

Technická univerzita v Liberci

Hospodářská fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Hospodářská fakulta

Studijní program: 6208 – Ekonomika a management

Studijní obor: Podniková ekonomika

Efektivní statistická regulace ve výrobě s malou opakovatelností

Efficient statistical process control in production with a low repetition

Diplomová práce: DP – PE – KPE – 200231

Autor:

Miroslav NETOLICKÝ

Adresa:

Modrá 7

407 02 Jílové u Děčína

Podpis:

Netolický M.

Vedoucí práce: Ing. Věra Pelantová, Ph. D. (KPE)

Konzultant: Jiří Valenta (Peguform Bohemia, k. s.)

Počet stran: 67

Počet příloh: 9

V Liberci dne: 24. 5. 2002

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Miroslava Netolického**

obor č. 6208 T Podniková ekonomika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111 / 1998 Sb. o vysokých školách a navazujících předpisech určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Efektivní statistická regulace ve výrobě s malou opakovatelností**

Pokyny pro vypracování:

1. Specifikace výroby s malou opakovatelností.
2. Statistická regulace - pojmy, vlastnosti, současný stav.
3. Metody statistické regulace vhodné pro výrobu s malou opakovatelností.
4. Charakteristika výrobního podniku.
5. Uplatnění vybrané metody statistické regulace v konkrétní části podniku.
6. Zpracování výsledků a jejich vyhodnocení.

Rozsah grafických prací:

50 - 60 stran textu + nutné přílohy

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

Tošenovský, J. - Noskievičová, D.: Statistické metody pro zlepšování jakosti, Montanex a.s., Ostrava 2000

Tomek, G.- Vávrová, V.: Řízení výroby, GRADA, Praha 1999

Noskievičová, D.: Statistická regulace a procesy s nízkou mírou opakovatelnosti, In. Sborník vědeckých prací z mezinárodní konference: „Nové trendy v strojárstve na prahu tretieho tisícročia.“ TU Košice, 1997, s.202-205

Wise, S.A. - Douglas, C.F.: Innovative control charting, Practical SPC solutions for today's manufacturing environment, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin 1998

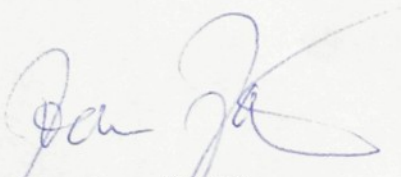
Vedoucí diplomové práce: Ing. Věra Pelantová, Ph.D., TUL HF

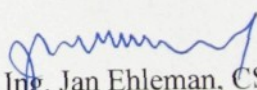
Konzultant: Jiří Valenta, Peguform Bohemia a.s.

Termín zadání diplomové práce: 31.10.2001

Termín odevzdání diplomové práce: 24.5.2002




doc. Ing. Ivan Jáč, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Jan Ehleman, CSc.
děkan Hospodářské fakulty

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména §60 (školní dílo) a §35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomní práce či poskytnutí licence k jejímu užití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do její skutečné výše).

Po pěti letech si mohu tuto práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena, a tím výše uvedená omezení vůči mé osobě končí.

V Liberci dne: 24. 5. 2002

Podpis:

Nelolický M.
.....

Děkuji všem, bez nichž bych svoji práci nedokončil. Zejména Ing.Věře Pelantové, Ph.D. a Jiřímu Valentovi za jejich podnětné rady a připomínky. Můj dík patří také zaměstnancům nástrojárny ve firmě Peguform Bohemia, k. s. za jejich ochotu při poskytování cenných informací.

Resumé:

V současnosti je nejdůležitějším atributem vyrobeného produktu jeho jakost. K zajištění jakosti existuje několik metod. V této diplomové práci jsou některé z nich použity pro statistickou regulaci procesu vyřezávání drážky vyhazovače na odpovídajícím zařízení pro tuto činnost.

Hlavním cílem byla kompletní statistická regulace výroby s malou opakovatelností. Proto bylo nabízeno několik metod, které jsou pro tento typ výroby vhodné a optimální metoda byla vybrána. Po zjištění skutečnosti, že je proces statisticky zvládnutý, následoval výpočet indexů způsobilosti, které ukazují schopnost procesu vyrábět ve stanovených tolerančních mezích. Nechybí ani ověření normality dat, která je hlavní podmínkou pro výpočet těchto indexů. V textu je i ukázka nástrojů jakosti, které slouží k identifikaci a odstranění negativních vlivů na proces.

Výsledkem práce by je zcela statisticky zvládnutý proces výroby s malou opakovatelností s vysokou mírou jeho způsobilosti.

Summary:

At present, the most important point of a product is its quality. Today, a few methods exist to secure quality. In this diploma thesis, some of them are used for Statistical Process Control of cutting out the slot by means of the corresponding devices for this operation.

The main aim was the full statistical control of production with a low repetition. A few suitable methods for this type of production were offered and the optimal method was selected. After discovery of the fact that the process was under statistical control, the calculation of capability indexes followed. These indexes show capacity of the process to produce all products within fixed toleration limits. In this diploma thesis, we can find verification of data normality, too. Normality is the main condition for calculation of the capability indexes. In the text, there is a review of tools of quality, which are used for identification and removing the negative influences on the process.

The result of this diploma thesis is a process under full statistical control with low repetition and high level of its capability.

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Statistická regulace procesu, její fáze a příčiny variability procesu.....	12
2.1 Současný stav jakosti v ČR.....	12
2.2 Statistická regulace procesu.....	12
2.3 Příčiny variability procesu.....	13
2.4 Fáze statistické regulace.....	15
2.5 Regulační diagram.....	16
3. Regulační diagramy pro procesy s nízkým stupněm opakovatelnosti.....	17
3.1 Charakteristika výroby s malou opakovatelností.....	17
3.2 Druhy „Short – run” diagramů.....	17
3.2.1 Cílové regulační diagramy.....	18
3.2.2 Standardizované regulační diagramy.....	20
4. Regulační diagramy pro data s nenormálním rozdělením.....	23
4.1 Princip transformace dat.....	24
4.2 Využití transformace ve statistické regulaci.....	25
5. Způsobilost procesu.....	26
5.1 Postup hodnocení způsobilosti.....	27
5.2 Měření způsobilosti při normálním rozdělení.....	28
5.3 Index C_p	29
5.4 Index C_{pk}	30
5.5 Index C_{pm}	31
5.6 Index C_{pmk}	31
5.7 Soubor indexů.....	32
6. Další metody statistické regulace s malou opakovatelností.....	32
6.1 Metoda kumulovaných součtů.....	32
6.2 Klasický diagram EWMA.....	33
6.3 Hotellingův diagram.....	33
7. Analýza firmy.....	34
7.1 Charakteristika firmy.....	34
7.2 Rozbor problémů ve firmě.....	34
8. Popis výrobního procesu, normalita dat.....	35
8.1 Sběr dat.....	35
8.2 Ověření normality dat.....	36
9. Statistická regulace.....	45
9.1 Sestrojení cílových regulačních diagramů.....	46
9.2 Sestrojení standardizovaného regulačního diagramu R.....	49
9.3 Sestrojení standardizovaného regulačního diagramu $\bar{x}$	50

10. Měření způsobilosti procesu.....	52
10.1 Testování způsobilosti produktu o průměru 10 mm.....	53
10.2 Testování způsobilosti produktu o průměru 16 mm.....	54
10.3 Testování způsobilosti produktu o průměru 12 mm.....	55
10.4 Testování způsobilosti produktu o průměru 6 mm.....	56
10.5 Zhodnocení indexů způsobilosti.....	57
11. Zjištění příčin nezpůsobilosti procesu.....	57
11.1 Diagram příčin a následků.....	57
11.2 Diagram PDPC.....	59
11.3 Testování způsobilosti produktu o průměru 10 mm po úpravě procesu.....	61
11.4 Testování způsobilosti produktu o průměru 16 mm po úpravě procesu.....	62
12. Závěr.....	64
13. Seznam použité literatury.....	66
14. Přílohy.....	67

Seznam zkratk

A_2	- součinitel pro výpočet regulačních mezí
C	- cílová hodnota
c	- regulační diagram pro počet neshod
CL	- střední regulační mez
CL_R	- střední regulační mez získaná retransformací
CL_T	- střední regulační mez získána z transformovaných hodnot
C_p	- označení indexu způsobilosti
C_{pk}	- označení indexu způsobilosti
C_{pm}	- označení indexu způsobilosti
C_{pmK}	- označení indexu způsobilosti
CUSUM	- (Cumulative Sum Control Charts) metoda kumulovaných součtů
C_4	- součinitel stanovený pro počet měření v kontrolních záznamech použitých k odhadu směrodatné odchylky
d_2	- součinitel, jehož hodnota má odpovídat předpokládanému rozsahu výběru n , který bude použit při aplikaci standardního diagramu
D_3	- součinitel pro výpočet regulačních mezí
D_4	- součinitel pro výpočet regulačních mezí
EWMA	- (Exponentially Weighted Moving Average) metoda exponenciálně vážených klouzavých průměrů
$g(x)$	- funkce g
k	- počet podskupin
$\ln x$	- logaritmus x
LCL	- dolní regulační mez
LCL_R	- dolní regulační mez získaná retransformací
LCL_T	- dolní regulační mez získána z transformovaných hodnot
LSL	- dolní toleranční mez
mm	- milimetry
MSL	- střední toleranční mez
n	- počet výběrů
p	- regulační diagram pro počet neshodných jednotek
PDPC	- (Proces Decision Programme Chart) diagram jako nástroj jakosti

R	- rozpětí
$\bar{R}$	- průměrné rozpětí
RD	- regulační diagram
R_j	- rozpětí v j-té podskupině
R_{jT}	- hodnota, která se zaznamená do standardizovaného regulačního diagramu R
R_{jz}	- výběrové rozpětí v j-té podskupině pro produkt z
R_{kl}	- klouzavé rozpětí
$\bar{R}_z$	- předpokládaná hodnota průměrného rozpětí pro produkt z
s	- výběrová směrodatná odchylka
SL	- regulační mez
SPC	- (Statistical Process Control) statistická regulace procesu
SR	- statistická regulace
T	- cílová hodnota
u	- regulační diagram pro počet neshod na jednotku
UCL	- dolní regulační mez
UCL_R	- horní regulační mez získaná retransformací
UCL_T	- horní regulační mez získaná z transformovaných hodnot
USL	- dolní toleranční mez
v	- variační koeficient
x	- neznámá hodnota
$\bar{x}$	- výběrový průměr
$\overline{\bar{x}}$	- průměr z výběrového průměru
$\bar{x}_j$	- hodnota v j-té podskupině
$\bar{x}_{jT}$	- hodnota, která se zaznamenává do standardizovaného regulačního diagramu
$\bar{x}_{jz}$	- výběrový průměr v j-té podskupině pro výrobek z
$x_{\max}$	- maximální hodnota v souboru
$x_{\min}$	- minimální hodnota v souboru
$\overline{\bar{x}}_z$	- cílová nebo očekávaná hodnota průměrné úrovně sledovaného znaku jakosti pro výrobek
W	- testové kritérium u Shapiro - Wilkova testu
W^*	- kvantil Shapiro - Wilkova testu
α	- hladina významnosti
μ	- střední hodnota
σ	- směrodatná odchylka

1. Úvod

V současné době, kdy je při výrobě jakéhokoliv produktu potřeba vyrábět co nej kvalitněji, se v České republice podniky pomalu začínají soustředit na zavádění systémů pro zvyšování jakosti jejich produkce. Vyšší jakost výrobků zajišťuje konkurenceschopnost jak na trhu domácím, tak na zahraničním. Potřebu zvyšování jakosti není možné brát na lehkou váhu právě v době, kdy se Česká republika chystá vstoupit do Evropské unie, kde produkty bez odpovídající jakosti nemají šanci na trhu uspět.

Velice důležitým předpokladem ke zkvalitnění výroby je přechod od operačního k procesnímu způsobu řízení výroby. Pokud firma přejde k procesnímu způsobu, je bezpodmínečně nutné probíhající procesy kontrolovat a neustále zlepšovat. To je nedílnou součástí pro případ, že chce podnik vyrábět v maximální možné jakosti. Dále je třeba vzít v úvahu skutečnost, že je správné vyrábět hromadně, ale zároveň diferencovaně podle potřeb zákazníků. Je to úkol pro většinu tuzemských podniků obtížný, ale pokud si tuto skutečnost podniky co nejdříve nevezmou k srdci, nemají proti konkurenci šanci.

Tato diplomová práce se zaměřuje na metody statistické regulace procesů s malou opakovatelností a má následující cíle. Nejprve je důležité nastínit současnou situaci a názory na statistickou regulaci v ČR. Dále je potřeba vysvětlit pojmy statistická regulace a výroba s malou opakovatelností a popsat dostupné metody, které lze pro daný druh výroby použít. Mezi hlavní cíle lze zařadit výběr jedné z uvedených metod pro konkrétní zavedení v podniku. Po zjištění příčin nestability procesu pomocí vhodných nástrojů příčiny odstranit. Po úspěšné regulaci procesu pak výpočet jeho způsobilosti. Protože v procesech s malou opakovatelností nelze nashromáždit dostatečně velký soubor dat, hrozí, že data nebudou normálně rozdělená. Normální rozdělení dat je nutnou podmínkou pro statistickou regulaci pomocí Shewhartových diagramů a pro výpočet indexů způsobilosti. Z tohoto důvodu jsou v práci uvedeny i metody, jak nenormálně rozdělená dat transformovat na data s rozdělením normálním.

2. Statistická regulace procesu, její fáze a příčiny variability procesu

2.1 Současný stav jakosti v ČR

V současné době není v České republice jakost na prvním místě u řídicích pracovníků v podnicích.[13] [14] [15] Řada výrobců a poskytovatelů služeb neví nic o jakosti a vůbec se o ni nezajímá. [13] [14] [15] Pokud se už firmy rozhodly integrovat do svých procesů různé certifikáty jakosti, mají určitý sklon k formalizmu. Většina podniků nechápe určitý certifikát jako prostředek k dosažení cílů, ale jako samotný cíl.[13] [14] [15] Problém je i v samotných vedoucích pracovnících. Ti nepoužívají své znalosti k tomu, aby mohl jejich výrobek obstát ve světové konkurenci. Usilují jen o certifikaci a už ne o skutečné zabezpečování jakosti. Pokud tedy nejprve nebude brána jakost jako jeden z hlavních cílů podniku, bude se statistická regulace procesu jen velice těžko ve firmách prosazovat.

2.2 Statistická regulace procesu

Proto, aby se dala dobře pochopit statistická regulace výroby s malou opakovatelností, je nejprve nutné podrobit rozboru pojem statistická regulace. Ještě před několika lety se jakost výrobků zabezpečovala pomocí kontroly, která probíhala na konci výrobního procesu a měla za úkol nalézt a vyřadit z prodeje výrobky, které z nějakého důvodu neodpovídaly předepsaným normám. Tento způsob „regulace“ byl a je velice nákladný.[1] Tím, že se výrobek vyřadí až po jeho vyrobení, se pomůže jedině v tom, že se nedostane ke spotřebiteli a neklesne tak pověst firmy v mysli zákazníků. Ovšem náklady na výrobu produktu, který se při kontrole ukáže jako nevyhovující, jsou nenávratně vynaloženy a podnik tak přichází o drahocenné finanční prostředky.

Právě statistická regulace procesu má za úkol tento problém řešit. Snaží se předejít zbytečnému vynakládání všech zdrojů, k čemuž je potřeba mít neustálý přístup k údajům o procesu. Na základě těchto dat lze pak proces stimulovat takovým způsobem, aby bylo tvorbě vadných produktů zabráněno již před jejich vyrobením.

“Statistická regulace procesu tedy představuje preventivní nástroj řízení jakosti, neboť na základě včasného odhalování významných odchylek v procesu od předem stanovené úrovně umožňuje realizovat zásahy do procesu s cílem udržovat jej dlouhodobě na přípustné a stabilní úrovni, popř. umožnit proces zlepšovat.” Citace z [2], str. 165

Ještě před vysvětlením statistické regulace výroby s malou opakovatelností je třeba pochopit systém SPC v hromadné výrobě. Při výrobě s malou opakovatelností se vychází právě z klasických regulačních diagramů, které jsou pak pro potřebu této specifické výroby odpovídajícím způsobem modifikovány.

Statistická regulace se snaží eliminovat jednu z hlavních vlastností procesu - variabilitu. Na proces a na jeho výstupy působí mnoho vlivů předvídatelných a nepředvídatelných. To způsobuje, že nelze vyrobit dva produkty s naprosto stejnými vlastnostmi.[2] Statistická regulace se snaží tyto vlivy odhalovat a na základě údajů v průběhu určitého časového pásma se snaží tyto vlivy rozpoznat a eliminovat na minimum a díky tomu i předpovědět chování procesu v budoucnu. Pod **snížením variability** si lze představit:

- stejnoměrnější výrobu,
- menší pravděpodobnost výskytu neshodných produktů,
- menší rozsah kontroly a nižší náklady na kontrolu a zkoušení,
- nižší náklady vyvolané poruchami procesu, produkováním odpadu a jednotek vyžadujících přepracování,
- více spokojených zákazníků. [2] [1]

2.3 Příčiny variability procesu

Existují dva základní druhy příčin variability procesu. Jedná se o:

- náhodné příčiny
- vymezitelné příčiny

a) Náhodné příčiny

Jedná se o souhrn příčin, které nelze předem identifikovat a každá z nich se svou měrou podílí na variabilitě procesu. Jestliže ovlivňují proces pouze tyto příčiny, lze jej charakterizovat následovně:

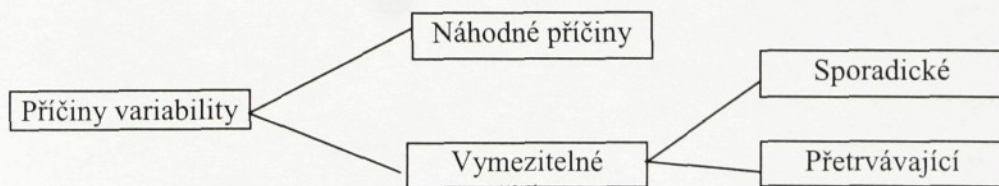
- proces je ve statisticky stabilním stavu,
- proces lze redukovat a jakost jeho výstupů je předvídatelná. [2]

b) Vymezitelné veličiny

Jsou to příčiny, které za běžných podmínek na proces nepůsobí. Vyvolávají reálné změny procesu, které způsobují neočekávané kolísání údajů v procesu. Působí-li na proces tyto příčiny, lze jej popsat takto:

- proces není reprodukovatelný a jakost jeho výstupů není předvídatelná,
- proces není statisticky stabilní. To znamená, že typ a parametry rozdělení znaku jakosti se v čase mění a o to těžší je hodnotit variabilitu procesu. [2]

Pokud chce podnik zlepšovat svůj proces, měl by neustále sledovat působení různých příčin na výrobní proces, snažit se je co nejrychleji identifikovat a rychle najít vhodné řešení, které by pomohlo tyto příčiny eliminovat. Nejdůležitější je eliminace vymezitelných příčin, protože pak je chování procesu předvídatelné, plánovatelné do budoucna a hlavně dobře sledovatelné a schopné plnit požadavky zákazníka. [2]



Obr. 1. - Rozdělení příčin, působících na variabilitu procesu [2]

2.4 Fáze statistické regulace

Statistická regulace probíhá v několika fázích, které je nutné pro správné zvládnutí regulace dodržovat: **přípravná fáze, fáze zabezpečování stavu statistické zvládnutelnosti procesu, fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu, fáze vlastní statistické regulace.**

Přípravná fáze

- Podnik musí stanovit cíle regulace.
- Určit znak jakosti, který bude sledován a zaznamenáván. Též se musí rozhodnout, kolik znaků jakosti bude sledováno dohromady
- Stanovit, kdy a v jakých místech procesu bude probíhat kontrola produktu. Je to důležitá část přípravné fáze, protože včasná kontrola pomůže odhalit nesoulad s plány výroby a tím minimalizuje náklady na opravy.
- Určit, jaká metoda pro získávání potřebných dat bude pro podnik nejúčinnější.
- Zvolit vhodnou délku kontrolního intervalu, která závisí na charakteru výroby, délce výrobního cyklu a na dalších vlastnostech výrobního procesu.

Zabezpečení statistické zvládnutelnosti

Cílem je zabezpečit minimalizaci vymezitelných vlivů na výrobní proces a vytvoření podmínek, aby se žádný z těchto vlivů neopakoval. Pro tuto fázi statistické regulace se používá dvojice diagramů ($\bar{x}$ a R).

- Sestrojí se diagram R .
- Proveďte se jeho analýza a zjistí se, zda nějaké body leží mimo regulační meze diagramu. Pokud ano, musí se identifikovat příčina a přijme se opatření, které ji odstraní nebo omezí.
- Vyloučí se výběry, které překročily regulační mezee a přepočtou se nové regulační meze.
- Kroky 1 – 3 se opakují tak dlouho, dokud se všechny body nevejdou do stanovených regulačních mezí. Tím jsou vyloučeny vymezitelné vlivy. Není cílem, vyloučit nepohodlné hodnoty, ale pouze stanovit takové regulační meze, které nejlépe ukazují pásmo, kde působí pouze vlivy náhodné.

Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

Analýza a zabezpečení způsobilosti procesu probíhá pomocí indexů způsobilosti, kterým bude věnována 5. kapitola této práce.

Fáze vlastní statistické regulace

Po všech předchozích krocích statistické regulace se všechny zjištěné výsledky shromáždí a komplexně se vyhodnotí. Na základě vyhodnocení se pak přijímají nápravná opatření.

[4] [2]

2.5 Regulační diagram

Vychází z principů testování statistických hypotéz a zobrazuje průběh procesu a jeho variabilitu. V diagramu je nejnnutnější určit tři základní linie, které ukazují, jestli je proces statisticky zvládnutý a jeho variabilita je tak omezena na minimum. Jedná se o přímky UCL, LCL a CL. Přitom přímka CL znázorňuje tzv. požadovanou hodnotu znázorněného a sledovaného znaku jakosti, UCL představuje horní regulační mez znaku jakosti a LCL představuje mez dolní. Referenční (požadovaná) hodnota může být dle [2] definována několika způsoby:

- jako nominální hodnota (např. hodnota, která je daná určitými předpisy nebo přímo požadavkem zákazníka),
- jako hodnota, vzniklá ze zkušeností s podobným nebo stejným výrobním procesem,
- jako odhad z hodnot regulované veličiny, získaných v podmínkách statisticky zvládnutého stavu procesu.

Prostor mezi přímkami (UCL a LCL) vymezuje pásmo, ve kterém na proces působí pouze náhodné veličiny. To znamená, že pokud se hodnoty znaku jakosti pohybují v těchto mezích, je proces zvládnutý a tím jsou z něj úspěšně odstraněny příčiny vymezitelné. Pokud ovšem sledovaná hodnota překročí stanovené meze, je proces pokládán za statisticky nezvládnutý a je třeba identifikovat příčinu odchylky a co nejrychleji se snažit tuto příčinu odstranit. Výpočet UCL a LCL se liší podle typu výroby.

3. Regulační diagramy pro procesy s nízkým stupněm opakovatelnosti

3.1 Charakteristika výroby s malou opakovatelností

V současné době je výroba ovlivňována hlavně požadavky zákazníka. Každý z těchto zákazníků má na produkt odlišné požadavky a díky tomu roste podíl výroby s nízkou opakovatelností. Jejimi základními charakteristikami jsou:

- nemožnost získat dostatečný počet výběrů pro stanovení odhadu parametrů rozdělení regulované veličiny a pro výpočet regulačních mezí,
- nepružný systém statistické regulace v důsledku velkého množství samostatných regulačních diagramů,
- výrobní procesy se málo opakují,
- procesy mají krátké výrobní cykly,
- zákaznický orientovaná výroba se složitým výrobním mixem a malými výrobními dávkami. [4] [2]

Metodou, která dokáže tyto problémy zpracovat, je tzv. aplikace „**Short Run**” diagramů.

3.2 Druhy „Short – run” diagramů

Pomocí transformace dat různých produktů, převedených na stejné rozdělení, pracují metody statistické regulace pro různé druhy produktů či znaků jakosti jen s jedním regulačním diagramem. Je proto možné použít pro všechny produkty společných regulačních mezí. Podle toho, jakým způsobem transformace probíhá, se rozlišují základní dva typy „Short – run“ diagramů: [3]

a) cílové regulační diagramy

b) standardizované regulační diagramy

Pomocí těchto metod lze docílit minimalizace počtu regulačních diagramů. Zmizí tak problém nedostatečného počtu výběrů, dochází ke skutečnému sledování procesu a nikoliv jen jeho výstupů. Výhodnou je možnost sledování působení vymezených příčin na proces jak z celkového pohledu, tak z pohledu na jeho jednotlivé části. [2] [4] [3]

3.2.1 Cílové regulační diagramy

V metodě se pro převedení dat používá výpočet odchylky naměřené hodnoty od hodnoty požadované. Za hodnotu lze považovat např. výběrový průměr. Předpoklady pro tento typ regulačního diagramu jsou následující:

- konzistentní variabilita procesu u produktů, které mají být sledovány.
- normalita a nezávislost dat.

Nejlépe aplikovatelný je cílový regulační diagram na procesu, který vyrábí podobné výrobky. Sleduje se stejný nebo podobný znak jakosti, který se musí měřit ve stejných jednotkách. Klíčovým momentem při konstrukci cílového diagramu je stanovení cílové hodnoty C . Lze ji definovat takto:

- jmenovitá hodnota (u symetrických mezních hodnot se jedná o střed tolerančního pole¹)
- hodnota, dostatečně vzdálená od horní či dolní mezní hodnoty (při jednostranných mezních hodnotách)
- hodnota definovaná zkušenými pracovníky daná výrobními či jinými omezeními (hodnota, která se liší od středu tolerančního pole)

Tři základní metody pro statistickou regulaci měřením pro uvedené situace jsou dle [4] následující:

- Cílový regulační diagram pro individuální hodnoty (x_i) a regulační diagram pro klouzavá rozpětí (R_{kl})
- Cílový regulační diagram pro výběrové průměry ($\bar{x}$) a regulační diagram pro výběrová rozpětí (R)
- Cílový regulační diagram pro výběrové průměry a regulační diagram pro výběrové směrodatné odchylky (s)

Pro správné sestavení regulačního diagramu pro výběrový průměr a pro výběrové rozpětí je třeba dodržovat dle [2] [4] následující postup:

¹ Prostor mezi horní a dolní toleranční mezí, které udávají možnou odchylku od cílové hodnoty, uvedené v technologickém předpisu daného výrobku. [2] [3]

Krok 1 - Definování rozsahu výběru.

Krok 2 - Určení kontrolního intervalu (v časových jednotkách nebo v jednotkách množství).

Krok 3 - Sběr a záznam hodnot sledovaného znaku jakosti.

Krok 4 - Volba cílových hodnot pro jednotlivé produkty.

Krok 5 - Výpočet výběrových průměrů a výběrových rozpětí.

Krok 6 - Výpočet odchylek výběrových průměrů od odpovídajících cílových hodnot.

Krok 7 - Výpočet polohy střední přímky a regulačních mezí pro regulační diagram rozpětí.

Krok 8 - Zakreslení střední přímky, regulačních mezí a hodnot (R_j) do diagramu.

Krok 9 - Analýza regulačního diagramu (R).

Krok 10 - Výpočet polohy střední přímky a regulačních mezí pro cílový diagram ($\bar{x}$).

Krok 11 - Zakreslení střední přímky, regulačních mezí a vypočtených hodnot do diagramu.

Krok 12 - Analýza cílového regulačního diagramu ($\bar{x}$).

Analýza regulačního diagramu (R)

- a) jestliže se v diagramu neobjevují žádné body mimo regulační meze a ani nedochází k náhodným seskupením, je možné přejít k sestrojení regulačního diagramu ($\bar{x}$),
- b) jestliže diagram naznačuje, že dochází k vysoké variabilitě procesu, pak není možné sestrojit věrohodné regulační meze v diagramu ($\bar{x}$).

Pro produkty, které vykazují velikou variabilitu ve srovnání s ostatními, lze vytvořit samostatné klasické Shewartovy regulační diagramy nebo použít standardizované regulační diagramy

Analýza cílového regulačního diagramu ($\bar{x}$)

Při pohledu na sestrojený regulační diagram je přesně vidět, jak se zaznamenané hodnoty pohybují kolem stanovené cílové hodnoty. Je zřejmé, že pokud $(\bar{x}_j - C)$ dosáhne hodnoty 0, rovná se naměřený průměr cílové hodnotě. Pokud je hodnota různá od nuly, tak se naměřený průměr pohybuje nad nebo pod cílovou hodnotou. Výrobní proces lze považovat za správně nastavený právě v případě, kdy se naměřené průměry budou shodovat s cílovou hodnotou. Z diagramu lze vyčíst i správnost nastavení procesu pro každý produkt zvlášť, který je v diagramu zpracován.

3.2.2 Standardizované regulační diagramy

Transformace u standardizovaných regulačních diagramů spočívá v převedení hodnot regulované veličiny na bezrozměrnou veličinu. Používají se zejména pro procesy, jejichž variabilita při výrobě různých produktů je nekonzistentní a nebo v případě, že je třeba v jednom diagramu zaznamenat průběh několika procesů.

Podle způsobu regulace lze dle [3],[4] použít následující regulační diagramy:

a) pro regulaci měřením

- standardizované regulační diagramy (x_j, R_{kl}),
- standardizované regulační diagramy ($\bar{x}, R$),
- standardizované regulační diagramy ($\bar{x}, s$).

b) pro regulaci srovnáváním

- standardizované regulační diagramy (p),
- standardizované regulační diagramy (c),
- standardizované regulační diagramy (u).

Princip standardizovaných regulačních diagramů ($\bar{x}, R$) [1]

Pokud platí, že $LCL < R_j < UCL$ (1), pak lze proces považovat za statisticky zvládnutý. Může nastat situace, kdy se průměrné R pro každý produkt mění, což způsobí i pohyb regulačních mezí pro každý produkt zvlášť. V případě, že mají být meze nezávislé na průměrném rozpětí, musí se použít vztah:

$$D_3 = R_j / \bar{R} = D_4 \quad (2)$$

Do regulačního diagramu se pak chronologicky zapisují hodnoty:

$$R_{jT} = R_{jz} / \bar{R}_z \quad (3)$$

R_{jz} je výběrové rozpětí v j -té podskupině pro produkt z ,

$\bar{R}_z$ je předpokládaná hodnota průměrného rozpětí pro produkt z ,

D_3 součinitel pro výpočet regulačních mezí,

D_4 součinitel pro výpočet regulačních mezí.

Pro standardizovaný regulační diagram (R) platí:

$$UCL = D_4 \quad CL = 1 \quad LCL = D_3 \quad (4)$$

Pro proces ve statisticky zvládnutém stavu při použití diagramu (x) platí:

$$LCL = \bar{x}_j = UCL, \text{ tj. } (5)$$

$$\bar{\bar{X}} - A_2 R = \bar{x}_j = \bar{\bar{X}} + A_2 R. \quad (6)$$

Regulační diagram (x) musí být nezávislý jak na hodnotě $\bar{x}$, tak na hodnotě R, proto musí projít následující transformací:

$$-A_2 = (\bar{x}_j - \bar{\bar{X}})/R = A_2 \quad (7)$$

Do regulačního diagramu se pak zakreslují pro všechny produkty hodnoty:

$$\bar{x}_{jt} = (\bar{x}_{jz} - \bar{\bar{x}}_z)/\bar{R}_z. \quad (8)$$

A_2 součinitel pro výpočet regulačních mezí

$\bar{x}_{jz}$ je výběrový průměr v j-té podskupině pro výrobek z,

$\bar{x}_z$ je cílová nebo očekávaná hodnota průměrné úrovně sledovaného znaku jakosti pro výrobek.

Pro transformovaný regulační diagram (x) platí:

$$LCL = -A_2 \quad CL = 0 \quad UCL = A_2 \quad (9)$$

Mezi největší výhody uvedených diagramů patří možnost použití jednoho regulačního diagramu pro více podobných produktů, pokud lze dodržet konstantní rozsah výběru n. Regulační meze lze použít hned po naměření hodnot v prvním výběru^{*)}. Nemusí se tedy čekat na větší množství výběrů a hlavně se nemusejí přepočítávat regulační meze, pokud se nezmění rozsah výběru n.

Nejdůležitějším krokem k sestavení diagramu je určení hodnot $\bar{\bar{x}}_z$ a $\bar{R}_z$. Dle [3] existuje několik metod, jak tento problém vyřešit:

1. Stanovit je z regulačních diagramů (R) a ($\bar{x}$) pro jednotlivé produkty.
2. Využít informací ze záznamu o kontrole.
3. Stanovit je podle podobných znaků jakosti, produktů či parametrů procesu.

^{*)} Souhrn kontrolovaných výrobků ze všech vyrobených

4. Využít tolerančních mezí, resp. jmenovité hodnoty.
5. Stanovit je na základě odhadu kompetentního zkušeného pracovníka.

Ad 1) Metoda vychází z toho, že se už v minulosti sestrojil regulační diagram pro jednotlivé výrobky a proces se ukázal jako statisticky zvládnutý. Pro odhad hodnoty ($\bar{R}_z$) lze použít hodnotu střední přímký CL z diagramu (R) a jako odhad ($\bar{\bar{x}}_z$) lze použít hodnotu střední přímký CL z regulačního diagramu ($\bar{x}$).

Ad 2) Hodnota (R_z) se stanoví podle následujícího vzorce:

$$\bar{R}_z = (d_2/C_4) * s_z \quad (10)$$

s_z je výběrová směrodatná odchylka, stanovená z naměřených hodnot sledovaného znaku jakosti pro z-tý produkt, obsažených v kontrolních záznamech, které charakterizují normální výrobní podmínky za určité období.

C_4 je součinitel, stanovený pro určitý počet měření v kontrolních záznamech použitých k odhadu směrodatné odchylky (s_z)

d_2 je součinitel, jehož hodnota má odpovídat předpokládanému rozsahu výběru (n), který bude použit při aplikaci standardního diagramu

Hodnotu ($\bar{\bar{x}}_z$) lze stanovit jako průměr hodnot měření sledovaného znaku jakosti u z-tého produktu za určité minulé období, které jsou obsaženy v kontrolních záznamech, charakterizujících normální výrobní podmínky.

Ad 3) Použije se v případě, že je potřeba regulovat nové produkty a už v minulosti se stejné diagramy tvořily na podobné výrobky. V tomto případě se pro odhady hodnot ($\bar{R}_z$) a ($\bar{\bar{x}}_z$) použijí odhady hodnot již získané u starších výrobků.

Ad 4) Využívá se v případě, že předchozí tři se nedají aplikovat. Metoda se doporučuje použít jen výjimečně.

$$R_z = (d_2/6) * (USL - LSL) \text{ nebo}$$

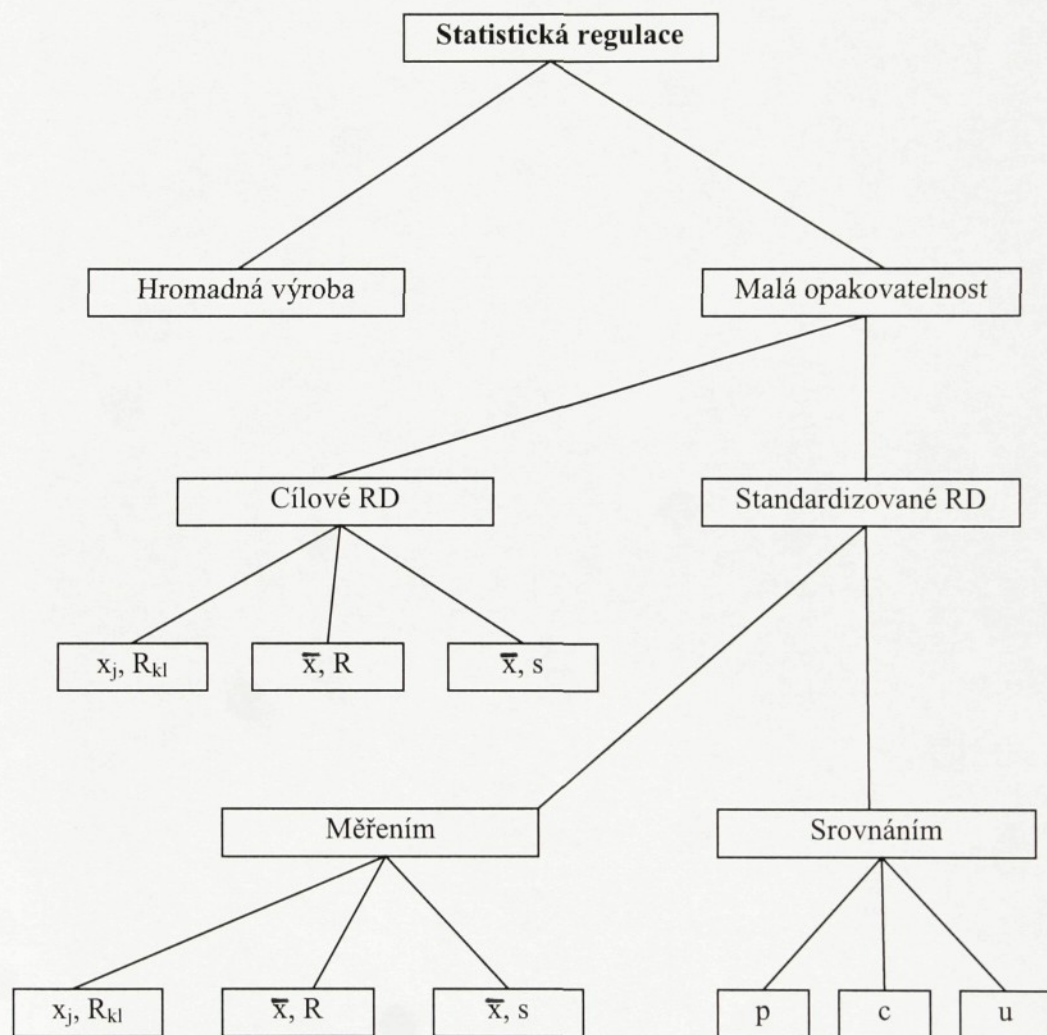
$$R_z = (d_2/3) * |SL - \bar{\bar{x}}_z| \quad (11)$$

Jako (x_z) lze použít jmenovitou hodnotu pro z-tý produkt.

Ad 5) Jak již název napovídá, jedná se o metodu, která je založena na odborném odhadu zkušeného pracovníka. Ten určí, v jakých tolerancích je stroj schopný vyrábět a tento odhad

pak lze pokládat za odhad pásma přirozené variability procesu (pásma 6σ). Na základě takto získaných informací se vypočítá směrodatná odchylka. (R_z) se pak získá opět ze vztahu:

$$R_z = (d_2/C_4) \times s_z \quad (12)$$



Obr. 2. - Schéma regulačních diagramů pro výrobu s malou opakovatelností

4. Regulační diagramy pro data s nenormálním rozdělením

Standardní regulační diagramy pro statistickou regulaci procesu jsou založeny na předpokladu normality dat, se kterými se pracuje. V případě, že se proces jeví jako statisticky

nezvládnutelný, je potřeba zjistit, jestli to není způsobeno tím, že se pracovalo s daty nenormálního rozdělení. Největší riziko hrozí právě v případě, že se pro statistickou regulaci použije malý rozsah výběru (n), což je typické pro statistickou regulaci pro výrobu s malou n . Proto existuje velká pravděpodobnost, že zmíněná situace nastane. [2] [4] Problém nenormality lze eliminovat zvolením **transformace dat** na rozdělení, které se bude jevit jako normální.

4.1 Princip transformace dat

Pro transformaci dat je nejdůležitější zvolit vhodnou transformační funkci, která naměřená data převede na data s normálním rozdělením.[2] Cílem vybrané funkce je stabilizace rozptylu a zejména symetrické vyrovnaní dat a dále též normalita dat. Transformace vychází z předpokladu, že analyzovaná data jsou nelineární transformací normálně rozdělené náhodné veličiny X . K nim se pak hledá inverzní transformační funkce $g(x)$. Pro získání symetrického rozdělení výběrového souboru se použije mocninná transformace:

$$y = g(x) = X^\lambda \quad \text{pro } \lambda > 0 \quad (13)$$

$$y = g(x) = -X^{-\lambda} \quad \text{pro } \lambda < 0$$

$$y = g(x) = \ln x \quad \text{pro } \lambda = 0 \quad (14)$$

V praxi obvykle pro mocninnou λ postačují hodnoty $\lambda = \{2; 0.5; -0.5; -1\}$ a pro logaritmickou transformaci $\ln x$ je pak hodnota $\lambda = 0$, přičemž nejvíce se používá transformace s hodnotou $\lambda = 0.5$ a logaritmická transformace. V situaci, kdy se odchylky od normálu násobí (např.: měření objemů, hmotností), se použije transformace logaritmická a druhý nejrozšířenější typ transformace lze použít při analýze geometrických veličin (např.: rovinnost, rovnoběžnost).

Pokud je provedena správná transformace, lze s daty pracovat stejně jako s daty netransformovanými. Tedy lze určovat jejich charakteristiky, sestavovat regulační diagramy, testovat hypotézy. Na konci celého procesu je však zapotřebí získat všechny charakteristiky i pro původní naměřené hodnoty a také v původních měrných jednotkách, proto se provede **zpětná transformace**, která se získá pomocí prosté inverzní transformační funkce. Např. při použití jednoduché mocninné transformace s parametrem $\lambda = 0$ se hodnota

retransformovaného průměru x_R stanoví takto: $x_R = e^Y \quad (15)$

4.2 Využití transformace ve statistické regulaci

Pomocí transformace je možné pracovat s malými výběry a stanovovat indexy způsobilosti (C_p) a (C_{pk}). Celý transformační proces se podle [2] skládá z několika kroků:

1. Nejprve se sestrojí regulační diagram ($\bar{x}_j$) pro skutečně naměřené hodnoty. Z něho je pak vidět, zda jsou hodnoty normálně rozdělené či nikoliv. Poznává se to hlavně díky tomu, že většina hodnot leží pod střední přímkou CL a některé zase blízko horní regulační meze UCL. Pro větší vypovídací schopnost lze sestrojit ještě histogram, který ukáže nenormálnost rozdělení přehledněji.
2. Aby se vyloučila možnost špatné úvahy, jsou sestrojeny ještě další diagramy, které mají jasně prokázat, že jsou data nenormálně rozdělena. Používá se hlavně krabicový graf a pravděpodobnostní graf.
3. Předchozí závěry se ověří pomocí statistických hypotéz
 - pro velké rozsahy výběru se použije test χ^2 dobré shody,
 - test výběrové šikmosti a špičatosti se hodí pro malé i velké výběry,
 - pro malé výběry se použije test Shapiro-Wilk.

4. Volba vhodné transformační funkce

Tento bod se samozřejmě realizuje jen v případě, že předchozí tři kroky zjistily, že jsou data nenormálně rozdělená a je proto třeba je transformovat. Viz kapitola 4.1.

5. Ověření normality dat

Po transformaci je potřeba se ujistit, že jsou data normálně rozdělená a proto se opakují body 1 - 3, aby se vyloučila možnost nenormality. Pokud se proces i po transformaci jeví jako statisticky nezvládnutý, může to být důsledek následujících faktorů:

- byla zvolena špatná transformační funkce $g(x)$. Pak je potřeba zvolit novou a celá analýza se musí opakovat,
- proces vykazuje variabilitu mezi podskupinami,
- proces není statisticky zvládnutý „díky“ působení neznámých příčin. To vyžaduje aplikaci postupu, kdy se identifikuje příčina a realizuje nápravné opatření pro její odstranění a tím se

zajistí statistická zvládnutost procesu.

6. Transformace předepsaných specifikací a hodnocení způsobilosti pomocí ukazatelů (C_p) a (C_{pk}). Příklad vzorce pro transformaci indexu C_{pk} :

$$C_{pk} = [\ln(USL) - y] / [3 * s_{(y)}] \quad (16)$$

7. Proveďte se retransformace. Stanoví se retransformované regulační meze LCL_R , UCL_R a střední přímka CL_R a zakreslí se regulační diagram s retransformovanými regulačními mezemi.

Transformace mezí může proběhnout pomocí následujících vzorců:

$$CL_R = e^{CL_T} \quad (17)$$

$$LCL_R = e^{LCL_T} \quad (18)$$

$$UCL_R = e^{UCL_T} \quad (19)$$

Meze označené indexem (T), jsou vypočítány z transformovaných hodnot a meze s indexem (R) jsou meze získané zpětnou transformací.

5. Způsobilost procesu

Pokud podnik provede statistickou regulaci procesu, je také důležité zjistit, jestli proces vyrábí ve stanovených tolerančních mezích. Existuje několik ukazatelů, jak tuto schopnost procesu měřit a vykazovat. Všechny ukazatele se vyznačují jednoduchým výpočtem, srozumitelností, vypovídací schopností a názorností. Každý z těchto ukazatelů má omezenou použitelnost, určenou jednoznačnými pravidly.

Cílem hodnocení způsobilosti je:

- prokázat schopnost procesu udržet cílovou hodnotu ukazatele jakosti
- určit míru variability kolem cílové hodnoty

V současné době se podniky omezují pouze na použití libovolného indexu způsobilosti a neberou ohled na to, že jakýkoliv z těchto indexů dává správné výsledky pouze za určitých podmínek, jejichž splnění je potřeba ověřit. Ke každé vypočítané hodnotě by měla následovat diskuse ve formě vyhodnocení, nejlépe testem. Takto vzatý proces hodnocení způsobilosti lze nazvat jako **komplexní hodnocení**, které probíhá v následujících krocích:

- a) Test předpokladů, za kterých lze použít vybrané ukazatele způsobilosti.

b) Výpočet vybraných ukazatelů způsobilosti.

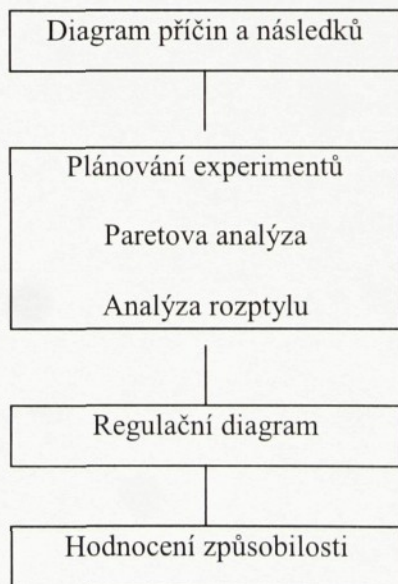
c) Testování významnosti vypočítaných ukazatelů a jejich využití k analýze výrobního procesu.

Existuje několik ukazatelů, které mají různé podmínky jejich užití, a proto je tedy důležité vybrat ten nejvhodnější. Prvním kritériem je skutečnost, zda je znak jakosti kvalitativní nebo kvantitativní. Pokud se jedná o kvantitativní znak jakosti, musí se zjistit, zda se jedná o normální nebo nenormální rozdělení.

5.1 Postup hodnocení způsobilosti

1. Nalézt všechny vlivy, které mohou negativně ovlivnit jakost.
2. Vybrat hlavní příčiny.
3. Zajistit trvalou kontrolu a stabilitu procesu.
4. Je-li sledovaný faktor stabilizován, provést hodnocení způsobilosti. [2]

Obr. 3 ukazuje, jaké nástroje řízení jakosti lze v jednotlivých krocích hodnocení způsobilosti použít. Výčet není úplný a nabízí pouze přehled nejpoužívanějších nástrojů.



Obr. 3. - Příklady použití nástrojů v jednotlivých krocích hodnocení způsobilosti podle [2]

5.2 Měření způsobilosti při normálním rozdělení

Při normálním rozdělení dat lze jako nejjednodušší metodu pro hodnocení způsobilosti použít výběrový průměr ($\bar{x}$) a rozptyl.

$$\bar{x} = (\sum x_i) / n \quad (20)$$

$$s^2 = [\sum (x_i - \bar{x})^2] / (n - 1) \quad (21)$$

Rozptyl udává rozptýlenost hodnot kolem průměru. Může být počítán také vzhledem k mediánu (M) nebo k hodnotě, která je považována za cílovou (T). Vzorce jsou podle [2] pak upraveny takto:

$$s^2_M = [\sum (x_i - M)^2] / (n - 1) \quad (22)$$

$$s^2_T = [\sum (x_i - T)^2] / (n - 1) \quad (23)$$

Nevýhodou rozptylu je, že jeho velikost závisí na jednotkách, se kterými se pracuje. Není proto jednoduché určit, zda je velký či malý. Proto, aby se dal proces hodnotit pomocí rozptylu, je potřeba mít ještě jiný rozptyl ve stejných jednotkách nebo zvolit formu variačního koeficientu.

$$v = s / \bar{x} \quad (24)$$

Variační koeficient je bezrozměrný. Existuje poznatek [2], že pro $100 \cdot v > 50$ (25) je rozptyl považován za velký. Další metodou pro měření způsobilosti je rozpětí R , které je rozdílem maximální naměřené hodnoty a minimální naměřené hodnoty. Je ovšem značně nespolehlivý, vzhledem k tomu, že hodnoty mohou být odlehlé od ostatních v souboru.

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (26)$$

Dále se používají tzv. **indexy způsobilosti**. Mají různé podmínky použití a své specifické vlastnosti. Existuje několik druhů indexů. Pro všechny je však stejný základ, vycházející z hodnocení poměru předepsané přesnosti a skutečně dosahované přesnosti. Předepsaná přesnost je dána tolerancí a cílovou hodnotou a skutečná přesnost je vyjádřena rozptylem.

5.3 Index C_p

Patří mezi nejstarší indexy a je definován vztahem [4] [3]:

$$C_p = (USL - LSL) / 6 \cdot \sigma \quad (27)$$

Jestliže není známa směrodatná odchylka (σ), použije se výběrová směrodatná odchylka (s).

Aby bylo jasné, co hodnota indexu (C_p) ukazuje a jak ji ohodnotit, převrátí se hodnota (C_p) a vyjádří se v %. (Např.: je-li $C_p = 0,7$, pak jeho převrácená hodnota v procentech je $100 \cdot (1/0,7) = 143$ %. Číslo říká, že je toleranční interval využit na 143 % a je výrazně překročen.)

Index (C_p) je vhodný pouze pro data s normálním rozdělením. Proto je nutné mít absolutní jistotu v tom, že zpracovávaná data jsou normálně rozdělená. Další nevýhodou indexu je, že nebere v potaz úroveň centrování procesu a míru využití tolerance. Pokud je proces centrován, jeho průměrné hodnoty se shodují s cílovou hodnotou (T). Index (C_p) zjišťuje, zda proces vyrábí v tolerančních mezích. Už se v něm neodrazí skutečnost, že průměrné hodnoty se od cílové hodnoty liší.

Shrnutí podmínek pro použití indexu (C_p):

- a) Proces je stabilizován,
- b) data neobsahují odlehlá pozorování,
- c) měření má normální rozdělení,
- d) cílová hodnota se musí rovnat hodnotě průměrné,
- e) správně stanovený toleranční interval.

Proto, aby se dala vyloučit nutnost mít proces vycentrován k cílové hodnotě, nebo aby index díky své hodnotě ukázal na to, že proces není centrován, byly konstruovány další indexy. Jedním z nich je index C_{pk} .

5.4 Index C_{pk}

Výpočetem je složitější [4] [3]. Vychází ze dvou podindexů, z nichž se pak použije výsledek toho, který vykázal minimální hodnotu. Opírá se o následující vzorce:

$$C_{pU} = (USL - \mu) / 3*s \quad (28)$$

$$C_{pL} = (\mu - LSL) / 3*s \quad (29)$$

$$C_{pK} = \min (C_{pL}, C_{pU}) \quad (30)$$

Pokud jedna z hodnot indexů (C_{pU}) a (C_{pL}) bude rovna 0, pak to znamená, že střední hodnota překračuje toleranční meze a index $C_{pK} = 0$. V praxi se lze setkat s tím, že se počítají i záporné hodnoty indexu. Zjistí-li firma, že např. index $C_{pK} = -2,5$, znamená to, že proces není statisticky zvládnutý a hodnoty se pohybují mimo toleranční meze. Pokud např. za dva měsíce firma spočítá C_{pK} na -1,0, je zřejmé, že v procesu došlo ke zlepšení a naměřené hodnoty se blíží ke stanoveným mezím.

U výroby s malou opakovatelností nastává situace, kdy je třeba určit způsobilost procesu v případě, že se zkoumá několik výrobků a z každého se bere různý výběr o n jednotkách. V tom případě je nutné také vypočítat rozptyl a lze si vybrat ze dvou způsobů.

- a) Všechna data budou spojena do jednoho souboru o rozsahu $k*n$ hodnot. Z nich se pak vypočítá rozptyl s^2 .
- b) Z už spočítaných rozptylů se spočítá průměr z rozptylů, který bude představovat celkový rozptyl.

Při sledování indexu (C_{pK}) při různých cílových a středních hodnotách, lze zjistit, že pokud roste rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami, index (C_{pK}) se zhoršuje. To znamená, že je schopen zachytit nedodržení cílové hodnoty a není tedy nutná podmínka

střední hodnota = cílové hodnotě.

Souhrnné podmínky pro použití indexu C_{pK} :

- a) Stabilizovaný proces,
- b) data neobsahují odlehlá pozorování,
- c) soubor má normální rozdělení,
- d) správně stanovený toleranční interval.

5.5 Index C_{pm}

Index je dalším stupněm ve vývoji indexů způsobilosti [2]. Jeho základní tvar je:

$$C_{pm} = (USL - LSL) / 6 * \tau \quad (31)$$

$$\tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2 \quad (32)$$

V případě, že nejsou k dispozici charakteristiky střední hodnoty a σ , je místo nich použito výběrového průměru a směrodatné odchylky. τ^2 je možné vypočítat přímo z dat a to následujícím způsobem:

$$\tau^2 = [\sum (x_i - T)^2] / n \quad (33)$$

Předpokladem pro použití indexu C_{pm} je symetrická tolerance. Znamená to, že střední přímka MSL tolerančních mezí musí být uprostřed přímek USL a LSL. Pak platí:

$$USL - MSL = MSL - LSL \quad (34)$$

Souhrnné předpoklady pro použití indexu C_{pm} :

- a) Proces je stabilizován,
- b) data neobsahují odlehlá pozorování,
- c) soubor má normální rozdělení,
- d) tolerance je symetrická.

5.6 Index C_{pmk}

Vychází z indexu C_{pm} a jeho rovnice má tvar [2]:

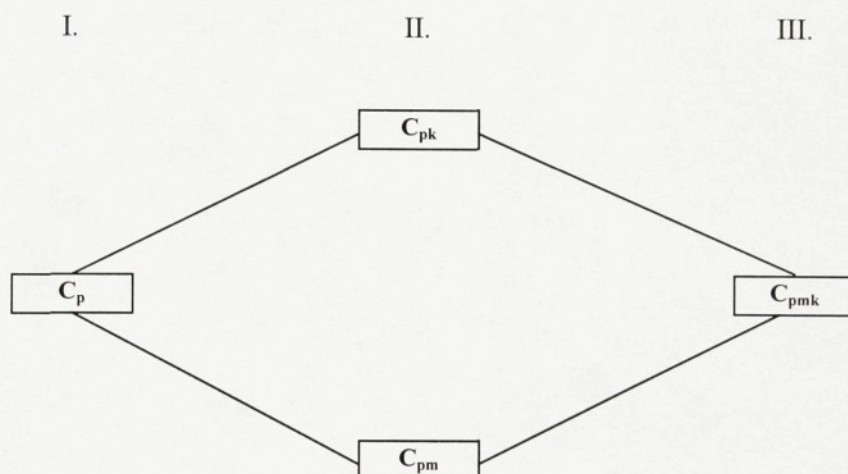
$$C_{pmk} = \min [(USL - \mu) / 3 * \tau, (\mu - LSL) / 3 * \tau] \quad (35)$$

Souhrnné předpoklady pro použití indexu C_{pm} :

- a) Proces je stabilizován,
- b) data neobsahují odlehlá pozorování,
- c) soubor má normální rozdělení,
- d) tolerance je symetrická.

5.7 Soubor indexů

Aby byl lépe pochopen vztah všech zmíněných indexů, ukazuje následující diagram jejich vývoj a zlepšení. Index (C_{pk}) je vylepšen v čitateli a index (C_{pm}) byl vylepšen ve jmenovateli. V případě indexu C_{pmk} je zřejmé, že prodělal vylepšení jak v čitateli, tak ve jmenovateli.



Obr. 4. - Vývojová řada indexů způsobilosti [2]

Z obr. 4. je vidět, že index (C_{pmk}) je nejnovější a v mnoha případech i nejkvalitnější. To ovšem neznamená, že stačí, když se bude pracovat jenom s ním. Je velice důležité při hodnocení způsobilosti vypočítat větší množství indexů, aby bylo možné provést komplexní posouzení procesu. Při výběru toho nejlepšího indexu je třeba brát ohledy na podmínky jeho použití, statistické vlastnosti a na jeho výpočetní složitost. [2]

6. Další metody statistické regulace s malou opakovatelností

6.1 Metoda kumulovaných součtů

Tato metoda není založena na Shewhartových diagramech. [2] Diagramy pro tuto metodu vytvořil Page v roce 1954. Metoda vznikla z předpokladu, že přetrvávající příčiny vyvolávají příčiny náhlé. Pokud odchylky nejsou většího rázu, nejsou klasické Shewhartovy regulační diagramy schopny rychle a hospodárně tyto odchylky odhalit. Důvod je zřejmý. Přetrvávající

příčiny nemohou být odhaleny pomocí jednotlivých výběrů. Jejich rychlé odhalení umožňuje až metoda, která akumuluje informaci obsaženou ve všech za sebou jdoucích výběrech a poskytuje tak jasnější obraz o změně v procesu. Kromě toho umožňuje, oproti klasickým diagramům, odhadnout s velkou přesností okamžik vzniku odchylky a její velikost. Výhody diagramů CUSUM podle [2] jsou následující:

- jsou citlivější na změny procesu malé a střední velikosti,
- metoda indikuje malé a střední změny procesu 2-4x rychleji při stejném rozsahu výběru,
- je spojena s nižšími náklady na kontrolu při stejném riziku α (stačí malý rozsah výběru n),
- umožňuje přesněji určit okamžik počátku změny parametrů rozdělení regulované veličiny, odhadnout její velikost a určit směr působení.

Nevýhodou metody je vyšší pracnost konstrukce diagramu a jeho vyhodnocení.

6.2 Klasický diagram EWMA

Autorem diagramu je Roberts v roce 1959. [2] Je založen na exponenciálních vážených klouzavých průměrech. Hodí se pro situace, kdy v procesu dochází k náhlým malým, ale přetrvávajícím změnám procesu a hodnoty sledovaného znaku jakosti nejsou závislé. Výhody i nevýhody jsou v podstatě stejné jako u diagramu CUSUM. Jeho způsob sestrojení se může jevit o něco obtížnější než u předchozího diagramu. Protože jsou výhody a nevýhody diagramu EWMA v podstatě stejné jako u diagramu CUSUM, platí podobný důvod nepoužití.

6.3 Hotellingův diagram

Jedná se o zvláštní typ diagramu, který by se v budoucnosti dal ve firmě uplatnit. [2] Tento diagram nesleduje na rozdíl od výše zmíněných pouze jeden znak jakosti, ale dokáže sledovat a regulovat na jednom produktu i několik znaků jakosti najednou. Obvykle firmy řeší tuto situaci tvorbou několika Shewhartových diagramů, což je spojeno s aplikací pro znaky jakosti, které nejsou korelované. Jsou-li znaky vysoce korelované, pak je lepší použít Hotellingův diagram. Jeho výpočet a sestrojení je nejsložitější ze všech zmiňovaných způsobů statistické regulace, proto nebyl v práci použit.

7. Analýza firmy

7.1 Charakteristika firmy

Firma Peguform Bohemia, k. s. má své sídlo v Liberci. Podnik se skládá ze 3 závodů. Dva závody se nacházejí v Liberci a jeden se nachází v Libáni. Mezi hlavní procesy ve firmě lze zařadit zejména:

- vstřikování
- lakování pro exteriérové díly (nárazníky)
- „soft- lakování“ pro interiérové díly (přístrojové desky)
- montáž plastových dílů (přístrojové desky)

Ve firmě je zaměstnáno celkem 1 451 zaměstnanců (132 v ředitelství, 894 v závodě Liberec, 282 v závodě Libáň a 143 v závodě Liberec – nástrojárna). Obrat společnosti činí průměrně 84 mil EUR (2,5 mld Kč při kurzu 30 CZK/1 EUR). [7]

Závodem, který je hlavním předmětem této práce, je závod Peguform – Nástrojárna, který se zabývá výrobou forem, potřebných právě pro vstřikování. Formy nejsou vyráběny jen pro mateřskou firmu, ale některé z nich jsou určeny i pro vývoz. Všechny formy jsou vyráběny na objednávku, přesně podle požadavků zákazníka. Jedná se tedy o kusovou výrobu. Nástrojárna se před půl rokem přestěhovala ze staré výrobní haly do nových prostor.

Co se týče zabezpečování jakosti, všechny zavedené certifikáty ve starém sídle nástrojárny jsou zrušeny. Závod nyní nemá žádný certifikát jakosti, což brání většímu množství zahraničních zakázek. Závod je v současné době ve fázi přípravy na certifikaci dle ČSN EN ISO 9001:2001, který by měl zvýšit konkurenceschopnost v zemích západní Evropy.

7.2 Rozbor problémů ve firmě

Firma zatím neprovádí na žádném procesu statistickou. V závodě se také zlepšuje organizace řízení výroby, která by měla zvýšit jakost produktů. Podle organizační struktury (příloha) je patrné, že byl pro jakost vytvořen samostatný úsek a jeho vedoucí je zodpovědná za úspěšnou přípravu na certifikaci norem a za metody zvyšování jakosti vyráběných

produktů. Podle zkušeností se zaměstnanci nástrojárny nebude aplikace změn nijak jednoduchá. Zaměstnanci mají v sobě stále zanesené postupy výroby z let před revolucí a jsou jen těžko ochotni měnit zažitá zvyky při výkonu jejich povolání.

8. Popis výrobního procesu, normalita dat

Předmětem této práce je prozkoumání výrobního procesu, který má úspěšně vyříznout drážku na tzv. „vyhazovači“. Vyhazovač je součástka, která se používá snad v každé formě a co se týče jejich počtu, tak pro každou formu je potřeba několik druhů vyhazovačů, které se od sebe liší rozměry a od každého druhu se jich při výrobě spotřebuje pár desítek.

Vyřezávání drážky na vyhazovačích se provádí na drátové řezačce. Přesné parametry výroby, jako jsou rozměry drážky a její výrobní postup, jsou zadávány pomocí počítače. Počítačem je řízen i samotný průběh vyřezávání na stroji. Samozřejmě, že má stroj také svou obsluhu, která musí zadat požadovaný materiál, po každém vyrobeném kuse by měla změřit důležité rozměry a zapsat je do formuláře. Přesnost vyříznutí drážky je velice důležitá, protože se do ní vkládají válečky, které nejsou ničím uchyceny a tudíž musejí přesně lícovat.

8.1 Sběr dat

Pro statistickou regulaci bylo rozhodnuto, že se budou kontrolovat a zaznamenávat každých 15 minut 3 výrobky. Kontroluje se tak vždy jedna polovina z vyrobených výrobků. Je důležité též upozornit na to, že se na stejném stroji vyrábí drážky pro všechny velikosti vyhazovačů. Každá drážka má své přesně stanovené rozměry a možnou toleranci. Stroj byl regulován při výrobě drážek pro 4 druhy velikostí vyhazovačů. Vyrábí se tedy výrobky podobného charakteru, v malých výrobních dávkách, které se po určité době mohou opakovat. Je známa i cílová hodnota šířky drážky pro jednotlivé druhy a její tolerance. S jistotou je proto možné použít pro statistickou regulaci tohoto procesu cílové regulační diagramy pro výrobu s malou opakovatelností. Bylo tedy provedeno 30 výběrů s rozsahem výběru 3, z čehož vychází charakteristika výběru ($k = 30$ a $n = 3$).

8.2 Ověření normality dat

Vzhledem k tomu, že množství vyrobených kusů není tak veliké, aby se mohl zajistit dostatečný výběr pro kontrolu, je potřeba ověřit, zda mají naměřená a použitá data alespoň přibližně normální rozdělení. Lze postupovat způsobem uvedeným v kapitole 3 této práce.

a) sestrojení diagramu $\bar{x}_j$

Diagram $\bar{x}_j$ je třeba sestrojit pro všechny druhy vyhazovačů, které byly podrobeny měření.

Pro sestrojení mezí CL, UCL a LCL byly použity následující vzorce:

$$CL = \bar{x} = \sum \bar{x}_j / k \quad (36)$$

$$LCL = CL - u_{0,99865} * R_{kl}/d_2 \quad (37)$$

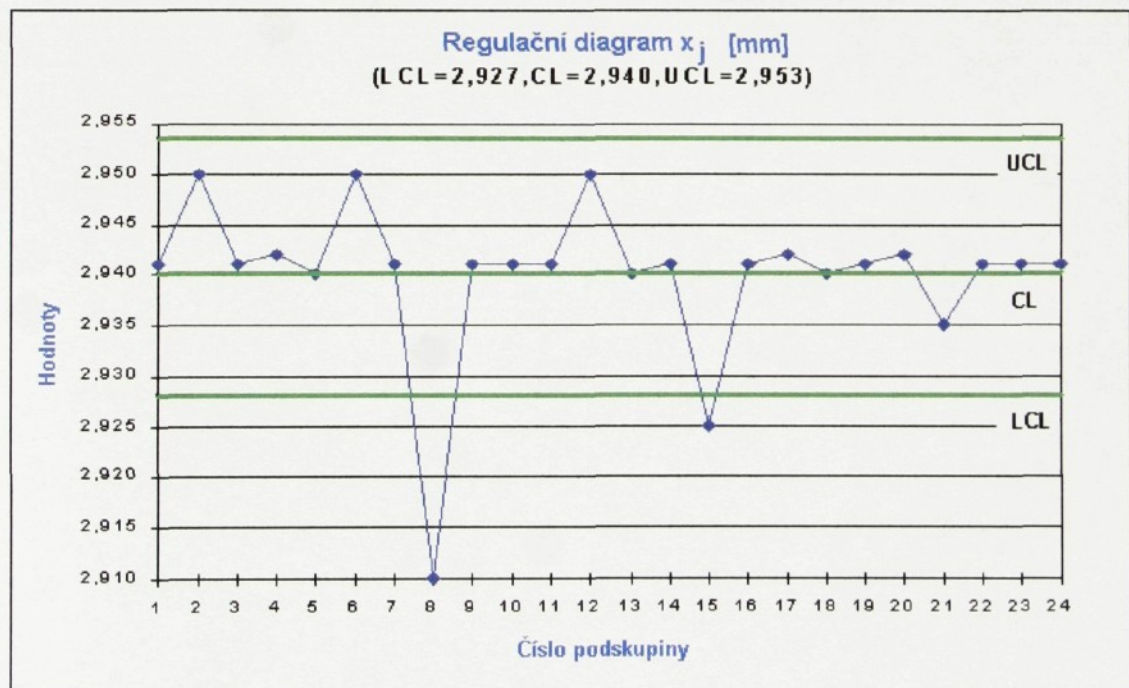
$$UCL = CL + u_{0,99865} * R_{kl}/d_2 \quad (38)$$

$$R_{kl} = \sum R_{kl} / k-1 \quad (39)$$

d_2 je Hartleyova konstanta pro $n = 3$, která je uvedena v tabulce (viz příloha),

R_{kl} je průměrné klouzavé rozpětí.

Regulační meze a diagram $\bar{x}_j$ pro vyhazovač s průměrem 10 mm^2



Graf 1. – Regulační diagram $\bar{x}$

² Jednotlivé diagramy jsou řazeny podle pořadí, ve kterém byly na stroji vyrobeny.

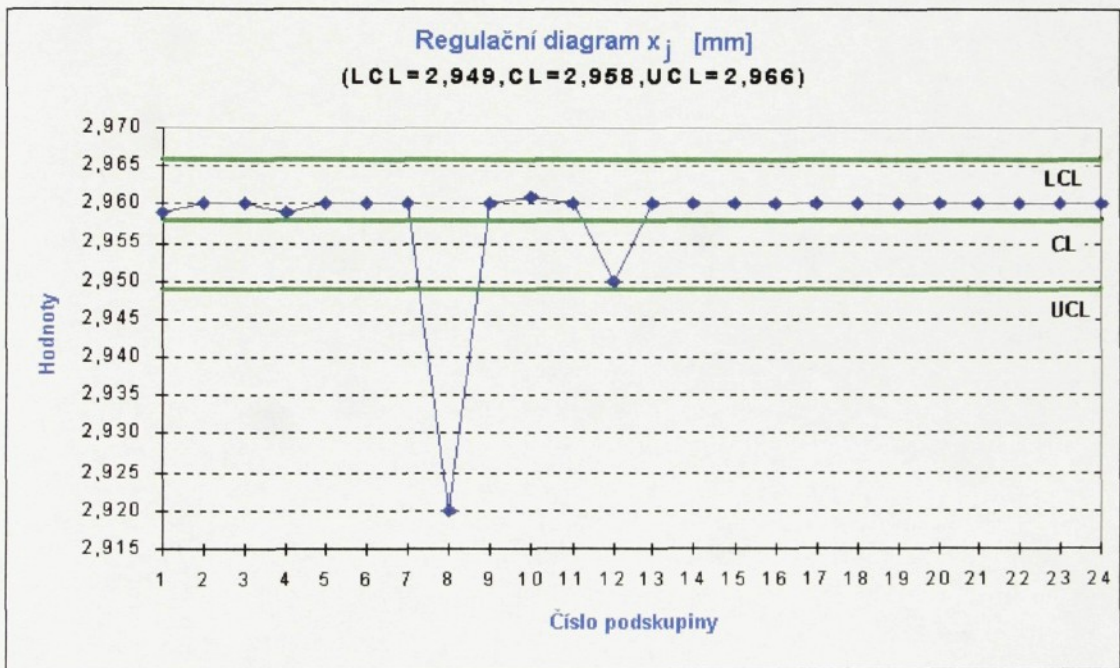
$$CL = 2,940 \text{ mm}$$

$$UCL = 2,940 + 3,029 * 0,007478/1,693 = 2,953 \text{ mm}$$

$$LCL = 2,940 - 3,029 * 0,007478/1,693 = 2,927 \text{ mm}$$

Zhodnocení diagramu: Z diagramu je patrné, že se většina hodnot pohybuje kolem meze CL, ale jsou zde i dvě hodnoty, které překračují dolní mez. I přes tento drobný problém lze díky většině bodů kolem přímky CL považovat hodnoty za normálně rozdělené, ale větší jistota bude získána až po výsledku testu Shapiro-Wilk a vytvoření histogramu.

Regulační meze a diagram x_j pro vyhazovač s průměrem 16 mm



Graf 2. – Regulační diagram x_j

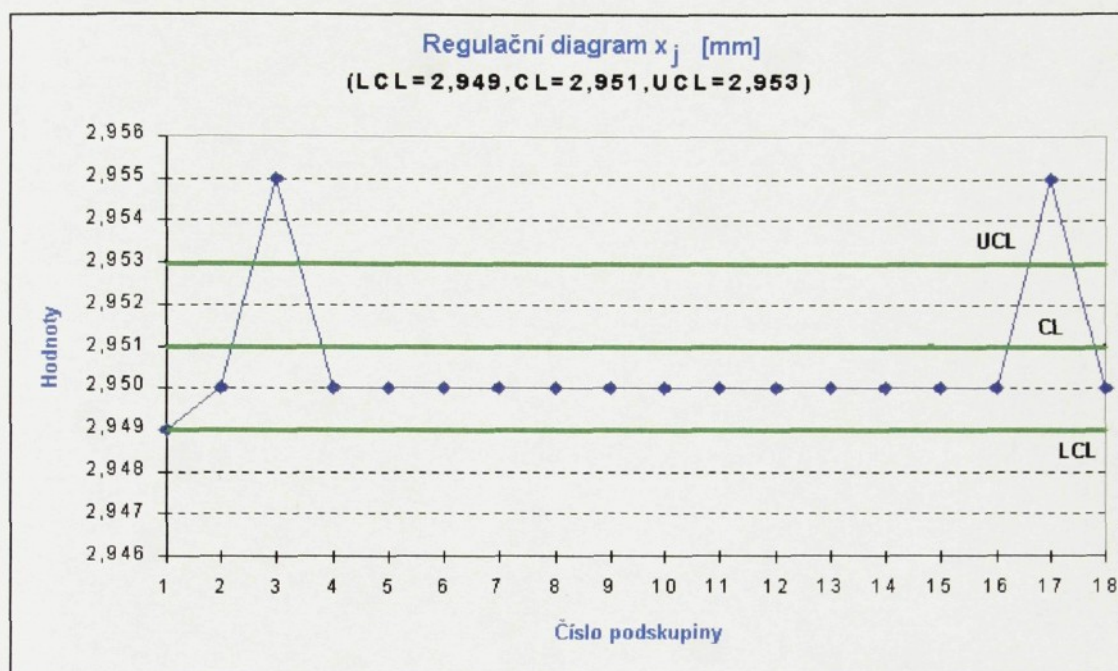
$$CL = 2,958 \text{ mm}$$

$$UCL = 2,958 + 3,029 * 0,004645/1,693 = 2,966 \text{ mm}$$

$$LCL = 2,958 - 3,029 * 0,004645/1,693 = 2,949 \text{ mm}$$

Zhodnocení diagramu: Jen jedna hodnota překračuje regulační meze a naprostá většina hodnot se pohybuje kolem středové linie, proto lze považovat data za normálně rozdělená.

Regulační meze a diagram x_j pro vyhazovač s průměrem 12 mm



Graf 3. – Regulační diagram x_j

Tohoto typu vyhazovačů bylo vyrobeno méně než u ostatních typů, proto bylo naměřeno méně podskupin.

$$CL = 2,951 \text{ mm}$$

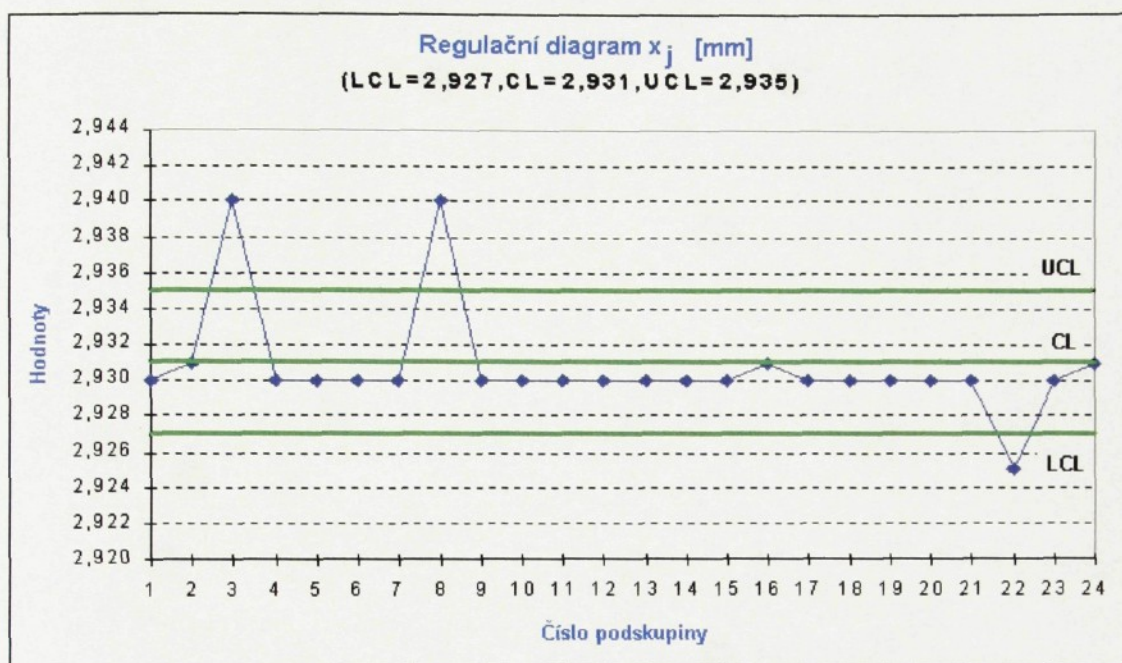
$$UCL = 2,951 + 3,029 * 0,001235/1,693 = 2,953 \text{ mm}$$

$$LCL = 2,951 - 3,029 * 0,001235/1,693 = 2,949 \text{ mm}$$

Zhodnocení diagramu: Naprostá většina bodů leží opět kolem střední linie a nelze upozorovat ani velké množství výkyvů, proto lze považovat i tato data za normální rozdělení.

Podskupina: Označuje pořadí výběrů, daných ke kontrole. V jedné podskupině probíhají 3 měření. V případě sledovaného procesu lze za podskupinu považovat tři měření v rámci 15 minut.

Regulační meze a diagram x_j pro vyhazovač s průměrem 6 mm



Graf 4. – Regulační diagram x_j

$$CL = 2,931 \text{ mm}$$

$$UCL = 2,931 + 3,029 * 0,002/1,693 = 2,935 \text{ mm}$$

$$LCL = 2,931 - 3,029 * 0,002/1,693 = 2,927 \text{ mm}$$

Zhodnocení diagramu: Diagram v podstatě ukazuje podobný výsledek, který je k vidění na předchozích diagramech. Ze stejných důvodů lze tedy data považovat za normálně rozdělená.

b) Test Shapiro-Wilk

Vzhledem k tomu, že se jedná o data o širší výběru $n = 3$, nezbyvá než pro ověření normality dat výpočtem použít Shapiro-Wilkův test. Jeho výpočet je poněkud složitější, ale pro ověřování dat s malým výběrem, jako je tento případ, ho lze použít. Celý test vypadá takto:

Testuje se hypotéza:

H_0 : soubor má normální rozdělení

H_1 : soubor nemá normální rozdělení

Dále se vypočítá testovací kritérium (W) a v tabulkách [5] se nalezne hodnota kvantilu W^* . Pokud nastane situace, kdy W je větší než (W^*), lze zamítnout hypotézu H_1 a přijmout H_0 , což znamená, že soubor má normální rozdělení. Vzorce pro výpočet testového kritéria W jsou následující:

$$W = b^2/\Phi^2 \tag{40}$$

$$\Phi^2 = \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n \tag{41}$$

$$b^2 = [\sum a_{n-j+1} * (x_{(n-j+1)} - x_{(j)})]^2 \tag{42}$$

Test normality pro vyhazovače 10 mm při hladině významnosti $\alpha = 0,05$

i	x_i	x_i^2	j	a_{n-j+1}	$x_{n-j+1} - x_j$	5*6
Sloupec	1	2	3	4	5	6
1	2,910	8,468				
2	2,925	8,556				
3	2,935	8,614				
4	2,940	8,644				
5	2,940	8,644				
6	2,940	8,644				
7	2,941	8,649				
8	2,941	8,649				
9	2,941	8,649				
10	2,941	8,649				
11	2,941	8,649				
12	2,941	8,649				
13	2,941	8,649	12	0,0107	0,000	0
14	2,941	8,649	11	0,0321	0,000	0
15	2,941	8,649	10	0,0539	0,000	0
16	2,941	8,649	9	0,0764	0,000	0
17	2,941	8,649	8	0,0997	0,000	0
18	2,941	8,649	7	0,1245	0,000	0
19	2,942	8,655	6	0,1512	0,002	0,000302
20	2,942	8,655	5	0,1807	0,002	0,000361
21	2,942	8,655	4	0,2145	0,002	0,000429
22	2,950	8,703	3	0,2554	0,015	0,003831
23	2,950	8,703	2	0,3098	0,025	0,007745
24	2,950	8,703	1	0,4493	0,040	0,017972
S	70,558	207,436				0,030641
$(\sum x_i)^2$	4978,431				b^2	0,000939

Tab. 1. – Tabulka pro výpočet testového kritéria W (hodnoty jsou v mm)

$$b^2 = 0,000939$$

$$\Phi^2 = 207,436 - 4978,431/24 = 0,0014$$

$$W = 0,0014/0,000939 = 1,49$$

$$W^* = 0,916$$

$$W > W^*$$

Zamítá se hypotéza H_1 .

S jistotou 95 % jsou data normálně rozdělená.

Test normality pro vyhazovače 16 mm při hladině významnosti $\alpha = 0,05$

i	x_i	x_i^2	j	a_{n-j+1}	$x_{n-j+1} - x_j$	5*6
Sloupec	1	2	3	4	5	6
1	2,920	8,526				
2	2,950	8,703				
3	2,959	8,756				
4	2,959	8,756				
5	2,960	8,762				
6	2,960	8,762				
7	2,960	8,762				
8	2,960	8,762				
9	2,960	8,762				
10	2,960	8,762				
11	2,960	8,762				
12	2,960	8,762				
13	2,960	8,762	12	0,0107	0,000	0
14	2,960	8,762	11	0,0321	0,000	0
15	2,960	8,762	10	0,0539	0,000	0
16	2,960	8,762	9	0,0764	0,000	0
17	2,960	8,762	8	0,0997	0,000	0
18	2,960	8,762	7	0,1245	0,000	0
19	2,960	8,762	6	0,1512	0,000	0
20	2,960	8,762	5	0,1807	0,000	0
21	2,960	8,762	4	0,2145	0,001	0,000214
22	2,960	8,762	3	0,2554	0,001	0,000255
23	2,960	8,762	2	0,3098	0,010	0,003098
24	2,961	8,768	1	0,4493	0,041	0,018421
S	70,989	209,978				0,021989
$(\sum x_i)^2$	5039,438				b^2	0,000484

Tab. 2. – Tabulka pro výpočet testového kritéria W (hodnoty jsou v mm)

Prázdná pole v tabulkách 1, 2, 3 a 4 vycházejí z pravidel pro výpočet testového kritéria W.

$$b^2 = 0,000484$$

$$\Phi^2 = 209,978 - 5039,438/24 = 0,0014$$

$$W = 0,0014/0,000484 = 2,93$$

$$W^* = 0,916$$

$$W > W^*$$

Zamítá se hypotéza H_1 .

I tento soubor dat má s jistotou 95 % normální rozdělení.

Test normality pro vyhazovače 12 mm při hladině významnosti $\alpha = 0,05$

$$b^2 = 0,0000207763$$

$$\Phi^2 = 156,69815 - 2820,566/18 = 0,00004$$

$$W = 0,00004/0,000021 = 1,85$$

$$W^* = 0,897$$

$$W > W^*$$

Zamítá se hypotéza H_1 .

i	x_i	x_i^2	j	a_{n-j+1}	$x_{n-j+1} - x_j$	5*6
Sloupec	1	2	3	4	5	6
1	2,949	8,697				
2	2,950	8,703				
3	2,950	8,703				
4	2,950	8,703				
5	2,950	8,703				
6	2,950	8,703				
7	2,950	8,703				
8	2,950	8,703				
9	2,950	8,703				
10	2,950	8,703	9	0,0163	0,000	0
11	2,950	8,703	8	0,0496	0,000	0
12	2,950	8,703	7	0,0837	0,000	0
13	2,950	8,703	6	0,1197	0,000	0
14	2,950	8,703	5	0,1587	0,000	0
15	2,950	8,703	4	0,2027	0,000	0
16	2,950	8,703	3	0,2553	0,000	0
17	2,955	8,732	2	0,3253	0,005	0,0016265
18	2,955	8,732	1	0,4886	0,006	0,0029316
S	53,109	156,69815				0,0045581
$(\sum x_i)^2$	2820,566			b^2		2,07763E-05

Tab. 3. – Tabulka pro výpočet testového kritéria W (hodnoty jsou v mm)

I u tohoto souboru dat je potvrzena domněnka, že data jsou normálně rozdělená.

Test normality pro vyhazovače 6 mm při hladině významnosti $\alpha = 0,05$

$$b^2 = 0,00011$$

$$\Phi^2 = 206,143 - 4947,434/24 = 0,000215$$

$$W = 0,000215/0,00011 = 1,95$$

$$W^* = 0,916$$

$$W > W^*$$

Zamítá se hypotéza H_1 .

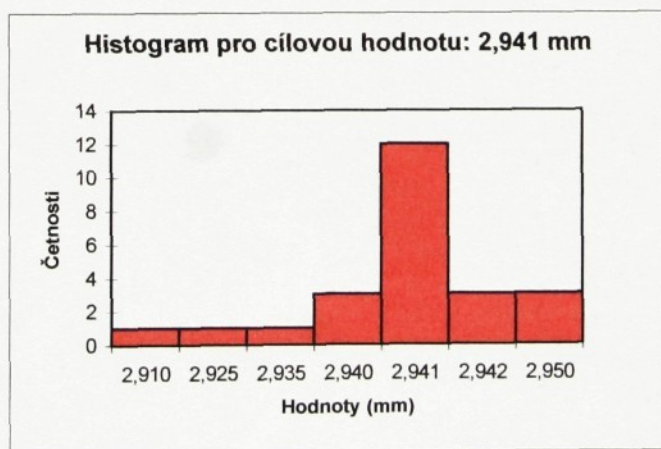
I u tohoto souboru dat test potvrdil, že data jsou normálně rozdělená.

i	x_i	x_i^2	j	a_{n-j+1}	$x_{n-j+1} - x_j$	$5 \cdot 6$
Sloupec	1	2	3	4	5	6
1	2,925	8,556				
2	2,930	8,585				
3	2,930	8,585				
4	2,930	8,585				
5	2,930	8,585				
6	2,930	8,585				
7	2,930	8,585				
8	2,930	8,585				
9	2,930	8,585				
10	2,930	8,585				
11	2,930	8,585				
12	2,930	8,585				
13	2,930	8,585	12	0,0107	0,000	0
14	2,930	8,585	11	0,0321	0,000	0
15	2,930	8,585	10	0,0539	0,000	0
16	2,930	8,585	9	0,0764	0,000	0
17	2,930	8,585	8	0,0997	0,000	0
18	2,930	8,585	7	0,1245	0,000	0
19	2,930	8,585	6	0,1512	0,000	0
20	2,931	8,591	5	0,1807	0,001	0,000181
21	2,931	8,591	4	0,2145	0,001	0,000214
22	2,931	8,591	3	0,2554	0,001	0,000255
23	2,940	8,644	2	0,3098	0,010	0,003098
24	2,940	8,644	1	0,4493	0,015	0,00674
S	70,338	206,143				0,010488
$(\sum x_i)^2$	4947,434				b^2	0,00011

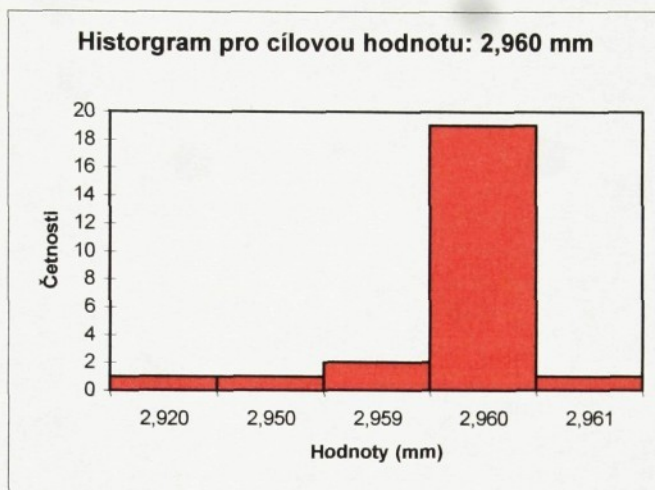
Tab. 4. – Tabulka pro výpočet testového kritéria W (hodnoty jsou v mm)

c) Tvorba histogramů

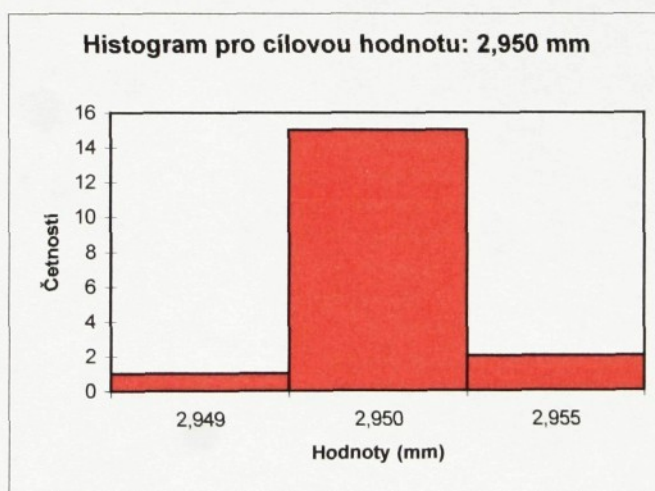
Literatura [2] doporučuje vyhotovit ještě histogram, vytvořený z naměřených hodnot v souboru. Jednotlivé histogramy pro všechny zkoumané druhy vyhazovačů následují.



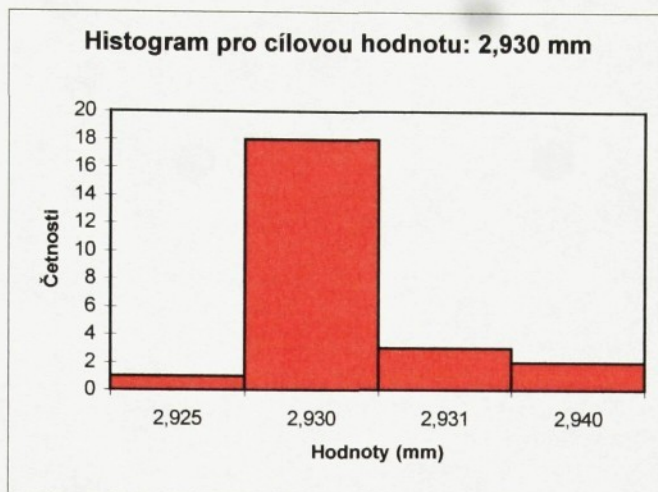
Obr.5. – Histogram pro drážky 10 mm



Obr. 6. – Histogram pro drážky 16 mm



Obr. 7. – Histogram pro drážky 12 mm



Obr. 8. – Histogram pro drážky 6 mm

Ze všech čtyř histogramů je vidět, že všechny soubory dat jsou normálně rozděleny. Dále je možné si všimnout, že se nejvíce vyskytují hodnoty, které jsou udány jako cílové (např.: obr.8 ukazuje, že hodnota 2,930 mm má více četností výskytu než ostatní). Toto ukazuje na skutečnost, že i způsobilost procesu bude na vysoké úrovni (viz. kapitola 10).

9. Statistická regulace

Po důkladném prozkoumání dat a zjištění, že jsou normálně rozdělena, lze přistoupit k vlastní statistické regulaci. Výrobní proces plně odpovídá pravidlům pro zvolení statistické regulace pro procesy s malou opakovatelností. Sledovaný stroj sice nevyrábí výrobky pro jednotlivé zákazníky podniku, nýbrž pro tzv. vnitřní zákazníky. Ti chtějí při výrobě jedné formy určité velikosti vyhazovačů a na každém z nich vyříznutou drážku o určité šířce. Všechny požadavky vycházejí z typu formy, pro kterou se součástky vyrábějí. Vyhazovače mají stejný tvar, akorát se liší svou velikostí a tím se liší i požadavek na šířku drážky. Lze také říci, že se drážky vyřezávají ve výrobních dávkách, které se zadávají v nepravidelných intervalech. Souhrnně lze proces vyřezávání shrnout takto:

1. Velikost výrobní dávky je malá
2. Stroj vyrábí podobné produkty
3. Produkty jsou měřeny ve shodných jednotkách (mm)
4. Dávky se opakují nepravidelně

Na výběr jsou dvě základní metody SPC pro malou opakovatelnost:

- a) cílové regulační diagramy,
- b) standardizované regulační diagramy.

Jejich vlastnosti jsou charakterizovány v kapitole 3.2. Protože sledovaný proces má pevně stanoveny cílové hodnoty (šířka v mm), kterých má být dosaženo, lze pro statistickou regulaci použít cílové regulační diagramy. Protože je rozsah výběru (n) roven 3, použijí se diagramy ($\bar{x}$, R).

9.1 Sestrojení cílových regulačních diagramů

Při samotném sestavení obou diagramů se použijí kroky podle literatury [2]:

1. Definování rozsahu výběru

Rozsah výběru je stanoven na 3, ($n = 3$).

2. Určení kontrolních intervalů

Výstupy ze stroje se kontrolují vždy první 3 každých 15 minut.

3. Sběr a záznam hodnot sledovaného znaku jakosti

Hlavní kontrolor v podniku naměřil hodnoty znaku jakosti na vyrobených produktech přesně podle kontrolního intervalu. V tomto případě je znakem jakosti šířka vyřezané drážky v mm. Jiný znak jakosti se nekontroluje, protože není relevantní.

4. Volba cílových hodnot pro jednotlivé produkty

Cílové hodnoty byly zvoleny přesně podle technické dokumentace a jsou následující:

Typ	Cíl C
10 mm	2,941
16 mm	2,960
12 mm	2,950
6 mm	2,930

Tab. 5. – Cílové hodnoty v mm

5. Výpočet výběrových průměrů

Vypočítají se průměry pro každou podskupinu.

6. Výpočet odchylek výběrových průměrů od cílových hodnot C

Všechny body 1 – 6 jsou zaznamenány v následující tabulce:

Typ	j	x ₁	x ₂	x ₃	Cíl C	$\bar{x}_j$	R _j	$\bar{x}_j - C$
10 mm	1	2,941	2,950	2,941	2,941	2,944	0,009	0,003
	2	2,942	2,940	2,950	2,941	2,944	0,010	0,003
	3	2,941	2,910	2,941	2,941	2,931	0,031	-0,010
	4	2,941	2,941	2,950	2,941	2,944	0,009	0,003
	5	2,940	2,941	2,925	2,941	2,935	0,016	-0,006
	6	2,941	2,942	2,940	2,941	2,941	0,002	0,000
	7	2,941	2,942	2,935	2,941	2,939	0,007	-0,002
	8	2,941	2,941	2,941	2,941	2,941	0,000	0,000
16 mm	9	2,959	2,960	2,960	2,960	2,960	0,001	0,000
	10	2,959	2,960	2,960	2,960	2,960	0,001	0,000
	11	2,960	2,920	2,960	2,960	2,947	0,040	-0,013
	12	2,961	2,960	2,950	2,960	2,957	0,011	-0,003
	13	2,960	2,960	2,960	2,960	2,960	0,000	0,000
	14	2,960	2,960	2,960	2,960	2,960	0,000	0,000
	15	2,960	2,960	2,960	2,960	2,960	0,000	0,000
	16	2,960	2,960	2,960	2,960	2,960	0,000	0,000
12 mm	17	2,949	2,950	2,955	2,950	2,951	0,006	0,001
	18	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	0,000	0,000
	19	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	0,000	0,000
	20	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	0,000	0,000
	21	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	0,000	0,000
	22	2,950	2,955	2,950	2,950	2,952	0,005	0,002
6 mm	23	2,930	2,931	2,940	2,930	2,934	0,010	0,004
	24	2,930	2,930	2,930	2,930	2,930	0,000	0,000
	25	2,930	2,940	2,930	2,930	2,933	0,010	0,003
	26	2,930	2,930	2,930	2,930	2,930	0,000	0,000
	27	2,930	2,930	2,930	2,930	2,930	0,000	0,000
	28	2,931	2,930	2,930	2,930	2,930	0,000	0,000
	29	2,930	2,930	2,930	2,930	2,930	0,000	0,000
	30	2,925	2,930	2,931	2,930	2,929	0,006	-0,001
Celkem							0,174	-0,017

Tab. 6 – Souhrn všech potřebných údajů pro cílové regulační diagramy (hodnoty jsou v mm)

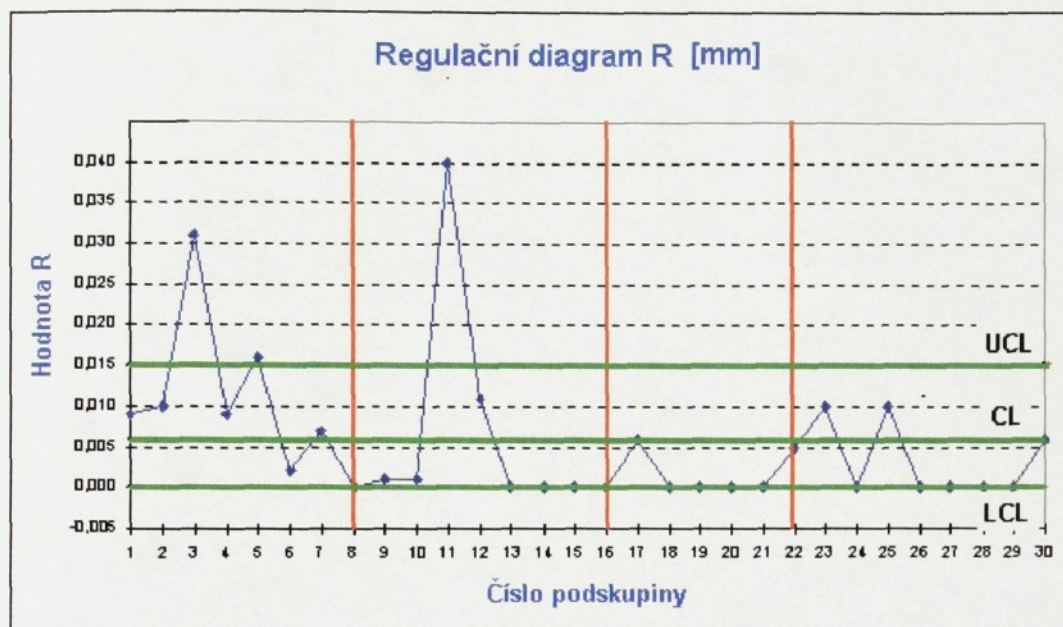
7. Výpočet střední přímky a regulačních mezí pro regulační diagram (R)

$CL = 0,174/30 = 0,006 \text{ mm}$

$UCL = 2,574 * 0,006 = 0,15 \text{ mm}$

$LCL = 0 * 0,0058 = 0 \text{ mm}$

8. Sestrojení a analýza regulačního diagramu R



Graf 5. – Regulační diagram R

Zhodnocení regulačního diagramu

Regulační diagram (Graf 5.) ukazuje, že produkty prvních dvou typů jsou vyráběny s velkým rozpětím. Jedná se zejména o položky č. 3, 5 a 11, které značně převyšují horní regulační mez. Znamená to, že na proces působí s pravděpodobně nějaký vymezený vliv. V tomto případě není možné seriózně stanovit regulační meze diagramu ($\bar{x}$), který následuje po vyhodnocení diagramu (R). Jaké jsou tedy možnosti?

V literatuře [2] se doporučuje několik řešení:

- první možnost je taková, že pro ty skupiny produktů, které vykazují variabilitu se vytvoří samostatné klasické Shewhartovy regulační diagramy,
- druhou možností je použití standardizovaných regulačních diagramů.

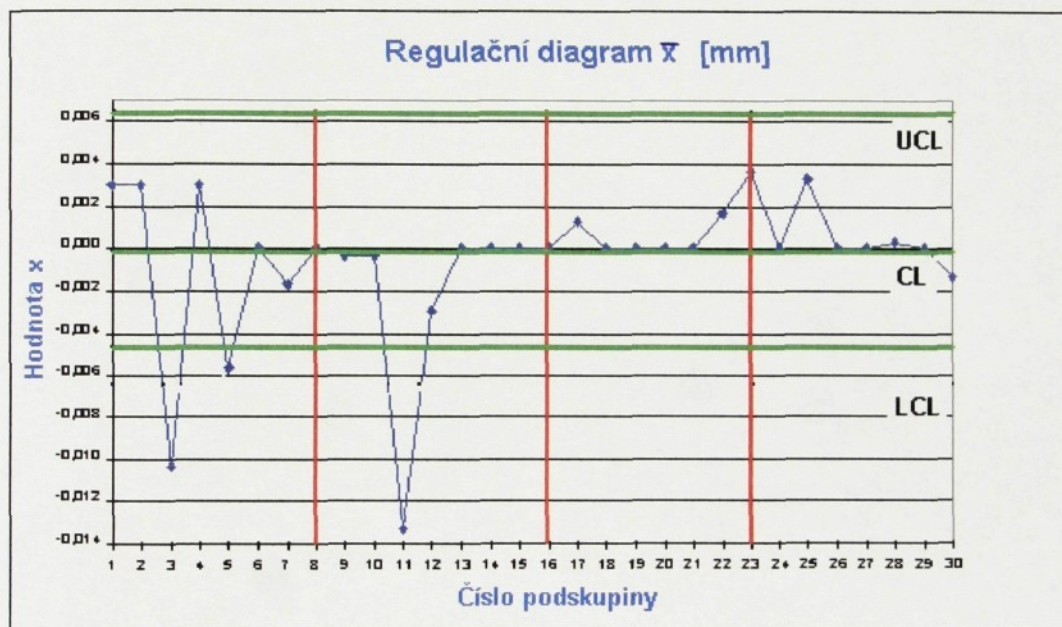
Vedoucí výroby rozhodl, že se zvolí možnost druhá, neboť firma nechce mít pro každý druh výrobku jiný regulační diagram, ale chce vidět celý výrobní proces v jednom diagramu. Aby bylo dokázáno, že špatný výsledek z regulačního diagramu R ovlivní i regulační meze v diagramu $\bar{x}$, je sestrojen i tento diagram ($\bar{x}$) s následujícími parametry:

9. Sestrojení diagramu $\bar{x}$:

$$CL = -0,00057 \text{ mm}$$

$$UCL = -0,00057 + 1,023 \cdot 0,0058 = 0,0065 \text{ mm}$$

$$LCL = -0,00057 - 1,023 \cdot 0,0058 = -0,0048 \text{ mm}$$



Graf 6. – Regulační diagram $\bar{x}$ (hodnoty x_j v mm)

Analýza: Z diagramu je velice jasně vidět, že všechny tři body, které narušily konzistentnost procesu v diagramu (R) i v diagramu ($\bar{x}$) značně překračují vypočtené meze. Je tedy nutno přikročit k úpravě procesu, aby se zlepšila jakost výrobků, které jsou pomocí něho vyráběny. Tento názor může být mylný, protože je možná situace, že se zvolila špatná metoda regulace pro daný proces. Indikují to hodnoty, které v obou diagramech překračují vypočtené meze, což může být způsobeno nesprávnou volbou velikosti výběrového souboru. Pokud by se nezvolila jiná metoda regulace, mohlo by to vést k nesprávnému posouzení procesu a také ke zkreslení výsledků způsobilosti procesu.

9.2 Sestrojení standardizovaného regulačního diagramu R

Pro sestavení regulačního diagramu R je opět potřeba vypočítat nové regulační meze. Problém nastává ve chvíli, kdy je potřeba zvolit správnou metodu pro odhad hodnoty R_x . V kapitole 3.2.2. je uvedeno pět základních metod. Nakonec byla vybrána metoda druhá,

protože jsou dostupná všechna data, potřebná k výpočtu hodnoty R_z . Tato metoda také patří mezi nejpřesnější a byl tak pro výpočet hodnoty R_z použit vzorec č.10:

$$R_z = (d_2/C_4) \cdot s_z \quad (10)$$

Hodnoty d_2 a C_4 lze nalézt v tabulce (příloha) pro danou šíři výběru (n) a hodnota s_z (směrodatná odchylka souboru) se vypočítá podle vzorce č.21:

$$s_z^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1) \quad (21)$$

Pro každý druh produktů, které jsou sledovány, se zjistí hodnota R_z .

Typ	10 mm	16 mm	12 mm	6 mm
R_z	0,01529	0,01591	0,00316	0,00583

Tab. 7. – Souhrn výsledných hodnot R_z v mm

Dle uvedené metodiky je následujícím krokem výpočet hodnot R_{jT} , které se zaznamenávají do diagramu.

$$R_{jT} = R_{jz} / \bar{R}_z \quad (3)$$

Jako příklad je uveden výpočet hodnoty R_{jT} pro první soubor měření:

$$R_{1T} = 0,009 / 0,01529 = 0,58889$$

Pro každý soubor měření se vypočítá tato hodnota a zaznamená do diagramu (Graf 7.). Nejdůležitějším krokem je výpočet regulačních mezí. V tomto případě jsou výsledky následující:

$$\begin{aligned} UCL &= D4 \quad CL = 1 \quad LCL = D3 \quad (4) \\ UCL &= 2,574 \quad CL = 1 \quad LCL = 0 \end{aligned}$$

9.3 Sestrojení standardizovaného regulačního diagramu $\bar{x}$

Opět je třeba zjistit nové regulační meze. Ty jsou dány konstantou v tabulce (příloha):

$$LCL = -A2 \quad CL = 0 \quad UCL = A2 \quad (9)$$

Pro tuto situaci ($n = 3$) budou regulační meze následující:

$$LCL = -1,023 \quad CL = 0 \quad UCL = 1,023$$

Problémem opět bylo zajistit správný odhad hodnoty $\bar{\bar{x}}$. Ta byla nakonec získána jako průměr z jednotlivých výběrových průměrů. Hodnoty $\bar{\bar{x}}$ pro různé druhy produktů ukazuje následující tabulka:

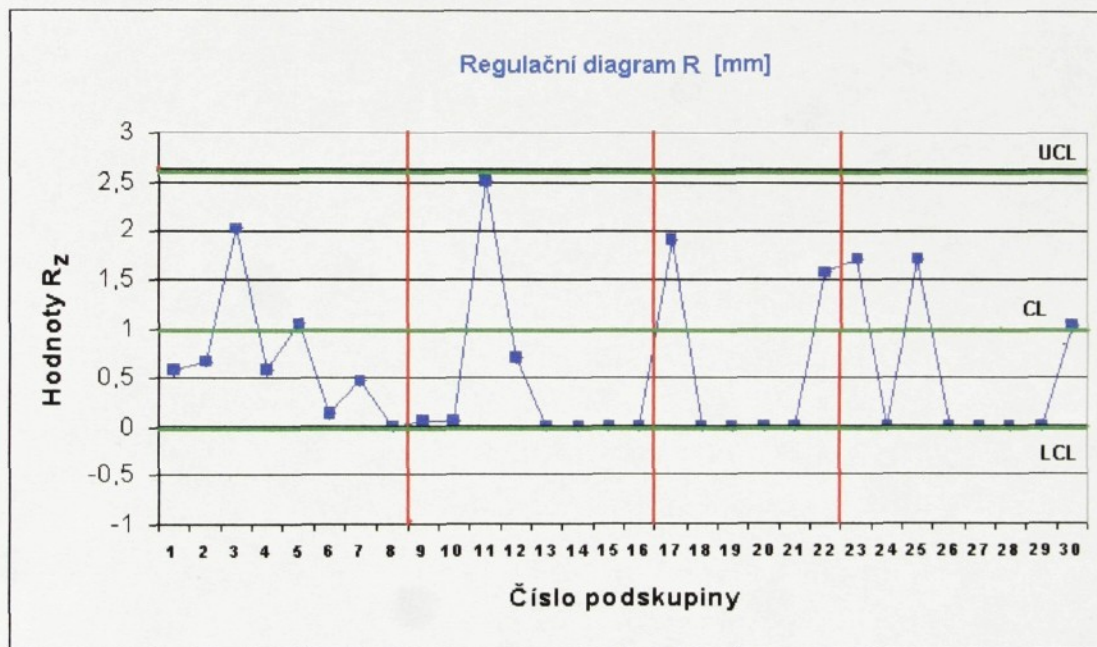
Typ	10 mm	16 mm	12 mm	6 mm
$\bar{x}_z$	2,93992	2,95788	2,95050	2,93075

Tab. 8. – Hodnoty $\bar{\bar{x}}$ pro jednotlivé druhy produktů

Pro výpočet hodnot x_{iT} , které se zaznamenají do diagramu (Graf 8.) slouží vzorec č.8:

$$\bar{x}_{iT} = (\bar{x}_{jz} - \bar{\bar{x}}_z) / \bar{R}_z \quad (8)$$

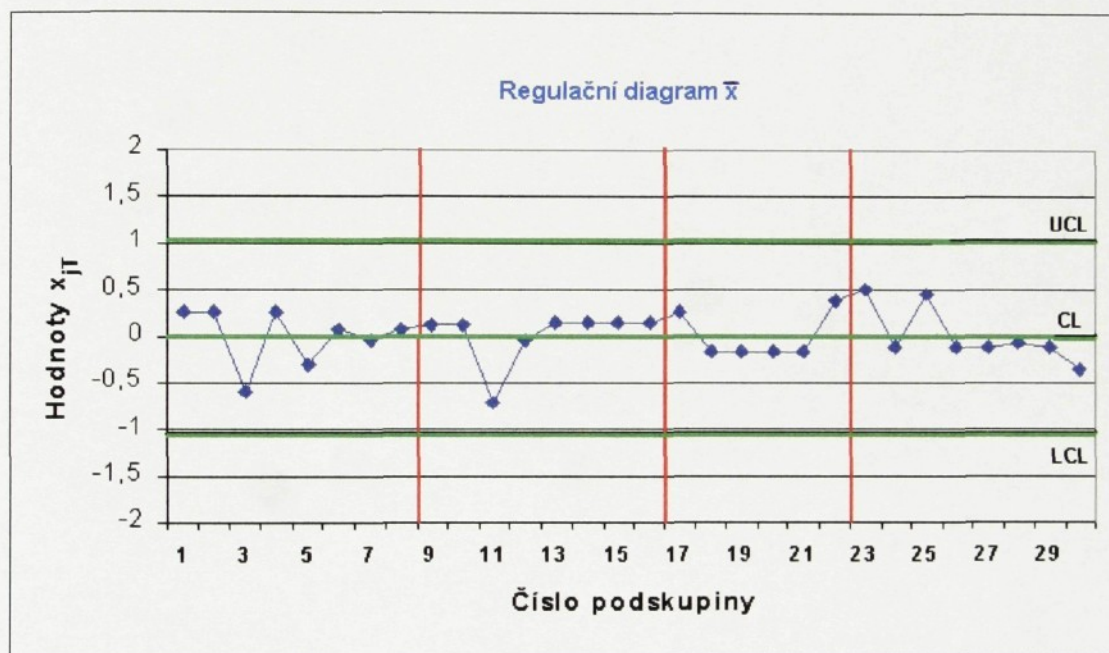
$$\bar{x}_{iT} = (2,944 - 2,940) / 0,015 = 0,267$$



Graf 7. – Regulační diagram R

Analýza: Regulační diagram ukazuje, že šířka výrobního procesu, neboli jeho rozpětí se nejeví jako optimální, protože se body nedrží v jedné přímce a jsou tak patrné různé trendy. U posledních třech produktů jsou trendy stejné. Většina bodů leží u LCL a vždy jeden nebo dva body se odkloní směrem k UCL. Znamená to, že v určitých podskupinách dochází k zvětšování rozptylu od střední hodnoty, což může mít negativní vliv na způsobilost procesu. U prvního produktu je patrný klesající trend zleva. Žádný z bodů neleží na stejné

pozici, a proto lze usoudit, že se jedná o produkt s nejméně stabilním rozpětím výroby. Lze tedy očekávat, že indexy způsobilosti u tohoto produktu budou na nízké úrovni. Přesto se všechny sledované hodnoty vešly do regulačních mezí. Lze tedy konstatovat, že variabilita procesu je konzistentní a nejsou proto nutné žádné zásahy. Svislé linie rozdělují jednotlivé druhy sledovaných produktů. Problém může nastat v případě výpočtu způsobilosti procesu. Hodnoty 3 a 11 se pohybují jen těsně pod horní regulační mezí, což může mít negativní vliv právě na způsobilost. Vzhledem k tomu, že všechny body jsou uvnitř stanovených mezí, lze sestrojit regulační diagram $\bar{x}$.



Graf 8. – Regulační diagram $\bar{x}$

Analýza: Při pohledu na diagram je patrné, že je proces statisticky zvládnutý. Nejsou zde patrné žádné hodnoty, které přesahují regulační meze a navíc se naprostá většina bodů pohybuje kolem střední meze. Nejsou zde vidět ani žádná nenáhodná seskupení, která by ukazovala určitý negativní trend ve výrobním procesu.

Lze tedy konstatovat, že proces je statisticky zregulován a není třeba dalších úprav pro jeho zlepšení.

10. Měření způsobilosti procesu

Protože diagram $\bar{x}$ neukazuje žádné hodnoty mimo regulační meze, je možné přistoupit k hodnocení způsobilosti procesu. K přesnějšímu hodnocení byly vybrány čtyři základní

ukazatele. Při použití indexů způsobilosti není podmínkou určitá velikost souboru (neplatí pro C_p). Indexy budou tedy vypočítány pro každý druh sledovaného produktu zvlášť, aby se dalo přesněji odlišit, kde je případná chyba. Dále je třeba si uvědomit, že se zde nevychází z regulačních mezí, ale z mezí tolerančních. Ty jsou dány potřebami výrobního procesu nebo technickou dokumentací k výrobku.

10.1 Testování způsobilosti produktu o průměru 10 mm

Všechny vypočtené výsledky jsou získány z vzorců uvedených v závorce.

Indexy C_p a C_{pm}

Tol. meze	Hodnoty
LSL	2,926
USL	2,956
T	2,941

Tab. 9 – Toleranční meze v mm³)

Podle vzorců (27) a (30) je spočítáno (výsledky jsou zaokrouhleny):

$$C_p = (2,956 - 2,926) / 0,0480 = 0,625$$

$$C_{pm} = (2,956 - 2,926) / 0,0485 = 0,619$$

Indexy C_{pk} a C_{pmK}

Tyto indexy mají dvě části, proto jsou odděleny od ostatních. Jsou vypočítány podle vzorců (28), (29), (30) a (35):

$$C_{pU} = 0,016 / 0,024 = 0,670$$

$$C_{pL} = 0,014 / 0,024 = 0,580$$

$$C_{pk} = \min(0,670; 0,580)$$

$$C_{pk} = 0,580$$

$$C_{pmU} = 0,016 / 0,024 = 0,664$$

$$C_{pmL} = 0,014 / 0,024 = 0,574$$

$$C_{pmK} = \min(0,66; 0,57)$$

$$C_{pmK} = 0,57$$

³ Hodnota T je cílová hodnota, která je dána technickou dokumentací k výrobku.

Typ	Cp	Cpk	Cpm	CpmK
10 mm	0,62	0,58	0,62	0,57

Tab. 10 – Přehled indexů způsobilosti u vyhazovače s průměrem 10 mm

10.2 Testování způsobilosti produktu o průměru 16 mm

Indexy C_p a C_{pm}

Tol. meze	Hodnoty
LSL	2,945
USL	2,975
T	2,96

Tab. 11. – Toleranční meze v mm

$$C_p = 0,030 / 0,050 = 0,600$$

$$C_{pm} = 0,030 / 0,052 = 0,582$$

Indexy C_{pk} a C_{pmK}

$$C_{pU} = 0,017 / 0,025 = 0,686$$

$$C_{pL} = 0,013 / 0,025 = 0,515$$

$$C_{pk} = \min (0,686 ; 0,515)$$

$$C_{pk} = 0,515$$

$$C_{pmU} = 0,017 / 0,026 = 0,664$$

$$C_{pmL} = 0,013 / 0,026 = 0,499$$

$$C_{pmK} = \min (0,66 ; 0,50)$$

$$C_{pmK} = 0,50$$

Typ	Cp	Cpk	Cpm	CpmK
16 mm	0,60	0,52	0,58	0,50

Tab. 12 – Přehled indexů způsobilosti u vyhazovače s průměrem 16 mm

Zhodnocení indexů způsobilosti u vyhazovačů s průměrem 10 a 16 mm

Podle výsledků indexů, lze proces výroby prvních dvou typů produktů považovat ze

nezpůsobilý a je třeba identifikovat příčiny a přijmout nápravná opatření.

10.3 Testování způsobilosti produktu o průměru 12 mm

Indexy C_p a C_{pm}

Tol. meze	Hodnoty
LSL	2,935
USL	2,965
T	2,95

Tab. 13. – Toleranční meze v mm

$$C_p = 0,030 / 0,010 = 3,020$$

$$C_{pm} = 0,030 / 0,010 = 2,890$$

Indexy C_{pk} a C_{pmK}

$$C_{pU} = 0,015 / 0,005 = 2,920$$

$$C_{pL} = 0,016 / 0,005 = 3,120$$

$$C_{pk} = \min (2,92 ; 3,12)$$

$$C_{pk} = 2,92$$

$$C_{pmU} = 0,0145 / 0,005 = 2,800$$

$$C_{pmL} = 0,0155 / 0,005 = 2,990$$

$$C_{pmK} = \min (2,80 ; 2,99)$$

$$C_{pmK} = 2,800$$

Typ	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pmK}
12 mm	3,02	2,92	2,89	2,80

Tab. 14. – Přehled indexů způsobilosti u vyhazovače s průměrem 12 mm

Výsledky indexů tohoto typu produktu ukazují, že proces je způsobilý. Indexy značně převyšují hodnotu 1, z čehož lze usoudit, že proces vyrábí v tolerančních mezích a i shoda vyráběných produktů s cílovou hodnotou (požadovanou) je na vysoké úrovni.

10.4 Testování způsobilosti produktu o průměru 6 mm

Indexy C_p a C_{pm}

Tol. meze	Hodnoty
LSL	2,915
USL	2,945
T	2,93

Tab. 15 – Toleranční meze

$$C_p = 0,030 / 0,018323 = 1,640$$

$$C_{pm} = 0,030 / 0,018868 = 1,600$$

Indexy C_{pk} a C_{pmK}

$$C_{pU} = 0,014 / 0,009 = 1,560$$

$$C_{pL} = 0,016 / 0,009 = 1,720$$

$$C_{pk} = \min (1,56 ; 1,72)$$

$$C_{pk} = 1,56$$

$$C_{pmU} = 0,014 / 0,009 = 1,51$$

$$C_{pmL} = 0,016 / 0,009 = 1,67$$

$$C_{pmK} = \min (1,51 ; 1,67)$$

$$C_{pmK} = 1,51$$

Typ	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pmK}
6 mm	1,64	1,56	1,60	1,51

Tab. 16. – Přehled indexů způsobilosti u vyhazovače s průměrem 6 mm

Hodnoty indexů tohoto typu produktu převyšují „magickou“ hranici 1. Proces lze považovat za způsobilý.

10.5 Zhodnocení indexů způsobilosti

Typ	C _p	C _{pk}	C _{pm}	C _{pmK}
10 mm	0,62	0,58	0,62	0,57
16 mm	0,60	0,52	0,58	0,50
12 mm	3,02	2,92	2,90	2,80
6 mm	1,64	1,56	1,60	1,51

Tab. 17. – Souhrn všech vypočtených indexů

Výsledky indexů ukazují, že proces ve dvou druzích produktu není způsobilý k jeho výrobě. Jedná se o typy produktů 10 a 16 mm, kde jednotlivé indexy nedosahují hodnoty 1,00 a výše. Všechny hodnoty indexů se pohybují v rozmezí 0,50 – 0,62, což nelze považovat za uspokojivý výsledek. Znamená to totiž, že je toleranční interval využit až na 161 – 200 %⁴⁾, přičemž čím méně je interval využit, tím je to lepší. [2] Lze také konstatovat, že kontrolní interval byl převyšěn o 61 – 100 %. Je třeba zvážit možnost, zda nebyly ve výběrovém souboru odlehlé hodnoty, ale při pohledu na Graf 8, který ukazuje výsledek statistické regulace $\bar{x}$, se ukazuje, že odlehlé hodnoty nejsou.

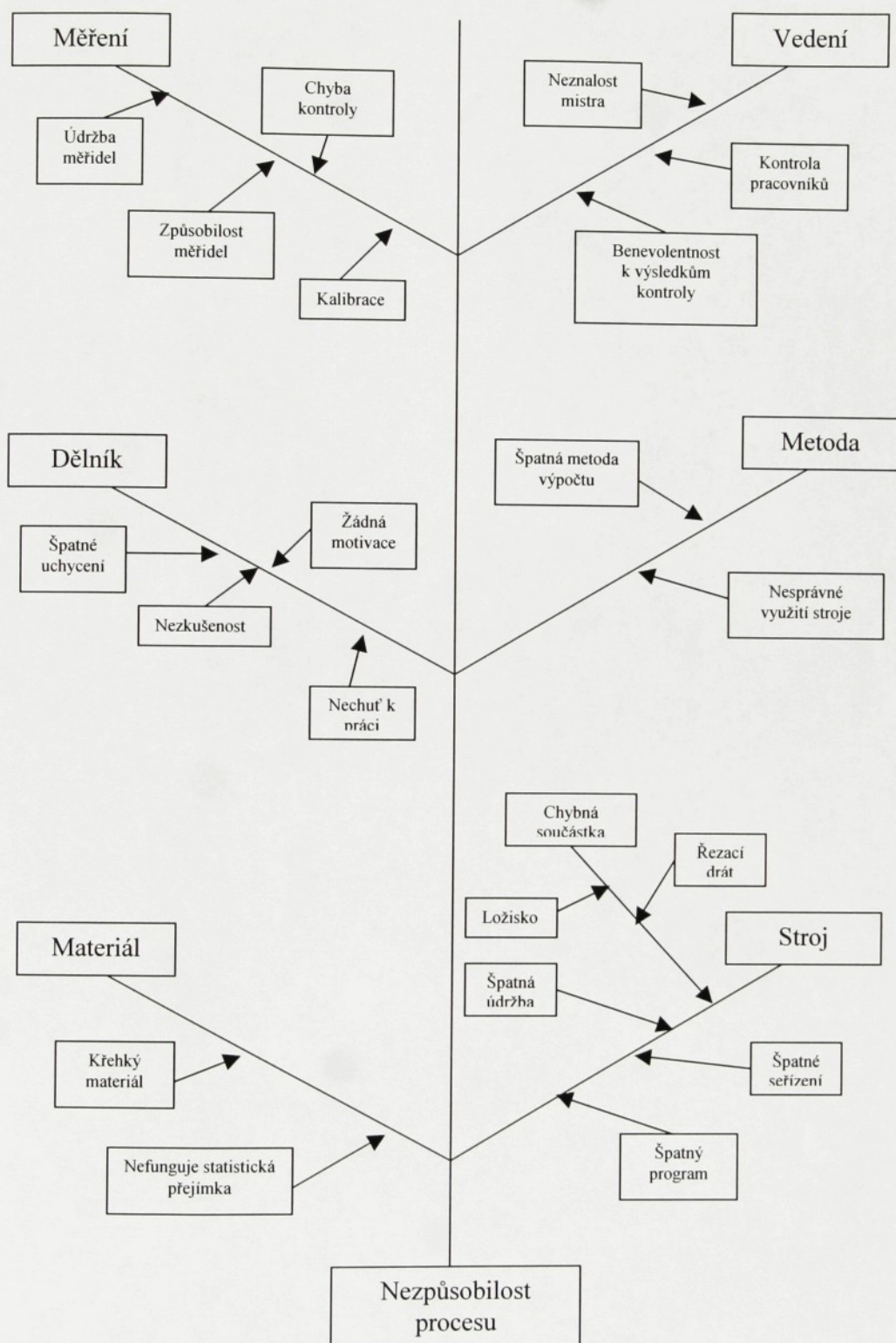
Nastává otázka, kde hledat chybu. Nejjednodušším způsobem je podívat se na diagramy $\bar{x}_j$, které byly sestrojeny za účelem zjištění normality dat (grafy 1 – 2). Na jejich základě lze názorně zjistit, které podskupiny výběru způsobují nepřijatelné výsledky indexů. Jedná se o položky: graf 1. podskupina 8 a 15; graf 2. podskupina 8. Proto je třeba přijmout opatření k nápravě. Předtím je zapotřebí příčinu identifikovat. K tomu slouží některé nástroje jakosti. Po nalezení příčiny a jejím odstranění se vypočítají indexy způsobilosti pro typy produktu 10 a 16 mm ještě jednou bez zmiňovaných podskupin.

11. Zjištění příčin nezpůsobilosti procesu

11.1 Diagram příčin a následků

Pro zjištění příčin, které by mohly vést k nezpůsobilosti procesu se ze známých nástrojů jakosti [8] použije diagram příčin a následků. Jeví se jako nejužitečnější pro tento případ, protože názorně ukazuje všechny možné příčiny, které na proces negativně působí.

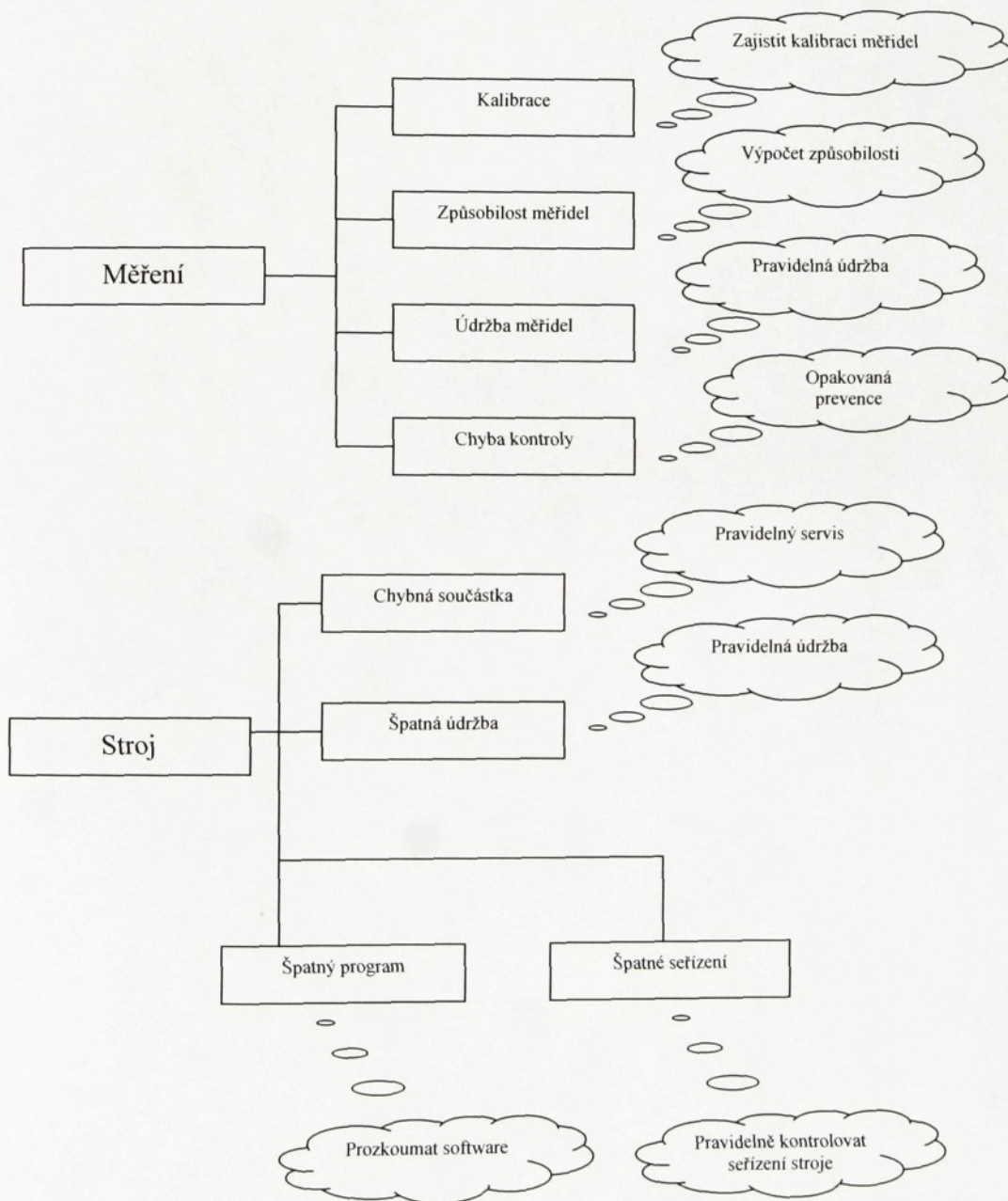
⁴⁾ Např.: $1/0,50 \cdot 100 = 200 \%$. Jedná se o převrácenou hodnotu indexu, vynásobenou 100.



Obr. 9. – Diagram příčin a následků

Diagram na obr. 9 ukazuje šest základních příčin nezpůsobilosti procesu a několik dalších možných subpříčin. Teď je důležité odhalit tu příčinu, která právě negativně ovlivnila ty podskupiny, které učinily proces nezpůsobilým a přijmout opatření k jejímu odstranění. Aby se ke každé příčině přiřadil návod na její odstranění, je nutné použít nástroj jakosti zvaný Diagram PDPC [8]. Jeho struktura vychází z diagramu příčin a následků [8] a je obohacen právě o návrhy na odstranění vymezených příčin.

11.2 Diagram PDPC



Obr. 10. – Ukázka použití PDPC diagramu v praxi

Obr. 10. – Ukázka použití PDPC diagramu v praxi

Tento diagram bude použit po hodnocení způsobilosti procesu a zjištění, že je proces nezpůsobilý. Další náměty na eliminaci příčin jsou následující:

Materiál

Křehký materiál – zjištění, zda není možné použít jiný druh materiálu.

Nefunguje statistická přejímka – zavedení statistické přejímky.

Metoda

Nesprávný způsob výroby – zjištění jiných možností výroby, výpočet jejich časové a finanční
Náročnosti.

Nesprávný způsob výpočtu ukazatelů – přepočtení jednotlivých indexů způsobilosti, prověření,
že je metoda správně použita.

Dělník

Nezkušenost – prověřit dělníka a jeho praktické zkušenosti se strojem.

Nulová motivace – odměňovat dělníka za kvalitní výrobky.

Nechuť k práci – vytvořit příjemnější pracovní prostředí.

Špatné uchycení výrobku do stroje – zavedení systému, který by znemožnil špatné uchycení.

Vedení

Benevolentnost k výsledkům kontroly – přimět vedení, aby bralo vážně výsledky kontroly.

Chybí kontrola činnosti pracovníků – zavést námatkovou kontrolu dělníků.

Neznalost mistra – mistr by měl absolvovat rekvalifikační kurz.

Pomocí těchto dvou nástrojů jakosti byly zjištěny vymezené příčiny, negativně působící na proces a byly navrženy kroky k jejich eliminaci. Není pevně stanoveno, jaké nástroje musí firma použít. Většinou dochází ke kombinaci dvou i více nástrojů jakosti, jako je to v tomto případě. Také není možné vymezit všechny vlivy na proces během jedné analýzy, a proto je nutné neustálé zlepšování procesu, aby vyráběl co nejvíce shodných výrobků. Po úspěšné eliminaci příčin je možné přistoupit k opětovnému výpočtu indexů způsobilosti u těch typů zkoumaných produktů, při jejichž výrobě se proces jevil jako nezpůsobilý.

11.3 Testování způsobilosti produktu s průměrem 10 mm po úpravě procesu

Indexy C_p a C_{pm}

Tol. meze	Hodnoty
LSL	2,926
USL	2,956
T	2,941

Tab. 18. – Toleranční meze v mm

$$C_p = (2,956 - 2,926) / 0,0236 = 1,27$$

$$C_{pm} = (2,956 - 2,926) / 0,0243 = 1,23$$

Indexy C_{pk} a C_{pmK}

Tyto indexy mají dvě části, proto jsou odděleny od ostatních.

$$C_{pU} = 0,014 / 0,012 = 1,19$$

$$C_{pL} = 0,016 / 0,012 = 1,35$$

$$C_{pk} = \min(1,19 ; 1,35)$$

$$C_{pk} = 1,19$$

$$C_{pmU} = 0,014 / 0,0121 = 1,16$$

$$C_{pmL} = 0,016 / 0,0121 = 1,31$$

$$C_{pmK} = \min(1,16 ; 1,31)$$

$$C_{pmK} = 1,16$$

Typ	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pmK}
10 mm	1,27	1,19	1,23	1,16

Tab. 19. – Přehled indexů po úpravě procesu

Po odstranění vymezitelných příčin se proces jeví jako způsobilý. Hodnota indexu C_{pm} se oproti indexům C_{pk} a C_{pmK} liší, což ukazuje na skutečnost, že proces není dokonale vycentrován, ale to je záležitost budoucnosti a neustálého zlepšování jakosti v procesu.

11.4 Testování způsobilosti produktu o průměru 16 mm po úpravě procesu

Indexy C_p a C_{pm}

Tol. meze	Hodnoty
LSL	2,945
USL	2,975
T	2,96

Tab. 20. – Toleranční meze v mm

$$C_p = (2,975 - 2,945) / 0,0158 = 1,90$$

$$C_{pm} = (2,975 - 2,945) / 0,0161 = 1,86$$

Indexy C_{pk} a C_{pmK}

Tyto indexy mají dvě části, proto jsou odděleny od ostatních.

$$C_{pU} = 0,0154 / 0,0079 = 1,96$$

$$C_{pL} = 0,0145 / 0,0079 = 1,83$$

$$C_{pk} = \min (1,96 ; 1,83)$$

$$C_{pk} = 1,83$$

$$C_{pmU} = 0,0154 / 0,008 = 1,92$$

$$C_{pmL} = 0,0145 / 0,008 = 1,81$$

$$C_{pmK} = \min (1,92 ; 1,81)$$

$$C_{pmK} = 1,81$$

Typ	C_p	C_{pk}	C_{pm}	C_{pmK}
16 mm	1,90	1,83	1,86	1,81

Tab. 21. - Přehled indexů po úpravě procesu

Hodnocení indexů je podobné jako u předchozího produktu. Jejich hodnoty jsou ovšem vyšší, což ukazuje na menší využití tolerančních mezí než u předchozího typu. Vycentrovanost procesu je na podobné úrovni s předchozím produktem.

Po nalezení příčiny nezpůsobilosti procesu a jejím následném odstranění, tedy po provedení kompletní statistické regulace a vyhodnocení způsobilosti procesu vyřízení drážky na vyhazovači lze konstatovat, že proces je regulovaný a způsobilý k výrobě produktů s požadovanými hodnotami. Diplomová práce se opírá o ty metody statistické regulace, které nejsou časově a ani výpočtově náročné a jsou realizovatelné se softwarovým vybavením, které bylo dostupné. Poté, co se ve firmě plně zažije regulace pomocí klasických diagramů, které zatím postačují v počátcích regulace, je možné přejít ke zkoumání těch nejmenších odchylek v procesu pomocí náročnějších metod.

12. Závěr

Práce je zaměřena na statistickou regulaci procesu výroby s malou opakovatelností. Statistickou regulací prošel proces vyřezávání drážky na vyhazovačích. Nejdůležitější pro celou práci bylo získání potřebných dat. Ta byla získána při vyřezávání drážky vyhazovače na drátové řezačce. Vyráběly se 4 různé šířky drážky, ale všechny na stejném stroji. Charakter procesu plně odpovídal pravidlům pro použití statistické regulace pro procesy s malou opakovatelností.

Nejprve bylo zjištěno, že naměřená data mají přibližně normální rozdělení. Nejprve byly vytvořeny pro všechny sledované druhy produktů regulační diagramy $\bar{x}$, dále byl proveden Shapiro - Wilkův test normality dat a potom byly vytvořeny histogramy. Tím byl splněn předpoklad přistoupení ke statistické regulaci a měření způsobilosti procesu.

Protože všechny typy produktu měly technickou dokumentací stanovenou cílovou hodnotu, jevílo se jako nejlepší použít pro statistickou regulaci metodu cílových regulačních diagramů. Po provedení všech potřebných kroků a sestrojení regulačního diagramu $\bar{R}$, bylo zjištěno, že proces není statisticky zvládnutý. Vzhledem k tomu, že se vedení výrobního úseku firmy shodlo na tom, aby všechny sledované typy produktu byly zaznamenány v jednom diagramu, přešlo se na statistickou regulaci pomocí standardizovaných regulačních diagramů. Po vytvoření diagramu $\bar{R}$ se šířka výrobního procesu jevila jako statisticky zvládnutá. Přestože byly v poloze jednotlivých bodů diagramu patrné určité trendy, všechny body v diagramu se vešly mezi regulační meze. Byl tedy sestrojen regulační diagram $\bar{x}$. Naprostá většina bodů se pohybovala kolem střední regulační přímky CL a nebyly již patrné ani žádné trendy. Z tohoto diagramu se proces jevil jako statisticky zvládnutý a nebylo třeba okamžitých úprav pro jeho zlepšení.

Protože byl proces statisticky zvládnutý, mohlo se přistoupit k hodnocení jeho způsobilosti. U každého typu produktu byly vypočítány nejpoužívanější indexy způsobilosti (C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pmk}). Bylo zjištěno, že při vyřezávání drážky u vyhazovačů šířky 10 a 16 mm není proces správně nastaven. Indexy ukazovaly překročení tolerančního intervalu až o 60 %,

Proces se u prvních dvou typů produktu jevil jako nezpůsobilý. Proto se hledaly příčiny nezpůsobilosti procesu. Pro objevení míst, kde mohlo k neshodám dojít, byly analyzovány diagramy x_j , které byly sestrojeny za účelem zjištění normality dat. Pomocí diagramu příčin a následků byl nakonec vymezen okruh možných příčin nezpůsobilosti. Dále pak pomocí PDPC diagramu byly nastíněny možnosti, jak tyto příčiny odstranit.

Lze konstatovat, že téměř všechny cíle této práce byly splněny. Zjistilo se také, že první zvolená metoda cílových regulačních diagramů nebyla správná, což umožnilo ukázat rozdíly mezi oběma metodami, které byly v práci použity. Dále pomocí regulačních diagramů byla provedena kompletní statistická regulace procesu. Proces se ukázal jako statisticky zvládnutý, což umožnilo přejít k hodnocení způsobilosti. Při hodnocení způsobilosti se objevilo několik nesrovnalostí v procesu, což umožnilo ukázat i některé nástroje řízení jakosti v praxi. Ty pomohly objevit několik možných příčin nestability procesu a pomohly najít prostředky k jejich eliminaci. Bohužel se zatím nepodařilo tyto návrhy zpracovat ve výrobním procesu firmy.

Na samotný závěr práce lze říci, že proces vyřezávání drážky na drátové řezačce lze, po aplikaci všech uvedených metod a nástrojů, považovat za statisticky zvládnutý a způsobilý k výrobě daného produktu. To ovšem neznamená, že končí veškerá snaha o jeho zlepšování, protože fenoménem dnešní doby je jakost a její neustálé zlepšování.

13. Seznam použité literatury a pramenů

- [1] **Noskievičová, D.:** Statistická regulace a procesy s nízkou mírou opakovatelnosti. In. Sborník vědeckých prací z mezinárodní konference „Nové trendy v strojířtve na prahu tretieho tisícročia“. TU Kořice, 1997
- [2] **Tořenosvský J., Noskievičová D.:** Statistické metody pro zlepřování jakosti, Montanex, Ostrava, 2000.
- [3] **Griffith, G.K.:** Statistical process control methods for long and short runs. Milwaukee, Wisconsin: ASQC Quality Press, 1996.
- [4] **Wise, S.A. and Douglas C.F.:** Innovative control charting. Practical SPC solutions for today's manufacturing enviroment. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 1998.
- [5] **ČSN 01 0225** Aplikovaná statistika. Testy shody empirického rozdělení s teoretickým. Praha: ÚNM, 1980.
- [6] **ČSN ISO 8258** Shewhartovy regulační diagramy. Praha: ČNI, 1993.
- [7] **Internet:** www.peguform.cz
- [8] **Nenadál J. a spol.:** Moderní systémy řízení jakosti – Quality Management, Management press, Praha, 1998.
- [9] **Líbal V. a spol.:** Organizace a řízení výroby, SWTL/ALFA, Praha 1983.
- [10] **Mizuno S.:** Řízení jakosti, Victoria Publishing, Praha, 1988.
- [11] **Cyhelský L., Kahounová J., Hindls R.:** Elementární statistická analýza, Management Press, Praha, 1996.
- [12] **Tomek G., Vávřová V.:** Řízení výroby, Grada, Praha, 1999.
- [13] **Svět jakosti 1/2001**, Bartoň QSV, České Budějovice, 2001.
- [14] **Svět jakosti 2/2001**, Bartoň QSV, České Budějovice, 2001.
- [15] **Svět jakosti 3/2001**, Bartoň QSV, České Budějovice, 2001.

14. Seznam příloh

Příloha č. 1: Součinitelé pro výpočet CL, LCL, UCL

Příloha č. 2: Organizační struktura závodu

Příloha č. 3: Kvantily standardizovaného normálního rozdělení

Příloha č. 4: Kvantily testového kritéria normality W^*

Příloha č. 5: Tabulka koeficientů pro výpočet W^*

Příloha č. 6: Tabulky pro výpočet indexů způsobilosti a hodnoty indexů

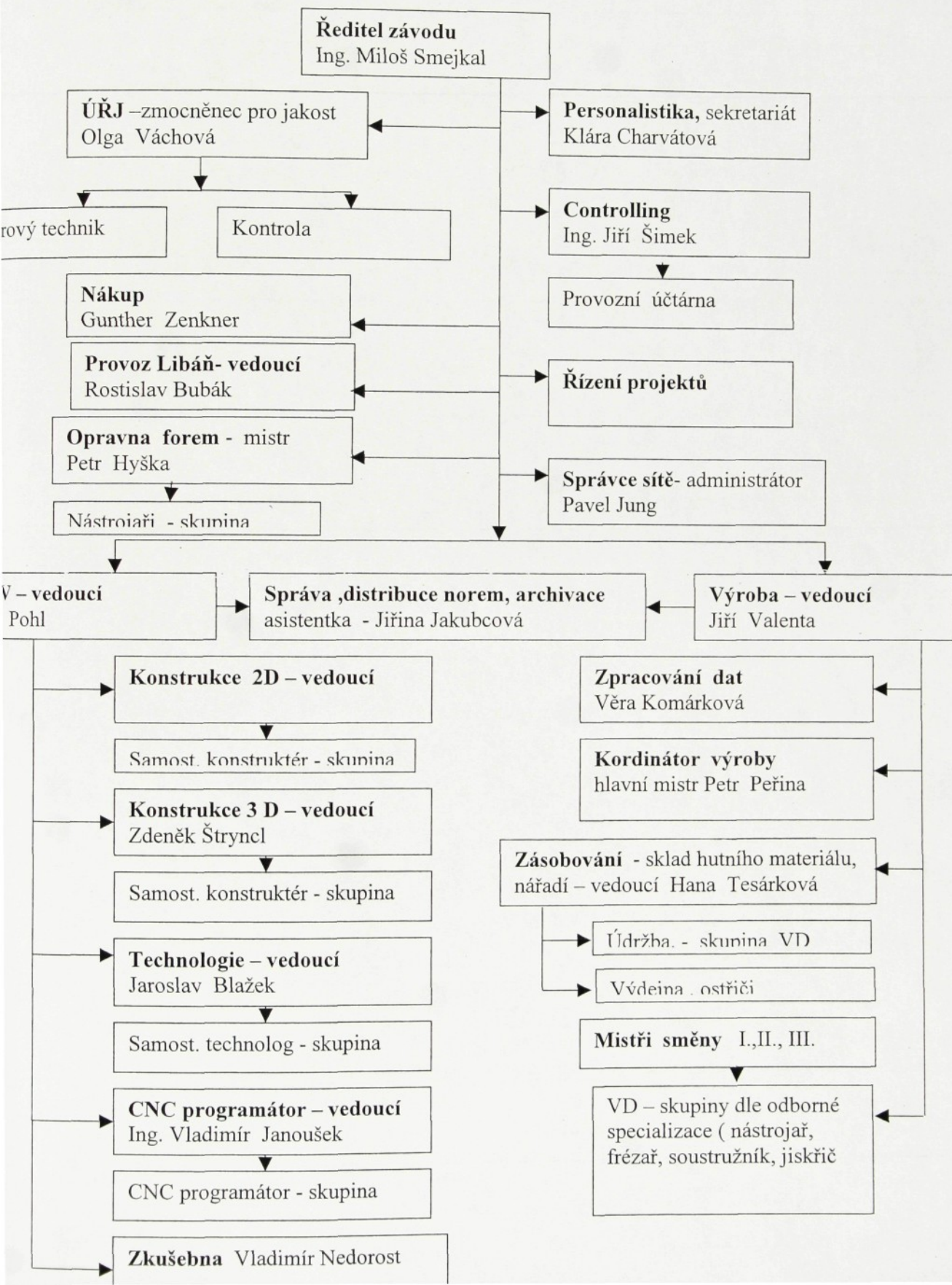
Příloha č. 7: Tabulky četností pro sestrojení histogramů

Příloha č. 8: Tabulky hodnot pro sestrojení standardizovaných diagramů

Příloha č. 9: Tabulky pro výpočet hodnot diagramu $\bar{x}_j$

Příloha č. 1: Součinitelé pro výpočet CL, LCL, UCL [2]

Rozsah podskupiny n	Součinitelé pro výpočet CL, LCL, UCL							
	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	D ₃	D ₄	C ₄	d ₂
2	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	3,267	0,797 9	1,128
3	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,574	0,886 2	1,693
4	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,282	0,921 3	2,059
5	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	2,114	0,940 0	2,326
6	0,483	1,287	0,030	1,970	0,000	2,004	0,951 5	2,534
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	0,959 4	2,704
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	0,965 0	2,847
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	0,969 3	2,970
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777	0,972 7	3,078
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744	0,975 4	3,173
12	0,266	0,886	0,354	1,646	0,283	1,717	0,977 6	3,258
13	0,249	0,850	0,382	1,618	0,307	1,693	0,979 4	3,336
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672	0,981 0	3,407
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653	0,982 3	3,472
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637	0,983 5	3,532
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622	0,984 5	3,588
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,391	1,608	0,985 4	3,640
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597	0,986 2	3,689
20	0,180	0,680	0,510	1,490	0,415	1,585	0,986 9	3,735
21	0,173	0,663	0,523	1,477	0,425	1,575	0,987 6	3,778
22	0,167	0,647	0,534	1,466	0,434	1,566	0,988 2	3,819
23	0,162	0,633	0,545	1,455	0,443	1,557	0,988 7	3,858
24	0,157	0,619	0,555	1,445	0,451	1,548	0,989 2	3,895
25	0,153	0,606	0,565	1,435	0,459	1,541	0,989 6	3,931



Příloha č. 3: Kvantily standardizovaného normálního rozdělení

α	u_α	α	u_α	α	u_α
0,5000	0,000000	0,7050	0,538836	0,9100	1,340755
0,5050	0,012533	0,7100	0,553385	0,9150	1,372204
0,5100	0,025069	0,7150	0,568052	0,9200	1,405072
0,5150	0,037608	0,7200	0,582842	0,9250	1,439531
0,5200	0,050154	0,7250	0,597760	0,9300	1,475791
0,5250	0,062707	0,7300	0,612813	0,9350	1,514102
0,5300	0,075270	0,7350	0,628006	0,9400	1,554774
0,5350	0,087845	0,7400	0,643345	0,9450	1,598193
0,5400	0,100434	0,7450	0,658838	0,9500	1,644854
0,5450	0,113039	0,7500	0,674490	0,9550	1,695398
0,5500	0,125661	0,7550	0,690309	0,9600	1,750686
0,5550	0,138304	0,7600	0,706303	0,9650	1,811911
0,5600	0,150969	0,7650	0,722479	0,9700	1,880794
0,5650	0,163658	0,7700	0,738847	0,9750	1,959964
0,5700	0,176374	0,7750	0,755415	0,9800	2,053749
0,5750	0,189118	0,7800	0,772193	0,9850	2,170090
0,5800	0,201893	0,7850	0,789192	0,9900	2,326348
0,5850	0,214702	0,7900	0,806421	0,9905	2,345531
0,5900	0,227545	0,7950	0,823894	0,9910	2,365618
0,5950	0,240426	0,8000	0,841621	0,9915	2,386708
0,6000	0,253347	0,8050	0,859617	0,9920	2,408916
0,6050	0,266311	0,8100	0,877896	0,9925	2,432379
0,6100	0,279319	0,8150	0,896473	0,9930	2,457263
0,6150	0,292375	0,8200	0,915365	0,9935	2,483769
0,6200	0,305481	0,8250	0,934589	0,9940	2,512144
0,6250	0,318639	0,8300	0,954165	0,9945	2,542699
0,6300	0,331853	0,8350	0,974114	0,9950	2,575829
0,6350	0,345126	0,8400	0,994458	0,9955	2,612054
0,6400	0,358459	0,8450	1,015222	0,9960	2,652070
0,6450	0,371856	0,8500	1,036433	0,9965	2,696844
0,6500	0,385320	0,8550	1,058122	0,9970	2,747781
0,6550	0,398855	0,8600	1,080319	0,9975	2,807034
0,6600	0,412463	0,8650	1,103063	0,9980	2,878162
0,6650	0,426148	0,8700	1,126391	0,9985	2,967738
0,6700	0,439913	0,8750	1,150349	0,9990	3,090232
0,6750	0,453762	0,8800	1,174987	0,9995	3,290527
0,6800	0,467699	0,8850	1,200359	0,9996	3,352795
0,6850	0,481727	0,8900	1,226528	0,9997	3,431614
0,6900	0,495850	0,8950	1,253565	0,9998	3,540084
0,6950	0,510073	0,9000	1,281552	0,9999	3,719016
0,7000	0,524401	0,9050	1,310579		

Příloha č. 4: Kvantily testového kritéria normality W^*

KVANTILY TESTOVÉHO KRITÉRIA NORMALITY W^*
PRO $n = 3 (1) 50$

$\alpha \backslash n$	0,01	0,02	0,05	0,10	0,50
3	0,753	0,766	0,767	0,789	0,959
4	0,687	0,707	0,748	0,792	0,935
5	0,686	0,715	0,762	0,800	0,927
6	0,713	0,743	0,788	0,826	0,927
7	0,730	0,760	0,803	0,838	0,928
8	0,749	0,778	0,818	0,851	0,932
9	0,764	0,791	0,829	0,859	0,935
10	0,781	0,806	0,842	0,869	0,938
11	0,792	0,817	0,850	0,876	0,940
12	0,805	0,828	0,859	0,883	0,943
13	0,814	0,837	0,866	0,889	0,945
14	0,825	0,846	0,874	0,895	0,947
15	0,835	0,855	0,881	0,901	0,950
16	0,844	0,863	0,887	0,906	0,952
17	0,851	0,869	0,892	0,910	0,954
18	0,858	0,874	0,897	0,914	0,956
19	0,863	0,879	0,901	0,917	0,957
20	0,868	0,884	0,905	0,920	0,959
21	0,873	0,888	0,908	0,923	0,960
22	0,878	0,892	0,911	0,926	0,961
23	0,881	0,895	0,914	0,928	0,962
24	0,884	0,898	0,916	0,930	0,963
25	0,888	0,901	0,918	0,931	0,964
26	0,891	0,904	0,920	0,933	0,965
27	0,894	0,906	0,923	0,935	0,965
28	0,896	0,908	0,924	0,936	0,966
29	0,898	0,910	0,926	0,937	0,966
30	0,900	0,912	0,927	0,939	0,967
31	0,902	0,914	0,929	0,940	0,967
32	0,904	0,915	0,930	0,941	0,968
33	0,906	0,917	0,931	0,942	0,968
34	0,908	0,919	0,933	0,943	0,969
35	0,910	0,920	0,934	0,944	0,969
36	0,912	0,922	0,935	0,945	0,970
37	0,914	0,924	0,936	0,946	0,970
38	0,916	0,925	0,938	0,947	0,971
39	0,917	0,927	0,939	0,948	0,971
40	0,919	0,928	0,940	0,949	0,972
41	0,920	0,929	0,941	0,950	0,972
42	0,922	0,930	0,942	0,951	0,972
43	0,923	0,932	0,943	0,951	0,973
44	0,924	0,933	0,944	0,952	0,973
45	0,926	0,934	0,945	0,953	0,973
46	0,927	0,935	0,945	0,953	0,974
47	0,928	0,936	0,946	0,954	0,974
48	0,929	0,937	0,947	0,954	0,974
49	0,929	0,937	0,947	0,955	0,974
50	0,930	0,938	0,947	0,955	0,974

(Str. 40 - ČSN 01 0225)

Příloha č. 5: Tabulka koeficientů pro výpočet W*

TABULKA KOEFICIENTŮ α_{n-j+1} PRO VÝPOČET TESTOVÉHO KRITÉRIA W

$j \backslash n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.7071	0.6872	0.6646	0.6431	0.6233	0.6052	0.5888	0.5739	0.5601	0.5475	0.5359	0.5251
2		0.1677	0.2413	0.2806	0.3031	0.3164	0.3244	0.3291	0.3315	0.3325	0.3325	0.3318
3				0.0875	0.1401	0.1743	0.1976	0.2141	0.2260	0.2347	0.2412	0.2460
4					0.0561	0.0947	0.1224	0.1429	0.1586	0.1707	0.1802	0.1802
5							0.0399	0.0922	0.1099	0.1240	0.1359	0.1440
6								0.0303	0.0695	0.0922	0.1099	0.1240
7									0.0303	0.0695	0.1099	0.1240

$j \backslash n$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	0.5150	0.5056	0.4968	0.4886	0.4808	0.4734	0.4643	0.4590	0.4542	0.4493	0.4450	0.4407
2	0.3306	0.3290	0.3273	0.3253	0.3232	0.3211	0.3185	0.3156	0.3126	0.3098	0.3069	0.3043
3	0.2495	0.2521	0.2540	0.2553	0.2561	0.2565	0.2578	0.2571	0.2563	0.2554	0.2543	0.2533
4	0.1878	0.1939	0.1988	0.2027	0.2059	0.2085	0.2119	0.2131	0.2139	0.2145	0.2148	0.2151
5	0.1353	0.1447	0.1524	0.1587	0.1641	0.1686	0.1736	0.1764	0.1787	0.1807	0.1822	0.1836
6	0.0880	0.1005	0.1109	0.1197	0.1271	0.1334	0.1399	0.1443	0.1480	0.1512	0.1539	0.1563
7	0.0433	0.0593	0.0725	0.0837	0.0932	0.1013	0.1092	0.1150	0.1201	0.1245	0.1283	0.1316
8		0.0196	0.0359	0.0496	0.0612	0.0711	0.0804	0.0878	0.0941	0.0997	0.1046	0.1089
9				0.0163	0.0303	0.0422	0.0530	0.0618	0.0696	0.0764	0.0823	0.0876
10						0.0140	0.0263	0.0368	0.0459	0.0539	0.0610	0.0672
11								0.0122	0.0228	0.0321	0.0403	0.0476
12									0.0107	0.0200	0.0284	0.0359
13												0.0094

Příloha č. 6: Tabulky pro výpočet indexů způsobilosti a hodnoty indexů

a) Tabulky pro výpočet indexů u produktu s průměrem 10 mm

i	x_i	Průměr	$x_j - \text{Pr.}$	$(x_j - \text{Pr.})^2$
1	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
2	2,950	2,939917	0,010	0,000101674
3	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
4	2,942	2,939917	0,002	4,34028E-06
5	2,940	2,939917	0,000	6,94444E-09
6	2,950	2,939917	0,010	0,000101674
7	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
8	2,910	2,939917	-0,030	0,000895007
9	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
10	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
11	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
12	2,950	2,939917	0,010	0,000101674
13	2,940	2,939917	0,000	6,94444E-09
14	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
15	2,925	2,939917	-0,015	0,000222507
16	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
17	2,942	2,939917	0,002	4,34028E-06
18	2,940	2,939917	0,000	6,94444E-09
19	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
20	2,942	2,939917	0,002	4,34028E-06
21	2,935	2,939917	-0,005	2,41736E-05
22	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
23	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
24	2,941	2,939917	0,001	1,17361E-06
Suma	70,558	*	*	0,001473833
Prumer	2,939917	Rz	0,015293	*

Ukazatel	Hodnota
t^2	6,52533E-05
$x-T$	-0,00108333
$(x-T)^2$	1,17361E-06
t	0,008077953
6t	0,048467717
3t	0,024233858
s^2	6,40797E-05
s	0,00800498
6s	0,048029882
3s	0,024014941
USL-PR	0,016083333
PR-LSL	0,013916667

Index	Hodnota
C_p	0,624611153
C_{pU}	0,669721959
C_{pL}	0,579500348
C_{pm}	0,618968708
C_{pmK}	0,663672003
C_{pmK}	0,574265412

b) Tabulky pro výpočet indexů u produktu s průměrem 16 mm

i	x_i	Průměr	$x_j - \text{Pr.}$	$(x_j - \text{Pr})^2$
1	2,959	2,957875	0,001	1,27E-06
2	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
3	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
4	2,959	2,957875	0,001	1,27E-06
5	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
6	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
7	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
8	2,920	2,957875	-0,038	0,001435
9	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
10	2,961	2,957875	0,003	9,77E-06
11	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
12	2,950	2,957875	-0,008	6,2E-05
13	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
14	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
15	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
16	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
17	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
18	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
19	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
20	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
21	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
22	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
23	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
24	2,960	2,957875	0,002	4,52E-06
Suma	70,989			0,001595
Prumer	2,957875	Rz	0,015907	

Ukazatel	Hodnota
t2	7,38E-05
x-T	-0,00212
(x-T)2	4,52E-06
t	0,008593
6t	0,051561
3t	0,02578
s2	6,93E-05
s	0,008327
6s	0,049959
3s	0,02498
USL-PR	0,017125
PR-LSL	0,012875

Index	Hodnota
C_p	0,600488
C_{pU}	0,685558
C_{pL}	0,515419
C_{pm}	0,581839
C_{pmK}	0,664267
C_{pmK}	0,499412

c) Tabulky pro výpočet indexů u produktu s průměrem 12 mm

i	x_i	Průměr	$x_i - \text{Pr.}$	$(x_i - \text{Pr})^2$
1	2,949	2,9505	-0,002	2,25E-06
2	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
3	2,955	2,9505	0,004	2,025E-05
4	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
5	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
6	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
7	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
8	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
9	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
10	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
11	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
12	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
13	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
14	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
15	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
16	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
17	2,955	2,9505	0,004	2,025E-05
18	2,950	2,9505	-0,001	2,5E-07
Suma	53,109			4,65E-05
Prumer	2,9505	Rz	0,00316	

Ukazatel	Hodnota
t^2	2,99E-06
$x-T$	0,0005
$(x-T)^2$	2,5E-07
t	0,001728
$6t$	0,010367
$3t$	0,005183
USL-PR	0,0145
PR-LSL	0,0155
s^2	2,74E-06
s	0,001654
$6s$	0,009923
$3s$	0,004962

Index	Hodnota
C_p	3,023208
C_{pU}	2,922434
C_{pL}	3,123981
C_{pm}	2,893853
C_{pmK}	2,797391
C_{pmK}	2,990315

d) Tabulky pro výpočet indexů u produktu s průměrem 6 mm

i	x_i	Průměr	$x_j - \text{Pr.}$	$(x_j - \text{Pr})^2$
1	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
2	2,931	2,93075	0,000	6,25E-08
3	2,940	2,93075	0,009	8,56E-05
4	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
5	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
6	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
7	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
8	2,940	2,93075	0,009	8,56E-05
9	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
10	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
11	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
12	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
13	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
14	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
15	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
16	2,931	2,93075	0,000	6,25E-08
17	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
18	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
19	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
20	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
21	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
22	2,925	2,93075	-0,006	3,31E-05
23	2,930	2,93075	-0,001	5,63E-07
24	2,931	2,93075	0,000	6,25E-08
Suma	70,338			0,000214
Prumer	2,93075	Rz	0,005834	

Ukazatel	Hodnota
t^2	9,89E-06
$x-T$	0,00075
$(x-T)^2$	5,63E-07
t	0,003145
6t	0,018868
3t	0,009434
USL-PR	0,01425
PR-LSL	0,01575
s^2	9,33E-06
s	0,003054
6s	0,018323
3s	0,009162

Index	Hodnota
C_p	1,63727
C_{pU}	1,555406
C_{pL}	1,719133
C_{pm}	1,590021
C_{pmK}	1,51052
C_{pmK}	1,669522

Příloha č. 7: Tabulky četností pro sestrojení histogramů

Průměr 12 mm	
x_i	n_i
2,949	1
2,950	15
2,955	2

Průměr 16 mm	
x_i	n_i
2,920	1
2,950	1
2,959	2
2,960	19
2,961	1

Průměr 10 mm	
x_i	n_i
2,910	1
2,925	1
2,935	1
2,940	3
2,941	12
2,942	3
2,950	3

Průměr 6 mm	
x_i	n_i
2,925	1
2,930	18
2,931	3
2,940	2

Příloha č. 8: Tabulky hodnot pro sestrojení standardizovaných diagramů

Typ	j	R_z	R_{jz}/R_z	x_z	x_{jT}
10 mm	1	0,01528	0,58889	2,93992	0,26718
	2	0,01528	0,65431	2,93992	0,26718
	3	0,01528	2,02837	2,93992	-0,60524
	4	0,01528	0,58888	2,93992	0,26718
	5	0,01528	1,04690	2,93992	-0,29989
	6	0,01528	0,13086	2,93992	0,07088
	7	0,01528	0,45802	2,93992	-0,03817
	8	0,01528	0,00000	2,93992	0,07088
16 mm	9	0,01591	0,06286	2,95788	0,11263
	10	0,01591	0,06286	2,95788	0,11263
	11	0,01591	2,51447	2,95788	-0,70458
	12	0,01591	0,69148	2,95788	-0,05500
	13	0,01591	0,00000	2,95788	0,13358
	14	0,01591	0,00000	2,95788	0,13358
	15	0,01591	0,00000	2,95788	0,13358
	16	0,01591	0,00000	2,95788	0,13358
12 mm	17	0,00316	1,89885	2,95050	0,26373
	18	0,00316	0,00000	2,95050	-0,15824
	19	0,00316	0,00000	2,95050	-0,15824
	20	0,00316	0,00000	2,95050	-0,15824
	21	0,00316	0,00000	2,95050	-0,15824
	22	0,00316	1,58237	2,95050	0,36922
	23	0,00583	1,71398	2,93075	0,49991
6 mm	24	0,00583	0,00000	2,93075	-0,12855
	25	0,00583	1,71398	2,93075	0,44278
	26	0,00583	0,00000	2,93075	-0,12855
	27	0,00583	0,00000	2,93075	-0,12855
	28	0,00583	0,00000	2,93075	-0,07142
	29	0,00583	0,00000	2,93075	-0,12855
	30	0,00583	1,02839	2,93075	-0,35708

Příloha č. 9: Tabulky pro výpočet hodnot diagramu x_j

Průměr 10 mm		
i	x_i	R_{kl}
1	2,941	
2	2,950	0,009
3	2,941	0,009
4	2,942	0,001
5	2,940	0,002
6	2,950	0,010
7	2,941	0,009
8	2,910	0,031
9	2,941	0,031
10	2,941	0,000
11	2,941	0,000
12	2,950	0,009
13	2,940	0,010
14	2,941	0,001
15	2,925	0,016
16	2,941	0,016
17	2,942	0,001
18	2,940	0,002
19	2,941	0,001
20	2,942	0,001
21	2,935	0,007
22	2,941	0,006
23	2,941	0,000
24	2,941	0,000
Suma	70,558	0,172
Průměr	2,939917	0,007478
Kvantil	3,028985	

Průměr 16 mm		
i	x_i	R_{kl}
1	2,959	
2	2,960	0,001
3	2,960	0,000
4	2,959	0,001
5	2,960	0,001
6	2,960	0,000
7	2,960	0,000
8	2,920	0,040
9	2,960	0,040
10	2,961	0,001
11	2,960	0,001
12	2,950	0,010
13	2,960	0,010
14	2,960	0,000
15	2,960	0,000
16	2,960	0,000
17	2,960	0,000
18	2,960	0,000
19	2,960	0,000
20	2,960	0,000
21	2,960	0,000
22	2,960	0,000
23	2,960	0,000
24	2,960	0,000
Suma	70,989	0,105
Průměr	2,957875	0,004565
Kvantil	3,028985	

Průměr 12 mm		
i	x_i	R_{ki}
1	2,949	
2	2,950	0,001
3	2,955	0,005
4	2,950	0,005
5	2,950	0,000
6	2,950	0,000
7	2,950	0,000
8	2,950	0,000
9	2,950	0,000
10	2,950	0,000
11	2,950	0,000
12	2,950	0,000
13	2,950	0,000
14	2,950	0,000
15	2,950	0,000
16	2,950	0,000
17	2,955	0,005
18	2,950	0,005
Suma	53,109	0,021
Průměr	2,9505	0,001235
Kvantil	3,028985	

Průměr 6 mm		
i	x_i	R_{ki}
1	2,930	
2	2,931	0,001
3	2,940	0,009
4	2,930	0,010
5	2,930	0,000
6	2,930	0,000
7	2,930	0,000
8	2,940	0,010
9	2,930	0,010
10	2,930	0,000
11	2,930	0,000
12	2,930	0,000
13	2,930	0,000
14	2,930	0,000
15	2,930	0,000
16	2,931	0,001
17	2,930	0,001
18	2,930	0,000
19	2,930	0,000
20	2,930	0,000
21	2,930	0,000
22	2,925	0,005
23	2,930	0,005
24	2,931	0,001
Suma	70,338	0,053
Prumer	2,93075	0,002
Kvantil	3,028985	