

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor: 6208T088 Podniková ekonomika a management provozu

APLIKACE METOD STATISTICKÉ REGULACE NA VYBRANÉ VÝROBNÍ PROCESY VE ŠKODA AUTO A.S.

Bc. Václav PLAŠIL

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

Tento list vyjměte a nahraďte zadáním diplomové práce

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod odborným vedením vedoucího práce.

Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a v práci jsem neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Mladé Boleslavi, dne 17. 5. 2015

Děkuji doc. Ing. Evě Jarošové, CSc. za odborné vedení diplomové práce, poskytování důležitých rad, informačních podkladů a také za konzultace, které mi poskytovala ve svém čase. Také bych velice rád poděkoval své rodině za jejich podporu.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	7
Úvod.....	8
1 Kvalita a statistické metody	10
1.1 Statistické metody	11
1.2 Normální rozdělení	13
2 Statistická regulace procesu	15
2.1 Náhodné nebo vymežitelné příčiny	15
2.2 Etapy regulace procesu.....	16
2.3 Regulace srovnáváním.....	18
2.4 Regulace měřením	19
3 Shewhartovy regulační diagramy	20
3.2 Regulační diagram pro průměr a rozpětí.....	21
3.3 Regulační diagram pro medián a rozpětí	22
3.1 Diagram pro individuální hodnoty (X) a klouzavé rozpětí MR	22
3.4 Charakteristika ARL	23
3.5 Testy seskupení	24
4 CUSUM a EWMA.....	25
4.1 Regulační diagram CUSUM	25
4.2 Regulační diagram EWMA	29
5 Způsobilost a výkonnost procesu	33
5.1 Ukazatel způsobilosti procesu C_p	33
5.2 Ukazatel způsobilosti procesu C_{pk}	34
5.3 Ukazatel způsobilosti procesu C_{pm}	35
5.4 Ukazatel výkonnosti procesu P_p	35
5.5 Ukazatel výkonnosti procesu P_{pk}	36
5.6 Ukazatel výkonnosti procesu P_{pm}	36
5.7 Konfideční interval pro ukazatele způsobilosti.....	36
6 ŠKODA AUTO.....	37
6.1 Kontrola vybraného procesu.....	37

7	SPC vybraného procesu	41
7.1	Výběr vhodného úseku.....	41
7.2	Analýza stability procesu.....	43
7.3	Ověření normality	49
7.4	Ověření způsobilosti procesu	51
7.5	Konstrukce regulačních diagramů pro zavírací rychlost pátých dveří.....	52
	Závěr	62
	Seznam literatury	64
	Seznam obrázků a tabulek.....	65
	Seznam příloh	67

Seznam použitých zkratek a symbolů

ARL	Průměrná délka přeběhu
CUSUM	Regulační diagram kumulativních součtů
DOE	Navrhování experimentů
EWMA	Regulační diagram exponenciálních vážených klouzavých průměrů
LCL	Dolní regulační mez
LWL	Dolní varovná mez
m/s	Metr za sekundu
SBBR	Zadní skupinové světlo
SPC	Statistická regulace procesu
UCL	Horní regulační mez
UWL	Horní varovná mez

Úvod

Aby mohl být podnik úspěšný v dnešních náročných podmínkách, musí neustále zlepšovat své produkty. To však vyžaduje správný management. Pokud existují účinnější metody výroby zboží a služeb, které uspokojí požadavky zákazníka, je potřeba je najít. K tomu mohou sloužit vhodné metody pro sběr informací a jejich analýzu, než dojde k zavádění potřebných opatření (Oakland, 2003).

V automobilovém průmyslu je kontrola kvality velice důležitou částí výrobního procesu. Jedná se o vysoce konkurenční odvětví, ve kterém si jednotlivé automobilky nemohou dovolit vyrábět neshodné výrobky. Z tohoto důvodu je v automobilovém průmyslu kvalita nedílnou součástí výrobního procesu a je nutné dostatečně rychle vypátrat neshodné výrobky.

Jedna z nejpoužívanějších metod je SPC. Jedná se o formu výběrové kontroly, která se provádí průběžně. Podstatou SPC je sledování odchylek od předepsané hodnoty a případné korekce procesu, které vedou k minimalizaci těchto odchylek. Cílem SPC je stabilní proces, jehož výstupy kolísají co nejméně kolem stanovené hodnoty (Jarošová, 2011).

Cílem této diplomové práce je zkonstruování regulačního diagramu vhodného pro regulaci zavírací rychlosti pátých dveří. Data k tomuto procesu byla poskytnuta z oddělení kvality ŠKODA AUTO a.s. Z analýzy procesu je zřejmé, že v současné době se nenachází pod statistickou kontrolou. Pracovníky jsou prováděny zásahy do procesu, aby došlo k jeho navrácení pod kontrolu. Avšak pracovníci kvality nemají k dispozici regulační diagram pro včasné varování před možnými změnami v procesu.

V teoretické části jsou tedy popsány základní statistické metody, které je možné použít pro statistickou regulaci procesu. Dále jsou popsány jednotlivé etapy statistické regulace procesu, ověření normality a také ověření způsobilosti procesu. Jelikož má sledovaný znak kvantitativní charakter, bude se tato práce zabývat regulací měřením. Pro následnou konstrukci regulačních diagramů je v teoretické části popsán Shewhartův regulační diagram, regulační diagram CUSUM a regulační diagram EWMA.

Pro bližší analýzu je následně popsán samotný proces montáže pátých dveří a jednotlivé vlivy, které do procesu vstupují. Pro zavírací rychlost pátých dveří je

stanovena pouze horní toleranční mez 1 m/s a tato toleranční mez je z důvodu posunutí střední hodnoty procesu velmi často překračována. Do procesu však vstupuje větší množství vlivů a není tedy pro pracovníky snadné provádět účinné korekce.

V praktické části bude nejprve ověřena stabilita procesu pomocí tří druhů regulačních diagramů. Nadále bude ověřeno normální rozdělení a způsobilost procesu. Pro správné nastavení procesu bude velice důležité stanovení nové cílové střední hodnoty. Tato nová cílová střední hodnota bude použita při konstrukci jednotlivých regulačních diagramů. Prvním regulačním diagramem je Shewhartův regulační diagram, který je velice jednoduché zkonstruovat. Avšak jeho použitelnost je omezená, jelikož je schopen zachytit pouze větší posuny v procesu. Konstrukce dalších dvou regulačních diagramů, kterými jsou regulační diagram EWMA a regulační diagram CUSUM, je náročnější. Avšak tyto diagramy jsou schopny zachytit i menší posuny v procesu, a proto jsou mnohem účinnější. Jednotlivé regulační diagramy jsou zkonstruovány pomocí statistického softwaru Statgraphics.

V závěru jsou jednotlivé regulační diagramy porovnány a je vybrán ten nejvhodnější pro proces zavírací rychlosti pátých dveří.

1 Kvalita a statistické metody

Starost o kvalitu jak výrobků, tak i poskytovaných služeb, je v současnosti považována za jeden z nejdůležitějších úkolů každého podniku. Tato skutečnost přináší podniku konkurenční výhody, které zajistí náskok před neustálou konkurencí. Kvalita je prioritou nejen pro podnik, ale také pro zákazníky, které se snaží za každou cenu získat. Proto je pro podnik důležité docílit dlouhodobé a stále úrovně kvality vyráběných výrobků či služeb. Pouze s komplexním systémem péče o kvalitu je podnik schopen nabízet kvalitní produkt. Nároky zákazníků na kvalitu neustále rostou a naplnit jejich očekávání je možné pouze kvalitním výrobkem. Se spokojenými zákazníky roste jejich zájem o produkt a s tím i dlouhodobé tržby a odbyty.

Oblasti, ve kterých by měl podnik uvažovat o zavedení statistických metod kontroly kvality, jsou (Horálek a kol., 2007):

- odborné zpracování a analýza časově uspořádaných údajů,
- kontrola účinnosti navržených údajů,
- řešení problematických a složitých situací,
- analýza výrobního procesu,
- vstupní kontrola jakosti dávek výrobků a surovin.

Jako první pochopili význam a přínos kvality v Japonsku. Implementovali všechny praktické vědomosti týkající se jakosti do každodenní praxe nejen v podnicích, ale také v ostatních organizacích a institucích a tím získali důležitou konkurenční výhodu. Tento krok dovedl Japonsko k ekonomické prosperitě na základě vysoké kvality výrobků a služeb. Ostatní společnosti si začaly v sedmdesátých letech dvacátého století uvědomovat hrozbu pro konkurenceschopnost svých produktů. V roce 1987 byla komisí ISO/TC 176 nejprve navržena a poté i přijata norma ISO řady 9000 pro řízení jakosti. Touto normou se mohou řídit jakékoliv organizace v různých zemích světa. Řízení jakosti se nyní prolíná všemi činnostmi, které mají vliv na jakost od návrhu, vývoje, nákupu až po prodej, dopravu a zpětnou vazbu od zákazníků. O toto vše se zejména v Japonsku zasloužil E. Deming. To on začal s poctivým zaváděním statistických metod při kontrole jakosti. Za jeho přínosy po něm byla v Japonsku pojmenována cena za jakost. Pod vlivem silné konkurence

z Japonska se USA v osmdesátých letech také začaly inspirovat jeho myšlenkami (Veber a kol., 2002).

1.1 Statistické metody

Podle ISO 9001:1994 jsou níže popsány jednotlivé statistické metody řízení jakosti.

Popisná statistika

Z popisné statistiky se používají především charakteristiky polohy a variability. Tyto charakteristiky podávají rychlé informace o výkonnosti organizace. Z grafických metod je nejpoužívanější Paretova analýza a histogram. Podle Pareta je 80% všech neshod způsobeno pouze 20% příčin. Z toho vyplývá, že podnik by se měl vždy soustředit nejprve na těchto 20% příčin a až později na zbylé příčiny (Hůlová, Jarošová, 2004).

Navrhování experimentů

Navrhování experimentů (DOE) je metoda, jejímž cílem je zjistit, jak ovlivnit kvalitu výstupního produktu. DOE se používá v případech, kdy výrobní proces není v pořádku a je nutné zasáhnout do jeho chodu. Metoda je vhodná především tehdy, když výrobní proces ovlivňuje větší množství vstupů. Nejprve je nutné identifikovat všechny vstupy, které mohou mít vliv na vlastnosti výstupu. Po identifikování všech vstupů je nutné jejich správné nastavení, aby bylo možné dosáhnout požadované změny. Tyto experimenty se většinou aplikují v provozních podmínkách, což může vést k dočasným problémům ve výrobě. Hned na začátku je nutné počítat s možnou existencí rušivých vlivů, které je potřeba zahrnout do konečného hodnocení výsledků experimentu (Jarošová, 2011).

Statistická přejímka

Statistická přejímka se používá v případech, kdy je stoprocentní kontrola celé dávky příliš nákladná, časově náročná nebo je zde veliké nebezpečí chyby lidského faktoru. Jejím hlavním cílem je s co nejmenšími náklady zjistit, jestli jsou dodávky od dodavatele alespoň v takové kvalitě, jakou si výrobce s dodavatelem domluvil. Je v zájmu každého výrobce aplikovat tuto metodu, která je jakýmsi obranným mechanismem, který chrání proti zhoršení jakosti dodávek. Statistická přejímka je prováděna na základě náhodného výběru předepsaného množství

vzorků z celé dávky. Výsledky jsou porovnány s přijímacím kritériem a následně je rozhodnuto o přijetí či zamítnutí dávky. Jeden z nejdůležitějších aspektů statistické přejímky je, že odpovědnost za kvalitu výrobků a dávku těchto výrobků je přemístěna na dodavatele, jelikož pouze on je schopen kvalitu změnit (Horálek a kol., 2007).

Analýza měření

Metoda analýzy měření se používá pro vyhodnocení, zda je daný systém měření vhodný. Činnost kontroly je založena na zkoumání parametrů procesu pomocí vhodného měřicího zařízení, které pomáhá pozorovateli určit, zda proces pracuje stabilizovaným způsobem nebo ne. Měření a následná analýza dohromady představují proces měření. Měřicí zařízení je pouhou částí tohoto procesu. Každé měřicí zařízení má svého operátora, který musí být vyškolen, jak správně toto zařízení používat a interpretovat výsledky. Operátor má také odpovědnost za řízení procesu měření a jeho stabilní a správné výsledky. Veškeré naměřené hodnoty se budou navzájem lišit i za předpokladu naprosté pečlivosti. Tyto chyby jsou ve většině případů způsobeny lidským faktorem, chybou měřicího zařízení nebo okolními vlivy (Horálek a kol., 2007).

Analýza způsobilosti

Způsobilost procesu vyjadřuje, zda je proces schopen fungovat s určitou přesností a v rámci určitých mezí. Tato metoda se používá, zejména pokud je výstupem procesu měřitelný znak jakosti. Technické specifikace jsou většinou vyjádřeny tolerančním polem, které je ohraničeno přípustnou horní a dolní mezí. Čím méně jsou hodnoty daného znaku volatilní, tím je způsobilost procesu větší. Pro výpočet způsobilosti procesu se používají ukazatelé způsobilosti C_p a C_{pk} . Před výpočtem samotných ukazatelů způsobilosti je nutno ověřit, zda je proces statisticky zvládnutý a také zda má sledovaný znak normální rozdělení (Jarošová, 2011).

Regresní analýza

Regresní analýza se používá v případech, kdy je potřeba určit závislost určité kvantitativní proměnné na jedné nebo více jiných kvantitativních proměnných. Která proměnná je závislá a která nezávislá je dopředu zadáno. Cílem regresní analýzy je vysvětlit tuto závislost pomocí určitého matematického modelu (Úvod do regresní analýzy, 2015).

Analýza časových řad

Časovou řadou se rozumí posloupnost věcně a prostorově srovnatelných pozorování, která jsou uspořádána z hlediska času ve směru minulost – přítomnost. Analýzou časových řad je pak možné chápat soubor metod, které slouží k jejich popisu a případně k předvídání jejich budoucího vývoje. Uplatnit analýzu časových řad je možné ve všech oborech. Jejím cílem je konstrukce odpovídajícího modelu. To umožňuje porozumět mechanismu vzniku pozorovaných údajů (Hůlová, Jarošová, 2004).

Regulační diagramy

Regulační diagramy jsou hlavní náplní této práce a z tohoto důvodu budou podrobněji popsány později.

1.2 Normální rozdělení

Normální rozdělení (Gaussovo rozdělení) je nejčastější model rozdělení spojité náhodné veličiny.

Normální rozdělení se vyskytuje zejména tam, kde je sledovaná veličina ovlivňována velkým množstvím činitelů. Sledovanou veličinou jsou často například chyby měření, které jsou způsobené velkým množstvím neznámých a na sobě nezávislých vlivů (Normální rozdělení, 2015).

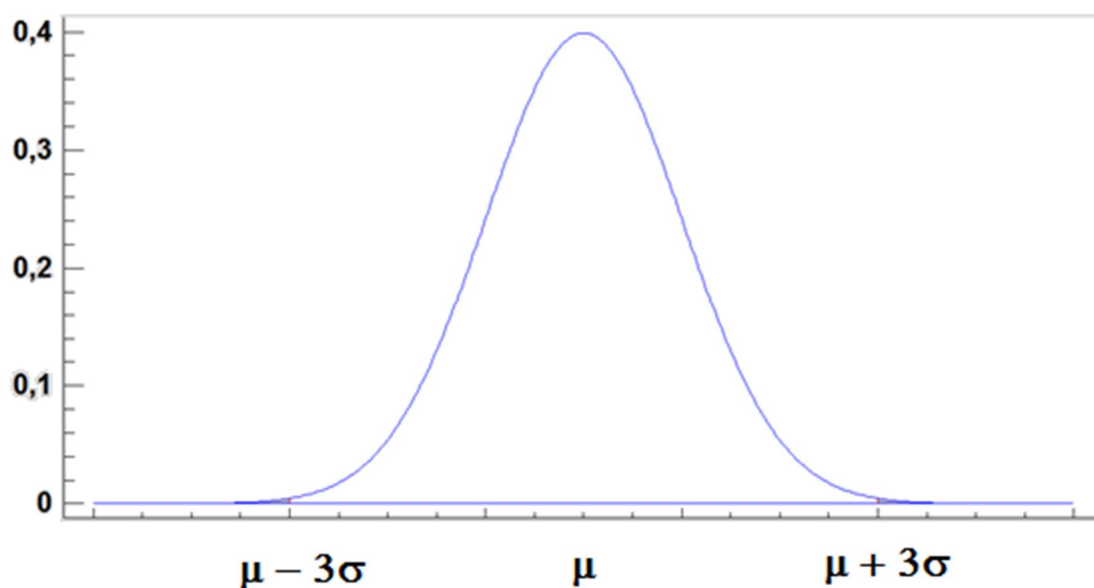
Z obr. 1 je zřejmé, že u normálního rozdělení se naměřené hodnoty pozorované veličiny nejčastěji pohybují okolo jejich střední hodnoty. Výsledky vzdálenější od střední hodnoty se objevují již méně často. Normální rozdělení je symetrické okolo střední hodnoty. Mimo interval $(\mu + 3\sigma; \mu - 3\sigma)$ se vyskytne 0,27% hodnot (Kotz, Johnson, 1993).

Hustotu normálního rozdělení pravděpodobnosti lze vyjádřit funkcí

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Normální rozdělení je jednoznačně určeno střední hodnotou, která se značí μ a rozptylem, který se značí σ^2 .

Normální rozdělení je však důležité i z jiného důvodu. Za určitých podmínek nahrazuje i některá další pravděpodobnostní rozdělení (Normální rozdělení, 2015).



Obr. 1 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti (Statgraphics)

Předpoklad, že náhodná veličina má normální rozdělení, je velice důležitý. Z tohoto důvodu je vždy nutné normalitu ověřit. Ověření normality je možné provést testem nebo graficky. Mezi testy normálního rozdělení patří např.: test šikmosti, test špičatosti, Shapirův-Wilkův test a Kolmogorovův – Smirnovův test. K ověření normality je také možné použít statis-tický software (Normální rozdělení, 2015).

2 Statistická regulace procesu

Statistická regulace procesu (SPC) je formou výběrové kontroly, avšak výběr jednotek je prováděn průběžně. Výstupem výroby či jiné činnosti je sledovaný znak kvality. Při SPC nejde pouze o kontrolu, ale také o jeho ovlivňování. Ovlivňování procesu znamená, že jsou včas zjištěny jakékoliv změny ve fungování procesu a provedena potřebná opatření dříve, než dojde k ohrožení stability procesu. Cílem statistické regulace procesu je dosažení stability procesu. Hodnoty sledované veličiny by měly kolísat co nejméně okolo stanovené hodnoty. Podstatou regulace je průběžná kontrola, která se provádí pomocí pravidelných výběrů ve většině případů malého množství jednotek. Charakteristiky výběru jsou dále zakreslovány do grafu a dojde-li k signalizaci zhoršení kvality, hledá se příčina. Pokud se zjistí příčina zhoršení kvality procesu, následuje zásah do procesu a její náprava. Statistická regulace procesu se využívá zejména u sériové a hromadné výroby, kdy pomocí jiných metod lze těžko dosáhnout požadované stability procesu (Jarošová, 2011).

Na základě charakteru regulované veličiny rozlišujeme dva typy regulace. Definování regulované veličiny a následné zvolení typu regulace je pro další pokračování stěžejní.

Regulace měřením je použita v případě, pokud je znakem kvality měřitelná proměnná. Hodnoty této proměnné lze změřit a vyjádřit je číselně. Měřitelným znakem kvality může být například rozměr nebo hmotnost.

Pokud nelze znak kvality vyjádřit číselně, je použita regulace srovnáváním. Je možné pouze zhodnotit, zda je sledovaná jednotka shodná nebo neshodná. Dále je také možné určit počet neshod. Tyto metody lze použít tam, kde se jedná například o kontrolu tvaru výrobku nebo jeho funkčnosti (Hůlová, Jarošová, 2004).

2.1 Náhodné nebo vymežitelné příčiny

U každého procesu lze sledovat určité kolísání sledovaného znaku. Toto kolísání je způsobeno velkým množstvím neidentifikovatelných příčin, kdy každá tato příčina má pouze malý vliv a obvykle je nemožné je odstranit. Tyto příčiny vedou k tzv. inherentnímu kolísání, což znamená, že k danému procesu patří. Pokud je v procesu přítomné pouze toto inherentní kolísání, je proces pod kontrolou.

Kromě náhodného kolísání se v procesu objevují také identifikovatelné změny procesu. Tyto změny jsou vyvolány vymežitelnými příčinami, které nejsou normální součástí procesu. Jedná se například o nevhodné seřízení stroje nebo jeho špatnou obsluhu. Pokud dochází v procesu ke kolísání z důvodu vymežitelných příčin, potom tento proces není pod kontrolou. Hlavním cílem SPC je zjistit tyto vymežitelné příčiny a následně je odstranit dříve, než dojde k produkci vadných výstupů (Jarošová, 2011).

2.2 Etapy regulace procesu

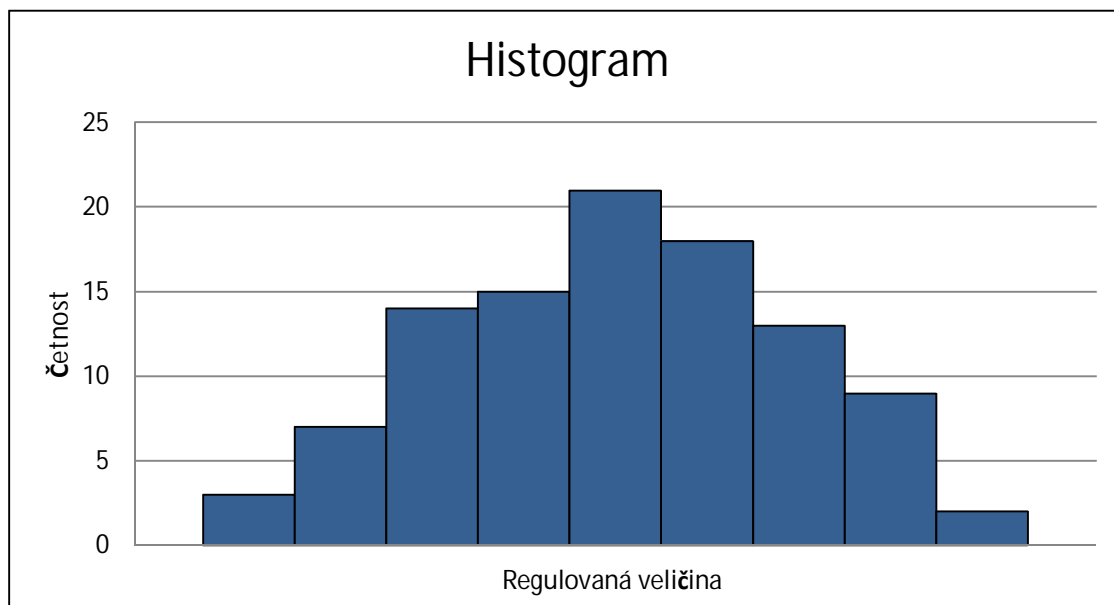
Při STP lze rozlišit tři etapy: analýzu procesu, udržování procesu a zlepšování procesu.

Analýza procesu

První etapou statistické regulace procesu je analýza procesu. Nejprve jde o poznání procesu a stanovení, jestli lze proces regulovat nebo ne. Následně je nutné stanovit znak jakosti, který bude sledován a nevhodnější typ diagramu. Ve druhé části této etapy dochází zejména k odstraňování vymežitelných příčin (Qiu, 2013).

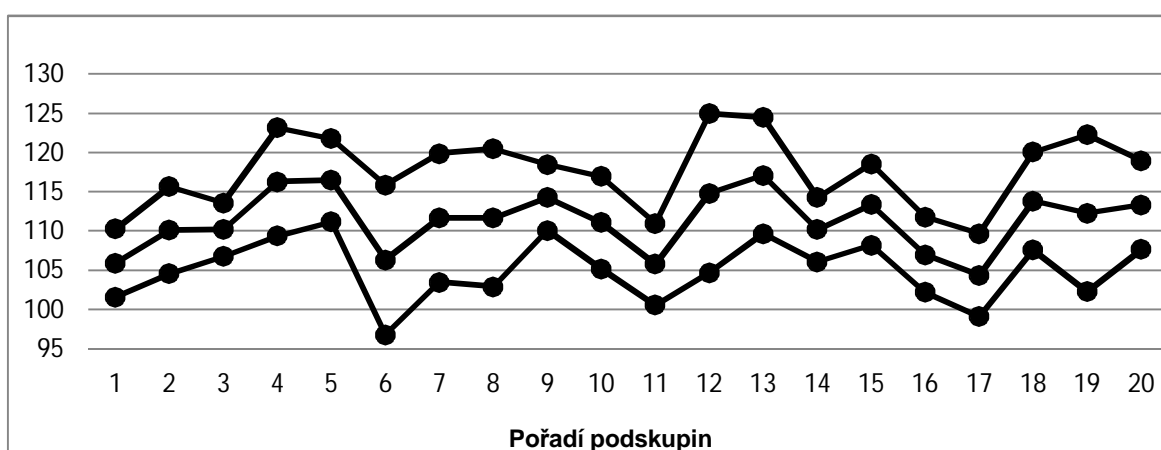
Mezi základní nástroje při analýze procesu patří histogram, diagram stability nebo Ishikawův diagram.

Histogram (obr. 2), podává informace o přesnosti procesu a o jeho vycentrování. Jedná se o sloupcový diagram četnosti regulované veličiny za určité období. Z histogramu lze také vyčíst, zda má regulovaná veličina normální rozdělení (Ryan, 2011).



Obr. 2 Histogram

Druhým nástrojem analýzy procesu je diagram stability. Tento diagram (obr. 3) ukazuje, jak se regulovaná veličina mění v čase, čímž se liší od histogramu, který je statický. Z diagramu stability lze vyčíst, jak se mění regulovaná veličina například během jedné směny. Důležité tedy je řadit údaje zaznamenané v diagramu podle pořadí vzniku jednotlivých podskupin. V etapě analýzy procesu je diagram stability vhodný pro zjištění, zda proces nevykazuje důležitý trend růstu nebo poklesu střední hodnoty (Hůlová, Jarošová, 2004).



Obr. 3 Diagram stability

Udržování procesu

Cílem etapy udržování procesu je udržet proces ve stabilním stavu. Stabilním procesem se myslí proces, který se nachází uvnitř regulačních mezí. Stabilního stavu lze dosáhnout monitorováním procesu prostřednictvím regulačních diagramů a následného včasného zásahu do procesu, než dojde k produkci vadných výrobků. V této etapě je možné aplikovat citlivější a složitější regulační diagramy jelikož počítáme s tím, že proces je stabilní. Mezi tyto citlivější a složitější regulační diagramy patří například diagramy používající kumulovaná data, jako jsou EWMA a CUSUM (Hůlová, Jarošová, 2004).

Zlepšování procesu

Poslední etapou je zlepšování procesu. Jedná se o hlubší poznání procesu a jejím hlavním cílem je identifikace kritických míst, která je nutno dále zlepšovat. Tímto krokem by mělo dojít ke snížení kolísání, které je vyvoláno náhodnými příčinami.

2.3 Regulace srovnáváním

Jak je již výše napsáno, regulace srovnáváním se využívá v případech, kdy sledovaný znak nelze při kontrole změřit a číselně vyjádřit na spojitě stupnici. Výrobek lze pouze označit jako shodný nebo neshodný nebo lze určit počet neshod. Pomocí diagramu se sleduje počet neshodných jednotek, podíl neshodných jednotek, počet neshod v podskupině nebo počet neshod připadajících na jednotku. Pro regulaci srovnáváním se využívá pouze jediný diagram. Nevýhodou regulace srovnáváním oproti regulaci měřením je, že neumožňuje předcházet výskytu neshod.

Diagram pro počet neshodných jednotek (np-diagram) se používá pro stejný rozsah podskupin. Umožňuje kontrolovat i několik sledovaných znaků současně.

Diagram pro podíl neshodných jednotek (p-diagram) se používá v případech, kdy se rozsahy podskupin liší, a proto se u nich sleduje podíl neshodných.

Diagram pro počet neshod (c-diagram) vyjadřuje četnost výskytu neshod. Tento diagram poskytuje daleko objemnější informace o jakosti.

Diagram pro počet neshod na jednotku (u-diagram) se využívá, pokud jsou podskupiny různě velké a počet neshod je nutné vztáhnout například k jednotce množství nebo objemu (Jarošová, 2011).

2.4 Regulace měření

Statistická regulace měření je v podnikatelské sféře velmi často používanou metodou. Z tohoto důvodu je statistická regulace měření nedílnou součástí kontroly kvality. Jelikož je regulace měření závislá na naměřených datech, předpokládá se dostatečná kontrola způsobilosti systému měření.

Při kontrole kvality je potřeba sledovat kromě úrovně hodnot také variabilitu dané veličiny.

Jelikož jsou v praktické části využívány regulační diagramy pro statistickou regulaci měření, budou těmto diagramům věnovány následující kapitoly.

3 Shewhartovy regulační diagramy

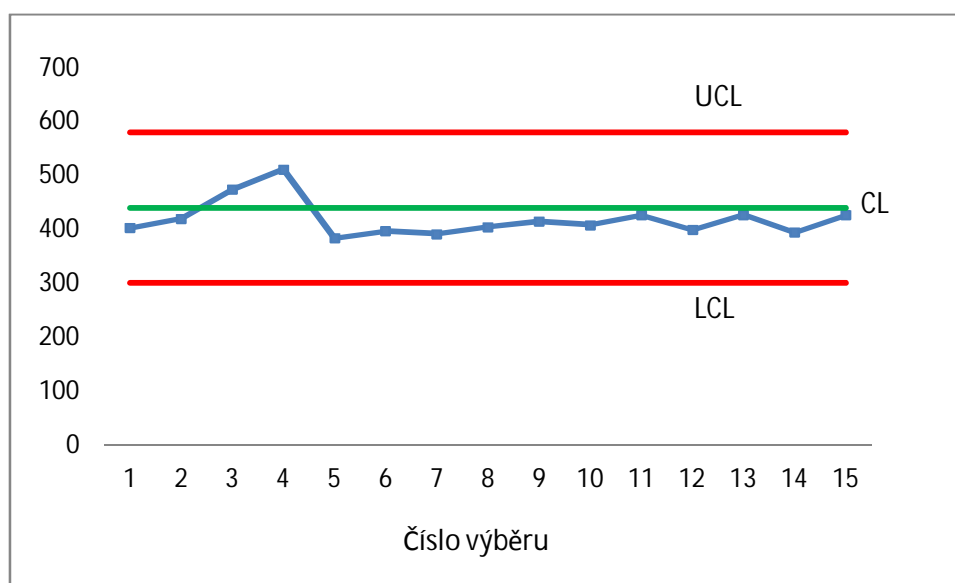
Hlavním úkolem statistické regulace výrobního procesu je dosáhnout a udržovat daný výrobní proces na stabilní úrovni, kdy je zajištěna shoda výrobků s požadavky na kvalitu. Nejdůležitějším nástrojem je v tomto případě regulační diagram. Regulační diagramy graficky zobrazují informace z výrobního procesu založené na posloupnosti výběrů. Na základě regulačních diagramů lze stanovit, zda se proces nachází ve statisticky zvládnutém stavu či nikoliv. Proces se nachází pod kontrolou, pokud jsou odchylky v procesu způsobeny pouze náhodnými příčinami. Pokud však dojde ke kolísání procesu mimo meze způsobené vymežitelnými příčinami, je nutné tyto příčiny identifikovat a odstranit (ČSN ISO 8258, 1994).

Shewhartovy regulační diagramy byly poprvé navrženy Dr. Walterem Shewartem a jsou grafickým prostředkem, který při řízení výrobního procesu využívá testů významnosti (ČSN ISO 7870-1, 2010).

Shewhartovy regulační diagramy zpracovávají data naměřená ve výrobním procesu v pravidelných intervalech. Z těchto dat se dále vypočítávají charakteristiky jako například průměr \bar{X} , rozpětí R nebo výběrová směrodatná odchylka s . Shewhartův regulační diagram se skládá z centrální přímky CL , která zobrazuje průměrnou hodnotu daného procesu. Regulační diagram má dále dvě regulační meze; horní regulační mez UCL a dolní regulační mez LCL (obr. 4). Pokud se proces nachází pod kontrolou, poté jsou veškeré vynesené uvnitř regulačních mezí. Dojde-li k tomu, že se vynesená hodnota nachází mimo regulační meze, předpokládá se, že je to způsobeno vymežitelnou příčinou. Tuto vymežitelnou příčinu je nutné identifikovat a odstranit. Regulační meze jsou u Shewhartových diagramů konstruovány ve vzdálenosti trojnásobku směrodatné odchylky vynášené charakteristiky na obě strany od centrální přímky.

Pokud se proces nachází pod kontrolou a varovné meze jsou konstruovány ve vzdálenosti trojnásobku směrodatné odchylky vynášené charakteristiky, poté se uvnitř regulačních mezí nachází přibližně 99,73 % naměřených hodnot. Je tedy pouze 0,27 % pravděpodobnost, že se naměřený bod bude nacházet mimo regulační meze. Možnost, že se při překročení mezí jedná pouze o náhodný jev, je

tedy velice malá a pokud k takové skutečnosti v průběhu procesu dojde, jedná se pouze o falešný signál (ČSN ISO 8258, 1994).



Obr. 4 Ukázka regulačního diagramu

Občas je přínosné zakreslit do regulačního diagramu také varovné meze, které jsou konstruovány ve vzdálenosti dvojnásobku směrodatné odchylky od centrální přímky. Jedná se o horní varovnou mez *UWL* a dolní varovnou mez *LWL*. Regulační diagram se tak rozdělí na šest oblastí. Dvě oblastí jsou vně regulačních mezí, dvě oblastí jsou uvnitř varovných mezí a dvě oblasti jsou mezi regulačními a varovnými mezemi. Pokud hodnota padne mezi regulační a varovné meze, lze tento signál považovat za dřívější varování o vzniku vymezitelné příčiny. Pokud k tomuto dojde, proces by měl být pečlivěji sledován (Jarošová, 2011).

3.2 Regulační diagram pro průměr a rozpětí

Tato dvojice diagramů se používá zejména při regulaci měření. Diagram pro rozpětí (R-diagram) vyjadřuje variabilitu procesu a diagram pro průměr (\bar{x} -diagram) vyjadřuje polohu procesu.

U diagramu pro rozpětí je dán vztah $CL = \bar{R}$, kdy \bar{R} je průměr jednotlivých rozpětí a regulační meze jsou vyjádřeny vztahem

$$UCL = D_4 \bar{R}, \quad LCL = D_3 \bar{R}. \quad (2)$$

Součinitele D_4 a D_3 lze nalézt v ČSN ISO 8258.

U diagramu pro průměr je dán vztah $CL = \bar{\bar{x}}$, kdy $\bar{\bar{x}}$ je průměrem všech průměrů jednotlivých podskupin. Regulační meze jsou dány vztahem

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}, \quad LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}. \quad (3)$$

Součinitel A_2 lze nalézt v ČSN ISO 8258.

3.3 Regulační diagram pro medián a rozpětí

Jako alternativu pro regulační diagramy průměru a rozpětí je možné použít regulační diagram pro mediány, jelikož nabízí určité výhody. Tyto regulační diagramy jsou snadněji aplikovatelné. Regulační diagramy pro medián přehledně zobrazují kolísání výrobního procesu. Samozřejmostí je předpoklad normálního rozdělení sledovaného znaku.

Regulační meze jsou vyjádřeny následujícím vztahem

$$UCL = \overline{Me} + A_4 \bar{R}, \quad LCL = \overline{Me} - A_4 \bar{R}. \quad (4)$$

Centrální přímkou je $\overline{Me} =$ průměr všech mediánů (ČSN ISO 8258, 1994).

Hodnota součinitele A_4 je uvedena v ČSN ISO 8258.

3.1 Diagram pro individuální hodnoty (X) a klouzavé rozpětí \overline{MR}

Někdy není možné při regulaci výrobního procesu vytvořit logické podskupiny a rozsah výběru je tedy $n = 1$. Jelikož v tomto případě nejsou žádné podskupiny, ze kterých by se dala odhadnout variabilita procesu, je nutné určit regulační meze pomocí kolísání zjištěného z klouzavého rozpětí dvou sousedních pozorování. Klouzavé rozpětí je v tomto případě charakterizováno absolutní hodnotou rozdílu dvou po sobě jdoucích hodnot (ČSN ISO 8258, 1994). Jako první charakteristiku je nutné vypočítat celkový průměr $\bar{\bar{x}}$, který se vypočítá vztahem

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad (5)$$

kdy n je počet hodnot a x_i jsou jednotlivá měření.

Pokud nejsou základní hodnoty stanoveny, poté se regulační meze určí vztahem

$$UCL = \bar{x} + \frac{3}{d_2} \overline{MR}, \quad LCL = \bar{x} - \frac{3}{d_2} \overline{MR}. \quad (6)$$

V tomto vztahu \overline{MR} vyjadřuje průměr klouzavých rozpětí a pokud klouzavé rozpětí počítáme ze sousedních hodnot, je $d_2 = 1,128$, viz ČSN ISO 8528.

Pokud však základní hodnoty jsou stanoveny, regulační meze se určí vztahem

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 3\sigma_0, \quad LCL = \bar{\bar{x}} - 3\sigma_0. \quad (7)$$

V tomto vztahu σ_0 je stanovená směrodatná odchylka procesu a celkový průměr $\bar{\bar{x}}$ odpovídá centrální přímce procesu.

Diagram pro klouzavé rozpětí \overline{MR} u individuálních hodnot je dán stejným vztahem, jako diagram pro rozpětí R (ČSN ISO 8258, 1994).

3.4 Charakteristika ARL

Charakteristika $ARL(\delta)$ neboli průměrná délka přeběhu, vypovídá o tom, jaké je průměrné množství bodů, než dojde k překročení rozhodovacího intervalu, při posunu střední hodnoty o δ . V případě Shewhartových diagramů jsou rozhodovacími intervaly regulační meze. Pro regulační diagram \bar{x} je $ARL(0) = 370$. To znamená, že pokud se proces nachází pod statistickou kontrolou, bude zbytečně signalizovat v průměru za každých 370 měření posun procesu (Montgomery, 2009).

U Shewhartových regulačních diagramů je možné charakteristiku ARL vypočítat pomocí níže uvedených vztahů.

Pomocí vzorce (8) je možné vypočítat, jaký podíl naměřených individuálních hodnot se bude nacházet nad horní a pod dolní regulační mezí, při posunu střední hodnoty o vzdálenosti $\delta\sigma$.

$$p = \Phi\left(\frac{LCL - (\mu_0 + \delta\sigma)}{\sigma}\right) + 1 - \Phi\left(\frac{UCL - (\mu_0 + \delta\sigma)}{\sigma}\right) \quad (8)$$

Pravděpodobnost p , že se hodnoty budou nacházet nad horní a pod dolní regulační mezí, bude následně dosazena do vztahu pro výpočet charakteristiky ARL.

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (9)$$

3.5 Testy seskupení

Další možností, jak zvýšit účinnost regulačních diagramů, je použití testů seskupení, které jsou jejich dalším doplňkem. Oblast mezi regulačními mezemi se rozdělí na šest stejně širokých pásem, které se označí písmeny A , B a C . Používají se v diagramech pro průměr a v diagramech pro individuální hodnoty, kde se sleduje nenáhodné seskupení bodů ve zvolených oblastech. V ČSN ISO 8258 je ukázka osmi základních testů seskupení (viz příloha č.1), na základě kterých je možné odhalit existenci vymezených příčin ve výrobním procesu (Jarošová, 2011).

4 CUSUM a EWMA

V předešlé kapitole byla popsána statistická regulace procesu pomocí Shewhartových regulačních diagramů. Shewhartovy regulační diagramy jsou velice užitečné v první fázi statistické kontroly procesu, kdy se proces nachází mimo statistickou kontrolu a je nutné vyloučit zvláštní příčiny. Po odstranění těchto příčin je možné proces dostat pod statistickou kontrolu.

Určitou nevýhodou Shewhartových regulačních diagramů je, že využívá pouze informace o procesu obsažené v posledním vzorku pozorování a nebere v potaz informace, které nám podává celková posloupnost bodů. Proto jsou Shewhartovy regulační diagramy méně citlivé na malé posuny v procesu, menší než $1,5\sigma$.

CUSUM a EWMA jsou velice efektivní alternativy Shewhartových regulačních diagramů pokud jde o analýzu pouze malých změn v procesu. Jsou velice užitečnou alternativou pro druhou fázi statistické regulace procesu, kde mohou být daleko efektivněji využity (Montgomery, 2009).

4.1 Regulační diagram CUSUM

Diagram CUSUM (*cumulative sums*) zahrnuje veškeré informace obsažené v posloupnosti měření, vykreslením kumulativních součtů odchylek jednotlivých hodnot od cílové hodnoty. Pokud se jedná o individuální hodnoty, tedy $n = 1$, je kumulovaný součet C_i vyjádřen vztahem

$$C_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \mu_0), \quad (10)$$

kde μ_0 je cílová střední hodnota procesu.

Jelikož diagramy kumulativních součtů kombinují informace ze všech předcházejících měření, jsou daleko efektivnější než Shewhartovy diagramy při analýze pouze malých posunů v procesu. Kumulativní diagramy jsou velice užitečné v procesech, ve kterých jsou k dispozici individuální hodnoty zkoumaného znaku.

V případě, že je proces pod kontrolou a dosahuje cílové střední hodnoty μ_0 je kumulativní součet definovaný ve vzorci (10) náhodný se střední hodnotou nula. Naopak, pokud se střední hodnota procesu odchýlí směrem nahoru od cílové střední hodnoty tedy $\mu_1 > \mu_0$, poté se tento posun promítne v kumulativním součtu

C_i . Pokud se v opačném případě střední hodnota procesu odchýlí směrem dolů $\mu_1 < \mu_0$ opět se tato skutečnost promítne v kumulativním součtu. Dojde-li tedy k výraznému pohybu v grafu buď nahoru, nebo dolů, tato skutečnost by měla upozornit, že došlo k posunutí střední hodnoty procesu. Poté by mělo dojít ke zkoumání příčin těchto výkyvů.

V tab. 1 jsou naznačeny výpočty potřebné pro diagram CUSUM, jde o několik prvních hodnot zavírací rychlosti pátých dveří. Ve sloupci (a) jsou zobrazeny jednotlivé individuální hodnoty. Dále ve sloupci (b) jsou vypočteny rozdíly mezi jednotlivými individuálními hodnotami a cílovou střední hodnotou. V posledním sloupci (c) jsou uvedeny hodnoty kumulativních součtů, které lze vypočítat rekurentně podle vztahu

$$C_i = (x_i - \mu_0) + C_{i-1}, \quad (11)$$

$$C_0 = 0.$$

Tab. 1 Ukázka dat pro CUSUM

pořadí i	(a) x_i	(b) $x_i - 0,6798$	(c) $C_i = (x_i - 0,6798) + C_{i-1}$
1	0,98	0,30	0,30
2	0,90	0,22	0,52
3	1,12	0,44	0,96
4	0,96	0,28	1,24
5	0,85	0,17	1,41

Existují dva typy diagramu CUSUM, první je tabelární CUSUM a druhý je V-mask forma (Montgomery, 2009).

Tabelární CUSUM

Tabelární CUSUM lze použít jak pro individuální hodnoty, tak i pro průměr podskupin. Hodnota x_i je i -tým pozorováním procesu. Pokud je proces pod kontrolou, sledovaný znak má normální rozdělení se střední hodnotou μ_0 a směrodatnou odchylkou σ . Předpokládá se, že směrodatná odchylka je známá nebo je k dispozici spolehlivý odhad. Střední hodnota μ_0 je cílovou hodnotou sledovaného znaku. Pokud dochází v procesu k posunům střední hodnoty, CUSUM tuto skutečnost signalizuje a někdy poskytuje i informaci potřebnou pro uvedení procesu zpět na cílovou hodnotu. Stejně jako u Shewhartových diagramů,

tak i u CUSUM, pokud diagram signalizuje odchylky v procesu, mělo by dojít k potřebným zásahům do procesu (Montgomery, 2009).

Tabelární CUSUM akumuluje odchylky od cílové střední hodnoty, které jsou nad cílovou hodnotou s ukazatelem C^+ , a také akumuluje odchylky od cílové střední hodnoty, které jsou pod cílovou hodnotou s ukazatelem C^- . Tyto ukazatele se nazývají jednostranný horní a dolní CUSUM a jsou vyjádřeny vztahem

$$C_i^+ = \max\left[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+\right] \quad (12)$$

$$C_i^- = \max\left[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-\right] \quad (13)$$

u první hodnoty $C_0^+ = C_0^- = 0$

Někdy se pro dolní CUSUM používá vztah

$$C_i^- = \min\left[0, C_{i-1}^- + (x_i - \mu_0 + K)\right] \quad (14)$$

Tento vztah se používá zejména z důvodu přehlednosti.

Referenční hodnota K se volí jako polovina mezi cílovou střední hodnotou μ_0 a střední hodnotou procesu μ_1 , která už je považována za nepřijatelnou a právě je nutné co nejrychleji ji zjistit. Posun na tuto střední hodnotu μ_1 lze vyjádřit ve formě $\delta = |\mu_1 - \mu_0|/\sigma$, poté platí pro K

$$K = \frac{\delta}{2} \sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} \quad (15)$$

$$K = k\sigma. \quad (16)$$

Ukazatelé C_i^+ a C_i^- akumulují odchylky od cílové střední hodnoty, které jsou větší než K . Oba dva ukazatelé se vynulují, pokud dosáhnou záporných hodnot. Pokud jeden nebo druhý ukazatel překročí rozhodovací interval H , kdy $H = h\sigma$, jedná se o signál, že proces pravděpodobně není pod kontrolou. Doporučená hodnota pro rozhodovací interval H je pětkrát směrodatná odchylka procesu tedy $H=5\sigma$ (ISO/TR 7871, 1997).

V tab. 2 jsou zobrazena data pro tabelární CUSUM. Tabelární CUSUM vyjadřuje pomocí ukazatele N^+ a N^- kdy se střední hodnoty změnila. Ukazatel N^+ je počítadlo, které zaznamenává počet po sobě jdoucích období od okamžiku, kdy ukazatel C_i^+ překročí nulu. Jak je vidět v tab. 2, hned první hodnota je větší než nula, což znamená, že již u první hodnoty došlo k posunu střední hodnoty procesu.

Tab. 2 Příklad dat pro tabelární diagram CUSUM

pořadí i	x_i	(a)			(b)		
		$x_i - 0,68$	C_i^+	N^+	$0,59 - x_i$	C_i^-	N^-
1	0,98	0,30	0,30	1	-0,39	0	0
2	0,90	0,22	0,52	2	-0,31	0	0
3	1,12	0,44	0,96	3	-0,53	0	0
4	0,96	0,28	1,24	4	-0,37	0	0
5	0,85	0,17	1,41	5	-0,26	0	0
6	0,88	0,20	1,61	6	-0,29	0	0

Pokud dojde k tomu, že proces není pod kontrolou, C_i^+ a C_i^- jsou větší než referenční interval, je možné vypočítat nově vzniklou střední hodnotu pomocí vztahu (Montgomery, 2009)

$$\hat{\mu} = \mu_0 + K + \frac{C_i^+}{N^+}, \text{ if } C_i^+ \geq H, \quad (17)$$

$$\hat{\mu} = \mu_0 - K - \frac{C_i^-}{N^-}, \text{ if } C_i^- \geq H. \quad (18)$$

Charakteristika ARL

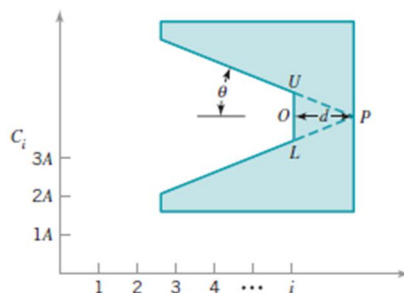
Charakteristika $ARL(\delta)$ byla zmíněna již u Shewhartových regulačních diagramů. V případě regulačních diagramů CUSUM se $ARL(\delta)$ využívá při určení parametrů k a h , jelikož hodnota ukazatele $ARL(\delta)$ je závislá na velikosti těchto parametrů. Větší hodnota těchto parametrů vede k větší hodnotě $ARL(\delta)$. Samotný odhad parametrů v závislosti na velikosti $ARL(\delta)$ bude popsán v praktické části. Pro účely porovnání musí být $ARL(\delta)$ v počátku tedy $ARL(0)$ co nejbližší hodnotě 370 při nulovém posunu procesu. Následně bude tedy možné porovnávat výkonnosti jednotlivých diagramů (Horálek a kol., 2007).

V-Maska

V-Maska schéma je alternativou pro tabelární CUSUM. V-Maska se aplikuje na sobě následujících hodnotách statistiky CUSUM

$$C_i = \sum_{j=1}^i y_j = y_j + C_{i-1}. \quad (19)$$

V tomto vztahu je y_i standardní pozorování, kdy $y_i = (x_i - \mu_0)/\sigma$.



Zdroj: Montgomery, 2009

Obr. 5 Typické V-Mask schéma

V-Maska se aplikuje tak, že se na regulační diagram kumulativních součtů přiloží V-Maska tak, aby se bod O , kryl s poslední hodnotou C_i a úsečka OP byla rovnoběžná s osou x , jako je tomu v obr. 5. Pokud jsou všechny předešlé kumulativní součty C_1, \dots, C_i uvnitř rozmezí vytvořeného V-maskou, tak se proces nachází pod kontrolou. Pokud jakýkoliv z kumulativních součtů leží mimo toto rozmezí, proces není pod kontrolou. V-masku je nutné aplikovat na každou novou hodnotu zakreslenou v regulačním diagramu znovu a znovu. V-masku je charakterizována pomocí vzdálenosti d a úhlu θ . Tabelární CUSUM a V-masku schéma jsou ekvivalentní pokud

$$k = A \tan \theta, \quad (20)$$

$$h = A d \tan(\theta) = dk. \quad (21)$$

Z těchto vztahů je možné vypočítat i samotné charakteristiky d a θ (Montgomery, 2009).

4.2 Regulační diagram EWMA

Regulační diagram pro exponenciálně vážené průměry má podobnou účinnost, ale regulační diagram EWMA je snazší zkonstruovat a dále s ním pracovat. Exponenciální vážený průměr je definován vztahem

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1}, \quad (22)$$

kde $0 < \lambda \leq 1$ je konstanta a startovní hodnota je rovna cílové hodnotě, a proto pro první vzorek $i = 1$ platí, že $z_0 = \mu_0$.

Podobným způsobem lze vyjádřit hodnotu z_{i-1} a dostaneme

$$z_i = \lambda x_i + \lambda(1-\lambda)x_{i-1} + (1-\lambda)^2 z_{i-2}. \quad (23)$$

Dále je možné pokračovat, až dostaneme

$$z_i = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda)^j x_{i-j} + (1-\lambda)^i z_0. \quad (24)$$

Váhy $\lambda(1-\lambda)^j$ klesají geometricky směrem ke starším naměřeným hodnotám.

EWMA je možné chápat jako vážený průměr všech pozorování a díky tomu je robustní vůči odchýlkám od normálního rozdělení.

V regulačním diagramu EWMA jsou, jako v ostatních regulačních diagramech, konstruovány kontrolní meze UCL a LCL , které jsou vyjádřeny vztahem

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]}, \quad (25)$$

$$CL = \mu_0,$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} [1 - (1-\lambda)^{2i}]}. \quad (26)$$

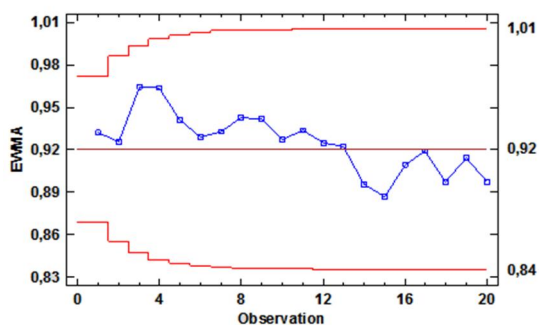
V rovnicích kontrolních mezí faktor L vyjadřuje šířku kontrolních mezí. Poté, co budou kontrolní meze vypočteny pro několik měření pomocí vzorců (25) a (26), dojde k ustálení kontrolních mezí a dále budou vyjádřeny pomocí následujícího vztahu

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}, \quad (27)$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}. \quad (28)$$

Pokud se však jedná pouze o menší množství naměřených vzorků, je lepší využívat vzorce (25) a (26). V obr. 6 je zobrazen regulační diagram EWMA a tabulka výpočtů exponenciálních vážených klouzavých průměrů.

pořadí i	x_i	EWMA z_i
1	0,98	0,721
2	0,90	0,765
3	1,12	0,854
4	0,96	0,881
5	0,85	0,873
6	0,88	0,875
7	0,95	0,894
8	0,98	0,915
9	0,94	0,921
10	0,87	0,909



Obr. 6 Ukázka dat pro EWMA a ukázka EWMA regulačního diagramu (Statgraphics)

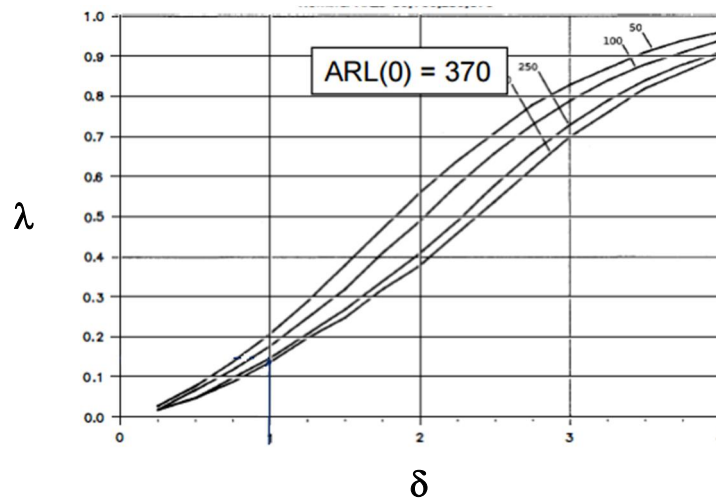
Otázkou tedy je, jaké použít hodnoty pro ukazatele λ a L ? Obecně v praxi fungují velice dobře hodnoty ukazatele λ v rozmezí $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$. Pro menší posuny střední hodnoty je lepší používat menší hodnoty ukazatele λ .

Pro větší hodnoty λ , potom v praxi funguje velice dobře hodnota ukazatele $L = 3$, což vyjadřuje obvyklý 3σ limit. Pokud je $\lambda \leq 0,1$ může být vhodné L v rozmezí od 2,6 do 2,8 (Montgomery, 2009).

Charakteristika ARL

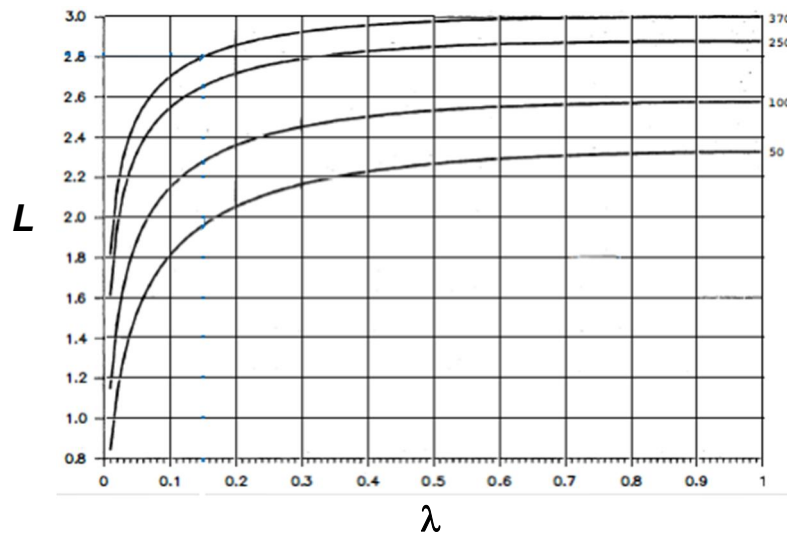
Jako tomu bylo i u regulačního diagramu CUSUM, tak i v případě regulačního diagramu EWMA je charakteristika $ARL(\delta)$ potřebná pro správné určení parametrů λ a L , jelikož je velikost charakteristiky $ARL(\delta)$ závislá na velikosti parametrů. Opět bude v této práci potřeba zvolit takové hodnoty parametrů λ a L , aby se $ARL(0)$ rovnala 370 (Montgomery, 2009).

Pro stanovení parametrů λ a L budou v této práci použity grafy, které jsou zobrazeny na obr. 7 a obr. 8.



Zdroj: Crowder, 1989

Obr. 7 Nomogram pro určení parametru λ



Zdroj: Crowder, 1989

Obr. 8 Nomogram pro určení parametru L

Prvním krokem při stanovování parametrů λ a L je určení, jak velký posun střední hodnoty procesu δ je potřeba detekovat. Parametry λ a L jsou následně stanoveny pomocí grafů na obr. 7 a obr. 8. V obr. 7 je možné na základě určitého δ a pomocí křivky $ARL(0) = 370$ určit hodnotu parametru λ . Následně bude v grafu na obr. 8. pomocí křivky $ARL(0) = 370$ a parametru λ určena hodnota parametru L (Crowder, 1989).

5 Způsobilost a výkonnost procesu

Způsobilost procesu neboli schopnost procesu vyhovět předepsaným kritériím se využívá zejména u procesů, u kterých je výstupem měřitelný znak. Předepsaná kritéria jsou nejčastěji vyjádřena horní a dolní mezí pro daný sledovaný znak. V některých případech mohou být předepsaná kritéria vyjádřena pouze horní nebo dolní mezí. Způsobilost procesu se vyhodnocuje na základě samotné variability procesu a je tím větší, čím hodnoty sledovaného znaku méně kolísají. Druhým faktorem vyhodnocování způsobilosti procesu je sledování jak variability, tak také polohy procesu vůči předepsaným mezním hodnotám, kdy by měla být zajištěna kromě nízkého kolísání i dostatečná vzdálenost od předepsaných mezí. Při analýze způsobilosti procesu se využívají jak ukazatele způsobilosti, tak i ukazatele výkonnosti. Analýza způsobilosti procesu se používá pouze u procesů, které jsou pod kontrolou (Jarošová, 2011).

Analýza způsobilosti procesu se využívá zejména k (Montgomery, 2009):

- výběru mezi konkurenčními dodavateli,
- snížení variability v procesu,
- stanovení požadavků pro nové vybavení,
- usnadnění změny procesu.

5.1 Ukazatel způsobilosti procesu C_p

Nejznámějším ukazatelem způsobilosti procesu je ukazatel C_p , který je vyjádřen jako

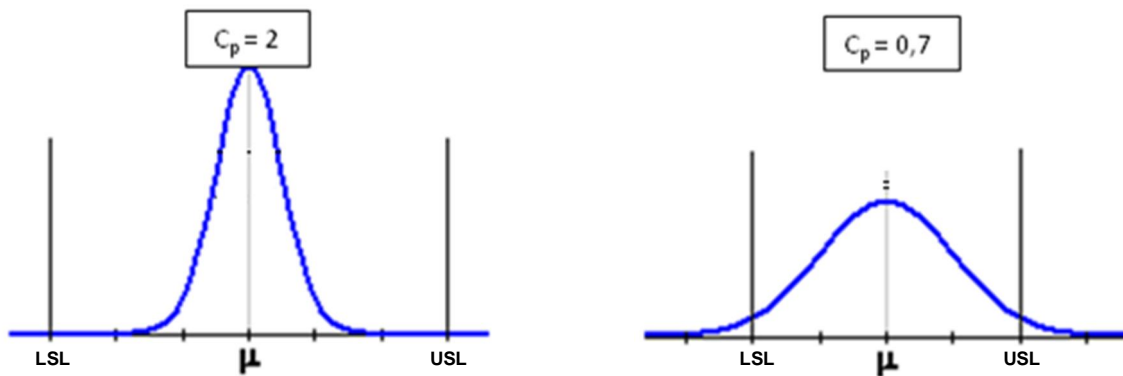
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}. \quad (29)$$

USL u ukazatele způsobilosti označuje horní mez a LSL označuje dolní mez, σ označuje směrodatnou odchylku sledovaného znaku. Ukazatel způsobilosti procesu předpokládá normální rozdělení sledovaného znaku a centrováný proces, kdy se střední hodnota nachází uprostřed mezi USL a LSL . Interval 6σ vyjadřuje přirozenou variabilitu a je-li proces centrován, poté se v tomto intervalu nachází 99,73 % hodnot.

Pokud je $C_p \geq 1,33$ je proces označen za způsobilý. Čím je C_p větší než 1,33, tím je proces způsobilejší a tím větší je pravděpodobnost, že hodnota sledovaného znaku nepřesáhne meze LSL a USL (Jarošová, 2011).

Způsobilý a centrováný proces je znázorněn na obr. 9a), kde je hodnota ukazatele $C_p = 2$.

Naopak na obr. 9b) je vyobrazen proces nezpůsobilý, kdy je hodnota $C_p = 0,7$. Pokud je proces nezpůsobilý, mělo by dojít ke 100 % kontrole výstupů, nalezení zákazníka, kterému vyhovuje stávající kvalita nebo ke zlepšení procesu provedením potřebných změn.



Obr. 9a) způsobilý proces a 9b) nezpůsobilý proces

5.2 Ukazatel způsobilosti procesu C_{pk}

Ukazatel způsobilosti procesu C_{pk} je vyjádřen vztahem

$$C_{pk} = \min(C_{pU}, C_{pL}), \quad (30)$$

$$C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}. \quad (31)$$

Tento ukazatel naopak od ukazatele C_p zohledňuje polohu procesu při své konstrukci. C_{pk} vyjadřuje, jak daleko se střední hodnota nachází od technických specifikací, tedy od jednotlivých mezí. Porovnáním C_{pk} s C_p , zjistíme, jak moc je proces posunutý. Pokud se $C_{pk} = C_p$ jedná se o centrováný proces. Pokud $C_{pk} < C_p$, jedná se o proces, který není centrováný.

Ukazatele C_{pL} a C_{pU} umožňují zhodnocení způsobilosti procesu s jednostrannou specifikací. Jedná se o procesy, u kterých je dána pouze horní nebo pouze dolní mez. (Hůlová, Jarošová, 2004).

5.3 Ukazatel způsobilosti procesu C_{pm}

Ukazatel způsobilosti C_{pm} slouží k posouzení, jak hodně se těžiště procesu přibližuje k cílové hodnotě (Hůlová, 2004). Index je popsán vztahem

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}}. \quad (32)$$

Ukazatel zohledňuje rozdíl střední hodnoty μ

$$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j \quad (33)$$

od cílové hodnoty T . Směrodatná odchylka σ se odhadne pomocí vztahu

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}. \quad (34)$$

Tento vztah je podrobněji vysvětlen v podkapitole 3.1.

5.4 Ukazatel výkonnosti procesu P_p

Obecně ukazatele výkonnosti procesu vypovídají o kolísání sledovaného znaku v čase. Tyto ukazatele vycházejí z kolísání procesu za delší časové období, jedná se tedy o dlouhodobé ukazatele. Sledované kolísání vychází z celkové směrodatné odchylky za dané období (Horálek, 2007).

Ukazatel výkonnosti procesu P_p je vyjádřen vztahem

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{tot}}. \quad (35)$$

Celková směrodatná odchylka σ_{tot} zobrazuje celkovou variabilitu za k pozorování a \bar{x} je celkový průměr.

Parametr σ_{tot} se odhaduje pomocí vztahu

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

5.5 Ukazatel výkonnosti procesu P_{pk}

Ukazatel P_{pk} odráží skutečnou polohu procesu μ a je vyjádřen vztahem

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma_{tot}}; \frac{\mu - USL}{3\sigma_{tot}} \right\}. \quad (37)$$

5.6 Ukazatel výkonnosti procesu P_{pm}

Ukazatel výkonnosti procesu P_{pm} se využívá v případech, pokud je cílová hodnota mimo střed tolerančního pole. Bere v úvahu rozdíl střední hodnoty μ od cílové hodnoty T . Ukazatel je vyjádřen vztahem

$$P_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma_{tot}^2 + (\bar{x} - T)^2}}. \quad (38)$$

5.7 Konfideční interval pro ukazatele způsobilosti

Součástí výpočtu ukazatelů způsobilosti by měla být konstrukce konfidenčních mezí. Pokud mají sledované znaky kvality normální rozdělení, poté je $100(1-\alpha)\%$ konfidenční interval pro ukazatel C_p vyjádřen vztahem

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}{n-1}} \leq C_p \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2, n-1}^2}{n-1}}. \quad (39)$$

Pro ukazatel C_{pk} je konfidenční interval stanoven vztahem

$$\hat{C}_{pk} \left[1 - u_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \leq C_{pk} \leq \hat{C}_{pk} \left[1 + u_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right]. \quad (40)$$

\hat{C}_p a \hat{C}_{pk} jsou odhady, $(n-1)$ vyjadřuje počet stupňů volnosti, $\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2$; $\chi_{\alpha/2, n-1}^2$ jsou kvantily chí-kvadrát rozdělení s $n-1$ stupni volnosti a u je kvantil normálního normovaného rozdělení (Montgomery, 2009).

6 ŠKODA AUTO

6.1 Kontrola vybraného procesu

Je-li zjištěn nějaký problém při finální montáži vozů či na vyrobených vozech, je následně analyzován a jsou navržena možná řešení. Ve společnosti ŠKODA AUTO se touto činností zabývá oddělení zkušebny. Toto oddělení je rozdělené na jednotlivé útvary, jako je exteriér vozů, interiér vozů, analýza hluků, vodotěsnost, elektřina, a konformita. V této práci je analyzován problém z útvaru analýzy exteriéru vozů. Tento útvar řeší problémy zejména reklamované od interních zákazníků. Tyto problémy vyvstávají zejména z auditu hotových vozů, a také z montáže. Kromě reklamací od interních zákazníků se toto oddělení zabývá také reklamacemi od externích zákazníků. Tyto problémy od externích uživatelů jsou evidovány. Samotní distributoři a oficiální servisy jsou zodpovědní za tuto evidenci. Pokud tedy dojde k nárůstu výskytu nějaké závady u externích zákazníků, je následně tato závada analyzována, aby se jí v budoucnu předešlo a zejména aby se vadné vozy nedostaly k zákazníkům. Ať se jedná o reklamaci jakéhokoliv problému, nejprve dojde k jeho velmi důkladné analýze. Každá situace vyžaduje samozřejmě individuální přístup a metody. Pracovníci tohoto oddělení mají k dispozici veškeré dostupné informace a prostředky pro řešení daných situací. Využít mohou statistiky naměřených dat z měrového střediska, databáze již řešených problémů a také možnost naskenovat vadné díly pro zjištění jejich rozměrnosti. Jednotlivá oddělení mezi sebou spolupracují při řešení reklamací a poskytují si navzájem veškeré potřebné informace, což vede ke snadnějšímu řešení.

V této diplomové práci bude řešen problém komfortu zavírání pátých dveří na voze SK 316, kdy je nutné vyvinout nadměrnou sílu pro úplné zaaretování pátých dveří. Ve většině případů dojde pouze k částečnému zaaretování pátých dveří a nedojde k jejich úplnému zavření. V současnosti se tento problém velmi aktivně řeší, jelikož se proces nachází mimo toleranční meze. Síla potřebná k zavření pátých dveří se měří v metrech za sekundu. U tohoto procesu je stanovena pouze horní toleranční mez. Rychlost potřebná k úplnému zavření pátých dveří nesmí překročit 1 m/s.

Jelikož dochází v poslední době k většímu výskytu problémů se zavírací rychlostí, je kladen větší tlak na zlepšení. Tento proces ve svém průběhu vykazuje obrovské

výkyvy a nedá se tedy konstatovat, že by se proces v celém svém průběhu nacházel pod statistickou kontrolou. Dochází k častějším reklamacím od auditorů hotových vozů, což jen podporuje tlak na vyřešení tohoto problému.

Do tohoto procesu vstupuje velké množství možných vlivů, které ho mohou ve značné míře ovlivňovat. Všechny tyto vlivy jsou zobrazeny v Ishikawově diagramu (viz obr. 10) a dále jsou v textu popsány.



Obr. 10 Ishikawův diagram vlivů na komfort zavírání pátých dveří

V obr. 10 jsou vyobrazeny všechny vlivy, které mohou ovlivnit rychlost zavírání pátých dveří. Je zřejmé, že komfort zavírání pátých dveří ovlivňuje 6 různých oblastí.

Pokud bychom postupovali od začátku výrobního procesu, poté první oblastí, která může mít negativní dopad na zavírací rychlost, je rozměrovost zadní části vozu. V tomto případě může dojít ke špatné rozměrovosti otvoru pro páté dveře. Pokud by rozměry tohoto otvoru byly mimo tolerance, mohly by tyto odchylky mít vliv na zavírací rychlost. Menší otvor pro páté dveře by mohl vést k tomu, že by pro zavření pátých dveří byla nutná větší zavírací rychlost. Další vliv na zavírací rychlost má šířka stojiny. Pokud by byla stojina příliš široká, mělo by to negativní vliv na zavírací rychlost. Pro snížení zavírací rychlosti došlo ke korekci v procesu. Ve svařovně začali brousit stojiny, a to mělo z části pozitivní vliv na měřenou zavírací rychlost, avšak ne dlouhodobý.

Druhou oblastí, která má vliv na zavírací rychlost, je samotný tvar pátých dveří. Negativní vliv na zavírací rychlost může mít samotná rozměrovost pátých dveří, tak i váha a umístění jejich těžiště. V minulosti došlo ke změně v konstrukci pátých dveří, kdy se začaly montovat páté dveře s menší hmotností a s jinak ustaveným těžištěm. Právě menší hmotnost pátých dveří může mít negativní vliv na zavírací rychlost.

Třetí oblastí, která může ovlivnit zavírací rychlost pátých dveří, je jejich ustavení na karoserii. Tento proces je v kompetenci svařovny, jelikož ustavení pátých dveří na panty probíhá právě tam. Tento proces je velice důležitý, protože pokud dojde ke špatnému ustavení pátých dveří, jsou nutné další kroky k jejich následujícímu dolícování. Předpis udává, že páté dveře mají být $1,5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ utopené vůči skupinovému světlům. Pokud však dojde ke špatnému ustavení pátých dveří, je nutné dolícovávat přes západky páté dveře ke skupinovému světlům a to může mít negativní vliv na jejich zavírací rychlost. Všichni pracovníci, kteří vykonávají tuto činnost, jsou dostatečně proškolení, jak správně ustavit páté dveře, avšak ne vždy dojde ke správné montáži.

Také poloha těsnění pátých dveří má vliv na zavírací rychlost. Pokud těsnění není správně nasazené na stojinu a tudíž vyčnívá ven směrem z vozu, při zavírání pátých dveří bude toto těsnění klást odpor. Bude tudíž potřeba větší zavírací rychlosti k překonání tohoto odporu a úplnému zaaretování pátých dveří. Také tuhost těsnění může mít negativní vliv na zavírací rychlost. Z tohoto důvodu je nyní v jednání s dodavatelem zkouška nového měkkého těsnění, které by nemělo klást tak velký odpor pátým dveřím při jejich zavírání. Síla potřebná k jejich zavření by se tedy měla snížit.

Pátou oblastí, která ovlivňuje zavírací rychlost, je poloha západky. Západky se dělí na benzínové a dieslové, kdy u dieslových západek je potřeba v průměru o 0,5 m/s větší zavírací rychlost než u benzínových. Dieslové západky mají zabudované odpružení, kvůli eliminaci přenosu hluků. Tato skutečnost vede k tomu, že je potřeba větší zavírací rychlosti k jejich úplnému zaaretování. Západka se také používá k nalícování pátých dveří, aby dveře byly správně utopené vůči skupinovému světlům. Se západkou lze hýbat směrem dopředu i dozadu, což vede ke snadnějšímu lícování dveří. Avšak pokud je se západkou manipulováno

zejména směrem dovnitř automobilu, může to mít negativní vliv na zavírací rychlost pátých dveří.

Předposlední oblastí, která má vliv na zavírací rychlost, je ustavení zadních skupinových světel (SBBR). Pokud jsou zadní skupinová světla ustavena nesprávně, je následně potřeba dodatečná manipulace s pátými dveřmi, aby došlo k jejich dostatečnému utopení vůči skupinovým světlům. Tato manipulace může mít negativní vliv na zavírací rychlost.

Poslední oblastí, která může mít negativní vliv na zavírací rychlost, je poloha dorazů pátých dveří. Dorazy jsou na pátých dveřích montovány, aby nedocházelo při jízdě k hlučnosti pátých dveří. Západky pátých dveří jsou montovány v předpětí dva zoubky, aby při otevírání docházelo k jejich odskočení. Již toto předpětí má negativní vliv na zavírací rychlost. Západky jsou také dále využívány při dolíčovávání pátých dveří, aby byly správně utopené k zadním skupinovým světlům. Pokud je však kvůli dolíčovávání nutné větší předpětí než udává návodka, může tento fakt způsobit zvýšení zavírací rychlosti.

7 SPC vybraného procesu

7.1 Výběr vhodného úseku

Jak bylo napsáno výše, v poslední době dochází k většímu výskytu naměřených hodnot mimo přípustné meze. Tato skutečnost je pro kvalitu konečných výrobků nepřijatelná a je tedy nutné tento problém vyřešit. Cílem praktické části této diplomové práce je návrh regulačního diagramu pro regulaci zavírací rychlosti pátých dveří na modelu Škoda Yeti. Pracovníci kvality nemají k dispozici žádný regulační diagram, který by je informoval o stavu procesu, a který by jim poskytoval jakýsi varovný systém před možnými výkyvy v procesu. Praktická část této práce bude tedy věnována konstrukci různých diagramů a hodnocení použitelnosti jednotlivých variant.

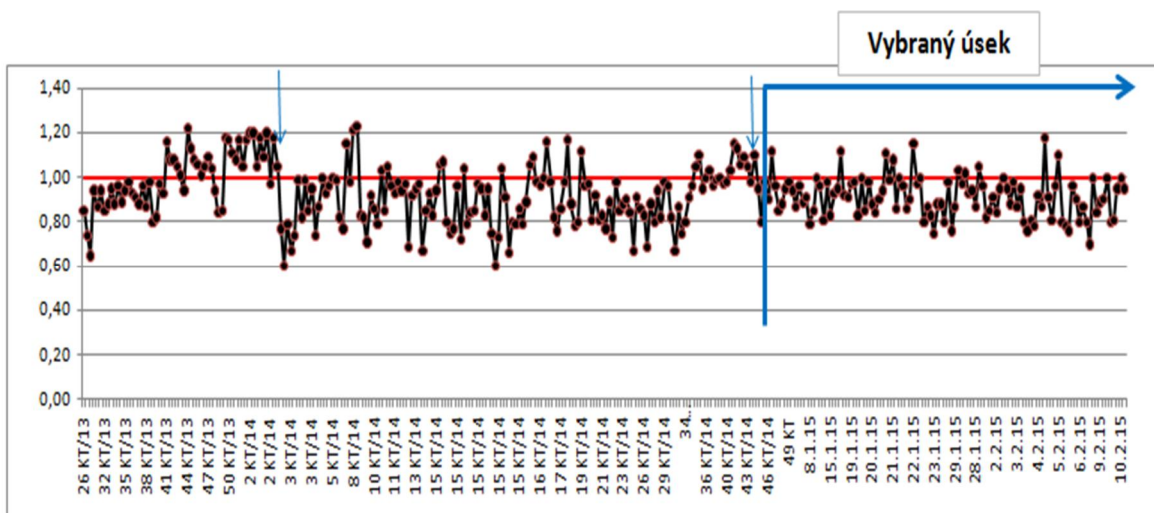
Nejprve bude vybrán vhodný úsek z poskytnutých dat, na kterém bude provedena analýza tohoto procesu, a také bude zhodnocena jeho stabilita. Následně bude též vyhodnocena způsobilost procesu.

Poté budou navrženy a zkonstruovány tři různé regulační diagramy. U těchto diagramů bude vyhodnocena jejich použitelnost pro daný proces. V závěru bude nejvhodnější diagram doporučen k následnému využití v daném procesu.

Pro analýzu zavírací rychlosti pátých dveří bylo poskytnuto celkem 302 hodnot, které byly naměřeny během více než jednoho roku. Zavírací rychlost je měřena pouze na dvou autech týdně. V tomto případě tedy nelze vytvořit podskupiny, jelikož je interval mezi naměřenými hodnotami příliš dlouhý. V praktické části budou tedy analyzovány individuální hodnoty. Použity budou z tohoto důvodu diagramy pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí.

V obr. 11 jsou zobrazeny naměřené hodnoty zavírací rychlosti pátých dveří. Červenou barvou je vyznačena zadaná toleranční mez 1 m/s, kterou by proces neměl překročit. Proces po celou dobu mnohokrát překročí přípustnou mez a následně se vrací zpět. V obr. 11 jsou zaznamenány dvě drobné svislé šipky, které poukazují na zásahy do procesu. V druhém kalendářním týdnu roku 2014 došlo k prvnímu zásahu do procesu. Tomuto zásahu předcházejí problémy v procesu, kdy se zhruba 20 naměřených hodnot nachází mimo toleranční mez. V průběhu tohoto zásahu došlo ke zbroušení stojiny, které vedlo k razantnímu snížení zavírací rychlosti a k navrácení procesu pod toleranční mez. Při druhém

zásahu do procesu se naměřené hodnoty opět dlouhodoběji nacházely nad toleranční mezí a zásah do procesu byl v tomto případě nevyhnutelný. Při tomto druhém zásahu došlo ke změně rozměrovosti zadní části vozu, čímž došlo k opětovnému navrácení procesu pod toleranční mez. K zásahům do procesu dochází vždy, když naměřené hodnoty překročí toleranční mez. Než jsou tyto zásahy do procesu provedeny, je nutná analýza problému a provedení následných opatření. Tento průběh je časově velice náročný. Z obr. 11 je zřejmé, že vždy trvá delší časové období, než k zásahu do procesu dojde. Úkolem této praktické části je, zkonstruovat regulační diagram, který by upozornil pracovníky na možné posuny v daném procesu.



Obr. 11 Naměřené hodnoty zavírací rychlosti pátých dveří

Pro analýzu tohoto procesu byl vybrán úsek vyznačený horizontální šipkou. Jedná se o 105 naměřených hodnot v období od 46. kalendářního týdne roku 2014 do 10. února 2015. Jak je vidět, ani tento úsek nezobrazuje ideální proces a jsou zde hodnoty, které se nacházejí nad toleranční mezí. Jelikož se tento úsek zdá na první pohled stabilní, což bude potvrzeno v následující analýze stability procesu, je vhodný pro následující analýzu.

7.2 Analýza stability procesu

Shewhartův regulační diagram

Z vybraného úseku 105 naměřených hodnot byly pro další analýzu vypočteny charakteristiky \bar{x} a \overline{MR} , které jsou použity pro určení centrální přímky a regulačních mezí. Parametry d_2 , D_3 a D_4 , které jsou použity při výpočtech, jsou k dispozici v normě ČSN ISO 8258. Jelikož počítáme klouzavé rozpětí ze sousedních hodnot, uvažujeme rozsah podskupin o velikosti $n = 2$. I když je u zavírací rychlosti pátých dveří stanovena pouze horní toleranční mez, v praktické části bude v jednotlivých diagramech zobrazena horní i dolní regulační mez pro možné porovnání s dalšími dvěma regulačními diagramey.

Níže je vypočtena centrální přímka a horní a dolní regulační meze pro diagram individuálních hodnot.

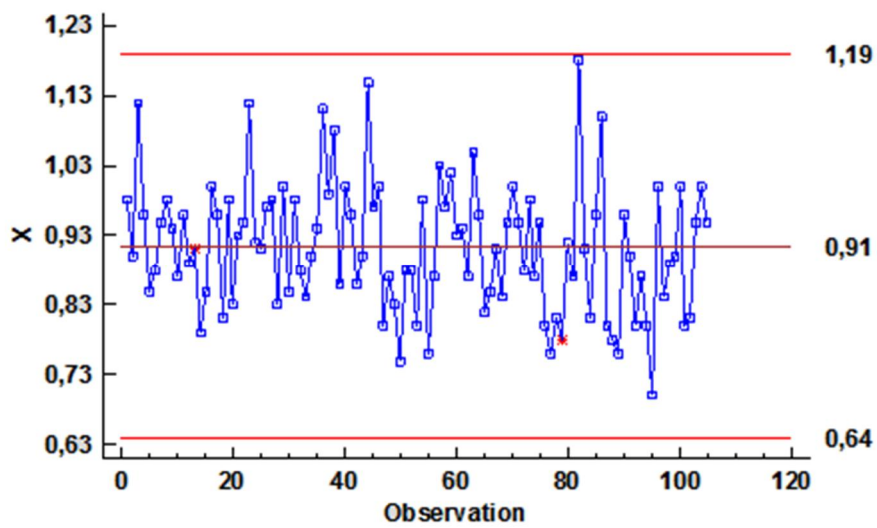
$$\begin{array}{lll} UCL = \bar{x} + \frac{3}{d_2} \overline{MR} & UCL = 0,91 + \frac{3}{1,128} \cdot 0,103 & UCL = 1,19 \\ CL = \bar{x} & & CL = 0,91 \\ LCL = \bar{x} - \frac{3}{d_2} \overline{MR} & LCL = 0,91 - \frac{3}{1,128} \cdot 0,103 & LCL = 0,64 \end{array}$$

Jelikož chceme nejprve zjistit, zda je v daném úseku proces stabilní a nevykazuje tedy žádné náhlé výkyvy, byly použity charakteristiky, které jsou odhadnuté z naměřených dat.

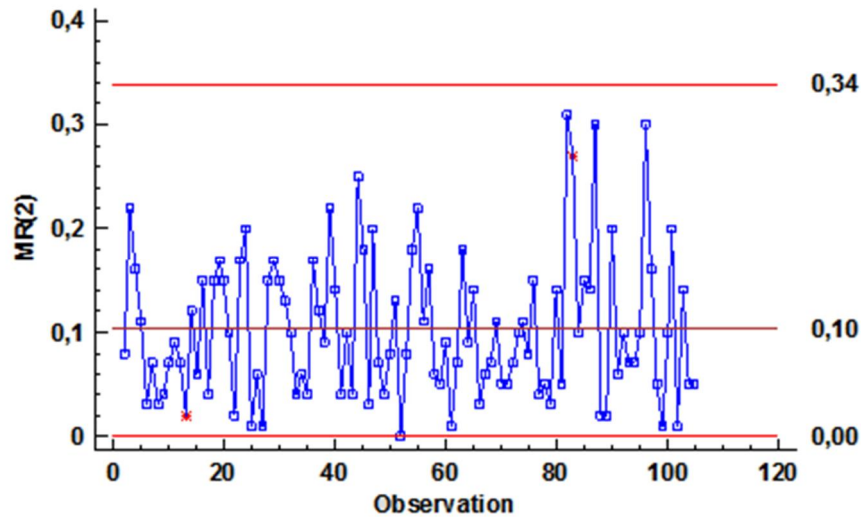
Pro centrální přímku a horní a dolní regulační meze pro diagram klouzavých rozpětí platí.

$$\begin{array}{lll} UCL = D_4 \overline{MR} & UCL = 3,267 \cdot 0,103 & UCL = 0,34 \\ CL = \overline{MR} & & CL = 0,10 \\ LCL = D_3 \overline{MR} & LCL = 0,000 \cdot 0,103 & LCL = 0,00 \end{array}$$

Diagramy pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí jsou zobrazeny v obr. 12 a obr. 13.



Obr. 12 Diagram pro individuální hodnoty (Statgraphics)



Obr. 13 Diagram pro klouzavé rozpětí (Statgraphics)

Je zřejmé jak z diagramu pro individuální hodnoty (viz obr. 12), tak z diagramu pro klouzavá rozpětí (viz obr. 13), že žádná z naměřených hodnot nesáhá mimo regulační meze, tento úsek procesu je tedy možné prohlásit za stabilní a je možné říci, že se nachází pod statistickou kontrolou. Je však nutné připomenout, že

charakteristiky jsou odhadnuty na základě naměřených hodnot z vybraného úseku.

Shewhartovy regulační diagramy nejsou schopny odhalit drobné posuny v procesu. V rámci praktické části bude porovnáno více regulačních diagramů a vybrán nejvhodnější. Je tedy nutné zjistit, zda je proces stabilní také při použití dvou dalších regulačních diagramů CUSUM a EWMA, které jsou na rozdíl od Shewhartových regulačních diagramů schopny rozpoznat i menší posuny v procesu.

Regulační diagram CUSUM

Nyní bude provedena analýza stability vybraného úseku procesu prostřednictvím tabelárního diagramu CUSUM.

V tab. 3 je ukázka prvních deseti vypočtených hodnot dolního a horního CUSUM.

V tab. 4 jsou zobrazeny jednotlivé parametry, které jsou následně potřebné pro návrh regulačního diagramu CUSUM. Průměr \bar{x} a výběrová směrodatná odchylka $\hat{\sigma}$ jsou vypočteny na základě naměřených hodnot z vybraného úseku. Parametry k a h jsou stanoveny na základě průměrné délky přeběhu $ARL(0)$ při nulovém posunu procesu. Hodnotu $ARL(0)$ volíme u všech třech použitých diagramů přibližně stejnou. Volba hodnot parametrů k a h bude podrobněji vysvětlena až v podkapitole 9.2. Referenční konstanta K je vypočítána pomocí vztahu $K = k \cdot \hat{\sigma}$ a horní a dolní regulační mez pomocí vztahu $H = h \cdot \hat{\sigma}$.

Tab. 3 CUSUM pro zavírací rychlost pátých dveří

pořadí i	x_i	$x_i - 0,96$	C_i^-	N^-	H	$0,87 - x_i$	C_i^+	N^+	H
1	0,98	0,02	0,02	1	0,44	-0,11	0,00	1	-0,44
2	0,90	-0,06	0,00	0	0,44	-0,03	0,00	0	-0,44
3	1,12	0,16	0,16	1	0,44	-0,25	0,00	0	-0,44
4	0,96	0,00	0,16	2	0,44	-0,09	0,00	0	-0,44
5	0,85	-0,11	0,05	3	0,44	0,02	0,02	1	-0,44
6	0,88	-0,08	0,00	0	0,44	-0,01	0,01	1	-0,44
7	0,95	-0,01	0,00	0	0,44	-0,08	0,00	0	-0,44
8	0,98	0,02	0,02	1	0,44	-0,11	0,00	0	-0,44
9	0,94	-0,02	0,00	0	0,44	-0,07	0,00	0	-0,44
10	0,87	-0,09	0,00	0	0,44	0,00	0,00	0	-0,44

Tab. 4 Parametry potřebné pro další výpočty

$\mu_0 = \bar{x} = 0,91$	$k = 0,5$
$\hat{\sigma} = 0,0916$	$h = 4,78$

V tab. 5 jsou vypočteny parametry K a H . Parametr K je potřebný pro výpočty horního a dolního CUSUM a parametr H znázorňuje horní a dolní regulační mez. Překročení regulační meze je signálem, že došlo k posunu střední hodnoty procesu.

Tab. 5 Vypočtené parametry K a H pro regulační diagram CUSUM

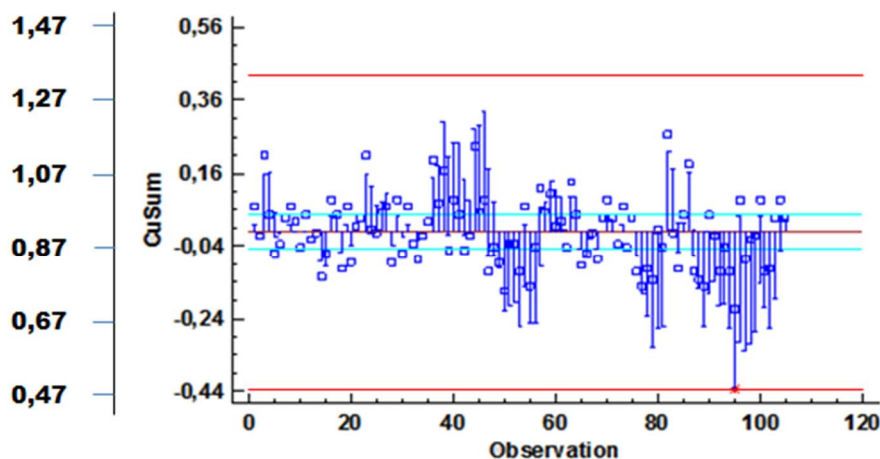
$K = 0,5 \cdot 0,0916$	0,05
$H = 4,78 \cdot 0,0916$	0,44

Ukázka výpočtů první hodnoty horního a dolního CUSUM, které se dále vnášejí do diagramu, a které jsou také zobrazeny v tab. 3.

$$C_1^+ = \max[0,98 - (0,91 + 0,05) + 0] \quad C_1^+ = 0,02$$

$$C_1^- = \max[(0,91 - 0,05) - 0,98 + 0] \quad C_1^- = 0,00$$

Diagram CUSUM je zobrazen v obr. 14. Z obr. 14 je zřejmé, že stejně jako u Shewhartových regulačních diagramů, lze i při použití regulačního diagramu CUSUM vybraný úsek procesu považovat za stabilní. Pouze 95. naměřená hodnota překročila dolní regulační mez. Jelikož je u tohoto procesu sledována pouze horní regulační mez, překročení dolní regulační meze není v tomto případě důležité. Dolní regulační mez je, jak již bylo napsáno výše, konstruována zejména pro možnost porovnávání jednotlivých regulačních diagramů. V regulačním diagramu CUSUM (viz obr. 14) zobrazují jednotlivé úsečky vypočtené hodnoty horní a dolní CUSUM. Čtverečky v obr. 14 zobrazují jednotlivé naměřené hodnoty, ke kterým se vztahuje vertikální osa vlevo od diagramu.



Obr. 14 Regulační diagram CUSUM pro individuální hodnoty (Statgraphics)

Regulační diagram EWMA

Třetím regulačním diagramem, který bude v této praktické části použit, je regulační diagram EWMA. I tento diagram bude použit k ověření stability procesu v daném úseku.

V tab. 6 je ukázka prvních deseti vypočítaných exponenciálních vážených klouzavých průměrů pro prvních deset naměřených hodnot zavírací rychlosti pátých dveří.

Tab. 6 Exponenciální vážený klouzavý průměr pro zavírací rychlost pátých dveří

pořadí i	x_i	z_i	UCL	LCL
1	0,98	0,930	0,980	0,847
2	0,90	0,922	0,996	0,830
3	1,12	0,972	1,004	0,822
4	0,96	0,969	1,009	0,818
5	0,85	0,939	1,011	0,816
6	0,88	0,924	1,012	0,814
7	0,95	0,931	1,013	0,814
8	0,98	0,943	1,013	0,813
9	0,94	0,942	1,013	0,813
10	0,87	0,924	1,014	0,813

V tab. 7 jsou zobrazeny parametry, které jsou potřebné pro konstrukci diagramu EWMA. Parametry λ a L jsou stanoveny pomocí charakteristiky $ARL(0)$ tak, aby $ARL(0)$ bylo u všech použitých diagramů přibližně 370. Avšak stanovení těchto dvou parametrů bude podrobněji popsáno v další části.

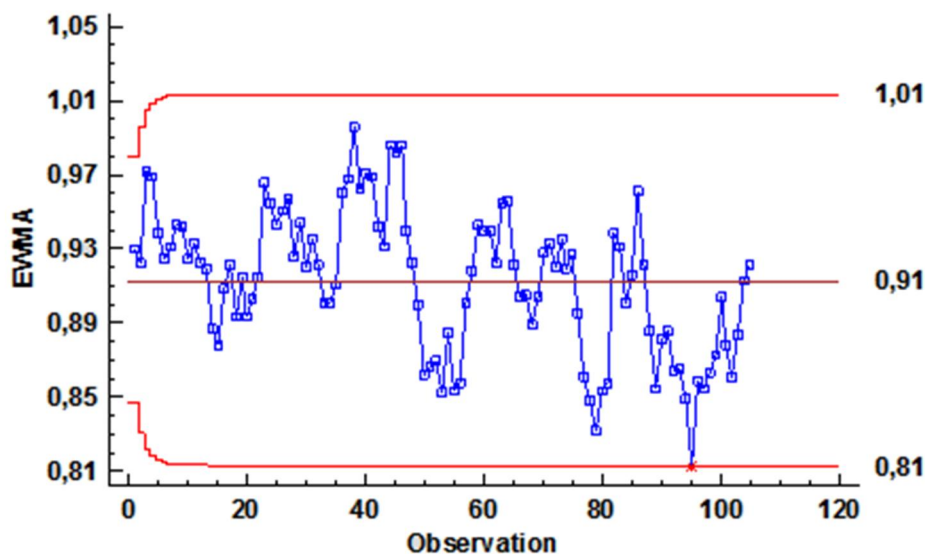
Tab. 7 Parametry potřebné pro další výpočty u EWMA diagramu

$\mu_0 = \bar{x} = z_0 = 0,91$	$\lambda = 0,25$
$\hat{\sigma} = 0,0916$	$L = 2,9$

Pro ukázkou jsou dále vypočteny exponenciální vážené klouzavé průměry pro první dvě naměřené hodnoty zavírací rychlosti pátých dveří. Také zde jsou pro ukázkou vypočteny regulační meze UCL a LCL pro první naměřenou hodnotu.

$$\begin{aligned}
 z_1 &= 0,25 \cdot 0,98 + (1 - 0,25) \cdot 0,91 & z_1 &= 0,930 \\
 z_2 &= 0,25 \cdot 0,90 + (1 - 0,25) \cdot 0,930 & z_2 &= 0,922 \\
 UCL_1 &= 0,91 + 2,9 \cdot 0,0916 \sqrt{\frac{0,25}{(2 - 0,25)} [1 - (1 - 0,25)^2]} & UCL_1 &= 0,980 \\
 LCL_1 &= 0,91 - 2,9 \cdot 0,0916 \sqrt{\frac{0,25}{(2 - 0,25)} [1 - (1 - 0,25)^2]} & LCL_1 &= 0,847
 \end{aligned}$$

V regulačním diagramu EWMA pro individuální hodnoty (viz obr. 15) je možné vidět, že opět 95. hodnota překročila dolní regulační mez, jako tomu bylo i u regulačního diagramu CUSUM. Stejně jako bylo napsáno výše, u tohoto procesu sledujeme pouze horní regulační mez. Překročení dolní regulační meze není tedy v tomto případě důležité a je možné prohlásit daný úsek procesu za stabilní. Jak je možné vidět na obr. 12, Shewhartův regulační diagram nezaznamenal překročení dolní regulační meze. Je tedy možné konstatovat, že regulační diagram CUSUM i regulační diagram EWMA jsou schopny zachytit i menší pohyby v procesu.



Obr. 15 Regulační diagram EWMA pro individuální hodnoty (Statgraphics)

7.3 Ověření normality

Ověření normálního rozdělení je nezbytnou součástí statistické regulace procesu. Jelikož jsou použity diagramy pro individuální hodnoty, je ověření platnosti předpokladu zvláště důležité. Přitom je možné využít větší množství testů a grafických metod, jak bylo napsáno v teoretické části této práce.

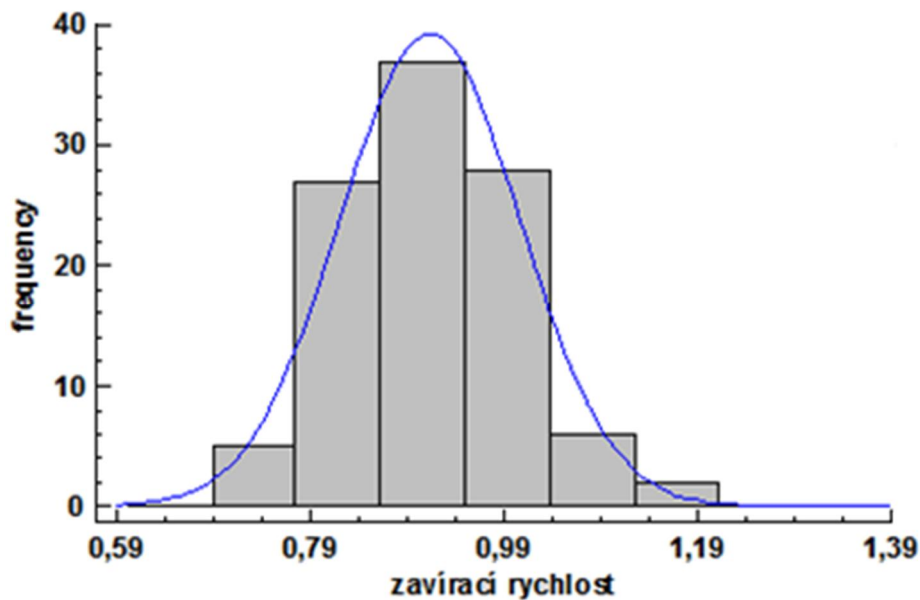
Pro ověření normality u naměřených hodnot závěrací rychlosti pátých dveří bude použit Shapiro-Wilkův test. Při rozhodování bude použita p-hodnota. Předpoklad normálního rozdělení považujeme za splněný, pokud je p-hodnota větší než 0,05. Pro zjištění p-hodnoty byl použit statistický software Statgraphics. Pomocí tohoto softwaru byla u vybraného úseku naměřených hodnot zjištěna p-hodnota 0,1556 (viz tab. 8). V tomto případě je tedy možné prohlásit, že naměřené hodnoty mají normální rozdělení.

Tab. 8 Shapiro-Wilkův test normálního rozdělení

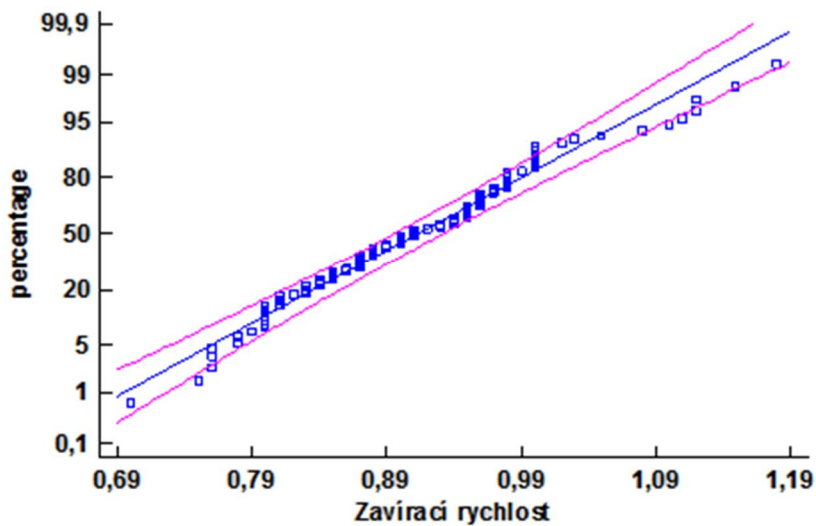
<i>Test</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Shapiro-Wilk W	0,97124	0,1556

Na obr. 16 je zobrazen histogram, jehož tvar přibližně kopíruje křivku normálního rozdělení.

I když v pravděpodobnostním grafu (viz obr. 17) není průběh bodů zcela lineární, vzhledem k výsledku Shapiro-Wilkova testu je možno předpoklad normálního rozdělení považován za splněný



Obr. 16 Histogram pro ověření normálního rozdělení (Statgraphics)



Obr. 17 Pravděpodobnostní graf (Statgraphics)

7.4 Ověření způsobilosti procesu

Proces zavírací rychlosti pátých dveří má specifikaci určenou pouze horní toleranční mezí. V tomto případě tedy není možné vypočítat všechny ukazatele způsobilosti procesu. Pro výpočet ukazatelů způsobilosti se využije odhad střední hodnoty a směrodatná odchylka z naměřených dat. Jako odhad střední hodnoty procesu bude použit průměr z naměřených hodnot.

$$\hat{\mu} = \bar{x} = 0,91$$

Odhad směrodatné odchylky σ lze vypočítat z následujícího vztahu.

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} = \frac{0,103}{1,128} = 0,0916$$

Jelikož je proces zavírací rychlosti pátých dveří omezen pouze shora, je možné v tomto případě vypočítat pouze ukazatel C_{pU} .

$$C_{pU} = \frac{USL - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}} \quad C_{pU} = \frac{1 - 0,91}{3 \cdot 0,0916}$$
$$C_{pU} = 0,327$$

Z výpočtu je zřejmé, že ukazatel C_{pU} dosahuje velice nízké hodnoty. Tento fakt je způsoben tím, že střední hodnota procesu je příliš blízko horní toleranční meze 1 m/s, a proto leží řada hodnot nad horní toleranční mezí, jak je zřejmé z obr. 11.

Cílová hodnota procesu

U zavírací rychlosti pátých dveří je stanovena pouze horní toleranční mezí procesu. Současná praxe je taková, že pokud tuto mezí naměřené hodnoty překonají, začne analýza daného procesu. Pokud je nalezena příčina, jsou zavedena nápravná opatření. Z důvodu častého překročení horní toleranční meze by se mělo změnit nastavení procesu. Cílem je určit cílovou hodnotu tak, aby byla horní toleranční mezí překročena pouze zřídka. Vyjde se přitom z modelu normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, kdy hodnotu μ chceme stanovit a σ^2 bylo odhadnuto již dříve (tab. 8). Pro výpočet je použit vztah pro ukazatel C_{pU} . Cílová hodnota μ_0 je stanovena tak, aby se hodnota ukazatele C_{pU} rovnala 1,33.

$$C_{pU} = \frac{USL - \mu_0}{3\hat{\sigma}} \quad 1,33 = \frac{1 - \mu_0}{3 \cdot 0,0916}$$

$$\mu_0 = 0,634$$

Dále parametr USL vyjadřuje stanovenou toleranční horní mez procesu 1 m/s. Nyní je možné pokračovat dále v následné konstrukci jednotlivých regulačních diagramů s využitím cílové střední hodnoty procesu $\mu_0=0,634$.

7.5 Konstrukce regulačních diagramů pro zavírací rychlost pátých dveří

Shewhartův regulační diagram

Nyní bude zkonstruován Shewhartův regulační diagram pro individuální hodnoty. Diagram bude zkonstruován na základě zadaných hodnot charakteristik. Pro konstrukci bude tedy použita vypočtená cílová střední hodnota procesu μ_0 .

Hodnoty centrální přímk, horní a dolní regulační meze jsou zobrazeny níže. Tyto hodnoty jsou následně použity při konstrukci Shewhartova regulačního diagramu pro individuální hodnoty. Pro výpočet byla nyní použita nově vypočítaná střední hodnota.

$$UCL = \mu_0 + \frac{3}{d_2} \overline{MR} \quad UCL = 0,634 + \frac{3}{1,128} 0,103 \quad UCL = 0,91$$

$$CL = \mu_0 \quad CL = 0,63$$

$$LCL = \mu_0 - \frac{3}{d_2} \overline{MR} \quad UCL = 0,634 - \frac{3}{1,128} 0,103 \quad LCL = 0,36$$

Hodnota centrální přímk a horní a dolní regulační meze diagramu pro klouzavá rozpětí jsou uvedeny níže. Jelikož nedošlo k žádným zásahům do procesu, jsou vypočítané hodnoty totožné s hodnotami v kapitole 9.2 Analýza stability procesu. Není nutné znovu konstruovat diagram pro klouzavé rozpětí, jelikož je jeho podoba totožná s diagramem na obr. 13. Jeho vypovídací schopnost je tedy popsána již výše.

$$UCL = D_4 \overline{MR} \quad UCL = 3,267 \cdot 0,103 \quad UCL = 0,34$$

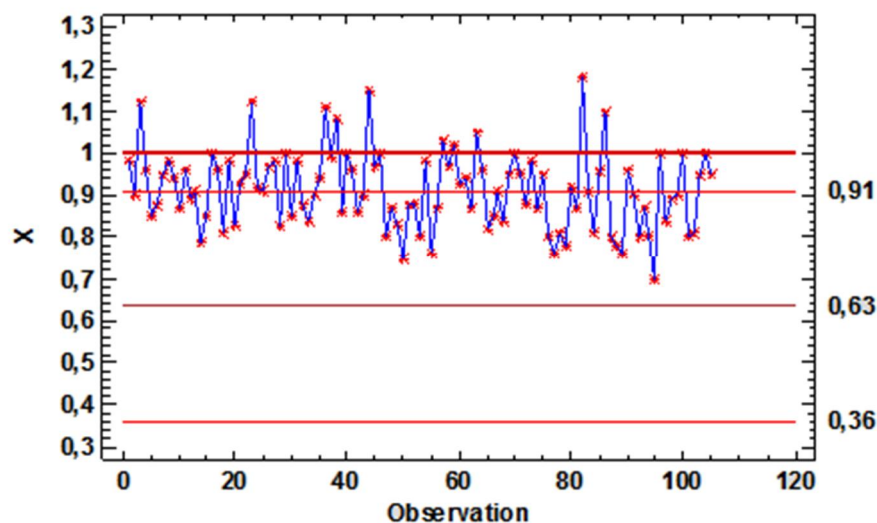
$$CL = \overline{MR} \quad CL = 0,10$$

$$LCL = D_3 \overline{MR} \quad UCL = 0,000 \cdot 0,103 \quad LCL = 0,00$$

Na obr. 18 je zkonstruován regulační diagram pomocí stanovených charakteristik pro daný proces. Jak je možné vidět, proces zavírací rychlosti pátých dveří je celý posunutý směrem nahoru od cílové střední hodnoty. Hodnoty velice často přesahují horní regulační mez. Z tohoto pohledu tedy proces není pod kontrolou a je nutné docílit jeho posunutí směrem dolů. Horní regulační mez UCL vzdálená 3σ od centrální přímky dosahuje hodnoty 0,91, nachází se tedy pod horní toleranční mezí 1 m/s stanovenou specifikací. V obr. 18 je toleranční mez 1 m/s vyznačena zvýrazněnou horizontální linií. Pokud tedy proces překročí horní regulační mez UCL , signalizuje možný posun střední hodnoty, a tedy existenci zvláštní příčiny. Je nutné nalézt zvláštní příčinu a provést potřebná opatření k jejímu odstranění.

Některé body leží nad toleranční mezí, v tomto případě se jedná o neshodné kusy, které by se neměly dostat k zákazníkovi.

Pokud by byla hned u první hodnoty, která se nachází nad UCL odstraněna zvláštní příčina, nedošlo by k následnému překročení toleranční meze.



Obr. 18 Shewhartův regulační diagram pro individuální hodnoty (Statgraphics)

Nyní bude podrobněji popsána konstrukce regulačních diagramů CUSUM a EWMA s využitím charakteristiky $ARL(\delta)$. Charakteristika $ARL(\delta)$, neboli průměrná délka přeběhu, byla popsána v teoretické části této diplomové práce, konkrétně v části Shewhartovy regulační diagramy.

Vzdálenost posunu střední hodnoty procesu se označí

$$\delta = \frac{\mu - \mu_0}{\sigma},$$

kde μ vyjadřuje střední hodnotu po posunutí procesu, μ_0 cílovou střední hodnotu a σ vyjadřuje velikost směrodatné odchylky. Je zřejmé, že velikost posunu střední hodnoty δ je udávána v násobcích směrodatné odchylky σ .

Hodnoty charakteristiky *ARL* pro různá δ jsou pro Shewhartův regulační diagram, jehož regulační meze jsou zkonstruovány ve vzdálenosti 3σ od centrální přímky vypočteny v tab. 9. V tomto případě je hodnota *ARL*(0) při nulovém posunu rovna 370. To znamená, že pokud je proces pod statistickou kontrolou, bude generovat v průměru za každých 370 měření jednu hodnotu mimo regulační meze. Pokud však dojde k posunu procesu ve vzdálenosti $\delta = 1,5$ směrem nahoru nebo dolů, poté je *ARL*(1,5) rovno 14,97. To znamená, že diagram bude signalizovat v průměru za 15 pozorování, že se proces posunul (viz tab. 9). Pro výpočet hodnot charakteristiky *ARL* byly použity vzorce (8) a (9) z teoretické části.

Tab. 9 *ARL* při různých posunech procesu pro Shewhartův regulační diagram

δ	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
<i>ARL</i> (δ)	370	43,89	14,97	6,30	3,24	2,00

Hodnota charakteristiky *ARL*(δ) u jednotlivých regulačních diagramů použitých v této práci je důležitá. Je nutné zajistit, aby hodnoty charakteristiky *ARL*(0) byly u všech použitých regulačních diagramů stejné. Musí být tedy zajištěno aby *ARL*(0) dosahovalo u všech třech regulačních diagramů hodnoty 370. Pokud bude tato hodnota u všech regulačních diagramů stejná, je možné tyto diagramy následně porovnávat.

Regulační diagram CUSUM

Nyní bude zkonstruován tabelární diagram CUSUM. Stejně jako tomu bylo u Shewhartových regulačních diagramů, tak i nyní budou pro konstrukci použity charakteristiky procesu, které jsou předem stanoveny.

V tab. 10 je ukázka výpočtů prvních deseti hodnot horního a dolního tabelárního CUSUM pro konstrukci regulačního diagramu CUSUM. Tab. 10 se liší od předcházející, jelikož byla pro výpočty použita nová cílová hodnota. Parametry K a H se však nemění.

Tab. 10 Výpočet prvních deseti hodnot statistiky CUSUM

pořadí i	x_i	$x_i - 0,6798$	C_1^+	N^+	H	$0,588 - x_i$	C_1^-	N^-	H
1	0,98	0,30	0,30	1	0,44	-0,39	0	0	-0,44
2	0,90	0,22	0,52	2	0,44	-0,31	0	0	-0,44
3	1,12	0,44	0,96	3	0,44	-0,53	0	0	-0,44
4	0,96	0,28	1,24	4	0,44	-0,37	0	0	-0,44
5	0,85	0,17	1,41	5	0,44	-0,26	0	0	-0,44
6	0,88	0,20	1,61	6	0,44	-0,29	0	0	-0,44
7	0,95	0,27	1,88	7	0,44	-0,36	0	0	-0,44
8	0,98	0,30	2,18	8	0,44	-0,39	0	0	-0,44
9	0,94	0,26	2,44	9	0,44	-0,35	0	0	-0,44
10	0,87	0,19	2,63	10	0,44	-0,28	0	0	-0,44

V tab. 11 jsou zobrazeny stanovené parametry procesu dále potřebné pro další výpočty hodnot a ke konstrukci regulačního diagramu CUSUM.

Tab. 11 Parametry potřebné pro další výpočty CUSUM

$\mu_0 = 0,634$	$k = 0,5$
$\hat{\sigma} = 0,091636$	$h = 4,78$

Parametry k a h jsou stanoveny na základě charakteristiky $ARL(0)$. Charakteristika $ARL(\delta)$ u procesu pod kontrolou, tedy $ARL(0)$ by měl dosahovat hodnoty co nejvíce se blížíci hodnotě 370, při nulovém posunu procesu. Tyto parametry byly stanoveny interaktivně pomocí softwaru Statgraphics, který zobrazuje, jaké hodnoty dosahuje $ARL(0)$ při různých hodnotách parametrů k a h . Pomocí Statgraphicsu bylo tedy možné pro obvykle volenou hodnotu 0,5 parametru k , stanovit hodnotu parametru h tak, aby hodnota charakteristiky $ARL(0)$ pro CUSUM regulační diagram byla co nejbližší 370 (viz tab 12).

Tab. 12 Parametry k , h a odpovídající hodnota $ARL(0)$

k	h	ARL_0
0,5	4,78	372,6

Parametry K a H potřebné pro zkonstruování regulačního diagramu CUSUM jsou zobrazeny v tab. 13. Parametr K je potřebný pro výpočet horního a dolního CUSUM, parametr H určuje regulační meze pro regulační diagram CUSUM. Překročení těchto regulačních mezí indikuje posun střední hodnoty procesu.

Tab. 13 Vypočtené parametry K a H pro regulační diagram CUSUM

$K = 0,5 \cdot 0,0916$	0,05
$H = 4,78 \cdot 0,0916$	0,44

Ukázka výpočtů prvních hodnot horního a dolního CUSUM je zobrazena níže.

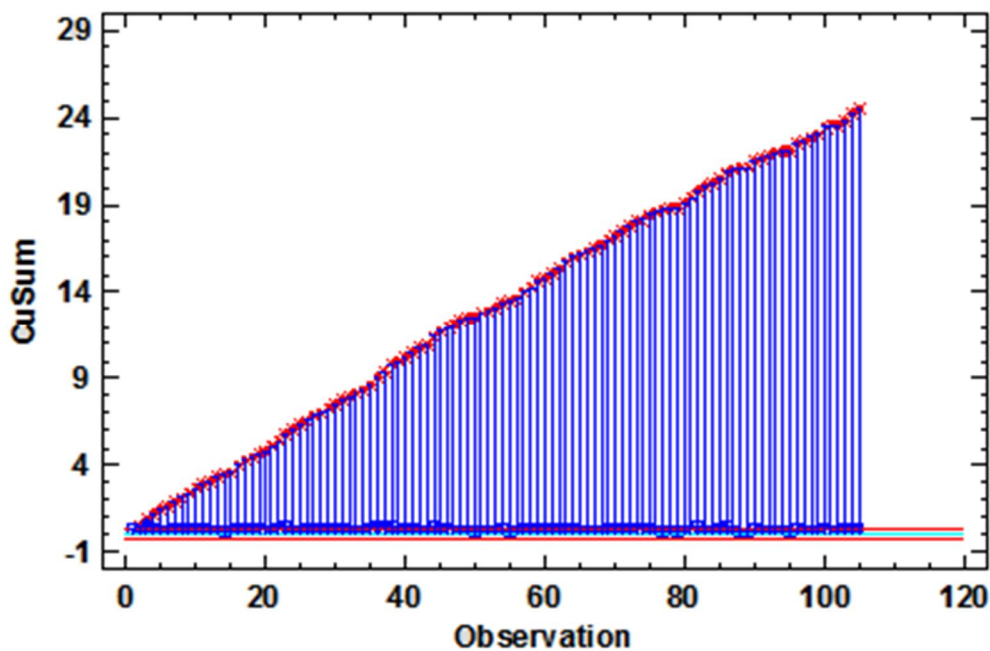
$$C_1^+ = \max[0,98 - (0,634 + 0,05) + 0] \quad C_1^+ = 0,29$$

$$C_1^- = \max[(0,634 - 0,05) - 0,98 + 0] \quad C_1^- = 0,00$$

V obr. 19 je zkonstruován regulační diagram CUSUM pro individuální hodnoty. Tento diagram je zkonstruován na základě stanovených charakteristik pro daný proces. Jak je možné vidět v tab. 10 a v obr. 19 hned druhá naměřená hodnota překročí horní regulační mez. Toto je signál, že došlo k posunutí střední hodnoty procesu směrem nahoru. Z obr. 19 je zřejmé, že celý proces je posunut směrem nahoru a z tohoto důvodu horní CUSUM neustále lineárně roste. Mělo by tedy dojít k zásahu do procesu a k jeho navrácení zpět k cílové střední hodnotě.

Pokud dojde k překročení regulační meze a tedy k signálu, že došlo k posunutí střední hodnoty procesu, je možné vypočítat tuto novou střední hodnotu procesu pomocí vzorce (17), který je uveden v teoretické části. Výpočet této nové střední hodnoty procesu může být přínosný při rozhodování o možném zásahu do procesu. Pro výpočet nové střední hodnoty je použita cílová střední hodnota procesu $\mu_0 = 0,634$, parametr $K = 0,05$ a dále také horní CUSUM = 0,52 a $N^* = 2$ pro druhou naměřenou hodnotu, u které došlo k překročení regulační meze.

$$\hat{\mu} = 0,634 + 0,05 + \frac{0,52}{2} \quad 0,945$$



Obr. 19 Regulační diagram CUSUM

Nová střední hodnota procesu, jejíž výpočet je zobrazen výše dosahuje hodnoty 0,945. Nyní, když je známa nová střední hodnota procesu, je nutné provést zásahy do procesu, které by navrátily proces zpět k cílové střední hodnotě procesu μ_0 .

Charakteristika $ARL(\delta)$, neboli průměrná doba přeběhu, nabývá u regulačního diagramu CUSUM jiných hodnot než u Shewhartova regulačního diagramu. Jelikož regulační diagram CUSUM je schopen zachytit i menší pohyby v procesu než $1,5\sigma$, dosahuje charakteristika $ARL(\delta)$ menších hodnot než u Shewhartových regulačních diagramů. Při posunu procesu ve vzdálenosti $\delta = 1,5$ směrem nahoru nebo dolů bude charakteristika $ARL(1,5)$ rovna 5,50 (viz tab. 14). To znamená, že při posunu procesu ve vzdálenosti $\delta = 1,5$ bude proces signalizovat v průměru za každých 5,50 naměřených hodnot, že se proces posunul. V případě Shewhartových regulačních diagramů bylo $ARL(1,5)$ rovno 14,97. Je tedy vidět, že regulační diagram CUSUM vykazuje změny v procesu daleko dříve než Shewhartovy regulační diagramy. Hodnoty v tab. 14 odpovídají regulačnímu diagramu CUSUM zkonstruovanému výše. Pro výpočet jednotlivých hodnot ARL

byl použit software Statgraphics. Tento software je schopen vypočítat hodnoty charakteristiky $ARL(\delta)$ při zadání parametrů k a h a vzdálenosti posunu v procesu.

Tab. 14 ARL při různých posunech procesu pro regulační diagram CUSUM

δ	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$ARL(\delta)$	372,6	9,9	5,5	3,90	3,00	2,50

EWMA regulační diagram

Posledním regulačním diagramem, který bude pro vybraný proces zkonstruován, je EWMA regulační diagram. Nyní bude EWMA regulační diagram konstruován na základě zadaných hodnot charakteristik pro daný proces.

V tab. 15 je ukázka prvních deseti vypočtených exponenciálních vážených klouzavých průměrů a horní a dolní regulační meze. Tyto hodnoty jsou následně použity pro konstrukci EWMA regulačního diagramu.

Tab. 15 Vypočtené hodnoty EWMA a horní a dolní regulační meze

pořadí i	x_i	z_i	UCL	LCL
1	0,98	0,721	0,700	0,568
2	0,90	0,765	0,717	0,551
3	1,12	0,854	0,725	0,543
4	0,96	0,881	0,729	0,539
5	0,85	0,873	0,732	0,536
6	0,88	0,875	0,733	0,535
7	0,95	0,894	0,734	0,534
8	0,98	0,915	0,734	0,534
9	0,94	0,921	0,734	0,534
10	0,87	0,909	0,734	0,534

Nejprve je nutné stanovit parametry pro následné výpočty a konstrukci EWMA regulačního diagramu (viz tab. 16).

Tab. 16 Stanovené parametry pro další výpočty exponenciálních vážených klouzavých průměrů

$\mu_0 = 0,634$	$\lambda = 0,25$
$\hat{\sigma} = 0,091636$	$L = 2,9$

Parametry λ a L jsou stanoveny pomocí charakteristiky $ARL(\delta)$ tak, aby hodnota $ARL(0)$ byla co nejbližší 370. Tento krok je nutný k následnému porovnávání jednotlivých regulačních diagramů, kdy $ARL(0)$ musí být u všech porovnávaných regulačních diagramů co nejbližší hodnotě 370. K samotnému stanovení parametrů λ a L , byl použit obr. 7 a obr. 8 z teoretické části. V tomto případě se požaduje, aby byl detekován posun střední hodnoty procesu o velikosti $1,5\sigma$. Postup samotného stanovení parametrů λ a L je popsán v teoretické části. V tab. 17 jsou tedy zobrazeny parametry λ a L , pro které je hodnota při nulovém posunu procesu $ARL(0)$ co nejbližší 370.

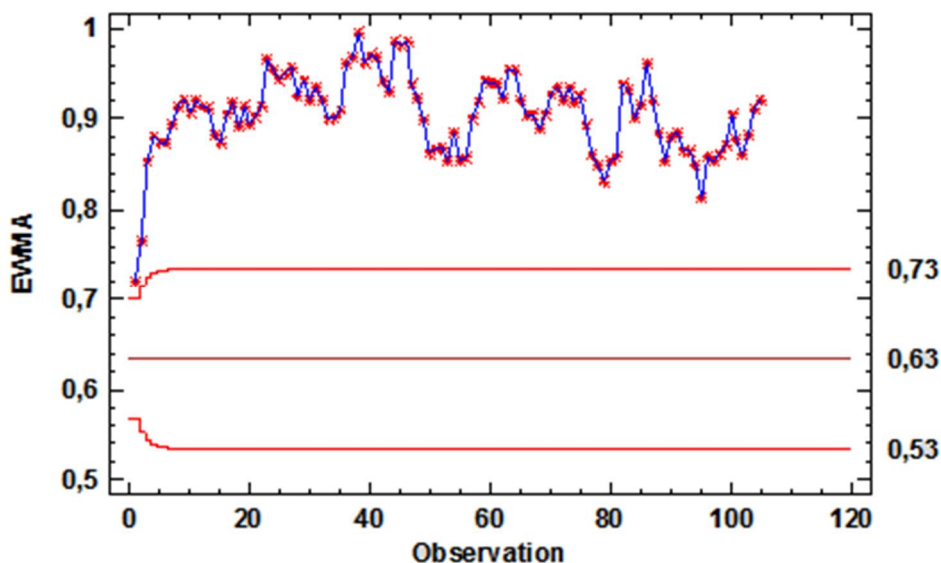
λ	L	$ARL(0)$
0,25	2,9	372,6

Tab. 17 Parametry λ , L a odpovídající hodnota $ARL(0)$

Ukázka výpočtů prvních dvou exponenciálních vážených klouzavých průměrů a také výpočtů prvních hodnot horní a dolní regulační meze jsou uvedeny níže.

$$\begin{aligned}
 z_1 &= 0,25 \cdot 0,98 + (1 - 0,25) \cdot 0,634 & z_1 &= 0,721 \\
 z_2 &= 0,25 \cdot 0,90 + (1 - 0,25) \cdot 0,721 & z_2 &= 0,765 \\
 UCL_1 &= 0,634 + 2,9 \cdot 0,0916 \sqrt{\frac{0,25}{(2 - 0,25)} [1 - (1 - 0,25)^2]} & UCL_1 &= 0,700 \\
 LCL_1 &= 0,634 - 2,9 \cdot 0,0916 \sqrt{\frac{0,25}{(2 - 0,25)} [1 - (1 - 0,25)^2]} & LCL_1 &= 0,568
 \end{aligned}$$

V regulačním diagramu EWMA je opět možné vidět, že celý proces je posunutý směrem nahoru (viz obr. 20). Již první naměřená hodnota je umístěna nad horní regulační mezí. Je tedy možné tvrdit, že tento proces není pod statistickou kontrolou. Je nutné provést nezbytná opatření pro navrácení procesu zpět k cílové střední hodnotě. U regulačního diagramu EWMA jsou regulační meze vypočítávány z každé nové naměřené hodnoty, jak je možné vidět v tab. 15 a také v obr. 20. Regulační meze se postupně rozevírají, až dosáhnou konstantní hodnoty.



Obr. 20 EWMA regulační diagram pro individuální hodnoty

Regulační diagram EWMA bude nyní analyzován pomocí charakteristiky $ARL(\delta)$. V tab. 18 jsou zobrazeny hodnoty charakteristiky $ARL(\delta)$ pro jednotlivé posuny v procesu. Hodnoty charakteristiky $ARL(\delta)$ jsou vypočteny pomocí softwaru Statgraphics. Tyto hodnoty samozřejmě odpovídají parametrům, které jsou stanoveny výše. Zobrazené hodnoty charakteristiky $ARL(\delta)$ odpovídají výše zkonstruovanému diagramu. Jak je v tab. 18 možné vidět, $ARL(\delta)$ při nulovém posunu procesu, tedy $ARL(0)$, nabývá hodnoty blížíící se 370. Při posunu procesu ve vzdálenosti $\delta = 1,5$ je hodnota ARL rovna 5,2. Tato hodnota znamená, že při posunu střední hodnoty procesu o $\delta = 1,5$ bude proces signalizovat v průměru po 5 naměřených hodnotách, že se proces posunul. Je tedy možné konstatovat, že regulační diagram EWMA má velice podobnou vypovídací schopnost jako regulační diagram CUSUM. Avšak při porovnávání regulačního diagramu EWMA a regulačního diagramu CUSUM, je regulační diagram EWMA schopen rychleji signalizovat posun procesu. Charakteristika $ARL(\delta)$ nabývá menších hodnot než Shewhartovy regulační diagramy, jelikož je EWMA regulační diagram schopen zachytit i menší pohyby v procesu

Tab. 18 Hodnoty ARL pro jednotlivé posuny procesu digramu EWMA

δ	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$ARL(\delta)$	370,6	10,30	5,20	3,50	2,70	2,20

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo sestrojení regulačního diagramu, který by pomohl regulovat proces zavírací rychlosti pátých dveří. Na základě tohoto požadavku byly sestrojeny tři různé regulační diagramy. Všechny tyto tři regulační diagramy mohou být použity pro regulaci vybraného procesu. Avšak každý z těchto regulačních diagramů má své výhody a nevýhody a nyní bude vybrán ten nejvhodnější pro vybraný proces. Aby však bylo možné plně využívat funkci regulačních diagramů, je nutné především navrátit proces pod kontrolu.

Nejprve je tedy nutné provést nezbytné zásahy do procesu. Proces se po delší dobu nachází nad horní toleranční mezí. Regulační diagramy od začátku signalizují proces mimo kontrolu. Jelikož nebyla známa cílová střední hodnota procesu μ_0 , bylo pro pracovníky obtížné zasahovat do procesu a tím dosáhnout jeho kontroly. Na základě požadované hodnoty ukazatele C_{pU} byla odvozena cílová střední hodnota procesu μ_0 . Cílová střední hodnota procesu μ_0 určuje, jak má být proces zavírací rychlosti pátých dveří nastaven. Nyní bude záležet na pracovnících oddělení kvality, aby nasadili dostatečná opatření k navrácení procesu do blízkosti této hodnoty. Je však nutné vzít na vědomí, že do procesu zasahuje větší množství vlivů (viz obr. 12). V minulosti již došlo k zavádění různých opatření, avšak jejich vliv byl spíše dočasný. V současné době opět dochází k podrobné analýze tohoto procesu. Dodavatelé se závázali dodat nové změkčené těsnění, které by mělo snížit zavírací rychlost pátých dveří. Zamezení chybného lícování pátých dveří při jejich montáži je v současnosti druhým opatřením, které je zaváděno. Pokud by se pracovníkům povedlo dostat proces pod kontrolu, ukazatel způsobilosti C_{pU} by dosahoval hodnoty 1,33.

Regulační diagramy popsané v této práci bude možné použít v druhé etapě SPC, kdy se předpokládá, že velké posuny způsobené zvláštními příčinami nenastávají. Prvním je Shewhartův regulační diagram. Zkonstruování Shewhartova regulačního diagramu je ze všech tří možností nejjednodušší. Avšak použitelnost Shewhartových regulačních je velice omezená. Shewhartovy regulační diagramy jsou schopny rychle zachytit pohyby procesu větší než $1,5\sigma$. Toto tvrzení je možné ověřit pomocí charakteristiky $ARL(\delta)$. Při posunu procesu o $1,5\sigma$ dosahuje ARL hodnoty 15.

V druhé etapě je možné předpokládat, že pohyby v procesu budou spíše menší než $1,5\sigma$. Z tohoto důvodu by byly pro proces zavírací rychlosti pátých dveří vhodnější spíše následující dva regulační diagramy.

EWMA regulační diagram a regulační diagram CUSUM jsou schopny zaznamenat pohyby v procesu, které jsou menší než $1,5\sigma$. Charakteristika ARL pro tyto dva regulační diagramy dosahuje při posunech v procesu menších než $1,5\sigma$ hodnot, které jsou o mnoho menší než u Shewhartových regulačních diagramů. To znamená, že EWMA regulační diagram a regulační diagram CUSUM signalizuje posun střední hodnoty mnohem rychleji než Shewhartův regulační diagram. Při posunu procesu o $1,5\sigma$ dosahuje hodnota ARL u obou regulačních diagramů přibližně 5. Je tedy možné tvrdit, že EWMA regulační diagram a regulační diagram CUSUM signalizují hodnotu mimo regulační meze třikrát rychleji než Shewhartův regulační diagram. U procesu zavírací rychlosti pátých dveří, bude tedy vhodné aplikovat jeden z těchto dvou regulačních diagramů.

Jelikož je účinnost těchto dvou regulačních diagramů téměř totožná, bude vybrán ten, který je jednodušší zkonstruovat a je tedy pro uživatele snadnější. Z hlediska konstrukce je EWMA regulační diagram jednodušší. Také přehlednost samotného diagramu je pro uživatele mnohem příjemnější. Regulační diagram CUSUM má jedinou výhodu v možném výpočtu nové střední hodnoty, vzniklé posunem procesu. I přes tuto skutečnost bude v tomto případě doporučen EWMA regulační diagram.

EWMA regulační diagram budou moci pracovní oddělení kvality využívat pro důkladnější kontrolu procesu. Pomocí tohoto diagramu budou zaměstnanci schopni prostřednictvím signálů odhadovat budoucí vývoj procesu zavírací rychlosti pátých dveří.

Seznam literatury

Crowder, S. V. *Design of Exponentially Weighted Moving Average Schemes*. Journal of Quality Technology. 1989, 21 (3), str. 155–162. 1989

ČSN ISO 8258:1994 *Shewhartovy regulační diagramy*.

ČSN ISO 7870-1:2010 *Regulační diagramy – Část 1: Všeobecné pokyny*.

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

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

ISO/TR 7871:1997 *Cumulative sum charts – Guidance on quality control and data analysis using CUSUM techniques*.

JAROŠOVÁ, Eva. *Statistické metody řízení jakosti pro kombinovanou formu studia*. Vyd. 1. Mladá Boleslav: Škoda Auto Vysoká škola, 2011. ISBN 978-80-87042-37-3.

KOTZ, S., JOHNSON, N. L. *Process Capability Indices*. 1. vyd. London: Chapman and Hall, 1993. ISBN 0-412-54380-7

MONTGOMERY, D. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6. vyd. Hoboken: John Wiley and Sons, 2009. ISBN 978-0470-23397-9.

Normální rozdělení [online]. VŠE Praha [cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: <http://iastat.vse.cz/Normalni.htm>

OAKLAND, J. *Statistical Process Control*. 5. vyd. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-5766-9.

PEIHUA, Q. *Introduction to Statistical Process Control*. Chapman and Hall/CRC, 2013. ISBN 978-1-4398-4799-2.

RYAN, T. P. *Statistical methods for quality improvement*. 3. vyd. Hoboken: John Wiley and Sons, Inc, 2011. ISBN 978-0-470-59074-4.

VEBER, J. a kol. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0194-4

STATGRAPHICS Distribution Fitting (Uncensored Data). United States of America, 2/13/2014.

Úvod do regresní analýzy [online]. StatSoft [cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2014_26_03_StatSoft_Uvod_do_regresni_analyzy.pdf

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti (Statgraphics).....	14
Obr. 2 Histogram	17
Obr. 3 Diagram stability	17
Obr. 4 Ukázka regulačního diagramu	21
Obr. 5 Typické V-Mask schéma	29
Obr. 6 Ukázka dat pro EWMA a ukázka EWMA regulačního diagramu (Statgraphics).....	31
Obr. 7 Nomogram pro určení parametru λ	32
Obr. 8 Nomogram pro určení parametru L	32
Obr. 9a) způsobilý proces a 9b) nezpůsobilý proces.....	34
Obr. 10 Ishikawův diagram vlivů na komfort zavírání pátých dveří.....	38
Obr. 11 Naměřené hodnoty zavírací rychlosti pátých dveří.....	42
Obr. 12 Diagram pro individuální hodnoty (Statgraphics).....	44
Obr. 13 Diagram pro klouzavé rozpětí (Statgraphics)	44
Obr. 14 Regulační diagram CUSUM pro individuální hodnoty (Statgraphics)	47
Obr. 15 Regulační diagram EWMA pro individuální hodnoty (Statgraphics)	49
Obr. 16 Histogram pro ověření normálního rozdělení (Statgraphics)	50
Obr. 17 Pravděpodobnostní graf (Statgraphics)	50
Obr. 18 Shewhartův regulační diagram pro individuální hodnoty (Statgraphics)..	53
Obr. 19 Regulační diagram CUSUM	57
Obr. 20 EWMA regulační diagram pro individuální hodnoty.....	60

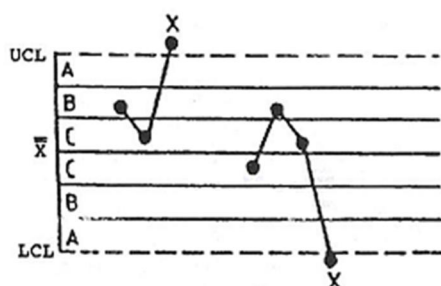
Seznam tabulek

Tab. 1 Ukázka dat pro CUSUM	26
Tab. 2 Příklad dat pro tabelární diagram CUSUM	28
Tab. 3 CUSUM pro zavírací rychlost pátých dveří.....	45
Tab. 4 Parametry potřebné pro další výpočty.....	45
Tab. 5 Vypočtené parametry K a H pro regulační diagram CUSUM	46
Tab. 6 Exponenciální vážený klouzavý průměr pro zavírací rychlost pátých dveří	47
Tab. 7 Parametry potřebné pro další výpočty u EWMA diagramu	48
Tab. 8 Shapiro-Wilkův test normálního rozdělení.....	49
Tab. 9 ARL při různých posunech procesu pro Shewhartův regulační diagram ...	54
Tab. 10 Vypočet prvních deseti hodnot statistiky CUSUM	55
Tab. 11 Parametry potřebné pro další výpočty CUSUM.....	55
Tab. 12 Parametry k, h a odpovídající hodnota ARL(0).....	55
Tab. 13 Vypočtené parametry K a H pro regulační diagram CUSUM	56
Tab. 14 ARL při různých posunech procesu pro regulační diagram CUSUM.....	58
Tab. 15 Vypočtené hodnoty EWMA a horní a dolní regulační meze	58
Tab. 16 Stanovené parametry pro další výpočty exponenciálních vážených klouzavých průměrů	58
Tab. 17 Parametry λ , L a odpovídající hodnota ARL(0).....	59
Tab. 18 Hodnoty ARL pro jednotlivé posuny procesu digramu EWMA	61

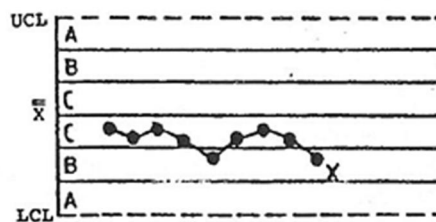
Seznam příloh

Příloha č. 1 Testy seskupení pro vymežitelné příčiny kolísání	68
Příloha č. 2 Součinitele pro regulační meze	69
Příloha č. 3 Data z vybraného úseku.....	70

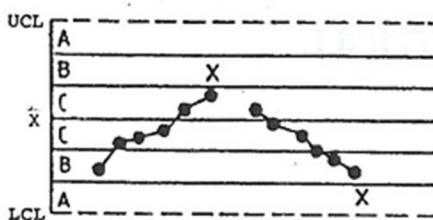
Příloha č. 1 Testy seskupení pro vymežitelné příčiny kolísání



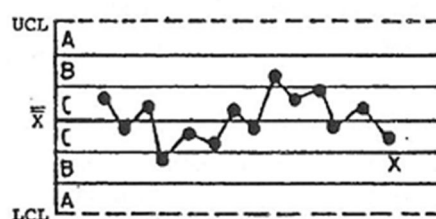
Test 1: Jeden bod leží za zónou A



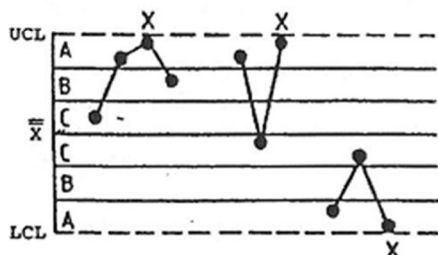
Test 2: Devět bodů v řadě za sebou leží v zóně C nebo za ní



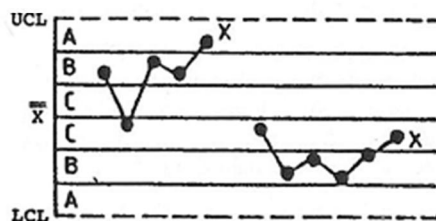
Test 3: Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících



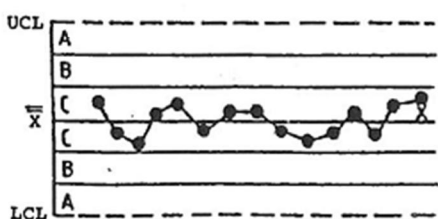
Test 4: Čtrnáct bodů v řadě za sebou pravidelně kolísá nahoru a dolů



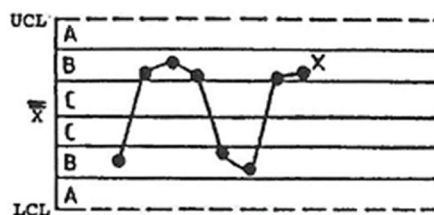
Test 5: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni



Test 6: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo na ní



Test 7: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)



Test 8: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách od centrální přímkou, avšak žádný bod neleží v zóně C

Příloha č. 2 Součinitele pro regulační meze

Rozsah podskupiny n	Součinitele pro regulační meze										Součinitele pro centrální průměr				
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,797 9	1,253 3	1,128	0,886 5
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,886 2	1,128 4	1,693	0,590 7
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,921 3	1,085 4	2,059	0,485 7
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,940 0	1,063 8	2,326	0,429 9
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,951 5	1,051 0	2,534	0,394 6
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959 4	1,042 3	2,704	0,369 8
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965 0	1,036 3	2,847	0,351 2
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969 3	1,031 7	2,970	0,336 7
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,972 7	1,028 1	3,078	0,324 9
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975 4	1,025 2	3,173	0,315 2
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,977 6	1,022 9	3,258	0,306 9
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979 4	1,021 0	3,336	0,299 8
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981 0	1,019 4	3,407	0,293 5
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982 3	1,018 0	3,472	0,288 0
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,983 5	1,016 8	3,532	0,283 1
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,984 5	1,015 7	3,588	0,278 7
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,985 4	1,014 8	3,640	0,274 7
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,986 2	1,014 0	3,689	0,271 1
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,986 9	1,013 3	3,735	0,267 7
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,987 6	1,012 6	3,778	0,264 7
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,988 2	1,011 9	3,819	0,261 8
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,988 7	1,011 4	3,858	0,259 2
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,989 2	1,010 9	3,895	0,256 7
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,989 6	1,010 5	3,931	0,254 4

Pramen: ASTM, Philadelphia, PA, USA.

Příloha č. 3 Data z vybraného úseku

	Datum	Požadavek páté dveře	páté dveře
	KT	m/s	m/s
1.	45 KT/14	1,00	0,98
2.	46 KT/14	1,00	0,90
3.	46 KT/14	1,00	1,12
4.	47 KT/14	1,00	0,96
5.	47 KT/14	1,00	0,85
6.	48 KT	1,00	0,88
7.	48 KT	1,00	0,95
8.	49 KT	1,00	0,98
9.	49 KT	1,00	0,94
10.	50 KT	1,00	0,87
11.	50 KT	1,00	0,96
12.	51 KT	1,00	0,89
13.	51 KT	1,00	0,91
14.	8.1.15	1,00	0,79
15.	8.1.15	1,00	0,85
16.	14.1.15	1,00	1,00
17.	15.1.15	1,00	0,96
18.	15.1.15	1,00	0,81
19.	15.1.15	1,00	0,98
20.	15.1.15	1,00	0,83
21.	16.1.15	1,00	0,93
22.	16.1.15	1,00	0,95
23.	19.1.15	1,00	1,12
24.	19.1.15	1,00	0,92
25.	19.1.15	1,00	0,91
26.	19.1.15	1,00	0,97
27.	19.1.15	1,00	0,98
28.	19.1.15	1,00	0,83
29.	20.1.15	1,00	1,00
30.	20.1.15	1,00	0,85
31.	20.1.15	1,00	0,98
32.	20.1.15	1,00	0,88
33.	20.1.15	1,00	0,84
34.	20.1.15	1,00	0,90
35.	21.1.15	1,00	0,94
36.	21.1.15	1,00	1,11
37.	21.1.15	1,00	0,99
38.	21.1.15	1,00	1,08
39.	21.1.15	1,00	0,86
40.	21.1.15	1,00	1,00
41.	22.1.15	1,00	0,96
42.	22.1.15	1,00	0,86
43.	22.1.15	1,00	0,90
44.	22.1.15	1,00	1,15
45.	22.1.15	1,00	0,97
46.	22.1.15	1,00	1,00
47.	23.1.15	1,00	0,80
48.	23.1.15	1,00	0,87
49.	23.1.15	1,00	0,83
50.	23.1.15	1,00	0,75
51.	23.1.15	1,00	0,88
52.	23.1.15	1,00	0,88
53.	24.1.15	1,00	0,80
54.	24.1.15	1,00	0,98
55.	29.1.15	1,00	0,76

	Datum	Požadavek páté dveře	páté dveře
	KT	m/s	m/s
56.	29.1.15	1,00	0,87
57.	28.1.15	1,00	1,03
58.	28.1.15	1,00	0,97
59.	28.1.15	1,00	1,02
60.	28.1.15	1,00	0,93
61.	28.1.15	1,00	0,94
62.	28.1.15	1,00	0,87
63.	28.1.15	1,00	1,05
64.	2.2.15	1,00	0,96
65.	2.2.15	1,00	0,82
66.	2.2.15	1,00	0,85
67.	2.2.15	1,00	0,91
68.	2.2.15	1,00	0,84
69.	2.2.15	1,00	0,95
70.	3.2.15	1,00	1,00
71.	3.2.15	1,00	0,95
72.	3.2.15	1,00	0,88
73.	3.2.15	1,00	0,98
74.	3.2.15	1,00	0,87
75.	3.2.15	1,00	0,95
76.	3.2.15	1,00	0,80
77.	4.2.15	1,00	0,76
78.	4.2.15	1,00	0,81
79.	4.2.15	1,00	0,78
80.	4.2.15	1,00	0,92
81.	4.2.15	1,00	0,87
82.	4.2.15	1,00	1,18
83.	5.2.15	1,00	0,91
84.	5.2.15	1,00	0,81
85.	5.2.15	1,00	0,96
86.	5.2.15	1,00	1,10
87.	5.2.15	1,00	0,80
88.	5.2.15	1,00	0,78
89.	6.2.15	1,00	0,76
90.	6.2.15	1,00	0,96
91.	6.2.15	1,00	0,90
92.	6.2.15	1,00	0,80
93.	6.2.15	1,00	0,87
94.	6.2.15	1,00	0,80
95.	7.2.15	1,00	0,70
96.	7.2.15	1,00	1,00
97.	9.2.15	1,00	0,84
98.	9.2.15	1,00	0,89
99.	9.2.15	1,00	0,90
100.	9.2.15	1,00	1,00
101.	9.2.15	1,00	0,80
102.	9.2.15	1,00	0,81
103.	10.2.15	1,00	0,95
104.	10.2.15	1,00	1,00
105.	10.2.15	1,00	0,95

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Václav Plašil		
STUDIJNÍ OBOR	6208T088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Aplikace metod statistické regulace procesu na vybrané výrobní procesy ŠKODA AUTO a.s.		
VEDOUCÍ PRÁCE	Doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.		
KATEDRA	KLRK – Katedra logistiky a řízení kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2015
POČET STRAN	70		
POČET OBRÁZKŮ	20		
POČET TABULEK	18		
POČET PŘÍLOH	3		
STRUČNÝ POPIS	<p>Cílem této diplomové práce je navržení vhodného regulačního diagramu pro regulaci zavírací rychlosti pátých dveří na voze ŠKODA Yeti. Tento problém je řešen pomocí statistické regulace procesu a přitom jsou použity tři druhy regulačních diagramů.</p> <p>V praktické části je nejprve popsán samotný proces a vlivy, které do něj vstupují pomocí Ishikawova diagramu. Následně je vybrán vhodný úsek z naměřených dat, který je možné použít pro první analýzu. Nejprve je ověřena stabilita procesu vybraného úseku. Poté dojde k ověření normality a způsobilosti procesu. Pro konstrukci regulačních diagramů je určena cílová hodnota zavírací rychlosti pátých dveří. Pomocí nové cílové hodnoty jsou následně zkonstruovány nové regulační diagramy. V závěru práce je doporučen jeden regulační diagram a také jsou doporučeny kroky k aplikaci vhodného diagramu.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Statistická regulace procesu, ARL, Způsobilost procesu, Shewhartův regulační diagram, CUSUM, EWMA		
PRÁCE OBSAHUJE UTAJENÉ ČÁSTI: Ne			

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Václav Plašil		
FIELD	6208T088 Production Management and Global Business		
THESIS TITLE	Application of methods of statistical process control on selected production processes ŠKODA AUTO a.s.		
SUPERVISOR	Doc. Ing. Eva Jarošová, CSc.		
DEPARTMENT	KLRK – Department of Logistic and Quality Management	YEAR	2015
NUMBER OF PAGES			
	70		
NUMBER OF PICTURES			
	20		
NUMBER OF TABLES			
	18		
NUMBER OF APPENDICES			
	3		
SUMMARY	<p>The objective of the thesis is to design a suitable control chart for controlling the speed of closing the fifth door on ŠKODA Yeti. This problem is solved by using statistical process control and three different types of control charts are used.</p> <p>In the practical part the process and the influences on the process are described using Ishikawa diagram. Subsequently, an appropriate section for analyse is selected from the measured data. At first the process stability is checked. Then the normality will be verified and process capability will be calculated. Target closing speed of the fifth door is determined for construction new control charts. Then are designed the control charts by using the new target value. In conclusion, the best control chart is recommended and steps for application of the diagram are described.</p>		
KEY WORDS	Statistical process control, ARL, Process capability, Shewhart control chart, CUSUM, EWMA		
THESIS INCLUDES UNDISCLOSED PARTS: No			