



## **Pokročilejší metody SPC**

**Darja Noskievičová**  
**Katedra kontroly a řízení jakosti**  
**FMML, VŠB-TU Ostrava**

## Komplexní aplikace statistické regulace procesu (SPC)

### *Fáze SPC*

**I. Přípravná fáze**

**II. Fáze ověřování a zajištění statistické stability  
procesu**

**III. Fáze ověřování a zajištění způsobilosti procesu**

**IV. Fáze dlouhodobé statistické regulace procesu**

# KONCEPTUÁLNÍ RÁMEC

Ekonomické a výrobní podmínky - změna manažerského paradigmatu

## Koncept štíhlé výroby

relativně stabilní a  
predikovatelná poptávka  
nízká variantnost  
High Volume / Low Mix

výrazný vzrůst variantnosti potřeb a požadavků  
zákazníků  
specializovaní a fragmentovaní zákazníci

## Koncept agilní výroby

Proměnlivá a  
nepredikovatelná  
poptávka  
Vysoká variantnost  
Low Volume / High Mix

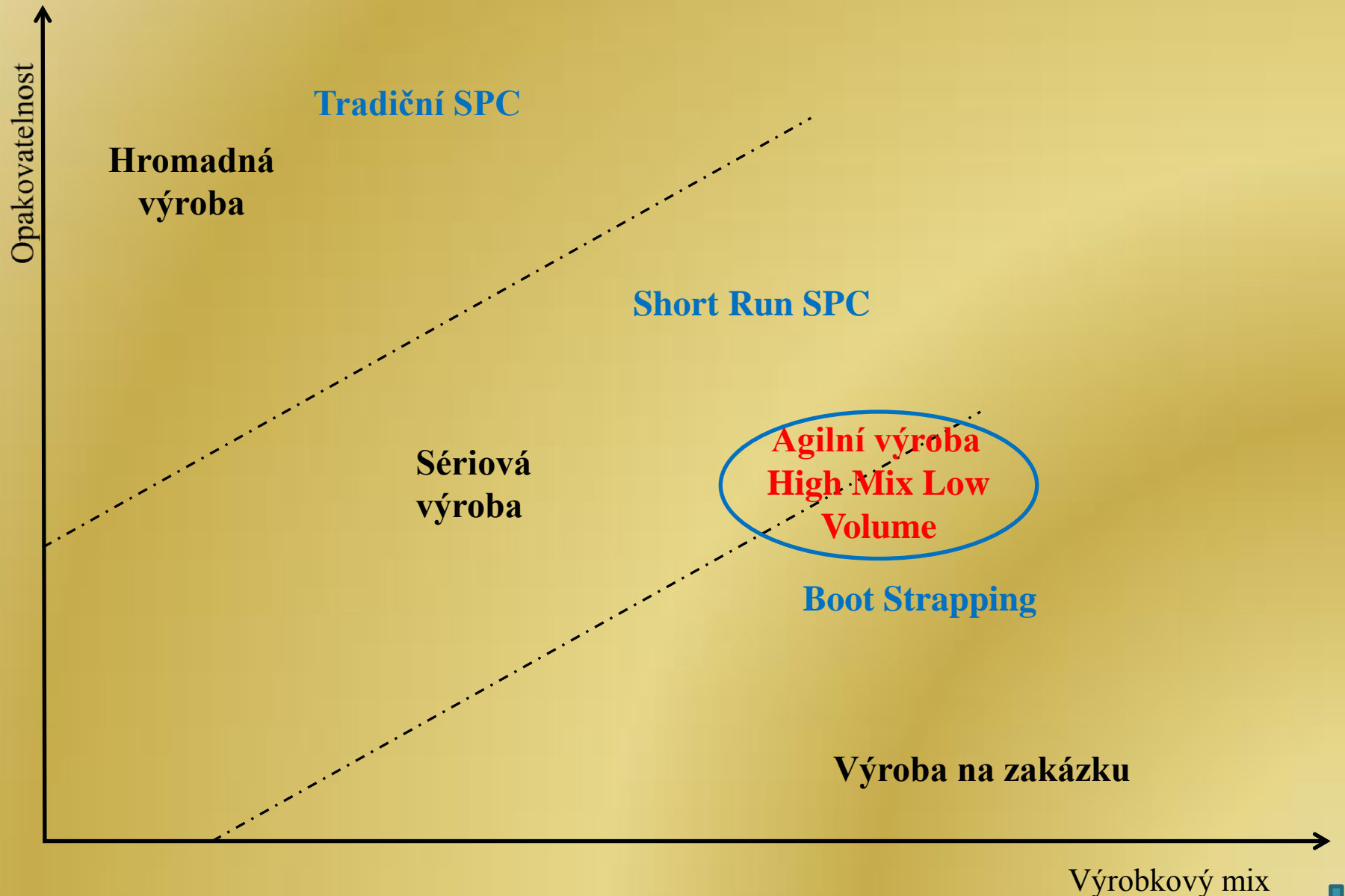
## Leagile koncept

Kombinace principů  
štíhlé a agilní výroby

Robustnější koncept

- simultánní maximalizace kvality, flexibility a minimalizace nákladů

# Aplikace SPC v různých typech výroby



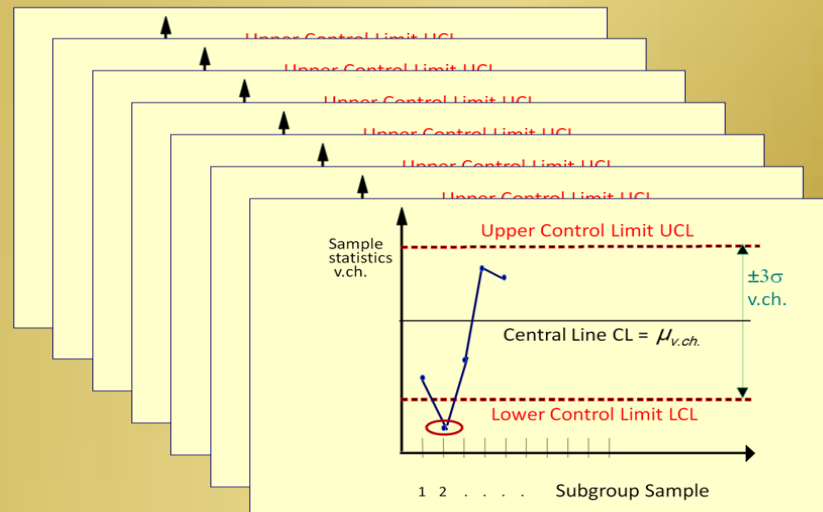
**„Short run“ (SR) procesy jsou většinou charakteristické**

- **velkou variantností různorodých produktů;**
- **dávkami menší velikosti;**
- **častým nastavováním (přestavováním) procesu (process setup) s doprovodným efektem náběhu (warm up);**
- **krátkými výrobními cykly (short time).**



# PROBLÉMY S IMPLEMENTACÍ SPC V PODMÍNKÁCH SR PROCESŮ

- Nedostatečné množství dat
- Mnoho regulačních diagramů
- Málo času na monitorování a analýzu procesu
- Variabilita daná častým nastavováním procesu



# PŘÍSTUPY K ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ S IMPLEMENTACÍ SPC V PODMÍNKÁCH SR PROCESŮ

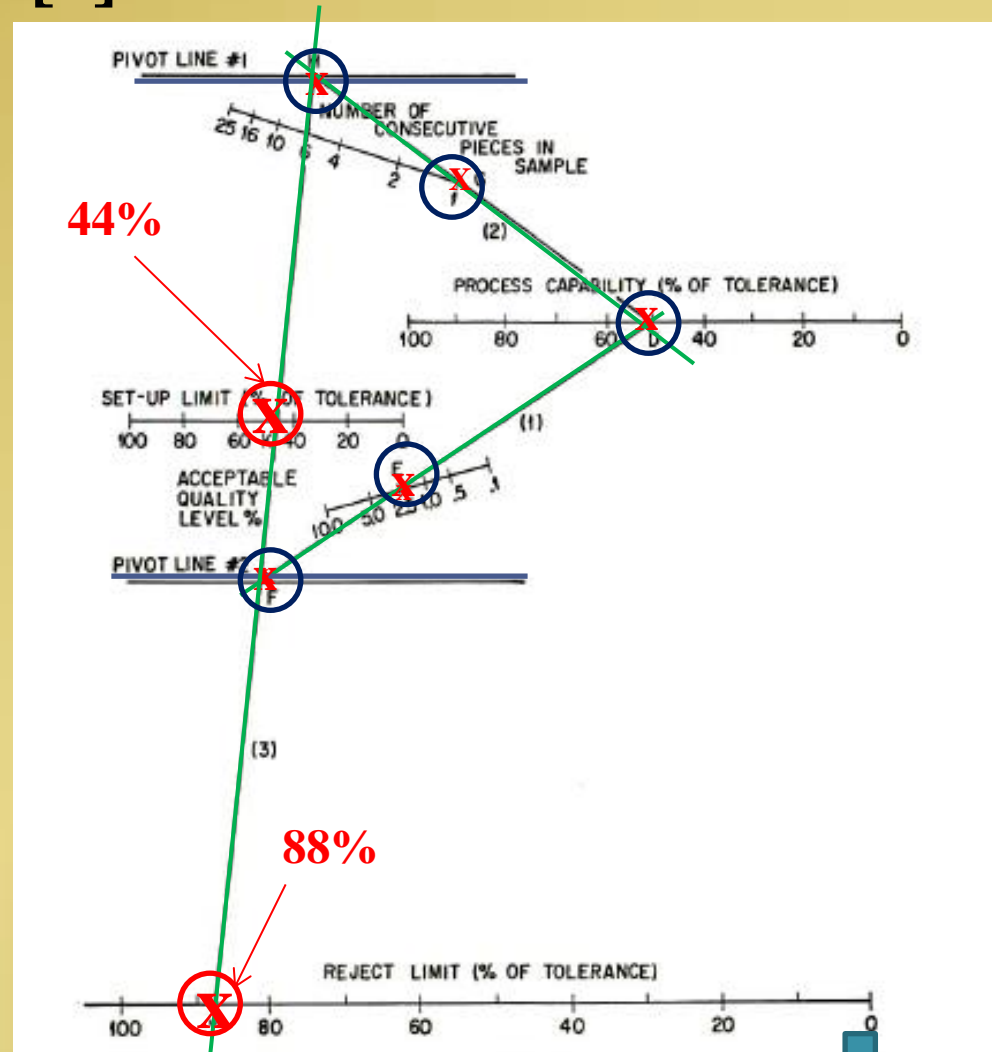
Nedostatek dat	Mnoho diagramů	Časté nastavování	Málo času
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sdružování dat (Data pooling)</li><li>• Samostartovací metody (Self-starting methods)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sdružování dat (Data pooling)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schémata schválení nastavení zařízení (Setup approval schemes)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Citlivější regulační diagramy</li></ul>



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Feigenbaumův nomogram [7]

- Sledovaná veličina: průměr hřídele
- Tolerance:  $0.969 \pm 0.002''$
- Způsobilost daného stroje při výrobě daného produktu: 50%
- Přijatelná úroveň kvality AQL: 2.5%
- Velikost výběru: 1 ks





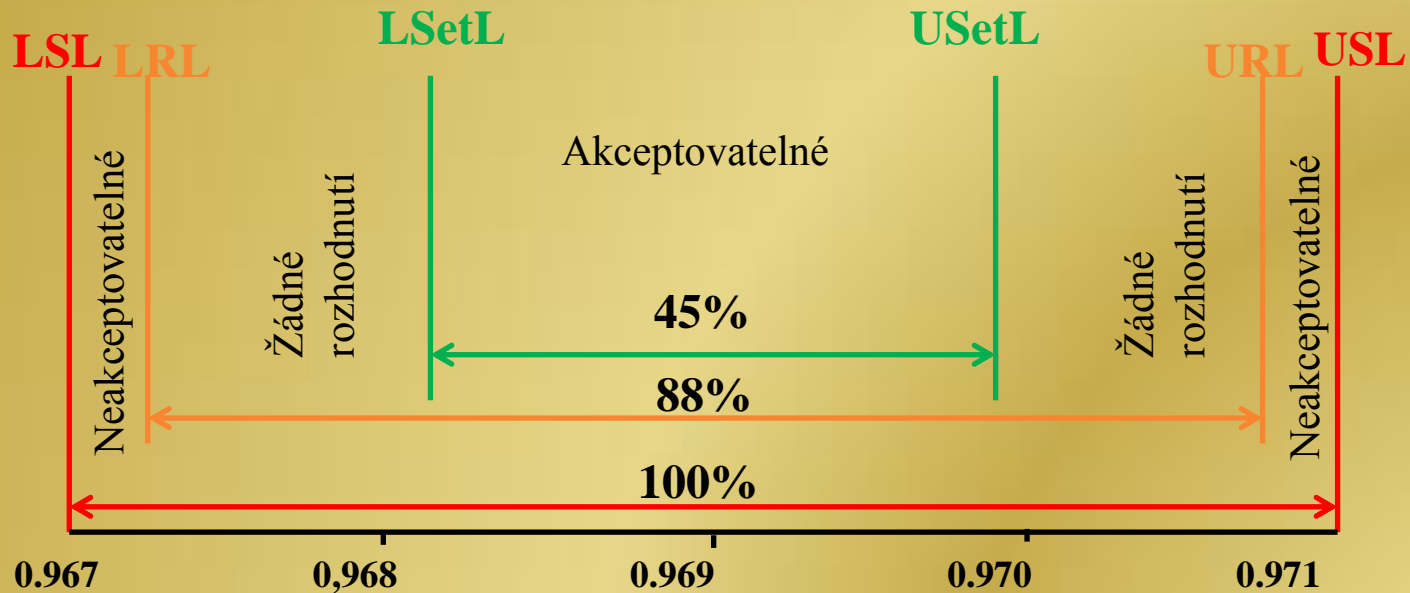
# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Feigenbaumův nomogram

LSL, USL – toleranční meze

LRL, URL – zamítací meze

LSetL, USetL – meze nastavení



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Feigenbaumův nomogram

### Výhody:

- Pružné v nastavení velikosti výběru
- Jednoduchý algoritmus

### Nevýhody:

- Musí se znát  $C_p$ , AQL



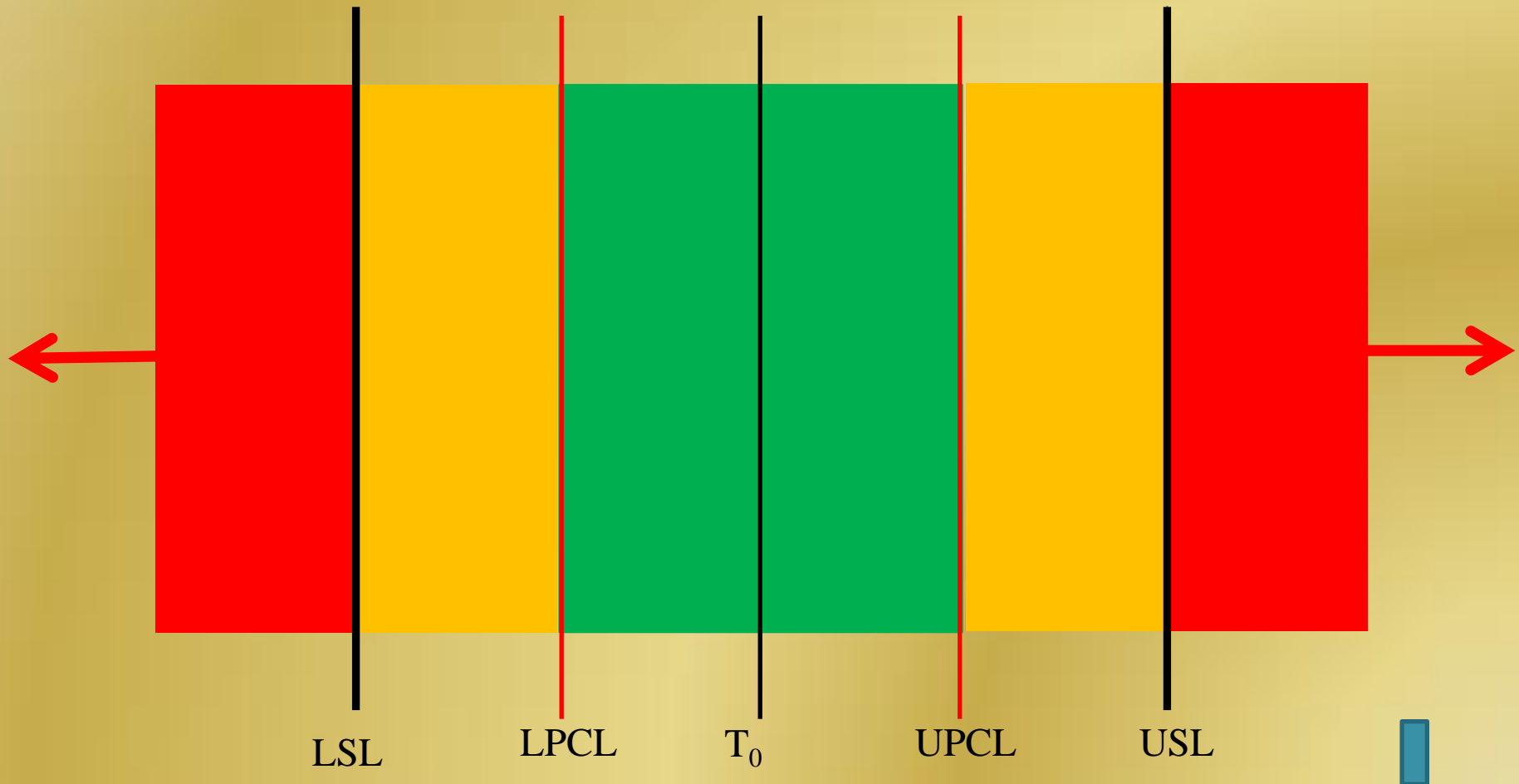
# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace (precontrol) [2]

LSL, USL – toleranční meze

LPCL, UPCL – předregulační meze

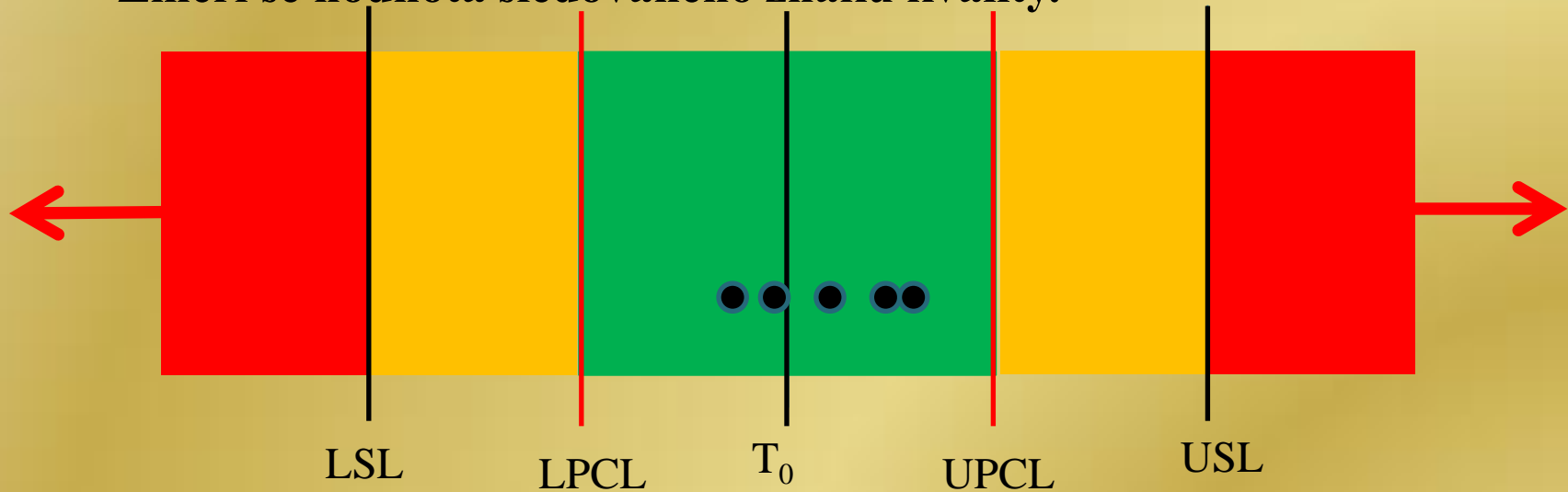
$T_0$  - střed tolerančního pole



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace – pravidla

- Proveďte se odběr 5 po sobě jdoucích produktů.
- Změří se hodnota sledovaného znaku kvality.



### Pravidlo 1

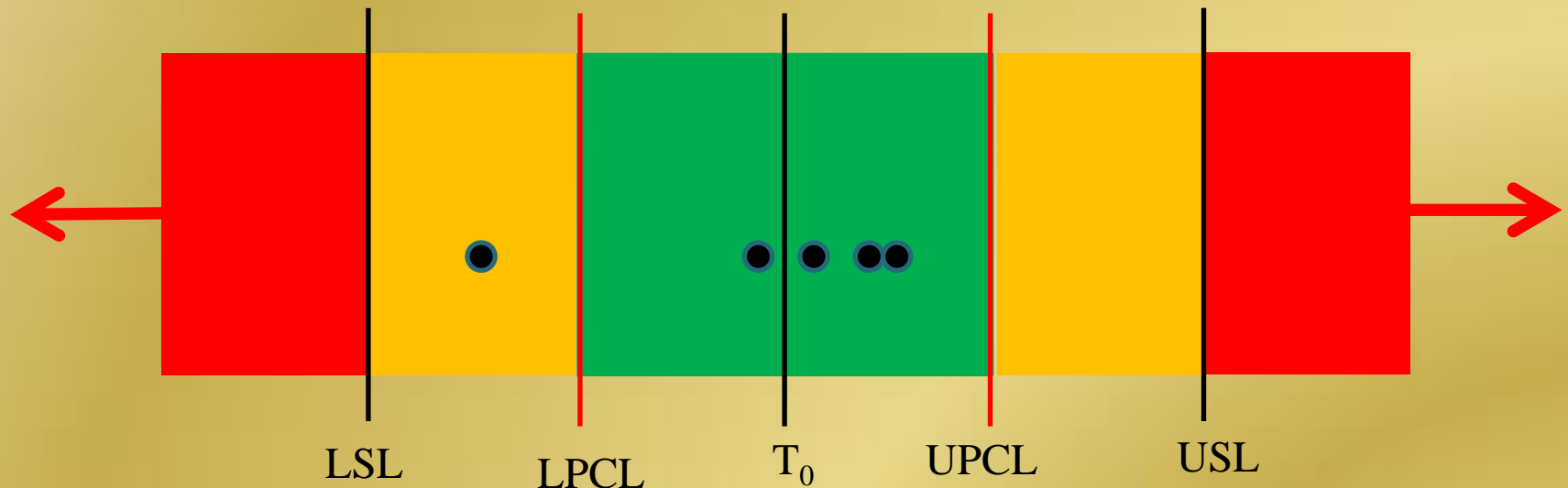
Padne-li všech 5 hodnot do zelené zóny, nastavení stroje je schváleno.

- Znamená to, že proces je dobře centrován a s vysokou pravděpodobností bude vyrábět na uspokojivé úrovni kvality.
- Lze vyrábět celou dávku.



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace – pravidla



### Pravidlo 2

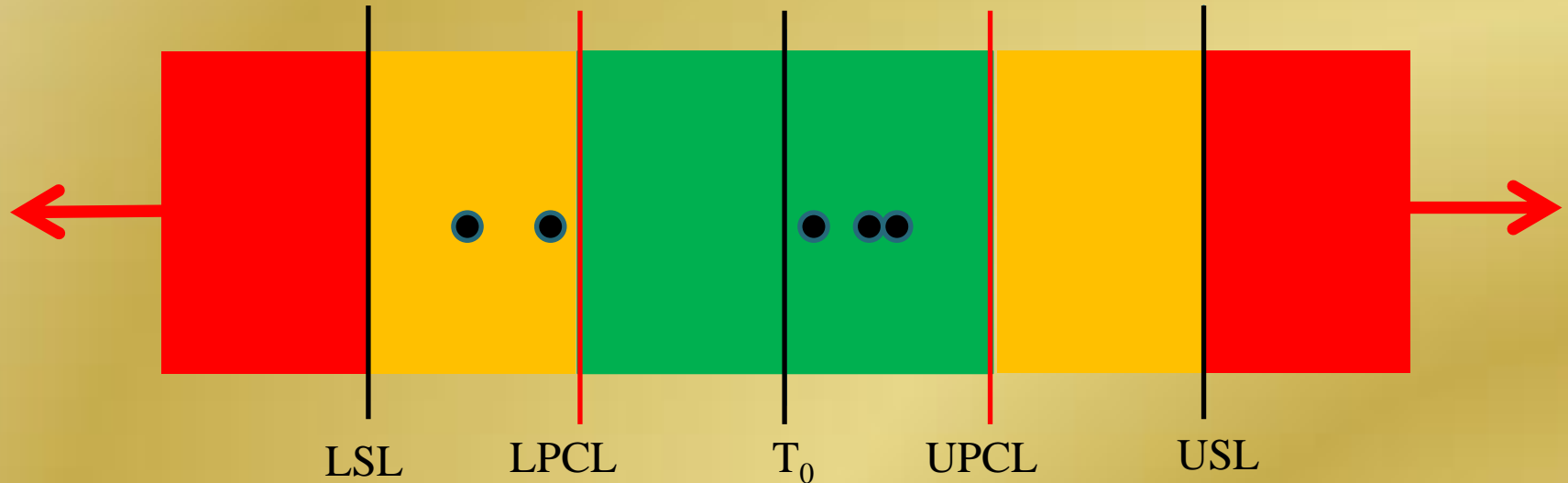
Padne-li 1 hodnota do žluté zóny,

- celý postup se zopakuje.



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace – pravidla



### Pravidlo 3

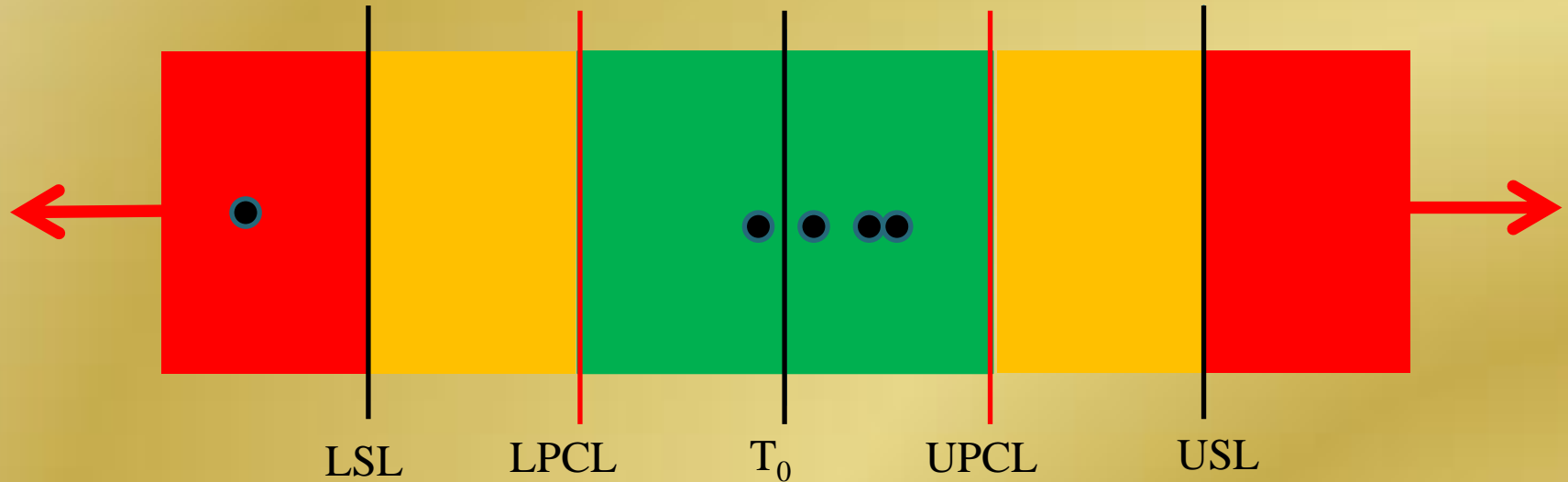
Jsou-li dvě po sobě jdoucí hodnoty ve žluté zóně,

- je třeba stroj znovu seřídít,
- postup zopakovat.



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace – pravidla



### Pravidlo 4

**Padne-li 1 hodnota do červené zóny,**

- je třeba stroj znovu seřídít,
- postup zopakovat.



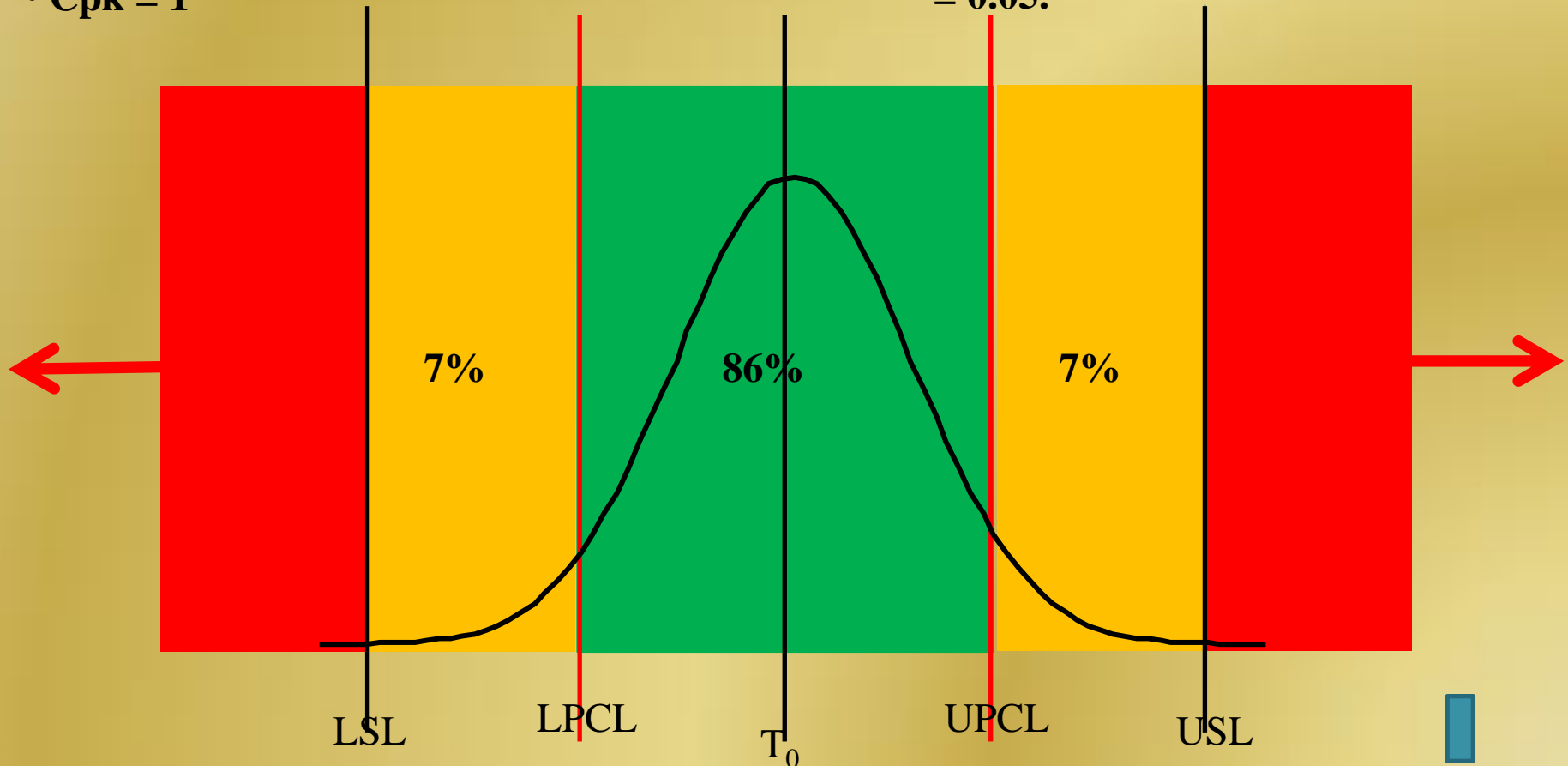
# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace

### Předpoklady

- Cílová hodnota = střed tolerančního pole
- Normální rozdělení sledovaného znaku kvality
- $C_{pk} = 1$

- Pravděpodobnost, že všech 5 hodnot bude v zelené zóně = 0.47.
- Pravděpodobnost, že dvě po sobě jdoucí hodnoty budou ve žluté zóně = 0.05.





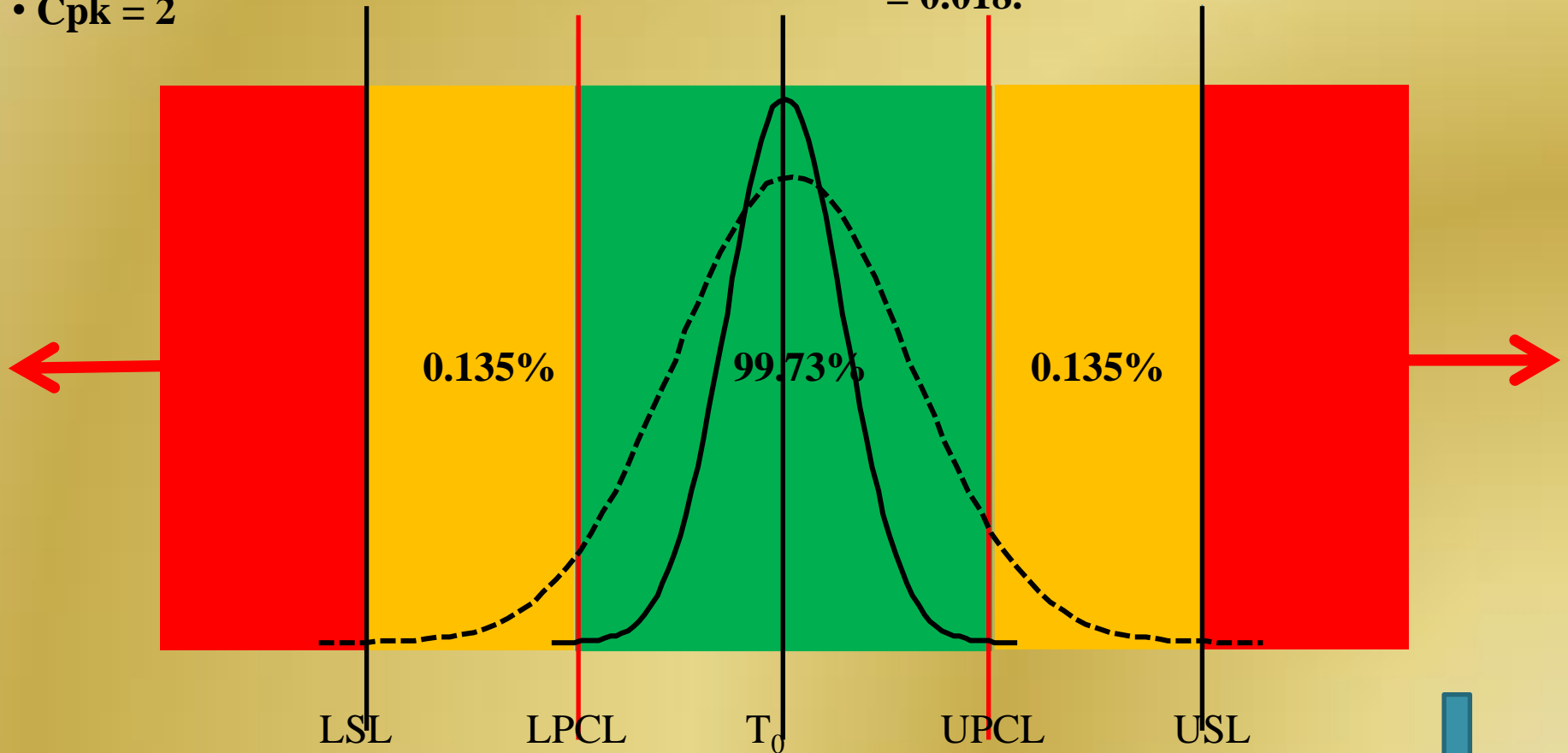
# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace

### Předpoklady

- Cílová hodnota = střed tolerančního pole
- Normální rozdělení sledovaného znaku  $\bar{X}$  kvality
- $C_{pk} = 2$

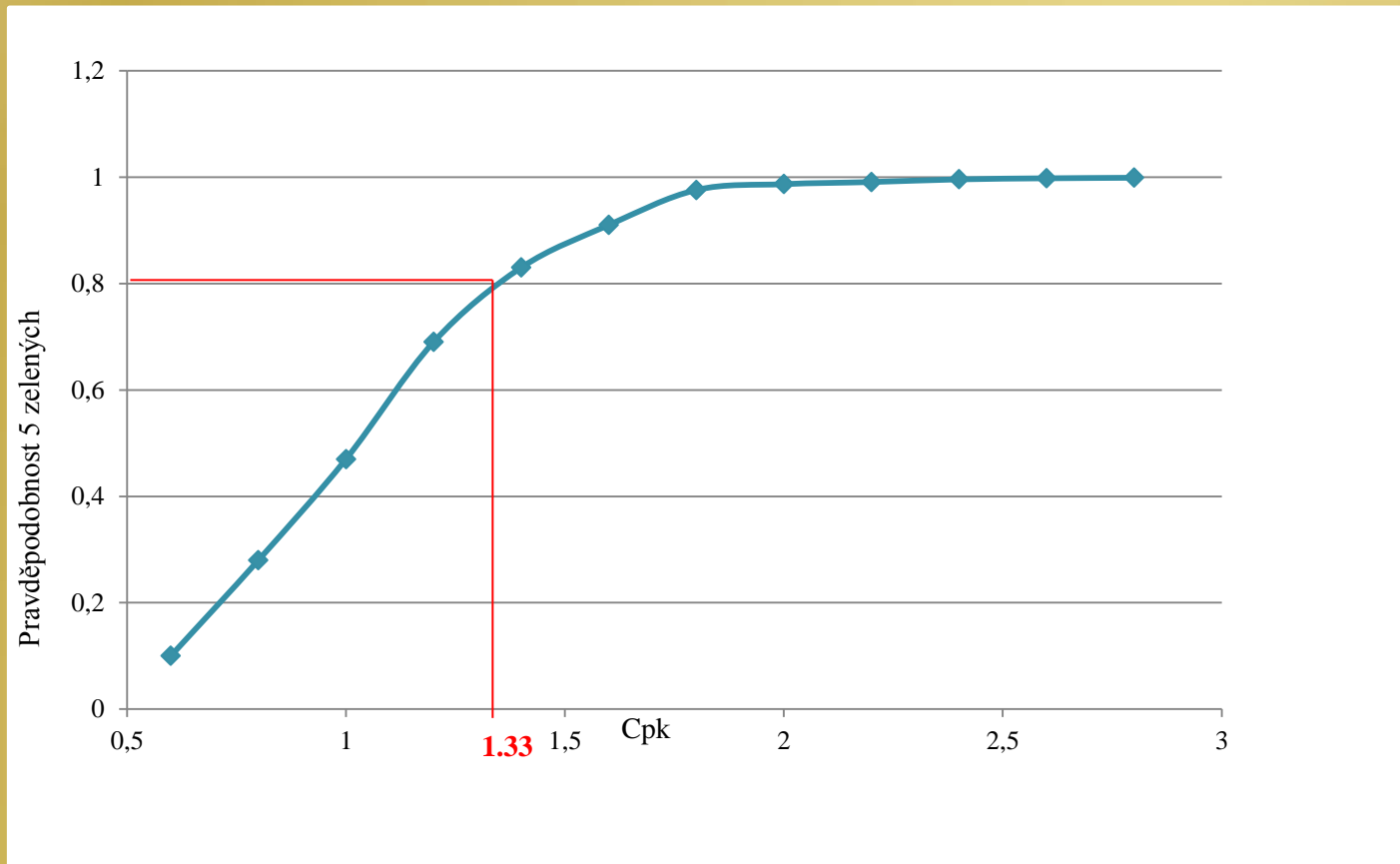
- Pravděpodobnost, že všech 5 hodnot bude v zelené zóně = 0.987.
- Pravděpodobnost, že dvě po sobě jdoucí hodnoty budou ve žluté zóně = 0.018.



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace

Vliv hodnoty Cpk na pravděpodobnost, že všech 5 kontrolovaných produktů bude v zelené zóně



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Předregulace

### Výhody

- **Levný systém**
- **Jednoduché provedení, rychlé, malé výběry**
- **Jednoduchá a jednoznačná interpretace**

### Nevýhody

- **N-rozdělení**
- **Neexistuje pravidlo, jak provést nové nastavení**
- **Není ale dopředu jasné, kolik výrobků bude vlastně potřeba ve skutečnosti zkontrolovat než dojde k 5 za sebou v zelené zóně**



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Wheelerova metoda [21]

1. Stanovení CL pro diagram pro individuální hodnoty  $X_j$ :  $CL = T_0$ .

Odběr a měření u 5-10 po sobě jdoucích produktů. Zakreslení hodnot do diagramu s CL.

Je-li 8 bodů na jedné straně CL, přejde se k bodu 7.

2. Z 5-10 naměřených hodnot výpočet klouzavých rozpětí a jejich zakreslení

do diagramu pro klouzavá rozpětí s  $CL = \bar{R}_{kl}$ .

Odtud odhad  $\hat{\sigma}_x$  dle vzorce:  $\hat{\sigma}_x = \frac{\bar{R}_{kl}}{1.128}$

Stanovení mezí diagramu pro individuální hodnoty  $X_j$ :

$$LCL = T_0 - 3\hat{\sigma}_x,$$

$$UCL = T_0 + 3\hat{\sigma}_x.$$

3. Zakreslení mezí do diagramu  $X_j$ .



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Wheelerova metoda

4. Pásmo mezi mezemi se rozdělí na 6 stejných částí.
5. Provede se analýza původních 5-10 hodnot z hlediska bodů mimo meze či nenáhodných seskupení.

Při výskytu bodů mimo meze nebo nenáhodných seskupení se proces musí seřadit.

Přejde se k bodu 7.

6. Není-li odhalen žádný bod mimo meze ani žádné nenáhodné seskupení, provede se další měření (pokud již nebylo provedeno 10 měření). Hodnota se zakreslí do diagramu pro individuální hodnoty  $X_j$ . Zopakuje se analýza výskytu bodu mimo meze či nenáhodných seskupení. Dle situace se zopakuje bod 6 nebo se přejde k bodu 7.

7. Stanoví se průměr z dosavadních měření a použije se jako rozumný odhad pro určení, kde se proces nachází vzhledem k cílové hodnotě a podle toho se proces nově nastaví. Přejde se zpět k bodu 6.

8. Jestliže 10 po sobě jdoucích měření neobsahuje body mimo meze ani nenáhodná seskupení, lze předpokládat, že proces je rozumně blízko cílové hodnotě. Lze potvrdit nastavení stroje.



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Wheelerova metoda - Pravidla pro posouzení právnosti nastavení procesu na cílovou hodnotu

- **Bod mimo meze v diagramu pro individuální hodnoty**
- **Alespoň 2 ze tří po sobě jdoucích bodů na jedné straně diagramu leží mimo pásmo 2 sigma**
- **Alespoň 4 z 5 po sobě jdoucích bodů na jedné straně diagramu leží mimo pásmo 1 sigma**
- **8 bodů za sebou na jedné straně CL.**



# POSTUPY PRO SCHVÁLENÍ NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

## Wheelerova metoda

### Výhody

- Systém podobný standardní aplikaci Shewhartových regulačních diagramů.
- Pravidlo pro vlastní provedení seřízení.

### Nevýhody

- Časově náročnější



# SDRUŽOVÁNÍ DAT (DATA POOLING)

**Řešení nedostatku dat pro odhad parametrů procesu a stanovení regulačních mezí.**

- **Založeno na transformaci dat, umožňující vést různé produkty (díly) s různými nominálními hodnotami v jednom regulačním diagramu (v jedné dvojici regulačních diagramů).**
- **Využitelné zejména tam, kde je určitá míra opakovatelnosti procesu.**





# SDRUŽOVÁNÍ DAT (DATA POOLING)

## Výhody

- minimalizace počtu regulačních diagramů;
- dostatečný počet výběrů pro stanovení regulačních mezí (cílové regulační diagramy);
- stanovení regulačních mezí bez potřeby dat (standardizované regulační diagramy)
  - to umožňuje regulovat proces téměř ihned po fázi nastavení procesu);
- regulace procesu, ne produktu.

## Nevýhody

- pro odhad parametrů procesu a stanovení regulačních mezí jsou potřeba v určitých případech historická data



# METODY SDRUŽOVÁNÍ DAT - NEJČASTĚJŠÍ TRANSFORMACE ([1])

Technika transformace	Předpoklady
Skutečná hodnota – nominální hodnota (jmenovitý rozměr)	Konzistentní variabilita u všech produktů Konstantní rozsah podskupiny Alespoň 20 podskupin pro stanovení regulačních mezí Žádné chyby nastavení procesu Nominální hodnota = požadovaná cílová hodnota
Skutečná hodnota - cílová hodnota T	Konzistentní variabilita u všech produktů Konstantní rozsah podskupiny Alespoň 20 podskupin pro stanovení regulačních mezí Lze stanovit cílovou hodnotu T
Skutečná hodnota / cílová hodnota T	Směrodatná odchylka roste s cílovou hodnotou Konstantní rozsah podskupiny Lze stanovit cílovou hodnotu T Alespoň 20 podskupin pro stanovení regulačních mezí
(Skutečná hodnota - cílová hodnota T) / cílová hodnota T	Směrodatná odchylka roste s cílovou hodnotou Konstantní rozsah podskupiny Lze stanovit cílovou hodnotu T Alespoň 20 podskupin pro stanovení regulačních mezí
(Skutečná hodnota – cílová hodnota) / šíře tolerančního pole pro daný produkt	Způsobilost procesu je stejná pro všechny produkty Lze stanovit cílovou hodnotu T Konstantní rozsah podskupiny

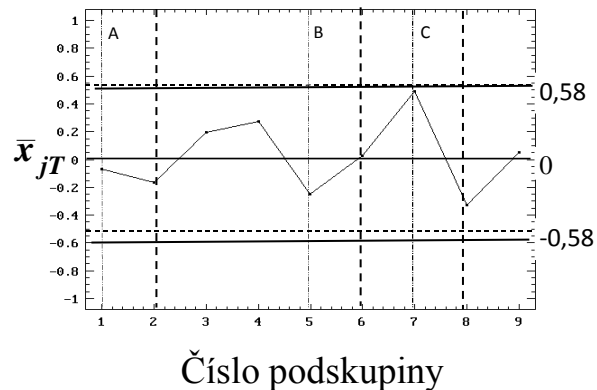
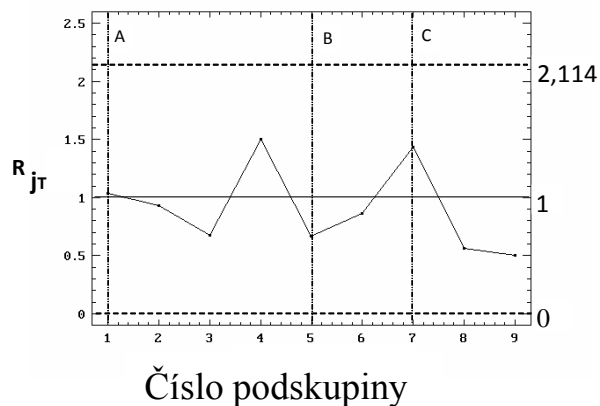
# METODY SDRUŽOVÁNÍ DAT - NEJČASTĚJŠÍ TRANSFORMACE ([1])

Technika transformace	Předpoklady
<p>(Skutečná hodnota – cílová hodnota T) / Směrodatná odchylka procesu daného produktu</p> <p>(Skutečná hodnota – cílová hodnota T) / Rozpětí procesu daného produktu</p>	<p>Konstantní rozsah podskupiny Lze stanovit cílovou hodnotu T a směrodatnou odchylku procesu</p>

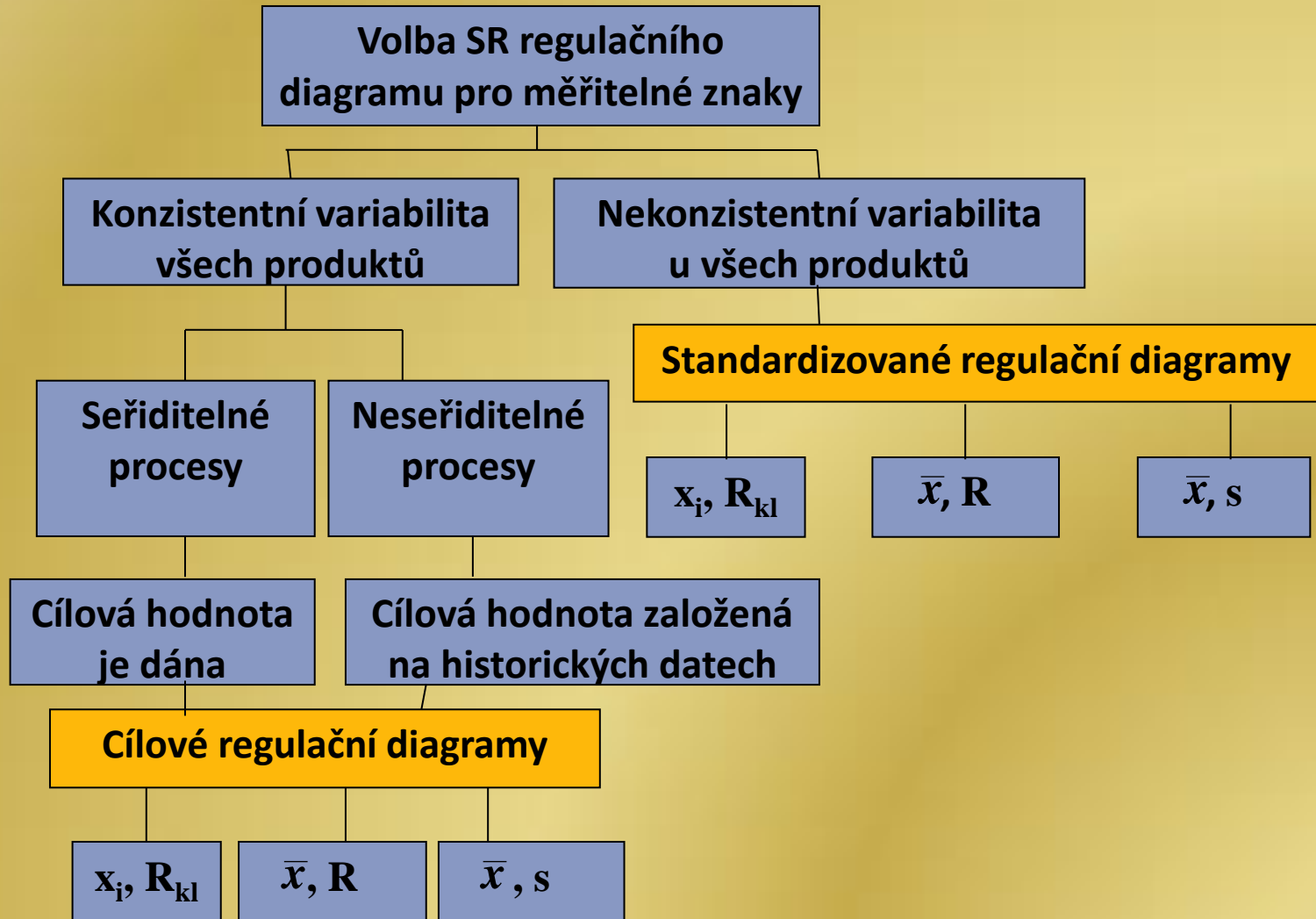


# SHORT RUN REGULAČNÍ DIAGRAMY

Tento přístup je založen na vybrané transformaci dat, která umožní vést pro všechny produkty ve vhodně zvolené skupině jeden regulační diagram (jednu dvojici regulačních diagramů)



# SHORT RUN REGULAČNÍ DIAGRAMY [8]



# CÍLOVÝ REGULAČNÍ DIAGRAM

$$x_{ijT} = x_{ijz} - T_z$$

$x_{ijz}$  - i-té měření v j-té podskupině pro produkt z

$T_z$  - cílová hodnota pro produkt z

## Předpoklad:

- Konzistentní variabilita u všech uvažovaných produktů.
- Normální rozdělení.



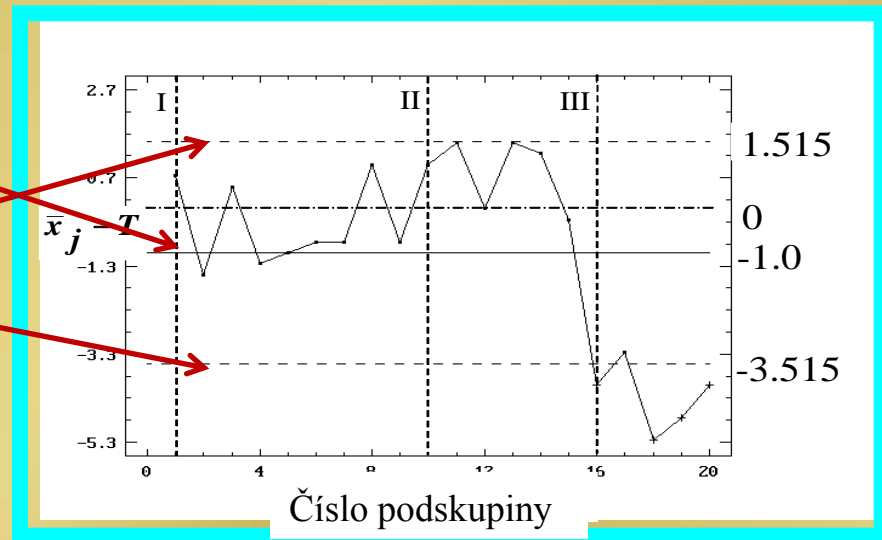
# CÍLOVÝ REGULAČNÍ DIAGRAM

Cílový regulační diagram pro výběrové průměry ( $\bar{x}$ )

$$CL_T = \bar{x}_T = \frac{\sum_{j=1}^k (\bar{x}_{jz} - T_z)}{k}$$

$$LCL_T = \bar{x}_T - A_2 \cdot \bar{R}$$

$$UCL_T = \bar{x}_T + A_2 \cdot \bar{R}$$



# CÍLOVÝ REGULAČNÍ DIAGRAM

## Stanovení cílové hodnoty:

- **jmenovitá hodnota( u symetrických oboustranných mezních hodnot se jedná o střed tolerančního pole);**
- **hodnota dostatečně vzdálená od horní, resp. dolní mezní hodnoty (při jednostranných mezních hodnotách);**
- **hodnota definovaná zkušenými pracovníky, daná výrobními či jinými omezeními (hodnota lišící se od středu tolerančního pole);**
- **průměr vypočtený z historických dat.**





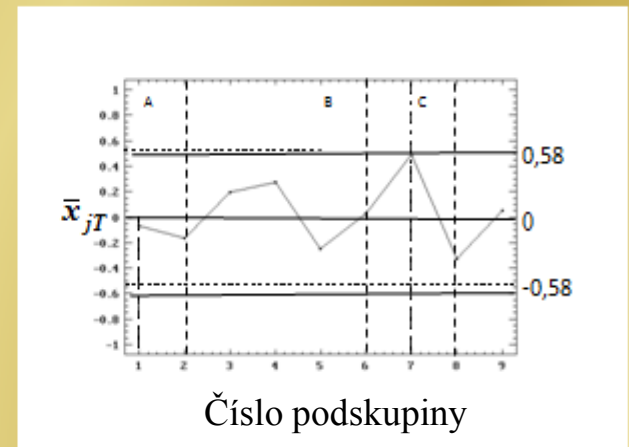
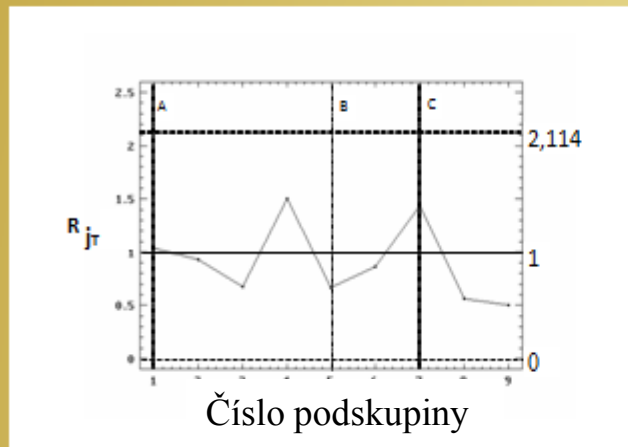
# CÍLOVÝ REGULAČNÍ DIAGRAM

## Stanovení cílové hodnoty [8]

Odvození od specifikací	Odvození z historických dat
Proces je seřiditelný	Proces není snadno seřiditelný (tažení, lití, kování, vrtání,...)
Požadovaná cílová hodnota existuje	Jednostranná tolerance, kde „high“ je nejlepší
Tolerance jsou oboustranné	Jednostranná tolerance, kde „low“ je nejlepší
Při jednostranné toleranci, byla –li požadovaná cílová hodnota stanovena	U produktů, kde není stanovena jmenovitá hodnota (geometrické tolerance, povrchová úprava..)



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY



## Výhody

- jeden pár regulačních diagramů pro různé produkty;
- fixní regulační meze, jestliže se rozsah podskupiny nemění;
- zaznamenávaná hodnota je bezrozměrná;
- regulační meze stanovené bez dat.

## Nevýhody

- často založeno na odhadech parametrů z historických dat.
- Proto se vyžaduje častá aktualizace odhadů parametrů.
- předpoklad normálního rozdělení.



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

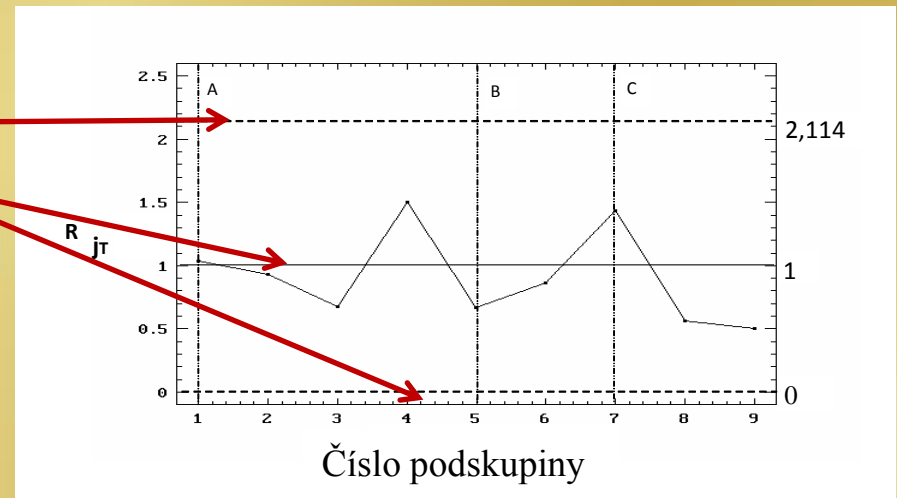
Standardizované regulační diagramy pro průměr a rozpětí

Diagram R:  $R_{jT} = \frac{R_{jz}}{\bar{R}_z}$

- $R_{jz}$  je výběrové rozpětí v j-té podskupině u produktu z;
- $\bar{R}_z$  je cílová hodnota rozpětí u produktu z.

Platí:

$UCL = D_4$      $CL = 1$ ,     $LCL = D_3$  .



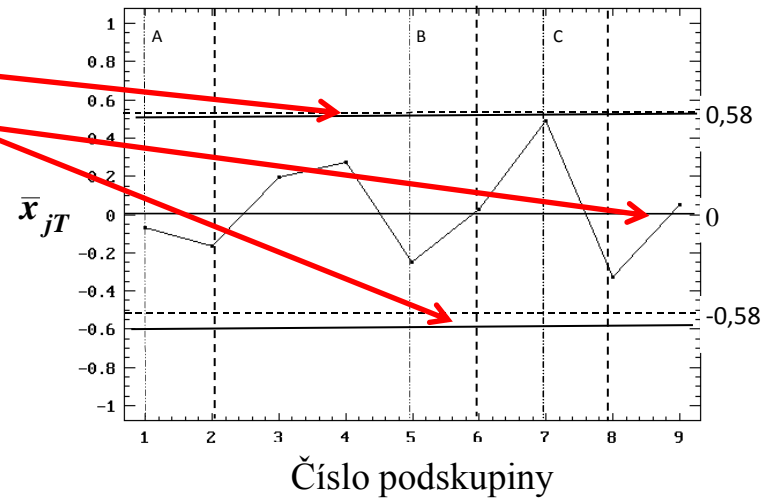
# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

## Standardizované regulační diagramy $\bar{x}$ a R

Diagram  $\bar{x}$  :  $\bar{x}_{jT} = \frac{\bar{x}_{jz} - T_z}{R_z}$ ,

- $\bar{x}_{jz}$  je výběrový průměr v j-té podskupině u produktu z;
- $T_z$  je cílová hodnota u produktu z.

~~LCL = -A<sub>2</sub>, CL = 0, UCL = A<sub>2</sub>~~



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

## Stanovení cílových hodnot

1. Stanovení z regulačních diagramů (R) a ( $\bar{x}$ ) pro jednotlivé produkty.
2. Využití informací ze záznamů o kontrole.
3. Stanovení podle podobných znaků jakosti, produktů či parametrů procesu.
4. Využití tolerančních mezí, resp. jmenovité hodnoty.
5. Stanovení na základě odhadu kompetentního zkušeného pracovníka.



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

## Stanovení cílových hodnot $\bar{R}_z$

ad 2)

$$\bar{R}_z = \left( \frac{d_2}{C_4} \right) \cdot s_z,$$

kde

$s_z$  je výběrová směrodatná odchylka stanovená z hodnot měření sledovaného znaku jakosti pro z-tý produkt obsažených v kontrolních záznamech charakterizujících normální výrobní podmínky za určité minulé období,

$C_4$  je součinitel stanovený pro počet měření v kontrolních záznamech použitých k odhadu směrodatné odchylky  $s_z$  (viz ČSN ISO 8258),

$d_2$  je součinitel, jehož hodnota má odpovídat předpokládanému rozsahu výběru  $n$ , který bude použit při aplikaci standardního diagramu (viz ČSN ISO 8258).



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

Stanovení cílových hodnot  $\bar{x}_z$

ad 2)

**Průměr hodnot měření sledovaného znaku jakosti u z-tého produktu za určité minulé období, které jsou obsaženy v kontrolních záznamech charakterizujících normální výrobní podmínky .**



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

Stanovení cílových hodnot  $\bar{R}_z$

ad 4)

Pomocí vztahů využívajících tolerančních mezí SL (USL - horní toleranční mez a LSL - dolní toleranční mez) pro z-tý produkt.

Při oboustranných mezních hodnotách :

$$\bar{R}_z = \frac{d_2}{6} (USL - LSL)$$

Při jednostranné mezní hodnotě

$$\bar{R}_z = \frac{d_2}{3} |SL - \bar{x}_z|$$





# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

Stanovení cílových hodnot  $\bar{x}_z$

ad 4)

- použití jmenovité hodnoty pro z-tý produkt.

**Postup 4 se doporučuje použít pouze výjimečně a dočasně.**

**S postupným získáváním dat by měly být odhady cílových hodnot a stanoveny nově bez vazby na mezní hodnoty.**



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

při SPC srovnáváním

**Pro podíl neshodných jednotek**

Zaznamenaná hodnota  $z_i = \frac{p_i - \bar{p}}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$

Regulační meze  $UCL = 3$

$$CL = 0$$

$$LCL = -3$$



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

při SPC srovnáváním

**Pro počet neshodných jednotek**

Zaznamenaná hodnota  $z_i = \frac{np_i - n\bar{p}}{\sqrt{np(1-p)}}$

Regulační meze  $UCL = 3$

$$CL = 0$$

$$LCL = -3$$



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

při SPC srovnáváním

**Pro počet neshod**

Zaznamenávaná hodnota  $z_i = \frac{c_i - \bar{c}}{\sqrt{\bar{c}}}$

Regulační meze  $UCL = 3$

$$CL = 0$$

$$LCL = -3$$



# STANDARDIZOVANÉ REGULAČNÍ DIAGRAMY

při SPC srovnáváním

Pro počet neshod na jednotku v podskupině

Zaznamenaná hodnota  $z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}}$

Regulační meze  $UCL = 3$

$$CL = 0$$

$$LCL = -3$$



# Ověřování homogenity rozptylu

Test	Výhody	Nevýhody
<b>Diagram pro průměrná rozpětí</b>	<b>grafické zobrazení všech hodnocených produktů; jasná a rychlá odpověď; snadno programovatelné</b>	<b>rozpětí je méně přesná míra kolísání</b>
<b>Bartlettův test</b>	<b>vhodný pro for <math>k</math> výběrů; silný test</b>	<b>náročnější na realizaci; citlivý na odchylky od normality</b>
<b>Leveneho test</b>	<b>vhodný pro for <math>k</math> výběrů; robustnější test</b>	<b>složitější metoda; méně silný</b>
<b>Brown-Forsythův test</b>	<b>vhodný pro for <math>k</math> výběrů; robustnější test</b>	<b>není standardní součástí každého SW statistického programu</b>
<b>Cochranův test</b>	<b>vhodný pro for <math>k</math> výběrů jednodušší</b>	<b>vhodný pro výběry stejné velikosti; citlivý na odchylky od normality; není standardní součástí každého SW statistického programu</b>
<b>Hartleyův test</b>	<b>jednodušší metoda; vhodný pro for <math>k</math> výběrů</b>	<b>méně silný; citlivý na odchylky od normality; není standardní součástí každého SW statistického programu; vhodný pro výběry stejné velikosti</b>

# Ověřování homogenity rozptylu

Příklad ([21])

Diagram pro průměrná rozpětí ([21])

$$z = 2$$

$$k = 12$$

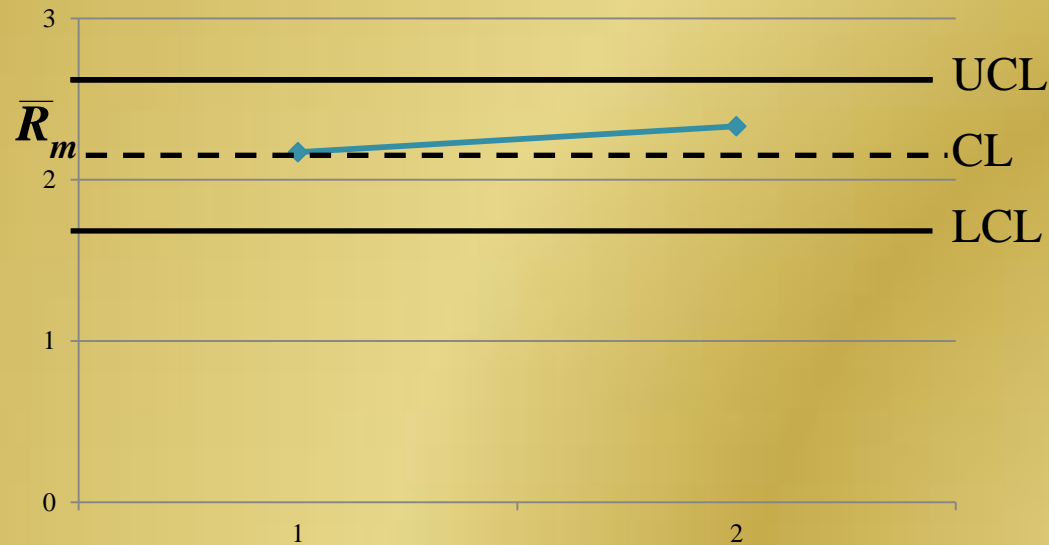
$$n = 4$$

$$\bar{R}_1 = 2.17, \bar{R}_2 = 2.33$$

$$CL = \bar{\bar{R}} = 2.25,$$

$$UCL = 2.25 + \frac{1.82(0.8798)2.25}{2.059\sqrt{12}} = 2.75,$$

$$LCL = 2.25 - \frac{1.82(0.8798)2.25}{2.059\sqrt{12}} = 1.74.$$



# ŘEŠENÍ NEKONZISTENTNÍ VARIABILITY

- **Standardizované Short Run regulační diagramy**
  - všechny produkty 1 diagram
- **Vytvoření relativně homogenních skupin produktů**
  - počet diagramů = počet skupin produktů





# ŘEŠENÍ NEKONZISTENTNÍ VARIABILITY

## Tvorba konzistentních skupin produktů (Product Families)

**Cíl: identifikovat co nejhomogennější skupiny produktů pro efektivní aplikaci „data pooling“**

- **Využití logiky skupinové technologie a kódování ([23])**
- **Aplikace ANOVA ([6])**
- **Regulační diagramy pro rozptyly ([12])**



# ŘEŠENÍ NEKONZISTENTNÍ VARIABILITY

## Koonsův a Lunerův přístup [12]

- Malé dávky ze stejného procesu (počet  $k$ ) jsou chápány jako náhodné výběry z obecného základního souboru se stejným průměrem a rozptylem.
- Pro každou dávku se vypočte výběrový rozptyl  $S^2$ .
- Zkonstruuje se regulační diagram pro rozptyly.

$$CL = \bar{S}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k S_j^2}{k}$$

$$UCL = \chi^2_{(\alpha/2, n-1)} \bar{S}^2 (n-1)$$

$$LCL = \chi^2_{(1-\alpha/2, n-1)} \bar{S}^2 (n-1)$$

### Rozhodnutí

- Jsou-li všechny hodnoty  $S^2_j$  mezi mezemi – lze pokládat variabilitu procesu za konzistentní.
- Je-li některá hodnota  $S^2_j$  mimo mez, nepatří daná  $j$ -tá dávka do rodiny.



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY

**Umožní monitorování a regulaci procesu v situaci,**

- kdy data potřebná pro odhad parametrů procesu a regulačních mezí nejsou před zahájením výroby dávky k dispozici;**
- aktualizují odhady parametrů procesu s každým novým měřením.**

# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY

## 1. Metody založené na úpravě regulačních mezí

s cílem zachování požadované hodnota rizika zbytečného signálu

- Hillierova metoda ( $\bar{x}$ , R) ([11])
- Elamova metoda (zdokonalení metody a rozšíření na  $(\bar{x}, s)$  a  $(x_j, R_{kl})$ ) ([5])

## 2. Metody založené na standardizaci či kombinaci 1. a 2. přístupu

- aktualizace odhadů parametrů procesu s každým novým měřením.

- Q diagram ([16])
- Self starting Cusum, Self starting MEWMA ([9])



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY-Hillierova metoda

Dvoufázová metoda (přesná metoda) - Regulační diagramy pro průměr a rozpětí

- Stanovení spolehlivých regulačních mezí založených na malém počtu podskupin a  $n = 5$

I. fáze :

1. Volba počtu počátečních podskupin  $m$  a rizik  $\alpha_2$  (resp.  $\alpha_3$  či  $\alpha_4$ )

1. Stanovení regulačních mezí pro retrospektivní testování, zda byl proces statisticky stabilní, když byly odebrány počáteční podskupiny (převodové součinitele –viz [11])

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 ** \bar{R}$$

$$LCL = D_3 ** \bar{R}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 ** \bar{R}$$

$$UCL = D_4 ** \bar{R}$$

1. Je-li nějaká hodnota mimo regulační meze, podskupina se ( po stanoven příčiny a přijetí nápravného opatření) vypustí.
2. provede se přepočítání CL i UCL a LCL v obou diagramech. Použijí se hodnoty převodových součinitelů (viz [11]) pro aktuální počet podskupin.
3. Pokud indikovaný posun nebyl pouze dočasný, je nutné provést nový sběr dat , konstrukci analýzy regulačních diagramů a celou proceduru zopakovat.
4. Pokud všechny body po 1. kroku ležely uvnitř regulačních mezí, přejde se k fázi 2.



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY-Hillierova metoda

Tabulky hodnot  $A_2^{**}$ ,  $D_3^{**}$ ,  $A_2^{**}$  [11]

m	$\alpha_2$ (resp. $\alpha_3$ či $\alpha_4$ ) (riziko zbytečného signálu)				
	0.001	0,0027	0.01	0.025	0.05
2					
...					
100					
$\infty$					

# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY-Hillierova metoda

**Fáze 2:** Cíl: ověřovat, zda proces stále zůstává i v budoucnu statisticky stabilní.

- Volba rizik  $\alpha_2$  (resp.  $\alpha_3$  či  $\alpha_4$ );
- Převzetí hodnot CL z fáze 1.
- Převzetí počtu podskupin z 1. fáze (bez případných vypuštěných podskupin)
- Stanovení regulačních mezí, sestavení a analýza regulačních diagramů pro průměr a rozpětí (převodové součinitel – viz [11])

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 * \bar{R}$$

$$LCL = D_3 * \bar{R}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 * \bar{R}$$

$$UCE^{\bar{x}} = D_4 * \bar{R}$$

- Provádění sběru dat a záznamu hodnot použité výběrové charakteristiky do regulačního diagramu.
- Je-li nějaký bod mimo regulační meze, provede se analýza příčin a je zrealizováno nápravné opatření.
- Pokud proces nelze vrátit do předchozího stavu, je nutné vrátit se na začátek fáze 1 a celý postup zopakovat.

Doporučení: přepočítání mezí po 10, 25 a 100 podskupině (in-control).



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY-Hillierova metoda

Tabulky hodnot  $A_2^*$ ,  $D_3^*$ ,  $A_2^*$  [11]

m	$\alpha_2$ (resp. $\alpha_3$ či $\alpha_4$ ) (riziko zbytečného signálu)				
	0.001	0,0027	0.01	0.025	0.05
2					
...					
100					
$\infty$					





# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY-Hillierova metoda

## Příklad [11]

Č.p.	$\bar{x}$	R	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{R}$	m	$A_2^{**}$	$A_2^*$	$D_3^{**}$	$D_3^*$	$D_4^{**}$	$D_4^*$	Diagram : $\bar{x}$		Diagram R	
												LCL	UCL	LCL	UCL
1	505.6	17													
2	501.2	9													
3	508.0	14													
4	507.6	37													
5	504.4	12	505.36	17.8	5	0.588		0.182		1.96		494.9	515.8	3.2	34.9
			504.80	13.0	4	0.580		0.189		1.92		497.1	512.5	2.5	25.0
					4		0.760		0.151		2.57	494.9	514.7	2.0	32.6
6	504,8	19										494.9	514.7	2.0	32.6
7	503.6	11										494.9	514.7	2.0	32.6
8	493.2	29										494.9	514.7	2.0	32.6
9	509.0	15										494.9	514.7	2.0	32.6
10	500.2	8										494.9	514.7	2.0	32.6
11	504.6	21										494.9	514.7	2.0	32.6
12	501.8	16	504.32	14.2	10				0.155		2.27	495.2	513.5	2.2	32.2



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY-Hillierova metoda

## Výhody

- Schopnost odhadnout parametry procesu z malého počtu podskupin.
- Garance požadované hodnoty rizika zbytečného signálu pro jakýkoliv počet podskupin  $m$ .
- Metodický postup známý z aplikace klasických Shewhartových diagramů.

## Nevýhody

- Slabá schopnost detekovat včas posuny střední hodnoty (zejména při malých počtech podskupin  $m$ ).
- Nevhodné pro výrobní mix (každý produkt by musel mít své regulační diagramy).
- Neřeší otázku nadměrného počtu regulačních diagramů.
- Omezeno na rozsah podskupiny  $n = 5$ .
- Omezeno na regulační diagram pro průměry a rozpětí.



## 1. Modifikace dvoufázové Hillierovy metody ([5])

- Rozšíření na

- diagramy  $(\bar{x}, s)$  a  $(x_j, R_{kl})$

- bez ohledu na

- počet podskupin  $m$ ,
- rozsah podskupiny  $n$
- hodnotu rizika zbytečného signálu.

## 2. Aplikace algoritmu na Short Run cílové, příp.

standardizované diagramy



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY – Q DIAGRAM [16]

**Spojení standardizace a požadavku na zachování požadované hodnoty rizika zbytečného signálu.**

## **Principy metody**

- Provádí se standardizace vybraného znaku kvality.**
- Standardizovaná statistika má normované normální rozdělení při statisticky stabilním procesu.**
- V jednom diagramu lze vést různé produkty.**
- Lze zahájit monitorování a regulaci procesu bez historických dat.**
- Provádí se aktualizace odhadů parametrů procesu ( i regulačních mezí) na základě postupně získávaných dat.**
- Na statistiku Q se aplikuje klasický Shewhartův regulační diagram.**



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY – Q DIAGRAM [16]

$\mu_0$	$\sigma_0$	Q diagram pro monitorování polohy procesu
Known	Known	$Q_r = \frac{X_r - \mu_0}{\sigma_0} \quad r \geq 1$
Unknown	Known	$Q_r = \frac{a_r(X_r - \bar{X}_{r-1})}{\sigma_0} \quad r \geq 2$
Known	Unknown	$Q_r = \Phi^{-1} \left[ G_{r-1} \left( \frac{X_r - \mu_0}{S_{0,r-1}} \right) \right] \quad r \geq 2$ Stranný diagram
Unknown	Unknown	$Q_r = \Phi^{-1} \left[ G_{r-2} \left( \frac{a_r(X_r - \bar{X}_{r-1})}{S_{r-1}} \right) \right] \quad r \geq 3$ Stranný diagram

$$\bar{X}_r = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r X_j$$

$$S^2_{0,r} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r (X_j - \mu_0)^2$$

$$S^2_r = \frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (X_j - \bar{X}_r)^2$$

$$a_r = \sqrt{(r-1)/r}$$

$X_1, X_2, \dots, X_r \dots$  ..... měření zjištěná na po sobě vyráběných jednotkách produktu;

$\Phi^{-1}(\cdot)$  ..... kvantilová funkce normovaného normálního rozdělení;

$G_m(\cdot)$ ..... distribuční funkce Studentova t-rozdělení s m stupni volnosti;

# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY – Q DIAGRAM

## Výhody

- Fixní regulační meze  $-3$  a  $+3$ .
- Tyto meze zajišťují riziko zbytečného signálu  $0.0027$ .
- Statistiky mají normované normálním rozdělení, je-li proces statisticky stabilní.

## Nevýhody

- Slabá schopnost detekovat posun střední hodnoty, obzvláště, když posun nastane brzy po zahájení procesu.
- Není vhodný pro fázi schvalování nastavení procesu.



# SAMOSPOUŠTĚCÍ POSTUPY – Q DIAGRAM

$\mu_0$	$\sigma_0$	Q diagram pro monitorování polohy procesu
Known	Known	$Q_r = \frac{X_r - \mu_0}{\sigma_0} \quad r \geq 1$
Unknown	Known	$Q_r = \frac{a_r(X_r - \bar{X}_{r-1})}{\sigma_0} \quad r \geq 2$
Known	Unknown	$Q_r = \Phi^{-1} \left[ G_{r-1} \left( \frac{X_r - \mu_0}{S_{0,r-1}} \right) \right] \quad r \geq 2$ Stranný diagram
Unknown	Unknown	$Q_r = \Phi^{-1} \left[ G_{r-2} \left( \frac{a_r(X_r - \bar{X}_{r-1})}{S_{r-1}} \right) \right] \quad r \geq 3$ Stranný diagram

$$\bar{X}_r = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r X_j$$

$$S^2_{0,r} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r (X_j - \mu_0)^2$$

$$S^2_r = \frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (X_j - \bar{X}_r)^2$$

$$a_r = \sqrt{(r-1)/r}$$

$X_1, X_2, \dots, X_r \dots$  ..... měření zjištěná na po sobě vyráběných jednotkách produktu;

$\Phi^{-1}(\cdot)$  ..... kvantilová funkce normovaného normálního rozdělení;

$G_m(\cdot)$ .....distribuční funkce Studentova t-rozdělení s m stupni volnosti;

**Je-li ARL(1) větší než požadovaná hodnota ARL(0) - regulační diagram je stranný.**

## Zdokonalení Q statistiky:

- Aplikace CUSUM nebo EWMA na Q statistiky.
- Aplikace vybraných nenáhodných seskupení.
- Modifikace Q charakteristiky tak, aby posun střední hodnoty procesu neovlivnil odhady rozptylu -  $Q_I$  diagram ([10]).





# REGULACE VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

- **Stanovení klíčových parametrů procesu, které ovlivňují stabilitu výstupu (znaků kvality produktu)**
- **Statistická analýza závislostí**
- **Regulace vybraných klíčových parametrů procesu – regulace procesu, nikoliv produktů**



# MODIFIKOVANÉ INDEXY ZPŮSOBILOSTI

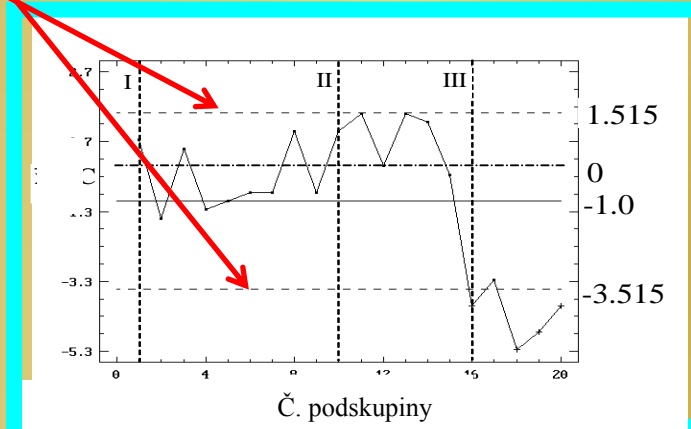
Typ	Základní charakteristika
A	Indexy způsobilosti $C_p$ , $C_{pk}$ pro procesy s konzistentní variabilitou u všech produktů; indexy počítány z transformovaných dat [8]
B	Indexy způsobilosti $C_p$ , $C_{pk}$ pro procesy s konzistentní variabilitou u všech produktů; indexy počítány z původních dat [22]
C	Indexy způsobilosti $C_p$ , $C_{pk}$ pro procesy s nekonzistentní variabilitou u všech produktů [22]
D	Indexy způsobilosti $C_p$ , $C_{pk}$ založené na unifikaci různých tolerancí [4]



# INDEX ZPŮSOBILOSTI $C_p$ – TYP A

$$\hat{C}_{pz} = \frac{USL_{Tz} - LSL_{Tz}}{\sqrt{n}(UCL_T - LCL_T)},$$

- $USL_{Tz}$  and  $LSL_{Tz}$  .....jsou transformované toleranční meze pro produkt z;
- $UCL_T$  and  $LCL_T$  .....jsou regulační meze cílového regulačního diagramu;
- $n$ .....je rozsah podskupiny.




# INDEX ZPŮSOBILOSTI $C_p$ – TYP B

$$\hat{C}_{pz} = \frac{USL_z - LSL_z}{6\hat{\sigma}}$$

$USL_z$  and  $LSL_z$  ...jsou tolerance pro produkt  $z$ ;

$\hat{\sigma}$  .....je odhad směrodatné odchylny společný pro všechny produkty;

	Control charts
$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}_{kl}}{d_2}$	Cílový regulační diagram pro individuální hodnoty $x_j$ + regulační diagram pro klouzavá rozpětí $R_{kl}$
$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$	Cílový regulační diagram pro průměry $\bar{x}_j$ + regulační diagram pro rozpětí $R$
$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_4}$	Cílový regulační diagram pro průměry $\bar{x}_j$ + regulační diagram pro směrodatnou odchylnu $s$



# INDEX ZPŮSOBILOSTI $C_p$ – TYP C

$$\hat{C}_{pz} = \frac{USL_z - LSL_z}{6\hat{\sigma}_z}$$

$USL_z$  and  $LSL_z$  ...jsoutolerance pro produkt  $z$ ;

$\hat{\sigma}_z$  .....je odhad směrodatné odchylky pro produkt  $z$

$\hat{\sigma}_z$	Regulační diagramy
$\hat{\sigma}_z = \frac{\bar{R}_{klz}}{d_2}$	Cílový regulační diagram pro individuální hodnoty $x_j$ + regulační diagram pro klouzavá rozpětí $R_{kl}$ pro každý produkt $z$
$\hat{\sigma}_z = \frac{\bar{R}_z}{d_2}$	Cílový regulační diagram pro průměry + regulační diagram pro rozpětí $R$ pro každý produkt $z$
$\hat{\sigma}_z = \frac{\bar{s}_z}{C_4}$	Cílový regulační diagram pro průměry + regulační diagram pro směrodatnou odchylku $s$ pro každý produkt $z$

# INDEX ZPŮSOBILOSTI $C_p$ – TYP D

**Princip: společné unifikované toleranční meze pro všechny uvažované produkty a společný index způsobilosti  $C_p$**

$$\hat{C}_p = \frac{USL_T - LSL_T}{6 \cdot s_T}$$

$$USL_T = \frac{USL_z - LSL_z}{USL_z - LSL_z} = 1 \quad LSL_T = \frac{LSL_z - LSL_z}{USL_z - LSL_z} = 0$$

**Výpočet výběrové směrodatné odchylky  $s_T$  z transformovaných hodnot  $y_{iz}$  :**

$$y_{iz} = \frac{x_{iz} - LSL_z}{USL_z - LSL_z}$$



# HODNOCENÍ INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI

Typ indexu	Výhody	Nevýhody
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Přímá vazba na cílový regulační diagram pro průměry (použití hodnot UCL a LCL).</li> <li>- Možnost výpočtu indexů pro všechny produkty nebo pro produkt s nejužšími tolerančními mezemi nebo pro vybraný produkt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potřeba verifikovat předpoklad o konzistentnosti variability u všech produktů.</li> <li>- USL, LSL musí být transformovány.</li> <li>- Potřeba co nejpřesněji stanovit cílovou hodnotu <math>T_z</math>.</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- USL, LSL není třeba transformovat.</li> <li>- Využití informace u regulačního diagramu pro rozpětí nebo směrodatnou odchylku (CL).</li> <li>- Možnost výpočtu indexů pro všechny produkty nebo pro produkt s nejužšími tolerančními mezemi nebo pro vybraný produkt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Není přímá vazba na cílový regulační diagram.</li> <li>- Potřeba nalézt hodnoty koeficientů <math>d_2</math> nebo <math>C_4</math>.</li> <li>- Potřeba verifikovat předpoklad o konzistentnosti variability u všech produktů.</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vhodné pro procesy s nekonzistentní variabilitou.</li> <li>- Výpočet z původních dat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potřeba počítat indexy pro každý produkt.</li> <li>- Potřeba stanovit odhad <math>\hat{\sigma}_z</math> pro každý produkt.</li> </ul>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jeden společný pár tolerančních mezí.</li> <li>- Jeden společný index <math>C_p</math>, resp. <math>C_{pk}</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potřeba doplnit o nástroj analýzy příspěvku jednotlivých produktů k celkové míře způsobilosti.</li> </ul>

## Proces není statisticky stabilní

$$\hat{P}_p(z) = \frac{USL(z) - LSL(z)}{6\hat{\sigma}_{TOT}} \quad \hat{P}_{pk}(z) = \min\left(\frac{USL(z) - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}_{TOT}}, \frac{\hat{\mu} - LSL(z)}{3\hat{\sigma}_{TOT}}\right)$$

$\sigma_{TOT}$ ..je celková směrodatná odchylka procesu, odhadnutá pomocí výběrové směrodatné odchylky počítané ze všech měření (nebo všech odchylek od cílové hodnoty).

## Data nepocházejí z normálního rozdělení

$$\hat{P}_p(z) = \frac{USL(z) - LSL(z)}{x_{0,99865} - x_{0,00135}} \quad \hat{P}_{pk}(z) = \min\left(\frac{USL(z) - Me}{x_{0,99865} - Me}, \frac{Me - LSL(z)}{Me - x_{0,00135}}\right)$$

Percentily ve jmenovateli – odpovídají vhodně zvolnému rozdělení náhodné proměnné (např. lognormalnímu nebo Weibullovu) nebo je použita Johnsonova transformace





# SPIRINGOVA METODIKA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SR PROCESŮ [19]

- Zobecněný index způsobilosti - nepředpokládá, že cílová hodnota je na středu tolerančního pole.
- Velikost podskupiny  $n \geq 2$ , rozdělení jsou normální s různými středními hodnotami a směrodatnými odchylkami, požadavky zákazníka jsou známé.
- Spokojenost zákazníka roste, když má proces větší schopnost být blíže cílové hodnotě.
- Vyšší hodnoty indexu ukazují na vyšší spokojenost zákazníka a nižší hodnoty indexu detekují nižší spokojenost zákazníka.

$$\hat{C}_{pm_i} = \frac{\min[USL_i - T_i; T_i - LSL_i]}{3 \sqrt{S_i^2 + \frac{n_i(\bar{x}_i - T_i)^2}{(n_i - 1)}}} \quad (1)$$

$$\hat{C}_{pm_i} = \frac{\min[USL_i - T_i; T_i - LSL_i]}{3 \sqrt{\left(\frac{R_i}{d_2}\right)^2 + \frac{n_i(\bar{x}_i - T_i)^2}{(n_i - 1)}}} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, k$  počet dávek

$$\overline{C_{pm}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \hat{C}_{pm_i}}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

$$UL_i = I3 \overline{C_{pm}} \text{ pro (1)}$$

$$LL_i = I2 \overline{C_{pm}} \text{ pro (1)}$$

$$UL_i = J3 \overline{C_{pm}} \text{ pro (2)}$$

$$LL_i = J2 \overline{C_{pm}} \text{ pro (2)}$$

Tabulky pro  $n = 3(1)10$  a  $\lambda = 0(5)85$  – viz [19]

Parametr necentrality Chí-  
kvadrát rozdělení

$$\hat{\lambda}_t = n_i \left( \frac{\bar{x}_i - T_i}{s_i} \right)^2$$

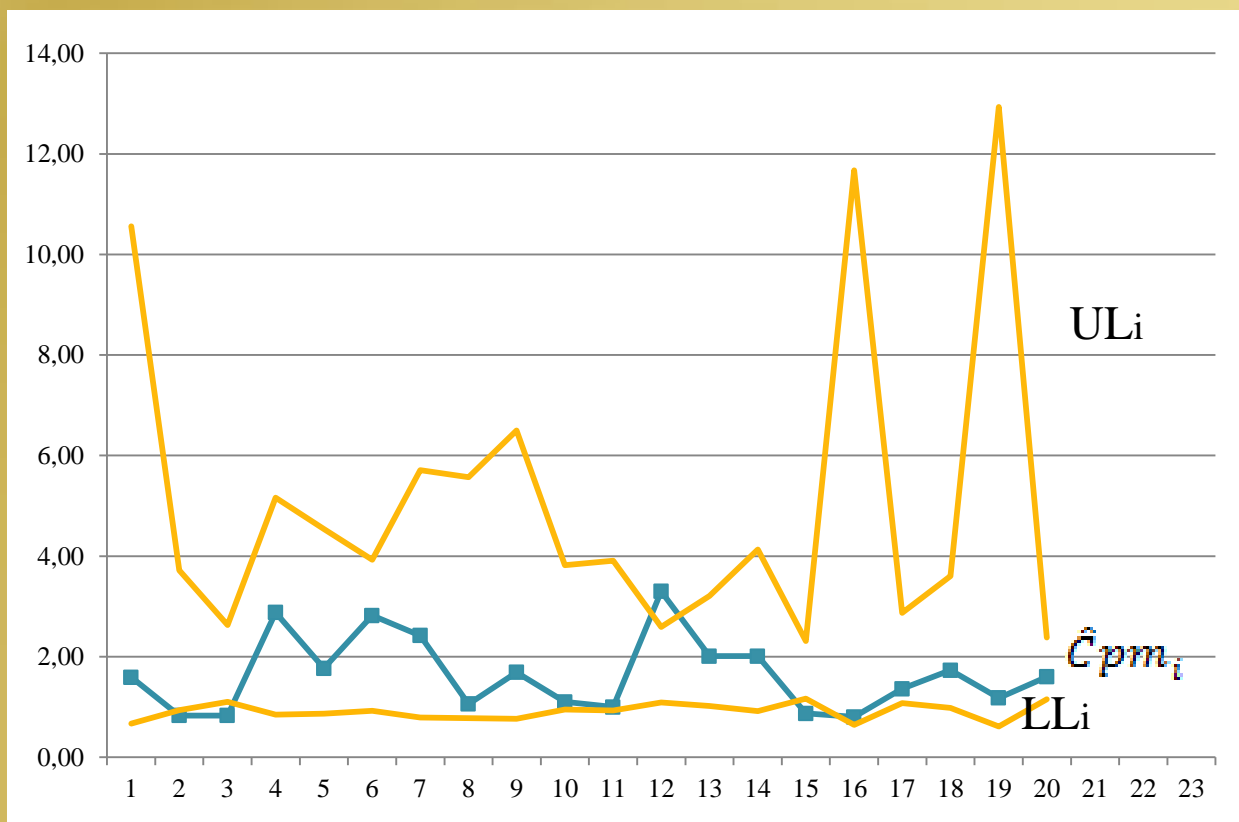


# SPIRINGOVA METODIKA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SR PROCESŮ [19]

<b>Dávka</b>										
<b>1</b>	<b>3,02</b>	<b>3.26</b>	<b>3.14</b>							
<b>2</b>	<b>.....</b>									
<b>.....</b>										
<b>20</b>	<b>20.82</b>	<b>20.79</b>	<b>20.71</b>	<b>20.94</b>	<b>20.72</b>	<b>20.77</b>	<b>20.83</b>	<b>20.86</b>		



# SPIRINGOVA METODIKA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SR PROCESŮ [19]



# PRAKTICKÁ APLIKACE [14]

**Definice procesu:** válcování tyčových profilů

**Definice výrokové skupiny:** za tepla válcovaná tyč průřezu rovnoramenného L;

3 výrobky stejného typu lišící se rozměry:

$20 \pm 1$  mm,  $30 \pm 1$  mm,  $40 \pm 1$  mm.



# PRAKTICKÁ APLIKACE

**Kontrola konzistentnosti variability (homogenity rozptylu)**



Test	P-hodnota (rozptyly uvnitř jednotlivých produktů)			P-hodnota (rozptyly 3 produktů)
	1	2	3	
<b>Bartlettův</b>	0.9933	0.9953	0.9978	0.6205
<b>Leveneho</b>	0.6812	0.8299	0.7783	0.6400
<b>O'Brienův</b>	0.9201	0.9676	0.9531	0.6449
<b>Brown-Forsythův</b>	0.9475	0.9931	0.9880	0.7084
<b>Cochranův</b>	1.0000	1.0000	1.0000	0.4780

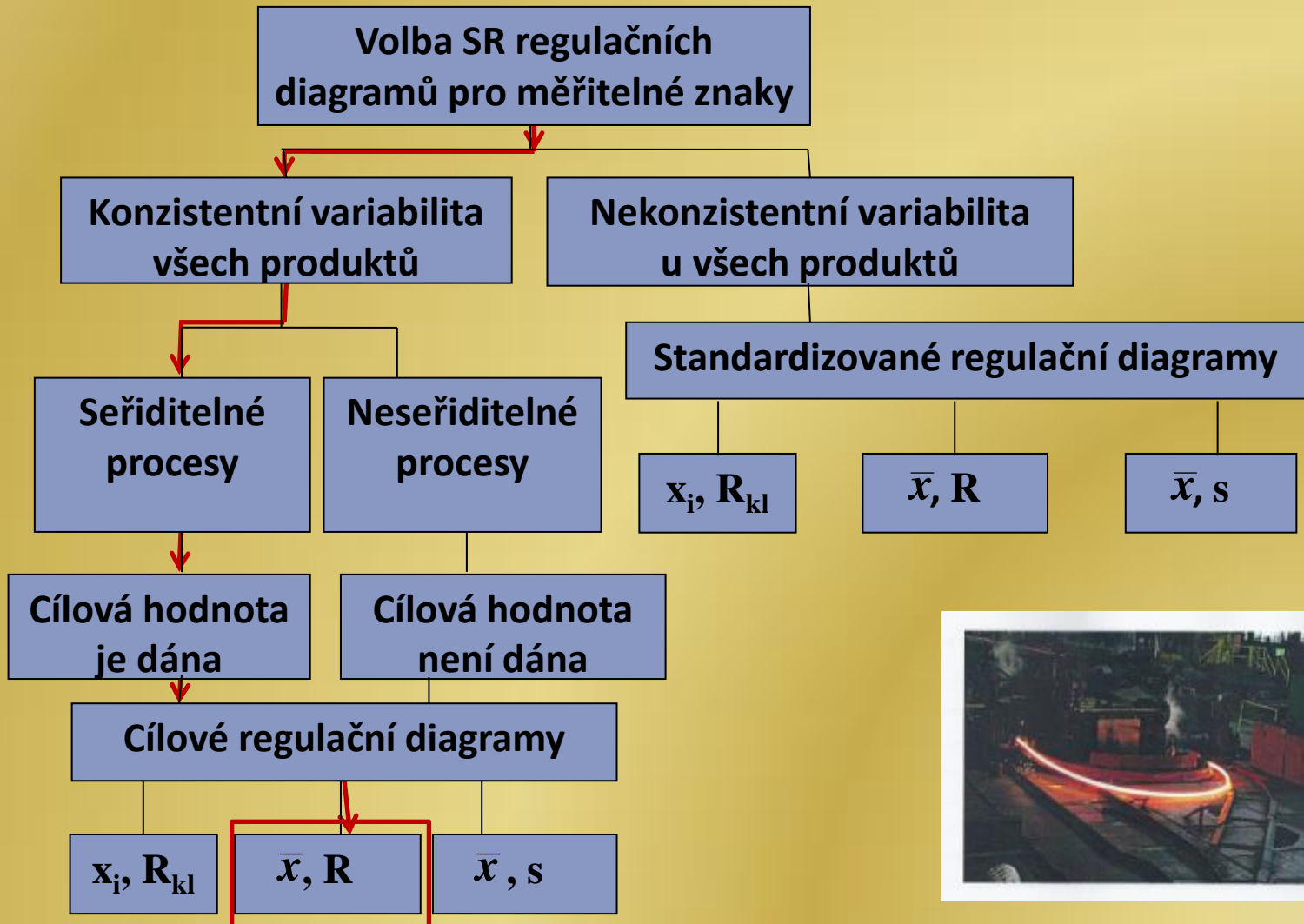
**P-hodnoty větší než 0.05:**

**Předpoklad homogenity rozptylů nebyl zamítnut žádným testem.**

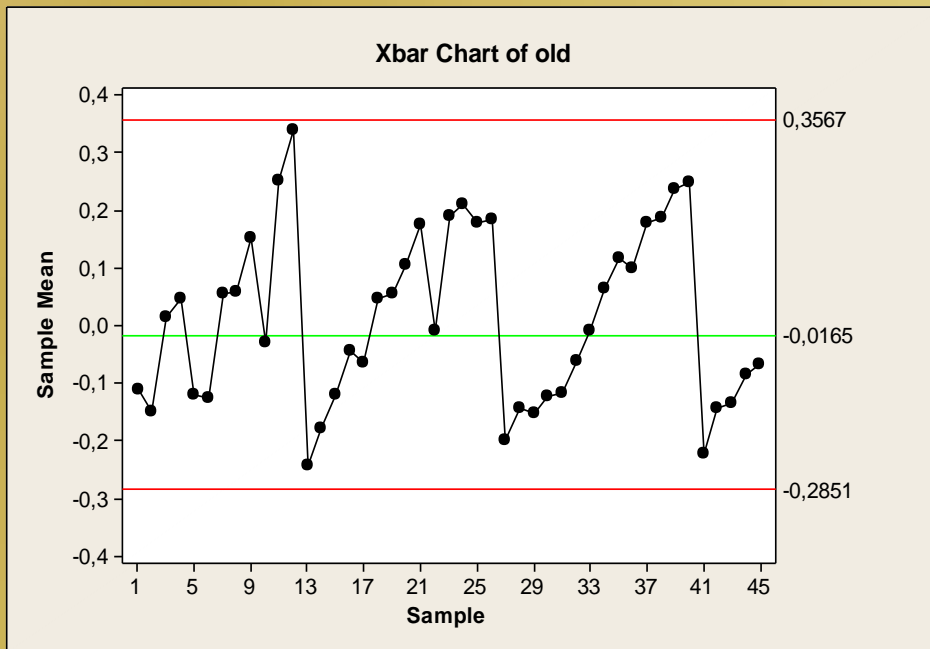


# PRAKTICKÁ APLIKACE

## Volba metody statistické regulace procesu



# PRAKTICKÁ APLIKACE



**Cílový regulační daigram pro průměry -  
Stav při zahájení SPC**



# PRAKTICKÁ APLIKACE

Ignorování **nenormality** a **nestability procesu** vede k nadhodnocení odhadu způsobilosti (řádky 1 – 4) nebo výkonnosti procesu (řádek 5).

Řádek	Metoda odhadu	Odhad sigma	$C_p/P_p$	$C_{pk}/P_{pk}$
1	R	0.235497	1.41544	1.3984
2	s	0.230257	1.44766	1.4302
3	$s^2$	0.219156	1.52099	1.5027
4	$s^2$ (corr)	0.219562	1.51817	1.4999
5	overall	0.242357	<b>1.37538</b>	<b>1.3588</b>
6	lognormal		<b>1.31</b>	<b>0.99</b>



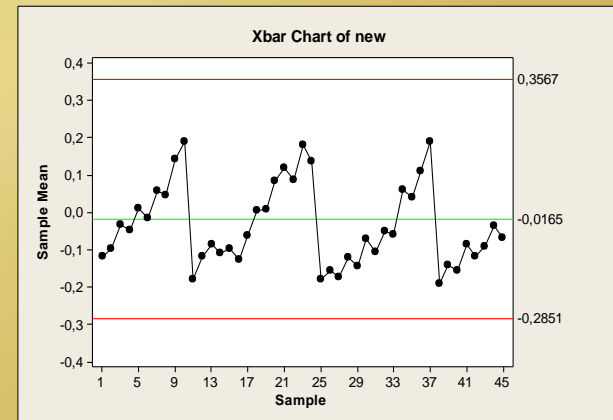
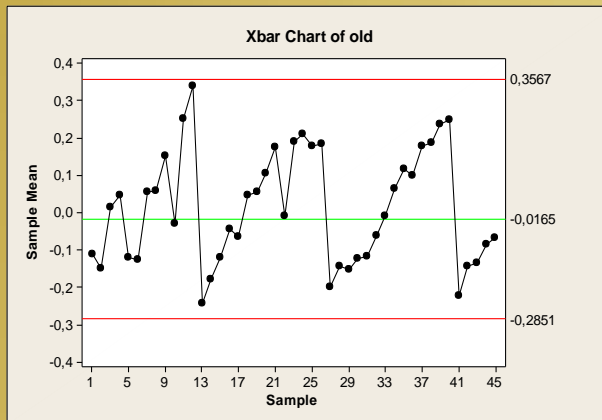
Proces by měl být zlepšen.



# PRAKTICKÁ APLIKACE

Byla přijata a realizována určitá opatření:

Bylo zavedeno dlouhodobé využívání SPC a operátoři začali používat informace získané z regulačních diagramů k rozhodování o potřebě seřídít proces.



Cílový regulační diagram pro průměry -  
situace na začátku implementace SPC

Cílový regulační diagram pro průměry -  
situace po dvou měsících



# PRAKTICKÁ APLIKACE

Vyhovující rozdělení	$P_p$ před	$P_{pk}$ před	$P_p$ po	$P_{pk}$ po
<i>lognormální</i>	1.31	0.99	1.53	1.32



**Ekonomický přínos:**

- Redukce odpadu o **14.2 t** / dva měsíce



# ZÁVĚR

## Regulační diagramy

- Set up approval metody
- Tvorba produktových rodnin – na ně aplikované pooling metody
- Upravené Q diagramy CUSUM Q diagramy , EWMA Q diagramy
- Regulace vstupů
- Modifikovaný Hillier aplikovaný na transformované hodnoty
- Ověřování předpokladů o datech jako nedílná součást aplikace SPC

## Způsobilost procesů

Spiringova filosofie



# POUŽITÁ LITERATURA

1. Al-Salti, M. et al. (1994). A Review of the Literature on the Use of SPC in Batch Production. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 10, No. 4, pp. 49-61.
2. Bhote, K. E. (1980). *World Class Quality*. New York,: AMA Management Briefing.
3. Cui, H. et al. (2007) Control Charts for Short Runs. *Chinese Journal of Applied Probability and Statistics*. Vol. 23, No. 2, pp. 113-122.
4. Deleryd, M. (1998). *Enhancing the Industrial Use of Process Capability Studies*, Doctoral thesis, University of Technology, Lulea.
5. Elam, M. (2012). Control Charts for Data-Limited Situations. *International Journal of Bussiness, Marketing and Decision Sciences*. Vol. 5, No. 1, pp. 49-66.
6. Evans, M. E. et al. (1993). *A Case Study of Family Formation for Statistical Process Control in Small Batch Manufacturing*. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, Blue Block Series.
7. Feigenbaum, A. V. (1991). *Total Quality Control*. New York.: McGraw Hill.
8. Griffith G. K. (1996). *Statistical Process Control Methods For Long and Short Runs*. ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin..
9. Hawkins, D. M. (1987). Self Starting CUSUM Charts for Location and Scale. *The Statistitian*, No. 36, pp. 299-315.
10. He, F. et. Al. (2008). Improved Self-Starting Control Charts for Short Runs. *Quality Technology and Quantitative Management*. Vo. 5, No. 3., pp. 289-308.

# POUŽITÁ LITERATURA

11. Hillier, F. S.: (1969) X-bar and R-chart Control Limits Based on a Small Number of Subgroups. *Journal of Quality Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 17-26-
12. Koons, G. F. et al. (1990). SPC in Low-Volume Manufacturing. A Case Study. *Journal of Quality Technology*. Vol. 23, No. 4, pp. 287-295.
13. Li, Z. et al. (2010). CUSUM of Q chart with Variable Sampling Intervals for Monitoring the Process Mean. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, No. 16, pp. 4861-4876.
14. Noskievičová, D. , Jarošová, E: (2013). Complex Application of Statistical Process Control in Conditions of Profile Bars Production. In: *Proceedings of International Conference Metal 2013*. Brno, 2013.
15. Pyzdek, T. (1993). Process Control for Short and Small Runs. *Quality Progress*, Vol. 26, No. 4, pp. 51-60.
16. Quesenberry, C.P. (1991). SPC Q Charts for Start-up Processes and Short or Long Runs. *Journal of Quality Technology*. Vol. 23, No. 3, pp. 213-224.
17. Shainin, D. (1990) Pre-control in J. M. Juran (ed.) *Quality Control Handbook*. New York: McGraw Hill.
18. Shih-Yen, L. et al. (1997). Short-Run Statistical Process Control: Multicriteria Part Family Formation. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 13 , pp. 9-24.

# POUŽITÁ LITERATURA

19. Spiring, F. (2008) A Process Capability / Customer Satisfaction Approach to Short-Run Processes. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 24, pp. 467-483.
20. Sullivan, J. H. et al. (2002). A Self-Starting Control Chart for Multivariate Individual Observations. *Technometrics*. Vo. 44, pp. 24-33.
21. Wheeler, D.J. (1991) *Short Run SPC*. Knoxville, TN: SPC Press Inc.
22. Wise, C. F. Douglas (1998). *Innovative Control Charting. Practical SPC Solutions for Today's Manufacturing Environment*, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.
23. Zhu, Y. D. et al. (2007). Framework of a Computer Aided Short Run SPC Planning System. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 34, pp. 362-377.



**Děkuji za pozornost.**

