

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra statistiky**



**Bakalářská práce**

**Statistické nástroje řízení kvality**

**Aneta Nigrinová**

© 2022 ČZU v Praze



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Aneta Nigrinová

Ekonomika a management

Název práce

**Statistické nástroje řízení kvality**

Název anglicky

**Statistical tools in Quality management**

---

### **Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je podat přehled a charakteristiku nástrojů zabezpečování a zlepšování jakosti. Hlavní zájem je o nástroje statistické regulace – regulační diagramy. Součástí bakalářské práce je monitorování procesů pro zabezpečení jeho stability a zlepšování dominantních parametrů a výkonnosti s využitím dostupného software.

### **Metodika**

Bakalářská práce specifikuje přehled nástrojů statistického zabezpečování jakosti včetně jejich charakteristik. Opírá se o rozdělení spojitá a diskrétní pravděpodobnosti. Podstatnou část bakalářské práce tvoří statistická regulace a

monitoring procesů s využitím regulačních diagramů a dostupného software.

## Doporučený rozsah práce

30 – 50

## Klíčová slova

regulace měřením, regulace srovnáním, regulační diagramy, způsobilost a stabilita procesu

---

## Doporučené zdroje informací

Fabian, František. 2007. Statistické metody řízení jakosti. Praha : Česká společnost pro jakost, 2007. 978-80-02-01897-1.

Jarošová, Eva a Noskiewičová, Darja. 2015. Pokročilejší metody statistické regulace procesu. Praha : Grada, 2015. 978-80-247-5355-3.

Klůfa, Jindřich. 1999. Ekonomické aspekty statistických přejímek. Praha : Ekopress, 1999. 80-86119-24-6.

Kropáč, Jiří. 2008. Statistika C – Statistická regulace, Indexy způsobilosti, Řízení zásob, Statistické přejímky. Brno : CERM, 2008. 978-80-7204-789-5.

Michálek, Jiří. 2006. Statistická regulace procesů (SPC). Praha : Česká společnost pro jakost, 2006. 80-02-01810-9

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra statistiky

Elektronicky schváleno dne 6. 9. 2021

**prof. Ing. Libuše Svatošová, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 10. 2021

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 01. 2022

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Statistické nástroje řízení kvality" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce Ing. Jiřímu Zmatlíkovi, Ph. D., za podporu, trpělivost, důvěru a odborné vedení po celou dobu spolupráce. Velké poděkování patří mojí rodině, která se mnou prokázala neuvěřitelnou trpělivost a po celou dobu všech mých studií mi byla morální oporou.

# Statistické nástroje řízení kvality

## Abstrakt

Tato bakalářská práce přibližuje pojem jakost a s ním související a dynamicky se rozvíjející obor managementu jakosti. Je kladen důraz na změnu chápání řízení jakosti ve společnostech z detekce na prevenci. Dále podává také přehled o jednotlivých statistických nástrojích jakosti s hlavním zájmem o statistickou regulaci procesu a regulační diagramy. Větší pozornost je věnována jednotlivým příčinám statistické regulace procesu a Shewhartovým regulačním diagramům. V celé práci se počítá se znalostmi základních pojmů statistiky, jako je statistický znak, výběrový soubor, spojité a diskrétní rozdělení a další. Praktická část práce slouží jako ukázka využití statistické regulace v praxi. Na získaných datech chladicí tyče se aplikují procesy zmíněné v teoretické části, které jsou doplněny o doporučení a případné návrhy na zlepšení a zkvalitnění procesu. Při výpočtech jsou použity softwary Microsoft Excel a Statistica.

**Klíčová slova:** jakost, kontrola, management jakosti, statistické nástroje, regulace měřením, regulace srovnáním, regulační diagramy, statistická regulace, variabilita, způsobilost procesu, stabilita procesu

# Statistical tools in Quality management

## Abstract

This bachelor's thesis introduces the concept of quality and the related and dynamically developing field of quality management. Emphasis is placed on changing the understanding of quality control in companies from detection to prevention. It also provides an overview of individual statistical quality tools with a main interest in statistical process control and control charts. Greater attention is paid to the causes of statistical process control and Shewhart control charts. The whole work is based on knowledge of basic concepts of statistics. The practical part of the work serves as an example of the use of statistical regulation in production process. The processes mentioned in the theoretical part are applied to the obtained data of cooling rod, which are supported by recommendations and suggestions for improving and upgrading the process. For the calculations are mainly used Microsoft Excel and Statistica softwares.

**Keywords:** quality, control, quality management, statistical tools, measurement control, comparison control, control charts, statistical process control, variability, process capability, process stability



# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>12</b>
2.1 Cíl práce.....	12
2.2 Metodika.....	12
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>13</b>
3.1 Jakost .....	13
3.1.1 Definice jakosti.....	13
3.1.2 Management jakosti .....	13
3.1.3 Plánování, kontrola a zlepšování jakosti.....	15
3.1.4 Nástroje managementu jakosti.....	17
3.2 Statistická regulace procesu .....	18
3.2.1 Cíle a princip statistické regulace procesu.....	18
3.2.1 Variabilita statistické regulace procesu.....	19
3.2.1 Implementace statistické regulace procesu.....	21
3.3 Statistické regulační diagramy .....	25
3.3.1 Základní charakteristiky regulačního diagramu .....	26
3.3.2 Princip využívání regulačního diagramu .....	27
3.3.3 Předpoklady statistických metod a typy procesů .....	28
3.4 Shewhartovy regulační diagramy.....	29
3.4.1 Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci měřením .....	30
3.4.2 Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci srovnáváním .....	31
3.4.3 Nesprávné použití Shewhartových diagramů .....	32
3.5 Indexy způsobilosti .....	33
<b>4 Vlastní práce .....</b>	<b>35</b>
4.1 Představení společnost XY.....	35
4.2 Výrobní proces .....	35
4.2.1 Základní výpočty.....	37
4.2.1 Shewhartovy regulační diagramy.....	37
4.2.1 Indexy způsobilosti .....	41
4.3 Zhodnocení.....	41
<b>5 Výsledky a diskuse .....</b>	<b>42</b>
<b>6 Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>7 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>45</b>
<b>8 Přílohy.....</b>	<b>47</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Soubory procesů managementu jakosti.....	14
Obrázek 2 - Zpětnovazební regulační okruh SPC.....	19
Obrázek 3 - Schéma postupu při výběru vhodného klasického Shewhartova regulačního diagramu .....	22
Obrázek 4 – Histogram.....	38
Obrázek 5 - Normální pravděpodobnostní graf.....	38
Obrázek 6 - Krabicový graf.....	39
Obrázek 7 - Dvojice regulačních diagramů ( $X, s$ ).....	40

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Regulační diagramy podle předpokladů o datech.....	24
Tabulka 2 - Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů měření .....	30
Tabulka 3 - Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů srovnáváním .....	32
Tabulka 4 - Data vnějšího průměru chladicí tyče .....	36
Tabulka 5 - Základní popisné statistiky .....	37

## Seznam použitých zkratk

AQL .....	Acceptance Quality Level
CL.....	Central Line
LCL .....	Lower Central Line
LSL.....	Lower Specification Limit
LWL.....	Lower Warning Limit
PPM.....	Parts Per Million
SPC.....	Statistical Process Control
SRD .....	Shewhartovy regulační diagramy
T .....	Target Value
TQM.....	Total Quality Management
UCL.....	Upper Central Line
USL .....	Upper Specification Limit
UWL .....	Upper Warning Limit

# 1 Úvod

Dnešní doba je ve znamení neustálého pokroku a vývoje, technologie se stále posouvá dopředu a obecně je kladen důraz spíše na kvantitu. Všeho se vyrábí přebytek a pokud se nějaký produkt rozbije, je velice často nahrazen novým nehledě na kvalitu. Postupně se ale tento trend začíná otáčet ve směru kvality i z pohledu stoupajícího zájmu o udržitelnost. Zákazník začíná dávat kvalitě větší hodnotu a věnuje více času studováním výrobků, jejich původu, a právě i jejich kvalitě. Jedním z hlavních požadavků zákazníka bývá rychlost dodání, především z pohledu určité pohodlnosti a komfortu. Avšak rychlost je velice často v rozporu s kvalitou a producenti tak musí na tyto požadavky reagovat. Díky statistické regulaci a jednotlivým nástrojům se dá velice dobře optimalizovat výroba tak, aby kvalita byla dodržována a na kvantitě neubývalo. Správně zvolené regulační systémy dokáží odhalit chybné produkty a upozornit na možnou vadu dříve, než bude pozdě. V dnešní době je konkurence téměř v každém odvětví opravdu vysoká, a proto kvalita dost často bývá právě tím rozhodujícím faktorem. Samy společnosti se chtějí vyhnout výrobě tzv. zmetků, nekvalitních produktů a zbytečnému plýtvání zásobami, což jim právě správná regulace procesů usnadní. Při průmyslové výrobě nelze každý jednotlivý výrobek kontrolovat zvlášť, ale právě proto by jednotlivé společnosti měly využívat funkcí regulace procesu. Pokud se společnost zaměří na implementaci řízení kvality do svého managementu, může tím získat enormní náskok nad konkurencí a zároveň i ušetřit.

Tato práce se zabývá charakteristikou jednotlivých nástrojů zabezpečování a zlepšování jakosti. Hlavním tématem zde jsou především regulační diagramy, jejich charakteristika a shrnutí. Úvod práce je zaměřen na pojem kvalita a jeho dnešní chápání spolu se spojením managementu kvality. Na to navazuje pojem statistické regulace, její rozdělení a správná implementace. Teoretická část je ukončena popsáním vybraných regulačních diagramů se zaměřením především na regulační Shewhartovy diagramy. Posledním bodem jsou indexy způsobilosti. Praktická část se věnuje monitoringu chladicí tyče s využitím podkladů z teoretické části a za použití vhodného software.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Tato bakalářská práce má za cíl podat přehled a charakteristiku jednotlivých nástrojů zabezpečování a zlepšování jakosti se zaměřením na statistickou regulaci procesu a regulační diagramy. V teoretické části je pak dílčím cílem názorná ukázka statistického procesu regulace v praxi a možné návrhy na zlepšení.

### **2.2 Metodika**

Teoretická část práce je založena na podrobném studiu odborné literatury a vytváří tak základ pro praktickou část práce. Informace jsou čerpány především z odborných knih, ať už dostupných online nebo v knihovně. Již známá teorie je doplněna odbornými články z vědeckých časopisů, které dodávají aktuální informace.

Praktickou část tvoří analýza získaných dat a její aplikace na regulační diagramy s využitím dostupných nástrojů. Konec praktické části je věnován návrhům na změnu procesu směrem k lepším výsledkům.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Jakost

#### 3.1.1 Definice jakosti

Původní latinské slovo kvalita, které se do češtiny překládá slovem „jakost“, lze dohledat již v dobách před našim letopočtem, neboť jedna z nejstarších definic je přisuzována Aristotelovi. Od té doby však tento pojem prošel nesmírným vývojem a dnes se na kvalitu nahlíží několika různými pohledy (Nenadál, 2008, s. 13).

Za oficiální definici se považuje definice z normy ČSN ISO 9000, a ta zní takto: *„Jakost výrobku je souhrnem vlastností podmiňujících způsobilost uspokojit potřeby odpovídající jeho účelu použití. Jakost je stupeň plnění požadavků souborem inherentních znaků“* (ČSN EN ISO 9000 (01 0300 ), 2016).

Kromě již zmíněné normy existuje mnoho definic a různorodých přístupů k vymezení pojmu slova jakost, nebo-li kvalita. Juran kvalitu spojuje s takovými rysy produktu, které uspokojí potřeby zákazníků. Crosby ji popisuje jako shodu s požadavky zákazníka. Ishikawa za kvalitu považuje uspokojení zákazníka ve všech jeho nárocích. Taguchi se dívá na kvalitu výrobku jako na ztrátu, kterou způsobí společnosti používání výrobku. Feigenbaum do definice řadí i odborníka jakož toho, kdo má kvalitu zařizovat. Zákazník ji posuzuje a je to ten, který určuje, co vlastně jakost je. Veškerá tato vyjádření pojmu kvalita spojuje především orientace na zákazníka s cílem splnění a vyhovění veškerým jeho požadavkům (Janíček, 2013, s. 335-336). Důležité je také propojení jakosti a účelu použití, neboť produkty se vyrábějí vždy s již známým účelem použití a ne naopak (Meloun, 2012, s. 897).

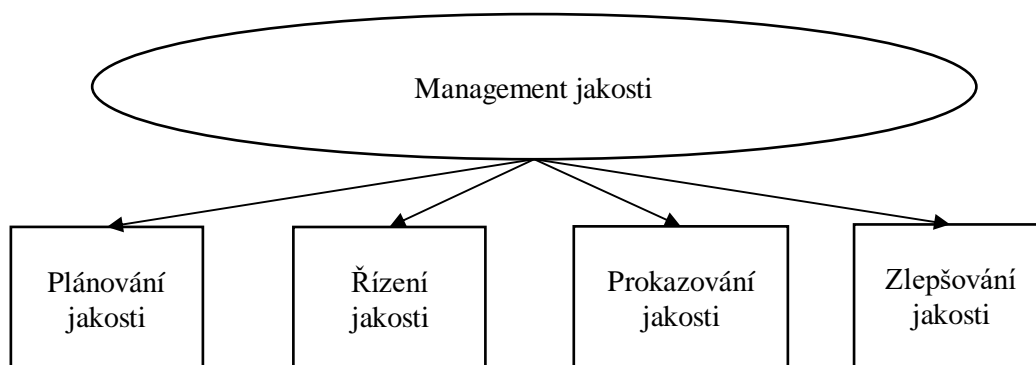
#### 3.1.2 Management jakosti

Jakost se postupem času stala nedílnou součástí společností a jejich řízení, a to dalo za vznik pojmu management jakosti. Management jakosti je součástí celopodnikového managementu, jehož cílem je co nejefektivněji vyhovět přáním zákazníka z pohledu kvality produktů, tedy minimalizací spotřeby jednotlivých zdrojů (Janíček, 2013, s. 341-342).

Management kvality je také definován normou ČSN ISO 9000 jako *„koordinované činnosti pro vedení a řízení organizace, pokud se týče jakosti“* (ČSN EN ISO 9000 (01 0300 ), 2016). Činnosti, které jsou součástí managementu kvality, se dělí do čtyř základních kategorií: plánování jakosti, řízení jakosti, prokazování jakosti a

zlepšování jakosti. Jejich propojení a vzájemná spolupráce jsou stěžejními body fungování celého procesu řízení organizace v oblasti kvality (Nenadál, 2008, s. 14-15).

Obrázek 1 - Soubory procesů managementu jakosti



Zdroj: (Nenadál, 2008, s. 15)

Trochu odlišně se na to dívají Juran a Gryna, kteří činnosti dělí pouze do tří kategorií, a to, plánování, ovládání (řízení) a zlepšování jakosti (Pyzdek, 2013, s. 17). Tyto tři základní procesy se nazývají Juranova trilogie. Ve fázi plánování jakosti se vytváří cíle, kterých by mělo být dosaženo. Řízení jakosti se soustředí na činnosti určené ve fázi plánování a zároveň se zde i hodnotí dosažené výsledky. Zlepšování jakosti se soustředí na zefektivnění a zkvalitnění celého procesu tak, aby bylo dosahováno stále lepších výsledků (Plura, 2001, s. 3-4).

Philip Crosby, který se kvalitou zabýval přes 10 let, uvádí ve svém článku jako největší problém managementu kvality především již zastaralý pohled manažerů na kvalitu celkově. Dnešní řízení kvality by mělo být založeno na prevenci, avšak většina společností neustále používá pouze systém hodnocení. Dnešní řízení kvality dokáže rozeznat dobré od špatného, ale o problému se dozví až poté, co nastane. Další častou chybou je i daný výkonový standard. Většina společností stále používá AQL (Acceptance Quality Level – přijatelný stupeň kvality), kde již předem počítá management s určitým počtem vadných kusů. Pokud však společnost chce dosáhnout nejvyšší kvality, tak výkonový standard by měl být tzv. Zero Defects, tedy: „udělej to správně hned napoprvé“. Management jakosti se neustále vyvíjí a řešením správného řízení je především změna stylu samotného řízení kvality z reakce na prevenci. Důležité je také určení správných osob, které mají jakost na starost. Pokud chce

brát společnost důraz na kvalitu vážně, je třeba dát pravomoci ohledně rozhodování těm lidem, kteří kvalitu dokáží v tu danou chvíli ovlivnit (Crosby, 1982).

Na Crosbyho navazuje i myšlenka Dr. W. E. Deminga, úspěšného propagátora statistických metod v Japonsku a USA: „*Chcete-li se uplatnit na trhu a trvale dosahovat vysoké jakosti tou nejehospodárnější cestou, musíte systematicky a permanentně sbírat, zpracovávat a analyzovat všechny dosažitelné údaje z výroby, trhu, technologie atd. a závěry těchto analýz v nejkratší době uplatňovat v řízení a politice jakosti v podniku*“ (Fabian, 2007, s. A5).

Pozoruhodný je i článek Levina ohledně toho, jak norma ISO 9001 pro systémy managementu kvality ovlivňuje zaměstnance a zaměstnavatele. Levine zde shrnuje rozdíl po přijetí normy ISO 9001 a veškerá data hrají ve prospěch této normy. Uživatelé ISO 9001 měli nižší úmrtnost z pracovních úrazů a tržby i celková mzda rostly mnohem rychleji. Některé výhody přijetí ISO 9001 byly výraznější v menších firmách než ve větších, ale celkově se přijetí této normy jeví jako krok správným směrem (Levine, 2010).

Význam managementu jakosti tak neustále stoupá a je důležitým milníkem v ohledu konkurenceschopnosti firem. Základním hybatelem je především úspěšnost japonských firem (Motorola apod.) na světových trzích, neboť právě tyto firmy jako jedny z prvních začaly klást výrazný důraz právě na plánování jakosti a zařadily jej do svého managementu. Základním krokem ke zkvalitnění celého procesu je posun strategie řízení od detekce ke strategii prevence, tedy zachycení odchylek a jejich včasná náprava (Plura, 2001, s. 5).

### 3.1.3 Plánování, kontrola a zlepšování jakosti

Plánování jakosti se neliší od žádného jiného plánování. Pro správné plánování je ideální aplikovat plán kvality, který definuje veškeré požadavky, které je třeba splnit. Veškerý proces se dokumentuje a zahrnuje tak relevantní informace ohledně celého plánování. Tím pádem je veškerá dokumentace pohromadě a může být zpřístupněna každému zájemci. Pokud člověk provede vše, co je zmíněno v tomto plánu, je výrobek povinen splnit jeho požadavky (Abuhav, 2017, s. 190).

Jedním z důležitých nástrojů pro kontrolu je tzv. přejímací kontrola jakosti, zkráceně přejímka. Jejím cílem je ověření, že veškerý proces funguje tak, jak bylo předem domluveno. Ovšem stoprocentní kontrola je téměř nemožná, lze ji využít v případě poptávky po mimořádné jakosti a u malých dodávek (Klůfa, 1999, s. 11).

Obecně lze specifikovat tři základní techniky řízení: přejímací plány, statistické řízení procesů a inženýrství jakosti. V dnešní době jsou kombinovaně využívány všechny tři zmíněné techniky. Přejímky a řízení procesu fungují na stejném principu skokové funkce jakosti, kdy regulační meze vymezují, zda je jakost v pořádku, nebo ne. Inženýrství jakosti sleduje odchylky od ideálního stavu a jakoukoliv změnu vyjadřuje finanční ztrátou (Meloun, 2012, s. 899-900).

Kritické faktory úspěšnosti, podle kterých se řídí manažeři, zahrnují náklady, čas, znalosti a kvalitu. Zjednodušeně je tedy cílem dosáhnout nejvyšší kvality za nejnižší náklady v co nejkratším čase. Ke splnění tohoto cíle jsou velice důležité znalosti zaměstnanců a do budoucna se předpokládá, že tomu nebude jinak (Nenadál, 2008, s. 18-19).

Podstata zlepšování kvality stojí na zlepšování skrze jednotlivé procesy, které se snaží především o zvyšování vhodnosti k použití a snižování rozsahu neshod. Zlepšování kvality lze vnímat i jako snížení variability určité veličiny, která má vliv na konečnou kvalitu (Kupka, 1997). Obecně by za zlepšováním kvality neměl být pouze jednorázový proces, ale proces, který je neustále v provozu a vždy se snaží jít za cílem vyšší kvality. Je to vlastně nekonečný proces zlepšování, který je nezbytný pro dnešní organizace, už jen z toho důvodu, že se neustále vyvíjí věda a technika a je to stěžejní bod pro udržení konkurenceschopnosti. Neustálé zlepšování se řadí mezi základní principy totálního managementu jakosti (TQM) a mělo by být obsaženo v každé organizaci (Plura, 2001, s. 33-34). Pozornost ke kvalitě se postupně posouvala po hierarchii nahoru. Nejdříve za kvalitu měli odpovědnost dělníci, poté inspektor, vedoucí, inženýr, střední manažer a ve zmíněném TQM to má na starost vyšší management. Obecně je obtížné zasadit někde TQM, protože to není nikde jasně definované v celém odvětví (Pyzdek, 2013, s. 51).

Dalším pojmem, který úzce souvisí se zdokonalováním a vývojem managementu kvality, jsou i moderní systémy managementu kvality, anglicky označované jako Company Wide Quality Control (CWQC). Vznikly především využíváním statistických metod v procesech řízení kvality (Nenadál, 2008, s. 16-17).

Důležitou součástí zlepšování kvality je i její kontrola. Kontrola kvality znamená ověření toho, že procesy splňují předem dané požadavky. Její princip je založen na základě zpětnovazebné smyčky. Ta obsahuje tři základní kroky: vyhodnocení skutečnosti, porovnání s cíli a reakce podle rozdílu daných cílů (Pyzdek, 2013).



### 3.1.4 Nástroje managementu jakosti

Japonsko patří k prvním státům, které začaly dávat větší důraz na kvalitu ve svém řízení. V polovině 20. století Japonsko jako první využilo statistické metody a procesy v řízení jakosti v průmyslu. Tyto procesy byly rozvinuty americkými statistiky Shewhartem a Demingem. Dalším významnou osobou, která ovlivnila vývoj kvality, byl Kaoru Ishikawa, který v šedesátých letech rozšířil v japonských podnicích tzv. 7 nástrojů pro řízení jakosti (Janíček, 2013, s. 355).

- 1) Časový diagram (kontrolní tabulky a záznamníky)
- 2) Histogram
- 3) Vývojový diagram (postupový)
- 4) Paretův diagram
- 5) Išikawův diagram (diagram příčin a následku)
- 6) Bodový diagram (rozptylový)
- 7) Regulační diagram (statistická regulace procesu)

(Plura, 2001, s. 191).

Pokud se do procesu ohledně zlepšování kvality zapojí management, tak se běžnou součástí tohoto procesu stává již zmíněných sedm nástrojů kvality. Pokud dokáže SPC vybudovat takovéto prostředí, tak je celá organizace na dobré cestě k dosažení svých cílů zlepšování kvality (Montgomery, 2005, s. 148).

Základní nástroje managementu jakosti se využívají při řešení problémů operativního řízení jakosti. Na druhou stranu „nové“ nástroje se uplatňují při plánování jakosti (Janíček, 2013, s. 360). Mezi sedm „nových“ nástrojů managementu jakosti se řadí:

- 1) Afinitní diagram (diagram příbuznosti nebo shlukový diagram)
- 2) Diagram vzájemných vztahů (relační diagram)
- 3) Systematický diagram (stromový)
- 4) Maticový diagram
- 5) Analýza údajů v matici
- 6) Diagram PDPC
- 7) Síťový graf

Tyto nástroje představují nejdůležitější pokrok v řízení kvality v posledních letech. Na rozdíl od sedmi základních nástrojů kontroly kvality, které měří problémy s kvalitou, těchto sedm nových nástrojů umožňuje manažerům plánovat rozsáhlé a podrobné cíle celkové kontroly kvality v celé organizaci. Je to souhrn nástrojů, které jsou převzaté z jiných oborů, některé z nich jsou vyvinuté speciálně pro řízení kvality. Jejich cílem je rozšířit rozsah úsilí o kvalitu v celé společnosti, předvídat potenciální problémy s kvalitou a skutečně odstranit vady dříve, než k nim dojde (Oakland, 2007).

## 3.2 Statistická regulace procesu

S neustálým vývojem a rostoucí poptávkou po kvalitě, stoupá i počet společností, které zavádí SPC do svého běžného provozu. Nákladnou metodu detekce defektů tak nahrazuje inspekce v průběhu a možnost odstranit vady dříve, než se vůbec objeví. SPC je pouze jedna z několika metod pro měření a zlepšování kvality (Anwar, 1995). Metody statistického řízení procesů mohou poskytnou významnou návratnost společnostem, které je dokáží úspěšně implementovat. Úspěšné používání SPC je založeno především na zapojení managementu a závazku k samotnému procesu zlepšování kvality (Montgomery, 2005, s. 175).

### 3.2.1 Cíle a princip statistické regulace procesu

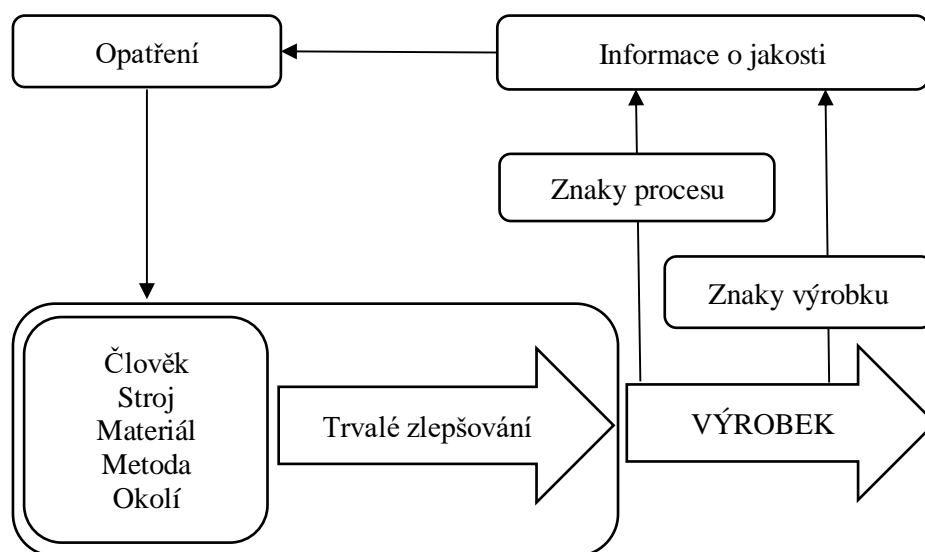
Statistická regulace má za cíl udržovat daný proces ve stabilním stavu pomocí statistických metod (Nenadál, 2008, s. 317). Pokud je proces určen jako stabilní, používá se pojem „proces ve statisticky zvládnutém stavu“ („Process in Control“, resp. „Process in Statistical Control“). Rozhodujícími faktory pro toto označení je známost a neměnnost typu a parametru rozdělení jakosti, díky kterému je hodnoceno kolísání procesu. Opakem k tomuto pojmu je, že proces není statisticky zvládnutý („Process Out of Control“), tedy že typ a parametry sledovaného znaku se v závislosti na čase mění (Tošenovský, 2000, s. 166).

Základní rozdělení veličin se dělí na diskrétní a spojité. Diskrétní (nespojité) náhodná veličina je popisována pravděpodobnostní funkcí a každému reálnému číslu přiřazuje pravděpodobnost dosažení této hodnoty. Mění se pouze skokově. Spojitá náhodná veličina je popisována funkcí hustoty pravděpodobnosti a může nabývat veškerých hodnot z daného intervalu (Neubauer, 2016, s. 91-95).

SPC funguje na základě zpětnovazebního systému, který obsahuje čtyři prvky. Jsou to proces, informace o výkonu, opatření v procesu a opatření na výstupu. Opatření v procesu je důležitou součástí především před samotným začleněním do systému, kdy musí být

zkontrolována účinnost daných opatření. Opatření na výstupu pouze potvrzují z ekonomického hlediska již několikrát zmiňovanou důležitost prevence před detekcí. Pokud je zvolena strategie detekce, tak právě opatření na výstupu jsou stěžejním bodem celého procesu, tím pádem ale možnost přímého zpětnovazebného zásahu není reálná. Na druhou stranu strategie prevence se soustředí na to místo, kde jakost vzniká, a dokáže nejen snižovat náklady, ale i ji tak neustále zlepšovat (Fabian, 2007, s. E1-E2).

Obrázek 2 - Zpětnovazební regulační okruh SPC



Zdroj: (Fabian, 2007, s. E2)

### 3.2.1 Variabilita statistické regulace procesu

Velký vliv na celou teorii SPC má především variabilita, která zajišťuje to, že není možné vyrobit dva totožné produkty. Cílem SPC je tedy snížení variability a její udržení ve vypočítaných mezích. Snížením variability se snižuje i výskyt neshodných produktů, které jsou při sledování kvality nežádané. Pokud je variabilita udržována v daných mezích, lze tak dosáhnout stability a předvídat budoucí chování procesu (Tošenovský, 2000, s. 165). Z pohledu variability, nebo podle Fabiana kolísání (Fabian, 2007, s. E1), se SPC rozděluje na dva základní druhy podle toho, jakými příčinami byla variabilita vyvolána. Dělí se na variabilitu vyvolanou náhodnými (přirozenými) příčinami a na variabilitu vyvolanou zvláštními (neobvyklými) příčinami (Jarošová, 2015, s. 16-18).

Náhodné příčiny přispívají k celkovému kolísání vždy malou měrou. Je to většinou sestava několika těžko zpozorovatelných příčin. Jejich chování lze popsat tak, že je proces

opakovatelný a výstupy se dají předpokládat. Důležitým údajem je i to, že proces je ve statistickém stabilním stavu. Mezi příklady těchto příčin patří nejčastěji např. kolísání teploty, chvění stroje, nestejnorodost materiálu apod. Jejich odstranění bývá finančně nákladné, neboť se většinou jedná o systémová opatření (Jarošová, 2015, s. 16-18). Nenadál se na odstraňování těchto příčin dívá jinak a říká, že pokud jsou tyto odchylky odhaleny včas, jejich odstranění je nízkonákladové (Nenadál, 2008, s. 318).

Zvláštní příčiny ovlivňují proces mimo běžné podmínky, nemůžeme tedy proces považovat za statisticky stabilní a výstupy nejsou předvídatelné. V průběhu procesu se jednotlivé hodnoty v čase mění a vyvolávají neočekávané změny. Odstranění je ale méně náročné a většinou vyžadují pouze zásah zodpovědné osoby (Jarošová, 2015, s. 16-18). Tyto příčiny se ještě dále mohou dělit na škodlivé a prospěšné. Škodlivé je třeba odstranit a vyvinout opatření proti jejich opětovnému působení. Prospěšné lze využít ke zlepšení a zaimplementovat do procesu trvale. Detekce zvláštních příčin je tedy úloha SPC, přesněji regulačních diagramů, které budou rozebrány v této práci detailněji později (Fabian, 2007, s. E1). Tošenovský tyto příčiny nazývá vymežitelné a dělí je na dvě skupiny, příčiny sporadické a příčiny přetrvávající. Sporadické, jak už název napovídá, vznikají náhodně a působí krátkodobě, ale v budoucnu se znovu objevují. Jejich dosah ale dokáže proces ovlivnit ve větší míře. Přetrvávající veličiny vytváří dlouhotrvající odchylky. Mezi příklady vymežitelných příčin se uvádí např. poškození nástroje, změna materiálu a další (Tošenovský, 2000, s. 166).

Pomocí statistické regulace se zjišťuje i zda je proces způsobilý, což představuje rozdíl mezi zadáním a kolísáním vyvolaným náhodnými příčinami. Udává nejlepší výkon procesu, který se nachází ve statisticky zvládnutém stavu. Až poté, co je v tomto stavu, lze jeho výkon předvídat a můžeme určit jeho způsobilost. Existují dva typy ukazatelů způsobilosti, a to krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobé jsou získány z jednoho provozního cyklu a jsou používány pouze pro ověření stabilního stavu. Dlouhodobé jsou založeny na měřeních trvajících delší dobu a zohledňují kolísání v čase (Fabian, 2007, s. E7).

Cílem SPC je snížení variability procesu a tím pádem minimalizace výskytu neshodných produktů, mimo jiné i nižší náklady na kontrolu apod. Snaží se udržovat variabilitu v přirozených mezích, aby bylo dosaženo stability, její následné udržování a případné předvídaní chování procesu v budoucnu (Tošenovský, 2000, s. 165). Jako další cíle Jarošová uvádí i dokumentaci procesu pro potřeby zákazníka, předcházení přílišné regulaci nebo naopak nedostatečné regulaci procesu (Jarošová, 2015, s. 16). Dokonalý stav regulace

ale není dosažitelný, proto je zde snaha především o rozumný a ekonomický stav regulace (Fabian, 2007, s. E20).

### 3.2.1 Implementace statistické regulace procesu

SPC dosahuje svých cílů ve čtyřech fázích (etapách):

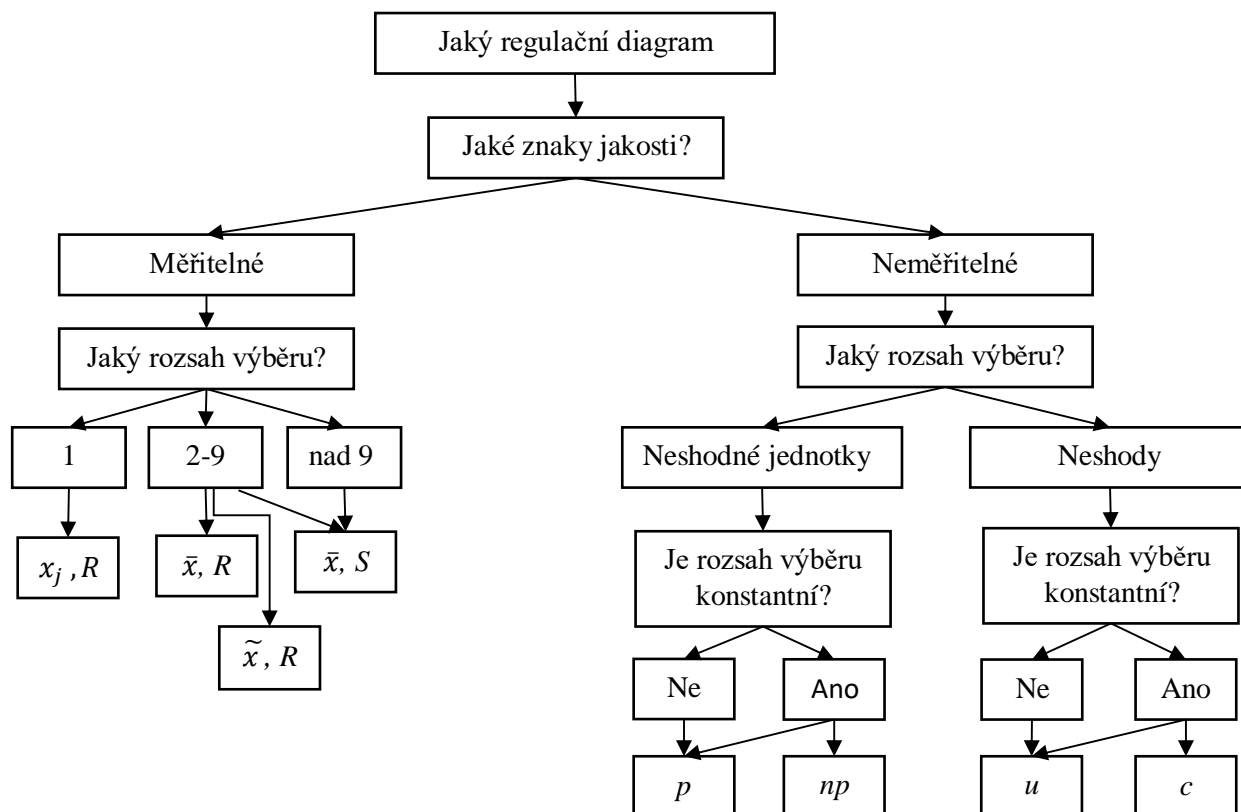
1. Fáze přípravná
2. Fáze analýzy a zabezpečení statistické stability procesu
3. Fáze zabezpečení způsobilosti procesu
4. Fáze vlastní statistické regulace procesu pomocí regulačního diagramu

(Nenadál, 2008, s. 320).

#### **Fáze přípravná**

Ze všech fází je časově velice náročná, neboť při jejím chodu se zajišťuje mnoho činností. Nejdříve se musí určit cíle regulace a zajistit potřebná data, u kterých se stanoví znak jakosti. Důležitým bodem je i stanovení kontrolních míst, aby se případná odchylka odhalila co nejdříve od jejího vzniku. Je třeba zvolit správnou metodu měření, délku kontrolního intervalu a rozsah podskupiny, ta se mírně liší u jednotlivých typů regulace. U regulace měřením je třeba mít k dispozici minimálně 20-25 podskupin, u regulace srovnáváním alespoň 20 podskupin. Důležitou součástí této fáze je i volba vhodného regulačního diagramu. Níže na obrázku 3 je zobrazeno schéma při výběru vhodného klasické Shewhartova regulačního diagramu. Jedním z posledních bodů je příprava sběru a záznamu dat (Nenadál, 2008, s. 320-321).

Obrázek 3 - Schéma postupu při výběru vhodného klasického Shewhartova regulačního diagramu



Zdroj: (Nenadál, 2008, s. 322)

### Fáze zabezpečení statistické stability

Podle Montgomeryho lze tuto fázi označit také jako fázi I (Montgomery, 2005) a jejím cílem je nalézt a odstranit zvláštní příčiny a především zamezit jejich návratu. Kolísání tedy bude vyvoláno pouze náhodnými příčinami. V této fázi se využívají regulační diagramy, například postup při použití dvojice diagramů  $(\bar{x}, R)$  je následující: Nejdříve se sestrojí dané regulační diagramy a provede se analýza regulačního diagramu  $(\bar{x})$ . Pokud se nachází nějaké hodnoty mimo vypočtené regulační meze, tak se zvláštní příčiny identifikují a zamezí se jejich opakování. Veškeré podskupiny (u obou regulačních diagramů) obsahující hodnoty, které byly zaviněny náhodnými příčinami, se vyloučí a znovu se vypočítají nové regulační meze pro oba diagramy. Následně se znova provede analýza regulačního diagramu  $(\bar{x})$  a tento postup se opakuje do té doby, dokud není proces statisticky zvládnutelný a regulační meze obsahují pouze náhodné příčiny. Tento postup se opakuje pro diagram  $(R)$  bez již vyloučených podskupin (Nenadál, 2008, s. 324). Celou

dobu je třeba sledovat, zda počet vyloučených podskupin není příliš vysoký. Pokud se tak stane, je třeba sebrat nová data a znovu vytvořit regulační diagram (Jarošová, 2015, s. 52).

### **Fáze zabezpečení způsobilosti procesu**

V této fázi je důležitý pojem způsobilost. Proces je již po předchozí fázi stabilní, ale zde se kontroluje, zda je způsobilý, tedy zda stále splňuje dané požadavky (od zákazníka, technické předpisy apod.). Pokud je proces nezpůsobilý, je třeba zakročit a učinit kroky potřebné k zajištění jeho způsobilosti (Nenadál, 2008, s. 324).

### **Fáze vlastní statistické regulace**

Regulační diagramy můžeme vybírat podle několika hledisek, např. podle předpokladu o datech. Na další straně je tabulka 1, která vše vysvětluje a zároveň obsahuje i přehled různých regulačních diagramů. Dalšími důležitými kritérii při výběru správného regulačního diagramu je typ procesu, charakter variability, opakovatelnost výroby, počet znaků a způsobilost procesu (Jarošová, 2015, s. 59). Jednotlivé typy procesů jsou popsány v následující kapitole.

Tabulka 1 - Regulační diagramy podle předpokladů o datech

Nesplněný předpoklad	Typ procesu	Metoda SPC
Žádný	A1	Klasické Shewhartovy regulační diagramy
Normalita dat	A2	Regulační diagramy s nesymetrickými mezemi
Neměnnost parametrů rozdělení	B, C1-C4, D	Modifikované regulační diagramy Přejímací regulační diagramy Regresní regulační diagramy Regulační diagramy s rozšířenými mezemi
Nezávislost dat	Stacionární, nestacionární proces	Diagramy ARIMA Diagramy pro rezidua EWMA modelu Dynamické diagramy EWMA Diagramy pro skupinové průměry
Vysoký stupeň opakovatelnosti procesu	Malosériová výroba	Cílové diagramy Standardizované diagramy Q-diagramy Hillierova metoda Předregulace
Velké změny procesu	Vysoce přesná výroba	Diagramy CUSUM Diagramy EWMA
Sledování pouze jednoho znaku	Simultánní sledování několika znaků	Hotellingovy diagramy T2 Vícerozměrné CUSUM Vícerozměrné EWMA
	Procesy s vysokou mírou způsobilosti	Diagramy CCC, CCC-r, CCC CUSUM, CCC-r CUSUM, CCC- EWMA, CCC-r EWMA

Zdroj: (Jarošová, 2015, s. 60)



### 3.3 Statistické regulační diagramy

Jak je z názvu patrné (anglicky Statistical Control Charts), důležitou roli zde hraje kontrola. Kontrola je stav, kdy veškeré možné varianty jsou předvídatelné. Existuje zde ještě prvek náhody, ta, pokud se opakuje často a ovlivňuje určitým způsobem daný proces, je nazývána jako náhodná příčina. Pokud nastane situace, že těchto příčin je větší množství a je ustálené, stává se náhodou kontrolovatelnou v určitých mezích. Takový systém se nazývá řízený systém (Pyzdek, 2013, s. 160). Významnou osobou, co se týče regulační diagramů, je zajisté Dr. W. Edwards Deming, který společně s Geoffreyem doporučovali používat p-grafy při zadávání dat pomocí děrných štítků při sčítání lidu již v roce 1940 (Jones-Farmer, 2014). Kontrolní diagramy byly například doporučeny i Americkou asociací fyziků v lékařství (AAPM) pro zajištění kvality radioterapie. Jednou z výhod je i univerzálnost této metody, neboť ji lze využít pro několik různých protokolů zajištění kvality radioterapie. Statistické nástroje řízení procesu jsou tedy využívány napříč různými profesemi (Roy, 2021).

Regulační diagram je základním grafickým nástrojem SPC. Zobrazuje vybrané testové statistiky v závislosti na čase. Osa x je popsána pořadovými čísly jednotlivých výběrů, které se nazývají logické podskupiny. Ty se vytváří výběrem různých produktů, které spojuje stejný časový okamžik nebo výběr několika za sebou vyrobených produktů (Jarošová, 2015, s. 53). Logická podskupina je tedy výběr, který shlukuje dohromady kolísání vyvolané náhodnými příčinami. Tím pádem, pokud začne působit zvláštní příčina, tak se uvnitř jedné logické podskupiny neprojeví, případně projeví minimálně. Avšak mezi jednotlivými podskupinami bude tento vliv maximální. Osa y slouží jako stupnice pro dané hodnoty testové statistiky, mezi kterými to nejčastěji bývá průměr, směrodatná odchylka, počet neshod apod. Cílem regulačního diagramu je dát najevo působení zvláštní příčiny a vyhnout se nesprávnému signálu, pokud je situace v procesu neměnná (Jarošová, 2015, s. 18). Snaží se tedy poznat, kdy se jedná o signál vyvolaný náhodnou příčinou a kdy signál vyvolaný zvláštní příčinou (Nenadál, 2008, s. 318). Tento krok je velice důležitý pro zlepšování jakosti. Pokud se však výrobek jeví dokonalým a je shodný s jiným, vyplývá to spíše z nedostatečné přesnosti měření. Kolísání znaků je přirozeným jevem a pokud se žádné nevyskytuje, jedná se o chybu v procesu (Plura, 2001, s. 212).

### 3.3.1 Základní charakteristiky regulačního diagramu

Zda je proces statisticky stabilní se díky regulačním diagramům určuje ze tří základních kritérií. Ty tvoří centrální přímka CL (Central Line), dolní regulační mez LCL (Lower Central Line) a horní regulační mez UCL (Upper Central Line). Centrální přímka by se podle Tošenovského správně měla překládat jako střední čára, neboť ne vždy se jedná o přímku (Tošenovský, 2000, s. 170-171). CL zobrazuje referenční hodnotu dané charakteristiky a tato hodnota je definována třemi způsoby. Buď ji lze získat jako odhad z hodnot regulované veličiny získané v podmínkách statisticky zvládnutého procesu. Nebo také jako nominální hodnotu, tedy např. hodnotu předepsanou. Poslední možností je získat hodnotu, která je založená na minulých zkušenostech s daným procesem. Zbylé dvě regulační meze, LCL a UCL, lze také najít pod názvem meze akční. Vymezuje pásmo působnosti náhodných příčin a podle polohy daného bodu rozhodují, zda proces ponechat bez zásahu, anebo je třeba zakročit. U některých diagramů, jako např. klasické Shewhartovy regulační diagramy, mají tyto meze předem stanovené hodnoty. U SRD se tyto meze nacházejí ve vzdálenosti  $3\sigma$  na obě strany od centrální přímky (Jarošová, 2015, s. 19). Tyto meze jsou důležité při rozhodování účinnosti RD a statistické stability procesu. U některých procesů se do regulačních diagramů přidávají ještě tzv. výstražné meze. Opět jsou zde k dispozici dvě, UWL (Upper Warning Limit – horní výstražná mez) a LWL (Lower Warning Limit – dolní výstražná mez). Rozdílné jsou především v tom, že mají dané užší pásmo, proto se nazývají výstražné. Pokud se určité body procesu dostanou na tyto meze, jejich cílem je upozornit, že se body blíží k mezím regulačním. Nejčastěji jejich hodnota bývá  $\pm\sigma$  od CL (Tošenovský, 2000, s. 170-171).

Přínosy regulačních diagramů jsou podle Fabiana následující:

- Účinné nástroje pro rozpoznání kolísání procesu
- Detekce přítomnosti zvláštních příčin
- Napomáhají k tomu, aby proces pracoval v souladu s požadavky a byl predikovatelný
- Umožňují, aby proces dosáhl vyšší jakosti při nižších nákladech
- Dávají objektivní zprávu o efektu navrženého opatření
- Poskytují objektivní nástroj pro porovnávání výkonů procesů (Fabian, 2007, s. E9).

### 3.3.2 Princip využívání regulačního diagramu

Statistická regulace procesu spočívá ve využití regulačních diagramů, které následují jasně daný postup skládající se z několika opakovatelných kroků. Nejdříve probíhá sběr dat pomocí pravidelných časových intervalů na základě logických podskupin. U vybraných hodnot se měří stejný znak jakosti, ze kterého se vypočítávají výběrové charakteristiky. Ty se poté zakreslují do regulačního diagramu, který se zanalyzuje pomocí statistických hypotéz (Nenadál, 2008, s. 319).

Zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu, se zjišťuje pomocí testování statistické hypotézy. Prvním krokem se zformuluje nulová hypotéza veličiny, která sleduje znak jakosti podle jejího rozdělení. Východisko nulové hypotézy je takové, že je proces ve statisticky stabilním stavu a splňuje dané požadavky na jakost. Alternativní hypotéza značí opak. Následně se hypotéza několikrát testuje, u toho vychází z výběru podle charakteru logických podskupin. Pokud nastane situace, že nulová hypotéza bude zamítnuta, je třeba do procesu zasáhnout. Zamítnutí hypotézy nastává nejčastěji, když se některé vyznačené body objeví mimo vypočítané regulační meze, které definují obor přijetí nulové hypotézy, a naopak. Hodnoty regulačních mezí UCL a LCL jsou tedy kritickými hodnotami, které se odvíjí od určení hladiny významnosti. Zásah do procesu spočívá v odhalení příčiny zamítnutí hypotézy a následná snaha o její odstranění (Nenadál, 2008, s. 319).

Při zamítnutí nulové hypotézy, resp. přijetí alternativní hypotézy se mohou vyskytnout dva druhy rizik, a to riziko falešného signálu a riziko chybějícího signálu. Riziko falešného signálu, občas nazýváno jako riziko zbytečného signálu, se značí jako riziko  $\alpha$  a odvíjí se od chybného označení procesu jako nestabilního i přes to, že zůstává ve stabilním stavu. Proces je stabilní, ale může se vyskytnout hodnota mimo regulační meze, a tím pádem se považuje proces za nestabilní. Avšak touto chybou I. druhu se zvyšují ekonomické náklady z důvodu hledání neexistující příčiny (Nenadál, 2008, s. 320). Riziko chybějícího signálu, označované také jako chyba II. druhu, je přesný opak, kdy proces není statisticky stabilní, ale veškeré hodnoty se nachází uvnitř mezí. Ani diagram tedy nedokáže postřehnout změnu procesu a vysoké náklady vznikají proto, že se do procesu nezasáhlo včas (Jarošová, 2015, s. 20).

### 3.3.3 Předpoklady statistických metod a typy procesů

Předpoklady ohledně regulované veličiny je třeba testovat před použitím regulačního diagramu. Pokud je některý z předpokladů porušen, nelze spoléhat na očekávané vlastnosti dané veličiny (Jarošová, 2015, s. 28). Níže jsou uvedeny předpoklady především pro Shewhartovy regulační diagramy měření.

- a) Normalita rozdělení dat, symetrie
- b) Konstantní střední hodnota procesu
- c) Konstantní rozptyl (směrodatná odchylka) dat
- d) Nezávislost, nekorelovanost dat
- e) Nepřítomnost vybočujících hodnot
- f) Vhodně zvolené podskupiny (Meloun, 2012, s. 924).

Procesy se rozdělují na čtyři základní typy: A, B, C a D, které se od sebe liší rozdělením jednotlivých veličin sledovaného znaku. Při určování typu procesu se zkoumá, zda rozptyl a střední hodnota mají rozdělení konstantní nebo ne. U některých typů je zaměřeno i na typ změny střední hodnoty, zda je náhodná, nebo systematická. Správné zvolení procesu udává vhodný typ regulačního diagramu nebo výpočet ukazatele výkonnosti (Jarošová, 2015, s. 45-46). Procesy typu A – C vždy předpokládají normální rozdělení znaku v jednotlivých časových okamžicích (Fabian, 2007, s. E31-33).

Proces typu A se vyznačuje tím, že střední hodnota ani směrodatná odchylka se v čase nemění a rozdělení je předvídatelné (Fabian, 2007, s. E31). Dělí se na model A1, který předpokládá normální okamžité rozdělení a je využíván Shewhartovými diagramy. Druhý model je A2, který předpokládá libovolné jednovrcholové rozdělení, a lze je využívat SRD, pokud jsou výběrové průměry normální (Jarošová, 2015, s. 46).

U procesu typu B je směrodatná odchylka konstantní, ale střední hodnota se v závislosti na čase mění. Většina hodnot se nachází uvnitř regulačních mezí (Fabian, 2007, s. E32).

U procesu typu C je směrodatná odchylka konstantní, střední hodnota se v závislosti na čase mění. Celkové rozdělení je mírně zploštělé a většina hodnot leží uvnitř regulačních mezí (Fabian, 2007, s. E33).

Mezi procesy typu D patří procesy, které nenásledují žádné zákonitosti, a veškeré veličiny, jako je směrodatná odchylka, střední hodnota a tvar rozdělení, se v závislosti na

čase mění. V případě využití veškerých změřených hodnot je důležitým aspektem volba správného intervalu sledování (Jarošová, 2015, s. 49).

Regulační diagramy se volí podle několika hledisek, např. podle předpokladu o datech. Níže je tabulka, která vše vysvětluje a zároveň obsahuje i přehled různých regulačních diagramů. Dalšími důležitými kritérii při výběru správného regulačního diagramu je typ procesu, charakter variability, opakovatelnost výroby, počet znaků a způsobilost procesu (Jarošová, 2015, s. 59).

### 3.4 Shewhartovy regulační diagramy

W. A. Shewhart v roce 1924 poprvé zavedl a navrhl regulační diagram, který byl využit pro sledování procesu a jeho variability. Cílem bylo zjistit, zda daná variabilita je výsledkem náhodného kolísání nebo speciálních příčin. Také slouží jako nástroj, který porovnává, zda se proces chová tak, jak by měl. Tyto diagramy se staly velice rozšířenými, bohužel ale nejsou dostatečně univerzální (Meloun, 2012, s. 904).

Shewhartovy regulační diagramy jsou v praxi málo využívané zejména pro to, že nejsou vždy splněny podmínky, které jsou třeba pro jejich použití. Výběr správného nástroje se odvíjí podle typu procesu. Pokud je nástroj zvolen špatně, tak může docházet k výrazným chybám, které se odrazí hlavně na nákladech a peněžních ztrátách (Fabian, 2007, s. E31). Mezi další důvody, proč se SRD dnes tolik nevyužívají, patří především to, že dokáží sledovat pouze jeden znak jakosti. Dříve to bohatě stačilo, ale v dnešní rozvinuté době, kdy jsou požadavky na jakost opravdu vysoké, je třeba sledovat těchto znaků více. Dalším důvodem je i to, že SRD neberou v potaz předchozí hodnoty a využívají se tak pouze při odhalování větších odchylek (větších než  $2\sigma$ ) (Tošenovský, 2000, s. 177-178).

Typická pro SRD je centrální linie a regulační meze LCL a UCL. Nejvyužívanějšími charakteristikami popisující znak jakosti jsou především průměr, směrodatná odchylka, variační rozpětí a počet defektních výrobků (Meloun, 2012, s. 904).

Při práci s těmito diagramy předpokládáme splnění předpokladů, které byly již zmíněny výše v předchozí kapitole: normalita dat, nezávislost dat, konstantní střední hodnota a směrodatná odchylka a další (Tošenovský, 2000, s. 179-180). SRD dělíme na regulační diagramy pro SPC měřením a srovnáváním.

### 3.4.1 Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci měřením

Regulace měřením oproti regulaci srovnáváním nevyžaduje tak velké rozsahy podskupin a navzdory tomu poskytuje i více informací o procesu (Nenadál, 2008, s. 322-323). Jejím cílem je, aby se poloha a variabilita procesu rovnala požadovaným hodnotám (Tošenovský, 2000, s. 180).

Čtyři nejčastější dvojice regulačních diagramů měřením jsou následující:

1.  $(\bar{X}, R)$  – Regulační diagramy pro výběrový průměr a rozpětí
2.  $(\bar{X}, s)$  – Regulační diagramy pro výběrový průměr a směrodatnou odchylku
3.  $(\tilde{x}, R)$  – Regulační diagramy pro výběrový medián a rozpětí
4.  $(x_i, R_{kl})$  – Regulační diagramy pro individuální hodnoty a klouzavé napětí (Nenadál, 2008, s. 323).

Tyto diagramy se používají pro znaky měřitelné a vždy se vyskytují ve dvojici, kdy první z nich určuje stabilitu polohy a druhý stabilitu stejnoměrnosti (variabilitu). V následující tabulce je přehled vzorců pro výpočet těchto diagramů podle normy ČSN ISO 8258. Hodnoty konstant  $A, A_2, A_3, B_3, B_4, B_5, B_6, C_4, d_2, D_1, D_2, D_3, D_4$  závisí na rozsahu výběru  $n$  a lze je snadno dohledat na stránce E17 v knize Statistické metody řízení jakosti od Fabiana (Fabian, 2007, s. E16-E17).

Tabulka 2 - Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů měřením

	Základní hodnoty <b>nejsou</b> stanoveny		Základní hodnoty <b>jsou</b> stanoveny	
Statistika	Centrální přímka	UCL a LCL	Centrální přímka	UCL a LCL
$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$	$X_0$ nebo $\mu_0$	$X_0 \pm A\sigma_0$
R	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	$R_0$ nebo $d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0, D_1 \sigma_0$
s	$\bar{s}$	$B_4 \bar{s}, B_3 \bar{s}$	$s_0$ nebo $C_4 \sigma_0$	$B_6 \sigma_0, B_5 \sigma_0$
Me	$\bar{M}_e$	$\bar{M}_e \pm A_4 \bar{R}$	-	-
Individuální hodnota x	$\bar{X}$	$\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$	$X_0$ nebo $\mu_0$	$X_0 \pm 3\sigma_0$
Klouzavé rozpětí R	$\bar{\bar{R}}$	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	$R_0$ nebo $d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0, D_1 \sigma_0$

Zdroj: (Fabian, 2007, s. E16)

### 3.4.2 Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci srovnáváním

Základem statistické regulace srovnáváním je diskrétní znak jakosti a jeho srovnávání s daným standardem. Sleduje se zde počet nebo podíl neshodných produktů. Celkem jsou k dispozici čtyři různé typy regulačních diagramů:

1. p – diagram – pro podíl neshodných jednotek v logické podskupině  
(střední hodnota  $\bar{p}$ , rozptyl  $\bar{p}(1 - \bar{p})/n$ )
2. np – diagram – pro počet neshodných jednotek v logické podskupině  
(střední hodnota  $n\bar{p}$ , rozptyl  $n\bar{p}(1 - \bar{p})$ )
3. c – diagram – pro počet neshod na standardní kontrolní jednotce  
(střední hodnota  $\bar{c}$ , rozptyl  $\bar{c}$ )
4. u – diagram – pro podíl neshod na standardní kontrolní jednotce  
(střední hodnota  $\bar{u}$ , rozptyl  $\bar{u}/n$ )

První dva diagramy (p, np) vycházejí z binomického rozdělení, zatímco zbylé diagramy (c, u) vycházejí z rozdělení Poissonova. Pokud nedochází ke změně rozsahu podskupiny, lze využít všechny typy regulačních diagramů, v případě změny rozsahu pouze c a u diagram (Zmatlík, 2003).

Postupy jsou téměř totožné s postupy u statistické regulace měřením, tedy nejdříve je třeba určit neshodu (neshodný výrobek) a zvolit srovnávací metodu. Následně správně zvolit rozsah podskupiny, interval a typ diagramu. Celý postup je zakončen analýzou stability a způsobilosti procesu a vlastní regulací (Plura, 2001, s. 223).

I zde je velice důležité zvolit správnou podskupinu a především její rozsah. Například v oblasti mikroelektroniky se počty neshodných vyjadřují dokonce v řádech ppm (parts per million). Při zvolení příliš malého rozsahu se může stát, že jednotlivé podskupiny nebudou obsahovat neshodné jednotky a regulace procesu nebude možná. Pokud je očekávaný průměrný podíl neshodných  $\bar{p} = 50$  ppm, je minimální rozsah podskupiny  $n = 20\,000$  (Zmatlík, 2003).

Tyto diagramy nejsou náročné na kvalifikaci, veškerý proces je jednodušší a levnější i díky tomu, že se vede pouze jediný diagram oproti dvojicím v případě regulace měřením. Co se týče rozsahu podskupin, tak je doporučováno zachování konstantní hodnoty (Fabian, 2007, s. E24).

Níže je tabulka, která shrnuje vzorce pro výpočet CL, UCL a LCL. V pravé části tabulky jsou hodnoty  $p_0$ ,  $np_0$ ,  $c_0$ ,  $u_0$  stanoveny. Pokud nastane situace, že vypočtená hodnota LCL je záporná, tak se rovná nule (Fabian, 2007, s. E24).

Tabulka 3 - Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů srovnáváním

	Základní hodnoty <b>nejsou</b> stanoveny		Základní hodnoty <b>jsou</b> stanoveny	
Statistika	Centrální přímka	UCL a LCL	Centrální přímka	UCL a 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	$\bar{u}$	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$	$u_0$	$u_0 \pm 3\sqrt{u_0/n}$

Zdroj: (Fabian, 2007, s. E25)

### 3.4.3 Nesprávné použití Shewhartových diagramů

Velice často se stává, že snaha o využití Shewhartových grafů v průmyslu nedopadá podle očekávání a nezdaří se ani správná implementace. Nejčastěji za nesprávné použití těchto diagramů může jeden z následujících faktorů:

- 1) Výpočtové vzorce limitů jsou nesprávné
- 2) Plány pro seskupování dat pro grafy jsou nevhodně zvoleny
- 3) Společnost není schopna reagovat na zlepšovací procesy

Pokud se stane, že vzorce nejsou správně vypočítané, většinou je na vině špatné rozdělení v rámci podskupin. To způsobuje, že odhalení zvláštních příčin je těžší než normálně, protože limity jsou kvůli tomu opravdu vysoké. Dalším faktorem je správně sestavený a pečlivý výběr podskupin. Regulační diagram funguje na základě filtru a díky správnému plánu můžeme sledovat stejný proces několika různými pohledy.

Nejkritičtější problém je správná reakce na grafy. Je vyžadována rychlá akce od lidí, kteří jsou procesu nejbližší, což často bývají operátoři linky. Ale společností je většinou nepříjemné nechat rozhodovat operátora, a ne někoho z vyššího manažerského vedení.



Kvůli tomu je operátor linky většinou bez možnosti řešit problémy samostatně. Manažeři zasahují do procesu, až když je pozdě a spíše vše zhorší, neboť velice často zaměňují běžné příčiny za zvláštní a naopak (Hoerl, 1992).

### 3.5 Indexy způsobilosti

Způsobilost byla již výše definována a pomocí těchto indexů lze číselně označit, zda daný znak jakosti splňuje určené požadavky, přesněji tedy cílovou hodnotu znaku a jeho kolísání kolem této hodnoty. I zde se ale nelze vyhnout snaze oklamat zákazníka, neboť různí výrobci udávají několik druhů těchto indexů, ale ne vždy je u nich uveden vzorec výpočtu, a tak není zaručená správnost výsledku. Detailněji zde budou rozebrány čtyři indexy způsobilosti, a to  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$  a  $C_{pmk}$ . Tyto indexy vždy splňují několik podmínek: znak jakosti je spojitá náhodná veličina s normálním rozdělením a střední hodnotou  $\mu$  a směrodatnou odchylkou  $\sigma$ , proces je ve statisticky zvládnutém stavu a tolerance pro sledovaný znak jsou správně nastaveny. Výpočty jednotlivých indexů se liší, ale obecně se jedná o poměr předepsané a skutečně dosahované přesnosti sledovaného znaku. Předepsaná přesnost je vymezená USL (Upper Specification Limit), LSL (Lower Specification Limit) a T (Target Value), tedy dolní a horní toleranční mezí a cílovou hodnotou. Skutečně dosahovaná přesnost je vlastně rozptyl dané veličiny, který je vymezen intervalem  $(\mu-3\sigma; \mu+3\sigma)$  o šířce  $6\sigma$ . Téměř 99,73% hodnot leží v tomto intervalu (Kropáč, 2008, s. 36-37).

#### Index $C_p$

Tento index patří mezi nejjednodušší, neboť se předpokládá, že střední hodnota se nalézá uprostřed mezí. Při jeho výpočtu se porovná délka intervalu (LSL;USL) s délkou  $6\sigma$ , tedy poměr mezi tím, kde by se měly vyskytovat všechny hodnoty a kde se opravdu vyskytují.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

Hodnoty, kterých může tento index nabývat, se rozdělují na tři základní skupiny. V případě  $C_p < 1$  je proces nezpůsobilý. Když  $C_p = 1$ , tak lze proces označit jako způsobilý, ale je velice náchylný na změnu směrodatné odchylky a následnou změnou procesu na proces nezpůsobilý. Ideální stav nastává, pokud je  $C_p > 1$ , což značí, že je proces způsobilý a není tolik náchylný na změny (Kropáč, 2008, s. 38).

## Index $C_{pk}$

Důležitými veličinami zde je směrodatná odchylka  $\sigma$  a střední hodnota  $\mu$ . Vzorec indexu  $C_{pk}$  je následovný:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\}, \text{ kde } C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \text{ a } C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2)$$

Proces by měl být ve statisticky zvládnutém stavu, pokud tomu tak není, hodnoty  $C_{pU}$ , resp.  $C_{pL}$  vychází záporně, což znamená, že střední hodnota  $\mu$  se nachází mimo toleranční interval. Hodnoty se interpretují stejně jako u indexu  $C_p$ , přičemž doporučená minimální hodnota je 1,22.

Pokud podle hodnot indexů  $C_p$  a  $C_{pk}$  není proces způsobilý, je třeba najít, čím to bylo způsobeno. První varianta počítá s posunem znaku jakosti vůči středu tolerančního intervalu a pro nápravu stačí pouze správně proces seřadit. Druhá varianta, náročnější na opravu, počítá s vysokou variabilitou. Snížení variability ale je proces velice náročný, neboť vyžaduje významný zásah do technologie, případně změnu výrobního zařízení. Před použitím jednoho ze zásahů je třeba zkontrolovat, zda chyba nenastala špatným určením mezí nebo třeba nevhodným postupem (Kropáč, 2008, s. 40-42).

## Index $C_{pm}$

Tento index je více přesný než předchozí i díky tomu, že zohledňuje více veličin. Mezi ty patří střední hodnota  $\mu$ , směrodatná odchylka  $\sigma$ , toleranční meze LSL a USL a cílová hodnota  $T$ . Parametr  $\tau$  vyjadřuje rozptyl hodnoty znaku jakosti kolem  $T$ . Vzorec vypadá následovně (Kropáč, 2008, s. 42):

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau}, \text{ kde } \tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2. \quad (3)$$

## Index $C_{pmk}$

Posledním indexem je index  $C_{pmk}$ , který je velice podobný indexu  $C_{pm}$ , a liší se pouze tím, že ještě navíc bere v úvahu i střední hodnotu vůči tolerančním mezím (Kropáč, 2008, s. 42).

$$C_{pmk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\tau}; \frac{\mu - LSL}{3\tau}\right\}, \text{ kde } \tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2. \quad (4)$$

## 4 Vlastní práce

Tato kapitola se věnuje analýze získaných dat procesu výroby chladicí tyče. Data potřebná pro výpočty byla dodána společností, která si však nepřeje být jmenována vzhledem ke zveřejnění této bakalářské práce. Nejdříve bude společnost, která bude dále nazývána jako společnost XY, představena a následně proběhnou výpočty potřebné ke zhodnocení celé práce za pomoci softwarů Microsoft Excel a Statistica.

### 4.1 Představení společnost XY

Vybraná společnost XY je firma existující na světových trzích již přes 75 let a patří mezi největší světové výrobce stavebních strojů. Mezi hlavní produkty společnosti XY patří především bagry od 0 do 5 tun hmotnosti a pásové i kolové nakladače. V České republice působí od roku 2000 a pyšní se kvalitním servisem a péčí o zákazníka.

### 4.2 Výrobní proces

Sledovaný výrobní proces je charakterizován nákupem chladicí tyče, která je následně v určitém bodě ohnuta a vbudována do části motoru. Kvůli častým poruchám (praskání) tyče právě v bodě ohnutí bylo nařízeno sledování tohoto procesu a měření průměru tyče v krizovém bodě. Cílem je zanalyzovat proces a identifikovat odchylky od statisticky zvládnutého stavu procesu. Z každé dodávky byly vybrány 2 tyče (A; B) a jejich hodnoty byly měřeny pomocí digitálního posuvného měřítka. Data byla rozdělena do 28 logických podskupin o rozsahu 2 hodnot, které jsou obsaženy v následující tabulce. Pro výpočet průměrů a směrodatných odchylek jednotlivých podskupin byl využit tabulkový software Microsoft Excel a funkce PRŮMĚR a SMODCH.VÝBĚR.S.

Tabulka 4 - Data vnějšího průměru chladicí tyče

Podskupina	tyč A [mm]	tyč B [mm]	$\bar{x}$ [mm]	s [mm]
1	31,76	31,62	31,6900	0,0990
2	31,89	31,55	31,7200	0,2404
3	31,98	32,03	32,0050	0,0354
4	31,87	31,64	31,7550	0,1626
5	32,05	31,97	32,0100	0,0566
6	32,13	32,02	32,0750	0,0778
7	31,73	31,93	31,8300	0,1414
8	31,62	31,87	31,7450	0,1768
9	31,88	32,01	31,9450	0,0919
10	31,82	31,85	31,8350	0,0212
11	31,78	31,82	31,8000	0,0283
12	32,01	32,09	32,0500	0,0566
13	31,92	32,10	32,0100	0,1273
14	31,96	32,00	31,9800	0,0283
15	31,95	32,02	31,9850	0,0495
16	32,06	32,11	32,0850	0,0354
17	31,85	31,87	31,8600	0,0141
18	31,89	31,76	31,8250	0,0919
19	31,9	31,75	31,8250	0,1061
20	31,86	31,72	31,7900	0,0990
21	31,97	31,82	31,8950	0,1061
22	32,01	31,89	31,9500	0,0849
23	31,99	31,83	31,9100	0,1131
24	32,00	31,82	31,9100	0,1273
25	31,86	31,94	31,9000	0,0566
26	31,94	31,85	31,8950	0,0636
27	31,95	31,77	31,8600	0,1273
28	32,02	31,85	31,9350	0,1202
<b>Celkem</b>	x	x	<b>31,8955</b>	<b>0,0907</b>

Zdroj: vlastní zpracování

#### 4.2.1 Základní výpočty

Pomocí statistického softwaru Statistica byla provedena statistická analýza dostupných dat a výsledky jsou shrnuty v následující tabulce:

Tabulka 5 - Základní popisné statistiky

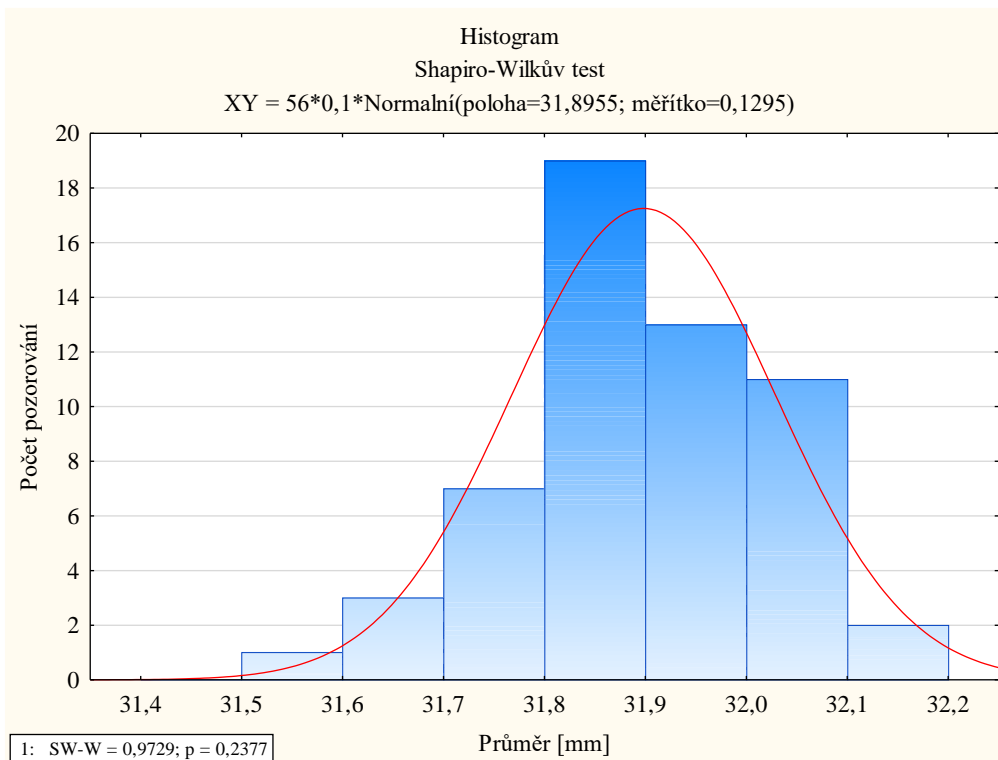
<b>Počet platných podskupin</b>	56
<b>Průměr</b>	31,8955
<b>Medián</b>	31,8900
<b>Minimální</b>	31,5500
<b>Maximální</b>	32,1300
<b>Dolní kvartil</b>	31,8200
<b>Horní kvartil</b>	32,0000
<b>Rozptyl</b>	0,0168
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,1295
<b>Standardní chyba</b>	0,0173
<b>Šikmost</b>	-0,5120
<b>Špičatost</b>	0,0837
<b>95% interval spolehlivosti směrodatné odchylky</b>	
<b>Dolní</b>	0,1092
<b>Horní</b>	0,1592
<b>95% interval spolehlivosti průměru</b>	
<b>Dolní</b>	31,8609
<b>Horní</b>	31,9302

Zdroj: vlastní zpracování

#### 4.2.1 Shewhartovy regulační diagramy

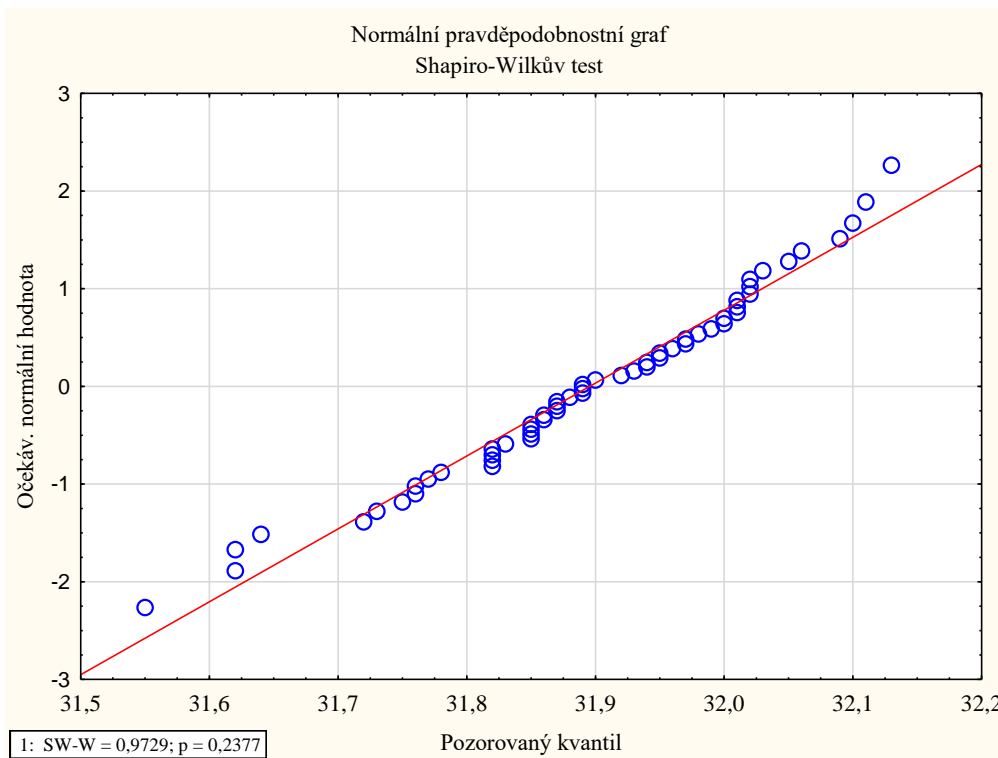
Pro správné využití Shewhartových regulačních diagramů je třeba splnit předpoklady podle kapitoly 3.4.4. Na ukázkou jsou níže grafy, které ověřují normalitu dat. Test normality podle histogramu a podle normálního pravděpodobnostního grafu potvrzuje normální rozdělení dat. Ani v jednom případě se nulová hypotéza ( $P(0,2377 > 0,05)$ ) nezamítá. Z grafů je rozpoznatelné, že neobsahuje žádné vybočující hodnoty.

Obrázek 4 – Histogram



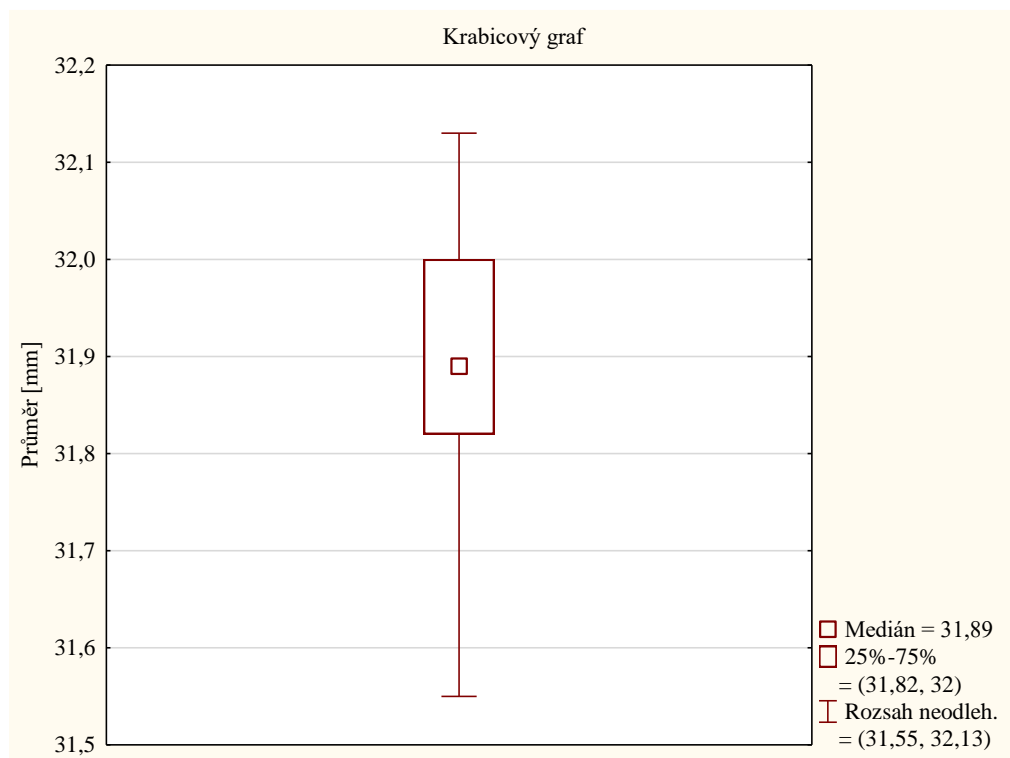
Zdroj: vlastní zpracování, software Statistica

Obrázek 5 - Normální pravděpodobnostní graf



Zdroj: vlastní zpracování, software Statistica

Obrázek 6 - Krabicový graf



Zdroj: vlastní zpracování, software Statistica

Předpoklady pro použití Shewhartových regulačních diagramů jsou tedy splněny a proces bude pozorován regulačními diagramy měření. Bude využita dvojice regulačních diagramů  $(\bar{X}, s)$  pro výběrový průměr a pro výběrovou směrodatnou odchylku. Nejdříve je třeba si spočítat podle vzorců z Tabulky 2 jednotlivé meze. K dosažení správných výsledků jsou třeba součinitelé z tabulky v příloze 1 pro  $n = 2$ . Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 7.

$$CL_x = \bar{\bar{X}} = 31,8955 \text{ mm} \quad (5)$$

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{s} = 31,8955 + 2,659 \cdot 0,0907 = 32,1367 \text{ mm} \quad (6)$$

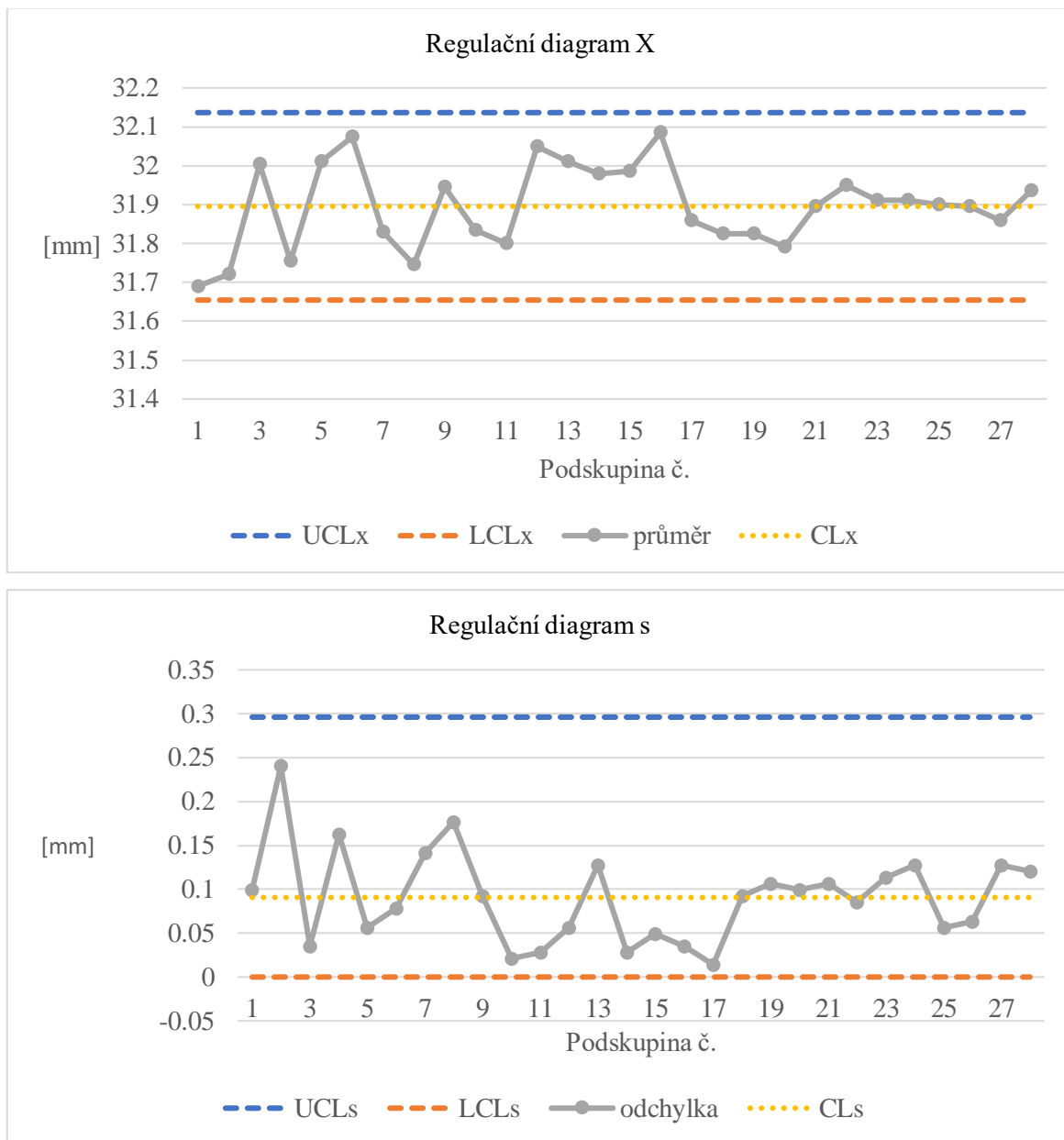
$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{s} = 31,8955 - 2,659 \cdot 0,0907 = 31,6545 \text{ mm} \quad (7)$$

$$CL_s = \bar{s} = 0,0907 \text{ mm} \quad (8)$$

$$UCL_s = B_4\bar{s} = 3,267 \cdot 0,0907 = 0,2962 \text{ mm} \quad (9)$$

$$LCL_s = B_3\bar{s} = 0 \quad (10)$$

Obrázek 7 - Dvojice regulačních diagramů ( $\bar{X}, s$ )



Zdroj: vlastní zpracování

Jak lze z diagramů vyčíst, veškeré hodnoty se nachází uvnitř regulačních mezí, tudíž lze proces považovat za statisticky stabilní. Na první pohled je zřejmé, že od podskupiny č. 17 se stala určitá změna a hodnoty se více stabilizovaly a nepřibližovaly se k regulačním mezím. Společnost XY totiž mezitím vyměnila dodavatele chladících tyčí i z důvodu podezření z dodávání sekundárních dílů, a nový výrobce se zatím jeví jako kvalitnější.



#### 4.2.1 Indexy způsobilosti

Dalším krokem poté, co je proces označen jako stabilní, je posouzení, zda je proces způsobilý pomocí indexů způsobilosti. Podle požadavků společnosti by tloušťka stěny tyče měla být 31,8mm s odchylkou 0,5, interval tedy vypadá takto: (32,3;31,3). Nejsou zde tak přísné hodnoty, neboť to nijak výrazně funkci neovlivňuje. Nejdříve se spočítá index způsobilosti  $C_p$  podle vzorce (1) a  $C_{pk}$  podle vzorce (2).

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} = \frac{32,3-31,3}{6*0,0907} = \frac{1}{0,5440} = 1,8383 \quad (11)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}; C_{pL}\}, \text{ kde } C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\sigma} \text{ a } C_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \quad (12)$$

$$C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\sigma} = \frac{32,3-31,8955}{3*0,0907} = 1,4871 \quad (13)$$

$$C_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma} = \frac{31,8955-31,3}{3*0,0907} = 2,1896 \quad (14)$$

$$C_{pk} = \min\{1,4871; 2,1896\} = 1,4871 \quad (15)$$

Oba indexy mají hodnotu vyšší než 1,  $C_p = 1,8383$  a  $C_{pk} = 1,4871$ , proces je tedy nejen stabilní, ale i způsobilý splňovat technické předpisy.

#### 4.3 Zhodnocení

Proces byl potvrzen jako stabilní a způsobilý. Avšak analýzou regulačního diagramu se přišlo na výkyvy v hodnotách v první polovině měření, které byly nejspíše způsobeny nekvalitním materiálem. Ten ale i přes to splňoval veškeré požadavky a celý proces byl stabilní a způsobilý. Pokud si chce firma udržet dodávky kvalitního materiálu, je doporučeno, aby i nadále některý z pracovníků prováděl občasnou kontrolu tloušťky materiálu. Může tím společnosti XY pomoci předejít dodávkám nekvalitního materiálu a případné problémy hlásit i hned při prvních výkyvech hodnot.

## 5 Výsledky a diskuse

Sledovaný proces byl označen za stabilní a způsobilý a doporučuje se pokračovat ve využívání statistických nástrojů regulace procesu. V dnešní době je to již nezbytnost a moderní management jakosti to téměř vyžaduje. Díky neustálé kontrole stability lze předcházet vadným výrobkům. Pro ještě větší zaručení jistoty kvality tyčí, které pomohou předejít častému lámání, lze určitě doporučit zvýšení rozsahu měřené podskupiny na  $n$  větší, než je aktuální, tedy 3 a více. Čím více vzorků, tím větší šance na zjištění jakýkoliv nestandardních hodnot a případných podobností. Dále se určitě vyplatí zkonstruovat i další regulační diagramy, ne pouze na průměr a směrodatnou odchylku. Důležitým bodem jsou i pravomoci dohlížejícího pracovníka. Pokud mu bude dána důvěra a potřebné pravomoci, může o vadném materiálu rozhodnout dříve a nebude třeba to řešit přes vyšší management. Vše záleží na schopnostech a znalostech daného pracovníka.

Jelikož se proces nachází ve statisticky zvládnutém stavu a je statisticky způsobilý, společnost XY musí hledat jiný statistický znak jakosti pro zjištění vyšší poruchovosti těchto tyčí. A přesně pro tyto situace je vhodné využívat statistické regulace procesu.

Celý proces je velice snadné sestavit a jeho kontrola též. Pokud má společnost možnost pracovat se softwarem typu Statistica nebo jemu podobným, statistická regulace procesu by měla být samozřejmostí. Díky velice intuitivnímu ovládnutí a českému rozhraní je to velice výhodná investice, která zaručí zlepšování procesu, identifikaci závad, optimalizaci nákladů a mnoho dalšího. Vystačit si ale lze i s pouhým Microsoftem Excelem, jak bylo dokázáno výše v této práci, pomocí vzorečků a grafů. Tento tabulkový software je k dispozici s kancelářským balíčkem, který patří mezi nejrozšířenější, takže pravděpodobnost, že společnost vlastní tento software je vysoká. Oproti softwarům zabývajícím se speciálně statistickou analýzou je práce v MS Excel pomalejší a na začátek určitě složitější. Je třeba si vytvořit šablony, podle kterých bude proces sledován, a sledování procesu není tak intuitivní jako ve specializovaných softwarech. Největší výhodou práce s MS Excel je ale právě jeho jednoduchost a snadná dostupnost. Pro základní sledování kvality a případných odchylek je to určitě dostačující metoda.

## 6 Závěr

Řízení kvality a statistické nástroje k tomu určené se v dnešní době řadí mezi základní součásti managementu jakékoliv společnosti. Právě tyto nástroje jsou těmi maličkostmi, které rozhodují v nabitém světě konkurenceschopnosti a do budoucna bude na jejich důležitosti pouze přibývat. Důležitá je především změna vnímání řízení a kontroly jakosti jako součásti managementu, do které se vyplatí investovat, i když se výsledky projeví spíše v dlouhodobějším horizontu. Vnímání kvality se vyvíjí a posouvá se ze strategie detekce ke strategii prevence, tedy zachycení problému dříve, než se vyskytne. Přes možné počáteční vyšší výdaje se ale investice tímto směrem vyplácí a do budoucna znamená pro firmu nejen snížení nákladů, ale především zkvalitnění celého procesu.

Tato bakalářská práce má za cíl podat přehled a charakteristiku jednotlivých nástrojů zabezpečování a zlepšování jakosti se zaměřením na statistickou regulaci procesu a regulační diagramy. Součástí je i následná aplikace popsaných nástrojů na příklad z praxe a návrhy na zlepšení. V teoretické části je blíže rozepsán proces měření chladicí tyče, který slouží především jako příklad aplikace regulačních diagramů a indexů způsobilosti pomocí softwarů MS Excel a Statistica.

Nejdříve, v teoretické části, jsou vymezeny pojmy jakost a management jakosti, které procházejí neustálým vývojem a jejich chápání se postupem času mění a nabývá na důležitosti. Management jakosti je zde popsán pomocí Juranovy trilogie, tedy plánování, řízení a zlepšování jakosti a jednotlivé procesy jsou podrobně vysvětleny. Jakost lze řídit pomocí základních nástrojů managementu jakosti, které jsou doplněny o dalších sedm nových nástrojů. Tato práce je zaměřena především na nástroj statistické regulace procesu. Statistická regulace procesu se snaží o dosažení stabilního a způsobilého stavu procesu ve čtyřech fázích právě za pomoci regulačních diagramů. Je zde více přiblížen princip fungování regulačních diagramů a také rozdělení podle jednotlivých typů procesů. Z regulačních diagramů je pozornost věnována především Shewhartovým regulačním diagramům, jejich rozdělení a výpočtu. Konec teoretické části je zaměřen na výpočet způsobilosti procesu pomocí indexů způsobilosti.

Praktická část uvádí příklad aplikace statistické regulace procesu v praxi. Příklad je založen na měření tloušťky chladících tyčí v bodě ohnutí, neboť tyto tyče právě v tomto bodě velice často praskaly. Společnost XY se rozhodla tloušťku tyče v daném bodě označit jako znak jakosti, podle kterého se budou řídit výpočty. Nejdříve je využit software Statistica,

který velice snadno vypočítá veškeré základní popisné statistiky a vytvoří grafy pro splnění předpokladů pro využití Shewhartových diagramů. Dále jsou výpočty řešeny tabulkovým procesorem MS Excel, aby zde bylo dokázáno, že lze jakost kontrolovat i za pomoci běžně dostupných softwarů. Pomocí vzorců jsou vypočítány jednotlivé meze a zakresleny do grafů. Uvedený proces je zhodnocen jako statisticky stabilní a způsobilý. Celá práce je zakončena doporučením i nadále využívat statistickou regulaci procesu s návrhy na zefektivnění a zkvalitnění celého procesu měření. Je navrženo především zvýšit počty měření, díky čemuž proces snadněji rozezná vadné výrobky.

V této práci byla detailněji popsána statistická regulace procesu a regulační diagramy. Lze konstatovat, že hlavní cíl práce byl splněn a teoretická část zahrnuje veškerá důležitá teoretická východiska k správnému pochopení tématu. Dílčí cíl, v podobě ukázky statistického procesu regulace v praxi, byl taktéž splněn a byly navrženy možnosti na zlepšení celého procesu. Tato bakalářská práce tedy poskytuje jednoduchý návod, jak lze využít statistickou regulaci procesu v praxi. Může sloužit jako počáteční bod pro větší zavedení kontroly jakosti v celé firmě, a především k správnému uchopení celého managementu jakosti.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- ABUHAY, Itay. 2017. *ISO 9001:2015 - A Complete Guide to Management Systems*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC, 2017. 442 s. ISBN 978-1-4987-3321-2.
- ANWAR, Sohail a ROTHWELL, Wiliam J. 1995. A study of implementation of statistical process control (SPC)/statistical quality control (SQC) methods in the selected manufacturing. *Journal of the Pennsylvania Academy of Science*. 1995, Sv. Vol. 69, No.1, stránky 26-30. [Citace: 21.2.2022]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/44149029>.
- BERANOVÁ, Petra, BLAŽKOVÁ, Lenka a ULDRICH, Miloš. 2004. <http://www.statsoft.cz/>. <http://www.statsoft.cz/podpora/strucny-manual-k-ovladani/>. [Online] 2004. [Citace: 12. 1 2022]. Dostupné z: [http://www.statsoft.cz/file1/PDF/manualy/Manual\\_k\\_ovladani\\_programu\\_STATISTICA.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/manualy/Manual_k_ovladani_programu_STATISTICA.pdf).
- CROSBY, Philip B. 1982. *The Management of Quality*. 1982, Sv. Research Management , vol. 25, no. 4, stránky 10-12. [Citace 21.2.2022]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/24120295>.
- ČSN EN ISO 9000 (01 0300 ). 2016. *Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník. ČSN EN ISO 9000: Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2016, 88 s.
- FABIAN, František, a další. 2007. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. 390 s. ISBN 978-80-02-01897-1.
- HOERL, Roger W. a PALM, Andrew C. 1992. Discussion: Integrating SPC and APC. *Technometrics*. 1992, Sv. Vol. 34, No. 3, stránky 268-272. [Citace 20.2.2022]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/1270029>.
- JANÍČEK, Přemysl, a další. 2013. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. 1. Praha: Grada Publishing, a.s., 2013. 592 s. ISBN 978-80-247-4127-7.

- JAROŠOVÁ, Eva a NOSKIEVIČOVÁ, Darja. 2015. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada, 2015. 978-80-247-5355-3.
- JONES-FARMER, L. Allison, EZELL, Jeremy D. a HAZEN, Benjamin T. 2014. Applying Control Chart Methods to Enhance Data Quality. *Technometrics*. 2014, Sv. Vol. 56, No. 1, stránky 29-41. [Citace 21.2.2022]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/24587271>.
- KLŮFA, Jindřich. 1999. *Ekonomické aspekty statistických přejímek*. Praha: Ekopress, 1999. 164 s. ISBN 80-86119-24-6.
- KROPÁČ, Jiří. 2008. *Statistika C - Statistická regulace, Indexy způsobilosti, Řízení zásob, Statistické přejímky*. Brno: CERM, 2008. 106 s. ISBN 978-80-7204-789-5.
- KUPKA, Karel. 1997. *Statistické řízení jakosti*. Pardubice: TriloByte, 1997. 191 s. ISBN 80-238-1818-X.
- LEVINE, David I. a TOFFEL, Michael W. 2010. Quality Management and Job Quality: How the ISO 9001 Standard for Quality Management Systems Affects Employees and Employers. *Management Science*. 2010, Sv. Vol. 56, No. 6, stránky 978-996. [Citace: 21.2.2022]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/40660836>.
- MELOUN, Milan a MILITKÝ, Jiří. 2012. *Kompendium statistického zpracování dat. 3*. Praha: Karolinum, 2012. 984 s. ISBN 978-80-246-2196-8.
- MONTGOMERY, Douglas C. 2005. *Introduction to Statistical Quality Control. 5*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 754 s. ISBN 0-471-65631-3.
- NENADÁL, Jaroslav a kol. 2008. *Moderní management jakosti - principy, postupy a metody*. Praha 3: Management Press, s.r.o., 2008. 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
- NEUBAUER, Jiří, SEDLAČÍK, Marek a KŘÍŽ, Oldřich. 2016. *Základy statistiky - Aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2016. 377 s. ISBN 978-80-271-9198-7.

- OAKLAND, John S. 2007. *Statistical Process Control*. 6. Londýn: Routledge, 2007. 482 s. ISBN 978-00-8055-173-9.
- PLURA, Jiří. 2001. *Plánování a neustále zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press , 2001. 245 s. ISBN 80-7226-543-1.
- PYZDEK, Thomas a KELLER, Paul. 2013. *The Handbook for Quality Management, Second Edition*. Hawthorne: The McGraw-Hill Companies, 2013. 512 s. ISBN 978-0-07-179924-9.
- ROY, Arkajyoti, a další. 2021. Treatment plan quality control using multivariate control charts. 2021, Sv. vol. 48, issue 5, stránky 2118-2126. [Citace 15.2.2022]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mp.14795>.
- TOŠENOVSKÝ, Josef a NOSKIEVIČOVÁ, Dana. 2000. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: MONTANEX a.s., 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.
- ZMATLÍK, Jiří. 2003. *Statistická regulace v řízení jakosti*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd, 2003. Disertační práce (Ph.D.).

## 8 Přílohy

Příloha 1 - Součinitelé pro výpočet regulačních mezí a centrální přímky Shewhartových regulačních diagramů měření .....	I
---	---



Příloha 1 - Součinitelé pro výpočet regulačních mezí a centrální přímky Shewhartových regulačních diagramů měření

n	A	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	1/C <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	1/d <sub>2</sub>
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	1,0194	3,407	0,2935
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2787
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,9882	1,0119	3,819	0,2618
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,868	0,2592
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,0105	3,931	0,2544

Zdroj: (Fabian, a další, 2007 str. E17)