

# **ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.**

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Specializace Logistika a management kvality

## **Způsobilost procesu fosfátování**

### **Bakalářská práce**

**Michal Palounek**

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



ŠKODA AUTO Vysoká škola

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Michal Palounek**  
Studijní program: Ekonomika a management  
Specializace: Logistika a management kvality

Název tématu: **Způsobilost procesu fosfátování**

Cíl: Cílem práce je vyhodnotit způsobilost procesu fosfátování v automatické ponorové lince a případně navrhnout možnosti zlepšení současného stavu.

Rámcový obsah:

1. Přehled metod statistické regulace procesu a ukazatelů způsobilosti.
2. Popis procesu fosfátování a volba znaku kvality.
3. Aplikace vhodných metod na proces fosfátování.
4. Vyhodnocení způsobilosti procesu.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. PETRÁŠOVÁ, I. *Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016*. Praha: Česká společnost pro jakost, z.s., 2016. 119 s. ISBN 978-80-02-02699-0.
2. JAROŠOVÁ, E. – NOSKIEVIČOVÁ, D. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2015. ISBN 978-80-247-5355-3.
3. JAROŠOVÁ, E. *Statistické metody managementu kvality – studijní opora*. [online]. 2019. URL: [https://is.savs.cz/auth/nucitel/ds\\_modul.pl?read=1;predmet=16048;dok=1;id=26122;on=0;id\\_dok=50035](https://is.savs.cz/auth/nucitel/ds_modul.pl?read=1;predmet=16048;dok=1;id=26122;on=0;id_dok=50035);
4. NENADÁL, J. *Systémy managementu kvality: co, proč a jak měřit?*. 1. vyd. Management Press, 2016. 302 s. ISBN 978-80-7261-426-4.
5. MONTGOMERY, D. C. *Statistical quality control.: A modern introduction*. 6. vyd. Hoboken: John Wiley and Sons, 2009. ISBN 978-0-470-23397-9.

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí 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 12.11.2022

Děkuji doc. Ing. Evě Jarošové, CSc. za trpělivost, odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů.

## Obsah

Úvod.....	8
1 Statistická regulace procesu.....	9
1.1 Regulační diagram.....	10
1.2 Regulace měřením.....	11
1.2.1 Diagramy pro průměr a rozpětí.....	11
1.2.2 Diagramy pro průměr a směrodatnou odchylku.....	11
1.2.3 Diagramy pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí.....	12
1.3 Regulace srovnáváním.....	12
2 Způsobilost procesu.....	14
2.1 Ověření předpokladu normality.....	15
2.2 Analýza ukazatele způsobilosti procesu.....	15
2.2.1 Normální rozdělení.....	15
2.2.2 Postup při volbě alternativního modelu.....	16
3 Aurel CZ.....	17
3.1 Odmašťovací a pasivační linky.....	17
3.2 Fosfátovací linka.....	18
3.3 Technologie fosfátování.....	18
4 Analýza způsobilosti procesu fosfátování.....	20
4.1 Popis procesu a měření.....	20
4.2 Způsobilost procesu – výchozí stav.....	22
4.2.1 Regulační diagramy.....	22
4.2.2 Ověření normality.....	24
4.2.3 Odhad ukazatelů.....	25
4.3 Způsobilost procesu po úpravě systému měření.....	26
4.3.1 Regulační diagramy.....	26
4.3.2 Ověření normality.....	28
4.3.3 Odhad ukazatelů.....	28
4.4 Způsobilost procesu po změně parametrů procesu.....	29

4.4.1	Regulační diagramy.....	29
4.4.2	Ověření normality.....	31
4.4.3	Odhad ukazatelů.....	31
	Závěr.....	33
	Seznam literatury.....	34
	Seznam obrázků a tabulek.....	35
	Seznam příloh.....	36

## Seznam použitých zkratk a symbolů

CK	celková kyselina
CL	centrální přímka
g/l	gram na litr
LCL	dolní regulační mez
LSL	dolní toleranční mez
SC	sledovaný znak
SPC	statistická regulace procesu
UCL	horní regulační mez
USL	horní toleranční mez
VK	volná kyselina

## Úvod

Předmětem této práce je analýza způsobilosti procesu fosfátování brzdových třmenů. Jedná se o klíčový projekt z hlediska budoucího rozvoje společnosti. Projekt vykazuje vysokou nestabilitu. Jelikož je ve fázi náběhu, lze ještě snadno provádět významnější změny procesu vedoucí ke zlepšení jeho stability.

Hlavním cílem práce je proces zanalyzovat a navrhnout změny vedoucí k jeho zlepšení před náběhem do trvalého provozu. Práce je členěna do čtyř kapitol. První dvě kapitoly jsou zaměřeny na teorii. V první kapitole je popsána statistická regulace procesu a její druhy. Druhá kapitola se věnuje hodnocení způsobilosti procesu. Součástí třetí kapitoly je představení společnosti Aurel a provozovaných zařízení. Ve čtvrté kapitole je popsán proces fosfátování dílů a použitý systém měření. V další části čtvrté kapitoly je popsán výchozí stav, stav po úpravě systému měření, a nakonec po optimalizaci procesu fosfátování.

U všech kroků uvedených ve čtvrté kapitole jsou nejprve sestrojeny regulační diagramy a ověřen předpoklad statisticky zvládnutého procesu. Poté je identifikováno rozdělení naměřených hodnot a dle rozdělení zvolen postup pro odhad ukazatelů způsobilosti.



## 1 Statistická regulace procesu

Aby byly procesy efektivní, je nutné je řídit. Pro každý proces by měla být nastavena pravidla, kterým se řídí. V zásadě se jedná o normy, výkresy, či podobné předpisy, které udávají, co a jak se v rámci procesu sleduje. Na základě informací získaných z procesu je poté vyžadováno docílit co nejmenší variability a maximální možné stability procesu. Hlavním úkolem statistické regulace procesu (SPC) je tedy včas a adekvátně reagovat na změny v procesu, které jej ovlivňují.

Statistická regulace procesu se skládá ze tří etap. V průběhu přípravné etapy je přesně definován proces, určeny veličiny, které poté budou sledovány pomocí vhodně zvoleného regulačního diagramu. Musí být také určena frekvence sběru dat.

Následuje první etapa SPC. Zde již dochází k samotnému sběru dat a ke konstrukci regulačních diagramů. Ze shromážděných hodnot jsou již zkonstruovány centrální přímka *CL* a zkušební meze *LCL*, *UCL*. Na základě diagramu posoudíme, zda jsou všechny body mezi stanovenými mezemi, tedy zda je proces statisticky zvládnutý. Pokud nejsou, tak je potřeba určit příčiny výskytu hodnot mimo tyto stanovené meze.

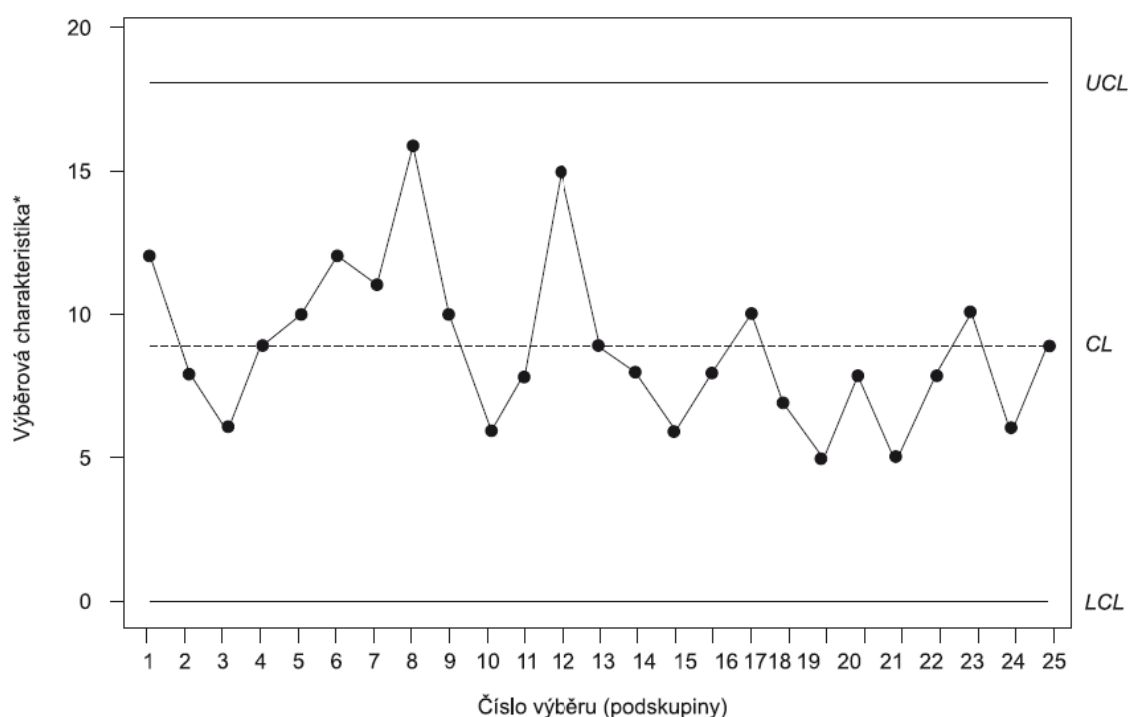
Příčiny mohou být náhodné, nebo vymežitelné. Náhodné příčiny jsou přirozené a tudíž neodstranitelné. Jedná se o odchylky způsobené například přirozenou variabilitou použitého zařízení, nebo okolním prostředím. Vymežitelné příčiny již odstranitelné jsou a jedná se například o seřízení stroje, nebo změny materiálu. Pokud byly v procesu identifikovány vymežitelné příčiny, jsou příslušné podskupiny odstraněny a meze nově zkonstruovány.

Druhá etapa SPC je zaměřena na udržení stability procesů. Procesy jsou monitorovány a udržovány na dané úrovni. Tato etapa je také zaměřena na identifikaci menších posunů hodnot.

## 1.1 Regulační diagram

Základním nástrojem SPC je regulační diagram. Právě správná volba regulačního diagramu je klíčová pro dobré výsledky regulace.

Regulační diagram (Obr.1) je složen z centrální přímky *CL*, spodní regulační meze *LCL*, horní regulační meze *UCL* a z vynesných bodů. Centrální přímka představuje průměrnou hodnotu sledované výběrové charakteristiky. Regulační meze určují pásmo náhodných příčin variability procesu. Na ose x jsou vynesena pořadí podskupin, či individuálního pozorování, osa „y“ znázorňuje výběrovou charakteristiku, například průměr, nebo rozpětí. Z vynesných bodů pak může být vyčteno, zda jsou všechny body mezi regulačními mezemi a proces tedy ovlivňují pouze náhodné příčiny, nebo se objevují i body vně regulačních mezí a proces ovlivňují také vymežitelné příčiny.



Zdroj: (Jarošová, Noskiewičová, 2015)

Obr. 1 Regulační diagram

Regulační diagramy dělíme na diagramy měření (pro měřitelné znaky) a diagramy srovnávání (pro atributivní znaky).

## 1.2 Regulace měřením

Regulace je prováděna dvojicí regulačních diagramů. První je určen pro kontrolu úrovně sledovaných hodnot a druhý pro kontrolu inherentní (přirozené) variability (Jarošová, 2019)

Jsou používány tři různé dvojice diagramů. Používané dvojice jsou diagramy pro průměr a rozpětí, diagramy pro průměr a směrodatnou odchylku a diagramy pro individuální pozorování a klouzavé rozpětí.

### 1.2.1 Diagramy pro průměr a rozpětí

Diagramy jsou určeny pro rozsah podskupin dva až deset pozorování. V podskupinách jsou vypočítány průměry a rozpětí hodnot.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n}(x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}) \quad R_i = x_{i,max} - x_{i,min} \quad (1.1)$$

Celkový průměr a průměrné rozpětí jsou vypočítány podle vzorců:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k}(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k) \quad \bar{R} = \frac{1}{k}(R_1 + R_2 + \dots + R_k) \quad (1.2)$$

Jsou vypočítány centrální přímkou  $CL$  a regulační meze  $LCL$  a  $UCL$ .

V diagramu pro průměr platí

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (1.3)$$

v diagramu pro rozpětí

$$CL = \bar{R} \quad LCL = D_3\bar{R} \quad UCL = D_4\bar{R} \quad (1.4)$$

Hodnoty součinitelů  $A_2$ ,  $D_3$  a  $D_4$  pro daný rozsah podskupin jsou uvedeny v normě ČSN ISO 7870-2.

### 1.2.2 Diagramy pro průměr a směrodatnou odchylku

Diagramy jsou určeny pro podskupiny o rozsahu více než deset pozorování.

V podskupinách jsou vypočítány směrodatné odchylky a průměrná směrodatná odchylka.

$$\bar{s} = \frac{1}{k}(s_{j1} + s_{j2} + \dots + s_{jk}) \quad s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (1.5)$$

Centrální přímkou  $CL$  a regulační meze  $LCL$  a  $UCL$  vypočítáme dle vzorců:

diagram pro průměr

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad LCL = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s} \quad UCL = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s} \quad (1.6)$$

diagram pro směrodatnou odchylku

$$CL = \bar{s} \quad LCL = B_3\bar{s} \quad UCL = B_4\bar{s} \quad (1.7)$$

Hodnoty součinitelů  $A_3$ ,  $B_3$  a  $B_4$  pro různé rozsahy podskupin jsou uvedeny v normě ČSN ISO 7870-2

### 1.2.3 Diagramy pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí

Diagramy jsou určeny pro individuální pozorování. Klouzavá rozpětí  $R_m$  jsou spočítána jako absolutní hodnota rozdílu dvou sousedních hodnot.

$$R_{mi} = |x_i - x_{i-1}| \quad (1.8)$$

Průměry klouzavých rozpětí a průměr individuálních pozorování jsou:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k}(x_1 + x_2 + \dots + x_k) \quad \bar{R}_m = \frac{1}{k}(R_{m1} + R_{m2} + \dots + R_{mk}) \quad (1.9)$$

Centrální přímkou  $CL$  a regulační meze  $LCL$  a  $UCL$  se určí podle:

diagram pro klouzavá rozpětí

$$CL = \bar{R}_m \quad LCL = 0 \quad UCL = 3,267\bar{R}_m \quad (1.10)$$

diagram pro individuální hodnoty

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad LCL = \bar{\bar{x}} - 2,66\bar{R}_m \quad UCL = \bar{\bar{x}} + 2,66\bar{R}_m \quad (1.11)$$

## 1.3 Regulace srovnáváním

Při regulaci srovnáváním se sleduje počet neshodných jednotek nebo počet neshod v podskupinách.

Používají se čtyři základní typy diagramů: np, p, c, u.

Np-diagram je používán pro počet neshodných jednotek v podskupinách

o stejném rozsahu. Diagram nezohledňuje, kolik neshod každá jednotka vykazuje.

P-diagram je určen pro podíl neshodných jednotek ze podskupin o různém rozsahu. Lze použít i pro podskupiny o stejném rozsahu. Nezohledňuje počet neshod na jednotce.

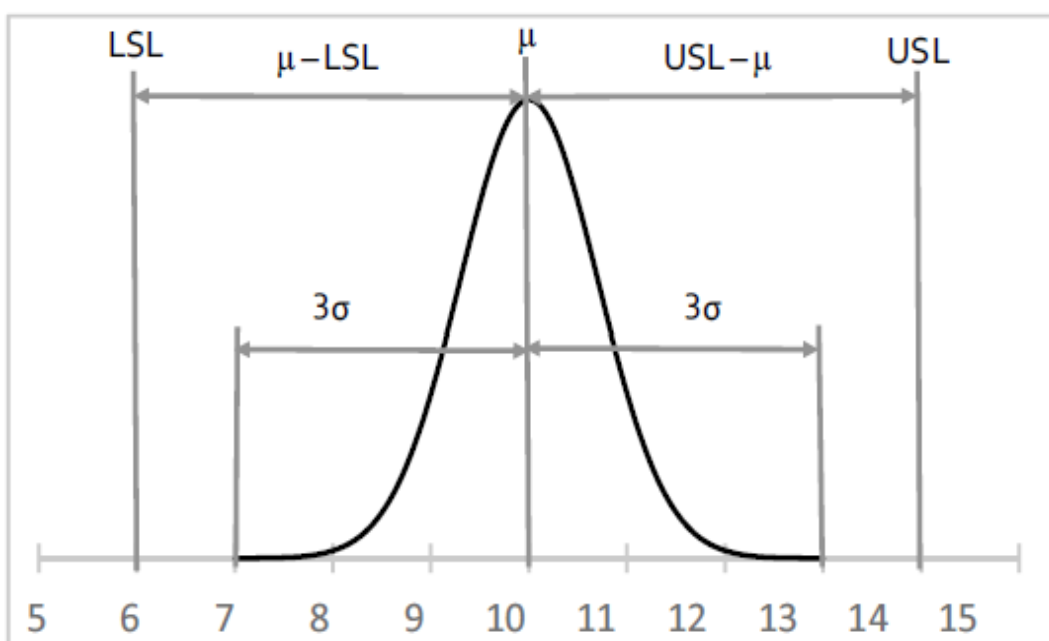
C-diagram je používán pro počet neshod v podskupinách o stejném rozsahu. Tento typ diagramu zohledňuje i více neshod na jedné jednotce.

U-diagram je určen pro počet neshod na jednotku. Používá se především při nestejném rozsahu podskupin, ale lze jej použít i pro podskupiny o stejném rozsahu. Zohledňuje více neshod na jednotce.

## 2 Způsobilost procesu

Kvalita produktu roste s klesající variabilitou klíčových znaků produktu (Montgomery, 2009) Právě variabilita klíčových znaků je základem pro stanovení způsobilosti procesu.

Způsobilost procesu může být definována, jako míra vlastní variability procesu v porovnání se specifikací produktu (Montgomery, 2001). Způsobilost procesu je vyjádřena nejčastěji pomocí ukazatelů  $C_p$  a  $C_{pk}$ . Ukazatel  $C_p$  vypovídá o schopnosti procesu pohybovat se v mezích tolerančního pole LSL a USL. Pro stanovení je třeba znát přirozené regulační meze, které se stanovují na základě směrodatné odchylky procesu. Tyto meze jsou ve vzdálenosti  $\pm 3\sigma$  od střední hodnoty procesu  $\mu$ . V intervalu mezi přirozenými regulačními mezemi se nachází 99,73% hodnot. Ukazatel  $C_{pk}$  sleduje polohu střední hodnoty klíčového znaku, vzhledem ke středu tolerančního pole (Obr.2).



Zdroj: (Nenadál, 2018)

Obr. 2 Charakteristiky pro stanovení  $C_{pk}$

Předpokladem pro hodnocení způsobilosti procesu je jeho stabilita. Potvrdí-li se pomocí regulačního diagramu, že je proces statisticky zvládnutý, je třeba ještě ověřit, zda je rozdělení sledovaného znaku normální.

## 2.1 Ověření předpokladu normality

K ověření předpokladu normality se používají různé testy normality např. Shapirův-Wilkův test, případně pravděpodobnostní graf. Nulová hypotéza  $H_0$  (výběr pochází z normálního rozdělení) bude zamítnuta, pokud je příslušná p-hodnota menší než 0,05. V opačném případě lze považovat předpoklad normality za splněný. Pokud je pro ověření předpokladu normality použit pravděpodobnostní graf, tak je sledováno, zda vynesené body leží v přímce. V tomto případě je též považován předpoklad normality za splněný. Pokud není předpoklad normality splněn, je třeba zvolit alternativní model rozdělení pomocí vhodného programu.

## 2.2 Analýza ukazatele způsobilosti procesu

Analýza způsobilosti procesu je prováděna u statisticky zvládnutého procesu. Výpočty odhadů ukazatelů způsobilosti jsou pak různé pro normální rozdělení analyzovaných hodnot a pro alternativní rozdělení.

### 2.2.1 Normální rozdělení

Ukazatel způsobilosti  $C_p$  je dán vztahem:

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \quad (2.1)$$

Jedná se o podíl přípustné variability, definované rozdílem tolerančních mezí  $USL$  a  $LSL$ , a přirozené variability procesu definované jako  $6\sigma$ , tedy šestnásobkem směrodatné odchylky sledovaného znaku (Jarošová, 2019). Dolní toleranční mez  $LSL$  a horní toleranční mez  $USL$  jsou předepsány, směrodatná odchylka je odhadnuta dle vztahu

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{nebo} \quad \hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_4} \quad (2.2)$$

Hodnoty součinitelů  $d_2$  a  $C_4$  je uvedena v normě ČSN ISO 7870-2.

Způsobilost procesu lze určit také pomocí jednostranných ukazatelů způsobilosti procesu  $C_{pL}$  a  $C_{pU}$  dle vztahů

$$C_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \quad C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\sigma} \quad (2.3)$$

Hodnota  $\mu$  představuje střední hodnotu procesu.

V praxi nejběžněji používaný ukazatel  $C_{pk}$ , je určen z ukazatelů  $C_{pL}$  a  $C_{pU}$  dle vzorce:

$$C_{pk} = \min(C_{pL}, C_{pU}) \quad (2.4)$$

### 2.2.2 Postup při volbě alternativního modelu

Míra přirozené variability se určuje pomocí kvantilů. Jedná se o kvantily  $X_{0,00135}$ ,  $X_{0,5}$  a  $X_{0,99865}$ . Kvantily zvoleného modelu rozdělení se získají pomocí vhodného programu.  $C_p$  se v tomto případě určí dle vzorce

$$C_p = \frac{USL - LSL}{X_{0,99865} - X_{0,00135}} \quad (2.5)$$

Hodnoty ukazatelů způsobilosti  $C_{pL}$ ,  $C_{pU}$  a  $C_{pk}$  se určí dle vzorců

$$C_{pL} = \frac{X_{0,5} - LSL}{X_{0,5} - X_{0,00135}} \quad C_{pU} = \frac{USL - X_{0,5}}{X_{0,99865} - X_{0,5}} \quad C_{pk} = \min(C_{pL}, C_{pU}) \quad (2.6)$$

Na základě odhadnuté hodnoty  $C_{pk}$  může být posouzena způsobilost procesu. dle tabulky 1.

**Tabulka 1 Interpretace hodnoty  $C_{pk}$**

$C_{pk} < 1$	Proces není způsobilý
$1 \leq C_{pk} < 1,33$	Proces je podmíněčně způsobilý
$C_{pk} \geq 1,33$	Proces je způsobilý



### **3 Aurel CZ**

Společnost Aurel CZ s.r.o. (dále Aurel), je rodinnou firmou, která má již téměř dvacetiletou historii v oblasti automotive. Společnost se sídlem v Praze působí na celkem čtyřech pobočkách a částečně přímo v laboratořích společnosti Škoda AUTO a.s.

Tři pobočky, konkrétně Mladá Boleslav, Liberec a Břehyně jsou orientovány čistě na vývojovou činnost. Jejich náplní je vývoj a testování produktů pro automobilový průmysl. Aurel provozuje moderně vybavené laboratoře. V současnosti byla také zahájena výstavba zkušebního polygonu v Břehyni, kde budou prováděny jízdní testy vozidel. Jeden z mnoha vývojových týmů, které v Aurelu působí, se zabývá analýzou a výzkumem dopravních nehod. Výsledky těchto analýz jsou poté přenášeny do vývoje nových bezpečnostních opatření.

Ve čtvrté pobočce, v Chrastavě se nachází částečně vývoj. Konkrétně laboratoře na simulace střetu vozidla s chodcem. Hlavní část Chrastavské pobočky je však orientována na výrobu.

Tato část Aurelu se zaměřuje na povrchové úpravy kovů a doplňkové výrobní operace. Společnost provozuje čtyři automatické linky, ve kterých tyto úpravy na chemické bázi probíhají. Jedná se o linky odmašťovací s následnou pasivací a o linku fosfátování.

#### **3.1 Odmašťovací a pasivační linky**

Na dvou ponorových a jedné postřikové lince je prováděno odmašťování a následná pasivace převážně hliníkových odlitků. Ponorové linky jsou složeny ze série van, do kterých jsou pomocí automatických manipulátorů, dle přesně stanovených receptur ponořovány koše, ve kterých jsou umístěny zpracovávané díly. Na konci jsou díly osušeny v plynové sušce, zkontrolovány a naskládány do expedičních obalů. V některých případech jsou na dílech provedeny dodatečné operace, jako například zalisování šroubů. Tyto operace nemohou být provedeny před pasivací, jelikož by mohlo dojít vlivem chemického působení k narušení spoje. Postřiková linka funguje na podobném principu. Základním rozdílem je, že materiál není namáčen, ale je umístěn na pás, který projíždí sérií postřikových rámpů a následně sušící sekcí. Sousednost operací je v rámci linky vždy stejná.

Díly jsou v prvním kroku odmaštěny, poté opláchnuty ve standardní vodě. Následuje pasivační lázeň a oplach v demineralizované vodě. Nakonec jsou díly osušeny. Základními funkcemi pasivace je antikorozi ochrana pomocí mikrofilmu, např. titanové vrstvy a také zlepšení adhezních vlastností takto upravovaných dílů. Toto je nezbytné pro další operace prováděné na dílech jako je lepení, svařování, či lakování.

### **3.2 Fosfátovací linka**

Proces fosfátování je prováděn také na automatické ponorové lince. Linka je složena opět ze série van, dvou manipulátorů a jedné sušky. Do van jsou díly v závěsech postupně ponořovány pomocí automatických manipulátorů. Proces fosfátování je ve všech směrech velice složitý. Ve všech funkčních vanách jdou předepsané přesné koncentrace chemikálií, teplota lázně, a doba expozice. Celý tento proces trvá zhruba hodinu. Všechny tyto parametry mají vliv na způsobilost procesu a tím samozřejmě na kvalitu výsledného produktu.

### **3.3 Technologie fosfátování**

Technologie fosfátování je založena na chemické bázi. U všech lázní jsou předepsány přesné parametry, které je nutné precizně dodržovat. U funkčních lázní se jedná o teplotu lázně a koncentraci chemického roztoku. U oplachových lázní hlídáme maximální povolenou vodivost.

Pro každý díl je nastavena receptura, dle které je určena posloupnost operací a doba expozice v jednotlivých lázních. Zpracovávané díly jsou umístěny do závěsů a postupně ponořovány do van dle těchto předepsaných receptur. Některé operace jsou prováděny ve dvou vanách. Zdvojené operace jsou použity vždy z důvodu čistoty lázní. Tato praxe je použita u lázní odmaštění, a také u všech oplachů. První vana je určena k hrubému očištění a druhá k jemnému dočištění, či oplachu.

První operace je odmaštění. Závěsy jsou ponořeny do vany, kde jsou z dílu chemicky odstraněny všechny mastnoty z předešlých výrobních operací. Po uplynutí předepsaného času jsou díly opláchnuty v první sérii oplachových lázní. Takto omyté díly jsou ponořeny do lázně aktivace. Pomocí slabého roztoku hydroxidu sodného je z dílů odstraněna povrchová koroze. Pokud by na díle tato koroze zůstala, tak by se výrazně snížila schopnost dílů „nabírat“ fosfátovou

vrstvu. Po dokončení kroku aktivaci následuje samotné fosfátování. Během stanoveného času díl „nabere“ požadovanou vrstvu povrchové úpravy. Po fosfátování jsou díly opláchnuty a přesunuty do lázně zesílení, V této lázni probíhá první z dokončovací operací. Pomocí chemické reakce zde dojde k uzavření pórů ve struktuře fosfátu. Toto je nejsledovanější operace, kde je naprosto kritické dodržet rychlost reakce a předepsaný čas. Proto je nutné, aby byla reakce zastavena ihned po doběhnutí předepsaného času umístěním dílů do prvního oplachu. Poté následují již operace určené ke zvýšení antikorozi odolnosti. To jsou operace pasivace a utěsnění pomocí olejové emulze. Nakonec jsou díly osušeny v horkovzdušné plynové sušce, vyfoukány tlakovým vzduchem, zkontrolovány a zabaleny do zákaznických obalů.

## 4 Analýza způsobilosti procesu fosfátování

Analýza způsobilosti byla aplikována na proces fosfátování dílů „brzdový třmen“. Tento proces byl vybrán, jelikož se od zahájení testovacího provozu nepodařilo dosáhnout požadované způsobilosti procesu. Jedná se o opracované litinové odlitky, které jsou po nanesení vrstvy odeslány zpět k zákazníkovi na konečnou kompletaci. Tento projekt je ve fázi rozběhu. Momentálně jsou díly zpracovány zhruba ve dvou směnách za týden a je připravován náběh do trvalého provozu.

Analýza způsobilosti byla provedena ve třech etapách. Po počátečních nepřijatelných hodnotách ukazatelů došlo ke změně systému měření a po následné úpravě některých technologických parametrů již bylo dosaženo uspokojivých hodnot ukazatelů. Postup analýzy je popsán v oddílech 4.2, 4.3 a 4.4. V každém oddílu jsou nejprve ověřovány dva předpoklady: statisticky zvládnutý proces a normalita rozdělení naměřených hodnot. K ověření prvního předpokladu jsou použity regulační diagramy, k ověření druhého předpokladu Shapirův-Wilkův test. Podle výsledku testu normality se při výpočtu ukazatelů  $C_p$  a  $C_{pk}$  použije vhodný postup. Analýza byla prováděna s pomocí programu Statgraphics.

### 4.1 Popis procesu a měření

Na díly je v automatické ponorové lince nanášena vrstva zinkfosfátu. Tato povrchová úprava je konečná, je tedy nutné, aby tato vrstva splňovala požadovanou tloušťku povrchové úpravy 15 – 25  $\mu\text{m}$  a tím i předepsanou korozní odolnost. Tato míra je zákazníkem definována jako SC znak. Parametry ovlivňující tloušťku vrstvy jsou koncentrace volné kyseliny, celkové kyseliny, teplota lázně, obsah železa a doba expozice dílů v lázni fosfátování. Se zvyšujícím se obsahem železa klesá účinnost fosfátovací lázně a nanášení vrstvy je pomalejší. Toto lze řešit navýšením teploty, prodloužením doby expozice, nebo kombinací obou možností. Doba expozice (s) je tedy lineárně zvyšována se stoupajícím obsahem železa v lázni (g/l) podle tabulky 2. Dále je potřeba průběžně navyšovat koncentraci celkové kyseliny v lázni.

**Tabulka 2 Závislost délky expozice na obsahu železa**

Obsah Fe (g/l)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
Čas expozice (s)	1100	1110	1120	1130	1140	1150	1160	1170	1180	1190	1200
Obsah Fe (g/l)	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6
Čas expozice (s)	1210	1220	1230	1240	1250	1260	1270	1280	1290	1300	1310

Díly jsou umísťovány do závěsů vždy po 36 kusech. Po dokončení povlakování jsou důkladně vyfoukány tlakovým vzduchem a z každého závěsu je odebrán jeden kus na analýzu. Zkoumá se tloušťka povrchové úpravy, barevný odstín dílu, mastnota a zda nezůstaly v otvorech zbytky olejové emulze.

Měření zinkfosfátové vrstvy na litinových dílech je velmi problematické. Je to hlavně z důvodu povrchové struktury odlitku a konečné povrchové úpravy. Po mnoha testech byl na měření tloušťky jako nejvhodnější zvolen měřicí přístroj od společnosti Helmut Fischer GmbH, konkrétně model FISCHERSCOPE MMS PC (Obr.3). Jedná se o vysoce kvalitní přístroj, který umožňuje širokou škálu nastavení a celkem šest různých režimů měření. Hlavní výhodou přístroje je, že dokáže spolupracovat s různými typy sond. Měření je prováděno na opracované ploše. Výsledné hodnoty jsou zapisovány do sběrné karty a následně vyhodnocovány.



Zdroj: (helmut-fischer.com)

**Obr. 3 FischerScope MMS PC**

## 4.2 Způsobilost procesu – výchozí stav

Předpokladem pro hodnocení způsobilosti procesu je statisticky zvládnutý proces. Výrobní linka je provozována dvě směny týdně. Během směny je zpracováno v průměru 1080 kusů, což odpovídá 30 závěsům, tedy 30 náměrům. Pro účely tohoto rozboru bylo použito 35 náměrů z období prvního pololetí roku 2022. Výběr vzorků byl proveden tak, aby reprezentoval celý rozsah životnosti lázně. Vzorky byly vybírány z výroby při různém obsahu železa v lázni.

Měření probíhalo na jednom kuse z každého závěsu, a to konkrétně na pěti přesně definovaných místech brzdového třmenu. Pro měření byla použita jednoelektrodová sonda FGA06H (Obr.4) od společnosti Helmut Fischer GmbH.



Zdroj: (helmut-fischer.com)

Obr. 4 Sonda FGA06H

Na měřicím přístroji byl nastaven režim jednoduchého číselného zobrazení naměřených hodnot. Hlídní tolerancí a odlehlých hodnot nebylo zapnuto.

### 4.2.1 Regulační diagramy

Pro ověření statistické zvládnutosti procesu byly použity diagramy pro průměr a rozpětí pro rozsah podskupin  $n = 5$ . Základní charakteristiky jsou vypočtené na základě dat v příloze 1 (tloušťka povrchové úpravy – výchozí stav). Hodnoty centrální přímký a regulačních mezí podle vzorců pro průměr (1.3) a pro rozpětí (1.4) jsou:

diagram pro průměr

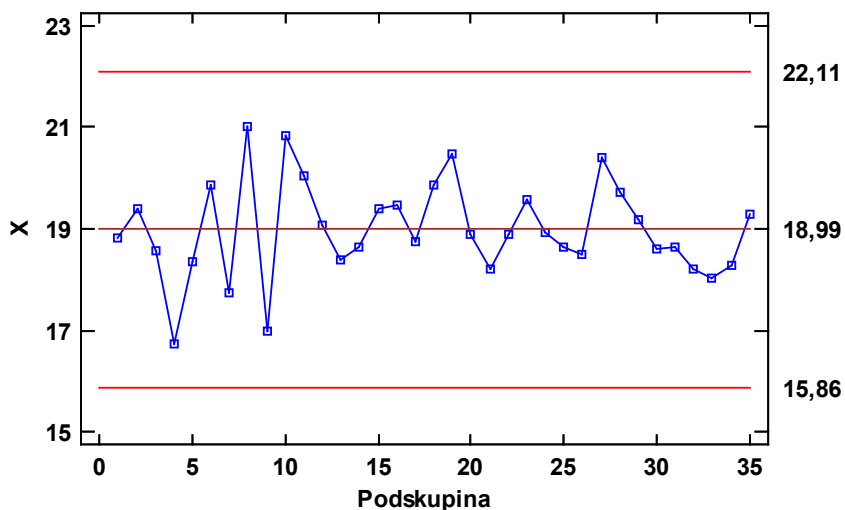
$$CL = \bar{x} = 18,99 \quad LCL = \bar{x} - A_2\bar{R} = 15,86 \quad UCL = \bar{x} + A_2\bar{R} = 22,11$$

diagram pro rozpětí

$$CL = \bar{R} = 5,42 \quad LCL = D_3\bar{R} = 0 \quad UCL = D_4\bar{R} = 11,45$$

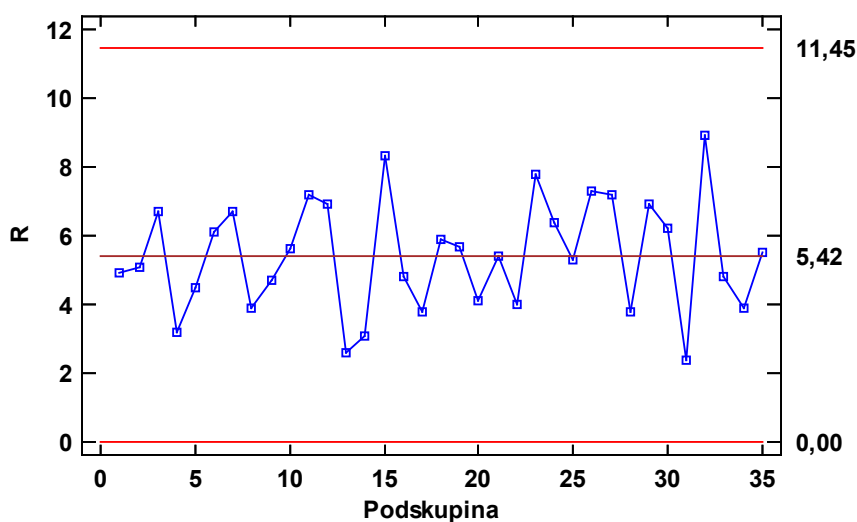
Hodnoty součinitelů  $A_2 = 0,577$ ,  $D_3 = 0$ ,  $D_4 = 2,114$  odpovídají rozsahu podskupin  $n = 5$  (ČSN ISO 7870-2).

Z diagramů pro průměr (obr.5) a rozpětí (obr.6) je patrné, že žádný z bodů nepřesahuje regulační meze. Proces lze tedy prohlásit za statisticky zvládnutý.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 5 Diagram pro průměr



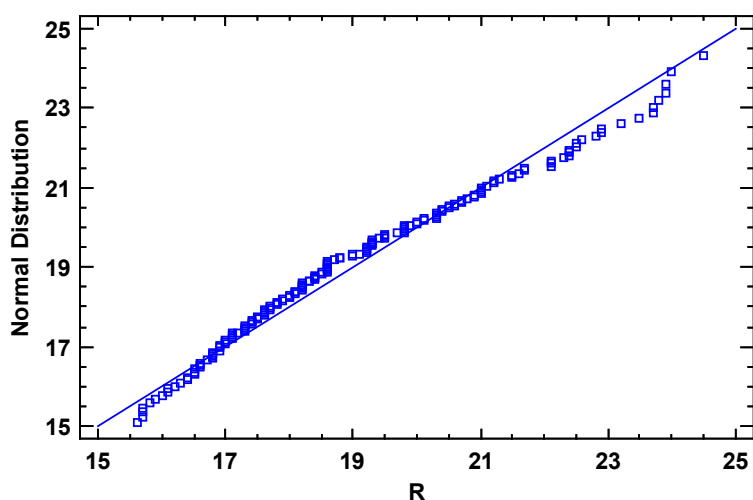
Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 6 Diagram pro rozpětí

### 4.2.2 Ověření normality

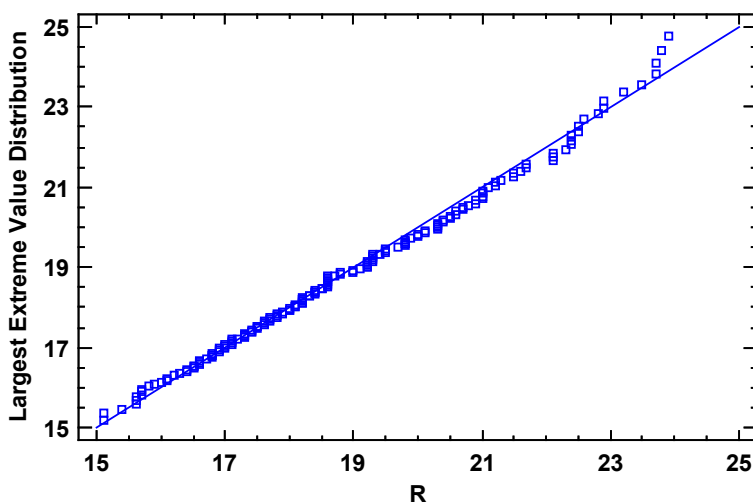
P-hodnota Shapiro-Wilkova testu (0,0006) je menší než 0,001, takže nelze považovat předpoklad normality za splněný. Na porušení předpokladu normality ukazuje i pravděpodobnostní graf (Obr.7).

Z alternativních rozdělení nabízených příslušnou procedurou ve Statgraphicsu je ne prvním místě uvedeno rozdělení extrémních hodnot. P-hodnota chí-kvadrát testu sloužící k ověření tohoto rozdělení je 0,8812. Průběh bodů v pravděpodobnostním grafu pro toto rozdělení (Obr.8) naznačuje vhodnost modelu.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 7 Pravděpodobnostní graf – normální rozdělení



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 8 Pravděpodobnostní graf – rozdělení extrémních hodnot



### 4.2.3 Odhad ukazatelů

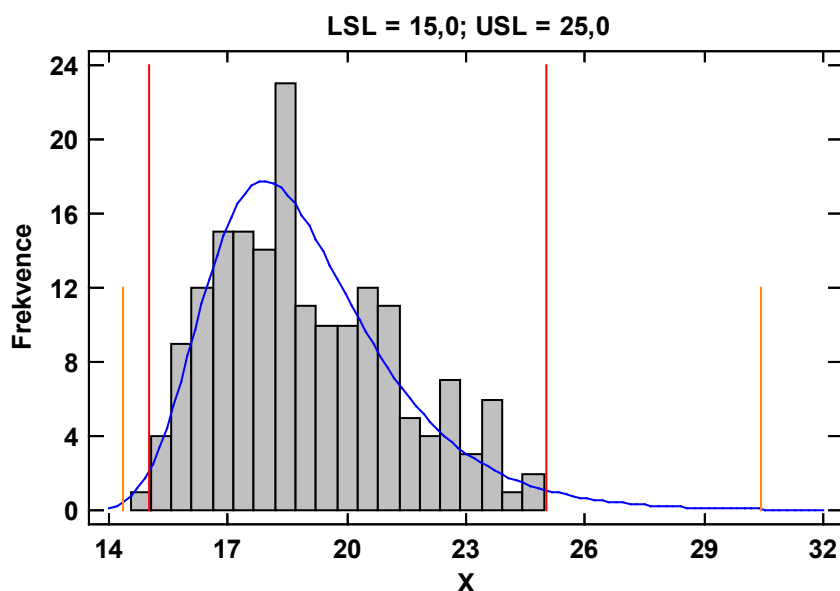
Odhad ukazatelů způsobilosti byl proveden podle vzorců (2.5) a (2.6). Hodnoty kvantilů rozdělení extrémních hodnot jsou  $X_{0,5} = 18,608$ ,  $X_{0,99865} = 30,434$  a  $X_{0,00135} = 14,334$ . Výsledné hodnoty ukazatelů způsobilosti jsou

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{X_{0,99865} - X_{0,00135}} = 0,620$$

$$\hat{C}_{pL} = \frac{X_{0,5} - LSL}{X_{0,5} - X_{0,00135}} = 0,844 \quad \hat{C}_{pU} = \frac{USL - X_{0,5}}{X_{0,99865} - X_{0,5}} = 0,540$$

$$\hat{C}_{pk} = \min(\hat{C}_{pL}, \hat{C}_{pU}) = 0,540$$

Graf způsobilosti je znázorněn na obr.9



Zdroj: (Statgraphics)

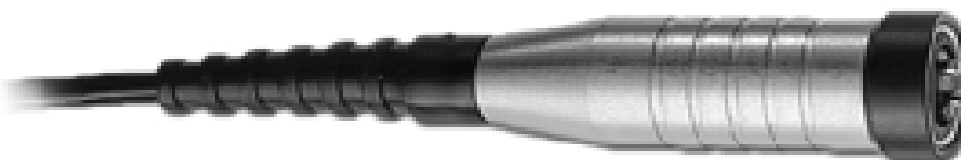
Obr. 9 Graf způsobilosti (model rozdělení extrémních hodnot)

Získaný odhad ukazatele  $C_{pk} = 0,54$  je menší než jedna. Proces tedy není způsobilý.

Výsledky byly konzultovány s techniky dodavatele měřícího zařízení a s techniky dodavatele chemie. Na základě velkého kolísání hodnot naměřených na různých místech třmenu (průměrné rozpětí v podskupinách  $\bar{R} = 5,42$ ) byla doporučena změna měřící sondy a tím i úprava systému měření.

### 4.3 Způsobilost procesu po úpravě systému měření

Výsledky analýzy výchozího stavu a následná doporučení dodavatelů chemie a měřicího zařízení byly představeny zákazníkovi. Tato doporučení byla oboustranně akceptována a bylo rozhodnuto o provedení změn dle těchto doporučení. Vysoké rozpětí na měřených vzorcích bylo způsobeno povrchovou strukturou dílu. Volba použité jednoelektrodové sondy se ukázala jako nevhodná. Na doporučení dodavatele byla nově zvolena sonda V7FKB4 od stejného výrobce (Obr.10). Rozdíly mezi původní a novou sondou jsou velikost sondy a počet měřících elektrod. Nová sonda používá pro měření tloušťky povrchové úpravy dvě elektrody. Nově použitá sonda je rozměrnější, což přináší lepší stabilitu při měření. Vzhledem k rozměrům sondy musel ale být po dohodě se zákazníkem odebrán jeden měřicí bod. Nově tedy budou na každém vzorku měřeny pouze čtyři body.



Zdroj: (helmut-fischer.com)

Obr. 10 Sonda V7FKB4

Toleranční meze pro tloušťku vrstvy zůstaly nezměněny. Pro měření byl nově nastaven režim matrix zobrazení. Také bylo zapnuto hlídání tolerancí a odlehlých hodnot.

#### 4.3.1 Regulační diagramy

Pro ověření statistické zvládnutosti procesu byly použity opět diagramy pro průměr a rozpětí, nově pro rozsah podskupin  $n = 4$ . Základní charakteristiky jsou vypočtené na základě dat v příloze 1 (tloušťka povrchové úpravy po úpravě systému měření). Hodnoty centrální přímký a regulačních mezí podle vzorců pro průměr (1.3) a pro rozpětí (1.4) jsou:

diagram pro průměr

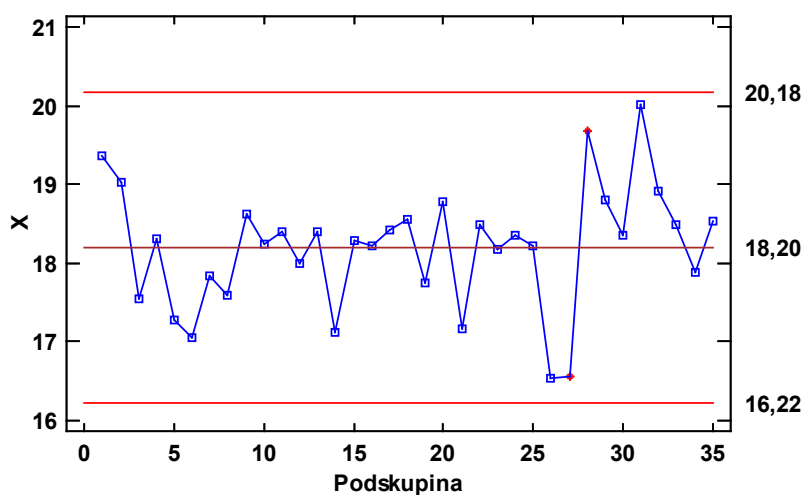
$$CL = \bar{\bar{x}} = 18,2 \quad LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 16,21 \quad UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 20,18$$

diagram pro rozpětí

$$CL = \bar{R} = 2,72 \quad LCL = D_3\bar{R} = 0 \quad UCL = D_4\bar{R} = 6,2$$

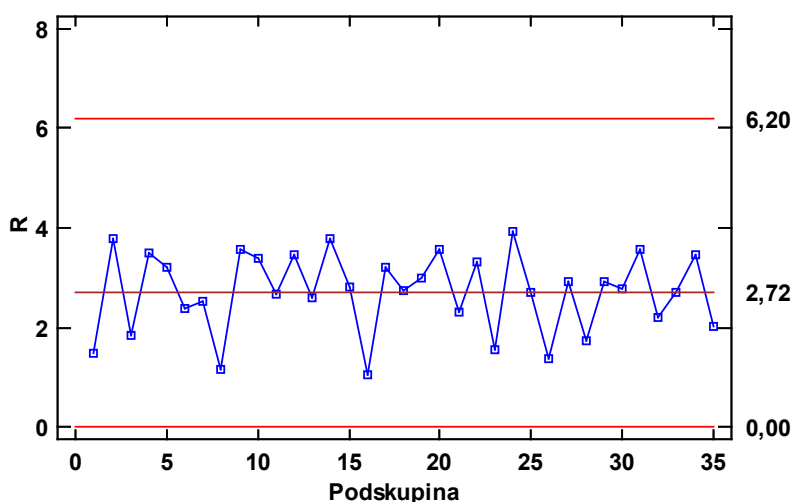
Hodnoty součinitelů  $A_2 = 0,729$ ,  $D_3 = 0$ ,  $D_4 = 2,282$  pro rozsah podskupin  $n = 4$  jsou uvedeny v normě ČSN ISO 7870-2.

Již na první pohled je patrné výrazné zlepšení v průměrném rozpětí naměřených hodnot podskupin. Po úpravě systému měření se snížilo průměrné rozpětí z původních  $5,42 \mu\text{m}$  na současných  $2,72 \mu\text{m}$ . Body v diagramech pro průměr (Obr.11) a rozpětí (Obr.12) jsou mezi regulačními mezemi. Jedná se tedy o statisticky zvládnutý proces.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 11 Diagram pro průměr - Úprava systému měření

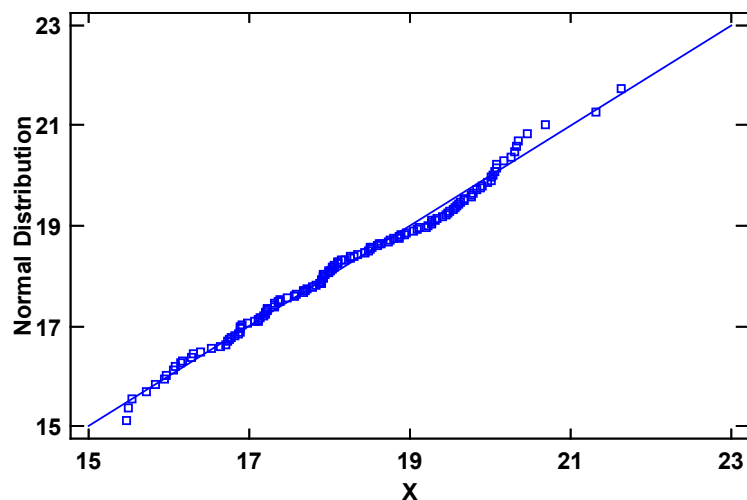


Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 12 Diagram pro rozpětí - Úprava systému měření

### 4.3.2 Ověření normality

Byl proveden test normality (P-hodnota = 0,2878). P-hodnota je větší než 0,05, lze tedy považovat předpoklad normality za splněný viz také Obr.13.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 13 Pravděpodobnostní graf

### 4.3.3 Odhad ukazatelů

Vzhledem ke splnění předpokladu normality byla směrodatná odchylka a ukazatele způsobilosti procesu  $C_p$  a  $C_{pk}$  odhadnuty dle vzorců (2.1), (2.2) a (2.3)

Odhad směrodatné odchylky a ukazatele způsobilosti  $C_p$  jsou

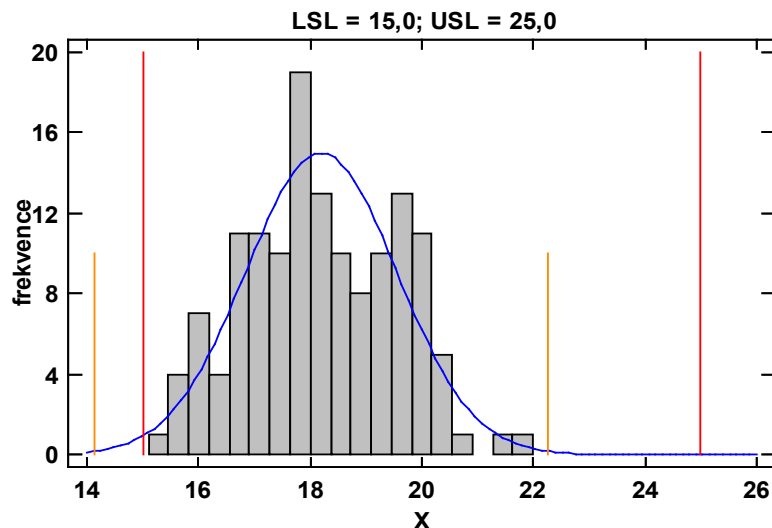
$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1,320 \qquad \hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} = 1,262$$

odhady ukazatelů způsobilosti  $C_{pL}$ ,  $C_{pU}$  a  $C_{pk}$  jsou

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\bar{x}-LSL}{3\hat{\sigma}} = 0,807 \qquad \hat{C}_{pU} = \frac{USL-\bar{x}}{3\hat{\sigma}} = 1,717 \qquad \hat{C}_{pk} = \min(\hat{C}_{pL}, \hat{C}_{pU}) = 0,807$$

Hodnota součinitele  $d_2 = 2,059$  pro rozsah podskupin  $n = 4$  je uvedena v normě ČSN ISO 7870-2.

Výsledný odhad ukazatele  $C_p = 1,26$  naznačuje zlepšení proti původnímu stavu, nicméně hodnota ukazatele  $C_{pk} = 0,8$  je stále neuspokojivá. Proces je posunutý směrem k dolní toleranční mezi (Obr.14). Dle výsledné hodnoty ukazatele  $C_{pk}$  byl proces prohlášen opět jako nezpůsobilý. Pokud je však brána v úvahu hodnota ukazatele  $C_p$ , tak je zde potenciál určitý potenciál pro zlepšení.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 14 Graf způsobilosti procesu - Úprava systému měření

#### 4.4 Způsobilost procesu po změně parametrů procesu

Analýzou dat získaných po úpravě systému měření bylo prokázáno výrazné zlepšení v oblasti rozpětí v podskupinách. Bohužel zlepšení není dostatečné na to, aby byl proces způsobilý, tedy  $C_{pk} > 1,33$ . Výrazný rozdíl v hodnotách  $C_{pL}$  a  $C_{pU}$  naznačuje posun střední hodnoty.

Na základě těchto informací byla provedena série testů se změnou parametrů fosfátovací lázně. Dle výsledků těchto testů byla teplota lázně byla zvýšena o  $1^{\circ}\text{C}$  a navýšen čas expozice dílů v lázni o 100 s (Tabulka 3).

Tabulka 3 Závislost délky expozice na obsahu železa

Obsah Fe (g/l)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3
Čas expozice (s)	1200	1210	1220	1230	1240	1250	1260	1270	1280	1290	1300
Obsah Fe (g/l)	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6
Čas expozice (s)	1310	1320	1330	1340	1350	1360	1370	1380	1390	1400	1410

Systém měření zůstal nezměněn. Výsledné výpočty byly prováděny ze vzorku 70 pozorování, které byly opět vybrány z různých fází životnosti fosfátovací lázně.

##### 4.4.1 Regulační diagramy

Ověření statistické zvládnutosti procesu bylo provedeno opět s diagramy pro průměr a rozpětí a pro rozsah podskupin  $n = 4$ . Základní charakteristiky jsou

vypočtené na základě dat v příloze 1 (tloušťka povrchové úpravy po optimalizaci).  
 Hodnoty centrální přímky a regulačních mezí podle vzorců (1.3) a (1.4) jsou:

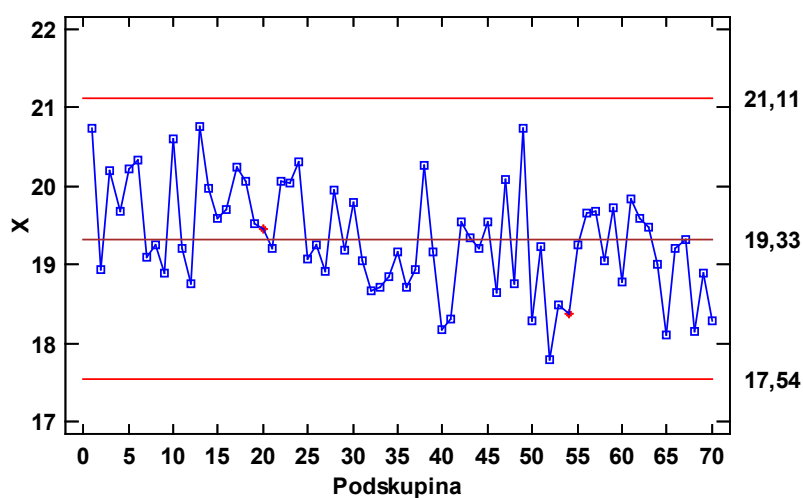
diagram pro průměr

$$CL = \bar{x} = 19,33 \quad LCL = \bar{x} - A_2\bar{R} = 17,54 \quad UCL = \bar{x} + A_2\bar{R} = 21,12$$

diagram pro rozpětí

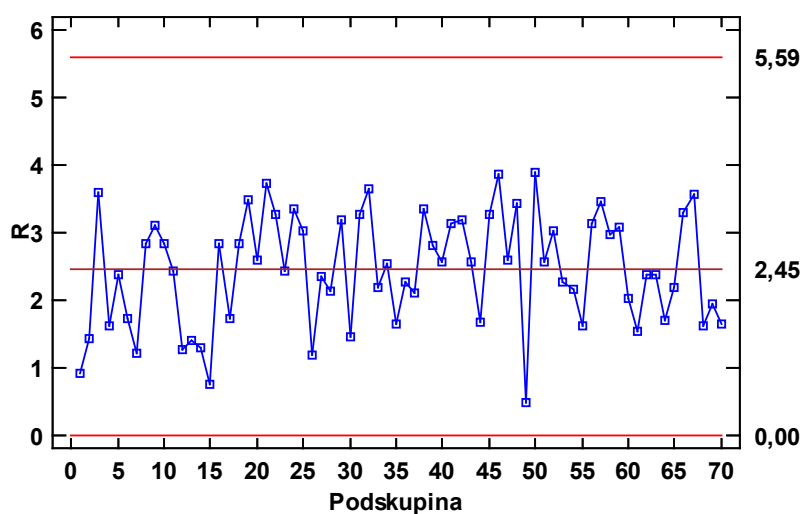
$$CL = \bar{R} = 2,45 \quad LCL = D_3\bar{R} = 0 \quad UCL = D_4\bar{R} = 5,99$$

Diagramy pro průměr (Obr.15) a pro rozpětí (Obr.16) potvrzují statisticky zvládnutý proces.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 15 Diagram pro průměr - Optimalizace

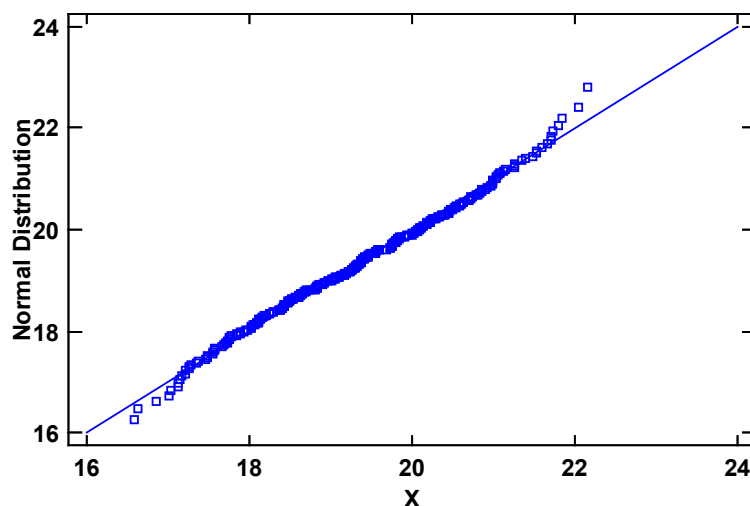


Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 16 Diagram pro rozpětí – Optimalizace

#### 4.4.2 Ověření normality

Protože P-hodnota 0,1304 Shapiro-Wilkova testu je větší než 0,05, lze považovat předpoklad normality za splněný. Na splnění předpokladu ukazuje i pravděpodobnostní graf na obr 17.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 17 Pravděpodobnostní graf

#### 4.4.3 Odhad ukazatelů

Podmínky statisticky zvládnutého procesu a normálního rozdělení naměřených hodnot byly splněny, proto bylo přistoupeno k odhadům ukazatelů  $C_p$  a  $C_{pk}$ .

Hodnota odhadu směrodatné odchylky a ukazatele způsobilosti  $C_p$  dle vzorce (2.1) a (2.2) jsou

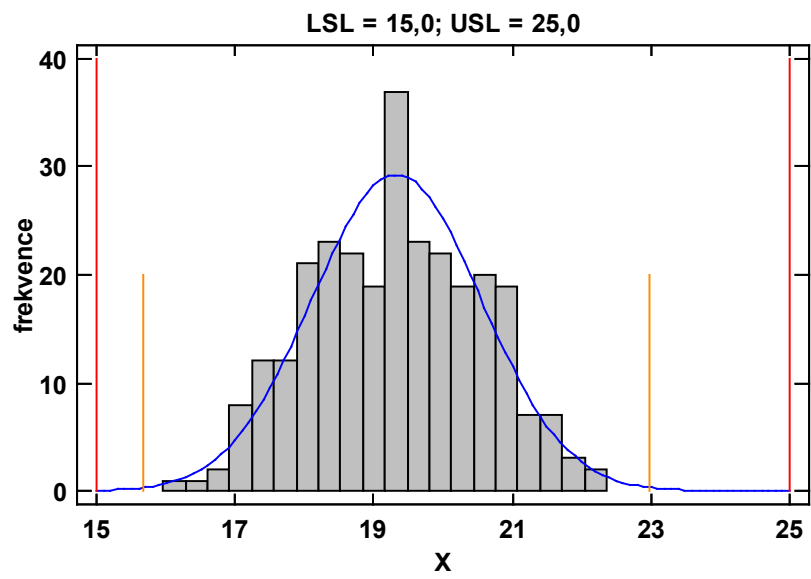
$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1,19 \qquad \hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} = 1,4$$

Hodnoty ukazatelů způsobilosti  $C_{pL}$ ,  $C_{pU}$  a  $C_{pk}$  podle vzorců (2.3) jsou

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\bar{X}-LSL}{3\hat{\sigma}} = 1,212 \qquad \hat{C}_{pU} = \frac{USL-\bar{X}}{3\hat{\sigma}} = 1,585 \qquad \hat{C}_{pk} = \min(\hat{C}_{pL}, \hat{C}_{pU}) = 1,212$$

Analýzou získaných dat bylo pozorováno zlepšení procesu téměř ve všech směrech. Proces stále ještě není centrován. Je stále posunut směrem k mezi LSL (Obr.18), takže zde existuje možnost dalšího zlepšení. Vzhledem k hodnotě ukazatele  $C_p$  však není očekáváno výrazné zlepšení.

Na základě hodnoty ukazatele  $C_{pk} = 1,21$  lze nyní proces prohlásit za podmíněčně způsobilý.



Zdroj: (Statgraphics)

Obr. 18 Graf způsobilosti procesu - Optimalizace



## Závěr

Cílem této bakalářské práce byla analýza a zlepšení způsobilosti procesu povlakování dílů na fosfátovací lince ve společnosti AurelCZ. Při tomto procesu je na díl chemicky nanášena zinkfosfátová vrstva o předepsané tloušťce 15 – 25  $\mu\text{m}$ . Jedná se o začínající projekt povlakování brzdových třmenů. Tato povrchová úprava je na díle konečná.

Výsledky prvotní analýzy ukazovaly na problém s měřením. Rozpětí naměřených hodnot neodpovídalo možnostem zvolené technologie a odhadnuté hodnoty ukazatelů  $C_p$  a  $C_{pk}$  ukázaly na nezpůsobilost procesu.

Na základě těchto výsledků byla změněna měřicí sonda a upraven počet měřených bodů. Po této změně došlo k výraznému snížení variability naměřených hodnot a výsledná hodnota odhadu ukazatele byla  $C_p = 1,26$ . Hodnota ukazatele  $C_{pk} = 0,8$  ukazovala, že proces není centrovaný, a byl stále nezpůsobilý.

V poslední fázi testování bylo přistoupeno ke změně parametrů fosfátovací lázně. Byla navýšena teplota lázně a prodloužen čas expozice dílů v lázni. Po této úpravě došlo k výraznému zlepšení ve všech směrech. Došlo k dalšímu snížení variability v podskupinách a tím ke zvýšení způsobilosti procesu na konečnou hodnotu ukazatelů  $C_p = 1,4$  a  $C_{pk} = 1,21$ . Proces byl prohlášen za podmíněčně způsobilý. Tento výsledek je již pro zákazníka přijatelný.

## Seznam literatury

PETRÁŠOVÁ, I. *Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016*. Praha: Česká společnost pro jakost, z.s., 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

JAROŠOVÁ, E. *Statistické metody managementu kvality pro prezenční a kombinovanou formu studia*. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO Vysoká škola o.p.s., 2019. ISBN 978-80-87042-73-1.

JAROŠOVÁ, E. a NOSKIEVIČOVÁ, D. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2015. ISBN 978-80-247-5884-8.

NENADÁL, J., NOSKIEVIČOVÁ, D., PETŘÍKOVÁ, R., PLURA, J. a TOŠENOVSKÝ J. *Moderní management jakosti Principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.

NENADÁL, J. a kol. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, s.r.o., 2018. ISBN 978-80-726-1558-2.

NENADÁL, J. *Systémy managementu kvality: co, proč a jak měřit?* Praha: Management Press, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-7261-426-4.

MONTGOMERY, DC. *Statistical quality control.: A modern introduction*. Praha: Česká společnost pro jakost, z.s., 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

STATGRAPHICS *Centurion XVI User Manual* [online], 2009, Dostupné z <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/402067/PDFs/user-manual.pdf>

ČSN ISO 7870-2. *Regulační diagramy – Část 2: Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci a státní zkušebnictví. 2018

Aurel CZ. *Příručka systému kvality*. Aurel CZ s.r.o., 2022.

## Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

Obr. 1 Regulační diagram.....	10
Obr. 2 Charakteristiky pro stanovení $C_{pk}$ .....	14
Obr. 3 FischerScope MMS PC .....	21
Obr. 4 Sonda FGA06H .....	22
Obr. 5 Diagram pro průměr .....	23
Obr. 6 Diagram pro rozpětí.....	23
Obr. 7 Pravděpodobnostní graf – normální rozdělení .....	24
Obr. 8 Pravděpodobnostní graf – rozdělení extrémních hodnot.....	24
Obr. 9 Graf způsobilosti (model rozdělení extrémních hodnot).....	25
Obr. 10 Sonda V7FKB4 .....	26
Obr. 11 Diagram pro průměr - Úprava systému měření.....	27
Obr. 12 Diagram pro rozpětí - Úprava systému měření .....	27
Obr. 13 Pravděpodobnostní graf.....	28
Obr. 14 Graf způsobilosti procesu - Úprava systému měření.....	29
Obr. 15 Diagram pro průměr - Optimalizace .....	30
Obr. 16 Diagram pro rozpětí – Optimalizace .....	30
Obr. 17 Pravděpodobnostní graf.....	31
Obr. 18 Graf způsobilosti procesu - Optimalizace .....	32

### Seznam tabulek

Tabulka 1 Interpretace hodnoty $C_{pk}$ .....	16
Tabulka 2 Závislost délky expozice na obsahu železa .....	21
Tabulka 3 Závislost délky expozice na obsahu železa .....	29

## Seznam příloh

Příloha 1 .....	37
-----------------	----

## Příloha 1

### Tloušťka povrchové úpravy – výchozí stav

	1	2	3	4	5	X	R	Průměr			Rozpětí		
								LCL	CL	UCL	LCL	CL	UCL
1	17,10	21,50	17,00	21,70	16,80	18,82	4,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
2	18,10	17,30	22,40	19,10	20,10	19,40	5,10	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
3	15,70	19,50	16,50	22,40	18,80	18,58	6,70	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
4	16,90	18,20	17,90	15,70	15,00	16,74	3,20	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
5	18,60	17,80	17,60	16,60	21,10	18,34	4,50	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
6	17,40	20,40	18,70	23,50	19,30	19,86	6,10	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
7	15,80	17,10	16,50	16,80	22,50	17,74	6,70	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
8	20,00	20,00	23,70	21,60	19,80	21,02	3,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
9	15,40	15,10	16,40	19,80	18,30	17,00	4,70	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
10	20,40	20,30	18,10	23,70	21,70	20,84	5,60	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
11	24,50	18,40	19,20	20,90	17,30	20,06	7,20	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
12	22,80	15,90	22,10	18,10	16,50	19,08	6,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
13	18,40	18,50	16,90	18,60	19,50	18,38	2,60	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
14	17,40	20,50	18,50	18,20	18,60	18,64	3,10	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
15	15,60	23,90	19,30	16,60	21,50	19,38	8,30	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
16	17,80	18,20	18,30	20,50	22,60	19,48	4,80	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
17	20,60	17,40	16,80	19,70	19,20	18,74	3,80	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
18	20,70	17,90	17,30	20,30	23,20	19,88	5,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
19	23,90	20,60	18,20	18,80	20,90	20,48	5,70	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
20	19,80	19,00	18,20	20,80	16,70	18,90	4,10	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
21	17,50	16,30	20,70	21,00	15,60	18,22	5,40	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
22	17,00	21,00	20,30	19,20	17,00	18,90	4,00	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
23	22,10	18,60	19,20	15,10	22,90	19,58	7,80	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
24	22,50	16,10	16,40	19,30	20,30	18,92	6,40	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
25	21,30	16,00	18,60	19,50	17,80	18,64	5,30	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
26	17,50	19,20	22,90	15,60	17,30	18,50	7,30	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
27	19,80	17,50	18,00	22,10	24,70	20,42	7,20	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
28	19,30	19,00	22,40	19,30	18,60	19,72	3,80	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
29	23,80	17,60	19,40	18,20	16,90	19,18	6,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
30	22,30	17,60	17,10	16,10	19,90	18,60	6,20	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
31	18,40	18,40	18,60	20,10	17,70	18,64	2,40	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
32	15,10	24,00	18,00	17,20	16,80	18,22	8,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
33	21,00	18,60	17,70	16,20	16,60	18,02	4,80	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
34	21,00	18,00	17,60	17,70	17,10	18,28	3,90	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45
35	21,20	21,20	18,60	19,80	15,70	19,30	5,50	15,86	18,99	22,11	0,00	5,42	11,45

Tloušťka povrchové úpravy po úpravě systému měření

	1	2	3	4	X	R	Průměr			Rozpětí		
							LCL	CL	UCL	LCL	CL	UCL
1	18,60	20,07	18,89	19,87	19,36	1,47	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
2	19,27	19,26	20,68	16,88	19,02	3,80	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
3	17,38	18,49	17,67	16,64	17,55	1,85	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
4	17,92	19,48	19,67	16,17	18,31	3,50	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
5	17,79	18,76	16,98	15,54	17,27	3,22	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
6	15,71	16,28	18,10	18,06	17,04	2,39	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
7	17,79	16,90	19,41	17,22	17,83	2,51	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
8	18,25	17,89	17,10	17,11	17,59	1,15	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
9	17,99	20,27	19,57	16,70	18,63	3,57	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
10	17,18	19,78	19,63	16,38	18,24	3,40	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
11	18,86	18,35	19,53	16,86	18,40	2,67	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
12	16,05	18,31	19,50	18,11	17,99	3,45	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
13	19,10	18,44	16,74	19,33	18,40	2,59	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
14	15,50	17,19	16,52	19,27	17,12	3,77	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
15	20,06	17,23	18,51	17,35	18,29	2,83	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
16	17,90	17,93	18,09	18,94	18,22	1,04	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
17	18,00	16,82	20,02	18,80	18,41	3,20	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
18	17,59	20,32	17,68	18,62	18,55	2,73	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
19	15,97	17,91	18,95	18,18	17,75	2,98	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
20	17,89	16,73	20,30	20,16	18,77	3,57	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
21	17,31	18,14	17,37	15,83	17,16	2,31	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
22	17,22	20,36	19,32	17,06	18,49	3,30	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
23	18,86	17,31	17,87	18,65	18,17	1,55	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
24	19,46	16,14	20,07	17,72	18,35	3,93	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
25	17,93	18,44	16,88	19,58	18,21	2,70	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
26	17,32	16,07	16,78	15,94	16,53	1,38	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
27	18,04	17,55	15,46	15,13	16,55	2,91	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
28	19,67	18,72	20,47	19,89	19,69	1,75	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
29	20,01	17,13	20,04	18,04	18,81	2,91	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
30	17,69	18,52	19,96	17,20	18,34	2,76	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
31	21,64	21,32	19,04	18,06	20,02	3,58	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
32	19,23	17,57	19,11	19,76	18,92	2,19	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
33	19,21	16,88	19,60	18,26	18,49	2,72	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
34	16,30	17,48	19,77	17,95	17,88	3,47	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20
35	18,50	17,83	17,98	19,84	18,54	2,01	16,21	18,20	20,18	0,00	2,72	6,20

### Tloušťka povrchové úpravy po optimalizaci

	1	2	3	4	X	R	Průměr			Rozpětí		
							LCL	CL	UCL	LCL	CL	UCL
1	20,78	21,05	20,98	20,13	20,74	0,92	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
2	18,42	18,90	18,60	19,85	18,94	1,43	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
3	18,46	19,55	22,05	20,71	20,19	3,59	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
4	18,67	20,29	19,55	20,17	19,67	1,62	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
5	20,10	19,55	21,79	19,42	20,22	2,37	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
6	20,52	21,40	19,76	19,68	20,34	1,72	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
7	19,33	19,46	19,35	18,24	19,10	1,22	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
8	20,18	20,39	17,56	18,89	19,26	2,83	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
9	17,01	20,11	19,24	19,25	18,90	3,10	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
10	20,71	22,16	20,22	19,31	20,60	2,85	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
11	20,46	19,85	18,03	18,47	19,20	2,43	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
12	18,10	19,38	19,19	18,38	18,76	1,28	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
13	20,19	20,24	21,60	20,97	20,75	1,41	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
14	20,72	19,41	20,23	19,53	19,97	1,31	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
15	19,91	19,74	19,60	19,14	19,60	0,77	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
16	18,83	21,26	18,43	20,33	19,71	2,83	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
17	19,17	20,85	20,89	20,09	20,25	1,72	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
18	21,74	19,41	18,91	20,23	20,07	2,83	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
19	21,72	18,91	18,24	19,18	19,51	3,48	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
20	20,98	18,65	18,38	19,79	19,45	2,60	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
21	19,13	19,25	17,34	21,08	19,20	3,74	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
22	20,99	17,97	20,06	21,25	20,07	3,28	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
23	20,11	21,53	19,45	19,11	20,05	2,42	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
24	18,50	21,71	21,85	19,16	20,31	3,35	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
25	17,04	19,79	19,38	20,06	19,07	3,02	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
26	19,36	19,79	19,25	18,60	19,25	1,19	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
27	18,40	18,15	20,49	18,61	18,91	2,34	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
28	20,75	19,33	18,80	20,93	19,95	2,13	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
29	20,83	18,82	17,65	19,45	19,19	3,18	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
30	20,28	18,82	20,17	19,86	19,78	1,46	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
31	18,64	21,34	18,08	18,13	19,05	3,26	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
32	18,03	21,03	17,37	18,21	18,66	3,66	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
33	18,52	19,94	18,63	17,75	18,71	2,19	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
34	18,84	19,81	17,27	19,48	18,85	2,54	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
35	19,04	19,72	18,11	19,75	19,16	1,64	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59

	1	2	3	4	X	R	Průměr			Rozpětí		
							LCL	CL	UCL	LCL	CL	UCL
36	18,35	19,09	17,56	19,83	18,71	2,27	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
37	19,29	18,50	20,02	17,92	18,93	2,10	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
38	18,30	21,66	21,53	19,59	20,27	3,36	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
39	19,23	20,35	19,54	17,55	19,17	2,80	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
40	17,76	18,68	19,40	16,84	18,17	2,56	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
41	17,25	16,63	19,76	19,58	18,31	3,13	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
42	19,40	21,49	18,29	18,96	19,54	3,20	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
43	18,07	20,58	20,63	18,09	19,34	2,56	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
44	20,10	19,76	18,57	18,42	19,21	1,68	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
45	21,12	20,49	18,70	17,85	19,54	3,27	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
46	17,25	17,21	19,02	21,08	18,64	3,87	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
47	20,82	21,14	18,54	19,80	20,08	2,60	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
48	20,58	17,14	18,51	18,80	18,76	3,44	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
49	20,70	20,86	20,96	20,47	20,75	0,49	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
50	20,46	18,42	16,58	17,71	18,29	3,88	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
51	20,60	18,96	19,36	18,04	19,24	2,56	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
52	18,41	17,16	19,30	16,26	17,78	3,04	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
53	17,84	19,96	17,69	18,47	18,49	2,27	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
54	19,37	19,32	17,22	17,57	18,37	2,15	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
55	20,23	18,60	19,36	18,85	19,26	1,63	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
56	19,76	20,69	20,64	17,55	19,66	3,14	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
57	17,78	20,44	19,26	21,25	19,68	3,47	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
58	20,46	18,83	17,48	19,45	19,06	2,98	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
59	20,00	20,31	20,85	17,76	19,73	3,09	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
60	19,43	19,76	18,17	17,72	18,77	2,04	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
61	20,00	19,77	20,55	19,00	19,83	1,55	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
62	18,91	19,82	20,99	18,62	19,59	2,37	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
63	18,16	19,22	20,54	19,99	19,48	2,38	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
64	18,43	19,06	20,13	18,43	19,01	1,70	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
65	17,12	17,96	19,31	18,02	18,10	2,19	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
66	19,27	20,41	20,04	17,12	19,21	3,29	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
67	19,74	21,04	17,47	19,05	19,33	3,57	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
68	19,06	17,45	17,89	18,20	18,15	1,61	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
69	18,10	20,05	18,70	18,73	18,90	1,95	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59
70	17,73	17,89	19,37	18,12	18,28	1,64	17,54	19,33	21,12	0,00	2,45	5,59



## ANOTAČNÍ ZÁZNAM

<b>AUTOR</b>	Michal Palounek		
<b>STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE</b>	Specializace Logistika a management kvality		
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Způsobilost procesu fosfátování		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.		
<b>KATEDRA</b>	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	<b>ROK ODEVZDÁNÍ</b>	2022
<b>POČET STRAN</b>	43		
<b>POČET OBRÁZKŮ</b>	18		
<b>POČET TABULEK</b>	3		
<b>POČET PŘÍLOH</b>	1		
<b>STRUČNÝ POPIS</b>	<p>Bakalářská práce je zaměřena na analýzu způsobilosti výrobního procesu. S využitím vhodných ukazatelů byl zanalyzován proces fosfátování brzdových třmenů. Jako sledovaný znak je určena tloušťka povrchové úpravy. Po prvotní analýze byl změněn systém měření. Tato změna vedla ke snížení kolísání v měřených podskupinách, ale tato zlepšení nebylo dostatečné. V poslední fázi byly upraveny parametry procesu, konkrétně čas expozice dílů ve fosfátovací lázni. Po této úpravě byl proces opět zanalyzován a prohlášen za podmíněčně způsobilý. Tento závěr je pro</p>		

	<b>zákazníka přijatelný</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<b>Způsobilost procesu, Normalita, Statistická regulace procesu</b>

## ANNOTATION

<b>AUTHOR</b>	<b>Michal Palounek</b>		
<b>FIELD</b>	<b>Specialization Logistics and Quality Management</b>		
<b>THESIS TITLE</b>	<b>Phosphating process capability</b>		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.</b>		
<b>DEPARTMENT</b>	<b>KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management</b>	<b>YEAR</b>	<b>2022</b>
<b>NUMBER OF PAGES</b>	<b>43</b>		
<b>NUMBER OF PICTURES</b>	<b>18</b>		
<b>NUMBER OF TABLES</b>	<b>3</b>		
<b>NUMBER OF APPENDICES</b>	<b>1</b>		
<b>SUMMARY</b>	<p><b>The bachelor's thesis is focused on the analysis of the capability of the production process. The phosphating process of brake calipers was analyzed using appropriate indicators. The thickness of the surface treatment is determined as the monitored feature. After the initial</b></p>		

	<p>analysis, the measurement system was changed. This change led to a reduction in variation in the measured subgroups, but these improvements were not sufficient. In the last stage, the parameters of the process were adjusted, specifically the exposure time of the parts in the phosphating bath. After this adjustment, the process was analyzed again and declared conditionally eligible. This conclusion is acceptable to the customer.</p>
<p><b>KEY WORDS</b></p>	<p>Process capability, Normality, Statistical control of the process</p>