ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208T088 Podniková ekonomika a management provozu

ANALÝZA ZPŮSOBILOSTI VÝROBNÍHO PROCESU PALIVOVÝCH NÁDRŽÍ

Diplomová práce

Bc. Hana JANČULOVÁ

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

V tištěné verzi závěrečné práce tento list vyjměte a nahraďte zadáním závěrečné práce. V elektronické verzi práce zde vložte oskenované zadání se všemi podpisy.

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) 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(a), 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 *Vlastnoruční podpis*

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

Obsah

Úvod ... 8

1 Analýza způsobilosti procesu ... 9
1.1 Analýza systému měření ... 9
1.1.1 Statistické vlastnosti systému měření ... 9
1.1.2 Metody analýzy ... 9
1.1.3 Používané ukazatele ... 12
1.2 Statistická regulace procesu ... 13
1.2.1 Podstata a typy SPC ... 13
1.2.2 Popis regulačního diagramu ... 13
1.2.3 Logické podskupiny a kontrolní interval ... 14
1.2.4 Fáze regulace procesu ... 16
1.2.5 Shewhartovy regulační diagramy měřením ... 18
1.2.6 Předpoklady Shewhartových regulačních diagramů ... 21
1.2.7 Vlastnosti Shewhartova regulačního diagramu ... 23
1.2.8 Testy seskupení ... 24
1.3 Způsobilost procesu ... 25
1.4 Plán kontroly a řízení ... 29

2 Kautex Textron Bohemia, spol. s r.o. ... 30
2.1 Historie společnosti ... 30
2.2 Politika a cíle ... 31
2.3 Organigram oddělení kvality ... 31

3 Výrobní proces palivových nádrží ... 33
3.1 Popis výrobního procesu ... 33
3.2 Popis testů kvality ... 37

4 Způsobilost procesu vyfukování ... 44
4.1 Analýza systému měření ... 44
4.2 Hodnocení způsobilosti ... 45
4.2.1 Hodnocení způsobilosti v měřicím bodě 1 ... 46
4.2.2 Hodnocení způsobilosti v měřicím bodě 2 ... 48
4.2.3 Ověření normálního rozdělení ... 50
4.2.4 Hodnocení způsobilosti v měřicím bodě 3 ... 51
4.2.5 Hodnocení způsobilosti v bodě 4 ... 54

5 Nákladové zhodnocení 59
5.1 Výrobní náklady 59
5.2 Navrhovaná řešení 60
Závěr 62
Seznam literatury 63
Seznam obrázků a tabulek 65
Seznam tabulek 67
Seznam příloh 68

Seznam použitých zkratek a symbolů

CL	Centrální přímka
FIFO	First In, First Out
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
KBO	Kautex Textron Bohemia, spol. s r.o.
LCL	Dolní regulační mez
LSL	Dolní toleranční mez
MSA	Analýza systému měření
OEE	Overall equipment effectiveness
SAP	Logistický software
SPC	Statistická regulace procesu
TXT	Textron Inc.
UCL	Horní regulační mez
USL	Horní toleranční mez

Úvod

V současné době se podniky orientují na snižování svých nákladů. Pokud se jedná o oddělení kvality automobilového průmyslu, úspory se hledají např. ve snížení zákaznických reklamací, použití levnějšího nakupovaného materiálu, avšak v požadované kvalitě, outsourcování některých služeb jako jsou třídící a laboratorní práce, snižování šrotovaných výrobků. Právě v tématu snižování šrotace se nahrazují destruktivní testy nedestruktivními, a pokud neexistuje taková možnost, podniky se snaží snížit destruktivní testy na minimum.

Téma snižování nákladů na destruktivní testy je ve společnosti Kautex Textron Bohemia, spol. s r.o., kde autorka vykonává nepovinnou praxi na oddělení kvality již třetím rokem, aktuální. Teoretická část se zabývá hodnocením způsobilosti procesu, kde je vysvětlena analýza systému měření, statistická regulace procesu, ukazatele způsobilosti procesu a popsán dokument zvaný Plán kontroly a řízení.

Hlavním cílem diplomové práce je vyhodnotit způsobilost výrobního procesu palivových nádrží na vybraném projektu ve společnosti Kautex Textron Bohemia, spol. s r.o., a optimalizovat postup sledování kvality procesu.

Praktická část je tvořena čtyřmi kapitolami. V první kapitole je představena historie, cíle a politika kvality. V další kapitole se popisuje průběh výrobního procesu a veličina, jejíž hodnoty se získávají pomocí destruktivního testu. Třetí kapitola rozebírá způsobilost procesu výroby, kterou zahajuje analýza způsobilosti systému měření, a následně jsou počítány ukazatele způsobilosti procesu ve čtyřech měřicích bodech. Na závěr jsou pomocí kusovníku a dalších informací vyjádřeny výrobní náklady a navržena úprava kontrolního postupu s cílem snížit náklady.

1 Analýza způsobilosti procesu

Tato kapitola vysvětluje analýzu systému měření, statistickou regulaci procesu, ukazatele způsobilosti procesu a popisuje dokument automobilového průmyslu Plán kontroly a řízení.

1.1 Analýza systému měření

Základem úspěšného hodnocení způsobilosti procesu jsou kvalitní data, proto se analyzuje a vyhodnocuje systém měření (dále jen MSA). Ověření kvalitních dat je zejména požadovaná normou IATF 16949:2016 pro dodavatele automobilového průmyslu (Česká společnost pro jakost, 2016).

1.1.1 Statistické vlastnosti systému měření

Způsobilost systému měření zahrnuje statistické vlastnosti, kterými jsou strannost, stabilita, linearita, opakovatelnost a reprodukovatelnost. Strannost lze považovat za celkovou systematickou chybu měření. Stabilita udává změnu strannosti za delší časové období. Linearita vyjadřuje rozdíl hodnot strannosti v avizovaném pracovním rozsahu pro systém měření (Nenadál a kol., 2016).

V podnicích pro stanovení příčin variability naměřených dat se používají studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, tzv. studie R&R nebo také známé pod názvem GR&R. Opakovatelností je myšleno shodnost výsledků měření, které provádí jeden operátor na stejném vzorku jedním měřidlem v krátkém časovém intervalu za předem daných konstantních podmínek. Reprodukovatelnost znamená shodnost výsledků měření stejného znaku kvality na tomtéž dílu, ale za změněných podmínek. Reprodukovatelnost se obvykle vyhodnocuje na základě měření za použití jednoho měřidla se střídáním pracovníků (AIAG, 2010).

1.1.2 Metody analýzy

Celková variabilita systému měření vyjádřená rozptylem σ_T^2 se skládá z rozptylu mezi díly σ_P^2 a rozptylu variability systému měření $\sigma_{R\&R}^2$ a určí se vzorcem

$$\sigma_T^2 = \sigma_P^2 + \sigma_{R\&R}^2 \tag{1}$$

Variabilita způsobená chybou systému měření se skládá ze tří složek

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma^2 + \sigma_O^2 + \sigma_{OP}^2 \tag{2}$$

kde σ^2 je složka opakovatelnosti (měřidlo), σ_O^2 složka reprodukovatelnosti (operátor) a σ_{OP}^2 složka interakce operátor-díl.

Při MSA je možné měřit dohromady buď p dílů s o operátory a každý operátor měří každý díl pouze jednou, nebo lze měřit p dílů a každý operátor bude měřit každý díl r-krát. V praxi se obvykle měří 10 jednotek, 2 až 3 operátoři a každý opakuje měření téhož dílu dvakrát nebo třikrát (Jarošová, 2011). K odhadu složek rozptylu se používají metody založené na rozpětí, průměru a rozpětí nebo metoda ANOVA (Česká společnost pro jakost, 2011).

- **Metoda založená na rozpětí**

Na základě jednoduššího experimentu, kdy se každý díl měří jen jednou, lze vyjádřit pouze kombinaci opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Celkový systém měření při této metodě se hodnotí pomocí odhadu směrodatné odchylky chyby systému měření $\hat{\sigma}_{R\&R}$. Z měření na každém dílu se spočte rozpětí a následně průměrné rozpětí $\bar{R}$ vztahem

$$\bar{R} = \frac{1}{p}\sum_{j=1}^{p} R_j \tag{3}$$

Odhad směrodatné odchylky chyby systému měření $\hat{\sigma}_{R\&R}$ je

$$\hat{\sigma}_{R\&R} = \frac{\bar{R}}{d^*} \tag{4}$$

kde součinitel d^* závisí na počtu operátorů o a počtu dílů p a lze jej nalézt např. v (AIAG, 2010).

- **Metoda založená na průměru a rozpětí**

Metoda umožňuje určení obou složek variability, tj. opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Vyjádří se rozpětí pro každou kombinaci operátora a dílu z r opakovaní měření a z celkových po rozpětí se určí průměrné rozpětí $\bar{R}$ podle vzorce

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_p}{po} \tag{5}$$

Opakovatelnost je daná vzorcem

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d^*} \tag{6}$$

Součinitel d^* závisí na počtu opakování r a počtu výběrů po. Odhad směrodatné odchylky reprodukovatelnosti $\hat{\sigma}_O$ se určí podle vztahu

$$\hat{\sigma}_O = \sqrt{\left(\frac{R_{\bar{x}}}{d^*}\right)^2 - \frac{\hat{\sigma}^2}{pr}} \quad (7)$$

kde $R_{\bar{x}}$ je rozpětí průměrů pr výsledků od každého operátora. Součinitel d^* je určen jedním výběrem a rozsahem r. Rozptyl variability systému měření při této metodě je (Jarošová, 2011)

$$\sigma^2_{R\&R} = \sigma^2 + \sigma^2_O \quad (8)$$

- **Metoda ANOVA**

V příručce MSA (ČSJ 2011) se k vyhodnocení doporučuje analýza rozptylu (ANOVA), pomocí níž se dokáže přesněji odhadnut rozptyly než u předchozích dvou metod, a lze ji využít i pro složitější návrhy experimentu. Výsledky analýzy rozptylu se znázorňují v tabulce ANOVA (tab. 1). Vzorce pro výpočet součtů čtverců lze nalézt např. v (AIAG, 2010). Za zdroje se považují příčiny variability, stupně volnosti souvisejí se součtem čtverců, průměrný čtverec je podílem součtu čtverců a stupně volnosti a F je hodnota testové statistiky. Testuje se hypotéza o nulovém rozptylu jednotlivých zdrojů variability.

Tab. 1 ANOVA

Zdroj	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměrný čtverec	F
operátor	SS_O	$o-1$	$MS_O = \frac{SS_0}{o-1}$	$\frac{MS_O}{MS_{OP}}$
díl	SS_P	$p-1$	$MS_P = \frac{SS_P}{p-1}$	$\frac{MS_P}{MS_{OP}}$
operátor x díl	SS_{OP}	$(o-1)(p-1)$	$MS_{OP} = \frac{SS_{OP}}{(o-1)(p-1)}$	$\frac{MS_{OP}}{MS_E}$
měřidlo/zařízení	SS_E	$op(r-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{op(r-1)}$	
Celkem	SS_T	$opr-1$	$MS_T = \frac{SS_T}{opr-1}$	

Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2011, str. 127

Odhady jednotlivých složek rozptylu se určí s využitím tabulky ANOVA podle následujících vzorců (Jarošová, 2010)

$$\hat{\sigma}^2_O = \frac{MS_O - MS_{OP}}{pr} \quad (9)$$

$$\hat{\sigma}^2_P = \frac{MS_P - MS_{OP}}{or} \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}_{OP}^2 = \frac{MS_{OP} - MS_E}{r} \tag{11}$$

$$\hat{\sigma}^2 = MS_E \tag{12}$$

1.1.3 Používané ukazatele

K posouzení způsobilosti měřicího systému se využívá několik ukazatelů. Běžně se zkoumá ukazatel pro podíl opakovatelnosti $\%EV$, reprodukovatelnosti $\%AV$, a ukazatel způsobilosti měřícího systému $\%R\&R$ určené vzorci (Česká společnost pro jakost, 2011)

$$\%EV = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\sigma}_T} \times 100 \tag{13}$$

$$\%AV = \frac{\hat{\sigma}_O}{\hat{\sigma}_T} \times 100 \tag{14}$$

$$\%R\&R = \frac{\hat{\sigma}_{R\&R}}{\hat{\sigma}_T} \times 100 \tag{15}$$

Místo směrodatné odchylky σ_T se někdy využívá šířka tolerančního pole a ukazatele se určí podle vzorců

$$\%EV = \frac{6\hat{\sigma}}{USL - LSL} \times 100 \tag{16}$$

$$\%AV = \frac{6\hat{\sigma}_O}{USL - LSL} \times 100 \tag{17}$$

$$\%P/T = \frac{6\hat{\sigma}_{R\&R}}{USL - LSL} \times 100 \tag{18}$$

Systém měření se dle příručky AIAG 2010 považuje za způsobilý, jsou-li ukazatele $\%R\&R$ nebo $\%P/T$ menší než 10 %, podmíněně způsobilý vyjdou-li ukazatele v rozmezí od 10 % do 30 %, a někdy dle zákazníka a statistických aplikací se považuje za dostačující, když není k dispozici vhodnější měřidlo. Hodnoty větší než 30 % ukazují na nezpůsobilost systému měření.

Kromě uvedených ukazatelů se používá také míra ndc, počet kategorií, které je možno rozlišit, pro kterou platí vztah

$$ndc = \sqrt{\frac{2\sigma_P^2}{\sigma_T^2}} \tag{19}$$

Platí-li $ndc \geq 5$, systém měření je adekvátní.

1.2 Statistická regulace procesu

Stabilita procesu je prvním předpokladem pro hodnocení způsobilosti procesu.

1.2.1 Podstata a typy SPC

Cílem SPC je sledování stability procesu tedy jinými slovy sledování neměnné úrovně a variability procesu. Jedná se o pravidelnou kontrolu procesu za pomocí výběrů o rozsahu *n* jednotek. Jako vhodný nástroj pro SPC se používá regulační diagram popsaný v podkapitole 1.2.2. Znaky, kterými lze sledovat SPC, se člení na (Qui, 2013):

- měřitelné - příkladem lze uvést teplotu, délku, hmotnost, pevnost atd.,
- atributivní - slovně vyjádřené znaky, u kterých lze sledovat počet neshodných jednotek v podskupině nebo zjistit počet neshod na jednotce.

Obecně se rozlišují dva typy statistické regulace s ohledem na sledovaný znak kvality (Oakland, 2011):

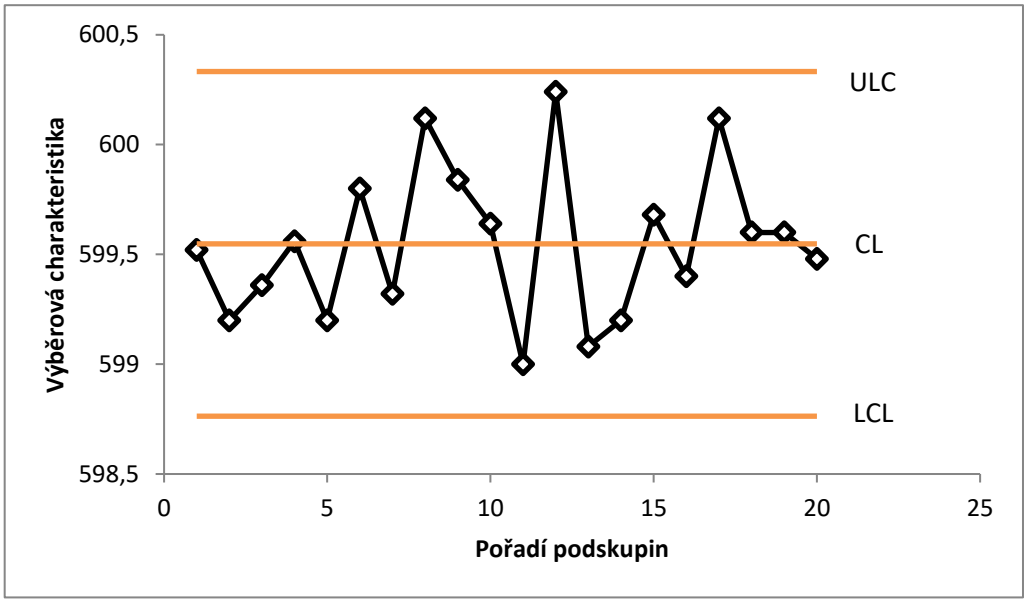
- Regulace měřením, při níž se sleduje úroveň a variabilita měřitelného znaku.
- Regulace srovnáváním je určena pro druhou skupinu znaků tedy pro slovně vyjádřené znaky.

Během výrobního procesu působí dva druhy příčin, které ovlivňují variabilitu procesu. Dělí se náhodné a vymezitelné příčiny. Náhodná příčina je procesu vlastní, přirozená a nelze ji z procesu odstranit (Montgomery, 2009). Jde např. o minimální změny kvality vstupujícího materiálu, vibrace výrobního zařízení, změnu teploty okolního prostředí či výrobního zařízení. Pokud se v procesu nacházejí pouze tyto náhodné příčiny, lze proces prohlásit za statisticky zvládnutý (stabilní). Opakem jsou vymezitelné příčiny, které nejsou procesu vlastní, příkladem lze uvést nekvalitní vstupy, nerespektování výrobního postupu, zastaralý stroj. Cílem regulace procesu je vymezitelné příčiny identifikovat co nejdříve, aby mohly být následně odpovědným pracovníkem odstraněny (Jarošová, Noskievičová, 2015).

1.2.2 Popis regulačního diagramu

Ve dvacátých letech minulého století americký fyzik, statistik a inženýr Walter A. Shewhart publikoval nástroj pro SPC, tzv. Shewhartovy regulační diagramy. Příklad regulačního diagramu je na obr. 1. Na horizontální ose se vynáší pořadí podskupin

tzv. výběry, na vertikální ose je vynesena výběrová charakteristika. Pro tvorbu podskupin existují některá doporučení zpřesněná v podkapitole 1.2.3.



Zdroj: Blecharz, 2011, str. 38

Obr. 1 Regulační diagram – stabilní proces

Přímka odpovídající hodnotě CL je označení pro centrální přímku a znázorňuje střední hodnotu procesu. Přímky odpovídající hodnotě LCL a UCL představují horní a dolní regulační mez. CL a regulační meze mohou být zadány na základě standardů či jsou odhadnuty z pozorovaných dat. Regulační meze se nacházejí od CL ve vzdálenosti trojnásobku směrodatné odchylky vynášené charakteristiky. Jedná se o tzv. 3-sigma meze a platí pro ně vztahy

$$LCL = \mu_w - 3\sigma_w \tag{20}$$

$$UCL = \mu_w + 3\sigma_w \tag{21}$$

kde μ_w je střední hodnota výběrové charakteristiky w a σ_w značí směrodatnou odchylku výběrové charakteristiky w. V rámci regulačních mezí se nachází náhodné kolísání hodnot výběrové charakteristiky (Ryan, 2011).

1.2.3 Logické podskupiny a kontrolní interval

Jedna podskupina představuje výběr, který tvoří n kontrolovaných jednotek. Výběr je nastaven tak, aby uvnitř podskupiny nezačaly působit vymezitelné příčiny. Pokud se objeví vymezitelná příčina, bude projevena pouze mezi výběry, čímž nezkreslí

odhad směrodatné odchylky a odpovídající vzdálenost regulačních mezí (Český normalizační institut, 2018). Při tvorbě podskupin lze rozlišovat mezi těmito typy výrobků (Jarošová, Noskievičová, 2015):

- výrobky plnotvaré – mají tvar a velikost stejný či podobný i v následující fázi výrobního postupu nebo odpovídají konečnému výrobku,
- výrobky polotvaré – nemají tvar a velikost stejný či podobný i v následující fázi výrobního postupu a neodpovídají konečnému výrobku,
- výrobky beztvaré – tvar a velikost jsou nezávislé na fázi výrobního postupu.

U plnotvarých výrobků se výrobní podmínky mění relativně u každého kusu. Z tohoto důvodu je žádoucí odebírat kusy bezprostředně za sebou, pokud podskupinu mají tvořit kusy z jednoho časového okamžiku. U polotvarých výrobků výrobní podmínky se očekávají stabilní a měnící se pozvolna, proto lze odebírat kusy za sebou pravidelně v rámci intervalu nebo v rámci intervalu náhodně. U beztvarých výrobků a výběru z jednoho zdroje lze udělat výběr promísením a odebráním. Pokud se odebírá beztvarý vzorek z více zdrojů, a proces není stabilní, doporučuje se odebrat vzorek okamžitě u každého zdroje.

Volba počtu vybraných výrobků v podskupině a velikost kontrolního intervalu ovlivňuje celá řada faktorů jako jsou např. náklady na pozdní detekci změny v procesu, kontinuálnost výroby, rychlost, stabilita procesu, velikost kritické změny parametru procesu. Pro nastavení velikosti podskupiny a kontrolního intervalu není daný jednoznačný postup, stanovení závisí na statistickomatematické optimalizaci nebo rozhodnutí zákazníka. Pro rozhodnutí o délce kontrolního intervalu se využívají tato doporučení (Jarošová, Noskievičová, 2015):

- krátký interval nechat na začátek zavedení SPC a následně interval rozšiřovat,
- uvědomit si, kdy se může vyskytnout vymezitelná příčina a za jak dlouho ji chce vlastník procesu detekovat,
- při častých změnách výrobních podmínek nastavit kratší interval, při stabilním procesu lze zvolit delší interval,
- časté a malé výběry provádět při vysokých nákladech,

- kratší rozestup mezi intervaly volit při vysoké rychlosti výroby.

Při volbě velikosti podskupiny se zohledňují tyto skutečnosti (Jarošová, Noskievičová, 2015):

- při vyšších nákladech na kontrolu, než nákladech na pozdější detekci vymezitelné příčiny se volí menší velikost podskupiny,
- pro poměrně velkou kritickou změnu parametru procesu se nastavuje menší velikost podskupiny než pro odhalení poměrně malých změn.

1.2.4 Fáze regulace procesu

Podniky certifikované dle normy ISO 9001 musí dle požadavků zákazníka dokazovat způsobilost výrobního procesu, tzn., že podnik musí nejprve mít zavedenou regulaci procesu (Česká společnost pro jakost, 2016). Statistická regulace je náročný proces, který je třeba nastavit na konkrétní typ výrobku. Dle Sowera (2017) aby bylo dosaženo účinnosti, prochází regulace procesu třemi fázemi. Jedná se o fázi přípravnou, dále analytickou, kde by mělo dojít k zabezpečení statisticky stabilního procesu a poslední fázi sloužící pro dlouhodobé sledování regulované veličiny.

Přípravná fáze se zaměřuje na vyčlenění cíle a jemu přiřazených dat, která se sbírají. Spadá do časového období při plánování a vývoje produktu. Přípravná fáze je tvořena postupně sledem následujících kroků:

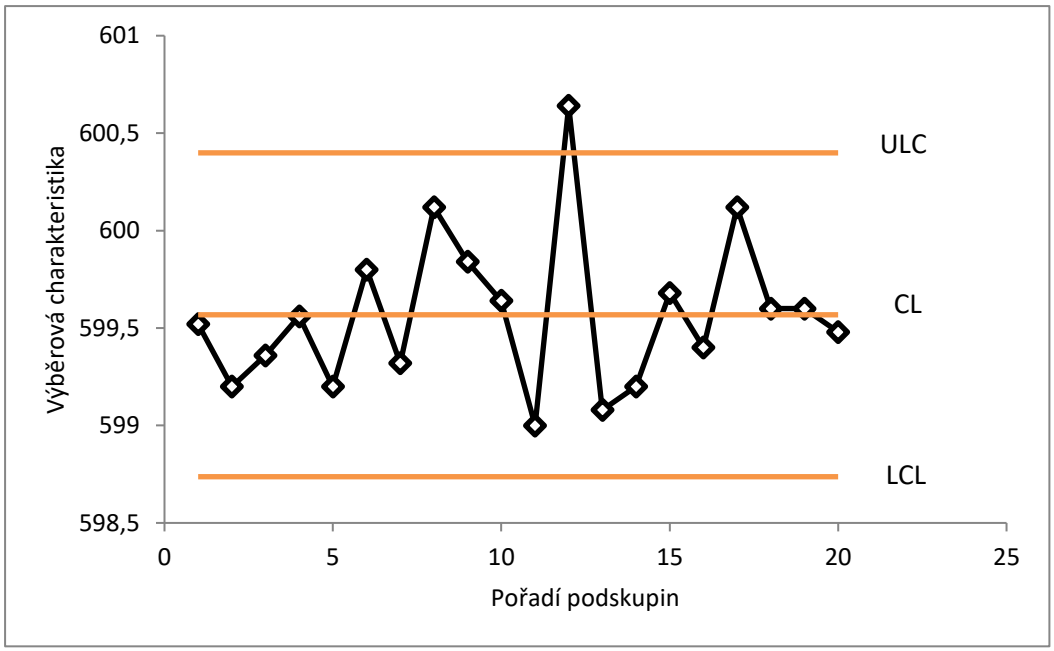
- Dochází ke stanovení znaku kvality, kterou chce podnik či zákazník zkoumat. Rozhodnutí o znaku kvality nejčastěji vychází z požadavků zákazníka, z výkresové dokumentace, z FMEA dokumentu. FMEA je dokument, v němž jsou zanesena všechna pravděpodobná místa, kde mohou vzniknout vady ve výrobě.
- Určí se vhodné měřicí body na výrobku a volí se adekvátní způsobilé měřidlo či měřicí přístroj. Statistická regulace se sleduje na každém měřicím bodu samostatně.
- Stanoví se frekvence provádění kontroly a odpovídající rozsah podskupiny (viz podkapitola 1.2.3). Frekvence závisí např. na způsobu technologie výroby, délce výrobního cyklu, složitosti odebírání vzorků.

- Vybere se správný typ regulačního diagramu (viz podkapitola 1.2.5).
- Vytvoří se dokument pro regulační diagram na zaznamenávání a prokazování naměřených hodnot.

Cílem fáze zabezpečení statisticky stabilního procesu je nalézt a odstranit vymezitelnou příčinu, která se objeví při sledování regulace procesu. Jde o časové období plánování návrhu a vývoje výrobku až po sériovou výrobu zejména v automobilovém průmyslu. Nezbytné kroky jsou následující:

- Nejdříve se sestrojí zvolené typy regulačních diagramů, sestavuje se vždy dvojice regulačních diagramů. Z nich jeden monitoruje střední hodnotu procesu, druhý inherentní variabilitu.
- Následuje analýza regulačního diagramu pro inherentní variabilitu procesu. Na obr. 1 je znázorněn stabilní proces neboli proces pod statistickou kontrolou, neboť všechny vynesené body leží uvnitř regulačních mezí. Pokud se objeví bod mimo regulační meze ukázaný na obr. 2 nebo zvláštní seskupení bodů, je nutností objevit, poté zmenšit, optimálně odstranit vymezitelnou příčinu, vypustit podskupinu z obou diagramů, přepočítat průměr výběrových charakteristik i regulační meze. Tento krok se opakuje do doby, než budou všechny body uvnitř regulačních mezí nebo nebudou zvláštně seskupené. Nově sestavené regulační meze po zásahu do procesu se označují pojmem revidované meze.
- Stejný postup se aplikuje u diagramu pro kontrolu střední hodnoty procesu.

Ve fázi dlouhodobé sledování regulované veličiny se udržuje proces stabilní. V této fázi lze sledovat menší posuny střední hodnoty a tím proces vylepšovat. Pro odhalení menších posunů střední hodnoty jsou Shewhartovy regulační diagramy nedostačující, a proto se doporučují sofistikovanější diagramy typu CUSUM nebo EWMA. Dlouhodobá regulace procesu zahrnuje období sériové výroby po konec životnosti projektu.



Zdroj: Blecharz, 2011, str. 39

Obr. 2 Regulační diagram – nestabilní proces

1.2.5 Shewhartovy regulační diagramy měřením

Pokud podnik sleduje měřitelný znak a výběry představují podskupiny, lze použít dvojice diagramů pro průměr a rozpětí nebo pro průměr a směrodatnou odchylku. Pokud jde o proces, kde výběr tvoří jedna jednotka $n = 1$, potom se volí dvojice diagramů pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí.

- **Regulační diagram pro průměr a rozpětí ($\overline{X}$ a *R*-diagram)**

V této dvojici diagram pro průměr slouží k identifikaci změny střední hodnoty procesu, diagram pro rozpětí sleduje změnu inherentní variability procesu. Aby mohl být použit tento typ, udává se vhodný rozsah podskupiny $n \leq 10$. Pro potřeby výpočtu je vhodné mít minimálně 25 podskupin s doporučovaným rozsahem čtyři nebo pět.

Pro každou podskupinu se vypočítá průměr a rozpětí dle vzorců

$$\overline{x}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \tag{22}$$

$$R_i = x_{imax} - x_{imin} \tag{23}$$

$\overline{x}_i$ – průměr podskupiny, kde $i = 1,2,\dots,k$

n – rozsah podskupiny

x_{ij} – hodnoty znaku v i-té podskupině, kde $i = 1,2, \dots, k; j = 1,2, \dots, n$

R_i – rozpětí i-té podskupiny, kde $i = 1,2, \dots, k$

x_{imax} – nejvyšší naměřená hodnota sledovaného znaku v i-té podskupině

x_{imin} – nejnižší naměřená hodnota sledovaného znaku v i-té podskupině

Dále se provede odhad parametrů procesu tedy odhad střední hodnoty μ a směrodatné odchylky σ, (pokud nejsou známé hodnoty) za použití vzorců

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \bar{x}_i \tag{24}$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}, kde\ \bar{R} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} R_i \tag{25}$$

d_2 –součinitel z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n \leq 10$

Hodnota CL diagramu pro průměr odpovídá odhadu parametru μ. Regulační meze stejného diagramu se vypočítají vztahy

$$LCL = \bar{\bar{x}} - 3\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \tag{26}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \tag{27}$$

A_2 – součinitel z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n \leq 10$

Hodnota CL diagramu pro rozpětí odpovídá průměru z rozpětí podskupin $\bar{R}$. Regulační meze v tomto diagramu jsou dány výrazy (Chambers, Wheeler, 2010)

$$LCL = \bar{R} - 3\frac{d_3}{d2}\bar{R} = D_3\bar{R} \tag{28}$$

$$UCL = \bar{R} + 3\frac{d_3}{d_2}\bar{R} = D_4\bar{R} \tag{29}$$

d_3, D_3, D_4– součinitele z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n \leq 10$

- **Diagram pro průměr a směrodatnou odchylku ($\bar{X}$ a s-diagram)**

Pro rozsahy podskupin $n \geq 10$ je třeba použít místo diagramu pro průměr a rozpětí diagram pro průměr a směrodatnou odchylku. Pomocí výběrové směrodatné odchylky se přesněji odhadne parametr procesu σ. Postup tvorby diagramu je totožný jako u přechozího typu, ovšem místo rozpětí v podskupinách se vypočítá výběrová směrodatná odchylka

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x}_i)^2}{n-1}} \tag{30}$$

kde $i = 1,2,\dots,k$

x_{ij} – hodnoty znaku v i-té podskupině, kde $i = 1,2,\dots,k; j = 1,2,\dots,n$

$\bar{x}_i$ – průměr podskupin, kde $i = 1,2,\dots,k$

n – velikost podskupiny

Vhodný počet podskupin je opět 25 jako u přechozího typu. Hodnota CL diagramu pro průměr je rovna odhadnutému parametru μ viz vzorec (24). Změny ve výpočtu regulačních mezí diagramu pro průměr jsou dány vzorci

$$LCL = \bar{\bar{x}} - 3\frac{\bar{s}}{C_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s} \tag{31}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\frac{\bar{s}}{C_4\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s} \tag{32}$$

kde průměrná výběrová odchylka $\bar{s}$ se spočítá pomocí vzorce

$$\bar{s} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} s_i \tag{33}$$

A_3, C_4 – součinitele z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n \geq 10$

Průměrná výběrová směrodatná odchylka $\bar{s}$ je hodnotou CL diagramu pro směrodatnou odchylku, který hlídá inherentní variabilitu. Vzorce pro regulační meze jsou (Český normalizační institut, 2018)

$$LCL = \bar{s} - 3\frac{\bar{s}}{C_4}\sqrt{1 - C_4^2} = B_3\bar{s} \tag{34}$$

$$UCL = \bar{s} + 3\frac{\bar{s}}{C_4}\sqrt{1 - C_4^2} = B_4\bar{s} \tag{35}$$

B_3, B_4 – součinitel z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n \geq 10$

- **Diagram pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí (*X_i* a *MR*-diagram)**

Třetí typ regulačního diagramu měřením je diagram pro individuální hodnoty, sledující střední hodnotu procesu a klouzavá rozpětí sledující inherentní variabilitu. Používá se pro procesy, kde není možnost vytvářet logické podskupiny. Takové diagramy jsou vhodné např. pro automatická měření, chemické analýzy, nákladnou výrobu. Nicméně tento typ diagramu je náchylný na porušení předpokladu

normálního rozdělení vysvětlené v podkapitole 1.2.6 a později je detekována změna střední hodnoty procesu.

Je doporučováno mít naměřených alespoň 100 hodnot, ze kterých se vytvoří fiktivní podskupiny o rozsahu $n = 2$ pomocí klouzavého rozpětí. Klouzavá rozpětí MR_i se spočítají jako rozdíl sousedních měření v absolutní hodnotě

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \text{ pro } i = 2, \dots, k \tag{36}$$

Pro odhad směrodatné odchylky procesu σ se použije vzorec

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = \frac{\overline{MR}}{1{,}128} \tag{37}$$

kde průměr z klouzavých rozpětí podskupin $\overline{MR}$ se spočte

$$\overline{MR} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} MR_i \tag{38}$$

d_2 – součinitel z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n = 2$

V diagramu pro individuální hodnoty je typický rozsah podskupin, kdy $n = 1$. Hodnota CL se shoduje s odhadnutým parametrem procesu μ a platí pro ni vztah

$$CL = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i \tag{39}$$

x_i – naměřená hodnota, pro $n = 1$, kde $i = 1,2, \dots k$

Regulační meze mají podobu

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{40}$$

$$UCL = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{41}$$

Hodnota CL diagramu pro klouzavá rozpětí je rovna $\overline{MR}$ a regulační meze jsou konstruovány vzorci (Montgomery, 2009)

$$LCL = D_3\overline{MR} \tag{42}$$

$$UCL = D_4\overline{MR} \tag{43}$$

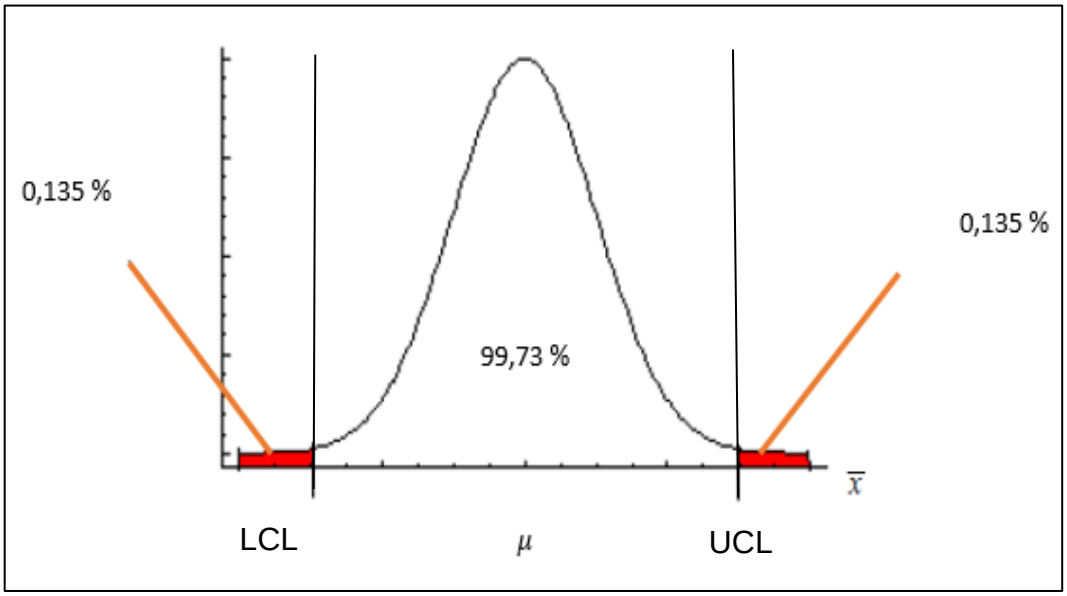
D_3, D_4– součinitele z normy ČSN ISO 7870-2 pro rozsah $n = 2$

1.2.6 Předpoklady Shewhartových regulačních diagramů

Konstrukce Shewhartových regulačních diagramů vychází z předpokladu, že hodnoty sledovaného znaku se v průběhu času nezměnily a pozorování byla

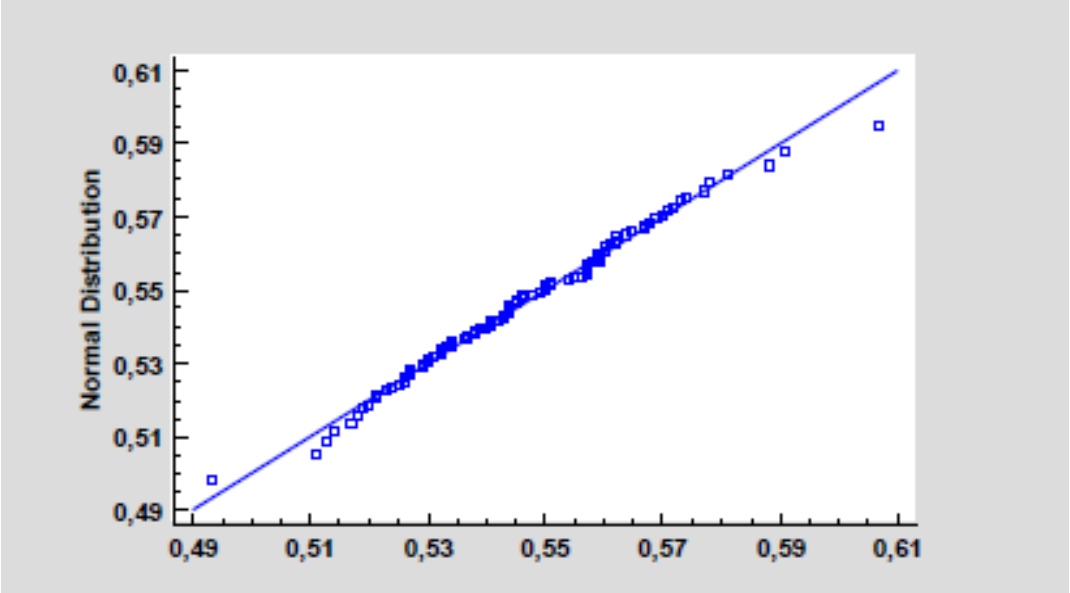
nezávislá, a že rozdělení výběrové charakteristiky je přibližně normální. Při splnění normálního rozdělení se předpokládá, že 99,73 % vynesených bodů bude uvnitř regulačních mezí, zbylých 0,135 % hodnot se vyskytne na každé straně od regulační meze (viz obr. 3).

Normální rozdělení lze ověřit pomocí testů normality, v nichž nulová hypotéza je tvrzení, že soubor dat je náhodným výběrem z normálního rozdělení. Pokud nedojde k zamítnutí, předpoklad normality se považuje za splněný. Nulová hypotéza se zamítá na základě p-hodnoty dostupné ve výstupu statistické aplikace, jestliže je p-hodnota menší než hladina významnosti α. Nejčastěji se volí hladina významnosti $\alpha = 0{,}05$. Vhodné je testy normality doplnit grafickým nástrojem, který posoudí tvar rozdělení. Jako nástroj se volí pravděpodobnostní graf nikoliv histogram, který je zvláště při malém počtu hodnot nespolehlivý. V grafu se zkoumá, zda body leží přibližně v přímce, pokud ano, jde o normální rozdělení (viz obr. 4) (Oakland, 2011).



Zdroj: Jarošová, 2011, str. 87

Obr. 3 Normální rozdělení



Zdroj: Upraveno dle Nenadál a kol., 2011, str. 316

Obr. 4 Pravděpodobnostní graf

1.2.7 Vlastnosti Shewhartova regulačního diagramu

Za základní vlastnosti regulačního diagramu jsou považovány riziko falešného signálu α a průměrná doba přeběhu ARL. Riziko falešného signálu α je pravděpodobností chyby I. druhu, tzn. riziko vyskytnutí bodu mimo regulační meze, aniž by došlo k posunu střední hodnoty procesu, je 0,0027. Jedná se o malé riziko, které chrání před zásahem do procesu, tedy nedojde k tzv. přeregulování. Důsledkem přeregulování by bylo zvýšení celkové variability procesu.

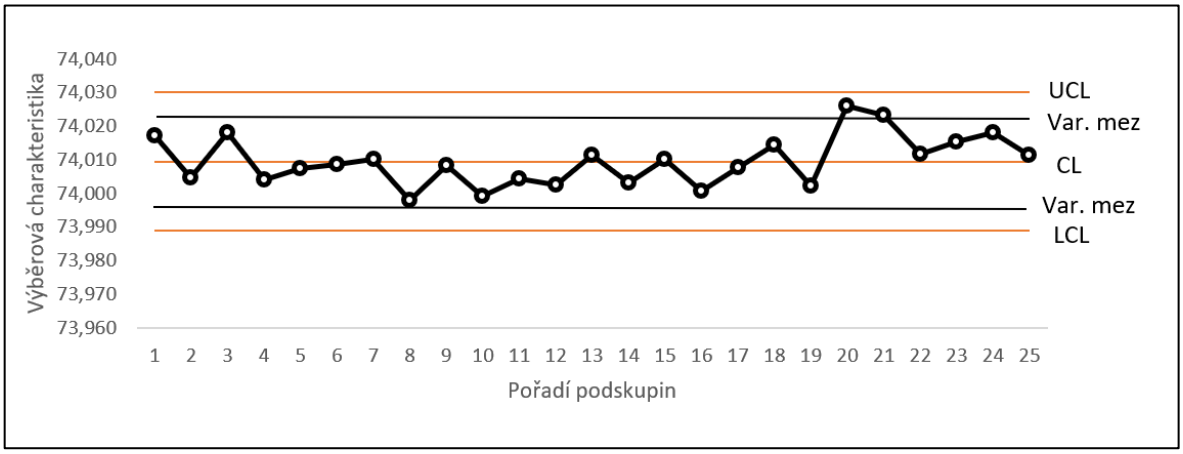
Průměrná doba přeběhu ARL udává průměrný počet vynesených bodů v regulačním diagramu do objevení signálu. Je ovlivněna jak změnou parametru procesu, tak rozsahem podskupiny. $ARL(0)$ označuje průměrnou dobou přeběhu za nezměněných parametrů procesu (bez posunu střední hodnoty). Jde o převrácenou hodnotu rizika α a spočte se vztahem

$$ARL(0) = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0{,}0027} = 370{,}4 \tag{44}$$

V průměru za 370 vynesených bodů se očekává objevení falešného signálu (Oakland, 2011). Při posunu střední hodnoty se zvětšuje pravděpodobnost objevení se signálu. Shewhartovy regulační diagramy signalizují rychle posun $1{,}5\sigma$ v průměru za dva vynesené body při rozsahu podskupin čtyři až pět. Rychlejší signál platí u

posunu 2σ, kde dojde k signalizaci v průměru za jeden vynesený bod při rozsahu podskupiny čtyři až pět (Montgomery, 2013).

Riziko chyby II. druhu je nazýváno riziko chybějícího signálu. Rizikem chybějícího signálu se rozumí pravděpodobnost neobjevení se bodu mimo regulační meze při změněných parametrech procesu. Velmi malému riziku chyby I. druhu odpovídá relativně velké riziko chyby II. druhu. Někdy se v diagramu zavádějí přídavné meze tzv. varovné a/nebo se pozornost přesouvá na zvláštní seskupení bodů. Varovné meze jsou vzdáleny pouze dvojnásobek směrodatné odchylky vynášené charakteristiky od CL a za signál se považuje, pokud se objeví dva vynesené body za sebou, které překročily varovné meze. Jako signál se považují i dva ze tří bodů překračující varovné meze, kde následně podnik provádí testy seskupení (Jarošová, 2011). V obr. 5 jsou do regulačního diagramu přidány právě varovné meze.



Zdroj: Blecharz, 2011, str. 318

Obr. 5 Varovné meze

1.2.8 Testy seskupení

Zvláštní seskupení bodů v diagramu může naznačovat přítomnost vymezitelné příčiny. ČSN ISO 7870-2 2018 uvádí 8 testů seskupení, možnosti příčin a doporučení:

- Test 1 - jeden bod leží za zónou A. V tomto případě se může jednat o nedůsledné měření, výpadek, lokální chybu procesu, ovšem na vině mohou být i špatně nastavené regulační meze. Objevuje-li se bod za zónou A na

stejné straně, zřejmě se posunula střední hodnota nebo rozdělení dat je asymetrické.

- Test 2 - devět bodů za sebou leží v/nebo za zónou C, je typický pro posun střední hodnoty a asymetrii dat.
- Test 3 - šest bodů za sebou v řadě plynule stoupá nebo klesá, to může naznačovat autokorelaci v procesu, široké regulační meze, lineárnost v souvislosti s opotřebením.
- Test 4 - přeregulovaný nebo statisticky nestabilní proces může vyvolat kolísání čtrnácti bodů v řadě za sebou nahoru a dolů. Totéž se může přihodit při autokorelaci dat.
- Test 5 – dva ze tří bodů jsou v řadě za sebou v zóně A nebo mimo ni. Obsluha provádějící kontrolu by si měla uvědomit, že jde o varování brzkého překročení regulačních mezí.
- Test 6 - čtyři z pěti bodů ležící v zóně C nebo nad ní, opět může znamenat posun střední hodnoty procesu, i zde jde o varování možného překročení regulačních mezí jako v předchozím testu.
- Test 7 - patnáct bodů v řadě za sebou leží pod CL v zóně C, uvědomuje o poklesu variability mezi výběry. Příčinou bývají obsluhou vymyšlená čísla nebo špatně vypočtené regulační meze.
- Test 8 - osm bodů za sebou leží na obou stranách od CL, nicméně ani jeden neleží v zóně C, to platí pro zvýšení variability mezi výběry nebo pro narušený proces. Test varuje o možném překročení regulačních mezí.

1.3 Způsobilost procesu

Aby si mohl být zákazník jist, že dodavatel poskytuje výrobky dle zadaných požadavků, je třeba dokázat, že samotný výrobní proces je způsobilý. Způsobilost procesu je schopnost dlouhodobě poskytovat produkty se zadanými kritérii kvality (Qiu, 2013). S výpočtem ukazatelů způsobilosti procesu se může pokračovat při splnění dvou předpokladů, kterými jsou stabilita procesu a potvrzení normálního rozdělení hodnot, které jsou vysvětleny v teoretické části věnující se statistické regulaci procesu. Za nejpoužívanějšího ukazatele je považován ukazatel C_p

poměřující přirozenou a přípustnou variabilitu a ukazatel C_{pk} vypovídající o poloze střední hodnoty procesu vůči tolerančním mezím. Méně používané jsou ukazatele $C_{mp,}$ C_{pm}^{*} a C_{pmk}.

Ukazatel C_p

Přípustná variabilita procesu odpovídá šířce tolerančního pole, které je určeno tolerančními mezemi $USL - LSL$. Toleranční meze zadává často konstruktér či zákazník. Přirozená variabilita znamená interval široký 6σ, v němž se právě nachází výše uvedených 99,73 % hodnot.

Ukazatel C_p je dán vztahem

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \tag{45}$$

USL – horní toleranční mez

LSL – dolní toleranční mez

Hodnota směrodatné odchylky nebývá obvykle známa, a tudíž je nahrazena odhadem. Pro odhad směrodatné odchylky $\hat{\sigma}$ se používá vzorec na bázi průměrné variability v podskupinách (Nenadál a kol., 2013)

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \tag{46}$$

Tab. 2 ukazuje interpretaci výsledku ukazatele C_p. Vyjde-li ukazatel C_p menší než 1, proces je nezpůsobilý. V automobilovém průmyslu pro nezpůsobilý proces platí zákaz dodávek. Bude-li ukazatel C_p mít hodnotu větší nebo rovnou 1, ale menší než 1,33, o procesu se konstatuje jeho podmíněná způsobilost. Pro podmíněně způsobilý proces se vyžaduje povolení dodávek pod odchylkou. Pokud je hodnota ukazatele C_p rovna nebo větší než 1,33, proces prokazuje způsobilost. Někteří zákazníci automobilového průmyslu požadují pro způsobilý proces hodnotu ukazatele C_p rovnu nebo větší než 1,67.

Ukazatel C_p může mít odpovídat způsobilému procesu, nicméně bez uvedení hodnoty ukazatele zohledňující polohu procesu C_{pk} není relevantní mluvit o způsobilém procesu jako takovém.

Tab. 2 Interpretace ukazatele C_p

Ukazatel	Výrobní proces
$C_p < 1$	nezpůsobilý
$1 \leq C_p < 1{,}33$	podmíněně způsobilý
$C_p \geq 1{,}33$	způsobilý

Zdroj: Nenadál a kol., 2011, str. 353

- **Ukazatel C_{pk}**

Jde o ukazatele s možností vyhodnocení polohy procesu vůči tolerančním mezím nebo vůči jednostranné toleranční mezi, které se určí dle vzorců

$$C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \tag{47}$$

$$C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \tag{48}$$

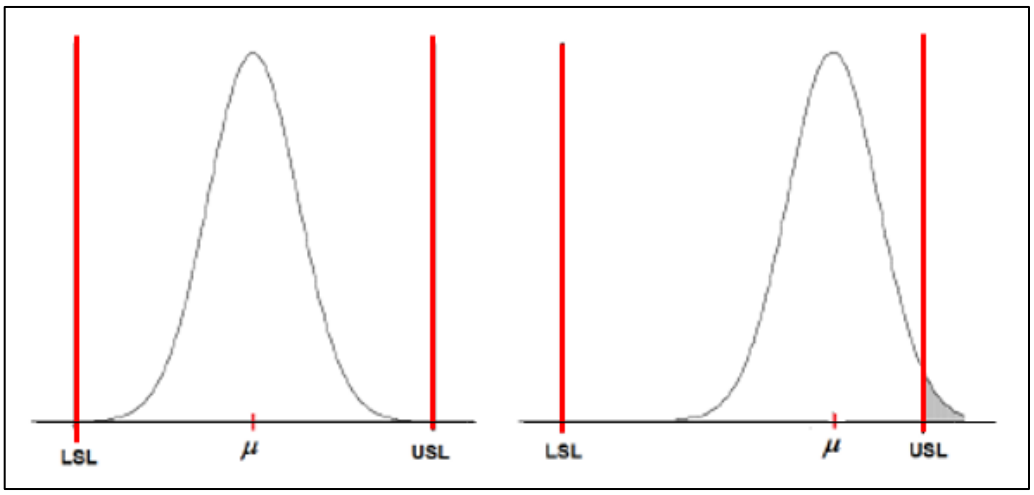
$$C_{pk} = \min\left(C_{pL}, C_{pU}\right) \tag{49}$$

μ – střední hodnota sledovaného znaku

C_{pL} – ukazatel pro dolní toleranční mez

C_{pU} – ukazatel pro horní toleranční mez

Půjde-li o centrovaný proces tedy o proces se střední hodnotou uprostřed tolerančního pole (viz obr. 6 vlevo), bude hodnota $C_{pL} = C_{pU}$ a zároveň $C_{pk} = C_p$. Zatím co necentrovaný proces (viz obr. 6 vpravo), má hodnoty C_{pL} a C_{pU} rozdílné a platí $C_{pk} < C_p$. Necentrovaný proces je třeba seřídit na střed (Ryan, 2011).



Zdroj: Jarošová, 2011, str. 115

Obr. 6 Centrovaný vs. necentrovaný proces

- **Ukazatelé výkonnosti**

V podnicích jsou přítomny procesy, které mají svou okamžitou variabilitu neměnnou, zatímco střední hodnota v čase kolísá. Za neměnné střední hodnoty se v regulačním diagramu v oblasti blízko CL nachází přibližně dvě třetiny vynesených bodů, a pokud střední hodnota kolísá, takto zakreslených bodů je méně. Tzn., že variabilita rozdělení je větší než okamžitá variabilita a měli by se měřit ukazatele výkonnosti. Nejsou-li parametry procesu konstantní, nepoužívají se ukazatele způsobilosti. Ve vzorci se místo značení směrodatné odchylky σ objevuje odhadnutá výběrová směrodatná odchylka $\hat{\sigma}_{TOT}$, která znamená celkovou variabilitu bez zvláštních příčin. Výběrová směrodatná odchylka se spočítá vzorcem

$$\hat{\sigma}_{TOT} = \sqrt{\frac{1}{kn-1}\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{k}\left(x_{ij} - \bar{\bar{x}}\right)^2} \tag{50}$$

$x_{ij} - j$-tá hodnota v i-té podskupině

$\bar{\bar{x}}$ – celkový průměr

Odhad ukazatele výkonnosti P_p je dán vzorcem

$$\hat{P}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}_{TOT}} \tag{51}$$

Pro zjištění polohy procesu vůči tolerančním mezím se vypočítá hodnota horní toleranční meze P_{pU} a hodnota dolní toleranční meze P_{pL} podle vztahů

$$\hat{P}_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\hat{\sigma}_{TOT}} \tag{52}$$

$$\hat{P}_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\hat{\sigma}_{TOT}} \tag{53}$$

Na konec se centrovanost procesu posoudí ukazatelem P_{pk} za použití vzorce

$$\hat{P}_{pk} = \min(\hat{P}_{pL,}\hat{P}_{pU}) \tag{54}$$

Stejně jako u ukazatelů C_p a C_{pk}, budou-li se hodnoty P_{pL} a P_{pU} shodovat, bude se rovnat ukazatel P_p ukazateli P_{pk}, potom je střední hodnota uprostřed tolerančního pole. Jsou-li hodnoty P_{pL} a P_{pU} různé, platí skutečnost $P_{pk} < P_p$ a znamená posunutí střední hodnoty procesu (Jarošová, 2011).

1.4 Plán kontroly a řízení

Podniky certifikované dle IATF 16949, což je povinná norma pro dodavatele automobilového průmyslu, musí mít vytvořený dokument popisující systém a proces pro řízení výroby produktu, tzv. Plán kontroly a řízení, ve kterém se nachází popis kontrol rozměrů a kontrol funkčnosti výrobku včetně ověření seřízení. Rozměry a zkoušky, které se zanáší do dokumentu při jeho tvorbě, vycházejí z technické dokumentace. Plán kontroly a řízení je propojen s vývojovým diagramem procesu, s FMEA dokumentem a podléhá schválení zákazníkem. Součástí dokumentu by měly být stanoveny vhodné statistické metody. Zaměstnanci odpovídající za sběr dat a jejich vyhodnocování by měli bezpečně znát a umět používat statistické pojmy v problematice způsobilosti procesu. Povinností je uchovávat záznamy o aktuálních náměrech či výsledcích zkoušek u variabilních hodnot. Norma vyžaduje, aby obsahoval dále:

- číslo dokumentu,
- datum vydání a revize,
- zákaznické informace,
- název podniku/výrobního místa,
- číslo dílu,
- název a popis dílu,
- technickou změnu,
- zda se jedná o prototyp, ověřovací sérii nebo sérii,
- kontakt na zodpovědné osoby,
- číslo operace v procesu,
- název procesu/popis operace,
- odpovědný tým.

Jako jeden z dokumentů bývá přezkoumáván při auditech výrobních procesů a produktů. Měřidla uvedena v Plánu kontroly a řízení pro kritické a důležité znaky kvality podléhají analýze systému měření (Česká společnost pro jakost, 2016).

2 Kautex Textron Bohemia, spol. s r.o.

Tato kapitola popisuje společnost Kautex Textron Bohemia, spol. s r.o. (dáje jen KBO) ohledně historie společnosti, její politiky a nových cílů kvality a organigramu oddělení kvality.

2.1 Historie společnosti

Společnost KBO byla založena v roce 1992, ve kterém se začaly montovat palivové nádrže pro osobní automobily. V následujícím roce proběhla implementace technologie vyfukování plastových palivových nádrží a dalších plastových dílů. V roce 1997 společnost získala nového a zároveň současného vlastníka - společnost Textron Inc. (dále jen TXT). Portfolio projektů se dále rozrůstalo, a kromě palivových nádrží se začaly vyrábět nádobky ostřikovačů. Důležitým milníkem byl rok 2009, kdy KBO získalo nového zákazníka, pro kterého se začaly vyrábět nádrže na AdBlue. V roce 2012 se společnost rozdělila na dva závody, prvním je KBO Fuel a druhým je KBO CVS. Závod KBO Fuel pokračoval ve výrobě plastových palivových nádrží a nádrží na AdBlue. Pod KBO CVS spadá výroba nádobek ostřikovačů a odvzdušňovacího vedení. KBO nezaostává v nových technologiích a v roce 2013 zavedla vyfukovací technologii NGFS® a Coex, která se používá dodnes. Nejnovější technologií, kterou KBO implementovalo, je vstřikování plastů.

TXT je globální společností působící v různých odvětvích a podle předmětu výroby se dělí do pěti divizí. První divizi obsazuje společnost Bell, výrobce komerčních a vojenských letadel. Druhá divize, tzv. Textron Aviation, se soustřeďuje na oblast všeobecného letectví, jedná se o výrobu turbovrtulí a pístových motorů pro značky Beechcraft, Cessna a Hawker. Do třetí divize nazývané Industrial spadá Kautex se svou výrobou palivových systémů s 32 závody v 16 zemích, pod TXT značkami E-Z-GO, Cushman, Textron GSE a Jacobsen se vyrábí golfové vozíky a sněžné skútry TXT značky Arctic Cat. Následující divize Textron Systems vyvíjí a poskytují bezpilotní systémy, námořní a pozemní systémy, elektronické systémy, pokročilá informační řešení, podpůrná řešení, zbraňové a senzorové systémy. Poslední divize zahrnuje oblast financí, společnost Textron Financial Corporation poskytuje finanční řešení pro zákazníky produktů Textron (Interní materiály KBO).

2.2 Politika a cíle

Nová politika kvality KBO byla definována v roce 2017 a je společná všem závodům Kautex a vyznačuje se spokojeností zákazníka, bezpečností, kvalitou a konkurenceschopností. Na základě politiky jsou nastaveny nové cíle kvality pro rok 2020. Kontrolní limit týkající se spokojenosti zákazníka by neměl překročit 25 zákaznických reklamací za rok. Bezpečnost zaměstnanců je prioritou a maximálně je povolena hodnota míry úrazovosti 0,5. Každý rok se KBO snaží snižovat hodnotu zmetkovitosti, pro rok 2020 by tato hodnota neměla překročit 2,5 %. Konkurenceschopnost je měřena ukazatelem celkové efektivnosti zařízení, tzv. OEE (Overall equipment effectiveness) počítané ze součinu poměrových ukazatelů dostupnosti zařízení, výkonu zařízení a kvality výroby. Hodnota OEE musí dosáhnout minimálně 88,5 % (Interní materiály KBO).

2.3 Organigram oddělení kvality

Na obr. 7 je uvedena organizační struktura oddělení kvality. Na nejvyšší pozici zákaznické kvality stojí ředitel závodu. Řízení správného chodu oddělení a rozhodování o důležitých skutečnostech patří manažerovi kvality, který vede inženýry zákaznické a dodavatelské kvality, inspektory kvality a laboratorní techniky. Dohlíží na plnění úkolů, pravidelně odměňuje a hodnotí pracovní výkony svých zaměstnanců. Zabezpečuje řízení, realizaci a udržování procesů v oblasti systému řízení kvality. Zajišťuje, aby byly plněny požadavky týkající se bezpečnosti výrobku, komunikuje a podporuje spolupráci s jinými závody Kautex, školí zaměstnance.

Inženýři zákaznické kvality zastupují zákazníky uvnitř firmy ve všech fázích projektu, řeší kvalitativní zákaznické reklamace, disponují pravomocí na zastavení výroby neshodných dílů, zodpovídají za stav dokumentace ke svěřeným projektům, jako jsou např. směrnice, pracovní postupy, kontrolní plány nebo vizualizace. Jsou odpovědní za implementaci specifických požadavků zákazníka, komunikaci se zákazníkem a v neposlední řadě provádějí výrobkové audity dle norem a/nebo dle specifických zákaznických požadavků. Zákazníci jsou jednotlivým inženýrům přiděleni dle uvážení manažera na základě jejich schopností a dovedností. V současnosti se inženýři dělí o deset zákazníků z řad předních světových výrobců automobilů.

Inženýři dodavatelské kvality jsou v neustálém v kontaktu s dodavateli, podílejí se na náběhu nakupovaných dílů do sériové výroby, dohlíží na kvalitu během dodávek v průběhu všech fází životního cyklu projektu. S nekvalitou nakupovaných dílů souvisí řešení dodavatelských reklamací, kde inženýři dohlíží na správnost postupu dodavatele při zavedení okamžitého opatření, hledání kořenové příčiny, implementaci a ověření účinnosti nápravného opatření. Do odpovědností patří i pravidelné provádění auditů dodavatelů. Jakékoliv odchylky od standardů komunikují s inženýry zákaznické kvality.

Laboratoř je nedílnou součástí oddělení kvality. Kromě navrhování, přebírání a kontroly šablon, kalibrací měřidel a měřicích zařízení zde probíhá široká škála testů potřebná při vzorkování nových projektů, pro uvolňování výroby a testy v případě garančních reklamací. Laboratorní testy provádějí laboratorní technici, kteří se společně s inspektory kvality podílejí na uvolňování výroby. Mezi zařízení, která má laboratoř k dispozici jsou např. trhací stroj, mikroskop, endoskop, teplotní komora, souřadnicový 3D měřicí přístroj, laserový 3D měřicí přístroj, zařízení pro vodní zkoušku těsnosti.

Hlavní pracovní náplní inspektorů kvality je uvolňování výroby, tzn. měření vzorků, zaznamenávání dat do příslušných protokolů, spolupráce s laboratoří, statistické zpracování a vyhodnocení SPC. V případě jakéhokoliv podezření na nekvalitu dílů mají povinnost separovat díly do blokačního skladu a zvýšit frekvenci provádění kontrol. Stav výroby reportují seřizovačům, technologům a inženýrům zákaznické kvality (Interní materiály KBO).

Obr. 7 Organigram oddělení kvality

3 Výrobní proces palivových nádrží

Praktická část diplomové práce se zabývá způsobilostí procesu palivových nádrží na projektu XY, který se nachází v rámci životního cyklu v sériové výrobě. Označení XY nahrazuje přesný název projektu konkrétního zákazníka. Nejprve bude popsán výrobní proces projektu XY, testy kvality a na závěr vybrány měřicí body pro analýzu způsobilosti procesu.

3.1 Popis výrobního procesu

Výrobní proces palivové nádrže začíná přijetím nakupovaných dílů logistikou. Následuje vstupní kontrola nakupovaných dílů, v případě jejich schválení postupují díly do skladu. Poté co jsou díly dodány logistikou do výroby, seřizovač nastaví a zkontroluje výrobní parametry a začíná proces vyfukování. Po výrobě prvních kusů dochází k uvolňování výroby, při kterém probíhá řada testů kvality. Jsou-li testy úspěšné, výrobní proces je uvolněn. Výrobek pokračuje do montážního procesu, poté projde důležitou zkouškou těsnosti, finální montáží a putuje do skladu hotových výrobků. Výrobní proces popisují níže jednotlivé kroky. Všechny kontroly jsou zaneseny v dokumentu Plán kontroly a řízení (viz příloha 1), k dispozici je pouze část Plánu kontroly a řízení, důvěrné informace jsou zobecněny.

- **Logistický příjem**

Po příjezdu dopravce pracovník příjmu převezme doklady k zásilce. Poté se může zásilka skládat, přičemž se kontroluje dle dodacího listu správnost počtu balení, množství dílu v balení, soulad zásilky s příslušným balicím předpisem, celní náležitosti, přiložené materiálové certifikáty a nepoškození zásilky během transportu. Nakupované díly jsou přijaty do systému SAP, označí se štítky o číslu dílu, číslu výkresu, číslu obalu, datu přijetí, číslu dodacího listu a typovém kódu obalu. Díly, které podléhají vstupní kontrole, mají na štítku navíc vytištěné písmeno Q a čekají na provedení kontroly kvalitou, ostatní díly jsou odvezeny do skladu nakupovaných dílů.

- **Vstupní kontrola a zaskladnění dílů**

Spektrum nakupovaných dílů sahá od surového materiálu, jednoduchých komponent až po složitější sestavy dílů. Za kvalitu nakupovaného materiálu a dílů odpovídá dodavatel. Surový materiál se nakupuje v podobě plastového granulátu či

prášku a podléhá vstupní kontrole, která probíhá v laboratoři. Na vstupní kontrole se ověřuje, zda odebraný vzorek má požadovaný index toku taveniny. V případě souladu s požadavky je materiál přijat a vyskladňovací metodou FIFO je transportován do sila. Metoda FIFO znamená, že je vyskladněna nejstarší dodávka materiálu. Komponenty a sestavy dílů procházejí namátkovou vstupní kontrolou, kterou vykonává inženýr dodavatelské kvality dle stanoveného postupu. Pro každou nakupovanou komponentu nebo sestavu je vytvořen kontrolní plán (dále jen KP). KP obsahuje číslo dílu, dodavatele, revizi dílu, datum aktuálního výkresu, název kontroly, popis kontroly, označení specifického znaku, měřidlo/měřicí zařízení, rozměry s tolerancemi a technickou dokumentací, popř. vizualizaci reklamací. Do záznamové karty KP se zapisuje datum kontroly, počet odebraných vzorků, náměry vzorků a jméno osoby, která rozhoduje o přijetí nebo zamítnutí dávky. Pokud jsou nakupované díly ve shodě, jsou přijaty do skladu vstupního materiálu a jsou vyskladňovány do výroby systémem kanban na základě metody FIFO. Pokud se dodané díly neshodují s požadavky, zahájí se reklamační řízení na dodavatele a díly jsou separovány do blokačního prostoru.

- **Nastavení a kontrola výrobních parametrů**

Před zahájením výroby seřizovač nastavuje výrobní program, kontroluje zadané parametry dle pracovního postupu a veškeré seřízení před výrobou i v průběhu zaznamenává do záznamové karty. Mezi kontrolované parametry patří např. hodnota průtoku a teploty materiálu, tloušťka stěny materiálu, vyfukovací tlak, čas vyfukování, teplota vody v chladícím zařízení, čas uzavření ventilů, čas přísunu a odsunu přípravků, zapnutí poka-yoke. Poka-yoke znamená princip, který zabrání vzniku neshodného výrobku. Může se jednat např. o výrobní přípravek, mechanismus či zařízení. Projekt je přirazen technologovi, který odpovídá za přednahrání správných hodnot výrobního programu do strojního zařízení.

- **Výroba KBO**

KBO pro projekt XY používá technologii vyfukování plastů NGFS®, na kterou společnost Kautex vlastní patent. NGFS® je označení pro vyfukování dutých těles s možností vkládání vnitřních komponent do nádrže během procesu vyfukování. K procesu vyfukování je zapotřebí vyfukovací stroj se dvěma extrudovanými

deskami. Extrudované desky zaujímají tvar formy, která má tvar vyfukované nádrže. Forma je dvoudílný kovový nástroj.

Nejprve je nakupovaný materiál v podobě granulátu nebo prášku dopraven ze sila a tepelně zpracován v extrudéru vlivem tření a teploty ve vnitřních částech šneku na taveninu. Šneků je šest typů, neboť palivová nádrž je vyfouknuta ze šesti vrstev. Tavenina ústí do formy, kam je vytlačena profilovou hubicí do tvaru extrudované desky. Dvě extrudované desky jsou uzavřeny mezi formu a těsnící rám. Následuje otevření formy, těsnící rám odjíždí, přisune se spojovací rám a forma se uzavře. Nyní dojde ke spojení vnitřních nakupovaných komponent/sestav ze spojovacího rámu do vnitřních stěn vyfukované nádrže. V další fázi se otevře forma, odsune se spojovací rám, uzavřou se obě poloviny formy a dojde k vyfukování, během kterého je dosaženo vnitřního tlaku v nádrži, přitom probíhá proces chlazení vzduchem stěnami formy. V následující fázi se forma otevře, vyjme se nádrž vynášecími nůžkami, proběhne automatizovaný ořez přetoků materiálu, následně se do nádrže vylaseruje kód a nádrž se zváží. Neukáže-li se chyba, nádrž putuje do chladící skořepiny, kde se ponoří pod vodu, kde dojde ke stabilizaci rozměrů. V poslední fázi se nádrž opracuje, což znamená vrtání otvorů, navařování šroubů, klipů, ventilů atd. Tím vzniká konečný opracovaný výfuk.

- **Testy kvality při uvolňování výroby**

Všechny testy vycházejí z povinného dokumentu Plán kontroly a řízení a všichni pracovníci výroby, technologie a kvality se jím musí řídit, a to zvláště inspektoři kvality.

Po jedné hodině výroby inspektor kvality odebere celkem devět nádrží. Sedm nádrží je určeno 3D testům, z nichž je jedna určena na 3D měření a šest nádrží na 3D sken. Další nádrž je odnesena na laboratorní testy a poslední na inspekční testy. Nádrže ze 3D testů se vrátí do výroby, zbylé dvě nádrže určené pro laboratoř a inspekci jsou použity na testy, z nichž většina je destruktivních. Počet odebraných nádrží je dostačující pro všechny testy z pohledu kvality KBO i zákazníka, s tím souvisí méně finančních nákladů na destruktivní testy, zkrácení času pro uvolnění výroby a menší počet zaměstnanců kvality. Nádrže po destruktivních testech nelze vrátit do výroby. Všechny výsledky testů jsou postoupeny technologům, mistrům výroby a inženýrům zákaznické kvality. Je třeba zmínit, že výroba stále probíhá, i

když není uvolněná, do uvolnění výroby jsou díly zablokovány v SAP. Teprve až dojde ke všem testům s pozitivními výsledky, jsou vyrobené kusy v SAP uvolněny. Tab. 3 uvádí přehled testů. Jednotlivé testy jsou vysvětleny v podkapitole 3.2

Tab. 3 Uvolnění výroby - přehled

Testy kvality				
Počet nádrží	**Skupina testů**	**Testy**	**Typ testu**	**Úkon po testech**
1	3D testy	3D měření	nedestruktivní	vrácení do výroby
6		3D sken	nedestruktivní	
1	laboratorní testy	svary ventilů a držáků	destruktivní	šrotace
		baking	destruktivní	
		hammer test	destruktivní	
		montážní test vnějších komponent	destruktivní	
		trhací test vnějších komponent	destruktivní	
		trhací test vnitřních komponent	destruktivní	
1	inspekční testy	kontrola geometrie v šabloně	nedestruktivní	šrotace
		vnitřní průměr	nedestruktivní	
		tloušťka stěny materiálu	nedestruktivní	
		tloušťka stěny materiálu	destruktivní	

Zdroj: Interní materiály KBO

Kontroly se provádějí ve stanovených intervalech nebo zásahem do procesu, pokud nastane. Musí-li se zasáhnout do procesu z důvodu poruchy extruderu, pak se po opravě poruchy znovu provedou testy kvality. Výčet kontrol je následující:

- uvolnění výroby prvního kusu,
- pravidelná kontrola po 4 hodinách,
- pravidelná kontrola po 8 hodinách
- pravidelná kontrola po 24 hodinách,
- výměna vyfukovací hlavy,
- výměna nástroje,
- změna profilu/změna dochlazovacího procesu
- porucha extruderu nebo čištění,
- odstavení vyfukovacího stroje,
- seřízení parametrů/výrobních stanic.

- **Montáž nakupovaných dílů**

Výrobní proces pokračuje montáží nakupovaných dílů, kde se montuje čerpadlo, palivové a odvzdušňovací hadičky. Montáž provádí operátoři výroby dle pracovního postupu, který je ve formě videonahrávky a zároveň provádějí samokontrolu provedených činností.

- **Zkouška těsnosti nádrže**

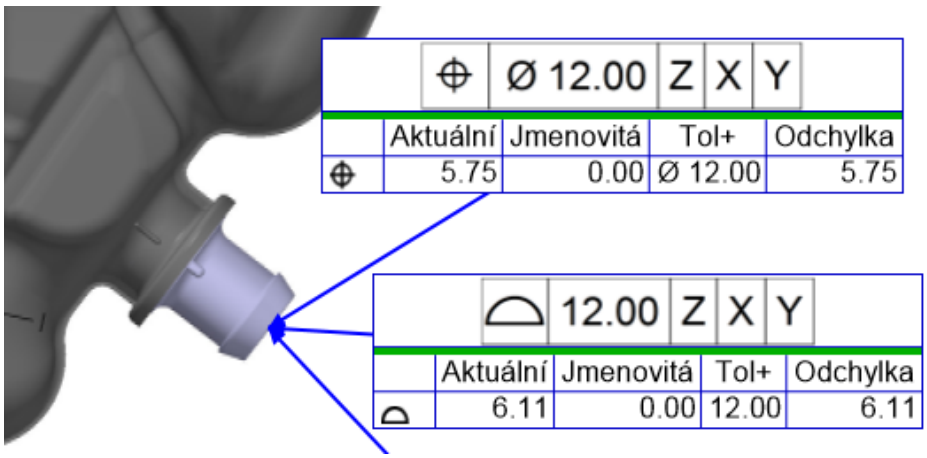
Zkouška, která vypovídá o těsnosti nádrže je považována za jednu z nejdůležitějších a je vykonávána na každé nádrži. Díl je uzavřen do komory umístěné na výrobní lince. Na hrdlo nádrže je nasazena kaplera přivádějící helium, v komoře se vytváří podtlak, kterým by se v případě netěsnosti vysálo helium z nádrže. Na displeji komory se zobrazují výsledky OK nebo NOK heliové zkoušky.

- **Finální montáž nakupovaných dílů**

Výrobní proces končí finální montáží nakupovaných dílů, jedná se o protihořlavé plechy a pásy, kterými je u zákazníka nádrž ukotvena v automobilu. I tuto montáž provádí operátoři výroby dle pracovního postupu. Po dokončení jedné palety hotových finálních nádrží se vytiskne SAP etiketa a paleta je odvezena do skladu hotových výrobků a je připravena na expedici k zákazníkovi.

3.2 Popis testů kvality

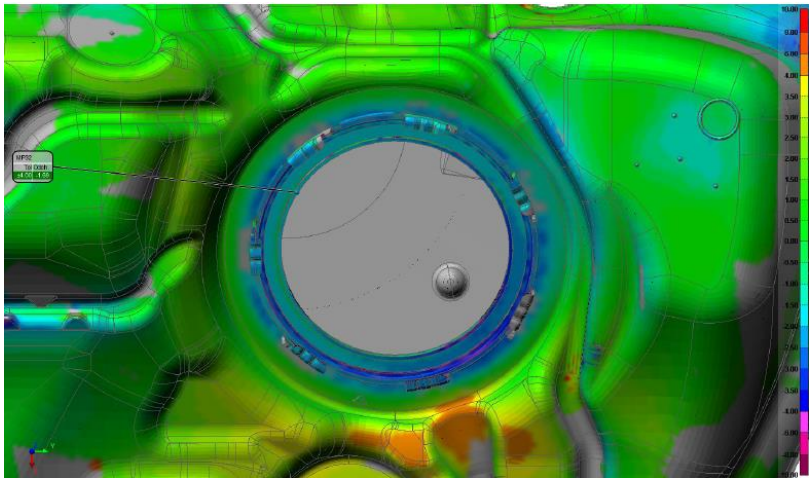
Při 3D měření snímá souřadnicový měřicí přístroj pouze jednotlivé body (viz obr. 8), které udává technický výkres zákazníka nebo jejich měření vyžaduje oddělení kvality. Podle náměrů se technolog orientuje při seřizování stroje. Výsledek se opět porovnává s CAD modelem a měření jedné nádrže trvá 20 minut.



Zdroj: Interní materiály KBO

Obr. 8 Výřez z výstupu 3D měření projektu XY

Skenováním se zjišťuje kompletní tvar nádrže za použití skeneru a výstup se porovnává s CAD modelem. Test skenování šesti nádrží probíhá přibližně 180 minut. Na obr. 9 je ukázán příklad výstupu ze skenování na projektu XY, kde je vidět barevná mapa, barevné spektrum si KBO může zvolit, logicky pro ideální stav má použitou zelenou barvu.

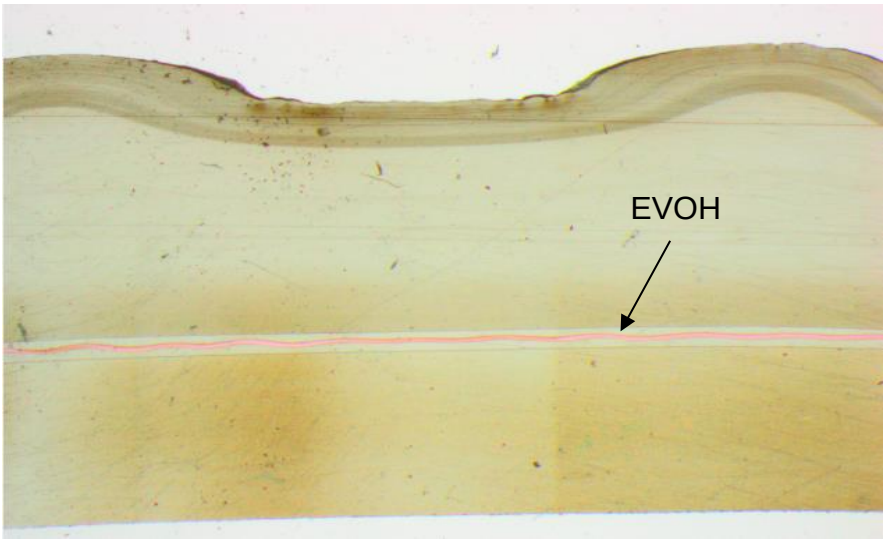


Zdroj: Interní materiály KBO

Obr. 9 Výřez z výstupu skenování projektu XY

Mezitím na další nádrži určené pro destruktivní testy probíhá sled následujících laboratorních testů.

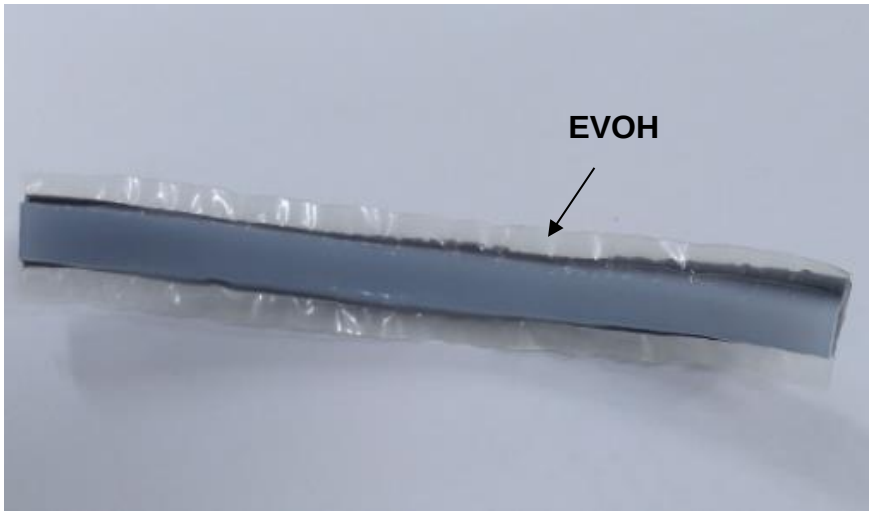
Svary ventilů a držáků provádí laboratorní technik vibrační pilou, kterou vyřízne svar s nakupovanou komponentou z nádrže a za pomocí nůžek nastřihá 1,5 cm vzorky v předem určených bodech. Z 1,5 cm širokého materiálu se uříznou pláty o velikosti šíře 40 µm a pod mikroskopem se plát prosvítí světlem, proběhne kontrola tloušťky stěny materiálu tavných zón a průběh EVOH vrstvy, jiných závad jako jsou nečistoty a bubliny ve svaru. Laboratorním technikům kontrola svarů zabere 30 minut. EVOH vrstva má funkci nepropustného materiálu, čímž zabrání úniku emisí uhlovodíku. Příklad vzorku pod mikroskopem ukazuje obr. 10.



Zdroj: Interní materiály KBO

Obr. 10 Výřez z měření svarů projektu XY

Baking je tepelná zkouška výřezu nádrže v dělící rovině tedy v oblasti lícování dvou polovin formy, kde se kontroluje vizuálně celistvost EVOH vrstvy (viz obr. 11). Vzorek se vloží do předem předehřáté pece na 180 °C a po necelé hodně je zkontrolován během 10 min.



Zdroj: Interní materiály KBO

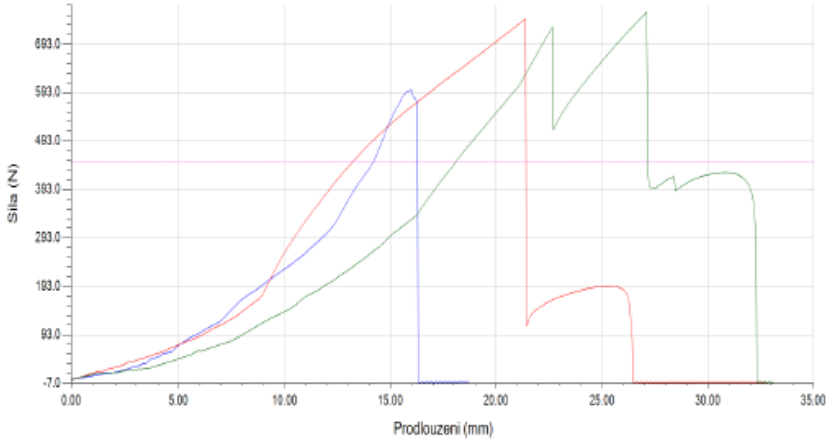
Obr. 11 Ukázka z baking testu

Hammer test se provádí za pomoci kladiva a úderem do navařených komponent jako jsou šrouby, ventily, klipy se kontroluje pevnost sváru, celý test probíhá 10 minut.

K montážnímu testu vnějších komponent je ruční siloměr tlačen na hadice (komponenty), než dojde k jejich zacvaknutí do klipu. Na siloměru se odečte naměřená hodnota. Montážní test všech komponentů je hotový za 25 minut.

K trhacímu testu vnějších komponent jsou ručním siloměrem komponenty z klipů vytrhávány a následně se odečte naměřená hodnota. Jde o inverzní test k předchozímu montážnímu testu o délce 90 minut.

Při trhacím tesut vnitřních komponent se vyřízne z nádrže komponenta, uchytí se do přípravku v trhacím zařízení a dle požadavků zákazníka je zvolen program. Za pomocí tahu proběhne trhací test, který končí po prasknutí svaru, někdy komponenty. Výstupem je trhací graf (viz obr. 12). Trhací testy všech vnitřních komponent odpovídají 170 minutám.



Zdroj: Interní materiály KBO

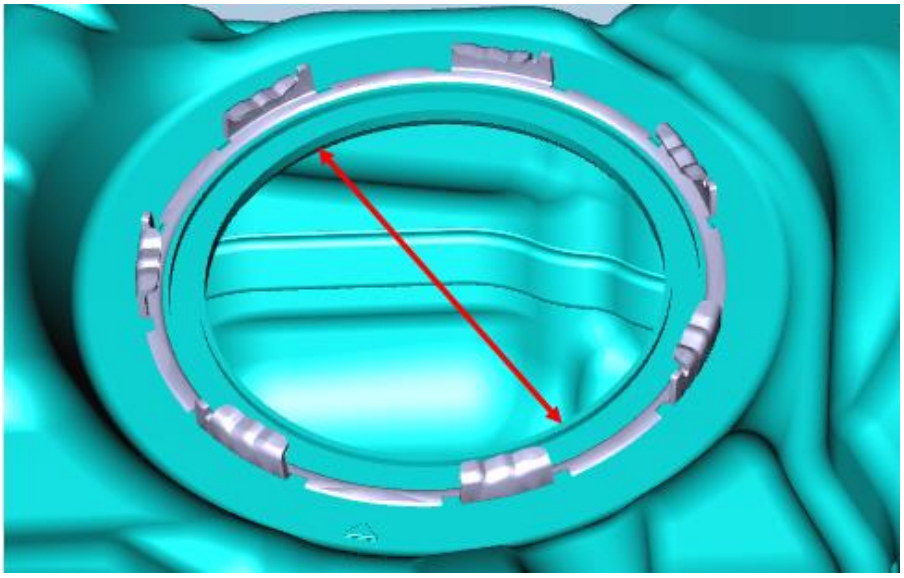
Obr. 12 Výřez z protokolu trhacího testu projektu XY

Zatímco probíhá 3D měření, skenování a destruktivní laboratorní testy, poslední nádrž je k dispozici pro inspektorku kvality, která vykonává inspekční nedestruktivní a destruktivní testy.

První test, který inspektorka provádí je kontrola geometrie v šabloně. Šablona je poměrně masivní složitý kovový přípravek přítomný na výrobní lince. Do jedné poloviny šablony je nádrž usazena, druhá polovina se zavře a vizuálně se zkoumá, zda nádrž odpovídá tvaru šablony. Kontrola probíhá přibližně 10 minut.

Vnitřní průměr otvoru pro komponentu je určena pro jediný vykroužený otvor na nádrži, do které se později montuje nakupované čerpadlo. Je zapotřebí digitálním

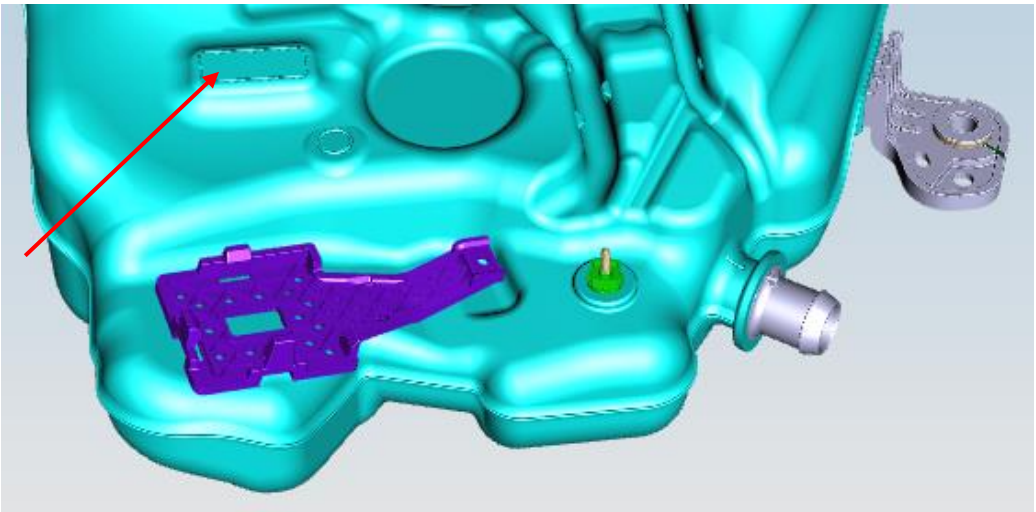
posuvným měřítkem v 8 bodech změřit vnitřní průměr a zapsat jeho výsledek v 10 minutách. Příklad měřícího bodu je na obr. 13.



Zdroj: Interní materiály KBO

Obr. 13 Příklad měřícího bodu pro vnitřní průměr

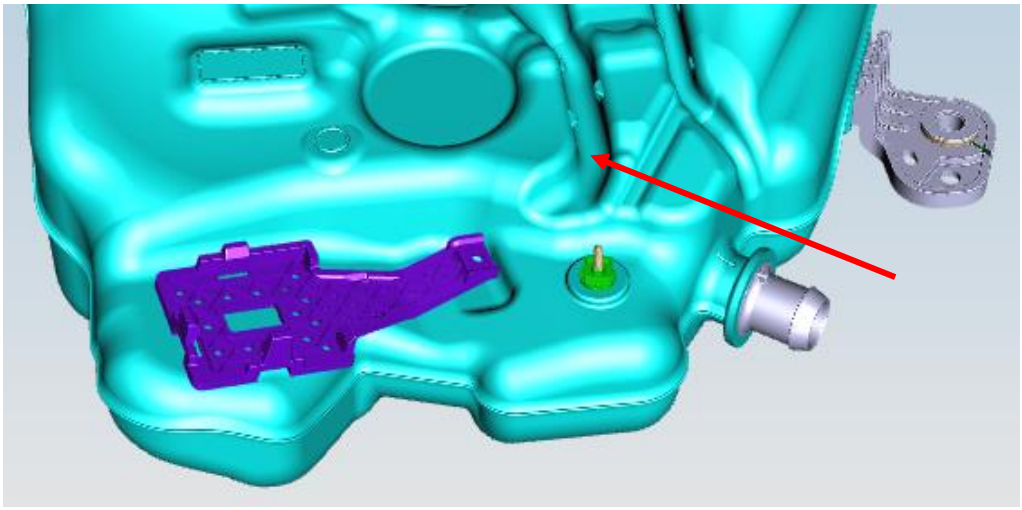
Tloušťka stěny materiálu v navařovacích bodech nedestruktivně se měří za pomoci ultrazvukového měřicího zařízení, aby nebylo nutné provádět destruktivní zkoušku a měřit tloušťku stěny materiálu posuvným měřítkem nebo digitálním úchylkoměrem. Sonda ultrazvukového měřicího přístroje se přiloží na měřicí bod, z displeje se odečtou naměřené hodnoty a následně se zapíší do záznamů. Kontrolních bodů rozmístěných po celé nádrži je celkem 15 a jedná se o body snadno dostupné pro snímací sondu (příklad měřícího bodu viz obr. 14). Těchto 15 náměrů je hotovo za 12 minut.



Zdroj: Interní materiály KBO

Obr. 14 Ukázka měřícího bodu pro nedestruktivní test

Na nádrži se nacházejí čtyři měřicí body rozmístěné v různých částech nádrže, které nejsou přístupny snímací sondě a tloušťka stěny materiálu se musí měřit destruktivně. Měření se provádí digitálním úchylkoměrem. Nejprve se vyříznou z nádrže čtyři vzorky, změří se, odečtou se naměřené hodnoty a provede se záznam v 10 minutách. Vyříznutí měřicích bodů trvá déle než samotné měření. Jelikož se jedná o destruktivní test, KBO přichází o náklady vyrobeného kusu. Příklad měřicího bodu je na obr. 15.



Zdroj: Interní materiály KBO

Obr. 15 Ukázka měřícího bodu pro destruktivní test

Inspektorky kvality při uvolnění prvního kusu nebo při zásahu do procesu jako je výměna vyfukovací hlavy, čištění, seřízení parametrů atd., odebírají vzorky nejdříve po jedné hodině rozjezdu stroje, celé uvolnění výroby zabere 335 min, tj. 5,5 hodiny (trvání nejdelší sady testů viz tab. 4). Další kontrola v pořadí, pokud se nebude zasahovat do procesu, bude pravidelná kontrola po čtyřech hodinách viz výčet kontrol v podkapitole 3.1. Z toho vyplývá, že než dojde k původnímu uvolnění výroby prvního kusu, odebírají se další díly na kontrolu a testy se opakují.

Tab. 4 Délka testů kvality

Test	Doba (min)	Počet nádrží	Počet pracovníků
3D měření	20	1	1 3D technik
3D sken	180	6	
Celkem 3D testy	**200**	7	
Svary ventilů a držáků	30	1	1 laboratorní technik
Baking test	10		
Hammer test	10		
Montážní test vnějších komp.	25		
Trhací test vnějších komp.	90		
Trhací test vnitřních komp.	170		
Celkem laboratorní testy	**335**		
Kontrola geometrie	10	1	1 inspektorka
Vnitřní průměr	10		
Tloušťka stěny materiálu - nedestruktivně	12		
Tloušťka stěny materiálu – destruktivně	10		
Celkem inspekční testy	**42**		

I když laboratorní testy zabírají značně více času než inspekční, bylo by na místě se zaměřit na vyřazení trhacího testu vnitřních komponent a zkrátit dobu uvolňování výroby, nicméně test se provádí na nádrži, která skončí šrotací, neboť na ní probíhají další destruktivní testy. Proto se z finančních důvodu bude vyhodnocovat způsobilost procesu pomocí destruktivního testu tloušťky stěny materiálu ve čtyřech měřicích bodech měřeného pomocí digitálního úchylkoměru. Výsledky budou předneseny zákazníkovi projektu XY, který může rozhodnout o snížení frekvence kontroly nebo o zrušení destruktivního testu ve čtyřech měřicích bodech. Kdyby se prokázal způsobilý proces a zákazník by přistoupil na snížení či zrušení, inspekční testy by zahrnovaly pouze nedestruktivní sadu a kontrolovaný kus by se vrátil do výroby.

4 Způsobilost procesu vyfukování

Kapitola zahrnuje MSA v jednom měřicím bodě určeném zákazníkem, kde se měří tloušťka stěny materiálu za pomoci digitálního úchylkoměru. Následuje hodnocení způsobilosti procesu ve čtyřech měřicích bodech, u každého měřicího bodu je ověřována stabilita procesu, normální rozdělení hodnot a jsou vypočteny ukazatele způsobilosti.

4.1 Analýza systému měření

Pro sílu stěny materiálu jsou dány tolerance $LSL = 15{,}50$ mm a $USL = 18{,}50$ mm. Podmínky měření jsou stanoveny v dokumentu, dle kterého vykonává KBO MSA pro projekt XY, který je odsouhlasený zákazníkem (Interní materiály KBO):

- 10 nádrží ve stejném stanoveném měřicím bodě,
- 3 inspektorky kvality,
- 3 opakování měření na stejném vzorku stejným operátorem,
- inspektorky kvality digitální úchylkoměr pravidelně používají a pracují ve třísměnném provozu,
- nádrže vybírány z více výrobních dávek v různých časech,
- pro hodnocení způsobilosti měřícího systému se používá metoda ANOVA,
- inspektorka A změří všech 10 dílů a výsledek zapíše do prvního sloupce tabulky, provede odečet v jiném pořadí a zapíše výsledky do sloupce 2 a 3. To samé platí pro inspektorku B a C (viz příloha 2).

Výsledky ANOVA získané pomocí Statgraphicsu jsou dostupné v tab. 5. Na základě p-hodnot lze rozdíly mezi operátory (p-hodnota = 0,9756) a interakci operátorů a dílů (p-hodnota = 0,1695) považovat za nevýznamné.

Tab. 5 ANOVA, Statgraphics

Source	*Sum of Squares*	*Df*	*Mean Square*	*F-Ratio*	*P-Value*
Operators	0,00000915556	2	0,00000457778	0,02	0,9756
Parts	8,91462	9	0,990513	5353,48	0,0000
Operators*Parts	0,0033304	18	0,000185022	1,39	0,1695
Residual	0,007978	60	0,000132967		
Total	8,92594	89			

Tab. 6 obsahuje vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Hodnota ukazatele $\%R\&R = 3{,}69\ \%$, která představuje procento směrodatné odchylky vyjadřující celkovou variabilitu měření, je velmi nízká ($< 10\ \%$), to znamená, že systém měření lze pokládat za způsobilý. Hlavní podíl na variabilitě systému měření má opakovatelnost, příslušný rozptyl tvoří 88,46 % rozptylu celého systému měření. Míra $ndc = 38$, což splňuje podmínku o adekvátnosti měřidla.

Tab. 6 Výsledky studie R&R, Statgraphics

Measurement	*Estimated*	*Percent*	*Estimated*	*Percent*	*Percent*
Unit	*Sigma*	*Total Variation*	*Variance*	*Contribution*	*of R&R*
Repeatability	0,0115311	3,47381	0,000132967	0,120674	88,46
Reproducibility	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Interaction	0,00416556	1,2549	0,0000173519	0,0157477	11,54
R & R	0,0122604	3,69353	0,000150319	0,136422	100,00
Parts	0,331717	99,9318	0,110036	99,8636	
Total Variation	0,331944	100.0	0,110187		

Number of distinct categories (ndc): 38

Ke stejnému závěru o způsobilosti měřidla se dojde, pokud se vyjádří ukazatel využívající šířku tolerančního pole (viz tab. 7), který je $\%P/T = 2{,}45\ \%$. Chyba měření je nejvíce ovlivněna podílem opakovatelnosti, kde ukazatel $\%EV = 2{,}31\ \%$.

Tab. 7 Výsledky studie R&R - pokračování, Statgraphics

Measurement	*6,0*	*Percent of*
Unit	*Std. Dev.*	*Tolerance*
Repeatability	0,0691867	2,30622
Reproducibility	0,0	0,0
Interaction	0,0249933	0,833111
R & R	0,0735627	2,45209
Parts	1,9903	66,3435

Protože se potvrdila dostatečná způsobilost systému měření a adekvátnost měřidla, je možno pokračovat v analýze způsobilosti procesu ve čtyřech měřicích bodech.

4.2 Hodnocení způsobilosti

Pro každý měřicí bod je k dispozici 100 naměřených hodnot tloušťky stěny materiálu z KBO protokolů o uvolnění výroby, a protože na inspekční destruktivní testy je určena vždy jedna nádrž (viz tab. 3), je zvolen pro ověření stability procesu

Shewhartův regulační diagram pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí (X_i a MR-diagram). K ověření normality rozdělení byl použit Shapirův-Wilkův test a pravděpodobnostní graf, které jsou implementovány ve Statgraphicsu. Způsobilost procesu je hodnocena pomocí ukazatelů C_p a C_{pk}. Za způsobilý se považuje proces, kdy hodnota ukazatele C_p i C_{pk} je větší než 1,33.

4.2.1 Hodnocení způsobilosti v měřicím bodě 1

- **Ověření stability procesu**

V příloze 3 jsou k dispozici naměřená data, v příloze 4 se nacházejí spočtená klouzavá rozpětí MR. Centrální přímka a regulační meze diagramu X_i a MR jsou:

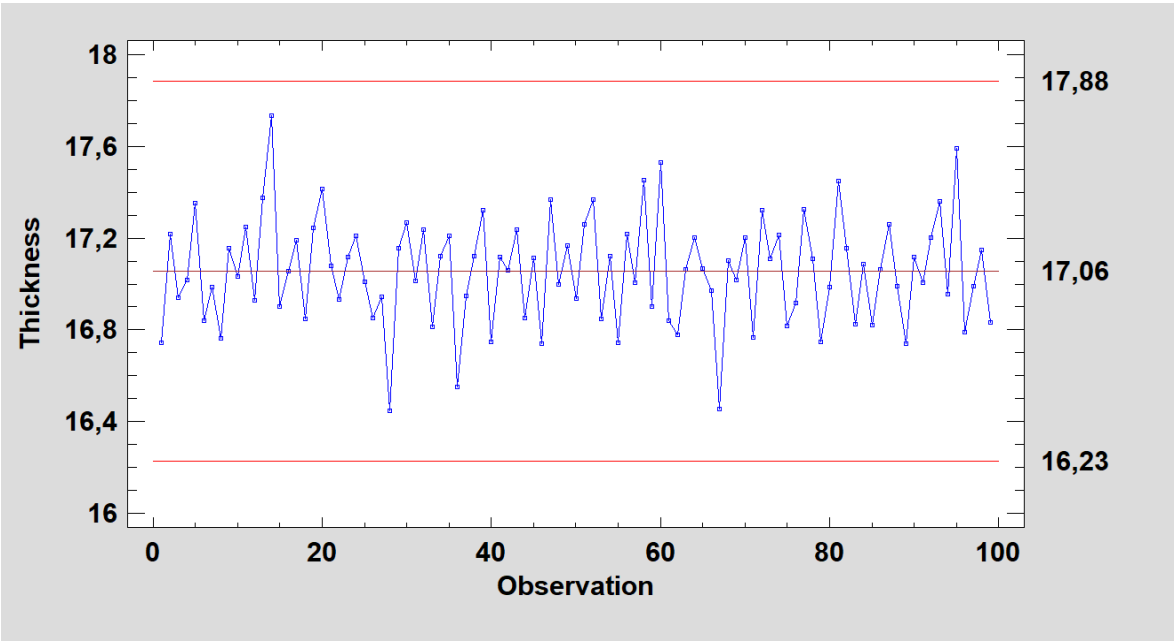
$$CL = \bar{x} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i = 17{,}050$$

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 16{,}45948 \qquad UCL = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 17{,}64083$$

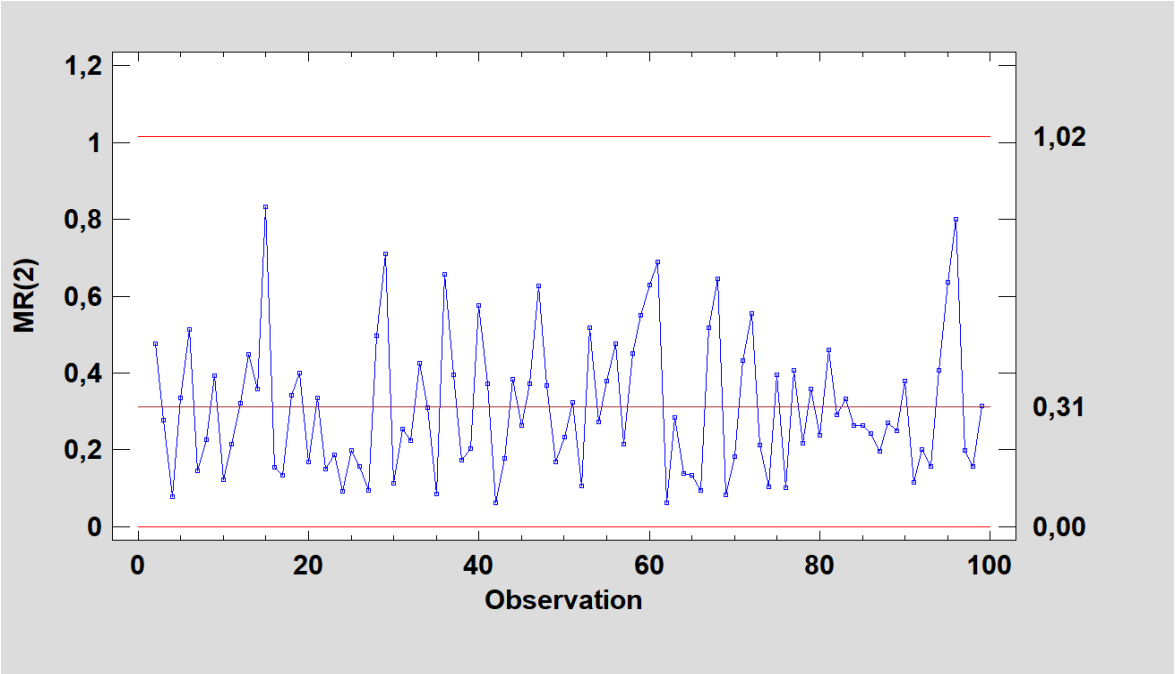
$$CL = \overline{MR} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} MR_i = 0{,}222$$

$$LCL = D_3\overline{MR} = 0 \qquad UCL = D_4\overline{MR} = 0{,}725465$$

Regulační diagramy jsou na obr. 16 a 17.



Obr. 16 Regulační diagram pro individuální hodnoty

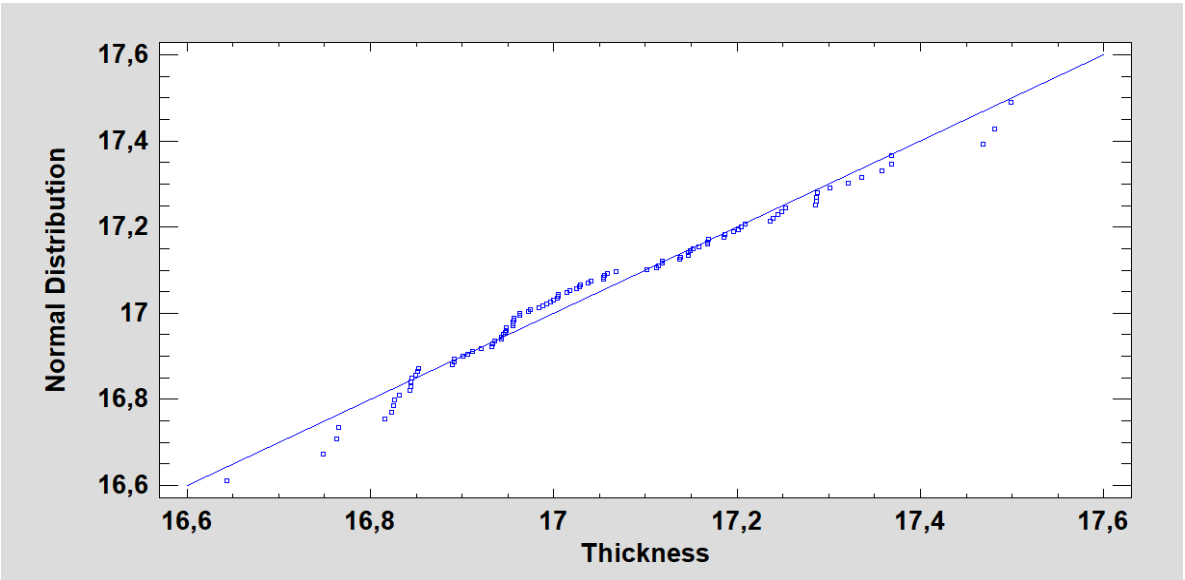


Obr. 17 Regulační diagram pro klouzavá rozpětí

Ani v jednom grafu se nenachází bod mimo regulační meze, proces v měřicím bodě 1 je statisticky zvládnutý.

- **Ověření normálního rozdělení**

Na obr. 18 je vidět průběh bodů, které se příliš neliší od přímky. Pro ověření normality byl dále použit Shapirův-Wilkův test, a protože příslušná p-hodnota = 0,0805, a je větší než 0,05, lze předpoklad normality považovat za splněný. Oba dva předpoklady jsou splněny a lze vyhodnotit ukazatele způsobilosti.



Obr. 18 Pravděpodobnostní graf

- **Ukazatele způsobilosti**

Odhad směrodatné odchylky σ a ukazatelů C_p a C_{pk} jsou:

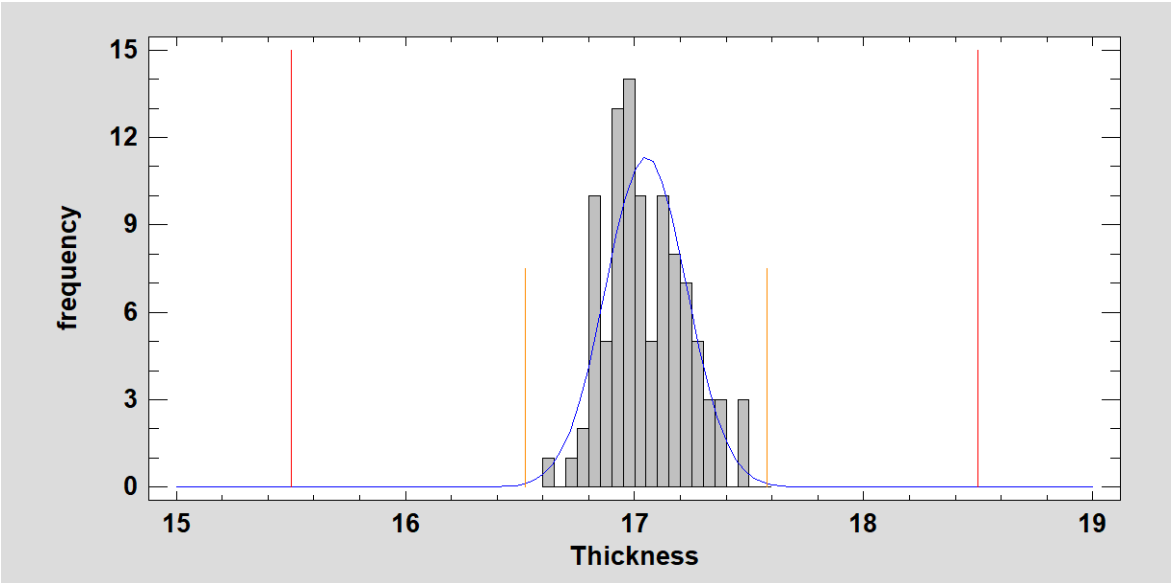
$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0{,}19686$$

$$\hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} = 2{,}54$$

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\hat{\sigma}} = 2{,}62;\ C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\hat{\sigma}} = 2{,}45$$

$$\hat{C}_{pk} = \min\left(\hat{C}_{pL}; \hat{C}_{pU}\right) = \min(2{,}62; 2{,}45) = 2{,}45$$

Hodnota obou ukazatelů je větší než 2, proces je vysoce způsobilý a prakticky centrovaný. Na obr. 19 je z naměřených hodnot sestrojen histogram. Červeně značené přímky odpovídají předepsaným mezím $LSL = 15{,}50$ mm a $USL = 18{,}50$ mm, které jsou stejné pro všechny analyzované měřicí body v následujících podkapitolách. Žlutě značené přímky jsou meze o šířce 6σ. Odhad střední hodnoty $\hat{\mu}$ je téměř uprostřed tolerančního pole.



Obr. 19 Graf způsobilosti

4.2.2 Hodnocení způsobilosti v měřicím bodě 2

- **Ověření stability procesu**

V příloze 5 se nacházejí naměřená data, v příloze 6 jejich klouzavá rozpětí MR. Centrální přímka a regulační meze diagramu X_i a MR jsou:

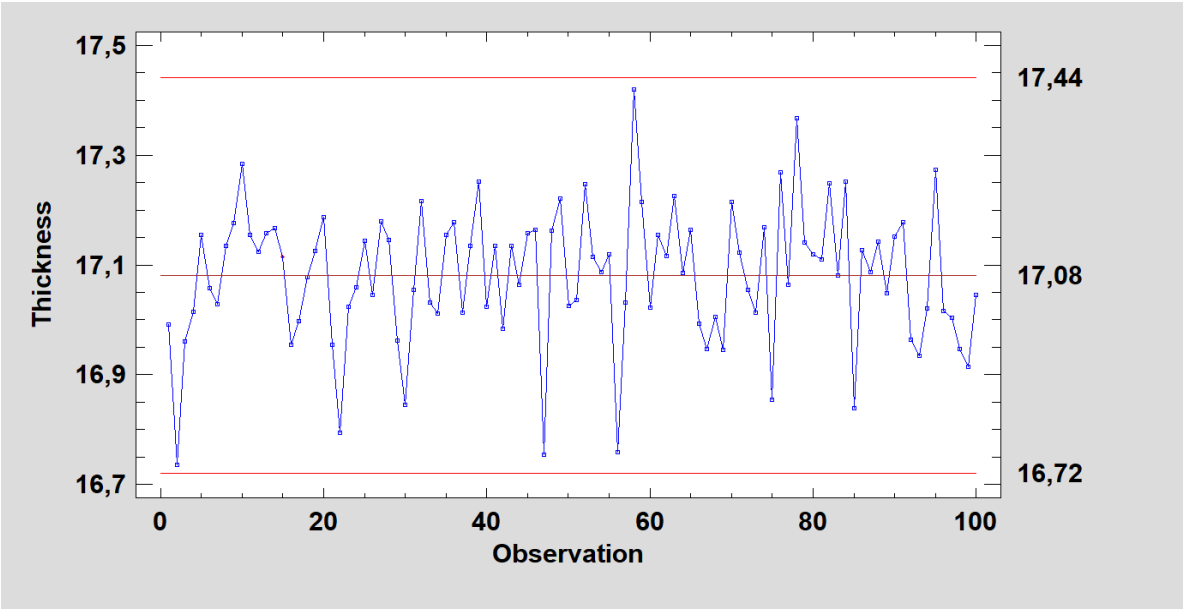
$$CL = \bar{x} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i = 17{,}081$$

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 16{,}72062 \qquad UCL = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 17{,}4408$$

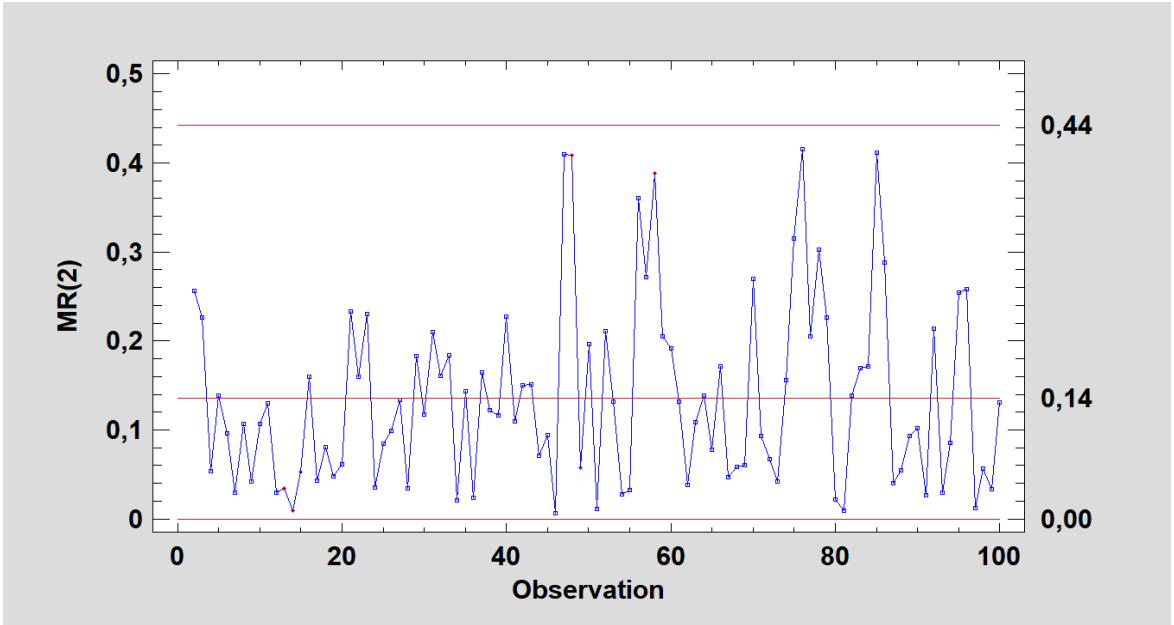
$$CL = \overline{MR} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} MR_i = 0{,}135$$

$$LCL = D_3\overline{MR} = 0 \qquad UCL = D_4\overline{MR} = 0{,}442266$$

Na obr. 20 a 21 jsou sestrojeny odpovídající regulační diagramy. V obou diagramech jsou body uvnitř regulačních mezí, proces v měřicím bodě 2 je statisticky zvládnutý.



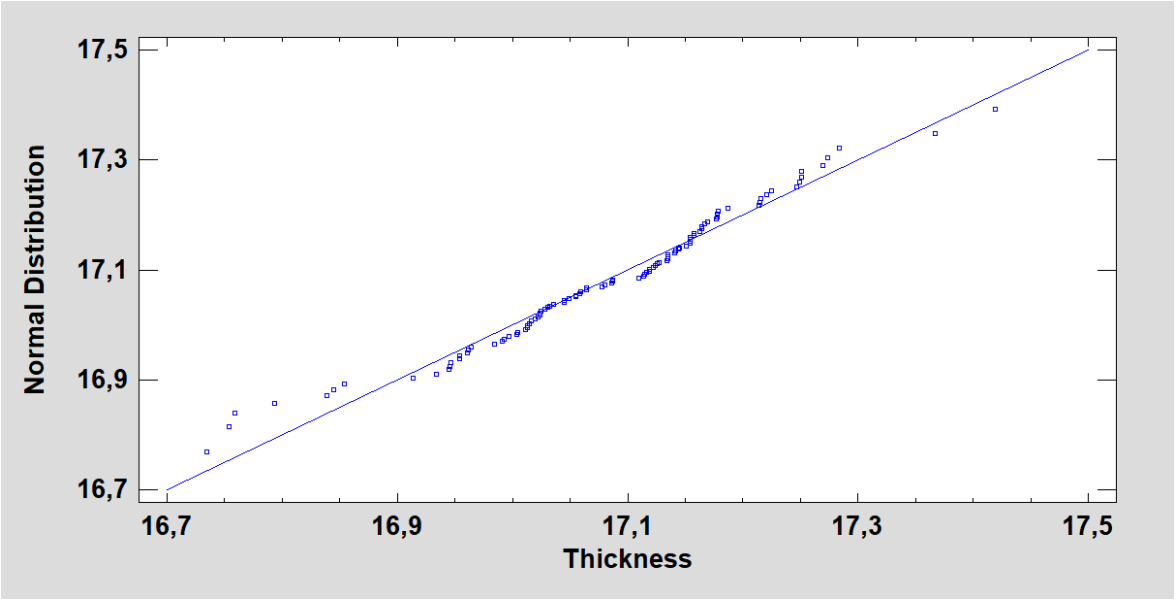
Obr. 20 Diagram pro individuální hodnoty



Obr. 21 Diagram pro klouzavá rozpětí

4.2.3 Ověření normálního rozdělení

Rozložení bodů na obr. 22 se příliš neodchyluje od přímky. p-hodnota za použití Shapirova-Wilkova testu se rovná 0,0582. Přestože je p-hodnota SW testu jen o málo vyšší než 0,05, bude předpoklad normality považován za splněný a ukazatele způsobilosti spočítány podle stejných vzorců.



Obr. 22 Pravděpodobnostní graf

- **Ukazatele způsobilosti**

Odhad směrodatné odchylky σ a ukazatele C_p a C_{pk} jsou:

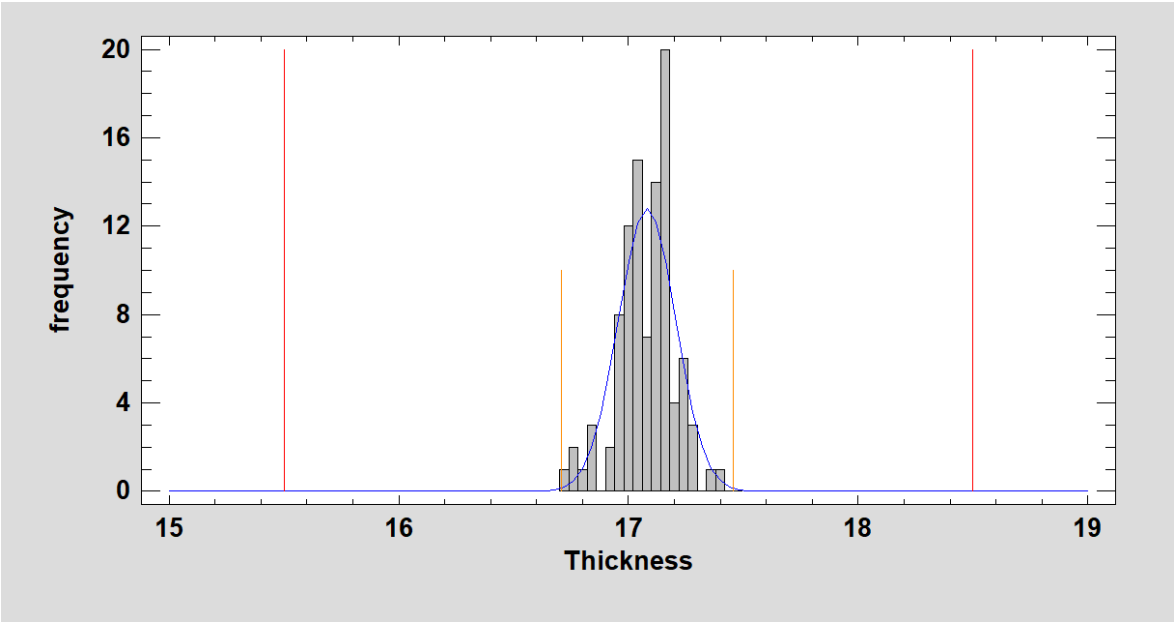
$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0{,}120012$$

$$\hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} = 4{,}17$$

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\hat{\sigma}} = 4{,}39;\ C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\hat{\sigma}} = 3{,}94$$

$$\hat{C}_{pk} = \min\left(\hat{C}_{pL}; \hat{C}_{pU}\right) = \min(4{,}39; 3{,}94) = 3{,}94$$

Ukazatele C_p a C_{pk} s výsledky blížící se hodnotě 4 prokazují vysoce způsobilý proces, zároveň odhad střední hodnoty $\hat{\mu}$ na obr. 23 je v podstatě na středu tolerančního pole.



Obr. 23 Graf způsobilosti

4.2.4 Hodnocení způsobilosti v měřicím bodě 3

- **Ověření stability procesu**

Pro měřicí bod 3 jsou zanesena naměřená data v příloze 7 a klouzavá rozpětí v příloze 8. Centrální přímka a regulační meze diagramu X_i a MR mají hodnoty:

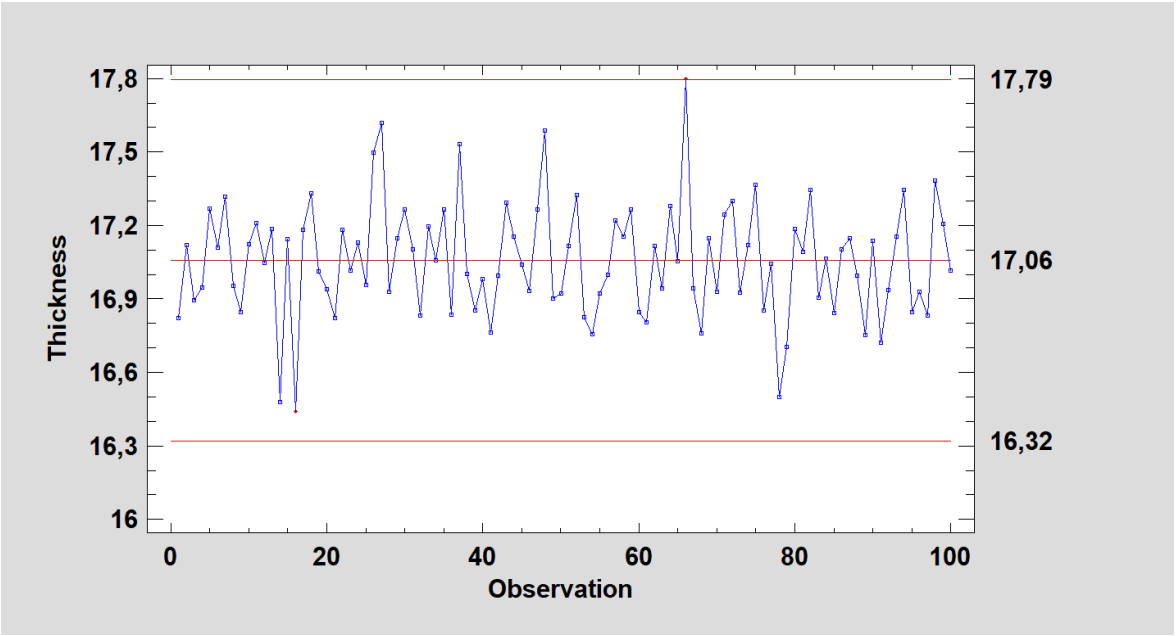
$$CL = \bar{x} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i = 17{,}057$$

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 16{,}31981 \qquad UCL = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 17{,}79425$$

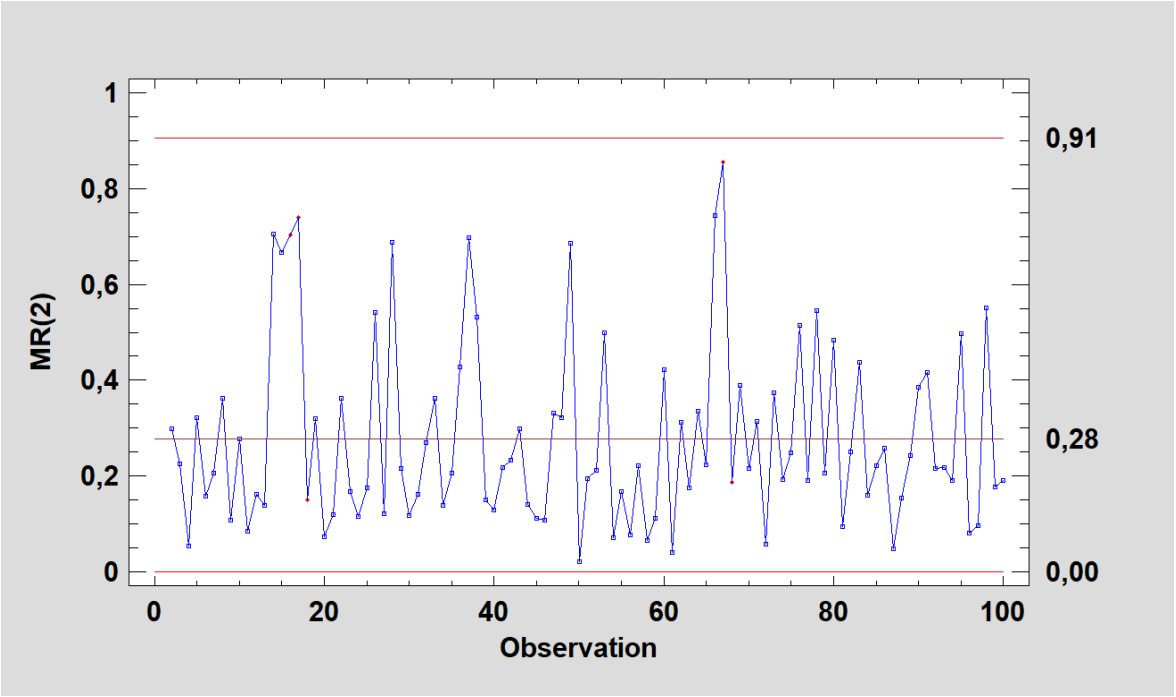
$$CL = \overline{MR} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} MR_i = 0{,}277$$

$$LCL = D_3\overline{MR} = 0 \qquad UCL = D_4\overline{MR} = 0{,}905454$$

Při kontrole diagramu pro klouzavá rozpětí (viz obr. 25) se neobjevil bod mimo meze. V diagramu pro individuální hodnoty (viz obr. 24) je bod těsně nad horní regulační mezí, konkrétně se jedná o 66. bod. Vymezitelná příčina se zkoumala ze záznamů výrobního dne, které neobsahovaly žádnou abnormalitu ani zásah do procesu, tudíž proces se považuje za stabilní.



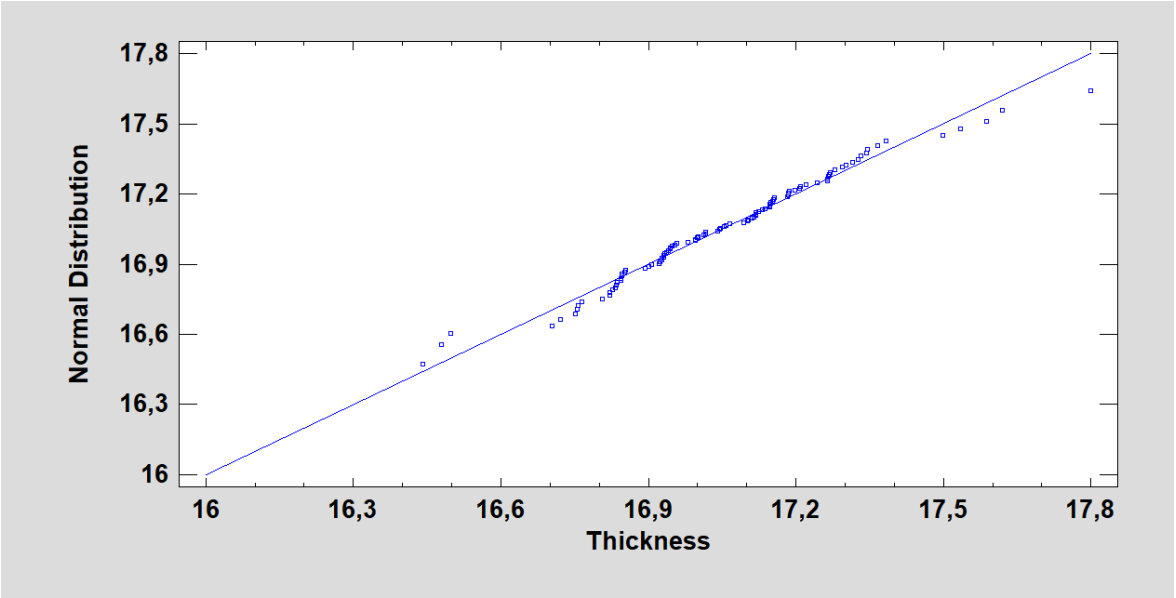
Obr. 24 Diagram pro individuální hodnoty



Obr. 25 Diagram pro klouzavá rozpětí

- **Ověření normálního rozdělení**

Poloha bodů na obr. 26 je přibližně shodná s přímkou. Pro analýzu rozdělení hodnot se použil Shapirův-Wilkův test, a na základě p-hodnoty, která vyšla 0,2047, lze považovat předpoklad normality za splněný. Za splněných podmínek se dále vyjadřují ukazatele způsobilosti.



Obr. 26 Pravděpodobnostní graf

- **Ukazatele způsobilosti**

Pro odhad směrodatné odchylky σ a ukazatele C_p a C_{pk} jsou výsledky následující:

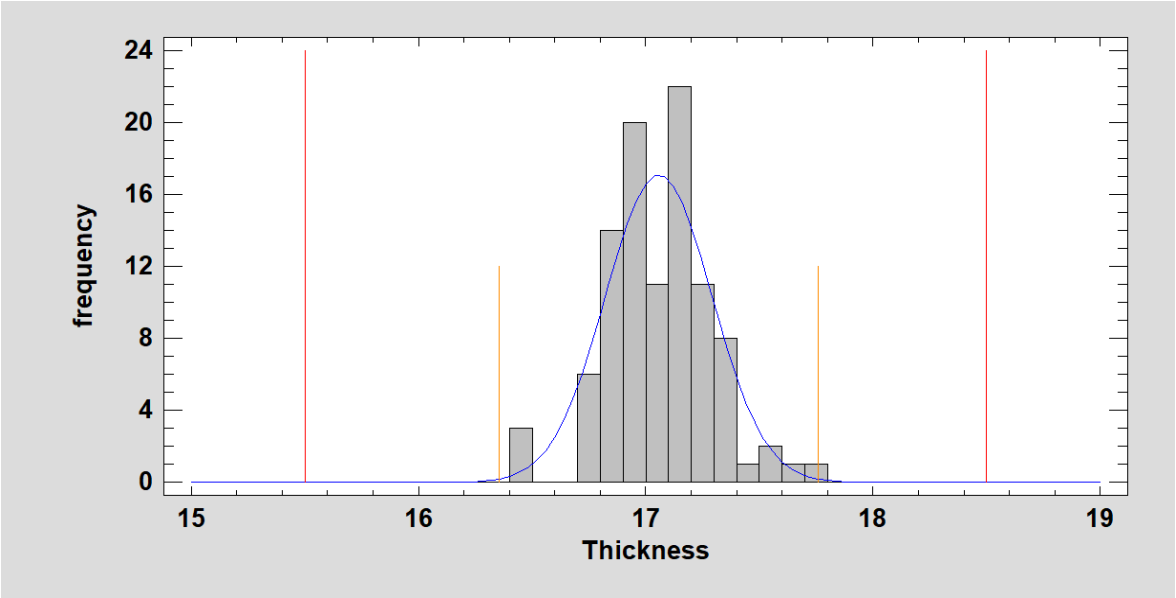
$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0{,}245702$$

$$\hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} = 2{,}03$$

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\hat{\sigma}} = 2{,}11;\ C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\hat{\sigma}} = 1{,}96$$

$$\hat{C}_{pk} = \min\left(\hat{C}_{pL}; \hat{C}_{pU}\right) = \min(2{,}11; 1{,}96) = 1{,}96$$

Hodnota ukazatele C_p a C_{pk} se přibližují hodnotě 2, proces v měřicím bodě 3 je také vysoce způsobilý a lze ho považovat i za centrovaný s ohledem na střední hodnotu $\hat{\mu}$ nacházející se přibližně ve středu tolerančního pole (viz obr. 27).



Obr. 27 Graf způsobilosti

4.2.5 Hodnocení způsobilosti v bodě 4

- **Ověření stability procesu**

Poslední měřicí bod má zaznamenaná data v příloze 9, klouzavá rozpětí dostupné v příloze 10. Centrální přímka a regulační meze diagramu X_I a MR jsou:

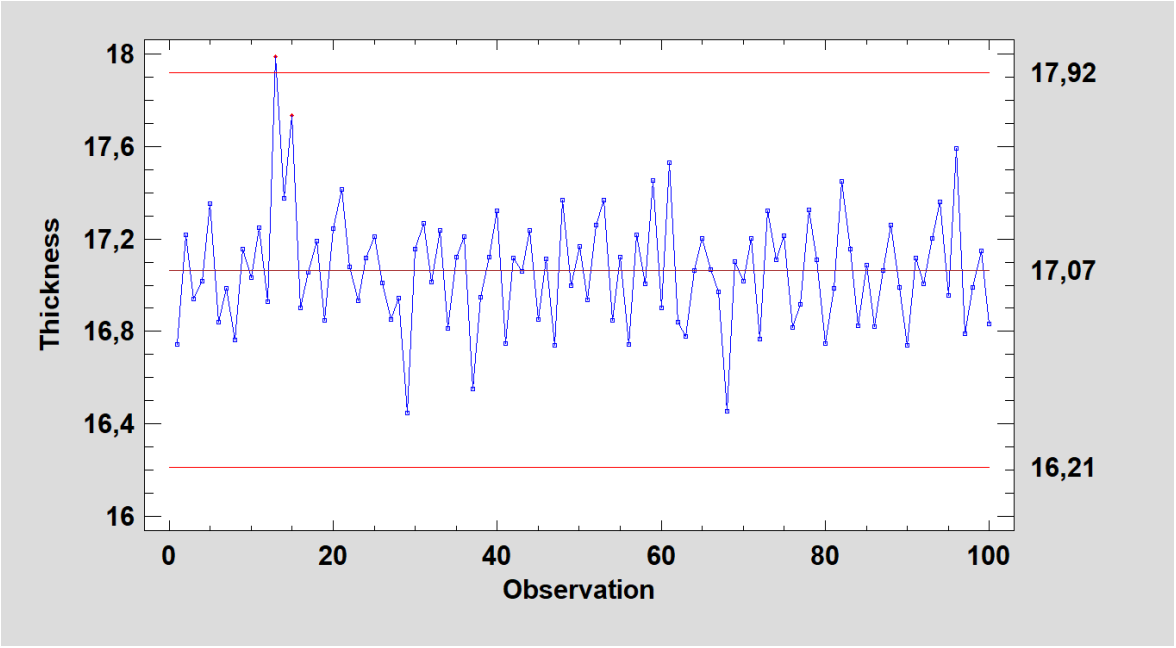
$$CL = \bar{x} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i = 17{,}065$$

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{1{,}128} = 16{,}2132 \qquad UCL = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 17{,}91754$$

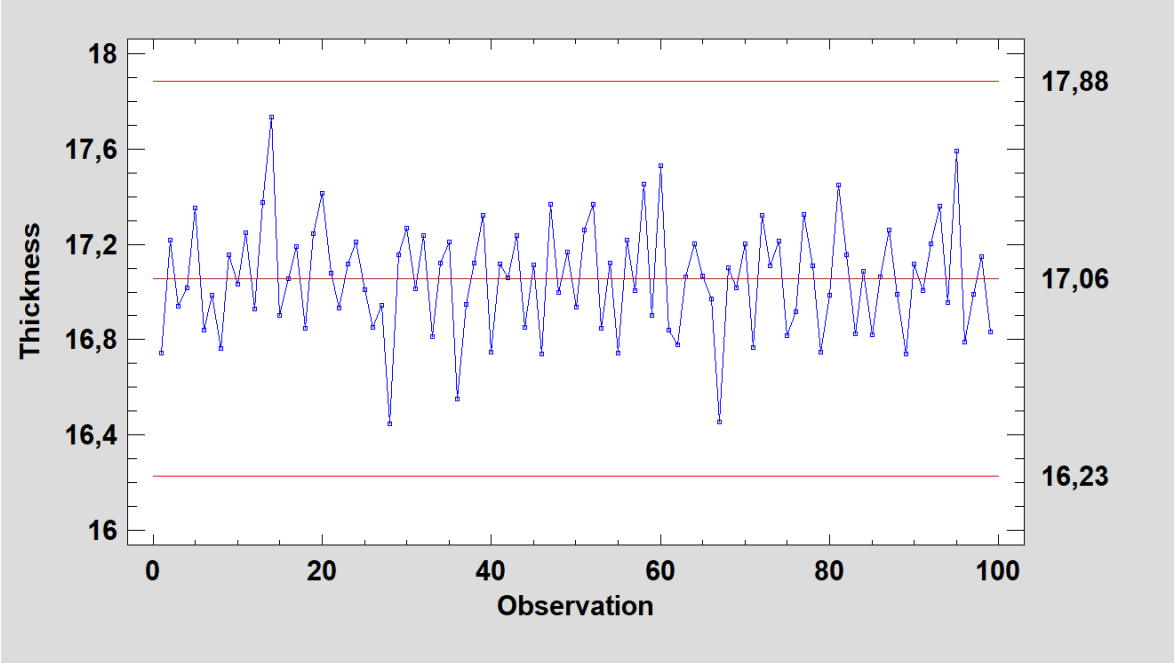
$$CL = \overline{MR} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} MR_i = 0{,}320$$

$$LCL = D_3\overline{MR} = 0 \qquad UCL = D_4\overline{MR} = 1{,}046628$$

Regulační diagramy jsou sestrojeny v obr. 28 a 29. Během kontroly regulačního diagramu pro klouzavá rozpětí (viz obr. 29) se objevil bod mimo horní regulační mez ve 13. výběru. Ze záznamů výrobního dne se zjistila přítomnost vymezitelné příčiny, kterou byla nečistota ve formě, čímž docházelo k nerovnoměrnému rozprostírání materiálu po stěnách formy. Tomu odpovídá, že 14. kontrola proběhla po odstavení vyfukovacího stroje (viz příloha 9).



Obr. 28 Diagram pro individuální hodnoty



Obr. 29 Diagram pro klouzavá rozpětí

Nečistota ve formě byla následně odstraněna technology, 13. bod byl vypuštěn, a sestrojily se revidované hodnoty pro diagram X_i a MR:

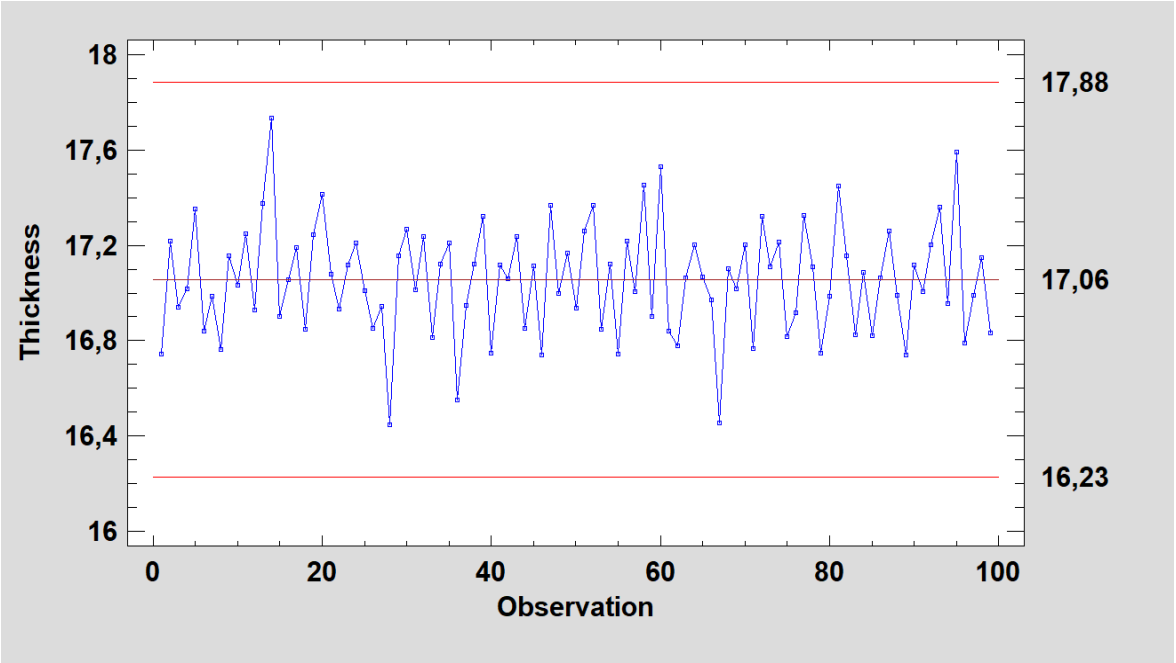
$$CL = \bar{x} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i = 17{,}056$$

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{1{,}128} = 16{,}22837 \qquad UCL = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} = 17{,}88375$$

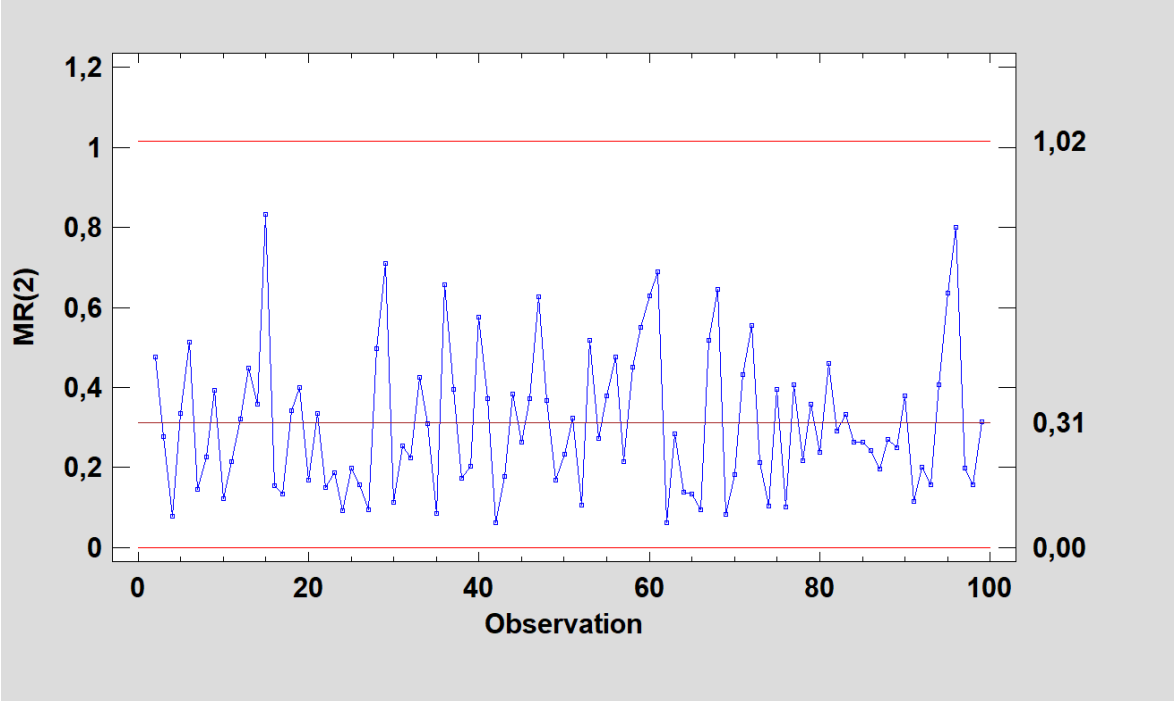
$$CL = \overline{MR} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} MR_i = 0{,}311$$

$$LCL = D_3\overline{MR} = 0 \qquad UCL = D_4\overline{MR} = 1{,}01657$$

Na obr. 30 a 31 jsou vidět revidované diagramy s body uvnitř regulačních mezí, nyní proces je pod statistickou kontrolou.



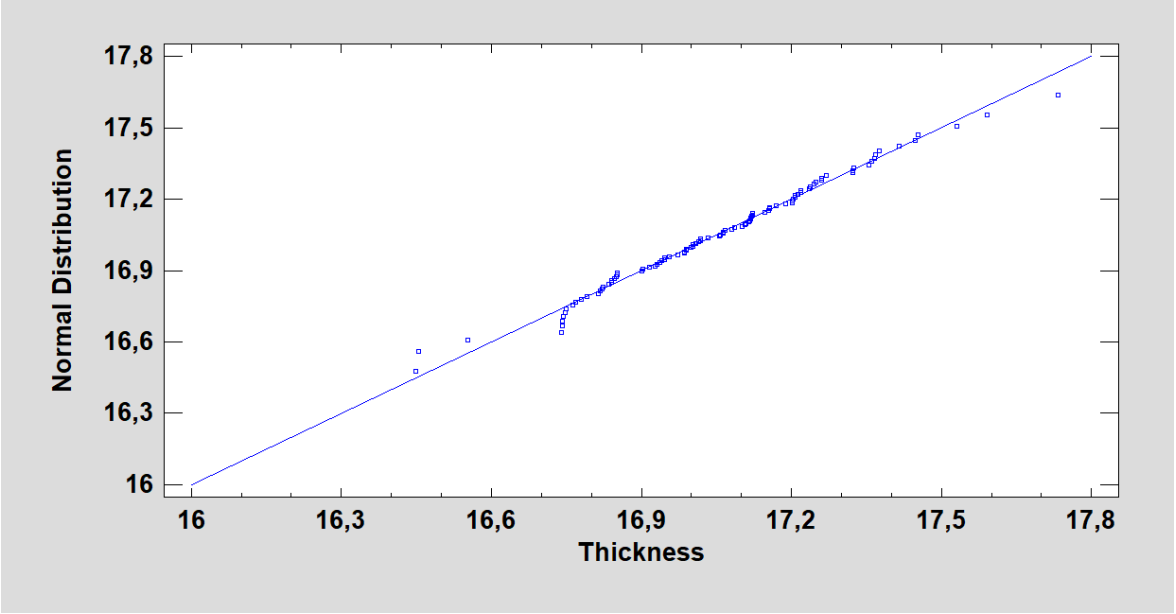
Obr. 30 Revidovaný diagram pro individuální hodnoty



Obr. 31 Revidovaný diagram pro klouzavá rozpětí

- **Ověření normálního rozdělení**

Normální rozdělení se považuje za splněné s průběhem bodů přibližně v přímce (viz obr. 32) a za pomoci Shapirova-Wilkova testu s výsledkem p-hodnoty 0,7033. Stabilita procesu i normální rozdělení jsou splněny a lze vyhodnotit ukazatele způsobilosti.



Obr. 32 Pravděpodobnostní graf

- **Ukazatele způsobilosti**

Ke kompletnosti analýzy je spočten odhad směrodatné odchylky σ a ukazatele C_p a C_{pk}:

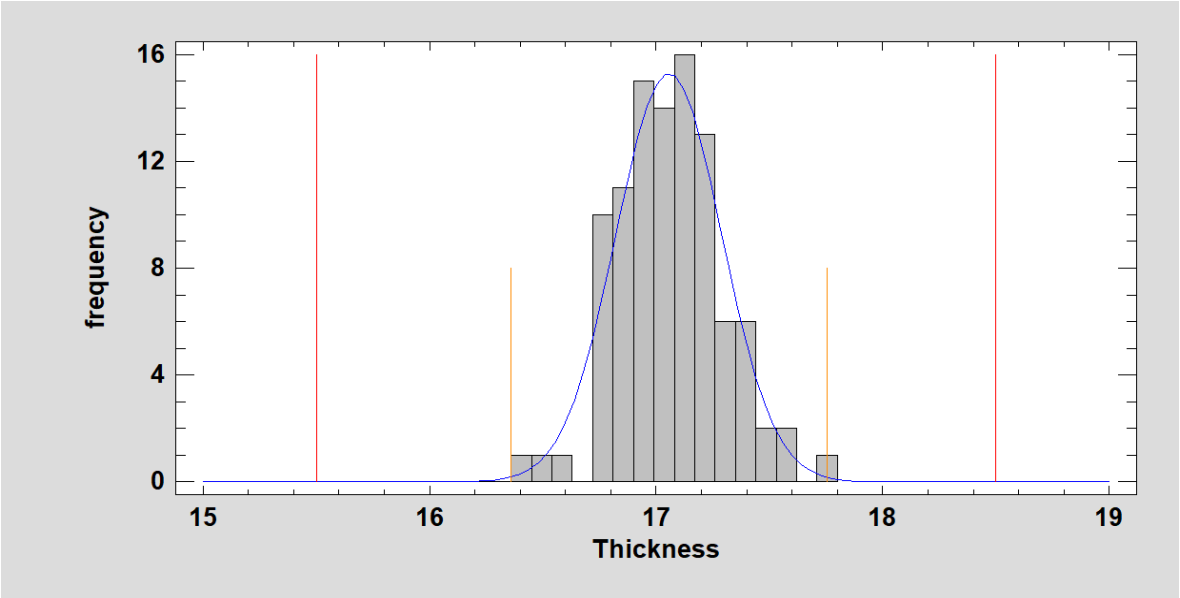
$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = 0{,}275854$$

$$\hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}} = 1{,}81$$

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\mu-LSL}{3\hat{\sigma}} = 1{,}88;\ C_{pU} = \frac{USL-\mu}{3\hat{\sigma}} = 1{,}74$$

$$\hat{C}_{pk} = \min\left(\hat{C}_{pL}; \hat{C}_{pU}\right) = \min(1{,}88; 1{,}74) = 1{,}74$$

Oba ukazatele dosahují téměř hodnoty 2, to znamená způsobilý a centrovaný proces. Na obr. 33 se nachází histogram, kde odhad střední hodnoty $\hat{\mu}$ je v podstatě uprostřed tolerančních mezí, které upřesňují červené přímky.



Obr. 33 Graf způsobilosti

Na principu výpočtů a grafů lze konstatovat o výrobním procesu ve všech měřicích bodech, že je vysoce způsobilý i centrovaný.

5 Nákladové zhodnocení

Na základě informací o výrobních nákladech polotovaru projektu XY jsou navržena řešení spočívající v úpravě počtu kontrol.

5.1 Výrobní náklady

Výrobní náklady lze vyčíslit podle toho, v jaké části výroby se nádrž nachází. Jedná se o výrobní náklady výfuku nádrže, polotovaru a finálního výrobku. Vyfouklá nádrž je tvořena z vnitřních komponent a vyfouklého plastu tvaru nádrže. Polotovar navíc zahrnuje navařené komponenty jako šrouby, držáky, ventily atd. Po montáži hadic, čerpadla, plechů a pásů jde o finální výrobek.

Při sestavování nákladů je třeba vzít v úvahu, že pro inspekční testy se odebírá nádrž, která netvoří finální výrobek ale pouze polotovar. Za pomocí kusovníku a KBO informací o nákladech výroby jsou postupně vyjádřeny výrobní náklady polotovaru (viz tab. 8). S ohledem na citlivé informace mají nakupovaný materiál a komponenty jen pořadová čísla a obecné názvy, příslušné ceny jsou upraveny o konstantu definovanou společností KBO. Množství v kg nakupovaného materiálu a doba trvání vyfukovacího či navařovacího procesu je nahrazena písmenem X. Výrobní náklady výfuku nádrže jsou tvořeny součtem cen položek 000 až 021, výrobní náklady polotovaru určenému k destruktivnímu testu ve čtyřech měřicích bodech jsou součtem ceny výfuku nádrže a položek 022 až 031 a činí 2 613,36 Kč.

Tab. 8 Rozpad nákladů

Rozpad nákladů polotovaru projektu XY			
Číslo dílu/operace	**Popis**	**Cena (Kč)**	**Množství/doba**
000	Jednicové náklady osob starajících se o komponenty	26,30	-
001	Vnitřní komponenta A	42,76	1 KS
002	Vnitřní komponenta B	17,82	1 KS
003	Vnitřní komponenta C	22,60	1 KS
004	Vnitřní komponenta D	116,40	1 KS
005	Vnitřní komponenta E	109,20	1 KS
006	Jednicové náklady na vyfukování	16,80	X min
007	Jednicové náklady na vyfukování	46,18	X min
008	Jednicové náklady osob starajících se o materiál	51,90	-
009	Nakupovaný materiál I.	8,28	X KG
010	Nakupovaný materiál II.	56,46	X KG
011	Nakupovaný materiál III.	29,12	X KG
012	Nakupovaný materiál IV.	1,50	X KG
013	Nakupovaný materiál V.	461,96	X KG
014	Vnitřní komponenta F	6,18	1 KS

015	Vnitřní komponenta G	40,70	1 Ks
016	Vnější komponenta H	747,36	1 Ks
017	Vnější komponenta CH	47,70	1 Ks
018	Vnější komponenta I	53,26	1 Ks
019	Vnitřní komponenta J	48,18	1 Ks
020	Jednicové náklady na vyfukování	49,00	X min
021	Jednicové náklady na vyfukování	224,94	X min
x	**Výfuk nádrže činí**	**2 224,60**	**1 KS**
022	Vnější komponenta K	36,56	1 KS
023	Vnější komponenta L	43,88	1 KS
024	Vnější komponenta M	24,72	1 KS
025	Vnější komponenta N	15,46	1 KS
026	Vnější komponenta O	12,64	5 KS
027	Jednicové náklady navařování 1	16,10	X min
028	Jednicové náklady navařování 2	224,94	X min
029	Jednicové náklady osob starajících se o proces opracování	11,60	-
030	Vnější komponenta P	0,84	1 KS
031	Vnější komponenta Q	2,02	1 KS
x	**Polotovar činí**	**2 613,36**	**1 KS**

5.2 Navrhovaná řešení

Z přehledu laboratorních protokolů bylo zjištěno, že na projektu XY bylo doposud provedeno 223 kontrol za období necelých dvou let. Jsou-li výrobní náklady jednoho polotovaru 2 613,36 Kč, tak celkové náklady za sešrotované díly po destruktivním testu ve čtyřech měřicích bodech jsou v hodnotě 582 779,28 Kč. Navíc náklady na sešrotované díly zhoršují hodnotu důležitého ukazatele celkové efektivity výroby (OEE) sledovaného zákazníkem. Jelikož je projekt XY stále ve fázi sériové výroby, mohlo by zrušení destruktivního testu ve čtyřech měřicích bodech navýšit zisk z prodaných kusů v budoucnu, jelikož konec sériové výroby je stanoven v roce 2025.

Dále bylo zjištěno, že během pravidelných kontrol po čtyřech hodinách nedošlo k seřízení, čištění nebo výměně vyfukovací hlavy atd., a tudíž je výrobní proces statisticky zvládnutý. K zásahu do procesu dochází až po osmi hodinách, jak je patrné v přílohách 3, 5, 7 a 9. Po brainstormingu pracovníků výroby, technologie a kvality může být pravidelná kontrola po čtyřech hodinách vynechána. Dále lze konstatovat, že pravidelná kontrola po čtyřech hodinách je nadbytečná, jelikož začíná ještě před dokončením testů uvolnění výroby prvního kusu. Ve skladbě kontrol uvedných v příloze 3, 5, 7 a 9 bylo provedeno 30 pravidelných kontrol po čtyřech hodinách, to činí sešrotované nádrže v hodnotě 78 400,8 Kč.

KBO mělo zákazníkovi vysvětlit svůj záměr, který spočívá ve snižování nákladů kvality na destruktivní testy, pokud je výrobní proces způsobilý. Autorka doporučuje

poskytnout zákazníkovi náměry, výsledky výpočtů ukazatele C_p, C_{pk}, veškeré grafy a požádat zákazníka o zrušení destruktivního testu ve čtyřech analyzovaných měřicích bodech. Pokud by zákazník nesouhlasil s úplným zrušením, navrhuje se požádat alespoň o zrušení frekvence pravidelné kontroly po čtyřech hodinách.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo prokázat způsobilost výrobního procesu palivových nádrží projektu XY, a optimalizovat náklady na sledování kvality. Hodnoty potřebné pro výpočet byly získány při destruktivním testu měření tloušťky stěny materiálu ve čtyřech měřicích bodech, k měření byl použit digitální úchylkoměr. Před provedením analýzy způsobilosti procesu bylo potvrzeno, že systém měření tloušťky stěny materiálu je způsobilý, jelikož hodnoty ukazatele $\%R\&R$ a $\%P/T$ jsou menší než 10 %. Z výpočtů vyplývá, že hlavní podíl na variabilitě systému měření má opakovaltenost. Také měřidlo, digitální úchylkoměr, se potvrdilo jako adekvátní.

Při analýze způsobilosti procesu v části statistické regulace byl použit Shewhartův regulační diagram pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí. Z výsledků analýzy statistické regulace ve všech čtyřech měřicích bodech vyplývá stabilita procesu. Dále lze konstatovat, že všechny čtyři měřicí body vykazují způsobilý proces se zanedbatelným posunutím střední hodnoty procesu k horní toleranční mezi. Vypočtené hodnoty ukazatele C_p byly mezi 1,81 až 4,17 a hodnoty ukazatele C_{pk} mezi 1,74 až 3,94.

Po úpravě cen nakupovaných komponent a výrobních nákladů procesů vyfukování a svařování o konstantu požadovanou společností KBO, jednotkové výrobní náklady polotovaru byly spočteny na 2 613,36 Kč. Počet kontrol na projektu XY nacházejícím se ve fázi sérové výroby proběhlo celkem 223 za necelé dva roky, tudíž celková hodnota doposud sešrotovaných nákladů je ve výši 582 779,28 Kč.

Dále bylo zjištěno, že pravidelná kontrola po čtyřech hodinách je nadbytečná, jelikož je započata, aniž by byly vyhodnoceny testy při kontrole prvního kusu. Vynechání pravidelných kontrol po čtyřech hodinách se po poradě s oddělením výroby, technologie a kvality jeví jako přijatelné, jelikož je proces stabilní a k zásahům do procesu dochází až po osmi hodinách.

Navrhovaným opatřením pro snížení nákladů je poskytnout zákazníkovi analýzu způsobilosti procesu a požádat o vyřazení destruktivního testu měření tloušťky stěny materiálu ve čtyřech měřicích bodech. V případě nesouhlasu zákazníka o úplném zrušení destruktivního testu požádat alespoň o vyřazení pravidelné kontroly po čtyřech hodinách.

Seznam literatury

AIAG: Analýza systémů měření (MSA), příručka ČSJ, 4. vydání, Praha 2010. ISBN 978-80-02-02326-5

BLECHARZ, Pavel. Základy moderního řízení kvality. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 978-80-86929-75-0.

Česká společnost pro jakost. Analýza systémů měření (MSA). 4 vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02323-5.

Česká společnost pro jakost. Komentované vydání ČSN EN ISO 9001:2016: Systémy managementu kvality Požadavky. Praha: Tiskárna Bruk, 2016. ISBN 978-80-02-02642-6.

Česká společnost pro jakost. Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016. Praha: Tiskárna Bruk, 2016. ISBN 978-80-02-026999-0.

CHAMBERS, David Smith a Donald J. WHEELER. Understanding Statistical Process Control. Third Edition. Knoxville: SPC Press, 2010. ISBN 9780945320692.

JAROŠOVÁ, Eva. *Statistické metody řízení kvality pro kombinovanou formu studia.* 1. vyd. ŠKODA AUTO a.s. Vysoká škola, 2011. 204 s. ISBN 978-80-87042-37-3.

JAROŠOVÁ, E. -- NOSKIEVIČOVÁ, D. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2015. ISBN 978-80-247-5355-3.

MONTGOMERY, Douglas C. *Statistical Quality Control: A Modern Introduction*. 6th Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2009. ISBN 978-0-470-23397-9.

MONTGOMERY, Douglas C. *Statistical Quality Control: A Modern Introduction*. 7th Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2013. ISBN 9781118322574.

NENADÁL, Jaroslav, Darja NOSKIEVIČOVÁ, Růžena PETŘÍKOVÁ, Jiří PLURA a Jaroslav TOŠENOVSKÝ. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2011. ISBN 978-80-7261-186-7.

OAKLAND, John. *Statistical Process Control*. 6th Edition. New York: Routledge, 2011. ISBN 978-0750669627.

QIU, Peihua. *Introduction to Statistical Process Control*. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2013. ISBN 9781439847992.

Regulační diagramy – Část 2: *Shewhartovy regulační diagramy ČSN ISO 7870-2*. Praha: Český normalizační institut, 2018, 48 s.

RYAN, Thomas P. *Statistical Methods for Quality Improvement*. 3rd Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2011. ISBN 978-0470590744.

SOWER, Victor E. Statistical Process Control for Manager. Second Edition. New York: Business Expert Press, 2017. ISBN 9781947098794.

Interní materiály KBO

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Regulační diagram – stabilní proces 14

Obr. 2 Regulační diagram – nestabilní proces 18

Obr. 3 Normální rozdělení 22

Obr. 4 Pravděpodobnostní graf 23

Obr. 5 Varovné meze 24

Obr. 6 Centrovaný vs. necentrovaný proces 28

Obr. 7 Organigram oddělení kvality 32

Obr. 8 Výřez z výstupu 3D měření projektu XY 38

Obr. 9 Výřez z výstupu skenování projektu XY 38

Obr. 10 Výřez z měření svarů projektu XY 39

Obr. 11 Ukázka z baking testu 39

Obr. 12 Výřez z protokolu trhacího testu projektu XY 40

Obr. 13 Příklad měřícího bodu pro vnitřní průměr 41

Obr. 14 Ukázka měřícího bodu pro nedestruktivní test 42

Obr. 15 Ukázka měřícího bodu pro destruktivní test 42

Obr. 16 Regulační diagram pro individuální hodnoty 46

Obr. 17 Regulační diagram pro klouzavá rozpětí 47

Obr. 18 Pravděpodobnostní graf 47

Obr. 19 Graf způsobilosti 48

Obr. 20 Diagram pro individuální hodnoty 49

Obr. 21 Diagram pro klouzavá rozpětí 49

Obr. 22 Pravděpodobnostní graf 50

Obr. 23 Graf způsobilosti 51

Obr. 24 Diagram pro individuální hodnoty 52

Obr. 25 Diagram pro klouzavá rozpětí 52
Obr. 26 Pravděpodobnostní graf 53
Obr. 27 Graf způsobilosti 54
Obr. 28 Diagram pro individuální hodnoty 55
Obr. 29 Diagram pro klouzavá rozpětí 55
Obr. 30 Revidovaný diagram pro individuální hodnoty 56
Obr. 31 Revidovaný diagram pro klouzavá rozpětí 56
Obr. 32 Pravděpodobnostní graf 57
Obr. 33 Graf způsobilosti 58

Seznam tabulek

Tab. 1 ANOVA 11

Tab. 2 Interpretace ukazatele C_p 27

Tab. 3 Uvolnění výroby - přehled 36

Tab. 4 Délka testů kvality 43

Tab. 5 ANOVA, Statgraphics 44

Tab. 6 Výsledky studie R&R, Statgraphics 45

Tab. 7 Výsledky studie R&R - pokračování, Statgraphics 45

Tab. 8 Rozpad nákladů 59

Seznam příloh

Příloha 1 Část Plánu kontroly a řízení 69

Příloha 2 Náměry MSA..... 70

Příloha 3 Náměry v měřicím bodě 1 71

Příloha 4 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 1..... 72

Příloha 5 Náměry v měřicím bodě 2 73

Příloha 6 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 2..... 74

Příloha 7 Náměry v měřicím bodě 3 75

Příloha 8 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 3..... 76

Příloha 9 Náměry v měřicím bodě 4 77

Příloha 10 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 4..... 78

Příloha 1 Část Plánu kontroly a řízení

KAUTEX A Textron Company

Palivová nádrž XY

☐ Prototyp ☐ Předsérie ☑ Série ☐ Náhradní díl

PP

První vydání: 30.11.2018 **Odpovědná osoba:** Jan Novák **Projektový tým:** Jan Novák, Jan Nový, Lubos Novotný, Juraj Novota

Název dílu:	Interní č. dílu:	Revize SAP:	Číslo výkresu:	Datum výkresu / revize:	Platnost KP od:	Adresa závodu:
Assy Fuel Tank XY	xxxxxxx	009	xxxxxxxx	10.07.2019 - rev.13	29.8.2019	Dodavatelské č.:

Číslo op.	Název operace / název výr. zařízení	Číslo kont.	Znak/tolerance	Specifické znaky	Odpovědnost	Zkušební prostředek	Zkušební postup	Četnost zkoušek KBO
10	**Vstupní kontrola / kontrola množství a značení**	1	Množství, hmotnost, kontrola balení, značení		Logistika	Dle AA-LOG-xxx-KBO	dle AA-LOG-xxx-KBO.	Každá dodávka / dávka
		2	Melt Flow Index		Laboratoř	Zařízení Göttfert	Dle SOP-yyy-KTBO.	Každá dodávka / dávka
		3	Plány vstupní kontroly kvality pro jednotlivé komponenty a materiál		Vstupní kontrola	dle plánů vstupní kontroly kvality	dle AA-Q-zzz-KBO, viz plány vstupní kontroly kvality.	AA-Q-zzz-KBO - viz plány vstupní kontroly kvality.
20	**Vyfukování, ořez, laser, dochlazování** *(Vyfukovací lis H42/1, Robotické pracoviště H42/1 dochlazovák vodní H42/1)*	1	Kontrola procesních parametrů		Seřizovač	Vizuální kontrola	seřizovač zkontroluje dle AA-Q-xyx-KBO, že kontrola procesních parametrů byla provedena seřizovačem dle AA-TECH-xyx-KBO.	AA-Q-xyx-KBO
		2	Kontrola EP systémů		Seřizovač	Vizuální kontrola	Seřizovač zkontroluje, že kontrola Error proofing systémů byla provedena seřizovačem/operátorem dle S-Q-AAA-KBO.	S-Q-AAA-KBO
		3	Kontrola zapojení CAQ		Seřizovač	Vizuální kontrola	Seřizovač zkontroluje, že systém CAQ je zapojen.	AA-Q-027-KBO
30	**Vyfukování, ořez, laser, dochlazování** (Vyfukovací lis H42/1, Robotické pracoviště H42/1 dochlazovák vodní H42/1)	1	Skenování	**SC**	Laboratoř	Scanner	Skenování dle CAD modelu	100%
		2	3D měření polotovaru		Laboratoř	3D měřící přístroj	3D měření dle CAD modelu	100%
		3	Sváry tavných zón		Laboratoř	Mikroskop	Kontrola svárů ventilů a držáků dle vizualizace ke KP	100%
		4	Baking test (30 min)	**KIC**	Laboratoř	Pec	Kontrola celistvosti EVOH vrstvy v dělící rovině	100%
		5	Hammer test		Laboratoř	Kladivo	Kontrola pevnosti navařený komponentů dle vizualizace ke KP	100%

Zdroj: Interní materiály KBO

Příloha 2 Náměry MSA

Díl	Inspektorka A-1	Inspektorka A-2	Inspektorka A-3
1	16,996	16,985	16,975
2	17,033	17,043	17,021
3	17,189	17,196	17,205
4	17,109	17,115	17,122
5	16,921	16,901	16,912
6	16,813	16,809	16,826
7	17,441	17,455	17,459
8	16,345	16,357	16,344
9	17,336	17,327	17,314
10	16,594	16,561	16,601
Díl	**Inspektorka B-1**	**Inspektorka B-2**	**Inspektorka B-3**
1	16,991	16,981	16,978
2	17,030	17,045	17,024
3	17,185	17,194	17,174
4	17,107	17,122	17,135
5	16,937	16,902	16,931
6	16,811	16,801	16,813
7	17,445	17,438	17,425
8	16,321	16,347	16,358
9	17,322	17,339	17,355
10	16,599	16,587	16,604
Díl	**Inspektorka C-1**	**Inspektorka C-2**	**Inspektorka C-3**
1	16,978	16,993	16,982
2	17,038	17,017	17,041
3	17,187	17,199	17,206
4	17,107	17,085	17,101
5	16,927	16,933	16,947
6	16,821	16,803	16,819
7	17,449	17,433	17,426
8	16,344	16,352	16,334
9	17,337	17,342	17,328
10	16,587	16,596	16,571

Příloha 3 Náměry v měřicím bodě 1

Naměřené hodnoty v bodě 1 $[mm]$					
1.	17,244	Uvolnění výroby prvního kusu	51.	17,481	Pravidelná kontrola po 8 hod.
2.	16,955	Pravidelná kontrola po 4 hod.	52.	16,825	Porucha extruderu
3.	17,114	Pravidelná kontrola po 8 hod.	53.	16,974	Pravidelná kontrola po 4 hod.
4.	16,932	Uvolnění výroby prvního kusu	54.	16,826	Pravidelná kontrola po 8 hod.
5.	16,984	Pravidelná kontrola po 4 hod.	55.	17,149	Uvolnění výroby prvního kusu
6.	16,948	Pravidelná kontrola po 8 hod	56.	17,286	Pravidelná kontrola po 4 hod.
7.	17,054	Pravidelná kontrola po 24 hod.	57.	16,906	Pravidelná kontrola po 8 hod.
8.	17,468	Seřízení parametrů	58.	16,957	Pravidelná kontrola po 24 hod.
9.	16,963	Pravidelná kontrola po 4 hod.	59.	16,844	Čištění
10.	17,287	Pravidelná kontrola po 8 hod.	60.	17,187	Pravidelná kontrola po 4 hod.
11.	17,055	Uvolnění výroby prvního kusu	61.	17,102	Pravidelná kontrola po 8 hod.
12.	17,169	Pravidelná kontrola po 4 hod.	62.	17,369	Uvolnění výroby prvního kusu
13.	16,849	Pravidelná kontrola po 8 hod.	63.	17,018	Pravidelná kontrola po 4 hod.
14.	16,891	Odstavení vyfukovacího stroje	64.	17,499	Pravidelná kontrola po 8 hod.
15.	16,832	Pravidelná kontrola po 4 hod.	65.	17,041	Seřízení výrobních stanic
16.	17,158	Pravidelná kontrola po 8 hod.	66.	16,956	Pravidelná kontrola po 4 hod.
17.	17,025	Seřízení parametrů.	67.	16,997	Uvolnění výroby prvního kusu
18.	17,236	Pravidelná kontrola po 4 hod.	68.	16,823	Pravidelná kontrola po 4 hod.
19.	16,947	Pravidelná kontrola po 8 hod.	69.	16,948	Pravidelná kontrola po 8 hod.
20.	16,911	Seřízení parametrů	70.	17,118	Pravidelná kontrola po 24 hod.
21.	17,152	Pravidelná kontrola po 4 hod.	71.	17,358	Výměna vyfukovací hlavy
22.	17,029	Pravidelná kontrola po 8 hod.	72.	17,301	Pravidelná kontrola po 4 hod.
23.	16,643	Odstavení vyfukovací stroje	73.	16,852	Pravidelná kontrola po 8 hod.
24.	17,118	Pravidelná kontrola po 4 hod.	74.	16,943	Pravidelná kontrola po 24 hod.
25.	17,336	Pravidelná kontrola po 8 hod.	75.	17,058	Uvolnění výroby prvního kusu
26.	17,112	Uvolnění výroby prvního kusu	76.	16,901	Pravidelná kontrola po 4 hod.
27.	16,957	Pravidelná kontrola po 4 hod.	77.	17,014	Pravidelná kontrola po 8 hod.
28.	16,988	Pravidelná kontrola po 8 hod.	78.	17,186	Pravidelná kontrola po 24 hod.
29.	16,749	Změna dochlazovacího procesu	79.	16,763	Uvolnění výroby prvního kusu
30.	17,168	Pravidelná kontrola po 4 hod.	80.	17,028	Pravidelná kontrola po 4 hod.
31.	17,038	Uvolnění výroby prvního kusu	81.	17,321	Pravidelná kontrola po 8 hod.
32.	17,253	Pravidelná kontrola po 4 hod.	82.	17,005	Pravidelná kontrola po 24 hod.
33.	16,963	Pravidelná kontrola po 8 hod.	83.	16,972	Čištění
34.	16,845	Pravidelná kontrola po 24 hod.	84.	16,844	Pravidelná kontrola po 4 hod.
35.	17,147	Uvolnění výroby prvního kusu	85.	17,168	Pravidelná kontrola po 8 hod.
36.	17,368	Pravidelná kontrola po 4 hod.	86.	17,239	Uvolnění výroby prvního kusu
37.	16,921	Odstavení vyfukovacího stroje	87.	17,005	Pravidelná kontrola po 4 hod.
38.	16,955	Uvolnění výroby prvního kusu	88.	16,891	Pravidelná kontrola po 8 hod.
39.	16,853	Pravidelná kontrola po 4 hod.	89.	17,137	Pravidelná kontrola po 24 hod.
40.	17,205	Pravidelná kontrola po 8 hod.	90.	16,843	Seřízení parametrů
41.	17,068	Seřízení parametrů	91.	17,000	Pravidelná kontrola po 4 hod.
42.	17,196	Pravidelná kontrola po 4 hod.	92.	17,285	Pravidelná kontrola po 8 hod.
43.	17,054	Pravidelná kontrola po 8 hod.	93.	17,004	Pravidelná kontrola po 24 hod.
44.	16,943	Pravidelná kontrola po 24 hod.	94.	17,249	Uvolnění výroby prvního kusu
45.	17,288	Uvolnění výroby prvního kusu	95.	16,889	Pravidelná kontrola po 4 hod.
46.	16,945	Pravidelná kontrola po 4 hod.	96.	16,816	Pravidelná kontrola po 8 hod.
47.	16,765	Pravidelná kontrola po 8 hod.	97.	17,147	Uvolnění výroby prvního kusu
48.	17,138	Seřízení výrobních stanic	98.	17,209	Pravidelná kontrola po 4 hod.
49.	17,201	Uvolnění výroby prvního kusu	99.	16,936	Pravidelná kontrola po 8 hod.
50.	16,933	Pravidelná kontrola po 4 hod.	100.	16,992	Čištění

Příloha 4 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 1

č.	x	MR	č.	x	MR
1.	17,244		51.	17,481	0,548
2.	16,955	0,289	52.	16,825	0,656
3.	17,114	0,159	53.	16,974	0,149
4.	16,932	0,182	54.	16,826	0,148
5.	16,984	0,052	55.	17,149	0,323
6.	16,948	0,036	56.	17,286	0,137
7.	17,054	0,106	57.	16,906	0,380
8.	17,468	0,414	58.	16,957	0,051
9.	16,963	0,505	59.	16,844	0,113
10.	17,287	0,324	60.	17,187	0,343
11.	17,055	0,232	61.	17,102	0,085
12.	17,169	0,114	62.	17,369	0,267
13.	16,849	0,320	63.	17,018	0,351
14.	16,891	0,042	64.	17,499	0,481
15.	16,832	0,059	65.	17,041	0,458
16.	17,158	0,326	66.	16,956	0,085
17.	17,025	0,133	67.	16,997	0,041
18.	17,236	0,211	68.	16,823	0,174
19.	16,947	0,289	69.	16,948	0,125
20.	16,911	0,036	70.	17,118	0,170
21.	17,152	0,241	71.	17,358	0,240
22.	17,029	0,123	72.	17,301	0,057
23.	16,643	0,386	73.	16,852	0,449
24.	17,118	0,475	74.	16,943	0,091
25.	17,336	0,218	75.	17,058	0,115
26.	17,112	0,224	76.	16,901	0,157
27.	16,957	0,155	77.	17,014	0,113
28.	16,988	0,031	78.	17,186	0,172
29.	16,749	0,239	79.	16,763	0,423
30.	17,168	0,419	80.	17,028	0,265
31.	17,038	0,130	81.	17,321	0,293
32.	17,253	0,215	82.	17,005	0,316
33.	16,963	0,290	83.	16,972	0,033
34.	16,845	0,118	84.	16,844	0,128
35.	17,147	0,302	85.	17,168	0,324
36.	17,368	0,221	86.	17,239	0,071
37.	16,921	0,447	87.	17,005	0,234
38.	16,955	0,034	88.	16,891	0,114
39.	16,853	0,102	89.	17,137	0,246
40.	17,205	0,352	90.	16,843	0,294
41.	17,068	0,137	91.	17,000	0,157
42.	17,196	0,128	92.	17,285	0,285
43.	17,054	0,142	93.	17,004	0,281
44.	16,943	0,111	94.	17,249	0,245
45.	17,288	0,345	95.	16,889	0,360
46.	16,945	0,343	96.	16,816	0,073
47.	16,765	0,180	97.	17,147	0,331
48.	17,138	0,373	98.	17,209	0,062
49.	17,201	0,063	99.	16,936	0,273
50.	16,933	0,268	100.	16,992	0,056

Příloha 5 Náměry v měřicím bodě 2

Naměřené hodnoty v bodě 2 $[mm]$					
1.	16,991	Uvolnění výroby prvního kusu	51.	17,036	Pravidelná kontrola po 8 hod.
2.	16,735	Pravidelná kontrola po 4 hod.	52.	17,247	Porucha extruderu
3.	16,961	Pravidelná kontrola po 8 hod.	53.	17,115	Pravidelná kontrola po 4 hod.
4.	17,015	Uvolnění výroby prvního kusu	54.	17,087	Pravidelná kontrola po 8 hod.
5.	17,154	Pravidelná kontrola po 4 hod.	55.	17,119	Uvolnění výroby prvního kusu
6.	17,058	Pravidelná kontrola po 8 hod	56.	16,759	Pravidelná kontrola po 4 hod.
7.	17,028	Pravidelná kontrola po 24 hod.	57.	17,031	Pravidelná kontrola po 8 hod.
8.	17,135	Seřízení parametrů	58.	17,419	Pravidelná kontrola po 24 hod.
9.	17,177	Pravidelná kontrola po 4 hod.	59.	17,214	Čištění
10.	17,284	Pravidelná kontrola po 8 hod.	60.	17,022	Pravidelná kontrola po 4 hod.
11.	17,154	Uvolnění výroby prvního kusu	61.	17,154	Pravidelná kontrola po 8 hod.
12.	17,124	Pravidelná kontrola po 4 hod.	62.	17,116	Uvolnění výroby prvního kusu
13.	17,158	Pravidelná kontrola po 8 hod.	63.	17,225	Pravidelná kontrola po 4 hod.
14.	17,167	Odstavení vyfukovacího stroje	64.	17,086	Pravidelná kontrola po 8 hod.
15.	17,114	Pravidelná kontrola po 4 hod.	65.	17,164	Seřízení výrobních stanic
16.	16,954	Pravidelná kontrola po 8 hod.	66.	16,993	Pravidelná kontrola po 4 hod.
17.	16,997	Seřízení parametrů.	67.	16,946	Uvolnění výroby prvního kusu
18.	17,078	Pravidelná kontrola po 4 hod.	68.	17,005	Pravidelná kontrola po 4 hod.
19.	17,126	Pravidelná kontrola po 8 hod.	69.	16,945	Pravidelná kontrola po 8 hod.
20.	17,187	Seřízení parametrů	70.	17,215	Pravidelná kontrola po 24 hod.
21.	16,954	Pravidelná kontrola po 4 hod.	71.	17,122	Výměna výfukovací hlavy
22.	16,794	Pravidelná kontrola po 8 hod.	72.	17,055	Pravidelná kontrola po 4 hod.
23.	17,024	Odstavení vyfukovací stroje	73.	17,013	Pravidelná kontrola po 8 hod.
24.	17,059	Pravidelná kontrola po 4 hod.	74.	17,169	Pravidelná kontrola po 24 hod.
25.	17,144	Pravidelná kontrola po 8 hod.	75.	16,854	Uvolnění výroby prvního kusu
26.	17,045	Uvolnění výroby prvního kusu	76.	17,269	Pravidelná kontrola po 4 hod.
27.	17,179	Pravidelná kontrola po 4 hod.	77.	17,064	Pravidelná kontrola po 8 hod.
28.	17,145	Pravidelná kontrola po 8 hod.	78.	17,367	Pravidelná kontrola po 24 hod.
29.	16,962	Změna dochlazovacího procesu	79.	17,141	Uvolnění výroby prvního kusu
30.	16,845	Pravidelná kontrola po 4 hod.	80.	17,119	Pravidelná kontrola po 4 hod.
31.	17,055	Uvolnění výroby prvního kusu	81.	17,110	Pravidelná kontrola po 8 hod.
32.	17,216	Pravidelná kontrola po 4 hod.	82.	17,249	Pravidelná kontrola po 24 hod.
33.	17,032	Pravidelná kontrola po 8 hod.	83.	17,080	Čištění
34.	17,011	Pravidelná kontrola po 24 hod.	84.	17,251	Pravidelná kontrola po 4 hod.
35.	17,154	Uvolnění výroby prvního kusu	85.	16,839	Pravidelná kontrola po 8 hod.
36.	17,178	Pravidelná kontrola po 4 hod.	86.	17,127	Uvolnění výroby prvního kusu
37.	17,013	Odstavení vyfukovacího stroje	87.	17,087	Pravidelná kontrola po 4 hod.
38.	17,135	Uvolnění výroby prvního kusu	88.	17,142	Pravidelná kontrola po 8 hod.
39.	17,251	Pravidelná kontrola po 4 hod.	89.	17,049	Pravidelná kontrola po 24 hod.
40.	17,024	Pravidelná kontrola po 8 hod.	90.	17,151	Seřízení parametrů
41.	17,134	Seřízení parametrů	91.	17,178	Pravidelná kontrola po 4 hod.
42.	16,984	Pravidelná kontrola po 4 hod.	92.	16,964	Pravidelná kontrola po 8 hod.
43.	17,135	Pravidelná kontrola po 8 hod.	93.	16,934	Pravidelná kontrola po 24 hod.
44.	17,064	Pravidelná kontrola po 24 hod.	94.	17,020	Uvolnění výroby prvního kusu
45.	17,158	Uvolnění výroby prvního kusu	95.	17,274	Pravidelná kontrola po 4 hod.
46.	17,164	Pravidelná kontrola po 4 hod.	96.	17,016	Pravidelná kontrola po 8 hod.
47.	16,754	Pravidelná kontrola po 8 hod.	97.	17,004	Uvolnění výroby prvního kusu
48.	17,163	Seřízení výrobních stanic	98.	16,947	Pravidelná kontrola po 4 hod.
49.	17,221	Uvolnění výroby prvního kusu	99.	16,914	Pravidelná kontrola po 8 hod.
50.	17,025	Pravidelná kontrola po 4 hod.	100.	17,045	Čištění

Příloha 6 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 2

č.	x	MR	č.	x	MR
1.	16,991		51.	17,036	0,011
2.	16,735	0,256	52.	17,247	0,211
3.	16,961	0,226	53.	17,115	0,132
4.	17,015	0,054	54.	17,087	0,028
5.	17,154	0,139	55.	17,119	0,032
6.	17,058	0,096	56.	16,759	0,360
7.	17,028	0,030	57.	17,031	0,272
8.	17,135	0,107	58.	17,419	0,388
9.	17,177	0,042	59.	17,214	0,205
10.	17,284	0,107	60.	17,022	0,192
11.	17,154	0,130	61.	17,154	0,132
12.	17,124	0,030	62.	17,116	0,038
13.	17,158	0,034	63.	17,225	0,109
14.	17,167	0,009	64.	17,086	0,139
15.	17,114	0,053	65.	17,164	0,078
16.	16,954	0,160	66.	16,993	0,171
17.	16,997	0,043	67.	16,946	0,047
18.	17,078	0,081	68.	17,005	0,059
19.	17,126	0,048	69.	16,945	0,060
20.	17,187	0,061	70.	17,215	0,270
21.	16,954	0,233	71.	17,122	0,093
22.	16,794	0,160	72.	17,055	0,067
23.	17,024	0,230	73.	17,013	0,042
24.	17,059	0,035	74.	17,169	0,156
25.	17,144	0,085	75.	16,854	0,315
26.	17,045	0,099	76.	17,269	0,415
27.	17,179	0,134	77.	17,064	0,205
28.	17,145	0,034	78.	17,367	0,303
29.	16,962	0,183	79.	17,141	0,226
30.	16,845	0,117	80.	17,119	0,022
31.	17,055	0,210	81.	17,110	0,009
32.	17,216	0,161	82.	17,249	0,139
33.	17,032	0,184	83.	17,080	0,169
34.	17,011	0,021	84.	17,251	0,171
35.	17,154	0,143	85.	16,839	0,412
36.	17,178	0,024	86.	17,127	0,288
37.	17,013	0,165	87.	17,087	0,040
38.	17,135	0,122	88.	17,142	0,055
39.	17,251	0,116	89.	17,049	0,093
40.	17,024	0,227	90.	17,151	0,102
41.	17,134	0,110	91.	17,178	0,027
42.	16,984	0,150	92.	16,964	0,214
43.	17,135	0,151	93.	16,934	0,030
44.	17,064	0,071	94.	17,020	0,086
45.	17,158	0,094	95.	17,274	0,254
46.	17,164	0,006	96.	17,016	0,258
47.	16,754	0,410	97.	17,004	0,012
48.	17,163	0,409	98.	16,947	0,057
49.	17,221	0,058	99.	16,914	0,033
50.	17,025	0,196	100.	17,045	0,131

Příloha 7 Náměry v měřicím bodě 3

Naměřené hodnoty v bodě 3 $[mm]$					
1.	16,821	Uvolnění výroby prvního kusu	51.	17,115	Pravidelná kontrola po 8 hod.
2.	17,119	Pravidelná kontrola po 4 hod.	52.	17,326	Porucha extruderu
3.	16,894	Pravidelná kontrola po 8 hod.	53.	16,827	Pravidelná kontrola po 4 hod.
4.	16,948	Uvolnění výroby prvního kusu	54.	16,756	Pravidelná kontrola po 8 hod.
5.	17,269	Pravidelná kontrola po 4 hod.	55.	16,923	Uvolnění výroby prvního kusu
6.	17,111	Pravidelná kontrola po 8 hod	56.	17,000	Pravidelná kontrola po 4 hod.
7.	17,316	Pravidelná kontrola po 24 hod.	57.	17,221	Pravidelná kontrola po 8 hod.
8.	16,954	Seřízení parametrů	58.	17,156	Pravidelná kontrola po 24 hod.
9.	16,847	Pravidelná kontrola po 4 hod.	59.	17,267	Čištění
10.	17,125	Pravidelná kontrola po 8 hod.	60.	16,845	Pravidelná kontrola po 4 hod.
11.	17,209	Uvolnění výroby prvního kusu	61.	16,806	Pravidelná kontrola po 8 hod.
12.	17,047	Pravidelná kontrola po 4 hod.	62.	17,118	Uvolnění výroby prvního kusu
13.	17,185	Pravidelná kontrola po 8 hod.	63.	16,944	Pravidelná kontrola po 4 hod.
14.	16,479	Odstavení vyfukovacího stroje	64.	17,279	Pravidelná kontrola po 8 hod.
15.	17,146	Pravidelná kontrola po 4 hod.	65.	17,055	Seřízení výrobních stanic
16.	16,442	Pravidelná kontrola po 8 hod.	66.	17,799	Pravidelná kontrola po 4 hod.
17.	17,183	Seřízení parametrů.	67.	16,944	Uvolnění výroby prvního kusu
18.	17,333	Pravidelná kontrola po 4 hod.	68.	16,758	Pravidelná kontrola po 4 hod.
19.	17,013	Pravidelná kontrola po 8 hod.	69.	17,147	Pravidelná kontrola po 8 hod.
20.	16,941	Seřízení parametrů	70.	16,931	Pravidelná kontrola po 24 hod.
21.	16,822	Pravidelná kontrola po 4 hod.	71.	17,244	Výměna vyfukovací hlavy
22.	17,184	Pravidelná kontrola po 8 hod.	72.	17,301	Pravidelná kontrola po 4 hod.
23.	17,016	Odstavení vyfukovací stroje	73.	16,927	Pravidelná kontrola po 8 hod.
24.	17,132	Pravidelná kontrola po 4 hod.	74.	17,119	Pravidelná kontrola po 24 hod.
25.	16,958	Pravidelná kontrola po 8 hod.	75.	17,367	Uvolnění výroby prvního kusu
26.	17,499	Uvolnění výroby prvního kusu	76.	16,853	Pravidelná kontrola po 4 hod.
27.	17,620	Pravidelná kontrola po 4 hod.	77.	17,044	Pravidelná kontrola po 8 hod.
28.	16,931	Pravidelná kontrola po 8 hod.	78.	16,499	Pravidelná kontrola po 24 hod.
29.	17,147	Změna dochlazovacího procesu	79.	16,704	Uvolnění výroby prvního kusu
30.	17,265	Pravidelná kontrola po 4 hod.	80.	17,187	Pravidelná kontrola po 4 hod.
31.	17,104	Uvolnění výroby prvního kusu	81.	17,093	Pravidelná kontrola po 8 hod.
32.	16,834	Pravidelná kontrola po 4 hod.	82.	17,344	Pravidelná kontrola po 24 hod.
33.	17,197	Pravidelná kontrola po 8 hod.	83.	16,906	Čištění
34.	17,058	Pravidelná kontrola po 24 hod.	84.	17,066	Pravidelná kontrola po 4 hod.
35.	17,264	Uvolnění výroby prvního kusu	85.	16,844	Pravidelná kontrola po 8 hod.
36.	16,837	Pravidelná kontrola po 4 hod.	86.	17,102	Uvolnění výroby prvního kusu
37.	17,534	Odstavení vyfukovacího stroje	87.	17,149	Pravidelná kontrola po 4 hod.
38.	17,002	Uvolnění výroby prvního kusu	88.	16,995	Pravidelná kontrola po 8 hod.
39.	16,852	Pravidelná kontrola po 4 hod.	89.	16,752	Pravidelná kontrola po 24 hod.
40.	16,981	Pravidelná kontrola po 8 hod.	90.	17,138	Seřízení parametrů
41.	16,764	Seřízení parametrů	91.	16,721	Pravidelná kontrola po 4 hod.
42.	16,996	Pravidelná kontrola po 4 hod.	92.	16,937	Pravidelná kontrola po 8 hod.
43.	17,294	Pravidelná kontrola po 8 hod.	93.	17,155	Pravidelná kontrola po 24 hod.
44.	17,153	Pravidelná kontrola po 24 hod.	94.	17,345	Uvolnění výroby prvního kusu
45.	17,041	Uvolnění výroby prvního kusu	95.	16,847	Pravidelná kontrola po 4 hod.
46.	16,934	Pravidelná kontrola po 4 hod.	96.	16,928	Pravidelná kontrola po 8 hod.
47.	17,266	Pravidelná kontrola po 8 hod.	97.	16,833	Uvolnění výroby prvního kusu
48.	17,588	Seřízení výrobních stanic	98.	17,384	Pravidelná kontrola po 4 hod.
49.	16,901	Uvolnění výroby prvního kusu	99.	17,208	Pravidelná kontrola po 8 hod.
50.	16,921	Pravidelná kontrola po 4 hod.	100.	17,017	Čištění

Příloha 8 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 3

č.	x	MR	č.	x	MR
1.	16,821		51.	17,115	0,194
2.	17,119	0,298	52.	17,326	0,211
3.	16,894	0,225	53.	16,827	0,499
4.	16,948	0,054	54.	16,756	0,071
5.	17,269	0,321	55.	16,923	0,167
6.	17,111	0,158	56.	17,000	0,077
7.	17,316	0,205	57.	17,221	0,221
8.	16,954	0,362	58.	17,156	0,065
9.	16,847	0,107	59.	17,267	0,111
10.	17,125	0,278	60.	16,845	0,422
11.	17,209	0,084	61.	16,806	0,039
12.	17,047	0,162	62.	17,118	0,312
13.	17,185	0,138	63.	16,944	0,174
14.	16,479	0,706	64.	17,279	0,335
15.	17,146	0,667	65.	17,055	0,224
16.	16,442	0,704	66.	17,799	0,744
17.	17,183	0,741	67.	16,944	0,855
18.	17,333	0,150	68.	16,758	0,186
19.	17,013	0,320	69.	17,147	0,389
20.	16,941	0,072	70.	16,931	0,216
21.	16,822	0,119	71.	17,244	0,313
22.	17,184	0,362	72.	17,301	0,057
23.	17,016	0,168	73.	16,927	0,374
24.	17,132	0,116	74.	17,119	0,192
25.	16,958	0,174	75.	17,367	0,248
26.	17,499	0,541	76.	16,853	0,514
27.	17,620	0,121	77.	17,044	0,191
28.	16,931	0,689	78.	16,499	0,545
29.	17,147	0,216	79.	16,704	0,205
30.	17,265	0,118	80.	17,187	0,483
31.	17,104	0,161	81.	17,093	0,094
32.	16,834	0,270	82.	17,344	0,251
33.	17,197	0,363	83.	16,906	0,438
34.	17,058	0,139	84.	17,066	0,160
35.	17,264	0,206	85.	16,844	0,222
36.	16,837	0,427	86.	17,102	0,258
37.	17,534	0,697	87.	17,149	0,047
38.	17,002	0,532	88.	16,995	0,154
39.	16,852	0,150	89.	16,752	0,243
40.	16,981	0,129	90.	17,138	0,386
41.	16,764	0,217	91.	16,721	0,417
42.	16,996	0,232	92.	16,937	0,216
43.	17,294	0,298	93.	17,155	0,218
44.	17,153	0,141	94.	17,345	0,190
45.	17,041	0,112	95.	16,847	0,498
46.	16,934	0,107	96.	16,928	0,081
47.	17,266	0,332	97.	16,833	0,095
48.	17,588	0,322	98.	17,384	0,551
49.	16,901	0,687	99.	17,208	0,176
50.	16,921	0,020	100.	17,017	0,191

Příloha 9 Náměry v měřicím bodě 4

Naměřené hodnoty v bodě 4 $[mm]$					
1.	16,744	Uvolnění výroby prvního kusu	51.	16,937	Pravidelná kontrola po 8 hod.
2.	17,219	Pravidelná kontrola po 4 hod.	52.	17,261	Porucha extruderu
3.	16,941	Pravidelná kontrola po 8 hod.	53.	17,366	Pravidelná kontrola po 4 hod.
4.	17,019	Uvolnění výroby prvního kusu	54.	16,849	Pravidelná kontrola po 8 hod.
5.	17,354	Pravidelná kontrola po 4 hod.	55.	17,122	Uvolnění výroby prvního kusu
6.	16,841	Pravidelná kontrola po 8 hod	56.	16,743	Pravidelná kontrola po 4 hod.
7.	16,987	Pravidelná kontrola po 24 hod.	57.	17,219	Pravidelná kontrola po 8 hod.
8.	16,762	Seřízení parametrů	58.	17,004	Pravidelná kontrola po 24 hod.
9.	17,155	Pravidelná kontrola po 4 hod.	59.	17,454	Čištění
10.	17,034	Pravidelná kontrola po 8 hod.	60.	16,903	Pravidelná kontrola po 4 hod.
11.	17,249	Uvolnění výroby prvního kusu	61.	17,531	Pravidelná kontrola po 8 hod.
12.	16,927	Pravidelná kontrola po 4 hod.	62.	16,841	Uvolnění výroby prvního kusu
13.	17,987	Pravidelná kontrola po 8 hod.	63.	16,779	Pravidelná kontrola po 4 hod.
14.	17,376	Odstavení vyfukovacího stroje	64.	17,064	Pravidelná kontrola po 8 hod.
15.	17,734	Pravidelná kontrola po 4 hod.	65.	17,201	Seřízení výrobních stanic
16.	16,901	Pravidelná kontrola po 8 hod.	66.	17,068	Pravidelná kontrola po 4 hod.
17.	17,056	Seřízení parametrů.	67.	16,973	Uvolnění výroby prvního kusu
18.	17,189	Pravidelná kontrola po 4 hod.	68.	16,455	Pravidelná kontrola po 4 hod.
19.	16,847	Pravidelná kontrola po 8 hod.	69.	17,101	Pravidelná kontrola po 8 hod.
20.	17,246	Seřízení parametrů	70.	17,018	Pravidelná kontrola po 24 hod.
21.	17,415	Pravidelná kontrola po 4 hod.	71.	17,201	Výměna vyfukovací hlavy
22.	17,08	Pravidelná kontrola po 8 hod.	72.	16,768	Pravidelná kontrola po 4 hod.
23.	16,931	Odstavení vyfukovací stroje	73.	17,322	Pravidelná kontrola po 8 hod.
24.	17,117	Pravidelná kontrola po 4 hod.	74.	17,109	Pravidelná kontrola po 24 hod.
25.	17,208	Pravidelná kontrola po 8 hod.	75.	17,213	Uvolnění výroby prvního kusu
26.	17,009	Uvolnění výroby prvního kusu	76.	16,817	Pravidelná kontrola po 4 hod.
27.	16,852	Pravidelná kontrola po 4 hod.	77.	16,917	Pravidelná kontrola po 8 hod.
28.	16,946	Pravidelná kontrola po 8 hod.	78.	17,324	Pravidelná kontrola po 24 hod.
29.	16,448	Změna dochlazovacího procesu	79.	17,108	Uvolnění výroby prvního kusu
30.	17,157	Pravidelná kontrola po 4 hod.	80.	16,749	Pravidelná kontrola po 4 hod.
31.	17,269	Uvolnění výroby prvního kusu	81.	16,987	Pravidelná kontrola po 8 hod.
32.	17,014	Pravidelná kontrola po 4 hod.	82.	17,447	Pravidelná kontrola po 24 hod.
33.	17,238	Pravidelná kontrola po 8 hod.	83.	17,156	Čištění
34.	16,813	Pravidelná kontrola po 24 hod.	84.	16,824	Pravidelná kontrola po 4 hod.
35.	17,123	Uvolnění výroby prvního kusu	85.	17,086	Pravidelná kontrola po 8 hod.
36.	17,208	Pravidelná kontrola po 4 hod.	86.	16,822	Uvolnění výroby prvního kusu
37.	16,552	Odstavení vyfukovacího stroje	87.	17,064	Pravidelná kontrola po 4 hod.
38.	16,947	Uvolnění výroby prvního kusu	88.	17,261	Pravidelná kontrola po 8 hod.
39.	17,121	Pravidelná kontrola po 4 hod.	89.	16,99	Pravidelná kontrola po 24 hod.
40.	17,323	Pravidelná kontrola po 8 hod.	90.	16,741	Seřízení parametrů
41.	16,748	Seřízení parametrů	91.	17,119	Pravidelná kontrola po 4 hod.
42.	17,119	Pravidelná kontrola po 4 hod.	92.	17,004	Pravidelná kontrola po 8 hod.
43.	17,058	Pravidelná kontrola po 8 hod.	93.	17,204	Pravidelná kontrola po 24 hod.
44.	17,236	Pravidelná kontrola po 24 hod.	94.	17,361	Uvolnění výroby prvního kusu
45.	16,852	Uvolnění výroby prvního kusu	95.	16,955	Pravidelná kontrola po 4 hod.
46.	17,115	Pravidelná kontrola po 4 hod.	96.	17,591	Pravidelná kontrola po 8 hod.
47.	16,742	Pravidelná kontrola po 8 hod.	97.	16,791	Uvolnění výroby prvního kusu
48.	17,368	Seřízení výrobních stanic	98.	16,99	Pravidelná kontrola po 4 hod.
49.	17,000	Uvolnění výroby prvního kusu	99.	17,147	Pravidelná kontrola po 8 hod.
50.	17,169	Pravidelná kontrola po 4 hod.	100.	16,834	Čištění

Příloha 10 Klouzavá rozpětí měřicího bodu 4

č.	x	MR	č.	x	MR
1.	16,744		51.	16,937	0,232
2.	17,219	0,475	52.	17,261	0,324
3.	16,941	0,278	53.	17,366	0,105
4.	17,019	0,078	54.	16,849	0,517
5.	17,354	0,335	55.	17,122	0,273
6.	16,841	0,513	56.	16,743	0,379
7.	16,987	0,146	57.	17,219	0,476
8.	16,762	0,225	58.	17,004	0,215
9.	17,155	0,393	59.	17,454	0,450
10.	17,034	0,121	60.	16,903	0,551
11.	17,249	0,215	61.	17,531	0,628
12.	16,927	0,322	62.	16,841	0,690
13.	17,987	1,060	63.	16,779	0,062
14.	17,376	0,611	64.	17,064	0,285
15.	17,734	0,358	65.	17,201	0,137
16.	16,901	0,833	66.	17,068	0,133
17.	17,056	0,155	67.	16,973	0,095
18.	17,189	0,133	68.	16,455	0,518
19.	16,847	0,342	69.	17,101	0,646
20.	17,246	0,399	70.	17,018	0,083
21.	17,415	0,169	71.	17,201	0,183
22.	17,08	0,335	72.	16,768	0,433
23.	16,931	0,149	73.	17,322	0,554
24.	17,117	0,186	74.	17,109	0,213
25.	17,208	0,091	75.	17,213	0,104
26.	17,009	0,199	76.	16,817	0,396
27.	16,852	0,157	77.	16,917	0,100
28.	16,946	0,094	78.	17,324	0,407
29.	16,448	0,498	79.	17,108	0,216
30.	17,157	0,709	80.	16,749	0,359
31.	17,269	0,112	81.	16,987	0,238
32.	17,014	0,255	82.	17,447	0,460
33.	17,238	0,224	83.	17,156	0,291
34.	16,813	0,425	84.	16,824	0,332
35.	17,123	0,310	85.	17,086	0,262
36.	17,208	0,085	86.	16,822	0,264
37.	16,552	0,656	87.	17,064	0,242
38.	16,947	0,395	88.	17,261	0,197
39.	17,121	0,174	89.	16,99	0,271
40.	17,323	0,202	90.	16,741	0,249
41.	16,748	0,575	91.	17,119	0,378
42.	17,119	0,371	92.	17,004	0,115
43.	17,058	0,061	93.	17,204	0,200
44.	17,236	0,178	94.	17,361	0,157
45.	16,852	0,384	95.	16,955	0,406
46.	17,115	0,263	96.	17,591	0,636
47.	16,742	0,373	97.	16,791	0,800
48.	17,368	0,626	98.	16,99	0,199
49.	17,000	0,368	99.	17,147	0,157
50.	17,169	0,169	100.	16,834	0,313

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	**Hana Jančulová**		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	**6208T088 Podniková ekonomika a management provozu**		
NÁZEV PRÁCE	**Analýza způsobilosti procesu palivových nádrží**		
VEDOUCÍ PRÁCE	**doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.**		
KATEDRA	**KKM - Katedra kvantitativních metod**	**ROK ODEVZDÁNÍ**	**2020**

POČET STRAN	**78**
POČET OBRÁZKŮ	**33**
POČET TABULEK	**8**
POČET PŘÍLOH	**10**

STRUČNÝ POPIS	**Cílem diplomové práce bylo prokázat způsobilost výrobního procesu palivových nádrží projektu XY při destruktivním testu měření síly stěny materiálu a optimalizovat náklady na sledování kvality. V praktické části je nejprve analyzován systém měření projektu XY a navazuje způsobilost procesu ve 4 měřicích bodech destruktivního testu síly stěny materiálu. U všech měřicích bodů je zkontrolována nejdříve stabilita procesu, poté se ověřuje normální rozdělení hodnot a jsou zde výpočty ukazatelů způsobilosti. Analýzy jsou doplněny příslušnými grafy. Způsobilost procesu byla prokázána ve všech 4 měřicích bodech a byla navrhnuta žádost zákazníkovi o zrušení destruktivního testu nebo alespoň zrušení frekvence pravidelné kontroly po 4 hodinách.**
KLÍČOVÁ SLOVA	**MSA, SPC, ANOVA, %R&R, regulační diagram, způsobilost procesu, kontrola kvality**

ANNOTATION

AUTHOR	**Hana Jančulová**		
FIELD	**6208T088 Business Administration and Operations**		
THESIS TITLE	**Fuel tank process capability analysis**		
SUPERVISOR	**doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.**		
DEPARTMENT	**KKM - Department of Quantitative Methods**	**YEAR**	**2020**

NUMBER OF PAGES	**78**
NUMBER OF PICTURES	**33**
NUMBER OF TABLES	**8**
NUMBER OF APPENDICES	**10**

SUMMARY	**The aim of the thesis was to prove the capability of the XY fuel tank production process in a destructive material wall thickness measurement and to optimize the cost of quality monitoring. In the practical part, the XY project measurement system is first analyzed and the process capability at 4 measuring points of the destructive wall thicknesss test is followed. All measurement points are checked for process stability first, then the normal distributions of values are verified and the capability calculations. The analyzes are supplemented with relevant graphs. The process capability has been proven at all 4 measurement points and the customer has been proposed to cancel the destructive test or at least cancel the periodic inspection after 4 hours.**
KEY WORDS	**MSA, SPC, ANOVA, %R&R, control diagram, process capability, quality control**