

Analýza nejistot měření v mechanické výrobě a následné využití pro kontrolu stability procesu

Bc. Ondřej Koudelka

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Koudelka**
Osobní číslo: **T16640**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Analýza nejistot měření v mechanické výrobě a následné využití pro kontrolu stability procesu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studii na dané téma**
- 2. Provedení statistické analýzy nejistot měření**
- 3. Aplikace nejistot měření mechanické výroby pro kontrolu procesu**
- 4. Statistické vyhodnocení stability procesu**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Nenadál, Jaroslav. Moderní systémy řízení jakosti : quality management. 2. dopl. vyd. Praha : Management Press, 2005. ISBN 8072610716.**
2. **Nenadál, Jaroslav. Měření v systémech managementu jakosti. 2., dopl. vyd. Praha: Management Press, 2004. ISBN 80-7261-110-0.**
3. **ČSN EN ISO 9001:2015. Systémy managementu Kvality Praha , 2016.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milena Kubišová, PhD.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 17. ledna 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou stability procesu měření (MSA), stanovením, zdali je proces způsobilý a zavedením potřebných opatření ke stabilizaci procesu, což jsou nutné kroky před následným zavedením statistické kontroly procesu (SPC) do výrobního procesu konkrétních mechanických položek. Hlavním důvodem zavedení SPC je konkurence schopnost v rámci neustálého zlepšování jakosti na trhu.

Teoretická část práce se zabývá nejistotami měření, nástrojům řízení kvality a kontroly procesů.

Praktická část se věnuje analýze konkrétního měřicímu procesu v mechanické výrobě, stanovením způsobilosti, zavedení potřebných opatření ke stabilitě procesu a následné zavádění SPC do výrobního procesu.

Klíčová slova: MSA, SPC, Kvalita výroby, Nejistoty měření

ABSTRACT

This thesis deals with the analysis of measurement process stability (MSA), determining whether a process is eligible and introducing the necessary measures to stabilise the process, which are necessary steps before the subsequent introduction of process control (SPC) into the manufacturing process of specific mechanical items. The main reason for the introduction of SPC is its competitive ability in the context of continuous improvement of the market.

The theoretical part deals with measurement uncertainties, quality control tools and process control.

The practical part is devoted to the analysis of a particular measuring process in mechanical production, to the determination of eligibility, to the introduction of the necessary measures to the stability of the process and the subsequent introduction of the SPC into the production process.

Keywords: Measurement System Analysis, Statistical Control Process, Quality of production, Measurement uncertainty

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Mileně Kubišové PhD. za věcné připomínky a rady při jejím zpracování.

Stejně tak bych chtěl poděkovat firmě Meopta – optika, s.r.o., za podporu při dálkovém studiu a všem jejím zaměstnancům, kteří mě provázeli při řešení praktické části mé práce. Zejména pak panu Ing. Lumíru Osmančíkovi za velkou ochotu, čas a věcné rady.

A nesmím zapomenout na mou rodinu, která mě podporovala za všech okolností.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 NEJISTOTY MĚŘENÍ | 11 |
| 1.1 DEFINICE NEJISTOTY MĚŘENÍ | 11 |
| 1.2 NEJISTOTY TYPU A | 12 |
| 1.3 NEJISTOTA TYPU B | 14 |
| 1.4 ZDROJE NEJISTOT MĚŘENÍ | 14 |
| 2 MSA – ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ | 15 |
| 2.1 STRANNOST – PŘESNOST | 16 |
| 2.2 STABILITA | 17 |
| 2.3 LINEARITA | 18 |
| 2.4 OPAKOVATELNOST | 18 |
| 2.5 REPRODUKOVATELNOST | 19 |
| 2.6 VARIABILITA MĚŘENÍ | 20 |
| 2.7 ANALÝZA ROZPTYLU | 20 |
| 3 ZPŮSOBY HODNOCENÍ VÝROBNÍHO PROCESU | 21 |
| 3.1 SPC – STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESU | 21 |
| 3.2 REGULAČNÍ DIAGRAMY | 21 |
| 3.3 INDEXY ZPŮSOBILOSTI C_p A C_{pk} | 24 |
| 3.3.1 Matematické vyjádření | 26 |
| 3.4 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ TESTY VYMEZITELNÝCH PŘÍČIN | 27 |
| 3.5 PŘÍČINY KOLÍSÁNÍ PROCESU | 30 |
| 3.5.1 Způsobilost procesu | 30 |
| 4 NÁSTROJE KVALITY | 31 |
| 4.1 DIAGRAM PŘÍČIN A NÁSLEDKŮ – ISHIKAWA DIAGRAM | 31 |
| 4.2 KONTROLNÍ TABULKA | 32 |
| 4.3 HISTOGRAM | 33 |
| 4.4 PARETŮV DIAGRAM | 35 |
| 4.5 BODOVÝ DIAGRAM | 36 |
| 4.6 VÝVOJOVÝ DIAGRAM | 37 |
| 4.6.1 Typy vývojových diagramů: | 37 |
| 5 FMEA – ANALÝZA MOŽNÉHO VÝSKYTU A VLIVU VAD | 38 |
| 5.1 DRUHY FMEA | 38 |
| 5.2 ZPRACOVÁNÍ FMEA | 38 |
| 6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE | 41 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 42 |
| 7 VYBRANÝ KONTROLNÍ DÍL | 43 |
| 7.1 POUŽITÉ MĚŘIDLO | 44 |
| 8 MSA POUŽÍVANÉ METODY MĚŘENÍ | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 8.1 | INTERPRETACE VÝSLEDKŮ Z PROGRAMU MINITAB | 46 |
| 8.2 | ISHIKAWA DIAGRAM | 47 |
| 8.3 | PARETŮV DIAGRAM | 49 |
| 8.4 | FMEA | 50 |
| 8.5 | MSA PO ZAVEDENÍ NÁPRAVNÉHO OPATŘENÍ | 52 |
| 8.6 | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | 53 |
| 8.7 | DRUHÉ NÁPRAVNÉ OPATŘENÍ | 54 |
| 8.8 | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | 57 |
| 9 | ZAVEDENÍ SPC | 58 |
| 9.1 | NASTAVENÍ PROGRAMU MARCOM PROFESSIONAL | 58 |
| 9.2 | PLÁN PRACOVIŠTĚ | 62 |
| 9.3 | MOŽNÉ PROBLÉMY, SE KTERÝMI BYCHOM SE MOHLI POTKAT | 62 |
| | ZÁVĚR | 63 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 64 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 66 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 67 |
| | SEZNAM TABULEK | 69 |

ÚVOD

V neustále se rozvíjejícím průmyslu jdou ruku v ruce nové výrobní technologie s novými nástroji kvality. Pro udržení se na trhu je pro výrobní podnik nutné nezůstat na místě, ale sledovat trendy a stále se zlepšovat, aby si udrželi konkurenceschopnost.

Zákazníci chtějí spolehlivé dodavatele kvalitních výrobků. Je běžné, že je od dodavatele požadováno deklarování certifikátů kvality a jsou to právě zákazníci, kteří stále častěji vyvíjejí tlak na zavedení SPC do výroby jejich objednaného výrobku.

Metoda SPC umožňuje sledovat výrobní proces v čase a umožnit tak odhalení změn nebo chyb včas. Tato metodika najde uplatnění především v sériové výrobě.

Před zavedením SPC do výroby je nutné mít stabilní proces měření.

Jestli je měřicí proces stabilní nám pomůže zjistit metoda MSA.

Co se stane, když se zjistí, že proces není stabilní? Za pomoci komplexní metod jako je diagram příčin a následků a metoda FMEA se určí příčiny, proč tomu tak je a navrhnou se nápravná opatření.

Cílem této práce tedy není pouze zavedení SPC, ale také uvedení měřicího procesu do stabilního stavu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NEJISTOTY MĚŘENÍ

Neexistuje žádná měřicí metoda ani měřidlo, které by umožňovalo měřit absolutně přesně. Kombinace nejrůznějších vlivů, které mohou negativně ovlivňovat proces měření, se projevují odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené veličiny. Takto ovlivněný výsledek měření, je v tolerančním poli, jejíž střední hodnotou je skutečná veličina, ale nikdy nedojde ke stavu, kdy si budou obě hodnoty rovny.

Vyhodnocování souborů naměřených dat, provází práce s chybami měření.

Chyby se dají vyjádřit v absolutních nebo relativních hodnotách. Podle jejich působení se dále dělí na hrubé, náhodné a systematické.

Jako každé jiné vědní odvětví se vyvíjí i statistika a kvalita, proto roku 1993 vydala mezinárodní organizace pro normalizaci, příručku pro určování nejistot měření. Jde o komplexnější metodu, kdy se posuzuje celý měřicí řetězec. [1]

1.1 Definice nejistoty měření

Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině.

Vyjádření výsledku měření je úplné pouze tehdy, pokud obsahuje jak vlastní hodnotu měřené veličiny, tak i nejistotu měření patřící k této hodnotě. [2]

při:

- Experimentálním ověřování fyzikálních zákonů a určování hodnot fyzikálních konstant
- Typových zkouškách měřidel a vyhodnocování jejich technických a metrologických vlastností
- Kalibraci sekundárních etalonů a pracovních (provozních) měřidel
- Definičních měřeních a vyhodnocování metrologických vlastností primárních etalonů
- Úředních měřeních ve smyslu zákona o metrologii
- Vyhodnocování přesných měření v oblasti zkušebnictví a kontroly jakosti výrobků
- Ostatních přesných a závazných měřeních v technické praxi, např. přijímacích a garančních zkouškách

1.2 Nejistoty typu A

Standardní nejistoty typu A – způsobují chyby náhodné, jejichž příčiny jsou neznámé. Stanovují se za pomoci opakovaným měřením stejných hodnot měřené veličiny za stejných podmínek. Tato metoda se nazývá. statistická analýza série pozorování.

Se stoupajícím počtem opakovaných měření se tyto nejistoty zmenšují. Zároveň je předpoklad že se vyskytují náhodné chyby s normálním rozdělením. [3]

Odhad údaje měřené veličiny je dán výběrovým průměrem z n – naměřených hodnot y_i dle vztahu

Výběrový průměr

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (1)$$

Odhad rozptylu naměřených hodnot, označovaný jako výběrový rozptyl $s^2(y_i)$ se určí ze vztahu

Výběrový rozptyl

$$s^2(y_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (2)$$

Výběrová směrodatná odchylka $s(y_i)$ se získá odmocninou výběrového rozptylu, charakterizuje rozptyl naměřených hodnot kolem výběrového průměru \bar{y} .

Rozptyl výběrových průměrů

$$s^2(\bar{y}) = \frac{s^2(y_i)}{n} \quad (3)$$

Směrodatná odchylka výběrových průměrů $s(\bar{y})$ je zvolena za standardní nejistotu typu A

$$u_A = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (4)$$

Pokud je počet opakovaných měření menší než deset a je nemožné na základě zkušeností provést kvalifikovaný odhad, určí se korigovaná nejistota u_{Ak} ze vztahu

$$u_{Ak} = k \cdot s(\bar{y}) \quad (5)$$

Kde k je koeficient závislý na počtu opakovaných měření, jak je uvedeno v tabulce č.1. [4]

Tabulka 1 Hodnoty korekčních koeficientů pro různé počty opakovaných měření

| | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| n | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| k | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 2,3 | 7,0 |

Vytipují se možné zdroje nejistot (jsou jimi např. nedokonalé měřicí přístroje, použité měřicí metody, nepřesné hodnoty konstant, způsob vyhodnocování a někdy i malé zkušenosti pracovníků v laboratoři). [4]

Odhadne se rozsah odchylek $\pm\Delta Z_{\max}$ od jmenovité hodnoty tak, aby jeho překročení bylo málo pravděpodobné. Dále se odhadne, jakému rozdělení pravděpodobnosti odpovídají odchylky ΔZ v intervalu $\pm\Delta Z_{\max}$ a určí nejistoty u_z ze vztahu $u_z = \Delta Z_{\max}/m$. [1]

Hodnota m závisí na druhu rozdělení:

$m = 2$ pro normální, $m = 1,73$ pro rovnoměrné a $m = 2,45$ pro trojúhelníkové rozdělení.

Výsledná standardní nejistota typu B je dána vztahem

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2} \quad (6)$$

Kombinovaná nejistota se získá sloučením standardní nejistotou typu A s výslednou standardní nejistotou typu B. [4]

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7)$$

Rozšířená standardní nejistota U je zavedena v případě, že je nutné zajištění ještě větší pravděpodobnosti správného výsledku měření. Pravděpodobnost, že skutečná hodnota leží v intervalu daném standardní nejistotou je dost nízká (68% pro normální rozložení u nejistoty typu A, a 58% pro rovnoměrné rozdělení, které je časté u nejistot typu B). [1]

Rozšířená standardní nejistota u_c a koeficient rozšíření k_r

$$U = k_r u_c \quad (8)$$

V kalibračních listech je nutné celkový výsledek měření, skládajícího se z odhadu y a tomu náležející rozšířené nejistoty U , uvádět ve tvaru ($y \pm U$).

K tomuto vyjádření musí být v běžných případech připojena vysvětlující poznámka ve tvaru: „Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k_r=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%.“ [5]

1.3 Nejistota typu B

Nejistota typu B není náhodná. Nejistotu typu B je možné pozorovat při opakovaném měření. Stanovuje se z charakteru měření bez statistického výpočtu. Jde tedy o chyby způsobené měřicím přístrojem, technikou, podmínkami, za kterých měření probíhá samotnou metodou měření nebo často vlivem operátora. Pokud je stanoveno více nejistot v měřicím procesu výsledná nejistota typu B je dána geometrickým součtem těchto nejistot, přitom nezávisí na počtu opakovaných měření. Vzájemná korelace mezi více nejistotami typu B není brána v úvahu. které bychom měli být schopni odhadnout nebo znát. Jejich identifikaci a hodnocení má na starost experimentátor. Tato nejistota se stanovuje „jiným způsobem, než statistickým vyhodnocením série pozorování“. [5], [2]

Určit nejistoty typu B není jednoduché. Se zvýšenými požadavky na přesnost a u složitých měřicích zařízeních, jsou pro rozbor chyb potřeba značné zkušenosti.

1.4 Zdroje nejistot měření

- Nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny
- Nereprezentativní výběr vzorků měření (naměřené hodnoty nemusí reprezentovat definovanou měřenou veličinu)
- Neznámé nebo nekompensované vlivy prostředí
- Vliv lidského faktoru při odečítání (analogových) měřidel
- Omezené rozlišení měřicího přístroje nebo práh rozlišitelnosti
- Nepřesné hodnoty měřicích etalonů a referenčních materiálů
- Nepřesné hodnoty konstant a dalších parametrů získaných z externích zdrojů a použitých při výpočtu
- Aproximace a zjednodušení obsažené v měřicí metodě a postupu

2 MSA – ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ

Metoda MSA (MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS) byla vyvinuta pro automobilový průmysl, pro svou praktičnost a univerzálnost se začala používat i v jiných odvětvích. Pomocí metody MSA se hodnotí nejen měřidlo jako je například kalibr, ale posuzuje se celý systém měření. Převážně se zabývá analýzou zdrojů nejistot v celém procesu. [6]

Je to ucelený systémem studií, které mají za cíl:

- Určit způsobilost systému měření
- Určit zdroje variability systému měření
- Popsat zdroje variability statistickými a metrologickými veličinami
- Přinést potřebné informace o systému měření

Při analýze systému měření lze posoudit:

Poloha výsledků

- Strannost – přesnost (vychýlení, úchylka)
- Stabilita
- Linearita

Variabilita systému měření – Gage R&R (repeatability and reproducibility)

- Opakovatelnost
- Reprodukovatelnost

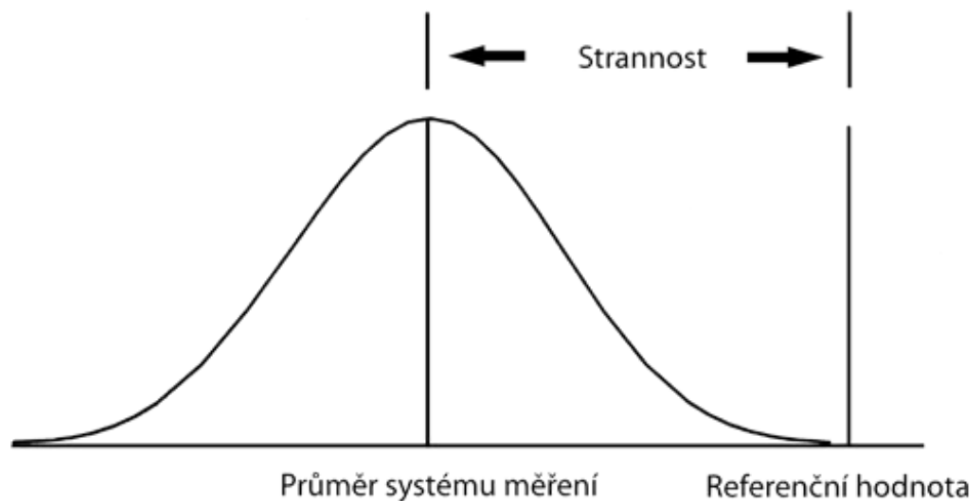
Gage R&R pomáhá určit, zda je měřicí systém je způsobilý pro daný účel. [7]

2.1 Strannost – přesnost

Strannost dříve označována jako přesnost měření udává míru, jak moc je měření v pořádku. Aby byl proces měření v pořádku, musí být ve statisticky zvládnutém stavu, v opačném případě je strannost procesu bezvýznamná. Strannost se vypočítá jako rozdíl aritmetického průměru výsledků opakovaných měření se stejným znakem jakosti a přijatou referenční hodnotou. Strannost měření je míra systematické chyby systému měření. [7], [8]

Výskyt strannost může způsobit řada faktorů.

- Opotřebení nástroje
- Špatná kalibrace – opotřebený/poškozený hlavní etalon
- Použití špatného měřidla
- Použití špatné metody měření
- Prostředí (Teplota, vlhkost, vibrace, čistota)



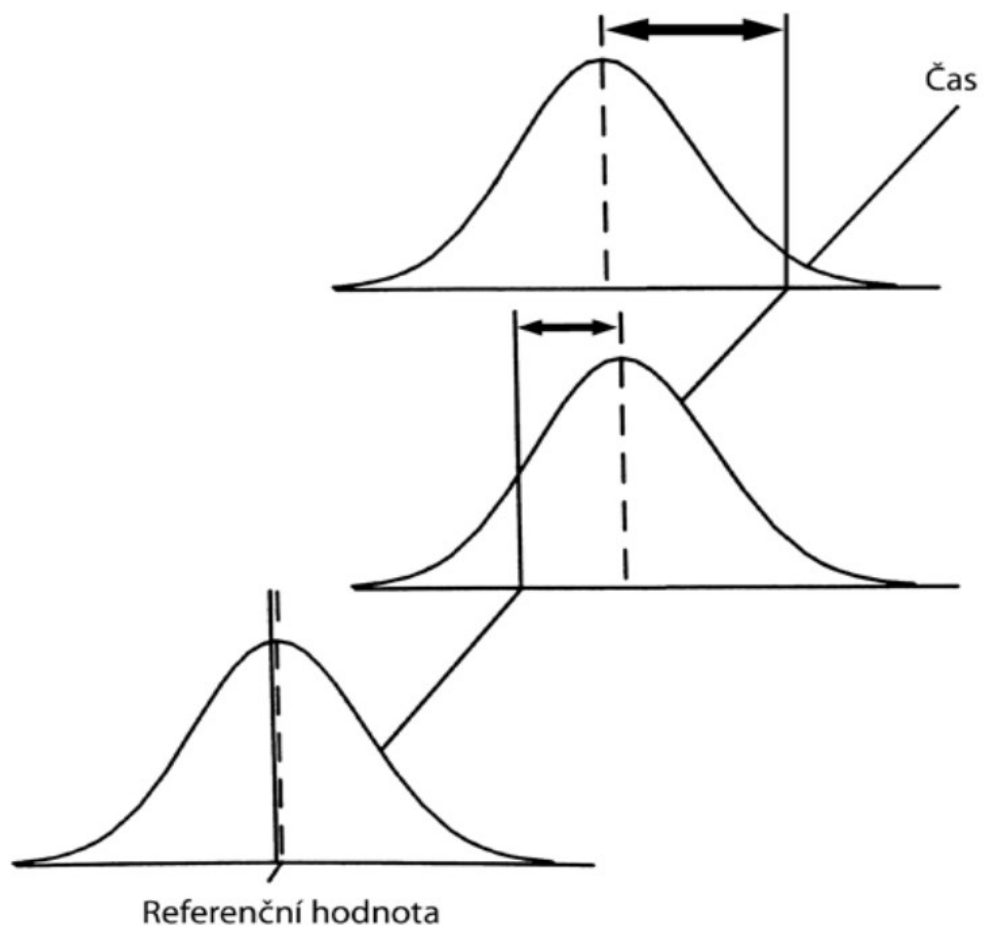
Obrázek 1 Strannost měření [7]

2.2 Stabilita

Stabilita měření (stability) (někdy označovaná také jako Drift) značí celkovou variabilitu výsledků měření prováděné stejnou osobou na stejném znaku jakosti v delším časovém úseku. Zjišťuje se pozorováním změn strannosti v čase. [7], [9]

Protože stabilita vychází ze strannosti, má stejné faktory, které ji ovlivňují.

- Opatření nástroje
- Špatná kalibrace – opotřebený/poškozený hlavní etalon
- Použití špatného měřidla
- Použití špatné metody měření
- Prostředí (Teplota, vlhkost, vibrace, čistota)



Obrázek 2 Stabilita [7]

2.3 Linearita

Linearita měření (Linearity) je změna strannosti v běžném provozním rozsahu měřidla. Zjistí se jako rozdíl mezi hodnotami strannosti. Posuzuje se, zdali hodnota strannosti závisí na velikosti naměřené hodnoty. Linearita nemá konstantní strannost a může nabývat několika podob. Linearita měření určuje systematické chyby systému měření. [7], [10]



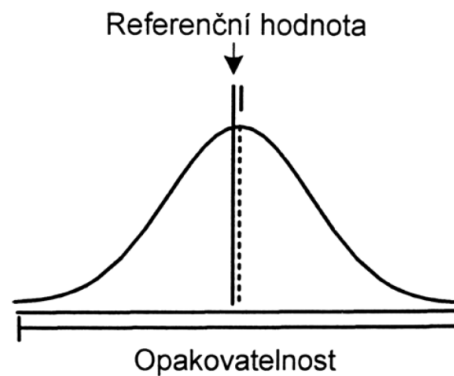
Obrázek 3 Linearita [7]

2.4 Opakovatelnost

Opakovatelnost (repeatability) je dána variabilitou výsledků měření jednoho operátora, který používal jeden měřicí přístroj pro měření stejné charakteristiky měřeného vzorku. [7]

Podmínky opakovatelnosti:

- Tentýž postup měření
- Tentýž pozorovatel
- Tentýž měřicí přístroj
- Totéž místo
- Opakování v průběhu krátké časové periody



Obrázek 4 Opakovatelnost [7]

Opakovatelnost je možné vyjádřit charakteristikami rozptylu výsledků například směrodatnou odchylkou

Nejčastějšími zdroji neopakovatelnosti, které ovlivňují velikost rozpětí výsledků opakovaných měření je měřidlo a variabilita měřeného objektu v měřidle. Pokud je rozptyl příliš velký je nutné zjistit příčinu a najít řešení.

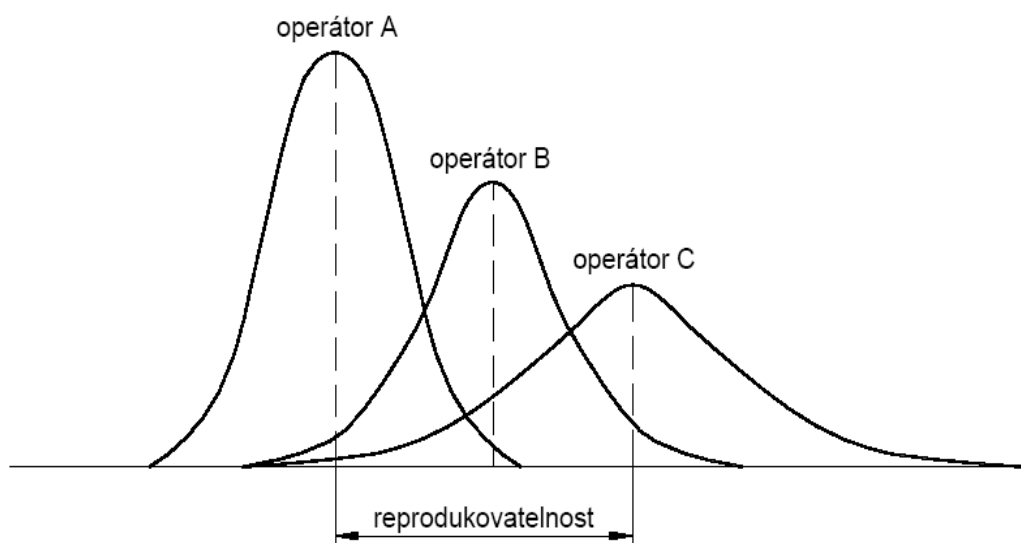
2.5 Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost (reproducibility) je dána variabilitou průměrů výsledků měření, které provedlo více operátorů za pomoci stejného měřicího přístroje pro měření stejné charakteristiky měřeného vzorku. [11]

Reprodukovatelnost měřidel získáme tak, že porovnáme místo více operátorů více měřidel. [3]

Mezi změněné podmínky měření lze zahrnout:

- Princip měření
- Metodu měření
- Pozorovatele
- Měřicí přístroj
- Referenční etalon
- Místo a podmínky

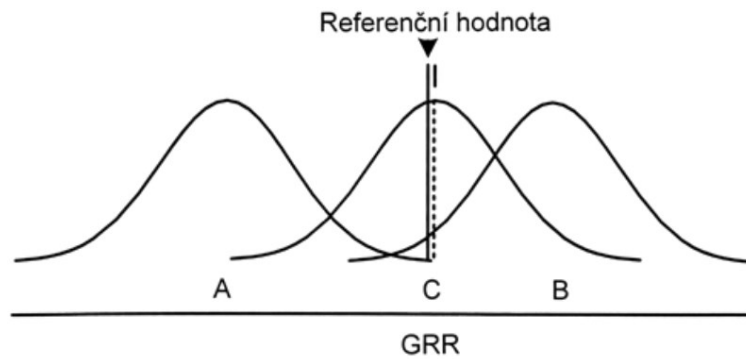


Obrázek 5 Reprodukovatelnost [11]

2.6 Variabilita měření

Jedná se o kombinaci odhadu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření (anglicky se nazývá GRR nebo Gage R&R). Gage R&R se vyhodnocuje například metodou rozpětí, metodou průměru nebo analýzou rozptylu. Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla je rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy.

Do variability šíře patří ještě citlivost, konzistence a uniformita. Citlivost označuje nejmenší vstup, který vyvolá zjizitelný výstupní signál. Jedná se o odezvu systému měření na změny měřené charakteristiky. Konzistence systému měření udává rozdíl v proměnlivosti měření prováděných v daném čase. Uniformita hodnotí změnu opakovatelnosti v běžném pracovním rozsahu. [7]



Obrázek 6 Gage R&R – reprodukovatelnost a opakovatelnost [7]

2.7 Analýza rozptylu

Analýza rozptylu (Analysis of variance – ANOVA) je matematická statistická metoda vycházející ze směrodatných odchylek. Využívá se při analyzování chyb měření a zdrojů variability dat. Analýza rozptylu poskytuje mnohem více informací ze stejného množství dat. Rozděluje rozptyl do čtyř kategorií (díly, operátoři, interakce mezi díly a operátory, chyba replikace způsobená měřidlem).

3 ZPŮSOBY HODNOCENÍ VÝROBNÍHO PROCESU

Způsobilost výrobního procesu je schopnost dosahovat předem stanovená kritéria kvality.

3.1 SPC – statistické řízení procesu

Způsobilostí výrobního procesu (process capability) se rozumí jeho schopnost trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality.

Vyjadřuje se kvantitativně (tedy číselným indexem způsobilosti)

Způsobilost výrobního procesu musí mít vlastnosti

- Jednoduchost z hlediska měření a vyhodnocení
- Srozumitelnost a názornost vlastní interpretace
- Dobrá vypovídací schopnost o vlastnostech výrobního procesu

Požadavky na Hodnocení způsobilosti výrobního procesu

- Výrobní proces je stabilizován
- Měření neobsahuje tzv. odlehlá pozorování
- Tolerance výrobního procesu je stanovena správně

3.2 Regulační diagramy

Použití regulačních diagramů je založeno na předpokladu normálně rozložených dat

Ověření normálního rozložení se provádí grafickým rozbohem – histogramem, bodovým či krabicovým grafem

Jsou dva základní typy Shewartových regulačních diagramů (ISO 8258):

- Regulační diagramy při kontrole měření
 - (\bar{X}, R) ; (\bar{X}, s) ; (\bar{M}_e, R) ; (x, MR)
- Regulační diagramy při kontrole srovnáváním
 - (p) ; (np) ; (c) ; (u) .

K regulaci procesu je nutné mít nejdříve zregulovaný výrobní proces – smí na něj působit jen chyby náhodné.

Tabulka 2 Hodnoty pro tvorbu regulačního diagramu

| | | | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | n |
| | x ₁ | x ₁ | x ₁ | x ₁ | | x ₁ |
| | x ₂ | x ₂ | x ₂ | x ₂ | | x ₂ |
| | x ₃ | x ₃ | x ₃ | x ₃ | | x ₃ |
| | x ₄ | x ₄ | x ₄ | x ₄ | | x ₄ |
| | x ₅ | x ₅ | x ₅ | x ₅ | | x ₅ |
| \bar{x} | \bar{x}_1 | \bar{x}_2 | \bar{x}_3 | \bar{x}_4 | | \bar{x}_n |
| R | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | | R _n |

Z naměřených dat z jednotlivých časových intervalů se vytvoří aritmetické průměry a výběrové rozpětí. Podmínka je, že data musejí být náhodná.

Výběrový průměr \bar{x} se vypočítá ze vztahu

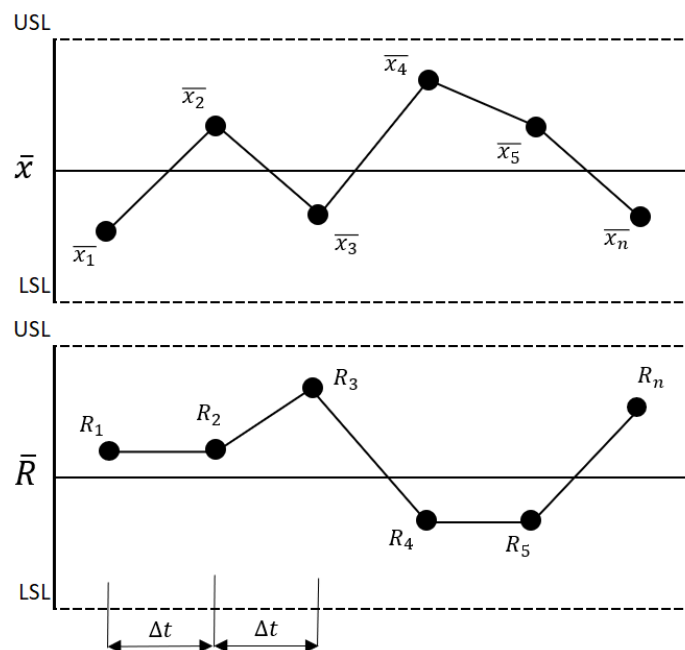
$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{9}$$

Zároveň platí že $\underbrace{x_1 \dots \dots x_n}_{\bar{x}} \in N(\mu; \sigma)$

Výběrové rozpětí R se vypočítá tak, že se odečte nejmenší naměřená hodnota od největší naměřené hodnoty v daném intervalu.

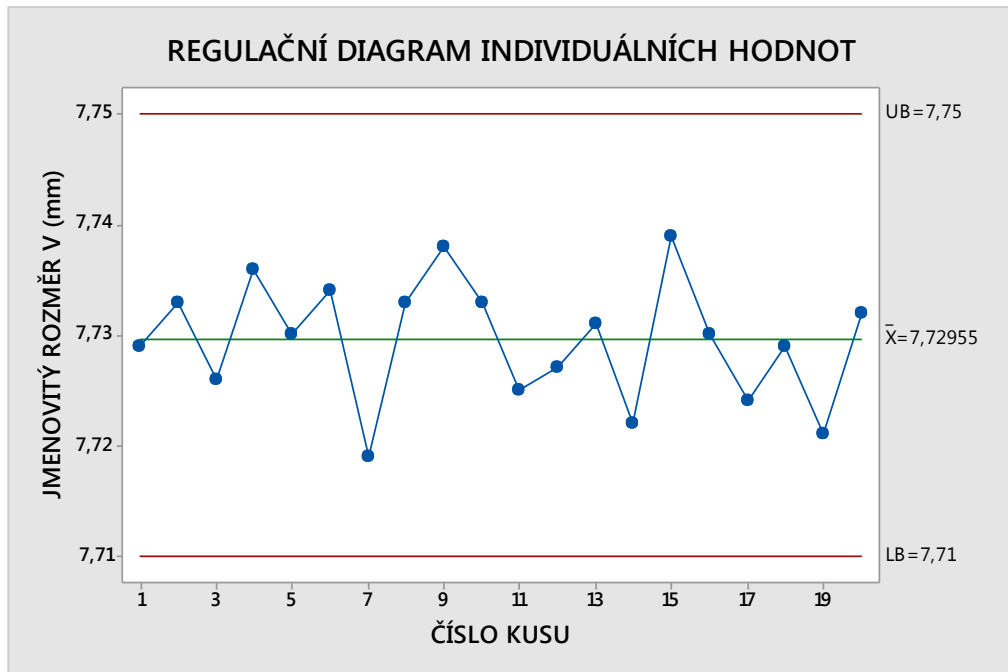
$$R = x_{max} - x_{min} \tag{10}$$

Vypočtené aritmetické průměry jsou zaneseny do digramu X – průměrů. Jednotlivé výběrové rozpětí jsou zaneseny do diagramu R – rozpětí. Regulační diagram ohraničují horní a dolní meze zásahu.



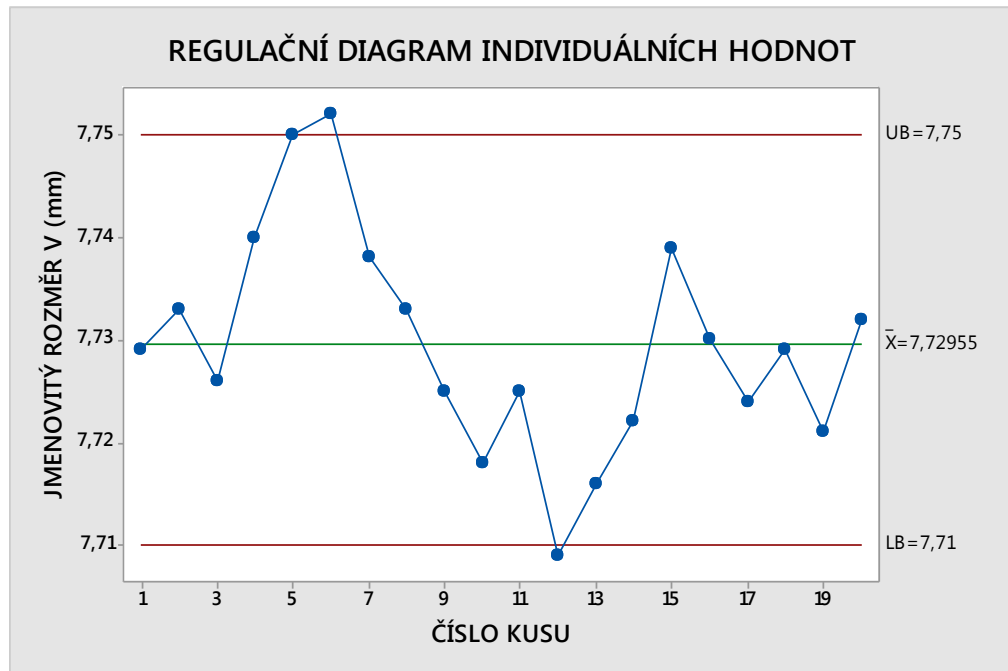
Obrázek 7 Tvorba regulačního diagramu

Na obrázku 8 můžeme jsou vidět data běžná z výroby. Je vidět lehce nahodilý rozptyl hodnot držící se kolem střední hodnoty a ani jedna nepřekročila stanovené meze.



Obrázek 8 Regulační diagram dat z výroby

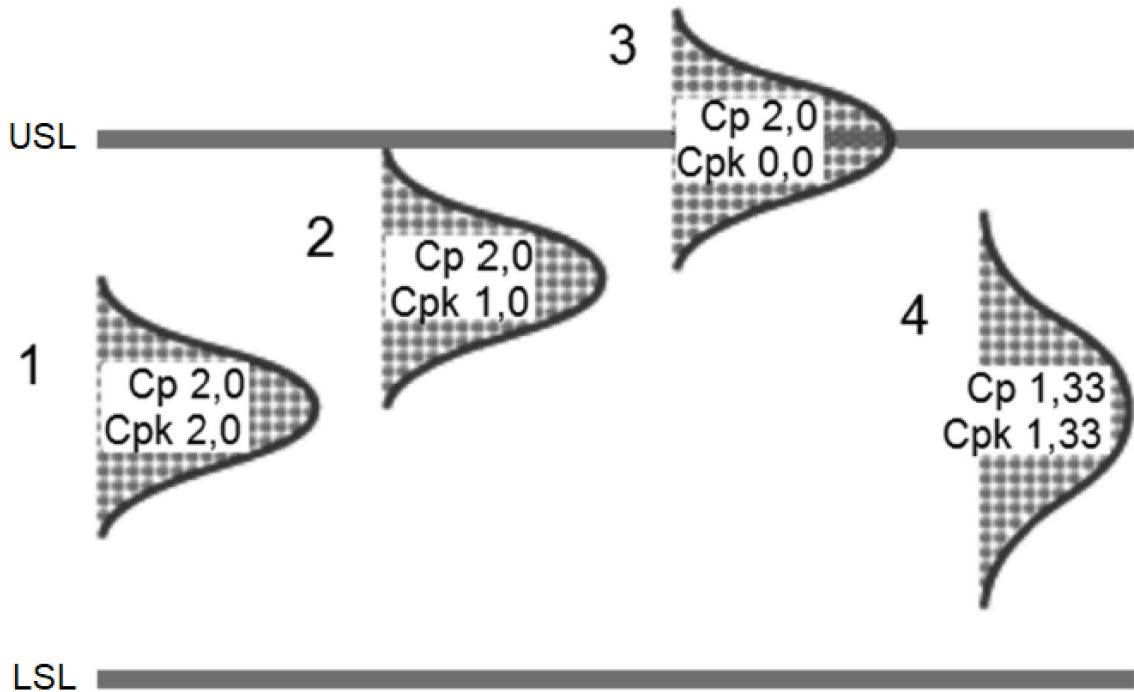
Na obrázku 9 je vidět proces z výroby kdy se hodnoty měřených dílů dostaly až za hranici tolerance. Dá se tedy říct, že jsou tyto kusy zmetky.



Obrázek 9 Regulační diagram s hodnotami mimo meze

3.3 Indexy způsobilosti C_p a C_{pk}

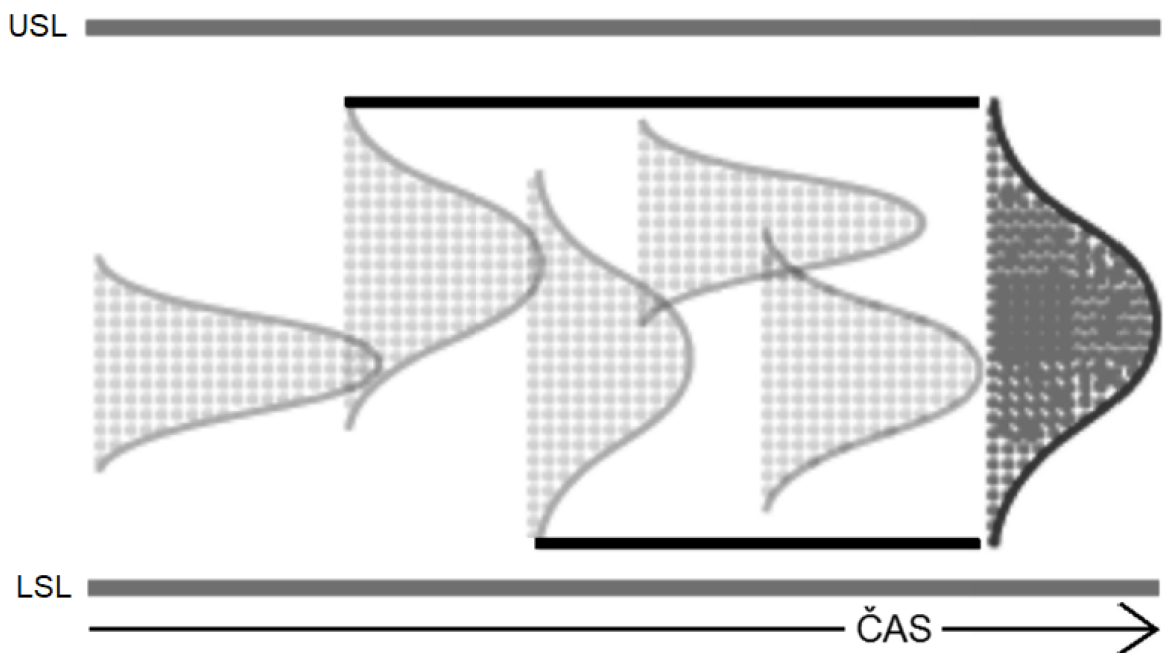
Konkrétní hodnoty indexů způsobilosti C_p a C_{pk} znázorňuje diagram na obrázku 10.



Obrázek 10 Diagram C_p , C_{pk} [12]

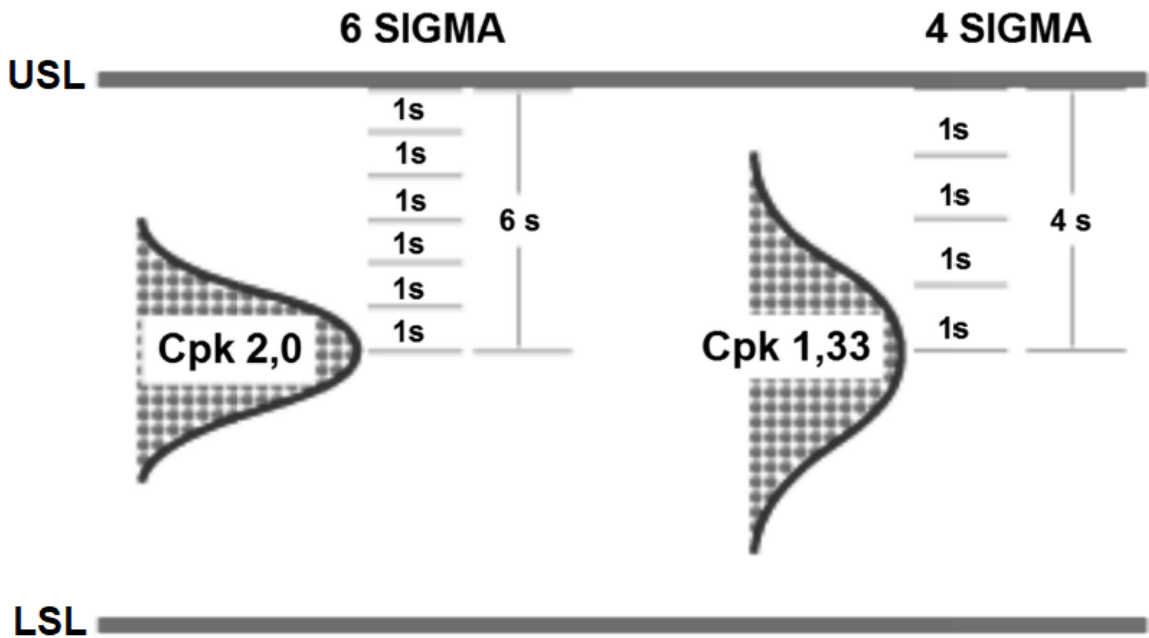
1. Proces z výroby, který se dá vysvětlit například vcelku přesným strojem, který je seřízen na střed tolerance C_p a C_{pk} se tedy rovnají.
2. Tento proces je na hranici přijatelnosti ($C_{pk} = 1$, takže v limitu bude 99,85% kusů – to znamená, že 2 kusy z tisíce budou zmetky). Nejčastěji jde o důsledek seřízení stroje, nicméně jsou případy, kdy je takto stroj seřízen záměrně kvůli možnosti oprav po dalších operacích.
3. Stejný případ jako č. 2, ale v tomto případě jsme už 50% mimo toleranční mez, to znamená, že každý druhý kus bude zmetek – $C_{pk} = 0$ (při $C_{pk} < 1$ je jistý výskyt zmetků)
4. Příklad číslo 4 se dá považovat za ideální stav kdy je proces na středu tolerance ($C_p = C_{pk}$), není zbytečně použita dražší technologie, ale je zároveň dostatečná rezerva $C_{pk} \geq 1,33$.

Ve výrobě pak může proces po různých seřizeních a různých operátorech vypadat například takto:

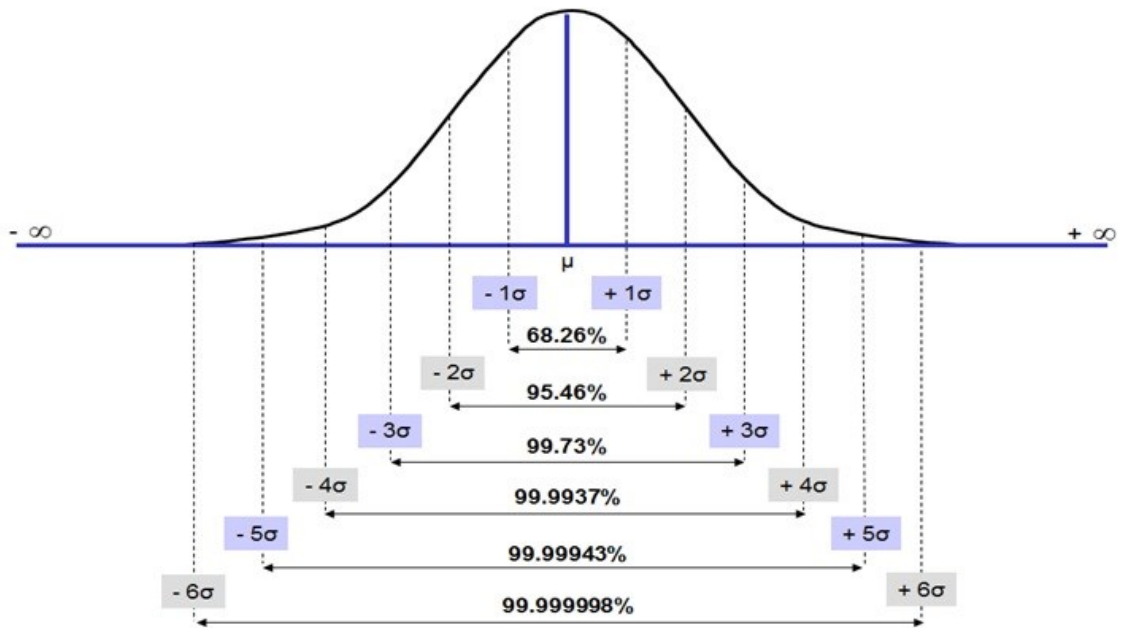


Obrázek 11 Proces výroby při různých operátorech/seřizeních [12]

Pro zvýšení rezervy v procesu se používá přidání jedné sigma, při $Cpk > 1,33$ jde o rozumné minimum bezpečnosti.



Obrázek 12 Rozdíly Cpk při zvýšení rezervy [12]



Obrázek 13 Normální rozdělení - 6 sigma

3.3.1 Matematické vyjádření

Index způsobilosti výrobního procesu

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (11)$$

Odhad indexu způsobilosti výrobního procesu

$$\hat{c}_p = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (12)$$

Horní index způsobilosti výrobního procesu

$$c_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (13)$$

Dolní index způsobilosti výrobního procesu

$$c_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (14)$$

Odhad horního indexu způsobilosti výrobního procesu

$$\hat{c}_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3s} \quad (15)$$

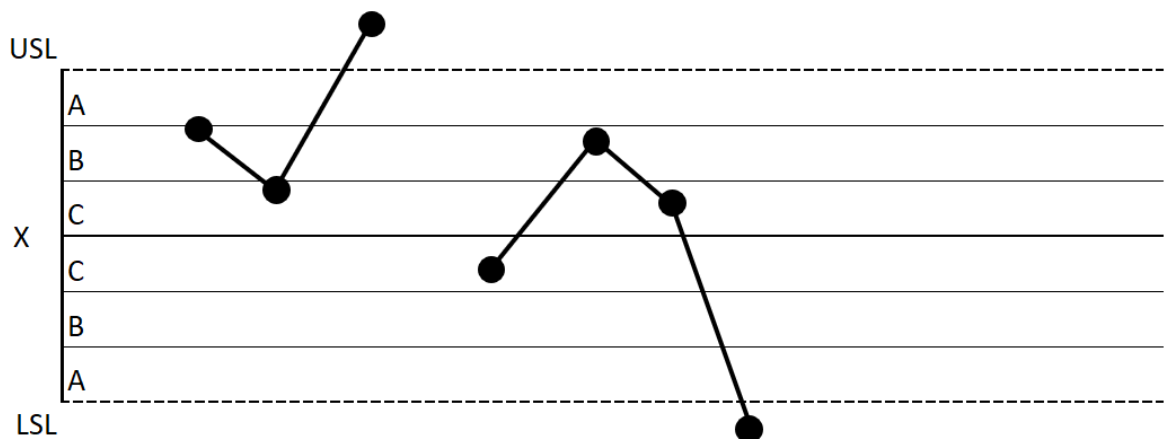
Odhad dolního indexu způsobilosti výrobního procesu

$$\hat{c}_{pl} = \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \quad (16)$$

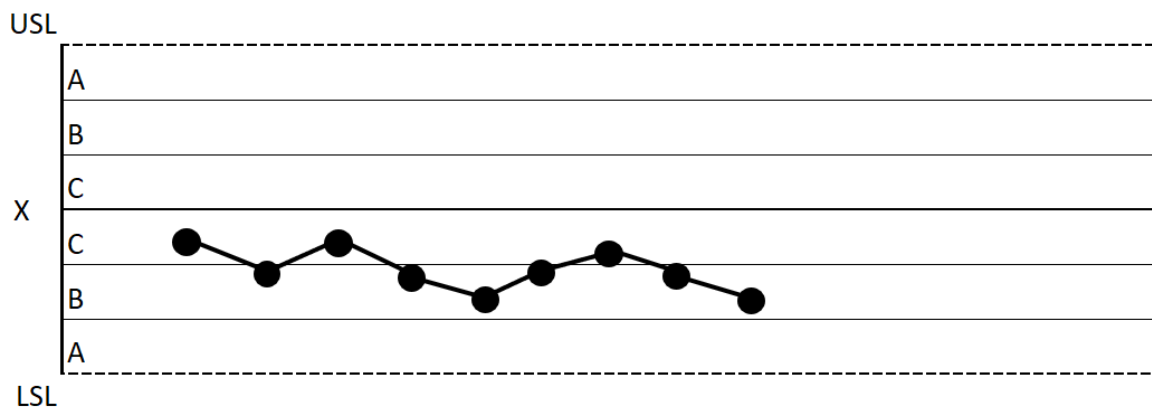
3.4 Nejpoužívanější testy vymežitelných příčin

Nenáhodná uskupení jsou popsána v normě ČSN ISO 8258 v kapitole „Testy seskupení pro vymežitelné příčiny kolísání“. [13]

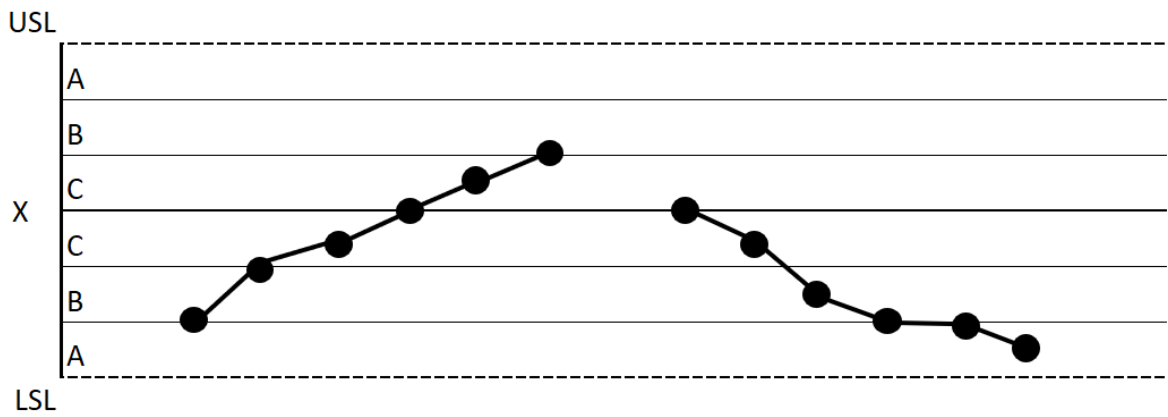
Pole v grafech označená písmeny A, B a C znamenají jednotlivé směrodatné odchylky pod a nad centrální přímkou – celkem tvoří 6σ . Toleranční pole vymezuje horní regulační mez (USL) a dolní regulační mez (LSL) označené přerušovanou čarou. [14]



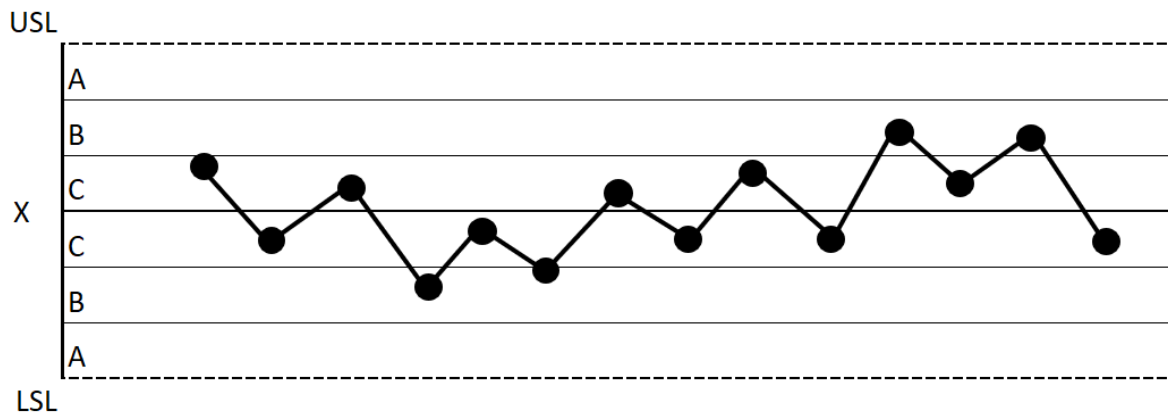
Obrázek 14 Test 1: Jeden bod leží za zónou A



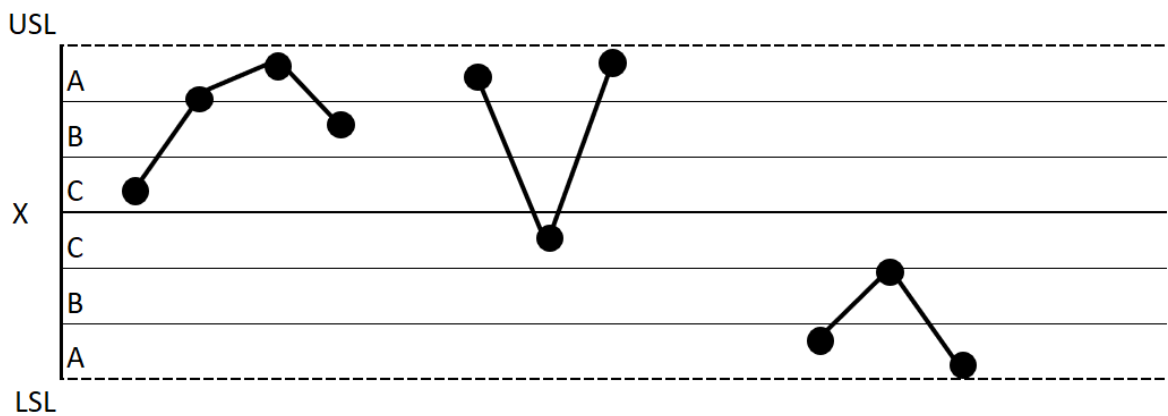
Obrázek 15 Test 2: Devět bodů za sebou leží v zóně C nebo za ní



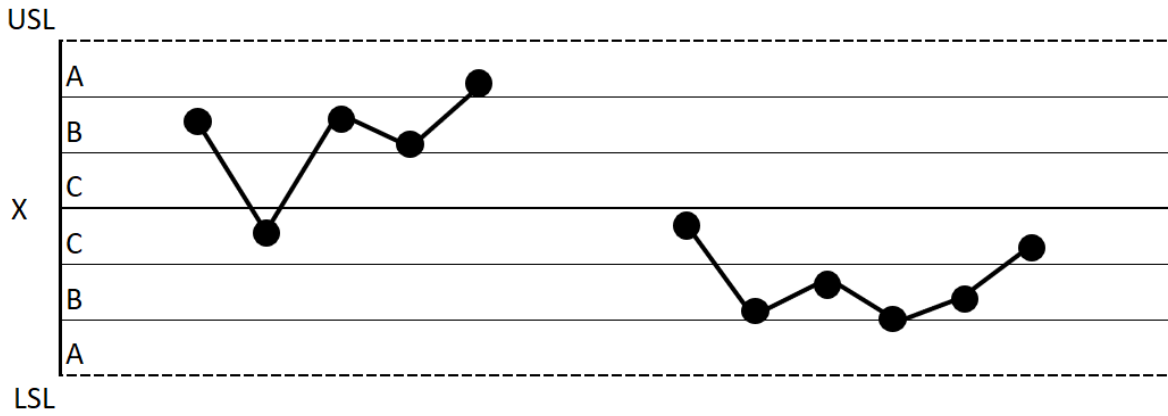
Obrázek 16 Test 3: Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících



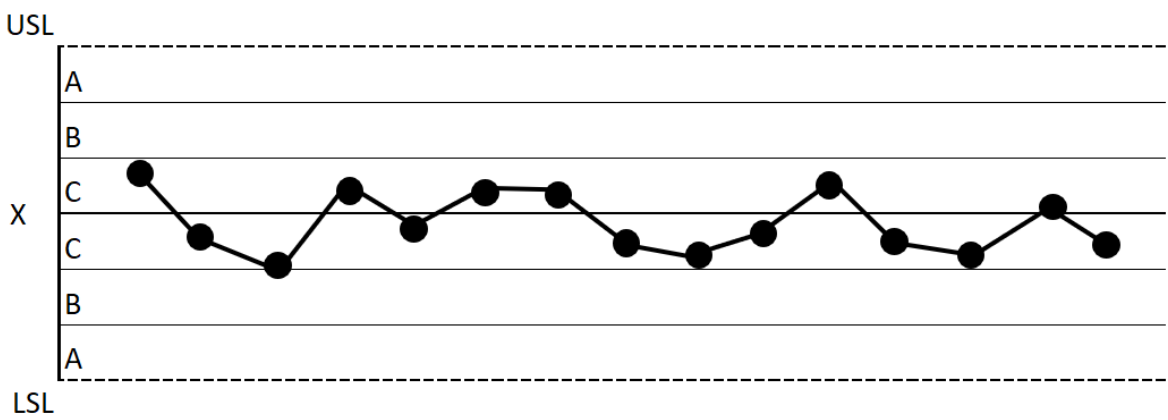
Obrázek 17 Test 4: Čtrnáct bodů za sebou v řadě pravidelně kolísá nahoru a dolů



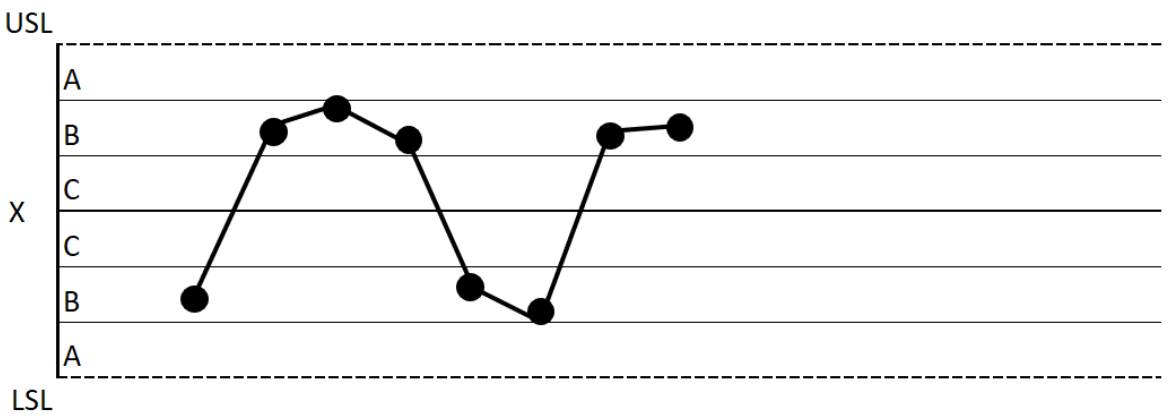
Obrázek 18 Test 5: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni



Obrázek 19 Test 6: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo za ní



Obrázek 20 Test 7: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou)



Obrázek 21 Test 8: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách přímky, avšak žádný bod neleží v zóně C

3.5 Příčiny kolísání procesu

- Náhodné příčiny (někdy označené jako přirozené): jsou přirozenou vlastností výrobního procesu. vztahují k mnoha zdrojům kolísání, které jsou zahrnuty v procesu, který má stabilní a opakující se rozdělení v průběhu času. Pokud je proces ovlivňován pouze náhodnými příčinami, dá se proces označit za statisticky zvládnutý a lze předpovídat jeho chování – je „predikovatelný“. [15]
- Vymežitelné příčiny (také zvláštní příčiny): vztahují se ke zdrojům kolísání, které v procesu nepůsobí trvale a vyvolávají neočekávané změny. Vymežitelné příčiny mohou být škodlivé nebo prospěšné.
 - Škodlivé – je potřeba zabránit, aby se opakovaly, tedy nutná identifikace a následné odstranění
 - Prospěšné – ty zapotřebí také identifikovat, ale ne z důvodu odstranění, ale naopak k využití ke zlepšení procesu.

3.5.1 Způsobilost procesu

Na statisticky zvládnutý proces mohou působit pouze náhodné vlivy. Všechny systematické příčiny, které způsobují nestabilitu musejí být eliminovány.

Ve výrobě jsou podstatné vlivy náhodných faktorů, tedy jaká je šířka a poloha křivky normálního rozdělení vzhledem k technickým specifikacím. Pokud je proces schopný vyrábět dle požadovaných specifikací dá se označit za způsobilý. [15]

Způsobilost procesu vyjadřuje, rezerva regulačních mezí ležící uvnitř pásma vymezeného technickými mezemi (specifikacemi).

Způsobilost se určuje pomocí dvou indexů způsobilosti.

$$\text{Způsobilost} = \frac{\text{délka intervalu kde mají být všechny hodnoty}}{\text{délka intervalu kde jsou všechny hodnoty}}$$

4 NÁSTROJE KVALITY

Důležitým pomocníkem, který by mohl pomoci řešení problému je soubor nástrojů kvality známý pod názvem Sedm základních nástrojů managementu kvality. [16]

Patří mezi ně:

- Histogram
- Kontrolní tabulka
- Diagram příčin a následků (diagram Ishikawa)
- Paretův diagram
- Bodový diagram
- Vývojový diagram
- Regulační diagram

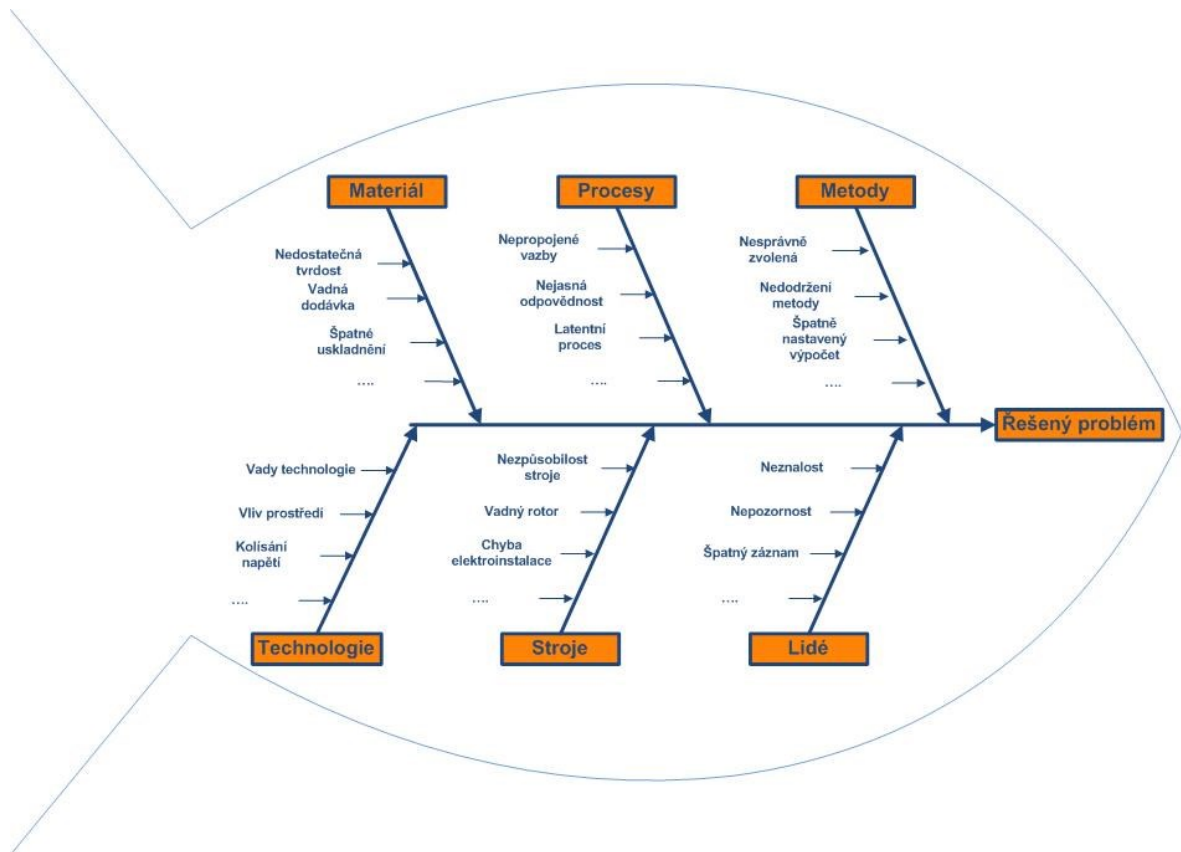
4.1 Diagram příčin a následků – Ishikawa diagram

Diagram příčin a následků známý též pod názvy rybí kost nebo Ishikawa diagram zavedl a popsal japonský profesor Kaoru Ishikawa. Diagram se používá k nalezení nejpravděpodobnější příčiny řešeného problému. V oboru "kvalita" je hodně využíván právě tento diagram. Dnes by se žádné poradenství nemělo obejít bez hledání příčin problémů a nekvalit.

Jedná se o týmovou metodu, kdy se využívá brainstormingu k nalezení a definování různě pravděpodobných příčin. Jednotlivé příčiny se pak obvykle obdují např. na stupnici 1-10 bodů, kdy větší číslo určuje větší pravděpodobnost vlivu příčiny na daný problém. [16]

Páteř ryby tvoří 6 definovaných hlavních odvětví, které pomohou rychleji najít jednotlivé příčiny.

- Vybavení
- Materiál
- Lidé
- Prostředí
- Proces
- Řízení (management)



Obrázek 22 Ishikawa diagram [17]

4.2 Kontrolní tabulka

Ke sběru a uchování dat dochází prostřednictvím kontrolních tabulek a záznamníků do kterých se zaznamenávají základní údaje. Mezi takové údaje patří např. počet a druh vad nebo zaznamenávání problémů, které se vyskytují napříč výrobním procesem nebo mohou být odhaleny až při výstupní kontrole. Při tvorbě kontrolních tabulek je třeba dodržet dané principy. [16]

- Princip stratifikace – je to proces třídění dat v rámci kterého se na základě zvolených hledisek nebo jejich kombinací oddělí data různých zdrojů takovým způsobem, že je umožněno rychlé identifikování původu každé položky a zároveň rychlé odhalení původu problému, který s nimi souvisí. [16]
- Princip jednoduchosti, standardizace a vizuální interpretace – zápis dat by měl být co nejjednodušší a měl by ho umět provést bez chyb každý pracovník. K zjednodušení záznamu se mohou použít značky či čárky místo číselných údajů, zároveň v rámci standardizace dodržovat symboly a značky stejné napříč firmou, aby nedo-

cházel k chybám či špatné interpretaci. Data by měla být zapisována takovou formou, aby nebylo nutné přepisování do jiných formulářů. Tabulka by měla být přehledná a umožňovat okamžitou interpretaci dat. [16]

| KONTROLNÍ TABULKA PRŮMĚRU HŘÍDELE | | Tabulka č.: 114 |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Datum: 4. 8. 1996 | Číslo nože: B32 | Operátor: |
| Číslo soustruhu: 32146 | | Poznámky: výběr. kontrola |
| Stupnice (mm) | Záznam | Součet |
| <0,4–0,7) | ### /// | 9 LSL |
| <0,7–1,0) | ### /// | 8 |
| <1,0–1,3) | ### ### ### ### | 20 |
| <1,3–1,6) | ### ### ### ### ### ### ### | 35 USL |
| <1,6–1,9) | ### ### ### /// | 18 |
| <1,9–2,2) | ### | 5 |

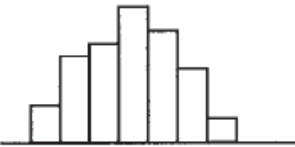
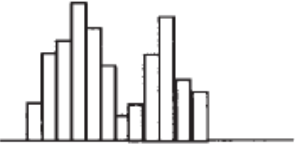
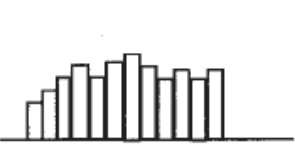
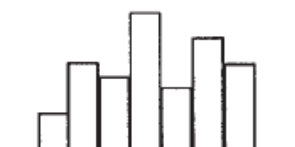
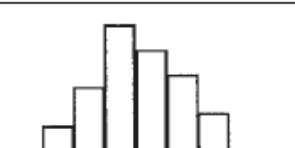
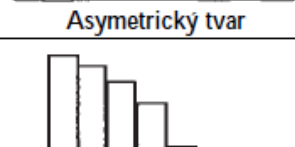
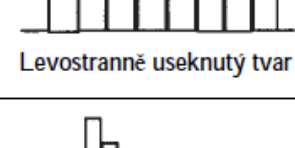
Obrázek 23 Kontrolní tabulka rozdělení znaku jakosti či parametru procesu [16]

4.3 Histogram

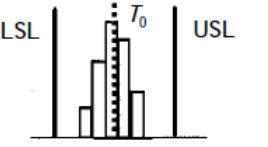
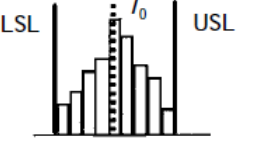
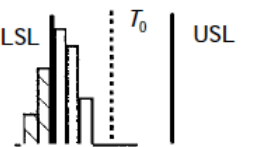
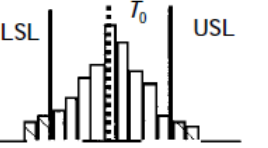
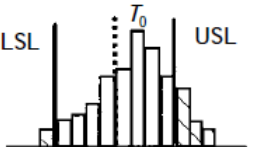
Díky přehlednosti a vcelku jednoduchému sestavení patří histogramy k nejznámějším a v praxi nejpoužívanějším jednoduchým statistickým nástrojům. Histogram je sloupcový graf, který se vyznačuje sloupci stejné šířky. Sloupce vyjadřující šířku intervalů (tříd), výška sloupců vyjadřuje četnost sledované veličiny v daném intervalu. Je důležité zvolit správnou šířku intervalu, neboť nesprávná šířka intervalu může snížit informační hodnotu diagramu.

Každý interval je pak definován dolní a horní hranicí x_D a x_H .

Histogram je vhodný pro snadno pochopitelné zobrazení distribuce dat procesu. Pomáhá určit, zda je distribuce dat normální a zda proces vyhovuje požadavkům. Z jeho tvaru je možné vyčíst různé vlastnosti procesu či vlivy a chyby, které způsobily odchylku od zvonovitého tvaru. Možné příčiny odchylek od zvonovitého tvaru jsou rozepsány na obr 24. [16]

| Tvar histogramu | Možné příčiny odchylek tvaru histogramu |
|---|--|
|  <p>Zvonovitý tvar</p> | <p>Působení náhodných vlivů</p> |
|  <p>Dvouvrcholový tvar</p> | <p>Smíchání dat ze dvou výběrových souborů (data ze dvou výrobních dávek, dvou výrobních linek, od dvou pracovníků...)</p> |
|  <p>Plochý tvar</p> | <p>Výsledek součtu několika rozdělení zvonovitého tvaru (nárůst opotřebení nástroje) Neúplný výrobní předpis Nedodržování výrobního předpisu</p> |
|  <p>Hřebenovitý tvar</p> | <p>Nesprávné zaokrouhlování hodnot Nesprávné zařazování hodnot do tříd Chyby měření</p> |
|  <p>Asymetrický tvar</p> | <p>Působení objektivních fyzikálních zákonů Použití neúplných dat</p> |
|  <p>Levostranně useknutý tvar</p> | <p>Přesnost a rozlišovací schopnost přístroje Nesprávně zařazená analýza dat (vytřídění neshodných jednotek před měřením znaku jakosti)</p> |
|  <p>Zvonovitý tvar s izolovanými hodnotami</p> | <p>Chyby při přepisování Chyby při měření</p> |

Obrázek 24 Tvary histogramů a možné vymezené příčiny jejich odchylek [16]

| Situace | Opatření |
|---|---|
|  | Nejsou nutné žádné zásahy do procesu, proces je způsobilý. |
|  | Proces je blízky způsobilosti, krátkodobě nejsou nutná žádná opatření, z dlouhodobého pohledu je třeba provádět analýzu procesu s cílem proces zdokonalit a zvýšit míru jeho způsobilosti |
|  | Proces produkuje neshodné výrobky, není způsobilý. Je třeba stroj seřídit na střed tolerančního pole. |
|  | Proces je na středu tolerančního pole, ale produkuje neshodné jednotky. Není způsobilý z důvodu velké variability. Je nutné přijmout opatření ke snížení této variability: převod výroby na jiný, přesnější stroj, nákup nového přesného stroje, zvážení, zda toleranční meze nejsou zbytečně přísné... |
|  | Proces není na středu tolerančního pole, a současně jeho variabilita je velká. Není způsobilý. Opatření lze hledat v nákupu nového stroje, je třeba zvážit zúžení tolerančního pole. |

Obrázek 25 Případy histogramů v tolerančních mezích

4.4 Paretův diagram

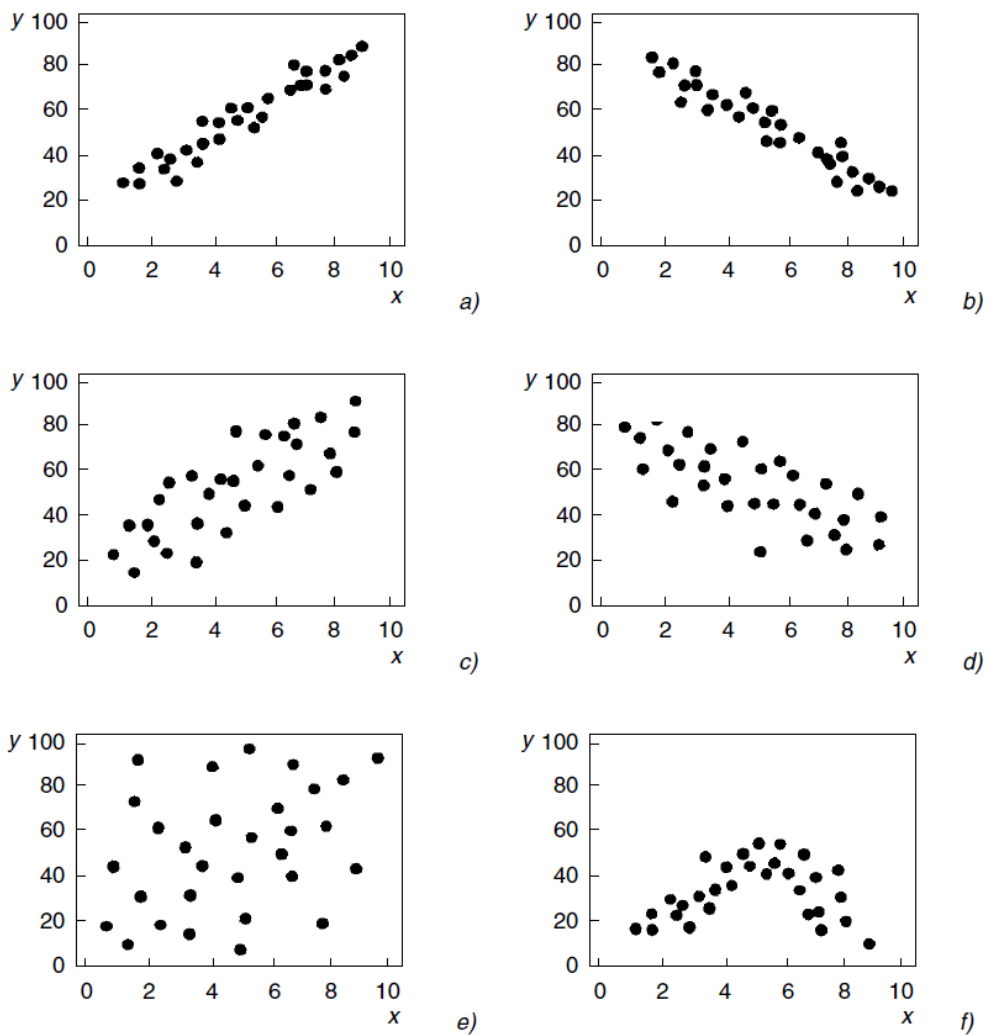
Paretův diagram je pojmenovaný podle italského sociologa a ekonomu Vilfreda Pareta. Ten v 19. století zjistil, že 80 % bohatství vlastní 20 % obyvatelstva. Americký odborník na jakost J. M. Juran označil zobecnění tohoto rozdělení jako Paretův princip (je znám také jako Paretův zákon či pravidlo 80/20) a na jeho základě zformuloval závěr, že 80–95 % problémů s jakostí je způsobeno malým počtem příčin (5–20 %). Tyto příčiny nazval „životně důležitou menšinou“. Na příčiny tvořící tuto menšinu je v další analýze procesu třeba přednostně zaměřit pozornost, analyzovat je do hloubky a odstranit či minimalizovat jejich působení.

Tento diagram zároveň kombinuje sloupcový a čárový graf. Diagram používá se ke znázornění důležitosti jednotlivých kategorií. Sloupce určují četnost jednotlivých kategorií a jsou seřazeny dle velikosti (zpravidla je nejvyšší sloupec umístěn vlevo, nejnižší vpravo) a tzv. Lorenzova křivka představuje kumulativní četnost v procentech. [16]

4.5 Bodový diagram

Bodový někdy nazývaný korelační diagram je druh grafu, který pomocí kartézských souřadnic zobrazuje hodnoty dvou proměnných. Horizontální osa grafu představuje jednu proměnnou a vertikální osa hodnotu druhou. Samotná data jsou pak zobrazena jednotlivými body.

Pomocí bodového diagramu je možné zobrazit vzájemný vtaah těchto proměnných. Zda na sobě jsou nebo nejsou závislé. [16]



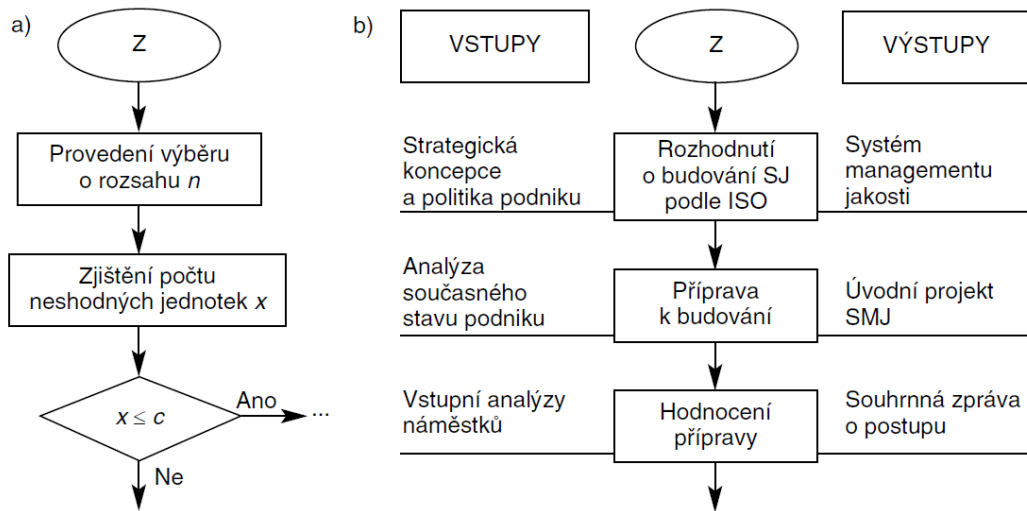
Obrázek 26 Základní typy stochastické závislosti dvou proměnných [16]

4.6 Vývojový diagram

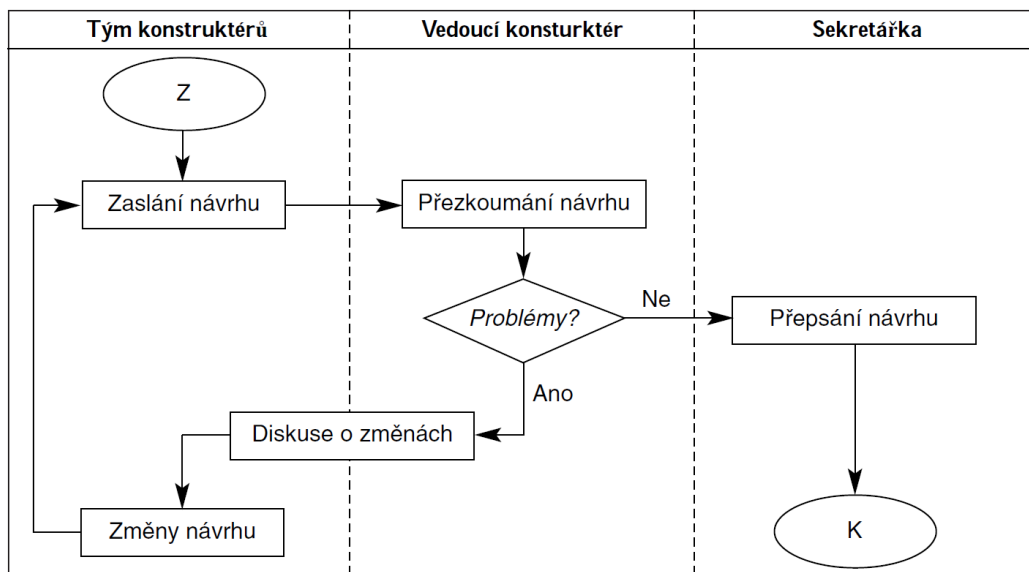
Vývojový diagram je grafickým znázorněním algoritmu nebo procesu. Vývojový diagram znázorňuje jednotlivé kroky nebo operace pomocí symbolů, tyto symboly se navzájem propojují různě orientovanými šipkami. [16]

4.6.1 Typy vývojových diagramů:

Vývojové diagramy lze rozdělit na 3 základní typy: lineární vývojový diagram, vývojový diagram vstup/výstup a integrovaný vývojový diagram, který je ze všech tří druhů nejkompaktnější. Jejich rozdíly jsou patrné z obrázků 27 a 28.



Obrázek 27 a) lineární vývojový diagram, b) vývojový diagram vstup/výstup [16]



Obrázek 28 Ukázka integrovaného vývojového diagramu [16]

5 FMEA – ANALÝZA MOŽNÉHO VÝSKYTU A VLIVU VAD

Cílem metody je identifikace míst možného vzniku vad nebo poruch v systému což vede k snižování ztrát, zkracování doby řešení problémů a zvyšování kvality samotných výrobků.

FMEA byla vyvinuta v 60. letech v USA během vesmírného programu APOLLO společnosti NASA jako nástroj pro hledání závažných rizik.

V 80. letech byla FMEA zpracována do jednotné příručky a do normy QS 9000.

FMEA je týmová práce, je potřeba zapojení zkušených pracovníků z každého odvětví, kterého se týká. [8]

5.1 Druhy FMEA

- DFMEA návrhu výrobku

Používá se před zahájením výroby nového výrobku. Cílem je odhalení všech možných nedostatků ještě ve stádiu vývoje a zrealizovat opatření, které tyto nedostatky odstraní.

Vhodné použití této metody:

- návrh nových dílů nebo jejich změny,
- změny na základě nových požadavků zákazníka,
- změny požadavků na bezpečnost a ekologickou nezávadnost,
- návrh použití nových materiálů,
- díly kdy se dopředu očekávají problémy.
- PFMEA procesu

Používá se, ke zkoumání potenciálních poruch a efektivnosti procesů výroby, montáže nebo měření. Měla by zahrnovat procesy, které mohou mít vliv jak na výrobní, tak i měřicí či montážní operace (logistika – přeprava a manipulace materiálu, jeho skladování apod.) [10]

- SFMEA systémová

5.2 Zpracování FMEA

Fáze analýzy FMEA:

- a) Analýza a zhodnocení stávajícího stavu
- b) Návrhy opatření
- c) Realizace nápravných opatření a jejich zhodnocení

Hodnocení se provádí pomocí bodů rizikových bodů RPN. Boduje se na stupnici 1-10. Kdy vyšší číslo znamená větší závažnost. Jednotlivé body se mezi sebou vynásobí, a pokud je výsledek větší než 100, tak by se mělo provést nápravné opatření. [20]

| Výskyt příčiny poruchy (O) | Četnost výskytu | % | Hodnocení |
|--|----------------------|-----------|-----------|
| Velmi velký: Vada je téměř newyhnutelná | $\geq 1 / 2$ | 50 % | 10 |
| | 1 / 3 | 33 % | 9 |
| Velký: Obvyčejně proces, který může často selhat | 1 / 8 | 12,5 % | 8 |
| | 1 / 20 | 5 % | 7 |
| Střední: Proces, který může příležitostně selhat, ale ne s větším rozsahem vady | 1 / 80 | 1,3 % | 6 |
| | 1 / 400 | 0,3 % | 5 |
| | 1 / 2 000 | 0,1 % | 4 |
| Malý: Proces s odloučeným výskytem vady | 1 / 15 000 | 0,00667 % | 3 |
| Velmi malý: | 1 / 150 000 | 0,00067 % | 2 |
| Nepravděpodobný: | $\leq 1 / 1 500 000$ | 0,00007 % | 1 |

Obrázek 29 Tabulka hodnocení výskytu poruchy (O) [20]

| Význam (S) | Popis následků - působení vady na zákazníka | Hodnocení |
|------------------------------|---|-----------|
| Hazardní bez varování | Může ohrozit stroj nebo pracovníka. Zvláště těžká vada ohrožující bezpečnost nebo zákonné předpisy. Vada nastane bez výstrahy. | 10 |
| Hazardní s varováním | Může ohrozit stroj nebo pracovníka. Zvláště těžká vada ohrožující bezpečnost nebo zákonné předpisy. Vada nastane s výstrahou. | 9 |
| Velmi velký | Závažné narušení výroby. 100%-ní poškození produkce. Ztráta základní funkce produktu nebo prvku. Velmi nespokojený zákazník. | 8 |
| Velký | Velké narušení výroby. Produkce může být tříděna a část může být poškozena (méně než 100%). Produkt je funkční, ale snižuje se míra funkčnosti. Nespokojený zákazník. | 7 |
| Střední | Střední narušení výroby. Část produkce (méně než 100%) může být poškozena (netříděna). Produkt je funkční, ale některé komfortní prvky nefungují. Zákazník pocítí nepohodlí (nekomfortitu). | 6 |
| Malý | Malé narušení výroby. 100% produkce může být opravena. Produkt je funkční, ale některé komfortní prvky snižují míru komformity. Zákazník pocítí trochu nepohodlí (mírně nespokojen). | 5 |
| Velmi malý | Velmi malé narušení výroby. Produkce může být tříděna a část (méně než 100%) opravena. Vadu zaznamená většina zákazníků. | 4 |
| Málo závažný | Méně závažné narušení výroby. Část produkce (méně než 100%) může být opravena ihned, ale mimo pracoviště. Vadu zaznamená průměrný zákazník. | 3 |
| Velmi málo závažný | Drobné ovlivnění výroby. Část produkce (méně než 100%) může být opravena ihned na pracovišti. Jedná se o tak malou vadu, že ji zaznamená jen velmi vnímavý zákazník. | 2 |
| Žádný | Žádný následek. | 1 |

Obrázek 30 Tabulka hodnocení významu poruchy [20]

| Pravděpodobnost odhalení (D) | Popis kontrolních opatření umožňujících odhalení vady | Hodnocení |
|-----------------------------------|---|------------|
| Velmi nízká (téměř nulová) | Velmi nízká (téměř nulová) pravděpodobnost, že vada bude objevena ještě před tím, než vznikne dopad na zákazníka. | 10 |
| Nízká | Nízká pravděpodobnost, že vada bude objevena ještě před tím, než vznikne dopad na zákazníka (<75%). | 8-9 |
| Zvýšená | Zvýšená pravděpodobnost, že vada bude objevena ještě před tím, než vznikne dopad na zákazníka (75-90%). | 5-7 |
| Vysoká | Vysoká pravděpodobnost, že vada bude objevena ještě před tím, než vznikne dopad na zákazníka (90-98%). | 3-4 |
| Velmi vysoká | Velmi vysoká pravděpodobnost, že vada bude objevena ještě před tím, než vznikne dopad na zákazníka (98-100%). | 1-2 |

Obrázek 31 Tabulka hodnocení pravděpodobnosti odhalení poruchy [20]

Jak může vypadat vyhotovená tabulka FMEA můžeme vidět na obrázku.

| Prvek ----- Funkce | Možná vada | Možné následky vady | Kritičnost | Možné příčiny (mechanismy vady) | Výskyt | Stávající opatření pro prevenci | Stávající řízení procesu, | Odhaditelnost | Rizikové číslo | Doporučená opatření | Odpovědnost ----- Termín realizace | Provedená opatření | Význam | Výskyt | Odhaditelnost | Rizikové číslo |
|--------------------------|---------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|---------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|--------|---------------|----------------|
| Střihání plechu | Nesprávný rozměr | Nelze provádět další operace | 8 | Nesprávné nastavení dorazu | 3 | Žádné | Kontrola na počátku směny | 6 | 144 | Zavést kontrolu 1x za hodinu | Novák 22. 8. 2005 | Kontrolní postup zaveden | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | | | | Chybné měření | 2 | Žádné | Kontrola na počátku směny | 6 | 96 | Žádné | | | | | |
| | Deformace | Nejde svařovat | 7 | Špatné seřízení nůžek | 3 | Žádné | Kontrola rovinnosti 1x za hod. | 4 | 84 | Žádné | | | | | | |
| | | Špatný vzhled | | | Ohupení břitů | 6 | Žádné | Kontrola rovinnosti 1x za hod. | 4 | 168 | Použít jiný materiál břitů | Svoboda 30. 9. 2005 | Použit materiál č. | 7 | 2 | 4 |
| | Ořepy | Poranění obsluhy | 9 | Špatné seřízení nůžek | 3 | Žádné | Vizuální kontrola | 4 | 108 | Žádné | | | | | | |
| | | Špatný vzhled | | | Ohupení břitů | 6 | Žádné | Vizuální kontrola | 4 | 216 | Použít jiný materiál břitů | Svoboda 30. 9. 2005 | Použit materiál č. | 9 | 2 | 4 |

Obrázek 32 Příklad realizace FMEA [21]

6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

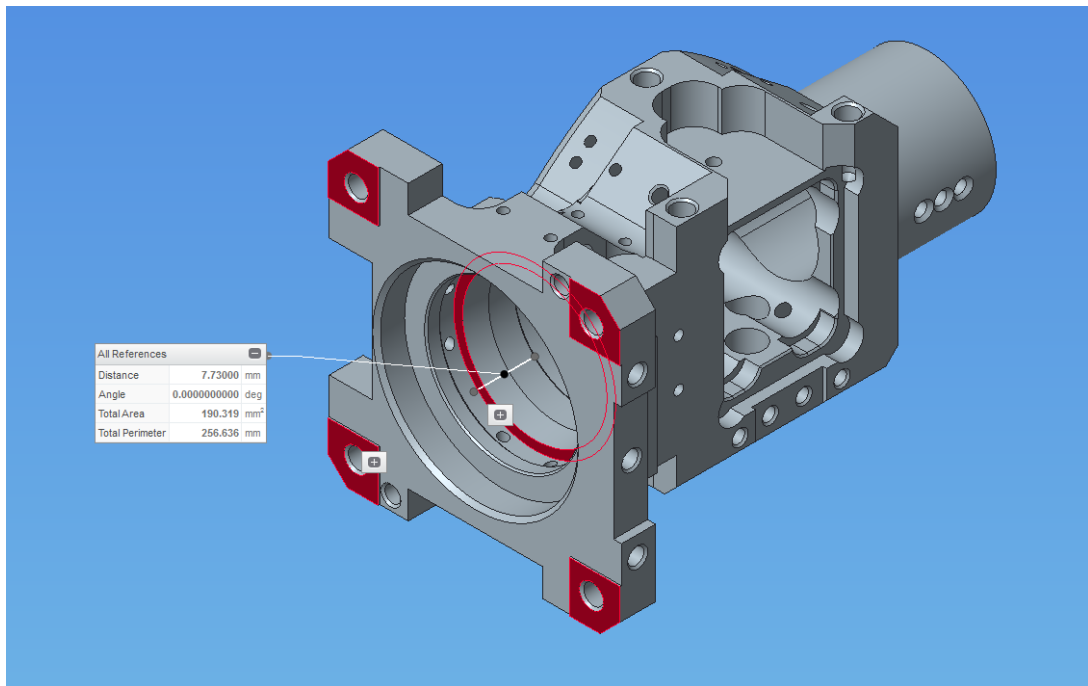
Konkrétním cílem této práce je stabilizovat proces měření u konkrétního dílu a jemu podobným a pak zavést SPC.

Se stabilním procesem měření a zavedeným SPC je pak možné navrhnout zákazníkovi zrušit měření 100% daných dílů, vybrat jen kritické rozměry a tím ušetřit čas na 3D měření což zase šetří peníze.

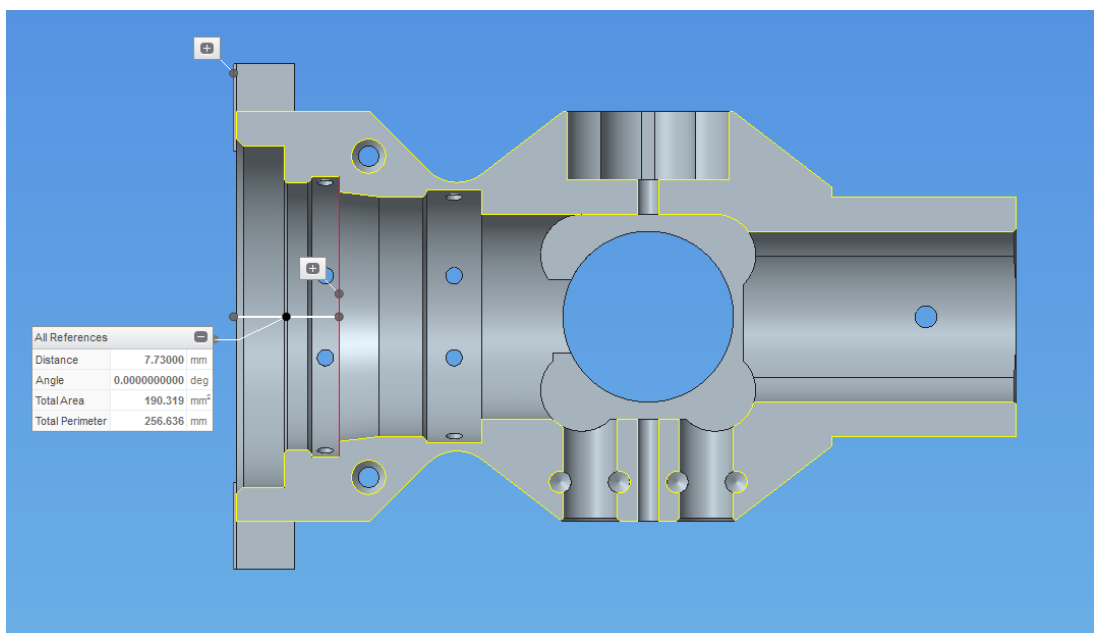
II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 VYBRANÝ KONTROLNÍ DÍL

Přímo u soustruhu obráběč měří délkovou hodnotu $7.73 \pm 0.02\text{mm}$. Na měřenou plochu uvnitř dílu se pak při montáži vkládá optická čočka, tím pádem je měřená plocha funkční a rozměr $7.73 \pm 0.02\text{mm}$ se dá označit za kritický. Tento rozměr je určený jako kontrolní pro budoucí SPC.



Obrázek 33 - 3D model



Obrázek 34 – Řez v 3D modelu

7.1 Použité měřidlo

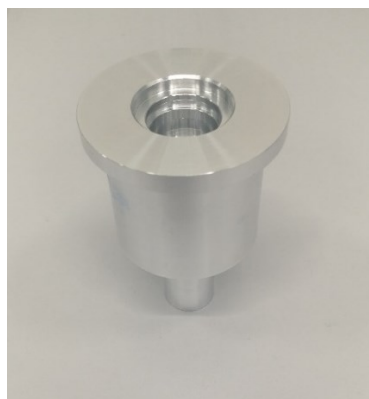
Měřený díl se položil na desku měřidla a hloubkoměrem se změřil daný rozměr.

Tato metoda je v tomto případě problematická, protože plocha, na které je díl položen je v podstatně nižších tolerancích – tudíž přenáší chybu do měření.



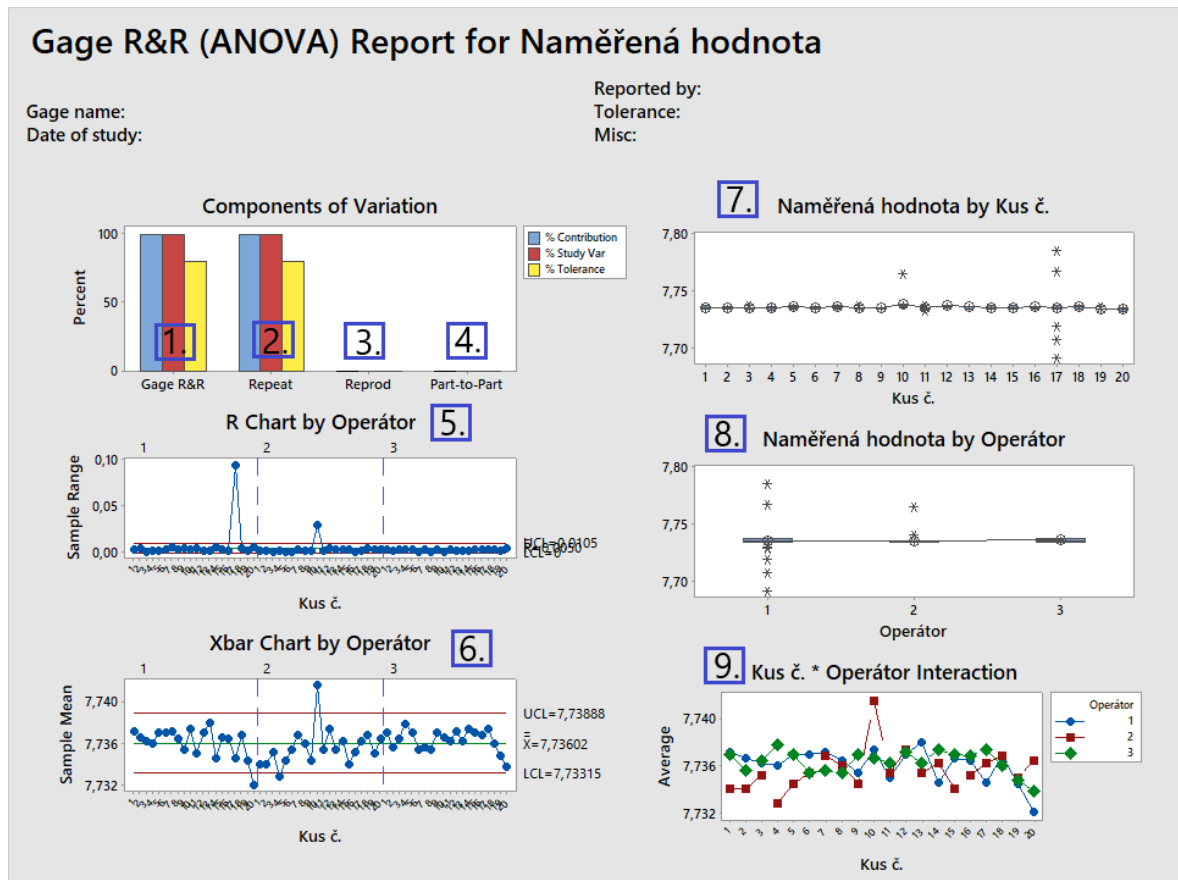
Obrázek 35 Indikátor/stojánek

Na obrázku 36 je polotovár po prvních operacích, který měří dělník přímo u soustruhu.



Obrázek 36 Měřený polotovár

8 MSA POUŽÍVANÉ METODY MĚŘENÍ



Obrázek 37 Analýza rozptylů (ANOVA) používané metody měření

Analýza rozptylů

Tabulka 3 Data z analýzy rozptylů používané metody měření

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|--------------------|-----------|----------------------------|
| Analýza rozptylů | 0,0000289 | 100,00 |
| Opakovatelnost | 0,0000289 | 100,00 |
| Reprodukovatelnost | 0,0000000 | 0,00 |
| Operátor | 0,0000000 | 0,00 |
| Part-To-Part | 0,0000000 | 0,00 |
| Celková odchylka | 0,0000289 | 100,00 |

Tolerance procesu = 0,04

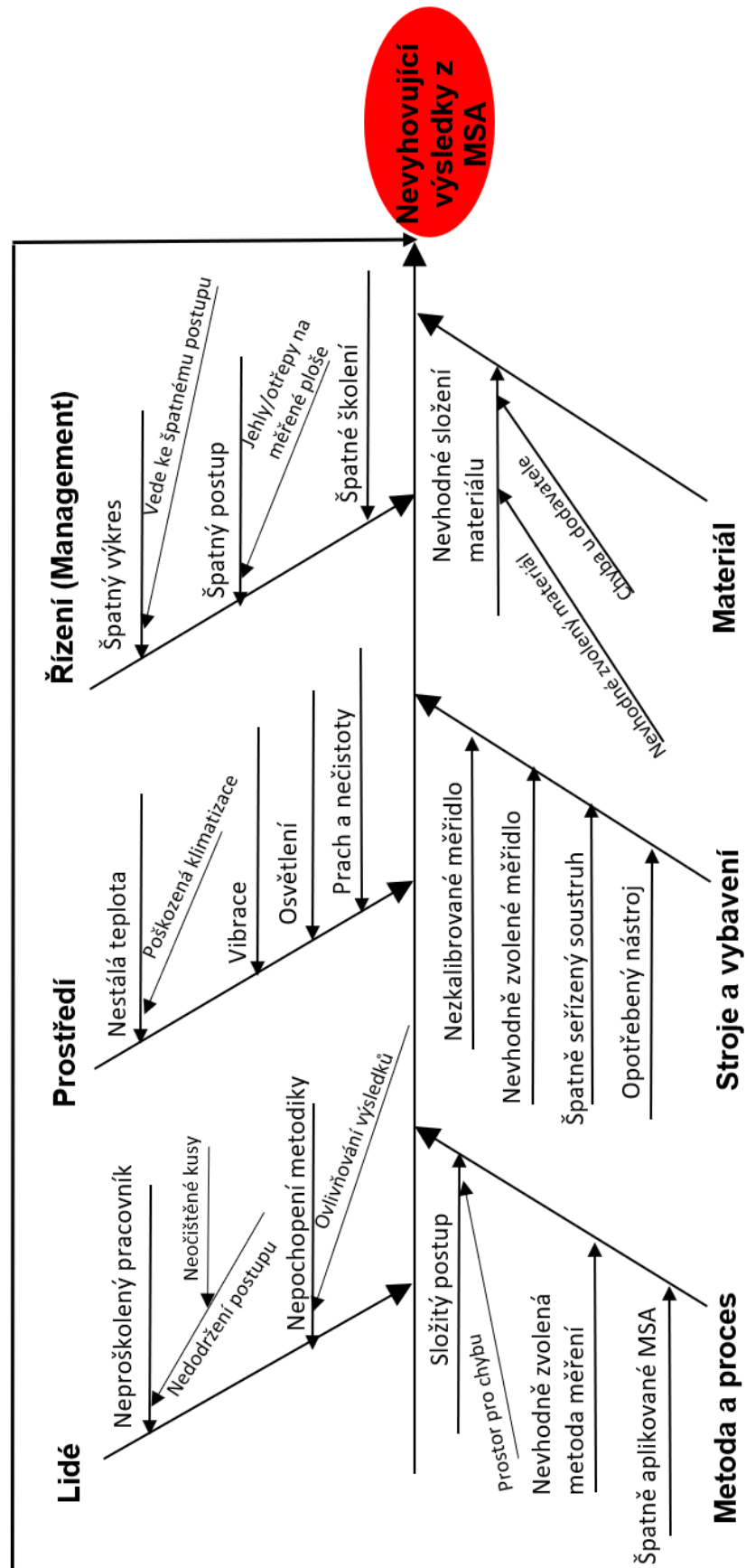
| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 × SD) | %Study Var (%SV) | %Tolerance (%SV/Toler) |
|--------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Analýza rozptylů | 0,01 | 0,0322 | 100,00 | 80,57 |
| Opakovatelnost | 0,01 | 0,0322 | 100,00 | 80,57 |
| Reprodukovatelnost | 0,00 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 |
| Operátor | 0,00 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 |
| Part-To-Part | 0,00 | 0,0000 | 0,00 | 0,00 |
| Celková odchylka | 0,01 | 0,0322 | 100,00 | 80,57 |

8.1 Interpretace výsledků z programu Minitab

Jak interpretovat jednotlivé části MSA analýzy metodou Gage R&R (ANOVA) z programu Minitab, jsou vysvětleny pomocí jednotlivých bodů [18]:

- 1. Analýza rozptylů (Gage R&R) přináší na měřicí systém šum(přírůstek) – čím nižší výsledná hodnota tím je menší variabilita
- 2., 3. Jsou podíly složek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti vzhledem k přírůstku „Part-to-Part“. Part-to-Part musí být o mnoho vyšší než Gager R&R podskupiny
- 5. R-Chart – zobrazení rozptylu jednotlivých operátorů pro každý vzorek
- 6. Xbar-Chart – průměrní hodnota jednotlivých vzorku naměřená jednotlivými operátory
 - Křivky operátorů by si měli být co nejvíc podobné. Více než 50% hodnot by mělo být mezi limitami.
 - Rozdílné průměry toho samého vzorku značí špatnou reprodukovatelnost
 - Více průměrů mimo regulační meze znamená variabilitu mezi vzorky – což je žádoucí, znamená to, že měřicí systém je schopen od sebe odlišit vzorky
- 7. Porovnání vzorků a zobrazení rozptylu hodnot – diagram zobrazuje průměr a rozložení hodnot pro každý vzorek
 - Rozložení (rozptyl) hodnot by měl být pro každý vzorek co nejmenší (znamená mala variability měření mezi operátory)
- 8. Box-Plot – Diagram pro porovnání operátorů
 - Ukazuje průměrné hodnoty a rozložení naměřených hodnot každým operátorem
 - Křivka pro průměr by měla být rovná – seskupení hodnot pro všechny by mělo být stejné
- 9. Diagram interakce operátor/vzorek – z diagramu je vidět variabilita průměrné hodnoty mezi operátory a vzorky.
 - V případě, že jsou křivky rovnoběžné – neexistuje interakce mezi operátorem a vzorkem (operátoři naměřili stejnou průměrní hodnotu vzorků). Interakce je indikovaná rozcházením se jednotlivých čár

8.2 Ishikawa diagram



Obrázek 38 Ishikawa diagram

Brainstorming přinesl mnoho nápadů příčin, které mohly mít vliv na proces měření.

Některé příčiny se určily rovnou jako velmi významné zejména nevhodně zvolená metoda měření a měřidlo. Přišlo se i na nedodržení pravidel v MSA, kdy nebyl náhodný výběr kusů při měření.

Některé příčiny se prolínají např. možné nedodržení postupu může souviset jak se špatným školením, tak se špatně napsaným postupem měření.

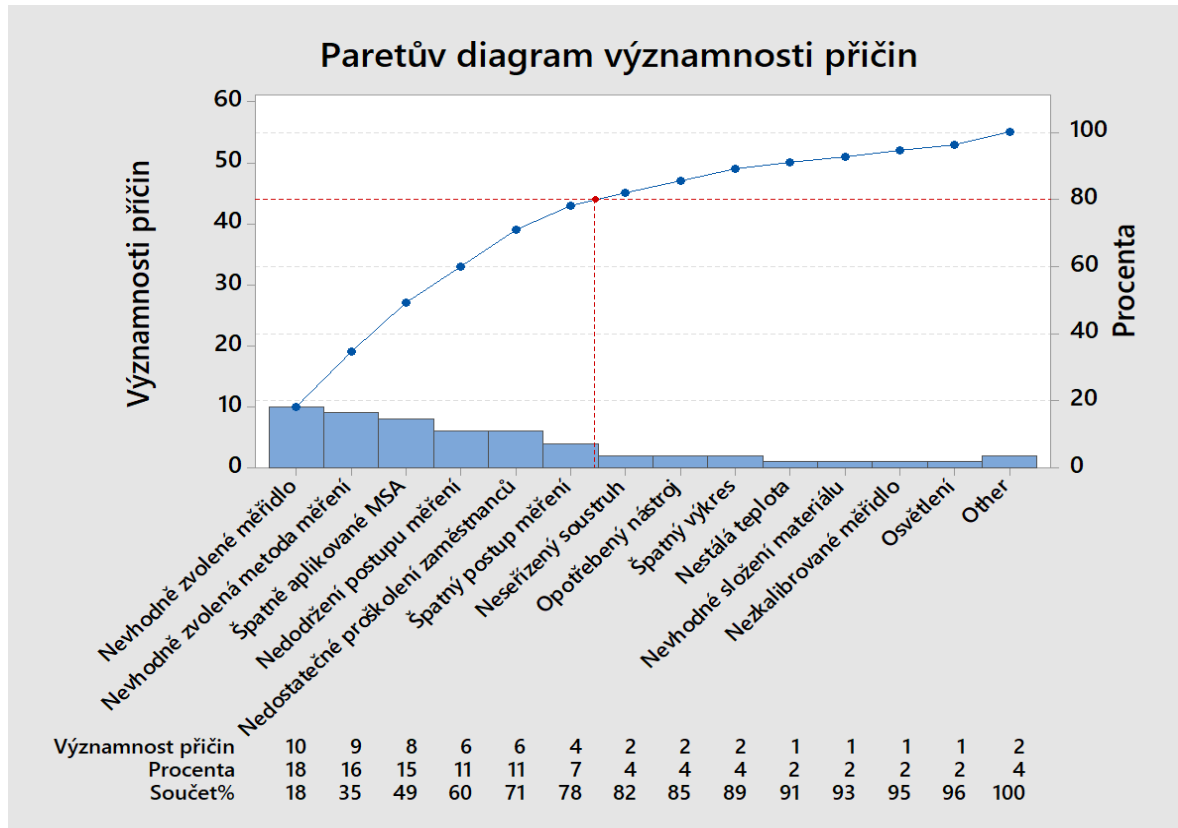
Spoustě příčin byla poměrně rychle dána malá významnost – například hliník je dobře obravitelný, teplota je stálá (klimatizace je v pořádku), kalibrace měřidla podléhá vnitřním normám a přísně se hlídá, vibrace tlumí speciální stoly, a stroj spolu s nástrojem podléhá pravidelné údržbě.

Tabulka 4 Hodnocení významnosti příčin

| Příčina | Významnost |
|-------------------------------------|------------|
| Nevhodně zvolená metoda měření | 9 |
| Špatně aplikované MSA | 8 |
| Nestálá teplota | 1 |
| Vibrace | 1 |
| Osvětlení | 1 |
| Prach a nečistoty | 1 |
| Nezkalibrované měřidlo | 1 |
| Neseřízený soustruh | 2 |
| Opotřeбенý nástroj | 2 |
| Špatný výkres | 2 |
| Nevhodné složení materiálu | 1 |
| Nedostatečné proškolení zaměstnanců | 6 |
| Nedodržení postupu měření | 6 |
| Špatný postup měření | 4 |

8.3 Paretův diagram

Na základě obodování významnosti příčin z Ishikawova diagramu byl sestrojen Paretův diagram. V našem případě bude vhodné použít kritérium 80/20.



Obrázek 39 Paretův diagram významnosti příčin

Paretův diagram oddělil příčiny s nízkou významností od těch, kterým byla dána větší významnost. Nejvíce významné příčiny byly zpracovány procesem FMEA.

Jako nejvýznamnější příčiny jsou určeny

8.4 FMEA

| FMEA NEVVYHOVUJÍCÍCH VÝSLEDKŮ MSA | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|---|---|-----------------|--------------|--------|----------|----------------|---------------|--------|----------|----------------|--------|--------|
| Popis problému | Následek problému | Příčina problému | Doporučené opatření | Vykonané opatření | Status opatření | Výchozí stav | | | | Aktuální stav | | | | | |
| | | | | | | Význam | Vyskyt | Odhálení | Význam dle RPN | Význam | Vyskyt | Odhálení | Význam dle RPN | Význam | Vyskyt |
| Nedodržení postupu měření | Ovlivňování výsledků | Nepochopení metodiky | Proškolení zaměstnanců, že se nemusí bát zapisovat špatné hodnoty | Operátoři byli důkladněji proškoleni | probíhá | 10 | 5 | 8 | VHR | 400 | 10 | 1 | 6 | MHR | 60 |
| Špatný postup měření | Nečištění kusů před měřením | Čištění kusů nebylo zahrnuto v postupu měření | Aktualizace interní dokumentace postupu měření | Čištění kusů bylo zavedeno do postupu | probíhá | 10 | 5 | 6 | VHR | 300 | 10 | 2 | 3 | MHR | 60 |
| Špatně aplikované MSA | Ovlivnění závěrů z MSA | Nenahodný výběr kusů pro měření | Zopakování MSA operátor nebude vědět, který kus měří | Přid dalších měřeních pro MSA byl proveden náhodný výběr kusů | probíhá | 7 | 10 | 2 | SHR | 140 | 7 | 1 | 1 | MHR | 7 |
| Nehodně zvolené měřidlo | Ne přesné měření | Měřeno stojanovým měřidlem u stroje, možné přenesení vibrací | Souvisí s metodou měření. Nutnost metodu přehodnotit. | Zajištěn nový typ měřidla | probíhá | 10 | 10 | 1 | SHR | 100 | 10 | 1 | 5 | MHR | 50 |
| Nehodně zvolená metoda měření | Zanesení chyby do měření | Tato metoda je problematická, protože plocha, na které je díl položen je v podstatě nižších tolerancích – tudíž přenáší chybu do měření | Jako náhradní řešení se přistoupilo k nové metodě měření, která spočívá v tom, že měření díl drží operátor přímo v ruce a při otočení hloubkoměru se změní daný rozměr. Požadavek na nové měřidlo | Zavedena nová metoda měření | probíhá | 10 | 10 | 10 | VHR | 1000 | 10 | 2 | 5 | SHR | 100 |

Obrázek 40 Zhotovená FMEA procesu měření

Nápravné opatření:

Hlavním opatřením byla nová metoda měření. Ta spočívá v tom, že měřený díl bude držet operátor přímo v ruce a přiložením nového měřidla (hloubkoměru) se změří daný rozměr. Kvůli tomu bylo požádáno o zajištění nového měřidla. Zajištěno bylo měřidlo s přípravkem, který byl původně určen pro jiné měření. To se nakonec ukáže jako nepříliš šťastné řešení, což vyplyne z následné MSA.

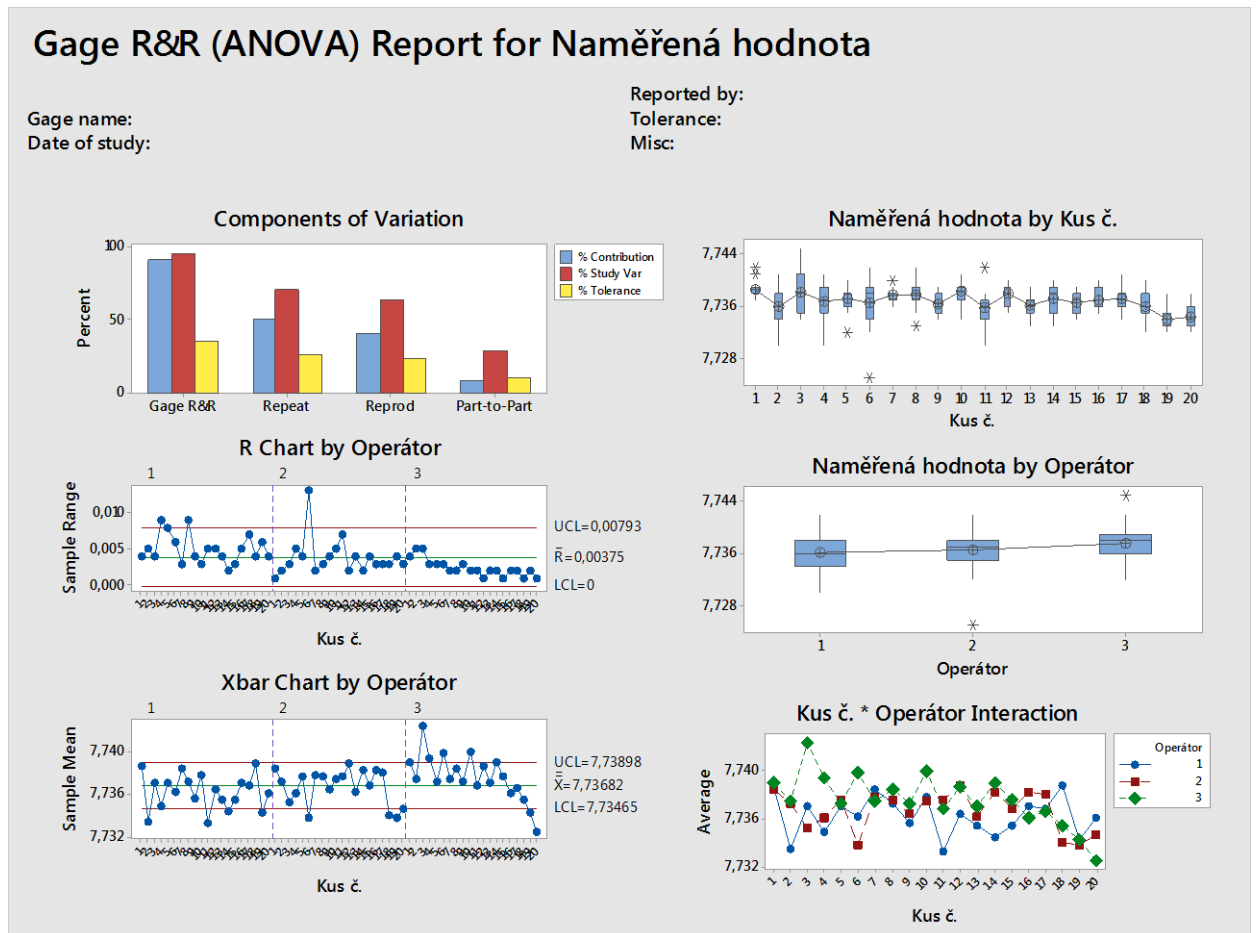


Obrázek 41 Měřidlo pro novou měřící metodu



Obrázek 42 Pomůcka ke kalibraci/nulování měřidla

8.5 MSA po zavedení nápravného opatření



Obrázek 43 Analýza rozptylů (ANOVA) po zavedení nápravných opatření

Analýza rozptylů

Tabulka 5 Data z analýzy rozptylů po zavedení nápravných opatření

| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|--------------------|-----------|----------------------------|
| Analýza rozptylů | 0,0000570 | 91,40 |
| Opakovatelnost | 0,0000032 | 50,53 |
| Reprodukovatelnost | 0,0000026 | 40,87 |
| Operátor | 0,0000004 | 5,92 |
| Part-To-Part | 0,0000005 | 8,60 |
| Celková odchylka | 0,0000063 | 100,00 |

Tolerance procesu = 0,04

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 × SD) | %Study Var (%SV) | %Tolerance (%SV/Toler) |
|--------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Analýza rozptylů | 0,0024 | 0,0143 | 95,60 | 35,86 |
| Opakovatelnost | 0,0018 | 0,0107 | 71,09 | 26,66 |
| Reprodukovatelnost | 0,0016 | 0,0096 | 63,93 | 23,98 |
| Operátor | 0,0006 | 0,0037 | 24,33 | 9,13 |
| Part-To-Part | 0,0007 | 0,0044 | 29,32 | 11,00 |
| Celková odchylka | 0,0025 | 0,0151 | 100,00 | 37,51 |

8.6 Vyhodnocení výsledků

Poznatky z měření:

Na první pohled je vidět z výsledků analýzy rozptylu Gage R&R velký posun, nicméně i přes zavedení nápravných opatření, které vyplynuly z FMEA, což byla především nová metodika měření a lepší proškolení operátorů, je stabilita procesu stále daleko za hranicí přijatelnosti.

Jako nepříliš vhodné se ukázalo nové měřidlo, to vzniklo úpravou měřidla původně určeného pro jiné měřicí operace, což přineslo nečekané problémy.

Jak je vidět na fotografii, je jedna strana ramene kratší než druhá, což komplikovalo umístění měřidla na měřenou plochu výrobku.

Dotyková plocha měřidla se mohla při nutném přitlaku kvůli další pružině v ramenu nepatrně vychýlit od osy (při doteku hrany dotykové plochy s plochou měřeného dílu).

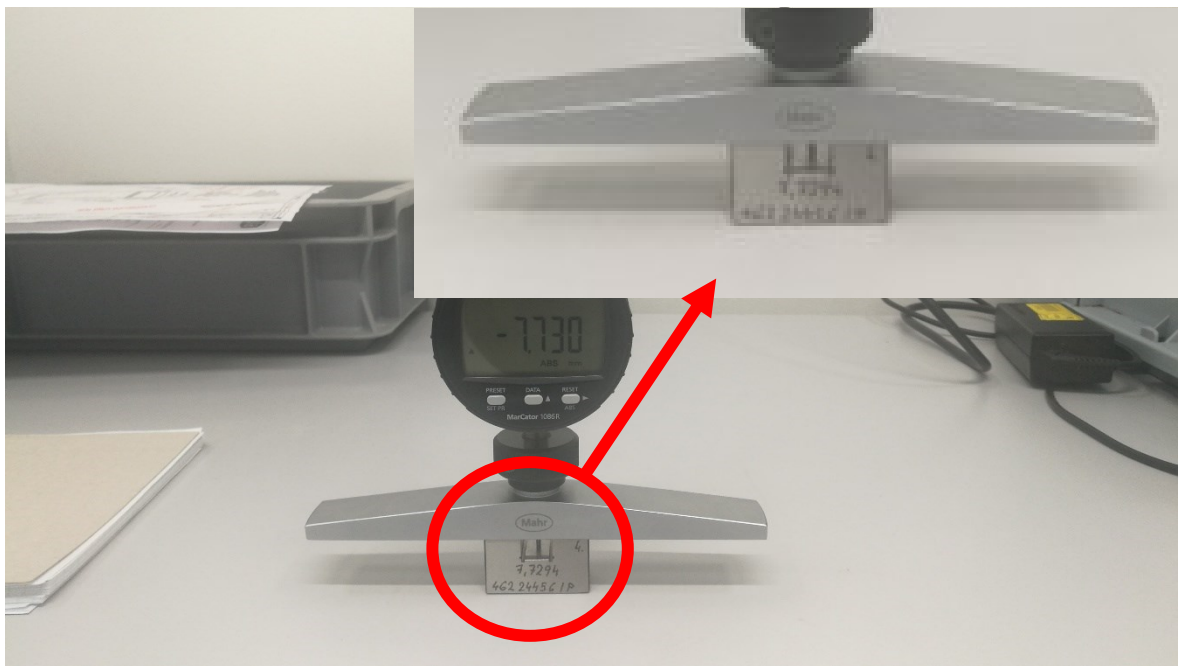
Poslední nepříjemnost mohla být pro některé operátory nutnost vyvinout určitý tlak k přitlačení měřidla k dílu – při větším počtu měření pocít únavy rukou. To je možný důvod, proč je vidět určitý trend u operátora č. 3 což byla žena.

Zda jsme se vydali dobrým směrem, jsme se rozhodli ověřit použitím zcela nového měřidla. Nové měřidlo se poskládalo ze sady segmentů od firmy Mahr, je možné zvolit různě dlouhá broušená ramena, stejně tak různé varianty měřících hrotů.

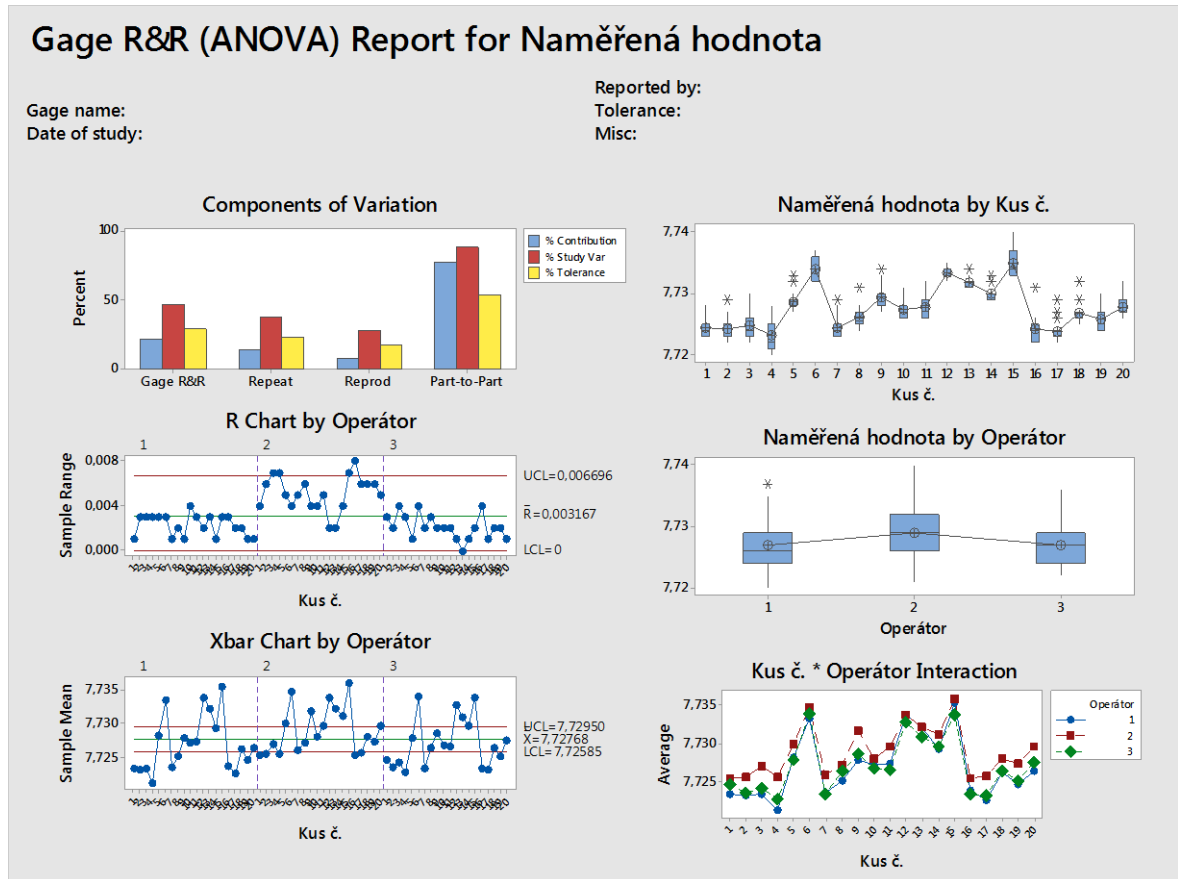
8.7 Druhé nápravné opatření



Obrázek 44 Nové měřidlo pro druhé nápravné opatření



Obrázek 45 Nastavení měřidla



Obrázek 46 Analýza rozptylů (ANOVA) po zavedení druhého opatření

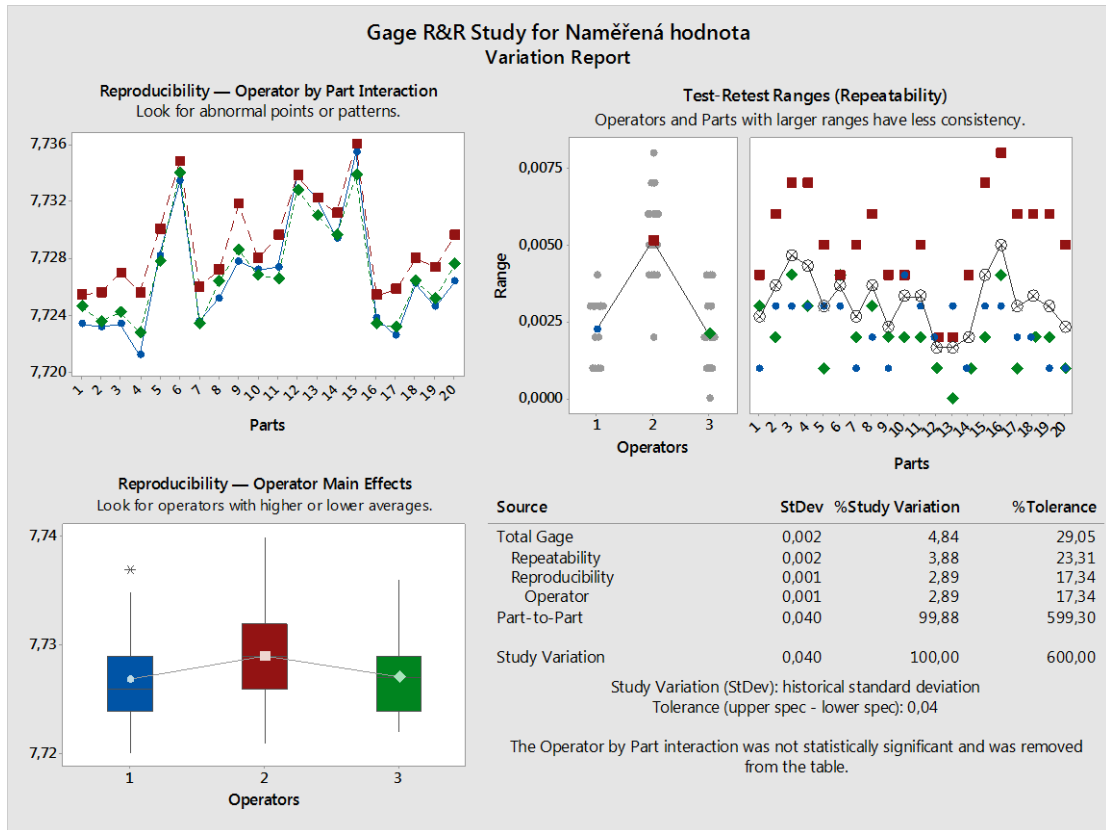
Analýza rozptylů

Tabulka 6 Data z analýzy rozptylů po zavedení druhého opatření

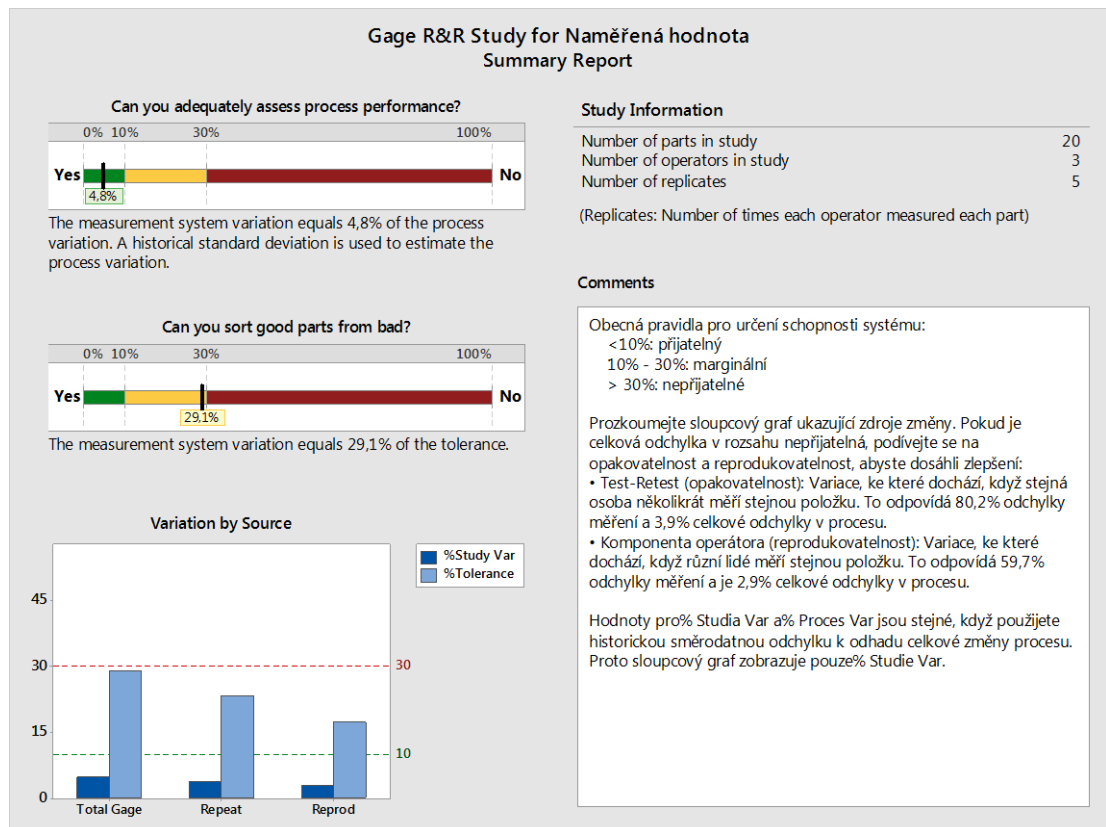
| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|--------------------|-----------|----------------------------|
| Analýza rozptylů | 0,0000380 | 22,34 |
| Opakovatelnost | 0,0000024 | 14,38 |
| Reprodukovatelnost | 0,0000026 | 7,96 |
| Operátor | 0,0000013 | 7,96 |
| Part-To-Part | 0,0000130 | 77,66 |
| Celková odchylka | 0,0000168 | 100,00 |

Tolerance procesu = 0,04

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 × SD) | %Study Var (%SV) | %Tolerance (%SV/Toler) |
|--------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Analýza rozptylů | 0,0019 | 0,0116 | 47,26 | 29,05 |
| Opakovatelnost | 0,0016 | 0,0093 | 37,92 | 23,31 |
| Reprodukovatelnost | 0,0012 | 0,0070 | 28,21 | 17,34 |
| Operátor | 0,0012 | 0,0069 | 28,21 | 17,34 |
| Part-To-Part | 0,0036 | 0,0216 | 88,13 | 54,17 |
| Celková odchylka | 0,0041 | 0,0246 | 100,00 | 61,47 |



Obrázek 47 Výstup rozpětí z MSA analýzy rozptylů



Obrázek 48 Závěr z MSA analýzy rozptylů

8.8 Vyhodnocení výsledků

Nové měřidlo bez původních nedostatků, spolu se zvýšením zkušeností operátorů vedlo ke značnému zlepšení stabilizace procesu. Zlepšila se opakovatelnost a reprodukovatelnost a zvýšil podíl vlivu měřených kusů na výsledek stability (což je dobře).

Po zavedení dalších opatření jsme se dostali lehce pod 30% celkového GAGE R&R, což firmě prozatím stačí a nevidí důvod pro další investici.

Nicméně se navrhlo další opatření, které by mohlo proces měření stabilizovat téměř dokonale. Jde o výrobu kalené tablety, která by se položila do dané hloubky a až od plochy tablety by se odečítala hodnota hloubkového rozměru. Tableta by svým způsobem navíc simulovala přímo funkci dílu v celkové sestavě, tudíž pokud by měřený rozměr přes tabletu vyšel, dalo by se říct, že je kus funkční pro montáž.

9 ZAVEDENÍ SPC

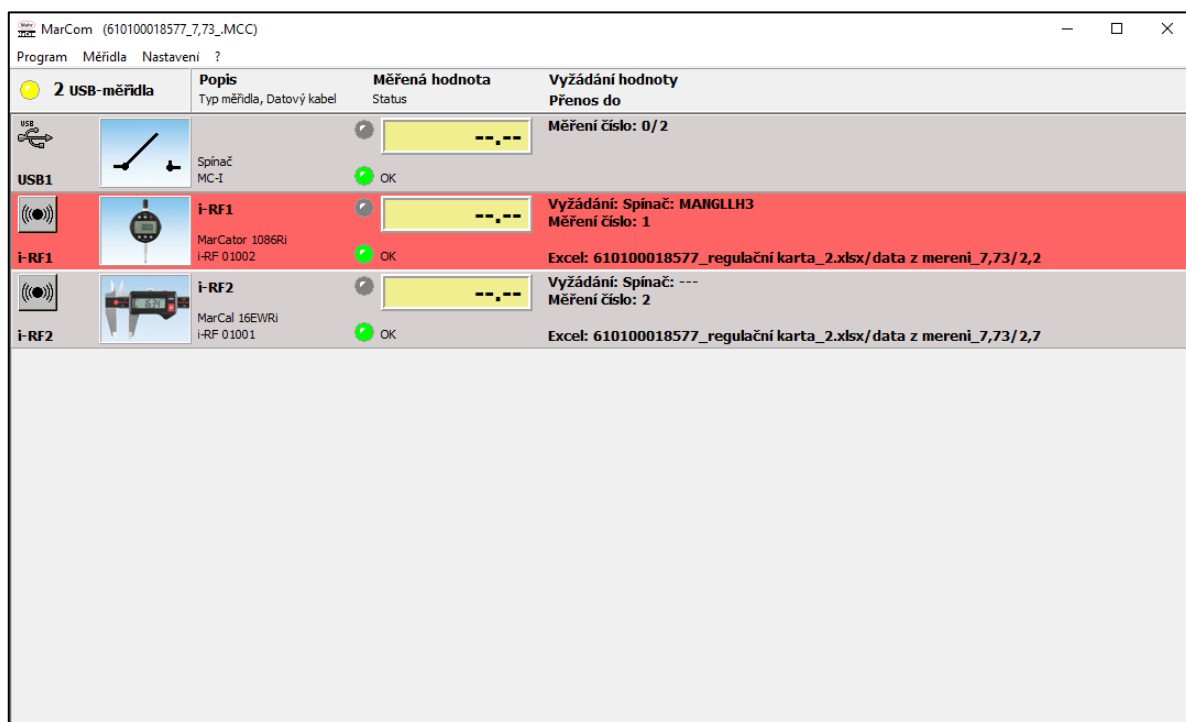
Sběr dat pro SPC zajistí program MarCom professional od společnosti Mahr s r.o., od které máme i měřidla.

Protože operátor při měření jednou rukou drží měřený díl a druhou rukou provádí měření dostane k dispozici pedál, kterým odešle naměřenou hodnotu do systému.

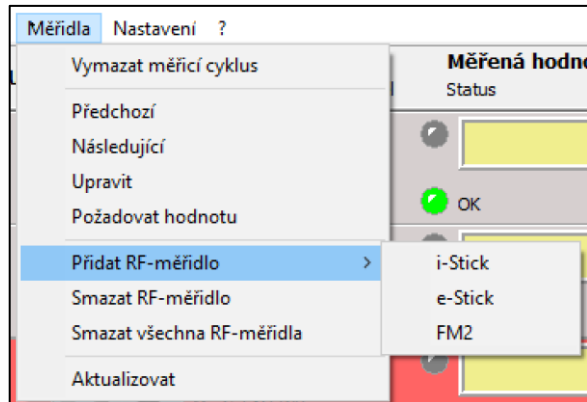
Program má rozsáhlé nastavení, díky kterému si operátor může navolit, kam chce exportovat data, například v excelu do jakého sloupce/buňky, na jaký sešit apod. [19]

9.1 Nastavení programu MarCom professional

Na obrázku 49 je vidět základní menu po spuštění programu, kde jsou už vybraná měřidla nastavena a připravena k použití.



Obrázek 49 Menu softwaru MarCom



Obrázek 50 Přidání měřidla


Prvním nezbytným krokem je přidání a nového měřidla, přes záložku Měřidla se dostaneme k příkazu Přidat RF-měřidlo. Na výběr je:

- i-Stick – přes USB připojené zařízení s přijímačem signálu (připomíná Flashdisk)
- e-Stick – přes USB připojené zařízení využívající funkce Bluetooth
- FM2 – přijímač rádiového signálu

V našem případě volíme i-Stick čímž se dostaneme do Nastavení měřidel, kde si z připravených měřidel v nabídce vybereme to, kterým chceme měřit. My volíme MarCator 1086Ri.

Nastavení měřidla je intuitivní a poměrně jednoduché.


Nastavení měřidel

 **Kanál** 01

Typ měřidla MarCator 1086Ri

ECO **Popis** i-RF1

i-RF1 **Měřidlo číslo** d 01 002



Vyžádání hodnoty Spínačem

při každém měření


s měřením číslo 1


Nula Ne



Přenos do Excel

Nastavení souboru Excel

Otevřít jako

Šablonu  \\meopta.intra\home2\povysil\My Documents\MarComp

Soubor  \\meopta.intra\home2\povysil\My Documents\Kontrola\

Vložit do Sloupce  řádky 

List data z mereni_7,73

řádek 2 **Poslední řádek** 5

První sloupec 2 **Poslední sloupec** 6

Pokračovat v měření v dalším sloupci/řádku

Aktuální **Cyklus** 1 **řádek** 2 **Sloupec** 2

Ok Zrušit

Obrázek 51 Nastavení měřidel

Typ měřidla MarCator 1086Ri

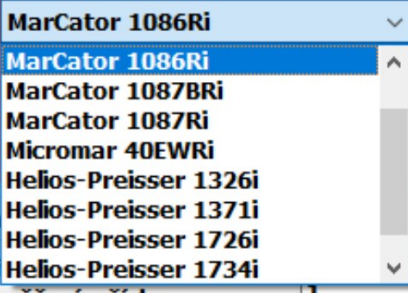
Popis MarCator 1086Ri

Měřidlo číslo d 01

hnoty Spín

pi

s měřením číslo 1



Obrázek 52 Nastavení typu měřidla

| | |
|--------------------|-------|
| Kanál | 01 |
| Typ měřidla | 01 |
| | 02 |
| | 03 |
| Popis | I-RF1 |

Obrázek 53 Výběr kanálu

Pokud máme více měřidel stejného typu, máme na výběr ze tří kanálů.

| | |
|-------------------------|----------|
| Vyžádání hodnoty | Spínačem |
| | Ne |
| | Klávesou |
| | Spínačem |
| Nula | Timer |

Pak je vybrán způsob potvrzení naměřené hodnoty, které se mají zapsat.

V našem případě to bude pedál, takže zvolíme Spínačem

Obrázek 54 Vyžádání hodnoty

| | |
|--------------------------------|--|
| Přenos do | Excel |
| Nastavení souboru Excel | Žádný |
| Otevřít jako | Excel |
| Šablonu | <input type="radio"/> Soubor TXT |
| Soubor | <input checked="" type="radio"/> Kódy klávesnice |
| Vložit do | <input type="radio"/> Virtuální rozhraní (interface) |
| | <input type="radio"/> Sloupce |

Obrázek 55 Export dat

Další podstatné nastavení je kam se budou data exportovat. Vybíráme excel.

| | | | |
|----------------------|--------------------|-------------------------|--|
| List | data z mereni_7,73 | | |
| řádek | 2 | | |
| První sloupec | 2 | Poslední sloupec | 6 |
| | Ukončit měření | | |
| Aktuální | Cyklus | 1 | Ukončit měření |
| | | | Pokračovat v měření v dalším sloupci/řádku |
| | | | Pokračovat v měření v... |

Obrázek 56 Nastavení měření

Dál se vybírá úložiště, kde je daný sešit excelu, se nastaví List, řádky a sloupce kde se budou data zapisovat a cyklus. Nakonec se nastaví způsob ukončení měření.

9.2 Plán pracoviště

Pracovník u CNC stroje, konkrétně soustruhu, bude mít PC propojený se serverem přes tenkého klienta, na který se budou zaznamenávat naměřená data.

Data se budou přes přednastavený program Marcom exportovat do sešitů Excel.

Ten bude mít nachystané listy podle pracovních směn a výrobních dávek v rámci firemního plánování.

9.3 Možné problémy, se kterými bychom se mohli potkat.

Protože nejde o měření v laboratoři, ale přímo ve výrobní hale u stroje musíme už dopředu počítat s různými komplikacemi.

Co když pracovník zadá špatnou hodnotu, například omylem stiskne pedál?

Pracovník by měl mít možnost takovou hodnotu opravit – vrátit se o krok zpět, ale zároveň by neměl být schopen data ovlivňovat, nebo mít možnost mazat data z jiných směn.

Řešením by mohlo být takové, jaké funguje například v supermarketech, kdy prodavačka omylem 2x namarkuje zboží, musí pak zavolat vedoucího pracovníka, který má práva účet opravit.

V našem případě by pracovník zavolal vedoucího skupiny – mistra, a ten by hodnotu opravil.

Protože jde poměrně o složité nastavení, je nutná úzká spolupráce s IT oddělením.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala problematikou stability procesu měření a následným zavedením SPC do výroby.

V úvodu teoretické části se práce zabývá nejistotami měření, které úzce souvisí se stabilitou procesu měření. Analýzou procesu měření neboli metodou MSA, se zabývá další část teoretické části, kde jsou vysvětleny jednotlivé prvky jako je stabilita, strannost a R&R (reprodukovatelnost a opakovatelnost).

Další část se věnuje SPC, kde jsou vysvětleny indexy způsobilosti C_p a C_{pk} , a regulační diagramy, které se pak v rámci SPC vyhodnocují.

Poslední část teoretické části se věnuje nástrojům kvality, které mohou být použity při hledání problému a zavedení nápravného opatření v případě zjištění, že měřicí proces nevyhovuje.

V úvodu praktické části je představení původního měřidla a metody měření, na kterých byla provedena analýza stability procesu měření. Výsledky z MSA nebyly vyhovující, proto se pomocí diagramu příčin a následků a paretova diagramu našli možné příčiny, které mohly mít vliv na špatný výsledek.

Byla aplikována FMEA na jejímž základě byly navrženy nápravná opatření. Hlavním opatřením byla nová metoda měření, kdy se upustilo od měření na stojanovém měřidle k měření v ruce. I když se mohlo na první pohled zdát, že se jde proti známým pravidlům (měření v ruce), tak tato nová metoda právě díky své jednoduchosti značně zlepšila proces měření. Nicméně bylo potřeba vychytat nedostatky, které se objevily s novým typem měřidla. Například tuhost pružiny, délka ramen. Ty vyřešilo zcela nové měřidlo.

Po provedení v pořadí třetí MSA jsme se dostali těsně pod 30% GAGE R&R, to je sice na hranici stability, ale firma prozatím nebude investovat peníze do dalšího zlepšení.

Závěrem probíhá příprava pracoviště na zavedení SPC, kde je potřeba ještě jasně určit jakým způsobem bude sběr a kontrolování dat probíhat.

Navrhlo se ještě jedno opatření, které by proces mohlo uvést do naprosto stabilního stavu. Jde opět o novou metodu měření. Měření by probíhalo pomocí kalené kovové tablety, které by se položila na měřenou plochu a rozměr by se měřil odečtem přes tabletu. Tableta by navíc simulovala funkci dílu v celkové sestavě, pokud by byl měřený rozměr přes tabletu v toleranci, dalo by se říct, že je kus funkční pro montáž.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. Kvalita, quality, Qualität. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [2] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. *Chyby a nejistoty měření: (doplňující text k laboratornímu cvičení)* [online]. Olomouc: UPOL, b.r. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf>
- [3] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Vyd. 3., V nakl. Karolinum 1. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [4] TNI 01 4109-3:2011. *Nejistoty měření - Část 3: Pokyn pro vyjádření nejistoty měření (GUM:1995) (Pokyn ISO/IEC 98-3): (GUM:1995)*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [5] ING. VLADIMÍR LUDVÍK, . *Sborníky Technické Harmonizace: Nejistoty Měření, Přesnost Měření, Správnost Měření A Otázky Spojené Se Vzájemnou Porovnatelností Výsledků Měření A S Prohlášením O Shodě S Technickými Specifikacemi*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [6] *Analýza systémů měření (MSA): příručka*. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003. ISBN 80-02-01562-2.
- [7] *Analýza systému měření (MSA)*. 4. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [8] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN 80-7226-543-1.
- [9] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN isbn80-722-6543-1.
- [10] PLURA, Jiří. *Plánování jakosti II*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2588-5.
- [11] PATA, Vladimír. *Jakost a metrologie - prezentace: Terminologie a základní pojmy*. UTB - Fakulta technologická, Zlín, 2009.

- [12] *Statistical Process Control (SPC)* [online]. b.r. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.statisticalprocesscontrol.info/glossary.html>
- [13] *Shewhartovy regulační diagramy: ČSN ISO 8258*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [14] NEVŘELA, Miroslav. KCM CONSULTING S.R.O. *SPC - statistická regulace procesu: Školení SPC*. Přerov, 2016.
- [15] MICHÁLEK, Jiří, Jan KRÁL a Josef KŘEPELA. *Pokročilé metody SPC s příklady z praxe*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2013, x, 196 s. ISBN 978-80-02-0425-5.
- [16] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní systémy řízení jakosti: quality management*. 2. dopl. vyd. Praha: Management Press, 2002. ISBN 8072610716.
- [17] *Ishikawa diagram* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/metody/ishikawa-diagram-1/>
- [18] BAŽANT, Martin. *Analýza měřicího systému (MSA)* [online]. 2015 [cit. 2019-05-19].
- [19] *MarCom Standard / Professional © Software: Návod k obsluze*. Verze 20140416. Mahr GmbH Esslingen, b.r. Dostupné také z: https://www.klz.inshop.cz/inshop/files/4429012/MarCom_software_n%C3%A1vod_CZ.pdf
- [20] *Výklad QS-9000 schválený IASG: pro použití akreditačními orgány uznávanými Chryslerem, Fordem, General Motors, registrujícími orgány kvalifikovanými pro QS-9000, dodavateli a zainteresovanými stranami*, 2000. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 80-02-01372-7.
- [21] *Metoda FMEA- prezentace školení* Dostupné také z: <https://slideplayer.cz/slide/2819656/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|------------|--|
| MSA | Analýza systému měření |
| SPC | Statistické řízení procesu |
| FMEA | Analýza možného výskytu a vlivu vad |
| Gage R&R | Variabilita měření (reprodukovatelnost a opakovatelnost) |
| Zj | Zdroje nejistot |
| ΔZ | Odchylka |
| \bar{y} | Výběrový průměr |
| $s^2(y_i)$ | Výběrový rozptyl |
| $s(y_i)$ | Výběrová směrodatná odchylka |
| \bar{x} | Aritmetický průměr |
| μ | Střední hodnota |
| σ | Směrodatná odchylka |
| R | Rozpětí |
| LSL | Dolní mez zásahu |
| USL | Horní mez zásahu |
| Cp | Způsobilst procesu |
| Cpk | Index způsobilosti procesu |
| u_a | Nejistota měření typu A |
| u_{ak} | Korigovaná nejistota typu A |
| n | Počet měření |
| k | Korekční koeficient |
| u_b | Nejistota měření typu B |
| u_c | Standardní nejistota |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Strannost měření [7] | 16 |
| Obrázek 2 Stabilita [7] | 17 |
| Obrázek 3 Linearita [7] | 18 |
| Obrázek 4 Opakovatelnost [7] | 18 |
| Obrázek 5 Reprodukovatelnost [11] | 19 |
| Obrázek 6 Gage R&R – reprodukovatelnost a opakovatelnost [7] | 20 |
| Obrázek 7 Tvorba regulačního diagramu | 22 |
| Obrázek 8 Regulační diagram dat z výroby | 23 |
| Obrázek 9 Regulační diagram s hodnotami mimo meze | 23 |
| Obrázek 10 Diagram C_p , C_{pk} [12] | 24 |
| Obrázek 11 Proces výroby při různých operátorech/seřizích [12] | 25 |
| Obrázek 12 Rozdíly C_{pk} při zvýšení rezervy [12] | 25 |
| Obrázek 13 Normální rozdělení - 6 sigma | 26 |
| Obrázek 14 Test 1: Jeden bod leží za zónou A | 27 |
| Obrázek 15 Test 2: Devět bodů za sebou leží v zóně C nebo za ní | 27 |
| Obrázek 16 Test 3: Šest bodů v řadě za sebou je plynule stoupajících nebo klesajících | 28 |
| Obrázek 17 Test 4: Čtrnáct bodů za sebou v řadě pravidelně kolísá nahoru a dolů ... | 28 |
| Obrázek 18 Test 5: Dva ze tří bodů v řadě za sebou leží v zóně A nebo mimo ni | 28 |
| Obrázek 19 Test 6: Čtyři z pěti bodů za sebou leží v zóně B nebo za ní | 29 |
| Obrázek 20 Test 7: Patnáct bodů v řadě za sebou leží v zóně C (nad a pod centrální přímkou) | 29 |
| Obrázek 21 Test 8: Osm bodů v řadě za sebou leží na obou stranách přímky, avšak žádný bod neleží v zóně C | 29 |
| Obrázek 22 Ishikawa diagram [17] | 32 |
| Obrázek 23 Kontrolní tabulka rozdělení znaku jakosti či parametru procesu [16] | 33 |
| Obrázek 24 Tvary histogramů a možné vymežitelné příčiny jejich odchylek [16] | 34 |
| Obrázek 25 Případy histogramů v tolerančních mezích | 35 |
| Obrázek 26 Základní typy stochastické závislosti dvou proměnných [16] | 36 |
| Obrázek 27 a) lineární vývojový diagram, b) vývojový diagram vstup/výstup [16] | 37 |
| Obrázek 28 Ukázka integrovaného vývojového diagramu [16] | 37 |
| Obrázek 29 Tabulka hodnocení výskytu poruchy (O) [20] | 39 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 30 Tabulka hodnocení významu poruchy [20]..... | 39 |
| Obrázek 31 Tabulka hodnocení pravděpodobnosti odhalení poruchy [20]..... | 39 |
| Obrázek 32 Příklad realizace FMEA [21]..... | 40 |
| Obrázek 33 - 3D model..... | 43 |
| Obrázek 34 – Řez v 3D modelu..... | 43 |
| Obrázek 35 Indikátor/stojánek..... | 44 |
| Obrázek 36 Měřený polotovár..... | 44 |
| Obrázek 37 Analýza rozptylů (ANOVA) používané metody měření..... | 45 |
| Obrázek 38 Ishikawa diagram..... | 47 |
| Obrázek 39 Paretův diagram významnosti příčin..... | 49 |
| Obrázek 40 Zhotovená FMEA procesu měření..... | 50 |
| Obrázek 41 Měřidlo pro novou měřicí metodu..... | 51 |
| Obrázek 42 Pomůcka ke kalibraci/nulování měřidla..... | 51 |
| Obrázek 43 Analýza rozptylů (ANOVA) po zavedení nápravných opatření..... | 52 |
| Obrázek 44 Nové měřidlo pro druhé nápravné opatření..... | 54 |
| Obrázek 45 Nastavení měřidla..... | 54 |
| Obrázek 46 Analýza rozptylů (ANOVA) po zavedení druhého opatření..... | 55 |
| Obrázek 47 Výstup rozpětí z MSA analýzy rozptylů..... | 56 |
| Obrázek 48 Závěr z MSA analýzy rozptylů..... | 56 |
| Obrázek 49 Menu softwaru MarCom..... | 58 |
| Obrázek 50 Přidání měřidla..... | 59 |
| Obrázek 51 Nastavení měřidel..... | 60 |
| Obrázek 52 Nastavení typu měřidla..... | 60 |
| Obrázek 53 Výběr kanálu..... | 61 |
| Obrázek 54 Vyžádání hodnoty..... | 61 |
| Obrázek 55 Export dat..... | 61 |
| Obrázek 56 Nastavení měření..... | 61 |

SEZNAM TABULEK

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabulka 1 | Hodnoty korekčních koeficientů pro různé počty opakovaných měření .. | 13 |
| Tabulka 2 | Hodnoty pro tvorbu regulačního diagramu..... | 22 |
| Tabulka 3 | Data z analýzy rozptylů používané metody měření..... | 45 |
| Tabulka 4 | Hodnocení významnosti příčin | 48 |
| Tabulka 5 | Data z analýzy rozptylů po zavedení nápravných opatření | 52 |
| Tabulka 6 | Data z analýzy rozptylů po zavedení druhého opatření..... | 55 |