

# **ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, o.p.s.**

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

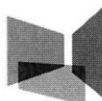
Studijní obor: 6208T088 Podniková ekonomika a management provozu

## **ZPŮSOBILOST PROCESU OBRÁBĚNÍ VE SPOLEČNOSTI Valeo Compressor Europe s.r.o.**

### **Diplomová práce**

**Bc. Jan KRÉDL, Dis.**

Vedoucí práce: doc. Ing. Eva Jarošová, Csc



ŠKODA AUTO Vysoká škola

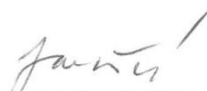
## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Zpracovatel: **Bc. Jan Krédl, DiS.**
- Studijní program: **Ekonomika a management**
- Obor: **Podniková ekonomika a management provozu**
- Název tématu: **Způsobilost procesu obrábění ve společnosti Valeo Compressors Europe. s.r.o.**
- Cíl: **Kontrola způsobilosti po stěhování linky na obrábění přední a zadní hlavy kompresoru z budovy H4 do budovy H6 ve společnosti Valeo Compressors Europe, s.r.o.**
- Rámcový obsah:
1. Přehled postupů hodnocení způsobilosti procesu
  2. Analýza způsobilosti procesu na základě dat pořízených před a po stěhování obráběcí linky
  3. Analýza způsobilosti systému měření
  4. Posouzení významnosti změny ukazatelů způsobilosti
- Rozsah práce: **55 – 65 stran**
- Seznam odborné literatury:
1. MONTGOMERY, D C. *Statistical quality control.: A modern introduction*. 6. vyd. Hoboken: John Wiley and Sons, 2009. ISBN 978-0-470-23397-9.
  2. DIETRICH, E. *Statistical Procedures for Machine and Process Qualification*. Mnichov: HANSER – Carl Hanser, 2010. ISBN 978-3-446-42249-0.
  3. AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP, -. *Measurement System Analysis (MSA)*. [online]. 2010. URL: [http://www.rubymetrology.com/add\\_help\\_doc/MSA\\_Reference\\_Manual\\_4th\\_Edition.pdf](http://www.rubymetrology.com/add_help_doc/MSA_Reference_Manual_4th_Edition.pdf).


Datum zadání diplomové práce: říjen 2017

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2018

L. S.




**doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.**  
Vedoucí práce



**prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.**  
Vedoucí katedry



**Mgr. Petr Šulc**  
Prorektor ŠAVŠ



**Bc. Jan Krédl, DiS.**  
Autor práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 4.1.2020



Děkuji doc. Ing. Evě Jarošové, CSc. za odborné vedení diplomové práce, poskytování rad a informačních podkladů a hlavně za obrovskou dávku trpělivosti, kterou se mnou měla během mého psaní.

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Úvod.....   | 8  |
| 1 Statistická regulace procesu (SPC).....   | 9  |
| 1.1 Vybrané nástroje SPC.....   | 10 |
| 1.2 Etapy regulace .....  | 13 |
| 1.3 Regulace měřením.....   | 14 |
| 1.4 Regulace srovnáváním .....  | 18 |
| 1.5 Způsobilost procesu .....   | 19 |
| 2 Analýza systému měření (MSA).....   | 25 |
| 2.1 Základní pojmy MSA.....   | 25 |
| 2.2 R&R .....   | 28 |
| 3 Představení společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. ....                     | 33 |
| 4 Způsobilost procesu obrábění přední a zadní hlavy kompresoru .....              | 36 |
| 4.1 Způsobilost soustruhů při obrábění přední hlavy .....                         | 37 |
| 4.2 Způsobilost zadní hlavy kompresoru.....                                       | 50 |
| 5 Analýza systému měření ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. .<br>..... | 58 |
| Závěr.....  | 63 |
| Seznam literatury .....   | 65 |
| Seznam obrázků .....  | 67 |
| Seznam tabulek .....  | 69 |
| Seznam příloh .....   | 70 |

## Seznam použitých zkratk a symbolů

|                  |   |
|------------------|---|
| <i>AV</i>        | variabilita mezi operatory (appraiser variability)  |
| <i>CL</i>        | centrální přímka (central line)   |
| <i>CNC</i>       | číslicové řízení počítačem (computer numerical control)                                   |
| <i>CMM</i>       | souřadnicový měřicí stroj (coordinate measuring machine)                                  |
| <i>ČSN</i>       | česká státní norma  |
| <i>EV</i>        | variabilita zařízení (equipment variability)  |
| <i>EWMA</i>      | exponenciálně vážený klouzavý průměr (exponentially weighted moving average)              |
| <i>FDPR</i>      | první výroba za sériových podmínek (full day run production)                              |
| <i>GRR</i>       | opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (gauge repeatability and reproducibility)      |
| <i>INT</i>       | interakce   |
| <i>ISO</i>       | mezinárodní organizace pro standardizaci (international organization for standardization) |
| <i>LCL</i>       | dolní regulační mez (lower control limit)   |
| <i>LSL</i>       | dolní toleranční mez (lower specification limit)  |
| <i>MSA</i>       | analýza systému měření (measurement system analysis)                                      |
| <i>R&amp;R</i>   | studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (repeatability & reproducibility)            |
| <i>PV</i>        | variabilita mezi díly (parts variability)   |
| <i>QS – STAT</i> | software pro vyhodnocování způsobilosti   |
| <i>SC</i>        | speciální znak kvality (special characteristic)   |
| <i>SPC</i>       | statistická regulace procesu (statistic process control)                                  |
| <i>TV</i>        | celková variabilita (total variability)   |
| <i>UCL</i>       | horní regulační mez (upper control limit)   |
| <i>USL</i>       | horní toleranční mez (upper specification limit)  |

## Úvod

Statistická regulace procesu (SPC) je dnes již nedílnou součástí výroby nejen v automobilovém průmyslu, ale i mimo něj. Zákazníci vyžadují její provádění jako záruku kvality dodaných dílů vyráběných ve velkých sériích a často i určují minimální požadovanou úroveň stability procesu vyjádřenou ukazateli způsobilosti či výkonnosti. Správně prováděná SPC funguje jako prevence a může ušetřit nemalé finanční prostředky, které by se jinak musely vynaložit na nákladná nápravná opatření nebo dokonce řešení reklamací. Většina společností dnes proto klade na SPC stále větší důraz a věnuje se jí hlouběji.

Valeo Compressor Europe s.r.o. se zaměřuje na výrobu kompresorů pro autoklimatizace. SPC je ve společnosti samozřejmou součástí výroby a řídí se interními směrnicemi, definujícími jasná pravidla pro její průběh. Kvůli rozšíření výroby byla postavena nová hala, kam byly následně přestěhovány některé výrobní linky. Bylo tedy třeba znovu ověřit způsobilosti jednotlivých procesů.

Hlavním cílem této práce je vyhodnocení způsobilosti po stěhování obráběcí linky přední a zadní hlavy kompresoru do nové budovy ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. V první části je přehled postupů a nástrojů používaných pro regulaci procesu, hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu i stroje a systému měření. Ve druhé části je popsáno jejich využití ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. a některé z těchto postupů a nástrojů jsou následně použity pro vyhodnocení způsobilosti stroje na základě vybraných znaků kvality při stěhování výrobní linky a jejím opětovném uvedení do provozu. Je také provedena analýza systému měření pro vybrané vzduchové měřidlo používané pro měření některých vnitřních průměrů na zadní hlavě kompresoru, které je pevnou součástí výrobní linky a jeho přesnost tak mohla být ovlivněna.



## 1 Statistická regulace procesu (SPC)

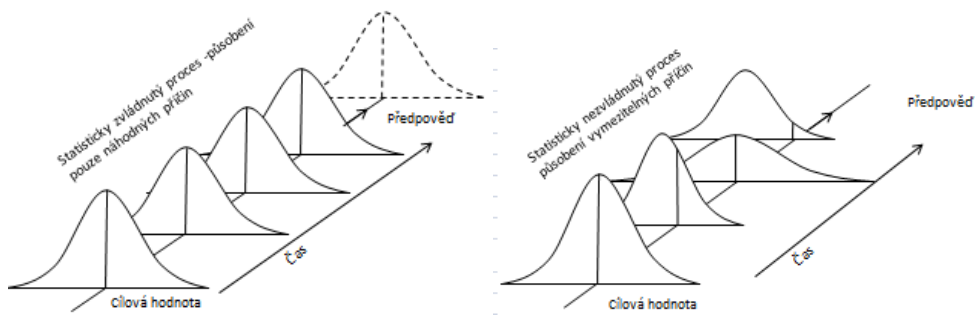
Pokud jde o řízení kvality, SPC je pravděpodobně nejpoužívanější statistická metoda, která se využívá zejména ve výrobních organizacích. Jejím základním cílem je stabilizace a monitorování procesu, prevence proti výrobě neshodných produktů a zajištění včasného zásahu v případě nutnosti. Je nutným předpokladem hodnocení způsobilosti procesu a jeho následné zlepšování tak, aby jeho výstup dokázal naplnit očekávání zákazníků (Nenadál a kol., 2018).

Na každý proces působí dva druhy příčin kolísání, náhodné a vymezitelné. Vymezitelné příčiny variability mohou ovlivňovat proces a tím způsobovat jeho nepřírozené kolísání. Příkladem může být např. nesprávná teplota okolního prostředí, opotřebením nástrojů, pochybení operátora apod. Je možné a žádoucí tyto příčiny identifikovat a odstranit, v opačném případě dochází k ovlivňování procesu nepředvídatelným způsobem a nelze jej považovat za statisticky zvládnutý (Hůlová, Jarošová, 2004).

Náhodné příčiny variability jsou příčiny ovlivňující proces, z nichž každá má jen malý vliv na jeho stabilitu. Jsou běžnou součástí každého procesu a vedou k normálnímu kolísání, které je mu vlastní, tzv. inherentnímu kolísání. Pokud na proces působí pouze náhodné příčiny, lze ho považovat za statisticky zvládnutý (Hůlová, Jarošová, 2004).

SPC pomáhá odstranit vymezitelné příčiny variability, díky čemuž se snižuje riziko výskytu neshodných výrobků a také se snižují náklady na proces atd.

V levé části obr. 1 je znázorněn statisticky zvládnutý proces, na který působí pouze náhodné příčiny kolísání. Tento proces je stabilní s konstantní polohou, rozptýlením naměřených hodnot i tvarem a lze tedy předpokládat jeho budoucí průběh. V pravé části je znázorněn proces, na který působí vymezitelné příčiny kolísání ovlivňující jeho parametry. Proces je nestabilní a těžko předvídatelný, tedy statisticky nezvládnutý. Základním nástrojem SPC je regulační diagram.



Zdroj: Upraveno dle (Tošenovský, Noskievičová, 2000)

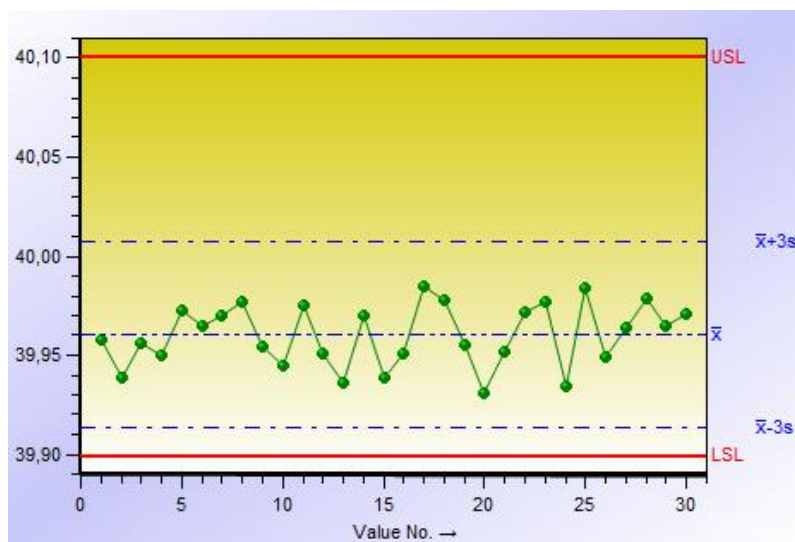
**Obr. 1 Náhodné a vymezitelné příčiny – grafické znázornění**

## 1.1 Vybrané nástroje SPC

### Regulační diagram

„Regulační diagram je grafický prostředek zobrazení vývoje variability procesu v čase, využívající principů testování statistických hypotéz“ (Jarošová, Noskievičová, 2015). Je to vlastně průběhový diagram s regulačními mezemi, které jsou zakresleny na obou stranách od centrální přímky. Při aplikaci se do regulačního diagramu zaznamenávají hodnoty vypočtených charakteristik jednotlivých výběrů o rozsahu  $n$ , které se chronologicky odebírají ze sledovaného procesu a mají charakter logických podskupin. V případě, že  $n = 1$ , se zaznamenávají přímo naměřené hodnoty. Regulační meze jsou typicky ve vzdálenosti  $\pm 3\sigma_w$ , od centrální přímky, kde  $\sigma_w$  představuje známou nebo odhadnutou směrodatnou odchylku výběrové charakteristiky. Někdy mohou být sestrojovány i tzv. varovné meze, které jsou obvykle ve vzdálenosti  $\pm 2\sigma_w$  nebo  $\pm 1\sigma_w$ . Podle průběhu bodů v regulačním diagramu, lze následně vyhodnotit, zda je proces statisticky zvládnutý nebo ne.

Na obr. 2 je příklad regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Na ose  $x$  je vyznačeno pořadí pozorování a na ose  $y$  naměřená hodnota.  $\bar{x}$  je centrální přímka a zeleně je vyznačen průběh naměřených hodnot v čase. V tomto případě jsou vyznačeny také toleranční meze  $USL$  a  $LSL$ , které představují horní a dolní toleranční mez pro daný znak kvality, běžně se však v regulačním diagramu nezobrazují.



**Obr. 2 Regulační diagram pro individuální hodnoty – QS-STAT**

Základním účelem regulačního diagramu je, že:

- umožňuje detekci nestability a monitorování variability procesu v čase,
- rozlišuje vymezené příčiny variability od náhodných, což je vodítko pro lokální reakci nebo reakci managementu,
- poskytuje zpětnou vazbu pro nastavení procesu,

Pro odhalování vymezených příčin lze mimo jiné použít i tzv. testy seskupení, které definují zvláštní seskupení bodů v regulačním diagramu, naznačující jejich přítomnost. Norma ČSN ISO 7870-2:2018 uvádí osm testů.

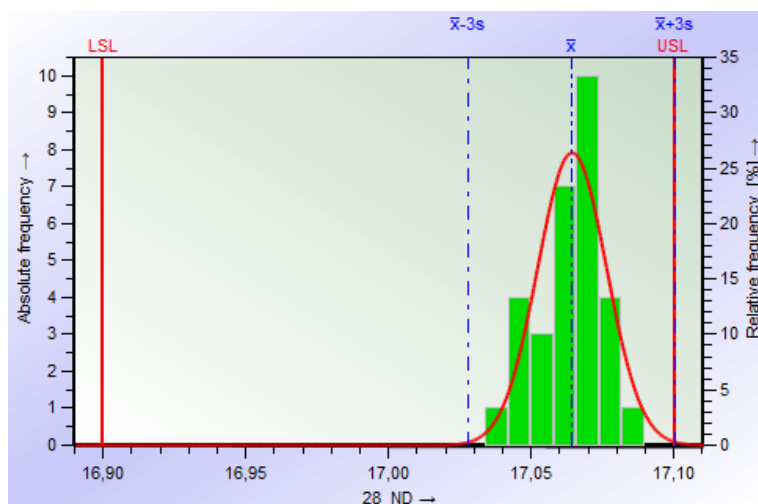
Při regulaci procesu je třeba zvažovat i riziko tzv. falešného nebo chybějícího signálu. Riziko falešného signálu, označované také jako riziko chyby 1. druhu  $\alpha$ , je pravděpodobnost výskytu signálu (např. bod mimo regulační meze), aniž by nastala změna procesu. Riziko chybějícího signálu nebo také riziko chyby 2. druhu  $\beta$  je naopak pravděpodobnost, že regulační diagram neodhalí změnu procesu. Podrobnější informace a výpočet jednotlivých rizik lze najít např. v knize Pokročilejší metody statistické regulace procesu (Jarošová, Noskvičová, 2015).

## Histogram

Histogram je diagram, který zobrazuje intervalové rozdělení četností konkrétního znaku kvality bez ohledu na časovou posloupnost. Informuje tak o charakteru

proměnlivosti procesu. Pomocí něj lze usuzovat na tvar rozdělení, centrovanost procesu nebo při zakreslení tolerančních mezí i posoudit jeho způsobilost. Při jeho sestavení by mělo být použito alespoň 100 údajů.

Na obr. 3 je příklad histogramu sestaveného softwarem QS-STAT, červeně je vyznačena horní a dolní mez tolerančního pole ( $USL$  a  $LSL$ ) a modře průměr  $\bar{x}$  a přirozené meze  $\bar{x} + 3s$  a  $\bar{x} - 3s$ , které se využívají při hodnocení způsobilosti. Na ose  $x$  jsou vyznačeny intervaly naměřených hodnot, na ose  $y$  jejich absolutní četnost.



**Obr. 3 Histogram – QS-STAT**

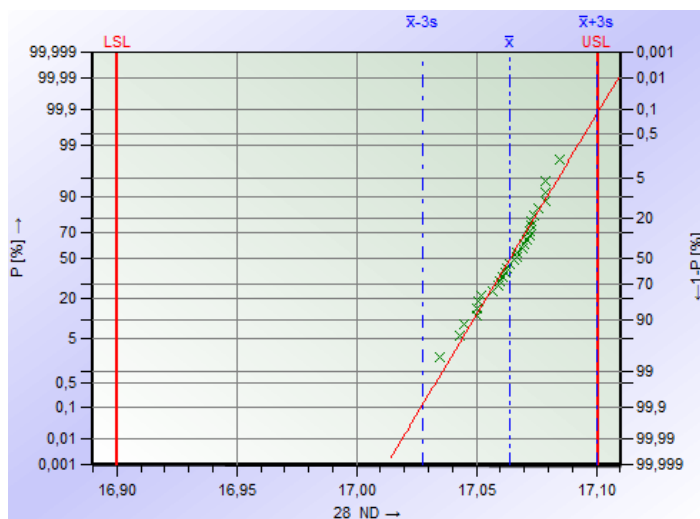
## Pravděpodobnostní graf pro ověřování normality

Pravděpodobnostní graf se používá při ověření typu rozdělení. Na ose  $x$  jsou vyneseny naměřené hodnoty  $x_i$ . Osa  $y$  u normálního pravděpodobnostního grafu odpovídá distribuční funkci normovaného normálního rozdělení odvozené z pořadí hodnot  $x$ .

Pokud data odpovídají normálnímu rozdělení, body by měly ležet v blízkosti přímky. Čím jsou body od přímky dál, tím je větší pravděpodobnost, že se nejedná o normální rozdělení.

Nevýhodou pravděpodobnostního grafu je, že se nejedná o objektivní postup, proto se často doplňuje některým z testů pro ověření normality. Na obr. 4 je zobrazen pravděpodobnostní graf, který byl získán pomocí software QS-STAT.

Modře jsou vyznačeny meze  $\bar{x} + 3s$  a  $\bar{x} - 3s$  a centrální přímka  $\bar{x}$ , červeně toleranční meze  $USL$  a  $LSL$ .



**Obr. 4 Pravděpodobnostní graf – QS-STAT**

Mezi nejpoužívanější testy pro ověření normality patří např. Andersonův-Darlingův test, Shapirův-Wilkův test, Kolmogorovův-Smirnovův test nebo testy založené na šikmosti a špičatosti. Těmi se však tato práce dále nebude zabývat, proto zde nebudou rozvedeny podrobněji.

## 1.2 Etapy regulace

Statistická regulace se provádí ve třech základních etapách.

### Etapa analýzy procesu (přípravná fáze)

Před začátkem vlastní regulace je třeba rozhodnout o tom, jak se bude postupovat a jaké nástroje k tomu budou použity. Je třeba zvolit konkrétní znak kvality, který se bude regulovat, definovat délku kontrolního intervalu, způsob provedení výběru, rozsah podskupin, vhodný regulační diagram, způsob sběru dat, apod.

Tato etapa ovlivňuje provedení následujících dvou etap a tím i dosažení správného výsledku, proto je velmi důležitá.

### Etapa I (stabilizace procesu)

Cílem této etapy je dostat proces pod statistickou kontrolu. Začíná sběrem dat dle definovaného postupu z přípravné fáze. Následně se provádí první sestavení

regulačního diagramu se zkušebními mezemi, a pokud je odhalena vymežitelná příčina variability u některé z podskupin, ze souboru dat se odstraní a sestrojí se nový regulační diagram s revidovanými mezemi. Ve chvíli, kdy je proces tzv. statisticky zvládnutý, to znamená, že všechny body se nacházejí uvnitř regulačních mezí, se přechází do fáze monitorování procesu.

## **Etapa II (monitorování procesu)**

V této etapě je proces již považován za stabilizovaný a provádí se pravidelná kontrola daného znaku kvality se zápisem do regulačního diagramu. Je tak možné včasné reagovat na případné překročení regulačních mezí nebo provádět zlepšování procesu za pomoci následné analýzy získaných dat (Jarošová, 2011).

### **1.3 Regulace měřením**

Pokud lze regulovaný znak kvality změřit a vyjádřit číselně (např. rozměr, hmotnost, váha), pak se pro regulaci jeho úrovně a variability používá dvojice regulačních diagramů. Jejich použití závisí na tom, zda se odebírají tzv. logické podskupiny nebo zda jde o individuální hodnoty. Podskupiny se vybírají tak, aby uvnitř každé z nich bylo možné předpokládat pouze kolísání vlivem náhodných příčin (ČSN ISO 7870-2: 2018). Nejčastěji používané diagramy v případě využití podskupin jsou diagram pro průměr a rozpětí ( $\bar{x}$  a  $R$ ) nebo diagram pro průměr a směrodatnou odchylku ( $\bar{x}$  a  $s$ ). V případě regulace za použití individuálních hodnot se používají diagramy pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí ( $Xi$  a  $MR$ ), (Hůlová, Jarošová, 2004).

#### **Diagram pro průměr a rozpětí ( $\bar{x}$ a $R$ )**

Diagram pro průměr sleduje konstantnost střední hodnoty regulovaného znaku kvality a diagram pro rozpětí velikost přirozené variability procesu.

Protože v praxi většinou skutečná střední hodnota  $\mu$  ani směrodatná odchylka  $\sigma$  nejsou známy, je třeba je odhadnout. Střední hodnotu  $\mu$  lze odhadnout pomocí celkového průměru, dle vztahu:

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k) \quad (1)$$

$\hat{\mu}$  - odhad střední hodnoty regulovaného znaku kvality

$\bar{\bar{x}}$  - aritmetický průměr z aritmetických průměrů podskupin

$\bar{x}$  - průměr v podskupinách

$k$  - počet podskupin

Pro získání průměru rozpětí výběrů  $\bar{R}$  se nejdříve vypočítá  $R$  jako rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou v každé podskupině a následně dosadí do vzorce:

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (R_1 + R_2 + \dots + R_k) \quad (2)$$

$R$  - rozpětí jednotlivých podskupin

$k$  - počet podskupin

Výpočet regulačních mezí v případě, že nejsou parametry procesu předem určeny, se provede dle vzorců (ČSN ISO 7870-2: 2018):

Diagram pro průměr:

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (3)$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \times \bar{R} \quad (4)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \times \bar{R} \quad (5)$$

Diagram pro rozpětí:

$$CL = \bar{R} \quad (6)$$

$$UCL = D_4 \times \bar{R} \quad (7)$$

$$LCL = D_3 \times \bar{R} \quad (8)$$

$\bar{\bar{x}}$  - aritmetický průměr z aritmetických průměrů podskupin

$\bar{R}$  - průměr hodnot  $R$  ze všech podskupin

$A_2, D_3, D_4$  - součinitele pro daný rozsah  $n$  podskupin, které lze nalézt v normě ČSN ISO 7870-2: 2018

## Diagram pro průměr a směrodatnou odchylku ( $\bar{x}$ a $s$ )

Diagram pro směrodatnou odchylku se používá především při větším rozsahu podskupin ( $n \geq 10$ ), protože odhad  $\sigma$  pomocí  $s$  je přesnější.

Regulační meze se sestavují stejným způsobem jako u diagramů pro průměr a rozpětí, jen se místo rozpětí v podskupinách počítá výběrová směrodatná odchylka.

U diagramu pro směrodatnou odchylku platí (ČSN ISO 7870-2: 2018):

$$CL = \bar{s} \quad (9)$$

$$UCL = B_4 \times \bar{s} \quad (10)$$

$$LCL = B_3 \times \bar{s} \quad (11)$$

Výběrová směrodatná odchylka  $s$  a průměr výběrových směrodatných odchylek v podskupinách  $\bar{s}$  se vypočítá dle vzorců:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k s_j^2} \quad (12)$$

$k$  - počet podskupin

$s_j$  - výběrová směrodatná odchylka v jednotlivých podskupinách

U diagramu pro průměr platí (ČSN ISO 7870-2, 2018):

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (13)$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_3 \times \bar{s} \quad (14)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_3 \times \bar{s} \quad (15)$$

$A_4, B_3, B_4$  - součinitele pro daný rozsah podskupin, které lze nalézt v normě ČSN ISO 7870-2: 2018

## Diagram pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí ( $X_i$ a MR)

Diagramy pro individuální hodnoty se obvykle používají v případech, kdy vyhodnocení měřených hodnot trvá delší dobu nebo tam, kde jsou vlastnosti dávky stanovené analyticky, např. v chemickém průmyslu. Když nelze určit logické



podskupiny a tedy ani výběrové rozpětí, využívá se místo toho klouzavé rozpětí, které je obvykle počítáno jako absolutní hodnota rozdílu sousedních pozorování:

$$MR_j = |x_j - x_{j-1}| \quad (16)$$

$x_j$  - naměřené hodnoty

Pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí platí v případě diagramu pro klouzavé rozpětí následující vzorce (ČSN ISO 7870-2: 2018):

$$CL = \overline{MR} \quad (17)$$

$$UCL = D_4 \times \overline{MR} \quad (18)$$

$$LCL = D_3 \times \overline{MR} \quad (19)$$

$\overline{MR}$  - průměr klouzavého rozpětí

$D_3, D_4$  - součinitele pro daný rozsah podskupin, které lze nalézt v normě ČSN ISO 7870-2: 2018

V případě diagramu pro individuální hodnoty platí:

$$CL = \bar{x} \quad (20)$$

$$UCL = \bar{x} + \frac{3}{d_2} \times \overline{MR} \quad (21)$$

$$LCL = \bar{x} - \frac{3}{d_2} \times \overline{MR} \quad (22)$$

$\bar{x}$  - aritmetický průměr

$\overline{MR}$  - průměr klouzavého rozpětí

$d_2$  - součinitel pro daný rozsah podskupin, který lze nalézt v normě ČSN ISO 7870-2: 2018

V případě zjištění jiného než normálního rozdělení, je třeba pro výpočet regulačních mezí zvolit jiný přístup. Využít lze například následující možnosti (Jarošová, Noskievičová, 2015):

- zajištění dostatečně velkého rozsahu podskupin,
- volba vhodnějšího modelu,
- transformace
- využití EWMA diagramu
- neparametrický regulační diagram.

Nejjednodušeji se jeví zajištění dostatečně velkého rozsahu podskupin, to však v praxi nemusí být vždy realizovatelné.

Při volbě vhodnějšího modelu rozdělení se konstruuje regulační meze jako pravděpodobnostní meze, tj. jako kvantily uvažovaného rozdělení. Jejich vzdálenost je odvozena od stanoveného rizika falešného signálu a jsou asymetrické.

Cílem transformace je získat veličinu s přibližně normálním rozdělením, aby na ni mohl být aplikován běžný postup. Nejběžněji používaná je tzv. Boxova-Coxova transformace (Jarošová, Noskiewičová, 2015). EWMA diagramy jsou vhodné zejména pro individuální hodnoty, není to však podmínkou. Při jejich sestavení se využívá vážený průměr z předchozích pozorování. Při sestavování neparametrického regulačního diagramu se velikost kvantilu odhaduje bez použití modelu rozdělení.

## 1.4 Regulace srovnáváním

Pokud regulovaný znak kvality nelze vyjádřit číselně, lze použít srovnávání, tedy jeho porovnání vůči dané specifikaci, a rozhodnout zda má nebo nemá požadované vlastnosti (např. barva, funkčnost) nebo se sleduje přítomnost neshod. Při regulaci srovnáváním, se na rozdíl od regulace měřením, používá vždy pouze jeden regulační diagram.

Dle použití rozlišujeme několik typů:

- diagram pro podíl neshodných (diagram p),
- diagram pro počet neshodných (diagram np)
- diagram pro počet neshod (diagram c),
- diagram pro počet neshod na jednotku (diagram u).

## 1.5 Způsobilost procesu

Způsobilost procesu vyjadřuje schopnost vyhovět předepsaným kritériím (technickým specifikacím) a její hodnocení je vyžadováno zejména zákazníky v automobilovém průmyslu, kteří ji chápou jako záruku kvality dodávaných dílů vyráběných ve velkých sériích. Může se zkoumat buď jen z pohledu variability ( $C_p$  a  $P_p$ ) nebo z pohledu variability a vzdálenosti od mezních hodnot ( $C_{pk}$  a  $P_{pk}$ ). V případě využití celkové variability (ne pouze variability uvnitř podskupin) se hovoří o výkonnosti procesu ( $P_p$  a  $P_{pk}$ ). (Hůlová, Jarošová, 2004)

Způsobilost se hodnotí pouze u procesů, které jsou statisticky zvládnuté. Pokud by parametry procesu nebyly stabilní, nemá vypočtený ukazatel žádnou vypovídající hodnotu. Před jejím hodnocením je tedy třeba pro ověření statistické zvládnutosti sestrojít regulační diagram a ověřit předpoklad normality např. pomocí histogramu nebo pravděpodobnostního grafu.

### Ukazatele způsobilosti procesu za normálního rozdělení

Ukazatele způsobilosti jsou založeny na porovnávání přirozeného kolísání skutečného procesu vůči technickým specifikacím. Někdy jsou považovány za „známku“ kvality, kterou odběratel požaduje (Statsoft, 2013).

Rozmezí kolísání procesu (tzv. přirozené meze) lze vyjádřit dle vzorce:

$$UL, LL = \mu \pm 3\hat{\sigma} \quad (23)$$

$UL$  - horní mez

$LL$  - dolní mez

$\mu$  – střední hodnota procesu

$\hat{\sigma}$  - odhadnutá hodnota směrodatné odchylky

Ukazatel  $C_p$  vychází z předpokladu, že je střední hodnota uprostřed tolerančního pole. Za předpokladu normálního rozdělení je definován vzorcem:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (24)$$

$USL$  - horní toleranční mez

$LSL$  - dolní toleranční mez

$\sigma$  - směrodatná odchylka procesu

Odhad směrodatné odchylky se provede buď z výběrových variačních rozpětí nebo z výběrových směrodatných odchylek. To je závislé na tom, který z regulačních diagramů byl použit při předchozí regulaci procesu (Jarošová, 2011):

a) odhad z výběrových variačních rozpětí:

$$\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2} \quad (25)$$

$\bar{R}$  - průměr hodnot  $R$  ze všech podskupin

$d_2$  - součinitel pro daný rozsah podskupin, který lze nalézt v normě ČSN ISO 7870-2: 2018

b) odhad z výběrových směrodatných odchylek:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_4} \quad (26)$$

$\bar{s}$  - průměr výběrových směrodatných odchylek v podskupinách

$C_4$  - součinitel pro daný rozsah podskupin, který lze nalézt v normě ČSN ISO 7870-2: 2018

Ukazatel  $C_{pk}$  se používá k posouzení způsobilosti s ohledem na to, že střední hodnota nemusí být uprostřed tolerančního pole. Čím vyšší je, tím je nižší pravděpodobnost, že některý z bodů se nachází mimo specifikaci. Za předpokladu, že se jedná o normální rozdělení, platí:

$$C_{pk} = \min(C_{pL}, C_{pU}) \quad (27)$$

$$C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (28)$$

$$C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (29)$$

Pokud je dána pouze jedna z mezí, pak se pro výpočet  $C_{pk}$  použije vždy jen jeden ze vzorců (28) nebo (29). Příkladem mohou být některé z geometrických znaků kvality jako např. drsnost nebo rovinnost.

Pro hodnocení způsobilosti procesu se zpravidla používají následující kritéria. Když platí  $C_p < 1$ , proces je nezpůsobilý. Za předpokladu, že *platí*  $1 \leq C_p \leq 1,33$ , proces je podmíněčně způsobilý a při  $C_p \geq 1,33$  je proces způsobilý.

$C_{pk}$  bylo původně vyvinuto proto, že  $C_p$  nijak nezohledňovalo centrovanost procesu. I  $C_{pk}$  je však stále nedostačující pro správné určení polohy procesu. Aby bylo možné charakterizovat proces i v případech, kdy cílová hodnota není uprostřed mezí, byl vyvinut ukazatel  $C_{pm}$  pro nějž platí vzorec (Montgomery, 2009):

$$C_{pm} = \frac{USL-LSL}{6\tau} \quad (30)$$

kde se  $\tau$  určí dle vzorce:

$$\tau^2 = E[(x - T)^2] = E[(x - \mu)^2] + (\mu - T)^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2 \quad (31)$$

a vyjadřuje kolísání hodnot sledovaného znaku kvality kolem cílové hodnoty  $T$ , což lze zapsat jako:

$$C_{pm} = \frac{USL-LSL}{6\sqrt{\sigma^2+(\mu-T)^2}} = \frac{C_p}{\sqrt{1+\xi^2}} \quad (32)$$

kde platí:

$$\xi = \frac{\mu-T}{\sigma} \quad (33)$$

Často se sestavují také konfidenční meze, které udávají, v jakém intervalu se s pravděpodobností  $(1 - \alpha)$  bude nacházet hodnocený ukazatel. Pro jejich výpočet lze použít vzorce (Montgomery, 2009):

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{x_{1-\alpha/2,(n-1)}^2}{n-1}} \leq C_p \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{x_{\alpha/2,(n-1)}^2}{n-1}} \quad (34)$$

$x_{1-\alpha/2,(n-1)}^2, x_{\alpha/2,(n-1)}^2$  - kvantily rozdělení chí-kvadrát pro  $n - 1$  stupňů volnosti

$$\hat{C}_{pk} \left[ 1 - u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \leq C_{pk} \leq \hat{C}_{pk} \left[ 1 + u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \quad (35)$$

$u_{1-\alpha/2}$  - kvantil normovaného normálního rozdělení

## Ukazatele výkonnosti procesu za normálního rozdělení

Na rozdíl od ukazatelů způsobilosti zohledňují ukazatele výkonnosti celkovou variabilitu procesu, tzn. variabilitu v rámci jednotlivých podskupin i mezi nimi. Díky tomu jsou vhodné např. pro uvolňování nových procesů, protože se dají použít i tam, kde proces ještě není považován za statisticky zvládnutý. Rozdíl oproti ukazatelům způsobilosti je ve způsobu odhadu směrodatné odchylky:

$$\hat{\sigma}_{tot} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{kn} (x_j - \bar{x})^2}{kn-1}} \quad (36)$$

$x_j$  - naměřené hodnoty

$\bar{x}$  - aritmetický průměr naměřených hodnot

$kn$  - počet měření

Samotný odhad ukazatelů  $P_p$  a  $P_{pk}$  je stejný jako u ukazatelů  $C_p$  a  $C_{pk}$ .

$$\hat{P}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{tot}} \quad (37)$$

$$\hat{P}_{pL} = \frac{\bar{x} - LSL}{6\hat{\sigma}_{tot}} \quad (38)$$

$$\hat{P}_{pU} = \frac{USL - \bar{x}}{6\hat{\sigma}_{tot}} \quad (39)$$

$$\hat{P}_{pk} = \min(\hat{P}_{pL}, \hat{P}_{pU}) \quad (40)$$

## Ukazatele způsobilosti stroje

Ukazatele způsobilosti stroje nejsou definovány žádnou normou. Jejich použití popisuje například (Dietrich, Schulze, 2010). Zpravidla se používají např. při uvolňování nového stroje do výroby nebo po změně výrobních podmínek. Značí se  $C_m$  a  $C_{mk}$ . Zohledňují pouze variabilitu stroje samotného, ostatní vlivy jsou omezeny způsobem výběru vzorků. Odebírá se alespoň 50 po sobě jdoucích vzorků ze stejné šarže vyrobených stejným operátorem po ustálení výrobních podmínek.

Pro odhad se zpravidla používají stejné vzorce jako pro  $C_p$  a  $C_{pk}$ , ale požaduje se vyšší výsledná hodnota, obvykle  $C_m$  i  $C_{mk} > 1,67$ .

$$\hat{C}_m = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (41)$$

$$\hat{C}_{mk} = \min (\hat{C}_{mL}, \hat{C}_{mU}) \quad (42)$$

$$\hat{C}_{mL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \quad (43)$$

$$\hat{C}_{mU} = \frac{USL - \bar{x}}{3s} \quad (44)$$

$s$  - výběrová směrodatná odchylka

### Ukazatele způsobilosti procesu při nesplněném předpokladu normality

Pokud proces nesplňuje předpoklad normality, je pro výpočet způsobilosti třeba zvolit jiný přístup. Možnostmi mohou být kvantilové metody, neparametrické metody, transformace a metoda založená na podílu neshodných (Jarošová, Noskiewičová 2015). V případě využití kvantilové metody pak norma ISO/TR 22514-4:2007 zmiňuje tři možné přístupy pro jejich výpočet.

První z nich předpokládá pro odhad kvantilů  $X_{0,135\%}$  a  $X_{99,865\%}$  použití pravděpodobnostního grafu. Kvantily jsou značeny jako  $Y_1$  a  $Y_2$  a vzorec pro odhad  $C_p$  je:

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{Y_2 - Y_1} \quad (45)$$

$C_{pk}$  se vypočítá dle vzorců:

$$\hat{C}_{pkU} = \frac{USL - X_{50\%}}{Y_2 - X_{50\%}} \quad (46)$$

$$\hat{C}_{pkL} = \frac{X_{50\%} - LSL}{X_{50\%} - Y_1} \quad (47)$$

$$\hat{C}_{pk} = \min (\hat{C}_{pkL}, \hat{C}_{pkU}) \quad (48)$$

$X_{50\%}$  - medián

$Y_1, Y_2$  – odhadnuté kvantily

Metoda Pearsonových křivek se od první metody liší pouze způsobem odhadu kvantilů, který byl popsán Clementsem (1989). Pro výpočet ukazatelů lze použít vzorce (45), (46), (47) a (48).

Jako poslední je uváděna metoda identifikace konkrétního rozdělení, jako je např. lognormální, Rayleighovo nebo Weibullovo a následný odhad parametrů a jejich použití pro výpočet kvantilů. Jejich podrobnější popis lze nalézt přímo v normě.

Postup odhadu ukazatelů výkonnosti v případě nesplnění předpokladu normality, je podle normy ISO/TR 22514-4: 2007 stejný jako pro ukazatele způsobilosti, protože se využívají všechny hodnoty bez ohledu na podskupiny.



## 2 Analýza systému měření (MSA)

MSA patří mezi klíčové nástroje používané pro zajištění kvality výroby. Jedná se o soubor metod zkoumajících kvalitu naměřených hodnot a posuzujících vhodnost použití daného měřicího systému pro konkrétní znak kvality. Měřicí systém je posuzován na základě řady statistických vlastností, jako je shodnost, strannost, opakovatelnost, reprodukovatelnost a stabilita měření. (Beneš, 2016)

### 2.1 Základní pojmy MSA

Mezi základní používané termíny patří:

*Měření*, které je definováno jako „přiřazování čísel (nebo hodnot) hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti“. Proces přiřazování čísel je definován jako proces měření, přičemž přiřazená hodnota je definována jako hodnota měření (Chmelík, Král, 2007, část K).

*Měřidlo*, což je libovolné zařízení používané k měření. Zahrnuje také zařízení s dobrou a zmetkovou stranou (např. kalibry pro kontrolu vnitřních průměrů na obrobku).

*Systém měření*, což je soubor přístrojů nebo měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, softwaru, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke kvalifikaci jednotky měření nebo ke stálému posuzování měřeného znaku kvality (Chmelík, Král, 2007, část K). Systém měření je obdobně, jako je tomu i u všech ostatních procesů, ovlivňován jak náhodnými, tak vymezitelnými příčinami. Proto důsledkem variability systému měření může být, že neposkytuje při opakovaných odečtech na témže dílu stejný výsledek.

Metodika MSA rozlišuje následující druhy variability systému:

- variabilita procesu měření,
- variabilita polohy rozdělení,
- variabilita šíře,
- variabilita systému měření.

## Variabilita procesu měření

Metodika MSA rozlišuje čtyři základní zdroje variability procesu měření, a to výrobek, stroj, prostředí a člověka. Proces měření se většinou popisuje normálním rozdělením. V případě, že se však s normálním rozdělením pracuje i u systémů měření, které normálně rozděleny nejsou, může dojít k nadhodnocení chyby systému měření. V takovém případě je třeba vyhodnocené chyby rozpoznat a opravit.

## Variabilita polohy rozdělení

Níže jsou uvedeny složky variability polohy rozdělení.

*Strannost (Bias)* je míra správnosti a vyjadřuje se jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem výsledků opakovaného měření stejného znaku kvality a přijatou referenční hodnotou a její odhad lze vyjádřit vzorcem:

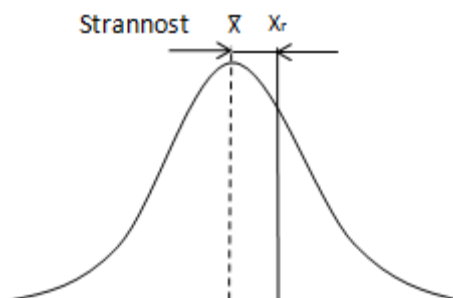
$$\hat{B}_i = \bar{x} - x_r \quad (49)$$

$\bar{x}$  - aritmetický průměr všech měření

$x_r$  - přijatá referenční hodnota vzorku

Charakterizuje celkovou systematickou chybu měření.

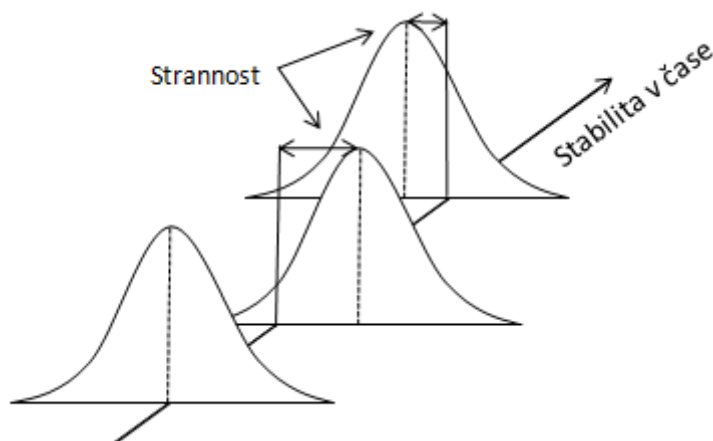
Obr. 5 znázorňuje strannost graficky.



Zdroj: upraveno dle: (AIAG, 2010)

**Obr. 5 Strannost**

*Stabilita* je změna strannosti v čase nebo také celková variabilita výsledků měření stejného znaku kvality v delším časovém období (Hutyra a kol., 2006). Na obr. 6 je vidět její grafické znázornění.



Zdroj: upraveno dle: (AIAG, 2010)

#### **Obr. 6 Stabilita**

*Přesnost* je „těsnost“ vzhledem k pravé hodnotě nebo přijaté referenční hodnotě.

*Linearita* je změna strannosti v běžném provozním rozsahu.

### **Variabilita šíře**

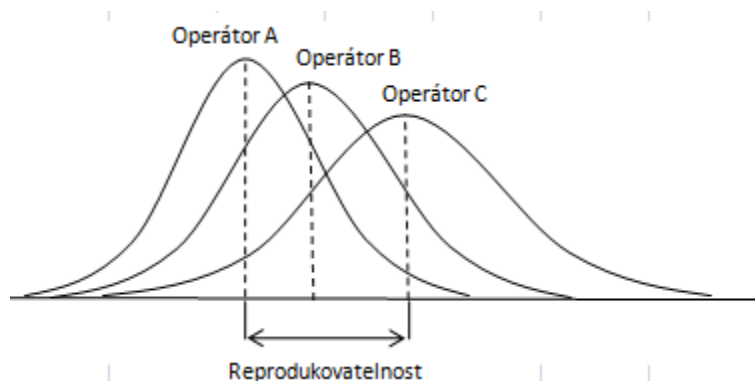
Níže jsou popsány složky variability šíře.

*Shodnost* vyjadřuje variabilitu výsledků opakovaného měření stejného znaku kvality. Vyjadřuje se pomocí směrodatné odchylky výsledků měření, kde platí vztah: čím menší shodnost, tím větší směrodatná odchylka. Charakterizuje působení náhodných chyb měření (Hutyra a kol., 2006).

*Opakovatelnost (EV)* se běžně označuje jako variabilita zařízení. Je to variabilita výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem, který byl několikrát použit stejným operátorem při měření identického znaku kvality na stejném díle,

*Reprodukovatelnost (AV)* se běžně označuje jako variabilita mezi operátory. Je to variabilita průměru měření prováděných různými operátory za použití stejného měřicího přístroje při měření identického znaku kvality na stejném díle. Toto platí pro ruční přístroje ovlivněné odborností obsluhy. Neplatí to pro procesy měření

(automatizované systémy), u nichž obsluha není hlavním zdrojem variability. Její grafické znázornění je vidět na obr. 7.



Zdroj: upraveno dle: (Hutyra a kol., 2006)

### **Obr. 7 Reprodukovatelnost**

*Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR nebo také R&R)* představuje kombinovaný odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření.

*Citlivost* definuje nejmenší vstup, který způsobí zjistitelný výstupní signál.

*Konzistence* je stupeň změny opakovatelnosti v čase.

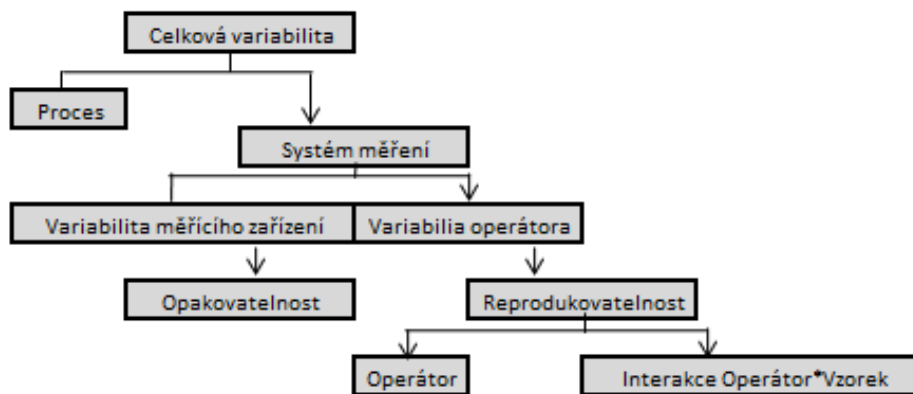
*Uniformita* je změna opakovatelnosti v běžném provozním rozsahu (Chmelík, Král, 2007, část K).

## **Variabilita systému měření**

Variabilitu systému měření lze charakterizovat jako jeho způsobilost, výkonnost a nejistotu.

## **2.2 Studie R&R**

Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (R&R) umožňuje stanovit úroveň variability vzniklé v důsledku měření, která společně s variabilitou procesu tvoří tzv. celkovou variabilitu (obr. 8).



Zdroj: upraveno dle: (Bednář, 2006)

**Obr. 8 Celková variabilita měřícího procesu**

Studii R&R lze provést několika různými metodami. Je možné použít např. metodu založenou na rozpětí, metodu založenou na průměru a rozpětí nebo metodu ANOVA, které se používají pro výpočet jednotlivých ukazatelů, jako jsou opakovatelnost (*EV*), reprodukovatelnost (*AV*) a opakovatelnost a reprodukovatelnost (*GRR*), (AIAG, 2010).

### Metoda rozpětí

Metodou rozpětí se určí hodnotu *R&R*, minimální počet měřených dílů je pět a dva hodnotitelé měří každý výrobek jednou (PQM, 1999).

Výhodou této metody je menší časová náročnost, na druhou stranu ale nehodnotí reprodukovatelnost ani opakovatelnost samostatně. Z toho důvodu se většinou nepoužívá jako základní analýza, ale spíše pro ověření zda je hodnota *GRR* stále na požadované úrovni (Nenadál a kol., 2018).

Pro výpočet *GRR* se používá vzorec:

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (50)$$

$\bar{R}$  - průměrné rozpětí

$d_2$  - koeficient závislý na počtu měření jednotlivých vzorků a počtu měřených dílů, který lze nalézt v tabulce uváděné příručkou MSA (AIAG, 2010)

Průměrné rozpětí se vypočítá dle vzorce:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{g} \quad (51)$$

$R_i$  - rozpětí mezi výsledkem získaným operátorem A a výsledkem získaným operátorem B

$g$  - počet měřených dílů

### Metoda průměru a rozpětí

Metoda průměru a rozpětí je nejpoužívanější metodou, jejíž postup se zpravidla dělí do třech fází. První fáze je přípravná. V této fázi je nezbytné určit vstupy do samotné analýzy, jako například počet operátorů, počet měřených dílů atd. Minimální počet měřených dílů je deset (AIAG, 2010). Obvykle pak tři hodnotitelé měří každý výrobek alespoň dvakrát.

Následuje fáze vlastního měření, kdy se zaznamenávají výsledky jednotlivých dílů a operátorů. Je důležité zajistit objektivnost měření, což lze udělat například tak, že operátoři nebudou znát správné (očekávané), ani předcházející výsledky.

Fáze vyhodnocení výsledků je opět rozdělena do několika kroků, kdy je zapotřebí za pomoci statistických nástrojů, jako je regulační diagram pro průměr a rozpětí, diagram pro iterace, bodový diagram, histogram a další, ověřit statistickou zvládnutost procesu měření z pohledu variability opakovaných měření a následně vypočítat hodnoty opakovatelnosti ( $EV$ ), reprodukovatelnosti ( $AV$ ) a hodnoty ( $GRR$ ), která je společným ukazatelem pro opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Za předpokladu, že je proces měření statisticky zvládnutý, lze pro výpočet  $EV$  a  $AV$  použít následující vzorce:

$$EV = \bar{\bar{R}} \times K_1 \quad (52)$$

$K_1$  - koeficient závislý na počtu opakování měření a počtu měřených vzorků

$\bar{\bar{R}}$  - průměrné rozpětí, které se určí pomocí vzorce:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{i=1}^h \bar{R}_i}{h} \quad (53)$$

$h$  - počet měřených dílů

$\bar{R}_i$  - průměrné rozpětí operátora

$$AV = \sqrt{\bar{x}_{diff} \times K_2 - \frac{EV^2}{n \times r}} \quad (54)$$

$r$  - počet měření

$n$  - počet dílů

$K_2$  - koeficient závislý na počtu operátorů

$\bar{x}_{diff}$  – maximální rozdíl průměru operátora, který se vypočítá dle vzorce:

$$\bar{x}_{diff} = R_{\bar{x}} \quad (55)$$

Hodnota  $GRR$  se následně dopočítá podle vzorce:

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (56)$$

Výslednou hodnotu  $GRR$  však ještě nelze považovat za dostačující pro přijetí nebo odmítnutí analyzovaného systému měření. Nejprve je nutno ji porovnat s celkovou variabilitou procesu ( $TV$ ), kterou lze vypočítat za pomoci vzorce:

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (57)$$

Variabilita mezi díly ( $PV$ ) se vyjádří pomocí vzorce:

$$PV = R_p \times K_3 \quad (58)$$

$K_3$ - koeficient závislý na počtu měřených dílů

$R_p$  - rozpětí průměru dílů (průměr dílu je aritmetický průměr hodnot měřených na jednom díle všemi operátory)

V posledním kroku lze vyjádřit opakovatelnost, reprodukovatelnost,  $GRR$  a variabilitu mezi díly v procentech celkové variability dle vzorce:

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \times 100 \quad (59)$$

## Metoda ANOVA

Metoda ANOVA je analýzou rozptylu, která na rozdíl od metody rozpětí a metody průměru a rozpětí, umožňuje určit všechny složky celkové variability včetně interakce mezi operátory a díly. Celková variabilita se rozloží na čtyři části: variabilitu zařízení, variabilitu mezi operátory, variabilitu mezi měřenými díly

a variabilitu vyvolanou interakcí mezi operátory a měřenými díly. V případě, že je interakce statisticky významná, určí se *GRR* podle vzorce:

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2 + INT^2} \quad (60)$$

kde  $EV^2$ ,  $AV^2$  a  $INT^2$  značí odhady rozptylů vyjadřujících opakovatelnost, reprodukovatelnost a složku odpovídající interakci.

Minimální počet dílů je deset. Každý díl měří tři hodnotitelé a každý z nich opakuje měření alespoň dvakrát (PQM, 1999).

### Kritéria přijatelnosti

Pokud jde o to, zda je variabilita měření vyhovující, nejčastěji uváděná kritéria jsou znázorněna v tab. 1.

**Tab. 1 Rozhodovací kritéria pro přijatelnost systému měření**

| GRR          | Rozhodnutí  |
|--------------|---|
| Pod 10 %     | Přijatelný systém měření  |
| 10 % až 30 % | Může být přijatelný pro některé aplikace po zvážení důležitosti, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, nákladů na přepracování nebo opravu |
| Nad 30 %     | Nepřijatelný  |

Zdroj: převzato z: interní dokumentace



### 3 Řízení kvality ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o.

Valeo Compressor Europe s.r.o. je výrobní závod v Humpolci, spadající do celosvětové skupiny Valeo. Byl založen v roce 2002 a od té doby se v něm vyrábějí kompresory pro klimatizační jednotky osobních automobilů. Mezi zákazníky společnosti patří přední světoví výrobci automobilů jako je Renault, PSA Peugeot Citroën, Mercedes, Toyota, Volvo, Nissan a další. Mezi hlavní výrobní procesy patří obrábění hliníku, svařování, lakování, impregnace hliníku a finální montáž kompresorů.

Při řízení kvality se ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. rozlišují dva druhy znaků kvality, tzv. normální a speciální znaky (SC), které mohou být definovány buď interně, nebo zákazníkem. U speciálních znaků kvality jsou zvýšené nároky na jejich zajištění během výroby, ať už pomocí způsobilosti, 100% kontroly nebo poka-yoke. Může se jednat např. o znaky kvality mající vliv na bezpečnost, životní prostředí nebo konečnou funkci kompresoru. Normální znaky kvality jsou všechny znaky, které nejsou označeny jako speciální.

#### Sběr dat a kritéria hodnocení způsobilosti

Sběr dat a hodnocení způsobilosti se liší v závislosti na životní fázi procesu. První odběr vzorků se provádí při úvodní výrobě za uvažovaných sériových podmínek, která je označována jako FDPR (Full Day Production Run). Proveďte se odběr vzorků a zahájí se proces regulace u vybraných znaků kvality s následným vyhodnocením pomocí ukazatele  $P_{pk}$ . Musí se odebrat minimálně 25 podskupin s celkovým počtem nejméně 100 jednotek. Ukazatel  $P_{pk}$  se používá pro zohledňování veškeré variability procesu (mezi podskupinami, ale i v rámci jednotlivých podskupin) a je tak pro vyhodnocení nově zaváděných procesů vhodnější než  $C_{pk}$ . K výpočtu se využívá statistický software QS-STAT, s jehož pomocí se rozhodne o uvolnění nebo zamítnutí procesu či stroje pro sériovou výrobu. Na základě výsledné hodnoty  $P_{pk}$  se volí další postup dle následujících kritérií:

Proces je nezpůsobilý ( $P_{pk} < 1,0$ ):

- zavedení 100% kontroly nebo zavedení poka-yoke,
- stanovení akčního plánu pro zlepšení procesu.

Proces je podmíněčně způsobilý ( $1,0 \leq P_{pk} < 2,0$ ):

- zavedení SPC,
- stanovení akčního plánu pro zlepšení procesu.

Proces je způsobilý ( $P_{pk} \geq 2,0$ ):

- pravidelná kontrola se zápisem do kontrolního listu.

V sériové fázi se již předpokládá, že proces je statisticky zvládnutý a může se tedy hodnotit jeho způsobilost. Sebraná data by měla zahrnovat měření během různých dní s různými šaržemi vstupního materiálu a od více operátorů. Data musí pocházet nejméně z 25 podskupin s rozsahem  $n \geq 3$ .

První vyhodnocení  $C_{pk}$  musí proběhnout tři měsíce po ukončení projektové fáze a předání procesu do sériové výroby. V té době se již předpokládá statisticky zvládnutý proces a je tedy možné přistoupit ke změně hodnocených ukazatelů z  $P_{pk}$  na  $C_{pk}$ , který je dále pro hodnocení procesu vhodnější.

Podobně jako v projektové fázi se i v tomto případě na základě hodnoty  $C_{pk}$  volí další postup dle následujících kritérií:

Proces je nezpůsobilý ( $C_{pk} < 1,33$ ):

- zavedení 100% kontroly nebo zavedení poka-yoke,
- stanovení akčního plánu pro zlepšení procesu.

Proces je podmíněčně způsobilý ( $1,33 < C_{pk} < 1,67$ ):

- zavedení SPC měřením,
- stanovení akčního plánu pro zlepšení procesu.

Proces je způsobilý ( $C_{pk} \geq 1,67$ ):

- pravidelná kontrola se zápisem do kontrolního listu.

Pokud ve sledovaném období nedojde u procesu k žádné změně, řídí se opakování hodnocení způsobilosti následujícími pravidly:

$C_{pk} \leq 1,33$

- měření se opakuje minimálně 1× za tři měsíce,
- 25 podskupin s rozsahem  $n = 3$ .

$$C_{pk} \geq 1,33$$

- měření se opakuje minimálně 1× za rok,
- 25 podskupin s rozsahem  $n = 3$ .

Dojde-li v procesu ke změnám, které mohou ovlivnit znaky kvality, musí se výpočet ukazatele  $P_{pk}$  zopakovat. Změny lze rozdělit do tří skupin:

- Výrobní zařízení:
  - přesun stroje,
  - změna toku materiálu,
  - nové zařízení (např. rozšíření kapacity – duplicita).
- Materiál:
  - změna chemického složení,
  - změna povrchové úpravy,
  - změna tepelné úpravy,
  - nový dodavatel.
- Operátoři:
  - zavedení nové směny.

## 4 Způsobilost procesu obrábění přední a zadní hlavy kompresoru

Kompresor se skládá z několika desítek dílů, které jsou do sebe postupně montovány. Přední a zadní hlava jsou hlavními částmi a společně tvoří tělo kompresoru. Za vysokého tlaku jsou odlévány z hliníku a následně obráběny do požadovaných tvarů a přesností, které jsou nutné pro správnou funkci.

Kvůli úspoře místa a nákladů bylo rozhodnuto přestěhovat obráběcí linku pro přední a zadní hlavu do nové budovy. Z toho důvodu bylo nutné zajistit po jejich přestěhování hladký rozjezd výroby, aby nebyly ohroženy dodávky zákazníkům. Jedná se o dvě nezávislé výrobní linky, které byly stěhovány souběžně.

Obráběcí linka přední hlavy se skládá celkem ze čtyř výrobních operací, z čehož jsou u tří používány CNC stroje (computer numerical control). První a druhá operace představuje soustružení a je tzv. zdvojená (dva totožné soustruhy dělají stejnou operaci kvůli zrychlení výrobního taktu). Následuje třetí operace, což je pětiosé obráběcí centrum, které souběžně obrábí dva díly během jednoho cyklu. Čtvrtou operací je oplach, kde se díly odmašťují a čistí od špon a následně jsou buď uskladněny, nebo odeslány rovnou na montážní linku.

Linka na obrábění zadní hlavy zahrnuje pět výrobních operací, z nichž čtyři jsou obsluhované CNC stroji. První operace je i v tomto případě soustružení, následované frézováním a vrtáním otvorů v druhé operaci a vrtáním závitových otvorů ve třetí a čtvrté operaci. Poslední pátá operace je opět oplach, který zajišťuje čistotu dílů před odesláním na montážní linku.

Dle interních pravidel by se při stěhování zařízení měl vyhodnotit ukazatel výkonnosti  $P_{pk}$  pro vybrané znaky kvality a tím prokázat způsobilost stroje i po této změně. Vzhledem k povaze tohoto procesu by ale sběr dat byl pro vyhodnocení ukazatele  $P_{pk}$  příliš náročný na počet odebraných jednotek. Z toho důvodu se tedy raději přistoupilo k vyhodnocení způsobilosti stroje ( $C_{mk}$ ), které je méně náročné na počet kontrolovaných jednotek, protože se nezohledňují vlivy vstupního materiálu (např. rozdíly v šaržích), obsluhy, zahřívání stroje apod. Zpravidla se vyhodnocuje způsobilost před i po stěhování, aby bylo možné porovnat výsledek nejen vůči úrovni požadované interními specifikacemi, ale také vůči předchozím

výsledkům, což zajišťuje objektivní náhled a pomáhá k pochopení celkové situace. Díky tomu je také možné posoudit vliv stěhování na proces.

V tomto konkrétním případě bohužel tento postup nebylo možné aplikovat kvůli nedostatku času na přípravu a omezené kapacitě měrové laboratoře. Nakonec se tedy přistoupilo pouze k vyhodnocení ukazatele  $C_{mk}$  po stěhování.

K výpočtu  $C_{mk}$  se zvolilo 30 jednotek odebraných ze stroje v řadě po sobě. U zdvojených operací se vyhodnocení provedlo pro každý ze dvou strojů. Podmínkou pro uvolnění procesu bylo  $C_{mk} \geq 1,33$  pro normální znaky kvality a  $C_{mk} \geq 1,67$  pro speciální znaky kvality.

#### 4.1 Způsobilost soustruhů při obrábění přední hlavy

Obr. 9 ukazuje přední hlavu kompresoru po obrobení. Díl má dva fixační brakety, označené čísly 1 a 2, které se používají k jeho montáži na motor. Dále se na něm nachází sací port, označený číslem 3, kterým se nasává směs chladiva a oleje dovnitř kompresoru. Důležitá je také vnitřní část (na obrázku není vidět), která má následně zásadní vliv na správnou funkci kompresoru.



*Obr. 9 Přední hlava kompresoru*

#### Výběr vzorků

Obrábění přední hlavy se skládá celkem ze tří výrobních operací a oplachu, pro první dvě operace jsou používány soustruhy (dva stejné pro každou z nich) a třetí je pětiosé obráběcí centrum, které obsluhuje dvě základací hnízda zároveň. Počet odebraných vzorků pro výpočet ukazatele  $C_{mk}$  by tedy měl být  $3 \times (30 + 30) =$

180. Za předpokladu, že měření jednoho kusu zabere průměrně 20 minut, by to znamenalo 30 hodin čistého času měření v laboratoři a další čas na vyhodnocení a případný nový odběr. Z toho důvodu se kusy odebíraly až po poslední operaci.

Skutečný odběr jednotek probíhal takto:

a) pravý soustruh z 1. a 2. operace + pravé hnízdo z 3. operace – 30 vzorků,

b) levý soustruh z 1. a 2. operace + levé hnízdo z 3. operace – 30 vzorků.

Celkem se tedy odebralo pouze 60 vzorků, díky čemuž byl zredukován čas potřebný k měření na třetinu při zachování zohlednění vlivu předchozích operací na celkový výsledek.

Dalším krokem byl výběr jednotlivých znaků kvality, které se měly vyhodnocovat, protože vzhledem ke složitosti dílu nebylo možné měřit všechny. Zpravidla se vždy vyhodnocují všechny speciální znaky kvality (SC) k nimž se přidává několik dalších, které jsou z nějakého důvodu považovány za významné či nestabilní a je třeba je také sledovat.

Pro potřeby vyhodnocení stability obrábění přední hlavy bylo zvoleno celkem 21 znaků kvality, jejichž seznam s hodnocením je uveden v tabulce přílohy 1. Dva z těchto znaků kvality byly vybrány pro podrobnější vyhodnocení, které je popsáno v následujících kapitolách. Jedná se o pozici horního fixačního braketu a pozici sacího portu, které jsou uvedeny v tab. 2.

**Tab. 2 Vybrané sledované znaky kvality**

| Číslo | Sledovaný znak kvality                | Cílová hodnota / tolerance |
|-------|---------------------------------------|----------------------------|
| 6     | Pozice horního fixačního braketu (SC) | 40 ±0,1                    |
| 20    | Pozice sacího portu (SC)              | 67 ±0,2                    |

Všechny vybrané znaky kvality bylo dále nutné rozdělit do skupin pro snadnější vyhodnocení a určení minimální požadované úrovně  $C_{mk}$ .

Znaky byly rozděleny dle následujících kritérií:

1. Způsob měření:

- manuální (posuvné měřidlo, mikrometr, parametr apod.),
- automatické (CMM, kruhoměr, apod.).

U manuálního měření je zpravidla vyšší riziko chybovosti a je zapotřebí na to dbát při vyhodnocování výsledků.

2. Typ znaku kvality:

- speciální (požadovaná úroveň způsobilosti  $C_{mk} \geq 1,67$ ),
- normální (požadovaná úroveň způsobilosti  $C_{mk} \geq 1,33$ ).

3. Typ tolerancí:

- jednostranné (zpravidla nemají normální rozdělení, v tomto případě se vyhodnocovalo pouze  $C_{mk}$ ),
- oboustranné (zpravidla lze předpokládat normální rozdělení, v tomto případě se vyhodnocovalo  $C_m$  i  $C_{mk}$ ).

Následující část diplomové práce popisuje průběh vyhodnocení vybraných znaků kvality. Před vlastním vyhodnocením způsobilosti byl použit regulační diagram pro individuální hodnoty, aby se vyloučila existence vymezitelných příčin variability. Následně byl sestaven histogram a pravděpodobnostní graf pro ověření normality procesu a poté bylo přistoupeno k vlastnímu výpočtu způsobilosti stroje.

## Pozice sacího portu

V tab. 3 jsou zobrazena naměřená data dílů, která byla odebrána z pravé strany 3. operace.

**Tab. 3 Zdrojová data - pozice sacího portu**

| Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 1        | 66,939        | 11       | 66,910        | 21       | 66,894        |
| 2        | 66,934        | 12       | 66,908        | 22       | 66,895        |
| 3        | 66,928        | 13       | 66,906        | 23       | 66,670        |
| 4        | 66,930        | 14       | 66,897        | 24       | 66,949        |
| 5        | 66,921        | 15       | 66,899        | 25       | 66,893        |
| 6        | 66,916        | 16       | 66,896        | 26       | 66,895        |
| 7        | 66,912        | 17       | 66,896        | 27       | 66,894        |
| 8        | 66,909        | 18       | 66,895        | 28       | 66,892        |
| 9        | 66,909        | 19       | 66,896        | 29       | 66,890        |
| 10       | 66,904        | 20       | 66,897        | 30       | 66,894        |

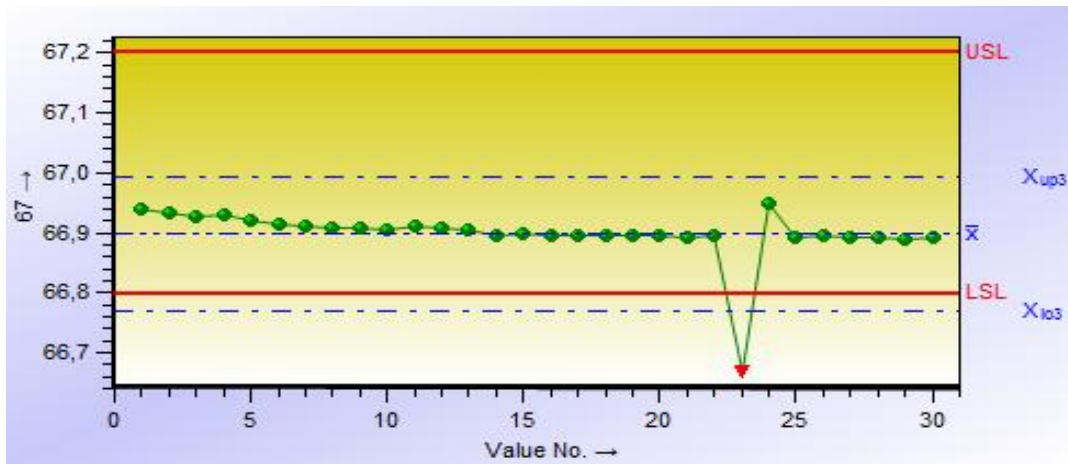
Na obr. 10 je regulační diagram pro individuální hodnoty sestavený pomocí software QS-STAT. Regulační meze jsou asymetrické, protože software automaticky zvolil model lognormálního rozdělení. Pro výpočet regulačních mezí je nezbytné zvolit alternativní přístup. Software QS-STAT v takovém případě používá kvantilovou metodu. Protože však proces není statisticky zvládnutý, jeho způsobilost se zatím počítat nemůže, a proto nejsou uváděny výpočty kvantilů potřebných pro určení regulačních mezí, ale pouze jejich výsledné hodnoty pro lepší orientaci.

$$CL = \bar{x} = 66,89893$$

$$UCL = X_{99,865\%} = 66,99273$$

$$LCL = X_{0,135\%} = 66,76995$$





**Obr. 10 Regulační diagram pro pozici sacího portu před úpravou**

V sestrojeném diagramu na obr. 10 jsou kromě regulačních mezí  $x_{up3}$  a  $x_{lo3}$ , které jsou znázorněny modrou barvou, červeně zakresleny také toleranční meze  $USL$  a  $LSL$ , které jsou popsány v tab. 2. V diagramu je znatelný bod 23 mimo regulační meze a dokonce mimo celé toleranční pole. Tento bod je v tab. 3 zvýrazněn červenou barvou.

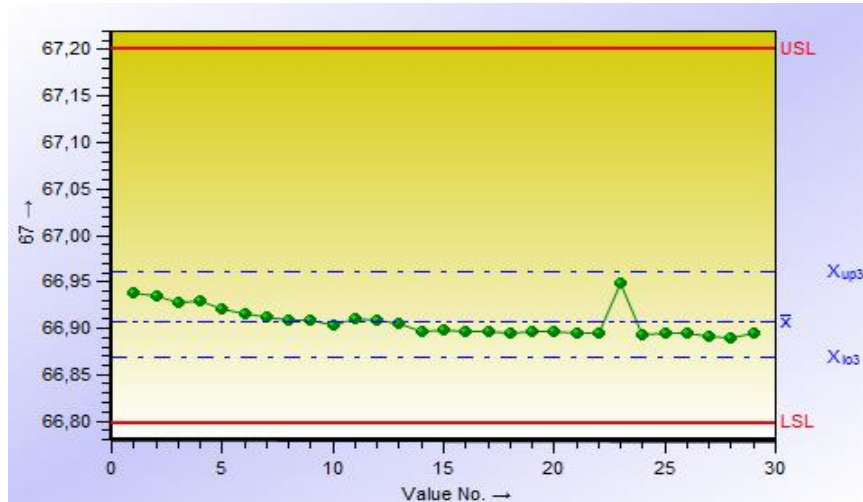
Kromě tohoto signálu je v regulačním diagramu patrný i klesající trend, který může být způsoben např. nedostatečným zahřátím stroje před vlastním odebráním vzorků. Protože bod 23 vůbec neodpovídá poloze ostatních hodnot, na první pohled bylo zřejmé, že zde došlo k nějaké chybě, ať už při výrobě samotného dílu nebo při jeho měření. Příčina této chyby musela být identifikována, aby bylo možné bod z měření odebrat a sestrojít diagram s revidovanými mezemi.

Jako první se musela potvrdit správnost měření (v tomto případě bylo použito CMM) a tím se ujistit, že se skutečně jedná o chybu při výrobě dílů. Vzorek 23 se tedy zkontroloval vizuálně, aby se vyloučilo jeho fyzické poškození (např. otlak od naražení apod.). Měřená část se očistila hadříkem s lihem, aby se zabránilo vlivu nečistot a vrátil se do laboratoře na přeměření. Po přeměření vzorku se ukázalo, že se skutečně jednalo pouze o chybu měření a hodnota mohla být ze souboru odebrána. Na obr. 11 je vidět regulační diagram již s revidovanými mezemi, tedy po odebrání vzorku 23.

$$CL = \bar{x} = 66,90683$$

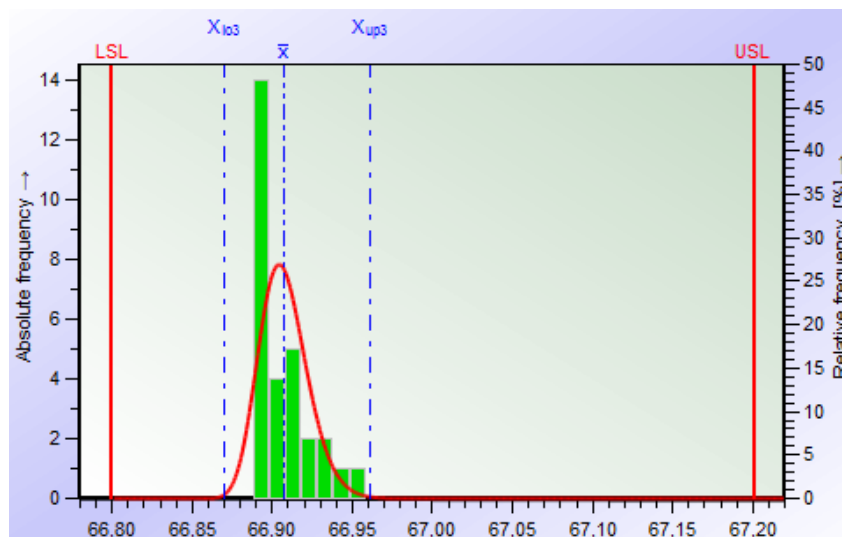
$$UCL = X_{99,865\%} = 66,96085$$

$$LCL = X_{0,135\%} = 66,86952$$



**Obr. 11 Regulační diagram pro pozici sacího portu s revidovanými mezemi**

Je zde patrná existence vymezitelné příčiny variability u vzorku 24 (v diagramu s revidovanými mezemi bod 23), nicméně bod nepřekročil regulační mez a příčina se tedy dále nezkoumala. Mnohem důležitější je znatelný klesající trend, který by se v ustáleném procesu tohoto druhu neměl objevovat. Software QS-STAT vyhodnotil rozdělení znovu jako lognormální, čemuž odpovídá i histogram na obr. 12.



**Obr. 12 Histogram pro pozici sacího portu s revidovanými mezemi**

Protože pro tento znak kvality se ale normální rozdělení předpokládá, bylo třeba zjistit důvod klesajícího trendu a odstranit jej. V tomto případě se dospělo k závěru, že díly byly odebrány příliš brzy po spuštění stroje a ten tak pravděpodobně nebyl dostatečně zahřátý. Přistoupilo se tedy k novému odběru vzorků. V tab. 4 jsou zobrazena nově odebraná data.

**Tab. 4 Zdrojová data - pozice sacího portu - nový odběr**

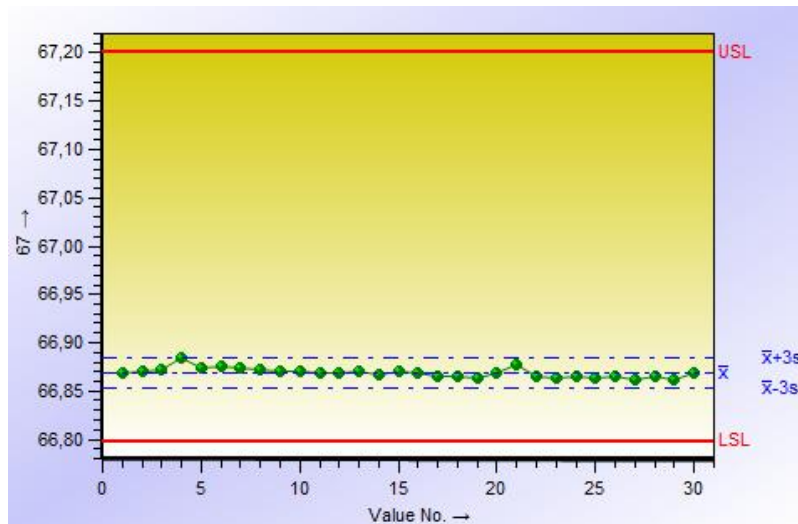
| Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 1        | 66,869        | 11       | 66,868        | 21       | 66,878        |
| 2        | 66,871        | 12       | 66,869        | 22       | 66,865        |
| 3        | 66,872        | 13       | 66,870        | 23       | 66,863        |
| 4        | 66,885        | 14       | 66,867        | 24       | 66,866        |
| 5        | 66,874        | 15       | 66,871        | 25       | 66,864        |
| 6        | 66,875        | 16       | 66,869        | 26       | 66,865        |
| 7        | 66,874        | 17       | 66,865        | 27       | 66,861        |
| 8        | 66,873        | 18       | 66,866        | 28       | 66,865        |
| 9        | 66,871        | 19       | 66,863        | 29       | 66,862        |
| 10       | 66,871        | 20       | 66,868        | 30       | 66,868        |

Obr. 13 zobrazuje sestrojený regulační diagram pro nově odebraná data. Kromě dvou drobných odchylek u vzorků 4 a 21 není přítomný žádný signál a žádný trend již není patrný. Proces tedy lze uznat za statisticky zvládnutý. Regulační meze nyní již vycházejí z normálního rozdělení a jsou značeny jako  $\bar{x} + 3s$  a  $\bar{x} - 3s$ .  $s$  se vypočítá dle vzorce pro výběrovou směrodatnou odchylku.

$$CL = \bar{x} = 66,86893$$

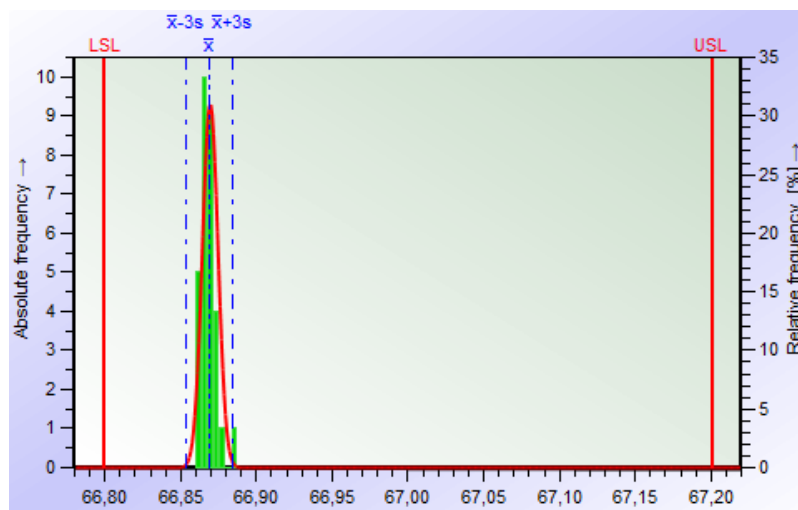
$$UCL = \bar{x} + 3s = 66,88433$$

$$LCL = \bar{x} - 3s = 66,85354$$



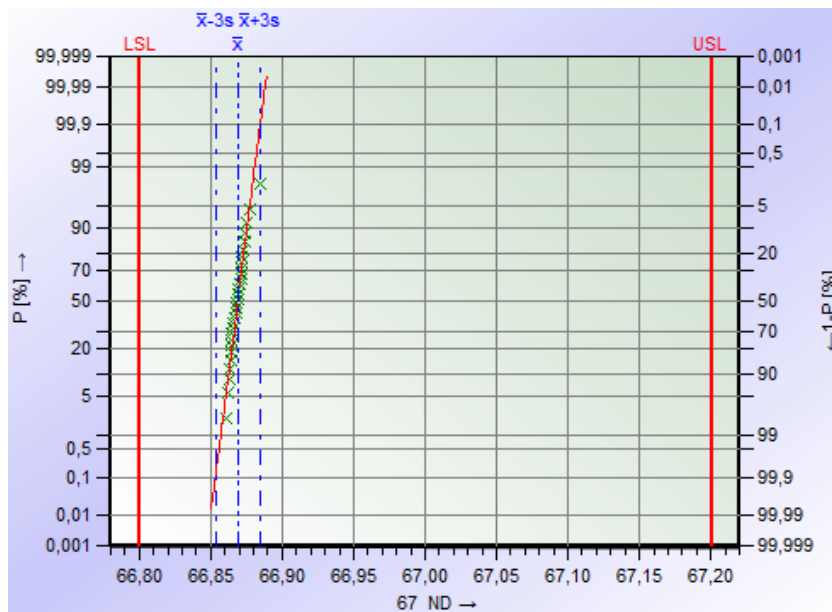
**Obr. 13 Regulační diagram pro pozici sacího portu s nově odebranými daty**

Na obr. 14 je již sestrojený histogram z nově odebraných dat, ze kterého je patrné, že proces není centrován a naměřené hodnoty jsou soustředěny blíže k dolní toleranční mezi.



**Obr. 14 Histogram pro pozici sacího portu s nově odebranými daty**

Na obr. 15 je sestrojen i graf pro ověření normality rozdělení. Vynesené body leží přibližně v přímce, takže lze předpoklad normálního rozdělení považovat za splněný.



Obr. 15 Graf normality pro pozici sacího portu s nově odebranými daty

Výpočet ukazatelů  $C_m$  a  $C_{mk}$  byl proveden dle vzorců (41), (42), (43) a (44):

$$USL = 67,2$$

$$LSL = 66,8$$

$$\bar{x} = 66,86893$$

$$s = 0,00513$$

$$\hat{C}_m = \frac{67,2 - 66,8}{6 \times 0,00513} \doteq \frac{0,4}{0,03079} \doteq 12,99$$

$$\hat{C}_{mL} = \frac{66,86893 - 66,8}{3 \times 0,00513} \doteq \frac{0,06893}{0,015395} \doteq 4,48$$

$$\hat{C}_{mU} = \frac{67,2 - 66,86893}{3 \times 0,00513} \doteq \frac{0,33107}{0,015395} \doteq 21,51$$

$$\hat{C}_{mk} \doteq 4,48$$

Stroj tedy bylo při požadované úrovni 1,67, možno uznat za způsobilý.

### Pozice horního fixačního braketu

Pozice horního fixačního braketu je speciálním znakem kvality. Hladina požadované úrovně způsobilosti je dle interních pravidel 1,67. V tab. 5 jsou vidět naměřené hodnoty, které byly použity pro vynesení do regulačního diagramu.

**Tab. 5 Zdrojová data – pozice horního fixačního braketu**

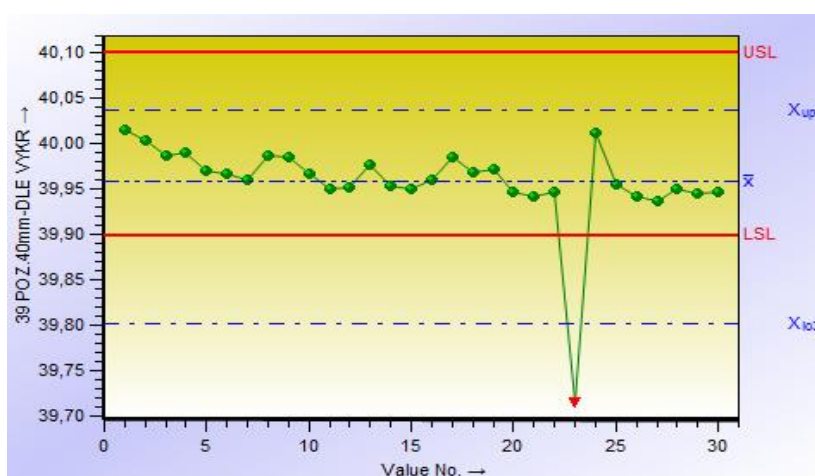
| Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 1        | 40,015        | 11       | 39,950        | 21       | 39,943        |
| 2        | 40,004        | 12       | 39,953        | 22       | 39,948        |
| 3        | 39,988        | 13       | 39,977        | 23       | 39,716        |
| 4        | 39,991        | 14       | 39,954        | 24       | 40,013        |
| 5        | 39,970        | 15       | 39,951        | 25       | 39,956        |
| 6        | 39,968        | 16       | 39,960        | 26       | 39,942        |
| 7        | 39,961        | 17       | 39,985        | 27       | 39,937        |
| 8        | 39,988        | 18       | 39,969        | 28       | 39,950        |
| 9        | 39,985        | 19       | 39,972        | 29       | 39,946        |
| 10       | 39,967        | 20       | 39,948        | 30       | 39,947        |

Sestrojený regulační diagram na obr. 16 ukazuje, že bod mimo toleranční pole byl stejně jako u pozice sacího portu objeven také zde, kdy se opět jednalo o vzorky z pravé strany 3. operace. I v tomto případě to byl vzorek 23, což opět ukazovalo na špatné měření. Pro výpočet regulačních mezí byl použit stejný postup jako u diagramu pro pozici sacího portu, tedy pomocí kvantilů za předpokladu lognormálního rozdělení.

$$CL = \bar{x} = 39,95847$$

$$UCL = X_{99,865\%} = 40,03812$$

$$LCL = X_{0,135\%} = 39,80145$$



**Obr. 16 Diagram pro pozici horního fixačního braketu před úpravou**

V tomto případě se přistoupilo rovnou k přeměření dílu, protože se jednalo o stejný vzorek, jako u chyby detekované na pozici sacího portu. Výsledek následně potvrdil správnost předpokladu a ukázal, že šlo pravděpodobně o špatné založení dílu do měřicího přípravku, které způsobilo chybu v obou případech. Protože i zde je patrný drobný klesající trend, rozhodlo se o použití nově odebraných dat, která jsou zobrazena v tab. 6.

**Tab. 6 Zdrojová data – pozice horního fixačního braketu – nově odebraná data**

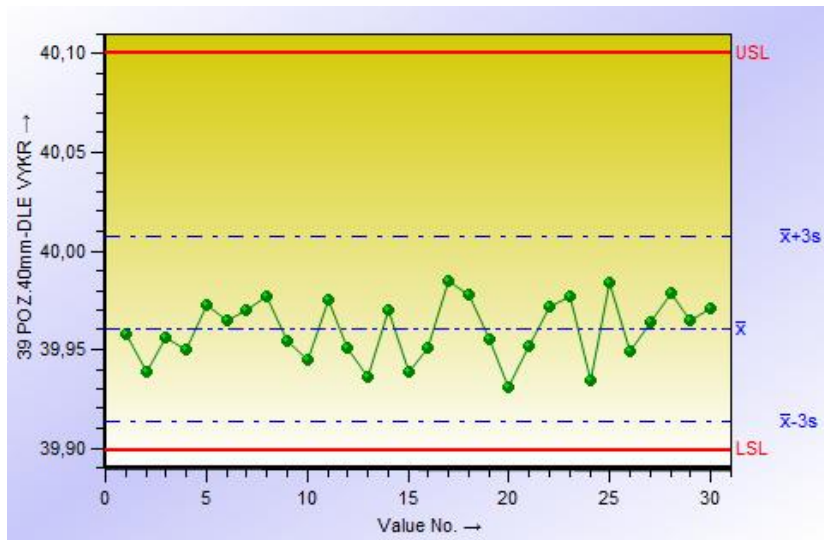
| Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 1        | 39,958        | 11       | 39,975        | 21       | 39,952        |
| 2        | 39,939        | 12       | 39,951        | 22       | 39,972        |
| 3        | 39,956        | 13       | 39,936        | 23       | 39,977        |
| 4        | 39,950        | 14       | 39,970        | 24       | 39,934        |
| 5        | 39,973        | 15       | 39,939        | 25       | 39,984        |
| 6        | 39,965        | 16       | 39,951        | 26       | 39,949        |
| 7        | 39,97         | 17       | 39,985        | 27       | 39,964        |
| 8        | 39,977        | 18       | 39,978        | 28       | 39,979        |
| 9        | 39,954        | 19       | 39,955        | 29       | 39,965        |
| 10       | 39,945        | 20       | 39,931        | 30       | 39,971        |

Na obr. 17 je nově sestrojený regulační diagram již bez viditelného trendu. Střední hodnota procesu je nicméně znatelně blíže k dolní toleranční mezi.

$$CL = \bar{x} = 39,96017$$

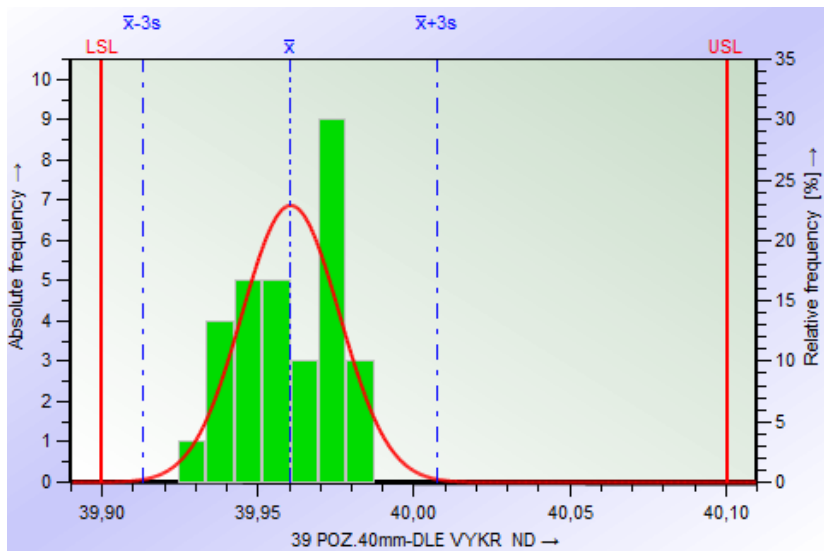
$$UCL = \bar{x} + 3s = 40,00716$$

$$LCL = \bar{x} - 3s = 39,96017$$



**Obr. 17 Regulační diagram pro pozici horního fixačního braketu s revidovanými mezemi**

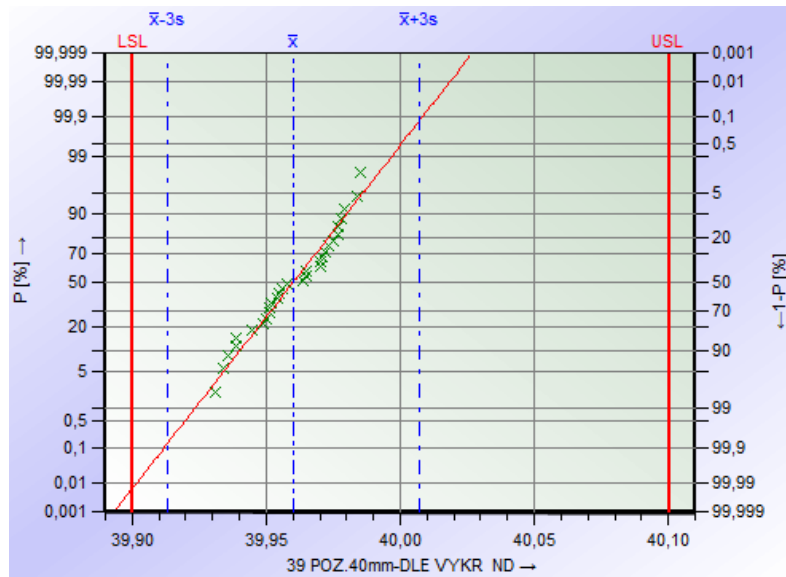
Na obr. 18 je sestrojený histogram, ze kterého je patrné, že proces je posunutý směrem k dolní toleranční mezi.



**Obr. 18 Histogram pro pozici horního fixačního braketu s revidovanými mezemi**

Pro potvrzení je na obr. 19 sestrojen graf normality. I když vynesené body v přímce neleží, odchylky od lineárního průběhu nejsou velké a předpoklad normality bude považován za splněný.





**Obr. 19 Graf normality pro pozici horního fixačního braketu s revidovanými mezemi**

Dále už se mohlo přistoupit k výpočtu způsobilostí stroje. Nejdříve se provedl odhad směrodatné odchylky  $s$  a aritmetického průměru naměřených hodnot  $\bar{x}$  a následně byly vypočítány hodnoty požadovaných ukazatelů dle vzorců (41), (42), (43) a (44):

$$USL = 40,1$$

$$LSL = 39,9$$

$$\bar{x} = 39,96017$$

$$s = 0,01567$$

$$\hat{C}_m = \frac{40,1 - 39,9}{6 \times 0,01567} = \frac{0,2}{0,09399} \doteq 2,13$$

$$\hat{C}_{mL} = \frac{39,96017 - 39,9}{3 \times 0,01567} \doteq \frac{0,06017}{0,046995} \doteq 1,28$$

$$\hat{C}_{mU} = \frac{40,1 - 39,96017}{3 \times 0,01567} \doteq \frac{0,13983}{0,046995} \doteq 2,98$$

$$\hat{C}_{mk} \doteq 1,28$$

Při požadované úrovni  $C_{mk}$  na hladině 1,67 stroj nemohl být uznán za způsobilý. Protože ale hodnota ukazatele  $C_m$  byla 2,13 a šlo tedy pouze o špatnou vycentrovanou viditelnou i z histogramu a regulačního diagramu, mohl být stroj uznán za způsobilý s podmínkou dodatečného seřízení před následující výrobou.

## Celkové vyhodnocení přední hlavy:

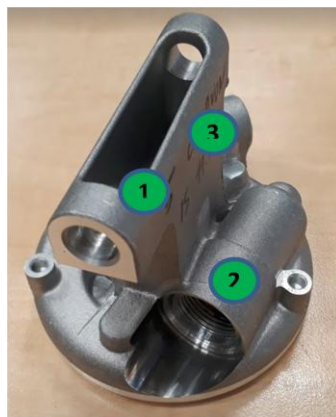
V příloze 1 je tabulka celkového vyhodnocení všech definovaných znaků kvality z levé i pravé výrobní pozice.

Z výsledků je patrné, že u levé výrobní pozice měl ukazatel  $C_{mk}$  pro znaky kvality 2, 7 a 10 (v tabulce přílohy 1 označeny žlutou barvou) nízkou úroveň. Vzhledem k tomu, že ukazatel  $C_m$  byl však vyhodnocen s dobrým výsledkem, dospělo se k závěru, že se jedná pouze o nevycentrovaný proces, což lze upravit drobným zásahem do nastavení stroje. Pro účely uvolnění procesu po přestěhování linky byl stroj i přes nízkou úroveň ukazatele  $C_{mk}$  schválen jako způsobilý s podmínkou, že bude správně nastaven před začátkem sériové výroby.

Dále je v tabulce přílohy 1 vidět, že u znaků kvality pro drsnost plochy nebyl vyhodnocen ukazatel  $C_m$ . To je dáno tím, že se jedná o jednostranné toleranční pole, kde jsou nejlepší výsledky zpravidla u spodní hranice tolerance, tedy u nuly. Ukazatel  $C_m$  byl v tomto případě nerelevantní a hodnotil se pouze ukazatel  $C_{mk}$ , protože centrování procesu nebylo požadavkem.

## 4.2 Způsobilost zadní hlavy kompresoru

Zadní hlava kompresoru není z pohledu obrábění tak složitým dílem jako přední hlava. Jak je vidět na obr. 20, má pouze jeden fixační braket, který je označen číslem 1. Dále je na ní umístěn separátor oleje, označen číslem 2, a také výtlačný port, kterým proudí chladivo pryč z kompresoru. Výtlačný port je označen číslem 3. Složitost obrábění zadní hlavy kompresoru spočívá hlavně v těchto částech, společně s dosedací plochou pro cylinder, která však na obrázku vidět není.



Obr. 20 Zadní hlava kompresoru

Proces obrábění zadní hlavy se skládá celkem ze čtyř obráběcích operací. První je soustružení, poté frézování a vrtání otvorů a nakonec dvě operace pro vrtání závitových otvorů. Všechny tyto operace jsou opět zdvojené kvůli zlepšení taktu linky. Počet odebraných vzorků pro vyhodnocení  $C_{mk}$  by správně odpovídal výpočtu  $4 \times (30 + 30) = 240$ . I v tomto případě se však přistoupilo ke zjednodušení odběru a kombinovanému vyhodnocení, aby se ušetřil čas. Vzorky byly odebírány následovně:

- a) levý soustruh z 1. operace + pravé hnízdo z 2., 3. a 4. operace – 30 vzorků,
- b) pravý soustruh z 1. operace + levá strana z 2., 3. a 4. operace – 30 vzorků.

Pro vyhodnocení obrábění zadní hlavy bylo podobně jako u přední hlavy potřeba dle zkušeností vybrat významné či nestabilní znaky kvality, na kterých se bude demonstrovat stabilita procesu pro celý díl. Bylo vybráno celkem jedenáct znaků kvality, jejichž seznam a celkové hodnocení je v tabulce přílohy 2.

Tab. 7 zobrazuje dva vybrané znaky kvality, jejichž hodnocení způsobilosti je dále podrobněji rozebráno v rámci této práce.

**Tab. 7 Vybrané sledované znaky kvality**

| Číslo | Znak kvality                            | Cílová hodnota / Tolerance | Měřidlo  |
|-------|---|----------------------------|----------|
| 4     | Pozice závitů na výtlačném portu        | 17mm $\pm$ 0,1             | CMM      |
| 8     | Drsnost dosedací plochy na braketu (SC) | Ra3,2                      | Drsnoměr |

### **Pozice závitů na výtlačném portu**

Protože pozice závitů na výtlačném portu není speciálním znakem, je minimální požadovaná úroveň způsobilosti na hladině 1,33. Tab. 8 obsahuje data odebraná na 30 vzorcích, které byly vyrobeny na soustruhu č. 2 u levé strany.

**Tab. 8 Data použita pro první vynesení regulačního diagramu**

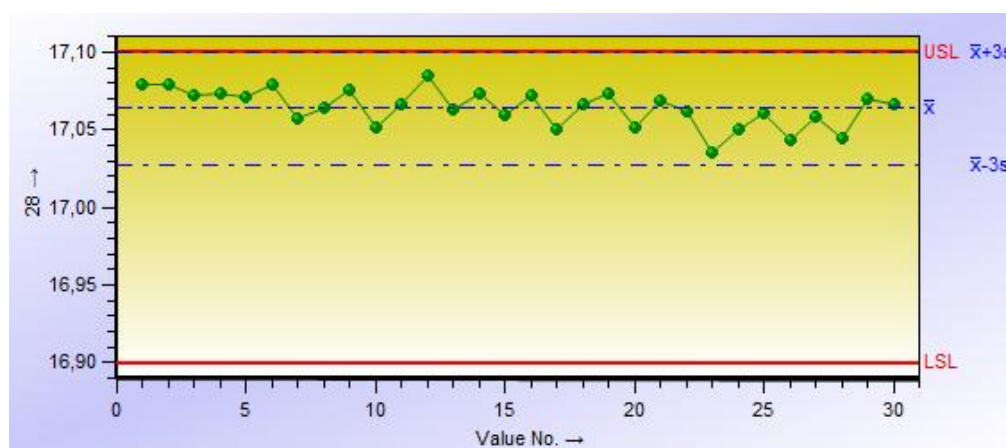
| Pořadí $i$ | Pozorování $x_i$ | Pořadí $i$ | Pozorování $x_i$ | Pořadí $i$ | Pozorování $x_i$ |
|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|
| 1          | 17,079           | 11         | 17,066           | 21         | 17,069           |
| 2          | 17,079           | 12         | 17,085           | 22         | 17,062           |
| 3          | 17,072           | 13         | 17,063           | 23         | 17,035           |
| 4          | 17,073           | 14         | 17,074           | 24         | 17,050           |
| 5          | 17,071           | 15         | 17,060           | 25         | 17,061           |
| 6          | 17,079           | 16         | 17,072           | 26         | 17,043           |
| 7          | 17,057           | 17         | 17,050           | 27         | 17,059           |
| 8          | 17,064           | 18         | 17,067           | 28         | 17,045           |
| 9          | 17,076           | 19         | 17,073           | 29         | 17,070           |
| 10         | 17,052           | 20         | 17,051           | 30         | 17,067           |

Obr. 21 zobrazuje tato data v sestrojeném regulačním diagramu. Červeně jsou označeny horní a dolní hranice tolerančního pole  $USL$  a  $LSL$ , modře centrální přímkka  $\bar{x}$  a přirozené regulační meze  $\bar{x} + 3s$  a  $\bar{x} - 3s$ .

$$CL = \bar{x} = 17,06413$$

$$UCL = \bar{x} + 3s = 17,10038$$

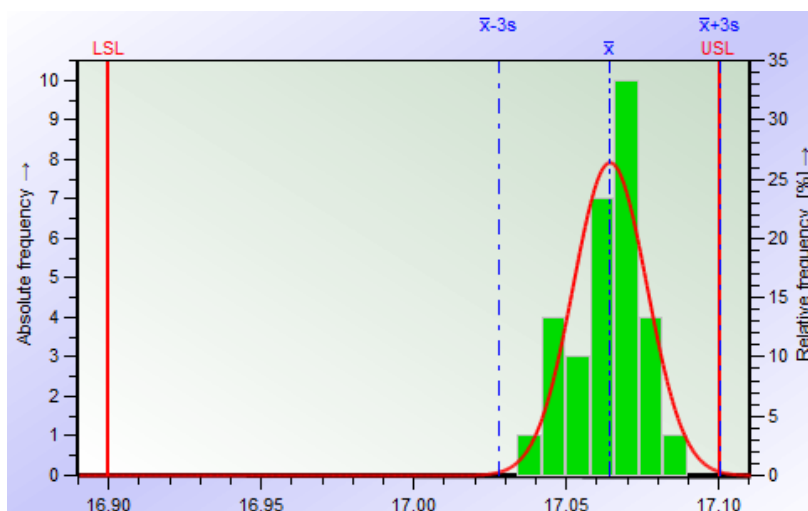
$$LCL = \bar{x} - 3s = 17,02789$$



**Obr. 21 Regulační diagram pro pozici závitu na výtlačném portu**

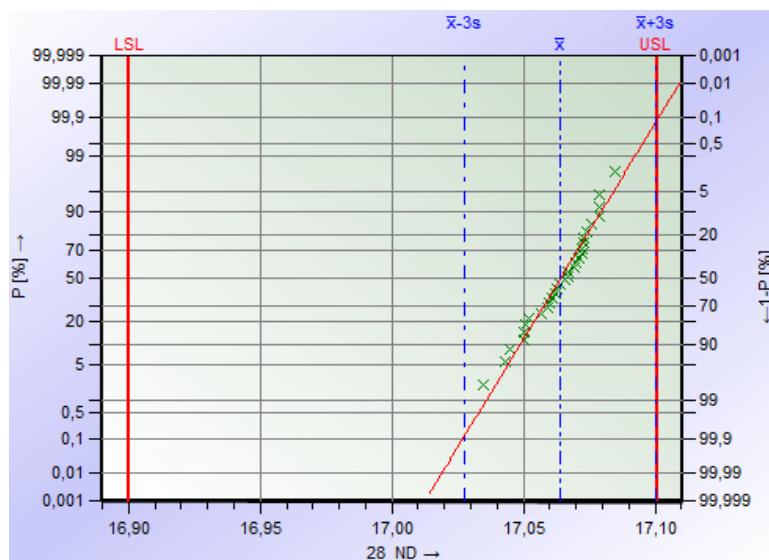
Z regulačního diagramu je jasně patrné, že proces není vycentrovaný a leží blízko horní toleranční meze ( $USL$ ). Není však vidět žádný trend ani jiný signál ukazující na přítomnost vymezitelných příčin variability.

Obr. 22 ukazuje sestrojený histogram. Dle jeho tvaru lze předpokládat, že jde o normální rozdělení, pozice procesu je však zřetelně odchýlená od cílové hodnoty směrem k horní toleranční mezi. Červeně jsou v histogramu opět označeny hranice tolerančního pole  $USL$  a  $LSL$ , modře centrální průměr  $\bar{x}$  a přirozené regulační meze  $\bar{x} + 3s$  a  $\bar{x} - 3s$ .



**Obr. 22 Histogram pro pozici závitu na výtlačném portu**

Na obr. 23 je vidět graf normality, ze kterého je patrné, že průběh se příliš neliší od přímky, díky čemuž lze předpoklad normality považovat za splněný.



**Obr. 23 Graf normality pro pozici závitu na výtlačném portu**

Protože se jedná o normální rozdělení, po odhadnutí směrodatné odchylky  $s$  a aritmetického průměru naměřených hodnot  $\bar{x}$  byl výpočet proveden dle vzorců (41), (42), (43) a (44):

$$USL = 17,1$$

$$LSL = 16,9$$

$$\bar{x} = 17,06413$$

$$s = 0,01208$$

$$\hat{C}_m = \frac{17,1 - 16,9}{6 \times 0,01208} \doteq \frac{0,2}{0,07249} \doteq 2,76$$

$$\hat{C}_{mL} = \frac{17,06413 - 16,9}{3 \times 0,01208} \doteq \frac{0,16413}{0,036245} \doteq 4,53$$

$$\hat{C}_{mU} = \frac{17,1 - 17,06413}{3 \times 0,01208} \doteq \frac{0,03587}{0,036245} \doteq 0,99$$

$$\hat{C}_{mk} \doteq 0,99$$

Výsledná hodnota ukazatele  $C_{mk}$  neodpovídá požadované minimální úrovni 1,33. Vzhledem k výsledku  $C_m$ , které dosahuje hodnoty 2,76, však bylo možné stroj uvolnit s podmínkou, že pozice znaku kvality bude před následující výrobou dodatečně seřizena na střed. Výpočet způsobilosti tedy nebylo nutné opakovat.

### **Drsnost dosedací plochy na braketu**

Posledním znakem kvality, kterým se tato práce zabývá je drsnost dosedací plochy na braketu. Vzorky byly v tomto případě odebrány ze soustruhu na pravé straně výrobní linky. V tab. 9 jsou zobrazeny naměřené hodnoty, které byly získány z prvního odběru.

**Tab. 9 Data použitá pro první vynesení regulačního diagramu**

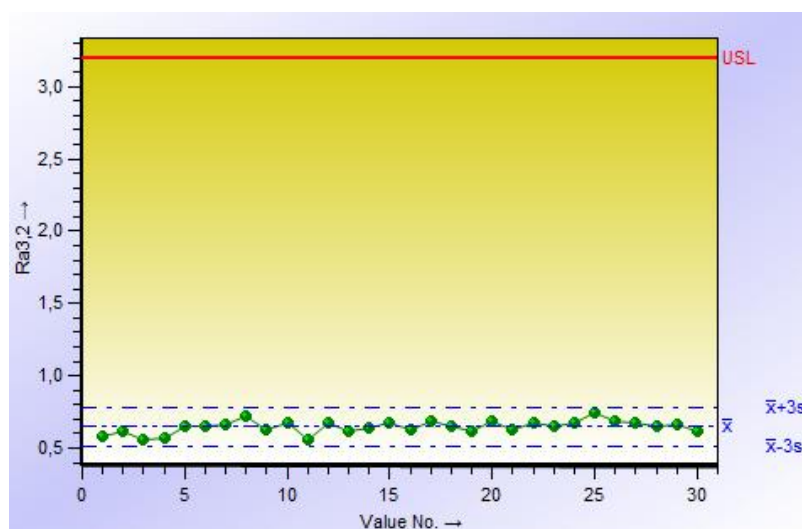
| Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi | Pořadí i | Pozorování xi |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 1        | 0,58          | 11       | 0,56          | 21       | 0,63          |
| 2        | 0,62          | 12       | 0,68          | 22       | 0,67          |
| 3        | 0,56          | 13       | 0,62          | 23       | 0,65          |
| 4        | 0,57          | 14       | 0,64          | 24       | 0,68          |
| 5        | 0,65          | 15       | 0,67          | 25       | 0,74          |
| 6        | 0,65          | 16       | 0,63          | 26       | 0,69          |
| 7        | 0,66          | 17       | 0,69          | 27       | 0,67          |
| 8        | 0,72          | 18       | 0,65          | 28       | 0,65          |
| 9        | 0,63          | 19       | 0,62          | 29       | 0,66          |
| 10       | 0,67          | 20       | 0,69          | 30       | 0,62          |

Na obr. 24 je regulační diagram, k jehož sestavení byla tato data použita. V tomto případě je třeba zdůraznit, že se jedná o jednostranné toleranční pole, kde se očekává výsledek co nejbližší nule. V takovém případě se nevyhodnocuje  $C_m$ , ale pouze  $C_{mk}$ .

$$CL = \bar{x} = 0,656$$

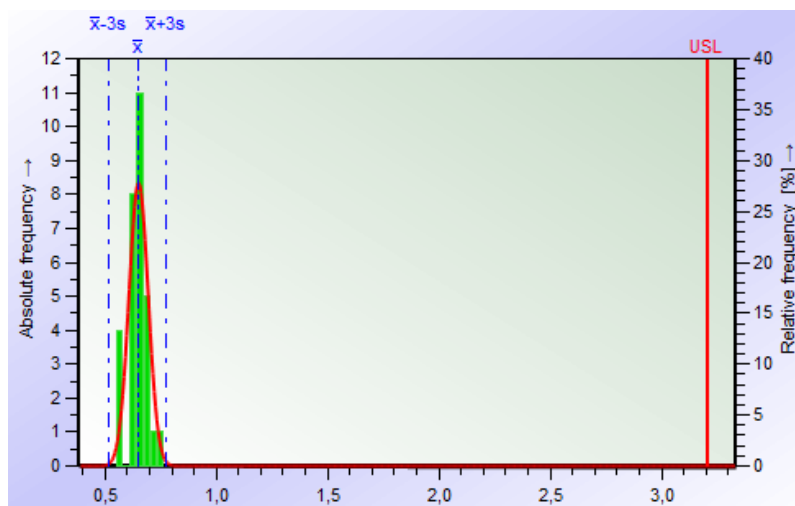
$$UCL = \bar{x} + 3s = 0,81905$$

$$LCL = \bar{x} - 3s = 0,52478$$



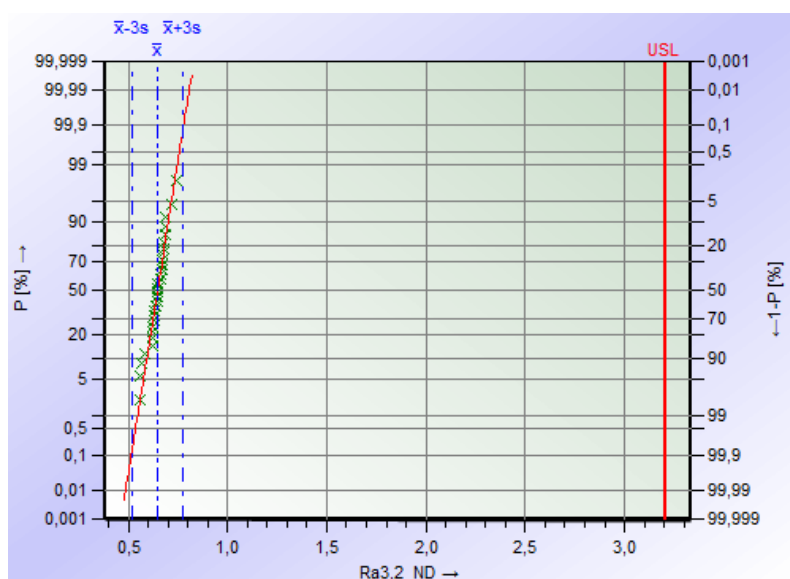
**Obr. 24 Regulační diagram pro drsnost dosedací plochy na braketu**

Obr. 25 ukazuje sestavený histogram. Jeho tvar se zdá být normální, data jsou rozvržena rovnoměrně od středu. Pozice procesu je velmi blízko nule.



**Obr. 25 Histogram pro drsnost dosedací plochy na braketu**

Obr. 26 následně zobrazuje graf normality, na kterém je vidět, že naměřená data jsou zcela v přímce bez výraznějších odchylek. Předpoklad normality lze uznat za splněný.



**Obr. 26 Graf normality pro drsnost dosedací plochy na braketu**

Jak bylo popsáno dříve, protože se jedná o jednostranné toleranční pole, vyhodnocovalo se pouze  $C_{mk}$ . Pro výpočet byly použity vzorce (42) a (44):

$$\bar{x} = 0,64733$$

$$s = 0,04299$$

$$\hat{C}_{mk} = \hat{C}_{mU} = \frac{3,2 - 0,64733}{3 \times 0,04299} \doteq \frac{2,55267}{0,12897} \doteq 19,66$$



Při požadované úrovni  $C_{mk} \geq 1,67$  lze tedy stroj bezpečně uzнат za způsobilý.

### **Celkové vyhodnocení zadní hlavy**

V příloze 2 je zobrazena tabulka s celkovými výsledky hodnocených znaků kvality na zadní hlavě kompresoru. Všechny měřené znaky kvality lze dle výsledku uzнат za způsobilé a proces tak bylo možné uvolnit do sériové výroby. Pouze u pozice závitů na výtlačném portu bylo potřeba dodatečně seřídít proces na střed tolerance.

## **5 Analýza systému měření ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o.**

U měřidel, která se používají k měření speciálních znaků kvality, se provádí analýza systému měření alespoň jedenkrát ročně.

Měření opakovatelnosti se provádí na 10 kusech. Reprodukovatelnost se vyhodnocuje z měření 3 operátorů (vždy je nejvhodnější použít operátory z linky, kteří provádí měření v sériové výrobě). Při nově zaváděné výrobní lince provádí měření metrolog společně s procesním inženýrem. Vyhodnocení se provádí pomocí softwaru Palstat CAQ (modul Palstat MSA) nebo v software ASYM.

O vhodnosti použitelnosti měřidla v případě kdy hodnota  $GRR$  je mezi 10 % a 30 % rozhoduje procesní inženýr. Rozhodnutí by mělo vycházet z důležitosti měření a nákladů vynaložených na měřicí zařízení.

Pokud systém měření nevyhovuje, tzn., že platí  $GRR > 30\%$  nebo je zamítavé rozhodnutí u systému měření kdy hodnota  $GRR$  je mezi 10 % a 30 %, je nutné vynaložit veškeré úsilí na zlepšení systému měření. Návrh pro zlepšení systému provádí procesní inženýr společně s inženýrem kvality.

### **Aplikace analýzy systému měření při stěhování obráběcí linky**

Podle interních pravidel se musí provádět analýza systému měření u všech měřidel, která jsou používána pro měření speciálních (SC) znaků kvality. Protože v tomto případě se jednalo pouze o stěhování existujícího procesu, kde nebylo zavedení žádného nového měřidla plánováno, mohl být za tímto účelem použit seznam již existujících měřidel.

V tab. 10 je seznam SC znaků kvality na přední hlavě, u nichž se vyžaduje provedení studie R&R. V prvním sloupci je vždy krátký popis znaku kvality, ve druhém sloupci je popsána specifikace znaku kvality, vyjádřená nominální hodnotou a tolerancí a ve zbývajících třech sloupcích je číslo použitého měřidla, jeho umístění a druh.

**Tab. 10 Seznam znaků kvality podléhajících R&R u přední hlavy**

| Určení<br>(měřený znak kvality)    | Specifikace<br>měřeného znaku<br>kvality (mm) | Číslo<br>měřidla | Umístění<br>měřidla | Druh<br>měřidla    |
|------------------------------------|---|------------------|---------------------|--------------------|
| Vnitřní průměr                     | 24,0±0,025                                    | LX01043          | Výroba              | Aeropan            |
| Vnitřní průměr                     | 32,0+0,011-0,005                              |                  |                     |                    |
| Vnitřní průměr                     | 100,6±0,05                                    |                  |                     |                    |
| Vnitřní průměr                     | 8,5±0,1                                       | LN00050          | Výroba              | Posuvné<br>měřidlo |
| Vnitřní průměr oválný              | 8,5±0,1 X 11,5±0,1                            |                  |                     |                    |
| Délka fixačního braketu            | 80,0±0,1                                      |                  |                     |                    |
| Vnitřní průměr                     | 21,3+0,05+0,12                                | LW00174          | Výroba              | Mikrometr          |
| Pozice ledvinky levá strana        | 12° 11,50-12,50                               | LX00984          | Laboratoř           | CMM                |
| Pozice ledvinky levá strana        | 16° 15,50-16,25                               |                  |                     |                    |
| Pozice ledvinky pravá strana       | 12° 11,50-12,50                               |                  |                     |                    |
| Pozice ledvinky pravá strana       | 16° 15,50-16,25                               |                  |                     |                    |
| Výška roviny                       | 55,820-56,020                                 |                  |                     |                    |
| Odskok dosedací plochy             | 0,011-0,019                                   |                  |                     |                    |
| Konkávní tvar dosedací plochy      | 0,006-0,010                                   |                  |                     |                    |
| Pozice fixačního braketu od osy    | 40±0,1  |                  |                     |                    |
| Pozice fixačního braketu od osy    | 50±0,1  |                  |                     |                    |
| Pozice fixačního braketu           | 69±0,1  |                  |                     |                    |
| Pozice fixačního braketu           | 138±0,2                                       |                  |                     |                    |
| Pozice fixačního braketu           | 43,48±0,1                                     |                  |                     |                    |
| Pozice závitu u sacího portu       | 19,0±0,1                                      |                  |                     |                    |
| Pozice sacího portu                | 15,0±0,1                                      |                  |                     |                    |
| Válcovitost průměru 22             | 0,003   | LX00985          | Laboratoř           | Kruhoměr           |
| Kruhovitost průměru 22             | 0,003   |                  |                     |                    |
| Kolmost dosedací plochy na ložisko | 0,005   |                  |                     |                    |
| Kruhovitost průměru 100,6          | 0,02  |                  |                     |                    |

Vzhledem k povaze změny, kdy se stěhovala výrobní linka z jedné budovy do druhé, bylo možné vyloučit všechna měřidla, která nemohla být tímto stěhováním

ovlivněna, a jejich způsobilost tedy nebyla ohrožena. Byla vyloučena všechna měřidla umístěna v laboratoři a ruční měřidla. Pro ověření zůstalo pouze vzduchové měřidlo Aeropan označené v seznamu číslem *LX01043*, které se používá pro měření některých vnitřních průměrů na díle a je zabudované přímo ve výrobní lince.

Tab. 11 ukazuje stejný typ seznamu SC znaků kvality u zadní hlavy.

**Tab. 11 Seznam měřidel podléhajících R&R u zadní hlavy**

| Určení<br>(měřený znak kvality)     | Specifikace<br>měřeného znaku<br>kvality | Číslo<br>měřidla | Umístění<br>měřidla | Druh<br>měřidla    |
|-------------------------------------|--|------------------|---------------------|--------------------|
| Vnitřní průměr                      | 16,0-0,012-0,030                         | LX01044          | Výroba              | Aeropan            |
| Délka úchytu                        | 80±0,2                                   | LN00050          | Výroba              | Posuvné<br>měřidlo |
| Vnitřní průměr                      | 15,45+0,12+0,05                          | LW00135          | Výroba              | Mikrometr          |
| Pozice fixačního braketu            | 50,0+/-0,2                               | LX00984          | Laboratoř           | CMM                |
| Pozice fixačního braketu            | 80,36+/-0,2                              |                  |                     |                    |
| Pozice fixačního braketu            | 80,36+/-0,2                              |                  |                     |                    |
| Rovinnost                           | 0+0,1                                    |                  |                     |                    |
| Pozice výtlačného portu             | 32,0+/-0,1                               |                  |                     |                    |
| Pozice výtlačného portu             | 36,0+/-0,1                               |                  |                     |                    |
| Pozice závitů M6 u výtlačného portu | 17,0+/-0,1                               |                  |                     |                    |
| Pozice ledvinky levá strana         | 12+0,25-0,5                              |                  |                     |                    |
| Pozice ledvinky levá strana         | 21,617+0,25-0,5                          |                  |                     |                    |
| Pozice ledvinky pravá strana        | 12+0,25-0,5                              |                  |                     |                    |
| Pozice ledvinky pravá strana        | 21,617+0,25-0,5                          |                  |                     |                    |
| Válcovitost průměru 16              | 0,003                                    | LX00985          | Laboratoř           | Kruhoměr           |
| Kruhovitost průměru 16              | 0,003                                    |                  |                     |                    |

I zde se měřidla, u kterých bylo nutné znovu ověřit hodnotu *GRR*, vybrala dle stejného klíče jako u přední hlavy. Pro hodnocení zůstalo opět pouze vzduchové měřidlo Aeropan, označené v seznamu číslem *LX01044*, které je stejně jako Aeropan u zadní hlavy, zabudované přímo v lince a používá se pro 100% měření vnitřního průměru otvoru pro ložisko.

Protože se jedná o podobný typ měřidla a proces sběru dat i jejich vyhodnocení je stejný, bude dále popsána pouze analýza provedená u měřidla LX1044.

Pro sběr dat byli vybráni tři operátoři, běžně pracující na této výrobní lince. Dále bylo vybráno a očíslováno deset vzorků, které byly předem změřeny v laboratoři, aby byla ověřena správnost výsledných hodnot. Každý z operátorů následně postupně vkládal každý z deseti vzorků do měřicího přípravku v náhodném pořadí a metrolog zapisoval naměřené hodnoty do předem připravené tabulky.

Tab. 12 ukazuje výsledné hodnoty po naměření všech dílů všemi operátory.

**Tab. 12 Naměřené hodnoty**

**Operátor A:**

| Opakování / díl | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1               | 15,9818 | 15,9822 | 15,9789 | 15,9812 | 15,9822 | 15,9778 | 15,983  | 15,989  | 15,9824 | 15,9815 |
| 2               | 15,9818 | 15,9824 | 15,979  | 15,9813 | 15,9823 | 15,9776 | 15,9829 | 15,9891 | 15,9822 | 15,9817 |
| 3               | 15,9817 | 15,9823 | 15,9793 | 15,9817 | 15,9824 | 15,9774 | 15,9828 | 15,9893 | 15,9823 | 15,9816 |

**Operátor B:**

| Opakování / díl | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1               | 15,9816 | 15,9822 | 15,9789 | 15,9816 | 15,9821 | 15,9778 | 15,9829 | 15,989  | 15,9823 | 15,9816 |
| 2               | 15,9818 | 15,9826 | 15,9788 | 15,9813 | 15,9823 | 15,9775 | 15,9828 | 15,9892 | 15,9825 | 15,9817 |
| 3               | 15,9816 | 15,9823 | 15,9789 | 15,9814 | 15,9821 | 15,9779 | 15,9826 | 15,9891 | 15,9824 | 15,9816 |

**Operátor C:**

| Opakování / díl | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1               | 15,9813 | 15,9827 | 15,9788 | 15,9814 | 15,9824 | 15,9772 | 15,9825 | 15,989  | 15,9821 | 15,9816 |
| 2               | 15,9812 | 15,9826 | 15,9787 | 15,9816 | 15,9823 | 15,9771 | 15,9826 | 15,9892 | 15,9818 | 15,9814 |
| 3               | 15,9812 | 15,9828 | 15,9788 | 15,9817 | 15,9824 | 15,9772 | 15,9825 | 15,9892 | 15,9817 | 15,9812 |

Pro vyhodnocení dat byl dle interních pravidel použit software ASYM, metoda průměru a rozpětí. Nejprve byl proveden výpočet průměrů  $\bar{X}$  a průměru rozpětí  $\bar{R}$  jednotlivých podskupin, kde každá podskupina obsahuje měření všech deseti vzorků jedním operátorem. Hodnoty  $\bar{X}$  a  $\bar{R}$  pak byly dále využity pro výpočet  $\bar{\bar{R}}$  a  $\bar{x}_{diff}$ . Pro vypočtení  $\bar{\bar{R}}$  byl použit vzorec (53).  $\bar{x}_{diff}$  lze spočítat dle vzorce (55).

$$\bar{R} = \frac{0,00037 + 0,00024 + 0,0002}{3} = \frac{0,00081}{3} \doteq 0,0003$$

$$\bar{x}_{diff} \doteq 0,0001$$

V tabulce na obr. 27 jsou zobrazeny konečné výsledky jednotlivých ukazatelů, při čemž pro jejich výpočet byly použity vzorce (52), (54), (56), (58) a (57). Pro výpočet celkového hodnocení %GRR byl použit vzorec (59):

$$EV = 0,0003 \times 0,5908 \doteq 0,00016$$

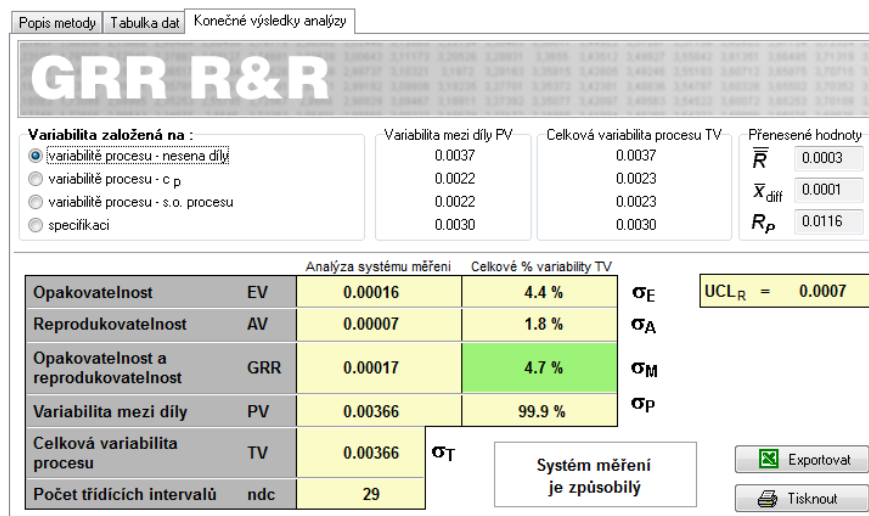
$$AV = \sqrt{0,0001 \times 0,5231 - \frac{0,00016^2}{10 \times 3}} \doteq 0,00007$$

$$GRR = \sqrt{0,00016^2 + 0,00007^2} = 0,00017$$

$$PV = 0,0116 \times 0,3146 \doteq 0,00366$$

$$TV = \sqrt{0,00017^2 + 0,00366^2} = 0,00366$$

$$\%GRR = \frac{0,00017}{0,00366} \times 100 = 4,7\%$$



**Obr. 27 Konečné výsledky analýzy - ASYM**

Z výsledků je patrné, že na základě hodnoty %GRR = 4,7% mohlo být měřidlo uznáno za způsobilé bez podmínky.

## Závěr

Cílem práce byla kontrola způsobilosti po stěhování obráběcí linky přední a zadní hlavy kompresoru z jedné budovy do druhé, ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o.

Hodnocení způsobilosti je v práci omezeno pouze na několik vybraných znaků kvality na přední a zadní hlavě, protože zpracování všech hodnocených znaků kvality by výrazně převyšovalo předepsaný rozsah.

U přední hlavy byly vybrány pozice horního fixačního braketu a pozice sacího portu. Ukazatel  $C_{mk}$  byl u pozice sacího portu vyhodnocen na úrovni 4,48 a stroj mohl být uznán za způsobilý. Úroveň  $C_{mk}$  pro pozici horního fixačního braketu byla 1,28, což při požadované úrovni 1,67 pro uvolnění stroje nestačilo. Vzhledem k úrovni  $C_m$ , která byla 2,13, se však dospělo k závěru, že jde pouze o špatnou vycentrovanost a stroj byl uznán za způsobilý s podmínkou, že bude dodatečně seřízen před následující výrobou.

U zadní hlavy byly pro potřeby práce vybrány pozice závitů na výtlačném portu a drsnost dosedací plochy na braketu. Ukazatel  $C_{mk}$  byl u pozice závitů na výtlačném portu vyhodnocen na úrovni 0,99 a stroj tedy při požadované úrovni 1,33 nemohl být uznán za způsobilý. Nicméně i v tomto případě se jednalo pouze o špatné vycentrování a stroj mohl být uznán za způsobilý s podmínkou, že bude před další výrobou dodatečně seřízen, když ukazatel  $C_m$  byl na uspokojivé úrovni 2,76. U drsnosti dosedací plochy na braketu byl hodnocen pouze ukazatel  $C_{mk}$ , protože se jedná o jednostranné toleranční pole, kde je očekávaný výsledek co nejbližší nule. V tomto případě nebyl při hodnocení nedetekován žádný problém a tento znak kvality mohl být bezpečně uznán jako způsobilý s ukazatelem  $C_{mk}$  na úrovni 19,66. Celkové hodnocení všech sledovaných znaků kvality je shrnuto v tabulkách přílohy 1 a 2. Výrobní linka byla po přestěhování uvolněna do sériové výroby.

Závěrečná část práce byla věnována analýze systému měření, kterou bylo třeba provést u měřidel, která jsou pevně zabudována v lince a jejich přesnost tak mohla být stěhováním ovlivněna. Studie *R&R*, byla provedena u vzduchového měřidla Aeropan, které se používá k měření některých vnitřních průměrů na zadní hlavě. Pro studii byla zvolena metoda průměru a rozpětí, pro kterou byla použita data od

tří operátorů, z nichž každý změřil třikrát deset vzorků. Výsledky ukázaly, že měřidlo nebylo během stěhování poškozeno a jeho vhodnost pro měření daného znaku kvality byla znovu potvrzena na úrovni %GRR 4,7%.

Z průběhu hodnocení způsobilosti je patrné, že nebyl dodržen interní postup, který stanoví, že v případě změny tohoto typu by se měl vyhodnocovat ukazatel  $P_{pk}$ , který hodnotí výkonnost procesu v krátkém období. Na rozdíl od hodnocení stroje pomocí ukazatele  $C_{mk}$  se pro jeho hodnocení používají podskupiny. Kvůli náročnosti vzorkování, kdy by bylo třeba odebrat a změřit 180 vzorků na přední hlavě a 240 vzorků na zadní hlavě, lze tento postup dodržovat jen těžko. Vyhodnocení způsobilosti stroje se pak zároveň zdá být adekvátní náhradou pro první uvolnění výroby. Bylo vydáno doporučení navýšit počet měřených vzorků z 30 alespoň na 50. Tento rozsah je uveden i v manuálu používaného softwaru QS-STAT (Q-DAS, 2015).



## Seznam literatury

AIAG: *Measurement Systems Analysis: Reference Manual*. Fourth edition. Detroit: General Motors, 2010. ISBN 978-1-60-534211-5.

BEDNÁŘ, Josef. *MSA - Analýza systému měření* [online]. In: Praha: Česká statistická společnost, 2006, s. 6 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <http://www.statspol.cz/request/request2006/prezentace/bednar.pdf>

BENEŠ, Pavel. *Porovnání způsobilosti systémů měření*. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, fakulta elektrotechnická, katedra technologií a měření. Vedoucí práce Olga Tůmová.

ČSN ISO 7870-2. *Regulační diagramy: Část 2: Část Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

DIETRICH, Edgar a Alfred SCHULZE. *Statistical Procedures for Machine and Process Qualification*. 6th Edition. Cincinnati: Hanser Publications, 2010. ISBN 978-1-56990-469-3.

HŮLOVÁ, Marie a Eva JAROŠOVÁ. *Statistické metody v managementu kvality, environmentu a bezpečnosti*. 3. vyd. Praha: Oeconomica, 2004. ISBN 80-245-0691-2.

CHMELÍK, Václav a kol. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01897-1.

ISO/TR 22514-4. *Statistical methods in process management - Capability and performance: Part 4: Process capability estimates and performance measures*. Geneva: International Organization for Standardization, 2007.

JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.

JAROŠOVÁ, Eva. *Statistické metody řízení jakosti pro kombinovanou formu studia*. Mladá Boleslav: Škoda Auto Vysoká škola, 2011. ISBN 978-80-87042-37-3.

HUTYRA, Milan a kol. *MANAGEMENT JAKOSTI. E-learningové prvky pro podporu výuky odborných a technických předmětů* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/>

MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to statistical quality control*. 6th ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-16992-6.

PQM. *MSA - Measurement System Analysis. PROCESS QUALITY MANAGEMENT - MSA* [online]. Ostrava: P.Q.M., česko-švýcarská spol. s r.o., 1999, [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <http://www.pqm.cz/NVCSS/msa.html>

NENADÁL, Jaroslav a kol. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-726-1561-2.

Q-DAS. *Machine Capability* [online]. Weinheim: Q-DAS, 2015, [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: [https://www.q-das.com/fileadmin/mediamanager/CAS\\_Downloads/Q-DAS\\_V11\\_CAS\\_destra\\_Machine\\_Capability\\_Study\\_EN.pdf](https://www.q-das.com/fileadmin/mediamanager/CAS_Downloads/Q-DAS_V11_CAS_destra_Machine_Capability_Study_EN.pdf)

STATSOFT. *Analýza způsobilosti procesu* [online]. In. Praha 5: DataFriends, 2013, s. 8 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: [http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13\\_08\\_07\\_StatSoft\\_Analyza\\_zpusobilosti\\_procesu.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft_Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf)

TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 978-807-2250-400.

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 Náhodné a vymezitelné příčiny – grafické znázornění .....                             | 10 |
| Obr. 2 Regulační diagram pro individuální hodnoty – QS-STAT .....                            | 11 |
| Obr. 3 Histogram – QS-STAT.....  | 12 |
| Obr. 4 Pravděpodobnostní graf – QS-STAT.....   | 13 |
| Obr. 5 Strannost.....  | 26 |
| Obr. 6 Stabilita.....  | 27 |
| Obr. 7 Reprodukovatelnost.....   | 28 |
| Obr. 8 Celková variabilita měřicího procesu.....   | 29 |
| Obr. 9 Přední hlava kompresoru .....   | 37 |
| Obr. 10 Regulační diagram pro pozici sacího portu před úpravou .....                         | 41 |
| Obr. 11 Regulační diagram pro pozici sacího portu s revidovanými mezemi .....                | 42 |
| Obr. 12 Histogram pro pozici sacího portu s revidovanými mezemi.....                         | 42 |
| Obr. 13 Regulační diagram pro pozici sacího portu s nově odebranými daty .....               | 44 |
| Obr. 14 Histogram pro pozici sacího portu s nově odebranými daty .....                       | 44 |
| Obr. 15 Graf normality pro pozici sacího portu s nově odebranými daty .....                  | 45 |
| Obr. 16 Diagram pro pozici horního fixačního braketu před úpravou .....                      | 46 |
| Obr. 17 Regulační diagram pro pozici horního fixačního braketu s revidovanými<br>mezemi..... | 48 |
| Obr. 18 Histogram pro pozici horního fixačního braketu s revidovanými mezemi                 | 48 |
| Obr. 19 Graf normality pro pozici horního fixačního braketu s revidovanými<br>mezemi.....    | 49 |
| Obr. 20 Zadní hlava kompresoru.....  | 50 |
| Obr. 21 Regulační diagram pro pozici závitu na výtlačném portu.....                          | 52 |
| Obr. 22 Histogram pro pozici závitu na výtlačném portu .....                                 | 53 |
| Obr. 23 Graf normality pro pozici závitu na výtlačném portu .....                            | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 24 Regulační diagram pro drsnost dosedací plochy na braketu..... | 55 |
| Obr. 25 Histogram pro drsnost dosedací plochy na braketu .....        | 56 |
| Obr. 26 Graf normality pro drsnost dosedací plochy na braketu .....   | 56 |
| Obr. 27 Konečné výsledky analýzy - ASYM.....                          | 62 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1 Rozhodovací kritéria pro přijatelnost systému měření.....               | 32 |
| Tab. 2 Vybrané sledované znaky kvality .....                                   | 38 |
| Tab. 3 Zdrojová data - pozice sacího portu .....                               | 40 |
| Tab. 4 Zdrojová data - pozice sacího portu - nový odběr .....                  | 43 |
| Tab. 5 Zdrojová data – pozice horního fixačního braketu.....                   | 46 |
| Tab. 6 Zdrojová data – pozice horního fixačního braketu – nově odebraná data . | 47 |
| Tab. 7 Vybrané sledované znaky kvality .....                                   | 51 |
| Tab. 8 Data použita pro první vynesení regulačního diagramu .....              | 52 |
| Tab. 9 Data použitá pro první vynesení regulačního diagramu .....              | 55 |
| Tab. 10 Seznam znaků kvality podléhajících R&R u přední hlavy.....             | 59 |
| Tab. 11 Seznam měřidel podléhajících R&R u zadní hlavy.....                    | 60 |
| Tab. 12 Naměřené hodnoty.....  | 61 |

## **Seznam příloh**

|  |    |
|--|----|
| Příloha č. 1 Celkové vyhodnocení způsobilosti přední hlavy ..... | 71 |
| Příloha č. 2 Celkové vyhodnocení způsobilosti zadní hlavy .....  | 72 |

## Příloha č. 1 Celkové vyhodnocení způsobilosti přední hlavy

| Číslo | Znak kvality   | Cílová hodnota/<br>Tolerance | Měřidlo         | Cm<br>(Pravá strana) | Cmk<br>(Pravá strana) | Cm<br>(Levá strana) | Cmk<br>(Levá strana) |
|-------|--|------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 1     | Vnitřní průměr horního fixačního braketu (SC)                  | 8,5 ±0,1                     | Posuvné měřidlo | 5,46                 | 4,26                  | 5,36                | 4,56                 |
| 2     | Vnitřní průměr dolního fixačního braketu (SC)                  | 11,5 ±0,1                    | Posuvné měřidlo | 8,98                 | 1,8                   | 5,41                | 0,61                 |
| 3     | Pozice horního fixačního braketu (SC)                          | 43,48 ±0,1                   | CMM             | 5,72                 | 4,86                  | 5,73                | 2,38                 |
| 4     | Vnitřní průměr dolního fixačního braketu (SC)                  | 8,5 ±0,1                     | Posuvné měřidlo | 6,85                 | 5,78                  | 7,75                | 6,38                 |
| 5     | Drsnost plochy horního fixačního braketu ze strany motoru (SC) | Ra3,2                        | Drsnoměr        | -                    | 26,87                 | -                   | 22,01                |
| 6     | Pozice horního fixačního braketu (SC)                          | 40 ±0,1                      | CMM             | 2,13                 | 1,28                  | 1,95                | 1,84                 |
| 7     | Délka horního fixačního braketu (SC)                           | 80 ±0,1                      | Posuvné měřidlo | 3,23                 | 2,73                  | 4,29                | 0,34                 |
| 8     | Drsnost plochy horního fixačního braketu (SC)                  | Ra3,2                        | Drsnoměr        | -                    | 14,7                  | -                   | 26,13                |
| 9     | Drsnost plochy dolního fixačního braketu ze strany motoru (SC) | Ra3,2                        | Drsnoměr        | -                    | 25,48                 | -                   | 25,51                |
| 10    | Délka dolního fixačního braketu (SC)                           | 50 ±0,1                      | Posuvné měřidlo | 2,93                 | 2,17                  | 2,15                | 0,43                 |
| 11    | Drsnost plochy horního fixačního braketu (SC)                  | Ra3,2                        | Drsnoměr        | -                    | 34,13                 | -                   | 28,6                 |
| 12    | Pozice závitu na sacím otvoru (SC)                             | 19 ±0,1                      | CMM             | 2,17                 | 1,79                  | 2,41                | 1,7                  |
| 13    | Pozice vnitřní dosedací plochy pro cylindr (SC)                | 55,9 ±0,1                    | Výškoměr        | 8,16                 | 6,76                  | 8,93                | 8,56                 |
| 14    | Pozice vnitřní drážky pro ložisko (SC)                         | 15 ±0,1                      | CMM             | 4,71                 | 3,9                   | 4,43                | 4,23                 |
| 15    | Průměr sacího portu (SC)                                       | 21,3<br>+0,12/+0,05          | 3P<br>Mikrometr | 3,08                 | 2,78                  | 3,08                | 2,78                 |
| 16    | Drsnost na sražení sacího portu (SC)                           | Rz6,3                        | Drsnoměr        | -                    | 5,95                  | -                   | 2,81                 |
| 17    | Drsnost vnitřní plochy sacího portu (SC)                       | Ra0,3                        | Drsnoměr        | -                    | 3,47                  | -                   | 5,53                 |
| 18    | Pozice horního fixačního braketu (SC)                          | 69 ±0,1                      | CMM             | 4,47                 | 3,12                  | 1,93                | 1,87                 |
| 19    | Pozice dolního fixačního braketu (SC)                          | 138 ±0,2                     | CMM             | 11,52                | 10,27                 | 7,57                | 5,68                 |
| 20    | Pozice sacího portu (SC)                                       | 67 ±0,2                      | CMM             | 12,99                | 4,48                  | 4,23                | 1,66                 |
| 21    | Pozice sacího portu (SC)                                       | 37° ±20'                     | CMM             | 4,51                 | 3,12                  | 2,73                | 1,97                 |

## Příloha č. 2 Celkové vyhodnocení způsobilosti zadní hlavy

| Číslo | Znak kvality   | Cílová hodnota/<br>Tolerance | Měřidlo         | Cm<br>(Pravá strana) | Cmk<br>(Pravá strana) | Cm<br>(Levá strana) | Cmk<br>(Levá strana) |
|-------|--|------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 1     | Průměr výtlačného portu (SC)                               | 15,45mm<br>+0,12/+0,05       | 3p<br>Mikrometr | 2,14                 | 1,68                  | 3,4                 | 7,78                 |
| 2     | Pozice výtlačného portu (SC)                               | 32mm+/-0,1                   | CMM             | 5,64                 | 4,3                   | 6,17                | 4,86                 |
| 3     | Pozice výtlačného portu (SC)                               | 36mm+/-0,1                   | CMM             | 2,88                 | 2,13                  | 3,03                | 2,99                 |
| 4     | Pozice závitů na výtlačném portu                           | 17mm+/-0,1                   | CMM             | 4,01                 | 3,16                  | 2,76                | 0,99                 |
| 5     | Vnitřní průměr fixačního braketu (SC)                      | 11,2mm +/-0,3                | Posuvné měřidlo | 4,84                 | 3,59                  | 8,57                | 8,15                 |
| 6     | Délka fixačního braketu (SC)                               | 80mm +/-0,2                  | Posuvné měřidlo | 2,91                 | 2,68                  | 4,98                | 4,55                 |
| 7     | Pozice fixačního braketu vůči ose dílu (SC)                | 50mm +/-0,1                  | CMM             | 3,64                 | 3,04                  | 4,03                | 3,96                 |
| 8     | Drsnost dosedací plochy na braketu (SC)                    | Ra3,2                        | Drsnoměr        | -                    | 19,66                 | -                   | 28,84                |
| 9     | Drsnost dosedací plochy na braketu ze strany motoru (SC)   | Ra3,2                        | Drsnoměr        | -                    | 20,21                 | -                   | 25,65                |
| 10    | Rovinnost dosedací plochy na braketu ze strany motoru (SC) | 0,1mm                        | CMM             | -                    | 35,32                 | -                   | 46,05                |
| 11    | Pozice vnitřního otvoru na braketu vůči kluzné ploše (SC)  | 80,36mm +/-0,1               | CMM             | 11,04                | 9,36                  | 8,86                | 7,41                 |



## ANOTAČNÍ ZÁZNAM

|                                  |   |               |      |
|----------------------------------|---|---------------|------|
| AUTOR                            | Bc. Jan Krédli, Dis.  |               |      |
| STUDIJNÍ OBOR                    | 6208T088 Podniková ekonomika a management provozu   |               |      |
| NÁZEV PRÁCE                      | Způsobilost procesu obrábění ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o.  |               |      |
| VEDOUCÍ PRÁCE                    | doc. Ing. Eva Jarošová, Csc.  |               |      |
| KATEDRA                          | KLRK - Katedra logistiky a řízení kvality   | ROK ODEVZDÁNÍ | 2020 |
| POČET STRAN                      | 72  |               |      |
| POČET OBRÁZKŮ                    | 27  |               |      |
| POČET TABULEK                    | 12  |               |      |
| POČET PŘÍLOH                     | 2   |               |      |
| STRUČNÝ POPIS                    | <p>Diplomová práce se zaměřuje na aplikaci vybraných nástrojů při hodnocení způsobilosti po stěhování obráběcích linek přední a zadní hlavy kompresoru ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. a na analýzu systému měření u měřidel, která tímto stěhováním mohla být ovlivněna. V první části jsou popsány vybrané nástroje a postupy pro regulaci procesu, hodnocení způsobilosti a analýza systému měření. V druhé části jsou některé z vybraných nástrojů a postupů aplikovány při stěhování výrobních linek ve společnosti Valeo Compressor Europe s.r.o. U přední i zadní hlavy jsou podrobněji hodnoceny dva vybrané znaky kvality. Ukazatel <math>C_{mk}</math> u pozice horního fixačního braketu na přední hlavě byl vyhodnocen na úrovni 4,48 a stroj byl uznán za způsobilý. U pozice sacího portu na přední hlavě byl ukazatel <math>C_{mk}</math> na úrovni 1,28 a <math>C_m</math> na úrovni 2,13. Stroj byl uznán za způsobilý s podmínkou dodatečného seřízení. U pozice závitů na výtlačném portu zadní hlavy byl stroj uznán za způsobilý s podmínkou dodatečného seřízení, když ukazatel <math>C_m</math> byl vyhodnocen na úrovni 2,76 a ukazatel <math>C_{mk}</math> na úrovni 0,99. Drsnost dosedací plochy na braketu zadní hlavy je uznána za způsobilou bez podmínky s výsledkem <math>C_{mk}</math> na úrovni 19,66 stejně jako použití měřidla LX1044, u něž byla provedena studie R&amp;R za použití metody pro průměr a rozpětí s výsledným %GRR na úrovni 4,7%.</p> |               |      |
| KLÍČOVÁ SLOVA                    | SPC, MSA, regulační diagram, způsobilost  |               |      |
| PRÁCE OBSAHUJE UTAJENÉ ČÁSTI: Ne |   |               |      |

## ANNOTATION

|  |  |             |      |
|--|--|-------------|------|
| <b>AUTHOR</b>                                | Bc. Jan Krédli, Dis.   |             |      |
| <b>FIELD</b>                                 | 6208T088 Production Management and Global Business   |             |      |
| <b>THESIS TITLE</b>                          | Machining process capability at Valeo Compressor Europe s.r.o.   |             |      |
| <b>SUPERVISOR</b>                            | doc. Ing. Eva Jarošová, Csc.   |             |      |
| <b>DEPARTMENT</b>                            | KLRK - Department of Logistics and Quality Management  | <b>YEAR</b> | 2020 |
| <b>NUMBER OF PAGES</b>                       | 72   |             |      |
| <b>NUMBER OF PICTURES</b>                    | 27   |             |      |
| <b>NUMBER OF TABLES</b>                      | 12   |             |      |
| <b>NUMBER OF APPENDICES</b>                  | 2  |             |      |
| <b>SUMMARY</b>                               | <p>The diploma thesis deals with application of chosen tools within capability evaluation after movement of production lines for machining of compressor's front and rear head at Valeo Compressor Europe s.r.o. and measurement system analysis of gauges which could be affected by the change. There are described chosen tools for process control, capability evaluation and MSA in first part. In second part there are some of them applied within movement of production lines at Valeo Compressor Europe s.r.o. There are two chosen characteristics evaluated more in detail on front and rear head. Position of upper fixation bracket on front head was judged with <math>C_{mk}</math> on level 4,48 and machine was released to serial life. Position of suction port on front head was judged with <math>C_m</math> on level 2,13 and <math>C_{mk}</math> on level 1,28. Machine was released with condition of additional setting before next production. Position of thread on discharge port of rear head was judged as capable with condition of additional process centering before next production with result of <math>C_m</math> on level 2,76 and <math>C_{mk}</math> on level 0,99. Roughness of seating surface on bracket of rear head was judged as capable without condition with <math>C_{mk}</math> result 19,66. R&amp;R study done on gauge LX1044 is also judged as OK with result %GRR on level 4,7%.</p> |             |      |
| <b>KEY WORDS</b>                             | SPC, MSA, control chart, capability  |             |      |
| <b>THESIS INCLUDES UNDISCLOSED PARTS: No</b> |  |             |      |