



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV EKONOMIKY

INSTITUTE OF ECONOMICS

VYUŽITÍ STATISTICKÝCH METOD PRO ZAJIŠTĚNÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU VÝROBY

USAGE OF STATISTICAL METHODS TO ASSURE CAPABILITY OF PRODUCTION PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominika Kuthanová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Doubravský, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav ekonomiky
Studentka:	Dominika Kuthanová
Studijní program:	Ekonomika a management
Studijní obor:	Ekonomika podniku
Vedoucí práce:	Ing. Karel Doubravský, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Využití statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza problému a současná situace
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Cílem práce je zhodnocení kvality výrobního procesu pomocí nástrojů SPC a návrh možných opatření vedoucích k jejímu zlepšení.

Základní literární prameny:

ČSN ISO 8258: Shewhartovy regulační diagramy. Praha: Český normalizační institut, 1994.

GEORGE, Michael. Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity. Brno: SC, 2010. ISBN 978-80-904099-2-7.

HŮLOVÁ, Marie a Eva JAROŠOVÁ. Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti. 4. vyd. Praha: Oeconomica, 2011. ISBN 978-80-245-1748-3.

ŠKOP, Michal a Petr POŠÍK. Six Sigma: skriptá ke kurzu. Praha: StatSoft, 2008. ISBN 978-8-903630-2-1.

MILLER, Ivan. Kapesní příručka Six Sigma. 1. vyd. Praha: Interquality, 2008. ISBN 978-80-90277-4-5

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně dne 28.2.2017

L. S.

doc. Ing. Tomáš Meluzín, Ph.D.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je zhodnocení kvality výroby pomocí nástrojů statistického řízení procesů a návrh možných opatření vedoucích k jejich zlepšení. Práce využívá následujících statistických nástrojů: regulační diagramy, testy normality a indexy způsobilosti. Bakalářská práce se také věnuje objasnění principu metodologie Six Sigma. Výstupem práce je návrh aplikace nástrojů cílový regulační diagram a index Cpm pro statistické řízení procesů zkoumané společnosti.

Abstract

The aim of bachelor's the thesis is to evaluate the quality of production using tools of statistical process control and to propose possible measures leading to its improvement. The thesis uses the following statistical tools: control charts, normality tests and capability indexes. The bachelor's thesis also clarifies the principle of Six Sigma methodology. The output of the thesis is the proposed application of following tools: target control carts and the Cpm index for statistical process control of the researched company.

Klíčová slova

statistické řízení procesů, metoda Six Sigma, regulační diagramy, index způsobilosti

Key words

statistical process control, Six Sigma methods, control charts, capability index

Bibliografická citace

KUTHANOVÁ, D. *Využití statistických metod pro zajištění způsobilosti procesu výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2017. 67 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Doubravský, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 26. května 2017

podpis studenta

Poděkování

Moje velké poděkování patří panu Ing. Karlovi Doubravskému, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za jeho cenné a odborné rady i čas. Ráda bych také poděkovala kolektivu z dané společnosti za pomoc a poskytnutí dat pro bakalářskou práci. V neposlední řadě patří moje poděkování rodině, přátelům a známým, kteří mě při psaní této práce podporovali.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 CÍL A METODIKA PRÁCE.....	12
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE.....	14
2.1 Six sigma a Lean Six Sigma.....	14
2.2 DMAIC.....	16
2.2.1 Fáze DMAIC.....	16
2.3 Statistické řízení procesů.....	17
2.3.1 Vymežitelné a náhodné příčiny.....	18
2.3.2 Etapy statistického řízení procesu.....	19
2.3.3 Klasifikace dat.....	20
2.4 Regulační diagram.....	20
2.4.1 Regulační diagramy (\bar{x} , R).....	22
2.4.2 Regulační diagramy (x_i , R $_{kli}$).....	23
2.4.3 Cílové regulační diagramy.....	23
2.5 Histogram.....	24
2.6 Normální rozdělení.....	24
2.6.1 Testování normality (test Kolmogororův – Smirnonův).....	25
2.7 Indexy způsobilosti.....	26
2.7.1 Index Cp.....	27
2.7.2 Index Cpk.....	28

2.7.3	Index Cpm a Cpmk	30
3	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	32
3.1	Představení společnosti Z.....	32
3.2	SPC ve společnosti Z	33
3.2.1	Postup při získávání dat a popis průběhu SPC	34
3.2.2	Datový soubor.....	35
3.2.3	Analyzovaný produkt.....	35
3.2.4	Aplikace (\bar{x} , R) regulačního diagramu	36
3.3	Zhodnocení současného stavu.....	39
3.3.1	Aplikace testů na normalitu	39
3.3.2	Aplikace indexů způsobilosti.....	41
3.3.3	Vyhodnocení.....	44
4	VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ	46
4.1	Cílový regulační diagram	46
4.1.1	Analyzovaný produkt.....	46
4.1.2	Analýza procesu a aplikace cílového regulačního diagramu.....	47
4.1.3	Vyhodnocení.....	50
4.2	Regulační diagram (\bar{x} , R _{kli})	51
4.2.1	Analyzovaný produkt.....	51
4.2.2	Analýza procesu a aplikace regulačního diagramu (\bar{x} , R _{kli})	51
4.2.3	Vyhodnocení.....	54

4.3	Návrh na eliminaci SPC	55
4.4	Zhodnocení návrhů.....	57
	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	62
	SEZNAM GRAFŮ	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

ÚVOD

Statistika jako vědní disciplína nabízí společnostem při zvyšování efektivnosti jejich činností mnoho prostředků jak ke sledování a regulaci procesů, tak i k odhalování chyb či zjišťování nedostatků. Implementace statistických nástrojů může společnostem přinášet nemalou konkurenční výhodu v podobě zlepšování kvality a úspory nákladů. Využívání statistických nástrojů je tak ve vyspělých firmách samozřejmou a důležitou součástí.

Vzhledem k aktuálně probíhající celosvětové krizi s nedostatkem kovů, se využívání statistických metod stává nutným instrumentem pro eliminování plýtvání se základními materiály. Nedostatek je způsoben rostoucí poptávkou cílových zákazníků a nedostatečným mapováním „value stream“ na straně jedné. A silným konkurenčním bojem o základní materiály na straně druhé. Dodavatelé globálně hlásí nedostatek „železa“ ve výhledu minimálně jednoho roku do budoucna. Dále se nedá očekávat, že by se situace zásadně změnila, poptávka nadále poroste zřejmě rychleji, než se dá očekávat u zdrojů. Z těchto důvodů se u dodavatelů dá očekávat růst cen základních materiálů.

Výše zmíněné je i aktuálním tématem ve společnosti, se kterou jsem na bakalářské práci spolupracovala. Tržní oblastí působení společnosti je zejména automobilový průmysl. Úzkou spoluprací jsem navázala se střediskem lisovny kovů, kde také vznikl podnět k vypracování této bakalářské práce. Ve společnosti jsem se zajímala o aktuální procesy a jejich využití na konkrétním případě.

Hlavním cílem práce je zhodnocení kvality výroby pomocí statistického řízení procesů a návrh možných opatření vedoucích k jeho zlepšení.

1 CÍL A METODIKA PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce je zhodnocení statistického řízení procesů při výrobě v konkrétní společnosti a stanovení možných návrhů na jeho zlepšení pomocí statistických nástrojů.

Mezi dílčí cíle práce řadím představení zkoumané společnosti. Podrobné seznámení s problematikou statistického řízení procesů jak v teoretické, tak i v praktické rovině. Práce je věnovaná především problematice regulačních digramů a indexů způsobilosti. Dalším dílčím cílem je provést konkrétní statistickou analýzu na vybraných produktech pomocí zvolených statistických nástrojů.

Název společnosti, s níž jsem na bakalářské práci spolupracovala nemohu kvůli jejímu požadavku uvést, v celé práci ji tedy dále označuji jako společnost Z. Společnost Z využívá pro své projekty metodologii Six Sigma, aby zajistila co největší výkonnost svého působení ve všech oblastech jejího fungování. Statistické řízení procesů je součástí této metodologie. Z tohoto důvodu je i část práce věnovaná objasnění principu metodologie Six Sigma.

Praktická část práce zkoumá aktivity ve středisku lisovny kovů, kde probíhá výroba analyzovaných produktů a zmiňované statistické řízení procesů (dále SPC). V této části práce je aplikace regulačního diagramu (\bar{x} , R) na vybraný produkt, řešeno je zde také rozdělení datového souboru analýzou pomocí histogramů a testů normality. Vyhodnocována je dále způsobilost procesů za využití indexů způsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pm} a C_{pmk} .

Požadavek na SPC je ve společnosti Z stanoven externě (zákazníkem) nebo interně (projektovým inženýrem). Zadáním od společnosti Z je zhodnotit SPC, které probíhá na základě interního požadavku.

Z poskytnuté dokumentace jsem tedy vybrala konkrétní produkty, kde je požadavek stanoven interně, což bylo prvním krokem mé práce. Dalším krokem bylo určení časového rámce pro zhodnocení SPC. Ten jsem určila na období jednoho roku. Od společnosti jsem získala evidenci naměřených dat z SPC pro vytyčený časový interval

a vybrané produkty. Z této evidence bylo pro další vyhodnocování nutné sestavit jednotnou databázi. Součástí práce bylo také seznámit se s postupem měření dat pro SPC a reálným průběhem SPC ve společnosti Z.

Výstupem je doporučení pro SPC společnosti Z. Doporučení je stanoveno na základě porovnání tří návrhů, z nichž dva představují další statistické nástroje. Prvním navrženým nástrojem je cílový regulační diagram, který je aplikován na zvolený produkt, poté je provedeno jeho vyhodnocení. Dalším návrhem je regulační diagram pro klouzavá rozpětí, pro něhož je také proveden konkrétní výpočet a vyhodnocení. K provedeným výpočtům byly použity programy STATISTICA, Minitab a MS Excel. Požadavkem společnosti Z bylo eliminování kontroly z důvodu její možné nadbytečnosti, což bylo i podnětem k vypracování této bakalářské práce. Třetí návrhovou částí je tedy posouzení tohoto podnětu na omezení či zrušení SPC pro zkoumanou skupinu produktů.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

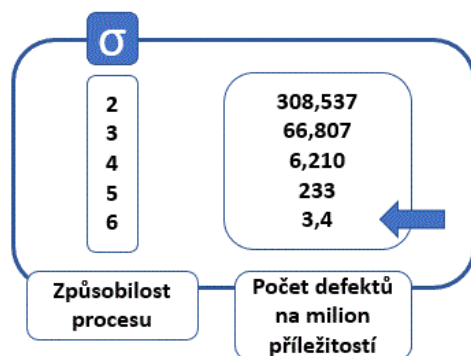
V teoretických východiscích práce jsou objasněny pojmy nutné k pochopení dané problematiky. Zejména se jedná o základní myšlenky a principy metody na zlepšování procesů Six Sigma. Dále statistické řízení procesů a s tím úzce související regulační diagramy a indexy způsobilosti.

2.1 Six sigma a Lean Six Sigma

„Six sigma je strukturovaná metodologie pevně založená na přesných datech sloužící k eliminování defektů, ztrát či problémů v řízení jakosti ve všech směrech výroby, služeb nebo dalších obchodních aktivit. Metodologie Six Sigma je založena na kombinaci ustálených technik statistického řízení jakosti, jednoduchých i pokročilých metod analýzy dat a systematického tréninku všech osob v organizaci, kteří se zabývají aktivitami a cíli určenými Six sigma.“ (1, s. 5)

Původní koncepty metodologie Six Sigma datujeme k počátku osmdesátých let v USA ve firmě Motorola. Firma Motorola se díky jejímu uplatňování stala velmi úspěšnou v konkurenčním boji. Tato strategie se tak rozšířila do dalších významných firem, jako jsou například Sony, Honda, Texas Instruments, General Eletric a další (2, s. 43).

Výše uvedenou metodologii lze chápat také jako manažerskou filosofii založenou na principu neustálého zlepšování s dosaženou úrovní kvality produktu nebo procesu, kdy na jeden milion příležitostí připadá maximálně 3,4 chyb (3, s. 5).



Obr. 1: Sigma úroveň (Převzato z (4))

Znak 6σ , zde nechápeme pouze jako matematický termín, který značí standardní odchylku. Pro obchod a výrobu je σ hodnota ukazatele používaná k vyjádření výkonu procesu (4).

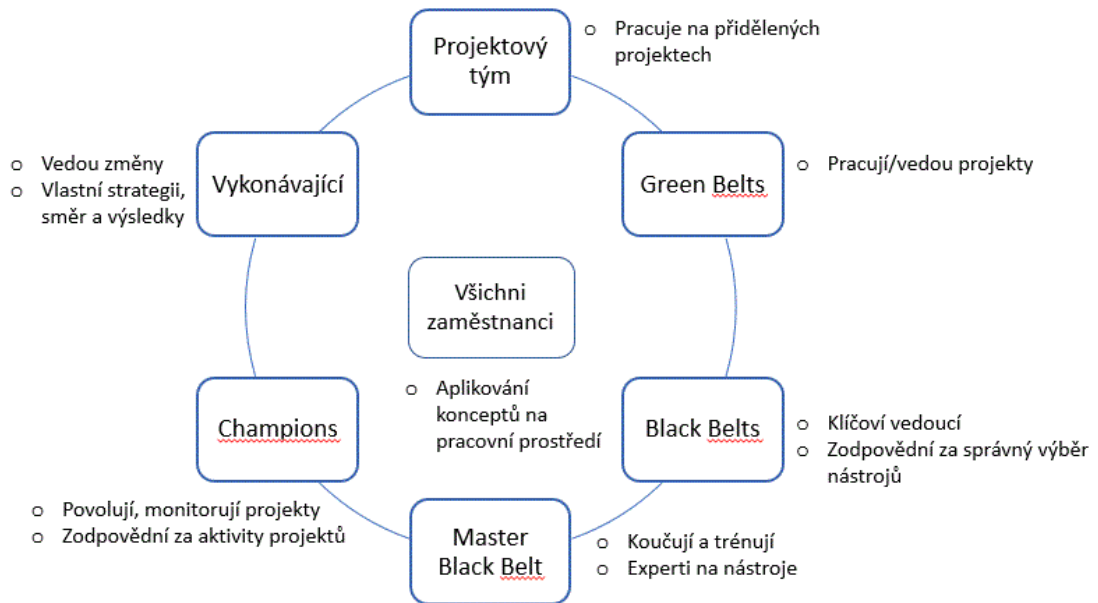
Primárním cílem metodologie Six Sigma je dosáhnout snížení variability procesu, výstupů podle očekávání a požadavků zákazníka, měřitelného a neustálého zlepšování, snižování nákladů a rozšíření zisku. Mezi další cíle patří předcházení chybám v procesech, vizualizace a dostupnost dat, objevování procesů přidávajících hodnotu, lepší toky vstupů a materiálu a rychlejší reakce na zákaznické požadavky (4).

Mezi základní nástroje metodologie Six Sigma řadíme hlas zákazníka (VOC), kreativní myšlení, návrhy experimentů, procesní řízení, **statistické řízení procesů**, průběžné zlepšování a návrhy nových procesů (4).

Mezi typické kvalitativní nástroje Six Sigma řadíme například audity, benchmarking, brainstorming, metody jako FMEA, Just in Time, Kan Ban, Poka Yoke, DMAIC a celou řadu dalších statistických nástrojů (4).

Tradiční Six Sigma pracuje s variabilitou, řeší otázku: „Jakým způsobem odstranit variabilitu procesu a defekty?“, oproti tomu Lean Six Sigma se soustředí na rychlost, tedy řeší otázku: „Jak dělat práci rychleji a efektivněji?“. Pod pojmem „lean“ si tedy lze představit sérii kvalitativních nástrojů, které se zaměřují na optimalizaci procesu snižováním časů cyklů a odstraňováním plýtvání (4).

Koncepty metodologie Six Sigma jsou založené na vzájemné kreativě lidí, jejich spolupráci, komunikaci a dovednostech. Jednotlivé pozice pracovníků a jakou hrají roli při zavádění Six Sigma je zřetelné z následujícího schématu (4).



Obr. 2: Six Sigma – role a zodpovědnost (Převzato z (4))

2.2 DMAIC

Primárním prostředkem zlepšování v metodologii Six Sigma jsou projekty. Počet souběžně probíhajících projektů ve společnosti dává představu o šířce implementace Six Sigma. Six sigma má pro zlepšování procesů pevnou, strukturovanou a přísně logickou metodu, kterou nazýváme DMAIC z angl. define (definuj), measure (měř), analyse (analyzuj), improve (zlepši), control (řid') (3, s. 6).

2.2.1 Fáze DMAIC

V této části popíšeme fáze procesu DMAIC.

- 1) Define – cílem tohoto kroku je definovat rozsah a účel projektu, je třeba získat informace o procesu a jeho zákaznících, provede se ekonomická analýza přínosů a nákladů, vytvoří se tým Six Sigma (3, s. 7).

- 2) Measure – cílem tohoto kroku je popsat současný stav a posouzení, zdali metoda měření vyhovuje pro analýzu procesu (zjišťujeme způsobilost procesu) (3, s. 8).
- 3) Analyse – cílem je nalezení a prokázání příčin současného stavu (3, s. 8).
- 4) Improve – cílem je najít, ověřit a realizovat řešení problému (volba konkrétního řešení, jeho popis, plán realizace, ověření, realizace) (3, s. 9).
- 5) Control – v této fázi je řešení již realizováno a úkolem je změřit jeho účinnost, tzn. stejnou metodou měření, která byla použita v prvním kroku měříme stav nový a provedeme srovnání (3, s. 9).

2.3 Statistické řízení procesů

Statistické řízení procesů (dále SPC z angl. Statistical Process Control), neboli regulace procesu, je efektivní způsob zabezpečování jakosti vyráběných produktů (5, s. 1).

Efektivní proto, že umožňuje nejen kontrolovat, ale i ovlivňovat procesy, aby se předešlo zbytečnému plýtvání prostředků potřebných k výrobě a zajištění vysoké kvality produktů (6, s. 8).

Jedná se tedy o jistou prevenci v podobě stálého získávání a analyzování informací o chování výrobního procesu (5, s. 1).

Za hlavní cíl SPC považuji následující tvrzení „*na základě včasného odhalování významných odchylek od stanovené úrovně znaku (resp. znaků) realizovat takové zásahy do jeho průběhu, které **proces udržují dlouhodobě na požadované a stabilní úrovni.***“ (5, s. 2)

SPC je vhodné zejména pro procesy mající hromadný nebo sériový charakter nebo jsou z nějakého hlediska obzvláště významné. Jeho hlavním přínosem je skutečnost, že vlastnosti výstupů lépe odpovídají požadavkům zákazníka a velmi často současně snižují ztráty z procesu (6, s. 8).

2.3.1 Vymežitelné a náhodné příčiny

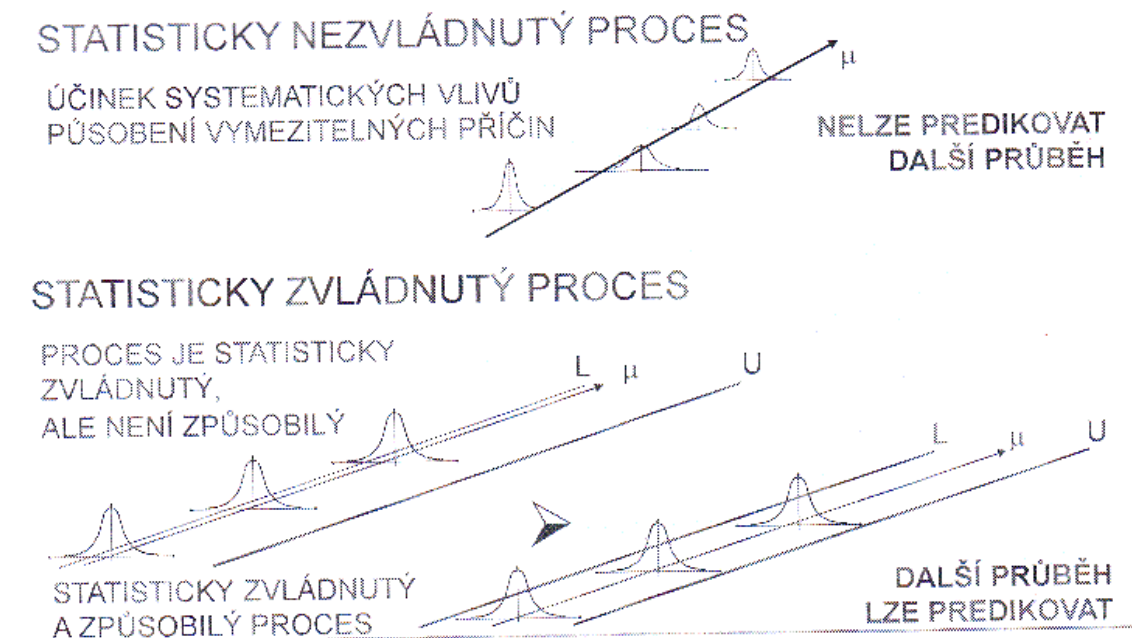
Teorie SPC vychází z existence variability, jež je založena na dvou typech příčin, které pomocí J. Kropáče nyní popíši.

- Náhodné příčiny – široká skupina jednotlivých, těžko identifikovatelných a odstranitelných jevů. Pokud na proces působí pouze náhodné příčiny, lze jej charakterizovat jako ustálený s předvídatelnou jakostí výstupů, tzn. do procesu není nutno zasahovat (5, s. 2).

Dle normy ČSN ISO 8258 takový proces označíme vyjádřením „proces je ve statisticky zvládnutém stavu“. (7)

- Vymežitelné příčiny – za běžných podmínek na proces nepůsobí, jedná se o reálnou, identifikovatelnou změnu ovlivňující proces. Vymežitelné příčiny se projevují v nepřirozeném kolísání údajů a jakost se stává nepředvídatelnou. Za vymežitelné příčiny lze označit například nedostatečnou kvalifikaci obsluhy, nesprávné seřízení stroje atd. (5, s. 2).

ČSN ISO 8258 označuje takový proces vyjádřením „proces není ve statisticky zvládnutém stavu.“ (7)



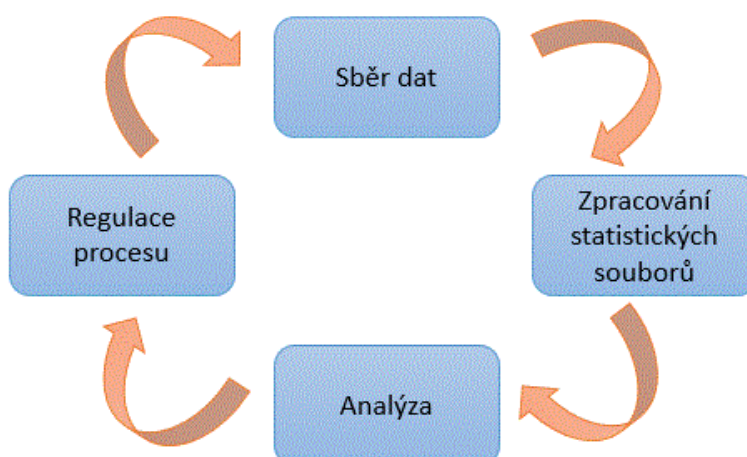
Obr. 3: Statisticky zvládnutý a nezvládnutý proces (4)

2.3.2 Etapy statistického řízení procesu

Níže popíši etapy statistického řízení procesů dle Kropáče.

- 1) Přípravná fáze (sběr dat)
 - stanoví se znaky jakosti, regulované veličiny,
 - zvolí se vhodná metoda pro získávání jejich hodnot,
 - stanoví se vhodná délka časového intervalu, v němž se měří hodnoty veličiny,
 - volíme vhodný typ regulačního diagramu,
 - zvolí se vhodná **logická podskupina** (nejčastěji 4-5 hodnot) (5, s. 3).
- 2) Fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu
 - použití regulačních diagramů
 - identifikace vymežitelných příčin
 - minimalizace a odstranění vymežitelných příčin (5, s. 3).
- 3) Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu
 - zkoumá se, zda vyrobené produkty odpovídají požadavkům zákazníka
 - použití indexů způsobilosti (5, s. 3).
- 4) Fáze vlastní statistické regulace procesu
 - udržování procesu ve statisticky zvládnutém a způsobilém stavu
 - identifikace možných poruch (5, s. 3).

Následující obrázek stručně vyjadřuje popsané fáze:



Obr. 4: Fáze statistického řízení procesu (Převzato z (8))

2.3.3 Klasifikace dat

Jak bylo uvedeno výše ve fázi zpracování statistických souborů, je nutné určit, o jaká data se jedná. Data mohou být:

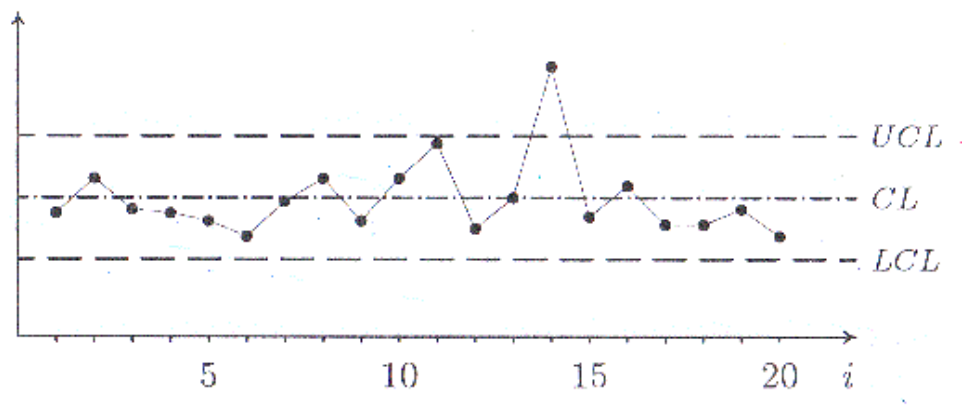
- variabilní (měřené) – např. délka, váha, čas,
- atributivní (srovnávané) – např. počet vad, počet vadných prvků (8).

Poté co, provedeme klasifikaci dat, přejdeme k výpočtu středních hodnot a regulačních mezí. Dalším krokem je vykreslení regulačního diagramu (8).

2.4 Regulační diagram

Regulační diagram je grafickým prostředkem pro zobrazení vývoje variability procesu v čase. Jeho funkcí je popisovat statistickou zvládnutelnost procesu. Měl by poskytovat signál, o tom, zda v procesu začala působit vymezená příčina. V případě, že signál nastane, se provede patřičný zásah do jeho průběhu s cílem příčinu odstranit (5, s. 4).

Dále mohou být použity ke sledování trendů, interakcí a cyklů chování systému, a tak určovat předvídatelnost systému a předpovídat, zda systém vyhoví stanoveným požadavkům. Regulační diagram tedy poskytuje pohled na chování procesu (4).

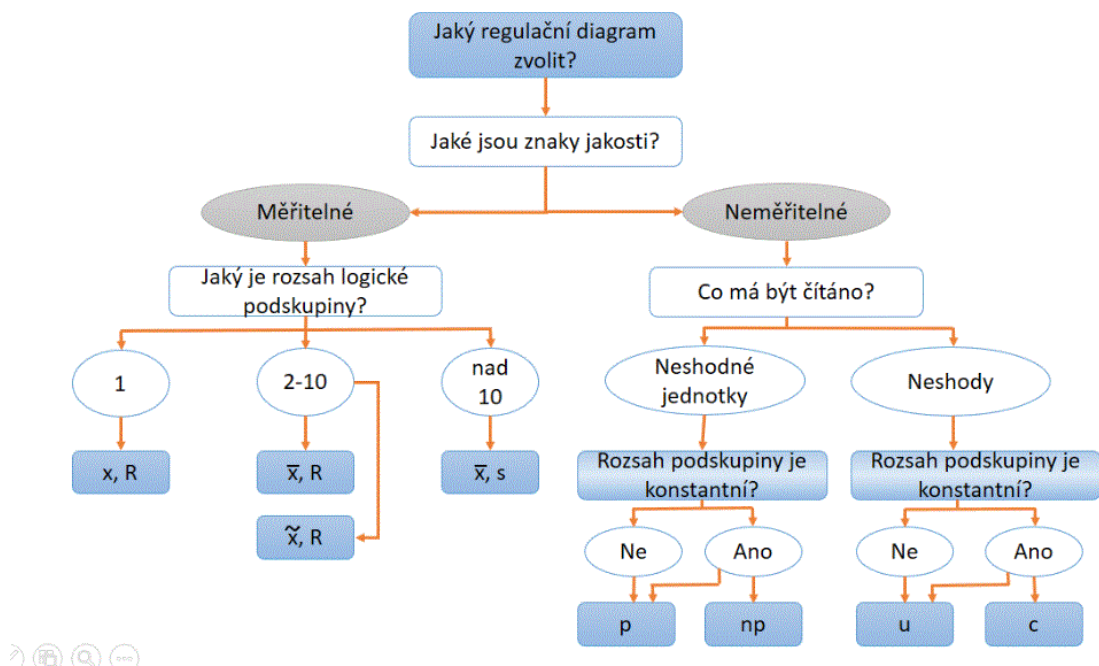


Obr. 5: Schéma regulačního diagramu (5)

Regulační diagram (viz. Obr. 5) sestává z vodorovné osy, která představuje čas. Jsou na ní vynesena jednotlivá čísla logických podskupin podle pořadí jejich získání.

Na svislou osu se vynáší stupnice pro charakteristiku zkoumané regulované veličiny, ta je v regulačním diagramu použita jako testové kritérium stability procesu. V regulačním diagramu se jako body vynášejí hodnoty charakteristiky regulované veličiny, získané v jednotlivých logických podskupinách. Sousední body jsou spojeny úsečkami, tak abychom mohli sledovat trend ve změně hodnot regulované veličiny (5, s. 4).

CL (z angl. central line) nazýváme centrální přímkou. Příмка odpovídá tzv. referenční hodnotě použité charakteristiky. Referenční hodnotou může být nominální hodnota nebo hodnota daná technickým předpisem. LCL, resp. UCL nazýváme dolní a horní regulační meze. Tyto regulační meze vymezují pásmo, na které působí pouze náhodné příčiny variability procesu. LCL a UCL jsou základním rozhodovacím kritériem pro provedení změny do průběhu procesu (5, s. 5).



Obr. 6: Schéma volby regulačního diagramu (Převzato z (7))

2.4.1 Regulační diagramy (\bar{x} , R)

Regulační diagramy (\bar{x} , R) řadíme do skupiny tzv. Shewhartových regulačních diagramů pro regulaci měření. Byly navrženy v r. 1924 W. Shewhartem a jsou určeny pro sledování pouze jednoho znaku jakosti (5, s. 10).

U regulačních diagramů (\bar{x} , R) sledujeme výběrový průměr \bar{x}_i a výběrové rozpětí R_i . Regulační diagramy (\bar{x} , R) lze použít za splnění dále uvedených podmínek. Regulovaná veličina musí být měřitelná, musí mít normální rozdělení, jednotlivá měření jejích hodnot musí být vzájemně nezávislá a rozsahy logických podskupin musejí sestávat z minimálně dvou měření, přičemž všechny logické podskupiny musí mít stejný rozsah (5, s. 10).

V případě, kdy rozsah každé logické podskupiny sestává nejméně ze čtyř měření, lze (\bar{x} , R) regulační diagram použít i za situace, kdy data nepocházejí z normálního rozdělení. Důvodem je pravidlo centrální limitní věty, podle kterého rozdělení výběrových průměrů přibližně normální rozdělení má (5, s. 11).

Vzorce pro výpočet:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}. \quad (1)$$

$$R_i = \max x_{ij} - \min x_{ij}. \quad (2)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i. \quad (3)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i. \quad (4)$$

$$LCL(\bar{x}) = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R}; UCL(\bar{x}) = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R}; CL(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}. \quad (5)$$

$$LCL(R) = D_3 \cdot \bar{R}; UCL(R) = D_4 \cdot \bar{R}; CL(R) = \bar{R}. \quad (6)$$

2.4.2 Regulační diagramy (x_i, Rkl_i)

V případě, kdy jsou náklady na kontrolu vyráběných produktů vysoké nebo je kontrolovaný produkt vysoce homogenní, je vhodné na místo reg. diagramů (\bar{x}, R) použít regulační diagramy (x_i, Rkl_i) (5, s. 19).

Tyto diagramy se používají za stejných podmínek jako diagramy (\bar{x}, R). Rozdíl je v tom, že v každé logické podskupině se provede pouze jedno měření regulované veličiny (5, s. 19).

Jako charakteristika rozptylu hodnot měřeného znaku pro i -tou logickou podskupinu se používá tzv. klouzavé rozpětí, označujeme Rkl_i (5, s. 19).

Vzorce pro výpočet:

$$Rkl_i = |x_i - x_{i-1}|, i = 2, 3, \dots, k. \quad (7)$$

$$\overline{Rkl} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=2}^k Rkl_i. \quad (8)$$

$$LCL(Rkl) = 0; UCL(Rkl) = 3,267 \cdot \overline{Rkl}; CL(Rkl) = \overline{Rkl}. \quad (9)$$

$$LCL(x_i) = \bar{x} - 2,66 \cdot \overline{Rkl}; UCL(x_i) = \bar{x} + 2,66 \cdot \overline{Rkl}; CL(x_i) = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i. \quad (10)$$

Tabulka součinitelů pro regulační diagramy viz. Příloha 1.

2.4.3 Cílové regulační diagramy

Cílové regulační diagramy je vhodné použít za situace, kdy se produkty vyrábí v malých sériích a je obtížné získat dostatečně velký počet logických podskupin pro stanovení příslušných regulačních mezí (5, s. 31).

Tyto diagramy spočívají v určení odchylky naměřené hodnoty regulované veličiny od cílové hodnoty. Do regulačních diagramů se vynášejí hodnoty naměřené na různých produktech stejného typu. Cílové regulační diagramy lze sestavovat z dvojice diagramů pro výběrové průměry \bar{x} a výběrové rozpětí R (5, s. 32).

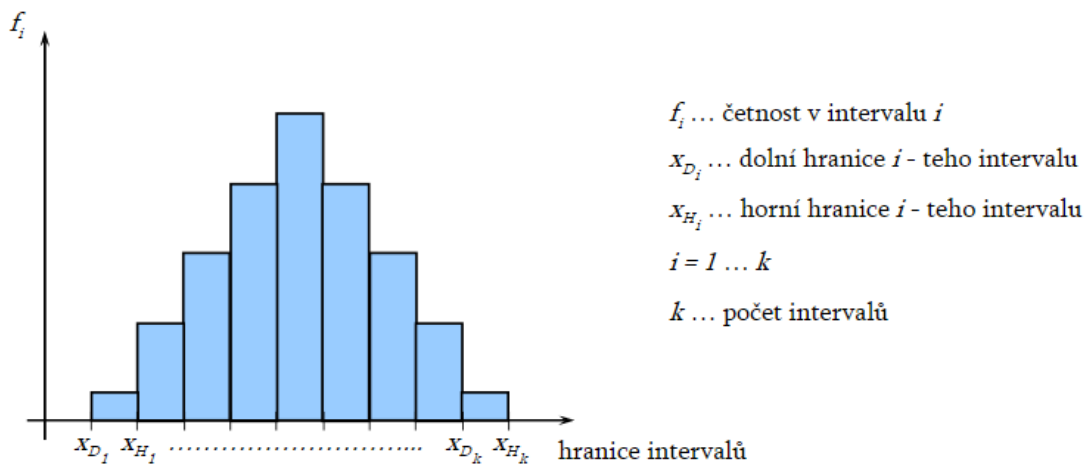
Vzorce pro výpočet:

$$\bar{\bar{x}}_C = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_{l,i} - C_l). \quad (11)$$

$$LCL_C(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}_C - A_2 \cdot \bar{R}; UCL_C(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}_C + A_2 \cdot \bar{R}; CL_C(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}_C. \quad (12)$$

2.5 Histogram

Cílem histogramu (diagramu četnosti) je vyhodnotit rozdělení dat a dozvědět se o jejich základních vlastnostech. Pomocí histogramu vyhodnocujeme, zda je možné aplikovat určité statistické nástroje (9, s. 111).



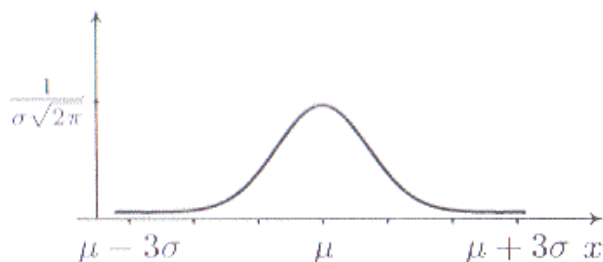
Obr. 7: Histogram (10)

Histogram znázorňuje sloupce zaznamenávající četnost v určitých intervalech (9, s. 112).

2.6 Normální rozdělení

Normální rozdělení řadíme mezi nejdůležitější spojitá rozdělení z důvodu toho, že ho má většina náhodných veličin. Příkladem mohou být chyby měření, rozměry výrobků při sériové výrobě a další (11, s. 62).

„Obecně lze říci, že je použitelné všude tam, kde hodnoty náhodné veličiny jsou ovlivněny působením velkého počtu nepatrných, vzájemně nezávislých nebo slabě závislých náhodných vlivů. Jeho význam spočívá, také v tom, že se jím dají za určitých podmínek aproximovat i jiná rozdělení, jak diskrétních, tak i spojitých náhodných veličin.“ (11, s. 62)



Obr. 8: Gaussova křivka – hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení (11)

2.6.1 Testování normality (test Kolmogororův – Smirnonův)

Za situace, kdy je nutné ověřit normalnost dat, je vhodné použít některý z testů normality. Například test Kolmogororův – Smirnonův (dále K-S) spočívá ve stanovení nulové a alternativní hypotézy. Nulová hypotéza předpokládá náhodnost odchylek mezi empirickou a distribuční funkcí. Alternativní hypotéza předpokládá, že odchylky náhodné nejsou (12, s. 43).

Test K-S pomocí bodových odhadů μ a σ testuje, zda má náhodná veličina normální rozdělení (12, s. 44).

Posuzujeme, jestli se vypočtená hodnota testového kritéria d realizovala v kritickém oboru. Pokud se testové kritérium v kritickém oboru realizovalo, přijmeme nulovou hypotézu a náhodná veličina má normální rozdělení (12, s. 45).

Podmínkou testu je, že měřený znak (např. sledovaný rozměr) musí být spojitou náhodnou veličinou (12, s. 43).

Při testování rozdělení datového souboru ve statistických programech je výstupem každé procedury kromě hodnoty testového kritéria tzv. p-hodnota (z angl. p-value), pokud je výsledkem $p < 0,1$, nastala shoda s testovanou hypotézou. Pokud je výsledkem $p > 0,2$ testované rozdělení je vhodným modelem (13).

Pokud data nespĺňují podmínku normálního rozdělení, lze je vhodnou aproximací upravit (11, s. 71).

2.7 Indexy způsobilosti

Indexy způsobilosti číselně udávají, jestli znak jakosti, podle kterého se kvalita produktu posuzuje, splňuje požadavky zákazníka. Způsobilost chápeme jako schopnost vyhovět dopředu stanovené úrovni jakosti produktu. Při výrobním procesu obvykle sledujeme tzv. cílovou hodnotu a míru variability (5, s. 38).

Použití indexů způsobilosti je podmíněno následujícími vlastnostmi:

- pozorovaný znak produktu musí být spojitou náhodnou veličinou, která má normální rozdělení se střední hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ ,
- výrobní proces musí být pod statistickou kontrolou, tzn. všechny hodnoty pozorovaného znaku leží v mezích příslušného regulačního diagramu,
- pro sledovaný znak jakosti máme správně nastavenou toleranci (5, s. 39).

Principem konstrukce indexů způsobilosti je to, že jde o poměr předepsané a skutečně dosahované přesnosti pozorovaného znaku (5, s. 39).

Předepsanou přesnost pozorovaného znaku zadává odběratel výrobku, jedná se o parametry:

- horní toleranční mez (dále USL z angl. Upper Specification Limit a dolní toleranční mez z angl. Lower Specification Limit), tyto meze vymezují interval (LSL; USL), kde se hodnoty pozorovaného znaku mají nacházet,
- cílová hodnota (ozn. T z angl. Target Value) představující požadovanou hodnotu (5, s. 40).

Skutečně dosahovanou přesnost pozorovaného znaku určuje výrobce, jedná se o parametry:

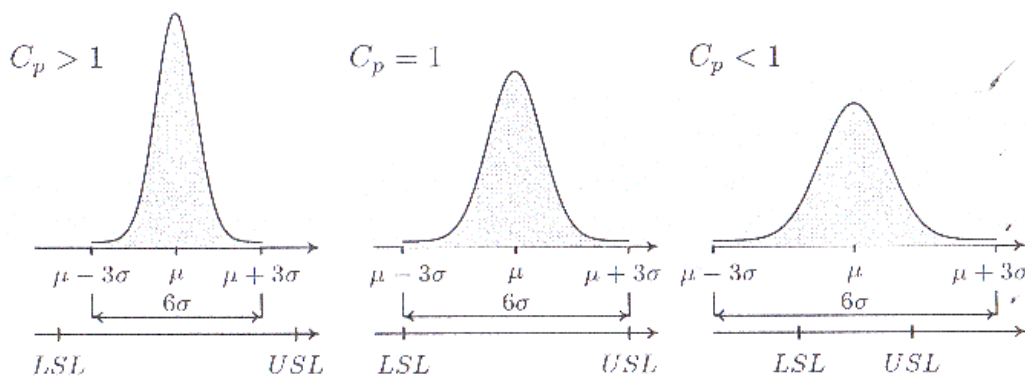
- střední hodnota μ představující hodnotu, na níž je pozorovaný znak nastaven,
- směrodatná odchylka σ , která charakterizuje variabilitu sledovaného znaku (5, s. 40).

2.7.1 Index Cp

Index Cp je nejjednodušším indexem způsobilosti. Principem indexu Cp je porovnání délky tolerančního intervalu (LSL; USL) s délkou 6σ (5, s. 40).

„Porovnááme délku intervalu, kde mají být hodnoty sledovaného znaku s délkou intervalu, kde jsou téměř všechny jeho hodnoty“. (5, s. 40)

Předpokladem je, že střední hodnota μ sledovaného znaku je uprostřed tolerančních mezí, tzn. proces je centrován (5, s. 40).



Obr. 9: Význam hodnot indexu způsobilosti Cp (5)

Dosažené hodnoty indexu Cp pro předepsaný znak interpretujeme následujícím způsobem:

- pokud $C_p > 1$, dosahovaná jakost je větší než předepsaná \Rightarrow proces je způsobilý,
- pokud $C_p < 1$, dosahovaná jakost je menší než předepsaná \Rightarrow proces je nezpůsobilý,
- pokud $C_p = 1$, proces je způsobilý, ale jakékoli zvětšení směrodatné odchylky σ způsobí nezpůsobilost procesu (5, s. 40).

Index C_p určuje dvě charakteristiky. **Robustnost procesu**, kterou chápeme jako vzdálenost, o níž by se musela posunout střední hodnota sledovaného znaku, aby se proces stal nezpůsobilým a **míru tolerančního intervalu** vyjádřenou v procentech (5, s. 41).

Vzorce pro výpočet:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}. \quad (13)$$

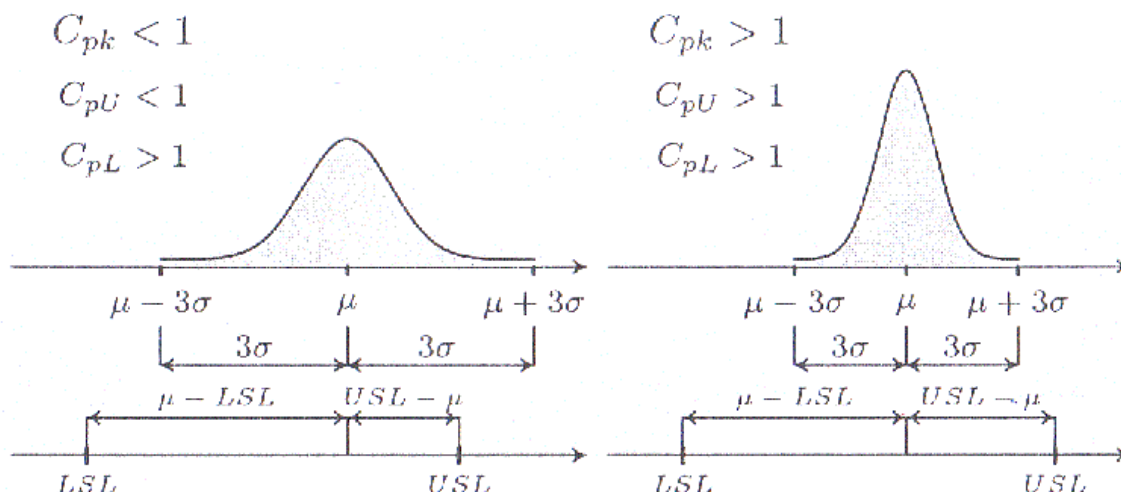
$$R = 3\sigma(C_p - 1). \quad (14)$$

$$\text{Míra tolerančního intervalu} = \frac{100}{C_p}. \quad (15)$$

2.7.2 Index C_{pk}

Při konstrukci indexu C_{pk} uvažujeme směrodatnou odchylku, toleranční interval i střední hodnotu pozorovaného znaku. Má tedy větší vypovídací schopnost než index C_p . Posuzujeme vzdálenost střední hodnoty oproti hranicím tolerančního intervalu (5, s. 42).

Dosažené hodnoty indexu C_{pk} interpretujeme analogicky jako pro index C_p . Nicméně z důvodu zvyšování technologického rozvoje u indexu C_{pk} požadujeme pro způsobilost procesu alespoň hodnotu 1,33 (5, s. 42).



Obr. 10: Znázornění významu indexu způsobilosti Cpk (5)

V případě, že je kladen požadavek na jakost „Six Sigma“, kde očekávaný výskyt jednotek je 34 z deseti milionů vyrobených, hodnotíme indexy způsobilosti pro hodnoty $C_p = 2$ a $C_{pk} = 1,5$. (14, s. 323).

Levá část obrázku znázorňuje nezpůsobilý proces a pravá proces způsobilý. Nezpůsobilost procesu může být způsobena posunem hodnot znaku jakosti vůči středu tolerančního intervalu. Pro tento případ stačí proces správně seřadit vůči tolerančním mezím. V dalším případě může být nezpůsobilost procesu způsobena vysokou variabilitou sledovaného znaku, tuto variabilitu je třeba snížit. Snížení variability lze docílit radikálním zásahem do technologie nebo převedením výroby na jiné výrobní zařízení, přitom je třeba ověřit postup měření a měřící zařízení (5, s. 43-44).

Pokud není splněn předpoklad normality dat je potřeba najít jiný vhodný model pravděpodobnostního rozdělení, vhodná je aplikace testu dobré shody a pro výpočet nejlépe využít statistický program (15, s. 131).

„Obdobně jako v případě normálního rozdělení, kdy hodnoty $\mu - 3\sigma$ a $\mu + 3\sigma$ odpovídají kvantilům, pro něž distribuční funkce dosahuje hodnot 0,00135 a 0,99865, se v případě jiného pravděpodobnostního modelu hledají kvantily odpovídající těmto hodnotám distribuční funkce“. (15, s. 131)

Pokud při použití statistických programů na testy dobré shody normální rozdělení mezi vhodnými modely, použijeme ho pro další výpočty (16).

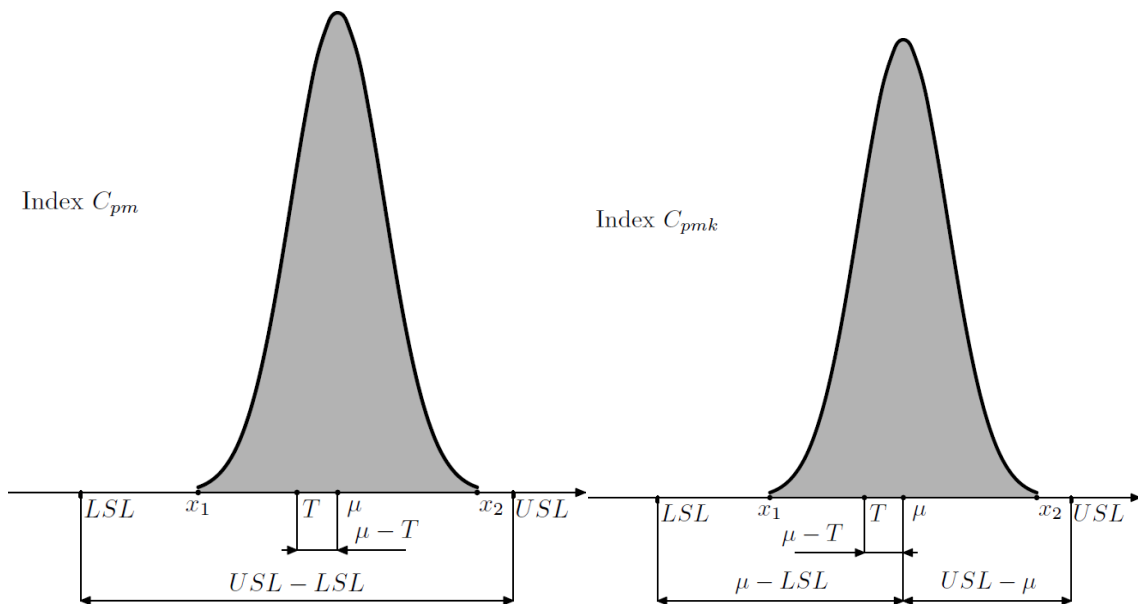
Vzorec pro výpočet:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\}, \text{ kde } C_{pU} = \left\{\frac{USL-\mu}{3\sigma}\right\} \text{ a } C_{pL} = \left\{\frac{\mu-LSL}{3\sigma}\right\}. \quad (16)$$

$$R = 3\sigma(C_{pk} - 1). \quad (17)$$

2.7.3 Index Cpm a Cpmk

Index Cpm využívá oproti indexu Cpk navíc ještě parametr sledovaného znaku jakosti cílovou hodnotu T, je tak ještě výstižnějším. Index Cpm hodnotí rozdíl τ mezi střední hodnotou μ a cílovou hodnotou T (5, s. 44).



Obr. 11: Znázornění významu indexu způsobilosti Cpm a Cpmk (4)

Index Cpm sleduje variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti i míru dosažení optimální hodnoty. Měl by být stanovován pouze v případě oboustranné tolerance, tedy tehdy, když cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole (14, s. 350).

Pro případy, kdy se cílová hodnota nenachází ve středu tolerančního pole, se zavádí index C^*_{pm} (14, s. 352).

Index C_{pmk} v sobě zahrnuje všechny parametry dosud zmíněných indexů. Umožňuje vyhodnotit, zda hodnoty sledovaného znaku jakosti skutečně leží uvnitř tolerance, a přitom hodnotí míru dosažení cílové hodnoty (14, s. 352).

Vzorce pro výpočet:

$$C_{pm} = \frac{USL-LSL}{6\tau}, \text{ kde } \tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2. \quad (18)$$

$$C^*_{pm} = \min \left\{ \frac{T-LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}} ; \frac{USL-T}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}} \right\}. \quad (19)$$

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu-LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}} ; \frac{USL-\mu}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}} \right\}; C_{pmk} = \frac{C_{pk} \cdot C_{pm}}{C_p}. \quad (20)$$

3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V této kapitole je představena společnost, s níž jsem na bakalářské práci spolupracovala. Dále je zde popsán způsob získávání dat, popis průběhu SPC ve společnosti Z, diagnostikován datový soubor a definován předmět analýz. Důležitou částí je analýza na vybraném produktu použitím regulačního diagramu (\bar{x}, R) , který společnost pro SPC využívá. Závěrem kapitoly je zhodnocení současného stavu procesu SPC ve společnosti Z, v této kapitole jsou také na analyzovaném produktu, provedeny testy normality a určení způsobilosti procesu. Pro výpočty byly použity programy STATISTICA, Minitab a MS Excel.

3.1 Představení společnosti Z

Společnost zaujímá významnou pozici na trhu poskytování konektivity. Jedná se o nadnárodní společnost, která působí ve více než padesáti zemích prostřednictvím prodejní a distribuční sítě. Pod svou značkou zahrnuje více než devadesát závodů a zaměstnává devadesát tisíc zaměstnanců. Společnost se zaměřuje na tři hlavní segmenty trhu: dopravu, komunikaci a průmysl.

Tržními oblastmi pro danou společnost jsou: automobilový průmysl, energetika, zdravotnictví, data pro komunikaci, zařízení pro spotřebitele, komerční doprava, letectví, obrana, podmořské komunikační kabeláže, oleje a plyn, průmyslové zařízení a domácí spotřebiče.

Hlavním předmětem výroby jsou konektory, optická vlákna, přesné vodiče a kabely, antény, těsnění a ochrana okruhů. Sortiment zahrnuje přes pět set tisíc produktů. Podstatným okruhem zájmu je poskytování řešení pro všechny druhy dopravy. Společnost je lídrem v oblasti elektronických součástí pro automobilový průmysl, letectví, obranu a námořní průmysl. Pro komerční a průmyslová řešení je jedním z největších dodavatelů komponentů pro infrastrukturu a systémů telekomunikace a energetické trhy, dále je lídr v oblasti podmořských optických sítí. Soustředí se také na

řešení pro spotřebitele, zde se jedná o oblast ochrany okruhů, spotřební elektroniku a dotykové obrazovky.

Na bakalářské práci jsem spolupracovala pouze s jedním ze závodů společnosti. Tento závod se soustředí výhradně na výrobu pro automobilový průmysl. Výroba zde probíhá v jednotlivých střediscích. Pro moji práci se stalo podstatným středisko lisovny kovů, kde se vyrábí zhruba pět set druhů kontaktů. Kapacita výroby činí tři sta padesát milionů kontaktů za měsíc. Přibližně čtyřicet procent uvedené produkce je určeno pro montáže přímo v daném závodě. Středisko lisovny kovů mi poskytlo potřebná data pro zpracování bakalářské práce.

3.2 SPC ve společnosti Z

V této kapitole popíši reálný postup při SPC ve společnosti Z. Na vybraném produktu provedu analýzu výrobního procesu za použití regulačního diagramu (\bar{x}, R) , který společnost pro SPC využívá. Navíc provedu analýzu pro určení rozdělení datového souboru a určení způsobilosti procesu.

Pro bakalářskou práci jsem od společnosti získala data naměřená pro účely SPC za období jednoho roku, přesně od 1. 9. 2015 do 31. 8. 2016, na jejichž základě provedu analýzu a zhodnocení celého procesu.

Data pro SPC se získávají pro produkty, u kterých je konkrétně stanoven požadavek, a to na základě přání zákazníka nebo zadání projektového inženýra společnosti Z. V celé práci se věnuji pouze produktům, kde je požadavek stanoven interně.

Předmětem SPC je sledování rozměrů, jež zahrnuje regulaci výrobních běhů pro produkty, které prochází vysoce automatizovaným a vysokorychlostním procesem lisování kovů.

Každému startu výroby (jednotlivým výrobním zakázkám) předchází nastavení parametrů. Proběhne kontrola parametřů seřízení (nástroje i stroje) a kontrola správnosti produktu.

Toto ověření správnosti produktu po nastavení provádí kontrolor kvality. Teprve pokud jsou rozměry dle zkušebního plánu v pořádku a kontrolor kvality dostane do rukou záznamy o provedení seřízení je zakázka uvolněna/rozjeta.

3.2.1 Postup při získávání dat a popis průběhu SPC

Pověřená osoba (kontrolor kvality) nejprve musí odebrat požadované vzorky (cca 15 kusů) z navíječky, poté na 5 vzorcích provede vizuální kontrolu pod mikroskopem. Dalším krokem je vizuální měření na profilovém projektoru (Obr. 12). Vzorek se tedy upne do svěráku a změří se kontrolované rozměry. Posléze se získaná data zapíše do evidence (kontrolní karta – viz. Příloha č. 2). A následuje vyhodnocení pomocí regulačního diagramu (\bar{x} , R).

Toto měření probíhá vždy u právě se vyrábějících produktů každé dvě hodiny. Celý proces trvá přibližně okolo deseti minut pro jeden rozměr jednoho produktu.



Obr. 12: Profilový projektor (Vlastní fotografie)

SPC ve společnosti Z u pozorované skupiny dat, probíhá tedy pouze zapsáním naměřených hodnot do kontrolních karet s regulačním diagramem (\bar{x} , R). Neprobíhá

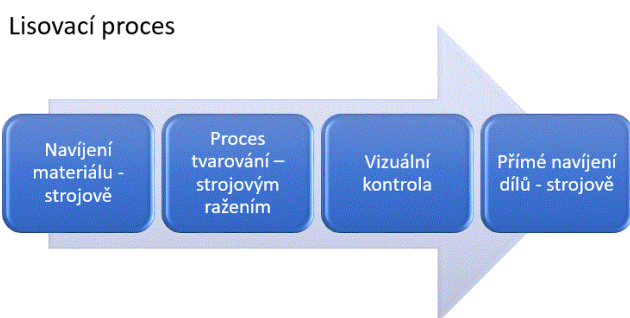
ověření rozdělení datového souboru ani vyhodnocení pomocí indexů způsobilosti. V případě potřeby si je, ale mohou kontroloři kvality vyhodnotit interně.

3.2.2 Datový soubor

Data získaná výše uvedeným způsobem splňují požadavky pro aplikaci regulačních diagramů i indexů způsobilosti. Jedná se o měřitelný znak spojité náhodné veličiny (sledovaný rozměr). Data podle ověření za pomoci testů na normalitu nemají normální rozdělení. Ale rozsah každé logické podskupiny ve společnosti Z je vždy pět měření, tudíž lze regulační diagramy aplikovat (pravidlo centrální limitní věty). Pro výpočet indexů způsobilosti je v případě jiného než normálního rozdělení data nutné vhodně aproximovat. Datové soubory pro provedené analýzy v této práci jsou v Příloze č. 3.

3.2.3 Analyzovaný produkt

Pro zobrazení SPC pomocí digramu pro výběrová rozpětí a průměry ve společnosti Z jsem zvolila jeden z výrobních běhů produktu 3MM-CONTACT (viz. Příloha 4), na němž jsou sledovány tři rozměry. Produkt 3MM-CONTACT prochází lisovacím procesem, který je vysoce automatizovaný (viz. Obr. 13) a rychlost produkce je 500 kusů za minutu. Produkt jsem vybrala především pro množství dat a odpovídající počet logických podskupin. Ve sledovaném období proběhlo šest výrobních běhů tohoto produktu. Společnost pro SPC využívá kontrolní karty s (\bar{x}, R) regulačními diagramy, jež jsou zpracovány pomocí programu v MS Excel (viz. Příloha 2 – kontrolní karta).



Obr. 13: Lisovací proces (Převzato z (4))

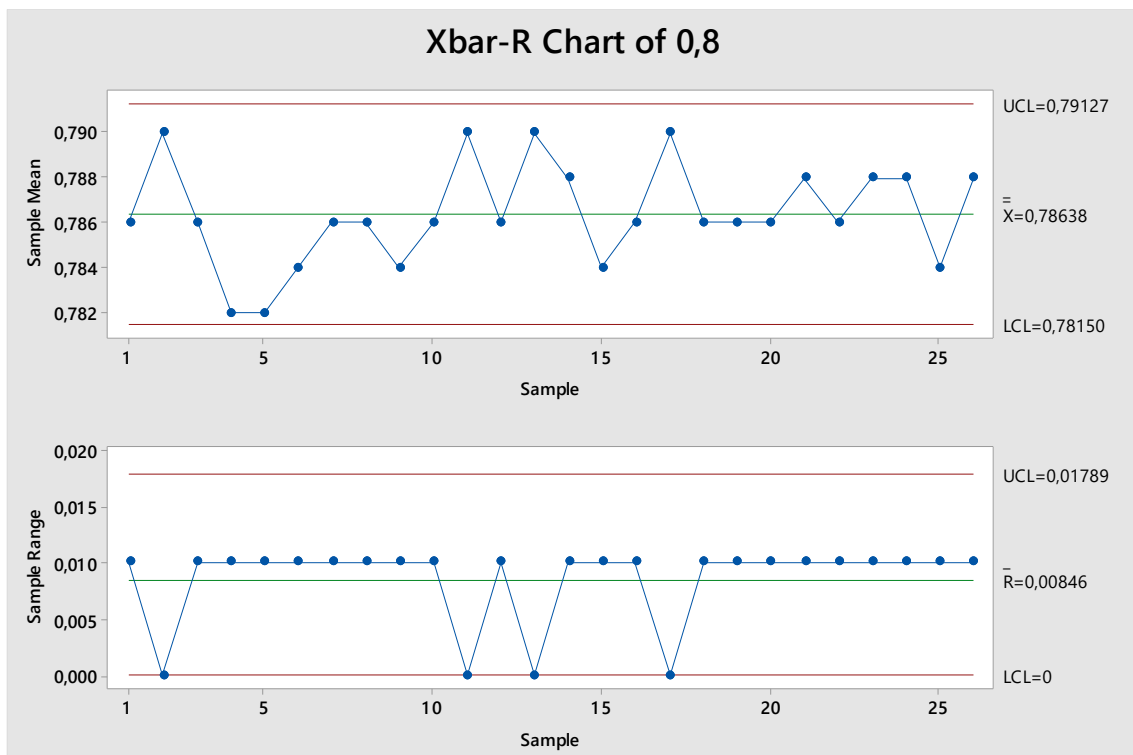
3.2.4 Aplikace (\bar{x} , R) regulačního diagramu

Druhá část grafu č. 1 zobrazuje získané hodnoty centrální přímky a regulačních mezí pro regulační diagram R. Body představují vypočtené hodnoty výběrových rozpětí pro jednotlivé logické podskupiny. Výkyvy jsou v logických podskupinách 2, 11, 13 a 17. I přesto, že se průběh výběrového rozpětí kvůli těmto výkyvům jeví nepravidelný, odchylky jsou velmi malé a nepřekračují regulační meze. Budu je proto přisuzovat působení náhodných příčin.

V první části grafu č. 1 je regulační diagram pro výběrové průměry, jsou zde získané regulační meze a centrální přímka. V tomto regulačním diagramu jsou také všechny hodnoty uvnitř regulačních mezí a jednotlivé body kolísají kolem centrální přímky pravidelně.

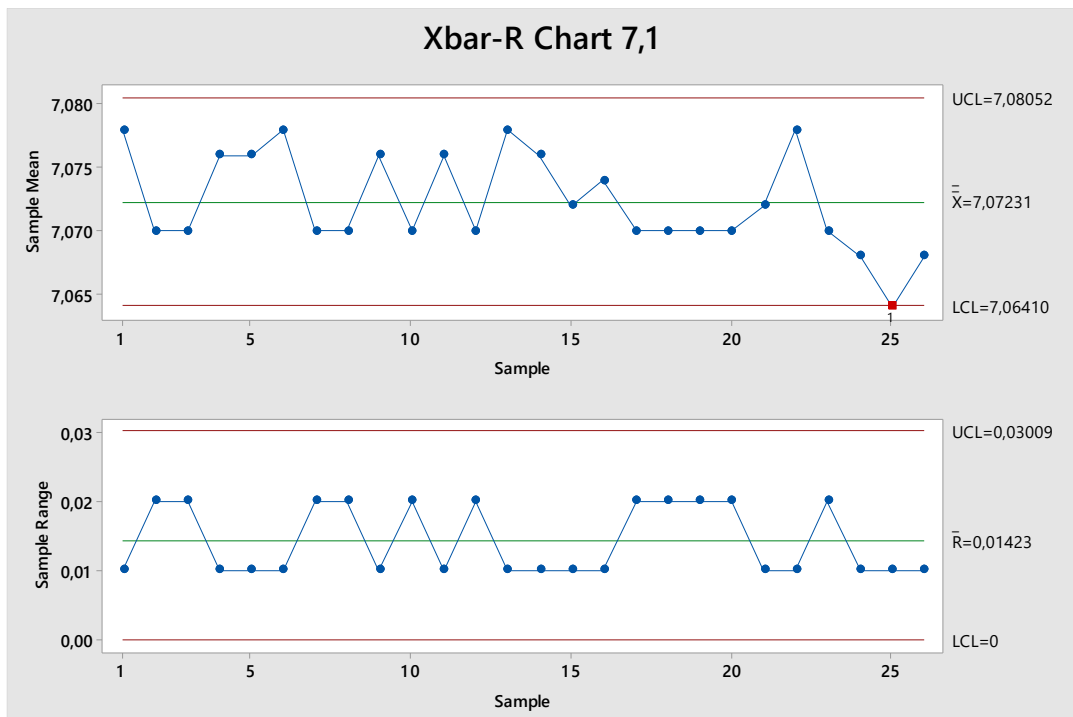
Tento výrobní běh pro rozměr 0,8 označím jako statisticky zvládnutý. Oba regulační diagramy lze použít pro další sledování stability procesu.

Vzorce pro výpočet regulačního diagramu (\bar{x} , R) viz. kapitola 2.4.1 (1-6).



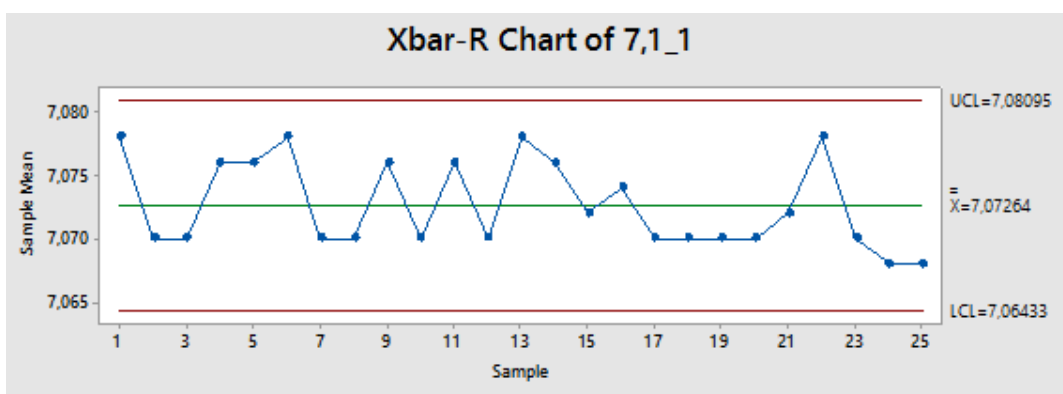
Graf 1: Regulační diagram (\bar{x} , R) pro r. 0,8

Graf č. 2 je regulační diagram pro sledovaný rozměr 7,1. Na druhé části grafu je viditelný pravidelný průběh bodů kolem centrální přímky. Jednotlivé výkyvy, tedy přisuzují náhodným vlivům. Na druhé části grafu č. 2 je průběh jednotlivých výběrových průměrů pravidelný, ale ve 25 logické podskupině došlo k překročení dolní akční meze, což značí působení vymežitelné příčiny. V tomto případě je proces statisticky nezvládnutý.



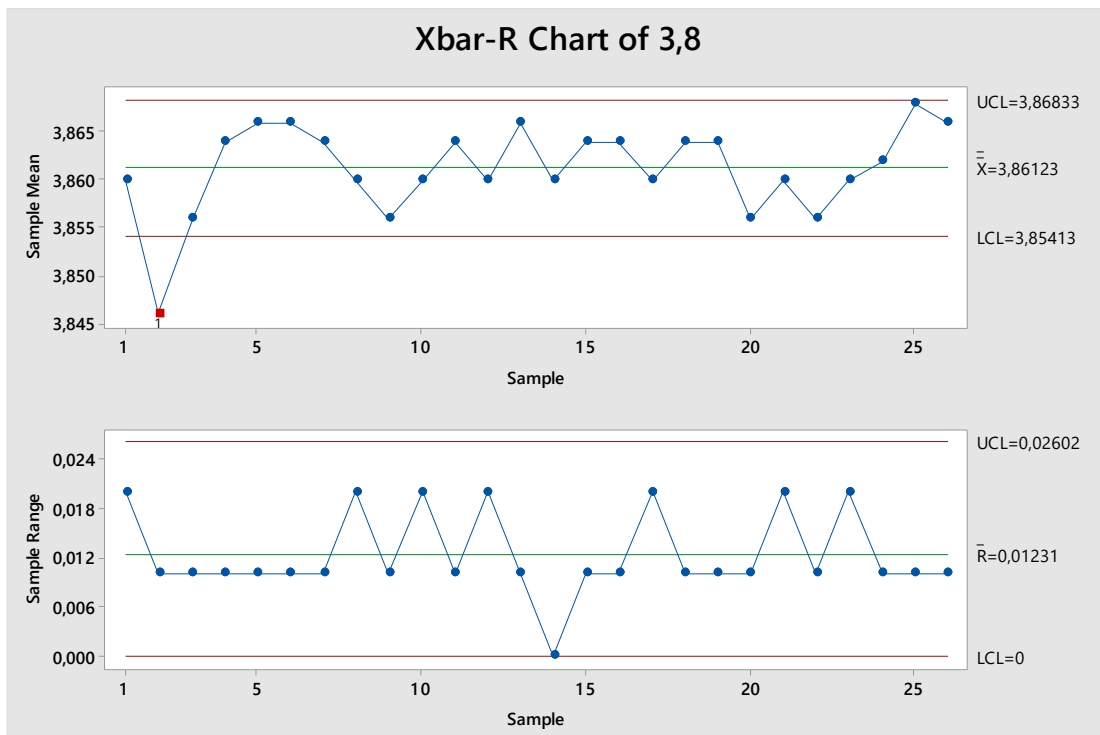
Graf 2: Regulační diagram (\bar{x} , R) pro r. 7,1

Tuto vymežitelnou příčinu je nutné odstranit. Tato hodnota by regulační diagram zkreslovala, pro další sledování procesu by bylo nezbytné ji nadále do výpočtů nezahrnovat a pro výběrové průměry sestavit nový diagram viz. graf č. 3.



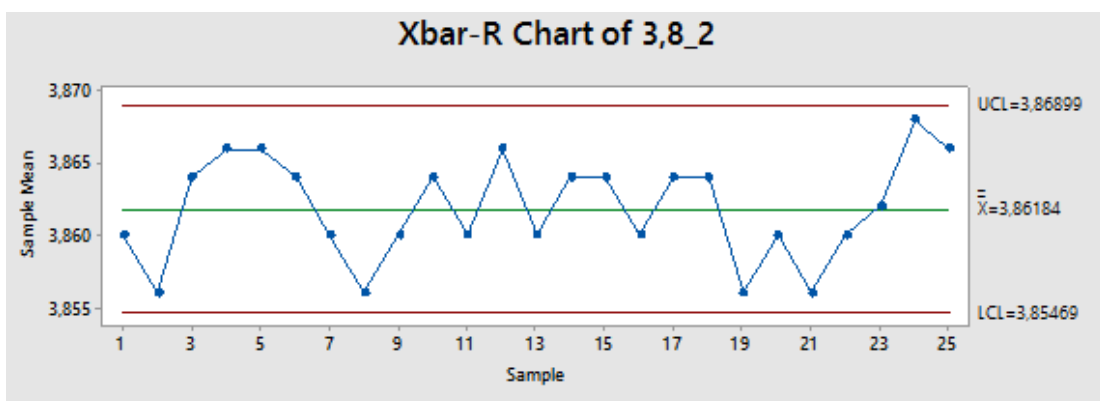
Graf 3: Regulační diagram (\bar{x}) pro r. 7,1

Na grafu č. 4 je regulační diagram pro sledovaný rozměr 3,8, situace je obdobná jako v předchozím příkladu. Diagram pro výběrová rozpětí vlivem náhodných příčin pravidelně kolísá kolem centrální přímky. V diagramu pro výběrové průměry došlo ve 2 logické podskupině k působení vymežitelné příčiny, proces označím za statisticky nevládnutý. Proces je nutné zregulovat.



Graf 4: Regulační diagram (\bar{x} , R) pro r. 3,8

Na grafu. č. 5 je upravený diagram pro výběrové průměry bez zahrnutí 2 logické podskupiny rozměru 3,8.



Graf 5: Regulační diagram (\bar{x}) pro r. 3,8

V této analýze se jedná o tři sledované rozměry jednoho výrobního běhu, můžeme tedy na jednotlivé (\bar{x}, R) diagramy nahlížet komplexně. Protože k působení vymezitelných příčin dochází u jednotlivých rozměrů v rozdílných logických podskupinách, přisuzovala bych toto působení nedokonalostem na navíjeném materiálu.

3.3 Zhodnocení současného stavu

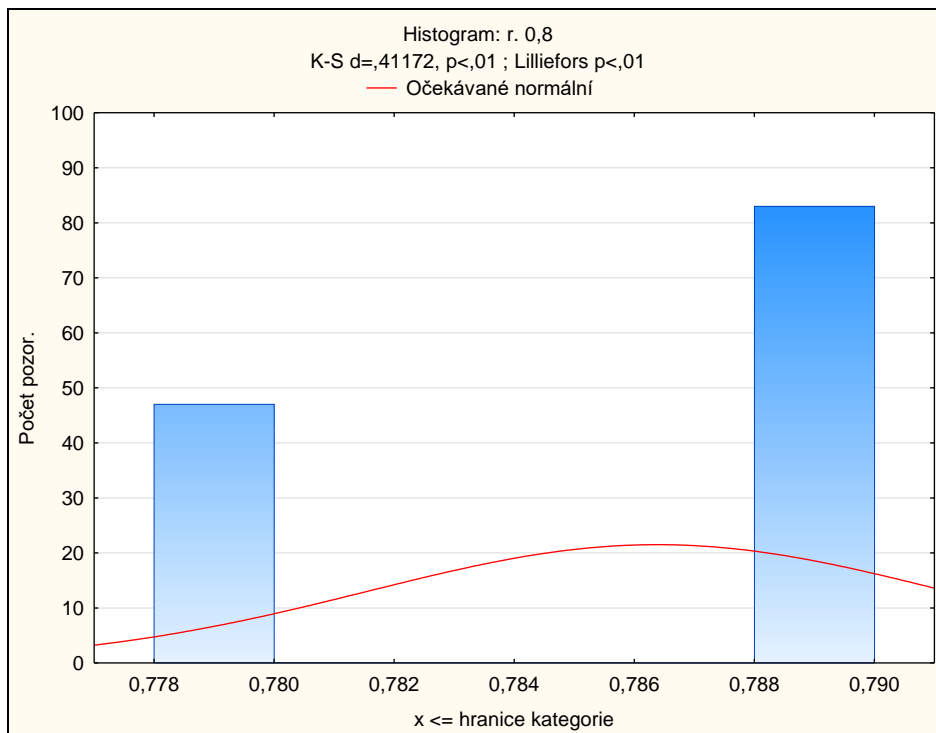
Nedostatkem v současném stavu SPC společnosti Z je, že společnost počítá regulační diagramy, aniž by ověřila základní podmínky normality. Porušení této podmínky může vést ke zkreslení výsledků. Také za běžných okolností neurčuje způsobilost, jejíž výsledky mohou dát společnosti Z zpětnou vazbu o výrobním procesu.

Z důvodu absence ověřování normality datového souboru a vyhodnocování způsobilosti procesu v SPC společnosti Z, jsem pro úplnou analýzu sledovaných rozměrů 3,8, 7,1 a 0,8 doplnila aplikaci těchto statistických nástrojů v následujících podkapitolách.

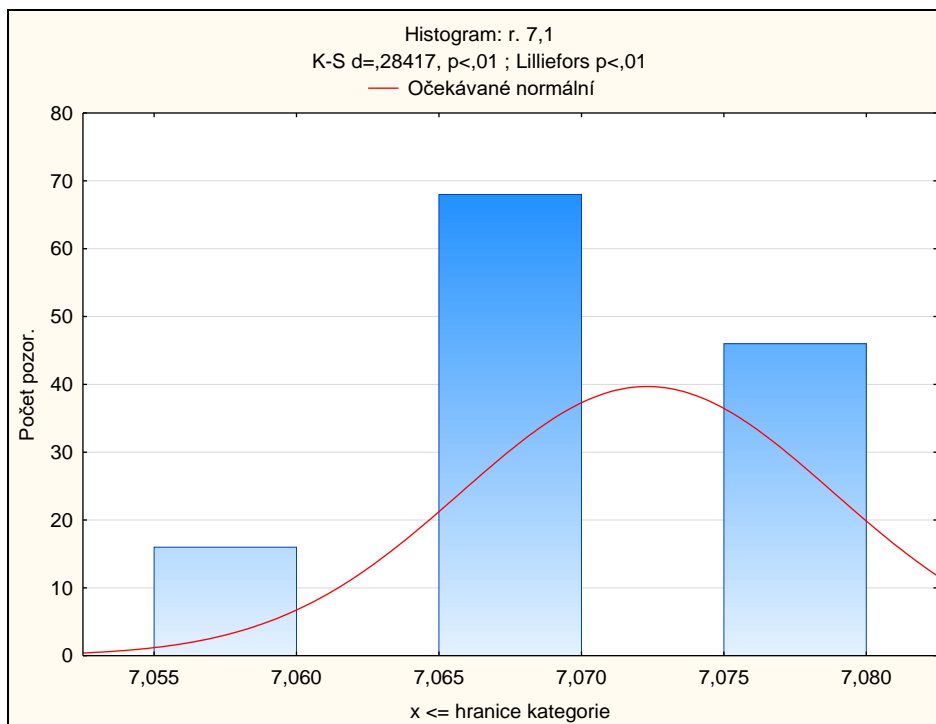
3.3.1 Aplikace testů na normalitu

Grafy č. 6, 7 a 8 znázorňují histogramy pro sledované rozměry 3,8, 7,1 a 0,8. Histogramy (s výjimkou r. 0,8) mají zvonovitý tvar. Možnou příčinou je působení náhodných vlivů. Pomocí histogramu bylo analyzováno 130 hodnot pro každý rozměr, přesto jsou hodnoty parametru jakosti dosti stejnorodé a v histogramech vznikají mezery, tento jev v tomto konkrétním případě může být způsoben zaokrouhlením měřené hodnoty. Grafy dále představují test normality, jsou zde vypočtené hodnoty testového kritéria d pro test K-S. Ve všech případech je hodnota p vyhodnocena $< 0,1$, tzn. žádný z analyzovaných datových souborů, nemá normální rozdělení, ale vyskytuje se shoda. Červená křivka představuje Gaussovu křivku očekávaného normálního rozdělení.

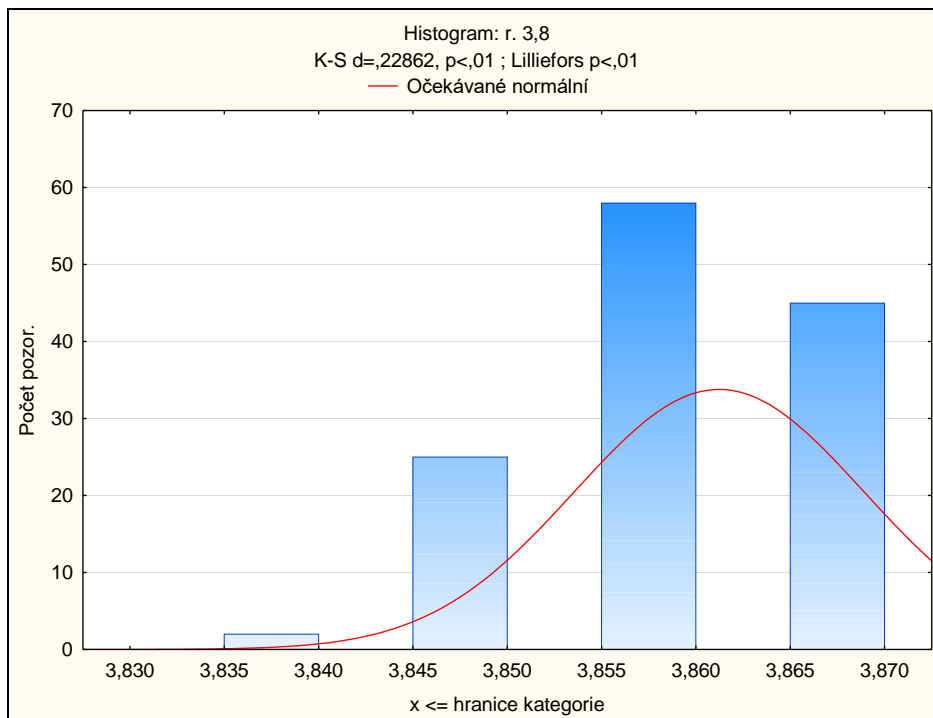
V příloze č. 5 jsou výsledky testů dobré shody pro jednotlivé sledované rozměry. Na prvním řádku tabulky je vždy rozdělení, se kterým má datový soubor největší shodu.



Graf 6: Histogram a test K-S pro r. 0,8



Graf 7: Histogram a test K-S pro r. 7,1



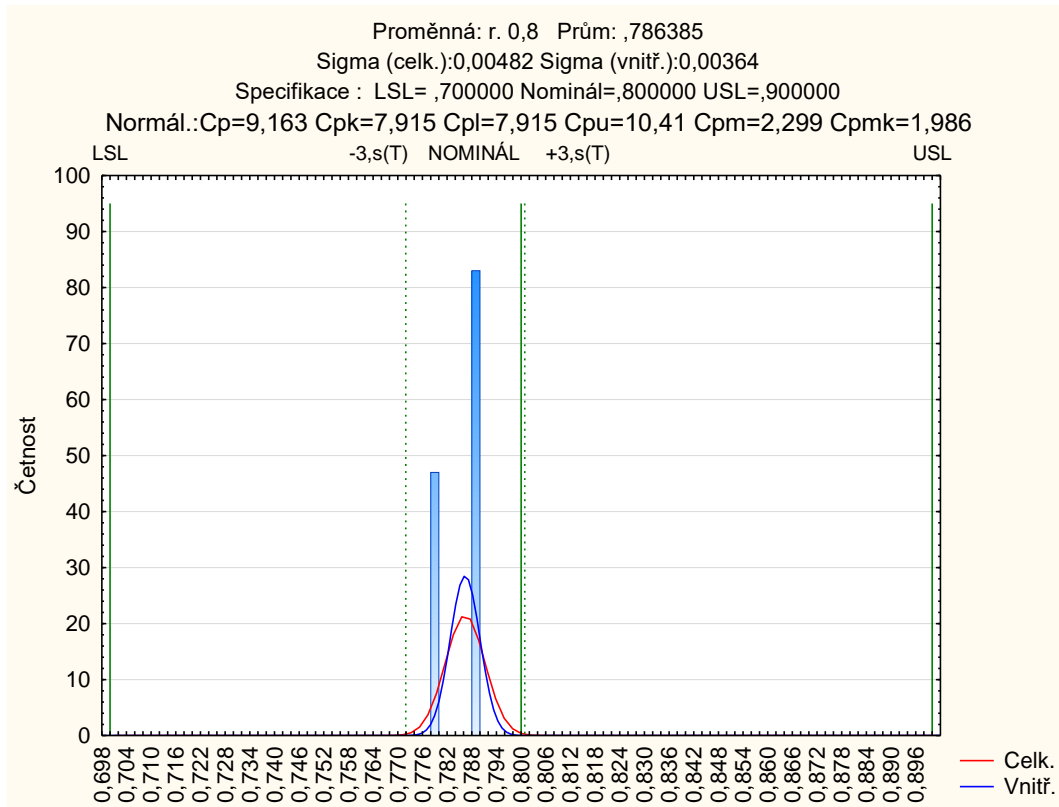
Graf 8: Histogram a test K-S pro r. 3,8

3.3.2 Aplikace indexů způsobilosti

Na následujících grafech č. 9, 10 a 11 jsou výsledky analýzy způsobilosti procesu pro indexy způsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pm} a C_{pmk} . Grafy znázorňují cílovou hodnotu T (nominál), délku 6σ a toleranční meze. Vzorce pro výpočet indexů způsobilosti jsou uvedeny v kapitolách 2.7.1-3 (13-20).

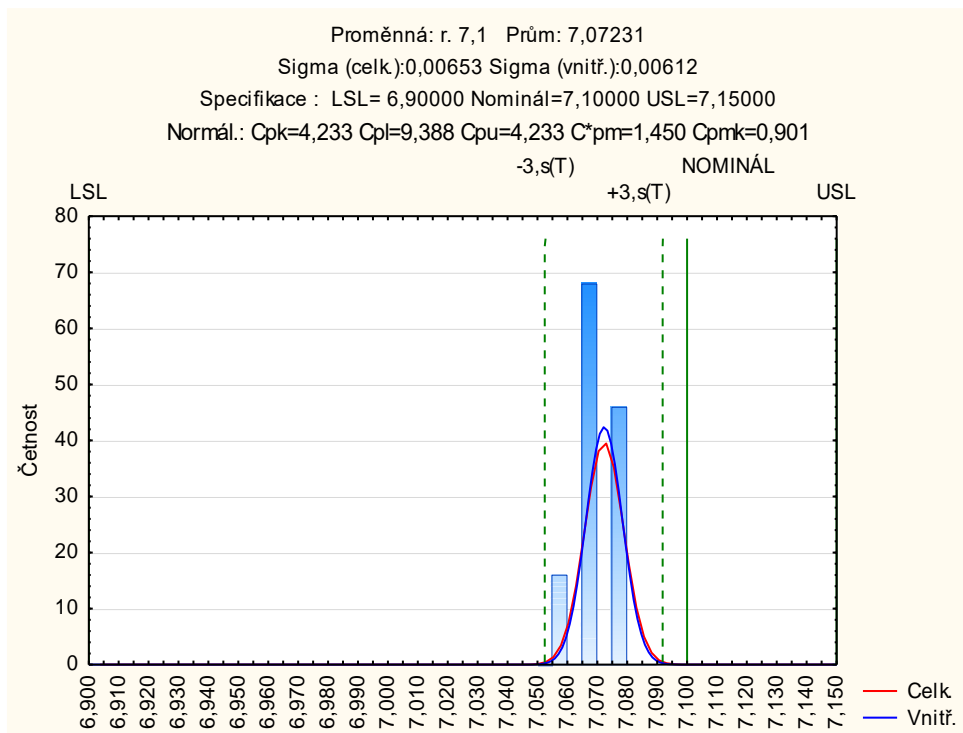
Graf č. 9 analyzuje rozměr 0,8. Proces vykazuje velmi nízkou variabilitu. Při dosažené hodnotě $C_p = 9,163$ je míra využití tolerančního intervalu pouze 10,91 %. Aby se proces stal podle indexu C_p nezpůsobilým střední hodnota μ by se musela posunout o 0,118, tato hodnota znamená rezervu v tolerančních mezích (robustnost procesu). Index $C_{pk} = 7,915$ z grafu je viditelné, že střední hodnota je blíže k dolní toleranční mezi, tzn. proces by mohl být oproti tolerančním mezím přesněji seřízen. Robustnost procesu podle C_{pk} je 0,099. Rozdíl mezi hodnotami C_p a C_{pk} je 1,248. Čím je tento rozdíl větší, tím větší je vzdálenost střední hodnoty od středu tolerančního pole. Proces je centrován (cílová hodnota leží uprostřed tolerančního pole). Index $C_{pm} = 2,299$, rozdíl mezi C_{pk} a C_{pm} je 5,616 a značí vzdálenost střední hodnoty od cílové, což je patrné i z grafu. Řešením je

zde opět přesnější seřízení stroje. Index $C_{pmk} = 1,986$ vyjadřuje, jak je vzdálena střední hodnota od cílové a zároveň porovnává polohu střední hodnoty v tolerančním poli. Hodnoty všech indexů způsobilosti pro rozměr 0,8 jsou větší než 1,33. Přesnost je větší než požadovaná a proces označím statisticky způsobilý.



Graf 9: Indexy způsobilosti pro r. 0,8

Graf č. 10 je analýzou způsobilosti pro sledovaný rozměr 7,1. Z grafu je opět vidět velmi nízká variabilita procesu. Index C_p pro tento sledovaný rozměr není určen, protože cílová hodnota není nastavena na střed tolerančního pole a výsledek by neměl správnou vypovídací hodnotu. Index $C_{pk} = 4,233$, střední hodnota se blíží k LSL více než je žádoucí. Robustnost procesu podle C_{pk} je 0,063. Rozdíl mezi C_p a C_{pk} je 2,577. Tento proces není centrován, tzn. má rozdílné toleranční meze, proto je určen index $C^*_{pm} = 1,45$. Vzdálenost střední hodnoty od cílové hodnoty vyjádřená rozdílem C_{pk} a C^*_{pm} je 2,783. Index $C_{pmk} = 0,901$. Pro indexy C_p , C_{pk} a C_{pm} jsou dosažené hodnoty větší než 1,33 a předepsaná jakost je větší než požadovaná, proces označím jako statisticky způsobilý. Když budu uvažovat i index C_{pmk} proces je statisticky nezpůsobilý.



Graf 10: Indexy způsobilosti pro r. 7,1

Graf č. 11 je analýzou způsobilosti pro r. 3,8. Pozorují velmi nízkou variabilitu procesu. Hodnota $C_p = 9,449$, míra využití tolerančního intervalu je tedy 10,58 %. Robustnost procesu podle C_p je 0,195. Index $C_{pk} = 5,592$, střední hodnota se blíží k USL více než je žádoucí. Robustnost procesu podle C_p je 0,106. Rozdíl C_p a C_{pk} je 3,857. Tento proces je centrován. Vypočtená hodnota C_{pm} je 0,807. Rozdíl C_{pk} a C_{pm} je 4,785. Index $C_{pmk} = 0,478$. Pro indexy C_p a C_{pk} je požadovaná jakost větší než předepsaná a proces hodnotím statisticky způsobilý. Pro indexy C_{pm} a C_{pmk} je požadovaná jakost menší než předepsaná a proces hodnotím statisticky nezpůsobilý.

Důvodem je především nedostatek logických podskupin. Interní požadavek je minimálně šestnáct logických podskupin (odborná literatura doporučuje minimální počet logických podskupin dvacet). Nemůže tak dojít k objektivnímu vyhodnocení regulovaného procesu. Při úvaze nutnosti šestnácti logických podskupin je (\bar{x}, R) diagram aplikovatelný pouze na 6,3 % z těchto výrobních běhů, z nichž jsem pro analýzu jeden vybrala.

Odchytky mezi výběrovými rozpětími jsou u všech analyzovaných rozměrů pro tento výrobní běh velmi malé nebo žádné. Z toho usuzuji, že se jedná o dosti homogenní data a přesnou výrobu (nízká variabilita), o čemž vypovídá i vyhodnocení pomocí histogramů. Stejnorodost datového souboru může způsobovat nenormálnost rozdělení.

Z analýzy výrobního běhu pro 3-MM CONTACT je u všech rozměrů zjevná odchylka střední hodnoty od cílové hodnoty. Při současném stavu SPC ve společnosti Z, kdy za běžných okolností indexy způsobilosti pro zkoumanou skupinu dat nejsou používány, může tento jev zůstat bez povšimnutí.

SPC ve společnosti Z je pro regulovaný proces nevhodně nastaveno. Dochází zde k velké neefektivitě využití zdrojů (spotřeba materiálu pro měření, pracovní síly).

4 VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ

V kapitole jsou definovány tři návrhy řešení. První návrhové opatření je statistický nástroj cílový regulační diagram, dalším návrhem je regulační diagram pro klouzavá rozpětí. Za pomoci jmenovaných nástrojů je provedena analýza na konkrétních produktech. Posledním návrhem je zvážení eliminace SPC. Výstupem kapitoly je doporučení pro statistickou regulaci procesu lisování kovů ve společnosti Z. K výpočtům byly použity programy STATISTICA, Minitab a MS Excel.

4.1 Cílový regulační diagram

Prvním návrhem na zlepšení SPC ve společnosti Z je využití cílového regulačního diagramu. Cílový regulační diagram jsem zvolila, protože umožňuje sledovat více výrobních běhů zároveň a řeší tak problém malého počtu logických podskupin. Diagram umožňuje vyhodnocovat různé výrobní běhy mezi sebou, aniž by došlo k neobjektivitě výsledků způsobených jejich spojením např. rozdílným seřízením stroje u jednotlivých běhů. Zároveň podává informaci o sledovaném rozměru. Vzorce pro výpočet cílového regulačního diagramu jsou uvedeny v kapitole 2.4.3 (11,12).

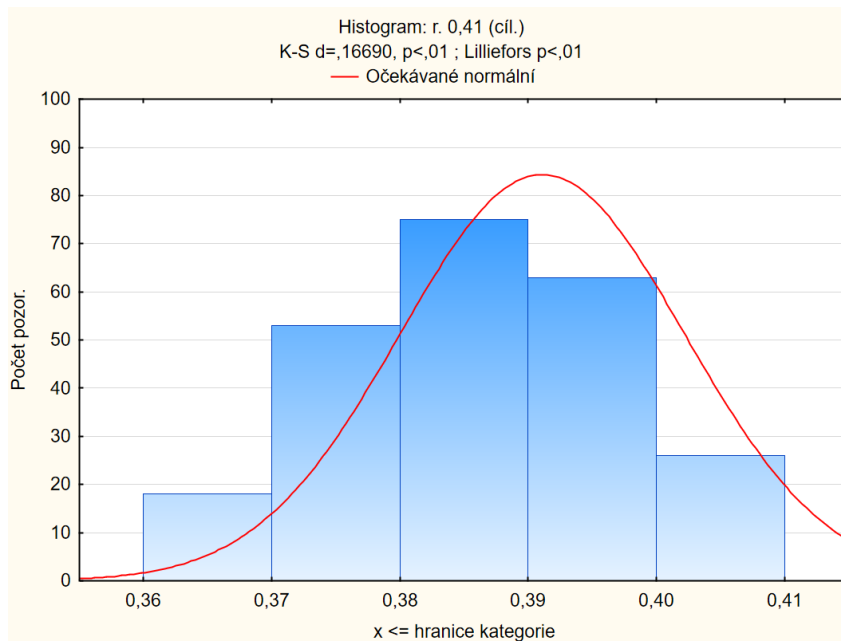
4.1.1 Analyzovaný produkt

Pro analýzu pomocí cílového regulačního diagramu jsem vybrala produkt Center Contact (viz. Příloha 6), u něhož se sleduje jeden požadovaný rozměr. Stejně jako předchozí analyzovaný produkt Center Contact prochází vysoce automatizovaným a vysokorychlostním lisovacím procesem. Rychlost produkce je 500 kusů za minutu.

Za sledované období proběhlo osm výrobních běhů tohoto produktu, které jsou předmětem analýzy pomocí cílového regulačního diagramu.

4.1.2 Analýza procesu a aplikace cílového regulačního diagramu

Na grafu č. 12 je histogram a výsledky testů na normalitu pro skupinu zkoumaných dat (viz. Příloha 3), které jsou předmětem analýzy. Podle tvaru histogramu bych očekávala normální rozdělení. Histogram má zvonovitý tvar a signalizuje tak působení pouze náhodných vlivů. Výsledkem testu normality je hodnota testového kritéria $d = 0,167$ a $p < 0,1$, podle p-hodnoty zamítáme hypotézu o normálním rozdělení, ale datový soubor má s normálním rozdělením shodu.



Graf 12: Histogram a test K-S pro r. 0,62

Následující tabulka je výsledkem testu dobré shody na různá rozdělení. Na prvním místě je rozdělení, které má s analyzovaným datovým souborem největší shodu. Přestože data nemají normální rozdělení, lze cílový regulační diagram aplikovat, protože logická podskupina sestává z více než 4 měření (pravidlo centrální limitní věty).

Tab. 1: Test dobré shody pro r. 0,41

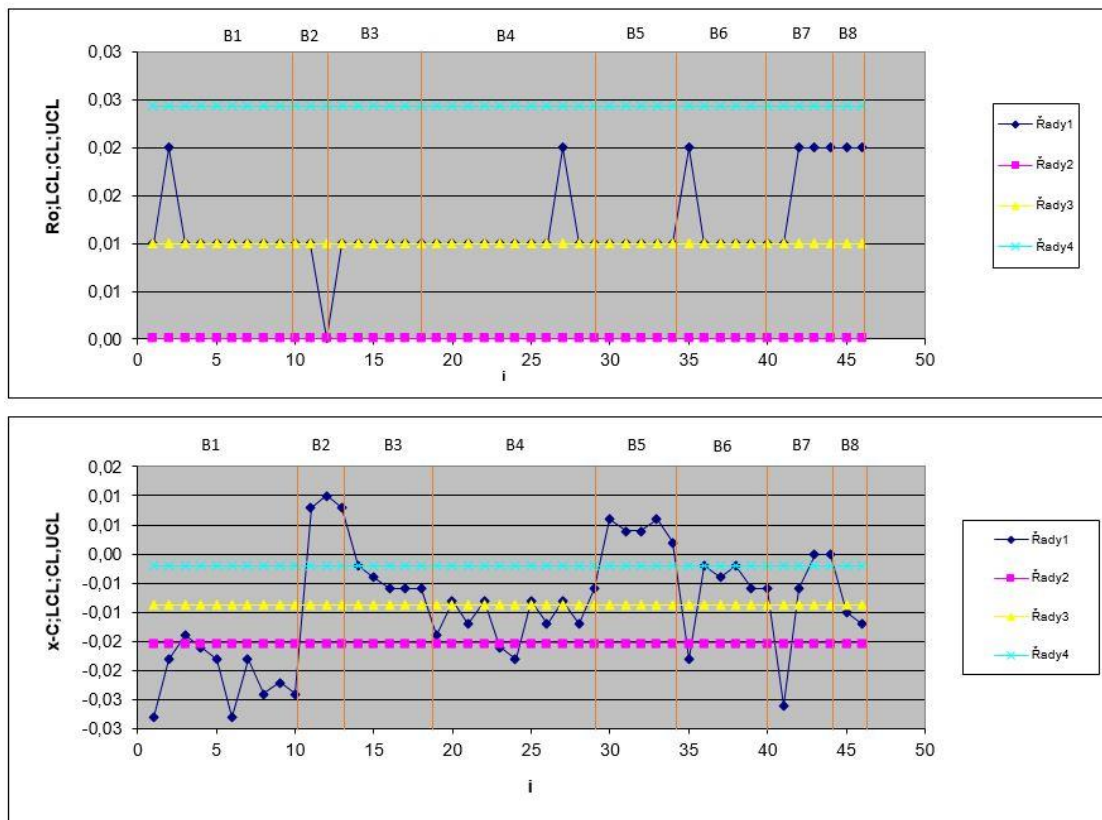
Rozdělení	Vlastní Param 1	Vlastní Param 2	Param 1	Param 2	K-S d	K-S p-hodn.
Nenormální (šikmost, špičatost)			-0,0699	-0,717	0,162063	p<,01
Normální (umístění, měřítko)			0,3911	0,011	0,166897	p<,01
Beta (práh, sigma, měřítko, tvar)	0,00	1,000000	753,4226	1172,965	0,167178	p<,01
Log-normální (práh, měřítko, tvar)	0,00		-0,9392	0,028	0,168006	p<,01
Extrémních hodnot (umístění, měřítko)			0,3855	0,011	0,216765	p<,01
Rayleighovo (práh, měřítko)	0,00		0,2767		0,591091	p<,01
Exponenciální (práh, měřítko)	0,00		0,3911		0,611722	p<,01
Gama (práh, měřítko, tvar)	0,00					--
Weibullovo (práh, měřítko, tvar)	0,00					--

Graf č. 13 je cílový regulační diagram pro všechny výrobní běhy analyzovaného produktu za sledované období. Na první části grafu jsou výběrová rozpětí, střední přímka a akční meze pro R. Je patrné, že výběrová rozpětí pro jednotlivé logické podskupiny nepřekračují horní akční mez, ale kolem střední přímky nekolísají zcela náhodně. Z hlediska variability nelze zhodnotit všechny běhy jako statisticky zvládnuté.

Na druhé části grafu jsou vypočtené akční meze, centrální přímka a body představující odchylky od cílových hodnot jednotlivých podskupin. Z polohy bodů vůči centrální přímce lze usuzovat, že variabilita procesu je pro jednotlivé výrobní běhy různá. Způsobeno to může být např. kvalitou použitého materiálu nebo rozdílným seřízením stroje mezi jednotlivými běhy.

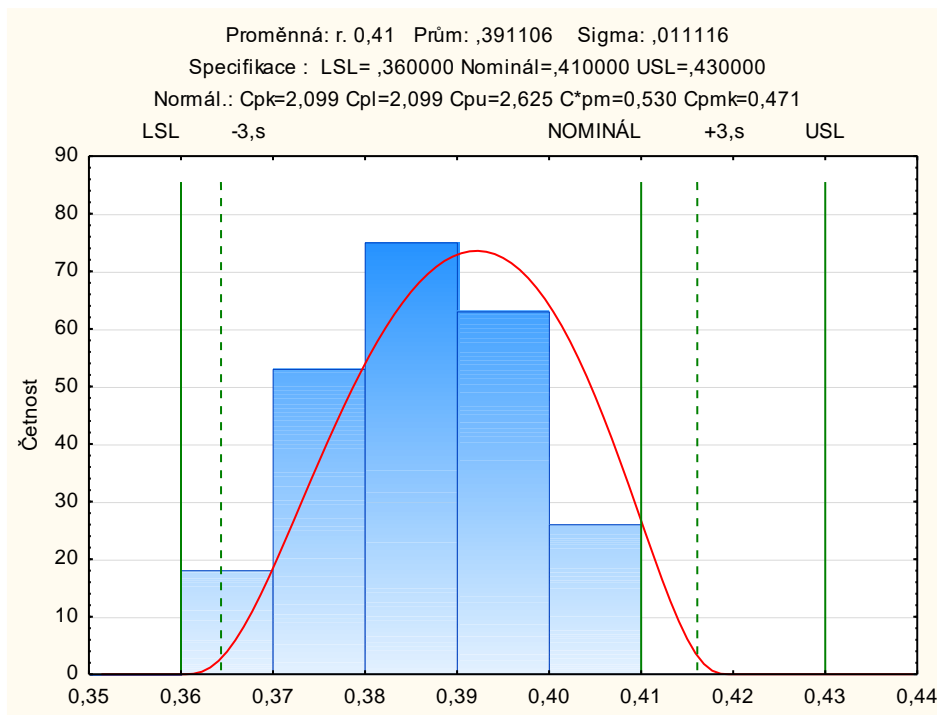
Většina bodů leží pod nulovou přímkou, což ovlivňuje polohu centrální přímky, která je odchýlena od nulové přímky do záporných hodnot. Ve výrobních běžích B1, B2, B3, B4 a B6 leží body odchylek pod nulovou přímkou, tedy daný rozměr je u těchto výrobních běhů nastaven pod cílovou hodnotu. Ve výrobních běžích B7 a B8 dochází ke kolísání bodů, ale daný rozměr je také nastaven spíše pod cílovou hodnotu. Naopak u výrobních běhů B2 a B5 je rozměr nastaven nad cílovou hodnotu.

Body odchylek pro B1 se nacházejí pod dolní akční mezí. Body odchylek pro B2 a B5 překračují horní akční mez. V B4 a B6 došlo k překročení dolní akční meze. V B7 došlo k překročení horní i dolní akční meze, z diagramu je patrný rostoucí trend. V B8 došlo k překročení horní akční meze, z diagramu je patrný klesající trend. Z diagramu tedy vyplývá, že ve výrobních běžích B1, B2, B4, B5, B6, B7 a B8 působila vymežitelná příčina.



Graf 13: Cílový regulační diagram pro $r = 0,41$

Graf č. 14 je analýzou způsobilosti procesu pro $r = 0,41$. Vzorce pro výpočet indexů způsobilosti jsou uvedeny v kapitolách 2.7.1-3 (13-20). Spojením více výrobních běhů je zde dosahováno větší variability procesu než při vyhodnocování u rozměrů 3MM-CONTACTU. Index C_p pro tento sledovaný rozměr není určen, protože cílová hodnota není nastavena na střed tolerančního pole a výsledek by nebyl objektivní. Index $C_{pk} = 2,099$. Robustnost procesu je podle C_{pk} 0,366. Střední hodnota se přibližuje k LSL více než je žádoucí. Rozdíl C_p a C_{pk} je 0,264. Tento proces má oboustranné toleranční meze, ale není centrován. Hodnota $C^*_{pm} = 0,53$. Rozdíl mezi C_{pk} a C^*_{pm} je 1,569. Vypočtená hodnota indexu $C_{pmk} = 0,471$. Dle indexů C_p a C_{pk} je požadovaná přesnost jakosti větší než předepsaná, proces označím statisticky způsobilý. Při úvaze indexů C^*_{pm} a C_{pmk} je požadovaná přesnost jakosti menší než předepsaná, proces označím statisticky nezpůsobilý. Histogram se dotýká dolní toleranční meze. To značí, že je třeba provádět analýzu k jeho zdokonalení. Problémem je zde odchýlení střední hodnoty od cílové, bylo by nutné provést přesnější seřízení stroje vůči tolerančním mezím.



Graf 14: Indexy způsobilosti pro r, 0,41

4.1.3 Vyhodnocení

Cílový regulační diagram je statický nástroj pomocí, něhož můžeme sledovat rozdíly mezi jednotlivými výrobními běhy. Informuje uživatele o přesnosti seřízení stroje či dalších faktorech a odchylkách od cílové hodnoty požadovaného rozměru, přičemž spojením jednotlivých výrobních běhů, které mohou mít rozdílné podmínky procesu, nedochází k chybnému určení regulačních mezí. Tento diagram také neklade požadavky na počet logických podskupin. Vyhodnocují tedy cílový regulační diagram jako vhodný nástroj k SPC ve společnosti Z.

V případě zavedení cílového regulačního diagramu do SPC ve společnosti Z, by systém měření hodnot zůstal stejný. Pro každou logickou podskupinu pět měření každé dvě hodiny výrobního běhu, aby se předešlo případným zkresleným výsledkům kvůli rozdělení datového souboru.

Zavedení cílového regulačního diagramu by pro společnost znamenalo náklad v podobě vytvoření nových kontrolních karet (v MS Excel) a proškolení zaměstnanců ze střediska

lisovny kovů. Tento návrh na zlepšení nepřináší svým okamžitým zavedením žádnou úsporu, ale vede k efektivnímu a objektivnímu regulování procesu. Tedy sledování kvality a jakosti produktu a včasnému odhalování chyb, což může přinést úsporu v budoucím čase.

4.2 Regulační diagram (x_i, Rkl_i)

Jak je zřetelné z datových souborů (viz. Příloha 3) a z analyzovaného produktu v kapitole 3.2.4 jsou naměřené hodnoty pro sledované rozměry dosti homogenní. To je hlavním důvodem pro návrh regulačního diagramu (x_i, Rkl_i). Tento diagram funguje na stejném principu jako společností využívaný regulační diagram (\bar{x}, R) s tím rozdílem, že nesleduje hodnoty průměrů logických podskupin, ale individuální hodnoty měřeného rozměru. Vzorce pro výpočet regulačního diagramu (x_i, Rkl_i) jsou uvedeny v kapitole 2.4.2 (7-10).

4.2.1 Analyzovaný produkt

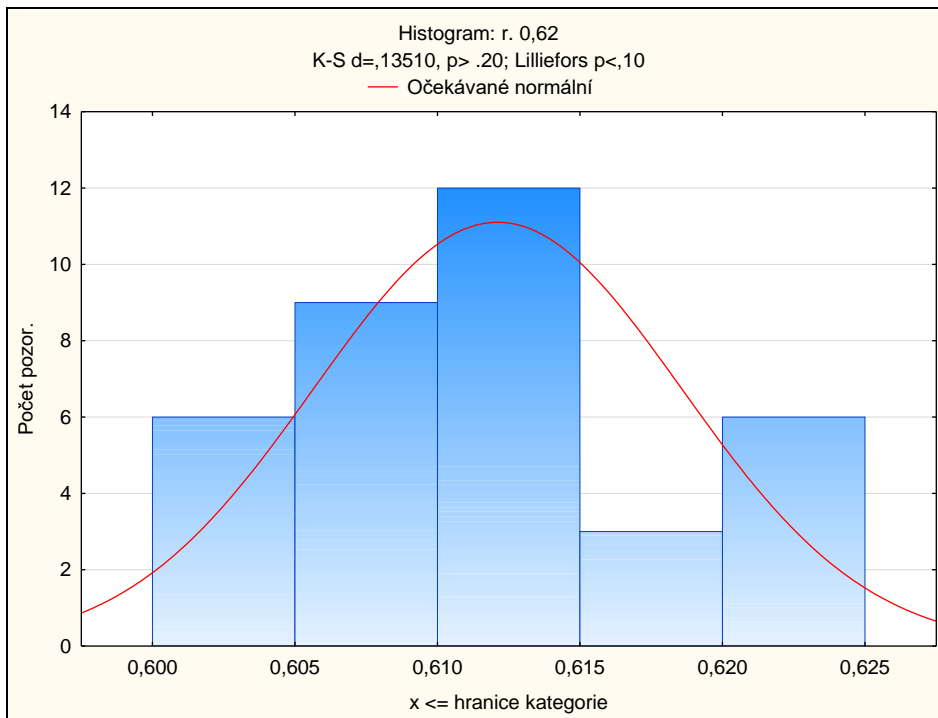
Pro analýzu za využití regulačního diagramu (x_i, Rkl_i) jsem zvolila produkt Minifuse Busbar (viz. Příloha 7), u kterého se sleduje jeden požadovaný rozměr. Také prochází vysoce automatizovaným a vysokorychlostním lisovacím procesem. Rychlost produkce je 720 kusů za minutu.

Za sledované období proběhly tři výrobní běhy tohoto produktu, které jsou předmětem následující analýzy.

4.2.2 Analýza procesu a aplikace regulačního diagramu (x_i, Rkl_i)

Na grafu č.15 je histogram a výsledky testů na normalitu pro skupinu zkoumaných dat, které jsou předmětem analýzy regulačního diagramu (x_i, Rkl_i). Z grafu je patrné, že data mají normální rozdělení. Vypovídá o tom histogram i test na normalitu. Hodnota

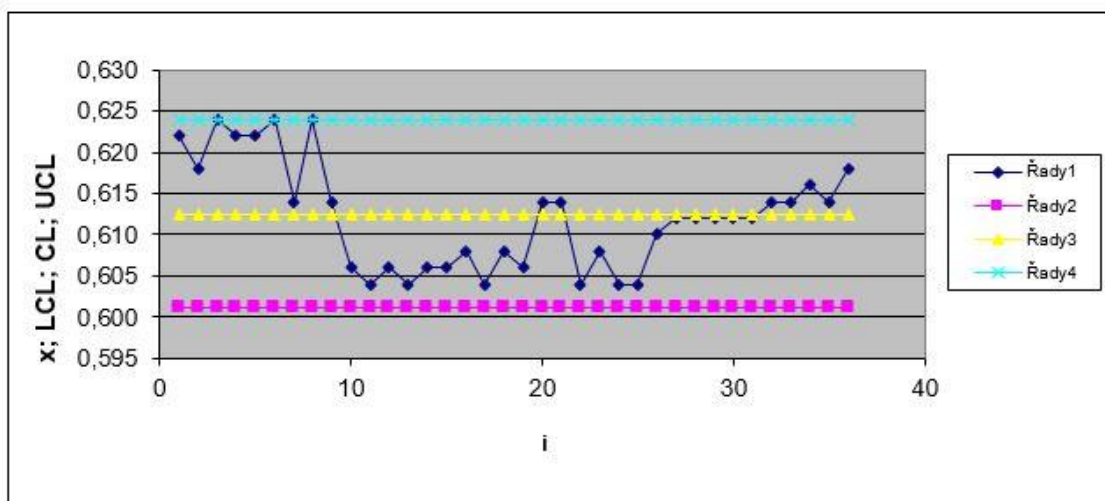
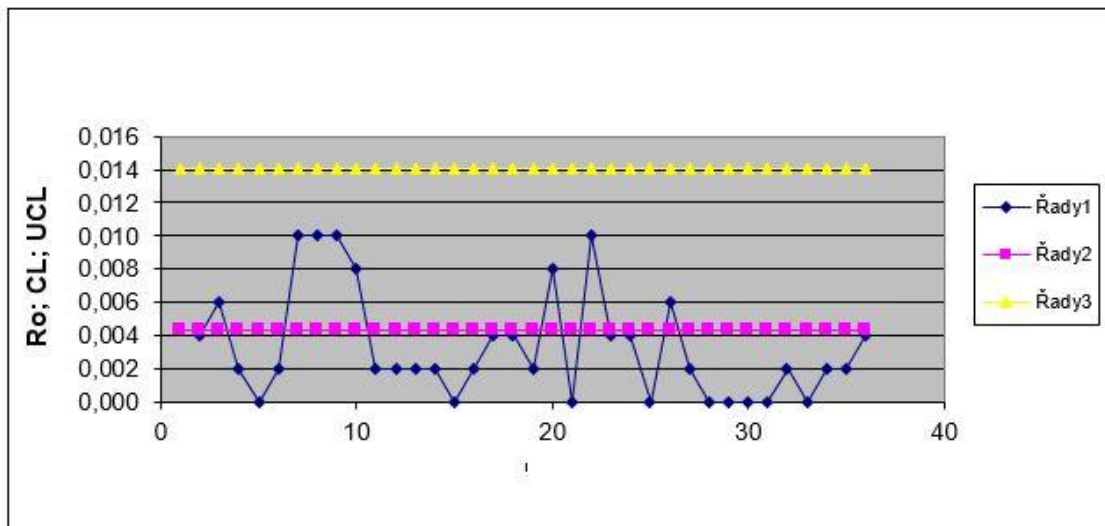
testového kritéria je 0,135 a $p > 0,2$. Příčinou skoku ve čtvrtém sloupci může být chyba v měření nebo zaokrouhlování hodnot.



Graf 15: Histogram a test K-S pro r. 0,62

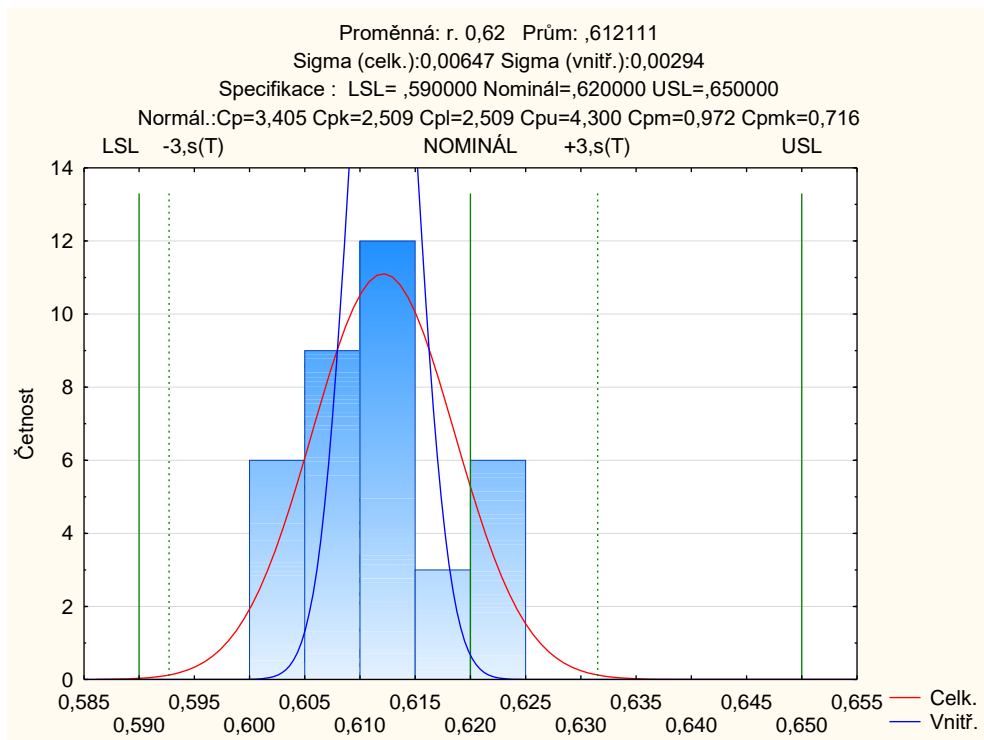
Graf č. 16 znázorňuje vypočtené akční meze, centrální přímkou, jednotlivé hodnoty klouzavých rozpětí a individuální hodnoty. Na první části grafu žádná hodnota nepřekračuje akční meze a dalo by se říci, že se body střídavě pohybují kolem centrální přímkou.

Na druhé části grafu, kde jsou individuální hodnoty, také nedošlo k překročení horní ani dolní akční meze. Výrobní proces označím jako statisticky zvládnutý. Tyto diagramy lze nadále použít pro sledování požadovaného rozměru. Z diagramu pro individuální hodnoty je, ale patrné rozdělení na tři části. To je způsobeno tím, že se jedná o tři sledované výrobní běhy v ročním časovém intervalu. Tento fakt, může způsobit nepřesnost ve výpočtu regulačních mezí.



Graf 16: Regulační diagram (x_i, Rkl_i) pro $r. 0,62$

Graf č. 17 je analýzou způsobilosti pro $r. 0,62$. Variabilita procesu je v pásmu délky 6σ . Hodnota $C_p = 3,405$, míra využití tolerančního intervalu je $29,37\%$. Robustnost procesu je podle C_p $0,047$. Index $C_{pk} = 2,509$, střední hodnota je nakloněna spíše k LSL. Rozdíl mezi C_p a C_{pk} je $0,896$. Tento proces je centrován. Hodnota $C_{pm} = 0,972$. Rozdíl mezi C_{pk} a C_{pm} je $1,537$. Index C_{pmk} je $0,716$. Dle indexů C_p a C_{pk} je požadovaná přesnost jakosti větší než předepsaná, proces označím statisticky způsobilý. Při úvaze indexů C_{pm} a C_{pmk} je požadovaná přesnost jakosti menší než předepsaná, proces označím statisticky nezpůsobilý.



Graf 17: Indexy způsobilosti pro r, 0,62

4.2.3 Vyhodnocení

Při zavedení regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí pro SPC společnosti Z, by se změnil způsob měření hodnot sledovaného rozměru. A to tím způsobem, že na místo pěti vzorcích, by se měřil sledovaný rozměr pouze na jednom vzorku, protože tento diagram vyhodnocuje individuální hodnoty.

Dále by se musel naměřený rozměr do kontrolních karet zapisovat, alespoň na tři desetinná místa z důvodu stejnorodosti dat. Měřicí přístroj společnosti Z toto umožňuje (viz. Obr. 12). Zápisem na tři desetinná místa, by se mělo dosáhnout výsledku normálního rozdělení a data by se nemusela dále upravovat aproximací.

Zavedení tohoto diagramu by tedy přinášelo částečnou úsporu při spotřebě materiálu na měřené vzorky. Stejně jako u cílových diagramů je i zavedení regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí spojeno s nákladem na nové kontrolní karty a proškolením zaměstnanců, kteří SPC vykonávají. Pro nový systém měření by měla proběhnout analýza měřícího systému, což sebou nese další náklady.

Nevýhodou diagramu (x_i, Rkl_i) je, že hodnoty nemusejí být ve všech sledovaných procesech vlivem rozdílných podmínek u jednotlivých výrobních běhů dostatečně stejnorodé. Dle provedené analýzy, spojením více výrobních běhů do jednoho diagramu může dojít ke zkreslenému výsledku průběhu procesu a regulačních mezí. Naopak při opravdu velké homogenitě naměřených dat může nastat situace, že i přes zápis na tři desetinná místa data nebudou mít normální rozdělení, pokud by se data aproximací neupravila, taktéž by mohlo dojít k neobjektivním výsledkům.

4.3 Návrh na eliminaci SPC

Podmětem k vypracování této bakalářské byla nespokojenost oddělení lisovny kovů se statistickou regulací procesu a jejich návrh na eliminaci statistické regulace pro skupinu produktů, kde je požadavek na SPC stanoven interně. Proto do návrhových opatření zahrnu i tuto možnost.

Z následující tabulky je patrné, že ve sledovaném období se vyrábělo 13 druhů produktů, u kterých SPC probíhalo pro různý počet rozměrů (1-3). Celková doba pro jedno měření (včetně získání vzorku a zapsání rozměru do evidence) je u jednoho rozměru přibližně 10 minut. Za sledované období jednoho roku proběhlo 439 měření pro SPC.

Náklady na spotřebované produkty jsou za sledované období ve výši 23 512, 65 Kč. Náklady na zaměstnance vykonávajícího SPC jsou za sledované období 35 114,57 Kč, když budeme uvažovat oportunitní náklady na zaměstnance ve stejné výši, dostaneme se na částku 70 229,14 Kč.

Odhadovaná úspora přímých nákladů v případě zrušení SPC by se tedy pohybovala okolo 93 000 Kč ročně.

Tab. 2: Přímé náklady na SPC

	Produkt	Počet rozměrů k SPC	Doba měření [min]	Počet hodin výroby produktu za sledované období	Počet měření pro SPC	Počet hodin měření	Cena produktů spotřebovaných pro SPC [CZK]
1	349191	1	10	6,75	3	0,56	2,06
2	963754	3	24	271,73	136	54,35	306,55
3	963755	3	24	73,19	37	14,64	177,68
4	1418971	1	10	109,29	55	9,11	46,77
5	1418973	1	10	43,30	22	3,61	13,53
6	1418990	1	10	92,94	46	7,74	59,97
7	1719685	1	10	47,74	24	3,98	22405,05
8	1801343	1	10	87,79	44	7,32	30,87
9	1801484	2	17	65,74	33	9,31	23,12
10	1823957	1	10	1,08	1	0,09	0,16
11	2112465	1	10	22,75	11	1,90	245,54
12	2141947	1	10	26,70	13	2,23	192,27
13	2141947	1	10	26,70	13	2,23	9,07
				878,49	439	117,05	23512,65
				Kontrolor kvality (300 Kč/hod)			35114,67
				Oportunitní náklady			35114,67
				Celkem [CZK]			93742

Přestože je způsob statistické regulace pro sledovanou skupinu ve společnosti neefektivní, středisko má na základě provedených výpočtů v předchozích kapitolách velice dobré výsledky jakosti a dosahuje společností požadovanou úroveň 6 σ . Faktem, ale zůstává, že každé dvě hodiny bylo provedeno měření sledovaného rozměru a tím zajištěn jistý způsob kontroly. Nemohu tedy věcně posoudit, jaké by byly následky úplné eliminace SPC.

Dle průzkumu databáze všech výrobních běhů za sledované období dochází v 11 % k situacím, že výrobní běh trvá pouze dvě nebo čtyři hodiny, což vzhledem k povaze regulovaného procesu (vysokorychlostní lisování) není překvapivé. V těchto případech by dle mého názoru byla eliminace SPC možná, protože jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2, každému startu nové výrobní zakázky předchází důkladná vstupní kontrola parametrů.

4.4 Zhodnocení návrhů

Strategie společnosti spočívá v uplatňování nástrojů metodologie Six Sigma, aby zajistila naplňování svých cílů, při snaze o co největší úsporu nákladů, předešlo se plýtvání zdroji a docházelo k celkové efektivitě prováděných činností.

Společnost se potýká s problematikou nákladů na speciální přepravu. Měla by tedy zásadně omezit další přímé náklady spojené s kvalitou. Pokud je totiž tolik „vzácný a nedostupný“ materiál spotřebován na výrobu špatné kvality, která je dále sešrotována, dostává se výroba do zpoždění ve vztahu k zákazníkovi. Následná náhradní dodávka poté z časových důvodů vyžaduje speciální transport, tak aby byla zásilka u zákazníka včas. Tyto náklady dosahují astronomických hodnot, neboť všichni zákazníci udržují minimální skladové zásoby, pokud vůbec nějaké. Statistické metody jsou tedy z mého pohledu čím dál více důležité i pro společnost Z.

Z uvedených důvodů bych tedy statistickou regulaci neeliminovála. Úspora v podobě této eliminace je ve srovnání s fatálními následky vadné produkce zanedbatelná.

Dle provedených analýz na jednotlivých produktech, jako nedostatek hodnotím seřízení strojů, přičemž důsledkem je odchýlení cílové hodnoty od středu tolerančního pole. Ovšem podle dosažených hodnot ukazatelů způsobilosti C_p a C_{pk} lze říci, že při regulovaném procesu lisování kovů k výkonnosti na úrovni Six Sigma dochází. Aby tato situace zůstala zachována či zlepšena, doporučovala bych středisku lisovny kovů zavést pro SPC statistický nástroj cílový regulační diagram společně s indexem C_{pm} .

Jako další nedostatek hodnotím absenci testů na normalitu datového souboru. Proto podmínkou k zavedení navržených statistických nástrojů je zachování současného systému měření, podstatou je dostatek hodnot v logické podskupině (minimálně 4).

Jak už je zmíněno v kapitole 4.1.3 inovace v podobě cílového regulačního diagramu by pro společnost znamenalo náklad v podobě vytvoření nových kontrolních karet (v MS Excel) a proškolení zaměstnanců ze střediska lisovny kovů. Návrh možné kontrolní karty pro cílový regulační diagram v kombinaci s indexem C_{pm} viz. Příloha 8.

Zavedením tohoto nástroje do SPC bohužel nedochází k požadované eliminaci kontrol a žádné časové úspoře. Nicméně správnou implementací cílového regulačního diagramu může středisko lisovny kovů objektivně provádět regulaci procesu.

ZÁVĚR

V bakalářské práci je analýza způsobilosti procesů výroby pomocí statistických nástrojů regulační diagram (\bar{x} , R), regulační diagram (x_i , R kl_i) a cílových regulačních diagramů. Analyzovaným procesem je vysokorychlostní a vysoce automatizované lisování kovů, zkoumány byly tři produkty tohoto procesu. Pro přesné vyhodnocení způsobilosti procesu bylo využito také testů na normalitu datového souboru a indexů způsobilosti. Všechny sledované procesy byly podle ukazatelů způsobilosti C_p a C_{pk} vyhodnoceny jako statisticky způsobilé, v některých případech s nutnou regulací procesu.

Stěžejní částí této práce, bylo zhodnotit efektivnost současného stavu statistické regulace uvedeného procesu. Současný stav byl pro tento proces vyhodnocen jako nevhodný. Výstupem je tedy doporučení na implementaci jiného statistického nástroje, než který byl ve společnosti doposud používán. Na základě provedeného výzkumu, bych středisku lisovny kovů doporučila zavést pro SPC cílový regulační diagram společně s indexem způsobilosti C_{pm} .

Společnost musí bezpodmínečně nastavit takové procesy, které povedou k eliminaci plýtvání vstupního materiálu nejen z důvodu jeho stoupající ceny, ale i efektivnímu řízení kvality.

Do budoucna bych doporučila společnosti Z investovat do využívání statistických metod a posílení kontrolních procesů, neboť v konečném důsledku může ušetřit nemalé prostředky. Tato práce také shrnuje nutnost další a neustálé práce při řízení procesů, protože neplatí, že pokud je proces implementován, bude splňovat svou funkci neustále, nezměněn. Procesy se musí revidovat a upravovat spolu s měnící se situací na trhu a prostředím.

Zadání této práce tedy bylo naplněno, a to i přesto, že počet kontrol na konkrétním pracovišti nebyl eliminován, může být alespoň pozměněn. Benefitem zde je mnohem vyšší efektivnost.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- (1) ŠKOP, M. a P. POŠÍK. *Six Sigma: skripta ke kurzu*. Praha: StatSoft, c2008. ISBN 978-80-903630-2-1.
- (2) TÖPFER, A. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. Brno: Computer Press, 2008. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1766-8.
- (3) MILLER, I. *Kapesní příručka Six Sigma*. 1. vyd. Praha: Interquality, 2008. ISBN 978-80-902770-4-5 (6) KAPLAN, Robert S. *Balanced scorecard: strategický systém měření výkonnosti podniku*. 3. vyd. Praha: Management Press, 2002, 267 s. ISBN 80-726-1063-5.
- (4) Interní materiály společnosti Z.
- (5) KROPÁČ, J. *Statistika C: statistická regulace, indexy způsobilosti, řízení zásob, statistické přejímky*. 2., přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-789-5.
- (6) HŮLOVÁ, M. a E. JAROŠOVÁ. *Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti*. 4. vyd. Praha: Oeconomica, 2011. ISBN 978-80-245-1748-3.
- (7) ČSN ISO 8258: *Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- (8) ROMPOTL, J. *Jakost v podniku (cvičení)*. Brno: VUT v Brně. Fakulta podnikatelská, 27. 10. 2016.
- (9) GEORGE, M. L. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity*. Brno: SC, 2010. ISBN 978-80-904099-2-7.
- (10) SLIDEPLAYER. Histogram. *Slideplayer.cz* [online]. © 2017 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/1899225/>.

- (11) KROPÁČ, J. *Statistika A: náhodné jevy, náhodné veličiny, náhodné vektory, indexní analýza, rozhodování za rizika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-835-9.
- (12) KROPÁČ, J. *Statistika B: jednorozměrné a dvourozměrné datové soubory, regresní analýza, časové řady*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-822-9.
- (13) JAROŠOVÁ, E. a J. KRÁL. *Ověřování předpokladu normality* [online]. Česká společnost pro jakost: 2006 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/2006/05_-_12_-_Testy_normality.pdf.
- (14) NENADÁL, J. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- (15) PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN 80-722-6543-1.
- (16) STATSOFT. *Statistica 12* [software]. [přístup 15. května 2017]. Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/podpora/ke-stazeni/trial-verze-statistica/>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SPC	Statistické řízení procesů (z angl. statistical proces control)
DMAIC	Definuj, měř, analyzuj, zlepší, řid' (z angl. define, measure, analyse, improve)
FMEA	Analytická metoda (z angl. Failure Mode and Effects Analysis)
VOC	Hlas zákazníka (z angl. Voice of Customer)
σ	Směrodatná odchylka
μ	Střední hodnota
i	Jednotlivé logické podskupiny
k	Počet logických podskupin
CL	Centrální přímka (z angl. central line)
LCL	Dolní regulační mez (z angl. lower contol limit)
UCL	Horní regulační mez (z angl. upper control limit)
LSL	Dolní toleranční mez (z angl. lower specification limit)
USL	Horní toleranční mez (z angl. upper specification limit)
T	Cílová hodnota (z angl. target value)
R	Výběrové rozpětí; robustnost procesu
\bar{x}	Výběrový průměr
K-S	Test Kolmogororův-Smirnonův
d	Testové kritérium
p	P-hodnota (z angl. p-value)

Rkl	Klouzavé rozpětí
x	Individuální hodnota
Cp	Ukazatel způsobilosti procesu
Cpk	Ukazatel způsobilosti procesu
Cpm	Ukazatel způsobilosti procesu
C*pm	Ukazatel způsobilosti procesu
Cpmk	Ukazatel způsobilosti procesu
τ	Rozdíl mezi střední a cílovou hodnotu
τ^2	Rozptyl sledovaného znaku kolem střední hodnoty

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Regulační diagram (\bar{x} , R) pro r. 0,8	36
Graf 2: Regulační diagram (\bar{x} , R) pro r. 7,1	37
Graf 3: Regulační diagram (\bar{x}) pro r. 7,1	37
Graf 4: Regulační diagram (\bar{x} , R) pro r. 3,8	38
Graf 5: Regulační diagram (\bar{x}) pro r. 3,8	38
Graf 6: Histogram a test K-S pro r. 0,8.....	40
Graf 7: Histogram a test K-S pro r. 7,1.....	40
Graf 8: Histogram a test K-S pro r. 3,8.....	41
Graf 9: Indexy způsobilosti pro r. 0,8.....	42
Graf 10: Indexy způsobilosti pro r. 7,1	43
Graf 11: Indexy způsobilosti pro r. 3,8.....	44
Graf 12: Histogram a test K-S pro r. 0,62.....	47
Graf 13: Cílový regulační diagram pro r. 0,41	49
Graf 14: Indexy způsobilosti pro r. 0,41	50
Graf 15: Histogram a test K-S pro r. 0,62.....	52
Graf 16: Regulační diagram (\bar{x} , R _{kli}) pro r. 0,62.....	53
Graf 17: Indexy způsobilosti pro r. 0,62.....	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Sigma úroveň.....	14
Obr. 2: Six Sigma – role a zodpovědnost	16
Obr. 3: Statisticky zvládnutý a nezvládnutý proces.....	18
Obr. 4: Fáze statistického řízení procesu	19
Obr. 5: Schéma regulačního diagramu	20
Obr. 6: Schéma volby regulačního diagramu	21
Obr. 7: Histogram	24
Obr. 8: Gaussova křivka – hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení.....	25
Obr. 9: Význam hodnot indexu způsobilosti C_p	27
Obr. 10: Znázornění významu indexu způsobilosti C_{pk}	29
Obr. 11: Znázornění významu indexu způsobilosti C_{pm} a C_{pmk}	30
Obr. 12: Profilový projektor	34
Obr. 13: Lisovací proces.....	35

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Test dobré shody pro $r = 0,41$	47
Tab. 2: Přímé náklady na SPC	56

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Tabulka součinitelů pro regulační diagramy

Příloha 2: Kontrolní karta

Příloha 3: Datové soubory

Příloha 4: Analyzovaný produkt (963754 - 3MM – CONTACT)

Příloha 5: Výsledky testů dobré shody

Příloha 6: Analyzovaný produkt (1418971- Center contact)

Příloha 7: Analyzovaný produkt (1801343 - Minifuse Busbar)

Příloha 8: Návrh kontrolní karty

Příloha 1: Tabulka součinitelů pro regulační diagramy (Převzato z (5))

n	A2	D3	D4
2	1,88	0	3,267
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114

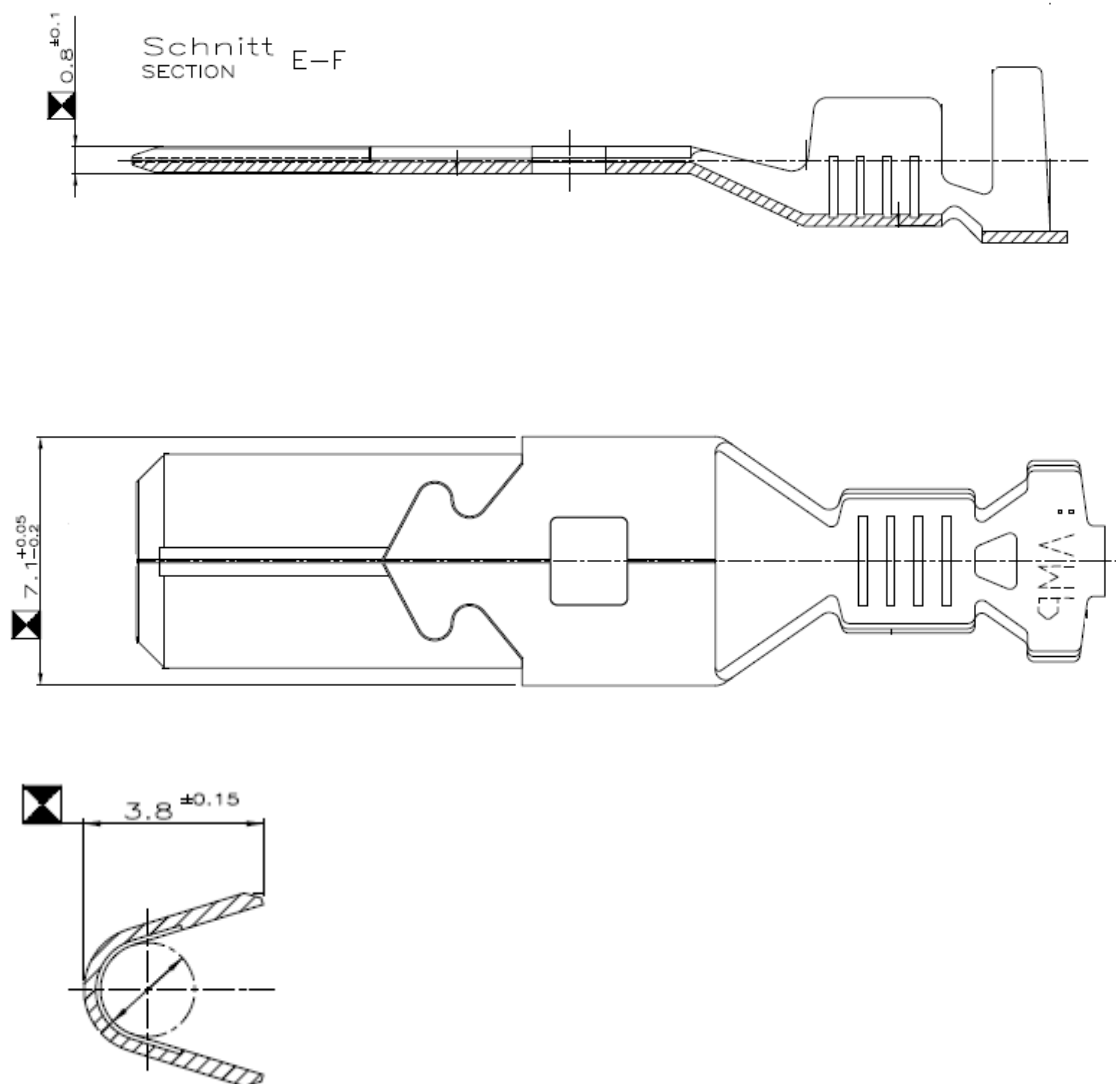
Příloha 3: Datové soubory (4)

Datový soubor pro regulační digramy (x,R)											
i	r. 0,8	r. 7,1	r. 3,8	i	r. 0,8	r. 7,1	r. 3,8	i	r. 0,8	r. 0,9	r. 7,1
1	0,78	7,08	3,87	45	0,78	7,08	3,86	89	0,78	7,07	3,87
2	0,79	7,08	3,85	46	0,78	7,07	3,87	90	0,79	7,08	3,86
3	0,79	7,08	3,86	47	0,79	7,07	3,85	91	0,79	7,07	3,87
4	0,79	7,07	3,85	48	0,79	7,06	3,86	92	0,79	7,07	3,86
5	0,78	7,08	3,87	49	0,79	7,07	3,85	93	0,78	7,06	3,86
6	0,79	7,06	3,85	50	0,78	7,08	3,87	94	0,78	7,07	3,87
7	0,79	7,07	3,85	51	0,79	7,08	3,87	95	0,79	7,08	3,86
8	0,79	7,07	3,84	52	0,79	7,08	3,86	96	0,78	7,07	3,86
9	0,79	7,07	3,84	53	0,79	7,07	3,86	97	0,78	7,07	3,86
10	0,79	7,08	3,85	54	0,79	7,07	3,87	98	0,79	7,06	3,85
11	0,78	7,07	3,86	55	0,79	7,08	3,86	99	0,79	7,07	3,85
12	0,78	7,07	3,86	56	0,78	7,07	3,87	100	0,79	7,08	3,86
13	0,79	7,06	3,85	57	0,78	7,07	3,85	101	0,79	7,07	3,87
14	0,79	7,07	3,85	58	0,79	7,06	3,86	102	0,79	7,08	3,85
15	0,79	7,08	3,86	59	0,79	7,07	3,85	103	0,78	7,07	3,86
16	0,78	7,08	3,87	60	0,79	7,08	3,87	104	0,79	7,07	3,85
17	0,78	7,08	3,86	61	0,79	7,08	3,87	105	0,79	7,07	3,87
18	0,79	7,07	3,86	62	0,79	7,08	3,87	106	0,78	7,08	3,86
19	0,78	7,07	3,87	63	0,79	7,08	3,86	107	0,79	7,08	3,86
20	0,78	7,08	3,86	64	0,79	7,08	3,86	108	0,79	7,08	3,85
21	0,78	7,08	3,87	65	0,79	7,07	3,87	109	0,79	7,08	3,85
22	0,79	7,08	3,87	66	0,79	7,08	3,86	110	0,78	7,07	3,86
23	0,78	7,08	3,87	67	0,79	7,08	3,86	111	0,79	7,06	3,87
24	0,78	7,07	3,86	68	0,78	7,07	3,86	112	0,79	7,07	3,85
25	0,78	7,07	3,86	69	0,79	7,07	3,86	113	0,78	7,07	3,86
26	0,78	7,08	3,87	70	0,79	7,08	3,86	114	0,79	7,07	3,85
27	0,78	7,08	3,87	71	0,78	7,07	3,86	115	0,79	7,08	3,87
28	0,78	7,08	3,86	72	0,78	7,08	3,86	116	0,79	7,07	3,86
29	0,79	7,08	3,86	73	0,79	7,07	3,87	117	0,79	7,06	3,86
30	0,79	7,07	3,87	74	0,79	7,07	3,87	118	0,79	7,07	3,87
31	0,78	7,07	3,87	75	0,78	7,07	3,86	119	0,79	7,07	3,86
32	0,79	7,07	3,86	76	0,79	7,07	3,86	120	0,78	7,07	3,86
33	0,79	7,06	3,86	77	0,79	7,07	3,87	121	0,79	7,06	3,86
34	0,79	7,07	3,87	78	0,78	7,08	3,87	122	0,78	7,07	3,87
35	0,78	7,08	3,86	79	0,78	7,08	3,86	123	0,79	7,06	3,87
36	0,78	7,06	3,87	80	0,79	7,07	3,86	124	0,78	7,06	3,87
37	0,78	7,07	3,85	81	0,79	7,06	3,87	125	0,78	7,07	3,87
38	0,79	7,07	3,86	82	0,79	7,07	3,85	126	0,79	7,07	3,87
39	0,79	7,07	3,85	83	0,79	7,07	3,86	127	0,79	7,06	3,87
40	0,79	7,08	3,87	84	0,79	7,07	3,85	128	0,79	7,07	3,86
41	0,79	7,08	3,86	85	0,79	7,08	3,87	129	0,78	7,07	3,86
42	0,78	7,08	3,86	86	0,79	7,07	3,87	130	0,79	7,07	3,87
43	0,79	7,07	3,85	87	0,79	7,07	3,86				
44	0,78	7,07	3,85	88	0,78	7,06	3,86				

Datový soubor pro cílový regulační diagram						
T	i	x1	x2	x3	x4	x5
B1	1	0,37	0,37	0,38	0,37	0,37
B1	2	0,38	0,39	0,39	0,38	0,37
B1	3	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38
B1	4	0,39	0,38	0,38	0,39	0,38
B1	5	0,38	0,38	0,39	0,38	0,38
B1	6	0,37	0,37	0,38	0,37	0,37
B1	7	0,38	0,38	0,39	0,38	0,38
B1	8	0,38	0,38	0,37	0,38	0,37
B1	9	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38
B1	10	0,38	0,38	0,37	0,37	0,38
B2	11	0,41	0,41	0,41	0,40	0,41
B2	12	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
B2	13	0,41	0,41	0,41	0,40	0,41
B3	14	0,4	0,4	0,39	0,4	0,4
B3	15	0,4	0,4	0,39	0,39	0,4
B3	16	0,4	0,4	0,39	0,39	0,39
B3	17	0,39	0,4	0,39	0,4	0,39
B3	18	0,39	0,39	0,39	0,4	0,4
B4	19	0,39	0,38	0,38	0,39	0,39
B4	20	0,39	0,39	0,39	0,4	0,39
B4	21	0,39	0,38	0,39	0,39	0,39
B4	22	0,39	0,39	0,39	0,39	0,4
B4	23	0,38	0,38	0,39	0,39	0,38
B4	24	0,38	0,38	0,38	0,39	0,38
B4	25	0,4	0,39	0,39	0,39	0,39
B4	26	0,39	0,39	0,39	0,38	0,39
B4	27	0,39	0,4	0,4	0,39	0,38
B4	28	0,39	0,38	0,39	0,39	0,39
B4	29	0,4	0,39	0,39	0,39	0,4
B5	30	0,41	0,41	0,4	0,41	0,4
B5	31	0,4	0,41	0,4	0,41	0,4
B5	32	0,41	0,4	0,41	0,4	0,4
B5	33	0,4	0,41	0,4	0,41	0,41
B5	34	0,4	0,4	0,4	0,4	0,41
B6	35	0,38	0,37	0,39	0,38	0,39
B6	36	0,4	0,4	0,4	0,39	0,4
B6	37	0,39	0,39	0,4	0,4	0,4
B6	38	0,4	0,4	0,4	0,4	0,39
B6	39	0,4	0,4	0,39	0,39	0,39
B6	40	0,39	0,39	0,4	0,4	0,39
B7	41	0,37	0,38	0,38	0,37	0,37
B7	42	0,4	0,4	0,4	0,38	0,39
B7	43	0,4	0,4	0,41	0,39	0,4
B7	44	0,4	0,4	0,39	0,4	0,41
B8	45	0,38	0,4	0,39	0,38	0,4
B8	46	0,38	0,39	0,39	0,4	0,38

Datový soubor pro regulační diagram $x_i, [(RkI)]_i$		
	i	x
B1	1	0,622
B1	2	0,618
B1	3	0,624
B1	4	0,622
B1	5	0,622
B1	6	0,624
B1	7	0,614
B1	8	0,624
B1	9	0,614
B2	10	0,606
B2	11	0,604
B2	12	0,606
B2	13	0,604
B2	14	0,606
B2	15	0,606
B2	16	0,608
B2	17	0,604
B2	18	0,608
B2	19	0,606
B2	20	0,614
B2	21	0,614
B2	22	0,604
B2	23	0,608
B2	24	0,604
B2	25	0,604
B3	26	0,61
B3	27	0,612
B3	28	0,612
B3	29	0,612
B3	30	0,612
B3	31	0,612
B3	32	0,614
B3	33	0,614
B3	34	0,616
B3	35	0,614
B3	36	0,618

Příloha 4: Analyzovaný produkt (963754 - 3MM - CONTACT) (4)



Příloha 5: Výsledky testů dobré shody

r. 0,8

Rozdělení	Vlastní Param 1	Vlastní Param 2	Param 1	Param 2	K-S d	K-S p-hodn.
Weibullovo (práh, měřítko, tvar)	0,00		0,788	179,395	0,408655	p<,01
Beta (práh, sigma, měřítko, tvar)	0,00	1,000000	5678,052	1542,407	0,411029	p<,01
Log-normální (práh, měřítko, tvar)	0,00		-0,240	0,006	0,411716	p<,01
Normální (umístění, měřítko)			0,786	0,005	0,411716	p<,01
Rayleighovo (práh, měřítko)	0,00		0,556		0,626109	p<,01
Exponenciální (práh, měřítko)	0,00		0,786		0,629122	p<,01
Extrémních hodnot (umístění, měřítko)						--
Gama (práh, měřítko, tvar)	0,00					--
Nenormální (šikmost, špičatost)			-0,583	-1,686		--

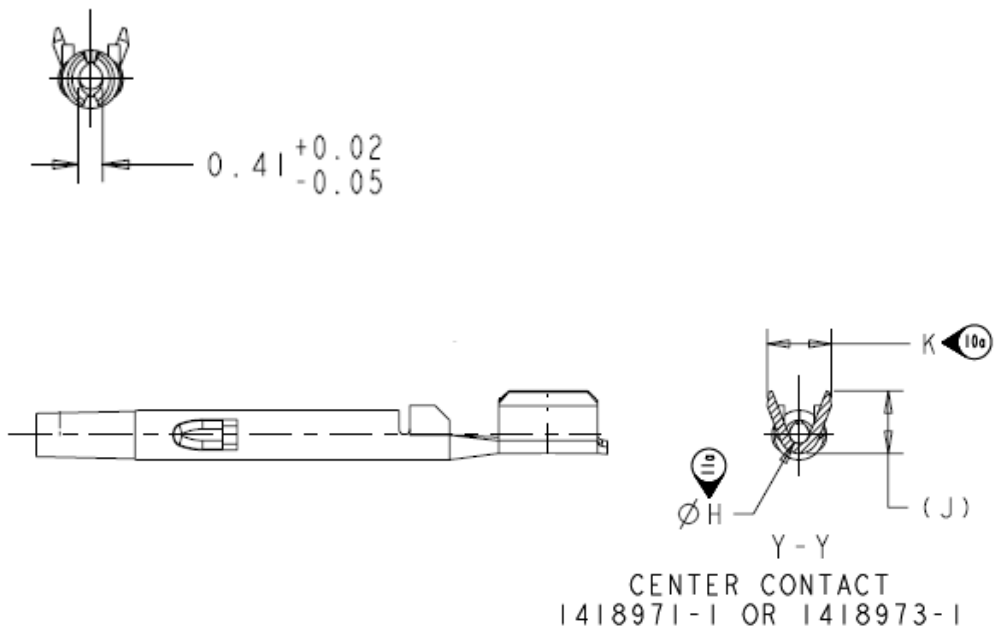
r. 7,1

Rozdělení	Vlastní Param 1	Vlastní Param 2	Param 1	Param 2	K-S d	K-S p-hodn.
Log-normální (práh, měřítko, tvar)	0,00		1,956186	0,000924	0,284008	p<,01
Normální (umístění, měřítko)			7,072308	0,006534	0,284175	p<,01
Nenormální (šikmost, špičatost)			-0,274529	-0,709334	0,286816	p<,01
Rayleighovo (práh, měřítko)	0,00		5,000879		0,630839	p<,01
Exponenciální (práh, měřítko)	0,00		7,072308		0,631480	p<,01
Beta (práh, sigma, měřítko, tvar)	0,00	1,000000				--
Extrémních hodnot (umístění, měřítko)						--
Gama (práh, měřítko, tvar)	0,00					--
Weibullovo (práh, měřítko, tvar)	0,00					--

r. 3,8

Rozdělení	Vlastní Param 1	Vlastní Param 2	Param 1	Param 2	K-S d	K-S p-hodn.
Normální (umístění, měřítko)			3,861231	0,007677	0,228624	p<,01
Log-normální (práh, měřítko, tvar)	0,00		1,350984	0,001989	0,229029	p<,01
Nenormální (šikmost, špičatost)			-0,423081	-0,568865	0,246509	p<,01
Rayleighovo (práh, měřítko)	0,00		2,730308		0,628063	p<,01
Exponenciální (práh, měřítko)	0,00		3,861231		0,630092	p<,01
Beta (práh, sigma, měřítko, tvar)	0,00	1,000000				--
Extrémních hodnot (umístění, měřítko)						--
Gama (práh, měřítko, tvar)	0,00					--
Weibullovo (práh, měřítko, tvar)	0,00					--

Příloha 6: Analyzovaný produkt (1418971-1 Center contact) (4)



Příloha 7: Analyzovaný produkt (1801343 - Minifuse Busbar) (4)

