

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV METROLOGIE A ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF METROLOGY AND QUALITY ASSURANCE TESTING

# STATISTICKÉ ŘÍZENÍ A REGULACE VÝROBNÍHO PROCESU

STATISTICAL PROCESS CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ NEUGEBAUER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSC.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav metrologie a zkušebnictví

Akademický rok: 2007/08

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Neugebauer Tomáš

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Řízení jakosti (3911T023)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Statistické řízení a regulace výrobního procesu**

v anglickém jazyce:

#### **Statisticall Process Control**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh metodiky kontroly jakosti výrobního procesu

Cíle diplomové práce:

Návrh metody SPC pro konkrétní výrobní proces.

Seznam odborné literatury:

1. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie: Část metrologie. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2001. 151 s. ISBN 80--214--1997--0
2. ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODANÝ, K., Strojírenská metrologie. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2
3. CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M., Maranie technických veličín, Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1999. 688 s., ISBN 80-227-1275-2
4. KRSEK, A., OSANNA, P., KURIC, I., PROSTREDNÍK, D., Stojárská metrológia a riadenie kvality, Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1998. 289 s., ISBN 80-227-1025-3

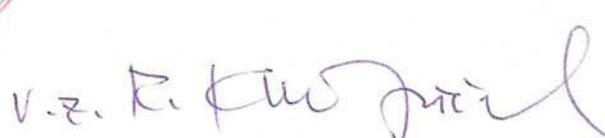
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Leoš Bumbálek, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ANOTACE**

Tato diplomová práce se zabývá využitím metody SPC v prostředí strojírenské výroby. Práce je koncipována jako návod k zavedení a používání SPC ve výrobě. Důvodem zavedení SPC je snaha o neustálé zlepšování jakosti. Při implementaci samotné metody bylo použito systémového přístupu, aby účinnost nasazení byla co největší. Práce obsahuje tři základní části – teoretickou, návrh postupu řešení a praktickou realizaci.

## **ANOTATION**

This dissertation deals with utilisation of the method SPC in the field of engineering production. The work is outlined as instructions for introduction and usage of SPC in production. The reason for introduction of SPC is the effort to improve the quality constantly. The systematic approach was used for implementation of the very method so that the efficiency of the introduction is as high as possible. The dissertation contains three fundamental parts – theoretical part, suggestion of the process of the solution and practical implementation.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Měření, regulace procesu, regulační diagramy, kontrolní proces.

## **KEY WORDS**

Measurement, process regulation, regulation diagrams, testing system.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE**

NEUGEBAUER, T. *Statistické řízení a regulace výrobního procesu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, na základě uvedené literatury a za pomoci vedoucího diplomové práce doc. Ing. Jiřího Pernikáře, CSc.

V Brně dne 31.3.2008

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi, CSc. za jeho cenné připomínky a rady. Dále bych chtěl poděkovat firmě STARTECH spol. s r.o. za poskytnutí informací pro zpracování tohoto diplomového úkolu a za umožnění praktického měření.



## OBSAH

<b>0</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Veličiny</b> .....	<b>13</b>
1.1.1	Měřitelná veličina .....	13
1.1.2	Pravá hodnota veličiny .....	13
1.1.3	Konvenčně pravá hodnota veličiny .....	13
<b>1.2</b>	<b>Měření a metrologie</b> .....	<b>13</b>
1.2.1	Měření .....	13
1.2.2	Metrologie .....	14
<b>1.3</b>	<b>Výsledky měření</b> .....	<b>14</b>
1.3.1	Výsledek měření .....	14
1.3.2	Indikace .....	14
1.3.3	Nekorigovaný výsledek .....	14
1.3.4	Korigovaný výsledek .....	14
1.3.5	Přesnost měření .....	15
1.3.6	Opakovatelnost výsledků měření .....	15
1.3.7	Reprodukovatelnost výsledků měření .....	15
1.3.8	Výběrová směrodatná odchylka .....	16
1.3.9	Nejistota měření .....	16
<b>1.4</b>	<b>Chyby měření</b> .....	<b>16</b>
1.4.1	Absolutní chyba měření .....	16
1.4.2	Relativní chyba měření .....	17
1.4.3	Hrubá chyba .....	17
1.4.4	Náhodná chyba .....	17
1.4.5	Systematická chyba .....	18
1.4.6	Chyba měření .....	18
1.4.7	Korekce .....	18
<b>1.5</b>	<b>Měřicí přístroje a měřidla</b> .....	<b>19</b>
1.5.1	Měřicí přístroj (měřidlo) .....	19
1.5.2	Ztělesněná míra .....	19
<b>1.6</b>	<b>Technická kontrola ve strojírenském podniku</b> .....	<b>19</b>
1.6.1	Vstupní technická kontrola .....	19
1.6.2	Výrobní technická kontrola .....	20
1.6.3	Výstupní technická kontrola .....	20
1.6.4	Kontrola pracovních prostředků .....	20
<b>1.7</b>	<b>Statistické řízení a regulace výrobního procesu (SPC)</b> .....	<b>21</b>
1.7.1	Dělení SPC .....	22
1.7.2	Zásady systému SPC .....	22
1.7.3	Finanční motivace pro SPC .....	23

1.7.4	Rozptylové vlivy ovlivňující výrobní proces .....	23
1.7.5	Schopnost procesu a jeho znaky.....	24
1.7.6	Zavádění metody SPC do výrobního procesu .....	27
1.7.7	Různé stupně zajišťování jakosti ve výrobě.....	28
<b>1.8</b>	<b>Shewhartovy regulační diagramy .....</b>	<b>29</b>
1.8.1	Typy regulačních diagramů.....	29
1.8.2	Před aplikací SPC.....	29
1.8.3	Regulační diagramy při kontrole měření.....	29
1.8.4	Druhy regulačních diagramů při kontrole měření a jejich použití .....	32
1.8.5	Regulační diagramy při kontrole srovnáváním .....	33
<b>2</b>	<b>POPIS PROBLÉMU A JEHO ŘEŠENÍ .....</b>	<b>35</b>
2.1	Profil společnosti a její hlavní sortiment .....	35
2.2	Hodnocení stávajícího stavu.....	36
2.3	Stávající systém technické kontroly.....	37
2.4	Implementace SPC .....	37
2.4.1	Přípravná fáze.....	37
2.4.2	Fáze zabezpečení statistické způsobilosti (stability) .....	38
2.4.3	Fáze analýzy způsobilosti.....	38
2.4.4	Fáze vlastní statistické regulace .....	39
2.5	Vlastní provádění měření a SPC.....	39
2.5.1	Měření a zápis .....	40
2.5.2	Výpočty .....	42
2.5.3	Ukazatel způsobilosti procesu $C_p$ a $C_{pk}$ .....	44
2.5.4	Doporučení .....	44
2.6	Metoda „PRECONTROL“ .....	45
2.6.1	Postup při aplikaci metody .....	45
2.6.2	Efektivnost metody .....	46
2.6.3	Regulační diagram.....	47
2.6.4	Hlavní přednosti metody „PRECONTROL“ .....	47
<b>3</b>	<b>NÁVRH SYSTÉMU MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ .....</b>	<b>48</b>
3.1	Dílenské měření a vyhodnocení.....	48
3.2	Dílenské měření a PC vyhodnocení .....	49
3.3	Interaktivní měření a vyhodnocení.....	49
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>53</b>

<b>6</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>
	<b>Příloha A .....</b>	<b>57</b>
	<b>Příloha B.....</b>	<b>58</b>
	<b>Příloha C .....</b>	<b>59</b>

## 0 ÚVOD

Základem nejen přesného avšak i ekonomicky únosného měření je návaznost pracovních měřidel na etalony a zabezpečování jejich jednotnosti a přesnosti. Úsilí metrologů, kteří tuto návaznost zabezpečují, může být zmařeno nevhodným použitím správně zkalibrovaného měřidla nebo nevhodně zvolenou metodou měření při kontrole výrobku, popřípadě výrobního procesu. O významu měření pro průmyslový reprodukční proces a tím i o úzkém vztahu metrologie, respektive měření, k výrobě svědčí symbol progresivní průmyslové výroby, označovaný jako 5M. V tomto symbolu je měření uváděno jako jeden z pěti činitelů vytvářejících výrobní proces, jenž je nezbytný pro jeho realizaci (Men, Machines, Materials, Methods, Measurements).

Podniková metrologie je důležitý článek podnikového systému jakosti, zahrnuje všechny činnosti organizačního, řídicího a technického charakteru, které souvisejí s měřením a přípravou měřicích operací. Jde tedy o oblast neobyčejně širokou, která může výrazně ovlivnit nejen jakost výrobků, ale i konkurenceschopnost podniku. Pod pojmem „kontrolní systém“ se ve strojírenském podniku obvykle rozumí soubor závazných písemných dokumentů, které vytvářejí podmínky pro kontrolu kvality a určují, jak při této kontrole postupovat.

Tato práce se zabývá návrhem zlepšení kontrolních systémů ve výrobě hřidel ve firmě STARTECH spol. s.r.o. Především se věnuje metodice a možnosti aplikace SPC ve výrobním a kontrolním procesu firmy. Protože se v podniku vyrábí širší sortiment různých typů a druhů hřidel, je tento projekt zaměřen na jednoho typického představitele. Na tomto představiteli budou demonstrovány jednotlivé kroky přechodu na metodu kontrolního procesu SPC. Závěrečná část je věnována návrhu optimalizace SPC, zlepšení systému měření a kontrolních procesů ve firmě.

## 1 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE [8]

Pojem „Strojírenská metrologie“ úzce souvisí s pojmy „Jakost výroby, výrobků a služeb“. Má nezastupitelné místo při kvantifikaci vybraných parametrů jakosti. Navíc může dlouhodobě sledovat úroveň jakosti hotových výrobků nebo polotovarů pomocí metod statistické přejímky, případně statisticky regulovat a řídit vlastní výrobní proces tak, aby se předcházelo výrobě neshodných kusů. Přitom se současně vytváří dokumenty, které kvantitativním způsobem dokladují úroveň jakosti výroby. Podle norem ISO řady 9000 musí výrobce kdykoliv prokázat, že má výrobu stále pod kontrolou, takže je schopen garantovat požadovanou jakost svých výrobků.

### 1.1 Veličiny [2]

#### 1.1.1 Měřitelná veličina

Měřitelná veličina je vlastnost jevu, tělesa nebo látky, kterou lze kvalitativně rozlišit a kvantitativně určit. Označení „veličina“ se může vztahovat na veličinu ve všeobecném smyslu, např. délka, čas, hmotnost, teplota nebo na speciální veličinu, např. délka určité tyče, elektrický odpor určitého vzorku drátku.

#### 1.1.2 Pravá hodnota veličiny

Pravá hodnota veličiny je hodnota, která je ve shodě s definicí dané blíže určené veličiny. Jedná se o hodnotu, která by byla získána naprosto přesným (perfektním) měřením. Pravé hodnoty jsou neurčitého charakteru; v podstatě ji nelze určit.

#### 1.1.3 Konvenčně pravá hodnota veličiny

Konvenčně pravou hodnotou veličiny rozumíme hodnotu, která je prisuzována blíže určené veličině a přijatá, někdy konvencí, jako hodnota, jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel. Ke stanovení konvenčně pravé hodnoty se často používá velkého počtu výsledků měření veličiny.

## 1.2 Měření a metrologie [1,2]

### 1.2.1 Měření

Soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny se nazývá „měření“.

## 1.2.2 Metrologie

Věda, která se zabývá měřením, se nazývá „metrologie“. Zahrnuje aspekty jak teoretické, tak i praktické ve vztahu k měření; bez ohledu na to, jaká je nejistota těchto měření a bez ohledu na to, v jaké oblasti vědy nebo techniky se tato měření vyskytují. Rozlišují se tři základní části:

*Metrologie vědecká*, která ve všech aplikačních vědách pomáhá při studiu základních přírodních zákonů a současně využívá všech nových poznatků těchto vědních oborů pro zvyšování přesnosti experimentálních činností.

*Metrologie legální*, která shrnuje všechny normy, zákony a vyhlášky, které se touto problematikou zabývají.

*Metrologie praktická*, která se zabývá praktickou činností při aplikaci postupů v dané oblasti.

## 1.3 Výsledky měření [1,2,8]

### 1.3.1 Výsledek měření

Výsledek měření je hodnota získaná měřením a přisouzená měřené veličině. Mělo by být zřejmé, zda se jedná o:

- indikaci,
- nekorigovaný výsledek,
- korigovaný výsledek

a zda se jedná o průměr získaný z několika hodnot; úplný údaj výsledku měření obsahuje informaci o nejistotě měření.

### 1.3.2 Indikace

Indikace je hodnota veličiny udávaná měřícím přístrojem.

### 1.3.3 Nekorigovaný výsledek

Nekorigovaný výsledek je výsledek měření před korigováním z hlediska systematické chyby.

### 1.3.4 Korigovaný výsledek

Korigovaný výsledek je výsledek měření po korigování z hlediska systematické chyby.

### 1.3.5 Přesnost měření

Přesnost měření je vyjádřena těsností shody mezi výsledkem měření a pravou hodnotou měřené veličiny. „Přesnost“ je kvalitativní pojem.

### 1.3.6 Opakovatelnost výsledků měření

Opakovatelnost výsledků měření je těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže veličiny provedených za podmínek opakovatelnosti. Do podmínek opakovatelnosti se zahrnuje:

- tentýž postup měření,
- tentýž pozorovatel,
- tentýž měřicí přístroj použitý za stejných podmínek,
- totéž místo,
- opakování v průběhu krátké časové periody.

Opakovatelnost může být kvantitativně vyjádřena charakteristikami rozptylu výsledků.

### 1.3.7 Reprodukovatelnost výsledků měření

Reprodukovatelnost je těsnost shody mezi výsledky měření téže měřené veličiny provedených za změněných podmínek měření. Platný údaj o reprodukovatelnosti vyžaduje specifikaci změněných podmínek. Mezi změněné podmínky měření lze zahrnout:

- princip měření,
- metodu měření,
- pozorovatele,
- měřicí přístroj,
- referenční etalon,
- místo,
- podmínky použití,
- čas.

Reprodukovatelnost může být kvantitativně vyjádřena charakteristikami rozptylu výsledků.

### 1.3.8 Výběrová směrodatná odchylka

Pro sérii  $n$  měření téže veličiny je to veličina charakterizující rozptyl výsledků a je dána rovnicí:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

kde  $x_i$  je výsledek  $i$ -tého měření;

$\bar{x}$  je aritmetický průměr uvažovaných  $n$  výsledků.

### 1.3.9 Nejistota měření

Nejistotou měření (výsledku měření) se rozumí parametr charakterizující rozsah hodnot (interval hodnot) okolo výsledku měření, které lze odůvodněně přiřadit hodnotě měřené veličiny. Nejistota se může týkat nejen výsledku měření, ale také hodnot odečítaných na použitých měřidlech, hodnot použitých konstant, korekcí apod., na kterých nejistota výsledku měření závisí.

## 1.4 Chyby měření [1, 2, 8]

Při každém měření vznikají chyby, které jsou důsledkem nedokonalosti lidských smyslů, nepřesností měřicích prostředků a nemožnosti zcela přesně splnit určité podmínky měření a vyloučit rušivé vlivy. Existence chyb se projevuje tím, že při opakování téhož měření nelze dosáhnout úplně stejných výsledků.

### 1.4.1 Absolutní chyba měření

Absolutní chyba měření je rozdíl mezi výsledkem měření a konvenčně pravou hodnotou měřené veličiny.

$$\Delta = x_m - x_p, \quad (2)$$

kde  $x_m$  je změřená hodnota měřené veličiny,

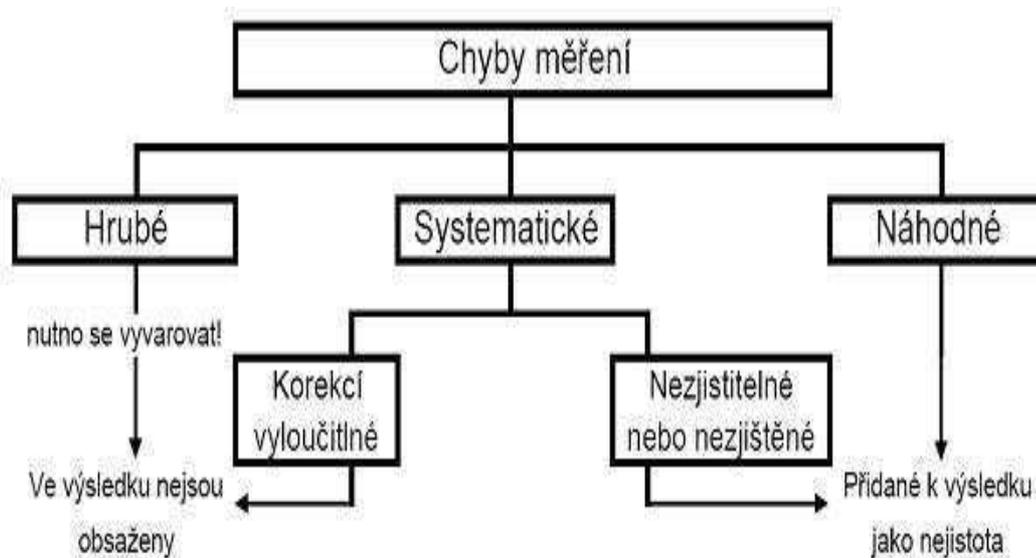
$x_p$  je (konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny.



### 1.4.2 Relativní chyba měření

Relativní chybou rozumíme podíl chyby měření a pravé hodnoty měřené veličiny, kterou je možné vyjádřit v procentech.

$$\Delta_p = \frac{x_m - x_p}{x_p} \cdot 100 [\%]. \quad (3)$$



Obrázek 1. Dělení chyb měření [8]

### 1.4.3 Hrubá chyba

Hrubá chyba se projevuje tak, že hodnota jednoho měření se podstatně liší od ostatních hodnot příslušné série měření. Hrubé chyby jsou způsobeny:

- hrubou závadou na měřícím prostředku,
- nesprávným čtením,
- nesprávným zápisem naměřené veličiny,
- nesprávným postupem.

### 1.4.4 Náhodná chyba

Náhodná chyba je výsledek měření mínus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněné za podmínek opakovatelnosti. Eliminace náhodné chyby je možná opakovaným měřením parametru n-krát, za podmínek opakovatelnosti. Náhodná chyba může dosahovat hodnoty  $\pm 3s$ .

### 1.4.5 Systematická chyba

Systematická chyba je střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny.

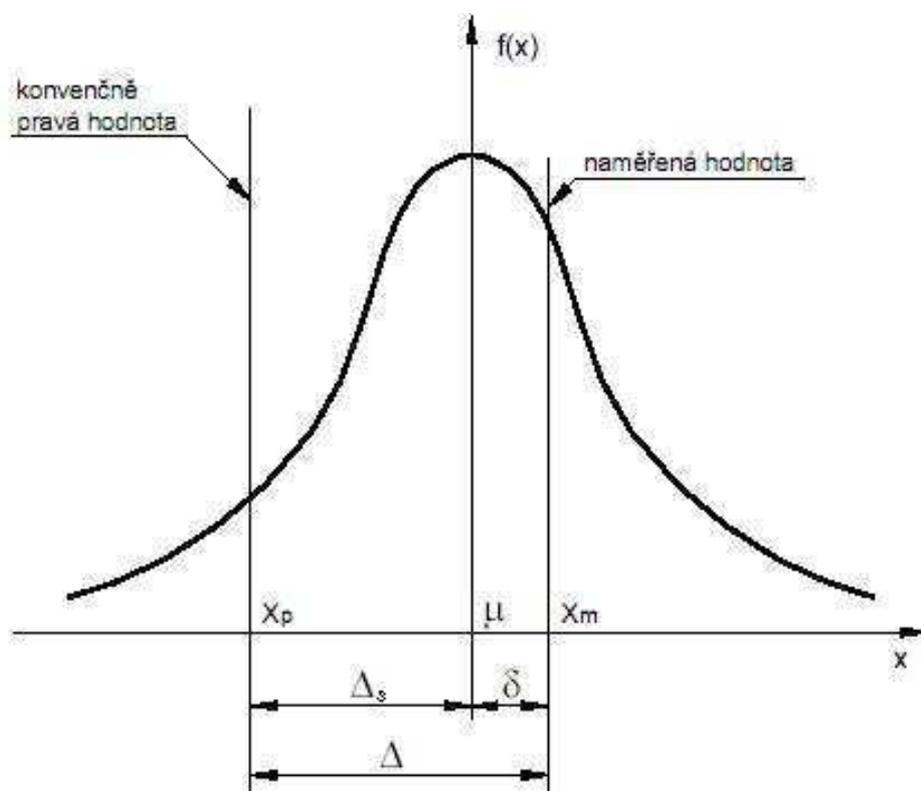
### 1.4.6 Chyba měření

Chyba měření je systematická chyba měření mínus náhodná chyba.

$$\Delta = \Delta_s - \delta, \quad (4)$$

kde  $\Delta_s$  je systematická chyba,

$\delta$  je náhodná chyba.



Obrázek 2. Grafické vyjádření chyb měření [1]

### 1.4.7 Korekce

Korekce je algebraicky připočtená hodnota k nekorigovanému výsledku měření ke kompenzaci systematické chyby. Korekce se rovná odhadu systematické chyby, ale má opačné znaménko.

## 1.5 Měřicí přístroje a měřidla [2]

### 1.5.1 Měřicí přístroj (měřidlo)

Měřidlem je zařízení určené pro měření, samostatné, nebo doplněné dalším vybavením.

### 1.5.2 Ztělesněná míra

Ztělesněná míra je zařízení určené k reprodukování nebo dodávání jedné nebo více známých hodnot dané veličiny trvalým způsobem během používání.

## 1.6 Technická kontrola ve strojírenském podniku [8]

Technická kontrola je důležitou součástí podnikového systému řízení jakosti. Jejím cílem není pouze vyřazování nejakostních výrobků, ale především předcházení vzniku chyb. Zvyšování nákladů na kontrolu je vyvažováno snižováním nákladů na výrobu zmetků, garanční opravy atd.

Důležitým faktorem pro zajištění jakosti výroby je osobní odpovědnost jednotlivých pracovníků. V podnicích jsou za jakost odpovědni především příslušní pracovníci, v čele s ředitelem podniku.

Technická kontrola v podniku se skládá ze čtyř základních částí:

- vstupní,
- výrobní,
- výstupní,
- kontrola pracovních prostředků.

### 1.6.1 Vstupní technická kontrola

*Vstupní technická kontrola* zajišťuje, aby všechny vstupy, tzn. materiál, polotovary, subdodávky atd. odpovídaly všem požadavkům na jakost. K jejím základním pracovním činnostem patří:

- kontrola rozměrů a jakosti nakupovaného materiálu a polotovarů,
- kontrola funkce a úplnosti nakupovaných výrobků,
- vyhotovuje protokoly o provedených kontrolách,
- značení a ukládání dodávek materiálu a výrobků,
- spolupracuje při inventarizaci zásob materiálu.

### 1.6.2 Výrobní technická kontrola

*Výrobní technická kontrola* zabezpečuje kontrolu v průběhu výroby. Její základní činnosti jsou:

- kontroluje jakost prvních kusů vyrobených po seřízení stroje, nebo po použití jiného materiálu,
- zavádí, případně sama provádí všechny druhy kontrol, předepsané technologickým postupem,
- přejímá dobré kusy pro další zpracování, označuje kusy opravitelné a vyřazuje neshodné výrobky,
- navrhuje, ověřuje a zavádí nové metody výrobní kontroly a vypracovává návody pro kontrolu náročných kontrolních operací.

Základním předpisem, který určuje, kdy se má jaká kontrola do procesu výroby zařadit, je technologický postup. Zařazování kontrolních operací, které samy o sobě nic nevyrábí a přitom zvyšují výrobní náklady, je třeba provádět tak, aby byla zajištěna jakost výroby.

### 1.6.3 Výstupní technická kontrola

*Výstupní technická kontrola* se stará o technickou kontrolu na konci výroby, její činnosti jsou:

- kontrola funkce a úplnosti hotových výrobků před expedicí,
- kontrola komplexnosti dodávek včetně příslušenství, náhradních dílů,
- kontrola provedení konečné úpravy výrobků, konzervace, balení,
- potvrzení jakosti výrobků, tam kde je to nutné, předkládá výrobky zástupci odběratele,
- zpracování předepsané kontrolní dokumentace (zkušební protokoly, atesty),
- vyřazování nejakostních výrobků.

### 1.6.4 Kontrola pracovních prostředků

*Kontrola pracovních prostředků* zajišťuje, aby všechny užívané kontrolní prostředky mohly být používány. Mezi její činnosti patří:

- provádění přejímání a kontrolování nářadí,
- provádění kontroly ve výrobě speciálních strojů a nářadí,
- provádění kontroly přesnosti výrobních strojů a vyhotovování příslušných protokolů.

U složitějších a náročných kontrolních operací, zvláště v oblasti výrobní kontroly, se zpracovávají na potřebné úrovni kontrolní návodky, které definují kontrolní technologii. Tyto kontrolní návodky musí obsahovat:

- předmět, tzn. jakostní charakteristiky výrobku, kontrolované rozměry, drsnost povrchu, tepelné zpracování atd.,
- prostředky kontroly, tzn. kontrolní přístroje či zařízení, měřící prostředky, přípravky atd.,
- způsob kontroly, včetně specifikace metody, tzn. kontrolu porovnáváním, zkoušením, měřením atd.,
- subjekt kontroly, tzn. operátora, seřizovače, mistra, technického kontrolora atd.,
- místo kontroly, tzn. přímo ve výrobě, na kontrolním pracovišti, ve zkušebně či laboratoři, na externím pracovišti atd.,
- zařazením kontroly, tzn. v průběhu operace (mezioperační kontrola), po dané operaci (pooperační kontrola), finálně atd.,
- četností kontroly, tzn. každého kusu, výběrem, tj. buď namátkově nebo statisticky,
- časové náročnosti kontroly.

## **1.7 Statistické řízení a regulace výrobního procesu (SPC) [3,5,8]**

Stoupající požadavky na kvalitu výrobku a tlak na snížení výrobních nákladů vedl v poslední době ke značným změnám v přípravě výroby a v zabezpečování kvality ve výrobním procesu. Bezchybná kvalita je předpokladem pro spokojenost zákazníků a zajistí konkurenční výhody v domácím i mezinárodním obchodu.

Statistická regulace procesu představuje preventivní přístup k řízení jakosti, neboť na základě včasného odhalování neshod v průběhu procesu od předem stanovené úrovně, umožňuje zásahy do procesu s cílem udržovat jej na stabilní úrovni. Obecně je statistické řízení realizováno pravidelnou a periodickou kontrolou regulované výstupní veličiny, při níž se zjišťuje, zda tato veličina odpovídá požadované úrovni. V první fázi je cílem minimalizace počtu neshodných jednotek, popř. počtu neshod. Po statistickém zvládnutí procesu a dosažení požadované úrovně nastává další fáze – udržování regulované veličiny a celého procesu na této úrovni tak, aby byla zajištěna shoda znaků jakosti produktu s požadavky specifikovanými zákazníkem.

### 1.7.1 Dělení SPC

Statistické řízení procesů může být prováděno dvěma způsoby dle sledovaných dat:

*Měření*, které zpracovává data získaná měřením sledovaného parametru jakosti (data mají číselnou podobu).

*Srovnávání*, které zpracovává data získaná srovnáváním hodnoceného výstupu s příslušným etalonem (data mají slovní označení druhu a číselné označení jeho výskytu).

Z hlediska informačního obsahu jsou data získaná měřením bohatší na rozdíl od dat získaných srovnáváním. Proto se pro účely regulace procesů doporučuje v maximální možné míře využívat statistické řízení procesů měřením.

### 1.7.2 Zásady systému SPC

Na výrobní proces působí rušivé vlivy, vyvolávající změny výrobních parametrů. Např. při obrábění je to opotřebení řezného nástroje, teplotní změny, chvění soustavy S – N – O, homogenita řezného nástroje a materiálu obrobku atd.

Z hlediska regulace výroby a schopnosti procesu existují v podstatě tři typy výrobního procesu:

- výrobní proces schopný regulace, stabilní – typ A,
- výrobní proces schopný regulace, nestabilní – typ B,
- výrobní proces neschopný regulace, nestabilní – typ C.

Cílem kontroly jakosti v oblasti statistické regulace je vytvářet výrobní procesy stabilní, schopné regulace, tj. typy A. V procesu typu B lze tříděním součástí na dobré a vadné zabezpečit požadovanou jakost pouze krátkodobě. Trvalé zlepšení je třeba zajistit tím, že se zjistí příčiny vzniku vad a navrhnou se vhodná opatření k jejich odstranění. Nestabilní proces B se může lepším řízením převést do stabilního typu A. Nestabilní procesy typu C, které nelze v daném stavu regulovat, vyžadují energické řešení.

Proto je možné říci, že nápravná opatření ve výrobním procesu jsou perspektivní, neboť předcházejí vzniku vad, zatímco opatření realizovaná na výrobcích jsou neperspektivní, protože se vztahují k vadám již dohotovených součástí.

### 1.7.3 Finanční motivace pro SPC

Největší motivace pro uplatnění SPC je finanční hledisko, stejně jako zvyšování přijatelných výstupů procesu při daném množství zdrojových vstupů. Způsoby, jak měřit finanční náklady a přínosy z uplatnění z SPC proti určité alternativě, zahrnují, ale neomezuji se na:

- sběr informací o nákladech výrobce, jako jsou náklady na sešrotování, třídění, přepracování, opravy atd.,
- sběr informací o nákladech odběratele v průběhu životnosti produktu,
- odhady rozsahů obchodních ztrát a pracovních příležitostí, protože nespokojení zákazníci přecházejí ke konkurenci nebo odmítají platit příplatky za vyšší jakost, která není zřejmá,
- kvantifikaci přínosů všech útvarů organizace z rychlého odstraňování poruch a větší potenciál pro inovaci procesu nebo produktu.

### 1.7.4 Rozptylové vlivy ovlivňující výrobní proces

*Náhodné rozptylové vlivy* jsou závislé na náhodné interakci a variabilitě parametrů procesu, jako jsou:

- výrobní nepřesnosti stroje,
- výrobní postup,
- upínací zařízení,
- nástroj,
- chladící médium,
- materiál a tvar obrobku atd.

*Systematické rozptylové vlivy* se nevyskytují na rozdíl od náhodných vlivů v průběhu procesu, ale pouze nepravidelně. Při zjištění těchto vlivů v procesu, musí být proces zastaven, tyto vlivy musí být odstraněny a po té může být proces obnoven. Tyto vlivy mohou být přičítány zvláštním účinkům resp. změnám a proto mohou být většinou identifikovány a odstraněny, aniž by bylo nutno měnit vlastní výrobní postup. Tyto vlivy mohou vznikat např.:

- seřazením nástroje,
- změnami na nástroji,
- změnami chladícího prostředí,

- změnami okolních vlivů,
- změnami jakosti materiálu atd.

Byly-li u výrobního procesu eliminovány systematické rozptylové vlivy co nejvíce, je proces označován ve smyslu matematické statistiky za stabilní nebo “zvládnutý“. Ke kontrole stavu “zvládnutý proces“ a k výzkumu schopnosti procesu se používá pro práci s kvantitativními (měřitelnými) a kvalitativními (vypočitatelnými) jakostními riziky regulačních diagramů, jejichž interpretace a analýza je dána konkrétní použitou statistickou metodou.

### 1.7.5 Schopnost procesu a jeho znaky

Působí-li na výrobní proces pouze náhodné vlivy, je charakterizován dvěma parametry normálního rozdělení  $\mu$  a  $\sigma$ . Parametr  $\mu$  vyjadřuje *střední hodnotu* a představuje v případě obrábění rozměr, na který je výrobní zařízení seřízeno. Parametr  $\sigma$  – směrodatná odchylka vyjadřuje *rozptýlení hodnot* kontrolovaného parametru vzhledem ke střední hodnotě a charakterizuje přesnost výrobního procesu.

V systému SPC jsou charakteristiky, ve kterých hraje parametr  $\sigma$  významnou roli. Je to variační rozpětí  $f_p$  a charakteristiky  $C_p$  a  $C_{pk}$ .

a) *Relativní variační rozpětí* – nemá být normálně větší než 75 % (60 %) tolerance výrobku u měřitelných jakostních znaků.

$$f_p = \frac{6 \cdot \sigma}{T} \cdot 100 [\%], \quad (5)$$

$$T = USL - LSL, \quad (6)$$

kde  $T$  je tolerance,  
 $USL$  je horní mezní rozměr,  
 $LSL$  je dolní mezní rozměr,  
 $\sigma$  je viz výše.

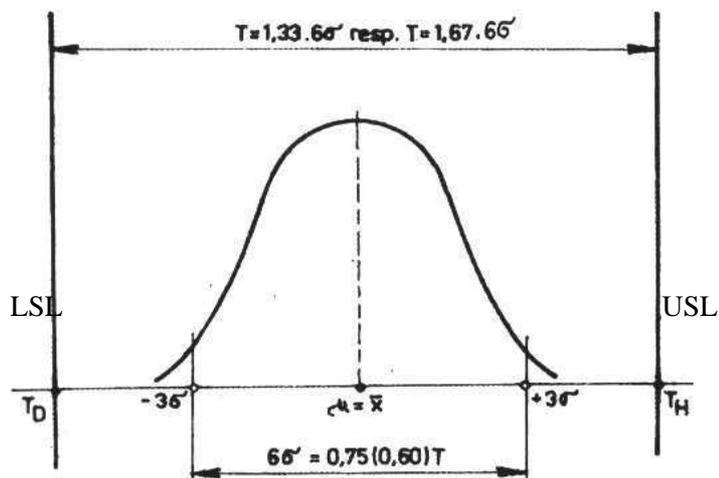
Vztah mezi tolerancí a rozptýlením:

$$1) \quad 6 \cdot \sigma = 0,75T \Rightarrow \frac{T}{6 \cdot \sigma} = \frac{1}{0,75} = 1,33 \quad (7)$$



$$2) \quad 6 \cdot \sigma = 0,6T \Rightarrow \frac{T}{6 \cdot \sigma} = \frac{1}{0,6} = 1,67 \quad (8)$$

$$3) \quad 6 \cdot \sigma = T \Rightarrow \frac{T}{6 \cdot \sigma} = 1 \quad (9)$$

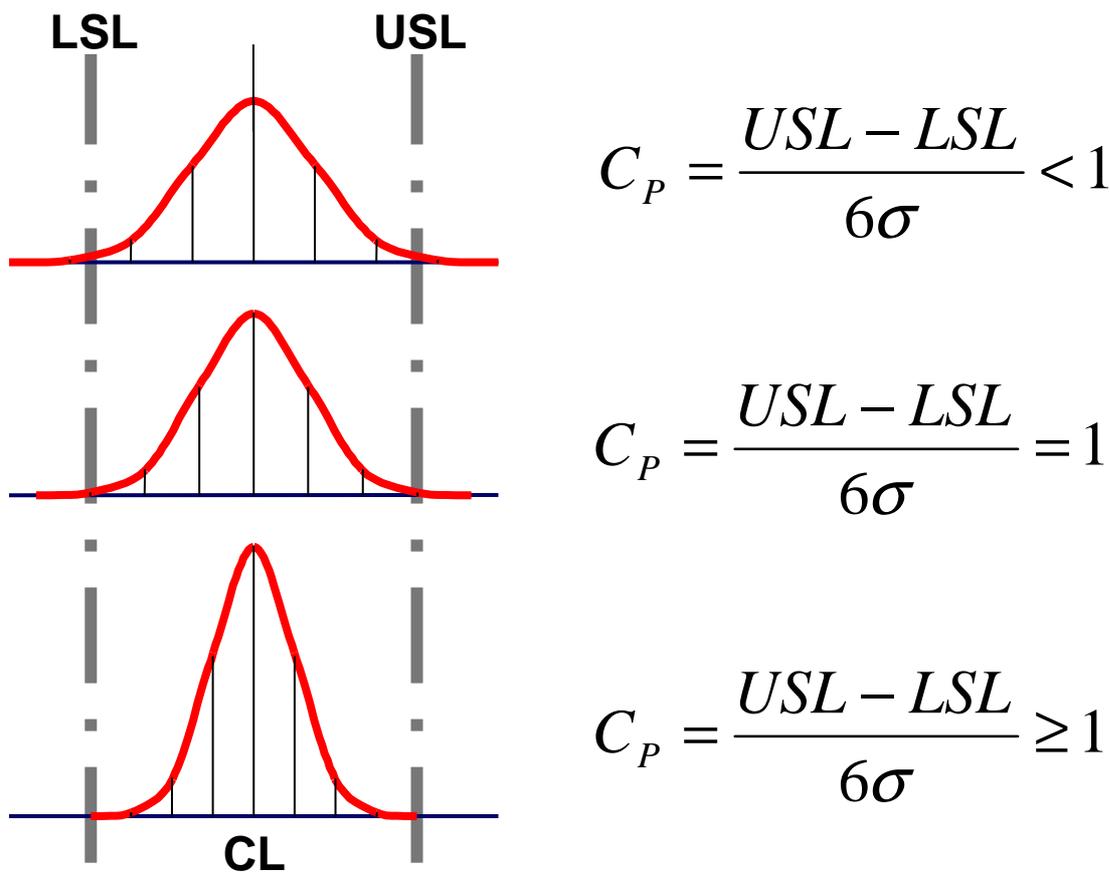


Obrázek 3. Grafické vyjádření vztahu mezi rozptýlením a velikostí tolerance [1]

b) Charakteristika přesnosti (schopnosti) procesu  $C_p$  - bere v úvahu pouze rozptyl výrobního procesu a velikost výrobní tolerance.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma}, \quad (10)$$

kde  $USL, LSL$  a  $\sigma$  je viz výše.



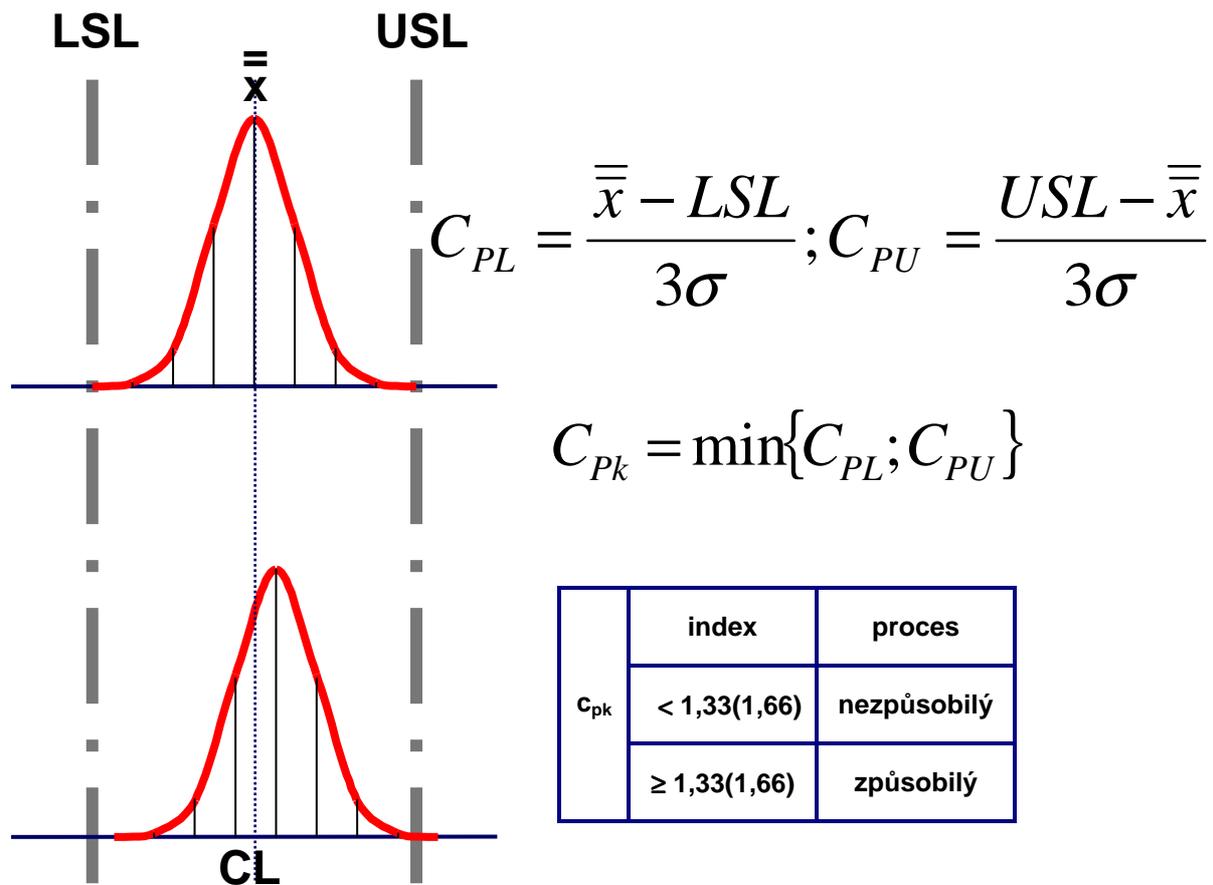
Obrázek 4. Grafická analýza způsobilosti procesu 1

Šířka pásma výrobního procesu ( $\pm 3\sigma$ ) by měla využívat výrobní toleranci asi ze 75% (60%), což dává jistotu, že se mezní rozměry obrobku nepřekročí. Tato podmínka dává potom kvantitativní minimální hodnotu charakteristiky  $C_p$  1,33 (1,67).

c) *Charakteristika správnosti nastavení*  $C_{pk}$  – určuje polohu střední hodnoty vzhledem ke středu tolerančního pole. To znamená, že kromě kolísání výrobního procesu bere v úvahu navíc i polohu průměrné hodnoty rozdělení četnosti vzhledem ke specifikovaným omezením. Tato charakteristika je obzvláště schopna poskytnout informace o procesu.

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{USL - \mu}{3 \cdot \sigma}, \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sigma} \right], \quad (11)$$

kde  $USL, LSL, \mu$  a  $\sigma$  je viz výše.

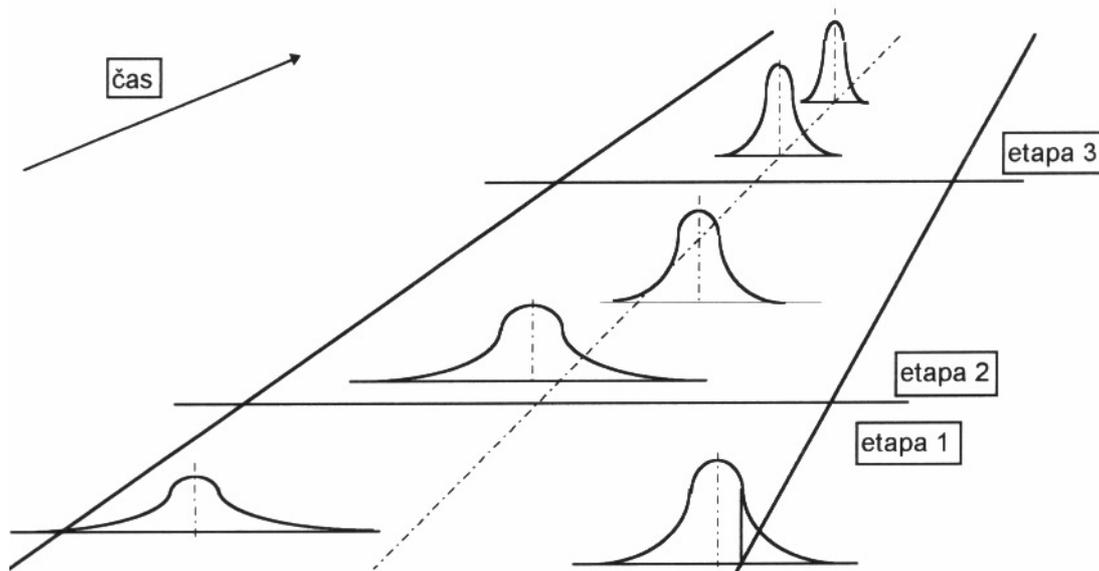


Obrázek 5. Grafická analýza způsobilosti procesu 2

Výrobní proces je stabilní, když  $C_p \geq 1,33$  (1,67) a  $C_{pk} \geq 1,33$  (1,67). Zvětšují-li se hodnoty  $C_p$  a  $C_{pk}$ , znamená to, že se výrobní proces zlepšuje. Obdobou charakteristik  $C_p$  a  $C_{pk}$  jsou charakteristiky  $C_m$  a  $C_{mk}$ , které se vztahují k výrobním strojům.

### 1.7.6 Zavádění metody SPC do výrobního procesu

Základní podmínkou úspěšné aplikace SPC metody ve výrobním procesu je, aby tento byl plně regulovaný. V přípravné fázi musíme proto provést podrobnou analýzu daného procesu, při níž se zjišťuje statistická a technická stabilita regulované veličiny. Touto stabilitou se rozumí stav procesu v době, kdy jsou parametry rozdělení regulované veličiny konstantní. Technickou stabilitou se rozumí schopnost procesu udržet regulovanou veličinu v mezích daných technickým předpisem, nebo technologickým postupem.



Obrázek 6. Zlepšování procesu dle příručky FORD Q 101 [8]

Oblast (etapa) 1 – výskyt systematických i náhodných vlivů, střední hodnota i rozptyl nejsou pod kontrolou,

oblast (etapa) 2 – systematické vlivy jsou odstraněny, střední hodnota již je pod kontrolou,

oblast (etapa) 3 – náhodné vlivy jsou zmenšeny, viditelně je snížen rozptyl a tento proces se stává statisticky regulovatelným.

Pokud se daný výrobní proces podaří uvést do regulovaného stavu (etapa 3 dle obr.6.), můžeme nasadit statistické řízení jakosti optimálního stupně automatizace dle konkrétních a dostupných podmínek.

### 1.7.7 Různé stupně zajišťování jakosti ve výrobě

Statistická regulace na kartách pro atributivní znaky → statistická regulace na regulačních kartách vedených ručně → statistická regulace na regulačních kartách vedených na počítači → → automatický sběr naměřených hodnot a provádění ručních zásahů do procesu → → automatická regulace výrobního procesu podle automatického měření.

## 1.8 Shewhartovy regulační diagramy [4]

Zlepšování procesu pomocí regulačních diagramů (RD) je iterativní postup spočívající v opakování následujících kroků:

- sběr údajů a jejich zakreslení do diagramu,
- výpočet regulačních mezí,
- identifikace zvláštních příčin,
- navržení opatření na jejich odstranění
- monitorování procesu a jeho průběžná analýza.

### 1.8.1 Typy regulačních diagramů

Dva základní typy Shewhartových regulačních diagramů (ČSN ISO 8258)

- regulační diagramy při kontrole měřením,
- regulační diagramy při kontrole srovnáváním.

### 1.8.2 Před aplikací SPC

1) Příkaz pro vedení:

- vytvořit podmínky pro činnost – zastřešit zavedení SPC, SPC je záležitostí všech.

2) Realizovat činnosti:

- zvolit proces a regulovanou veličinu (znak jakosti),
- zajistit podmínky regulace (zabezpečit neměnnost všech známých vlivů),
- definovat systém měření,
- zvolit výběrové charakteristiky,
- vymežit rozsah podskupin,
- stanovit kontrolní interval,
- určit počet podskupin pro pokusné období,
- vytipovat možné vymežitelné příčiny,
- stanovit formy zásahů pro jejich odstranění.

### 1.8.3 Regulační diagramy při kontrole měřením

Pravidla pro získání údajů, jejich zpracování a zakreslení do regulačních diagramů

- volba rozsahu výběru  $n = 2$  až 10,
- měření výběrů v pravidelných intervalech podle rychlosti změn sledované veličiny a jejich zapisování do tabulky,

- výpočet výběrových charakteristik a jejich zakreslování do průběhového diagramu,

- o výběrový průměr 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_i \quad (12)$$

- o výběrové rozpětí 
$$R = x_n - x_1 \quad (13)$$

- o výběrový medián  $\tilde{x}$  = prostřední hodnota z výběru (dále značeno  $Me$ )

- o výběrový směrodatná odchylka 
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (14)$$

- po vytvoření souboru výběrů v rozsahu  $k = 16$  až  $25$  (celkový rozsah individuálních hodnot  $> 100$ ) následuje výpočet průměrné hodnoty procesu a regulačních mezí:

- o průměrná hodnota procesu (CL) 
$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \cdot \sum \bar{x} \quad (15)$$

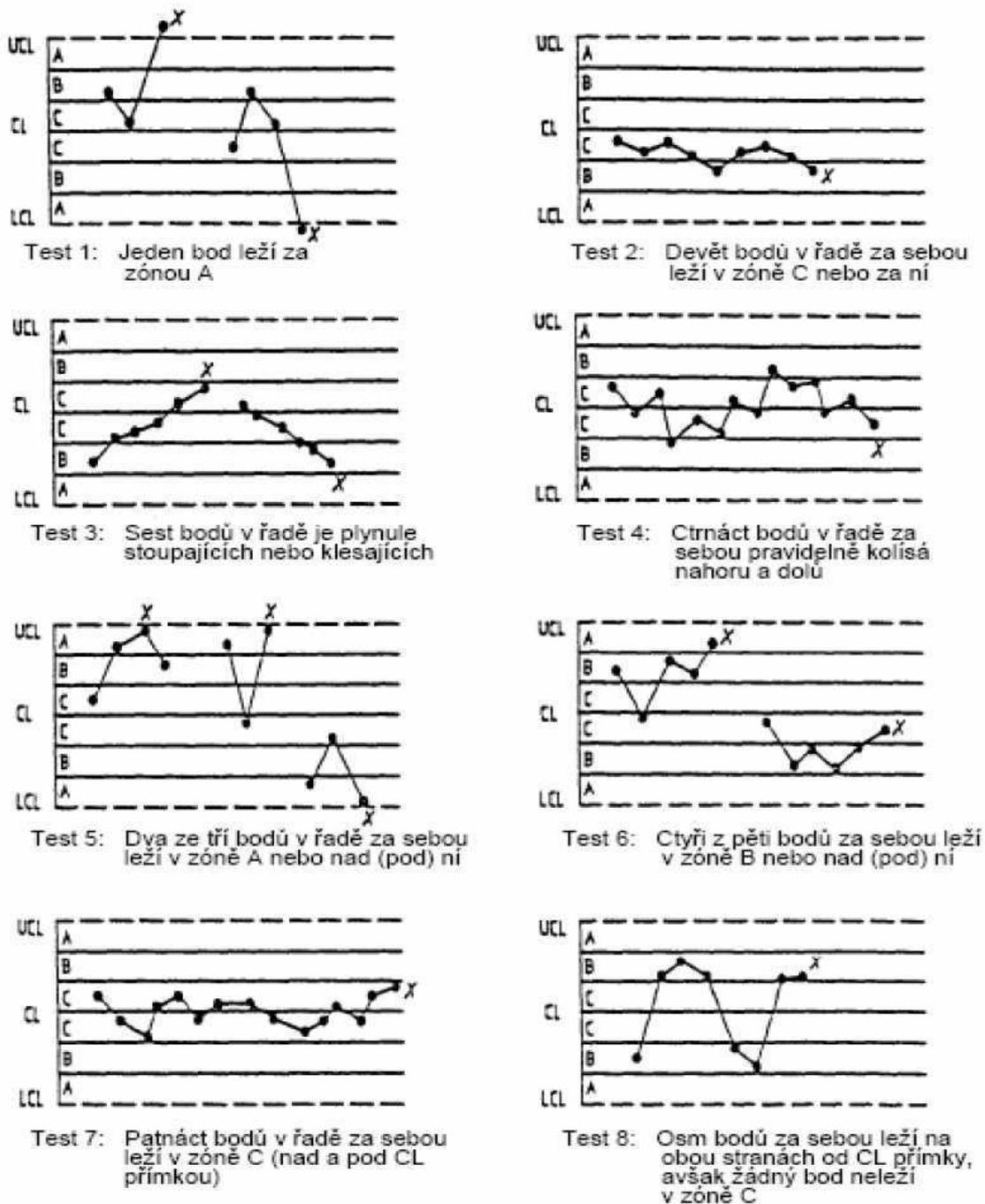
- o horní mez (UCL) 
$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\sigma \quad (16)$$

- o dolní mez (LCL) 
$$LCL = \bar{\bar{x}} - 3\sigma \quad (17)$$

kde  $\sigma$  je směrodatná odchylka a liší se dle použité výběrové charakteristiky (popsáno níže),

- prověření průběhu regulačního diagramu s cílem lokalizovat vymezené příčiny. Klíč k analýze regulačního diagramu ukazuje obr. 7. Typické projevy lze rozdělit do tří skupin:

- o body ležící mimo regulační meze,
  - o body ležící po jedné straně střední čáry,
  - o body tvořící trend,



Obrázek 7. Testy zvláštních příčin podle ČSN ISO 8258 [4]

- je-li proces statisticky zvládnutý ( nejsou vymezitelné příčiny) vypočítá se  $C_{pk}$  (viz výše),
- je-li  $C_{pk} < 1,33$ , proces je sice statisticky zvládnutý, ale není způsobilý vůči tolerančním mezím. Proto je nutné hledat řešení, vedoucí k dosažení způsobilého stavu procesu:

- změna tolerance,
- centrování procesu (přesunutí střední hodnoty ke středu tolerance),
- je-li  $C_{pk} > 1,33(1,66)$ , pak je proces způsobilý. Pokračuje průběžné sledování. Na přítomnost vymezených příčin se nyní reaguje bezprostředním zásahem do procesu.

#### 1.8.4 Druhy regulačních diagramů při kontrole měření a jejich použití

- regulační diagramy monitorující ukazatele rozptýlení:
  - regulační diagram pro rozpětí,
  - regulační diagram pro směrodatnou odchylku,

Tabulka 1. Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů pro ukazatele rozptýlení (koeficienty uvedeny v příloze A)

Statistika	Centrální přímka	$3\sigma$ regulační meze
$R$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$
$S$	$\bar{S}$	$B_4 \bar{S}, B_3 \bar{S}$

- regulační diagramy monitorující parametr pro polohu:
  - regulační diagram pro aritmetický průměr,
  - regulační diagram pro medián,
  - regulační diagram pro individuální hodnoty.

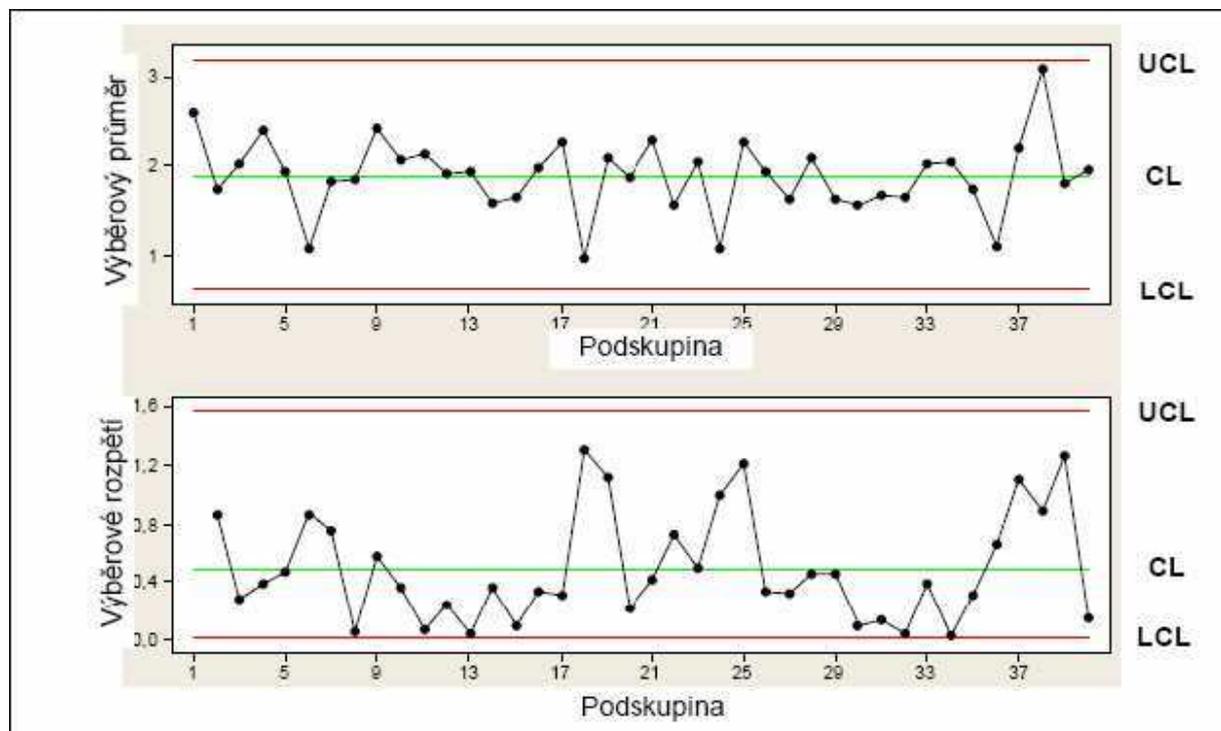
Tabulka 2. Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů pro polohu (koeficienty uvedeny v příloze A)

Statistika	Centrální přímka	$3\sigma$ regulační meze
$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ nebo $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{S}$
$Me$	$\bar{Me}$	$\bar{Me} \pm A_4 \bar{R}$
$X$	$\bar{X}$	$\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$



Z těchto regulačních diagramů vytvoříme regulační diagram měřením následující kombinací:

- průměr – rozpětí ( $\bar{x} - R$ ) – nejčastěji využívaný, jednoduchý výpočet, vyhodnocování ručně na místě a bez použití softwaru,
- průměr – směrodatná odchylka ( $\bar{x} - s$ ) – dobře vypovídající o procesu, ale nutnost využití SW pro složitější výpočet,
- individuální hodnota – rozpětí ( $x_i - R$ ) – z procesu získána pouze jedna hodnota (destruktivní zkouška, atd.),
- medián – rozpětí ( $Me - R$ ) – vyhodnocování přímo ve výrobě.



Obrázek 8. Příklad regulačního diagramu Průměr – Rozpětí

### 1.8.5 Regulační diagramy při kontrole srovnáváním

V technické praxi existují případy, kdy informaci o sledované veličině nelze získat měřením, ale pouze srovnáváním s nějakým etalonem. Výsledek potom vypovídá o shodě nebo neshodě. Ke kvantitativnímu vyjádření této skutečnosti se používá následujících charakteristik a diagramů (používá se jen jeden regulační diagram):

- počet neshodných jednotek ve skupině – diagram  $p$  nebo  $np$  (Binomické rozdělení),
- počet neshod na výrobku – diagram  $c$  nebo  $u$

Tabulka 3. Vzorce pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů srovnáním

Statistika	Centrální přímka		3σ regulační meze	Rozsah podskupin
$p$	$\bar{p} = \frac{\sum np}{n}$	průměrná hodnota podílu neshodných jednotek	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	Použití při konstantním i nekonstantním rozsahu výběru.
$np$	$n\bar{p}$	počet neshodných jednotek ve výběru	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	Použití při konstantním rozsahu výběru.
$c$	$\bar{c}$	průměrná hodnota počtu neshod v podskupinách	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	Použití při konstantním rozsahu výběru.
$u$	$\bar{u}$	průměrná hodnota počtů neshod na jednotku	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	Použití při konstantním i nekonstantním rozsahu výběru.

Výpočty a postupy pro tvorbu regulačních diagramů při kontrole srovnáváním nejsou již dále uvedeny, jelikož vzhledem k charakteru měřených součástí se jednoznačně jedná o regulační diagramy pro kontrolu měření, které jsou podrobně popsány výše a následně prakticky provedeny.

## 2 POPIS PROBLÉMU A JEHO ŘEŠENÍ

### 2.1 Profil společnosti a její hlavní sortiment [7]

Společnost STARTECH spol. s r.o. je výhradně česká soukromá strojírenská společnost, která vznikla roku 1996 jako nástupce původní společnosti STŠ Strojírna Šildberger.

Zabývá se výrobou rotačních i nerotačních obráběných součástí s použitím jak konvenčních metod třískového kovoobrábění, tak i progresivních CNC technologií. Disponuje výrobními a montážními prostory o celkové rozloze přes 2000 m<sup>2</sup>. Ve společnosti nyní pracuje přes 100 zaměstnanců na plný úvazek. Od svého vzniku vykazuje společnost dynamický ekonomický růst, jehož dokladem jsou meziroční nárůsty obrátu a meziroční nárůsty zaměstnanosti.

Od roku 1996 probíhají nepřetržité masivní investice do výrobních technologií a rozšiřování výrobních prostor a kapacit. V rámci zkvalitňování služeb zákazníkům a přibližování se evropským standardům je ve společnosti v současné době zaváděn komplexní počítačový informační systém řízení výroby, jakosti a logistiky.

Hlavním sortimentem společnosti jsou servomotory:

- střídavé synchronní servomotory řady T mají ve statoru rozložené trojfázové vinutí a permanentní magnety na rotoru. Vinutí je navrženo pro sinusové průběhy proudu a napětí. Tenká vrstva magnetů ze vzácných zemin neodym/železo/bór je umístěna na povrchu rotorové hřídele, čímž je zaručen malý moment setrvačnosti motoru. Segmentové uspořádání magnetů na rotoru a zešíkmení drážek ve statoru snižuje momentové pulzace. Motory jsou standardně šestipólové, což je optimum pro vztah mezi úhlovou rychlostí a kmitočtem napájecího napětí.



Obrázek 9. Střídavý synchronní servomotor řady T

- segmentové synchronní servomotory řady H byly firmou vyvinuty z důvodu požadavku na stále menší rozměry servomotorů a požadavku na provozování servomotorů při nízkých otáčkách. Název segmentové servomotory vychází z provedení statoru servomotoru. Zatím co u běžných servomotorů je vinutí vkládáno do již hotového statoru, u segmentových servomotorů se předem navinou jednotlivé fáze na segmenty statoru, z kterých se poté vytvoří svazek. Segmentové složení statorového svazku umožňuje navíjet každý segment (pól – fázi) vinutí zvlášť v rozloženém stavu. Samostatné navíjení segmentů umožňuje dosáhnout lepšího plnění vinutí a tím zvýšení hustoty magnetického pole generované statorem, a také zkrácení čel vinutí. Jak zvýšení plnění tak zkrácení čel vinutí má za následek celkové zkrácení svazku o 40 až 50%. Řada servomotorů H se vyznačuje zkrácenou délkou motoru o 20% – 30% v porovnání se servomotory se stejným momentem řady T.



Obrázek 10. Segmentový synchronní servomotor řady H

## 2.2 Hodnocení stávajícího stavu

Firma dodává svým stálým odběratelům již delší dobu své výrobky. Odběratelé byly vždy spokojeni s kvalitou a reklamace se vyskytovaly v rámci stanovených cílů. Náklady na nejakost výrobku byly velmi malé. Od vedení byl dán impuls k dalšímu zlepšování procesu některou z metod řízení kvality, která by vedla k dalšímu zefektivnění výroby a tím k pokračujícímu ekonomickému růstu a možnosti neustále rozšiřovat výrobu. Po úvahách byla zvolena metoda SPC, která nejen zkvalitňuje výrobní proces, ale také poskytuje důkaz o jakosti daného výrobního procesu.

## 2.3 Stávající systém technické kontroly

Hlavním vyráběným dílcem ve firmě je hřídel pro servomotory. Tato hřídel prochází několika operacemi, které vedou až k samotné kompletaci motoru. Jednotlivé rozměry jsou mezioperačně namátkově kontrolovány operátory základními délkovými měřidly (posuvné měřidlo, mikrometr, atd.). Poslední operací je broušení na velmi přesné CNC brusce Studer S33 (viz příloha B), po které probíhá kontrola operátorem za použití passametru a odvoz vyrobených dílců do metrologického střediska, kde probíhá jejich 100% kontrola na délkoměru. Tato kontrola je nákladná a částečně se s kontrolou operátora překrývá, což je nevýhodné a proto je zájem ze strany vedení o zefektivnění systému měření.

Ekonomicky výhodnější bude zavést do procesu metodu SPC, po operaci broušení, prováděnou na kritických rozměrech přímo v metrologickém středisku na předem určených kusech. Tím odpadne jak kontrola prováděná operátorem, tak neefektivní a neekonomická 100% kontrola.

## 2.4 Implementace SPC

Prioritním cílem SPC je dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutém stavu tak, aby se zajistila shoda produktů se specifikovanými požadavky (tj. způsobilý proces).

Implementaci SPC budeme realizovat ve čtyřech fázích. Jsou to:

- fáze přípravná,
- fáze zabezpečování stavu statistické způsobilosti,
- fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu,
- fáze vlastní statistické regulace procesu.

### 2.4.1 Přípravná fáze

Statistickou regulaci procesu budeme aplikovat na funkční rozměr obráběného výrobku dle výkresové dokumentace. Jedná se o hřídel, jejímž sledovaným znakem bude rozměr s jmenovitým průměrem 15mm a tolerancí (-0,002 až -0,005)mm. Kontrola rozměru bude prováděna po broušení stanoveného znaku jakosti v metrologickém středisku na délkoměru. Kontrolní interval volíme dle náročnosti výroby, složitosti manipulace a počtu vyrobených dílců za směnu na jednu hodinu, kdy provedeme měření vždy na 5 dílcích vyrobených za sebou. Naměřené hodnoty zaznamenáme do tabulky pro další zpracování. Rozsah výběru

volíme tak, aby byly naše regulační diagramy citlivější na změny procesu. V našem případě volíme rozsah výběru roven 50, což znamená provedení celkem 250 měření našeho dvousměnného procesu na jednom pracovišti (CNC bruska) na pěti kusech po hodině po dobu asi 5 pracovních dní. Ze zadaných hodnot je patrné, že se jedná o regulaci měřením, takže z možností výběru diagramů volíme diagram  $(\bar{x} - s)$ . Diagram  $(\bar{x} - s)$  má možnost použití jak pro malé výběry, tak i pro výběry většího rozsahu, ale i proto, že výběrová směrodatná odchylka je citlivější pro stanovení závěrů o variabilitě procesu než rozpětí.

#### 2.4.2 Fáze zabezpečení statistické způsobilosti (stability)

Identifikujeme a minimalizujeme, resp. odstraníme působení vymezených vlivů a vytvoříme podmínky, aby se jejich působení nemohlo opakovat. Budeme pracovat s regulačními diagramy  $(\bar{x} - s)$  s následujícím postupem:

- 1) Sestrojíme regulační diagram pro výběrovou směrodatnou odchylku ( $s$ ).
- 2) Provedeme analýzu regulačního diagramu ( $s$ ). Nalezneme-li body mimo regulační meze nebo trendy či nenáhodná seskupení, provedeme identifikaci vymezených příčin a přijmeme opatření na omezení resp. eliminaci těchto vlivů.
- 3) Vypustíme výběry, jež obsahují vymezené příčiny, a přepočteme jak střední průměr, tak regulační meze.
- 4) Předchozí body budeme opakovat tak dlouho, dokud nebudou všechny body ležet uvnitř mezí, čímž docílíme vymezení nenáhodných vlivů.
- 5) Stejně postupujeme u diagramu pro výběrový průměr ( $\bar{x}$ ) s tím, že do něj již nezahrneme výběry vypuštěné v bodě 3. Pokud by diagram ( $\bar{x}$ ) signalizoval nestabilitu polohy procesu a jsou na základě identifikace příčin této nestability přijata adekvátní opatření, vypustíme pak výběry signalizující nestabilitu jak z diagramu ( $\bar{x}$ ), tak z diagramu ( $s$ ) a postup bude třeba opakovat od bodu 1 tak dlouho, až všechny body v obou diagramech leží uvnitř mezí a netvoří žádná náhodná seskupení.

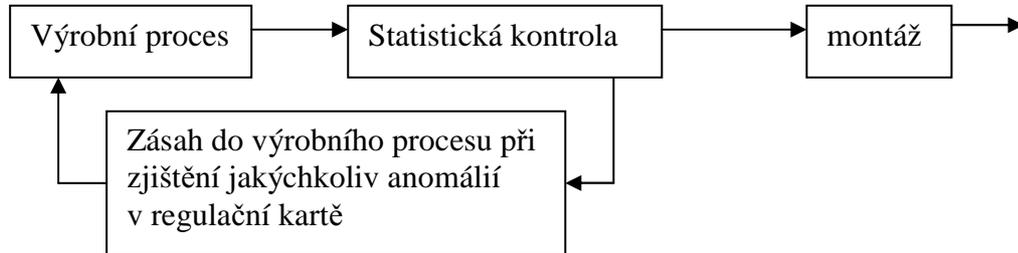
#### 2.4.3 Fáze analýzy způsobilosti

V této fázi budeme zkoumat, zda proces, který je po předchozím kroku statisticky zvládnutý, je také schopen dosahovat požadavků zákazníka, definovaných například ve formě tolerančních mezí. Při kvantitativním hodnocení se sledují dva cíle:

- 1) Schopnost procesu udržet cílovou hodnotu ukazatele kvality.
- 2) Míra variability kolem cílové hodnoty.

#### 2.4.4 Fáze vlastní statistické regulace

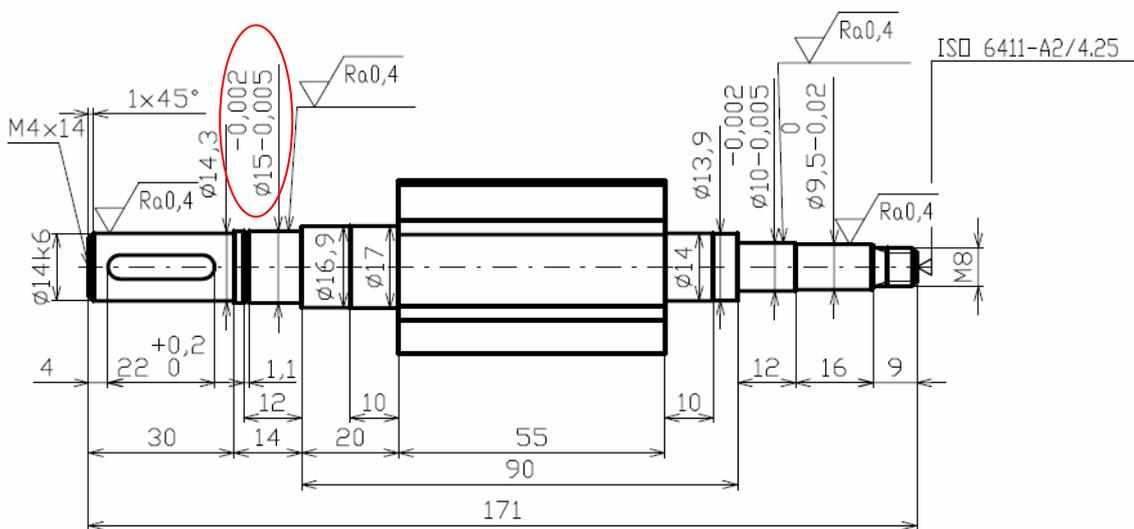
Námi sledovaný proces budeme udržovat ve stavu, kdy je statisticky zvládnutý a způsobilý. Cílem bude pomocí regulačního diagramu signalizovat poruchy ve stabilitě procesu, identifikovat je a odstraňovat viz obr. 11.



Obrázek 11. Statistická metoda kontroly

#### 2.5 Vlastní provádění měření a SPC

Statistická regulace byla prováděna na jednom vyznačeném rozměru hřídele viz obr. 12. (výkres součásti viz příloha C). Byl vybrán jeden reprezentativní rozměr z důvodu časového a z důvodu technického zabezpečení měření. Návod na zlepšení tohoto měření a možnosti měřit a vyhodnocovat více rozměrů najednou do nezávislých regulačních diagramů je uveden v další kapitole – návrh systému měření a vyhodnocování.



Obrázek 12. Měřená součást s vyznačeným měřeným rozměrem

### **2.5.1 Měření a zápis**

Měřený rozměr 15mm s tolerancí (-0,002 až -0,005)mm byl měřen na dálkoměru s rozlišitelností 0,0001mm, což odpovídá metrologickému požadavku, že měřený rozměr musí být měřen měřidlem s o stupeň vyšším rozlišením. Hodnoty, které byly měřeny v intervalech, jak bylo uvedeno výše, byly zapisovány do tabulky v elektronické podobě, aby bylo možné dále s nimi v této podobě pracovat. Z důvodu absence statistického softwaru na pracovišti, byly výsledky zaznamenávány do tabulkového procesoru MS Office Excel a později převedeny do statistického softwaru MiniTab, jehož pomocí byly také vyhodnoceny. Naměřené hodnoty jsou uvedeny dále (viz tab. 4.).



Tabulka 4. Hodnoty zvoleného znaku jakosti z 50-ti výběrů (k) a rozsahem výběru n=5

k	$x_1$ [mm]	$x_2$ [mm]	$x_3$ [mm]	$x_4$ [mm]	$x_5$ [mm]	$\bar{x}$ [mm]	s [mm]
1	14,9966	14,9968	14,9966	14,9961	14,9966	14,9965	0,0002608
2	14,9966	14,9969	14,9966	14,9963	14,9960	14,9965	0,0003421
3	14,9966	14,9965	14,9963	14,9967	14,9969	14,9966	0,0002236
4	14,9967	14,9964	14,9966	14,9969	14,9966	14,9966	0,0001817
5	14,9958	14,9968	14,9966	14,9963	14,9963	14,9964	0,0003782
6	14,9968	14,9962	14,9966	14,9965	14,9970	14,9966	0,0003033
7	14,9965	14,9970	14,9969	14,9968	14,9970	14,9968	0,0002074
8	14,9963	14,9965	14,9965	14,9964	14,9964	14,9964	0,0000837
9	14,9965	14,9968	14,9965	14,9971	14,9966	14,9967	0,0002550
10	14,9965	14,9960	14,9965	14,9964	14,9967	14,9964	0,0002588
11	14,9964	14,9971	14,9967	14,9965	14,9966	14,9967	0,0002702
12	14,9971	14,9965	14,9961	14,9970	14,9965	14,9966	0,0004099
13	14,9968	14,9967	14,9967	14,9965	14,9969	14,9967	0,0001483
14	14,9964	14,9966	14,9965	14,9966	14,9968	14,9966	0,0001483
15	14,9968	14,9966	14,9963	14,9969	14,9966	14,9966	0,0002302
16	14,9970	14,9965	14,9960	14,9965	14,9965	14,9965	0,0003536
17	14,9964	14,9965	14,9966	14,9968	14,9963	14,9965	0,0001924
18	14,9964	14,9968	14,9968	14,9965	14,9967	14,9966	0,0001817
19	14,9969	14,9963	14,9967	14,9963	14,9962	14,9965	0,0003033
20	14,9969	14,9965	14,9962	14,9961	14,9963	14,9964	0,0003162
21	14,9965	14,9965	14,9965	14,9960	14,9963	14,9964	0,0002191
22	14,9965	14,9967	14,9966	14,9968	14,9965	14,9966	0,0001304
23	14,9968	14,9965	14,9966	14,9965	14,9959	14,9965	0,0003362
24	14,9966	14,9971	14,9964	14,9960	14,9965	14,9965	0,0003962
25	14,9969	14,9958	14,9967	14,9968	14,9964	14,9965	0,0004438
26	14,9969	14,9965	14,9967	14,9966	14,9968	14,9967	0,0001581
27	14,9968	14,9967	14,9967	14,9963	14,9966	14,9966	0,0001924
28	14,9967	14,9963	14,9963	14,9967	14,9970	14,9966	0,0003000
29	14,9965	14,9961	14,9959	14,9965	14,9966	14,9963	0,0003033
30	14,9963	14,9970	14,9964	14,9963	14,9963	14,9965	0,0003050
31	14,9967	14,9965	14,9960	14,9967	14,9968	14,9965	0,0003209
32	14,9969	14,9966	14,9962	14,9965	14,9964	14,9965	0,0002588
33	14,9966	14,9968	14,9966	14,9968	14,9970	14,9968	0,0001673
34	14,9967	14,9959	14,9970	14,9960	14,9969	14,9965	0,0005148
35	14,9970	14,9964	14,9968	14,9971	14,9960	14,9967	0,0004561
36	14,9966	14,9970	14,9966	14,9965	14,9960	14,9965	0,0003578
37	14,9967	14,9963	14,9965	14,9964	14,9959	14,9964	0,0002966
38	14,9967	14,9961	14,9963	14,9965	14,9968	14,9965	0,0002864
39	14,9966	14,9963	14,9959	14,9967	14,9965	14,9964	0,0003162
40	14,9967	14,9964	14,9970	14,9968	14,9965	14,9967	0,0002387
41	14,9964	14,9970	14,9966	14,9968	14,9968	14,9967	0,0002280
42	14,9968	14,9966	14,9964	14,9965	14,9962	14,9965	0,0002236
43	14,9963	14,9967	14,9961	14,9964	14,9963	14,9964	0,0002191
44	14,9964	14,9967	14,9966	14,9968	14,9970	14,9967	0,0002236
45	14,9967	14,9966	14,9962	14,9964	14,9960	14,9964	0,0002864
46	14,9964	14,9966	14,9965	14,9965	14,9968	14,9966	0,0001517
47	14,9967	14,9971	14,9965	14,9971	14,9967	14,9968	0,0002683
48	14,9963	14,9965	14,9962	14,9966	14,9958	14,9963	0,0003114
49	14,9959	14,9964	14,9962	14,9963	14,9964	14,9962	0,0002074
50	14,9966	14,9961	14,9965	14,9961	14,9960	14,9963	0,0002702

## 2.5.2 Výpočty

1) Pro každý rozsah byl vypočten výběrový aritmetický průměr a výběrová směrodatná odchylka podle následujících vztahů:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 x_i \quad (18)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2}{5-1}} \quad (19)$$

2) Následovalo vypočtení průměru z těchto průměrných hodnot  $\bar{\bar{x}}$  a  $\bar{s}$  pro celý výběr (k).

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \bar{x}_i = \frac{1}{50} \cdot \sum_{i=1}^{50} \bar{x}_i \cong 14,99654 \text{ mm} \quad (20)$$

$$\bar{s} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k s_i = \frac{1}{50} \cdot \sum_{i=1}^{50} s_i \cong 0,00027 \text{ mm} \quad (21)$$

3) Tyto vypočtené hodnoty byly dosazeny do vztahů pro výpočet polohy CL a tolerančních mezí UCL a LCL námi zvoleného regulačního diagramu ( $\bar{x} - s$ ). Pro výpočet CL, UCL a LCL potřebujeme hodnoty koeficientů z tabulky koeficientů v příloze 1. Tabulka obsahuje koeficienty, které se volí podle rozsahu výběru  $n$  podskupiny.

V našem případě, pro  $n = 5$ , se jedná o koeficienty:

- $A_3 = 1,4273$ ,
- $B_3 = 0$
- $B_4 = 2,0890$ ,

kteřé dosadíme do následujících vztahů:

$$CL_s = \bar{s} = 0,00027 \text{ mm} \quad (22)$$

$$UCL_s = B_4 \bar{s} = 0,00056 \text{ mm} \quad (23)$$

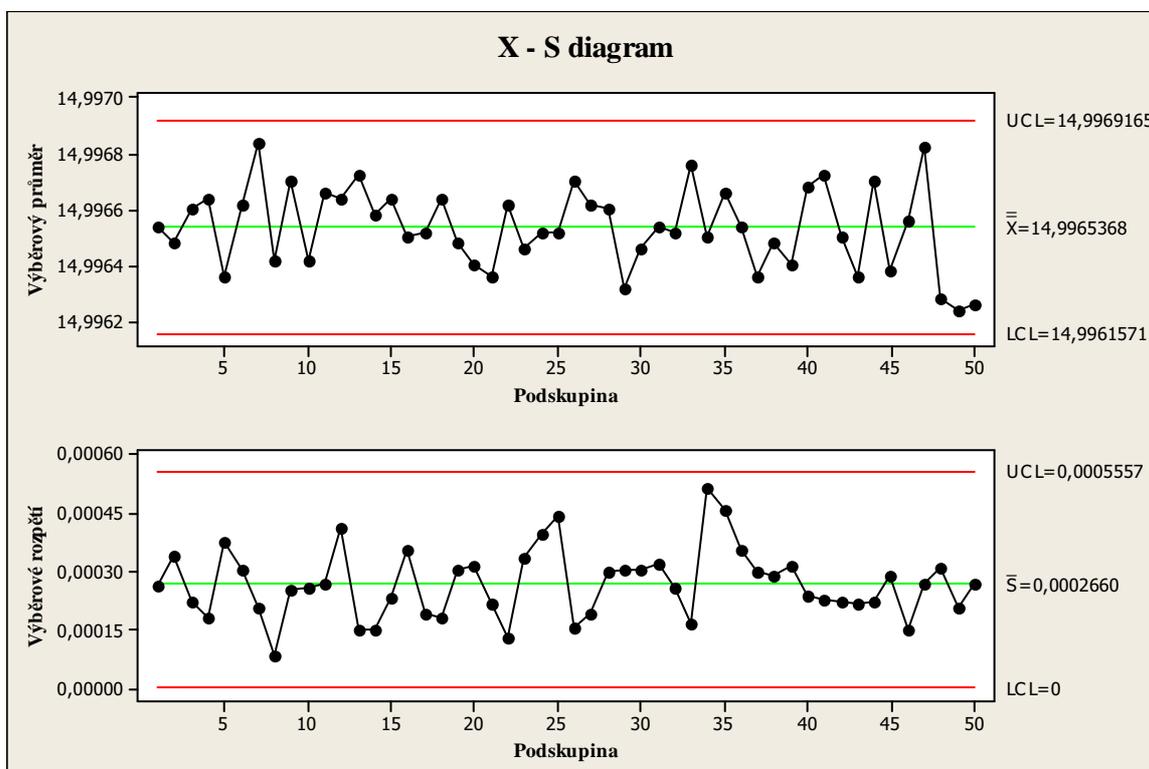
$$LCL_s = B_3 \bar{s} = 0 \text{ mm} \quad (24)$$

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = 14,99654 \text{ mm} \quad (25)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} = 14,99692 \text{ mm} \quad (26)$$

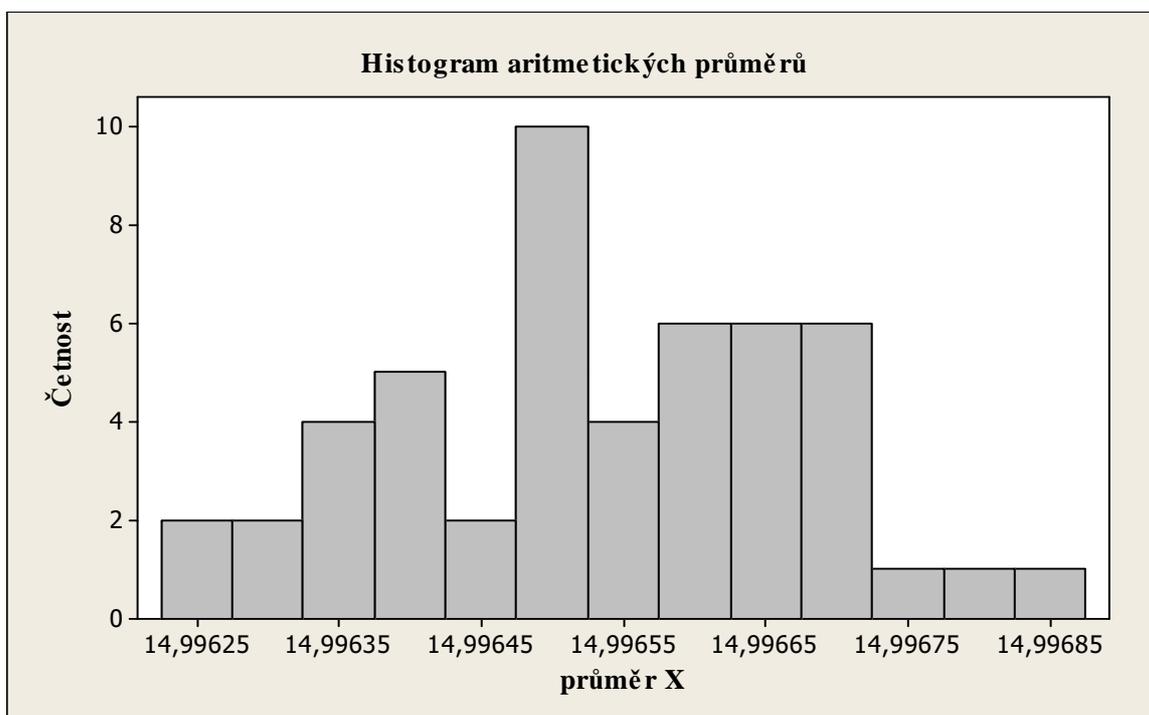
$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} = 14,99616 \text{ mm} \quad (27)$$

Po výpočtu těchto hodnot byl s pomocí programu MiniTab sestaven regulační diagram ( $\bar{x} - s$ ), je patrné na obr. 13.



Obrázek 13. Regulační diagram ( $\bar{x} - s$ ) naměřených a vypočtených hodnot

Pro názornost byl vytvořen i histogram četností průměrů z jednotlivých výběrů.



Obrázek 14. Histogram naměřených a vypočtených hodnot

4) Posledním bodem je zhodnocení regulačního diagramu a analýza způsobilosti procesu. Jelikož žádná z hodnot neleží vně regulačních mezí, jak je patrné na obr. 13., můžeme hodnotit proces jako stabilizovaný a statisticky zvládnutý. Je tedy schopen plnit požadavky zákazníka. Pro kvantitativní vyjádření tohoto tvrzení se provede analýza způsobilosti procesu.

### 2.5.3 Ukazatel způsobilosti procesu $C_p$ a $C_{pk}$

Pro výpočet ukazatelů způsobilosti použijeme toleranční meze USL a LSL, které jsou jak je z výkresu (obr. 12.) patrné USL = 14,998 mm a LSL = 14,995 mm.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \bar{s}} = \frac{14,998 - 14,995}{6 \cdot 0,000266} = 1,88 \quad (27)$$

$$\begin{aligned} C_{pk} &= \min\{C_{PU}, C_{PL}\} = \min\left\{\frac{USL - \bar{x}}{3 \cdot \bar{s}}, \frac{\bar{x} - LSL}{3 \cdot \bar{s}}\right\} = \\ &= \min\left\{\frac{14,998 - 14,9965}{3 \cdot 0,000266}, \frac{14,9965 - 14,995}{3 \cdot 0,000266}\right\} = 1,88 \end{aligned} \quad (28)$$

Vypočtené ukazatele potvrdily, že proces je statisticky zvládnutý a je způsobilý dosahovat požadavků zákazníka. Sledovaný proces budeme dále udržovat ve stavu statisticky zvládnutém a způsobilém. Pokud by se i přes tyto zjištění vyskytl problém, je nutné pro odstranění poruch v procesu postupovat jedním z nástrojů kvality a aplikovat např.:

- Ishikawův diagram,
- Paterovu analýzu,
- FMEA, atd.

### 2.5.4 Doporučení

Provádění SPC bude průběžně kontrolováno vedoucím pracovníkem výrobního střediska a namátkově vedoucím řízení jakosti podniku. Zprávy o stavu a vývoji jakosti budou předkládány vrcholovému vedení podniku. Vyhodnocení regulačních diagramů bude průběžně provádět pracovník řízení jakosti a poté vracet pro potřeby výrobního střediska a případně navrhnout zásahy do procesu.

## 2.6 Metoda „PRECONTROL“ [8]

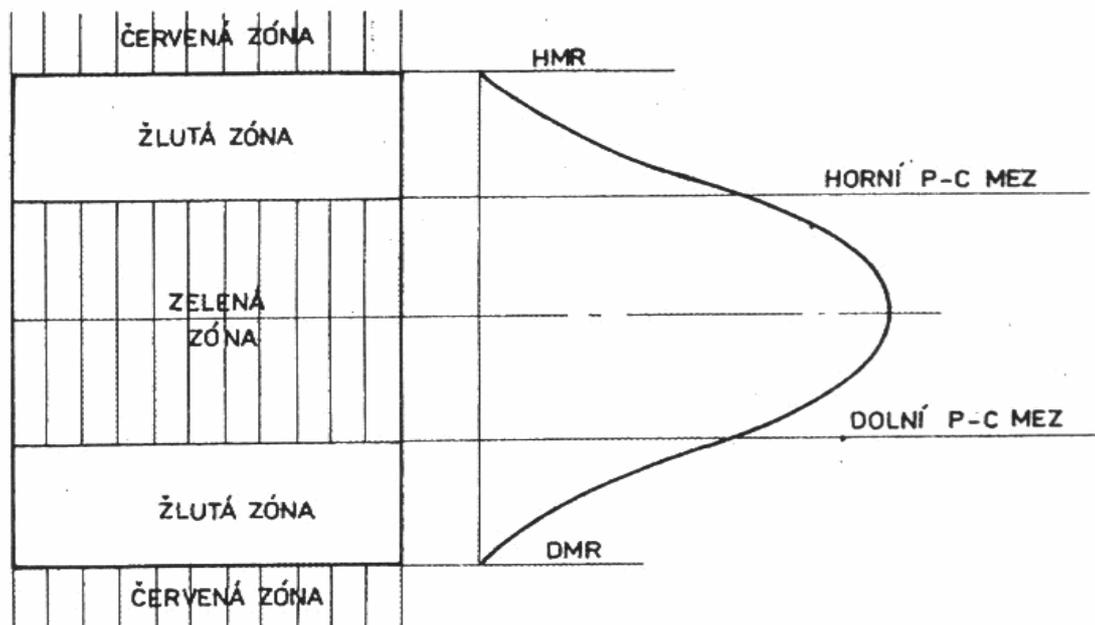
Tento návrh je uveden pouze teoreticky a to z důvodu, že pokud by byl v procesu nějaký problém se zaváděním SPC je možné přejít na tuto jednodušší metodu. Dále se dá tato metoda s výhodou využít při problémech uvedených níže a v konkrétně řešeném problému bylo navrženo zavést tuto metodu do operací předcházejících závěrečné operaci broušení, na kterou je aplikována metoda SPC.

Pro podmínky, kterým nevyhovuje klasické pojetí regulačních diagramů je vhodná tato metoda. Zavádí se při setkání s problémy jako např.:

- splnění požadavků na počet a velikost výběru,
- finančně a časově náročná měření,
- nutná časová prodleva mezi zjišťováním hodnot a vlastní regulací,
- nízký stupeň opakovatelnosti výroby, atd.

### 2.6.1 Postup při aplikaci metody

1) Toleranční pole se rozdělí na čtyři stejné části (obr. 15.). Dva střední pruhy, odpovídající 2/4 šířky tolerančního pole se označují jako tzv. *zelená zóna*. Hranice zelené zóny tvoří tzv. *PRECONTROL meze* (dále jen P-C meze). Části tolerančního pole ohraničené dolním mezním rozměrem (DMR) a dolní P-C mezí, horní P-C mezí a horním mezním rozměrem (HMR) se nazývají *žluté zóny*. Pásmo nad HMR a pod DMR se označují jako *červené zóny*.



Obr. 15 Rozdělení tolerančního pole [8]

2) Způsobilost procesu se ověří tak, že se provede výběr 5-ti po sobě jdoucích výrobků. Je-li hodnota u všech 5-ti jednotek v zelené zóně, je proces pod kontrolou a je možné v něm pokračovat. Avšak i jediná hodnota sledovaného parametru mimo tuto zónu signalizuje, že proces není pod kontrolou a je třeba vyhledat a odstranit příčiny variability.

3) V případě, že na základě vyhodnocení výběru 5-ti kusů je proces pod kontrolou, provádí se dále regulace na základě periodicky prováděných výběrů o velikosti 2 jednotek. Regulace se provádí na základě následujících pravidel:

- je-li hodnota měřeného jakostního parametru u obou jednotek uvnitř zelené zóny, může výrobní proces pokračovat bez zásahů,
- jestliže je hodnota parametru u jedné jednotky v zelené zóně a u druhé ve žluté zóně, je proces i v tomto případě pod kontrolou a výrobní proces může pokračovat bez zásahů,
- jestliže se obě hodnoty parametrů objeví v jedné nebo v obou žlutých zónách, proces je mimo kontrolu a musí se zastavit! (Pozn.: I když jsou obě hodnoty měřeného parametru v předepsané toleranci), po zastavení procesu se musí najít a odstranit příčiny variability, potom se proces znovu spustí a jeho způsobilost se prověří dle bodu 2 (vyhodnocením 5-ti kusů),
- pokud jedna nebo obě hodnoty měřeného parametru padnou do červené zóny, znamená to, že proces je mimo kontrolu a byl vyroben neshodný výrobek, výrobní proces se musí okamžitě zastavit, vyhledá a odstraní se příčina poruchy, další prověření způsobilosti je dle bodu 2,
- frekvence výběru rozsahu dvou jednotek je stanovena tak, že se časový úsek mezi dvěma zastaveními výrobního procesu dělí číslem 6, pro zvýšení účinnosti regulace, zejména ve fázi zavádění metody, se používá též hodnot 10, 15 až 24.

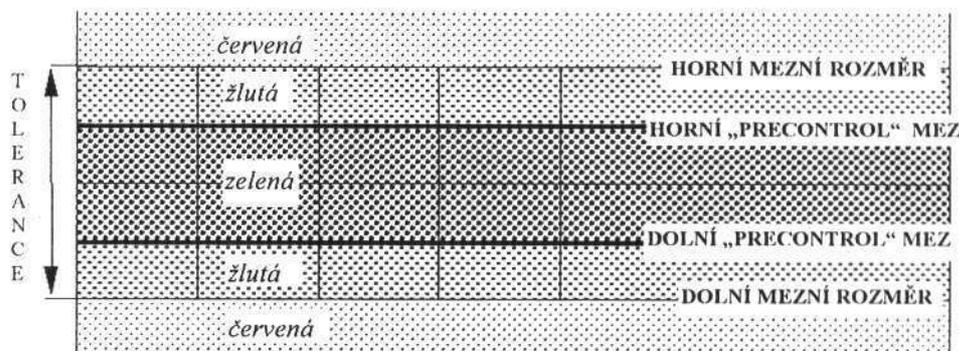
### 2.6.2 Efektivnost metody

Největší hodnota rizika  $\alpha$ , tj. rizika, že výroba bude zastavena v případě, kdy žádná chyba nenastala (žádná systematická příčina nemá na variabilitu procesu vliv), je kolem 2%.

Největší hodnota rizika  $\beta$ , tj. rizika, že metoda nebude signalizovat systematický vliv na variabilitu procesu i když ve skutečnosti působí, se blíží hodnotě 1,5%.

### 2.6.3 Regulační diagram

Regulační diagram je velmi jednoduchý a v čase stabilní, neboť je založen na tolerančních mezích.



Datum					
Čas					
Naměřené hodnoty					

Obrázek 16. Regulační diagram PRECONTROL [8]

### 2.6.4 Hlavní přednosti metody „PRECONTROL“

Metoda má 4 jednoduchá a jasná pravidla regulace výrobního procesu.

- 1) Regulační diagram je velmi jednoduchý a relativně stabilní v čase.
- 2) Metoda nevyžaduje komplikované, uživateli (např. operátorovi) nejasné propočty, tím i její náročnost na vybavení výpočetní technikou.
- 3) Vzhledem k počtu výběrů jde o postup časově a finančně nenáročný.
- 4) Metoda obsahuje jasná a jednoznačná pravidla pro stanovení frekvence výběru.

Výhodou zavedení této metody je jednoduchost propočtů, které výrobní operátoři musí provádět. O provedení kontroly jsou vedeny záznamy ve formě regulačních diagramů, což řeší problém s vedením záznamů o kontrole.

### 3 NÁVRH SYSTÉMU MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ

V závěrečné kapitole je uveden návrh tří možností systému měření a vyhodnocování měřených dílců.

#### 3.1 Dílenské měření a vyhodnocení

Měření pomocí délkoměru (obr. 17.) a ruční vyhodnocování do regulační karty ( $\bar{x} - R$ ) (obr. 18.), která je pro dílenské vyhodnocování jednoznačně nejjednodušší. Použití možné při absenci PC a statistického softwaru. Tento návrh bude aplikován jako startovací a po zaběhnutí systému bude zváženo, dle ekonomické rozvahy, jestli se přejde na některý z následujících systémů.



Obrázek 17. Délkoměr SIP 305M [7]



		název dílu	znak	velikost znaku	stroj	měřidlo
		číslo výkresu	číslo znaku	jednotky	číslo stroje/oper.	číslo měřidla
STŘEDNÍ HODNOTA / MEDIAN						
	ROZPĚTÍ					
						Čištění nástroje
						Zlomení nástroje
						Úprava upínáče
X1						$\bar{x}_{00}$
X2						$R_0$
X3						$HMZ_x$
X4						$DMZ_x$
X5						
$\bar{x}_r$						$HMZ_r$
$x_q$						$DMZ_r$
R						
čas						n a <sub>1</sub> d <sub>1</sub> d <sub>4</sub>
datum						3 1,023 0 2,574
dávka						4 0,729 0 3,203
jméno						5 0,577 0 2,114

Obrázek 18. Regulační karta ( $\bar{x} - R$ ) [8]

### 3.2 Dílenské měření a PC vyhodnocení

Měření délkoměrem a vyhodnocování pomocí PC – nutná investice do statistického softwaru a školení zaměstnanců. Jelikož je ve společnosti v současné době zaváděn komplexní počítačový informační systém řízení výroby, jakosti a logistiky, tak by přechod na způsob tohoto vyhodnocení měl být jednoznačně preferován.

### 3.3 Interaktivní měření a vyhodnocení

Zavedení měřicího délkoměru navrženého ve spolupráci s firmou Messing (obr. 19.) a vyhodnocování speciálním softwarem. Tento stroj dává možnost měření několika rozměrů najednou a nezávislé, interaktivní a okamžité vyhodnocení výsledků a tvorba regulačních diagramů on-line. Tento systém, při fungujícím počítačovém informačním systému, dává možnost sledovat vedení a oddělení kvality vývoj výrobního procesu a v případě potřeby provádět okamžité zásahy.

Tento systém dává nutnost investice do nového délkoměru a softwaru, ale zároveň při plném využití tohoto systému je zaručena rychlá návratnost investic zapříčiněná časovým a personálním zekonomičtěním měření. Investice do tohoto systému se pohybuje kolem cca 100 000 Kč a návratnost této částky je opravdu rychlá. Při používání tohoto délkoměru jsou vyhodnocovány všechny čtyři rozměry současně, což znamená 4-násobné ušetření času pro měření a zároveň automatické vyhodnocování pomocí SW.



Obrázek 19. Speciální délkoměr pro SPC TWINNER T4+ [6]

## 4 ZÁVĚR

Cílem této práce je návrh metodiky použití statistického řízení kvality ve strojírenské výrobě. Záměrem je, aby tato práce sloužila jako příručka pro oddělení metrologie a pomohla při zavedení SPC v podniku. Bylo provedeno zhodnocení kontrolních systémů a návrh optimalizace kontrolních procesů ve výrobě. Byl vybrán jeden konkrétní výrobek - hřídel, na kterém jsou popsány, aplikovány a zhodnoceny kontrolní procesy.

Počáteční kapitola práce je teoretická. Zabývá se základními pojmy a definicemi ve strojírenské metrologii a statistickým řízením a regulací výrobního procesu. První část se zabývá přesností měření, možnými chybami a druhy technických kontrol, což patří k základním znalostem řízení kvality. Další část je zaměřena na zásady statistické regulace procesu, finanční motivaci a schopnosti procesu a jeho znaky, pomocí kterých je hodnocena účinnost navrhované regulace. Poslední část je zaměřena na teoretické zavádění metody SPC do výroby, metodiku výpočtů a hodnocení Shewhartových diagramů jak pro kontrolu měření, tak pro kontrolu srovnáváním.

Prostřední a nejrozsáhlejší úsek je věnován vlastní praktické aplikaci SPC ve výrobě. V první části jsou uvedeny základní informace o podniku, jím vyráběném sortimentu a hodnocení dosavadního systému kontroly. V další části je popsána implementace SPC do systému měření a to včetně jednotlivých fází její realizace. Na konec byla provedena samotná aplikace SPC, uvedením naměřených hodnot, názorným postupem jednotlivých výpočtů, vyhodnocením pomocí Shewhartova diagramu, doporučením a teoretickým návrhem metody PRECONTROL použitelné pro malé dávky a pro operace probíhající před operací, na kterou je aplikována metoda SPC. Metoda PRECONTROL je velice levná a jednoduchá alternativa k namátkové kontrole a její zavedení může být jen přínosem pro podnikovou metrologii a řízení jakosti.

V poslední části práce jsou pouze krátce uvedeny možnosti systému měření a vyhodnocování měřených dílců, s jejich ekonomickými aspekty a s názornými ukázkami měřících strojů a systémů.

Tento projekt by měl být přínosem pro neustálé zlepšování kvality v podniku a jeho upevnění pozice na trhu. Dle očekávání se potvrdilo, že pro opravdu kvalitní stroj jakým je CNC bruska Studer S33, není nutná a ani výhodná 100% kontrola. Zavedení SPC metody je správným vyústěním požadavku vedení na zefektivnění výroby. Pro stabilitu námi zkoumaného procesu je nutné zajistit, aby se navržená opatření stala běžnou součástí výroby. Toho lze dosáhnout zařazením tohoto systému do ročního plánu interních auditů a systematickým školením pracovníků. Pro výrobní podnik, je vzhledem k ekonomické výhodnosti, zařazení navržené metody do výrobního procesu cílem, který se budou snažit co nejlépe plnit, jak zaměstnanci, tak vedení společnosti.

## 5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODANÝ, K. *Strojírenská metrologie*. 4. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 176s. ISBN 80-214-3070-2.
2. ČSN 01 0115. *Mezinárodní slovník základních termínů v metrologii*. 1996.
3. ČSN ISO 11462-1:2002. *Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – Část 1: Prvky SPC*. 2002.
4. ČSN ISO 8258:1994. *Shewhartovy regulační diagramy*. 1994.
5. FIALA, A. *Statistické řízení procesů. Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů*. VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2.
6. Interní materiály firmy Mesing.
7. Interní materiály firmy Startech spol. s r. o.
8. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. *Strojírenská metrologie II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\alpha$	[%]	riziko zastavení výroby
A2	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
A3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
A4	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
$\beta$	[%]	riziko zastavení výroby
B3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
B4	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
c	[ks]	počet neshod ve výběru
CL	[mm]	průměrná hodnota procesu
Cm	[-]	ukazatel způsobilosti výrobního stroje
C <sub>m<sub>k</sub></sub>	[-]	ukazatel způsobilosti výrobního stroje
C <sub>p</sub>	[-]	ukazatel způsobilosti procesu
C <sub>p<sub>k</sub></sub>	[-]	ukazatel způsobilosti procesu
$\delta$	[mm]	náhodná chyba měření
$\Delta$	[mm]	absolutní chyba měření
$\Delta_p$	[mm]	relativní chyba měření
$\Delta_s$	[mm]	systematická chyba měření
D3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
D4	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
DMR	[mm]	dolní mezní rozměr
E2	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
f <sub>p</sub>	[%]	relativní variační rozpětí
HMR	[mm]	horní mezní rozměr
k	[ks]	rozsah výběru
LCL	[mm]	dolní regulační mez
LSL	[mm]	dolní mezní rozměr
$\mu$	[mm]	aritmetický průměr základního souboru
Me	[mm]	výběrový medián
n	[-]	rozsah podskupiny
np	[ks]	počet neshodných jednotek ve výběru
p	[ks]	podíl neshodných jednotek ve výběru

---

R	[mm]	výběrové rozpětí hodnot souboru
RD	[-]	regulační diagram
$\sigma$	[mm]	směrodatná odchylka základního souboru
s	[mm]	výběrová směrodatná odchylka
SPC	[-]	statistické řízení a regulace výrobního procesu
SW	[-]	software
T	[mm]	tolerance
u	[ks]	počet neshod na jednotku
UCL	[mm]	horní regulační mez
USL	[mm]	horní mezní rozměr
$\bar{x}$	[mm]	výběrový aritmetický průměr
$\tilde{x}$	[mm]	prostřední hodnota z výběru
$\bar{\bar{x}}$	[mm]	aritmetický průměr z aritmetických průměrů jednotlivých výběrů
$x_1$	[mm]	výsledek prvního měření
$x_i$	[mm]	výsledek i-tého měření
$x_m$	[mm]	změřená hodnota měřené veličiny
$x_n$	[mm]	výsledek n-tého měření
$x_p$	[mm]	konvenčně pravá hodnota měřené veličiny

## **7 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A – koeficienty pro výpočet regulačních mezí a centrální přímky Shewhartových diagramů

Příloha B – bruska STUDER S33

Příloha C – výkres hřídele



## 8 PŘÍLOHY

**Příloha A** – koeficienty pro výpočet regulačních mezí a centrální přímký Shewhartových diagramů

n	A(n)	A <sub>2</sub> (n)	A <sub>3</sub> (n)	A <sub>4</sub> (n)	B <sub>3</sub> (n)	B <sub>4</sub> (n)	B <sub>5</sub> (n)	B <sub>6</sub> (n)	D <sub>1</sub> (n)	D <sub>2</sub> (n)	D <sub>3</sub> (n)	D <sub>4</sub> (n)	C <sub>4</sub> (n)	d <sub>2</sub> (n)	d <sub>3</sub> (n)	c <sub>n</sub>	E <sub>2</sub> (n)
2	2,1213	1,8806	2,6587	1,8806	0	3,2665	0	2,6063	0	3,6855	0	3,2673	0,79788	1,1280	0,8525	1,000	2,660
3	1,7321	1,0231	1,9544	1,1868	0	2,5682	0	2,2760	0	4,3581	0	2,5744	0,88623	1,6929	0,8884	1,160	1,772
4	1,5000	0,7285	1,6281	0,7956	0	2,2661	0	2,0878	0	4,6983	0	2,2820	0,92132	2,0589	0,8798	1,092	1,457
5	1,3417	0,5768	1,4273	0,6910	0	2,0890	0	1,9836	0	4,9184	0	2,1144	0,93999	2,3261	0,8841	1,198	1,290
6	1,2248	0,4833	1,2871	0,5490	0,0304	1,9696	0,0289	1,8742	0	5,0782	0	2,0039	0,95153	2,5342	0,8480	1,136	1,184
7	1,1339	0,4193	1,1819	0,5090	0,1177	1,8923	0,1129	1,8058	0,2046	5,2038	0,0757	1,9243	0,95937	2,7042	0,8332	1,214	1,109
8	1,0607	0,3725	1,0991	0,4317	0,1851	1,8149	0,1788	1,7514	0,3880	5,3068	0,1383	1,8637	0,96503	2,8474	0,8198	1,159	1,054
9	1,0000	0,3367	1,0317	0,4118	0,2391	1,7609	0,2318	1,7088	0,5466	5,3934	0,1840	1,8160	0,96931	2,9700	0,8078	1,223	1,010
10	0,9487	0,3082	0,9754	0,3622	0,2837	1,7163	0,2759	1,6694	0,8866	5,4892	0,2231	1,7769	0,97266	3,0779	0,7971	1,175	0,975
11	0,9045	0,2851	0,9274	0,3504	0,3213	1,6787	0,3134	1,6373	0,8107	5,5345	0,2555	1,7445	0,97535	3,1726	0,7873	1,229	0,946
12	0,8680	0,2658	0,8859	0,3163	0,3535	1,6465	0,3456	1,6095	0,9229	5,5939	0,2832	1,7168	0,97756	3,2584	0,7785	1,190	0,921
13	0,8321	0,2494	0,8498	0,3076	0,3816	1,6184	0,3737	1,5851	1,0244	5,6468	0,3071	1,6929	0,97941	3,3356	0,7704	1,233	0,899
14	0,8018	0,2353	0,8173	0,2812	0,4062	1,5938	0,3995	1,5634	1,1182	5,6962	0,3282	1,6718	0,98097	3,4072	0,7630	1,195	0,880
15	0,7746	0,2231	0,7885	0,2760	0,4282	1,5718	0,4206	1,5440	1,2036	5,7408	0,3486	1,6534	0,98232	3,4722	0,7562	1,237	0,864
16	0,7500	0,2123	0,7628	0,2552	0,4476	1,5521	0,4405	1,5265	1,2828	5,7820	0,3631	1,6369	0,98348	3,5323	0,7499	1,202	0,849
17	0,7276	0,2026	0,7391	0,2510	0,4657	1,5343	0,4585	1,5106	1,3568	5,8204	0,3779	1,6221	0,98451	3,5881	0,7441	1,238	0,838
18	0,7071	0,1942	0,7176	0,2345	0,4818	1,5182	0,4748	1,4960	1,4245	5,8561	0,3913	1,6087	0,98541	3,6403	0,7386	1,207	0,824
19	0,6883	0,1866	0,6979	0,2312	0,4966	1,5034	0,4898	1,4826	1,4882	5,8992	0,4034	1,5966	0,98621	3,6887	0,7335	1,239	0,813
20	0,6708	0,1796	0,6797	0,2177	0,5102	1,4898	0,5036	1,4703	1,5494	5,9216	0,4148	1,5852	0,98693	3,7356	0,7287	1,212	0,803
21	0,6547	0,1733	0,6629		0,5228	1,4772	0,5163	1,4589	1,6053	5,9605	0,4249	1,5751	0,98758	3,7779	0,7242		0,794
22	0,6396	0,1674	0,6473		0,5344	1,4666	0,5281	1,4483	1,6600	5,9794	0,4346	1,5654	0,98817	3,8197	0,7199		0,785
23	0,6255	0,1621	0,6327		0,5452	1,4548	0,5391	1,4383	1,7103	6,0057	0,4433	1,5567	0,98870	3,8580	0,7159		0,778
24	0,6124	0,1572	0,6191		0,5553	1,4447	0,5493	1,4291	1,7593	6,0319	0,4516	1,5484	0,98919	3,8956	0,7121		0,770
25	0,6000	0,1526	0,6063		0,5648	1,4352	0,5589	1,4203	1,8058	6,0560	0,4593	1,5407	0,98964	3,9308	0,7084		0,763

**Příloha B** – bruska STUDER S33



