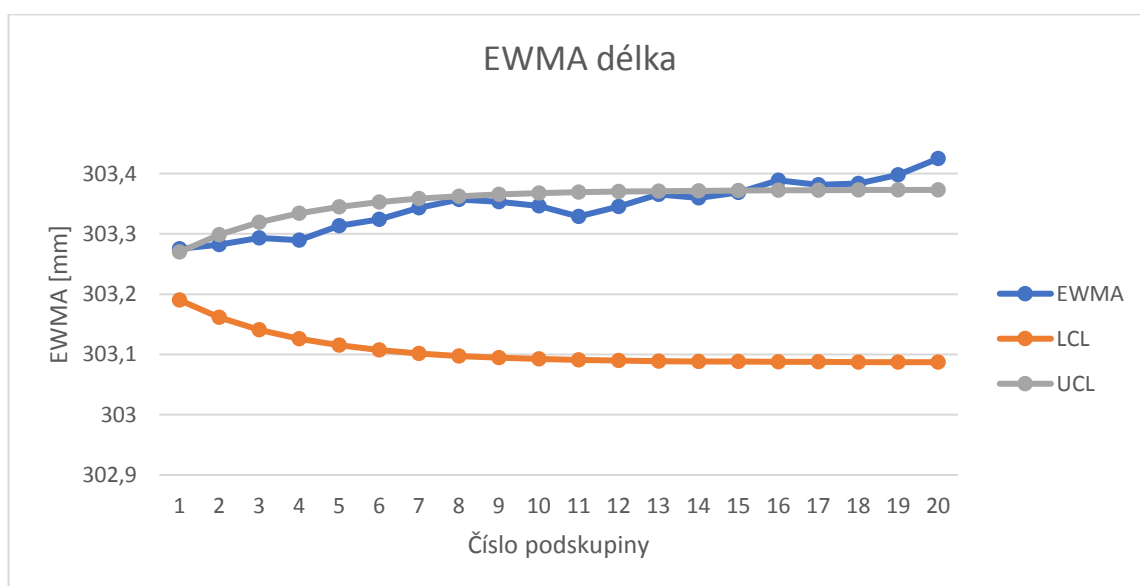
$$LCL_j = CL - L\sigma_{EWMA_j} = \mu_0 - L\sigma_{EWMA_j}$$

$$\sigma_{EWMA_j} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2j}]}$$

Jak bylo uvedeno v teoretické části, zvolil jsem další hodnoty konstant:

$$\lambda = 0,15$$

$$L = 2,8$$

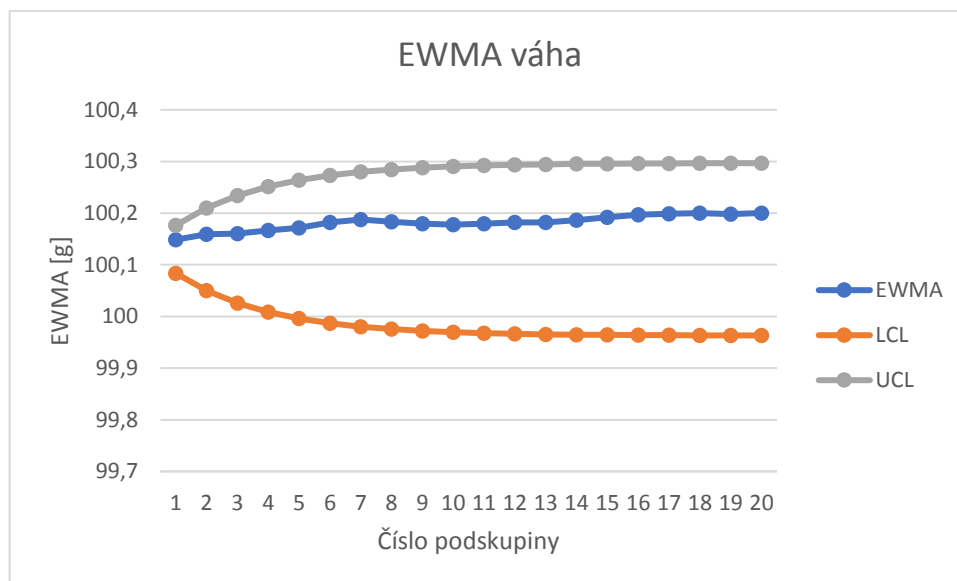


Obr. 39: diagram EWMA délky masky

Zdroj: vlastní tvorba

Příloha 15

Graf EWMA délky masky ukazuje špatné výsledky: počátek není centrován a od patnáctého výběru hodnoty překračují horní limit. Na základě těchto faktů lze říct, že tento výrobní proces není statistické zvládnutý.



Obr. 40: diagram EWMA váhy masky
 Zdroj: vlastní tvorba
 Příloha 16

Graf EWMA váhy masky má zobrazuje docela pozitivní výsledky, na základě kterých lze říct, že tento výrobní proces je statisticky zvládnutý.

2.3. Aplikace statistické regulaci srovnáváním

Pro statistickou regulaci srovnáváním byla vybrána skupina produktů, které dodávají pro firmu Fiat. To jsou 3 modely displejů pro automobilové palubní desky.



*Obr. 41: Fiat 356
Zdroj: vlastní tvorba*



*Obr. 42: Fiat 330
Zdroj: vlastní tvorba*



*Obr. 43: Fiat 334
Zdroj: vlastní tvorba*

V období od 01.11.2017 až do 30.06.2018 byli kontrolovány 3 typy výrobků. Úkolem bylo identifikovat neshodné (vadné) výrobky. Na základě požadavků zákazníků byla zvolena 100 procentní statistická přejímka.

Během sledovaného období bylo stanoveno, že existuje 12 typů vad, které mohou vzniknout v procesu výroby:

- Poškozený rámeček
- Nedotečný silikon
- Poškozený flexi pasek
- Poškozené sklo
- Nečistota
- Zabondovaná flexi páska
- Vyteklý silikon
- Lepení displej
- Lepení rámečku skla
- Bubliny
- Poškozený displej
- Silikon pod symboly

Až se objeví jedná z uvedených vad, tento výrobek je brán jako zmetek.

Opravný vady vznikají buď také uvnitř podniku, ale jsou lehce opravitelné, nebo jsou následkem špatné dodávky materiál. Proto vzniklé náklady buď zanedbatelné, nebo jsou přiřazeny dodavatelům materiálu, nebo polotovarů.

Fiat 356:

| Měsíc | 11.17 | 12.17 | 01.18 | 02.18 | 03.18 | 04.18 | 05.18 | 06.18 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Celkem [Ks] | 16718 | 11160 | 15154 | 16108 | 16162 | 12814 | 14546 | 9456 |
| Poškozený rámeček | 28 | 36 | 57 | 68 | 36 | 14 | 13 | 20 |
| Nedotečný silikon | 77 | 27 | 98 | 27 | 10 | 19 | 28 | 0 |
| Poškozený flexi pasek | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Poškozené sklo | 6 | 10 | 10 | 12 | 19 | 16 | 8 | 5 |
| Nečistota | 3 | 1 | 6 | 16 | 37 | 32 | 17 | 15 |
| Zabondovaná flexi páska | 28 | 1 | 15 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| Vytekly silikon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepení displej | 1 | 0 | 1 | 5 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| Lepení rámeček sklo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Bublíny | 21 | 22 | 83 | 79 | 30 | 1 | 4 | 18 |
| Poškozený displej | 4 | 24 | 18 | 4 | 8 | 11 | 2 | 3 |
| Silikon pod symboly | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tab. 14: vady Fiatu 356

Zdroj: vlastní tvorba

Fiat 330:

| Měsíc | 11.17 | 12.17 | 01.18 | 02.18 | 03.18 | 04.18 | 05.18 | 06.18 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Celkem [Ks] | 2965 | 2117 | 4768 | 3731 | 3285 | 2848 | 4276 | 3485 |
| Poškozený rámeček | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nedotečný silikon | 20 | 2 | 3 | 7 | 8 | 15 | 49 | 9 |
| Poškozený flexi pasek | 4 | 11 | 1 | 36 | 14 | 5 | 9 | 7 |
| Poškozené sklo | 0 | 19 | 38 | 34 | 3 | 7 | 6 | 31 |
| Nečistota | 0 | 17 | 42 | 70 | 56 | 6 | 21 | 36 |
| Zabondovaná flexi páska | 24 | 4 | 5 | 18 | 13 | 6 | 63 | 24 |
| Vytekly silikon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepení displej | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| Lepení rámeček sklo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Bublíny | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 11 | 4 | 2 |
| Poškozený displej | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Silikon pod symboly | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tab. 15: vady Fiatu 330

Zdroj: vlastní tvorba

Fiat 334

| Měsíc | 11.17 | 12.17 | 01.18 | 02.18 | 03.18 | 04.18 | 05.18 | 06.18 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Celkem [Ks] | 7139 | 8601 | 5530 | 14527 | 11884 | 11252 | 12543 | 8647 |
| Poškozený rámeček | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nedotečný silikon | 200 | 5 | 3 | 3 | 5 | 33 | 3 | 0 |
| Poškozený flexi pasek | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Poškozené sklo | 20 | 4 | 4 | 43 | 9 | 12 | 12 | 5 |
| Nečistota | 1 | 5 | 7 | 40 | 18 | 25 | 23 | 15 |
| Zabondovaná flexi páska | 16 | 1 | 4 | 8 | 0 | 6 | 5 | 2 |
| Vyteklý silikon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepení displej | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lepení rámeček sklo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bublíny | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 5 | 11 | 10 |
| Poškozený displej | 1 | 1 | 2 | 6 | 8 | 5 | 1 | 2 |
| Silikon pod symboly | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tab. 16: vady Fiatu 334

Zdroj: vlastní tvorba

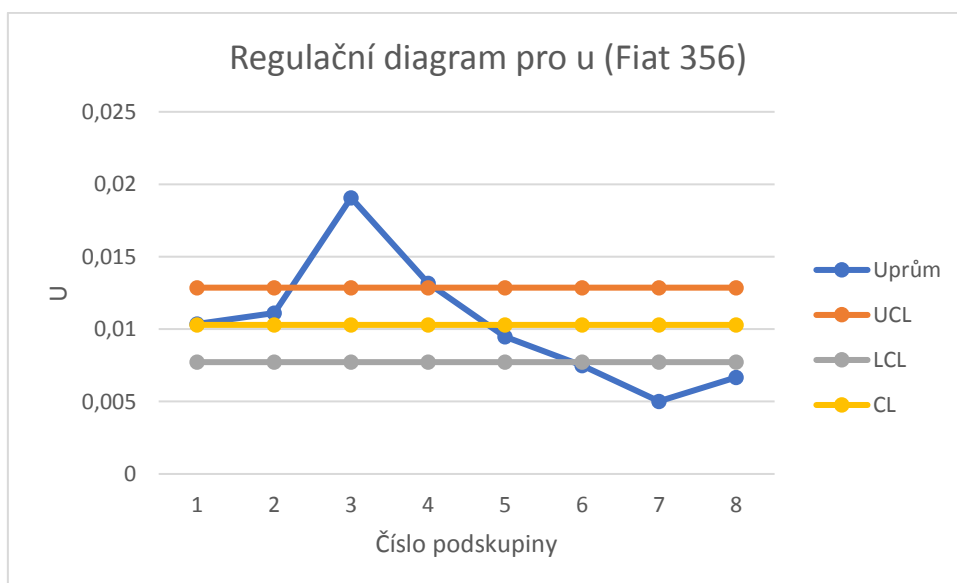
Při kontrole údajů statistickou regulací srovnáváním je nutné zvolit typ regulačního diagramu. Ale vzniká problém s tím, že není možné rozdělit údaje na podskupiny se stejným počtem výrobků, protože výroba těchto komponentů není rovnoměrná. Proto jsem zvolil následující regulační diagram:

$$CL = \bar{u}$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$$

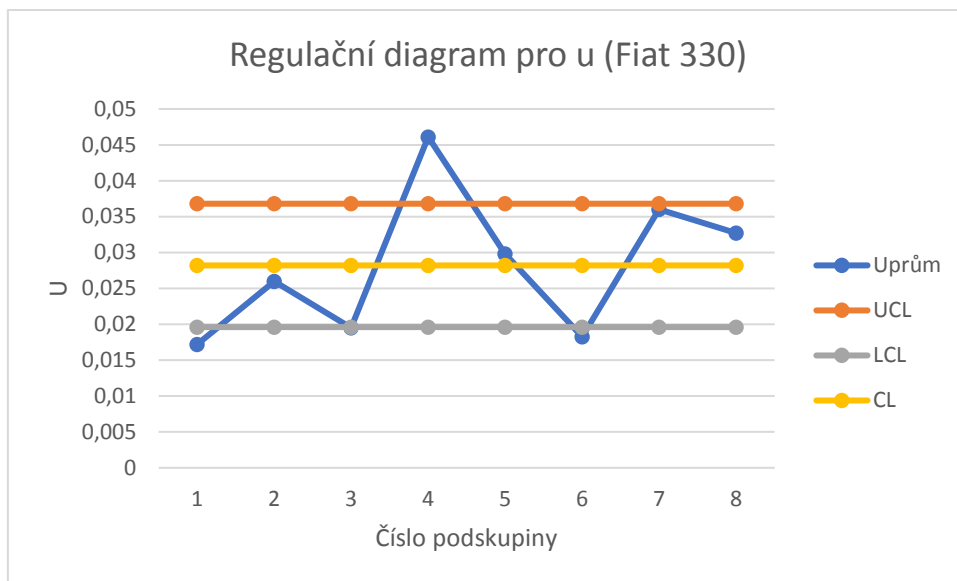
$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$$

Poznámka: u je střední podíl zmetků v podskupině, \bar{u} je průměrná hodnota podílů zmetků v podskupině, n je střední počet výrobků v podskupině.



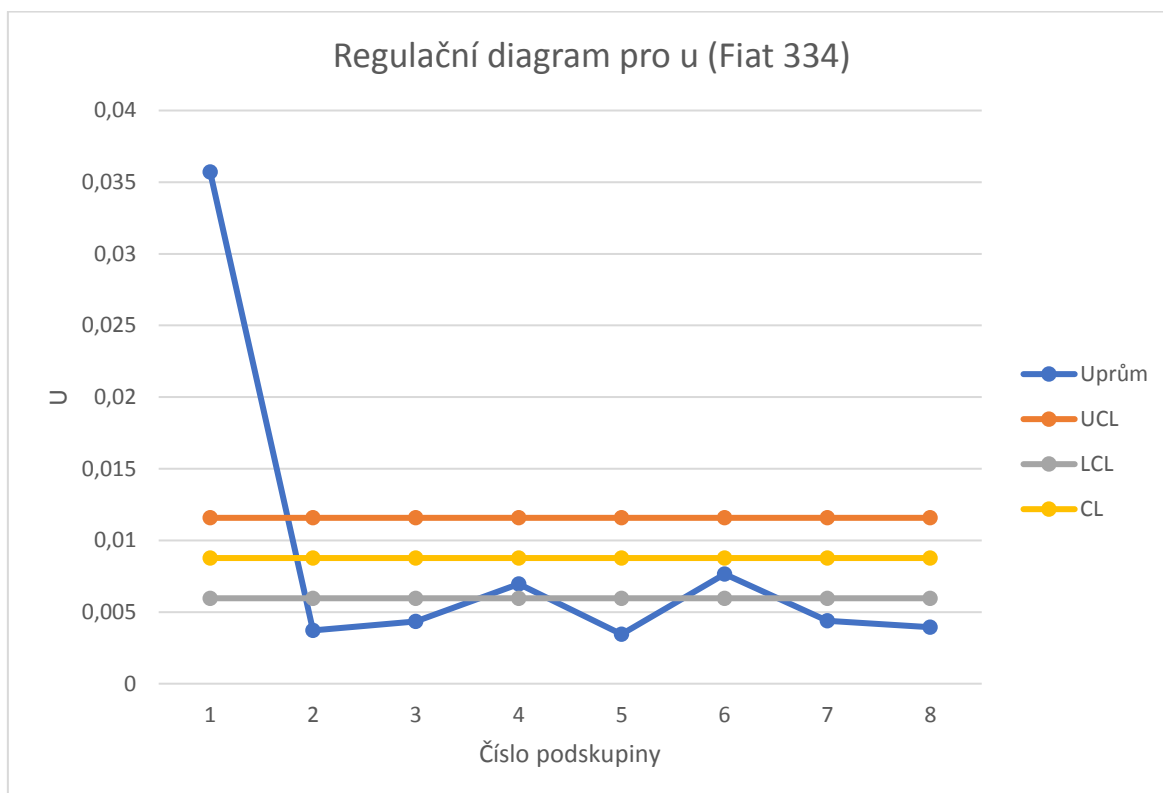
Obr. 44: regulační diagram Fiat 356

Zdroj: vlastní tvorba



Obr. 45: regulační diagram Fiat 330

Zdroj: vlastní tvorba



Obr. 46: regulační diagram Fiat 334

Zdroj: vlastní tvorba

2.4. Závěr

Jedním z cílů této práce bylo zavedení statistické regulace výrobních procesů. Použité metody ukázali skoro stejné výsledky – i když hodnocený podnik má docela dobré ukazatele bezvadnosti výroby ve většině typů svých produktů, některé procesy nejsou statisticky zvládnuty. Tyto malé výkyvy v jakosti produktů nejsou příčinou velkých nákladů, ale jakýkoliv proces může být preventivně regulován. Není vždycky jasné, jak velké následky mohou mít malé problémy s kvalitou (Paretovo pravidlo), proto je nutné neustále sledovat výrobní procesy pomocí nástrojů statistické analýzy.

Během konzultace s pracovníky podniku Continental AG, zjistil jsem, že oddělení kvality nepoužívá žádné regulační diagramy. Proto výsledky této diplomové práce byly prezentovány manažerům kvality podniku.

Domnívám se, že jednoduchá statistická analýza může podnik upozornit na možná problémová místa. O tom, jaké metody regulace volit, rozhoduje individuálně každý podnik, na základě jeho potřeb.

Metody, které jsem použil, by mohly umožnit rychleji a jednodušší odhalovat budoucí výkyvy v kvalitě, kontrolovat trendy a eliminovat příčiny vzniku zmetků, a tyto metody se mohli teoretické projevit zvýšením kvality.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I*. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.
- [2] JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. Pokročilejší metody statistické regulace procesu. *Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada)*. ISBN 978-80-247-5355-3
- [3] TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1766-8.
- [4] NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody v řízení jakosti*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-318-4.
- [5] *Journal of quality technology*. Milwaukee: American Society for Quality Control. ISSN 0022-4065.
- [6] KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management jakosti II*. 3., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04656-2.
- [7] PANDE, Peter S, Robert P NEUMAN a Roland R CAVANAGH. *Zavádíme metodu Six Sigma, aneb, Jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. Brno: TwinsCom, c2002. ISBN 80-238-9289-4.
- [8] DEVOR, Richard E, Tsong-how CHANG a John W SUTHERLAND. *Statistical quality design and control: contemporary concepts and methods*. New York: Maxwell Macmillan International, c1992. ISBN 002329180X.
- [9] MESSINA, William S. *Statistical quality control for manufacturing managers*. New York: Wiley, c1987. ISBN 0471857742.
- [10] [online]. [cit. 2018-08-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pozadavky-na-kvalitu-a-realne-moznosti-technologie-vstrikovani.html>
- [11] [online]. [cit. 2018-08-17]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/metody/dmaic-metoda-1/>
- [12] [online]. [cit. 2018-08-17]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=51>
- [13] [online]. [cit. 2018-08-17]. Dostupné z: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc323.htm>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: vliv C_p na ppm

Str. 15

Tab. 2: Regulační diagram pro X a R

Str. 20

Tab. 3: Regulační diagram pro X a S

Str. 21

Tab. 4: Regulační diagram srovnáním

Str. 22

Tab. 5: Technický předpis pro zadní kryt

Str. 35

Tab. 6: hodnoty délky jedenácté podskupiny zadního krytu

Str. 40

Tab. 7: hodnoty váhy třetí podskupiny zadního krytu

Str. 42

Tab. 8: hodnoty váhy dvanácté podskupiny zadního krytu

Str. 43

Tab. 9: hodnoty váhy dvacáté podskupiny zadního krytu

Str. 43

Tab. 10: Technický předpis pro masku

Str. 48

Tab. 11: hodnoty délky třetí podskupiny masky

Str. 49

Tab. 12: hodnoty váhy šestnácté podskupiny masky

Str. 56

Tab. 13: hodnoty váhy devatenácté podskupiny masky

Str. 57

Tab. 14: vady Fiatu 356

Str. 63

Tab. 15: vady Fiatu 330

Str. 63

Tab. 16: vady Fiatu 334

Str. 64

SEZNAM OBRAZKŮ

Obr. 1: Diagram přesnosti

Str. 10

Obr. 2: Diagram přesnosti

Str. 10

Obr. 3: Diagram přesnosti

Str. 11

Obr. 4: Proces typu A

Str. 12

Obr. 5: Proces typu B

Str. 12

Obr. 6: Proces typu C

Str. 13

Obr. 7: Proces typu D

Str. 13

Obr. 8: Vliv C_p na toleranci

Str. 14

Obr. 9: Etapy statistické regulace

Str. 16

Obr. 10: Regulační diagram

Str. 18

Obr. 11: Rozhodovací maska

Str. 24

Obr. 12: Rozhodovací maska

Str. 25

Obr. 13: EWMA diagram

Str. 26

Obr. 14: Crowderový diagram

Str. 27

Obr. 15: Zadní kryt palubní desky

Str. 34

Obr. 16: graf podskupinových hodnot délky zadního krytu

Str. 35

Obr. 17: graf podskupinových hodnot váhy zadního krytu

Str. 36

Obr. 18: graf stability výrobního procesu (délka zadního krytu)

Str. 37

Obr. 19: graf stability výrobního procesu (váha zadního krytu)

Str. 38

Obr. 20: regulační diagram průměrů délky zadního krytu

Str. 40

Obr. 21: Regulační diagram směrodatné odchylky délky zadního krytu

Str. 41

Obr. 22: Regulační diagram průměrů váhy zadního krytu
Str. 42

Obr. 23: Regulační diagram směrodatné odchyly váhy zadního krytu
Str. 44

Obr. 24: Diagram CuSum délky zadního krytu
Str. 45

Obr. 25: Diagram CuSum váhy zadního krytu
Str. 45

Obr. 26: Diagram EWMA délky zadního krytu
Str. 46

Obr. 27: Diagram EWMA délky zadního krytu
Str. 47

Obr. 28: maska palubní desky
Str. 48

Obr. 29: graf průměrů délky masky
Str. 49

Obr. 30: graf průměrů váhy masky
Str. 50

Obr. 31: graf stability výrobního procesu (délka masky)
Str. 51

Obr. 32: graf stability výrobního procesu (váha masky)
Str. 52

Obr. 33: Regulační diagram průměrů délky masky
Str. 54

Obr. 34: Regulační diagram směrodatné odchyly délky masky
Str. 55

Obr. 35: Regulační diagram průměrů váhy masky
Str. 56

Obr. 36: regulační diagram směrodatné odchyly váhy masky
Str. 57

Obr. 37: diagram CuSum délky masky
Str. 58

Obr. 38: diagram CuSum váhy masky
Str. 59

Obr. 39: diagram EWMA délky masky
Str. 60

Obr. 40: diagram EWMA váhy masky
Str. 60

Obr. 41: Fiat 356
Str. 61

Obr. 42: Fiat 330
Str. 61

Obr. 43: Fiat 334

Str. 62

Obr. 44: regulační diagram Fiat 356

Str. 65

Obr. 45: regulační diagram Fiat 330

Str. 65

Obr. 46: regulační diagram Fiat 334

Str. 66

Seznám přílohy

Příloha 1

| délka | Xpr | x+3s | x-3s |
|-------|----------|----------|----------|
| 1 | 328,34 | 329,2084 | 327,4436 |
| 2 | 328,264 | 329,4838 | 327,1442 |
| 3 | 328,406 | 329,5527 | 327,6033 |
| 4 | 328,1747 | 328,8458 | 327,1862 |
| 5 | 328,5047 | 329,0035 | 328,0965 |
| 6 | 328,412 | 329,0392 | 327,3008 |
| 7 | 328,3413 | 329,3106 | 327,5614 |
| 8 | 328,372 | 329,2579 | 327,3701 |
| 9 | 328,2907 | 329,3817 | 327,4303 |
| 10 | 328,412 | 329,122 | 327,766 |
| 11 | 327,9287 | 329,1788 | 326,8772 |
| 12 | 328,1253 | 328,8877 | 327,1723 |
| 13 | 328,2787 | 329,2223 | 327,4657 |
| 14 | 328,2707 | 329,2684 | 327,1396 |
| 15 | 328,216 | 328,9989 | 327,3371 |
| 16 | 328,2847 | 329,9149 | 326,9251 |
| 17 | 328,4372 | 328,7711 | 327,9049 |
| 18 | 328,534 | 328,7691 | 328,3149 |
| 19 | 328,3567 | 329,112 | 327,344 |
| 20 | 328,232 | 329,1587 | 327,3413 |

Příloha 2

| váha | Xpr | x+3s | x-3s |
|------|----------|----------|----------|
| 1 | 70,89733 | 71,67899 | 69,62101 |
| 2 | 71,01933 | 72,09312 | 69,55088 |
| 3 | 71,68733 | 73,13526 | 70,59274 |
| 4 | 70,94533 | 71,38241 | 70,45759 |
| 5 | 71,02 | 72,78677 | 69,59723 |
| 6 | 71,14533 | 71,75109 | 70,64891 |
| 7 | 70,67333 | 72,37618 | 69,53582 |
| 8 | 70,91 | 72,90313 | 69,50887 |
| 9 | 71,18867 | 72,25328 | 70,15472 |
| 10 | 70,742 | 72,85851 | 69,42949 |
| 11 | 70,99133 | 72,01091 | 69,89709 |
| 12 | 70,42133 | 71,51412 | 68,34588 |
| 13 | 70,71 | 70,94689 | 70,49311 |
| 14 | 70,76733 | 71,40916 | 70,29084 |
| 15 | 70,778 | 71,50015 | 70,19585 |
| 16 | 70,846 | 72,05066 | 70,19334 |

| | | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| 17 | 71,20867 | 72,26065 | 70,01535 |
| 18 | 71,29867 | 72,16074 | 70,50726 |
| 19 | 70,67267 | 71,94858 | 69,79542 |
| 20 | 71,946 | 73,29299 | 71,03501 |

Příloha 3

| délka | S | B3*S | B4*S |
|--------------|----------|-------------|-------------|
| 1 | 0,294143 | 0,1239 | 0,4553 |
| 2 | 0,389937 | 0,1239 | 0,4553 |
| 3 | 0,324896 | 0,1239 | 0,4553 |
| 4 | 0,276595 | 0,1239 | 0,4553 |
| 5 | 0,151167 | 0,1239 | 0,4553 |
| 6 | 0,289717 | 0,1239 | 0,4553 |
| 7 | 0,291545 | 0,1239 | 0,4553 |
| 8 | 0,314626 | 0,1239 | 0,4553 |
| 9 | 0,325217 | 0,1239 | 0,4553 |
| 10 | 0,226015 | 0,1239 | 0,4553 |
| 11 | 0,383602 | 0,1239 | 0,4553 |
| 12 | 0,285911 | 0,1239 | 0,4553 |
| 13 | 0,292754 | 0,1239 | 0,4553 |
| 14 | 0,354786 | 0,1239 | 0,4553 |
| 15 | 0,276955 | 0,1239 | 0,4553 |
| 16 | 0,498289 | 0,1239 | 0,4553 |
| 17 | 0,144371 | 0,1239 | 0,4553 |
| 18 | 0,075701 | 0,1239 | 0,4553 |
| 19 | 0,294656 | 0,1239 | 0,4553 |
| 20 | 0,302902 | 0,1239 | 0,4553 |

Příloha 4

| Váha | S | B3*S | B4*S |
|-------------|----------|-------------|-------------|
| 1 | 0,342996 | 0,1513 | 0,5560 |
| 2 | 0,423705 | 0,1513 | 0,5560 |
| 3 | 0,423753 | 0,1513 | 0,5560 |
| 4 | 0,154137 | 0,1513 | 0,5560 |
| 5 | 0,531589 | 0,1513 | 0,5560 |
| 6 | 0,183698 | 0,1513 | 0,5560 |
| 7 | 0,473394 | 0,1513 | 0,5560 |
| 8 | 0,565709 | 0,1513 | 0,5560 |
| 9 | 0,349759 | 0,1513 | 0,5560 |
| 10 | 0,571503 | 0,1513 | 0,5560 |
| 11 | 0,352302 | 0,1513 | 0,5560 |

| | | | |
|-----------|----------|--------|--------|
| 12 | 0,528039 | 0,1513 | 0,5560 |
| 13 | 0,075631 | 0,1513 | 0,5560 |
| 14 | 0,186386 | 0,1513 | 0,5560 |
| 15 | 0,217384 | 0,1513 | 0,5560 |
| 16 | 0,309555 | 0,1513 | 0,5560 |
| 17 | 0,374217 | 0,1513 | 0,5560 |
| 18 | 0,275581 | 0,1513 | 0,5560 |
| 19 | 0,358859 | 0,1513 | 0,5560 |
| 20 | 0,37633 | 0,1513 | 0,5560 |

Příloha 5

| | Xpr | Cj |
|-----------|------------|-----------|
| 1 | 328,34 | 0,03 |
| 2 | 328,264 | -0,01 |
| 3 | 328,406 | 0,08 |
| 4 | 328,1747 | -0,05 |
| 5 | 328,5047 | 0,14 |
| 6 | 328,412 | 0,25 |
| 7 | 328,3413 | 0,28 |
| 8 | 328,372 | 0,34 |
| 9 | 328,2907 | 0,32 |
| 10 | 328,412 | 0,43 |
| 11 | 327,9287 | 0,05 |
| 12 | 328,1253 | -0,14 |
| 13 | 328,2787 | -0,17 |
| 14 | 328,2707 | -0,21 |
| 15 | 328,216 | -0,30 |
| 16 | 328,2847 | -0,32 |
| 17 | 328,4372 | -0,20 |
| 18 | 328,534 | 0,03 |
| 19 | 328,3567 | 0,08 |
| 20 | 328,232 | 0,00 |

Příloha 6

| | Xpr | Cj |
|----------|------------|-----------|
| 1 | 70,89733 | -0,04 |
| 2 | 71,01933 | 0,05 |
| 3 | 71,68733 | 0,80 |
| 4 | 70,94533 | 0,82 |
| 5 | 71,02 | 0,90 |
| 6 | 71,14533 | 1,12 |

| | | |
|-----------|----------|-------|
| 7 | 70,67333 | 0,86 |
| 8 | 70,91 | 0,83 |
| 9 | 71,18867 | 1,09 |
| 10 | 70,742 | 0,90 |
| 11 | 70,99133 | 0,96 |
| 12 | 70,42133 | 0,45 |
| 13 | 70,71 | 0,22 |
| 14 | 70,76733 | 0,06 |
| 15 | 70,778 | -0,10 |
| 16 | 70,846 | -0,19 |
| 17 | 71,20867 | 0,09 |
| 18 | 71,29867 | 0,46 |
| 19 | 70,67267 | 0,20 |
| 20 | 71,946 | 1,21 |

Příloha 7

| | Xpr | EWMA | Sigma | LCL | UCL |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 328 | | | |
| 1 | 328,34 | 328,051 | 0,026523 | 328,2348 | 328,3833 |
| 2 | 328,264 | 328,083 | 0,045686 | 328,1811 | 328,437 |
| 3 | 328,406 | 328,1314 | 0,059531 | 328,1424 | 328,4757 |
| 4 | 328,1747 | 328,1379 | 0,069534 | 328,1144 | 328,5038 |
| 5 | 328,5047 | 328,1929 | 0,076761 | 328,0941 | 328,524 |
| 6 | 328,412 | 328,2258 | 0,081983 | 328,0795 | 328,5386 |
| 7 | 328,3413 | 328,2431 | 0,085755 | 328,0689 | 328,5492 |
| 8 | 328,372 | 328,2624 | 0,088481 | 328,0613 | 328,5568 |
| 9 | 328,2907 | 328,2667 | 0,09045 | 328,0558 | 328,5623 |
| 10 | 328,412 | 328,2885 | 0,091873 | 328,0518 | 328,5663 |
| 11 | 327,9287 | 328,2345 | 0,092901 | 328,0489 | 328,5692 |
| 12 | 328,1253 | 328,2181 | 0,093644 | 328,0469 | 328,5713 |
| 13 | 328,2787 | 328,2272 | 0,094181 | 328,0454 | 328,5728 |
| 14 | 328,2707 | 328,2337 | 0,094568 | 328,0443 | 328,5739 |
| 15 | 328,216 | 328,2311 | 0,094849 | 328,0435 | 328,5746 |
| 16 | 328,2847 | 328,2391 | 0,095051 | 328,0429 | 328,5752 |
| 17 | 328,4372 | 328,2688 | 0,095197 | 328,0425 | 328,5756 |
| 18 | 328,534 | 328,3086 | 0,095303 | 328,0422 | 328,5759 |
| 19 | 328,3567 | 328,3158 | 0,095379 | 328,042 | 328,5761 |
| 20 | 328,232 | 328,3032 | 0,095434 | 328,0418 | 328,5763 |

Příloha 8

| | | EWMA | Sigma | LCL | UCL |
|---|----------|---------|----------|----------|----------|
| | | 145,10 | | | |
| 1 | 145,1133 | 145,102 | 0,010884 | 145,0695 | 145,1305 |

| | | | | | |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2 | 145,26 | 145,1257 | 0,018747 | 145,0475 | 145,1525 |
| 3 | 145,2693 | 145,1472 | 0,024428 | 145,0316 | 145,1684 |
| 4 | 145,3033 | 145,1707 | 0,028533 | 145,0201 | 145,1799 |
| 5 | 145,1953 | 145,1744 | 0,031499 | 145,0118 | 145,1882 |
| 6 | 145,09 | 145,1617 | 0,033641 | 145,0058 | 145,1942 |
| 7 | 145,144 | 145,159 | 0,035189 | 145,0015 | 145,1985 |
| 8 | 145,1147 | 145,1524 | 0,036308 | 144,9983 | 145,2017 |
| 9 | 145,3047 | 145,1752 | 0,037116 | 144,9961 | 145,2039 |
| 10 | 145,258 | 145,1876 | 0,0377 | 144,9944 | 145,2056 |
| 11 | 145,1433 | 145,181 | 0,038122 | 144,9933 | 145,2067 |
| 12 | 145,3147 | 145,2011 | 0,038427 | 144,9924 | 145,2076 |
| 13 | 145,2653 | 145,2107 | 0,038647 | 144,9918 | 145,2082 |
| 14 | 145,214 | 145,2112 | 0,038806 | 144,9913 | 145,2087 |
| 15 | 145,244 | 145,2161 | 0,038921 | 144,991 | 145,209 |
| 16 | 145,32 | 145,2317 | 0,039004 | 144,9908 | 145,2092 |
| 17 | 145,1373 | 145,2175 | 0,039064 | 144,9906 | 145,2094 |
| 18 | 145,1653 | 145,2097 | 0,039107 | 144,9905 | 145,2095 |
| 19 | 145,112 | 145,1951 | 0,039139 | 144,9904 | 145,2096 |
| 20 | 145,252 | 145,2036 | 0,039161 | 144,9903 | 145,2097 |

Příloha 9

| | Xpr | x+3s | x-3s |
|-----------|----------|----------|-------------|
| 1 | 303,402 | 304,348 | 302,9200084 |
| 2 | 303,3113 | 303,6899 | 302,6581085 |
| 3 | 303,928 | 307,8047 | 299,5352758 |
| 4 | 303,4293 | 303,6002 | 303,099848 |
| 5 | 303,548 | 303,9144 | 303,0896118 |
| 6 | 303,4773 | 303,9588 | 303,101169 |
| 7 | 303,2773 | 305,7382 | 301,2218291 |
| 8 | 303,4393 | 303,9318 | 302,7721931 |
| 9 | 303,4313 | 303,928 | 303,0920239 |
| 10 | 303,3573 | 303,8443 | 302,9276813 |
| 11 | 303,4873 | 304,7856 | 302,0063895 |
| 12 | 303,316 | 303,8784 | 302,8775842 |
| 13 | 303,444 | 303,6842 | 303,08384 |
| 14 | 303,434 | 303,9728 | 302,9871958 |
| 15 | 303,304 | 303,6491 | 302,8108867 |
| 16 | 303,314 | 303,8279 | 302,7880615 |
| 17 | 303,3747 | 303,8312 | 302,8807906 |
| 18 | 303,452 | 303,8315 | 303,196472 |
| 19 | 303,3587 | 303,9003 | 302,9076695 |

| | | | |
|-----------|----------|----------|-------------|
| 20 | 303,5693 | 304,2455 | 302,5984856 |
|-----------|----------|----------|-------------|

Příloha 10

| | Xpr | x+3s | x-3s |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | 164,2433 | 166,6271 | 162,9769 |
| 2 | 164,1887 | 165,0514 | 163,2806 |
| 3 | 164,5747 | 165,7534 | 163,3746 |
| 4 | 164,438 | 166,9691 | 162,0189 |
| 5 | 164,7747 | 166,3239 | 163,8361 |
| 6 | 164,714 | 165,8764 | 162,9956 |
| 7 | 164,6973 | 165,6205 | 163,8515 |
| 8 | 164,5173 | 165,5353 | 163,8727 |
| 9 | 164,764 | 166,3457 | 163,7503 |
| 10 | 164,3073 | 166,9753 | 162,1207 |
| 11 | 164,6473 | 167,3814 | 161,5746 |
| 12 | 164,8687 | 165,9279 | 163,2121 |
| 13 | 164,6693 | 165,1239 | 164,1361 |
| 14 | 164,5873 | 165,742 | 162,986 |
| 15 | 164,2513 | 165,5197 | 162,6683 |
| 16 | 164,1193 | 164,9877 | 163,0763 |
| 17 | 164,7067 | 165,2558 | 164,3362 |
| 18 | 164,8527 | 165,7727 | 164,3593 |
| 19 | 165,0027 | 165,8566 | 164,2514 |
| 20 | 164,312 | 166,044 | 163,02 |

Příloha 11

| Délka | S | B3*S | B4*S |
|--------------|----------|-------------|-------------|
| 1 | 0,237997 | 0,1134 | 0,4167 |
| 2 | 0,171964 | 0,1134 | 0,4167 |
| 3 | 1,378241 | 0,1134 | 0,4167 |
| 4 | 0,083384 | 0,1134 | 0,4167 |
| 5 | 0,137463 | 0,1134 | 0,4167 |
| 6 | 0,142944 | 0,1134 | 0,4167 |
| 7 | 0,752724 | 0,1134 | 0,4167 |
| 8 | 0,193269 | 0,1134 | 0,4167 |
| 9 | 0,139325 | 0,1134 | 0,4167 |
| 10 | 0,152773 | 0,1134 | 0,4167 |
| 11 | 0,463203 | 0,1134 | 0,4167 |
| 12 | 0,166805 | 0,1134 | 0,4167 |
| 13 | 0,100053 | 0,1134 | 0,4167 |

| | | | |
|-----------|----------|--------|--------|
| 14 | 0,164268 | 0,1134 | 0,4167 |
| 15 | 0,139704 | 0,1134 | 0,4167 |
| 16 | 0,173313 | 0,1134 | 0,4167 |
| 17 | 0,158403 | 0,1134 | 0,4167 |
| 18 | 0,105843 | 0,1134 | 0,4167 |
| 19 | 0,165444 | 0,1134 | 0,4167 |
| 20 | 0,274505 | 0,1134 | 0,4167 |

Příloha 12

| Váha | S | B3*S | B4*S |
|-------------|----------|-------------|-------------|
| 1 | 0,60836 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 2 | 0,295135 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 3 | 0,396482 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 4 | 0,825035 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 5 | 0,414646 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 6 | 0,48015 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 7 | 0,294833 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 8 | 0,277091 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 9 | 0,432571 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 10 | 0,80911 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 11 | 0,967804 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 12 | 0,45262 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 13 | 0,164619 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 14 | 0,459325 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 15 | 0,475238 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 16 | 0,318569 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 17 | 0,153261 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 18 | 0,235555 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 19 | 0,267519 | 0,189003 | 0,694189286 |
| 20 | 0,504 | 0,189003 | 0,694189286 |

Příloha 13

| | Xpr | Cj |
|----------|------------|-----------|
| 1 | 303,5313 | 0,13 |
| 2 | 303,3227 | 0,05 |
| 3 | 303,3553 | 0,01 |
| 4 | 303,2673 | -0,13 |
| 5 | 303,4493 | -0,08 |
| 6 | 303,386 | -0,10 |
| 7 | 303,4513 | -0,05 |
| 8 | 303,4333 | -0,01 |

| | | |
|-----------|----------|-------|
| 9 | 303,334 | -0,08 |
| 10 | 303,3067 | -0,18 |
| 11 | 303,23 | -0,35 |
| 12 | 303,4387 | -0,31 |
| 13 | 303,478 | -0,23 |
| 14 | 303,3267 | -0,31 |
| 15 | 303,4213 | -0,29 |
| 16 | 303,5013 | -0,19 |
| 17 | 303,3407 | -0,25 |
| 18 | 303,394 | -0,26 |
| 19 | 303,482 | -0,18 |
| 20 | 303,5767 | 0,00 |

Příloha 14

| | Xpr | Cj |
|-----------|----------|-------|
| 1 | 164,2433 | -0,32 |
| 2 | 164,1887 | -0,69 |
| 3 | 164,5747 | -0,68 |
| 4 | 164,438 | -0,80 |
| 5 | 164,7747 | -0,59 |
| 6 | 164,714 | -0,44 |
| 7 | 164,6973 | -0,30 |
| 8 | 164,5173 | -0,35 |
| 9 | 164,764 | -0,14 |
| 10 | 164,3073 | -0,40 |
| 11 | 164,6473 | -0,31 |
| 12 | 164,8687 | -0,01 |
| 13 | 164,6693 | 0,10 |
| 14 | 164,5873 | 0,13 |
| 15 | 164,2513 | -0,18 |
| 16 | 164,1193 | -0,63 |
| 17 | 164,7067 | -0,48 |
| 18 | 164,8527 | -0,19 |
| 19 | 165,0027 | 0,25 |
| 20 | 164,312 | 0,00 |

Příloha 15

| | Xpr | EWMA | Sigma | LCL | UCL |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 303,23 | | | |
| 1 | 303,5313 | 303,2752 | 0,014183 | 303,1903 | 303,2697 |
| 2 | 303,3227 | 303,2823 | 0,02443 | 303,1616 | 303,2984 |
| 3 | 303,3553 | 303,2933 | 0,031834 | 303,1409 | 303,3191 |
| 4 | 303,2673 | 303,2894 | 0,037183 | 303,1259 | 303,3341 |

| | | | | | |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5 | 303,4493 | 303,3134 | 0,041048 | 303,1151 | 303,3449 |
| 6 | 303,386 | 303,3243 | 0,04384 | 303,1072 | 303,3528 |
| 7 | 303,4513 | 303,3433 | 0,045857 | 303,1016 | 303,3584 |
| 8 | 303,4333 | 303,3568 | 0,047315 | 303,0975 | 303,3625 |
| 9 | 303,334 | 303,3534 | 0,048368 | 303,0946 | 303,3654 |
| 10 | 303,3067 | 303,3464 | 0,049129 | 303,0924 | 303,3676 |
| 11 | 303,23 | 303,3289 | 0,049678 | 303,0909 | 303,3691 |
| 12 | 303,4387 | 303,3454 | 0,050076 | 303,0898 | 303,3702 |
| 13 | 303,478 | 303,3653 | 0,050363 | 303,089 | 303,371 |
| 14 | 303,3267 | 303,3595 | 0,05057 | 303,0884 | 303,3716 |
| 15 | 303,4213 | 303,3688 | 0,05072 | 303,088 | 303,372 |
| 16 | 303,5013 | 303,3887 | 0,050828 | 303,0877 | 303,3723 |
| 17 | 303,3407 | 303,3815 | 0,050906 | 303,0875 | 303,3725 |
| 18 | 303,394 | 303,3833 | 0,050963 | 303,0873 | 303,3727 |
| 19 | 303,482 | 303,3981 | 0,051003 | 303,0872 | 303,3728 |
| 20 | 303,5767 | 303,4249 | 0,051033 | 303,0871 | 303,3729 |

Příloha 16

| | | EWMA | Sigma | LCL | UCL |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 100,13 | | | |
| 1 | 100,254 | 100,1486 | 0,016548 | 100,0837 | 100,1763 |
| 2 | 100,2173 | 100,1589 | 0,028504 | 100,0502 | 100,2098 |
| 3 | 100,1687 | 100,1604 | 0,037142 | 100,026 | 100,234 |
| 4 | 100,2 | 100,1663 | 0,043383 | 100,0085 | 100,2515 |
| 5 | 100,2007 | 100,1715 | 0,047893 | 99,9959 | 100,2641 |
| 6 | 100,2427 | 100,1821 | 0,05115 | 99,98678 | 100,2732 |
| 7 | 100,2187 | 100,1876 | 0,053504 | 99,98019 | 100,2798 |
| 8 | 100,16 | 100,1835 | 0,055205 | 99,97543 | 100,2846 |
| 9 | 100,1567 | 100,1795 | 0,056434 | 99,97199 | 100,288 |
| 10 | 100,168 | 100,1777 | 0,057321 | 99,9695 | 100,2905 |
| 11 | 100,1887 | 100,1794 | 0,057963 | 99,9677 | 100,2923 |
| 12 | 100,198 | 100,1822 | 0,058426 | 99,96641 | 100,2936 |
| 13 | 100,1813 | 100,182 | 0,058761 | 99,96547 | 100,2945 |
| 14 | 100,21 | 100,1862 | 0,059003 | 99,96479 | 100,2952 |
| 15 | 100,2253 | 100,1921 | 0,059178 | 99,9643 | 100,2957 |
| 16 | 100,226 | 100,1972 | 0,059304 | 99,96395 | 100,2961 |
| 17 | 100,208 | 100,1988 | 0,059395 | 99,96369 | 100,2963 |
| 18 | 100,2073 | 100,2001 | 0,059461 | 99,96351 | 100,2965 |
| 19 | 100,1887 | 100,1984 | 0,059509 | 99,96338 | 100,2966 |
| 20 | 100,2107 | 100,2002 | 0,059543 | 99,96328 | 100,2967 |

Příloha 17

| Cp | x | $\phi(x)$ | $1-\phi(x)$ | $2*[1-\phi(x)]$ |
|----|---|-----------|-------------|-----------------|
|----|---|-----------|-------------|-----------------|

| | | | | |
|-------------|------|------------------|-----------------|-----------------|
| 0,747928084 | 2,24 | 98,745453856405% | 1,254546143595% | 2,509092287189% |
| 1,347557946 | 4,04 | 99,997327439928% | 0,002672560072% | 0,005345120144% |
| 0,762138535 | 2,29 | 98,898934167559% | 1,101065832441% | 2,202131664882% |
| 2,506059999 | 7,51 | 99,999999999997% | 0,000000000003% | 0,000000000006% |