

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



STATISTICKÉ METODY VYHODNOCENÍ
ZPŮSOBILOSTI PROCESU

STATISTICAL METHODS FOR CAPABILITY THE PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: JAN SVOBODA
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. BcA. JAN PODANÝ, Ph.D.
STUDIJNÍ PROGRAM: VÝROBA A EKONOMIKA VE STROJÍRENSVÍ
STUDIJNÍ OBOR: TECHNOLOGIE, MATERIÁLY A EKONOMIKA
STROJÍRENSTVÍ

PRAHA, 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **438615**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Statistické metody vyhodnocení způsobilosti procesu

Název bakalářské práce anglicky:

Statistical methods for capability the process

Pokyny pro vypracování:

1. Definice výrobního procesu
2. Způsobilost výrobního procesu
3. Statistické metody
4. Aplikovatelnost metod
5. Doporučení pro KMCZ

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. BcA. Jan Podaný Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

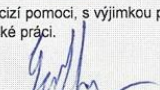

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

25.4.2017

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne:

Podpis autora:

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D. za jeho rady, připomínky a cenné konzultace. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o., za poskytnutí nezbytných údajů, praktických rad a ochotný přístup.

Anotace:

Tato bakalářská práce pojednává o vyhodnocení způsobilosti procesu použitím statistických metod. Teoretická část rozebírá jednotlivé fáze metody SPC, s důrazem na témata regulační diagramy a hodnocení způsobilosti procesu. V praktické části hodnotí metodiku vyhodnocení způsobilosti procesu u dokumentu „SPC formulář KMCZ“ a uvádí možné zlepšení. Dále práce vyhodnocuje způsobilost procesu u dvou znaků kvality na součásti trubka pláště tlumiče.

Klíčová slova:

Fáze SPC, statistické metody, kvalita, regulační diagram, hodnocení způsobilosti, indexy způsobilosti

Abstract:

This bachelor thesis deals with evaluation of process capability using statistical methods. The theoretical part analyzes the individual phases of the SPC method, with emphasis on the topics of regulation diagrams and the evaluation of process capability. The practical part rates methodology for evaluating the process capability of the document „SPC formulář KMCZ“ and indicates possible improvements. Further, the work evaluates the process capability of two quality signs on the shock absorber tube component.

Key words:

Phase of SPC, statistical methods, quality, regulation diagram, evaluation of capability, capability index



Obsah

1	Úvod	11
2	Základní pojmy	12
2.1	Metrologie	12
2.2	Veličina, měření a jeho výsledky.....	12
2.3	Měřicí přístroje a měřidla	13
3	Statistická regulace procesu.....	14
3.1	Výrobní proces.....	14
3.2	Zásady systému SPC.....	14
3.3	Variabilita výrobního procesu.....	15
3.4	Fáze SPC.....	16
3.5	Popisná statistika	17
3.5.1	Formulář	17
3.5.2	Histogram	18
3.5.3	Popis statistického souboru.....	19
3.6	Regulační diagramy.....	19
3.6.1	Shewhartovy regulační diagramy	20
3.6.2	Metoda kumulovaných součtů (CUSUM)	24
3.6.3	Diagramy EWMA	25
3.6.4	Hotellingův diagram	26
3.6.5	Diagram Short Run	26
3.6.6	Regulační diagramy pro data s nenormálním rozdělením.....	26
3.7	Nástroje managementu kvality k odstranění vymezených vlivů	27
3.7.1	Vývojový diagram	27
3.7.2	Diagram příčin a následků	28
3.7.3	Paretova analýza	28
3.7.4	Metoda regresní a korelační analýzy.....	28
3.8	Hodnocení způsobilosti procesu.....	29



3.8.1	Hodnocení způsobilosti a jeho cíle	29
3.8.2	Předpoklady hodnocení způsobilosti.....	30
3.8.3	Měření s normálním rozdělením	30
3.8.4	Indexy C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pm}^* a C_{pmk}	30
3.8.5	Jiná než normální rozdělení.....	33
4	Současný stav	36
4.1	Profil firmy	36
4.2	Součást – trubka pláště tlumiče.....	37
4.3	Výroba součásti.....	38
4.4	Kontrola kvality	39
5	Analýza dat.....	40
5.1	Analýza SPC formuláře KMCZ	40
5.1.1	Vstupní data a informace	40
5.1.2	Základní popis dat.....	41
5.1.3	Regulační diagram	43
5.1.4	Způsobilost procesu.....	44
5.1.5	Doporučení pro KMCZ	44
5.2	Vyhodnocení dat v SPC formuláři KMCZ.....	45
5.2.1	Vyhodnocení znaku pozice drážky.....	46
5.2.2	Vyhodnocení znaku vnější průměr drážky.....	48
6	Závěr.....	51
7	Seznam použité literatury	52
8	Seznam obrázků	54
9	Seznam tabulek.....	55
10	Seznam symbolů a zkratek.....	56
11	Seznam příloh	58

1 Úvod

Cílem každého podniku je být konkurenceschopný na obchodním trhu a dosáhnout co možná nejvyšších zisků. Proto v dnešním konkurenčním prostředí musí firmy dbát o své zákazníky. Firma tak nechce prodat nekvalitní výrobek a kupující zase nechce takový výrobek koupit. Proto je nutné, aby firma vytvářela produkty v předem sjednané kvalitě.

Ve výrobním procesu na výrobek působí mnoho nežádoucích faktorů, které ho mohou ovlivnit. Cílem je se těchto faktorů zbavit, či je minimalizovat. Variabilita hodnot znaků kvality je tak pro nás nežádoucí. Odstraněním variability můžeme dosáhnout požadovaných specifikací a uspokojit tak kupujícího. K udržení nízké variability znaků kvality slouží statistické nástroje, které jsou v bakalářské práci dále popsány. Největší důraz se klade na regulační diagramy a indexy způsobilosti, které nám zhodnotí, zda je proces statisticky zvládnutelný a způsobilý.

Hlavním cílem této práce je prozkoumat metodiku vyhodnocení způsobilosti procesu pomocí dokumentu „*SPC formulář KMCZ*“ firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o., který je vytvořen v programu MS Office Excel. Rozebrání tohoto dokumentu povede k odhalení případných chyb, anebo dojde k potvrzení, že dokument správně aplikuje teoretické poznatky a je tak funkční. Důvodem tohoto úkolu je dostat do rukou firmy práci, pomocí které by svým zákazníkům, ale i svým pracovníkům při školení ukazovala, jak se vyhodnocuje způsobilost procesu pomocí statistických metod s praktickou ukázkou používaného dokumentu.

Dílčím cílem je vyhodnotit způsobilost procesu dvou znaků kvality na zadané součásti „*trubka pláště tlumiče*“. Pokud způsobilost procesu daného znaku nedosahuje požadavků způsobilosti je úkolem navrhnout možné řešení.

2 Základní pojmy

2.1 Metrologie

Metrologie je věda, která se zabývá měřením. Zasahuje do vědních oborů, ale také do průmyslové sféry. Zahrnuje tedy jak aspekty teoretické, tak praktické týkající se měření. Cílem metrologie je zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření. [1]

Dělíme ji na 3 základní části: [2]

- a) *metrologie vědecká*, která ve všech vědách pomáhá při studiu základních přírodních zákonů a současně využívá všech nových poznatků těchto vědních oborů pro zvyšování přesnosti experimentálních činností,
- b) *metrologie legální* shrnuje všechny normy, zákony a vyhlášky, které se touto problematikou zabývají,
- c) *metrologie praktická* se zabývá praktickou činností při aplikaci měřicích postupů v dané oblasti.

2.2 Veličina, měření a jeho výsledky

Veličina je vlastnost jevu, tělesa nebo látky, kterou lze kvalitativně rozlišit a kvantitativně určit (délka, hmotnost, teplota atd.).

Pravá (skutečná) hodnota je hodnota, která je ve shodě s definicí dané blíže určené veličiny. Lze říci, že je to hodnota dokonalá, ale není dosažitelná měřením. Jde o smyšlenou hodnotu.

Konvenčně přijatá hodnota veličiny je ta hodnota veličiny, která je přisuzovaná blíže určené veličině a je přijata jako hodnota, jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel.

Měření je souhrn činností s cílem stanovit hodnotu veličiny.

Měřicí metoda je logický sled po sobě jdoucích posloupně popsaných činností, které jsou používány při měření.

Výsledek měření je hodnota, která je získaná měřením přisouzená měřené veličině.

Přesnost měření je těsnost shody mezi výsledkem měření a konvenčně pravou hodnotou měření veličiny.

Opakovatelnost měření je těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny, provedených při stejných podmínkách (měřicí metoda, měřicí přístroj, místo, čas atd.).



Reprodukovatelnost měření je těsnost shody mezi výsledky měření téže měřené veličiny provedených za změněných podmínek měření.

Vše je citováno dle [1], kde bylo čerpáno z již zrušené normy ČSN 01 0115.

2.3 Měřicí přístroje a měřidla

Ztělesněná míra je zařízení určené k reprodukování nebo dodávání jedné nebo více známých hodnot dané veličiny trvalým způsobem, způsobem během používání. [2]

Měřicí přístroj je zařízení určené k měření jako samotné anebo ve spojení s přidavným zařízením. [2]

3 Statistická regulace procesu

Tradičním způsobem zabezpečování kvality je kontrola na výstupu, kde se identifikují neshodné jednotky, které nevyhovují daným požadavkům. Tato metoda se dnes používá jen velmi sporadicky. Jedná se o metodu „*ex post*“, kdy zdroje potřebné k vytvoření produktu již byly vynaloženy a v případě nevyhovujícího požadavku byly vynaloženy zbytečně. [3]

3.1 Výrobní proces

Základní činností podniku je výroba. V širokém pojetí se výrobou rozumí spojení výrobních faktorů (práce, kapitálu, půdy) za účelem získání určitých výkonů (výrobků a služeb). [4]

Výrobní proces je souhrn činností, které záměrně mění polotovary na výrobky za pomoci změny tvarů, rozměrů, fyzikálních vlastností atd. [5] Cílem výrobního procesu nejsou jakékoliv produkty nebo služby, ale pouze takové, které lze realizovat na trhu, a získat tak odpovídající výnosy. V ideálním případě výrobní proces probíhá při optimální spotřebě všech výrobních vstupů, optimálních nákladech a optimální volbě výrobních postupů [4,6].

Abychom dosáhli požadované kvality výrobního procesu, používají se statisticko-matematické metody, které využívají zákonitosti náhodných jevů a objektivních vědeckých postupů. Cílem statistické analýzy a *regulace výrobního procesu* (SPC) je posouzení shody procesu se zadanými kvalitativními prvky za použití matematicko-statistických vyhodnocovacích postupů. Výsledek výzkumu schopnosti výrobního procesu je rozhodující pro konečné stanovení opravných opatření, které budou proces udržovat na přípustné a stabilní úrovni. Metoda SPC je dnes nejpoužívanější k hodnocení způsobilosti procesu v průmyslu. [3,5]

3.2 Zásady systému SPC

Na výrobní proces působí řada rušivých vlivů, které často vyvolávají změny výrobních parametrů. Například při obrábění dojde ke změně výrobních parametrů opotřebením rezného nástroje nebo při změně teploty ve styku obrobku s nástrojem apod. [5]

Existují tři typy výrobních procesů v systému SPC: [5]

- výrobní proces schopný regulace stabilní (typ A),
- výrobní proces schopný regulace nestabilní (typ B),
- výrobní proces neschopný regulace nestabilní (typ C).

Cílem kontroly kvality v oblasti statistické regulace je vytvářet výrobní procesy typu A. U procesu typu B lze zvolit dvě metody regulace. První metodou je třídění součástí na shodné a neshodné. Tato metoda se dá použít ale jen krátkodobě, hlavně díky náročnosti kontrolování každého kusu. Druhá metoda vede k trvalému zlepšení tím, že se zjistí příčiny vzniku vad a navrhnou se opatření k jejich odstranění. Výrobní proces typu B se může lepším řízením stát typem A, tj. procesem ve stabilním stavu. Razantní řešení vyžadují procesy typu C, které nelze v daném stavu regulovat. [5]

3.3 Variabilita výrobního procesu

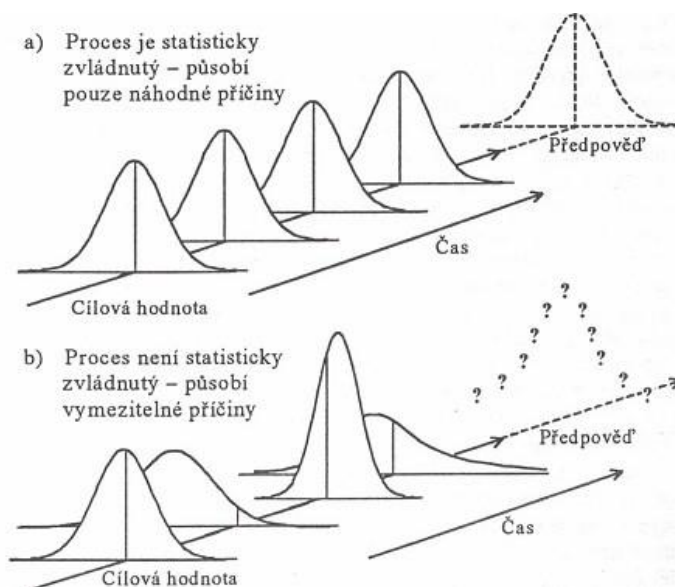
Vlastností každého jevu je jeho *variabilita* neboli proměnlivost. Za stejných podmínek vykazují kvalitativní znaky v čase určitou variabilitu, které jsou způsobené různými vlivy. Proto nelze vyprodukovat dva zcela shodné výrobky. Je však možné tyto vlivy studovat a vytvářet jim podmínky tak, aby variabilita procesu se pohybovala ve svých přirozených mezích a byla stabilní. Snížení variability procesu nám přinese menší pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků. Tím můžeme postupně ušetřit na rozsahu kontroly a nákladech. [3]

Vlivy způsobující variabilitu lze rozdělit do dvou skupin (viz obrázek č. 1): [3,5]

- a) *Náhodné rozptylové jevy* přispívají k celkové variabilitě jen malou měrou, jelikož regulovaná veličina se drží v určitých mezích.
 - proces je reprodukovatelný a tudíž předvídatelný
 - proces je ve staticky zvládnutém stavu
 - příklad náhodného jevu: chvění stroje, kolísání teploty chladicí kapaliny, nestejnorodost materiálu
- b) *Vymežitelné rozptylové jevy* vyvolávají reálné změny procesu, které se projevují v nepřirozeném kolísání údajů, kterými hodnotíme variabilitu.
 - proces není reprodukovatelný, kvalita jeho výstupů není předvídatelná
 - proces není statisticky stabilní, což znamená, že znak kvality se mění v čase
 - příklad: změna na nástroji, seřízení stroje, změna kvality materiálu
 - většinou jde o identifikovatelný jev, který by měl být odstraněn
 - k odstranění většinou stačí lokální zásah osoby, která provádí danou činnost v rámci výrobního procesu

členění:

- 1) *sporadické* – vznikají náhle, vyvolávají změny procesu trvající krátkou dobu. Pak se ztrácejí a mohou se znovu vyskytnout. Změny vyvolané v procesu těmi příčinami jsou větší,
- 2) *přetrvávající* – vyvolávají změny v rozdělení regulované veličiny po určitou dobu, pomocí níž hodnotíme chování procesu.



Obrázek 1: Náhodné a vymežitelné příčiny variability [3]

3.4 Fáze SPC

Hlavním cílem SPC je udržení výrobního procesu ve statisticky zvládnutelném stavu tak, aby se zajistila shoda produktů se specifikovanými požadavky. [3]

Hlavní cíl realizujeme v těchto čtyřech fázích: [3,5]

fáze přípravná

- identifikování cíle
- stanovení znaků kvality, které budou představovat regulovanou veličinu (rozhodnout, zda budu sledovat jeden či více znaků kvality)
- stanovení kontrolního místa v procesu, ideálně hned po vzniku odchylky
- zvolit vhodnou metodu k získání dat znaku kvality
- stanovení vhodné délky kontrolního intervalu, tak aby se zachytily všechny významné změny v procesu

- stanovení způsobu výběru tak, aby výběr byl jasně přiřaditelný k jednomu zdroji variability (např. jeden soustruh)
- zvolit vhodný rozsah výběru, nejlépe konstantní velikosti
- zvolit vhodný typ regulačního diagramu
- záznam dat do formuláře či dotazníku

fáze zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu

- cílem procesu je identifikovat a odstranit působení vymezitelných vlivů a vytvořit takové podmínky, aby se jejich působení již nemohlo opakovat
- nejlepším nástrojem pro tuto fázi jsou regulační diagramy

fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

- v této fázi zkoumáme, zda proces je schopen dosahovat požadavků zákazníka definovaných např. v tolerančních mezích
- proces musí být před zahájením této fáze statisticky zvládnutý
- použití indexů způsobilosti

fáze vlastní statistické regulace

- v této fázi je proces udržován tak, aby byl statisticky zvládnutelný a způsobilý.
- cílem této fáze je pomocí regulačních diagramů signalizovat poruchy ve stabilitě procesu a odstraňovat je.

3.5 Popisná statistika

Posuzovat kvalitu musíme na základě údajů. Ty pozorujeme, zjišťujeme a následně analyzujeme. Údaje by měly být kompletní a nezkrácené. Informace je pro nás údaj, který dává smysl. Údaje tak slouží jako prvotní podklad pro analýzu, úsudek a následná opatření. [7]

3.5.1 Formulář

Formulář či kontrolní tabulky jsou určeny pro systematické shromažďování dat potřebných pro řízení kvality. Jde o dokumentaci prvotních údajů o kvalitě námi zvoleného znaku v procesu. Těmito údaji jsou: datum sběru dat, hodina, místo, jméno pracovníka provádějícího sběr dat, měřicí technika, metoda, číslo stroje, číslo výrobní dávky, informace o výskytu dat atd. V dnešní

době má samozřejmě každý podnik svoje formuláře pro zapisování dat. Formuláře by měly být jednoduché a hlavně přehledné. [5,7]

U sběru dat je důležité se vyvarovat informací, které by mohly být neúplné, opožděné či zkreslené. Neúplnou informací rozumíme informaci získanou na základě neúplných údajů. Jde o případ, kdy nezaznamenáme dostatečný počet hodnot, které jsme potřebovali. Opožděné informace jsou ty, které nejsou k dalšímu kroku dodány včas. Nejnebezpečnější informací z hlediska jejího následného vyhodnocení je informace zkreslená, tj. informace získaná na základě nesprávně zjištěných a nesprávně zpracovaných údajů. [5]

Používání formulářů je dnes důležitou součástí při zajišťování kvality. Nejčastějšími oblastmi jsou vstupní, operační a výstupní kontrola. Dále analýza strojů, zařízení, technologického procesu, vadných výrobků. Pro nás nejdůležitější oblastí je záznam vstupních údajů znaku či znaků kvality, které budou sloužit k dalšímu vyhodnocení procesu. [5]

3.5.2 Histogram

Při zpracování údajů z formuláře se neobejdeme bez uspořádání údajů nebo jejich roztřídění do skupin či intervalů [7]. *Histogram* představuje grafické znázornění intervalového rozdělení četnosti. Jde o sloupcový graf, kde na vodorovné ose je šířka intervalu h a na svislé ose je četnost sledovaného znaku kvality v příslušném intervalu. Aplikují se při průběžné kontrole ve výrobním procesu, studiu způsobilosti procesu, analýze přesnosti a stability strojů. [5]

Informace, které můžeme vyčíst z histogramu: [5]

- odhad střední polohy a rozptylu hodnot sledovaného znaku kvality nebo parametru procesu,
- odhad tvaru rozdělení sledovaného znaku kvality či parametru procesu,
- identifikace změn procesu, tj. srovnání histogramů mezi sebou,
- prvotní informace o způsobilosti procesu pomocí analýzy tvaru histogramu.

Sestavení histogramu: [5,7]

- 1) výpočet variačního rozpětí (výběrové rozpětí) souboru R : rozdíl max. a min. hodnoty

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (1)$$

- 2) stanovení počtu třídních intervalů k

$$k = 5 \cdot \log N, \quad (2)$$

kde: N ... je rozsah zkoumaného souboru

- počet intervalů volíme mezi 7-20

3) stanovení šířky třídního intervalu h

$$h = \frac{R}{k} \quad (3)$$

- R rozdělíme do intervalů tak, aby v prvním ležel x_{min} a v posledním x_{max} .

Poté dojde k sestavení histogramu a jeho následné analýze. Analýza sleduje centrování a šířku histogramu. A také jeho tvar, který nás zajímá nejvíce z hlediska rozdělení hodnot. Pokud má sledovaný znak kvality normální rozdělení (Gauss.), tvar histogramu bude připomínat zvon. Každá odchylka od tohoto tvaru signalizuje pravděpodobné působení vymezených vlivů. [5]

3.5.3 Popis statistického souboru

Velký význam popisu údajů mají statistické charakteristiky, které se dají rozčlenit do dvou typů. Hlavní statistické charakteristiky se týkají úrovně (charakteristiky polohy) a měnlivosti (charakteristiky měnlivosti). [7]

- *charakteristika polohy:*

Tyto charakteristiky vyjadřují úroveň statistického souboru z hlediska velikosti sledovaného znaku. O celý statistický soubor se opírají průměry (aritmetický, geometrický atd.), modus, medián a kvantily. Charakteristiky polohy popisují statistické soubory neúplně. [8]

- *Charakteristika měnlivosti (variability):*

Popisují, jak se jednotlivé údaje odlišují od sebe navzájem od zvolené charakteristiky polohy. Nejčastěji se používají charakteristiky: variační rozpětí, kvantilové rozpětí, směrodatná odchylka, výběrová směrodatná odchylka, rozptyl. [8]

Vzorci některých charakteristik jsou uvedeny v kapitole 5.1.2.

3.6 Regulační diagramy

Po první fázi SPC následuje druhá fáze, která má za cíl zabezpečit statistickou zvládnutelnost procesu. *Regulační diagramy* jsou základním grafickým nástrojem pro oddělení variability procesu vyvolané vymezenými vlivy od variability vyvolané náhodnými vlivy. Slouží ke stálému grafickému zaznamenání znaku kvality a jeho vývoje v čase. [5]

Statistická zvládnutelnost procesu se rozhoduje podle třech základních čar: *CL (central line)*, *LCL (lower control limit)* a *UCL (upper control limit)*. *CL* je *střední čára*, která odpovídá referenční (požadované) hodnotě použité znázorňované charakteristiky. [3]

Referenční hodnota může být definována několika způsoby: [3]

- a) jako nominální hodnota (např. jmenovitá hodnota či hodnota daná technickým předpisem),
- b) jako hodnota založená na zkušenosti s daným výrobním procesem,
- c) jako odhad z hodnot regulované veličiny v statisticky zvládnutém stavu.

Pro základní rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu je rozhodující stanovení *LCL* (*dolní regulační mez*) a *UCL* (*horní regulační mez*). Tyto meze se také dají nazvat mezemi akčními. Mezi oběma mezemi působí pouze náhodné vlivy variability. Hlavně jsou rozhodovacím kritériem, zda učinit regulační zásah do procesu či ho neudělat. [3]

V některých aplikacích se do regulačního diagramu ještě přidávají další meze nazývané jako výstražné meze: (*LWL – lower warning limit – dolní výstražná mez*, *UWL – upper warning limit – horní výstražná mez*). Tyto meze jsou většinou o jednu třetinu užší na každé straně oproti akčním mezím. [3]

Základní pravidla pro interpretaci regulačních diagramů: [5]

- a) pokud leží všechny body mezi *LCL* a *UCL*, je proces pokládán za statisticky zvládnutý a není potřeba žádný zásah do procesu
- b) pokud leží některý z bodů mimo *LCL* a *UCL*, je proces pokládán za statisticky nezvládnutý a je vyžadována identifikace vymezeného vlivu a přijetí opatření s cílem tento vliv eliminovat úplně anebo částečně.

3.6.1 Shewhartovy regulační diagramy

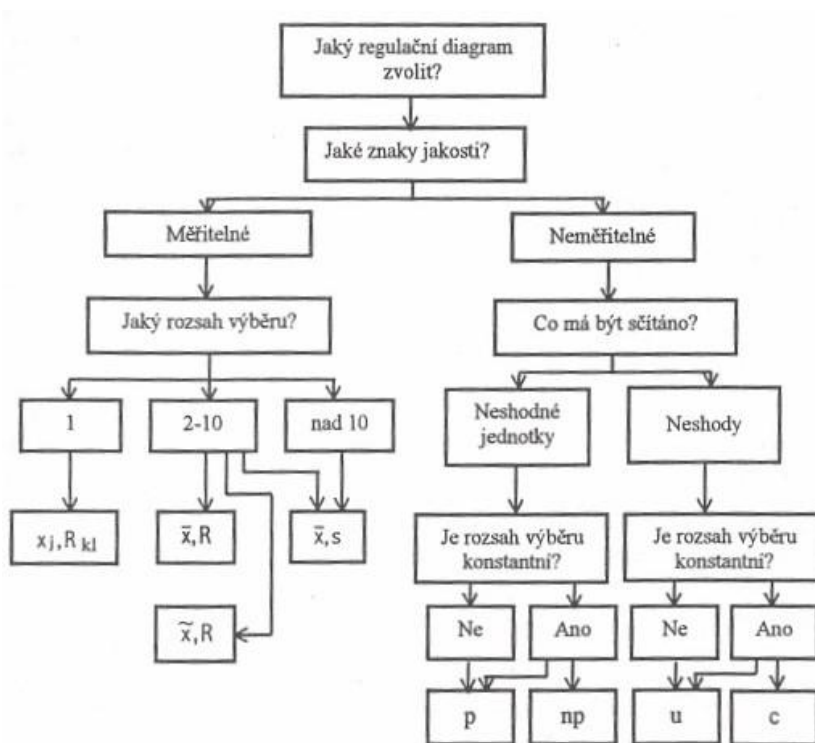
Shewhartovy regulační diagramy jsou typické tím, že byly navrženy na sledování pouze jednoho znaku kvality. Využívají se tam, kde je zapotřebí jednoduchých postupů. Tyto diagramy dokážou odhalit vymezené příčiny sporadické. Náklady na kontrolu nejsou vysoké a případné ztráty se jimi minimalizují. Základním předpokladem je získání dostatečného počtu výběrů hodnot za stálých podmínek. Tyto diagramy patří do skupiny regulačních diagramů bez paměti, jelikož v daném hodnoceném stavu nezohledňují jejich předchozí hodnoty. [3]

Na obrázku č. 2 je znázorněn rozhodovací strom, podle kterého vybíráme vhodný diagram.

Typy Sh. reg. diagramů. [9]

- a) *pro regulaci měřením*
- b) *pro regulaci srovnáváním*

Pro oba typy diagramů je vhodné, aby oba měly alespoň 20 výběrů hodnot. [3]



Obrázek 2: Rozhodovací strom pro volbu Shewhartova regulačního diagramu [3]

3.6.1.1 Diagramy pro regulaci měření

Používají se pro měřitelné znaky kvality či technologické parametry za těchto předpokladů (normalita dat, konstantní střední hodnota procesu a směrodatná odchylka dat, nezávislost dat) [3]. Výpočet regulačních mezí a centrální přímký u typů diagramu znázorňuje tabulka č. 1.

Typy diagramů pro regulaci měření: [5,9]

- (\bar{x}, R) – regulační diagramy pro výběrový průměr \bar{x} a výběrové rozpětí R
 - používají se nejčastěji, hodí se pro situace, které pracují s menšími rozsahy výběrů (2-10)
- (\bar{x}, s) – regulační diagramy pro výběrový průměr \bar{x} a směrodatnou odchylku s
 - jsou vhodné pro větší rozsahy výběrů (nad 10)
- (Me, R) – regulační diagramy pro výběrový medián Me a výběrové rozpětí R
 - Je to alternativa k diagramu (\bar{x}, R) , akorát s jednoduššími záznamy, protože je méně citlivý.

Tabulka 1: Vztahy pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí pro regulaci měřením [5]

diagramy	Typ grafu	Poloha centrální přímký CL	Horní regulační mez UCL	Dolní regulační mez LCL
(\bar{x}, R)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R}$
	R	\bar{R}	$D_4 \cdot \bar{R}$	$D_3 \cdot \bar{R}$
(\bar{x}, s)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_3 \cdot \bar{s}$	$\bar{\bar{x}} - A_3 \cdot \bar{s}$
	s	\bar{s}	$B_4 \cdot \bar{s}$	$B_3 \cdot \bar{s}$
(Me, R)	Me	\bar{Me}	$\bar{Me} + A_4 \cdot \bar{R}$	$\bar{Me} - A_4 \cdot \bar{R}$
	R	\bar{R}	$D_4 \cdot \bar{R}$	$D_3 \cdot \bar{R}$

$\bar{\bar{x}}$... aritmetický průměr z aritmetických průměrů výběrů

\bar{R} ... průměr variačních rozpětí výběrů

\bar{s} ... průměr směrodatných odchylek výběrů

\bar{Me} ... průměr mediánů výběrů

$A_2, A_3, A_4, B_3, B_4, D_3, D_4$... součinitelé pro výpočet regulačních mezí

Postup analýzy u regulačních diagramů (\bar{x}, R) : [5]

- Nejprve se sestrojí regulační diagram R a provede se analýza, zda všechny body leží uvnitř mezí. Pokud leží aspoň jeden bod mimo meze, vyloučí se příslušný výběr, přepočítá se poloha střední přímký a regulační meze a znovu se udělá diagram R . Pokud leží všechny body v mezích, můžeme rovnou začít konstruovat diagram \bar{x} .
- V případě, že došlo k vyloučení výběru či výběrů u diagramu R , je nutné tuto skutečnost zohlednit i u diagramu typu \bar{x} . Pozornost se věnuje bodům mimo regulační meze, ale i nenáhodným uskupením bodů. V případě odhalení dalších bodů mimo regulační meze se opět provede „čisticí proces“.
- Diagramy nyní mají rozšířenou platnost na delší období pro statistickou regulaci.
- Pokud bylo vyloučeno větší množství výběrů, je nutno provést nový výběr údajů. Postup tvorby a analýzy jiných typů diagramů je obdobný.

Pro další typy diagramů platí stejný postup sestavení a hodnocení.

3.6.1.2 Diagramy pro regulaci srovnáváním

Je vhodný pro sledování počtu neshodných produktů či počty neshod na produktech. Je lepší mít větší rozsah výběrů [5]. Pracujeme s jedním diagramem. Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí zobrazuje tabulka č. 2.

Typy diagramů pro regulaci srovnáváním: [5,9]

- Regulační diagram pro počet neshod – předpokládá se Poissonovo rozdělení
 - (c) regulační diagram pro počet neshod – počet neshod ve výběru o rozsahu $n > 1$ a počet neshod na jednom objektu je jedna
 - (u) regulační diagram pro počet neshod na jednotku – odvozen od diagramu (c), rozsah n je konstantní, průměr neshod na 1 výrobek, nebo pokud se nedá zjistit konstantní rozsah výběru n
- Regulační diagram pro počty neshodných jednotek – rozsah výběru musí být $n > 50$
 - (np) regulační diagram pro počet neshod – kritériem je počet neshodných jednotek ve výběru x_j . Rozsahy výběrů musí být konstantní
 - (p) regulační diagram pro podíl neshodných jednotek ve výběru – tento diagram se hodí i pro situace, kde rozsahy výběrů nejsou konstantní.

Tabulka 2: Vztahy pro výpočet polohy centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci srovnáváním [5]

diagram	Poloha centrální přímky CL	Horní regulační mez UCL	Dolní regulační mez LCL
p	\bar{p}	$\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$	$\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$
np	$n \cdot \bar{p}$	$n \cdot \bar{p} + 3 \sqrt{n \cdot \bar{p} \cdot (1-\bar{p})}$	$n \cdot \bar{p} - 3 \sqrt{n \cdot \bar{p} \cdot (1-\bar{p})}$
c	\bar{c}	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
u	\bar{u}	$\bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$	$\bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$

\bar{c} ... průměrný počet neshod ve výběrech

\bar{u} ... průměrný počet neshod na jednotku ve výběrech

\bar{n} ... průměrný rozsah výběrů

\bar{p} ... průměrný podíl neshodných jednotek výběrů

Postup analýzy diagramů srovnáním:

- Postup je stejný jako u diagramů měření. Pokud leží všechny body uvnitř regulačních mezí a nevytvářejí žádná nenáhodná seskupení, považujeme proces za statisticky zvládnutelný. [5]

3.6.2 Metoda kumulovaných součtů (CUSUM)

Příčiny, které vznikají náhle, působí na proces krátkou dobu a pak se ztrácejí, i když se mohou znovu vyskytnout, se dobře identifikují pomocí Shewhartových regulačních diagramů. Je to způsobené tím, že tyto diagramy dokážou odhalit větší odchylky příčin. Pokud chceme odhalit příčiny přetrvávající, které působí také náhle, ale po delší dobu, je vhodným nástrojem *metoda kumulovaných součtů (CUSUM)*. CUSUM se převážně uplatňuje v poslední fázi SPC, fázi vlastní statistické regulace. [3,10]

Výhody diagramu CUSUM oproti Sh. reg. diagramům: [3]

- jsou citlivější na změny procesu malé a střední velikosti ($0,5-2 \sigma$),
- indikuje tyto změny 2-4 x rychleji při stejném rozsahu výběru,
- je spojena s nižšími náklady na kontrolu, a tím pádem je hospodárnější,
- umožňuje přesněji určit okamžik počátku změny rozdělení regulované veličiny, odhadnout její velikost a určit směr působení.

Nevýhody CUSUM oproti Sh. reg. diagramům: [3]

- vyšší pracnost konstrukce diagramu a jeho vyhodnocení.

Základní charakteristikou metody CUSUM je diagram. Na vodorovné ose zaznamenává pořadí výběru k a na svislé ose se vynášejí hodnoty testového kritéria Y_k . Testové kritérium Y_k můžeme interpretovat jako kumulativní součet odchylek zvolené výběrové charakteristiky od cílové hodnoty pro všechny dosud provedené výběry. Jedná se tedy o skupinu diagramů s pamětí. Vlastnosti paměti diagramů jsou vyjádřeny pomocí průběhu váhových koeficientů w . U Shewhartových regulačních diagramech je poslední hodnotě přiřazena váha $w=100 \%$. U metody CUSUM se všechny vypočtené hodnoty odchylek použité výběrové charakteristiky od cílové hodnoty promítají do poslední hodnoty testového kritéria Y_k stejnou vahou. To znamená, že paměť diagramu CUSUM je neomezená a rovnoměrná. [3,10]

Interpretace průběhu diagramu vychází z následujících úvah: [3]

- a) Jestliže proces je udržován na cílové střední hodnotě μ , pak body v diagramu zachovávají směr přibližně rovnoběžný s osou x .
- b) Pokud došlo k náhlé změně střední hodnoty regulované veličiny přibližně v době, kdy byl odebrán q -tý výběr, a tato změna přetrvává, pak body v diagramu s počátkem $[q, C_q]$ náhodně oscilují kolem přímky, která není rovnoběžná s osou x .
- c) Jestliže střední hodnota procesu roste nebo klesá, a ještě se nestabilizovala, pak body v diagramu tvoří křivku viditelně se zakřívující nahoru či dolů.

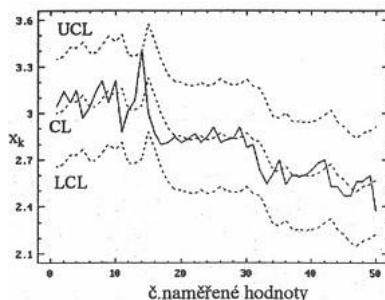
3.6.3 Diagramy EWMA

Diagramy *EWMA* (exponenciálně vážený klouzavý průměr) někdy také nazývaný exponenciální zapomínání či *GMA*. Tyto diagramy patří do skupiny diagramů s neomezenou nerovnoměrnou pamětí. Stejně jako diagramy *CUSUM*, jsou oba použitelné pro jednostrannou a oboustrannou regulaci. [3,10]

Hlavní vlastnosti obsahuje parametr λ , který nabývá hodnot od $0 < \lambda < 1$. Je-li $\lambda = 1$, pak je testové kritériem *EWMA* shodné s testovaným kritériem *Shew. reg. diagramů*. Naopak pokud se blíží λ k nule, vlastnosti diagramu *EWMA* si blíží diagramu *CUSUM*. [3,10]

Typy diagramů: [3]

- a) *klasický diagram EWMA pro výběrové průměry* – hodí se pro situace, kdy v procesu dochází k malým, přetrvávajícím změnám. Je definován rozsahem n a parametry λ a k . Rozsah n se volí s přihlédnutím na náročnost a ekonomičnost. Parametry λ a k se volí podle nomogramů.
- b) *dynamický diagram EWMA* – diagram s jednokrokovou predikcí, který umožňuje realizovat statistickou regulaci v situacích, kdy data nejsou nezávislá. To je častý případ znaků kvality v metalurgii, chemii, potravinářství i farmacii a energetice. Dnes se sem řadí i vysoce automatizovaná diskrétní výroba ve strojírenství a elektrotechnice. Překročení regulačních mezí způsobí pouze náhlá změna střední hodnoty. Malé změny procesu diagram toleruje. Poskytuje informaci o statistické zvládnutelnosti procesu a jeho dynamiku. Pokud všechny body leží uvnitř, proces je statisticky zvládnutý. Typický diagram je znázorněn na obrázku č. 3.



Obrázek 3: Dynamický diagram EWMA pro naměřené hodnoty [3]

3.6.4 Hotellingův diagram

Diagram, který vyhodnocuje na jednom produktu několik znaků kvality najednou. Je vhodný pro korelovaná data, tj. data, která mají mezi sebou velmi úzký vztah. Testovým kritériem je jednorozměrná Hotellingova statistika T^2 , která se popisuje pomocí matice. Jestliže kterákoli hodnota T_j^2 překročí horní regulační mez, je nutné analyzovat vymezipitelný vliv. Tato analýza ale je složitější, protože zde máme zaznamenáno více regulovaných znaků. Je vhodný paralelně s Hotellingovým diagramem vést samostatné regulační diagramy pro jednotlivé znaky kvality. [3]

3.6.5 Diagram Short Run

Je to diagram pro procesy s nízkým stupněm opakovatelnosti a s krátkými výrobními cykly. Dokáže pracovat s méně výběry, které jsou způsobeny hlavně malosériovou výrobou. [3]

Dle způsobu transformace dat rozlišujeme dva typy diagramů: [3]

- *cílové regulační diagramy* – základními předpoklady jsou normalita a nezávislost dat a také konzistentní variabilita procesu různých výrobků. Nejdůležitějším krokem je správné nastavení cílové hodnoty C .
- *standardizované regulační diagramy* – transformace hodnot regulované veličiny, respektive bez použití výběrových charakteristik na bezrozměrnou veličinu. Jsou vhodné pro situaci, kdy variabilita procesu při výrobě různých produktů není konzistentní.

U obou typů se převážně používají diagramy, které mají základ v Shewhartových regulačních diagramech.

3.6.6 Regulační diagramy pro data s nenormálním rozdělením

Standardní regulační diagramy jsou založeny na předpokladu normality dat. Pro výběry $n > 4$ je běžná normalita dat. U výběrů $n < 4$ tomu ale tak není, přesto musí být podmínka splněna.

Řešením problému je vhodná transformace dat. Výsledkem jsou hodnoty, které mají přibližně normální rozdělení. Hledá se vhodná transformační funkce. [3]

$$\begin{array}{lll} & \lambda > 0 & y = x^\lambda \\ y = g(x) & \lambda = 0 & y = \ln x \\ & \lambda < 0 & y = -x^{-\lambda} \end{array} \quad (4)$$

x ... náhodná veličina

λ ... parametr

Alternativou může být i Box-Coxova transformace, Weibullovo rozdělení nebo Johnsonova transformace.

Uvedené principy transformace a zpětné transformace dat umožňují využívat klasických Shewhartových regulačních diagramů a stanovovat indexy C_p a C_{pk} i v situacích, kdy data nepocházejí z normálního rozdělení. [3]

3.7 Nástroje managementu kvality k odstranění vymezených vlivů

V předchozích bodech jsme se dostali až do fáze, kdy jsme využívali regulační diagramy. Pokud byly regulační diagramy vyhodnoceny jako statisticky zvládnuté, následuje fáze analýzy a zajištění způsobilosti procesu. Jestliže tomu tak ale nebylo, je nutné použít nástroje pro řízení kvality, které pomůžou ve výrobním procesu odhalit vymezené vlivy. Mezi tyto nástroje jistě patří i formuláře a histogramy. V této práci jsou ale uvedeny jako jedny z prvních kroků metody SPC. Důležitý je hlavně histogram, který nám pomůže ověřit normalitu rozdělení dat a může tak napovědět o působení vymezené příčiny.

3.7.1 Vývojový diagram

Někdy též nazývaný jako postupový diagram. Graficky vyjadřuje posloupnost a vzájemné návaznosti všech kroků určitého procesu. Je tudíž cennou pomůckou při identifikaci procesu a nalezení jeho vazeb mezi dílčími kroky procesu. Je přehledný s jedním začátkem a s jedním koncem. V diagramu může být znázorněna i odpovědnost pracovníka za jednotlivé činnosti. Může sloužit pracovníkům zapojených do procesu ale i novým pracovníkům, kterým usnadní zaškolení. [5]

3.7.2 Diagram příčin a následků

Jeden ze základních nástrojů pro analýzu problémů za účelem zdokonalování procesů. Je pojmenovaný po svém tvůrci jako *Ishikawův diagram* nebo podle svého typického tvaru připomínající rybí kost. Tento diagram slouží pro analýzu variability procesu. Pomocí něj lze také odhadovat vztahy mezi příčinami a následky postupně s rozrůstající se hloubkou analýzy. [7]

Postup při konstrukci diagramu: [5,7]

- a) jasně a stručně se určí zkoumaný problém či jev, který chceme analyzovat a odstranit,
- b) definují se hlavní kategorie možných příčin,
- c) formou brainstormingu se hledají příčiny na nižších úrovních, proces končí až nalezením prvotních příčin,
- d) pro další analýzu procesu se využije metod, které nám odhalí hlavní příčiny (např. Paretova analýza).

3.7.3 Paretova analýza

Je jedním z neefektivnějších, běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů v systému řízení kvality. Umožňuje nám odhalit podstatné faktory od méně podstatných. Dle Jurana je přes 80 % problémů způsobeno maximálně 20 % příčin. Tato skupina maximálně 20 % příčin se nazývá „životně důležitá menšina“. Na tuto skupinu je potřeba se přednostně zaměřit, analyzovat ji do hloubky a snažit se odstranit nebo aspoň minimalizovat její vliv. Zbylá skupina příčin, která způsobuje maximálně 20 % problémů, nese označení „užitečná nebo zanedbatelná většina“. [5]

Tato analýza používá *Paretův diagram* jako nástroj vhodného zobrazení. Nejdříve se volí položka problému, který se má analyzovat (pracovník, výrobek, výrobní zařízení). Následuje volba hodnotícího kritéria a určení časového období. Poté se údaje zpracují sestupně dle příčin do sloupcového grafu. Do grafu ještě vyneseme kumulativní součty všech příčin. Ty poté protneme a vznikne nám tzv. *Lorenzova křivka*, znázorňující průběh hodnot kumulovaných součtů. Pomocí Lorenz. křivky určíme životně důležitou menšinu a užitečnou většinu příčin. [5]

3.7.4 Metoda regresní a korelační analýzy

Touto metodou zkoumáme závislost vztahů mezi jednotlivými jevy. Snažíme se poznat kvalitativní stránky jevů, ale i vztahů mezi nimi. Hlavním nástrojem je bodový (korelační)

diagram. Rozmístění bodů v diagramu, odpovídá jednotlivým dvojicím hodnot příslušných proměnných. [7]

Z hlediska míry těsnosti rozdělujeme dva typy závislostí: [5]

- *závislost pevná* (funkční) – každé hodnotě jedné proměnné lze přiřadit jen jedinou hodnotu druhé proměnné.
- *závislost volná* (statistická) – charakteristickým znakem je určitý rozptyl bodů, jehož příčinou je nejčastěji působení řady vlivů (vnější podmínky, nepřesnost měřicího zařízení apod.). V praxi se s nimi setkáváme běžně.

Po zanesení dvojic proměnných do grafu můžeme analyzovat. Regresním úkolem je kvantitativně popsat průběh korelačního vztahu, např. pomocí regresní funkce. Pokud je závislost lineární, lze ji vyjádřit regresní přímkou. [7]

$$y_i = a_{yx} + b_{yx} \cdot x_i, \quad (5)$$

kde: a_{yx} ... je parametr regrese

b_{yx} ... je regresní koeficient - vyjadřuje, jak se průměrně změní závisle proměnná y při jednotkové změně nezávisle proměnné x .

3.8 Hodnocení způsobilosti procesu

3.8.1 Hodnocení způsobilosti a jeho cíle

Třetí fáze SPC se zabývá samotným hodnocením *způsobilosti procesu*. Způsobilost je vhodným kritériem pro hodnocení kvality procesu. Způsobilostí procesu se rozumí jeho schopnost trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality. Způsobilost vyjadřujeme kvantitativně, tedy číselným ukazatelem. Při používání ukazatelů způsobilosti požadujeme, aby byly jednoduché, srozumitelné a měly dobrou vypovídací schopnost. Důležité také je, aby byly široce upotřebitelné. To znamená, aby měly co nejméně omezujících podmínek pro jejich použití, tak aby byly co nejvíce univerzální. Je jasné, že univerzální ukazatel neexistuje, proto se využívá více ukazatelů pro finální vyhodnocení. [3,5]

Při hodnocení způsobilosti procesu se většinou sledují dva cíle: [3]

- schopnost procesu udržet cílovou hodnotu ukazatele kvality,
- míra variability kolem cílové hodnoty.

3.8.2 Předpoklady hodnocení způsobilosti

Každý z ukazatelů způsobilosti je použitelný pouze za splnění určitých předpokladů. Ty se dají rozdělit na obecné a určité předpoklady. [3]

Obecnými předpoklady jsou ty, které musí být splněny před výpočtem jakéhokoliv ukazatele způsobilosti: [3]

- proces je stabilizován (neboli regulován),
- měření neobsahují odlehlá pozorování (hodnoty jsou v normálním rozdělení),
- je správně stanovena tolerance.

Tyto obecné předpoklady již řeší fáze SPC, které jsou před hodnocením způsobilosti procesu.

3.8.3 Měření s normálním rozdělením

Pokud mají výsledky měření normální rozdělení a výrobní proces je ovlivňován jen náhodnými chybami, je proces charakterizován parametry aritmetickým průměrem a směrodatnou odchylkou. [5]

V systému SPC jsou charakteristiky, ve kterých hraje směrodatná odchylka velkou roli. Je to relativní variační rozpětí f_p a také indexy způsobilosti. [5]

Relativní variační rozpětí f_p – nemá být větší než 75 % tolerance výrobku u kvalitativních znaků

$$f_p = \frac{6\sigma}{T} * 100 [\%] \quad (6)$$

σ ... odhad směrodatné odchylky

T ... šířka tolerančního pole

3.8.4 Indexy C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pm}^* a C_{pmk}

V dnešní době se výhradně používají k hodnocení způsobilosti procesu třída ukazatelů, nazývaných *indexy způsobilosti*. Existuje mnoho typů, které se liší výpočtem, vlastnostmi i podmínkami použitelnosti. Principem se ale od sebe neliší. Vždy jde o poměr předepsané přesnosti a skutečné dosahované přesnosti výroby. [3]

Předepsaná přesnost je dána tolerancí a cílovou hodnotou. Tolerancí rozumíme toleranční interval, který vypočteme jako rozdíl mezi *horní toleranční hranicí* (USL – *upper specification limit*) a *dolní toler. hranicí* (LSL – *lower specification limit*). Cílovou hodnotu T uvažujeme jako střed tolerančního intervalu. Specifikace výrobního procesu je určena trojicí (LSL , T , USL). [3]



Skutečná dosahovaná přesnost je vyjádřena rozptylem. Pokud má měřená veličina normální rozdělení, pak podle pravidla 3 sigma leží v intervalu $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 99,73 % hodnot. [3]

3.8.4.1 Index C_p

Je to nejjednodušší a nejstarší index. Je mírou schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančního pole. Bere v úvahu jen rozptyl výrobního procesu a velikost výrobní tolerance. Neodhaluje ale polohu procesu vzhledem k tolerančnímu poli. [3,5]

Index způsobilosti je definován: [3]

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (7)$$

Hodnotu směrodatné odchylky základního souboru většinou neznáme, a proto ji nahrazujeme odhadem, např. pomocí vztahu: [11]

$$\sigma = \frac{R}{d_2(n)}, \quad (8)$$

kde: R ... průměrná hodnota variačních rozptylů ve výběrech

$d_2(n)$... konstanta závislá na rozsahu výběru hodnot

Interpretace výsledků: [3,11]

- 1) $C_p < 1$, přesnost není dosažena, jelikož je menší než předepsaná, v tolerančním intervalu leží méně než 99,73 % hodnot, proces je nezpůsobilý
- 2) $C_p = 1$, dosahovaná přesnost je splněna, přesně 99,73 % hodnot leží v tolerančním intervalu, proces je způsobilý
- 3) $C_p > 1$, více než 99,73 % hodnot leží v tolerančním intervalu, proces je z hlediska sledovaného znaku považovaný za způsobilý

V praxi se často používá hodnota 1,33, která nám zaručuje určitou rezervu. Tato skutečnost platí i pro další indexy. [5,11]

Pokud chceme brát v potaz pouze tento koeficient, má tyto specifické podmínky: [5]

- Konstantní rozptyl hodnot
- Střední hodnota měřeného souboru je rovna středu tolerančního intervalu ($\mu = T$)

3.8.4.2 Index C_{pk}

Od indexu C_p se odlišuje tím, že bere v potaz umístění hodnot sledovaného znaku kvality v tolerančním poli a charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Určuje polohu střední hodnoty rozdělení μ (aritmetického průměru) vzhledem ke středu tolerančního pole T . Poskytuje nám tedy podrobnější informace o procesu. [3,5]

Vypočteme jej ze vztahu: [3]

$$C_{pk} = \text{MIN} \left(\frac{USL - \bar{x}}{3 * \sigma}; \frac{\bar{x} - LSL}{3 * \sigma} \right), \quad (9)$$

kde: \bar{x} ... průměrná hodnota aritmetických průměrů výběrů

σ ... odhad směrodatné odchylky

Střední hodnota měřeného souboru μ se odhaduje podle průměrné hodnoty aritmetických průměrů výběrů hodnot \bar{x} .

Interpretace výsledků: [3,5]

- 1) $C_{pk} < 1$, proces není způsobilý,
- 2) $C_{pk} \geq 1$, proces je způsobilý.

Specifické podmínky:

- Konstantní rozptyl hodnot

Index C_{pk} ale má jednu vadu. Je-li odchylka mezi μ od T kompenzována zmenšováním rozptylu, pak C_{pk} nezachytí nedodržení tolerance T . Toho někteří výrobci využívají a udržují proces blízko jedné z tolerančních mezí tak, aby to pro ně bylo výhodné. [3]

3.8.4.3 Index C_{pm}

Tento index si v sobě ponechává dobré vlastnosti indexů C_p a C_{pk} . Jeho předností je, že dokáže odlišit i zmenšování rozptylu σ , a tudíž dokáže zaznamenat zvětšování odchylky mezi μ od T . [3]

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 * \tau} = \frac{USL - LSL}{6 * \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - T)^2}} \quad (10)$$

τ ... směrodatná odchylka naměřených hodnot kolem cílové hodnoty T

T ... střed tolerančního pole

Ke způsobilosti je požadována hodnota $C_{pm} \geq 1$.

Specifické podmínky: [3]

- Tolerance je symetrická

3.8.4.4 Index C_{pm}^*

Jestliže tolerance není symetrická, tj. požadovaná hodnota T neleží uprostřed tolerančních mezí, využijeme zobecnění indexu C_{pm} . Výpočet dle vzorce: [3]

$$C_{pm^*} = \min\left(\frac{T - LSL}{3 * \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - T)^2}}, \frac{USL - T}{3 * \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - T)^2}}\right) \quad (11)$$

Ke způsobilosti je požadována hodnota $C_{pm^*} \geq 1$.

3.8.4.5 Index C_{pmk}

Dosavadní indexy nemusí být dostačující, jelikož neberou v úvahu jinou polohu tolerance T než ve středu. Index C_{pmk} s tím počítá a jeho vzorec je: [3]

$$C_{pmk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3 * \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - T)^2}}, \frac{\mu - LSL}{3 * \sqrt{\sigma^2 + (\bar{x} - T)^2}}\right) \quad (12)$$

μ ... střední hodnota rozdělení naměřených hodnot

Ke způsobilosti je požadována hodnota $C_{pmk} \geq 1$.

3.8.5 Jiná než normální rozdělení

Uvedli jsme si příklad, jak vyřešit regulačními diagramy pro nenormální rozdělení, a proto je vhodné naznačit i metody vyhodnocování způsobilosti pro tento typ rozdělení. Normální rozdělení je symetrické, to u nenormálního rozdělení neplatí. Kvantily nám umožňují nenormální rozdělení rozdělit, tak aby v něm leželo 99,73 % hodnot. Tyto hodnoty leží mezi body označené jako U_p a L_p . [3,10]

3.8.5.1 Clementsova metoda

Pro třídu tzv. Pearsonových rozdělení (rozdělení beta, gama a Studentovo) navrhl Clements index C'_p a C'_{pk} . Tuto metodu doplnili Pearson a Kotz o indexy C'_{pm} , C'_{pmk} a $C^{*'}_{pm}$. Indexy mají využití v jiných než normálních rozděleních. Ke způsobilosti je požadována hodnota vždy ≥ 1 . [3]

3.8.5.2 Indexy C_{pp} a C_{pt}

Clementsova metoda není vhodná pro všechny druhy nenormálního rozdělení. Po ověření typu rozdělení určíme kvantily $x_{0,00135}$ a $x_{0,99865}$. Oba indexy se vypočítají dle vzorců: [3]

$$C_{pp} = \text{MIN} \left(\frac{USL - \mu}{x_{0,99865} - \mu}; \frac{\mu - LSL}{\mu - x_{0,00135}} \right) \quad (13)$$

$$C_{pt} = \text{MIN} \left(\frac{USL - T}{x_{0,99865} - T}; \frac{T - LSL}{T - x_{0,00135}} \right) \quad (14)$$

Rozsah souboru musí být alespoň 740 hodnot. Pokud má méně hodnot, lze za kvantily dosadit hodnoty x_{min} a x_{max} . Tyto krajní hodnoty nesmějí být odlehlé. [3]

3.8.5.3 Jednostranně neomezená tolerance

Hovoříme o ní, pokud je dána jen cílová hodnota T a jedna toleranční mez. Podmínkou je, aby T neleželo na některé z tolerančních mezí. [3]

Pro $LSL = -\infty$

$$C_{pm*} = \frac{USL - T}{3 * \tau} \quad (15)$$

Pro $USL = +\infty$

$$C_{pm*} = \frac{T - LSL}{3 * \tau} \quad (16)$$

3.8.5.4 Poloviční tolerance

Často se vyskytuje situace, kdy je cílová hodnota T shodná s některou toleranční mezí. Můžeme použít ratio indexy (reciproké). [3,10]

a) Je-li definováno LSL , pak

$$CR = \frac{3\sigma}{USL - T} \quad (17)$$

Je-li definováno USL , pak

$$CR = \frac{3\sigma}{T - LSL} \quad (18)$$



b) TR pro $\mu \geq T$ a $USL > T$

$$TR = \frac{3(\mu - T)}{USL - T} \quad (19)$$

TR pro $\mu < T$ a $USL < T$

$$TR = \frac{3(T - \mu)}{T - LSL} \quad (20)$$

c) LR index

$$LR = \sqrt{CR^2 + TR^2} \quad (21)$$

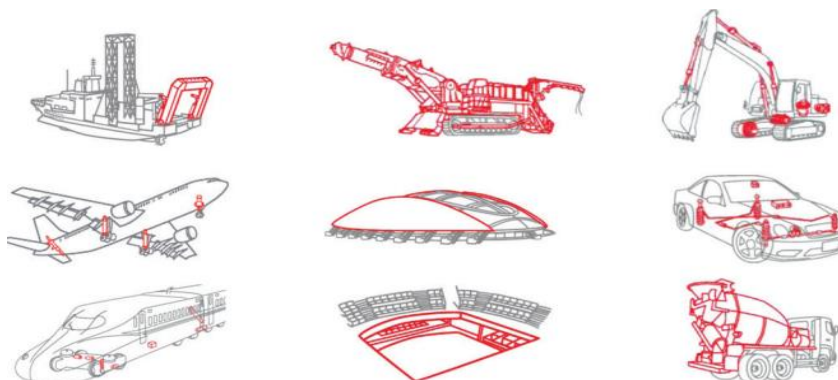
Pokud budou hodnoty CR , TR a $LR \leq 0,75$, proces je způsobilý.

4 Současný stav

4.1 Profil firmy

Společnost *KYB Manufacturing Czech s.r.o.* (dále jen „*KMCZ*“) byla založena dne 20. 8. 2003 do Obchodního rejstříku České republiky. Jejím hlavním předmětem podnikání je výroba tlumičů do aut. [12]

Tato společnost patří pod nadnárodní skupinu *KYB Corporation*. Firma patří mezi největší výrobce tlumičů na světě. Sama o sobě říká, že každý druhý automobil vyrobený v Japonsku má její tlumiče. V ostatních zemích toto platí pro každé páté vyrobené auto. Společnost *KYB* nevyrábí jen tlumiče do aut, ale v jejím portfoliu nalezneme hydraulická a elektronická zařízení s širokým využitím. Jsou to například posilovače řízení, elektronika pro automobily, výrobní a zemědělská zařízení, železnice, letadla, lodní doprava, tlumiče budov při zemětřesení, zařízení na zpracování a třídění odpadů, ale i invalidní vozíky a další. [12]



Obrázek 4: Výrobky společnosti *KYB Corporation* [12]

Společnost *KMCZ* je výrobním závodem společnosti *KYB Corporation*, sídlící v průmyslové zóně Pardubice, Staré Čivice. Společnost byla založena roku 2003 a první vyrobený tlumič se datuje do prosince roku 2006. V současné době podnik zaměstnává přibližně 600 lidí. Hlavními zákazníky jsou kolínská automobilka *TPCA*, maďarská pobočka automobilky *Suzuki*, *Renault* ve Francii, Slovinsku a Belgii, *Nissan* v Anglii a *Daimler*. Ročně se vyrobí více než 4 miliony tlumičů. [12]

Výroba v *KMCZ* je založena na japonském principu řízení výroby. Jedná se o systém *KPS* (*Kayaba Production System*), jehož hlavními prvky jsou: *Jidoka*, *Poka-Yoke*, *Monozukuri*, *5S*, *Kanban* a *5Why*. Pro výrobu tlumičů a komponent se využívají strojní zařízení od výrobců z Evropské unie a Japonska. Technologie v *KMCZ* zahrnuje třískové obrábění na *CNC* strojích,

povrchové úpravy lakováním, jednoúčelové montážní stroje s různým stupněm mechanizace a automatizace. Začíná se i více využívat robotizace a nejmodernější technologie ohleduplné k životnímu prostředí. [12]

Společnost KMCZ vyrábí nejenom nové tlumiče, ale i náhradní díly pro celou Evropu, které jsou distribuovány přes sesterskou společnost KGE. Trh náhradních dílů zahrnuje společnosti Mercedes-Benz, Audi, Peugeot, Citroen, Škoda auto a Hyundai. [12]



Obrázek 5: Auta z TPCA, kde se využívají tlumiče od KMCZ [13]



Obrázek 6: Tlumiče z KMCZ [12]

4.2 Součást – trubka pláště tlumiče

Pro vyhodnocení byla vybrána součást trubka, která slouží jako vnější skelet tlumiče. Vybraná součást slouží jako plášť tlumiče u auta Nissan Micra. Na obrázku č. 7 můžeme tento tlumič vidět. Výkres součásti je přiložen v příloze č. 2.



Obrázek 7: Tlumič auta Nissan Micra [13]

4.3 Výroba součásti

Bezkapalinové neboli *suché obrábění* je obrábění bez procesních kapalin. Jeho vznik započal v dobách, kde se uvažovalo o redukci nákladů. Tato technologie, ale musí splňovat parametry obrábění s procesními kapalinami, tj. kvalitativní znaky výroby. Použitím této metody lze dosáhnout snížení výrobních nákladů, a to při nakupování, skladování či likvidování procesních kapalin. Kapaliny při obrábění jsou velkým rizikem pro prostředí, tudíž suché obrábění lze považovat za ekologickou technologii v obrábění. [14]

U obrábění zasucha musíme vykompenzovat výhody použití procesních kapalin. Proces obrábění musí být navržen tak, aby se minimalizovalo množství tepla vzniklého, ale hlavně odváděného obrobkem. Při obrábění zasucha je přímé ochlazování třísek okolním vzduchem (přirozeným procesním prostředím) velmi malé, proto je nutno se s větší měrou zaměřit na důsledné odstraňování velmi teplých až žhavých třísek z výše jmenovaných oblastí. Chybějící čistící účinek procesní kapaliny, tj. odplavování třísek, může způsobovat zahlcování a zalepování prostoru pro třísky zvláště u vrtáků, závitorezných a brusných nástrojů. Problém lze řešit nejlépe odsáváním nebo nouzově i odfukováním třísek tlakovým vzduchem. Možnosti uplatnění obrábění zasucha, a tím i specifikace požadavků na proces, jsou závislé také na konkrétní kombinaci obráběného materiálu a způsobu obrábění. Při obrábění oceli hraje samozřejmě prioritní úlohu vysoká teplota řezání. [14,15]

Pro naši součást je suché obrábění důležité z toho hlediska, že nedochází ke kontaminaci součásti procesní kapalinou [13]. Obráběcí proces drážky, jejíž znaky se následně vyhodnocují, je zobrazen na obrázku č. 8.



Obrázek 8: Proces obrábění drážky [13]

4.4 Kontrola kvality

Ve firmě je zavedena třístupňová kontrola kvality. *Vstupní kontrola* probíhá pomocí statistická přejímky. Poté následují *mezioperační* a *operační kontroly*. Naše data pocházejí z kontroly poslední, tj. operační.

Pro hodnocení způsobilosti procesu je nutné zvolit vhodnou délku kontrolního intervalu a počet měření. Ze zkušeností a vyhodnocení firma ví, že výrobní proces má velmi nízkou rizikovitost nekvalitních dílů. Proto je stanoveno kontrolní měření na každou pátou výrobní dávku. Jedna výrobní dávka obsahuje 240 ks. Z každé páté výrobní dávky se následně odeberou jen 3 vzorky, které se proměřují a vyhodnocují.

Měření probíhá na konturoměru Contracer CV-3000 (viz obrázek č. 9) tak, že hrot převádí konturu povrchu do počítače, kde jsou odečteny měřené charakteristiky.



Obrázek 9: Mitutoyo CV-3000 [13]

5 Analýza dat

5.1 Analýza SPC formuláře KMCZ

Zákazník chce vždy dostat zboží ve sjednané kvalitě. Firmy se tak snaží co nejehospodárněji své výrobky vyrobit. U velkých výrobních firem nalezneme propracované, mnohdy ale i velmi složité výrobní procesy a data k nim se vztahující.

Firma KMCZ vyhodnocuje způsobilost procesu podle dokumentu „SPC formulář KMCZ“ (dále jen SPC formulář) vytvořeného v programu MS Office Excel. Tento dokument byl vytvořen zaměstnanci této firmy. My se teď na něj detailně podíváme, rozebereme ho a zhodnotíme případné nedostatky.

Hlavním cílem SPC formuláře je zjistit, zda je výrobní proces ve statisticky zvládnutelném stavu a zda je způsobilý. Pro lepší názornost je SPC formulář přiložen v původní podobě na CD-ROM jako příloha č. 3.

5.1.1 Vstupní data a informace

Každý program či dokument, který vyhodnocuje určitou entitu, potřebuje k vyhodnocení vstupní data. Bez nich se vyhodnocovací část neobejde, tudíž by nedávalo smysl takový program vlastnit, spravovat ho a vylepšovat. Vstupní data získáváme z měřicích přístrojů v laboratoři kvality, kde jsou následně převedena do interních souborů firmy pro zaznamenání dat. Jedná se o data měřitelná. K neměřitelným datům tento program pro vyhodnocení způsobilosti neslouží. Data se následně překopírují do SPC formuláře. Jak vidíme na obrázku č. 10, SPC formulář je udělaný tak, že vyhodnocuje rozsahy výběru od jedné do tří hodnot. Jak jsme si již říkali, výběr pouze tří hodnot je dán nízkou rizikovostí nekvalitní výroby. Počet výběrů by měl být dle [3] minimálně 20. Maximálně je možné využít až 50 výběrů.

Č. výběru	1	2	3	4	5	6	7	50
x1										
x2										
x3										

Obrázek 10: Pole pro naměřená data [16]

SPC formulář obsahuje i základní informace, které nám dávají přehled o výrobním procesu. Těmito údaji jsou: název a číslo stroje, měřený znak, specifikace znaku, způsob měření,

informace o měřeném dílu, osoba, která vypracovala SPC report, datum vypracování a toleranční meze. Na obrázku č. 11 je najdeme převážně v levé části SPC formuláře.

Popsání výrobního procesu je pro jeho další identifikování dostatečné. Jsou zde zaznamenány všechny důležité údaje, ale je možné ještě vylepšit jejich výčet. Pokud je uveden způsob měření, nebylo by od věci uvést ještě měřicí přístroj a jméno osoby, která hodnoty naměřila. Kolonka poznámky je dostatečně široká, je tak možné do ní zapsat další informace, které by se mohly při případně investigaci hodit.

Velkou nevýhodou tohoto formuláře je, že je až příliš orientovaný na úzký rozsah výběru hodnot. Více jak 3 hodnoty ve výběru se nedají zapsat.

Hodnocení způsobilosti procesu / SPC				Číslo reportu:		
Model		Průměr		Zpracoval:	Datum	
Reference/sebango		Průměrné rozpětí				
Číslo dílu		Medián				
Číslo stroje		Modus				
Název stroje		Minimální hodnota				
Název znaku		Maximální hodnota				
Způsob měření		Počet hodnot				
Specifikace znaku		Hodnocení	<input type="radio"/> Výkonnosti <input checked="" type="radio"/> Způsobilosti			
Horní tolerance USL		Směrodatná odchylka	s			σ
Dolní tolerance LSL		Cíl	Ppk			Cpk
Odchylka od		Pp / Cp	Pp			Cp
Je cíl procesu = 0 = LSL ?	NE	Cpm	Cpm	Cpm		
Poznámky		Ppk / Cpk	Ppk	Cpk		
		PpkU / CpkU k USL	PpkU	CpkU		
		PpkL / CpkL k LSL	PpkL	CpkL		
Je proces statisticky stabilní (zvládnutý)?	ANO	Je proces způsobilý?	NE			
Odpovídají data Gaussovu rozdělení?	NE					

Obrázek 11: Ukázka SPC formuláře KMCZ [16]

5.1.2 Základní popis dat

První relevantní informace o procesu nám poskytnou charakteristiky souboru hodnot. V SPC formuláři jsou uvedeny základní charakteristiky polohy i měnlivosti. Tyto charakteristiky jsou uváděny z dvou důvodů. Za prvé nám dávají jasné informace o hodnocených datech. Získáváme tak první vyhodnocení souboru hodnot. Za druhé nám tyto charakteristiky slouží jako podklad pro další výpočty a hodnocení, např. pro Shewhartovy regulační diagramy, histogram či samotné hodnocení způsobilosti procesu. Charakteristiky najdeme na obrázku č. 11, převážně na levé straně.

- *Charakteristiky:*

Maximální a minimální hodnota: funkce v excelu: „=max()“ a „=min()“

Počet hodnot: funkce v excelu: „=počet2()“ – počet buněk s obsahem

- *Charakteristiky polohy:* [8]

- Aritmetický průměr – charakterizuje symetrická či slabě nesymetrická rozdělení. Vyjadřuje průměrnou hodnotu měřeného znaku.

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \frac{1}{n} \quad (22)$$

Funkce v Excelu: „=průměr()“

- Medián – je to prostřední hodnota řady vzestupně uspořádaných hodnot

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (23)$$

$$Me = \frac{x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2} \quad (24)$$

Funkce v Excelu: „=median()“

- Modus – je to nejčtenější hodnota v souboru hodnot

Funkce v Excelu: „=mode()“

- *Charakteristiky měnlivosti:* [8]

- Výběrové rozpětí – rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou výběru

(dle vzorce č. 4) $R = x_{max} - x_{min}$

Funkce v Excelu: „=MAX()-MIN()“

- Výběrová směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \bar{x} \right)^2 \cdot \frac{1}{n-1}} \quad (25)$$

Funkce v Excelu: „=smodch.vyber()“

SPC formulář disponuje všemi potřebnými charakteristikami jak pro prvotní hodnocení, tak pro další výpočty. Můžeme říci, že seznam charakteristik je tak dostačující a není potřeba žádný zásah. Údaje jsou přehledně a systematicky uspořádané. Program MS Office Excel poskytuje jednoduché přidávání vzorců z předem vytvořené databáze. Nemusíme tak mít strach o to, že údaje mohou být mylné.

5.1.3 Regulační diagram

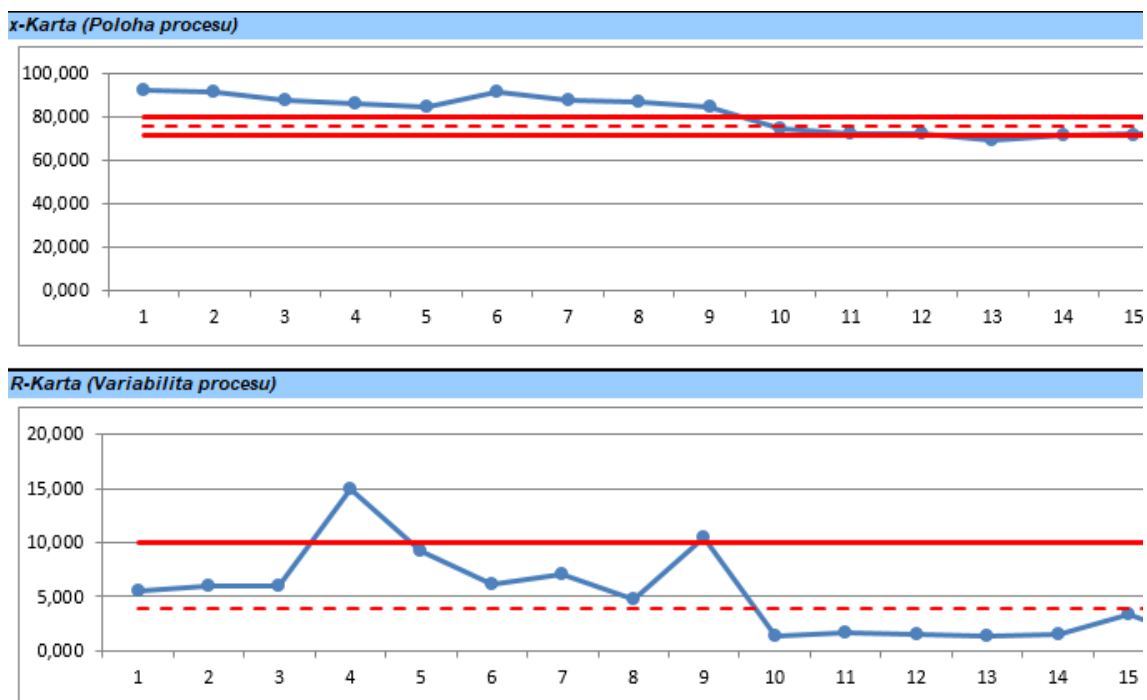
Nejpoužívanějšími regulačními diagramy jsou Shewhartovy regulační diagramy. SPC formulář není výjimkou, a i v něm jsou tyto diagramy, konkrétně typ (\bar{x}, R) , který se hodí pro měřitelné znaky a menší rozsah hodnot ve výběru. [5]

V SPC formuláři je diagram vypracován dle teoretických poznatků. Hlavním kritériem jsou regulační meze. Ty jsou sestaveny dle tabulky č. 1. Pro lepší názornost si znovu ukážeme vztahy pro horní (UCL) i dolní (LCL) regulační mez a střední průměr (CL) pro typ grafu \bar{x} i R v tabulce č. 3.

Tabulka 3: Vztahy pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí pro regulaci měřením [5]

diagram	Typ grafu	Poloha centrální přímký CL	Horní regulační mez UCL	Dolní regulační mez LCL
(\bar{x}, R)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R}$
	R	\bar{R}	$D_4 \cdot \bar{R}$	$D_3 \cdot \bar{R}$

Při výpočtech jsou použity správné součinitele pro výpočet o rozsahu hodnot tři. Součinitele $A_2 = 1,023$, $D_3 = 0$, $D_4 = 2,574$ odpovídají dle přílohy č. 1.



Obrázek 12: Ukázka SPC formuláře KMCZ - regulační diagramy [16]

V kap. 5.1.1 jsme zhodnotili, že rozsah výběru je velmi limitující. Ale pro typ regulačního diagramu je to výhoda. V SPC formuláři je možné mít maximálně 3 hodnoty ve výběru. Dle obrázku č. 2 je tak typ (\bar{x}, R) nejvhodnější. Diagram je v programu nastaven tak, že aktuálně reaguje na počet výběrů hodnot, což je velmi užitečné. Grafy jsou v diagramu dva. Názorný příklad je uveden na obrázku č. 12. Nejdříve se hodnotí graf výběrového rozpětí R . Pokud nějaký výběr přesáhne regulační meze, daný výběr se vymaže a oba grafy se přizpůsobí. V této části SPC formuláře není potřeba žádný zásah.

5.1.4 Způsobilost procesu

Finálním výsledkem SPC formuláře je údaj, který nám sdělí, zda je proces způsobilý, nebo je nutné zasáhnout. SPC formulář vyhodnocuje tři indexy. Tyto indexy předpokládají normální či mírně nesymetrické rozdělení dat. Jiná, než normální rozdělení zde není možno řešit.

Pokud je zadána dolní toleranční mez (LSL) i horní toleranční mez (USL), program spočítá indexy c_p a c_{pk} . Index c_{pk} , ale nemusí odhalit odchylku hodnot od středu tolerance T při snižování rozptylu dat. Proto by bylo vhodné SPC formulář doplnit ještě o možnost výpočtu indexu c_{pm} , který tento nedostatek řeší. Index c_{pk} poté funguje i v tom případě, že jedna z mezí je neomezená.

Index c_{pm} je spočítán v případě, kdy cíl procesu je dostat se k toleranční hranici LSL rovno nule ($LSL=0$).

Je jisté na zvážení, zda použití indexů c_p a c_{pk} je dostačující.

5.1.5 Doporučení pro KMCZ

SPC formulář se používá pro rozličné množství kvalitativních znaků na různých součástech z výroby. To s sebou nese jisté výhody v podobě univerzálnosti programu. Program je sice vytvořen pro rozsahy výběru do tří hodnot. Pokud ale chceme, či je nutné mít větší počet hodnot, pak je upravení programu jen chvilkovou záležitostí.

Základní data o výrobním procesu a charakteristiky o naměřených datech jsou kompletní. Vše je přehledně zpracováno s případným vysvětlením v poznámce. Pro potřeby firmy a následné vyhodnocení není třeba úprav těchto dat.

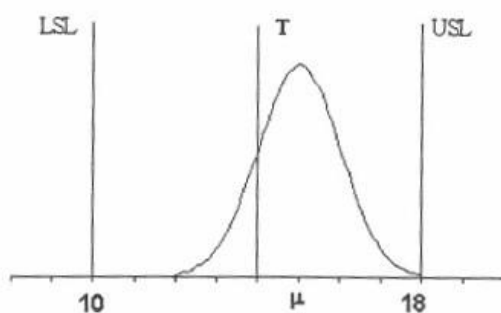
Regulační diagram je podle teoretických poznámek vybrán správně. Pokud bychom zvětšili rozsah výběru hodnot, je možné že by diagram (\bar{x}, R) nebyl vhodný. Upravení programu na jiný typ diagramu by vyžadoval určitý čas. Současný stav je ale tak flexibilní, že přeměna na jiný typ diagramu by nebyla obtížná. To je pro nás velmi pozitivní zpráva. Diagram ihned reaguje na počet

zadaných výběrů hodnot, případně i na vyloučení výběru či výběrů hodnot, které svými charakteristikami překračují regulační meze. Není třeba úprav.

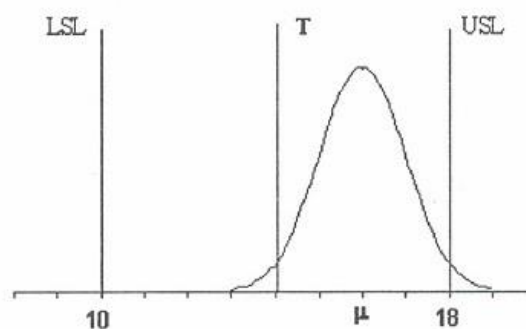
Vyhodnocení způsobilosti procesu probíhá přes indexy způsobilosti c_p , c_{pk} a c_{pm} . Indexy jsou spočítány dle teoretických poznatků a dávají nám jasný signál o způsobilosti procesu. V SPC formuláři je možné samotnému vyhodnocení pomoci. Máme zde možnost doplnit, jestli je rozdělení Gaussovou či jiné. Dále je možné stanovit cíl k dolní toleranční mezi ($LSL = 0$). Pokud by situace vyžadovala, bylo by vhodné ještě přidat index c_{pm} i pro jinou situace, nežli cíl $LSL = 0$. Je výhodnější reagovat na více indexů, a proto by bylo vhodné, aby se index c_{pm} počítal za každé situace. Index c_{pm} na rozdíl od c_{pk} dokáže reagovat i na změnu střední polohy rozdělení hodnot oproti cílové toleranci T při zmenšování rozptylu. Názorný příklad je uveden na obrázku č. 13 a 14.

μ	C_p	C_{pk}	C_{pm}
15	2	1,5	1,11

μ	C_p	C_{pk}	C_{pm}
16	2	1	0,63



Obrázek 13: Porovnání citlivosti indexů [3]



Obrázek 14: Porovnání citlivosti indexů [3]

Situaci a celkové vyhodnocení ještě dokresluje histogram s názorným rozložením hodnot mezi dolní a horní toleranční mezí. Pro ukázkou je přidána ještě Gaussova křivka rozdělení řešených hodnot. SPC formulář umí spočítat i indexy výkonnosti procesu.

Celkově můžeme zhodnotit, že SPC formulář je využíván efektivně a je velmi přizpůsobivý daným situacím. Vhodně zvolený systém metodiky řešení je efektivní. Pro lepší hodnocení výrobního procesu je doporučeno změřit více hodnot v každém pátém výběru (alespoň 5).

5.2 Vyhodnocení dat v SPC formuláři KMCZ

Jedním z úkolů práce bylo vyhodnotit naměřená data ve formuláři SPC vyhotoveným pro kontrolu stability, kontrolu způsobilosti, výkonnosti procesu a k získání dalších dat o souboru

hodnot. Analýza dat byla firmou zadána na součást „*trubka pláště tlumiče*“. V příloze č. 2 nalezneme výkres v plné velikosti.

Firma KMCZ se rozhodla pro vyhodnocení dvou znaků, které mají funkční využití a jsou důležité pro montáž. Prvním znakem je *pozice drážky* s rozměrem $24 \pm 0,2$ mm, druhým znakem je *vnější průměr drážky* s rozměrem $\varnothing 31,4 \pm 0,1$ mm.

Součást je obráběna pomocí technologie bezkapalinového soustružení, jak je uvedeno výše v odstavci 4.3. Pro vyhodnocení způsobilosti procesu je důležité monitorovat proces a v průběhu daného časového období jej vyhodnocovat a přijímat případná opatření. Měření probíhá na přístroji Mitutoyo CV-3000, který je alespoň o řád přesnější, než jsou stanovené tolerance. Tudíž vyhovuje podmínkám měření.

Pro vyhodnocení dat bylo u obou znaků rozhodnuto o naměření tří vzorků. Zkušenostmi s procesy je stanovena délka kontrolního intervalu na každou pátou výrobní dávku. Celkem bylo naměřeno 20 sérií, tj. 60 hodnot. Hodnoty byly zapisovány do programu MS Excel, kde následně probíhá i jeho vyhodnocení pomocí SPC formuláře KMCZ.

5.2.1 Vyhodnocení znaku pozice drážky

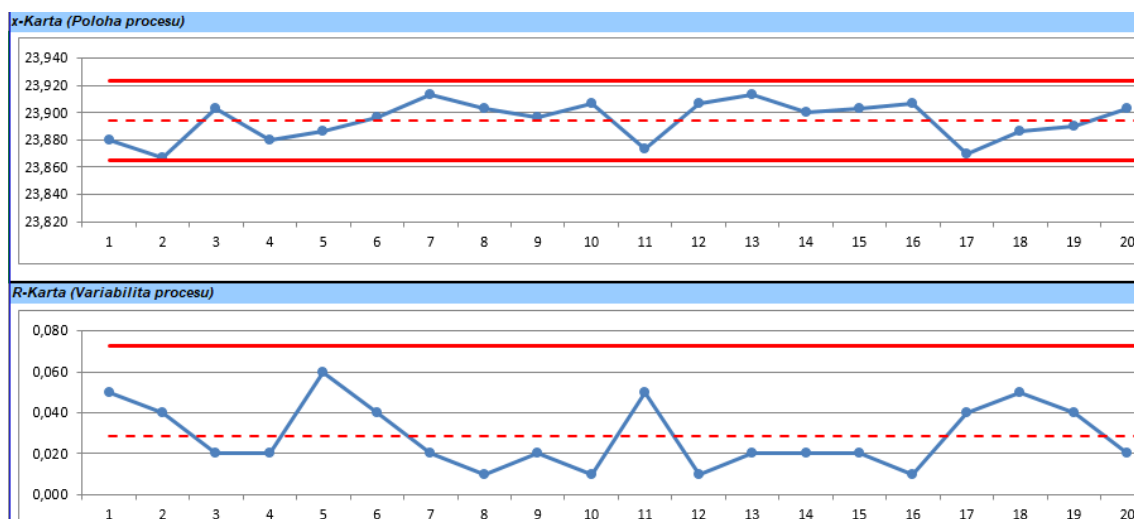
Hodnota znaku z výkresu je $24 \pm 0,2$ mm. Pro výrobek je tento znak důležitý, jelikož ukazuje vzdálenost drážky od okraje trubky pro usazení komponenty.

V laboratoři kvality byly naměřeny podle výše stanovených pravidel tyto hodnoty. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku č. 15.

Č. výběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x1	23,86	23,85	23,91	23,87	23,91	23,87	23,90	23,90	23,89	23,91
x2	23,91	23,89	23,89	23,89	23,85	23,91	23,92	23,90	23,91	23,90
x3	23,87	23,86	23,91	23,88	23,90	23,91	23,92	23,91	23,89	23,91
Č. výběru	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x1	23,85	23,91	23,92	23,90	23,91	23,90	23,87	23,86	23,91	23,91
x2	23,90	23,91	23,92	23,91	23,89	23,91	23,85	23,91	23,87	23,89
x3	23,87	23,90	23,90	23,89	23,91	23,91	23,89	23,89	23,89	23,91

Obrázek 15: Vstupní data – znak pozice drážky v mm [Příloha č.4]

Po zapsání hodnot SPC formulář vyhodnotí data. Nejprve je důležité se podívat na Shewhartovy regulační diagramy. SPC formulář využívá diagram typu (\bar{x}, R) .



Obrázek 16: Regulační diagramy pro znak pozice drážky [Příloha č.4]

Vyhodnocení regulačního diagramu je v tomto případě celkem jednoduché. Nejdříve se hodnotí diagram variability procesu R . Jak je vidět na obrázku č. 16, žádná hodnota nepřesahuje regulační meze. Většina hodnot se pohybuje kolem střední přímky CL . To samé můžeme říci o diagramu polohy procesu. Dá se tak usoudit, že proces je stabilizován a je statisticky zvládnutelný. Pak proces neobsahuje vymezené vlivy.

Posledním krokem ve vyhodnocení způsobilosti procesu je spočítání indexů způsobilosti. K tomu SPC formulář využívá indexy způsobilosti c_p a c_{pk} .

$$USL = 24,2 \text{ mm}$$

$$LSL = 23,8 \text{ mm}$$

$$\bar{\bar{x}} = 23,894 \text{ 1 mm}$$

$$\sigma = 0,016 \text{ 736 mm}$$

$$c_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{24,2 - 23,8}{6 * 0,016 \text{ 736}} = 3,98$$

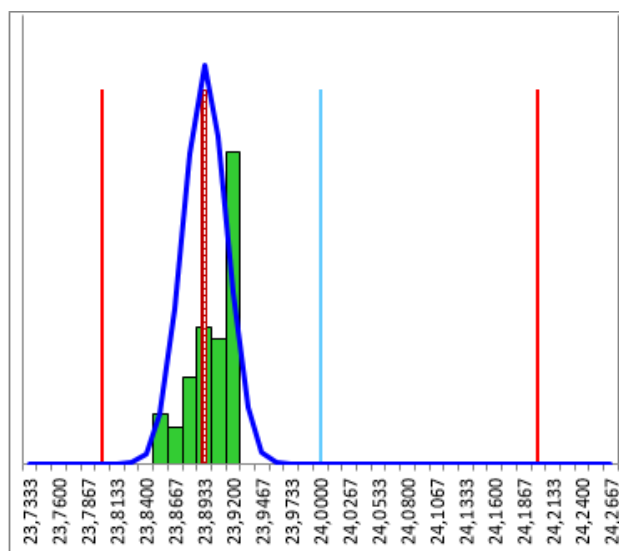
$$c_{pk} = \text{MIN} \left(\frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3 * \sigma}; \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3 * \sigma} \right) = \text{MIN} \left(\frac{24,2 - 23,894 \text{ 1}}{3 * 0,016 \text{ 736}}; \frac{23,894 \text{ 1} - 23,8}{3 * 0,016 \text{ 736}} \right) = 1,87$$

Stanoveným cílem firmy KMCZ je dosáhnout u indexu c_{pk} hodnotu větší než 1,333. To se v tomto případě podařilo s menší rezervou a můžeme tak říci, že proces je schopen plnit požadavky kvality, tudíž dodávat zákazníkovi produkty v předem sjednané kvalitě.

Histogram (obrázek č. 17) nám podává obrázek o rozložení hodnot v tolerančních mezích. Index c_{pk} vyšel nad požadovanou hodnotu 1,333, proces je tak způsobilý, což lze vyčíst i z histogramu. Je ale zřejmé, že většina hodnot se udržuje co nejbližší dolní toleranční mezi LSL .

Jde o znak vzdálenosti lůžka od okraje trubky. Dle výkresu součásti v příloze č. 1 je zřejmé, že čím bližší jsou hodnoty k LSL , tím můžeme zkrátit strojní čas, tj. nástroj nemusí zajíždět tak daleko od své základní pozice. Nesmíme ale připustit přílišně nízké hodnoty, ty by mohly vést k nezpůsobivosti procesu. Vzhledem k těmto skutečnostem by bylo vhodné spočítat ještě index C_{pm} , který by odhalil dosti odlišnou průměrnou hodnotu rozdělení od středu tolerance při nízké variabilitě dat.

Vypracovaný SPC formulář je přiložen v příloze č. 4.



Obrázek 17: Histogram znaku pozice drážky [Příloha č.4]

5.2.2 Vyhodnocení znaku vnější průměr drážky

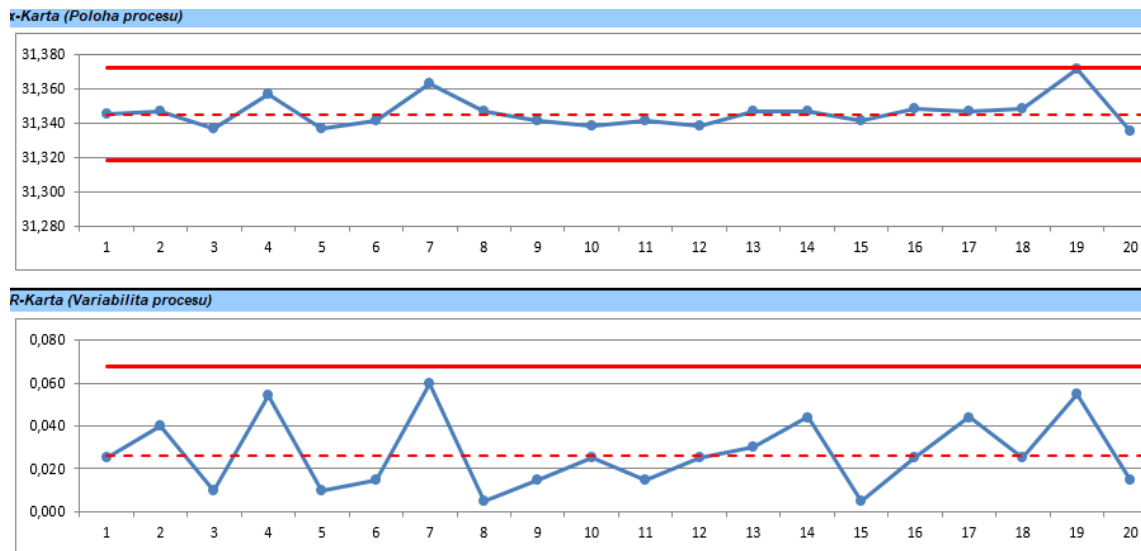
Hodnota znaku z výkresu je $\varnothing 31,4 \pm 0,1$ mm. Předcházející znak u výrobku určuje vzdálenost drážky od okraje trubky. Nyní se budeme zabývat funkčním znakem, který nám udává průměr dané drážky. Z funkčního hlediska tento parametr zajišťuje pevnou pozici komponenty.

V laboratoři kvality byly naměřeny podle výše stanovených pravidel tyto hodnoty. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku č. 18.

Č. výběru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x1	31,360	31,340	31,33	31,326	31,33	31,34	31,350	31,345	31,335	31,325
x2	31,340	31,33	31,34	31,380	31,34	31,35	31,340	31,345	31,34	31,350
x3	31,335	31,37	31,340	31,365	31,340	31,335	31,400	31,350	31,35	31,340
Č. výběru	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x1	31,335	31,325	31,35	31,370	31,340	31,335	31,326	31,335	31,400	31,34
x2	31,34	31,350	31,36	31,345	31,345	31,35	31,370	31,35	31,370	31,340
x3	31,35	31,340	31,33	31,326	31,340	31,36	31,345	31,36	31,345	31,325

Obrázek 18: Vstupní data – znak vnější průměr drážky v mm [Příloha č.5]

Ve formuláři SPC dojde k vyhodnocení stability procesu na základě regulačního diagramu typu (\bar{x}, R) .



Obrázek 19: Regulační diagramy pro znak vnější průměr drážky [Příloha č.5]

I u tohoto měřeného parametru jsou regulační diagramy v rámci svých mezí a můžeme tak říci, že proces je stabilizován a statisticky zvládnutelný (viz obrázek č. 19).

Dále formulář vyhodnotí způsobilost procesu dle indexů c_p a c_{pk} .

$$USL = 31,5 \text{ mm}$$

$$LSL = 31,3 \text{ mm}$$

$$\bar{\bar{x}} = 31,345 \text{ 1 mm}$$

$$\sigma = 0,015 \text{ 489 mm}$$

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{31,5 - 31,3}{6 * 0,015 \text{ 489}} = 2,15$$

$$C_{pk} = \text{MIN} \left(\frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3 * \sigma}; \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3 * \sigma} \right) = \text{MIN} \left(\frac{31,5 - 31,345 \text{ 1}}{3 * 0,015 \text{ 489}}; \frac{31,345 \text{ 1} - 31,3}{3 * 0,015 \text{ 489}} \right) = 0,97$$

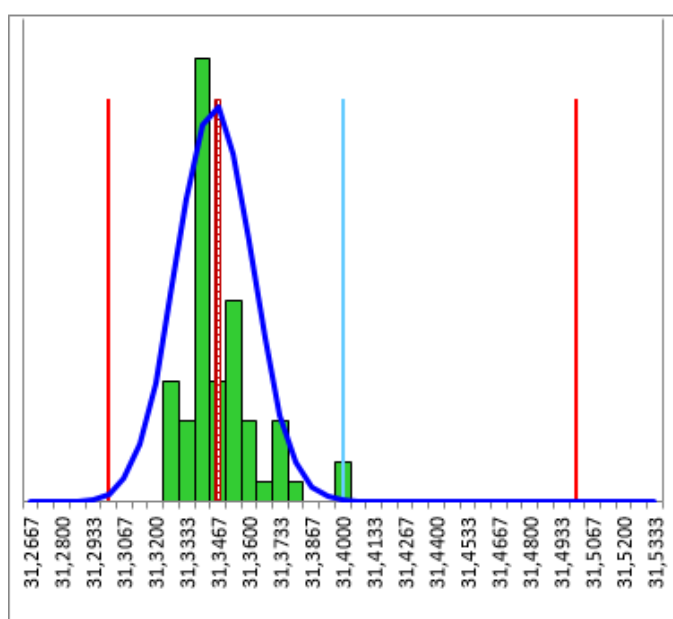
Index c_p vyšel nad požadovanou mez 1. Dává nám ale jen údaj o tom, zda jsou všechny hodnoty uvnitř tolerančního pole. Proto využijeme index c_{pk} , který porovnává rozdělení hodnot vzhledem ke středu tolerančního pole. Výsledná hodnota 0,97 pro nás není pozitivní a proces tak není způsobilý. Rozdělení hodnot se až příliš blíží k dolní toleranční mezi LSL . Variabilita hodnot je nízká vzhledem k tolerančním mezím. Nejvhodnějším opatřením, jak zajistit danou

způsobnost procesu je seřadit proces tak, aby se hodnoty více blížily středu tolerančního pole. Proto by bylo vhodné ještě doplnit vyhodnocení indexem c_{pm} .

Jak napověděl index c_{pk} , rozdělení hodnot by se mělo více blížit středu tolerančního pole. To by bylo vhodné i vzhledem k funkčnímu využití znaku, jak ukazuje histogram na obrázku č. 20.

Jelikož proces je nezpůsobivý, je doporučeno zvýšit počet odebraných vzorků v rámci každé páté výrobní dávky, anebo zkrátit odebírání vzorků na každou druhou dávku, než se proces povede dostat do statisticky zvládnutelného stavu.

Vypracovaný SPC formulář je přiložen v příloze č. 5.



Obrázek 20: Histogram znaku vnější průměr drážky [Příloha č.5]

6 Závěr

Cílem této práce je zhodnocení metodiky při vyhodnocování způsobilosti procesu pomocí statistických metod v systému SPC. Záměrem bylo, aby práce mohla sloužit pro účely firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o. V našem případě bude sloužit pro zákazníky, aby firma měla možnost nabídnout ucelený dokument o svém řešení způsobilosti procesu. Také bude sloužit jako podklad pro školení stávajících či budoucích zaměstnanců.

V teoretické části je zpracován systém SPC. Na úvod jsou uvedeny základní informace o metrologii, měření či měřicích přístrojích. Největší část je věnována samotnému systému SPC a jeho detailnímu popisu. Nejdříve je uvedena popisná statistika. Následuje část o regulačních diagramech, které nám říkají, zda je proces statisticky zvládnutelný. Pokud tomu tak není, řešíme problém dle nástrojů managementu kvality. V poslední části je řešena způsobilost procesu, převážně indexy způsobilosti pro normální rozdělení dat.

Na představení firmy, procesu výroby a kontroly kvality dané součásti navazuje praktická část, kde se vyhodnocuje firemní dokument pro řešení způsobilosti procesu. Po detailním rozboru můžeme konstatovat, že „SPC formulář KMCZ“ je vypracován správně, je tak vhodný pro praktické užívání. Jeho výhodou je, že jen malými úpravami dokumentu dokážeme reagovat na podstatnou změnu při odběru dat, a tím i na případnou související změnu regulačního diagramu.

Dále došlo k vyhodnocení způsobilosti procesu na dvou znacích kvality u součásti „trubka pláště tlumiče“. Znak pozice drážky je po vyhodnocení označen jako proces způsobilý s hodnotou $c_{pk} = 1,87$. Znak vnější průměr drážky je označen jako proces nezpůsobilý, jelikož index $c_{pk} = 0,97$. Je navrženo zkorigovat výrobní proces tak, aby se střední hodnota výběru dat blížila středu tolerančního pole. Dále je doporučeno jak pro oba znaky, tak pro celý SPC formulář přidat index způsobilosti c_{pm} , který nám lépe popíše soubor hodnot.



7 Seznam použité literatury

1. TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie - část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0671-1.
2. ČECH, Jaroslav, Libor JANÍČEK a Jiří PERNIKÁŘ. *Strojírenská metrologie*. Brno: PC-DIR, 1998. ISBN 80-214-1230-5.
3. TOŠENOVSKÝ, Josef. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-X.
4. BOTEK, Marek a Libor ADAMEC. *Sbírka příkladů z inženýrské ekonomiky a managementu*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2004. ISBN 8070805447.
5. TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie - část 2*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1209-6.
6. ČSN ISO 11462-1:2002. *Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – Část 1: Prvky SPC*. 2002.
7. KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Management kvality I*. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.
8. KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Statistická a rozhodovací analýza*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05509-0.
9. ČSN ISO 8258:1994. *Shewhartovy regulační diagramy*. 1994.
10. JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5355-3.



11. Analýza způsobilosti procesu. *www.statsoft.cz* [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft_Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf
12. *Seznámení s KMCZ* [online]. In: s. 16 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <http://www.kmcz.cz/filedownloads-70-15daacf0fd25>
13. *Interní materiály firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o., Staré Čívce, 2017.*
14. ROČEK, V. *Suché obrábění snižuje výrobní náklady*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2003, č. 4 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sucheobrabeni-snizuje-vyrobní-naklady.html>
15. MM Průmyslové spektrum. *Obrábění za sucha – ano, či ne?* [online]. 2001, č. 11 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne.html>
16. „SPC formulář KMCZ“ firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o., Staré Čívce, 2017.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Náhodné a vymezitelné příčiny variability [3]	16
Obrázek 2: Rozhodovací strom pro volbu Shewhartova regulačního diagramu [3]	21
Obrázek 3: Dynamický diagram EWMA pro naměřené hodnoty [3]	26
Obrázek 4: Výrobky společnosti KYB Corporation [12]	36
Obrázek 5: Auta z TPCA, kde se využívají tlumiče od KMCZ [13]	37
Obrázek 6: Tlumiče z KMCZ [12]	37
Obrázek 7: Tlumič auta Nissan Micra [13]	37
Obrázek 8: Proces obrábění drážky [13]	38
Obrázek 9: Mitutoyo CV-3000 [13]	39
Obrázek 10: Pole pro naměřená data [16]	40
Obrázek 11: Ukázka SPC formuláře KMCZ [16]	41
Obrázek 12: Ukázka SPC formuláře KMCZ - regulační diagramy [16]	43
Obrázek 13: Porovnání citlivosti indexů [3]	45
Obrázek 14: Porovnání citlivosti indexů [3]	45
Obrázek 15: Vstupní data – znak pozice drážky v mm [Příloha č.4]	46
Obrázek 16: Regulační diagramy pro znak pozice drážky [Příloha č.4]	47
Obrázek 17: Histogram znaku pozice drážky [Příloha č.4]	48
Obrázek 18: Vstupní data – znak vnější průměr drážky v mm [Příloha č.5]	48
Obrázek 19: Regulační diagramy pro znak vnější průměr drážky [Příloha č.5]	49
Obrázek 20: Histogram znaku vnější průměr drážky [Příloha č.5]	50



9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci měřením [5]	22
Tabulka 2: Vztahy pro výpočet polohy centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci srovnáváním [5]	23
Tabulka 3: Vztahy pro výpočet centrální přímky a regulačních mezí pro regulaci měřením [5]	43

10 Seznam symbolů a zkratek

μ	[mm]	střední hodnota výběru
A_2	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
A_3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
A_4	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
a_{yx}	[-]	parametr regrese
B_3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
B_3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
B_4	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
b_{yx}	[-]	regresní koeficient
C	[mm]	cílová hodnota
c	[ks]	počet neshod ve výběru
\bar{c}	[ks]	průměrný počet neshod ve výběrech
CL	[mm]	centrální přímka
C_p	[-]	index způsobilosti
C_{pk}	[-]	index způsobilosti
C_{pm}	[-]	index způsobilosti
C_{pm^*}	[-]	index způsobilosti
C_{pmk}	[-]	index způsobilosti
C_{pp}	[-]	index způsobilosti
C_{pt}	[-]	index způsobilosti
CR	[-]	ratio index
$CUSUM$	[-]	metoda kumulovaných součtů
D_3	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
D_4	[-]	konstanta dle ČSN ISO 8258
$EWMA$	[-]	exponenciální zapomínání
f_p	[%]	variační rozpětí
h	[mm]	šířka intervalu
k	[ks]	počet třídních intervalů
$KMCZ$	[-]	KYB Manufacturing Czech s.r.o.
KPS	[-]	Kayaba Production Systém
LCL	[mm]	dolní regulační mez
LR	[-]	ratio index



LSL	[mm]	dolní toleranční mez
LWL	[mm]	dolní výstražná mez
\bar{Me}	[mm]	aritmetický průměr mediánů
Me	[mm]	medián
\bar{n}	[ks]	průměrný rozsah výběrů
n	[ks]	rozsah výběru
N	[ks]	rozsah zkoumaného souboru
np	[ks]	počet neshodných jednotek ve výběru
p	[ks]	podíl neshodných jednotek výběru
\bar{p}	[ks]	průměrný podíl neshodných jednotek výběrů
R	[mm]	aritmetický průměr variačních rozpětí
R	[mm]	variační rozpětí
\bar{s}	[mm]	aritmetický průměr směrodatných odchylek
s	[mm]	směrodatná odchylka
SPC	[-]	statistická regulace procesu
T	[mm]	směrodatná odchylka naměřených hodnot kolem cílové hodnoty T
T	[mm]	střed tolerančního pole, cílová hodnota
T ²	[-]	testovací kritérium
TR	[-]	ratio index
u	[ks]	počet neshod na jednotku
\bar{u}	[ks]	průměrný počet neshod na jednotku ve výběrech
UCL	[mm]	horní regulační mez
USL	[mm]	horní toleranční mez
UWL	[mm]	horní výstražná mez
w	[%]	váhový koeficient
\bar{x}	[mm]	aritmetický průměr
$\bar{\bar{x}}$	[mm]	aritmetický průměr aritmetických průměrů výběrů
$X_{0,0135}$	[mm]	dolní kvantil
$X_{0,99865}$	[mm]	horní kvantil
X_{max}	[mm]	maximální hodnota výběru
X_{min}	[mm]	minimální hodnota výběru
Y_k	[-]	testové kritérium
λ	[-]	parametr diagramu EWMA
σ	[mm]	odhad směrodatné odchylky základního souboru

11 Seznam příloh

Příloha č. 1: Součinitele pro regulační meze Shewhartových regulačních diagramů

Příloha č. 2: Výkres součásti „trubka pláště tlumiče“

Příloha č. 3: „SPC formulář KMCZ“

Příloha č. 4: SPC formulář KMCZ s vyhodnocením znaku pozice drážky

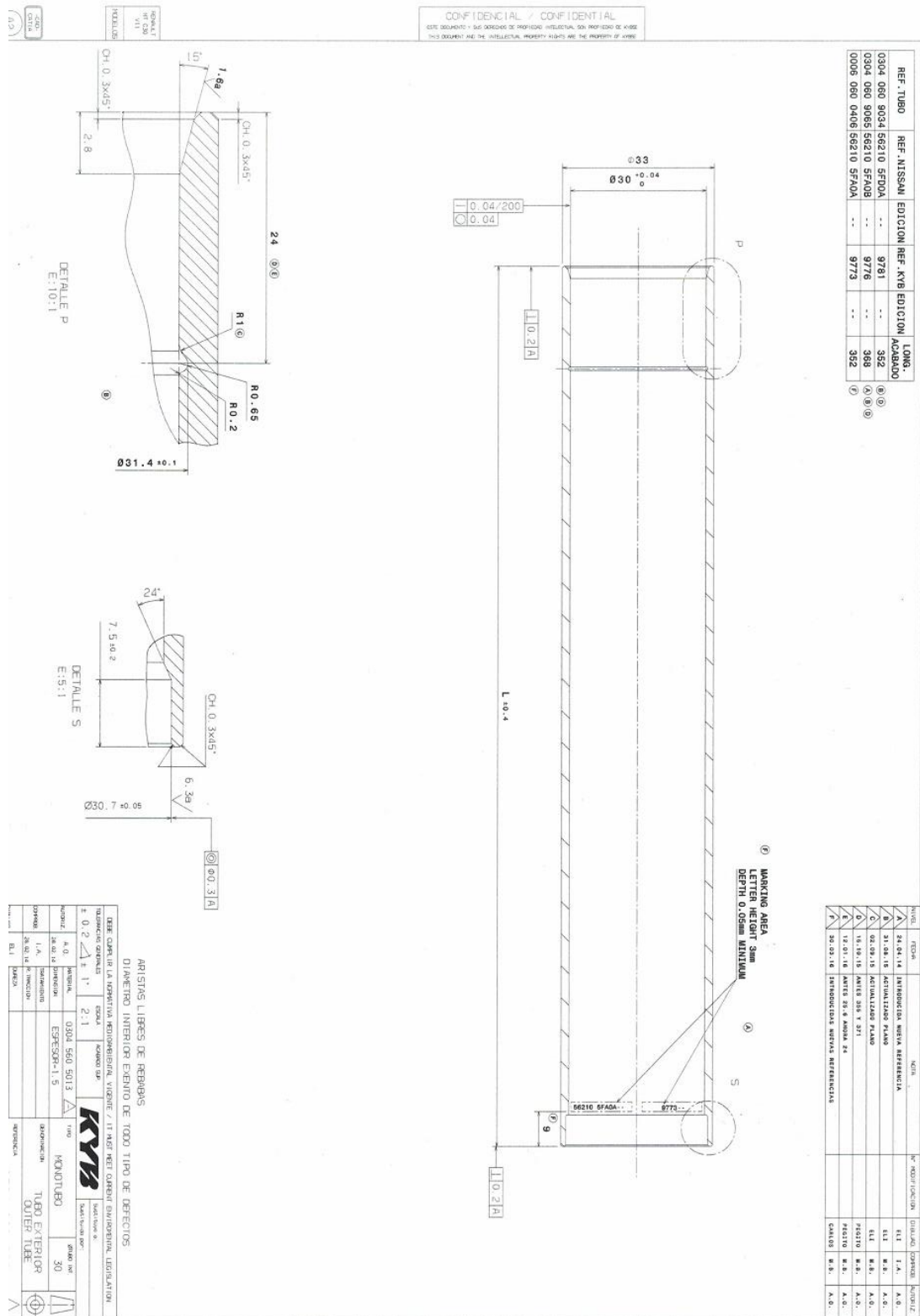
Příloha č. 5: SPC formulář KMCZ s vyhodnocením znaku vnější průměr drážky

Příloha 1: Součinitele pro regulační meze Shewhartových regulačních diagramů [3]

rozsah podskupiny n	součinitele pro výpočet CL, LCL, UCL							
	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	D ₃	D ₄	C ₄	d ₂
2	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	3,267	0,7979	1,128
3	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,574	0,8862	1,693
4	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,282	0,9213	2,059
5	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	2,114	0,940	2,326
6	0,483	1,287	0,030	1,970	0,000	2,004	0,9515	2,534
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	0,9594	2,704
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	0,965	2,847
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	0,9693	2,970
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777	0,9727	3,078
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744	0,9754	3,173
12	0,266	0,886	0,354	1,646	0,283	1,717	0,9776	3,258
13	0,249	0,850	0,382	1,618	0,307	1,693	0,9794	3,336
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672	0,9810	3,407
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653	0,9823	3,472
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637	0,9835	3,532
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622	0,9845	3,588
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,391	1,608	0,9854	3,640
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597	0,9862	3,689
20	0,180	0,680	0,510	1,490	0,415	1,585	0,9869	3,735
21	0,173	0,663	0,523	1,477	0,425	1,575	0,9876	3,778
22	0,167	0,647	0,534	1,466	0,434	1,566	0,9882	3,819
23	0,162	0,633	0,545	1,455	0,443	1,557	0,9887	3,858
24	0,157	0,619	0,555	1,445	0,451	1,548	0,9892	3,895
25	0,153	0,606	0,565	1,435	0,459	1,541	0,9896	3,931



Příloha č. 2: Výkres součásti trubka pláště tlumiče [10]



Přílohy č. 3, 4 a 5 jsou v elektronické podobě [10], tudíž jsou k nalezení na CD-ROM.