

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Porovnání způsobilosti systémů měření

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel BENEŠ**
Osobní číslo: **E13N0052P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Porovnání způsobilosti systémů měření**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište řešení způsobilosti procesů metodou MSA.
2. Popište řešení způsobilosti procesů metodou VDA 5.
3. Popište řešení způsobilosti procesů podle ČSN ISO 22514-7.
4. Jednotlivé metody mezi sebou porovnejte.
5. Vyhodnoťte, zda jsou tyto metody využité u vybraných statistických SW a doplňte příkladem.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Analýza systémů měření (MSA), ČSJ Praha
2. Management kvality v automobilovém průmyslu, Vhodnost kontrolních procesů VDA 5, ČSJ Praha 2011
3. ČSN ISO 22514-7:2014 Statistické metody v managementu procesu - Způsobilost a výkonnost - Část 7: Způsobilost procesů měření
4. Manuály některých SW (např. Statistica, SPSS, NCSS, Palstat nebo QI-Analyst)

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016


Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou stavu v oboru měření v automobilovém průmyslu, návrhem metodiky pro zhodnocení způsobilosti měření, sběrem dat a jejich vyhodnocením. Problematika zadání spočívá především v návrhu a ověření způsobilosti jednotlivých metod pro různé typy výroby.

Klíčová slova

Způsobilost systému měření, způsobilost procesu měření, AUTOMOTIVE, MSA, VDA5, opakovatelnost, reprodukovatelnost, nejistota měření, indexy způsobilosti měření

Abstract

This study analyzes the state in a field of measurement in the automotive industry, design of methodology for evaluating the capability of measurement and data collection and evaluation. The issue of the assignment lies mainly in the design and verification of capability of different methods for different types of production.

Key words

Capability of measurement system, process capability measurements, Automotive, MSA, VDA 5, repeatability, reproducibility, measurement uncertainty, measurement capability indexes

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 16.5.2016

Pavel Beneš

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Doc. Ing. Olze Tůmové, CSc. za zapůjčení všech potřebných materiálů potřebných k vypracování mé diplomové práce a především za cenné rady a připomínky i metodické vedení mé práce.

Obsah

ÚVOD	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	15
1.1 TERMINOLOGIE	15
1.1.1 Základní pojmy	15
1.2 STANOVENÍ KVALITY	18
1.2.1 Kvalita a jakost	19
1.2.2 Způsobilost měřicího systému	24
1.2.3 Způsobilost procesu měření	24
1.3 NORMY	28
1.3.1 Základní koncepce managementu kvality	28
1.3.2 Nejdůležitější normy pro oblast řízení kvality	28
1.4 PŘEHLED METODIK MSA, VDA 5 A NORMY ČSN ISO 22514-7	33
1.4.1 Metodika hodnocení způsobilosti měřicího systému MSA	33
1.4.2 Metodika hodnocení způsobilosti měřicího systému VDA	34
1.4.3 Hodnocení způsobilosti podle normy ČSN ISO 22514-7	35
2 VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI JEDNOTLIVÝMI METODIKAMI	36
2.1 METODIKA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PODLE VDA 5	36
2.1.1 Důkaz shody a neshody podle DIN EN ISO 14253	37
2.1.2 Vlivy na nejistotu měření	39
2.1.3 Standardní nejistoty	39
2.1.4 Určení standardní nejistoty měření	39
2.1.5 Rozšířená nejistota měření	41
2.1.6 Výpočet ukazatelů vhodnosti	42
2.1.7 Minimální možná tolerance pro měřicí systémy a procesy měření	43
2.1.8 Zacházení s nevhodnými systémy měření a procesy měření	44
2.1.9 Důkaz vhodnosti procesu měření a systému měření	45
2.1.10 Určení systematické odchylky měření a opakovatelnosti podle „Postupu 1“	46
2.1.11 Určení nejistot v procesu měření	48
2.1.12 Průběžná prověrka vhodnosti procesu měření	49
2.1.13 Speciální procesy měření	51

2.1.14	<i>Důkaz vhodnosti atributivních kontrolních procesů</i>	51
2.1.15	<i>Průběžná kontrola</i>	54
2.2	METODIKA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PODLE ČSN ISO 22514 - 7	55
2.2.1	<i>Základní principy</i>	55
2.2.2	<i>Vyhodnocení nejistoty měření</i>	55
2.2.3	<i>Výpočet kombinované nejistoty</i>	60
2.2.4	<i>Výpočet rozšířené nejistoty</i>	60
2.2.5	<i>Výpočet výkonnostních poměrů a ukazatelů způsobilosti</i>	60
2.3	METODIKA HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PODLE METODIKY MSA.....	63
2.3.1	<i>Systém měření</i>	63
2.3.2	<i>Statistické vlastnosti systému měření</i>	64
2.3.3	<i>Zdroje variability</i>	65
2.3.4	<i>Vliv na rozhodování o produktu</i>	65
2.3.5	<i>Vliv na rozhodování o procesu</i>	67
2.3.6	<i>Regulace procesu („experiment úzkého hrdla“)</i>	68
2.3.7	<i>Strategie a plánování měření</i>	69
2.3.8	<i>Proces volby měřidla</i>	69
2.3.9	<i>Problematika měření</i>	71
2.3.10	<i>Nejistota měření</i>	79
2.3.11	<i>Koncepce pro posuzování systémů měření</i>	80
2.3.12	<i>Postupy pro jednoduché systémy měření</i>	82
2.3.13	<i>Řešení systémů se složitými měřeními</i>	92
2.3.14	<i>Jiné metody měření</i>	97
3	POROVNÁNÍ DANÝCH METOD	100
3.1	POROVNÁNÍ METODIKY VDA 5 A NORMY ČSN ISO 22514-7	100
3.1.1	<i>Porovnání z hlediska podrobnosti</i>	100
3.1.2	<i>Porovnání z hlediska způsobilosti procesu</i>	100
3.1.3	<i>Odlíšnosti ve značení</i>	101
3.2	POROVNÁNÍ METODIK VDA 5 A MSA.....	101
3.2.1	<i>Terminologie</i>	101
3.2.2	<i>Příprava systému měření</i>	102
3.2.3	<i>Proces měření</i>	103
3.2.4	<i>Vyhodnocení způsobilosti</i>	105
3.2.5	<i>Speciální metody měření</i>	107

4	SROVNÁNÍ METODIK Z HLEDISKA SOFTWARE PODPORY	109
5	PŘÍPADOVÁ STUDIE OVĚŘENÍ POUŽITELNOSTI METODIK.....	110
5.1	ZADÁNÍ	110
5.2	POSTUP MĚŘENÍ	110
5.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY	111
5.4	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	112
5.4.1	<i>Grafické a numerické zpracování dat pro odhad variability systému měření metodou GRR.....</i>	<i>112</i>
5.4.2	<i>Grafická analýza linearitu a strannosti systému měření.....</i>	<i>116</i>
5.4.3	<i>Odhad způsobilosti systému měření</i>	<i>117</i>
5.5	VYHODNOCENÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE	121
6	ZÁVĚR.....	123
6.1	SHRNUTÍ – POROVNÁNÍ METODIK MSA, VDA 5 A NORMY ČSN	124
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	126
	PŘÍLOHY.....	1

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na porovnání způsobilosti systémů pomocí analýz měřících systémů a jejich hodnocení v automobilovém průmyslu dle metodik MSA, VDA 5 a ČSN ISO 22514-7.

Téma této práce jsem si vybral, protože mě velmi zajímaly předměty jako Metrologie a Teorie měření a experimentů a chtěl jsem se o této problematice dozvědět víc také proto, že velká část českého, ale také světového průmyslu (USA, Japonsko, Německo, Jižní Korea) se orientuje na automobilový průmysl. Automobilový průmysl je velice univerzální, protože postihuje mnoho odvětví jako strojírenství, elektronika, elektrotechnika či chemie a je na něm také velice závislý těžební průmysl a hutnictví, takže jsou tyto metody použitelné do téměř jakéhokoli provozu.

Mým cílem bylo získat přehled o jednotlivých metodách, které bych využil ve svém pozdějším zaměstnání. Snažil jsem se jednak porovnat jednotlivé metody z hlediska rozsahu chyb, které zahrnují, ale také vhodnost pro různé typy výroby.

Práce je rozdělena do šesti hlavních částí. První se zabývá úvodem do problematiky zajištění kvality, včetně výčtu norem, které souvisejí s kvalitou a stručný úvod do metodik MSA a VDA a normy ČSN ISO 22514-7.

Druhá část popisuje jednotlivé metodiky a jejich základní vlastnosti a metody výpočtu nejistot a parametrů způsobilosti.

Třetí část porovnává metodiky z hlediska rozsahu práce i z hlediska rozsahu chyb, které se beru v potaz při určování spolehlivosti systémů měření resp. procesů měření.

Čtvrtá část je případová studie o vyhodnocení reálných dat jednotlivými metodami získaných ve výrobním podniku.

Pátá část je věnována porovnání statistických softwarových produktů z hlediska jejich možného využití pro určování způsobilosti měřících systémů.

Poslední tedy šestá část je závěrečné srovnání metodik a normy na základě zjištěných informací a vyhodnocení a jejich využitelnosti a aplikovatelnosti ve výrobních provozech.

Seznam symbolů a zkratk

MSA – Measurement System Analysis

VDA – Verband der Automobilindustrie

R&R – Opakovatelnost a reprodukovatelnost

GRR – Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla

ARM – Metoda průměru a rozpětí (Average Range Method)

ANOVA – metoda analýzy rozptylu

EV – Variabilita zařízení (Equipment Variation)

AV – Variabilita operátora (Appraiser Variation)

PV – variabilita mezi díly

TV – celková variabilita

μ – Střední hodnota

σ – Směrodatná odchylka

s_g – Výběrová směrodatná odchylka

σ^2 – Rozptyl

CL – Centrální přímka (central line)

UCL – Horní regulační mez (upper control limit) [MSA]

LCL – Dolní regulační mez (lower control limit) [MSA]

UCL – horní regulační mez [VDA 5]

LCL – dolní regulační mez [VDA 5]

U – Horní toleranční mez [VDA 5]

L – Dolní toleranční mez [VDA 5]

USL – Horní toleranční mez [ČSN ISO 22514-7]

LSL – Dolní toleranční mez [ČSN ISO 22514-7]

n – Výběr ze základního souboru

n_i – Počet jednotek odebraných z i -té dávky

N – Základní soubor

U_{MP} – rozšířenou nejistotu

k – koeficient rozšíření nebo počet opakovaných měření

X – Náhodná veličina

\bar{x} – Aritmetický průměr naměřených hodnot

α – Riziko dodavatele nebo hladina významnosti

β – Riziko odběratele

$u(x_i)$ – ukazatel standardní nejistoty měření

- u_{AV} – reprodukovatelností operátorů
- u_{EVO} – opakovatelnost zkoušené součásti
- u_{GV} – reprodukovatelnost upínacích přípravků
- u_{EV} – nejistota vlivem rozptylu měřidla
- u_{OBJ} – nehomogenita dílu
- u_{RE} – nejistota vlivem rozlišení
- u_{CAL} – nejistota kalibrace
- u_{STAB} – reprodukovatelnost rozdílných časových bodů
- u_T – nejistota způsobená vlivem teploty
- u_{TD} – nejistota teplotních rozdílů
- u_{TA} – nejistota koeficientů roztažnosti
- u_{Iai} – interakce
- u_{EVR} – opakovatelnost na etaonu
- u_{BI} – nejistota pocházející z vychýlení
- u_{LIN} – chyba linearity
- u_{REST} – nejistota způsobená dalšími vlivy působící na měřicí systém
- u_{MS} – kombinovaná nejistota měřicího systému
- u_{MP} – kombinovaná nejistota procesu měření
- U_{MS} – rozšířená nejistota měřicího systému
- U_{MP} – rozšířená nejistota procesu měření
- y_i – odečtená hodnota i-tého opakovaného měření
- \bar{x}_g – aritmetický průměr odečtených hodnot
- x_m – referenční hodnota etalonu z rozsahu tolerance kontrolovaného znaku
- c_g – koeficient opakovatelnosti měřidla
- c_{gk} – koeficient strannosti měřidla
- x_{mu} – pravý rozměr etalonu v pásmu okolo toleranční meze L
- x_{mo} – pravý rozměr etalonu v pásmu okolo toleranční meze U
- x_{mm} – pravý rozměr etalonu v pásmu okolo středu tolerance
- Q_{MS} – ukazatel vhodnosti měřicího systému
- Q_{MP} – ukazatel vhodnosti procesu měření
- C_{MS} – ukazatel způsobilosti systém měření [ČSN ISO 22514-7]
- C_{MP} – ukazatel způsobilosti procesu měření [ČSN ISO 22514-7]
- $C_{p;obs}$ – pozorovaná způsobilost měřicího procesu
- $C_{p;p}$ – skutečná způsobilost měřicího procesu

C_p ;real - skutečná způsobilost procesu

Q_{MS_MAX} – limitní hodnota pro měřicí systém

Q_{MP_MAX} – limitní hodnota pro proces měření

MPE – největší přípustná chyba

TOL_{MIN_UMS} – minimální možná tolerance pro měřicí systém

TOL_{MIN_UMP} – minimální možná tolerance pro proces měření

TOL – rozmezí velikosti zadané tolerance

%RE – rozlišení systému měření

ndc – stanovení počtu kategorií (citlivost systému měření)

C_p, C_{pk} – indexy způsobilosti procesu [MSA]

P_p, P_{pk} – indexy výkonnosti procesu

m_R – práh citlivosti

APQP – Moderní plánování kvality (Advanced Product Quality Planning)

GUM – pokyn pro vyjadřování nejistot měření (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)

VIM – mezinárodním slovníku základních a všeobecných termínů v metrologii (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology)

;

1 Úvod do problematiky

1.1 Terminologie

Název mé práce je tedy porovnáním způsobilosti systémů měření. Pro začátek je tedy nutné definovat, co dané pojmy vyjadřují, a vysvětlit si i další použité termíny.

1.1.1 Základní pojmy

Měření je definováno jako „přiřazování“ čísel hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti“. [1]

Kontrola měřením (měření dle VDA 5) je stanovení koherentní hodnoty měřené veličiny jako násobku nebo podílu jednotky nebo dohodnutého vztažného systému. Při měření je provedeno kvantitativní srovnání měřené veličiny se vztažnou veličinou pomocí měřidla nebo měřicího zařízení. [2]

Měřidlo (dle MSA) je libovolné zařízení používané k měření, často se používá ke specifickému označení zařízení v dílně. [1]

Měřidlo (dle VDA 5) je zařízení používané k provedení měření buď samostatně, nebo ve spojení s více doplňkovými zařízeními (měřidlo použité samostatně je systémem měření). [2]

Proces měření – z definic MSA vyplývá, že proces měření může být považován za výrobní proces, který na svém, výstupu dává čísla (data). [1]

Systém měření je soubor přístrojů nebo měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, softwaru, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke kvantifikaci jednotky měření nebo ke stálému posuzování měřené stěžejní charakteristiky; úplný proces používaný k získání měření. [1]

Měřicí systém je kombinace měřidel a často jiných přístrojů jakož i potřebných činidel a obslužných zařízení, která jsou uspořádána a přizpůsobena poskytovat informace používané ke generování naměřených hodnot veličiny ve specifikovaných intervalech pro veličiny specifikovaných druhů. [2]

Funkčnost systému měření (Measurement system performance) je dlouhodobý odhad variability systému měření (např. dlouhodobá metoda regulačního diagramu). [1]

Proces měření je kombinace vzájemně provázaných zdrojů, aktivit a vlivů, které vytváření měření (zdroje mohou být lidské nebo materiální). [2]

Etalon je definovaná hodnota v rozsahu stanovených tolerancí nejistoty, která je přijatá jako pravá (referenční) hodnota. [1]

Kontrola je stanovení jedné nebo více vlastností pro posouzení objektu, na němž je prokazována shoda. [2]

Kontrola měřením je stanovení konkrétní hodnoty měřené veličiny jako násobku nebo podílu jednotky nebo dohodnutého vztaženého systému. Při měření se provede kvantitativní srovnávání měřené veličiny se vztažnou veličinou pomocí měřidla nebo měřicího zařízení. [2]

Atributivní kontrola je porovnání kontrolovaného znaku s kalibrem a zjištění, zda je při tom překročena předepsaná mez. Skutečná odchylka kontrolované hodnoty od jmenovité hodnoty není stanovena. [2]

Kontrolor (operátor) je osoba s odpovídající odbornými a osobními schopnostmi, která je způsobilá k provádění kontroly a k vyhodnocení jejího výsledku. [2]

Práh citlivosti je nejmenší odečitatelná jednotka, rozlišitelnost měření, mez stupnice nebo detekční mez. Je to inherentní vlastnost daná návrhem. Jde o nejmenší jednotku stupnice měření nebo výstupu přístroje.

Efektivní rozlišení je citlivost systému měření k variabilitě procesu při individuální úloze a použití.

Referenční hodnota je odsouhlasená hodnota artefaktu, která je používána jako pravá hodnota artefaktu. [2]

Pravá hodnota je neznámá a je to skutečná hodnota artefaktu. [1]

Konvenční hodnota je dohodou uznaná hodnota, která je přiřazena veličině a za příslušným účelem zatížena nejistotou.

Tolerance je rozdíl mezi horní a dolní toleranční mezí. Je to absolutní hodnota bez znaménka a může být jednostranná nebo dvojstranná. [1]

Kalibrace je činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace. [2]

Metrologická návaznost je vlastnost výsledků, pomocí níž může být výsledek vztažen k referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí na nejistotě měření. [2]

Justování je soubor činností, které jsou provedeny na měřicím systému tak, aby poskytoval předepsané indikace, které odpovídají daným hodnotám měření veličiny. [2]

Systematické odchylky měření (BIAS) mohou být popsány velikostí a znaménkem (+ nebo -). Rozdíl mezi referenční hodnotou etalonu a aritmetickým průměrem z naměřených hodnot je často pokládán za základ pro stanovení systematické odchylky měření. [2]

$B_i = |\bar{x}_g - x_m|$, kde \bar{x}_g je aritmetický průměr z naměřených hodnot
 x_m je referenční hodnota etalonu

Způsobilost (Capability) je variabilita v odečtech hodnot, které byly získány v krátkodobém časovém úseku. [1]

Funkčnost (Performance) je variabilita v odečtech hodnot získaných během dlouhodobého časového úseku, je založena na celkové variabilitě. [1]

Nejistota (Uncertainty) v literatuře také popisována jako „chyba měření“. Parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisouzeny k měřené veličině. Není tedy možné ji považovat za důkaz toho, že je výsledek měření nesprávný, jak by slovo chyba mohlo evokovat. [2]

Standardní nejistota měření $u(x_i)$ je nejistota vyjádřená jako směrodatná odchylka výsledku měření. [2]

Kombinovaná standardní nejistota $u(y)$ je rovna kladné druhé mocnině součtu složek, přičemž těmito složkami jsou rozptyly nebo kovariance těchto jiných veličin vážené podle toho, jak se výsledek měření mění se změnami těchto veličin. [2]

Koeficient rozšíření k je číselný součinitel, kterým je násobena standardní nejistota, aby byla stanovena rozšířená nejistota měření. [2]

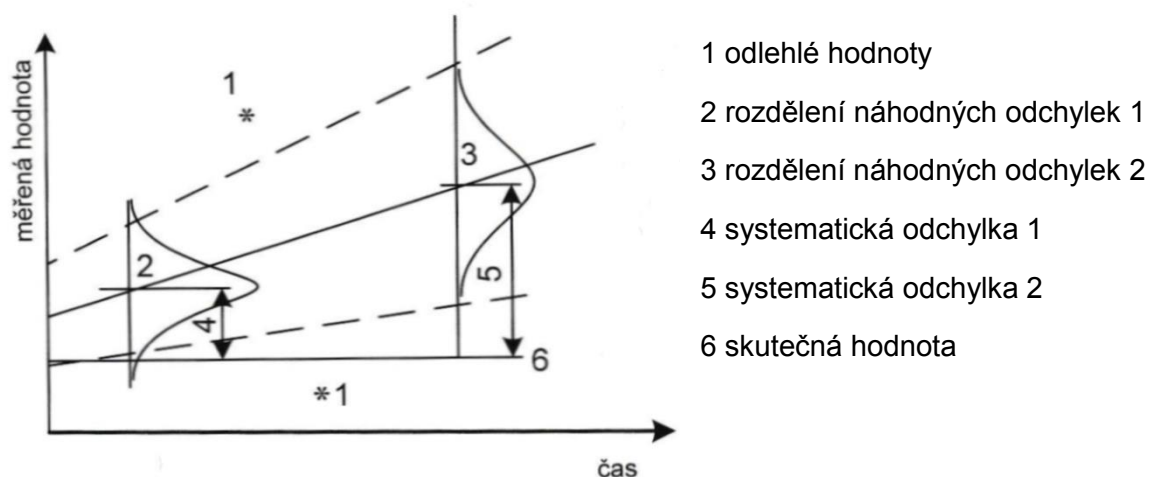
Poznámka: Běžně se volí $k = 2$ (přibližně 95% hladina spolehlivosti) až 3 (přibližně 99% hladina spolehlivosti). [3]

Rozšířená nejistota měření U je parametr, který charakterizuje interval kolem výsledku měření, v němž je možné očekávat rozdělených hodnot, které mohou být důvodně přisuzovány měřené veličině. [2]

$$u_{MS} \text{ resp. } u_{MP} = k \cdot u(y) \quad [2]$$

Odchylka měření (dříve chyba měření) se skládá z různých zdrojů a příčin. U měřidel nebo měřicích systémů jsou v různých specifikacích a směnicích označeny dohodnuté nebo předepsané a dovolené systematické odchylky jako „chyba přístroje“ resp. hranice chyb. Na obrázku 1 je vidět, jak odchylka měření souvisí s výsledkem měření.

Obrázek 1: Odchylka měření [2]



Největší dovolená chyba měření MPE je krajní hodnota chyby měření vzhledem ke známé referenční hodnotě veličiny, dovolená specifikacemi nebo předpisy pro dané měření, měřidlo nebo měřicí systém. [2]

Vhodnost měřicího systému pro předpokládanou úlohu v kontrolním procesu s výhradním přihlédnutím k požadavkům na přesnost (U_{MS}). [2]

Vhodnost procesu měření pro předpokládanou úlohu v kontrolním procesu s výhradním přihlédnutím k požadavkům na přesnost (rozšířenou nejistotou U_{MP}). [2]

ANOVA (Analysis of Variance) je matematická metoda analýzy rozptylu, pomocí které můžeme provést odhad statistických nejistot.

1.2 Stanovení kvality

Tématem této práce je porovnání vhodnosti měřicích systémů. Systémem měření je, kromě samotného procesu měření, vše, co může mít na měření vliv. Každý takovýto faktor může do měření vnášet chyby (nejistoty). Obvykle jsou tyto faktory vnášeny do „Diagramu příčin a následků“ a jejich vlivy vyhodnocovány. Obecně lze chyby podle příčin vzniku rozdělit na:

- a) **chyby metody:** jsou většinou korigovatelné (viz Ohmova metoda), neboť jde o systematické chyby (způsobené volbou postupu měření, provedením zapojení, apod.), které vznikají vzájemným působením měřicího přístroje a měřeného obvodu: → zapojením přístroje se do obvodu připojí přídatný R, L nebo C (podle charakteru daného měřicího přístroje).
- b) **chyby měřicích přístrojů:** jsou dány vlastnostmi přístrojů a nedokonalostí jejich výroby i vlivem okolí. Ty se dále dělí na:
 - **základní chyby** – (měřicích přístrojů) → jsou zahrnuty v třídě přesnosti, jde o maximální možnou chybu, pokud se přístroj používá dle pokynů a za podmínek udaných výrobcem (teplota, tlak, vlhkost vzduchu, cizí elmag. pole, poloha, druh měřených veličin apod.),
 - **přídavné chyby** → k nim dochází, pokud nemohou být dodrženy podmínky stanovené výrobcem (referenční podm.),
- c) **chyby členů měřicího obvodu:** jsou způsobeny nepřesnostmi vyrovnání a kalibrace etalonů (napětí, odporu, kapacity). Pro velmi přesná měření je udána největší dovolená odchylka od jmenovité hodnoty (absolutní nebo relativní),
- d) **chyby způsobené rušivými vlivy:** jsou obtížně korigovatelné, tyto chyby způsobují rušivá napětí, kapacitní a induktivní vazby, odpory vodičů, apod.,
- e) **chyby čtení:** jsou způsobeny pozorovatelem, který čte údaj měřicího přístroje,
- f) **celkové chyby měření:** jsou výsledkem většího počtu dílčích chyb.

Obecně lze rozdělit druhy chyb podle výskytu na:

- a) **chyby systematické:** → při opakování měření mají tyto chyby stále stejné matematické znaménko. Teoreticky můžeme tyto chyby eliminovat buď zavedením

početných korekcí při zpracování výsledků měření nebo úpravou měřicího systému, tj. odstraněním příčin vzniku chyby či zavedením potřebné korekční veličiny. – obvykle jsou způsobeny členy v měřicím řetězci a měřicí metodou,

- b) **chyby náhodné:** → příčiny nejsou známe a jejich vliv lze zmenšit pouze opakovaným měřením za stejných měřicích podmínek – jsou způsobeny např. nepravidelným kolísáním teploty, změnou odporu vlivem oteplení vodiče průchodem el. proudu apod. – žádná příčina není dominantní a při opakovaném měření se hodnota na posledním místě mění – jsou rozloženy při normálním rozdělení symetricky kolem skutečné (tzv. konvenčně správné) hodnoty,
- c) **chyby hrubé:** → vznikají jako následek nesprávného měření při velké nepřesnosti nebo poruše měřicího přístroje nebo při selhání pozorovatele – někdy dosahují takové velikosti, že zcela zkreslí a znehodnotí výsledek – zpravidla jsou snadno rozeznatelné od ostatních chyb, a proto je nutné vyloučit je ze souboru naměřených hodnot. [4]

Snaha o eliminaci co největšího počtu chyb je smyslem každého kvalitního měření potažmo celé výroby. Protože pouze zvládnutým výrobním procesem můžeme vyrábět kvalitní výrobky. Jak říká tato jednoduchá poučka:

„Můžeme vyrábět tak přesně, jak přesně umíme měřit.“

V dnešní průmyslové praxi mají měřicí systémy klíčovou roli. Je to role naprosto zásadní pro fungování každého výrobního závodu na trhu. Nevhodně zvolený měřicí systém může naprosto degradovat sbíraná data. Na základě nesprávných dat nelze správně kvantifikovat kvalitu výroby nebo plnění specifikačních požadavků pro daný výrobek. Proto je tedy naprosto klíčové nejen přesně vyrábět, ale stejně přesně (nebo přesněji) daná data z výroby ověřovat. [5]

1.2.1 Kvalita a jakost

Kvalitu lze velmi obtížně definovat; pro někoho kvalitu může představovat oblíbená značka, pro jiného výrobek, který splňuje svůj účel.

Pojem kvalita a jakost jsou významově a z hlediska řízení organizací de-facto synonyma. V praxi se pojem jakost nejvíce používá v oblasti výroby, v souvislosti s výrobky (jakost výrobku). Pojem kvalita se používá ve všech ostatních oblastech řízení organizace a v sektoru služeb.

Norma ISO 9001 definuje kvalitu jako „Stupeň splnění požadavků souborem obsažených znaků“. Přičemž požadavky jsou dle normy očekávané (např. zákazník) nebo závazné (např. dle normy).

Kvalitu můžeme popsát také jinými způsoby:

- Kvalita je vhodnost pro daný účel.
- Kvalita splňuje nebo dokonce přeplňuje zákazníkovo očekávání.
- Kvalita je nepřímou úměrnou variabilitě výrobku nebo služby.
- Kvalita je žádoucí/charakteristická vlastnost nebo rysy výrobku/služby, které výrobek nebo služba má mít [6]

Názornější a komplexnější je Garvinův osmibodový popis kvality:

1. provádění, akceschopnost, účinnost, přesnost;

2. spolehlivost;
3. trvanlivost;
4. obslužnost, upotřebitelnost;
5. vzhled;
6. základní rysy, vlastnosti;
7. vnímaná jakost, pověst;
8. soulad s normami. [7]

Podle názorů třech významných osobností v zajištění kvality je definice kvality následující:

„Způsobilost k užití“. J. M. Juran

„Kvalita výrobku je souhrn všech jeho konstrukčních a výrobně technických charakteristik, které určují úroveň, jakou produkt naplní očekávání zákazníka.“
A. V. Feigenbaum

„Dosahování kvality se rovná shodě s požadavky“. P.B. Crosby [28]

Nejužívanější definice kvality byly a jsou podle norem ISO řady 9000. Podle v současné době platné normy ČSN EN ISO 9000:2001 je jakost, jejímž synonymem v českém jazyce je slovo kvalita, definována jako **„Stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků“**.

Zmíněné požadavky pak mohou plynout z obecných očekávání zákazníka, z příslušných norem nebo jsou tato daná smluvním závazkem mezi zákazníkem a dodavatelem. Přitom rozlišujeme dva druhy znaků kvality a to **měřitelné znaky jakosti** (rozměr, hmotnost, vodivost, apod.) a **neměřitelné znaky jakosti** (lesklost, čistota výrobku, apod.). [8]

Historie řízení kvality

Dříve bylo pro výrobu charakteristické, že výrobek byl vyráběn pouze jedním řemeslníkem, který tak byl zodpovědný za výslednou jakost výrobku. Navíc byl v osobním kontaktu se zákazníkem a mohl tak pružně reagovat na jeho přání a připomínky. Když později řemeslnou výrobu nahradila výroba průmyslová, osobní kontakt se vytratil a bylo nutné zavést průběžnou kontrolu ke zjištění, zda je výroba kvalitní či nikoli. Nejstarší zmínku o jakosti máme z Chamurapiho zákoníku (přibližně 1700 př. n. l.) ze staré Mezopotámie. Stojí v něm:

„Jestliže stavitel postavil někomu dům a neudělal své dílo pevně a zeď spadne, tento stavitel pevně vystaví tuto zeď ze svých vlastních prostředků. Stavitel, který postaví dům s nevyhovující konstrukcí a v důsledku toho se dům zřítí a zabije svého majitele, má být potrestán smrtí“.

Za průkopníky metody řízení kvality v 19. století jsou považováni Frederick Winslow Taylor a Henry Ford. Taylor založil oddělení kvality, aby dohlížela na kvalitu produktů a napravovala chyby, Ford zdokonalil zajištění výroby standardního produktu.

Management kvality měl odjakživa kontrolní funkci, tedy prováděl namátkové kontroly a napravoval chyby. Až W. Edwards Deming se zasloužil se svými poznatky statistických kontrol o rozkvět nového oboru „kvalita“. Kvalita, jako povolání a manažerský proces spojený s funkcemi kvality, byl zaveden v průběhu druhé poloviny 20. století.

Největší rozvoj zaznamenala oblast jakosti po druhé světové válce. V roce 1949 přijel do Japonska na pozvání tamního Svazu vědců a techniků W. E. Deming, aby přednášel o statistickém řízení jakosti. O pár let později do Japonska přijel i J. M. Juran a vedl kurzy o řízení jakosti pro osoby na vrcholové a střední úrovni řízení. Na japonské průmyslníky měly tyto přednášky velký vliv a myšlenky obou Američanů způsobily značné změny.

Zásadní význam měly zejména na metody zpracování údajů, v prevenci jakosti, zdokonalování jakosti, při analýze a řešení problémů nejen v průmyslu, ale také oblasti služeb a jsou určeny pro práci řídicích i řadových pracovníků. Dnes kvalita neplní jen tu obávanou kontrolní funkci, ale zabývá se dalšími dílčími obory, jako je plánování kvality a prevence, rozvoj metod kvality a poradenství, strategie kvality nebo proces stálého zlepšování. [11] [12]

Systém řízení kvality (QMS)

K zajištění kvality v průmyslových podnicích obvykle slouží takzvaný systém řízení kvality (QMS – Quality Management System). Systémy managementu kvality slouží ve většině organizací na jedné straně jako nutnost z pohledu plnění požadavků zákazníků a na druhé straně jako prostředek pro vytváření procesního řízení jako základního rámce pro zefektivnění výroby a služeb.

Organizace si stále více uvědomují, že procesní řízení a kvalitní měření výkonnostních ukazatelů je nezbytné pro udržení kroku s konkurencí a také jako důležitý prvek pro porovnávání se s obdobnými subjekty na základě benchmarkingu (tj. ukazatel toho, jak si firma stojí na trhu oproti konkurenci, podle určitých kritérií).

Nejběžnějším způsobem, jak odběrateli dokázat, že váš systém řízení kvality je v pořádku, je získat příslušný certifikát kvality, který garantuje shodu mezi systémem řízení kvality ve vašem podniku a příslušnou normou. Podnik může získat certifikát pouze od certifikačních orgánů, což jsou nezávislé společnosti, které jsou pod přísným dohledem kontrolních orgánů. [8]

Nástroje řízení kvality

Jsou to metody, které pomáhají identifikovat problém, kvantifikovat jej pro rozhodování na základě faktů a ne na základě domněnek, pomáhají významným způsobem při prevenci výskytu vad.[13]

Původních 7 nástrojů kvality bylo zaměřeno na sběr, zpracování a analýzu údajů. Byly jednoduché a přehledné a sloužily především k operativnímu řízení organizace.

Mezi **7 základních nástrojů** (Seven Tool) patří:

- sběr dat (záznamy, tabulky, grafy a kontrolní formuláře)
- vývojové diagramy a mapy vad
- diagramy příčin a následků
- Paretova analýza
- histogramy
- bodový diagramy a stochastická závislost (regresní a korelační analýza)
- statistická regulace

Dále bylo v 70. letech 20. století definováno **7 nových nástrojů kvality**. Ty reagovaly

na změnu ekonomické situace v tomto období. Jsou jednoduché, grafické, rychlé a určené pro týmovou práci. Zpracovávají i nestrukturované verbální údaje a pomáhají zvyšovat efektivitu rozhodování na všech manažerských pozicích.

Tyto nové nástroje doplňují 7 starých nástrojů řízení kvality. Tvoří je:

- afinitní diagram
- diagram vzájemných vztahů
- systematický (strojový) diagram
- maticový diagram
- analýza údajů v matici
- program procesu vyhodnocení
- síťový diagram

Později byly definovány ještě tzv. středně obtížné nástroje jakosti, kam patří:

- hodnocení způsobilosti procesu, výrobního zařízení a měřidel
- statistické přejímky
- různé metody statistických odhadů a testů
- metody smyslového hodnocení
- metody plánování experimentů DOE

Obsah kontroly kvality

Takzvaná Juranova trilogie představuje koncept zlepšování jakosti, založený na naplánování záměru zlepšení jakosti, dosažení její úrovně a její stabilizaci. Juranova trilogie má tyto části:

- a) **Plánování kvality** – proces formování cílů jakosti a vývoje prostředků pro splnění těchto cílů tedy požadavků na výrobek.
- b) **Řízení kvality** – realizují se činnosti stanovené ve fázi plánování jakosti, hodnotí se skutečně dosahované výsledky, porovnávají se s plánovanými cíli.
- c) **Zlepšování kvality** – zlepšování stávajícího stavu, zvýšení efektivity a snížení nákladů, tedy dosažení vyšší úrovně jakosti, než bylo naplánováno. [26]

Plánování kvality

Plánování kvality je první částí Juranovy trilogie kvality. Jde o posloupnost činností od prvotního určení zákazníků a k pokrytí jejich potřeb přes transformaci těchto potřeb do měřitelných parametrů výrobku a procesu až do konečného zajištění způsobilosti procesu a převodu požadavků do výrobních instrukcí. Plánování kvality lze provést metodikou APQP nebo metodikou VDA 4.

Některé nástroje a metody plánování jakosti podle QS 9000:

- Metoda QFD (Quality Function Deployment – Rozpracování požadavků zákazníka)
- FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – Analýza možností vzniku vad a jejich následků)
- MSA (Measurement Systems Analysis – Analýza systémů měření)
- SPC (Statistical Process Control - Statistická regulace procesu)

- DOE (Design of Experiments - Plánování experimentů)
- PPAP (Production Part Approval Process - Schválení dílu do procesu sériové výroby) [14]

V tabulce 1 je uveden souhrn manuálů pro plánování jakosti výrobku podle normy QS 9000 a ekvivalenty podle VDA. Nás bude nejvíce zajímat 4. bod, tedy metodiky MSA a VDA 5. [13]

Tabulka 1: Plánování jakosti podle QS 9000 a VDA [2]

Přístup podle QS-9000	Přístup podle VDA
APQP - Moderní plánování jakosti výrobku	VDA 4 - Zajišťování kvality před sériovou výrobou
SPC - Statistická regulace procesu	VDA 4 - Zajišťování kvality před sériovou výrobou
FMEA - Analýza možných způsobů a důsledků poruch	VDA 4 - Zajišťování kvality před sériovou výrobou
MSA - Analýza systémů měření	VDA 5 - Vhodnost kontrolních procesů
PPAP - Proces schvalování dílů do sériové výroby	VDA 2 - Uvolnění výrobního procesu a produktu

Řízení kvality

Řízení jakosti je soubor povinností, které musí výrobce nebo poskytovatel služby zajistit, aby jeho produkt splňoval požadavky na jakost. Do řízení jakosti patří plánování, koordinace a usměrňování činností, motivace pracovníků, průběžná kontrola, zajištění nápravy neshod atd.

Nástrojů k zabezpečení jakosti je celá řada. Většinou vznikaly na základě zkušeností úspěšných firem a byly dále rozvíjeny podle požadavků konkrétních situací. Právě přizpůsobení konkrétnímu řešenému problému přináší větší efektivitu a očekávané pozitivní výsledky. Proto není vhodné se při volbě nástroje omezovat pouze na některé metody, ale ke každému problému přistupovat jednotlivě a volit nástroj, který dokáže problém nejefektivněji odstranit. [12]

Nástroje k zabezpečení jakosti slouží především k udržení spokojenosti zákazníka. Protože pokud produkt již přesně vyrobíme, je stejně nutné kvalitu výroby dále udržovat.

Řízení kvality se zaměřuje na:

- snižování rozsahu neshod v dodávkách výrobků nebo služeb
- zajištění kvality dodávek na požadované úrovni

Obvyklé základní nástroje managementu jakosti ve fázi řízení kvality jsou:

- kontrolní tabulky
- vývojové diagramy
- histogramy
- diagram příčin a následků

- Paretova analýza
- korelační diagram
- regulační diagramy
- způsobilost procesu, výrobků, strojů, měřidel

Zlepšování kvality

Zlepšování kvality je zaměřeno na zlepšení spokojenosti zákazníka. Není to však jednorázová aktivita, ale snaha neustále zlepšovat pozici firmy a jejích produktů na trhu.

Některé definice zlepšování jakosti:

„Zlepšování jakosti znamená redukci variability výrobků a procesů“.

„Zlepšete kvalitu a automaticky zvýšíte produktivitu. Budete na trhu úspěšní nižší cenou a vyšší kvalitou. Budete obchodně úspěšní a vytvoříte pracovní příležitosti.“

Americký statistik W. E. Deming chtěl druhým výrokem prezentovat svoji tezi, že vyrábět rovnou kvalitní výrobky je ekonomicky mnohem výhodnější než vyhazovat nebo opravovat zmetky z výroby, a proto by měla být kvalita výroby a její zlepšování naší prioritou.

Zlepšování kvality se zaměřuje především na:

- zvyšování vhodnosti k použití
- zvyšování účinnosti všech podnikových procesů

K tomu používá následující nástroje a metody: PDCA cyklus, Paretova analýza, vývojový diagram, Lean Six sigma, Reengineering, Kaizen, korelační diagram, regulační diagram, Brainstorming, Afinity diagram a další.

1.2.2 Způsobilost měřicího systému

Analýzy způsobilosti měřících systémů patří mezi klíčové nástroje používané pro zajištění kvality výroby. Jedná se o metody, které zkoumají kvalitu naměřených hodnot, tedy posuzují vhodnost nasazení daného měřicího systému pro konkrétní aplikaci, zda splňuje příslušná kritéria. Ověřujeme, zda jsou naše výsledky měření relevantní pro manažerská rozhodování a nejsou omezeny pouze na vlastní měřidlo.

Měřicí systém je posuzován z hlediska rozlišení, přesnosti měření a případně celkové nejistoty měření. Základními příručkami, které se zabývají těmito metodami, jsou MSA a VDA. [5]

Způsobilost měřidla

Prokazování způsobilosti měřidel je součástí hodnocení způsobilosti měřicího systému. Provádí se u měřidel, která vstupují rozhodujícím způsobem do výrobních procesů a která mají vliv na znaky procesu a výslednou kvalitu výrobku. Způsobilost měřidel se tak následně odvozuje z nejistoty měření měřícím systémem ve vztahu k toleranci kontrolovaného znaku a je prováděna ještě předtím, než je měřidlo použito k zamýšlenému účelu. [10]

1.2.3 Způsobilost procesu měření

Analýza způsobilosti procesu je důležitá především pro plánování a řízení jakosti

produktů. Proces měření obsahuje navíc kromě nejistot obsažených v systému měření několik dalších nejistot (změna teploty, homogenitu měřené části, interakce, atd.), výpočet způsobilosti procesu měření a způsobilosti systému měření se tedy liší.

K jejímu hodnocení se využívá indexů způsobilosti, které porovnávají maximální přípustnou variabilitu (odchylku od normálu) hodnot sledovaného znaku jakosti s jeho skutečnou variabilitou dosahovanou u statisticky zvládnutého procesu.

Cíle způsobilosti měření:

- Způsobilost procesu je schopnost trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality.
- Snaha vyjádřit způsobilost číselně a srozumitelně pomocí indexů (Q_{MP} , C_{MP} , C_p , C_{pk} , P_p a P_{pk}) [29]

Jedním ze způsobů popisu způsobilosti měřicího procesu jsou tzv. indexy způsobilosti a výkonnosti procesu.

Indexy způsobilosti a výkonnosti procesů

Pro zjištění celkové variability se používají indexy způsobilosti. Indexy způsobilosti jsou založeny na porovnávání přirozeného kolísání skutečného procesu vůči technologickému předpisu. Někdy jsou považovány za „známku“ jakosti, kterou odběratel požaduje.

Index způsobilosti C_p

Proto byl zaveden index C_p jako základní a přímý indikátor způsobilosti procesu. Jednoduše porovná skutečnou variabilitu procesu (naměřených dat) vůči variabilitě povolené specifikacemi. Ukazatel způsobilosti C_p je tedy definován takto:

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

kde USL je horní regulační mez, LSL je dolní regulační mez a σ je směrodatná odchylka.

Index způsobilosti C_{pk}

Index C_{pk} (lze získat úpravou indexu C_p) navíc oproti C_p zohledňuje i to, že proces není vycentrován.

$$C_{pk} = \frac{\min(USL - \bar{x}; \bar{x} - LSL)}{3\sigma},$$

kde \bar{x} je aritmetický průměr.

Uvedený vzorec se skládá ze dvou částí: způsobilost dodržet horní specifikační mez a způsobilost dodržet dolní specifikační mez. Za výslednou hodnotu indexu C_{pk} považujeme menší z obou dílčích výsledků. Ve vzorci je trojnásobek odhadu směrodatné odchylky, neboť se díváme vždy na vzdálenost meze od středu, což je při vycentrování polovina rozsahu. Tento index nás informuje o způsobilosti procesu při aktuálním seřizení výrobního zařízení. Pokud je proces vycentrován, pak je C_{pk} shodné s C_p . Pokud se ovšem proces vzdálí od nominální hodnoty, pak je vždy C_{pk} menší než C_p . [31]

Index výkonnosti procesu P_p

Index výkonnosti procesu P_p je velice podobný indexu C_p , rozdíl mezi nimi je pouze ve výpočtu variability. Porovnává výkon procesu s maximálním dovoleným kolísáním

daným tolerančním polem. Tento ukazatel vyjadřuje míru toho, jak dobře proces splňuje požadavek na kolísání procesu, používá se pro zjištění způsobilosti za delší časové období. Index P_p nebere v potaz centrování procesu. Ukazatel P_p zjistíme podle vzorce:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6s}$$

kde s - výběrová směrodatná odchylka

Index výkonnosti procesu P_{pk}

Index výkonnosti P_{pk} bere v potaz jak variabilitu, tak také polohu. V nejlepším případě může být index P_{pk} roven P_p , ale nikdy nemůže být vyšší. Jestliže bude ležet proces mimo regulační meze, může být index P_{pk} i záporný. P_{pk} je menší z hodnot PPU, PPL.

$$PPU = \frac{USL - \bar{X}}{3s}$$

$$PPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3s}$$

Při počítání indexů způsobilosti se doporučuje počítat oba dva indexy jak P_p , tak i P_{pk} . Pokud máme statisticky zvládnutý proces, vyjdou nám indexy způsobilosti a výkonnosti prakticky shodné, jestliže se liší o mnoho, jsou velké rozdíly mezi podskupinami, tudíž lze předpokládat, že v procesu působí nějaké vymezitelné příčiny. [33]

V metodikách MSA a VDA 5 se dále vyskytují metody sledování kvality, které využívají regulační diagramy. Dále je vysvětlen také pojem normální rozdělení, protože se v metodikách několikrát vyskytuje.

Regulační diagram

Základním nástrojem statistické regulace procesu (SPC) je regulační diagram. Je to grafická metoda pomáhající oddělit náhodné příčiny variability procesu od příčin vymezitelných. Autorem regulačních diagramů je W. A. Shewhart. Cílem statistické regulace je minimalizace počtu neshodných jednotek (zmetků). Je realizována pravidelnou kontrolou výstupní veličiny. Umožňuje nám tedy včas odhalit odchylky od stanovené úrovně a pomocí zásahů do procesu jej udržovat na požadované a stabilní úrovni.

Dle typu regulované veličiny dělíme statistickou regulaci na regulaci měřením a regulaci srovnáváním. Regulace měřením se používá v případě, že regulovaná veličina je spojitého charakteru (např. hmotnost odlitku). Při analýze se zjišťuje, zda je proces „pod kontrolou“ nebo „mimo kontrolu“. V regulačním diagramu se proces „mimo kontrolu“ pozná tak, že body leží mimo regulační meze (LCL a UCL), anebo body vykazují trendy či nenáhodná seskupení. Příklad regulačního diagramu lze nalézt v příloze 1. [12]

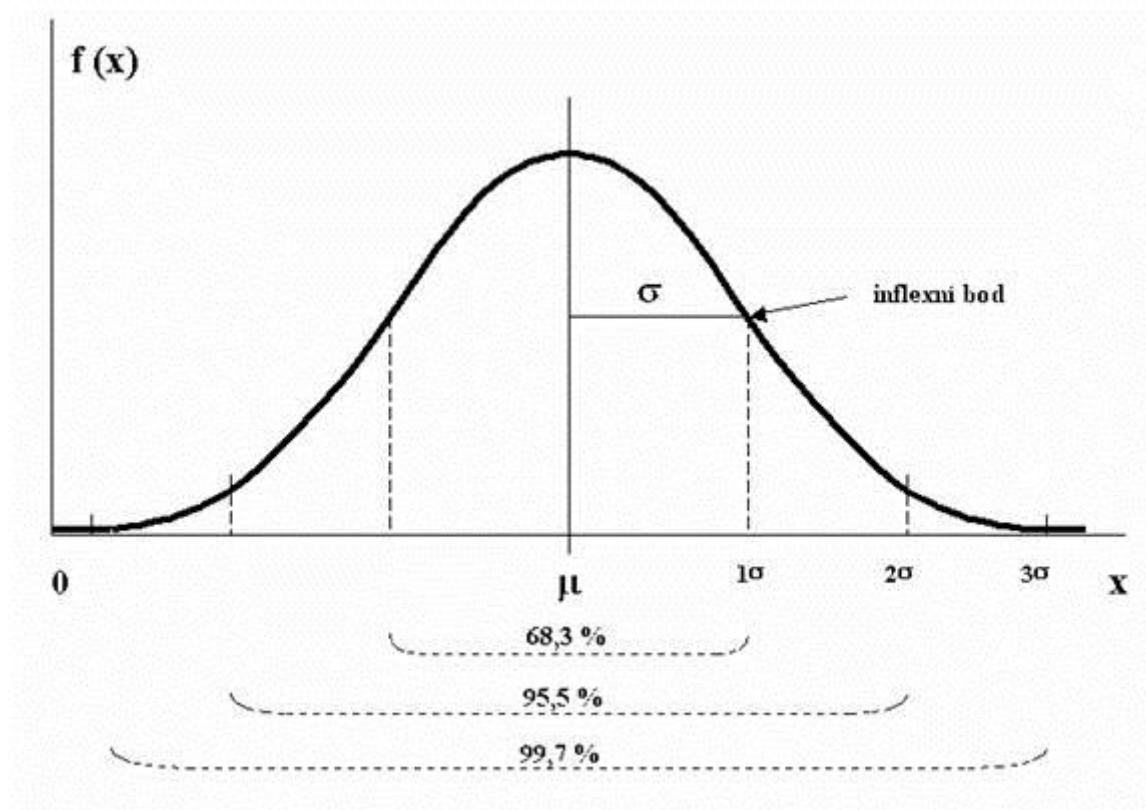
Normální (Gaussovo) rozdělení

Patří mezi nejdůležitější a nejčastější rozdělení spojité náhodné veličiny. Je použitelné zejména tehdy, kdy je kolísání náhodné veličiny způsobeno velkým počtem malých a vzájemně nezávislých příčin. Velký význam je to, že s rostoucím počtem pozorování se rozdělení průměru pozorovaných hodnot stále více přibližuje rozdělení normálnímu bez ohledu na to, jaké rozdělení veličiny původně měly. Toto rozdělení se označuje $N(\mu, \sigma^2)$, kde μ je střední hodnota, udává polohu křivky na ose x a σ^2 je rozptyl, jenž udává šířku křivky v tzv. inflexním bodě (bod obratu křivky).

Graf hustoty pravděpodobnosti náhodné veličiny $f(x)$ vyjadřuje pravděpodobnost, že náhodná veličina X nabude hodnoty x . Ukazuje tedy, s jakou pravděpodobností se nacházejí naměřené hodnoty v násobcích vzdáleností směrodatné odchylky (σ) od střední hodnoty (μ) (viz následující snímek).

Pro určování průběhu funkce hustoty pravděpodobnosti $f(x)$ slouží čtyři momentové charakteristiky. První počáteční moment představuje **střední hodnotu** náhodné veličiny X . Označuje se jako $E(X) = \mu$. Druhý centrální moment představuje **rozptyl** (disperzi, varianci). Označuje se jako $D(X) = \sigma^2$. Třetí centrální moment slouží k určení **koeficientu asymetrie** (šikmosti), který označujeme $\mu_3(X) = A$, udává, zda jsou hodnoty kolem středu rozloženy souměrně nebo je rozdělení hodnot zešikmeno na jednu stranu. Pokud je $A = 0$: nedochází k šikmosti, $A > 0$: zešikmení vpravo, $A < 0$: zešikmení vlevo. Čtvrtý centrální moment μ_4 slouží k výpočtu **koeficientu špičatosti** (excesu); čím je rozdělení špičatější, tím více jsou hodnoty rozděleny kolem střední hodnoty. [9]

Obrázek 2: Graf Gaussova normálního rozdělení pravděpodobnosti [35]



1.3 Normy

1.3.1 Základní koncepce managementu kvality

V současnosti jsou ve světě používané tři základní koncepce managementu kvality:

- koncepce podnikových standardů
- koncepce ISO
- koncepce TQM

Koncepce managementu jakosti na bázi podnikových standardů jsou používány zvláště ve velkých výrobních podnicích, jsou náročnější na požadavky, nejsou vhodné pro malé podniky a organizace poskytující služby. Koncepce ISO a TQM lze aplikovat i v malých a středních podnicích, proto se jimi budeme zabývat podrobněji.

Koncepce ISO a TQM stojí na podobných principech:

- orientace na zákazníka
- vůdcovství
- zapojení lidí
- procesní přístup
- systémový přístup managementu (ISO), odpovědnost vůči okolí (TQM)
- neustálé zlepšování
- orientace na fakty při rozhodování
- vzájemná prospěšnost vztahů s dodavateli [16]

1.3.2 Nejdůležitější normy pro oblast řízení kvality

QS 9000 - oborová norma automobilového průmyslu. Obsahuje jednak plné znění normy ISO 9001 plus další požadavky zejména z oblasti zavádění nových výrobků, schvalování výrobků zákazníkem, uplatňování vybraných metod, způsobilosti procesů a neustálého zlepšování.

ČSN EN ISO 9000 – Systémy managementu jakosti – Základy, zásady a slovník. Norma obsahuje terminologii a vysvětlení základních principů systémů managementu kvality.

ČSN EN ISO 9001 – Systémy managementu jakosti – Požadavky popisuje obecné požadavky na systém řízení kvality v organizaci/firmě (požadavky na dokumentaci, audit, atd.), podle kterých se musí podnik řídit, chce-li mít prokazatelně dostatečně zvládnutý systém řízení kvality a získat o tom příslušný certifikát.

ČSN ISO/TS 16949 – Systémy managementu jakosti – Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2000 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu. Norma vychází z ČSN EN ISO 9001, přičemž požadavky na systém řízení kvality jsou upraveny speciálně pro podniky, jejichž výroba spadá do podskupiny automobilového průmyslu.

ČSN EN ISO 9004 – Řízení udržitelného úspěchu organizace. Norma se zabývá efektivností a účinností již zavedených podnikových systémů řízení jakosti.

ISO 19011 poskytuje obecný návod pro provádění prověrek (=auditů) systému jakosti a systému ochrany životního prostředí.

V této práci se budeme zabývat normami ISO, protože na ně jsou navázány směrnice MSA a VDA. Největší pozornost bude věnována normám ISO 9000:2015 a QS 9000. [17] [18]

Norma ISO 9000:2015

V roce 1987 byly odsouhlaseny a vydány mezinárodní normy ISO 9000. Cílem bylo vytvořit jednotný systém mezinárodních norem, které by nebyly závislé na určitém odvětví průmyslu. Normy jsou orientovány na uspokojení potřeb a očekávání zákazníka. Od té doby byly normy dvakrát přepracovány, poprvé v roce 1994 a později v roce 2000 a naposledy v roce 2015, v ČR v překladu až o rok později jako ČSN EN ISO 9000:2016.

Většina norem byla také převedena do norem ČSN, takže jsou dostupné i našim firmám. V současné době se používají normy řady ISO 9000 po celém světě a pro uplatnění firmy se stala nezbytná jejich implementace.

Charakteristické rysy norem ISO 9000 jsou:

- univerzální charakter – tj. nezáleží na typu podniku, dají se použít jak ve výrobních organizacích, tak i v podnicích poskytující služby
- nejsou závazné, ale doporučující – závaznými se stávají až v okamžiku, kdy se smluvně dodavatel zaručí odběrateli, že ISO 9000 aplikuje
- jsou pouze souborem minimálních požadavků Základní normy ISO 9000
- ISO 9000 Systémy managementu jakosti – Základy, zásady a slovník popisuje základy, pojmy a zásady systémů managementu jakosti – specifikuje terminologii systémů managementu jakosti
- ISO 9001 Systémy managementu jakosti – Požadavky specifikuje požadavky na systém managementu jakosti pro případy, kdy má organizace prokázat svoji schopnost poskytovat jakostní produkty a že má v úmyslu zvýšit spokojenost zákazníků – určeno pro interní aplikaci, certifikaci nebo pro smluvní účely
- ISO 9004 Systémy managementu jakosti – Směrnice pro zlepšování výkonnosti poskytuje návod pro vytváření účinných a efektivních systémů managementu jakosti, tj. poskytuje širší rámec pro neustálé zlepšování; není určena pro účely certifikace ani pro smluvní účely [12]

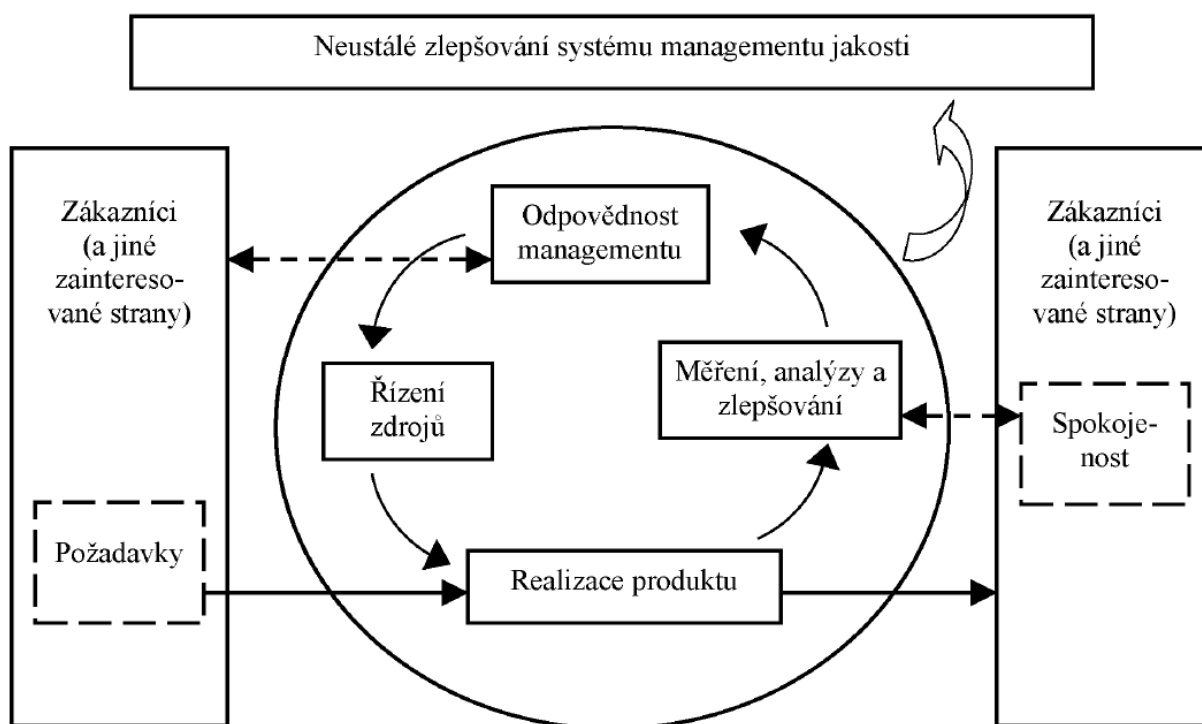
Řízení a zlepšování jakosti podle normy ISO 9000:2015

Tato mezinárodní norma podporuje přijímání procesního přístupu při vývoji, uplatňování a zlepšování efektivnosti systému managementu jakosti s cílem zvýšit spokojenost zákazníka plněním jeho požadavků. Aplikace systému procesů v organizaci spolu s identifikací těchto procesů, jejich vzájemným působením a řízením lze nazývat „procesní přístup“.

Součástí normy je model procesně orientovaného systému managementu jakosti, tzv. PDCA. Metodologii **PDCA** lze ve stručnosti popsat **čtyřmi pokyny**:

- 1) **Plánuj (Plan)** - určí cíle a procesy k jejich dosažení v souladu s požadavky zákazníka a politikou organizace
- 2) **Dělej (Do)** – implementuj procesy
- 3) **Kontroluj (Check)** - monitoruj a měř procesy a produkty
- 4) **Jednej (Act)** – zaváděj opatření pro neustálé zlepšování efektivnosti procesu [15]

Obrázek 3: PDCA cyklus postupného zlepšování kvality



Standardy VDA 6.1 a QS 9000

Tyto standardy jsou určeny především pro dodavatele v automobilovém průmyslu (VW Group, Ford, General Motors a Chrysler). Do budoucna se předpokládá, že výrobci automobilů budou požadovat nejen na svých přímých dodavatelích, ale rovněž na subdodavatelích, aby měli zaveden systém jakosti dle těchto standardů.

Protože značná část dílů automobilu je z kovových materiálů, týká se to i většiny metalurgických organizací. Mnoho organizací z tohoto průmyslového odvětví je nebo v budoucnosti by mohlo být potencionálními dodavateli nadnárodních automobilek, ať už přímými dodavateli nebo subdodavateli.

V současné době existuje pro zjednodušení technická specifikace ISO/TS 16949, která pokrývá požadavky standardů VDA 6.1 a QS 9000. Shrnuje požadavky na systém jakosti amerických, italských, německých a francouzských výrobců automobilů a zástupci automobilového průmyslu by měla být v těchto státech všeobecně uznávána.

Standardy VDA 6.1 a QS 9000 jsou obdobou norem ISO 9000, ale jsou doplněny o požadavky automobilového průmyslu (VDA 6.1 – požadavky německých výrobců automobilů, QS 9000 – požadavky amerických výrobců automobilů). Ve srovnání se standardem ISO řady 9000 jsou tyto standardy mnohem přísnější a náročnější.

Oba tyto standardy se zejména soustřeďují na předvýrobní etapy vzniku produktu a na plánování jakosti výrobků, procesů a plánování procesu návrhu a vývoje výrobku. Na rozdíl od standardu ISO řady 9000, který samozřejmě věnuje také pozornost této oblasti managementu jakosti, ale ne v takovém rozsahu jako VDA 6.1 a QS 9000. Především je důležité, že tyto standardy nejen doporučují různé metody a nástroje pro plánování jakosti, ale striktně vyžadují znalost těchto metod a nástrojů a jejich používání. [19]

QS 9000

V roce 1994 byla zpracována oborová norma amerického automobilového průmyslu, která vznikala společným úsilím automobilek General Motors, Chrysler a Ford (Velká trojka) a byla vydána pod hlavičkou **AIAG** (Automotive Industry Action Group). Tato skupina normu zpracovává, distribuuje, vydává další manuály kvality a zajišťuje certifikační školení. Norma vznikla sjednocením a harmonizací manuálů kvality těchto společností pro všechny interní a externí výrobní dodavatele, dodavatele materiálů a služeb.

Cílem normy QS-9000 je vypracovat a rozvíjet základní systém kvality, který umožňuje neustálé zlepšování s důrazem na prevenci poruchových stavů a snížení variabilnosti a plýtvání v dodavatelském řetězci. (QS-9000, © 1998, s. 1)

Norma QS-9000 přebrala jako základ plné znění ISO 9001:1994 a dále jej rozšířila o zákaznické požadavky na dodavatele pro automobilový průmysl (sekce 2), zejména z oblasti zavádění nových výrobků, schvalování výrobků zákazníkem, uplatňování vybraných metod, způsobilosti procesů a neustálého zlepšování, atd. [20]

Norma QS-9000 je rozdělena do dvou sekcí:

- Požadavky na bázi ISO 9000 (zahrnují požadavky pro automobilový průmysl)
- Specifické požadavky zákazníků (liší se podle výrobce)

Základní metodiku QS-9000: QSR – „Požadavky na systém jakosti“ doprovází šest dalších, z nichž pět je zaměřeno na zajišťování kvality v předvýrobních fázích a na prevenci nekvality. V rámci standardu QS-9000 byly skupinou AIAG zpracovány tyto metodiky:

- PPAP – Proces schvalování dílů ve výrobě,
- APQP – Zdokonalené plánování výrobku a kontrolní plán,
- FMEA – Analýza možných vzniků vad a jejich následků,
- MSA – Analýza systému měření,
- SPC – Statistická regulace a hodnocení způsobilosti procesů. [10]

Standard QS-9000 je používán především v americkém automobilovém průmyslu. Proto také u všech dodavatelů na americký trh je vyžadována certifikace podle tohoto standardu. [21]

Praktické využití normy QS 9000

Norma QS 9000 slouží jako referenční model pro **nastavení základních řídicích procesů** v automobilovém průmyslu. Zavedení normy pomáhá neustále zlepšovat kvalitu výrobků a spokojenost zákazníka. Norma QS 9000, podobně jako ostatní technické normy, definuje nepřekročitelný standard, vyžaduje následnou certifikaci zavedeného systému řízení (zavedených procesů) v organizacích automobilového průmyslu. Výsledkem je certifikát. Normu QS 9000 musí následně také splňovat celý dodavatelský řetězec. [20]

VDA 6.1

Vydavatelem normy je VDA QMC (Quality Management Center neboli Sdružení automobilového průmyslu). Norma plně obsahuje normu ISO 9001, kterou doplňuje

o další požadavky automobilového průmyslu, zejména požadavky na zavádění nových výrobků, schvalování výrobků zákazníkem, požadavky na způsobilost procesů a požadavky na neustálé zlepšování.

Norma slouží jako model pro nastavení procesů pro splnění požadavků automobilového průmyslu, definuje minimální standard a po implementaci vyžaduje následnou certifikaci a tím tedy validaci zavedeného systému řízení. Tato norma se uplatňuje zejména v evropském automobilovém průmyslu. Jak bylo již řečeno, spolu s dalšími normami je postupně nahrazována jednotnou normou ISO/TS 16949. [25]

1.4 Přehled metodik MSA, VDA 5 a normy ČSN ISO 22514-7

Tyto metodiky a norma ČSN byly vytvořeny pro zlepšení přesnosti celého systému měření zejména v automobilovém průmyslu.

1.4.1 Metodika hodnocení způsobilosti měřicího systému MSA

MSA byla vytvořena ve spojených státech, tak zvanou „Big Three“, tedy automobilkami Ford, General Motors a Chrysler. Tito největší zástupci automobilového průmyslu v USA pracují společně pod záštitou ASQC a AIAG. Cílem bylo standardizovat manuály, procesy a zavedení jednotných formátů dokumentace, hlavním cílem však bylo vylepšení přesnosti celého systému měření.

Metoda MSA je jednou ze **závazných příruček normy QS 9000** a dále pak s dalšími příručkami APQP, SPC, FMEA a PPAP tvoří části této normy.

Výsledkem je určení, zda je systém měření vhodný pro daný účel použití ověření způsobilosti daného systému měření k měření sledovaného znaku jakosti v daném výrobním nebo tolerančním rozpětí některé charakteristiky.

MSA (Measurement Systems Analysis), tedy v překladu analýza měřicího systému nebo analýza systému měření. V praxi se však nepřekládá a používá se zkratka MSA. Jedná se o sadu postupů pro vyhodnocení nastaveného systému měření. Sama o sobě je MSA analytická technika pro posouzení systému měření, která je však součástí nějakého systému řízení jakosti - buď podle zmiňovaného standardu QS 9000, nebo jiné normy či celostní metody řízení kvality (TQM, SixSigma). V této práci bude pro porovnání použito 4. vydání metodiky MSA, které v českém vydání vyšlo v květnu 2010. [20]

Využití MSA v praxi

Přestože byla původně vyvinutá v automobilovém průmyslu, používá se vzhledem ke své praktičnosti a univerzálnosti také v dalších odvětvích. Metoda MSA se používá pro hodnocení jak samotného měřidla (např. kalibrovaného měřidla), tak na posouzení celého systému měření (odtud zkratka Measurement System Analysis).

Metoda se zaměřuje na analýzu zdrojů nejistot v celém procesu měření, protože vychází z předpokladu, že pro měření nestačí mít jen přesné měřidlo, ale vliv mohou mít i jiné faktory a proto hodnotí měřicí systém jako celek. Cílem je zjistit vliv různých faktorů na variabilitu výsledků, tedy jaký mají faktory v celém procesu měření vliv na proměnlivost výsledků (například operátora). Metoda MSA proto využívá další statistické metody a techniky. Metoda MSA klade důraz na opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (Repeatability and Reproducibility). Pro porovnání vhodnosti se používají parametry C_g a C_{gk} .

Z hlediska reálné aplikace je MSA doplňkovým nástrojem, kterým potvrzujeme správné nasazení systému měření v konkrétní aplikaci. Metody používané při analýze systémů měření jsou založené na někdy jednoduchých, jindy složitějších matematicko-statistických výpočtech, což obvykle způsobuje komplikace při nasazování metod. Toto musí být pečlivě zvažováno a realizováno v podobě poměrně hodně vysvětlujících postupů. Výsledky jsou však jednoduše interpretovatelné a to je velkým přínosem.

V porovnání s nejistotami měření ale nepožadují tak hluboké znalosti podmínek měření, jichž se využívá při určování nejistot. Čím důvěrnější znalost podmínek, tím přesnější

odhad nejistoty měření. Zkušenosti při určování nejistot pak hrají také významnou roli. [14]

Kroky v rámci MSA jsou následující:

1. Určit způsobilost systému měření
2. Určit zdroje variability systému měření
3. Popsat zdroje variability statistickými a metrologickými veličinami
4. Přinést potřebné informace o systému měření [20]

1.4.2 Metodika hodnocení způsobilosti měřicího systému VDA

Automobilový průmysl v Evropě (a to především německy mluvící země) řídí svůj systém managementu kvality podle německého odvětvového standardu VDA. Je závazný pro všechny německé automobilky Audi AG, BMW AG, Mercedes-Benz AG, Porsche AG, Volkswagen, protože od 1. 4. 1999 je tato směrnice povinná pro všechny německé výrobce automobilů. [21]

VDA 5 na rozdíl od MSA neřeší proces měření jako celek, ale soustředí se zejména na použitelnost kontrolních prostředků a vhodnost kontrolních procesů s přihlédnutím na nejistoty měření. Bohužel ještě předposlední verze se vztahovala pouze k měření geometrických veličin. Nyní obsahuje již několik obecných metod i pro prověření geometrických veličin. Pro porovnání vhodnosti se používají parametry T_{min} , g_{pp} a další. V této práci bude s MSA a ČSN ISO 22514-7 porovnáváno s druhým vydáním metodiky VDA 5, které v českém vydání vyšlo v roce 2011. [23]

Způsobilost kontrolních procesů popisuje VDA následujícími postupy:

1. zjištění nejistoty měření
2. stanovení použitelnosti kontrolních prostředků,
3. důkaz způsobilosti kontrolních procesů a doporučení pro mezní hodnoty,
4. přihlédnutí k nejistotě měření při hodnocení výsledku měření ve vztahu ke shodě nebo neshodě se stanovenou tolerancí
5. přispívá tím ke zvýšení důvěry k měřicím prostředkům a zlepšení jejich porovnatelnosti.

Plánování kvality podle VDA zahrnuje:

VDA 1 - Dokumentování a archivace

VDA 2 - Zajišťování kvality před sériovou výrobou

VDA 4 - Zajišťování kvality před sériovou výrobou

VDA 5 - Vhodnost kontrolních procesů

VDA 6 - Základy auditů kvality

VDA 6.3 - Audit procesu

VDA 6.4 - Audit systému managementu kvality. Výrobní prostředky

VDA 6.5 - Audit produktu

2. vydání VDA 5 nahrazuje přechodí verzi, které česky vyšlo v roce 2004. Prošla kompletním přepracováním a mnoha rozšířeními. Následuje výpis nejdůležitějších změn.

- Nová VDA 5 nabízí obecné metody prověřené pro geometrické veličiny a nabádá

prověřit je i pro ostatní měřené veličiny.

- Stěžejní metodou je ANOVA, která je léta prověřovanou variantou známou z GRR (tedy pokus o přiblížení MSA, resp. využívání výsledků již dávno provedených experimentů)
- Nová VDA 5 klade důraz na experimenty a preferuje je před využíváním odhadů ze zkušenosti (metoda B). V boji proti velkému množství experimentů nabízí statistické plánování pokusů.
- Nová VDA 5 neopomíjí ani problematiku tzv. malých tolerancí a stanovování intervalů u třídících automatů.
- Kompletně nové metody nabízí VDA 5 pro atributivní zkoušky. [22]

1.4.3 Hodnocení způsobilosti podle normy ČSN ISO 22514-7

Metodika hodnocení způsobilosti procesů je obsažena v normě ČSN ISO 22514 z roku 2010 **Statistické metody v managementu procesu – Způsobilost a výkonnost** a obsahuje dalších 5 částí:

- část 1: Obecné principy a pojmy
- část 2: Modely pro způsobilost a výkonnost procesů závislých na čase a část 6: Statistiky způsobilosti procesu pro znaky sledující vícerozměrné normální rozdělení.
- část 3: Studie výkonnosti stoje pro měřitelná data na diskretních dílech
- část 4: Odhad způsobilosti procesu a měření výkonnosti [Technická zpráva]
- část 6: Statistiky způsobilosti procesu pro znaky s vícerozměrným normálním rozdělením
- část 7: Způsobilost měřicího procesu

Nás bude především zajímat část 7: Způsobilost měřicího procesu, která jako ČSN ISO vyšla v červnu roku 2014.

Vychází z metodiky VDA 5 a lze ji považovat za její zkrácenou verzi. Zaměřuje se na to nejdůležitější z metodiky VDA 5 (zjištění složek nejistot procesu měření, výpočet přejímacích ukazatelů, několik základních příkladů výpočtu).

Předmět normy:

1. **Postup validace měřicího systému a procesu** měření (ověření, zda daný proces měření vyhovuje požadavkům pro určitou měřicí úlohu)
2. **Výpočet přejímacích kritérií** (ukazatel způsobilosti C_{MS} , ukazatel vhodnosti Q_{MS})
3. **Plánovaný experiment** (způsobilost procesu měření je odvozena ze statistických vlastností měření z procesu měření, který probíhá predikovatelným způsobem).[41]

2 Vyhodnocení způsobilosti jednotlivými metodikami

2.1 Metodika hodnocení způsobilosti podle VDA 5

Postupy v této příručce vycházejí z DIN EN 13 005 – Pokyn pro vyjádření nejistoty měření (GUM) a DIN EN ISO 14253 – Geometrické požadavky na výrobu (GPS). Do příručky jsou dále včleněny známé a široce používané metody pro posuzování a zásady pro přijetí systémů měření obsažené v příručce MSA. Metodika VDA 5 využívá řadu norem týkajících se využitelného modelu pro stanovení a zohlednění rozšířené nejistoty měření, jak dokumentuje tabulka 2.

Tabulka 2: Stanovení cílů vybraných oborových norem, doporučení a směrnic pro hodnocení zkušebních prostředků [2]

Vytyčený cíl	Mezinárodní/národní normy a dokumenty	Průmyslové standardy
Budování systémů managementu kvality	<ul style="list-style-type: none"> • DIN ISO 9000ff; • DIN ISO 10012; • DIN EN ISO/IEC 17025 • ISO/TS 16949 	<ul style="list-style-type: none"> • VDA 6, část 1
Určení nejistoty měření	<p>Měřicí technika obecně:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DIN 1319 • DIN V EN 13005 (GUM) <p>Oblast měřicí techniky:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DIN EN ISO 14253-1 	<ul style="list-style-type: none"> • Normy oborových sdružení • DKD-3
Stanovení způsobilosti měřidla/ prostředku měření	<ul style="list-style-type: none"> • DIN 55319-3 • ISO/WD 22514-7 	<ul style="list-style-type: none"> • QS 9000/MSA • Podnikové normy
Přihlédnutí k nejistotě měření	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN ISO 14253-1 	<ul style="list-style-type: none"> • QS 9000/MSA • Podnikové normy

Tento svazek (české vydání 2011) je zaměřen na opakované procesy měření geometrických veličin, jako je měření délek a úhlů. V konkrétních případech musí být vždy posouzeno, zda je postup vhodný i pro jiná fyzikální měření. [2]

Hodnocení procesů měření s uvažováním nejistoty měření se provádí podle postupu uvedeného v tabulce 3.

Tabulka 3: Obecný postup pro poskytnutí důkazu o vhodnosti procesu měření [2]

Vstupní informace	Popis	Výsledek
Údaje k systému měření popř. kontrolovanému znaku a etanolu (referenčnímu materiálu)	Důkaz vhodnosti měřicího systému	Rozšířená nejistota měření U_{MS} Ukazatel vhodnosti Q_{MS}
Údaje k procesu měření a kontrolovaným znakům včetně zohlednění všech druhů nejistot	Důkaz vhodnosti procesu měření	Rozšířená nejistota měření U_{MP} Ukazatel vhodnosti Q_{MP}
Údaje k procesu kontroly a příslušným rozšířeným nejistotám UMP	Hodnocení shody s přihlédnutím k rozšířené nejistotě měření	Interval shody resp. neshody (viz DIN EN ISO 14253)
Údaje z měřicího systému procesu měření a o zkoušeném znaku	Průběžná prověrka vhodnosti procesu měření	Regulační karta s vypočítanými regulačními mezemi

Vhodnost systému měření nebere v úvahu takové vlivy, které zpětně působí na operátora, kontrolovaný znak nebo prostředí.

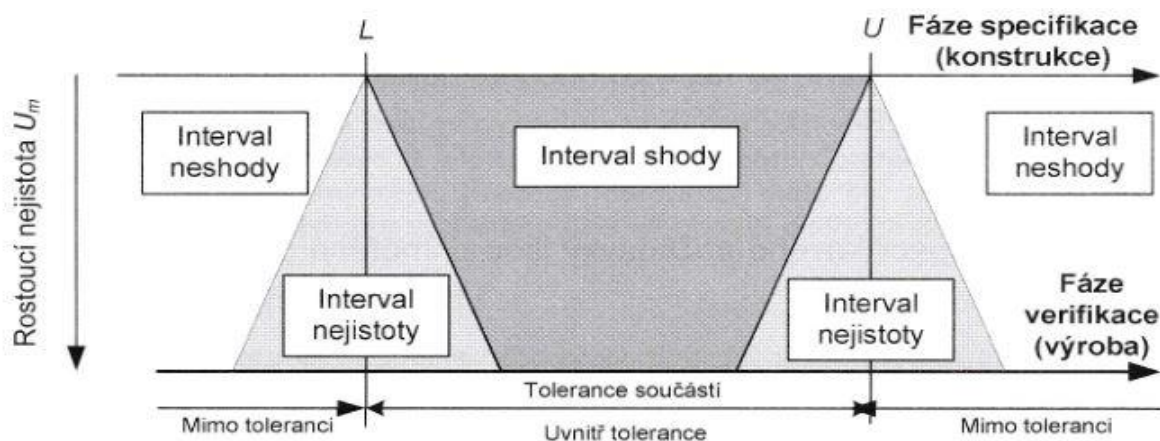
Pro důkaz o vhodnosti procesu měření jsou zohledněny všechny relevantní zdroje nejistot, které působí na výsledek měření. Dále musí být známy tolerance znaku, a to jak pro posouzení vhodnosti měřicího systému, tak pro důkaz o vhodnosti procesu měření.

Pro důkaz o vhodnosti procesu měření je určena rozšířená nejistota U_{MP} a jako kritérium pro posouzení přidán ukazatel vhodnosti Q_{MP} . Hodnota rozšířené nejistoty měření U_{MP} je k dispozici pro zohlednění v rámci posuzování shody podle DIN EN ISO 14253 část 1.

2.1.1 Důkaz shody a neshody podle DIN EN ISO 14253

Tato část normy ISO 14253 jasně stanovuje pravidla pro rozhodnutí o shodách či neshodách dílů a měřidel se specifickými požadavky, tolerancemi a dovolenými chybami. Kromě toho norma také určuje postupy, kdy nelze jednoznačně rozhodnout o shodě či neshodě, tedy pokud hodnota padne do intervalu nejistoty, které existuje kolem tolerančních mezí, jak je vidět na obrázku 4.

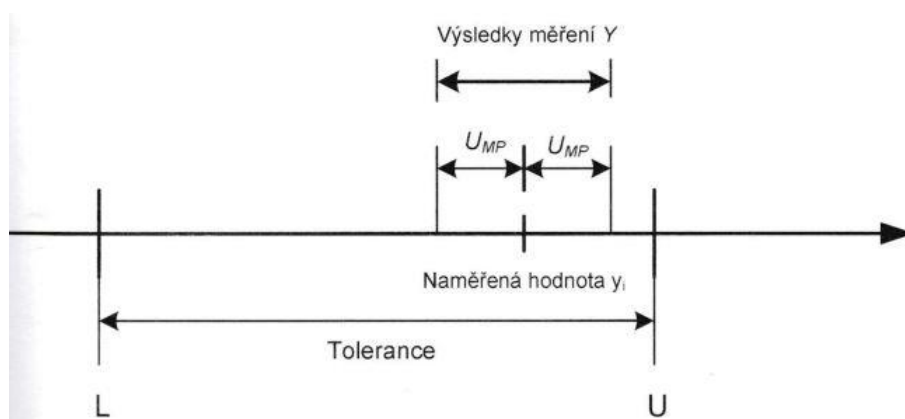
Obrázek 4: Intervaly nejistoty a intervaly shody resp. neshody [2]



Důkaz shody

Pokud leží výsledek měření Y (včetně rozšířené nejistoty měření U_{MP}) v rámci tolerance (viz obrázek 5), je prokázána shoda s tolerancí a výrobek může být přijat.

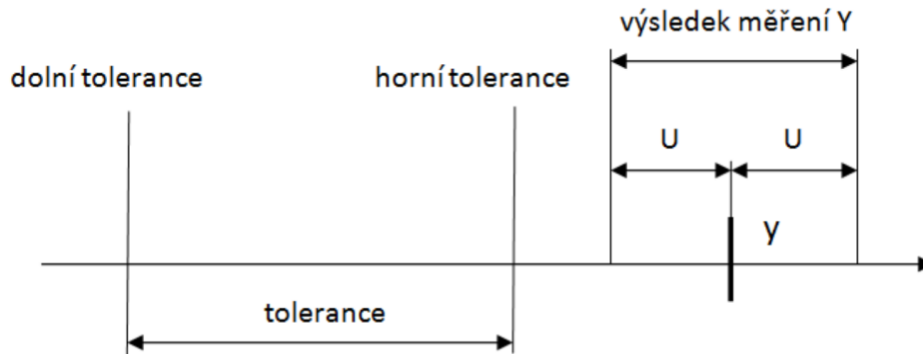
Obrázek 5: Důkaz shody [2]



Důkaz neshody

Pokud leží výsledek měření y (včetně rozšířené nejistoty měření U_{MP}) mimo toleranci (viz obrázek 6), výrobek musí být odmítnut.

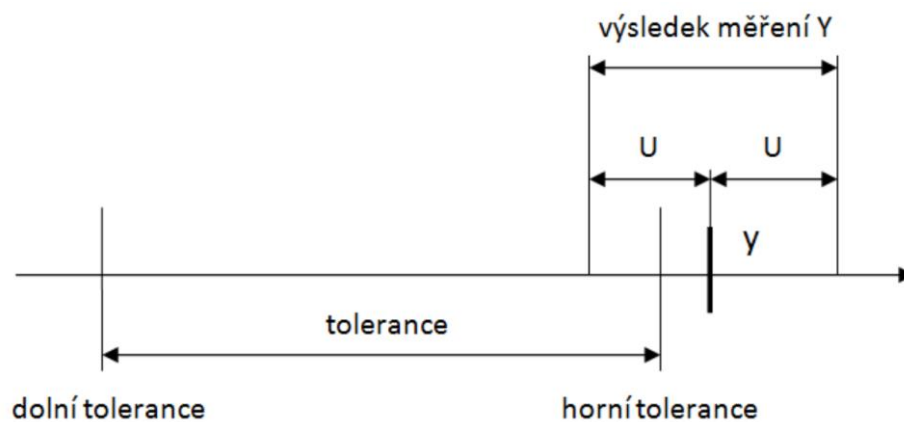
Obrázek 6: Důkaz neshody [37]



Interval nejistoty

Jestliže výsledek měření y (včetně rozšířené nejistoty měření U_{MP}) obsahuje jednu toleranční mez (viz obrázek 7), nelze předpokládat shodu ani neshodu. V tomto případě je nutné zmenšit nejistotu měření a tím i interval nejistoty, aby se shoda případně neshoda prokázaly.

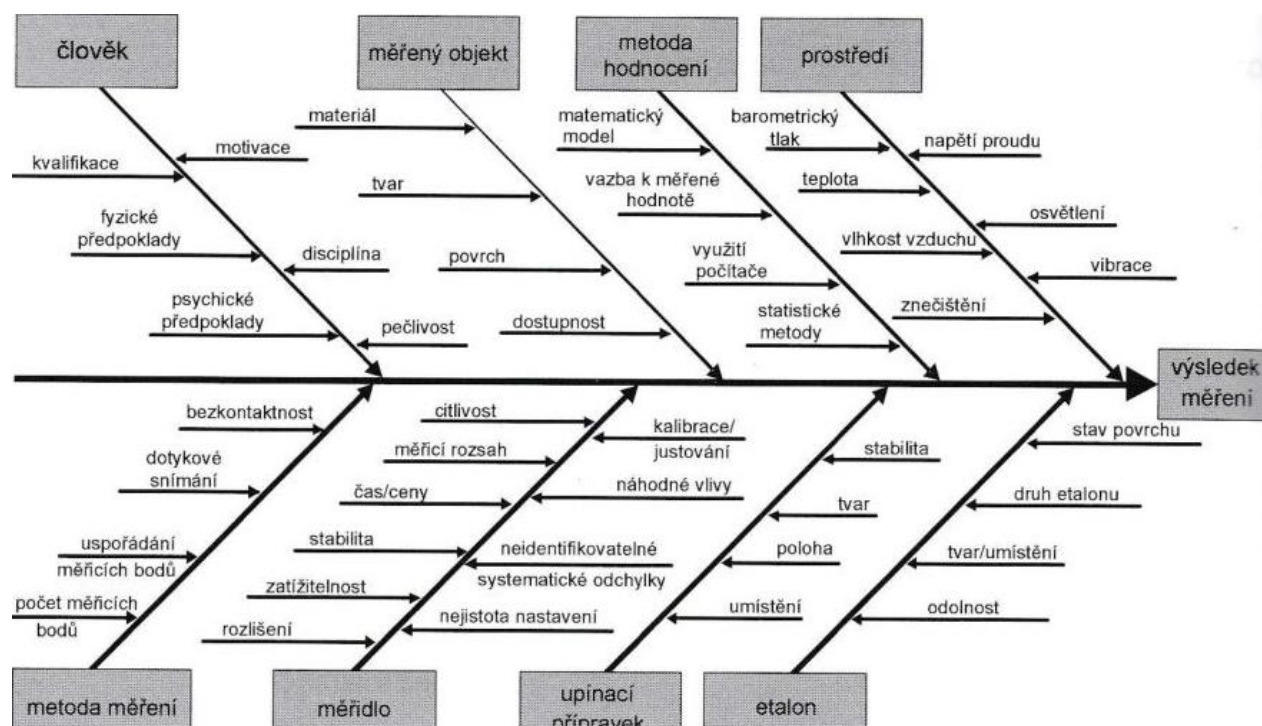
Obrázek 7: Interval nejistoty [37]



2.1.2 Vlivy na nejistotu měření

Podle metodiky VDA 5 je výčet nejdůležitějších vlivů, které působí na nejistotu, rozdělen tzv. metodou 8M (Man, Method atd.), která je také známá jako Ishikawův diagram (viz obrázek 8). [2]

Obrázek 8: Ishikawův diagram nejistot měření pro VDA 5



2.1.3 Standardní nejistoty

Logickou snahou při zvyšování kvality systému měření je stanovení standardní nejistoty měření pro všechny vlivy, které byly pro měření identifikovány jako podstatné. Standardní nejistoty měření jsou popsány v GUM.

Na základě matematického modelu procesu měření jsou stanoveny standardní nejistoty měření pro všechny relevantní vlivy. Standardní nejistoty kvantifikují jednotlivé podíly na nejistotě. Podle pravidel šíření nejistot měření (Gaussův postup) jsou stanoveny koeficienty citlivosti pomocí parciálních derivací rovnice modelu měření podle jednotlivých zdrojů. V bilanci nejistot jsou standardní nejistoty popsány příslušnými koeficienty citlivosti a z nich stanovenými kombinovanými a rozšířenými nejistotami.

2.1.4 Určení standardní nejistoty měření

K určení velikosti dílčí nejistoty pro každý uvažovaný vliv slouží tzv. „ukazatel standardní nejistoty měření $u(x_i)$ “. Tento ukazatel se stanovuje 2 metodami:

- statistickým vyhodnocením řady měření (Metoda A)
- využitím předběžných informací (Metoda B)

Standardní nejistoty, které byly určeny metodou A a B, budou posuzovány shodně. Kombinovaná standardní odchylka se určí z odchylek zjištěných metodou A i metodou B.

Metoda A (směrodatná odchylka)

V nejjednodušším případě série měření n individuálních hodnot x_i , které byly získány za definovaných podmínek se, vypočítá směrodatná odchylka s_g podle vzorce:

$$s_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

Pro stanovení směrodatné odchylky s_g je doporučeno $n=25$ opakovaných měření. Pokus je v rámci zkoumání nejistoty měření proveden zpravidla jen jednou.

Směrodatná odchylka vstupuje do bilance nejistot jako standardní nejistota měření $u(x_i)$, jestliže, jak je to v praxi obvyklé, je výsledek měření určen z jediné zkoušky.

$$u(x_i) = s_g$$

Menší hodnotu $u(x_i)$ dostaneme vícenásobným opakováním zkoušky $n > 1$ jako standardní nejistotu aritmetického průměru.

$$u(x_i) = \frac{s_g}{\sqrt{n}}$$

Metoda A (ANOVA)

Vedle popsaného postupu, jak určit složku nejistoty měření zdroje $u(x_i)$, existuje také možnost, jak v rámci jedné zkoušky určit účinek více ovlivňujících faktorů současně. Tento způsob je používán již řadu let v MSA. Jde o určení %GRR (Gage Repeatability & Reproducibility – opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla) je na základě pokusu (např. 3 operátoři měří 10 dílů, každý dvakrát, což je $3 * 10 * 2 = 60$ měření) určen jak vliv operátora, tak vliv měřidla. Tento způsob vyhodnocení se nazývá ANOVA.

V MSA je vedle ANOVY popsána metoda ARM (Average Range Method – metoda průměru a rozpětí). Ze statistických důvodů se dává metodě ANOVA přednost zejména proto, že je současně určena interakce mezi prvky měření.

Pomocí těže zkoušky můžou být studovány další vlivy (např. rozptyl uvnitř dílu). Faktem ale je, že každým zkoumaným vlivem rostou náklady na zkoušku. Pokud bychom přidali k experimentu také zjišťování rozptýlení uvnitř dílu, potom by 1 operátor neměřil dvakrát pouze v jednom místě, ale na více místech (např. 4 místech: $3 * 10 * 2 * 4 = 240$ měření). To je z ekonomického důvodu nepřijatelné. Proto z důvodů minimalizování nákladů na experiment máme následující možnosti.

Snížení počtu experimentů

Z plánování experimentů jsou známy metody, jak bez větších ztrát informací může být snížen jejich počet. Při smíšených stupňovitých faktorech se doporučuje využít D-optimální plán. Pro odhad složek je použita Momentová metoda ANOVA. Příslušný plán experimentů může být automaticky vhodným počítačovým programem.

Aby byla určena standardní nejistota vlivu operátora u_{AV} , kterou určuje rozptyl měřidla u_{EV} a vliv dílu u_{OBJ} , bylo by zapotřebí oněch 240 jednotlivých měření, viz příklad výše. Za stejných podmínek lze zpracovat D-optimizační plán s dvojnásobnou interakcí, čímž může být sníženo původních 240 jednotlivých měření na 128. [2]

Další možností snížení počtu experimentů je zkoumání pouze dvou vlivů např. vliv

operátora a měřidla. Tím se snižuje počet opakování (viz příklad výše $3 * 10 * 2 = 60$ měření).

Metoda B

Pokud nemohou být určeny standardní nejistoty metodou A nebo je-li tento postup nevhodný, mohou se odpovídající standardní nejistoty odhadnout z informací získaných v předchozím období. Těmito informacemi mohou být:

- informace z dřívějších nebo starších měření
- zkušenosti nebo znalosti o chování a vlastnostech významných materiálů a měřidel
- údaje výroby
- údaje z kalibračních listů a certifikátů
- nejistoty, které jsou přiřazené referenčním datům v příručkách
- hodnoty získané na základě méně než $n = 10$ měření

Výpočet nejistoty typu B

Pokud známe z předchozích informací rozšířenou nejistotu U_{MP} a hodnotu koeficientu rozšíření k (např. z kalibračního listu), potom lze spočítat standardní nejistotu $u(x_i)$ podle vzorce:

$$u(x_i) = \frac{U_{MP}}{k}$$

Není-li hodnota standardní nejistoty známá z předchozích měření, může být použita mezní hodnota či jiná horní nebo dolní hranice. Standardní nejistota $u(x_i)$ se vypočítá s přihlédnutím ke statistickému rozdělení transformace mezních chyb. Pokud nevíme, o jaké rozdělení jde, doporučuje se použít jako nejjistější variantu pravoúhlý model, tj. vzorec:

$$u(x_i) = a \cdot b,$$

kde a je požadovaná mezní hodnota a b je faktor rozdělení.

Kombinovaná standardní nejistota měření

Kombinovaná standardní nejistota $u(y)$ je na základě matematického modelu vypočítána ze všech složek nejistot určených metodou A a B. V praxi měřicí techniky pro výrobu dochází ke zvláštnímu případu matematického modelu, kde jsou koeficienty rovny „jedné“, což vede k jednoduchému kvadratickému součtu nejistot.

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u(x_i)^2} = \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + u(x_3)^2 + \dots}$$

2.1.5 Rozšířená nejistota měření

Míra nejistoty, s jakou se může pravá hodnota lišit od změřené, se nazývá rozšířená nejistota měření U_{MP} . Ta je spočítána vynásobením nejistoty měření a koeficientem rozšíření.

$$U_{MP} = k \cdot u(y)$$

Výpočet rozšířené nejistoty UMP je založen na intervalu spolehlivosti $P = 1 - \alpha = 95,45\%$

ohraničující oboustranně funkci hustoty pravděpodobnosti kombinované nejistoty s příslušnou hladinou významnosti $\alpha / 2$.

Koeficient rozšíření vybereme podle intervalu spolehlivosti v tabulce 4.

Tabulka 4: Určení koeficientu rozšíření na základě intervalu spolehlivosti [2]

Koeficient rozšíření k	Interval spolehlivosti
1	68,27%
2	95,45%
3	99,73%

Pro většinu případů je doporučován interval spolehlivosti 95,45%, tedy koeficient $k = 2$. Pokud nelze předpokládat normální rozdělení hustoty pravděpodobnosti, mohou u vysokých hladin spolehlivosti vznikat velké odchylky od výše uvedených hodnot.

2.1.6 Výpočet ukazatelů vhodnosti

U zkoušek měření se předpokládá poskytnutí důkazu o vhodnosti procesu měření na základě doložené rozšířené nejistoty měření specifické pro danou úlohu měření se zřetelem ke všem dominantním vlivům. Zkoumané kontrolní znaky a tolerance jsou dány již na začátku posuzování. Typický průběh hodnocení vhodnosti měřicího systému a procesu měření je znázorněn na vývojovém diagramu v příloze 2.

Pro posouzení metrologických požadavků na měřicí systém a na proces měření jsou zavedeny ukazatele vhodnosti Q_{MS} (měřicí systém) a Q_{MP} (proces měření). Jsou udávány v procentech a získají se podle vztahů:

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{TOL} \cdot 100\% \quad \text{resp.} \quad Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100\%,$$

kde TOL je šířka tolerančního pásma.

Ukazatelům vhodnosti jsou přiřazeny odpovídající limitní hodnoty Q_{MS_MAX} a Q_{MP_MAX} .

$$Q_{MS} \leq Q_{MS_MAX} \quad \text{resp.} \quad Q_{MP} \leq Q_{MP_MAX}$$

Z toho vyplývá, že jsou-li dodrženy tyto podmínky, je měřicí systém a proces měření ohodnocen jako vhodný proces.

Limitní hodnoty pro vhodnost měřicího systému a procesu měření jsou stanoveny. Je nutné poznamenat, že zejména u hodnocení procesů měření mohou působit vlivy, jako jsou odchylky tvaru zkušeneho dílu, jakož i vlivy prostředí. Limitní hodnota je pro měřicí systém $Q_{MS_MAX} = 15\%$ a pro procesy měření $Q_{MP_MAX} = 30\%$.

Limitní hodnoty by měly být brány jako orientační. V praxi se limitní hodnoty stanovují mezi zákazníky a dodavateli ve vztahu ke znaku a jeho specifikaci. Jsou zde nutné brát v úvahu především ekonomické a technické možnosti. Limitní hodnota by měla být nastavena tak velká, jak je to možné, a jen tak malá, jak je potřeba. Stanovení složek nejistoty systému měření může odpadnout, pokud je největší přípustná chyba (MPE) doložena a dokumentována. V takovémto případě se kombinovaná nejistota měření u_{MS} dle vztahu:

$$u_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}}$$

V případě, že kombinovanou standardní odchylku ovlivňuje více než jedna hodnota MPE, výpočet je podle vzorce:

$$u_{MS} = \sqrt{\frac{MPE_1^2}{3} + \frac{MPE_2^2}{3} + \dots}$$

2.1.7 Minimální možná tolerance pro měřicí systémy a procesy měření

Pro klasifikování měřicích systémů a procesů měření je nutné spočítat toleranci, pro kterou je jak měřicí systém, tak také proces měření vhodný. Použijeme vzorec použitý pro výpočet Q_{MS} a Q_{MP} , aplikovaný již v minulé kapitole, jen dosadíme limitní hodnoty Q_{MS_MAX} a Q_{MP_MAX} . Tím získáme minimální možnou toleranci pro měřicí systém TOL_{MIN_UMS} resp. proces měření TOL_{MIN_UMP} .

$$TOL_{MIN_UMS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{Q_{MS_MAX}} \cdot 100\%$$

resp.

$$TOL_{MIN_UMP} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{Q_{MP_MAX}} \cdot 100\%$$

Na základě tohoto zjištění může být vyšetřovaný proces měření použit pro tolerance přesahující minimální toleranci TOL_{MIN_UMP} . Leží-li minimální tolerance měřicího systému TOL_{MIN_UMS} již v rozmezí velikosti zadané tolerance TOL , nemusí být prováděno vyšetřování standardních nejistot procesu měření, jelikož by to vedlo k překročení limitní hodnoty Q_{MP_MAX} . [2]

Vhodnost procesů měření a způsobilost procesu

Mezi pozorovanou způsobilostí procesu výroby ($C_{p,obs}$), skutečnou způsobilostí procesu ($C_{p,real}$) a ukazatelem vhodnosti (Q_{MP}) měřicího procesu začleněného do procesu výroby existuje závislost zobrazená na obrázku 9.

Jak je vidět na hodnotách v obrázku, při $Q_{MP} = 40\%$ je skutečná hodnota indexu způsobilosti 2,21, kdežto pozorovaná hodnota pouze 1,33, tedy rozdíl 0,88. Pokud je ukazatel vhodnosti nižší $Q_{MP} = 10\%$ je skutečná hodnota indexu způsobilosti 1,72 a odpovídá jí pozorovaná hodnota způsobilosti 1,67, rozdíl je tedy 0,05.

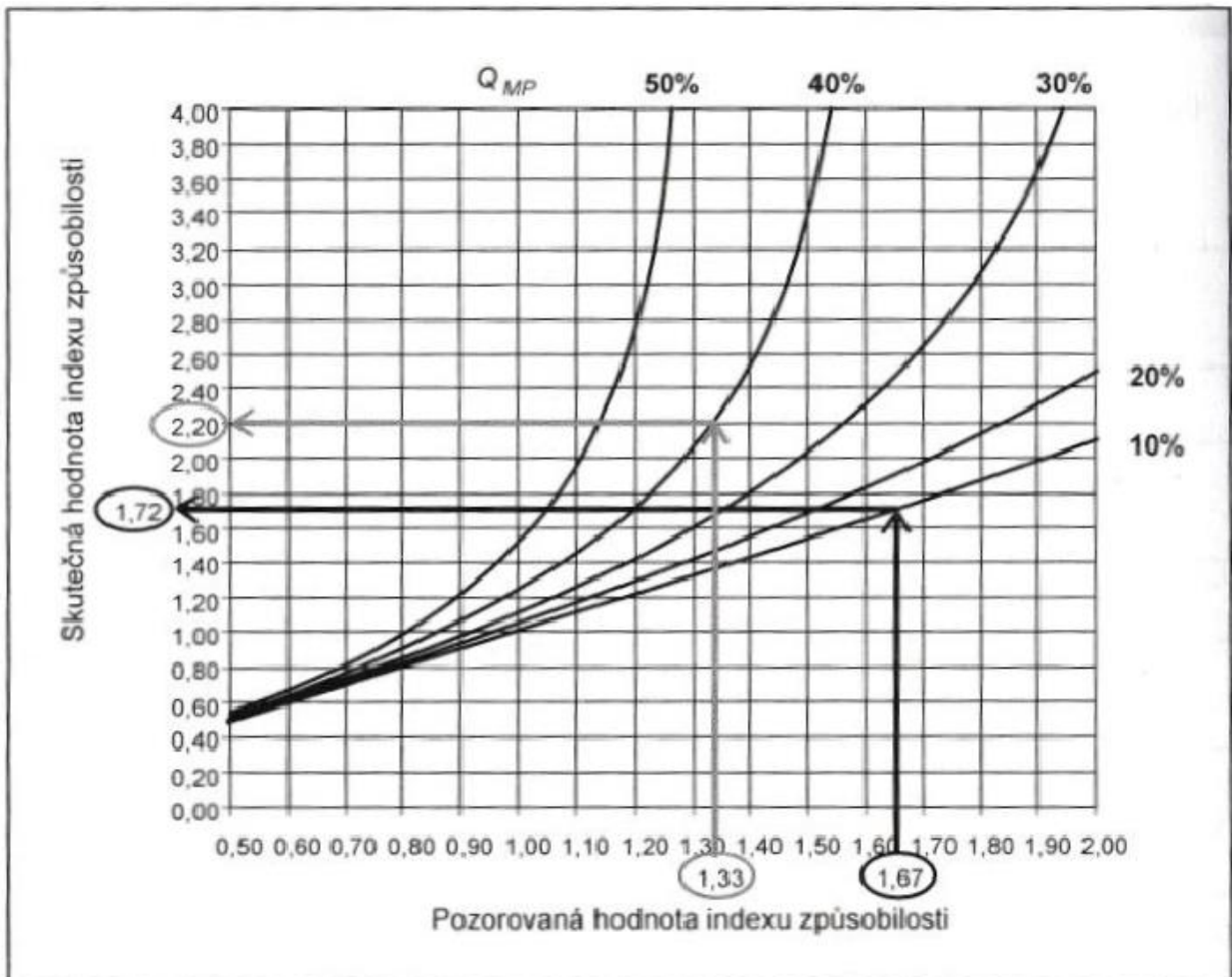
Pro použití tohoto grafu je nutné dodržet několik předpokladů:

- Měřená hodnota vyráběných dílů má normální rozdělení.
- Výpočet indexu způsobilosti (rozptýlení 99,7%) je proveden na základě 6 směrodatných odchylek.

- Pro pozorovanou směrodatnou odchylku platí $S_{obs} = \sqrt{S_{real}^2 + S_{MP}^2}$.

- Interval nejistot je vztažen ke specifikaci symetricky.
- Koeficient rozšíření kombinované nejistoty je $k=2$.

Obrázek 9: Znázornění vztahu mezi skutečnou a pozorovanou hodnotou způsobilosti procesu v závislosti na Q_{MP} [2]



2.1.8 Zacházení s nevhodnými systémy měření a procesy měření

Aby došlo ke zlepšení stávajících měřicích systémů, potažmo procesů měření, je nutné usilovat o zmenšení standardních nejistot měření. Toho může být dosaženo např.:

- použitím měřicího vybavení s nižší nejistotou
- snížením vlivu zdrojů variability působících na proces kontroly.

Také je vhodné zjistit, zda je možné rozšířit toleranci.

Příklady možností, jak snížit účinek složek ovlivňujících nejistotu měření, jsou:

Měřidlo / ztělesněná míra

- výběr lepšího, vhodnějšího měřicího dotyku,
- výběr ztělesnění měř s vyšší kvalitou,
- strategie měření,
- optimalizace strategie měření (rychlost měření, přejímka objektu měření, atd.),
- opakování měření s průměrováním.

Objekt měření

- temperování na normovanou teplotu 20°C (neelektrické veličiny, 22°C elektrické),

- čistota,
- zlepšení tvarové udržitelnosti a kvality povrchu,
- zabránění vzniku ostrých hran.

Kontrolor / operátor

- zlepšení schopností a dovedností,
- opatření ke zvýšení motivace.

Okolní podmínky (teplota, vibrace apod.)

- zamezení přístupu rušivých vlivů (volba vhodného místa),
- měření v klimatizovaných podmínkách,
- pružné uložení (vibroizolace) měřidel.

Stabilita měření

- zdroje nestability způsobující trendy jsou nalezeny a korigovány.

2.1.9 Důkaz vhodnosti procesu měření a systému měření**Vhodnost měřicího systému**

Jak už zde zaznělo, rozšířená nejistota měření se vztahuje na celý proces měření. Přesto by měl být měřicí systém, jako jeho podstatná část, samostatně hodnocen. Určit jeho vhodnost Q_{MS} je zpravidla jednodušší než vhodnost procesu měření.

Měřicí systém musí mít rozlišení %RE menší než 5% tolerance znaku. Pokud to měřicí systém nespĺňuje, musí být použit jiný systém s lepší rozlišitelností. V měřicím systému jsou vyšetřovány tyto složky nejistoty:

- nejistota při kalibraci referenčního etalonu
- systematická odchylka měření
- preciznost a opakovatelnost
- odchylka linearity

Pokud není vychýlení kompenzováno početně, jsou provedena opakovaná měření na jednom, dvou nebo třech etalonech, které jsou rozloženy na základě měřicího rozsahu nebo rozsahu použití ve vztahu k procesu měření. Z naměřených hodnot jsou určeny standardní nejistoty systematické odchylky a rozptýlení měřidla.

Umožňuje-li měřicí systém korekci vychýlení, je regresní funkce vyšetřena metodou ANOVA. K tomuto jsou provedena měření na minimálně třech etalonech, které jsou rozloženy na rozsahu měření. Naměřené hodnoty jsou použity ke stanovení regresní funkce a ke kompenzaci. Zbytková nejistota je složena ze zbytkových směrodatných odchylek u_{EV} a chyby přizpůsobení u_{LIN} . Obě tyto hodnoty bereme v úvahu pro kombinovanou standardní nejistotu měření.

Typické složky nejistoty měřicího systému podle VDA 5 shrnuje příloha 3.

Zkoumání jednotlivých složek nejistoty lze zcela přeskočit, známe-li největší dovolenou chybu měření MPE pro měřicí systém (je dokumentovaná a akceptovatelná pro daný systém). u_{MS} je potom dáno vztahem: $u_{MS} = MPE/\sqrt{3}$

Rozlišení RE měřicího systému smí činit u prokazování vhodnosti měřicího systému 5%

tolerance. Rozlišení je u analogových přístrojů hodnota kroku (mezi 2 dílky) nebo u analogových přístrojů hodnota kroku (např. 0,001; 0,5 nebo 1,0).

K určení nejistoty opakovatelnosti na etalonu je doporučeno použít známých experimentů k určení způsobilosti systému měření c_g resp. c_{gk} , tento postup se nazývá „postup 1“ a může být rozšířen na dva nebo tři etalony.

Je-li zkoumána linearita měřicího systém, musí být provedena zkouška s minimálně třemi etalony. Výsledek tohoto experimentu (regresní funkce) je použit následně ke korekci měřicího systému (tím lze snížit odchylky linearity). [2]

2.1.10 Určení systematické odchylky měření a opakovatelnosti podle „Postupu 1“

Systematické odchylky jako Bias a vychýlení musí být odstraněny, jak jen je to možné pomocí justování a vypočítané korekce. Zbytky systematických chyb jsou z velké části nekorigovatelné, neznámé systematické odchylky v měřicím rozsahu. Tyto odchylky mohou být odhadnuty měřením na etalonu či více etalonech.

Opakovaná měření na 1 etalonu

Cílem experimentu je odhadnout složky nejistot a nikoli odhadnout index způsobilosti. Na etalonu je zpravidla provedeno minimálně 25 opakovaných měření a z jejich rozptýlení vypočítána směrodatná odchylka opakovatelnosti s_g , ta nám poskytne odhad pro standardní nejistotu u_{EVR} .

$$u_{EVR} = s_g = \sqrt{\frac{1}{K-1} \cdot \sum_{i=1}^K (y_i - \bar{x}_g)^2},$$

kde k je počet opakovaných měření (zpravidla $k = 25$), y_i je odečtená hodnota i -tého opakovaného měření, \bar{x}_g je aritmetický průměr odečtených hodnot.

Standardní nejistota u_{BI} v důsledku systematických odchylek měření se počítá ze vztahu

$$u_{BI} = \frac{|\bar{x}_g - x_m|}{\sqrt{3}},$$

kde x_m je referenční hodnota etalonu z rozsahu tolerance kontrolovaného znaku.

Strannost (Bias) je složka systematické odchylky a počítá se podle vzorce:

$$Bi = |\bar{x}_g - x_m|,$$

kde \bar{x}_g je aritmetický průměr odečtených hodnot, x_m je referenční hodnota etalonu.

Z takto určené série výsledků měření může být vypočítán index způsobilosti c_g a c_{gk} .

$$c_g = \frac{0,2 \cdot TOL}{4 \cdot s_g} \quad c_{gk} = \frac{0,1 \cdot TOL - Bi}{2 \cdot s_g}$$

Zanedbá-li se u_{CAL} a u_{BI} , může být $Q_{MS} = c_g$. Hodnota $c_g = 1,33$ odpovídá hodnotě $Q_{MS_MAX} = 15\%$.

Srovnání určování standardních nejistot a výpočet indexů způsobilosti ukazuje, že v obou případech je výpočet pro určení hodnot stejný. Rozdíl je pouze v interpretaci jejich

výsledků podle ukazatelů:

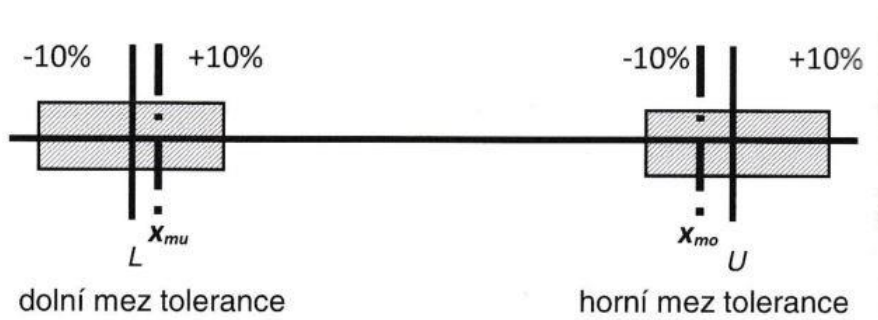
- u_{EVR} a u_{BI} (nejistota měření)
- c_g a c_{gk} (index způsobilosti měřicího zařízení)

Z toho vyplývá, že mohou být eventuálně použity naměřené hodnoty určené pro dřívější určování způsobilosti podle „Postupu 1“ pro určení standardních nejistot.

Opakované měření na dvou etalonech

Pro tento experiment se doporučuje mít etalony, jejichž pravé hodnoty se nacházejí v pásmu $\pm 10\%$ hodnot tolerančních mezí (viz obrázek 10).

Obrázek 10: Doporučené polohy hodnot ztělesněných měř (2 etalony)[2]



x_{mu} je pravý rozměr etalonu v pásmu okolo toleranční meze L

x_{mo} je pravý rozměr etalonu v pásmu okolo toleranční meze U

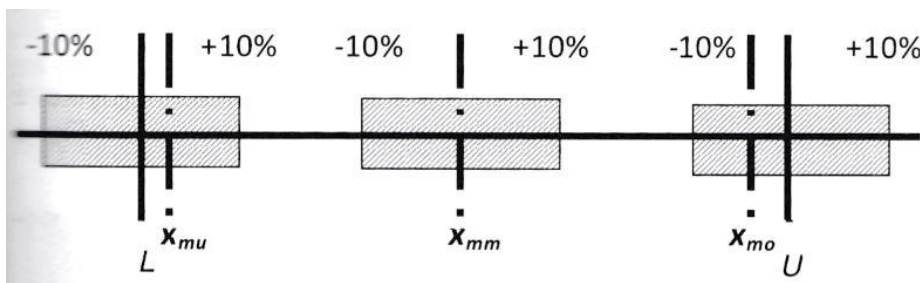
Na každém etalonu by mělo být provedeno alespoň 15 opakovaných měření. Z výsledků je odhadnuta (postupem jako při měření na jednom etalonu) pro každý etalon u_{EVR} a u_{BI} . Jako složka nejistoty u_{EVR} a u_{BI} je vždy brána větší z obou hodnot.

$$u_{EVR} = \max. \quad u_{BI} = \max.$$

Opakované měření na třech etalonech

Pro zjednodušené určení linearity, je doporučeno použít etalonů, jejichž pravé hodnoty se nacházejí v pásmu $\pm 10\%$ hodnot tolerančních mezí resp. středu tolerance (viz obrázek 11).

Obrázek 11: Doporučené polohy hodnot ztělesněných měř (3 etalony)[2]



x_{mu} je pravý rozměr etalonu v pásmu okolo toleranční meze L

x_{mo} je pravý rozměr etalonu v pásmu okolo toleranční meze U

x_{mm} je pravý rozměr etalonu v pásmu okolo středu tolerance

Na každém etalonu je zpravidla provedeno minimálně 10 opakovaných měření. Z výsledků lze pro každý etalon odhadnout (postupem jako při měření na jednom etalonu) hodnoty u_{EVR} a u_{BI} . Jako složka nejistoty u_{EVR} a u_{BI} je vždy brána větší z obou hodnot.

$$U_{EVR} = \max. \{u_{EVR1}, u_{EVR2}, u_{EVR3}\} \quad U_{BI} = \max. \{u_{BI1}, u_{BI2}, u_{BI3}\}$$

V tomto případě je standardní nejistota odchyly linearity obsažena v U_{BI} , proto je $U_{LIN} = 0$.

2.1.11 Určení nejistot v procesu měření

V této části bude upřesněno, jak se určují jednotlivé složky nejistot $u(x_i)$. K tomu, slouží buď nejistota B, nebo nejistota A (experiment). Přitom je navržen standardizovaný způsob pokrývající většinu v praxi významných postupů pro určení rozšířené nejistoty.

Některé složky nejistoty procesu měření se ve VDA 5 zjišťují opakovaným měřením (metoda A). Tyto jsou uvedeny v tabulce 8. V případech, že nejsou splněny statistické předpoklady pro postupy představené v dalším textu, musí operátor využít základních podmínek pro určení nejistot měření, jak jsou popsány v Pokynu pro vyjádření nejistoty měření (DIN v ENV 13005).

Složka nejistot, jejichž variabilita neodpovídá během prováděné zkoušky rozptýlení, které je během reálného procesu měření, nesmí být statisticky vyhodnocována, složka nejistot musí být zahrnuta v matematickém modelu (např. kolísání teploty na pozdějším pracovišti). V tomto modelu musí být zohledněno rozptýlení reálného procesu měření. V příloze 4 jsou uvedeny vztahy pro matematické modelování složek nehomogenity zkoušeného dílu, teploty a zbytkových nejistot.

Tabulka 5 stručně shrnuje všechny složky nejistoty měření potřebné pro určení vhodnosti měřicího systému i procesu měření podle VDA 5.

Tabulka 5: Složky nejistoty měření potřebné pro určení vhodnosti procesu měření [2]

Složky nejistoty	Symbol
Kalibrace etalonu	u_{CAL}
Systematická odchylnka měření	u_{BI}
Chyba linearity	u_{LIN}
Opakovatelnost na etalonu	u_{EVR}
Zbytková nejistota MS	u_{MS_REST}
Limitní hodnota odchylnky měření	MPE
Opakovatelnost zkoušené součásti	u_{EVO}
Reprodukovatelnost operátorů	u_{AV}
Reprodukovatelnost na upínacích přípravcích	u_{GV}
Reprodukovatelnost v čase	u_{STAB}
Interakce	u_{IAi}
Nehomogenita součásti	u_{OBJ}
Rozlišení ukazatele	u_{RE}
Teplota	u_T
Zbytková nejistota	u_{REST}

Výpočet kombinované nejistoty měření

Kombinovaná nejistota měřicího systému se odhadne podle vzorce:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + \max\{u_{EVR}^2, u_{RE}^2\} + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2},$$

Výpočet kombinované nejistoty procesu měření se odhadne podle vzorce:

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2 + u_{AV}^2 + u_{GV}^2 + u_{STAB}^2 + u_{OBJ}^2 + u_T^2 + u_{REST}^2 + \sum_i u_{IAi}^2},$$

kde $u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{EVO}, u_{RE}\}$

Výpočet rozšířené nejistoty měření

$$U_{MS} = k \cdot u(y)$$

resp.

$$U_{MP} = k \cdot u(y)$$

Výpočet z rozšířené nejistoty vychází z přibližného 95 % konfidenčního intervalu, proto se používá koeficient rozšíření $k=2$.

Vhodnost, minimální tolerance

Rozlišujeme mezi výkonnostním poměrem měřicího systému QMS a procesu měření QMP. Norma doporučuje, aby QMS nepřesáhlo hodnotu 15 % a QMP hodnotu 30 %. Pro nejistotu vypočtených poměrů bychom měli vypočítat 95 % konfidenční interval.

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{TOL} \cdot 100 (\%) \quad TOL_{MIN_UMS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{Q_{MS_max}} \cdot 100 (\%)$$

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100 (\%) \quad TOL_{MIN_UMP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{Q_{MP_max}} \cdot 100 (\%)$$

Vzorce využívají toleranční pole jako referenci.

2.1.12 Průběžná prověrka vhodnosti procesu měření

U procesu měření je zohledněna jak krátkodobá, tak dlouhodobá stabilita. I přesto se mohou objevit nově vznikající vlivy, které ještě nebyly známy při důkazu vhodnosti. Může pak v procesu dojít k takovým změnám, že se proces již stane nevhodným. Aby mohla být důležitá změna procesu včas rozpoznána, musí být proces měření pod neustálým dohledem. Postup podle VDA je následující:

1. Volba vhodného vztažného etalonu nebo sériového dílu se známou hodnotou pro kontrolovanou vlastnost (znak).
2. Pravidelná měření vztaženého etalonu nebo sériového dílu (např. ve všech pracovních dnech resp. na začátku nebo konci každé směny).
3. Zapsání naměřené hodnoty do připravené regulační karty (meze zásahu jsou shodné se známými, doporučenými hodnotami z oblasti statistické regulace procesu).
4. Příklad 1: Pokud leží naměřené hodnoty mezi nastavenými mezemi zásahu, může být konstatováno, že se proces měření měnil nepodstatně. Příklad 2: Pokud leží naměřené hodnoty mimo nastavené meze zásahu, je nutné proces měření opět přezkoumat.

Korekce regresní funkce

Pokud bychom měli pochyby o linearitě systému a byla proto experimentálně stanovena regresní funkce, může být k průběžné prověrce použit následující postup.

1. Výpočet regulačních mezí etalonu

$$\text{Horní regulační mez: } UCL = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\beta}_1} \cdot t_{\left(1-\frac{\alpha}{2.m}\right)} \cdot (N \cdot K - 2)$$

$$\text{Dolní regulační mez: } LCL = -\frac{\hat{\sigma}}{\hat{\beta}_1} \cdot t_{\left(1-\frac{\alpha}{2.m}\right)} \cdot (N \cdot K - 2)$$

2. Výběr m etalonů

Alespoň 2 etalony jsou vybrány takovým způsobem, že jejich pravé hodnoty pokrývají oblast hodnot, které se též vyskytují v reálných podmínkách.

3. Opakovaná měření etalonů

Každý etalon je naměřen například ve všech dnech pracovního týdne.

4. Transformace p naměřených hodnot m etalonů

Naměřené hodnoty (v počtu p) m etalonů jsou transformovány pomocí regresní funkce:

$$x = \frac{y - \beta_0}{\beta_1}$$

Následně je vždy vypočítán rozdíl (diference) mezi pravou hodnotou a transformovanou hodnotou.

5. Znázornění rozdílů v regulační kartě

Kolem časové osy jsou znázorněny difference stanovené v kroku 4.

6. Rozhodnutí o platnosti Regresní funkce

Toto rozhodnutí závisí na tom, zda všechny difference všech etalonů leží uvnitř regulačních mezí.

Přehled metod a typických modelů procesů měření

Přehled metod k určování typických standardních nejistot v praxi jsou uvedena v příloze 5. Tam jsou uvedeny zdroje nejistot, doporučení při jejich určování a jakou metodou jsou tyto zdroje získány (metoda A- experiment, metoda B – informace od výrobce, kalibrační listy)

U mnoha procesů měření se neprojeví všechny vlivy na nejistotu, resp. často se projeví jen málo vlivů. Přehled v příloze 6 poskytuje odpovědi na často kladené otázky:

- S jakou nejistotou kalibrace byla určena pravá hodnota etalonu?
- Může být koupené měřidlo převzato?
- Které složky nejistoty musí být akceptovány i standardních měřicích systémů?
- Je měřicí systém, měřicí zařízení vhodné pro toleranci v podmínkách výroby? Jak velký je vliv dílu z výroby na výsledek měření?
- Jak silně se může měřená hodnota rozptýlit?
- Co musí být sledováno při kontrole shody?

2.1.13 Speciální procesy měření

Třídění

V procesech výroby s velkým rozptýlením se často provádí třídění kritických znaků. Tím se tolerance důležitých znaků rozděluje na 2 nebo více tříd. Typickými příklady jsou:

- stator a rotor
- vinutí a rotor
- blok válců a hřídel

Postup třídění zahrnuje stoprocentní kontrolu důležitých znaků, přiřazení součástí do stanovené třídy a odpovídající označení. Z důvodu nejistoty měření může docházet k odlišným zatříděním na hranicích tříd (např. mezi výrobcí a odběrateli).

Aby bylo zajištěno, že tytéž díly mohou být zatříděny do maximálně dvou sousedních tříd, smí být rozšířená nejistota nejvýše polovinou šířky třídy (KB):

$$U_{MP}/KB \leq 0,5.$$

Nebo obecně maximální počet tříd, do kterých může být zatříděn tentýž díl je:

$$2 \cdot U_{MP}/KB + 1 = \text{max. počet sousedních tříd}$$

2.1.14 Důkaz vhodnosti atributivních kontrolních procesů

Vzhledem k charakteru atributivních zkoušek lze věrohodné výsledky získat jen s vynaložením značných nákladů na technologie. K poskytnutí důkazu o vhodnosti atributivního kontrolního procesu se musí zohlednit fakt, že pravděpodobnost výsledku zkoušky je závislá na jednoznačnosti stavu znaku, jedná se tedy o podmíněnou pravděpodobnost.

Pravděpodobnost správného výsledku zkoušky je přibližně 100% pro hodnoty znaku, ležící vně intervalu nejistoty kolem mezní specifikace. Pro hodnoty znaku, které leží uvnitř intervalu nejistoty, je pravděpodobnost správného výsledku zkoušky 50%. V předloženém postupu je nutné nejprve zásadně rozlišit mezi prohlášením o vhodnosti resp. bez znalosti referenční hodnoty. Pokud referenční hodnotu známe, je navržen dvoustupňový postup. Ukázka souboru hodnot pro vyhodnocení systému měření je v příloze 7. [2]

Quasi důkaz vhodnosti bez znalosti referenčních hodnot

V tomto případě se prověřuje, zda jsou významné rozdíly v rozhodnutí mezi různými operátory. Nelze však s jistotou říci, zda jednotlivé zkoušky vedly ke správnému výsledku, protože neznáme referenční hodnotu. Zároveň výběr kontrolních dílů může mít podstatný vliv na výsledek.

Standardizovaný experiment je následující:

Alespoň 40 různých dílů je dvěma operátory (A a B) přezkoumáno (každý třikrát). Každý ze 40 výsledků operátora A a B je zařazen do jedné ze tříd:

Třída 1: všechna 3 opakovaná rozhodnutí dávají výsledek „dobrý“

Třída 2: mezi 3 opakovanými rozhodnutími není jednotný výsledek

Třída 3: všechna 3 opakovaná rozhodnutí dávají výsledek „špatný“

Výsledky operátorů shrneme do tabulky (viz tabulka 6).

Tabulka 6: Příklad výsledků standardizovaného experimentu [2]

Četnost n_{ij}		Operátor B		
		Třída 1 výsledky "+++"	Třída 2 výsledky smíšené	Třída 3 výsledky "---"
Operátor A	Třída 1 výsledky "+++"	7	3	1
	Třída 2 výsledky smíšené	10	4	7
	Třída 3 výsledky "---"	2	1	5

Tato tabulka je nyní zpracovaná pro test na symetrii podle Browkera

Pokud nejsou významné rozdíly mezi operátory, mají zjištěné četnosti n_{ij} v horní tabulce vyhovující symetrii kolem hlavní diagonály. Testovací hypotéza $H_0: m_{ij} = m_{ji}$ ($i, j = 1, \dots, 3$ pro $i \neq j$) popisuje stav, kdy jsou očekávané četnosti m_{ij} , které leží symetricky kolem hlavní diagonály, identické.

$$\text{Testová statistika } \chi^2 = \sum_{i>j} \frac{(n_{ij} - n_{ji})^2}{n_{ij} + n_{ji}} = 8,603$$

Se 3 stupni volnosti se porovnává s kritickou hodnotou. Hypotéza volnosti je zamítnuta, pokud je hodnota testovací statistiky vyšší, než hodnota kvantilu rozdělení χ^2 se 3 stupni volnosti.

Test symetrie očekávaných četností podle Browkera

Nulová hypotéza $H_0: m_{ij} = m_{ji}$ ($i, j = 1, \dots, 3$ pro $i \neq j$) tedy oba operátoři dávají srovnatelné výsledky

Alternativní hypotéza $H_1: m_{ij} \neq m_{ji}$ tedy oba operátoři dávají rozdílné výsledky.

Pro určení symetrie je hodnota testovací statistiky porovnána s hodnotou kvantilu rozdělení χ^2 (viz tabulka 7). Pokud je testovací charakteristika vyšší než kritická hodnota na hladině 95 %, je H_0 s pravděpodobností omylu $\alpha \leq 5$ % odmítnuta ve prospěch H_1 . Výsledky obou operátorů lze tedy považovat za rozdílné.

Tabulka 7: Kritická hodnota kvantilu rozdělení χ^2 se třemi stupni volnosti [2]

Hladina $1-\alpha$	Kvantil $\chi^2_{1-\alpha;3}$
0,9	6,251
0,95	7,815
0,99	11,345
0,999	16,266

Důkaz vhodnosti při znalosti referenčních hodnot

Z názvu je patrné, že musíme pro tuto metodu znát referenční hodnoty. Cíle metody je určit šířku intervalu nejistoty, ve kterém operátoři nedosahují jednoznačného rozhodnutí. Příklad použitý v publikaci VDA 5 je stejný, jaký je použit i v metodice ČSN ISO 22514-22, a je převzat z MSA. Tato metoda je tedy použita napříč zkoumanými metodikami.

V tabulce jsou uvedeny referenční- naměřené hodnoty s kódováním pro jejich snazší vyhodnocení. Plus (+) znamená, že se všichni 3 operátoři při všech opakovaných pokusech shledali díl jako dobrý a tento výsledek se shoduje s klasifikací. A minus (-) znamená, že se všichni 3 operátoři při všech opakovaných pokusech shledali díl jako špatný a tento výsledek se shoduje s klasifikací. Znak X je určen pro takové výsledky, kdy alespoň 1 z operátorů dospěl k výsledku zkoušky, který se neshodl s referenční kvalifikací.

Kroky k určení intervalu nejistoty jsou následující:

1. V tabulce se řádky seřadí podle velikosti hodnoty ve sloupci naměřených hodnot. Ve výše uvedeném příkladu byly hodnoty uvedeny sestupně.
2. Vyhledá se řádek, kde se operátoři naposledy shodli pro „špatný“, tedy přechod od minus (-) k symbolu X. Vybrána je hodnota pro poslední minus symbol.

0,566152	-
0,561457	X

3. Vyhledá se řádek, kdy se všichni operátoři rozhodli pro „dobrý“, tedy přechod od symbolu X k symbolu plus (+). Vybrána je hodnota pro první plus symbol.

0,543077	X
0,542704	+

4. Vyhledá se řádek, kdy se všichni operátoři naposledy rozhodli pro „dobrý“, tedy přechod od symbolu plus (+) k symbolu X. Vybrána je hodnota pro poslední plus symbol.

0,470832	+
0,465454	X

5. Vyhledá se řádek, kde se operátoři poprvé shodli pro „špatný“, tedy přechod od X k symbolu minus (-). Vybrána je hodnota pro první minus symbol.

0,449696	X
0,446697	-

6. Vypočítá se rozpětí d_U intervalu posledního dílu, který byl všemi operátory odmítnut k prvnímu dílu, který byl všemi operátory přijat.

$$d_U = 0,566152 - 0,542704 = 0,023448$$

7. Vypočítá se d_L intervalu posledního dílu, který byl všemi operátory přijat k prvnímu dílu, který byl všemi operátory odmítnut.

$$d_L = 0,470832 - 0,446697 = 0,024135$$

8. Vypočítá se průměrná hodnota obou rozpětí.

$$d = (d_U + d_L)/2 = (0,023448 - 0,024135)/2 = 0,0237915$$

9. Určí se šířka intervalu nejistoty.

$$U_{ATTR} = d/2 = 0,0237915/2$$

$$Q_{ATTR} = 2 \cdot U_{ATTR}/TOL = 2 \cdot (0,0237915/2)/0,1 \approx 0,24$$

Tímto je stanovena hodnota Q_{ATTR} přibližně na 24 %.

2.1.15 Průběžná kontrola

K této kontrole vhodnosti kontrolního procesu je třeba kontrolovat alespoň 3 díly s definovanou referenční hodnotou alespoň 1 kontrolorem.

Díly jsou vybrány tak, že jejich referenční hodnoty leží v pásmech I, II a III, takže musí být očekáván jednoznačný výsledek (tj. všechny zkoušky souhlasí s referenčním výsledkem).

Velikost intervalu nejistoty může být buď určena experimentálně, nebo je odvozena z vždy platných požadavků na vhodný kontrolní proces Q_{MP} .

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100\% \leq Q_{MP_MAX}$$

Z toho plyne:

$$U_{MP_MAX} = \frac{Q_{MP_MAX} \cdot TOL}{2 \cdot 100\%}$$

V tomto případě je třeba zohlednit, že údaj o rozšířené nejistotě je zpravidla na základě 95,45% intervalu spolehlivosti.

2.2 Metodika hodnocení způsobilosti podle ČSN ISO 22514 - 7

Sedmá část ISO 22514 definuje postup validace měřicího systému a procesu měření, aby se potvrdilo, zda daný proces měření vyhovuje požadavkům pro danou měřicí úlohu s doporučením přijímacích kritérií. Kritéria pro přijetí jsou ukazatel způsobilosti (C_{MS}) nebo jako reciproká hodnota ukazatele způsobilosti procesu (Q_{MS}). Veličina Q_{MS} je stejná jako pro výpočty ve VDA 5.

Metoda této normy se zabývá pouze nejistotou zavedení. Proto jsou metody použitelné jen tehdy, když je známo, že nejistota metody a nejistota specifikace jsou zanedbatelné ve srovnání s nejistotou zavedení. Sedmá část této normy popisuje metody, které definují a počítají ukazatele způsobilosti pro procesy měření na základě odhadu nejistot. Tento postup je založen na postupu podle ISO/IEC Guide 98-3.

Kvalita výsledků měření je dána nejistotou měření. Tu lze definovat statistickými vlastnostmi opakovaných měření, nebo odhadem těchto vlastností podloženými znalostmi o procesu měření (výpočet nejistoty typu A nebo zjištění nejistoty typu B).

2.2.1 Základní principy

Metoda pro odhad nejistoty měření, která je popsána v této části ISO 22514, pokrývá valnou většinu nejistot měření, která se vyskytují v praxi.

Tato metoda není vhodná a pro procesy komplexních geometrických veličin jako je forma, textura povrchu, měření orientace a polohy, které vyžadují několik měřících bodů nebo současného měření v několika směrech nebo obojí.

Metoda vychází z dokumentu ISO/IEC 98-3, který povoluje vyhodnocení standardní nejistoty libovolným vhodným způsobem.

Rozlišuje vyhodnocení statistickými postupy opakovaných měření jako vyhodnocení nejistoty typu A, vyhodnocení jinými nestatistickými způsoby jako informace od výrobce měřících přístrojů, zkušenosti z předchozích experimentů apod. Tento způsob zjištění se nazývá odhad nejistoty typu B. Při vyhodnocování kombinované standardní nejistoty C mají být oba způsoby vyhodnocení vyjádřeny následovně:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Sloučením standardních nejistot lze získat (kombinovanou) standardní nejistotu měření. Pro posouzení systému měření nebo procesu měření tato metodika používá reciproké hodnoty ukazatele výkonosti Q_{MS} nebo Q_{MP} nebo ukazatele způsobilosti C_{MP} nebo C_{MS} vypočítané z kombinované standardní nejistoty měření a specifikace.

Neodpovídají-li složky nejistot odhadnuté z experimentu (nejistota A) očekávanému rozptýlení složek skutečnému procesu měření, nesmí být tyto složky odhadovány experimentálně. Musí být vypočítány pomocí matematického modelu (nejistota B).

2.2.2 Vyhodnocení nejistoty měření

Vyhodnocení způsobem A (experimentálně)

Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A je statistická analýza naměřených hodnot veličiny získaných za definovaných podmínek měření (u_{LIN} , u_{BI} , u_{EVR} , u_{AV} aj.).

Vyhodnocení způsobem B

Zjištění nejistoty měření způsobem B je založené na některé z následujících informací:

$$u_{cal} = U_{CAL}/k_{CAL} \quad (U_{CAL} \text{ a } k_{CAL} \text{ z kalibračního protokolu})$$

$$u_{RE} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{RE}{2} = \frac{RE}{\sqrt{12}} \quad (RE \text{ technický údaj měřidla})$$

$$u_{MPE} = \frac{M_{pe}}{\sqrt{3}} \quad (MPE \text{ technický údaj měřidla) [27]}$$

Výčet a označení zdrojů nejistot podle normy ČSN ISO 22514-7 shrnuje následující přehled. [27]

	Vliv (zdroj nejistoty)	Symbol
Měřicí systém	Největší dovolená chyba měření	u_{MPE}
	Rozlišení	u_{RE}
	Kalibrace	u_{CAL}
	Opakovatelnost na etalonu	u_{EVR}
	Měřicí systém	u_{EV}
	Linearita	u_{LIN}
	Bias (vychýlení)	u_{BI}
	Další vlivy měřicího systému	$u_{MS-REST}$
Měřicí proces	Opakovatelnost na objektu měření	u_{EVO}
	Reprodukovatelnost měřicích míst	u_{GV}
	Interakce	u_{IA}
	Nehomogenita objektu kontroly	u_{OBJ}
	Teplota	u_T
	Další vlivy měřicího procesu	u_{REST}
	Reprodukovatelnost v různých časových bodech	u_{STAB}

Postup validace podle normy ČSN ISO 22514 – 7 popisuje jednotlivé kroky této metody (viz příloha 8).

Složky nejistot vztahující se k měřicímu systému

Složky nejistot vztahující se k systému měření se určují na základě:

- a) největší přípustné chyby (MPE)
- b) kombinace následujících složek:
 - nejistoty kalibrace
 - opakovatelnost a/nebo rozlišení
 - vychýlení
 - linearity
 - dalších složek

Největší přípustná chyba (MPE)

Používá-li se standardní měřicí systém, má být pro skutečný měřicí systém definována maximální přípustná chyba MPE, či její číselné vyjádření. Shoda s požadavky

na definovaný metrologický znak nebo znaky je vyjádřena jako jedna nebo více maximálních přípustných chyb.

V takovém případě je obvykle k výpočtu způsobilosti měřicího systému použita hodnota MPE (nebo kombinace hodnot MPE, pokud je úloha měření ovlivněna více metrologickými znaky) místo metody experimentální.

Víme-li, že měřicí přístroje a doplňky měření nebo etalon splňuje uvedené hodnoty MPE pro každou z metrologických charakteristik, tyto hodnoty jsou použity k odhadu složky nejistoty.

Odhad standardní nejistoty s použitím hodnoty MPE se získá ze vztahu:

$$u_{MPE} = \frac{MPE}{\sqrt{3}}$$

V tomto vztahu se předpokládá rovnoměrné rozdělení. Pokud proces ovlivňuje více než jedna hodnota MPE, pak se kombinovaná nejistota vypočítá ze vztahu:

$$u_{MPE} = \sqrt{\frac{M_{PE1}^2}{3} + \frac{M_{PE2}^2}{3} + \dots}$$

Rozlišení měřicího systému

Navržený měřicí systém má mít dostatečně velké rozlišení, aby rozšířená nejistota vypočítaná ze standardní nejistoty rozlišení byla mnohem menší než toleranční interval znaku, který má být řešen.

Pokud není mezi dodavatelem a kupujícím dohodnuto jinak, musí být rozlišení měřicího systému použitého k určení shody při oboustranných mezních hodnotách menší než 5 % tohoto tolerančního pole.

Rozlišení měřicího systému, tedy krok posledního místa digitálního displeje, nebo zaokrouhlení měřené hodnoty se vždy projeví jako složka nejistoty.

Je-li složka nejistoty způsobená opakovatelností odvozená z experimentálních dat, započítá se vliv rozlišení, je-li složka nejistoty opakovatelnosti (u_{evr}) větší než složka odpovídající rozlišení.

Je-li složka nejistoty opakovatelnosti větší než složka nejistoty rozlišení, pak se složka rozlišení zahrne do složky opakovatelnosti. Pokud tomu tak není, přidá se složka u_{RE} do modelu.

$$u_{RE} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{RE}{2} = \frac{RE}{\sqrt{12}},$$

kde RE je rozlišení systému měření a je u něj předpoklad rovnoměrného rozdělení. [27]

Výpočet opakovatelnosti, vychýlení a linearity s použitím etalonů nebo kalibrovaných součástí

Použité referenční etalony nebo součásti by měly být sledované k deklarováním referencím, obvykle až národním nebo mezinárodním etalonům, nebo tzv. dohodnutým etalonům (etalonům dohodnutým mezi odběratelem a dodavatelem). Během této kalibrace by měla být také stanovena stávající nejistota.

Směrodatná odchylka nejistoty způsobené kalibrací se určí z certifikátu. V případech, kdy je nejistota v protokolu udána jako rozšířená nejistota, musí být tato hodnota vydělena odpovídajícím koeficientem rozšíření.

$$u_{cal} = U_{CAL}/k_{CAL}$$

Experimentální metoda (s použitím lineární regrese)

Cílem experimentální metody je stanovit ze získaných dat vztah $Y = A + BX$ (popisující jak se závisle proměnná Y mění jako funkce nezávisle proměnné X). Naměřená data vznikají, když je měřicí systém určený (neznámými) hodnotami parametrů kalibrační funkce A , B „stimulován“ etalony s kalibrovanými hodnotami X_i udanými ve standardních jednotkách. Odpovídající „odezvy“ nebo indikace přístroje Y_i jsou zaznamenány a později řešeny.

Zjištění nejistoty pocházející z linearitu u_{LIN}

Zjištění nejistoty pocházející z linearitu lze zjistit čtyřmi způsoby:

- $u_{LIN} = 0$
- $u_{LIN} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ kde a je polovina šířky rozpětí rovnoměrného rozdělení nebo MPE.
- u_{LIN} je stanovena experimentálně spolu s hodnotou u_{EVR}
- u_{LIN} je stanovena na základě výsledků z kalibračního certifikátu

Zjištění nejistoty vychýlení u_{BI}

Nejistota vychýlení u_{BI} je určena z měření na referenčním etanolu. Lze jí vypočítat na základě vzdálenosti mezi etalonem a průměrem naměřených hodnot podle vztahu:

$$u_{BI} = \frac{Bi}{\sqrt{3}} = \frac{|x_g - \bar{x}_m|}{\sqrt{3}}$$

Zjištění opakovatelnosti s použitím referenčních etalonů u_{EVR}

Zjištění opakovatelnosti pomocí referenčních etalonů lze podle následujících scénářů:

- zajištění minimum ze 30 opakovaných měření na referenčním etalonu, z nichž lze odhadnout u_{EVR} .
- zajištění K opakovaných měření na každém z N (≥ 2) různých referenčních etalonů tak, aby $N \cdot K \geq 30$.
 - odhad z lineární regresivní funkce
 - odhad u_{EVR} a u_{LIN} metodou ANOVA

$$u_{EVR} = s = \sqrt{\frac{1}{K-1} \cdot \sum_{i=1}^K (x_i - \bar{x}_g)^2},$$

kde K je počet opakovaných měření, x_i je hodnota itého měření, \bar{x}_g je aritmetický průměr všech měření.

Další složky nejistot příslušející k procesu měření

Stanovení složek nejistoty způsobem A (experimentálně)

Výčet složek nejistoty k určení vhodnosti systému měření metodou A shrnuje tabulka 8.

Tabulka 8: Nejistoty z opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření [2]

Složka nejistoty	Značka	Test/Model
Opakovatelnost s použitím součásti	u_{EVO}	Vždy se použije alespoň 5 kusů, které jsou:
Efekt změny operátora při podmínkách reprodukovatelnosti měření	u_{AV}	→ měřeny minimálně 2 operátory nebo → měřeny minimálně 2 různými měřicími systémy
Reprodukovatelnost měřicího systému v místě měření	u_{GV}	Minimální rozsah výběru: 30 Odhad složek metodou ANOVA
Efekt časové změny podmínek reprodukovatelnosti měření	u_{STAB}	Není-li přítomen vliv operátora, zvýší se počet měřených součástí
Interakce	u_{Iai}	

Stanovení složek nejistoty nezahrnutých do experimentu

Kromě odhadovaných složek nejistoty měřicího systému a odhadovaných složek nejistoty procesu měření se mají stanovit další následující složky nejistoty s použitím matematických modelů.

Zjištění nehomogenity dílu u_{OBJ}

Odhad nejistoty vlivem nehomogenity dílu se určí ze vztahu:

$$u_{OBJ} = \frac{a_{OBJ}}{\sqrt{3}},$$

kde a_{OBJ} je největší dovolená nebo očekávaná chyba způsobená objektem.

Zjištění vlivu teploty u_T

Odhad nejistoty způsobené vlivem teploty lze vypočítat podle vzorce:

$$u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2}$$

Nejistota teplotních rozdílů u_{TD} by se např. mohla odhadnout ze vztahu:

$$u_{TD} = \frac{\Delta T \cdot \alpha \cdot l}{\sqrt{3}},$$

kde α je koeficient roztažnosti; ΔT je rozdíl teplot; předpokladem je rovnoměrné rozdělení.

Nejistotu koeficientů roztažnosti je možno odhadnout lze odhadnout ze vztahu:

$$u_{TA} = \frac{u_{\alpha \cdot l} \cdot |T - 20^\circ\text{C}|}{\sqrt{3}},$$

kde T je průměrná teplota během měření; u_{α} je nejistota koeficientu roztažnosti; l je pozorovaná hodnota měřené délky.

Opakovatelnost a vychýlení na více referenčních etanolech

Zjištění opakovatelnost a vychýlení na více referenčních etanolech lze provést minimálně na třech referenčních etanolech, postupuje se ve třech krocích:

1. Provedou se minimálně tři opakovaná měření. Nejmenší rozsah výběru je 30.
2. Provede se regresní analýza a posoudí se, zda je reziduální směrodatná odchylka v rozmezí měření konstantní.
3. Provede se analýza rozptylu ANOVA, odkud lze odhadnout složky nejistoty u_{EVR} a u_{LIN} .

Vztah pro model regresní přímky je: $y_{ij} = \beta_i + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_{ij}$

2.2.3 Výpočet kombinované nejistoty

Kombinovaná standardní nejistota měřicího systému se odhadne podle vzorce:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2}, \text{ kde } u_{MP} = \max\{u_{EVR}, u_{RE}\}$$

Podobně se odhadne i kombinovaná standardní nejistota procesu měření:

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2 + u_{AV}^2 + u_{GV}^2 + u_{STAB}^2 + u_{OBJ}^2 + u_T^2 + u_{REST}^2 + \sum_i u_{IAi}^2},$$

kde $u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{EVO}, u_{RE}\}$

2.2.4 Výpočet rozšířené nejistoty

Rozšířenou nejistotu U_{MS} lze získat ze standardní nejistoty u_{MS} vynásobením koeficientem rozšíření k podle vztahu:

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS}$$

Stejným postupem se získá i rozšířená nejistota U_{MP} ze standardní nejistoty u_{MP} :

$$U_{MP} = k \cdot u_{MP}$$

Výpočet z rozšířené nejistoty vychází z přibližného 95% konfidenčního intervalu, proto se používá koeficient rozšíření $k=2$. Pokud je rozsah výměru menší než doporučených 30 hodnot, je nutné použít k odhadu rozšířené nejistoty místo normovaného normálního Studentovo t rozdělení.

2.2.5 Výpočet výkonnostních poměrů a ukazatelů způsobilosti

Výpočet výkonnostních poměrů

Rozlišujeme mezi výkonnostním poměrem měřicího systému Q_{MS} a procesu měření Q_{MP} . Norma doporučuje, aby Q_{MS} nepřesáhlo hodnotu 15 % a Q_{MP} hodnotu 30 %. Pro nejistotu vypočtených poměrů bychom měli vypočítat 95 % konfidenční interval.

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{U - L} \cdot 100 (\%)$$

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{U - L} \cdot 100 (\%)$$

Vzorci využívají toleranční pole (U-L) jako referenci.

Výpočet ukazatelů způsobilosti

Oba ukazatelé způsobilosti (pro systém i proces) mohou být vypočítány podle obecné definice ukazatele způsobilosti uvedené v ISO 3534-2:2006.

Způsobilost měřicího systému lze vyjádřit jako ukazatel způsobilosti označený jako C_{MS} .

$$C_{MS} = \frac{0,3 \cdot (U - L)}{6\hat{u}_{MS}}$$

Způsobilost procesu měření lze vyjádřit jako ukazatel způsobilosti označený jako C_{MP} .

$$C_{MP} = \frac{0,3 \cdot (U - L)}{6\hat{u}_{MP}}$$

Norma doporučuje, aby C_{MS} a C_{MP} přesahovali hodnotu 1,33. [27]

Srovnání způsobilosti procesu měření a způsobilosti výrobního procesu

VDA 5 v této části zjišťuje parametr skutečné způsobilosti procesu výroby ($C_{p,real}$) az parametru způsobilosti procesu výroby ($C_{p,obj}$) v závislosti na Q_{MS} .

U normy ČSN jsou navíc parametry $P_{p,obs}$ a $P_{p,p}$, kvůli zjištění ukazatele způsobilosti procesu měření (C_{MP}), který u metodiky VDA 5 zcela chybí, u normy ČSN jde tedy o jednu tabulku navíc pro určení C_{MP} z pozorované C-hodnoty. Dále se zde liší značení hodnoty způsobilosti procesu ($C_{p,obj}$ u VDA 5 a $C_{p,obs}$ u normy ČSN viz obrázek 9).

Mezi pozorovanou způsobilostí nebo výkonnostním poměrem ($C_{p,obs}$ $P_{p,obs}$), skutečnou způsobilostí procesu ($C_{p,p}$ $P_{p,p}$) a výkonnostním poměrem Q_{MP} platí vztah:

$$C_{p;p} = \left(\frac{1}{C_{p,obs}^2} - 2,25 \cdot Q_{MP}^2 \right)^{-0,5}$$

Předpoklady použití tohoto vztahu jsou téměř totožné s podmínkami u VDA:

- hodnoty měřeného znaku mají normální rozdělení
- výrobní proces je normálně rozdělený a ve statisticky zvládnutém stavu
- výrobní ukazatel C_p je založen na 97,73% intervalu reprezentovaném šířkou 6σ
- oblast nejistoty je vzhledem k mezním hodnotám symetrická
- koeficient rozšíření pro výpočet kombinované nejistoty je 2
- směrodatná odchylka je $s_{obs}^2 \sim (\sigma_p^2 + \sigma_{MP}^2) \chi^2(v)$

kde σ_p^2 značí směrodatnou odchylku výrobního procesu a σ_{MP}^2 směrodatnou odchylku procesu měření

Neustálé ověřování stability procesu měření

Neustálé ověřování stability a ověřování linearity (pomocí regresní funkce) se až na drobnosti shodují se stejnojmennými postupy z metodiky VDA 5, kromě značení veličin u výpočtu regulačních mezí v ověřování linearity.

Ověřování linearity

Vyskytne-li se během výpočtu podezření na linearitu měřicího systému a regresní analýza byla experimentálně určena, norma obsahuje metodu pro neustálé sledování linearity měřicího systému.

Pro neustálé sledování měření použijeme vhodný regulační diagram. Ten vygeneruje signál, je-li regresní funkci nutno změnit. Následně se vypočítají kontrolní meze podle následujícího postupu:

1. Výpočet regulačních mezí etalonu

$$\text{Horní regulační mez: } U_{CL} = \frac{\hat{\sigma}}{\beta_1} \cdot t_{\left(\frac{1-\varepsilon}{2.K}\right)} \cdot (n \cdot K - 2)$$

$$\text{Dolní regulační mez: } L_{CL} = \frac{\hat{\sigma}}{\beta_1} \cdot t_{\left(\frac{1-\varepsilon}{2.K}\right)} \cdot (n \cdot K - 2)$$

2. Výběr m etalonů

Vybere se K referenčních etalonů (nejméně 2 etalony) takovým způsobem, že jejich pravé hodnoty pokrývají oblast hodnot, které se též vyskytují v průběhu skutečné výroby.

3. Opakovaná měření etalonů

Každý etalon je naměřen například ve všech dnech pracovního týdne.

4. Transformace p naměřených hodnot K etalonů

Naměřené hodnoty (v počtu p) m etalonů jsou transformovány pomocí regresní funkce:

$$x = \frac{y - \beta_0}{\beta_1}$$

Následně je vždy vypočítán rozdíl (diference) mezi pravou hodnotou a transformovanou hodnotou.

5. Znázornění rozdílů v regulačním diagramu

Kolem časové osy jsou znázorněny difference stanovené v kroku 4.

6. Rozhodnutí o validitě regresní funkce

Toto rozhodnutí závisí na tom, zda všechny difference všech etalonů leží uvnitř regulačních mezí.

Způsobilost procesu měření pro diskrétní veličiny

Pro výpočet způsobilosti bez použití referenčních hodnot se dle ČSN používá stejná metoda výpočtu jako v metodice VDA. Pro výpočet způsobilosti s použitím referenčních hodnot je také naprosto stejný postup. Rozdíl je jen ve značení.

Neustálé ověřování vhodnosti procesu

Také neustálé ověřování vhodnosti procesu je dle normy ČSN stejné jako v metodice VDA 5. Opět je rozdíl pouze ve značení.

2.3 Metodika hodnocení způsobilosti podle metodiky MSA

Metodika MSA slouží pro ověření způsobilosti daného systému měření a používá tyto postupy:

- posouzení vhodnosti užití měřidel pro daný účel (produkt)
- posouzení vhodnosti užití měřidel pro dané prostředí (pracoviště, proces)
- posouzení postupů měření
- posouzení způsobilosti osob, které měření provádějí.

Metodika je určena zejména pro procesy měření, kde existuje možnost opakovatelnosti.

Z hlediska reálné aplikace je MSA ověřovacím nástrojem, jímž lze potvrdit správné nasazení systému měření v konkrétní aplikaci. [14]

2.3.1 Systém měření

Systém měření může být sledován z hlediska polohy nebo rozptylu hodnot, jak již bylo uvedeno na začátku práce. Variabilita hodnot z hlediska polohy bývá způsobena systematickými chybami, tyto chyby a jejich příčiny je možno zcela odstranit. Variabilita z hlediska polohy je charakterizována stranností, stabilitou a linearitou.

Z hlediska rozptylu je variabilita způsobena chybami náhodnými, takové chyby nelze snadno odstranit, ale mohou být redukovány. Sem patří zejména dvě charakteristiky, a to opakovatelnost a reprodukovatelnost, všechny výše uvedené charakteristiky byly již popsány na začátku práce v části „Terminologie“.

Pro posouzení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (R&R, GRR) a dalších ukazatelů je používána:

- metoda rozpětí,
- metoda průměru a rozpětí,
- metoda ANOVA. [24]

Metoda rozpětí

Metoda založená na rozpětí je modifikovaná studie měřidla spojitých proměnných, která umožní rychlou aproximaci variability měření. Tato metoda poskytuje pouze celkový obraz o systému měření. Metoda rozpětí vypočítává pouze hodnoty ukazatelů R&R. Nerozkládá variabilitu na opakovatelnost a reprodukovatelnost. Běžně se používá pro rychlou kontrolu, aby se ověřilo, že nedošlo ke změně GRR.

Metoda průměru a rozpětí

Metoda založená na průměru a rozpětí je způsob, který poskytuje odhad jak opakovatelnosti, tak i reprodukovatelnosti systému měření. Dovoluje rozložit variabilitu systému měření na dvě samostatné složky, opakovatelnost a reprodukovatelnost, avšak nevyjádří jejich interakci.

Metodu můžeme aplikovat jako:

1. metodu průměru a rozpětí včetně regulačních diagramů
2. metodu průměru a rozpětí (X & R)

Metoda ANOVA

Metoda ANOVA rozkládá variabilitu systému měření na dvě samostatné složky, opakovatelnost a reprodukovatelnost, včetně vyjádření jejich interakce.

Vyhodnocení výsledků

Vyhodnocení výsledků se provádí grafickými metodami nebo metodami numerickými či použitím obojího.

Hodnocení se provádí grafickou metodou:

- diagram pro průměr
- diagramy pro rozpětí
- diagram pro iterace
- bodový diagram
- diagram s „vousy“
- diagramy chyb Histogram normovaných hodnot

Numerická metoda vyhodnocuje:

- opakovatelnost - variabilita zařízení EV
- reprodukovatelnost - variabilita operátora AV / σA
- variabilita systému měření - Opakovatelnost / Reprodukovatelnost GRR / σM
- variabilita mezi díly PV / σP
- celková variabilita TV / σT
- stanovení počtu kategorií - citlivost systému měření [23]

Pro svou jednoduchost je nejpoužívanější metoda rozpětí, k jejímu použití nejsou totiž potřebné hlubší znalosti statistiky (jde o odečítání hodnot). Výstupem této metody je hodnota GRR, či R&R, která umožňuje posouzení vhodnosti systému měření. U vhodného systému měření je tato hodnota menší nebo rovna 10%, nepoužitelný systém měření se vyznačuje hodnotou větší nebo rovno 30%. Pokud vyjde hodnota GRR mezi těmito mezními stavy, systém měření může vyhovovat, ale záleží na konkrétní situaci a aplikaci. [24]

2.3.2 Statistické vlastnosti systému měření

Ideální systém měření by při každém použití produkoval pouze „správná“ měření. Bohužel k tomuto jevu zřídka dochází, takže osoby řídící proces jsou běžně nuceny používat systém měření, které mají méně žádoucí statistické vlastnosti. Ostatní vlastnosti jako např. náklady, snadnost užití apod. jsou samozřejmě také důležité, přispívají sice k celkové vhodnosti. Kvalitu systému měření však určují statistické vlastnosti získaných dat. Existují zde určité základní vlastnosti, které definují „správný“ systém měření:

- Odpovídající práh citlivosti a citlivost. Obecně platí, že práh citlivosti by měl rozdělit toleranci (nebo variabilitu procesu) na deset a více částí
- Systém by měl být ve statisticky zvládnutém stavu, tedy při opakovaných podmínkách je variabilita systému měření způsobena pouze náhodnými (nikoli zvláštními) příčinami.
- V případě řízení produktu musí být variabilita systému měření v porovnání s mezními

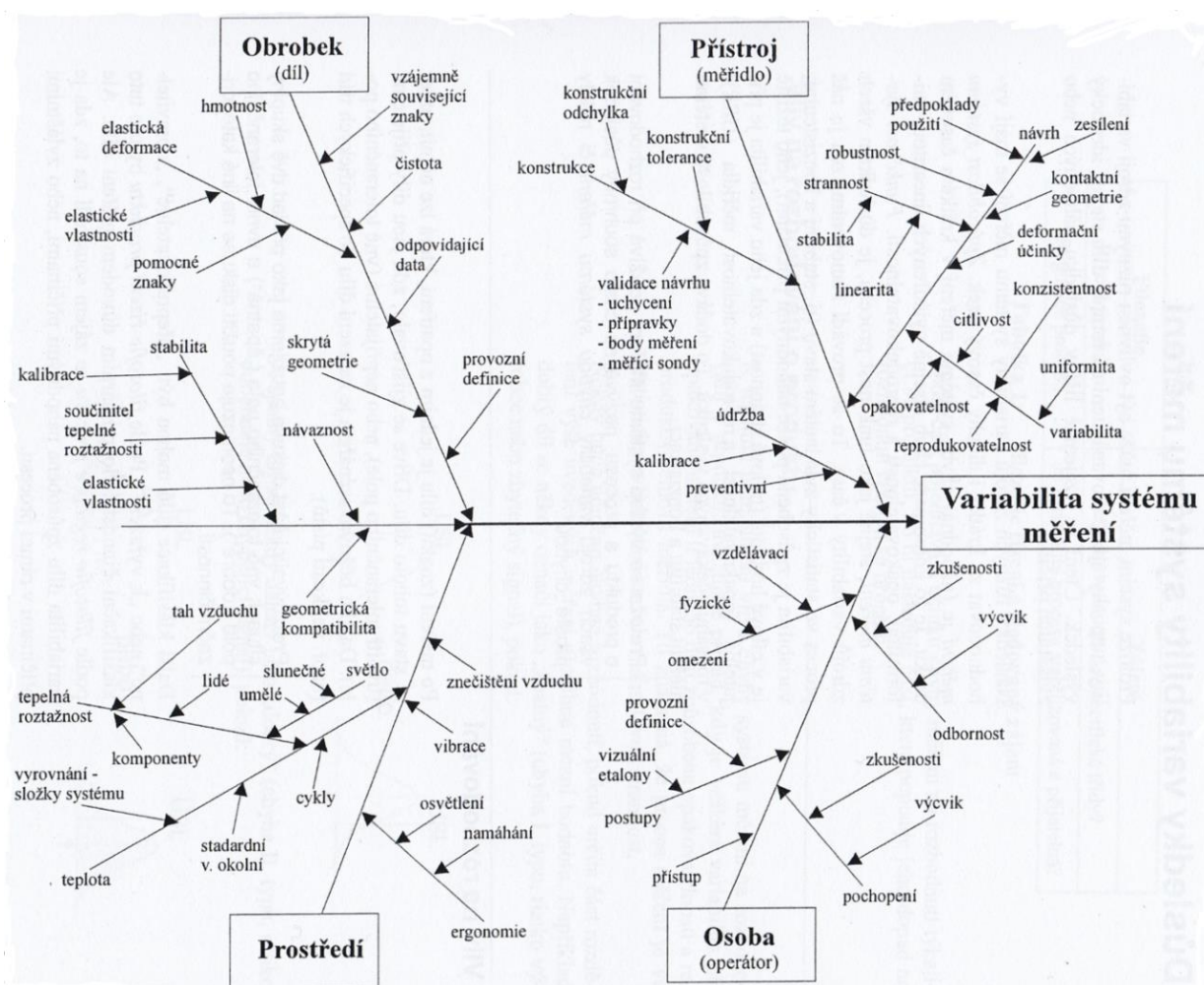
hodnotami danými specifikací malá. Posouzení se provede vzhledem k toleranci stěžejního znaku.

- V případě regulace procesu by variabilita systému měření měla prokazovat efektivní rozlišitelnost a být malá v porovnání s variabilitou výrobního procesu. Posouzení se provede k variabilitě procesu 6σ a/nebo k celkové variabilitě podle MSA. [1]

2.3.3 Zdroje variability

Jako všechny procesy je i proces měření ovlivněn jak náhodnými, tak systematickými zdroji variability. Specifické příčiny obvykle závisí na situaci, přesto existuje systém prezentace a kategorizace těchto příčin. Označují se zkratkou je S.W.I.P.E. a vyjadřují šesti základních prvků obecného systému měření. Písmena ve zkratce značí: Etalon, Obrodek, Příklad, Osobu, Postup a Prostředí. Diagram příčin a následků uvádí některé zdroje variability (viz obrázek 12). Je uváděn jako výchozí pomůcka pro vypracování zdrojů variability systému měření.

Obrázek 12: Diagram příčin a následků variability systému měření [1]

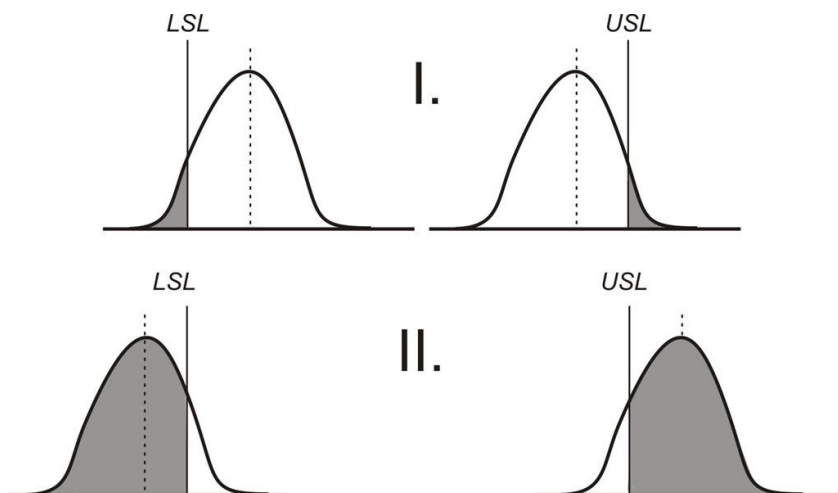


2.3.4 Vliv na rozhodování o produktu

Pokud je měření ve statisticky zvládnutém stavu s nulovou stranností a veškerá variabilita při opakovaném čtení u jednoho dílu je způsobena pouze opakovatelností a reprodukovatelností měřidla. I v takovém případě může být učiněno chybné rozhodnutí,

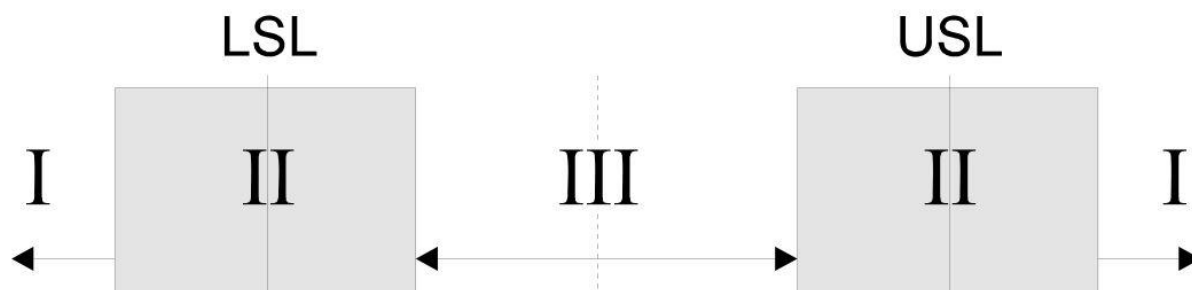
pokud určitá část rozdělení výše uvedených přesáhne mezní hodnotu. Například se „dobrý“ díl označí jako „špatný“ (tzv. chyba I. druhu neboli riziko výrobce). Naopak „špatný“ díl se někdy označí jako „dobrý“ (tzv. chyba II. druhu neboli riziko odběratele – oba případy viz obrázek 13). [1]

Obrázek 13: Rozhodnutí o přijetí/nepřijetí produktu [1]



Vzhledem k mezním hodnotám daným specifikací to znamená, že možnosti učinit chybné rozhodnutí o dílu existuje pouze tehdy, pokud chyba systému měření protíná mezní hodnoty dané specifikací (LSL a USL). Z toho vyplývá, že získáváme tři oblasti pro rozhodování (viz obrázek 14).

Obrázek 14: Rozložení pásem přijetí/nepřijetí produktu [1]



kde:

- I - špatné díly jsou vždy označeny jako špatné
- II - může být učiněno případné chybné rozhodnutí
- III - dobré díly jsou označeny jako dobré

Protože cílem je samozřejmě maximalizovat správná rozhodnutí týkající se stavu produktu, nabízejí se dvě možnosti řešení:

- zlepšit výrobní proces: snížit variabilitu procesu tak, aby žádný díl nebyl vyráběn v oblastech II,
- zlepšit systém měření: snížit chybu systému měření tak, aby se snížila velikost oblastí II, takže všechny vyráběné díly budou svojí hodnotou ležet v oblasti III (případně I).

2.3.5 Vliv na rozhodování o procesu

Při regulaci procesu je třeba splnit tyto požadavky:

- aplikovat statistickou regulaci
- těžiště procesu lokalizovat do cílové hodnoty
- dosáhnout přijatelnou variabilitu

Variabilita systému měření může ovlivnit rozhodnutí týkající se stability, cílové hodnoty a variability procesu. Základní vztah mezi variabilitu skutečného a pozorovaného procesu dokumentuje obrázek 15.

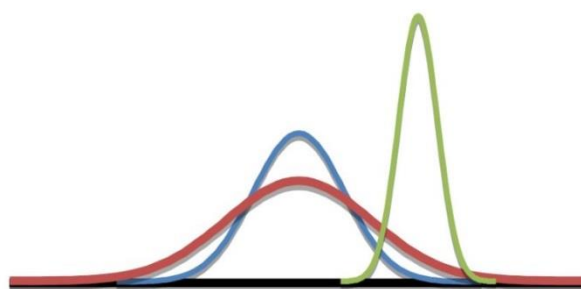
Obrázek 15: Vztah variability skutečného a pozorovaného procesu [5]

$$\sigma_{\text{pozorovaný}}^2 = \sigma_{\text{skutečný}}^2 + \sigma_{\text{MSA}}^2$$

$\sigma_{\text{pozorovaný}}^2$ = rozptyl pozorovaného procesu,

$\sigma_{\text{skutečný}}^2$ = rozptyl skutečného procesu,

σ_{MSA}^2 = rozptyl systému měření.



Pro ukázkou tohoto postupu, bude použit vztah pro ukazatel způsobilosti C_p , který je definován jako:

$$C_p = \frac{\text{šíře tolerančního pole}}{6\sigma}$$

Tento vztah lze nahradit rovnicí pro zjištění vztahu mezi ukazateli pozorovaného procesu a skutečného procesu takto:

$$(C_p)_{\text{pozorovaný}}^{-2} = (C_p)_{\text{skutečný}}^{-2} + (C_p)_{\text{MSA}}^{-2}$$

Předpokládá se, že je systém ve statisticky zvládnutém stavu a svým těžištěm lokalizován v cílové hodnotě C_p skutečného procesu graficky porovnat s C_p pozorovaného procesu.

Proto je způsobilost pozorovaného procesu kombinací skutečného procesu a variability vyvolané procesem měření. Dosažení cílové způsobilosti specifického procesu by vyžadoval sledování variability měření.

Pokud by např. C_p systému měření byl 2, vyžadoval by skutečný proces ukazatel $C_p \geq 1,79$, aby vypočtený (pozorovaný) ukazatel činil 1,33. Pokud by ukazatel C_p systému měření byl roven 1,33, vyžadoval by tento proces nulovou variabilitu, aby byl konečný výsledek 1,33 (což je neuskutečnitelné). [1]

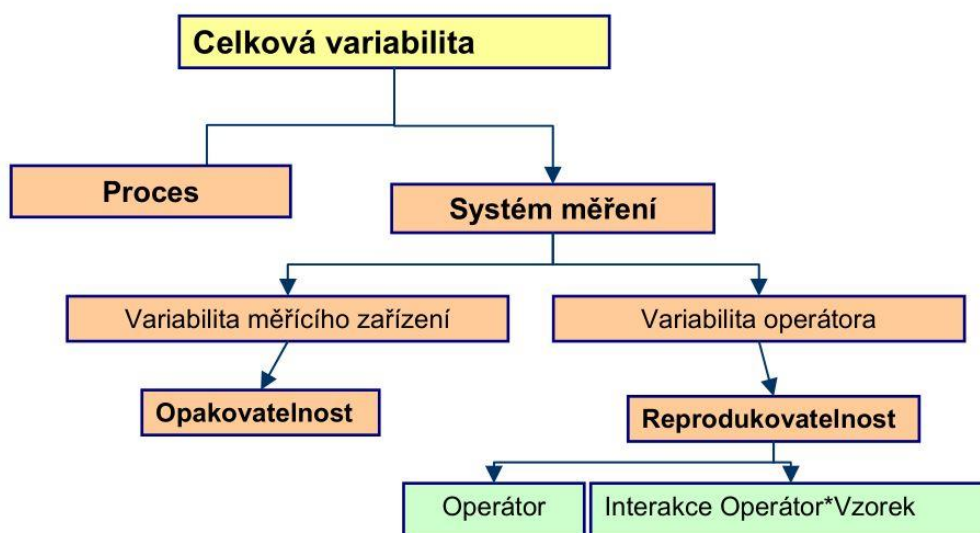
Při zkoumání systému měření narážíme na dva problémy:

a) Variabilita systému měření - R&R studie

- Opakovatelnost - variabilita výsledků měření vyprodukovaná jedním měřícím přístrojem, použitým opakovaně jedním hodnotitelem měřícím jednu identickou charakteristiku na stejném výrobku

- Reprodukovatelnost - variabilita v průměrech měření provedených různými hodnotiteli za pomoci stejného měřicího přístroje pro měření stejné charakteristiky na stejném výrobku (pokud máme více měřidel, můžeme hovořit o reprodukovatelnosti měřidel – místo operátora měníme měřidla).
- b) Poloha výsledků – studie linearity a strannosti (srovnání s etalony nebo o řád přesnějšími měřidly)
- Přesnost – strannost (vychýlení) - rozdíl mezi napozorovaným průměrem a referenční hodnotou
 - Stabilita - celková variabilita v měřeních získaná měřicím systémem na stejném normálu nebo při měření jediné charakteristiky v delším časovém úseku.
 - Linearita - rozdíl mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu měřidla (vše viz obrázek 16).

Obrázek 16: Rozložení celkové variability [34]



2.3.6 Regulace procesu („experiment úzkého hrdla“)

Při výrobních operacích se často k ověření, zda je proces těžištěm lokalizován do cílové hodnoty, používá pouze jediný díl. Leží-li hodnota dílu mimo cílovou hodnotu, proces se seřídí. Později se změří další díl a opět se může provést seřízení procesu. Dr. Deming nazývá tento typ měření a rozhodování „neustálým upravováním“. Při neustálém upravování procesu (kdy vlivem chyby měření, shledáme námi měřenou za nevhodnou), úpravou procesu ještě zvýšíme celkovou variabilitu daného procesu. Experiment „úzkého hrdla“ tedy vede ke čtyřem pravidlům:

1. Není-li proces stabilizován, neprovádějte žádné seřízení nebo nepřijímejte opatření.
2. Seřízení procesu proveďte ve stejném rozsahu a opačném směru, než v jakém bylo provedeno při posledním měření procesu.
3. Znovu seřídte proces na cílovou hodnotu. Poté upravte proces ve stejném rozsahu a v opačném směru od cílové hodnoty.
4. Seřídte proces na bod posledního měření

Pravidla 2, 3 a 4 mají za následek postupné zvýšení variability procesu. Pro zajištění minimální variability procesu slouží pravidlo 1. [1]

2.3.7 Strategie a plánování měření

Plánování je klíčový prvek před navrhováním a nákupem měřicích zařízení. Mnoho rozhodnutí učiněných ve fázi plánování by mohlo nepříznivě ovlivnit směr a volbu měřicích zařízení. Tato fáze má navíc veliký vliv na to, jak bude systém měření fungovat a může snížit případné problémy a chyby měření. Ne všechny procesy měření musí projít fází plánování. Jednoduché standardní měřicí přístroje (mikrometry, posuvná měřidla) nemusí vyžadovat důkladnou strategii a plánování.

V případě plánování měření je podstatné, aby měřený znak součásti byl identifikován v plánu kontroly a řízení nebo bylo určeno, zda je měřený znak důležitý při stanovení přijatelnosti produktu nebo procesu. O tom, zda je daný proces měření důležitý pro stanovení přijatelnosti produktu či procesu rozhodne tým APQP (viz kap. 1.3.2). Skutečný stupeň začlenění nebo implementace kontrolních procesů a činností má být určován především konkrétním systémem měření, zohledněním řízení pomocného měřidla a kalibračním systémem a důkladnou znalostí procesu.

Postup vytvoření procesu měření je následující:

1. Identifikace účelu procesu měření
2. Životní cyklus měření
3. Stanovení kritérií pro volbu návrhu procesu měření
4. Průzkum různých metod procesu měření
5. Příprava a vypracování koncepcí a návrhů

Největší přínos z procesu měření se získá, pokud jej budeme studovat a zacházet s ním jako s procesem se vstupy a výstupy. Při pořizování měřicího zařízení je vždy dobré do plánování zapojit celý tým v rámci moderního plánování kvality APQP.

Před projednáním vývoje zajištěného dodavatelem měřidla musí být ověřen technický návrh produktu oběma stranami. Zodpovědnost na straně dodavatele nese konstruktér produktu, případně rozměrová kontrola.

2.3.8 Proces volby měřidla

Před tím, než může být potencionálnímu dodavateli zaslána žádost o předložení oficiálních nabídek, která se týká procesu měření, musí být vypracovaná detailní technická koncepce procesu měření. Tým osob, které budou zapojeny do neustálého procesu zlepšování procesu měření, má přímou odpovědnost za tuto koncepci.

Je také nutné naplánovat aspekty preventivní údržby spolu se zahájením plánování procesu měření, ta bude záviset na složitosti měřicího zařízení. Metody shromažďování dat a doporučení týkající se údržby je možné získat u výrobce, nebo je vyvinout za pomoci pracovníků konstrukce. Pro určení stability systému je třeba získat a zakreslit data týkající se funkce procesu měření v čase. Pro určení stability měření lze využít jednoduché analytické metody (analýza trendu, diagram analyzující seskupení bodů), popřípadě lze naplánovat preventivní údržbu podle vyhodnocení stability systému.

Vytvoření specifikace slouží zákazníkovi i dodavateli jako směrnice pro návrh a vytvoření procesu. Tyto směrnice nabízejí přijatelné normy, ty lze rozdělit do dvou kategorií:

- normy návrhu
- konstrukční normy

Formát norem může být různý, nejčastěji závisí na tom, kdo platí projekt. Požadovaný formát může být v některé formě CAD (Catia, IGES,..) nebo ve formě tištěných technických výkresů. Konstrukční normy uvádějí tolerance, podle kterých bude systém měření proveden.

Po obdržení nabídek od dodavatelů se má sejit tým a nabídky přezkoumat a vyhodnotit.

Produktová dokumentace

Obvyklá strategie, jež souvisí s dokumentací je včas poskytnout kompletní sadu mechanických a elektrických (CAD) návrhů technického vybavení pro proces měření. Takováto dokumentace neobsahuje nic, co se týče potenciálních bodů opotřebení, návrhu možných oblastí problémů nebo popisu, jak proces používat. Minimální informace, které se požadují pro zavedení a spuštění libovolného systému měření:

- CAD nebo tištěné výkresy, požaduje-li to tým
- procesní vývojový diagram systému
- příručky pro uživatele
 - návod k údržbě/ provozní příručka
 - seznam náhradních částí
 - návod na odstraňování závad
- instrukce pro kalibraci
- jakékoliv zvláštní aspekty

Tyto informace by měli být předány zákazníkovi před dodáním.

Úplný soubor dokumentace může navíc obsahovat:

- reprodukovatelnou sadu montážních a mechanických výkresů (CAD nebo tištěných)
- reprodukovatelnou sadu elektrického zapojení, logická schémata a software
- seznam navrhovaných náhradních dílů pro náročný provoz
- návody pro údržbu
- příručky definující technické požadavky na seřízení a provoz
- diagnostické stromy a návod na odstranění závad
- osvědčení

Kvalifikace dodavatele

Před expedicí k zákazníkovi se má měřidlo pokud možno podrobit rozměrové a úplné zkoušce u dodavatele. Ta by měla být dokumentována a k dispozici zákazníkovi. Po úspěšné rozměrové zkoušce by měla následovat oficiální analýza systému měření, přičemž by si zákazník s dodavatelem měli určit, o jaký druh analýzy se v tomto bodě bude jednat. [1]

Kvalifikace u zákazníka

Obecně platí, že to, co bylo provedeno za účelem posouzení systému měření u dodavatele, by mělo být stejným způsobem provedeno i u zákazníka po dokončení dodávky. Předtím má být systém podroben ještě úplné rozměrové kontrole, pro potvrzení konstrukčních požadavků. Při porovnání výsledků před a po expedici se nutně mít na paměti, že se patrně vyskytnou rozdíly způsobené rozdílností těchto systémů měření.

2.3.9 Problematika měření

Existují určité základní vlastnosti, které definují „správný“ systém měření, mezi ně patří:

1. Systém musí prokázat odpovídající práh citlivosti a citlivost,
 - Má přístroj (a etalon) odpovídající práh citlivosti?
 - Poskytuje systém efektivní rozlišitelnost?
2. Systém musí být ve statisticky zvládnutém stavu,
 - V podmínkách opakovatelnosti je variabilita systému měření způsobena pouze náhodnými příčinami, nikoli zvláštními příčinami,
 - Osoba provádějící analýzu měření musí vždy uvážit praktický a statistický význam.
3. V případě řízení produktu musí být variabilita systému měření v porovnání s mezními hodnotami danými specifikací malá,
4. V případě regulace procesu by variabilita systému měření měla prokazovat efektivní rozlišitelnost a být v porovnání s malá s variabilitou výrobního procesu.

Potencionální zdroje variability

Etalon

Etalon je cokoliv, co bylo na základě obecného souhlasu přijato jako základ pro porovnání; přijatý model. Může to být artefakt nebo soubor (přístroje, postupy atd.), který vymezil a vypracoval určitý úřad jako pravidlo pro měření množství, hmotnosti, rozsahu hodnoty nebo kvality.

Referenční etalon – má obecně největší metrologickou kvalitu, která je v dané lokalitě k dispozici; od něho se odvozují měření uskutečňovaná v této lokalitě.

Kalibrační etalon – etalon, jenž slouží jako reference pro provádění běžné kalibrace. Je určen ke kompenzaci pracovního zatížení při kalibraci referenčních etalonů laboratoře.

Hlavní etalon – etalon, který se používá jako reference v kalibračním procesu. Může být rovněž nazýván jako referenční nebo kalibrační etalon.

Pracovní etalon – etalon, jenž je určen k provádění běžných měření v laboratoři; není určen k tomu, aby sloužil jako kalibrační etalon, ale lze ho využívat jako porovnávací etalon.

Kontrolní etalon – artefakt měření, který těsně připomíná to, co se v procesu navrhuje, aby se měřilo, ale ve své podstatě je mnohem stabilnější než proces měření, který se hodnotí.

Práh citlivosti

Práh citlivosti je velikost změny vzhledem k referenční hodnotě, kterou může přístroj zjistit a věrně indikovat (rovněž se označuje jako čitelnost či rozlišitelnost). Mírou této schopnosti je běžně hodnota nejmenšího dílku na stupnici přístroje.

Důsledky nepřiměřeného prahu citlivosti se mohou projevit v diagramu pro rozpětí. Systém se tak může zdát, že je zvládnut, i když tomu tak není. Obvykle se doporučuje, aby zjevná rozlišitelnost představovala nejvýše jednu desetinu celkové směrodatné odchylky (six Sigma) celého procesu.

Koordinace ustavovacích ploch

V ideálním případě současným rozšiřováním aplikace geometrického dimenzování a tolerování musí být ustavovací plochy koordinovány (tj. být identické) v celém průběhu výrobního procesu a systému měření, přičemž tento předpoklad musí být stanoven ve velmi rané etapě APQP.

Neodpovídají-li ustavovací plochy během celého výrobního procesu, může dojít k měření chybných věcí, což vede k neúčinné regulaci výrobního procesu.

Druhy variability systému

Jedním z hlavních cílů studie systému měření je zjištění druhů variability měření a jejich rozsah. Tyto informace jsou velmi cenné a je mnohem praktičtější získat opakovatelnost a strannost kalibrace a stanovit jejich odpovídající meze než zajistit mimořádně přesná měřidla s vysokou opakovatelností. Aplikování takovéto studie poskytuje:

- kritérium pro přijetí nového zařízení
- vzájemné porovnání jednoho měřicího zařízení s dalšími
- základ pro vyhodnocení měřidla, u něhož je podezření, že je vadné
- porovnání měřicích zařízení před a po opravě
- požadovanou složku pro výpočet variability procesu a úroveň přijatelnosti výrobního procesu
- informace pro vypracování operativní charakteristiky měřidla GPC (Gage Performance Curve), která udává pravděpodobnost přijetí dílu o určité pravé hodnotě.

Metodika MSA rozlišuje následující druhy variability systému:

- variabilita procesu měření
- variabilita polohy rozdělení
- variabilita šíře
- variability systému měření

Jednotlivé druhy variability jsou popsány dále.

Variabilita procesu měření

Obvykle se celková variabilita procesů měření popisuje normálním rozdělením. Existují ale také systémy, které nemají normální rozdělení. Pokud nastane tato situace a pracuje se s normálním rozdělením, může metoda MSA nadhodnotit chybu systému měření. Odpovědná osoba provádějící analýzu měření musí rozpoznat a opravit vyhodnocené chyby systému měření.

Variabilita polohy rozdělení

Dále jsou uvedeny jednotlivé složky variability polohy rozdělení.

Přesnost (Accuracy)

Jde o geometrický pojem přesnosti související s těsností shody mezi průměrnou hodnotou jednoho nebo několika naměřených výsledků a referenční hodnotou.

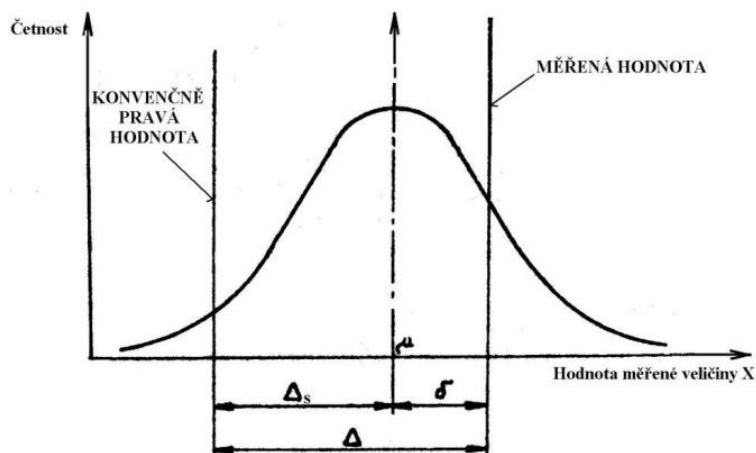
Strannost (Bias)

Strannost se často nazývá „přesnost“. Je to rozdíl mezi pravou (referenční) hodnotou a pozorovanou průměrnou hodnotou měření provedených na témže znaku téhož dílu. Strannost je míra systematické chyby systému měření a přispívá k celkové variabilitě (viz obrázek 17).

Možné příčiny nadměrné strannosti:

- přístroj je třeba kalibrovat
- opotřebený přístroj
- opotřebený nebo poškozený hlavní etalon
- nesprávná kalibrace či nesprávné použití hlavního etalonu
- špatná kvalita přístroje
- chyba linearity
- špatné měřidlo pro danou aplikaci
- odlišná metoda měření
- měření nesprávného znaku
- deformace (měřidla nebo části)
- prostředí – teplota, vlhkost, vibrace, čistota
- aplikace – velikost dílu, poloha, odbornost obsluhy, únava, chyba pozorování

Obrázek 17: Variabilita polohy – strannost [37]



Stabilita

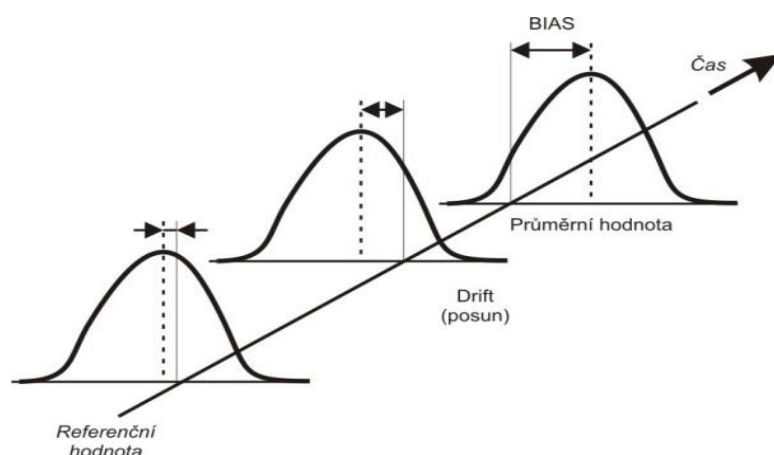
Stabilita (nebo také drift) je celková variabilita výsledků měření, získaných systémem měření pro stejný hlavní etalon nebo díly, pokud se provádí měření jednoho znaku v dostatečně dlouhém časovém úseku. To znamená, že stabilita je změna strannosti v čase. Stabilizovaný proces měření ve statisticky zvládnutém stavu vzhledem k poloze a je tedy stálý (viz obrázek 18).

Možné příčiny nestability:

- přístroj vyžaduje kalibraci
- opotřebený přístroj, zařízení nebo přípravek
- běžné stárnutí nebo zastarání
- špatná údržba – pneumatická část, hydraulika, napájení, filtry, koroze, rez

- opotřebený nebo poškozený hlavní etalon
- nesprávná kalibrace nebo použití hlavního etalonu
- špatná kvalita přístroje
- návrh přístroje nebo metoda nejsou odolné
- odlišná metoda měření
- deformace (části nebo měřidla)
- variabilita prostředí (teplota, vlhkost, vibrace, čistota)
- porušení předpokladu, chyba použité konstanty
- aplikace – velikost dílu, poloha, odbornost obsluhy, únava, chyba pozorování

Obrázek 18: Stabilita – změna strannosti v čase [39]



Linearita

Linearita (Linearity) je rozdíl strannosti v běžném pracovním rozsahu. Je to složka systematické chyby měření. Lze ji považovat za změnu strannosti vzhledem k velikosti.

Možné příčiny chyby linearity:

- přístroj vyžaduje kalibraci
- opotřebený přístroj, zařízení nebo přípravek
- špatná údržba – pneumatická část, hydraulika, napájení, filtry, koroze, rez
- opotřebený nebo poškozený hlavní etalon
- nesprávná kalibrace nebo použití hlavního etalonu
- špatná kvalita přístroje
- návrh přístroje nebo metoda nejsou odolné
- deformace (části nebo měřidla)
- variabilita prostředí (teplota, vlhkost, vibrace, čistota)
- porušení předpokladu, chyba použité konstanty
- aplikace – velikost dílu, poloha, odbornost obsluhy, únava, chyba pozorování

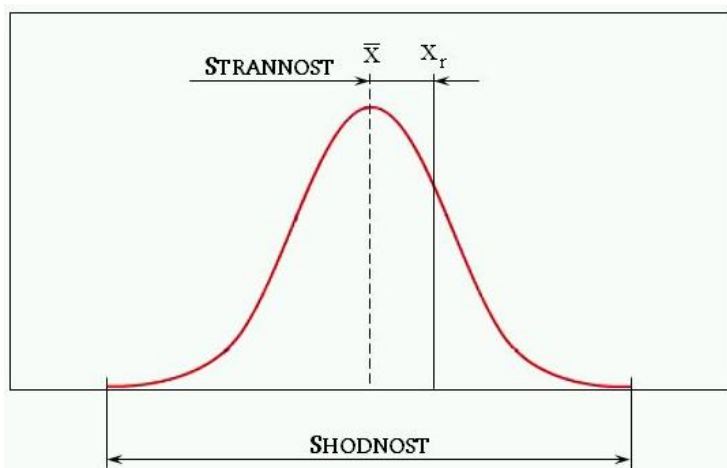
Variabilita šíře

Složky variability šíře jsou popsány dále.

Shodnost

Shodnost (Precision) je „těsnost“ opakovaných odečtů jednoho výsledku k druhému. Obvykle popisuje celkový účinek prahu citlivosti, citlivosti a opakovatelnosti. Složka náhodné chyby systému měření. Bývá zaměňována s opakovatelností. Není to ovšem to samé, dalo by se říci, že je shodnost vůči opakovatelnosti, jako je linearita vůči strannosti. Z obrázku 19 je patrný rozdíl mezi stranností a shodností.

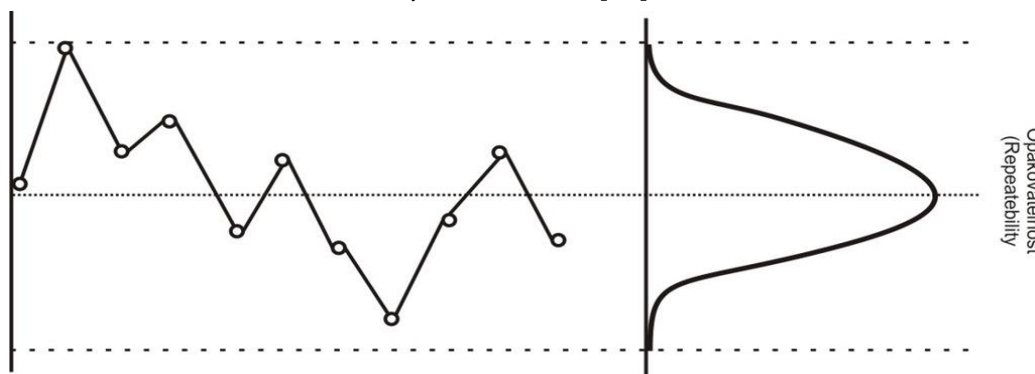
Obrázek 19: Rozdíl mezi shodností a stranností [40]



Opakovatelnost

Opakovatelnost (Repeatability) označovaná jako „variabilita operátora“ je variabilita měření získaných jedním měřicím přístrojem, pokud jej operátor použije několikrát při měření identické charakteristiky u téhož dílu. Je to variabilita po sobě jdoucích (krátkodobých) zkoušek za konstantních a definovaných podmínek. Opakovatelnost bývá označována jako EV – variabilita zařízení nebo také jako variabilita uvnitř systému (viz obrázek 20). Ve skutečnosti je opakovatelnost rozptylem vyvolaným náhodnými příčinami (chybami) v po sobě následujících zkouškách.

Obrázek 20: Variabilita šíře – opakovatelnost [39]



Možné příčiny chyby linearity:

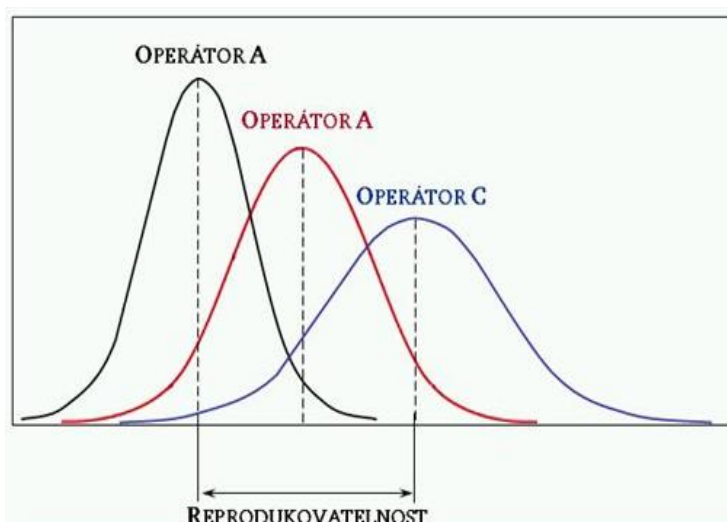
- uvnitř dílu: forma, poloha, povrchová úprava, zkosení
- uvnitř přístroje: oprava, opotřebení, závada zařízení nebo přípravku, špatná kvalita, údržba

- uvnitř etalonu: kvalita, třída, opotřebení
- uvnitř metody: variabilita nastavení, technika, nulování uchycení, upnutí
- uvnitř operátora: technika, poloha, nedostatek zkušeností, odbornost při manipulaci, cit, výcvik
- uvnitř prostředí: krátkodobé výkyvy teplot, vlhkosti, vibrací, osvětlení, čistoty
- porušení předpokladu – stabilní, správný provoz
- nesprávné měřidlo pro danou aplikaci
- aplikace – velikost dílu, poloha, odbornost obsluhy, únava, chyba pozorování

Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost (Reproducibility) označována jako „variabilita mezi operátory“ je variabilita průměru měření provedených různými operátory při použití stejného měřidla při měření charakteristik stejného znaku u jednoho dílu (viz obrázek 21). Při kvalifikaci produktu a procesu může být chyba vyvolána operátorem, prostředím nebo metodou. Obecně označována jako AV – variabilita operátora nebo také variabilita mezi systémy nebo podmínkami.

Obrázek 21: Variabilita šíře – reprodukovatelnost [40]



Potenciální zdroje chyby linearity:

- mezi díly: průměrný rozdíl při měření typů dílů A, B, C atd. za použití stejného přístroje, obsluhy, metody
- mezi přístroji: průměrný rozdíl při měření typů dílů A, B, C atd. na stejných dílech, stejnou obsluhou ve stejném prostředí
- mezi etalony: průměrný vliv různých hlavních etalonů v procesu měření
- mezi metodami: průměrný rozdíl způsobený změnou bodových hustot, ručních proti automatizovaným systémům, nulování, způsoby upevnění nebo uchycení
- mezi operátory: průměrný rozdíl mezi operátory A, B, C atd. způsobený výcvikem, technikou, odborností, a zkušenostmi.
- mezi prostředími: průměrný rozdíl při měření v čase 1, 2, 3 atd., způsobený cykly prostředí
- porušení předpokladu – stabilní, správný provoz

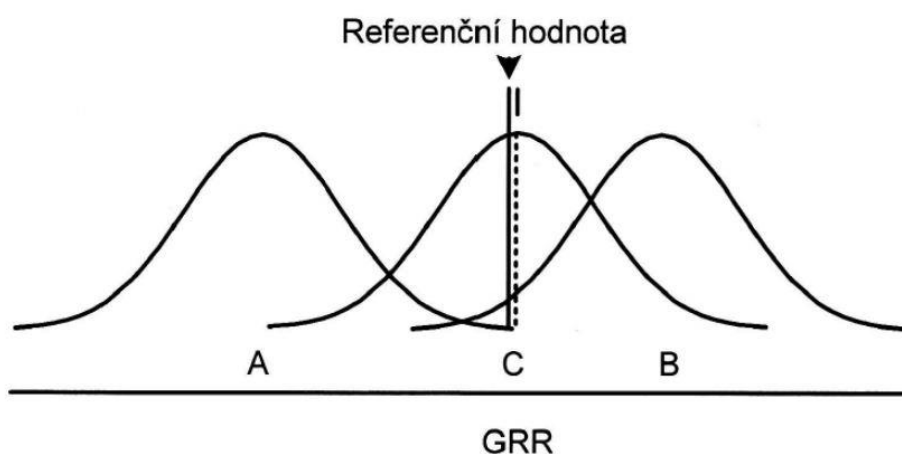
- návrh přístroje nebo metoda nejsou odolné
- účinnost školení obsluhy
- aplikace – velikost dílu, poloha, odbornost obsluhy, únava, chyba pozorování

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR)

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR nebo Gage R&R) je kombinovaný odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Jinak řečeno GRR je rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy (viz obrázek 22).

Obrázek 22: Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla [38]

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reprodukovatelnost}^2 + \sigma_{opakovatelnost}^2$$



Citlivost

Citlivost (Sensitivity) je nejmenší vstup, který způsobí zjizitelný výstupní signál. Jde tedy o schopnost reakce systému měření na změny měřeného prvku. Citlivost je určena návrhem měřidla (práh citlivosti), inherentní kvalitou, provozní údržbou a provozním stavem přístroje a etalonu.

Faktory ovlivňující citlivost:

- schopnost utlumit přístroj
- odbornost obsluhy
- opakovatelnost měřicího zařízení
- schopnost zajistit provoz bez variability a případě elektronických nebo pneumatických měřidel
- podmínky okolí: vzduch, nečistota, vlhkost

Konzistence

Konzistence (Consistency) je rozdíl ve variabilitě měření v čase (opakovatelnost v čase). Konzistentní proces měření je ve statisticky zvládnutém stavu vzhledem k variabilitě.

Faktory ovlivňující konzistenci jsou zvláštní příčiny variability, např.:

- teplota dílů
- zahřátí požadovaného elektrického zařízení
- opotřebenění zařízení

Uniformita

Uniformita (Uniformity) je rozdíl ve variabilitě v pracovním rozsahu měřidla nebo změna opakovatelnosti v běžném provozu nebo také homogenita opakovatelnosti vzhledem k velikosti.

Faktory ovlivňující uniformitu:

- přípravek dovoluje různou polohu pro menší/ větší velikosti
- špatná čitelnost stupnice
- chyba čtení [1]

Variabilita systému měření

Variabilita systému měření zahrnuje jeho způsobilost a výkonnost (viz dále).

Způsobilost

Způsobilost systému měření (Measurement system capability) je odhadem kombinované složky chyb měření (náhodných a systematických) založeném krátkodobém vyhodnocení. Zahrnuje složky:

- neopravené strannosti nebo linearity
- opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) včetně krátkodobé konzistence

Pro odhad způsobilosti měření je vyjádření očekávané chyby pro definované podmínky, použitelnost a rozsah systému měření. Vyjádření způsobilosti kombinované variability, pokud chyby nejsou korelovány lze takto:

$$\sigma_{způsobilost}^2 = \sigma_{strannost (linearita)}^2 + \sigma_{GRR}^2$$

Zde platí dvě podmínky pro pochopení aplikace způsobilosti:

- odhad způsobilosti je vždy spojen s definovanou použitelností měření – podmínkami, rozsahem a časem
- krátkodobá konzistence a uniformita (chyba opakovatelnosti) v rozsahu měření jsou zahrnuty do odhadu způsobilosti

Výkonnost

Tak jako výkonnost procesu je i výkonnost systému měření celkovým účinkem všech významných a stanovitelných zdrojů variability v čase. Výkonnost kvantitativně vyjadřuje dlouhodobé posuzování kombinovaných chyb měření (náhodných a systematických). Proto výkonnost zahrnuje složky dlouhodobé chyby:

- způsobilost (krátkodobé chyby)
- stabilita a konzistence

Odhad výkonnosti měření je vyjádřením očekávané chyby v případě definovaných podmínek, použitelnosti a rozsahu systému měření. Výraz pro výkonnost kombinované variability (rozptylu), pokud chyby měření nejsou korelovány, lze vyjádřit takto:

$$\sigma_{výkonnost}^2 = \sigma_{způsobilost}^2 + \sigma_{stabilita}^2 + \sigma_{konzistence}^2$$

Stejně tak jako krátkodobá způsobilost je i dlouhodobá výkonnost vždy spojena s definovanou použitelností měření – podmínkami, rozsahem a časem. Dlouhodobá konzistence a uniformita (chyby opakovatelnosti) v rozsahu měření jsou v odhadu výkonnosti zahrnuty.

2.3.10 Nejistota měření

Nejistota měření je termín, který se používá mezinárodně k popisu kvality hodnot měření. V podstatě je nejistota interval, který je přiřazen k výsledku měření, který popisuje rozsah, v rámci definované konfidenční úrovně, v němž se očekává, že leží pravá hodnota.

Pravá hodnota měření = pozorovaná hodnota měření (výsledek) $\pm U$

U je výraz pro „rozšířenou nejistotu“ měřené veličiny a výsledku měření. Rozšířená nejistota je kombinovaná směrodatná chyba (u_c) nebo směrodatná odchylka kombinovaných chyb (náhodných a systematických) v procesu měření, rozšířených o koeficient k (plocha rozdělení představující konfidenční úroveň).

$$U = k \cdot u_c$$

Kombinovaná směrodatná chyba (u_c) zahrnuje všechny významné složky variability procesu měření. Nejvýznamnější složku lze kvantitativně vyjádřit jako $\sigma_{\text{výkonnost}}^2$. Vzhledem k druhu měření se mohou projevit další významné zdroje chyb. Vyjádření nejistoty musí zahrnovat odpovídající rozsah použitelnosti, který identifikuje všechny významné chyby a dovoluje, aby se měření opakovala. Některá vyjádření nejistoty budou vycházet z dlouhodobé, jiné z krátkodobé chyby systému měření. Jednoduché vyjádření lze získat takto:

$$u_c = \sigma_{\text{výkonnost}}^2 + \sigma_{\text{ostatní}}^2$$

Je důležité si uvědomit, že nejistota měření je odhad, který udává, jak se může měření v čase měnit. Tento interval by měl zahrnovat všechny významné zdroje variability měření v procesu měření plus významné chyby kalibrace, hlavních etanolů, metody, prostředí a dalších.

Analýza problémů měření

Prvním krokem při řešení základních problémů musí být pochopení variability měření a příspěvku, kterým se podílí na celkové variabilitě. Nyní bude představen postup při řešení základních problémů a bude ukázáno, jak souvisejí s porozuměním problémům systému měření:

1. Identifikace problémů

Při práci se systémy měření je nutné definovat problém nebo formulovat otázky související s měřením (přesnost, variabilita, stabilita, atd.) Důležité je pokusit se oddělit variabilitu měření od variability procesu.

2. Identifikace týmu

Složení týmu závisí na složitosti systému měření a na problému.

3. Vývojový diagram systému měření a procesu

Tým by měl přezkoumat dřívější diagramy systému měření a procesu. Dále vést diskusi o známých i neznámých informacích týkajících se měření a provázanosti s procesem měření.

4. Diagram příčin a následků

Tým by měl přezkoumat dřívější diagramy příčin a následků systému měření. To by mohlo v některých případech vést alespoň částečnému nebo i úplnému řešení

problému.

5. Plánování – Provedení – Studie –Realizace (PDSA)

PDSA je forma vědecké studie, před dosažením vhodného řešení se provádí plánování experimentů, shromažďování dat, určení stability, formulace hypotéz a jejich prověření.

6. Možné řešení a důkaz o opravě

K zachycení rozhodnutí se kroky dokumentují, pro validaci tohoto řešení se připraví předběžná studie.

7. Institucionalizace změny

Konečné řešení se dokumentuje ve zprávě, poté příslušné oddělení a funkce mění příslušné procesy, tak aby se daný problém nemohl v budoucnu objevit. [1]

2.3.11 Konceptce pro posuzování systémů měření

Filozofie MSA

Fáze 1- Pochopte proces měření.

Zkoušení ve fázi 1 představuje posouzení zaměřené na ověření, zda se měří správná proměnná ve vlastní poloze znaku podle specifikace návrhu systému měření. Ověří se přípravy a upínací zařízení, jestliže se v daném případě používají. Rovněž se prověří, zda existují nějaké kritické problémy související s prostředím, které mají vliv na měření.

Ve fázi 1 se má pro vyhodnocení vlivu pracovního prostředí na parametry systému měření využít statisticky navržený experiment (zaměřený např. na strannost, linearitu, opakovatelnost a reprodukovatelnost). Výsledky testů získané ve fázi I mohou ukázat, že pracovní prostředí významně nepřispívá k celkové variabilitě systému měření. Kromě toho variabilita, kterou lze připsat strannosti a linearitě měřícího zařízení, by měla být malá v porovnání se složkami opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

Poznatky získané při zkoušení ve fázi 1 se mají použít jako vstup pro vypracování programu údržby systému měření, stejně jako druhu zkoušky, které se mají použít ve fázi 2. Problémy související s prostředím mohou vyvolat změnu polohy nebo regulovaného prostředí měřícího zařízení.

Fáze 2 – Splňuje proces měření požadavky v průběhu času?

Zkoušení ve fázi 2 umožňuje průběžné monitorování klíčových zdrojů variability pro zajištění trvalé důvěry v systém měření (a v data, která jsou tímto systémem měření generována) a/nebo vyvolání signálu, že v průběhu času došlo ke zhoršení stavu systému měření. [23]

Příprava pro studii systému měření

Před provedením studie by se měla uskutečnit přiměřená příprava a plánování. Příprava na studii by měla zahrnovat:

1. Naplánování přístupu, který se bude aplikovat (na základě technického posouzení, vizuálního pozorování nebo studie měřidla se určí, zda má operátor vliv na kalibraci nebo použití přístroje)
2. Určení počtu operátorů, počtu dílů ve výběru a počtu opakovaných čtení. Mezi

faktory, které je třeba zvážit, patří:

- a) Kritičnost rozměru – kritické rozměry vyžadují více dílů nebo zkoušek
 - b) Konfigurace dílu – objemné nebo těžké díly mohou vyžadovat méně vzorků a více zkoušek
3. Vzhledem k vyhodnocení celkového systému měření, nasazení operátorů, kteří běžně přístroj obsluhují
 4. Volba dílů ve výběru, která je pro správnou analýzu kritická a zcela závisí na návrhu studie MSA, účelu systému měření a dostupnosti dílů zahrnutých do výběru. Tyto díly musí reprezentovat celý výrobní a pracovní rozsah.
 5. Požadavek na přístroj – měl by mít práh citlivosti, jež umožní přímé měření alespoň jedné desetiny variability procesu.
 6. Ujistění, že metoda měření (operátor a přístroj) zajistí měření rozměru znaku a dodrží definovaný postup měření.

Velmi důležitý je způsob realizace studie. Všechny analýzy předpokládají statistickou nezávislost jednotlivých čtení (mezi čteními není korelace). Pro minimalizaci zavádějící výsledků musí být učiněny tyto kroky:

- Měření se mají provádět v náhodném pořadí, aby se veškeré změny či drift, které by se mohly vyskytnout ve studii, projeví náhodně. Operátoři by neměli vědět, jaký díl kontrolují, aby se zabránilo předpojatosti. Osoba provádějící tuto studii by však měla přesně vědět, jaký operátor právě kontroluje který díl.
- Při čtení na zařízení se mají hodnoty zaznamenat na praktickou mez prahu citlivosti přístroje, u mechanických přístrojů na nejmenší jednotku prahu citlivosti na stupnici, u elektronického přístroje na skutečnou poslední platnou číslici na displeji přístroje.
- Studii by měla řídit osoba, která chápe důležitost spolehlivě provedené studie.

Analýza výsledků

Stanovení, zda je měřicí zařízení přijatelné pro zamýšlené použití, je třeba výsledky vyhodnotit. Nežli se stane jakákoliv analýza platnou, musí být systém měření stabilizován.

Kritéria přijatelnosti - chyba polohy

Chyba polohy se běžně definuje na základě analýzy strannosti a linearity. Obecně platí, že je chyba strannosti a linearity systému nepřijatelná, pokud se významně odlišuje od nuly nebo převyšuje maximální dovolenou chybu, kterou stanoví postup kalibrace měřidla.

Kritéria přijatelnosti - chyba šíře

Kritéria, zda je variabilita systému měření vyhovující, závisí na podílu variability výrobního procesu nebo toleranci dílu. Konečná přejímací kritéria pro specifické systémy měření a účelu mají být odsouhlasena zákazníkem. V případě systémů měření, jejichž účelem je analýza procesu, platí tato praktická zásada:

- chyba menší než 10% - systém měření se obecně považuje za přijatelný
- chyba v rozmezí 10% až 30% - systém může být přijatelný podle důležitosti použití, nákladů vynaložených na měřicí zařízení a nákladů za opravu
- chyba větší než 30% - systém měření se považuje za nepřijatelný, veškeré úsilí

se má vynaložit na zlepšení systému měření.

Jinou statistikou variability systému měření je počet odlišných kategorií (ndc), do nichž systém měření může rozdělit proces, tato hodnota by měla být větší nebo rovna 5.

Použití směrnic GRR jako jediného hodnotícího kritéria není přijatelnou metodou pro stanovení přijatelnosti systému měření.

Při rozhodnutí o dané aplikaci měřidla, je důležité vždy vyhodnotit každou aplikaci jednotlivě, a co se od ní požaduje a jak se bude měření používat. Například systém měření může překračovat 30 % GRR a přesto být pro svoji činnost dostatečný.

Konečné přijetí systému měřeného by se nemělo omezovat pouze na jediný soubor ukazatelů. Měla by se také prozkoumat dlouhodobá funkčnost systému měřeného.

2.3.12 Postupy pro jednoduché systémy měření

Příklady zkušebních postupů

V této části budou uvedeny konkrétní zkušební postupy pro zjištění způsobilosti jednoduchých systémů měření. Tyto postupy je poměrně snadné aplikovat do prostředí výroby. Hlavními zdroji variability jsou obvykle:

- přístroje (měřidlo/ zařízení)
- osoby (operátor)
- metoda (postup měření)

Zkušební postupy popsané v této části jsou dostačující pro analýzy těchto typů systémů měření, pokud:

- provádí se studie pouze dvou faktorů nebo podmínek měření (operátoři a díly) plus opakovatelnosti systému měření
- variabilita uvnitř každého dílu (velikosti tvarových a rozměrových odchylek) je zanedbatelná
- neexistuje žádná statistická interakce mezi operátory a díly
- díly se během studie rozměrově nemění (stabilní a způsobilý výrobní proces)

Studie systému měření kvantitativních proměnných - směrnice

Studie pro určení směrnice stability

Postup pro určení směrnice stability je následující:

1. Zajistí se výběr a určí se jeho referenční hodnota (hodnoty) vztahující se k navázanému etalonu, není-li k dispozici vzorek, zvolí se výrobní díl, pohybující se v průměrných rozpětích výrobních výsledků měření. Doporučuje se také mít vzorové výběry pro dolní a horní krajní hodnoty.
2. Periodicky se provádí 3 až 5 (denně, týdně) měření vzorového výběru. Faktory pro rozsah výběru by mohly zahrnovat, jak často se požadovala recalibrace, jak často se systém měření používá a jak zatěžující jsou provozní podmínky.
3. Data se zakreslí v časovém pořadí do regulačního diagramu pro průměr a rozpětí (\bar{X} & R) nebo pro průměr a výběrovou směrodatnou odchylku (\bar{X} & s).
4. Stanoví se regulační meze a pomocí běžné analýzy regulačního diagramu se provede vyhodnocení příčin statisticky nezvládnutého stavu nebo nestabilních

podmínek.

Studie pro určení směrnice strannosti

Pro určení směrnice strannosti se postupuje podle těchto kroků:

1. Zajistí se výběr a určí se jeho referenční hodnota (hodnoty) vztahující se k navázanému etalonu, není-li k dispozici vzorek, zvolí se výrobní díl, pohybující se v průměrných rozpětích výrobních výsledků měření a označí se jako vzorový výběr n pro analýzu strannosti. Tento díl se změří $n \geq 10$ krát a vypočítá se průměr z n hodnot, ten se pak použije jako referenční hodnota.
2. Operátor změří standardním způsobem tento díl $n \geq 10$ krát
3. Z dat se vytvoří histogram, který se vztahuje k referenční hodnotě. Histogram se zkontroluje a zjišťuje se, zda se zde nevyskytují zvláštní příčiny a anomálie. Pokud tomu tak není, pokračuje se dál v analýze.
4. Vypočítá se průměrná hodnota \bar{x} čtení

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

5. Vypočítá se směrodatná odchylka opakovatelnosti

$$\sigma_{\text{opakovatelnost}} = \frac{\max(x_i) - \min(x_i)}{d_2^*},$$

kde d_2^* je koeficient rozdělení průměrného rozpětí a určí se z tabulky, je založen na velikosti podskupiny a počtu podskupin v diagramu.

Dále se určí statistika t pro strannost následujícím způsobem:

Strannost = pozorovaný průměr – referenční hodnota

$$\sigma_b = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}} \quad t = \frac{\text{strannost}}{\sigma_b}$$

6. Strannost je přijatelná na hladině α , pokud nula padne do $1 - \alpha$ konfidenčních mezí okolo hodnoty strannosti:

$$\text{strannost} - \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d_2^*} (t_{v, 1 - (\alpha/2)}) \right] \leq \text{nula} \leq \text{strannost} + \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d_2^*} (t_{v, 1 - (\alpha/2)}) \right]$$

kde d_2, d_2^* je koeficient rozdělení průměrného rozpětí a určí se z tabulky, $t_{v, 1 - (\alpha/2)}$ se poté určí z běžných tabulek t hodnot.

Směrnice pro určení strannosti – metodou regulačních diagramů

Používá-li se pro měření stability diagram pro průměr a rozpětí (\bar{X} & R) nebo diagram pro průměr a výběrovou směrodatnou odchylku (\bar{X} & s), mohou být tato data použita také pro vyhodnocení strannosti.

1. Zajistí se výběr a určí se jeho referenční hodnota (hodnoty) vztahující se k navázanému etalonu, není-li k dispozici vzorek, zvolí se výrobní díl, pohybující se v průměrných rozpětích výrobních výsledků měření, a označí se jako vzorový výběr n pro analýzu strannosti. Tento díl se změří $n \geq 10$ krát a vypočítá se průměr z n hodnot, ten se pak použije jako referenční hodnota.
2. Z dat se vytvoří histogram, který se vztahuje k referenční hodnotě. Histogram se zkontroluje a zjišťuje se, zda se zde nevyskytují zvláštní příčiny a anomálie. Pokud tomu tak není, pokračuje se dál v analýze.

3. Z regulačního diagramu se zjistí $\bar{\bar{X}}$ a odečtením referenční hodnoty od $\bar{\bar{X}}$ se vypočítá strannost. $strannost = \bar{\bar{X}} - referenční\ hodnota$
4. Pomocí průměrného rozpětí se vypočítá směrodatná odchylka opakovatelnosti

$$\sigma_{opakovatelnost} = \frac{\bar{R}}{d_2^*}$$

5. Určí se statistika t pro strannost

$$\sigma_b = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}} \quad t = \frac{strannost}{\sigma_b}$$

6. Strannost je přijatelná na hladině α , pokud nula padne do $1 - \alpha$ konfidenčních mezí okolo hodnoty strannosti:

$$strannost - \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d_2^*} (t_{v, 1 - (\alpha/2)}) \right] \leq nula \leq strannost + \left[\frac{d_2 \sigma_b}{d_2^*} (t_{v, 1 - (\alpha/2)}) \right]$$

Pokud je strannost statisticky nenulová, je třeba zkontrolovat tyto příčiny:

- chyba hlavní nebo referenční hodnoty
- opotřebený přístroj
- přístroj vyroben (nastaven, justován) na nesprávný rozměr
- přístroj měří nesprávný znak
- přístroj nebyl řádně kalibrován
- operátor používá přístroj nesprávně
- nesprávná korekční algoritmus přístroje

Pokud má systém nenulovou strannost, je vhodné ho recalibrovat. Nelze-li seřídít přístroj na nulu, lze systém i přesto používat nastavením naměřených dat podle strannosti.

Směrnice pro určení linearity

1. Vybere se $g \geq 5$ dílů, jejichž měření kolísá vlivem variability procesu pokrývající pracovní rozsah měřidla.
2. Každý díl je změřen pracovníky rozměrové kontroly, aby se určila jeho referenční hodnota a potvrdilo se tak, že patří do pracovního rozsahu předmětného měřidla.
3. Každý díl je změřen $m \geq 10$ krát na předmětném měřidle jedním operátorem, jenž s měřidlem běžně pracuje (díl se volí náhodně).
4. Vypočítá se strannost dílů pro každé měření a průměrná strannost každého dílu a průměrnou strannost každého dílu:

$$strannost_{i,j} = x_{i,j} - (referenční\ hodnota)_i$$

$$strannost = \frac{\sum_{i=1}^m strannost_{i,j}}{m}$$

5. Jednotlivé strannosti a průměrné strannosti se zakreslí k referenčním hodnotám do lineárního grafu.
6. Pomocí níže uvedených rovnic se vypočítá a zakreslí se nejlépe přiléhající přímka a konfidenční meze této přímky, použijeme vztah:

$\bar{y}_i = ax_i + b$ (kde x_i je referenční hodnota a \bar{y}_i průměrná hodnota strannosti)

Přičemž

$$a = \frac{\sum xy - \left(\frac{1}{gm} \sum x \sum y\right)}{\sum x^2 - \frac{1}{gm} (\sum x)^2} = \text{směrnice přímky}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x} = \text{absolutní člen}$

7. Pro dané x_0 jsou $(1-\alpha)$ % konfidenční meze, kde:

$$s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - b \sum y_i - a \sum x_i y_i}{gm - 2}}$$

$$\text{Dolní mez: } b + ax_0 - \left[t_{gm-2, 1-(\alpha/2)} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} s \right]$$

$$\text{Horní mez: } b + ax_0 + \left[t_{gm-2, 1-(\alpha/2)} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} s \right]$$

8. Směrodatná odchylka variability opakovatelnosti

$$\sigma_{\text{opakovatelnost}} = s$$

Uřídí se, zda je opakovatelnost přijatelná vypočtením:

$$\%EV = 100 [EV/TV] = 100 [\sigma_{\text{opakovatelnost}} / TV]$$

9. Zakreslí se přímka znázorňující strannost = 0 a zkontroluje se graf pro zjištění zvláštních příčin a přijatelnosti linearity. Aby linearita systému měření byla přijatelná, musí přímka znázorňující strannost ležet zcela uvnitř konfidenčních mezí.
10. Ukáže-li grafická analýza, že je linearita systému měření přijatelná, měla by být pravdivá níže uvedená hypotéza:

$$H_0: a = 0 \text{ směrnice přímky} = 0$$

Nezamítá se, jestliže:

$$|t| = \frac{|a|}{\frac{s}{\sqrt{\sum (x_j - \bar{x})^2}}} \leq t_{hm-2, 1-(\alpha/2)}$$

11. Pokud je výše uvedená hypotéza pravdivá, potom má systém měření stejnou strannost pro všechny referenční hodnoty. Aby byla linearita přijatelná, musí být tato strannost nulová:

$$H_0: b = 0 \text{ absolutní člen} = 0$$

Nezamítá se, pokud:

$$|t| = \frac{|a|}{\sqrt{\frac{1}{gm} + \frac{\bar{x}^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2}}} \leq t_{hm-2, 1-(\alpha/2)}$$

Směrnice pro určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

V této části se budeme zabývat metodami:

- metoda založená na rozpětí
- metoda založená na průměru a rozpětí (včetně regulačních diagramů)
- metoda ANOVA

Postup u a u metody založené na průměru a rozpětí a metodou ANOVA je velmi podobný. Všechny metody nepočítají s variabilitou uvnitř dílu. [1]

Metoda založená na rozpětí

Umožňuje rychlou aproximaci variability měření, poskytuje pouze celkový obraz, protože nerozkládá variabilitu na opakovatelnost a reprodukovatelnost. Běžně se používá pro rychlou kontrolu změny GRR podle následujícího postupu:

1. Obvykle 2 operátoři změří 5 dílů, každý jednou. Rozpětí je dáno absolutní hodnotou rozdílu mezi výsledky měření operátorem A a operátorem B.
2. Zjistí se průměrné rozpětí (\bar{R})
3. Celková variabilita se zjistí jako podíl $\frac{\bar{R}}{d_2^*}$, kde d_2^* se určí z tabulky ($m = 2$, g je počet dílů)
4. K určení podílu směrodatné odchylky procesu se použije vztah

$$\%GRR = \left(\frac{GRR}{\text{směrodatná odchylka procesu}} \right) \cdot 100$$

Metoda založená na průměru a rozpětí

Metoda založená na průměru a rozpětí (\bar{X} & R) je způsob, který poskytuje jak odhad reprodukovatelnosti, tak i opakovatelnosti systému měření, dovoluje tedy rozložit variabilitu na dvě samostatné složky, ale bez jejich interakce.

Postup pro použití této metody je:

1. Zajistí se výběr $n > 5$ dílů, které představují skutečné či očekávané rozložení variability procesu
2. Označí se operátoři A, B, C (příp. D, atd.) a díly se očíslovají 1-n tak, aby je operátoři neviděli
3. Operátor A změří n dílů v náhodném pořadí a zanese výsledky do protokolu
4. Operátoři B a C provedou totéž, aniž by si vzájemně ukazovali čtení, výsledky se zaznamenají do protokolu
5. Tento cyklus se opakuje i při jiném náhodném měření a data se opět zaznamenávají

Analýza výsledků – grafická analýza

Nyní budou představeny grafické nástroje pro vyhodnocování dat. Data z analýzy systému měření lze zobrazit graficky pomocí několika regulačních diagramů.

Diagram pro průměr

Průměry několika čtení, které zjistil každý operátor u každého dílu, zakreslí operátor spolu s číslem dílu jako indexem do diagramu. Také se zakreslí celkový průměr a regulační meze stanovené za použití průměrného rozpětí.

Výsledný diagram pro průměr ukazuje „použitelnost“ měření. Oblast uvnitř regulačních mezí představuje citlivost měření. Skupina dílů představuje variabilitu procesu, musí se tedy jedna polovina a více nacházet mimo regulační meze, pokud tomu tak je, je systém vhodný pro určení variability mezi díly. Diagram by mohl vypadat asi takto:

Diagram pro rozpětí

Regulační diagram pro rozpětí se používá k určení, zda je proces měření ve statisticky zvládnutém stavu.

Rozpětí z náhodných čtení zjištěných každým operátorem u každého dílu se zakreslí do diagramu pro rozpětí., včetně průměrného rozpětí a regulačních mezí:

- Jsou-li všechna rozpětí ve statisticky zvládnutém stavu, je práce všech operátorů stejná.
- Vybočuje-li jeden operátor ze statisticky zvládnutého stavu, liší se použitá metoda od ostatních.
- Ukazuje-li se, že rozpětí všech operátorů vybočují ze statisticky zvládnutého stavu, systém je citlivý k technice operátorů a je nutné ho zlepšit.

Diagram pro rozpětí nám může pomoci určit:

- statisticky zvládnutý stav vzhledem k opakovatelnosti
- konzistenci procesu měření mezi operátory v případě každého dílu

Diagram pro iterace

Pro všechny operátory se jednotlivá čtení zakreslí podle dílu. Z tohoto diagramu lze určit:

- vliv jednotlivých dílů na konzistenci variability
- vyznačení odlehlých čtení

Bodový diagram

Jednotlivá čtení se zakreslí podle dílu a operátora. Z diagramu lze určit:

- konzistenci mezi operátory
- vyznačení možných odlehlých hodnot
- interakce typu díl-operátor

Diagram s „vousy“

Do tohoto diagramu se zakreslí vysoké a nízké hodnoty a průměr typu díl-operátor. To nám pomůže získat názor na:

- konzistence mezi operátory
- vykázaní odlehlých hodnot
- interakce typu díl-operátor

Diagram chyb

Zakreslím do diagramu jednotlivé odchylky od přijatých referenčních hodnot, což poslouží

k analýze celkové variability a strannosti operátorů.

Chyba = pozorovaná hodnota – referenční hodnota (průměr měření dílu)

Histogram normovaných hodnot

Histogram je graf, který nám umožňuje sledovat četnosti chyb operátorů. Umožňuje nám získat rychlou vizuální informaci o tom, jak je chyba rozdělena, zda existuje mezi operátory strannost nebo nedostatečná konzistence.

Graf X-Y pro průměry podle velikosti

Poměr čtení zjištěných každým operátorem na každém dílu se znázorní proti referenční hodnotě (průměru dílů). Může nám pomoci při určování:

- linearity (je-li použita referenční hodnota)
- konzistence v linearitě mezi operátory

Analýza výsledků – numerická analýza GRR

Analýzou výsledků se zjistí odhad variability a podíl variability procesu a jeho složek – opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Tyto informace musí být doplněny a porovnány s výsledky grafické analýzy.

Opakovatelnost nebo variabilita zařízení (EV)

$$EV = \bar{R} \cdot k_1$$

\bar{R} je průměrné rozpětí

kde k_1 je převrácená hodnota hodnoty d_2^* , jež se určí z tabulky (počet měření m a počet dílů, g počet operátorů)

Reprodukovatelnost operátora (AV)

Variabilita operátora je ovlivněna variabilitou zařízení, je třeba ji do vztahu zařadit.

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot k_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$$

kde \bar{X}_{DIFF} je maximální rozdíl průměru operátora, k_2 je převrácená hodnota hodnoty d_2^* , jež se určí z tabulky (počet operátorů m , $g=1$), nr je počet dílů vynásobený počtem měření.

Variabilita systému měření v případě opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR)

Hodnota GRR se spočítá takto:

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

Variabilita mezi díly PV

Tuto hodnotu získáme podle vztahu:

$$PV = R_p k_3,$$

kde R_p je rozpětí průměru dílů, k_3 je konstanta (závisí na počtu dílů m , $g=1$).

Celková variabilita TV

Celkovou variabilitu získáme ze vztahu:

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}$$

Je-li variabilita proces známá a její hodnota založena na 6σ , potom je možné ji použít

místo celkové variability (TV) vypočítané z dat ze studie měřidla.

$$TV = \frac{\text{variabilita procesu}}{6,00}$$

$$PV = \sqrt{(GRR)^2 + (TV)^2}$$

Obě tyto hodnoty by nahradily dříve vypočtené hodnoty. Procentní účast na celkové chybě se spočítá z podílu dané chyby lomené celkovou variabilitou a vynásobenou stem.

$$\%EV = 100 [EV/TV]$$

$$\%AV = 100 [AV/TV].$$

$$\%GRR = 100 [GRR/TV]$$

$$\%PV = 100 [PV/TV]$$

Výsledky této procentní celkové variability se musí vyhodnotit, aby se určilo, zda je systém měření přijatelný pro zamýšlené použití.

Posledním krokem je určení počtu kategorií, které lze spolehlivě rozlišit systémem měření. Jde o počet 97% konfidenčních intervalů, které pokrývají rozpětí očekávané variability produktu.

$$ndc = 1,41. [PV/GRR]$$

Použití cílové hodnoty P_p nebo P_{pk} , značí výkonnost výrobního procesu.

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6 \sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6 s} = \frac{USL - LSL}{6 TV}$$

Porovná-li se chyba měření ze studie GRR s tolerancí, je to totéž, jako když se porovná chyba s výrobním procesem $P_p=1,00$.

Analýza rozptylu – metoda ANOVA

Analýza rozptylu (ANOVA) je standardní statistická metoda a lze ji použít při analyzování chyby měření a jiných zdrojů variability dat při studii systému měření. U analýzy rozptylu lze rozptyl rozdělit do čtyř kategorií:

- díly,
- operátoři,
- interakce mezi díly a operátory,
- chyba replikace způsobená měřidlem.

Výhody metody ANOVA v porovnání s metodami pro průměr a rozpětí:

- jsou schopny se vypořádat s jakýmkoli experimentálním seřízením,
- mohou zajistit mnohem přesnější odhad rozptylů,
- umožňují získat více informací (např. o interakcích mezi díly a vlivy operátorů) z experimentálních dat.

Nevýhodou je, že numerické výpočty jsou složitější a na uživatelích se požaduje určitý stupeň statistických znalostí pro interpretaci výsledků. Praktické použití metody ANOVA a GRR lze vidět v 5. části této práce. [23]

Znáhodnění (randomizace dat)

U metody ANOVA je velmi důležitý způsob shromažďování dat, pokud se data

neshromažďují náhodně, může to vést ke vzniku stranných hodnot. Nejběžnější způsob randomizace dat je, když se na lísteček napíše A1, což označuje výsledek 1. operátora na 1. dílu, tak se pokračuje až do A(n), což označuje výsledkem měření 1. operátora na n-tém dílu. Stejný postup se použije až pro K-tého operátora, poté se lístečky vloží do osudí. Z tohoto osudí se poté po jednom vybírají podle vzoru (A1, B2, ...), dokud se nevylosují všechny. Poté se lístky vloží zpět a proces se opakuje, aby se určilo pořadí experimentů pro každé opakování.

Grafická analýza

Pro grafickou analýzu dat shromážděných metodou ANOVA lze použít kteroukoliv z výše popsaných grafických metod. Jedna z navrhovaných grafických metod se nazývá „znázornění interakcí“. Toto znázornění potvrzuje výsledky F-testu, zda je interakce významná. Je to průměr měření každým operátorem u každého dílu proti číslu dílu.

Interpretace dat:

- jsou-li přímkami rovnoběžné, neexistují žádné interakce
- čím je větší úhel protnutí přímkami, tím je interakce významnější

Numerická metoda

Přestože hodnoty v metodě ANOVA lze vypočítat ručně, většinou se používá pro vytvoření tabulky analýzy rozptylu počítačový program. Tabulka ANOVA používá k rozkladu celkové variability čtyři složky: díly, operátoři, interakce mezi díly a operátory, opakovatelnost způsobená přístrojem. Tyto informace se poté použijí pro určení znaků systému měření jako u metody založené na průměru a rozpětí.

Analýza studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Jako metoda průměru a rozpětí poskytuje i metoda ANOVA informace o příčinách variability systému měření nebo měřidla.

Je-li opakovatelnost v porovnání s reprodukovatelností velká, může být důvodem:

- přístroj vyžaduje údržbu
- je třeba zvýšit robustnost měřidla
- je třeba zlepšit upevnění nebo umístění měřidla
- existuje příliš velká variabilita uvnitř dílu

Je-li reprodukovatelnost v porovnání s opakovatelností velká, možné příčiny jsou:

- operátor potřebuje lepší školení pro zacházení s měřidlem
- kalibrace stupnice měřidla není čitelná

Studie systémů měření metodou srovnáváním

Systém měření diskretních proměnných představují skupinu měření, kde je hodnota výsledku měření jednou z konečného počtu tříd. Liší se tak od systémů měření spojitých proměnných, které mohou nabývat mnoha hodnot v určitém intervalu. Nejběžnější je kalibr s dobrou i zmetkovou stranou. Další jsou založené na srovnávání, např. vizuální etalony představují 5 až 7 kategorií. Pro analýzy těchto systémů nelze použít metody popsané v dřívějších částech metodiky MSA.

Protože největší riziko při rozhodování o systémech měření se nachází na hranicích tříd, byla by nejvýhodnější analýzou kvantifikace variability systému měření pomocí operativní

charakteristiky měřidla. V některých případech však nelze provést aplikaci metod srovnávání kvůli nedostatečnému počtu dílů s měřitelnými referenčními hodnotami. V takovémto případě lze provést vyhodnocení rizik špatných nebo nekonzistentních rozhodnutí pomocí:

- analýz založených na testech hypotéz
- teorie detekce signálu

Tyto metody však nekvantifikují variabilitu systému měření, měly by se tedy zavádět jen se souhlasem odběratele. V metodice je uveden příklad výpočtu, zde budou uvedena jen fakta. V příloze 7 je příklad souboru dat pro studii metodou srovnáváním podle metodiky VDA, kde přijatelné rozhodnutí od operátora bylo označeno jedničkou (1) a nepřijatelné rozhodnutí nulou (0). Dále pak ve sloupci „kód“ uvádí oblasti I, II, III, které jsou označeny jako „-“, „x“, „+“.

Analýza založená na testech hypotéz (Metoda křížových tabulek)

Jestliže neznáme referenční hodnoty dílů, musíme použít metodou křížových tabulek, kde se vzájemně porovná rozsah shody mezi jednotlivými operátory. Pro určení shody se používá *kappa* (Cohenovo *kappa*), které měří shodu hodnocení dvou osob hodnotících stejný objekt. Tento parametr testuje, zda se výsledky v diagonálních buňkách (díly se stejným hodnocením) liší od výsledků, které očekáváme jen náhodou.

$$kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e},$$

kde p_0 je součet pozorovaných podílů v diagonálních buňkách, p_e je součet očekávaných podílů v diagonálních buňkách, $kappa < 0,40$ je špatná shoda, $kappa > 0,75$ je dobrá shoda.

Tato analýza nám ukáže, zda jsou mezi operátory nějaké rozdíly, avšak neříká nám nic o tom, jak systém odlišuje dobré díly od špatných. Pokud má tým k dispozici díly vyhodnocené pomocí měření a výsledky použije ke stanovení referenčního rozhodnutí. Na základě těchto nových informací lze sestavit další skupinu křížových tabulek, která porovnává každého operátora s referenční hodnotou. Výsledná účinnost každého operátora se vypočítá jako:

$$u\check{c}innost = \frac{\text{počet správných rozhodnutí}}{\text{celkový počet možných rozhodnutí}}$$

Poté pomocí nulové hypotézy lze provést několik testů hypotézy mezi každou dvojicí operátorů (H_0 : účinnost obou operátorů je stejná).

Model detekce signálu

Tato metoda se používá pro stanovení přibližného odhadu šíře fáze II a na základě toho i opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla (GRR) systému měření. Jestliže d_i = vzdálenost mezi posledním dílem přijatým všemi operátory a prvním dílem, jež všichni operátoři zamítli, potom d je odhad šíře oblastí pásma II. Odhad $GRR = 5,15 \cdot \sigma_{GRR}$.

U měřicích systémů založených na metodě srovnáváním představují regulační diagramy s konstantním rozsahem výběru běžný způsob ověřování kvality. Pro posouzení opakovatelnosti a strannosti systému měření jde zde použita operativní charakteristika měřidla, tuto analýzu lze používat pro systémy s jednou nebo dvěma mezemi.

Obecným předpokladem této metody je získání referenčních hodnot pro zvolené díly tak,

že se díly několikrát vyhodnotí (m) a stanoví se celkový počet přijetí u každého dílu (a). Z těchto výsledků lze pak určit opakovatelnost a strannost systému měření.

Je stěžejní, aby byla známa referenčního hodnota každého použitého dílu. K tomu se pokud možno ve stejných intervalech zvolí osm dílů, kde by minimální a maximální hodnoty měly reprezentovat rozpětí procesu. Použitých 8 dílů by mělo být změřeno $m = 20$ krát a zaznamenána se počet přijetí. Hodnota nejmenšího dílu musí být $a = 0$ a největšího $a = 20$, ostatní $0 \leq a \leq 20$.

Pravděpodobnost přijetí se počítá podle následujících rovnic:

$$P'_a = \frac{a + 0,5}{m} \text{ je } - \text{li } \frac{a}{m} \leq 0,5, a \neq 0$$

$$P'_a = \frac{a - 0,5}{m} \text{ je } - \text{li } \frac{a}{m} \geq 0,5, a \neq 20$$

$$P'_a = 0,5 \text{ je } - \text{li } \frac{a}{m} = 0,5,$$

V případech, kdy $a = 0$ se položí $P'_a = 0$, s výjimkou největší referenční hodnoty s $a = 0$, kde $P'_a = 0,025$. V případech kdy $a = 20$, potom $P'_a = 1$, s výjimkou nejmenší referenční hodnoty s $a = 20$, kde $P'_a = 0,975$.

Vypočítané pravděpodobnosti se zakreslí do pravděpodobnostního archu a těmito body se proloží přímkou, která má nejlepší přiléhavost. Strannost se rovná dolní mez mínus výsledek měření referenční hodnoty, jež odpovídá $P'_a = 0,5$:

$$\text{strannost} = \text{dolní mez} - X_T (\text{pro } P'_a = 0,5)$$

Opakovatelnost se určí zjištěním rozdílů výsledků měření a referenčních hodnoty, které odpovídají $P'_a = 0,005$ a $P'_a = 0,995$.

$$\text{opakovatelnost} = \frac{X_T(\text{pro } P'_a = 0,995) - X_T(\text{pro } P'_a = 0,005)}{1,08}$$

Pro určení, zda se strannost výrazně liší od nuly, se použije vztah:

$$t = \frac{31,3 \cdot |\text{strannost}|}{\text{opakovatelnost}}$$

Je-li hodnota větší než 2,093, potom se strannost výrazně liší od nuly. [1]

2.3.13 Řešení systémů se složitými měřeními

Metodika se zde zaměřuje na systémy měření, u kterých nelze vždy přečtené hodnoty na každém dílu opakovat vlivem např.:

- destruktivních systémů měření
- změny dílu či podmínek při použití/zkoušce

Metodika takovéto systémy měření nazývá systémy s neopakovatelnými měřeními, lze je dále rozdělit na:

- systémy s nedestruktivními zkouškami

- systémy s destruktivními zkouškami (solná komora, destruktivní zkoušky svarů, atd.)

V tabulkách 9 a 10 je přehled studií popsaných v této části metodiky a různé scénáře (podrobněji viz dále), které je vhodné použít pro určení stability, resp. variability u řešení daných systémů měření.

Tabulka 9: Metody založené na typu systému měření – stabilita [1]

Studie stability					
Scénář	S1	S2	S3	S4	S5
Díly se v průběhu procesu nemění, tj. systémy se použijí u vzorků se <ul style="list-style-type: none"> – statistickými vlastnostmi nebo – dynamickými vlastnostmi, které byly stabilizovány 	√	√			
Doba uchovatelnosti znaku je známá a přesahuje očekávanou dobu studie	√	√			
Systém s destruktivními měřeními			√	√	
Systém s neopakovatelnými měřeními			√	√	
Zkušební zařízení					√

Tabulka 10: Metody založené na typu systému měření – variabilita [1]

Studie variability									
Scénář	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Díly se v průběhu procesu nemění, tj. systémy se použijí u vzorků se <ul style="list-style-type: none"> – statistickými vlastnostmi nebo – dynamickými vlastnostmi, které byly stabilizovány 	√								
Výše uvedené pro $p \geq 2$ přístrojů		√							
Doba uchovatelnosti znaku je známá a přesahuje očekávanou dobu studie			√	√					
Systém s destruktivními měřeními			√	√					
Systém s neopakovatelnými měřeními			√	√	√	√	√	√	
Výše uvedené pro $n \geq 3$ přístrojů									√

Následuje popis jednotlivých scénářů, včetně předpokladů použití a způsobů použití.

Studie stability

S1: Jediný díl, jediné měření na cyklus

Předpoklady:

- systém měření má lineární odezvu v očekávaném rozmezí znaku
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu

Postup řešení pomocí regulačních diagramů X & mR:

1. Zakreslené body se porovnají s mezemi regulačního diagramu (určí se stabilita systému)
2. Zjistí se trendy (pouze u diagramu \bar{x})

3. Hodnota $\sigma_e = \bar{R}/d_2^*$ (celková chyba měření) se porovná s odhadem opakovatelnosti σ_e (následující část)
4. Je-li známá referenční hodnota, určí se strannost:
 $strannost = \bar{x} - referenční\ hodnota$

S2: Počet dílů $n \geq 3$, jediné měření dílu na cyklus

Předpoklady:

- systém měření má lineární odezvu v očekávaném rozmezí znaku
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu

Postup řešení pomocí regulačního diagramu [z,R]: kde $z_i = x_i - \mu_i$ (kde μ_i je referenční hodnota, nebo ji lze určit z počtu po sobě jdoucích hodnot čtení na vzorku).

1. zakreslené body se porovnají s mezemi regulačního diagramu (určí se stabilita systému)
2. zjistí se trendy (pouze u diagramu \bar{x})
3. hodnota $\sigma_e = \bar{R}/d_2^*$ (celková chyba měření) se porovná s odhadem opakovatelnosti σ_e (následující část)
4. je-li známá referenční hodnota, určí se strannost:
 $strannost = \bar{x} - referenční\ hodnota$
5. při použití počtu dílů $n \geq 3$ e stanoví linearita
 - díly musí pokrývat celé očekávané rozmezí vlastnosti
 - u každého vzorku se stanoví analýza strannosti a opakovatelnosti
 - provede se analýza linearit

S3: Velký výběr ze stabilního procesu

Předpoklady:

- systém měření má lineární odezvu v očekávaném rozmezí znaku
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu
- linearita systému je známá a v očekávaném rozmezí znaku

Postup řešení:

1. pomocí studie způsobilosti, kde počet dílů $n \geq 30$, se určí celková variabilita
 $\sigma_{celkový}^2 = \sigma_{procesu}^2 + \sigma_{systému\ měření}^2$
2. zakreslíme body do regulačního diagramů \bar{X} &R nebo x & mR
3. určí se trendy

S4: Dělené vzorky, jediný vzorek na cyklus

Předpoklady:

- systém měření má lineární odezvu v očekávaném rozmezí znaku
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu
- vzorky jsou rozděleny na m zkušebních dílů

Postup pro tuto metodu:

1. použije se diagram pro rozpětí pro zjištění konzistence měření (zejména uvnitř

- výrobní dávky)
2. hodnota $\sigma_e = \bar{R}/d_2^*$ (celková chyba měření) se porovná s odhadem opakovatelnosti σ_e (následující část)
 3. pro studii horní meze musí platit: $\sigma_e^2 = \sigma_E^2 + \sigma_{\text{mezi}}^2$
 4. použije se diagram pro zjištění konzistence výrobního procesu

S5: Zkušební zařízení

V tomto případě několik měřících přístrojů vyhodnocuje stejné znaky z plynulého toku produktu. Existují dvě řešení pro postup:

- a) Analýza za použití p-diagramů
 1. stanoví se konzistence mezi zařízeními
 2. stanoví se stabilita uvnitř jednotlivých zkušebních zařízení
 3. analyzuje se stabilita systému pomocí regulačního diagram \bar{p} & R (\bar{p} je průměr všech zkušebních zařízení v daném dni)
- b) Analýza pomocí metody ANOVA a grafických metod
 1. pro každý znak na každém zkušebním zařízení se vypočítá \bar{x} & s za dané časové období
 2. stanoví se konzistence mezi zkušebními zařízeními pomocí diagramu \bar{x} & s
 3. stanoví se stabilita uvnitř jednotlivých zařízení (pro každé zařízení se vytvoří samostatný regulační diagram \bar{x} & s)
 4. kvantifikuje se konzistence mezi zkušebními zařízeními (F-test, Bartlettův test)
 5. porovnáním průměrů zkušebních zařízení se zjistí, zda jsou zkušební zařízení centrována na stejnou cílovou hodnotu (pomocí jednofaktorové analýzy ANOVA)

Studie variability

V1: Standardní studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

V1 používá studie, které již byly rozebrány v dřívějších kapitolách, jsou to metody:

- V1a metoda založená na rozpětí (opakovatelnost a reprodukovatelnost)
- V1b metoda založená na rozpětí (opakovatelnost a reprodukovatelnost uvnitř dílu)
- V1c metoda ANOVA
- V1d Modifikovaná metoda ANOVA/ metoda založená na rozpětí

V2: Násobná čtení s $p \geq 2$ přístroji

Předpoklady:

- systém měření má lineární odezvu v očekávaném rozmezí znaku
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu

Postup (analýza pomocí Grubbsových odhadů):

1. zjištění variability procesu
2. zjištění variability přístroje
3. výpočet konfidenčních mezí

V3: Dělené vzorky ($m=2$)

Předpoklady:

- doba uchovatelnosti znaku je známá a přesahuje očekávanou dobu trvání studie
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu
- vzorky jsou rozděleny na m zkušebních dílů

Postup (regresní analýza):

- provede se odhad opakovatelnosti s chybovým členem, kdy $\sigma_E = \sigma_e$
- určení linearit (porovnání odhadované přímky s přímkou pod úhlem 45°)

V4: Dělené vzorky

Předpoklady:

- doba uchovatelnosti znaku je známá a přesahuje očekávanou dobu trvání studie
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu
- vzorky jsou rozděleny na m zkušebních dílů, kde $m = 0 \bmod 2$ nebo 3 ; $m \geq 2$ (např. $m = 3, 4, 6, 9, \dots$)

Postup (metoda ANOVA):

- provedou se normalizované metody pro zjištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla
- provede se dvoufaktorová ANOVA (návrh znáhodněného bloku)

V5: stejné jako V1 – se stabilizovanými díly

- vyžaduje odborné technické znalosti o procesu

V6: Analýza časových řad

Předpoklady:

- opakované přečtené hodnoty se odečítají ve stanovených časových intervalech
- doba uchovatelnosti znaku je známá a přesahuje očekávanou dobu trvání studie
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu

Postup (analýza založená na stanovení degradace pro každý z dílů ve výběru):

- $\sigma_E = \sigma_e$
- konzistence degradace

V7: Lineární analýza

Předpoklady:

- opakované přečtené hodnoty se odečítají ve stanovených časových intervalech
- degradace v systémech měření má ve stanovených časových intervalech lineární odezvu
- doba uchovatelnosti znaku je známá a přesahuje očekávanou dobu trvání studie
- díly pokrývají očekávané rozmezí variability procesu

Postup (regresní analýza):

- $\sigma_E = \sigma_e$

- konzistence degradace

V8: Závislost degradace znaku (vlastnosti) na čase

- V6 a V7 se dají upravit, pro zjištění zda degradace závisí na čase či na činnosti

V9: V2 se simultánními opakovanými čteními a $p \geq 3$ přístroji

- analýza se provede stejným způsobem jako u V2 [1]

2.3.14 Jiné metody měření

Vliv nadměrné variability uvnitř dílu

Variabilita uvnitř dílu může být podstatnou složkou variability systému měření. Může mít za následek ovlivnění odhadu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti či obou a při hodnocení způsobí matoucí výsledky. Mezi variability uvnitř dílu patří:

- kruhovitost
- soustřednost
- kuželovitost
- rovinnost
- profil
- válcovitost atd.

Navíc se možné, že se uvnitř dílu bude najednou vyskytovat více než jeden z těchto znaků. Takováto analýza si může vyžádat metodu D.O.E., ANOVA či jinou pokročilou statistickou metodu. Pro takovéto díly musí být přizpůsobena výrobní i měřicí část a měly by se na tyto faktory brát na zřetel již u FMEA návrhu, například použití jiného měřidla, nebo použití jiných upínacích metod.

Operativní charakteristika měřidla

Účelem operativní charakteristiky měřidla (GPC) je stanovit pravděpodobnost přijetí nebo zamítnutí dílu pro některou referenční hodnotu. Pro stanovení chyby je možné vypočítat pravděpodobnost přijetí dílu pro některou referenční hodnotu.

Při provedení se musí vycházet z předpokladu, že systém měření spočívá především v nedostatečné opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a strannosti. Předpokládá se, že opakovatelnost a reprodukovatelnost jsou normálně rozděleny s rozptylem σ^2 . Chyba měření je pak normálně rozdělena se střední hodnotou X_T , referenční hodnotou a stranností, přičemž má určitý rozptyl σ^2 .

$$\text{skutečná hodnota měřidl} = N(X_T + b, \sigma^2)$$

Pravděpodobnost přijetí dílu pro některou referenční hodnotu je dána vztahem:

$$P_a = \int_{LL}^{UL} N(X_T + b, \sigma^2) dx$$

Při použití běžně dostupných tabulek distribuční funkce normovaného normálního rozdělení bude stav:

$$P_a = \Phi\left(\frac{UL - (X_T + b)}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LL - (X_T + b)}{\sigma}\right)$$

kde

$$\Phi\left(\frac{UL - (X_T + b)}{\sigma}\right) = \int_{-\infty}^{UL} N(X_T + b, \sigma^2) dx$$

$$\Phi\left(\frac{UL - (X_T + b)}{\sigma}\right) = \int_{LL}^{\infty} N(X_T + b, \sigma^2) dx$$

Snižování variability použitím násobných čtení

Pokud je variabilita stávajícího systému nepřijatelná (více než 30%), existuje metoda, kterou lze zlepšit stávající systém měření bez zásahu. Přílišnou variabilitu lze snížit použitím násobných, statisticky nezávislých čtení, přičemž se udělá průměr z výsledků měření. Tato metoda je časově náročnější, avšak představuje alternativní metodu do doby, než se provedou zlepšení samotného systému měření (zakoupení nového přístroje, změna návrhu, atd.). Postup je následující:

- určí se počet násobných čtení pro snížení variability na požadovanou úroveň,
- postupuje se podle směrnic pro studium měřidla.

Metoda stanovení sdružené směrodatné odchylky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Analýza systémů měření obvykle předpokládá, že je možné získat náhodným způsobem replikovaná data všech dílů/vzorků od všech operátorů. Zahrnuje-li analýza systému měření více poloh, může být požadavek náhodného výběru neproveditelný, zejména pro chemické a metalurgické zkoušky, kde je vyžadován průřezový odběr různých vzorků, které nejsou součástí homogenního procesu a nemusí být k dispozici ve stejném čase.

Tento problém lze vyřešit použitím hierarchického experimentu. Alternativní metodou je studie směrodatné odchylky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. U této metody je každý díl považován za samostatný materiál; tím, že u něj provedeme výpočet směrodatné odchylky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, získáme několik samostatných hodnot opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Průměr těchto hodnot by měl zajistit co nejpřesnější odhad pravé úrovně opakovatelnosti i reprodukovatelnosti.

Postupná metoda řešení

Tato metoda je vhodná pro případ, kdy nejsou všechny výběry k dispozici ve stejném čase. Postup je následující:

- 1) Každý z $m \geq 2$ operátorů vyhodnotí díl $r \geq 3$ čteními a data se zaznamenají. Vypočte se průměr a směrodatná odchylka pro nový díl u všech operátorů
- 2) Hodnoty směrodatných odchylek se zakreslí do diagramu pro směrodatnou odchylku a vypočítá se průměrná směrodatná odchylka (použijí se směrodatné odchylky všech podskupin od všech operátorů) a regulační meze; meze se zakreslí do diagramu a určí se, zda jsou všechny hodnoty ve statisticky zvládnutém stavu.
- 3) Do diagramu pro průměr se zakreslí průměr pro každou podskupinu u všech operátorů. Průměrné hodnoty představují jak variabilitu procesu, tak i variabilitu výsledku měření.
- 4) Vypočte se celkový průměr z průměrů podskupin od všech operátorů a ten se pak zakreslí do diagramu.

- 5) Poté se z průměrné směrodatné odchylky získaného z diagramu pro odchylku vypočtou regulační meze pro tento diagram a tyto meze se zakreslí do diagramu pro průměr.
- 6) Pomocí regulačních diagramů a jiných grafických metod, které jsou popsány v metodě založené na průměru a rozpětí, se provede analýza dat.
- 7) Parametry systému měření pro každý díl se vyhodnotí pomocí sdružených výsledků operátorů:

$$s_{\bar{x}_g} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m s_{\bar{x}_i}^2}{m}}$$

$$\text{Opakovatelnost} = s_{E_g} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m s_{s_i}^2}{m}}$$

$$\text{Reprodukovatelnost} = s_{A_g} = \sqrt{s_{\bar{x}_g}^2 - \frac{s_{E_g}^2}{m}}$$

$$GRR_g = s_{GRR_g} = \sqrt{s_{E_g}^2 + s_{A_g}^2}$$

- 8) Celkové parametry měření se vyhodnotí pomocí sdružených výsledků dílů.

$$\text{Opakovatelnost} = s_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g s_{E_i}^2}{g}}$$

$$\text{Reprodukovatelnost} = s_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g s_{A_i}^2}{g}}$$

$$GRR = s_{GRR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g s_{GRR_i}^2}{g}}$$

Statistiky konzistence

Metody ASTM a ISO navrhují výpočet dvou statistik konzistence (h a k hodnot). Tyto hodnoty se vypočítají podle následujících vzorců.

$$h = \frac{\bar{x}_{operátor} - \bar{x}_{díl}}{s_{\bar{g}}}$$

kde $\bar{x}_{operátor}$ je průměr operátora na dílu, $\bar{x}_{díl}$ je průměr dílu, $s_{\bar{g}}$ je směrodatná odchylka mezi operátory.

Hodnota k je poměr směrodatné odchylky každého dílu u každého operátora a směrodatné odchylky opakovatelnosti.

$$k = \frac{\text{směrodatná odchylka (operátor } j, \text{ díl } i)}{\text{opakovatelnost}}$$

Důvodem, proč se provádí výpočet těchto statistik, je to, že umožňuje porovnání mezi velmi odlišnými materiály. [1]

3 Porovnání daných metod

V této části práce bude provedeno porovnání daných metod a normy mezi sebou z hlediska obsahu, rozsahu a použitých postupů. Porovnána bude metodika VDA 5 s normou ČSN ISO 22514-7 a poté metodika VDA 5 s metodikou MSA.

Porovnání metodiky MSA s normou ČSN ISO 22514-7 zde provedeno nebude kvůli podobnosti normy ČSN ISO 22514-7 s metodikou VDA 5. Prakticky by jednalo se o stejné porovnání jako mezi MSA a VDA 5 (podrobněji viz dále).

3.1 Porovnání metodiky VDA 5 a normy ČSN ISO 22514-7

Nejprve bylo vhodné porovnat metodiky VDA 5 a normy ČSN ISO 22514-7 kvůli jejich vzájemné podobnosti. Norma ČSN ISO 22514-7 je nejmladším dokumentem tohoto porovnání. Jedná se o český překlad normy ISO/WD 22514-7, jež je také základem pro metodiku VDA 5. Lze tedy mezi normou ČSN ISO 22514-7 a metodikou VDA 5 najít opravdu jen velmi málo rozdílů.

Dalším důležitým faktem je, že norma ČSN ISO 22514-7 je chráněna patentovými právy a není možné ji citovat. Proto také v jejím popisu byly uvedeny jen důležité vzorce, případně bylo odkazováno na VDA 5 či jinou práci, která se normou ČSN ISO 22514-7 sama zabývala.

Přesto existují mezi normou a metodikou menší odlišnosti na několika úrovních. Jedná se zejména o odlišné značení některých parametrů nebo různé indexy způsobilosti systému či procesu měření. Největší rozdíl mezi těmito dokumenty je rozsah a podrobnost řešené problematiky.

3.1.1 Porovnání z hlediska podrobnosti

Obecně lze říci, že norma ISO/WD 22514-7 (Capability of measurement processes—Způsobilost procesu měření) je pouze jedním z dokumentů, z kterých metodika VDA 5 vychází. Naproti tomu norma ČSN ISO 22514-7 je pouze překladem normy ČSN ISO 22514-7. V tabulce 2 (str. 38) je vidět, z kolika dalších norem VDA 5 vychází. Je tedy jasné, že rozsah informací v metodice VDA 5 bude daleko vyšší. Dalo by se říci, že norma ČSN ISO 22514-7 se soustředí především na to nejdůležitější z metodiky VDA 5, tedy zjištění nejistot měření a výpočty způsobilosti.

Na první pohled je norma ČSN kratší, chybí zde řada kapitol, které jsou obsaženy u VDA 5. Norma obsahuje daleko menší seznam termínů k vysvětlení a chybí zde výčet všech vlivů, které mohou mít vliv na nejistotu měření (tzv. Ishikawův diagram). Kvůli kratšímu rozsahu normy ČSN ISO 22514-7 zde chybí několik názorných pomůcek obsažených v metodice VDA 5 (obrázků a dalších vývojových diagramů) včetně většího množství příkladů výpočtu dané problematiky. Stejně tak u normy chybí další kapitoly obsažené v metodice VDA 5, například postupy pro speciální procesy měření (procesy s malými tolerancemi, malé geometrické prvky, třídění či validace měřicího software).

3.1.2 Porovnání z hlediska způsobilosti procesu

Další rozdíl je patrný při porovnání vývojových diagramů. U VDA 5 jde o schéma v příloze 2 „Postup pro hodnocení vhodnosti kontrolních procesů“ a u ČSN ISO 22514-7 o schéma v příloze 8 „Analýza způsobilosti procesu měření“. Zde je vidět, že ve 3. a 4.

rozhodovacím bloku jsou v normě dva parametry navíc, a to je ukazatel způsobilosti měřicího systému (C_{MS}) a ukazatel způsobilosti procesu měření (C_{MP}), jejichž hodnota musí být minimálně 1,33.

I když se značení a především výpočet parametrů mírně liší, parametry C_{MS} a C_{MP} představují ekvivalenty k parametrům c_g a c_{gk} z VDA 5, které jsou použity k určení systematické odchylky měření a opakovatelnosti podle „Postupu 1“. K výpočtu se používá stejných dílčích nejistot měření u_{BI} , u_{RE} , u_{CAL} , u_{EVR} a u_{LN} (značení nejistot podle VDA 5 se mírně liší od normy).

Rozdíl je tedy především v tom, že u normy ČSN ISO 22514-7 mohou počítat způsobilost měřicího systému a procesu měření jak přes ukazatele výkonnosti C_{MS} a C_{MP} (ekvivalentnímu c_g a c_{gk}), tak využít stejného postupu jako VDA 5 a vhodnost počítat přes „Poměr způsobilosti měřicího systému Q_{MS} “ a „Poměr způsobilosti procesu měření Q_{MP} “. Norma dává přednost první možnosti, tedy zjištění způsobilosti pomocí ukazatelů.

U VDA 5 jsou zavedeny hodnoty minimální možné tolerance TOL_{MIN_UMS} a TOL_{MIN_UMP} , pro které je měřicí systém resp. proces měření právě ještě vhodný. Ty se vypočítají ze známých hodnot $Q_{MS_MAX} = 15\%$ a $Q_{MP_MAX} = 30\%$ (limitní hodnoty jsou stejné jako u ČSN ISO 22514-7). Tyto parametry v ČSN chybí.

U normy také chybí poměrně důležitá část, a to popis, jak postupovat v případě, že se měřicí systémy a procesy měření jeví jako nezpůsobilé. Tedy jak konkrétně postupovat ke snížení složek ovlivňujících nejistotu měření. Typické modely procesů měření a příslušné složky, které je třeba do daného modelu zahrnout, také předkládá pouze VDA 5.

3.1.3 Odlišnosti ve značení

Posledním rozdílem je různé značení některých veličin. Není nikterak závažné, proto je uvedeno jako poslední bod odlišnosti. Označení některých složek nejistoty je značeno jinak. Složky nejistoty u_{LN} , u_{EVR} a u_{IAj} u metodiky VDA 5, se u normy značí jako u_{LIN} , u_{EV} a u_{IAj} . Dále UCL a LCL (horní a dolní regulační mez) označená u VDA 5, se značí jako USL a LSL u ČSN ISO 22514-7. Stejně tak se u VDA 5 používá pro výpočty termín tolerance (TOL-šířka tolerančního pásma), ale u normy ČSN ISO 22514-7 se výpočty provádí zvlášť s horní (U) a dolní (L) toleranční mezí.

3.2 Porovnání metodik VDA 5 a MSA

3.2.1 Terminologie

Historie

Mezi oběma metodikami jsou patrné jisté rozdíly v terminologii. Je to dáno především tím, že VDA 5 je přímo navázána na normy ISO (ISO WD/2514-7 a další), tudíž používá jejich terminologii. První příručka pro vyjadřování nejistoty měření (GUM) byla zveřejněna v roce 1993 a první ročník mezinárodního slovníku metrologii (VIM) byl zveřejněn v roce 1984, ale až vydání z roku 1993 definovala pojmy jako měřicí systém, proces měření a nejistota měření. První vydání metodiky MSA vyšlo již v roce 1990, při tvorbě terminologie tedy autoři nemohli použít GUM ani VIM, jež by obsahovala požadované termíny a terminologie se tedy lišila. V dalších vydáních převzala MSA mnoho termínů z mezinárodní normalizace, ale nechává si své základní definice a termíny, z důvodu jejich velkého rozšíření.

Definice systému měření

Rozdíly v definici systému měření je asi nejzásadnějším rozdílem v terminologii. Obě definice si lze porovnat v části terminologie („Systém měření“ – MSA a „Měřicí systém“ VDA 5). Systém měření podle metodiky MSA odpovídá tomu, co je podle VIM, tedy také VDA 5, proces měření. Tato skutečnost je patrná i z definic obou metodik (viz terminologie, „Systém měření“ a „Měřicí systém“).

Z toho plyne, že pro účely MSA se vyhodnocuje systém měření jako celek, naproti tomu u VDA 5 je vyhodnocení tzv. měřicího systému jen dílčím vyhodnocením, po kterém následuje vyhodnocení celého procesu měření. Tabulka 11 shrnuje rozdíl mezi měřicím systémem podle MSA a podle VIM (VDA 5). Z obrázku je patrné, že VDA vyhodnocuje jednotlivé složky variability zvlášť a využívá je k vyhodnocení nejistoty měření. MSA provádí vyhodnocení každého faktoru samostatně.

Tabulka 11: Srovnání dílčích variabilit a jejich rozložení v systému i procesu měření [30]

Influence Factors	MSA 4	Company Guidelines	VDA 5 or ISO/CD 22514-7	Source of Information
Resolution / Data Category	ndc ≥ 5	%RE ≤ 5% TOL	%RE ≤ 5% and $u_{RE} = \frac{RE}{2\sqrt{3}}$	Gage Display
Uncertainty of a reference	*)	U ≤ 5% TOL	$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{2}$	Calibration Certificate
Repeatability of a reference	to be small	Cg ≥ 1,33	$u_{EVR} = s$	Type-1 study (T1)
Bias	t-Test	Cgk ≥ 1,33	$u_{BI} = \frac{ \bar{x} - x_m }{\sqrt{3}}$	Type-1 study (T1)
Linearity	t-Test	%LIN ≤ 5% TOL	$u_{LIN} = \max \{u_{Bi}\}$	T1 on 3 masters
Repeatability on an object	EV (ANOVA)		$u_{EVO} = EV (ANOVA)$	Type-2 or type-3 study
Reproducibility of an object	AV (ANOVA)		$u_{AV} = AV (ANOVA)$	Type-2 or type-3 study
Uncertainty object	Repeat measurements at the same position		$u_{OBJ} = \frac{TOL}{\sqrt{3}}$ or $\frac{a}{\sqrt{3}}$	Where a is from: • drawings • experience • estimations • trials
Temperature	_____*)		$u_T = \frac{a}{\sqrt{3}}$	• similar measuring processes
Stability	Quality Control Chart		$u_{STAB} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ /Quality Control Chart	• long term observations
Other	_____*)		u_{REST}	• etc.

*) No precise details or is not considered for %GRR.

Dalším terminologickým rozdílem, významným pro pochopení odlišností mezi oběma metodikami jsou pojmy způsobilost a vhodnost. Pro výsledné hodnocení systému měření podle MSA se používá pojem způsobilost, zatímco pro výsledek hodnocení procesu, ale i systému měření podle VDA se používá pojem vhodnost.

Dalšími termíny, jež si MSA ponechalo, jsou „Měření (measurement)“ a „Měřidlo (gage)“. Oba tyto termíny lze nalézt v části terminologie. Tyto termíny jsou sice odlišné, ale nemá to takový dopad na další postupy, jako má rozdíl mezi „Systémem měření“ a „Měřicím systémem“.

3.2.2 Příprava systému měření

V metodice MSA je kladen velký důraz na přípravu před samotným měřením. Zejména na proces volby vhodného měřidla, vypracování detailní technické koncepce týkající se procesu měření, celého týmu zodpovědného za danou oblast. Obsahuje pokyny

pro tým jak vypracovat detailní nástin výrobního procesu a úlohy využití popř. požadovaného měřidla či měřicího systému. Jsou zde postupy pro výběr vhodného dodavatele a pokyny pro komunikaci s ním během celého procesu návrhu měřidla. Zároveň pokyny pro ověření vhodnosti celého systému měření jak u dodavatele, tak u zákazníka.

Problematiku přípravy či nákupu měřidla metodika VDA 5 neřeší vůbec. Hodnotí tedy způsobilost již existujících systémů měření (procesů měření), kde se koupě nových přístrojů bere jako jedna z možností pro nesplnění podmínek pro způsobilost procesu měření resp. systému měření.

3.2.3 Proces měření

Variabilita procesu měření

Obě metodiky shrnují zdroje variability v Ishikawově diagram „rybí kosti“ (viz VDA 5 kapitola 1.1.2 a MSA kapitola 1.3.3). Na první pohled jsou mezi nimi patrné rozdíly. Například diagram u VDA 5 má 8 základních typů zdrojů variability (člověk, metoda atd.) a 43 samostatných zdrojů variability, MSA má pouze 4 základní typy zdrojů variability (obrobek, přístroj, prostředí, osoba), ale 66 samostatných zdrojů variability.

Metodika MSA má méně typů zdrojů variability, i když má více samostatných zdrojů variability zejména proto, že na rozdíl od metodiky VDA 5 dělí podrobněji jisté zdroje variability. Například zdroj (Prostředí → Teplota) u VDA 5 je u MSA (Prostředí → Teplota → Vyrovnání složky systému). U MSA je dána dvoustupňová hierarchie zdrojů variability (tj. každý samostatný zdroj variability je vztažen k jednomu z 8 základních typů zdroje variability). Naopak systém hierarchie zdrojů variability u MSA je složitější a komplexnější. Mnoho dílčích zdrojů variability není zařazeno do 4 základních typů zdrojů, a naopak řada z nich je až na 3. stupni od základního typu zdroje variability.

Rozhodně lze říci, že i když oba Ishikawovy diagramy pro metodiky MSA a VDA 5 popisují stejnou problematiku, jsou přesto velice rozdílné.

Určování nejistot měření

V určování nejistot měření se obě metodiky zásadně liší. Metodika VDA 5 vyhodnocuje každou složku nejistoty měření samostatně. Standardní nejistota u_i se vypočte pro každou složku, která má reálně vliv na měření.

Metodika MSA se nesnaží popsat variabilitu do složek nejistoty, ale způsobilost systému měření se určí numerickou metodou z naměřených hodnot získaných opakovaným měřením.

Rozlišení (u_{RE} , práh citlivosti)

Prvním krokem k určení způsobilosti systému měření metodikou MSA je zajištění dostatečně nízkého prahu citlivosti měřidla. Práh citlivosti označuje velikost změny vzhledem k referenční hodnotě, kterou je přístroj schopen detekovat. Prahem citlivosti tedy je hodnota nejmenšího dílku na stupnici měřidla. V MSA obecně platí, že práh citlivosti být minimálně jedna desetina pozorované variability procesu.

V souladu s pokyny metodiky MSA prvním krokem je zhodnocení, zda rozlišení je nižší než 5 % požadované hodnoty odpovídající charakteristiky, která má být testována. V případě, že tento požadavek není splněn, žádná další kontrola se neprovádí, neboť měřicí přístroj nebude odrážet realitu dostatečně. V tomto případě podle metodiky VDA 5 platí standardní nejistoty z řešení měřicího přístroje u_{RE} .

Nejistota z referenčních dílů (u_{CAL})

V metodice MSA se uvádí, že nejistota z referenčního dílu (etalonu, atd.) musí být nižší než 5 % požadované hodnoty.

VDA 5 uvažuje tuto nejistotu při výpočtu rozšířené nejistoty měření. Tato složka nejistoty může být významná, protože použité pracovní etalony měření často vykazují vysokou nejistotu. Tomu lze zabránit tím, že se provede hodnocením každé nejistoty referenčního části samostatně.

Opakovatelnost a systematická chyba měření (u_{EVR} , u_{BI})

Aby bylo možné hodnotit opakovatelnost a systematickou chybu měření, obě metodiky provádějí opakované měření na kalibrovaných referenčních dílech se známou jmenovitou hodnotou.

Metodika MSA vyžaduje nízkou variaci (tj. standardní odchylku), ale bohužel v metodice chybí konkrétní informace, jak nízká by měla směrodatná odchylka být.

U metodiky VDA 5 se toto měření provádí na 2 – 3 etalonech viz „Postup 1“ (str. 48). Poté se provede výpočet hodnot c_g a c_{gk} (indexy způsobilosti měřicího zařízení) z naměřených veličin. Pokud jsou obě hodnoty vyšší než 1,33, měřicí systém dá považovat za způsobilý nebo variace a systematická chyba měření lze považovat za dostatečně malé. Dále VDA 5 určí složky nejistoty u_{EVR} a u_{BI} .

Opakovatelnost a reprodukovatelnost (u_{EVO} , u_{AV} , u_{GV} , u_{STAB} , u_{IAi} , EV, AV, GRR)

Pro určení složek nejistoty z opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření je nutné provést experiment. Je nutné provést minimálně 2 opakovaná měření na alespoň 2 objektech měření, pro minimálně 2 operátory (pokud je to rozhodující) a alespoň na 2 upínacích prvcích (pokud je to rozhodující). Kritérium velikosti výběru celkem 30.

Metodika VDA 5 z opakovaného měření určí dvě standardní složky nejistoty u_{EVO} a u_{AV} , které odpovídají hodnotám EV a AV z metodiky MSA a rozdíl je pouze ve značení a interpretaci.

Aby bylo možné zhodnotit opakovatelnost a reprodukovatelnost podle metodiky MSA, provede se měření se třemi operátory, kteří provedou dvě opakovaná měření na deseti testovaných dílech (minimální požadavky).

Metodika MSA pro tento účel z naměřených hodnot vypočítá opakovatelnost EV (variabilita dílu) a reprodukovatelnost AV (variabilita operátorů). Výpočet těchto hodnot je základem výpočtu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla GRR.

Výsledky těchto měření jsou vyhodnoceny metodou ANOVA (analýza rozptylu), kterou obě metodiky využívají (metodika VDA 5 tuto metodu v posledním vydání od MSA převzala).

Stabilita (u_{STAB})

V určení této nejistoty se obě metodiky téměř shodují (viz kap. 2.1.12 pro VDA 5 a kap. 2.3.12 pro MSA). Vyhodnocení měřicího systému nebo procesu měření v určitém čase tvoří základ pro rozhodnutí, zda vůbec můžeme rozhodnout o způsobilosti či nikoliv. Stabilita je velice důležité kritérium a určuje, zda systém či proces měření zůstává způsobilý po celou dobu jeho použitelnosti.

Pro zjištění stability systému či procesu měření musí být prováděna opakovaná měření

na referenčních částech v pravidelných intervalech. Výsledky těchto měření se zanášejí do kontrolních grafů. Pokud dojde k překročení mezí zásahu, musí být způsobilost systému či procesu přehodnocena.

Vliv tvaru dílu (u_{OBJ})

V závislosti na způsobu výroby, materiálu, složitosti dílu a na dalších faktorech může mít velký vliv na nejistotu měření také tvaru dílu. Tato nejistota může mít v jistých případech zásadní význam.

Metodika MSA se v současném vydání vlivem tvaru zabývá v části „Vliv nadměrné variability uvnitř dílu“. Doporučuje použít metodu D.O.E., ANOVA či jinou pokročilou statistickou metodu pro určení vlivu tvaru objektu. Pro takovéto díly musí být přizpůsobena výrobní i měřicí část a měl by se na tyto faktory brát na zřetel již u FMEA návrhu, například použitím jiného měřidla nebo použitím jiných upínacích metod.

VDA 5 vyhodnocuje odchylku tvaru jako složku standardní nejistoty u_{OBJ} , která může být odhadnuta více možnostmi (metoda A, Metoda B).

Teplota (u_T)

Metodika MSA se problematikou změny teplot vlivu teploty nezabývá a předpokládá konstantní teplotu testovaného objektu a okolí během měření. VDA 5 hodnotí vlivy teploty pomocí standardní nejistoty u_T . Metodika nabízí několik způsobů výpočtu.

3.2.4 Vyhodnocení způsobilosti

Vyhodnocení vhodnosti procesu měření (podle metodiky VDA), resp. způsobilosti systému měření (podle metodiky MSA) je završením celé analýzy měřících systémů a procesů. Oba systémy se neliší pouze v pojmu, ale i v principech, jak tohoto výsledku dosáhnout.

Metodika VDA 5 má pro odhad všech složek nejistoty poměrně složitý a komplexní postup. Tento postup zahrnuje minimálně dva experimenty (měření na etalonech, měření na referenčních částech v celém rozsahu) a zbytek složek nejistot získaných metodou B, tj. na základě dokumentace, či dalšími experimenty. Ověření vhodnosti měřícího systému ($Q_{MS} < 15\%$) pouze dílčím krokem k určení vhodnosti celého procesu měření (Q_{MP}).

Metodika MSA na rozdíl od metodiky VDA 5 neurčuje složky nejistoty jednotlivě, ale na základě opakovaných měření určí způsobilost systému měření. Takže pokud vyhodnotíme způsobilost systému měření metodikou MSA a ten vyhovuje, je systém vhodný. Přesto metodika MSA doporučuje provést testování vlastností měřícího systému.

Přehledně rozdíly mezi oběma metodikami z hlediska jejich výsledného hodnocení měřícího systému, resp. procesu ukazuje tabulka 12.

V dalších podkapitolách je stručně shrnut postup pro určení vhodnosti, res. způsobilosti podle obou metodik.

Tabulka 12: Kritéria pro posouzení vhodnosti/způsobilosti systému/procesu měření [30]

	MSA 4	VDA 5 or ISO/CD 22514-7
Capability index	$\%GRR = \frac{\sqrt{EV^2 + AV^2}}{RF} \times 100\%$ <p>where RF = total variation TV, process variation σ, P_p, P_{pk} or tolerance TOL used mainly in company guidelines</p>	$Q_{MS} = \frac{2 \times U_{MS}}{TOL} \times 100\% \quad Q_{MP} = \frac{2 \times U_{MP}}{TOL} \times 100\%$ <p>where TOL = tolerance</p> $U_{MS} \text{ bzw. } U_{MP} = 2 \times \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots$ <p>u_i Standard uncertainty of the i-th influence factor</p>
Limit values	<p>$\%GRR \leq 10\%$ capable $10 < \%GRR < 30$ partly capable $30 \leq \%GRR$ not capable</p>	<p>Measurement result $y = x \pm U_{MP}$ $\%Q_{MP} \leq 30\%$ capable</p>
Graphical evaluation		
Remarks:	<p>Incorrect decisions may be caused by measurement values near the specification limits (U or L).</p>	<p>Measurement result y must lie within the tolerance TOL (s. DIN EN ISO 14253).</p>

Vyhodnocení procesu měření metodikou VDA 5

Součástí hodnocení procesu měření podle VDA 5 je hodnocení měřicího systému. VDA 5 používá pro určení vhodnosti měřicího systému parametr Q_{MS} a pro určení vhodnosti procesu Q_{MP} , přičemž se musí nejprve určit způsobilost Q_{MS} .

Nejprve je nutné určit všechny složky nejistoty u_i , které by mohly mít vliv na měřicí systém, pak odhadnout kombinovanou nejistotu měření u_{MS} a přes koeficient rozšíření vypočítat rozšířenou nejistotu měření U_{MS} . Následně lze pomocí rozšířené nejistoty měření U_{MS} a šířky tolerančního pásma TOL lze stanovit hodnotu ukazatele vhodnosti Q_{MS} .

Hodnota ukazatele vhodnosti měřicího systému Q_{MS} musí být menší než 15 %. Po splnění tohoto požadavku lze měřicí systém považovat za způsobilý a přistoupit k odhadu parametru Q_{MP} . Pakliže je měřicí systém považován za nevhodný, je nutné provést jeho vylepšení, tj. nalézt největší či nejsnáze odstranitelné složky nejistoty měření a odstranit je. Poté se celý postup opakuje, dokud ukazatele vhodnosti nevyhovují a celý systém resp. proces měření není označen za vhodný.

Pro určení vhodnosti celého procesu měření metodou VDA 5 je nutné získat další složky nejistot. Lze je rozdělit na:

- složky nejistoty, jež nejdou získat experimentálně (Metoda B: u_{OBJ} , u_T),
- složky nejistot získaných experimentálně (Metoda A: u_{EVO} , u_{AV} , u_{GV} , u_{IAV}) metodou ANOVA a dále u_{STAB} (popř. u_{OBJ})

Po získání zbývajících složek nejistoty lze odhadnout kombinovanou nejistotu měření u_{MP} a přes koeficient rozšíření vypočítat rozšířenou nejistotu měření U_{MP} . Poté je možné

pomocí rozšířené nejistoty měření U_{MP} a šířky tolerančního pásma TOL stanovit hodnotu ukazatele vhodnosti Q_{MP} . Pro uznání procesu měření vhodným, musí být hodnota Q_{MP} menší než 30 %.

Vyhodnocení způsobilosti systému měření podle MSA

Podle metodiky MSA se pro vyhodnocení způsobilosti zjišťuje, zda:

- má měřicí přístroj dostatečně nízký práh citlivosti (hodnota nejmenšího dílku na stupnici měřidla),
- je systematická chyba měření (nebo linearita) dostatečně nízká,
- je počet datových kategorií $ndc > 5$.

Po provedení těchto kroků se zjišťuje opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla metodou %GRR, což je numerická analýza. Hodnota %GRR by měla být menší nebo rovná 10 % pro úplnou způsobilost a v rozsahu 10 – 30 % pro částečnou způsobilost. Veškeré systémy měření s %GRR větším než 30 %, vyžadují zlepšení.

Zde narážíme na jednu z největších nevýhod metodiky MSA, která primárně neanalyzuje příčiny nezpůsobilosti systému měření. Příčiny lze identifikovat pouze nepřímo na základě mezivýsledků, popř. je nezbytné učinit další kroky či analýzy.

V rámci MSA se vyšetřuje několik základních charakteristik měřicího systému, které popisují naměřená data z hlediska:

- variabilita polohy rozdělení – Strannost, Stabilita, Linearita,
- variabilita šíře – Opakovatelnost, Reprodukovatelnost, Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR).

Po získání naměřených hodnot lze otestovat soubor hodnot na každou z těchto vlastností (viz kapitola „Studie systému měření kvantitativních proměnných – směrnice“, str. 55) a poté zhodnotit vliv na daný systém měření.

Pro určení způsobilosti procesu měření podle metodiky MSA lze využít indexy způsobilosti procesu C_p a C_{pk} nebo indexy výkonnosti procesu P_p a P_{pk} . Tyto hodnoty by pro způsobilý proces měření měly být $\geq 1,33$.

3.2.5 Speciální metody měření

Další odlišnosti mezi oběma metodikami jsou především ve speciálních metodách měření, což jsou metody, které jsou použity pro specifická měření (neopakovatelná měření, nestandardní výběry dat, nereplikovatelná data atd.).

Speciální metody v MSA

Praktické řešení systémů se složitými neopakovatelnými měřeními

Metodika MSA obsahuje oproti metodice VDA 5 postupy při analýzách systémů s neopakovatelnými měřeními (destruktivní zkoušky, neopakovatelná měření atd.). Systém MSA také nabízí výběr různých scénářů založených na konkrétním typu těchto měření (viz. „Řešení systémů měření se složitými neopakovatelnými měřeními“, část 1.3.12).

Operativní charakteristika měřidla

Po stanovení velikosti chyby a na základě určení této charakteristiky lze určit přijetí či zamítnutí dílu pro některou referenční hodnotu. Vychází z předpokladu, že chyby v systému měření vychází především z opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a strannosti.

Snižování variability použitím násobných čtení

Je alternativní metoda pro snižování variability měřicího systému použitá v metodice MSA, ve VDA 5 se nevyskytuje. Jde o metodu, kterou lze přechodně použít, pokud systém měření není přijatelný (Gage R&R \geq 30%), dokud nebude možné provést vlastní zlepšení systému měření.

Provádí se mnoho násobných statisticky nezávislých čtení vyhodnocovaného znaku dílu a provede se průměr těchto výsledků. Tato metoda je časově náročná.

Metoda stanovení sdružené směrodatné odchylky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Analýza systémů měření obvykle předpokládá, že je možné získat náhodným způsobem replikovaná data všech dílů/vzorků od všech operátorů, tento předpoklad však u některých typů měření není možný, tuto problematiku řeší pouze metodika MSA.

Tento problém lze vyřešit použitím hierarchického experimentu nebo metodou studie směrodatné odchylky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla.

Statistiky konzistence

Jde o určení konzistence daného souboru dat v metodice MSA. Jedním z důvodů výpočtu těchto statistik je umožnit porovnání mezi velmi odlišnými materiály či různými typy souborů hodnot.

Speciální metody ve VDA 5

Třídění prvků

V procesech výroby s velkým rozptýlením se často provádí třídění kritických znaků. Tím se tolerance důležitých znaků rozděluje na dvě a více tříd.

Validace měřicího software

Metodika VDA 5 na rozdíl od metodiky MSA obsahuje postup ověřování výsledků a validaci měřicího software.

4 Srovnání metodik z hlediska softwarové podpory

Srovnání metodik z hlediska softwarové podpory bylo provedeno za účelem zjistit, které statistické softwary podporují postupy (metody) potřebné k odhadu způsobilosti či vhodnosti systému měření resp. procesu měření dle metodik MSA a VDA 5.

Pro tento rozbor byly vybrány nejběžnější statistické softwary, se kterými se lze v praxi setkat. Cílem srovnání bylo najít vhodné softwary pro úplné využití postupů metodik MSA a VDA 5. Hodnocení probíhalo tak, že se u každého softwaru zjistila dostupnost potřebných metod k určení vhodnosti či způsobilosti systému resp. procesu měření, a na základě počtu těchto metod byl software hodnocen.

Při hodnocení zpracovatel neměl přístup ke všem softwarům a tak nemohla být reálně ověřena dostupnost, popř. způsob aplikace požadovaných metod. Při ověřování dostupných metod se tedy vycházelo pouze z dostupné dokumentace ke všem softwarovým produktům.

Výsledky porovnání byly shrnuty do tabulky 13. Symbol „√“ značí, že daný software obsahuje požadovanou metodu.

Tabulka 13: Porovnání metod vyhodnocení způsobilosti/vhodnosti systému/procesu měření

	Anova	Gage R&R	Gage Capability	MSA atributivní	Gage Linearity	Gage Bias
MiniTab	√	√	√	√	√	√
Statistica 8	√	√	√	√	√	√
Q - DAS	√	√	√	√	√	√
Palstat	√	√	√	√	√	√
QC - Expert	√					
QI - Analyst	√					
Statgraphics	√	√	√	√	√	√
NCSS	√	√	√			

Z tabulkového porovnání vyplývá, že 5 z 8 srovnávaných softwarů obsahuje všechny příslušné metody pro určení vhodnosti či způsobilosti systému měření resp. procesu měření a jsou tedy vhodné v plném rozsahu pro vyhodnocení způsobilosti systému resp. procesu měření.

O zbývajících třech softwarech lze říct, že nepokrývají všechny potřebné funkce pro plné určení vhodnosti či způsobilosti. Zejména softwarové produkty QC – Expert (Trylobyte) a QI– Analyst splňují z hledaných metod pouze metodu ANOVA a nejsou tedy vhodné pro určování způsobilosti měřících systémů.

Částečně požadavky splňuje software NCSS, který na rozdíl od QC–Expert a QI–Analyst obsahuje odhad Gage R&R a Gage capability a je tak vhodný pro určení způsobilosti systému měření pomocí GRR nebo C_p a C_{pk} a také odhadu výkonnosti procesu P_p a P_{pk} . Pro kompletní zhodnocení systému měření resp. procesu měření by měl software obsahovat alespoň také test na linearitu a strannost (Gage Linearity and Bias).

5 Případová studie ověření použitelnosti metodik

5.1 Zadání

Cílem této analýzy bylo vyhodnotit reálný měřicí systém. Naměřené hodnoty byly zpracovány podle metodiky MSA, tedy jejich kritérií způsobilosti. Zároveň se dají z tohoto vyhodnocení určit i některé nejistoty potřebné k analýze způsobilosti metodou VDA 5.

Data byla získána v nejmenovaném výrobním závodě. Jako měřený díl byla vybrána hřídel elektromotoru o předpokládaném průměru 13 mm (tolerance +0,3 mm). Tento díl byl zvolen díky tomu, že šlo o jednu z mála ocelových částí vyráběných v této společnosti a plastové by vykazovaly větší variabilitu výsledků kvůli pružnosti materiálu.

Pro měření dílů bylo použito pracovní posuvné měřidlo značky MITUTOYO, jehož detailnější popis je v příloze 9. Před samotným měřením bylo zkontrolováno, zda měřidlo prošlo pravidelnou kalibrací. Měření se provádělo na pracovním stole bez upínacího zařízení a jiných pomůcek a bylo provedeno během jednoho dne.

5.2 Postup měření

Nejprve byla provedena klasická analýza pro zjištění způsobilosti měřicího systému podle metodiky MSA. Konkrétně šlo o zjištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla (GRR) a také o analýzu linearity a vychýlení.

Postup měření pro určení GRR

Bylo změřeno 10 dílů a 3 operátoři (lidé, kteří prováděli měření), každý z operátorů každý díl měřil třikrát. Takto byl postup opakován pro všech 10 dílů (tj. každý díl byl změřen devětkrát).

Postup měření pro odhad linearity a strannosti

Pro tuto analýzu je potřeba mít referenční díly, nejlépe rozprostřené po celém tolerančním pásmu, ale to se vzhledem k malému množství dílů nepodařilo. Z hodnot použitých pro analýzu GRR byly pro analýzu zvoleny čtyři díly, které pokrývaly pásmo naměřených hodnot (13,06 – 13,21).

Následně byl každý referenční díl dvanáctkrát změřen všemi operátory podle vzorce (A,B,C,A,B,...), každý díl tedy měřil každý operátor čtyřikrát. Na základě těchto dat byla provedena analýza linearity a strannosti pro celý systém měření.

Postup měření pro odhad způsobilost systému měření

Analýza způsobilosti systému měření podle metodiky MSA byla provedena pro hodnoty použité pro metodu GRR (10 dílů, 3 operátoři, každý díl třikrát měřil každý operátor). Vyhodnocení způsobilosti bude určeno podle indexů způsobilosti C_p , C_{pk} , P_p a P_{pk} .

Postup měření pro odhad způsobilost systému dle metodiky VDA 5

Z naměřených hodnot, jak pro metodu Gage R&R, tak pro učení linearity a strannosti, lze odhadnout několik složek nejistoty, potřebných k určení vhodnosti systému měření, resp. procesu měření dle metodiky VDA 5.

5.3 Naměřené hodnoty

Operátoři jsou v tabulce označeni písmeny A, B, C. Díly jsou seřazeny podle čísel (1-10), tato čísla jim byla před začátkem měření přidělena.

Než bylo zahájeno měření, bylo nutné určit rozlišitelnost měřidla (neboli práh citlivosti), který se označuje se jako m_R , a je dána vztahem:

$$m_R = \frac{R}{T} = \frac{0,01}{0,3} = 0,0\overline{33}[-]$$

kde R je rozlišení měřidla [mm], T je celková tolerance dílu [mm]. [36]

Naměřené hodnoty pro analýzu GRR

Tabulka 14: Naměřené hodnoty pro analýzu GRR

Operátor/ číslo měření		Díl									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1. měření	13,10	13,16	13,09	13,15	13,16	13,22	13,04	13,09	13,14	13,04
	2. měření	13,14	13,18	13,07	13,16	13,13	13,22	13,08	13,07	13,15	13,07
	3. měření	13,11	13,13	13,10	13,14	13,11	13,20	13,06	13,10	13,19	13,03
B	1. měření	13,12	13,20	13,12	13,18	13,17	13,19	13,05	13,06	13,20	13,07
	2. měření	13,10	13,16	13,08	13,17	13,15	13,21	13,07	13,06	13,17	13,09
	3. měření	13,09	13,18	13,10	13,17	13,14	13,20	13,04	13,10	13,16	13,04
C	1. měření	13,09	13,18	13,12	13,16	13,14	13,21	13,06	13,07	13,16	13,05
	2. měření	13,12	13,15	13,12	13,15	13,15	13,22	13,03	13,05	13,17	13,08
	3. měření	13,14	13,14	13,09	13,18	13,16	13,20	13,04	13,08	13,19	13,06

Pro zajištění regulérnosti analýzy výsledků byly před měření díly označeny ve spodní části, aby operátoři neviděli, které díly právě měří. Každý výsledek mi byl sdělen tak, aby ho ostatní dva operátoři neslyšeli a nebylo tím ovlivněno měření.

Naměřené hodnoty pro analýzu linearitu a strannosti

Tabulka 15: Naměřené hodnoty pro analýzu linearitu a strannosti

	Referenční hodnoty			
Číslo měření	13,06	13,11	13,17	13,21
1	13,04	13,15	13,16	13,18
2	13,07	13,12	13,19	13,22
3	13,06	13,10	13,21	13,21
4	13,05	13,11	13,15	13,20
5	13,07	13,13	13,17	13,23
6	13,05	13,08	13,19	13,22
7	13,03	13,13	13,16	13,19
8	13,06	13,12	13,18	13,23
9	13,05	13,09	13,20	13,21
10	13,06	13,11	13,16	13,20
11	13,07	13,14	13,17	13,22
12	13,05	13,10	13,18	13,19

Referenční hodnoty jsou zobrazeny v zelených buňkách. Velikosti referenčních hodnot nebyly před měřením operátorům sděleny, aby se zajistila nezávislost měření.

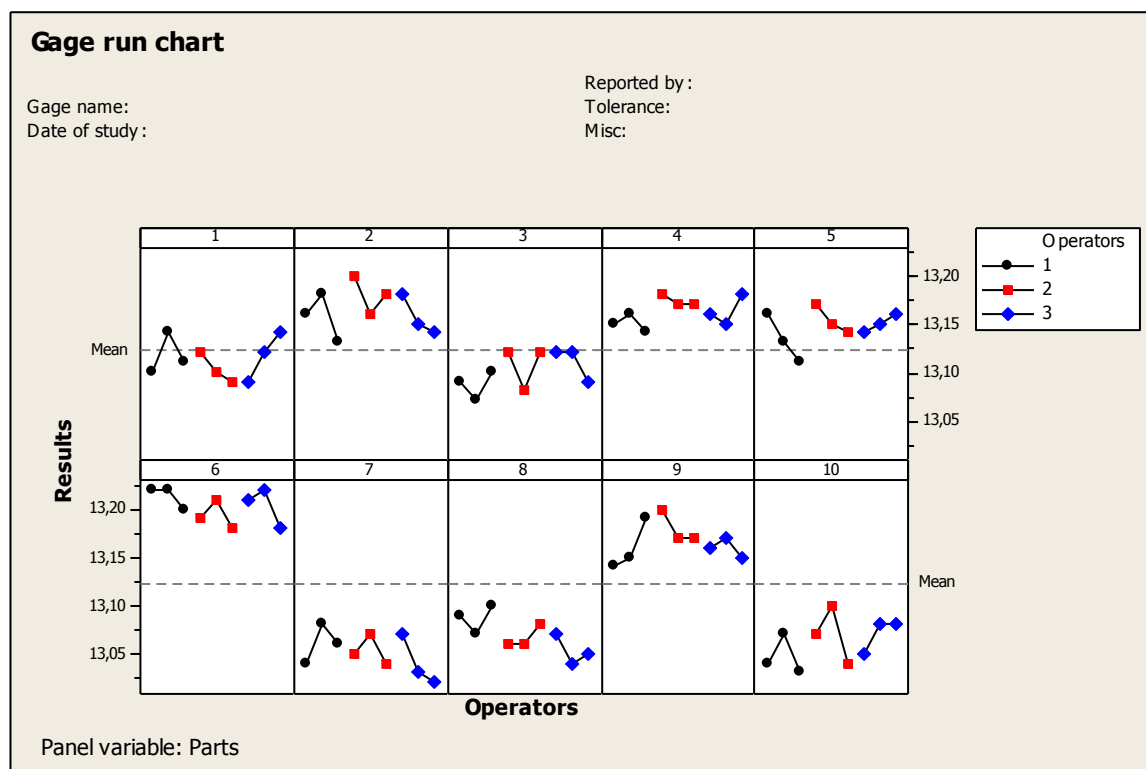
5.4 Zpracování naměřených hodnot

Pro vyhodnocení způsobilosti systému měření byl použit statistický software MiniTab.

5.4.1 Grafické a numerické zpracování dat pro odhad variability systému měření metodou GRR

Jako první byl pro získání základní představy o variabilitě dílů, operátorů a opakovaných měření vytvořen průběhový diagram.

Obrázek 23: Průběhový diagram výsledků měření [MiniTab]



Z obrázku 23 je zřejmé, že největší odchylku od střední hodnoty vykazují díly číslo 6 a 7 (vzdálenost od průměru). Pro hodnocení variability operátorů a opakovaných měření tato metoda není zřejmě dostatečná, neboť rozdíly mezi operátory na daném dílu nejsou průkazné. [33]

Poté byla provedena metoda GRR dle metody ANOVA. Výstupy jsou numerické a grafické:

- Numerické výsledky
 - Tabulka ANOVA,
 - tabulka Gage R&R.
- Grafické výsledky
 - diagram procentuálních podílů složek variability
 - diagram rozpětí podle operátorů,
 - diagram průměru podle operátorů, diagram porovnání vzorků,

- diagram porovnání operátorů,
- diagram interakce operátor*vzorek.

Numerické výsledky

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction (2 faktorová ANOVA s interakcemi)

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0,220538	0,0245042	55,9583	0,000
Operators	2	0,000829	0,0004144	0,9464	0,407
Parts * Operators	18	0,007882	0,0004379	1,2355	0,264
Repeatability	60	0,021267	0,0003544		
Total	89	0,250516			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction (2 faktorová ANOVA bez interakcí)

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0,220538	0,0245042	65,5712	0,000
Operators	2	0,000829	0,0004144	1,1090	0,335
Repeatability	78	0,029149	0,0003737		
Total	89	0,250516			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	(příspěvek složek variability v %)
Total Gage R&R	0,0003751	12,27	(celková variabilita systému měření)
Repeatability	0,0003737	12,23	(příspěvek opakovatelnosti)
Reproducibility	0,0000014	0,04	(příspěvek reprodukovatelnosti)
Operators	0,0000014	0,04	(vlastní podíl operátora)
Part-To-Part	0,0026812	87,73	(variabilita mezi vzorky)
Total Variation	0,0030562	100,00	(celková variabilita)

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0193665	0,116199	35,03
Repeatability	0,0193314	0,115989	34,97
Reproducibility	0,0011653	0,006992	2,11
Operators	0,0011653	0,006992	2,11
Part-To-Part	0,0517800	0,310680	93,66
Total Variation	0,0552832	0,331699	100,00

Number of Distinct Categories = 3 (ukazatel rozlišitelnosti systému měření)

Nejdůležitější hodnotou z těchto numerických výsledků je 35,03 % (%Study Var). Tato hodnota je stěžejní pro určení způsobilosti systému měření. [33]

Počet „Distinct Categories“ je ukazatelem rozlišitelnosti systému a udává počet kategorií, do kterých lze data rozložit, v našem případě jsou to 3 kategorie (např. high, medium, low).

Grafické výsledky

Program MiniTab vloží všechny grafické výsledky analýzy GGR do jednoho obrázku (viz obrázek 24), který obsahuje šest diagramů, jež budou dále vysvětleny a vyhodnoceny.

Obrázek 24: Vyhodnocení naměřených dat metodou Gage R&R [MiniTab]

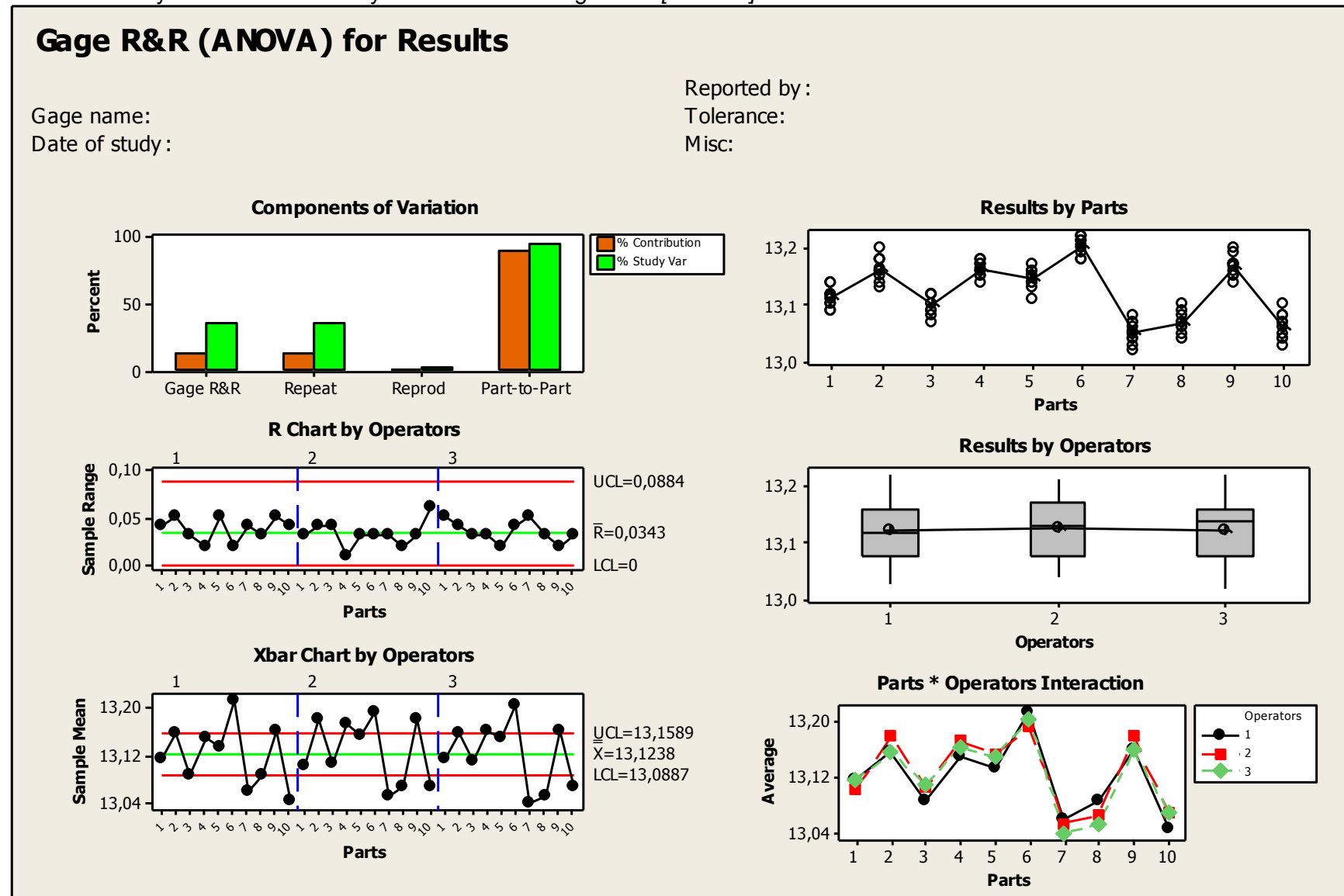


Diagram složek variability (Components of Variation)

První graf „Components of Variation“ zobrazuje, jaký procentní podíl celkové variability Part-to-Part má složka Gage R&R a její podsložky Opakovatelnost a Reprodukovatelnost. Tyto hodnoty byly již v numerické analýze Gage R&R a graf je zde především pro lepší představu.

Při zlepšování systému měření se zaměřujeme na složky, jež vykazují největší variabilitu. Z grafu lze poměrně snadno tyto složky určit. Je to především příspěvek opakovatelnosti, který činí 34,97 %, což je 99,83 % z celkové hodnoty Gage R&R.

Regulační diagram rozpětí (R Chart by Operators)

Rozpětí je rozdíl největší a nejmenší hodnoty v podskupině. Diagram R zobrazí každé kolísání uvnitř podskupin a představuje ukazatel velikosti chyby opakovatelnosti. Pokud se kolísání uvnitř podskupin shodují, zůstává diagram R ve stavu statisticky zvládnutém.

Průběhy uvnitř podskupin (operátorů) se neshodují, tudíž opakovatelnost měření jednotlivých operátorů se bude výrazně lišit. To již víme z numerické analýzy i z diagramu složek variability.

Regulační diagram průměru (Xbar by Operators)

Regulační diagram X ukazuje, kam je centrováný měřicí proces. Protože známe nominální hodnoty kontrolovaného znaku, ukazuje také na systematickou chybu procesu měření a hlavně udává stabilitu procesu měření.

Diagram X odhaluje nežádoucí kolísání mezi podskupinami z hlediska průměrů. Když podskupiny tvoří i různé úrovně jednotlivých prvků procesu měření (různé podmínky, různý personál atd.), tento diagram představuje ukazatel chyby reprodukovatelnosti v procesu měření.

Protože se kontrolované díly měřily najednou bez větších prodlev nebo změny operátorů, průběhy v diagramech průměrů podle operátorů se vzájemně velice podobají. Z numerické analýzy víme, že chyba reprodukovatelnosti, kterou tento diagram popisuje, je pouze 2,11 %.

Diagram porovnání vzorků (Results by Parts)

Diagram ukazuje průměr a rozložení hodnot pro každý vzorek. Rozložení hodnot by mělo být pro každý vzorek co nejmenší. Největší variabilitu naměřených hodnot lze vidět na vzorku č. 10, dále pak variabilitu na vzorcích č. 2, 7 a 8. Z diagramu je patrná také variabilita mezi vzorky, zejména vzorky číslo 6, 7, 8 a 10, které vykazují největší odchylku vůči průměrné hodnotě.

Pro větší názornost byl vytvořen ještě krabicový graf jednotlivých vzorků v příloze 10. Z krabicového grafu lze získat poměrně přesnou představu o každém dílu. Prostřední vodorovná čára u každého boxu znázorňuje medián, krajní okraje boxů značí 25% a 75% kvartily. Konce svislých čar vycházejících z každého boxu označují minimální resp. maximální hodnotu výběru (rozmezí těchto hodnot obsahuje všechny hodnoty výběru).

Diagram porovnání operátorů (Results by operators)

Diagram podle operátorů ukazuje průměrné hodnoty a rozložení naměřených dat každým operátorem. Jde vlastně o krabicový graf, vytvořený pro každého operátora zvlášť. Malá

kružnice uvnitř boxu představuje průměrnou hodnotu, vodorovná čára medián. Z diagramu je velmi dobře vidět, jak se tyto dvě hodnoty shodují. Nejvíce se shodují u operátora 1 (A), nejméně u operátora 3 (C).

V ideálním případě by spojnice pro aritmetické průměry všech operátorů měla být rovná, tj. operátoři dosahují stejných výsledků. Z diagramu je však patrné, že se průměrné hodnoty u operátorů liší, i když ne tolik jako jejich mediány. Největší rozdíl v průměrných hodnotách je mezi operátorem 1 (A) a 2 (B), nižší rozdíl už mezi operátorem 2 (B) a 3 (C), vůbec nejnižší mezi operátory 1 (A) a 3 (C).

Také seskupení dat by mělo být pro všechny operátory podobné. Nejnižší variabilitu dat má operátor 2 (B). Ostatní dva mají variabilitu naměřených dat vyšší. Operátor 3 (C) kromě vyšší variability vykazuje také největší neshodu mezi mediánem a průměrnou hodnotou, což značí vysokou variabilitu naměřených dat.

Diagram interakce operátor/vzorek

Ideální křivky v diagramu interakce by měly být vzájemně rovnoběžné pro všechny operátory, což by znamenalo, že nedochází k interakci mezi operátorem a vzorkem. Z diagramu je však patrná variabilita mezi vzorky a především variabilita mezi výsledky jednotlivých operátorů.

K interakcím tedy v našem případě dochází. Nejvýznamnější interakci lze vidět na vzorku č. 8, kde je poměrně velký rozdíl mezi všemi 3 operátory. [33]

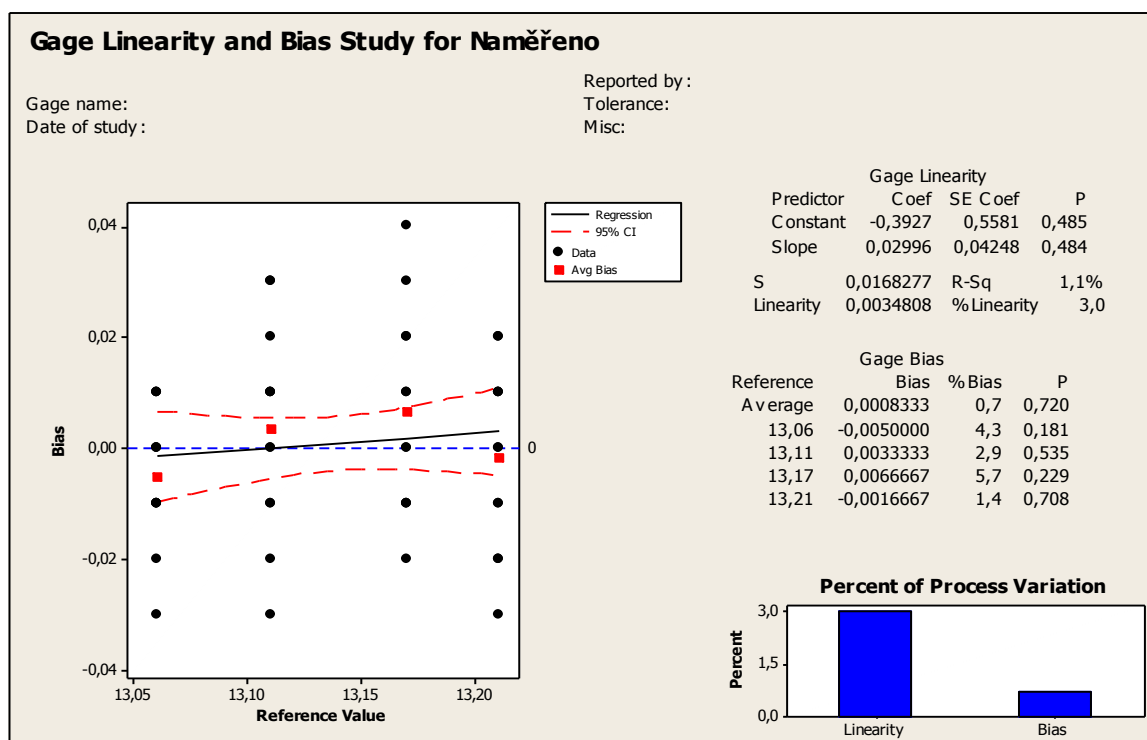
5.4.2 Grafická analýza linearity a strannosti systému měření

Aby bylo hodnocení způsobilosti úplné, je třeba analyzovat linearitu a strannost systému měření (Gage Linearity and Bias). Analýza linearity a strannosti systému je standardní součástí MSA a určuje variabilitu polohy vůči referenčním hodnotám. Tato analýza byla provedena s využitím naměřených hodnot pro analýzu linearity a strannosti. Čtyři díly byly vybrány na základě výsledků předchozího měření. K zjištění referenční hodnoty každého dílu jsme použili hodnoty z metody GRR (tedy 9 měření na každém dílu) a zjistili aritmetický průměr pro každý díl.

Stojí za připomenutí, že kvůli nízkému počtu vzorků naše referenční díly nepokrývají standardní rozložení hodnot procesu.

Z diagramu lze vyvodit pozitivní zjištění, že všechny průměrné hodnoty jsou uvnitř konfidenčního intervalu 95 %. Z hodnot v diagramu je patrné, že chyba linearity (3,0 %) více než čtyřikrát převyšuje chybu strannosti (0,7 %), také je vidět, že odchylka od referenční hodnoty není podle velikosti hodnot lineární. Veškeré průměrné hodnoty referenčních hodnot se nacházejí v konfidenčním intervalu 95 % (červená, čárkovaná křivka).

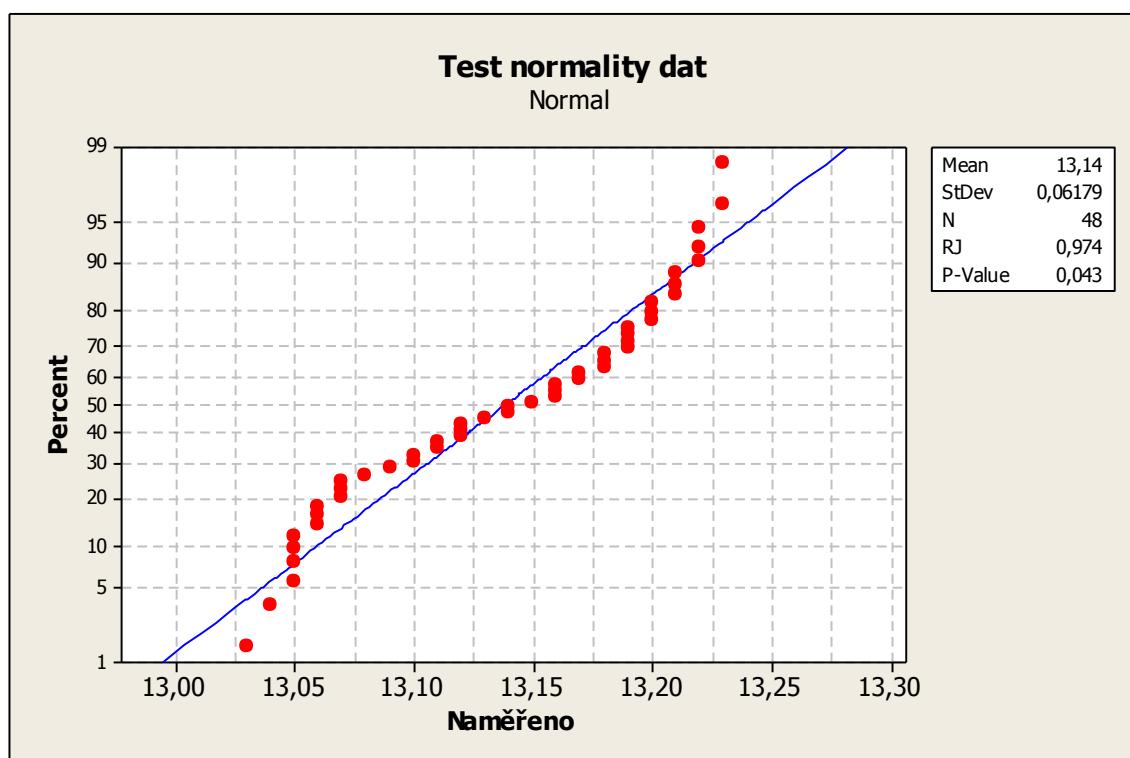
Obrázek 25: Test naměřených dat na linearitu a strannost[MiniTab]



5.4.3 Odhad způsobilosti systému měření

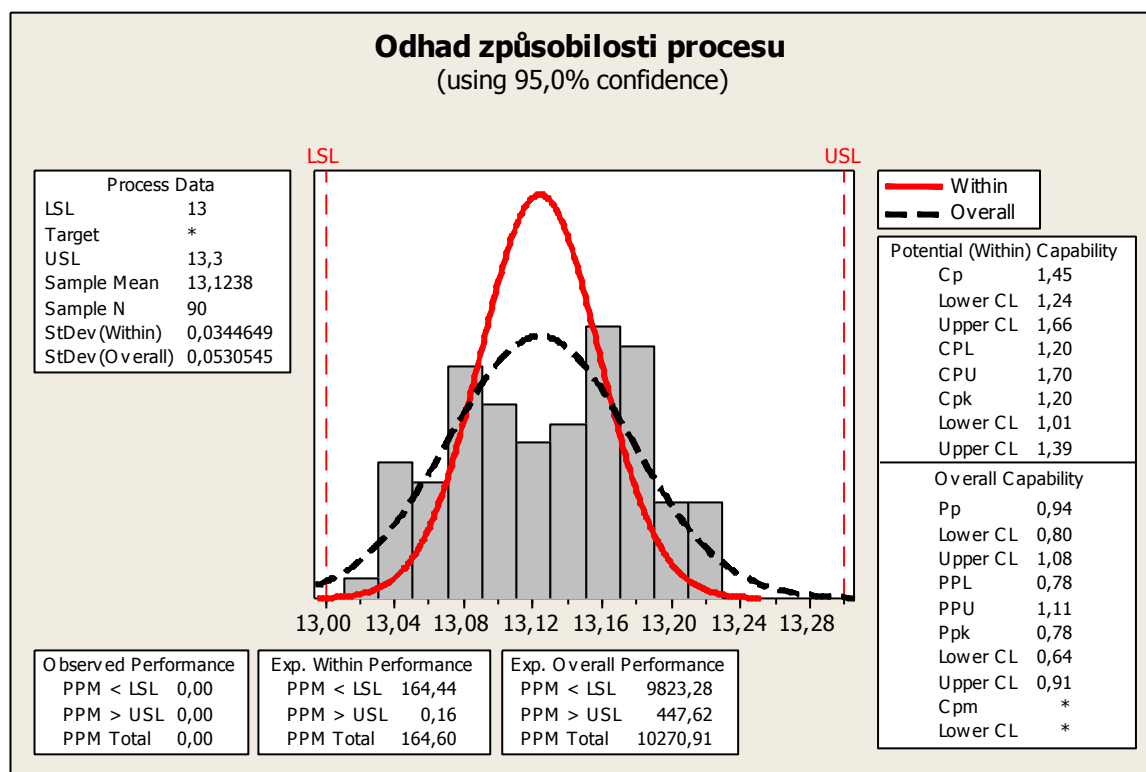
Před analýzou způsobilosti systému měření bylo nutné ověřit normalitu naměřených dat (viz obrázek 26). Pro toto ověření byl použit Ryan – Joiner test. Podle tohoto testu byl požadavek normality dat, tedy aby p-Value byla větší než 0,05, nesplněn (p-Value = 0,043). [27]

Obrázek 26: Test normality dat dle Ryan – Joiner testu [MiniTab]



I když nebyly splněny hranice normality dat, byl proveden odhad vhodnosti a způsobilosti procesu měření s konfidenčním intervalem 95 % pro krátkodobý (C_p , C_{pk}) i dlouhodobý (p_p , p_{pk}) odhad (viz obrázek 27).

Obrázek 27: Odhad způsobilosti procesu [MiniTab]



Indexy způsobilosti měření c_p a c_{pk} , jak je z diagramu patrné, jsou blízko mezní hodnoty, tj. $> 1,33$ ($c_p = 1,45$ a $c_{pk} = 1,20$). Podle těchto výsledků lze považovat systém měření z krátkodobého hlediska za částečně způsobilý.

Hodnoty dlouhodobého odhadu způsobilosti systému měření ($p_p = 0,94$ a $p_{pk} = 0,78$) signalizují, že systém není udržitelný z dlouhodobého hlediska.

Normalita nesplňovala požadované meze, což při hodnocení způsobilosti procesu měření patrně vedlo k nesprávným výsledkům výpočtových metod software. Bylo tedy nutné příslušná data „transformovat“ na normální rozdělení. K tomuto účelu byla vybrána Johnsonova transformace, která nová data převádí přímo na rozdělení $N(0, 1)$. [32]

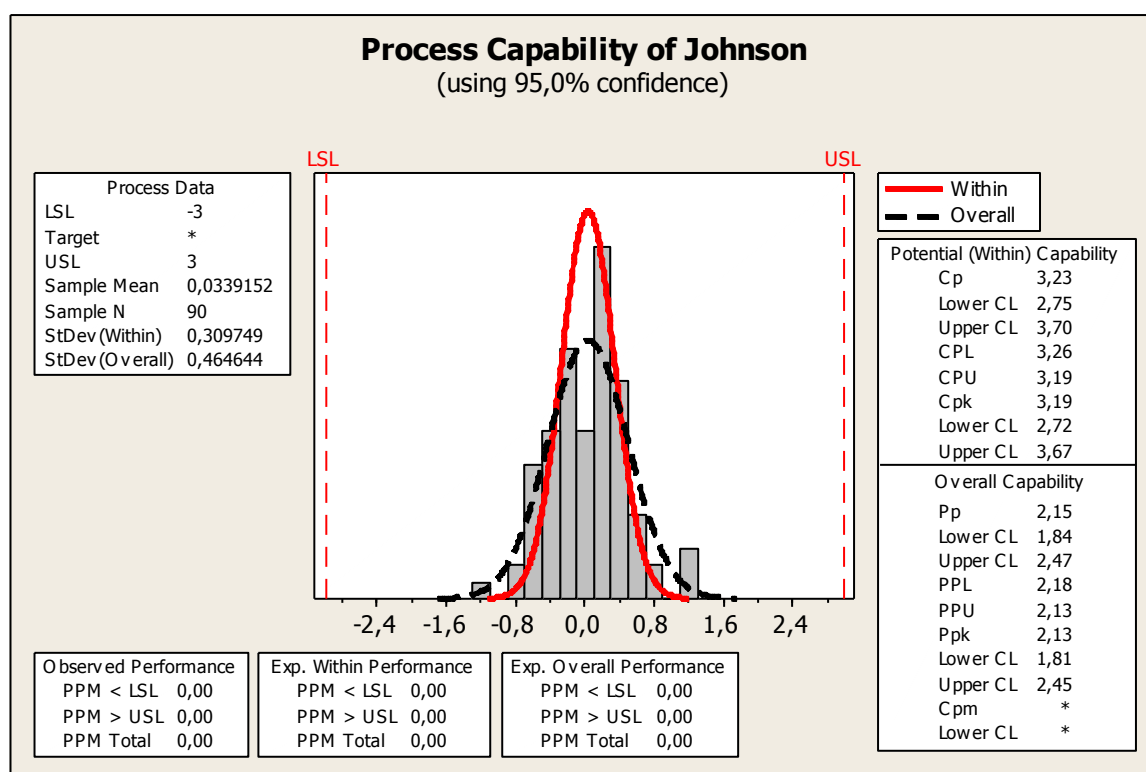
Diagram Johnsonovy transformace je v příloze 11. Pro další postupy je pro nás nejdůležitější částí tohoto diagramu transformační funkce, podle níž budou přepočítána naše původní data.

$$X_j = 0,893577 \cdot \log \frac{(x_i - 13,0082)}{(13,2318 - x_i)}$$

kde X_i je původní hodnota výběru a X_j je nová hodnota po Johnsonově transformaci.

Touto funkcí přepočítáme všechny hodnoty ve výběru a získaná data použijeme znovu pro odhad vhodnosti a způsobilosti procesu měření s konfidenčním intervalem 95 % (viz obrázek 28).

Obrázek 28: Odhad způsobilosti procesu po Johnsonově transformaci dat [MiniTab]



Je patrné, že se hodnoty indexů způsobilosti zvýšily a nyní všechny indexy způsobilosti vyhovují, tj. $\geq 1,33$ ($C_p = 3,23$ a $C_{pk} = 3,19$, $p_p = 2,15$ a $p_{pk} = 2,13$).

Určení nejistot měření pro metodiku VDA 5

Dosavadní výsledky případové studie, která se doteď zabývala určením způsobilosti systému měření především pro metodiku MSA, lze použít pro vyjádření některých složek nejistoty pro analýzu VDA 5.

Jako první složku nejistoty lze určit rozlišitelnost systému měření podle vzorce:

$$u_{RE} = \frac{RE}{\sqrt{12}} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 0,0029$$

Tato hodnota v procentech by měla být menší než 5 % tolerance. Tolerance je 0,3 mm a 5 % z této hodnoty je 0,015. Rozlišení přístroje tedy splňuje tuto podmínku a je tedy pro měřicí systém dostatečné.

Pro určení velikosti složky nejistoty u_{LIN} se využívá opakovaných měření na 2 – 3 etalonech. Etalony k dispozici nebyly, proto byly využity čtyři referenční díly, jejichž hodnoty již byly změřeny pro analýzu linearitu a strannosti.

Pro zjištění složek nejistoty byla provedena regresní analýza naměřených hodnot. [27];

Regression Analysis:

The regression equation is

Naměřeno = - 0,393 + 1,03 Ref. hodnota

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-0,3927	0,5581	-0,70	0,485	
Ref. hodnota	1,02996	0,04248	24,24	0,000	1,000

S = 0,0168277 R-Sq = 92,7% R-Sq(adj) = 92,6%

PRESS = 0,0140875 R-Sq(pred) = 92,15%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,16644	0,16644	587,77	0,000
Residual Error	46	0,01303	0,00028		
Lack of Fit	2	0,00083	0,00041	1,49	0,237
Pure Error	44	0,01220	0,00028		
Total	47	0,17947			

Unusual Observations

Obs	Ref.	hodnota	Naměřeno	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
27		13,2	13,2100	13,1718	0,0028	0,0382	2,30R
37		13,2	13,1800	13,2130	0,0039	-0,0330	-2,02R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Hodnota u_{LIN} se dá odhadnout z výše provedené regresní analýzy, kde se jedná o hodnotu „Lack of Fit“ a má hodnotu $u_{LIN}^2 = 0,00041$, takže $u_{LIN} = 0,064$.

Složku opakovatelnosti lze také odhadnout z tabulky regresní analýzy z části „Pure Error“, odkud získáme hodnotu $u_{EVR}^2 = 0,00028$, poté $u_{EVR} = 0,0167$.

Velikost vychýlení u_{BI} lze odhadnout z hodnot diagramu „Gage Linearity and Bias“, najdeme hodnotu největšího vychýlení (Bias), což je rozdíl průměru naměřených hodnot a velikosti dané referenční hodnoty, z na ní se ze všech čtyř hodnot dá očekávat největší nejistota. Tato nejistota se objevila na referenční části 3.

$$u_{BI} = \frac{|\bar{x}_g - x_m|}{\sqrt{3}} = \frac{|-0,00667|}{\sqrt{3}} = 0,00385$$

Další složky nejistoty lze získat z hodnot opakovaných měření, použitých pro metodu Gage R&R. Pro výpočet je použita metoda ANOVA a výsledky jsou totožné a lze je odečíst přímo z tabulky Gage R&R.

Z tabulky ANOVA pro „Parts * Operators“ je p-hodnota = 0,264, což splňuje předpoklad, aby tato hodnota byla větší než „Alpha to remove interaction term“ = 0,25, pak lze interakci Díl*Operátor zanedbat.

Hodnota opakovatelnosti „Repeatability“ se odečte z tabulky Gage R&R (část StdDev) $u_{EVO} = 0,0193314$ stejně jako hodnota „Operators“ $u_{AV} = 0,0011653$.

Poslední důležitou složkou nejistoty je nejistota kalibrace u_{CAL} , kterou kvůli absenci etalonu nejsme schopni odhadnout. Tato složka nejistoty je potřebná k výpočtu vhodnosti systému měření resp. procesu měření, tudíž vhodnost nejsme schopni určit. [27]

5.5 Vyhodnocení případové studie

Prvním krokem v analýze bylo určit, zda je rozlišitelnost měřicího přístroje dostatečná. Z výpočtu vyplývá, že rozlišitelnost měřicího zařízení je 3,33%, což splňuje požadavek MSA, kde by hodnota rozlišitelnosti měla být nižší než 5%.

Pro získání předběžné představy o systému měření byl vytvořen průběhový diagram, který poskytl představu o tom, jaké jsou rozdíly mezi díly a mezi operátory.

Numerické vyhodnocení Gage R&R

Metodou Gage R&R byl proveden odhad způsobilosti systému měření nejprve numericky, poté graficky. Numerická metoda nám poskytla odhad opakovatelnosti (variabilita zařízení $EV = 0,11598$) a reprodukovatelnosti (variabilita operátora $AV = 0,006992$) měření a jejich podílu na celkové variabilitě. Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla ($GRR = 0,116199$) vyjádřená procenty je přibližně 35 % celkové variability (TV). Pokud je tato hodnota vyšší než 30 %, lze systém měření označit za nepřijatelný a je doporučeno provést jeho zlepšení.

Největší vliv na variabilitu procesu měření má složka opakovatelnosti ($EV = 34,97$ % z celkové variability). Příčin nadměrné opakovatelnosti oproti reprodukovatelnosti může být více. Například přístroj by měl projít údržbou. Někdy je nutné celkově překonstruovat měřidlo, zlepšit upnutí či polohování vzorku.

Každá z výše uvedených možných příčin mohla mít na měření vliv, ale podle mého názoru největší vliv měla absence upnutí měřeného dílu. Měření bylo prováděno na desce stolu a vzhledem k válcovému tvaru měřeného dílu nešlo o ideální měřicí podmínky.

Ukazatelem rozlišitelnosti systému ndc je v našem případě 3. Přijatelný a použitelný systém měření by měl mít 5 a více kategorií, tudíž systém měření v tomto ohledu také nevyhovuje.

Grafické vyhodnocení Gage R&R

Dále bylo provedeno vyhodnocení grafickou metodou Gage R&R. První tři grafy převážně potvrdily numerické výpočty, především tedy že opakovatelnost je příliš vysoká. Diagram porovnání vzorků zprostředkoval informace o variabilitě jednotlivých dílů a také rozdíl v hodnotách velikosti vzorků. Největší variabilitu měl vzorek č. 10 a dále pak vzorky č. 2, 7 a 8. Od celkového průměru měřených dílů se nejvíce lišily vzorky 6, 7, 8 a 10.

Z diagramu porovnání operátorů lze provést srovnání pro jednotlivé operátory z hlediska průměrné hodnoty, mediánu, 1. a 3. kvantilu hodnot a celkové variability. Největší rozdíl průměrných hodnot vykazují operátor 1 (A) a operátor 2 (B) a největší rozdíl v mediánech operátor 1 (A) a operátor 3 (C). Největší variabilitu hodnot vykazoval operátor 3 (C), nejnižší operátor 2 (B). Nejzajímavější z celého diagramu je však rozložení hodnot u operátora 3 (C). To je na rozdíl od ostatních dvou velice nesouměrné, medián hodnot je polohou zatížen k 75% kvartilu hodnot, což naznačuje, že se velká koncentrace hodnot nachází mezi 75% kvartilem a mediánem, což indikuje nerovnoměrné rozdělení dat proti zbývajícím operátorům.

Pokud se hodnoty pohybují výrazným způsobem k jednomu z konců grafu, tato část „tlačí“ pod sebe příslušnou polovinu hodnot a vytváří tak jejich vysokou koncentraci a posouvá medián k jedné ze stran. S přihlédnutím k těmto výsledkům a tomu, že má operátor 3 (C)

největší variabilitu hodnot, ho lze označit za nejhoršího operátora z naší trojice.

Diagram interakce operátor/vzorek ukazuje, na mezi jakými díly a operátory dochází k interakci. Nejvýznamnější interakce je patrná na vzorku č. 8, kde je poměrně velký rozdíl mezi všemi 3 operátory.

Vyhodnocení linearity a strannosti systému měření

Sklon přímky linearity (viz obrázek 24) je malý a lze tedy konstatovat, že linearita je poměrně dobrá. Naopak u strannosti (tj. rozložení červených bodů podél osy Bias =0) je výsledek problematický.

Vyhodnocení odhadu vhodnosti systému měření dle VDA 5

Kvůli absenci etalonů jsme pro odhad složek u_{LIN} , u_{EVR} a u_{BI} , použili opakovaná měření na referenčních hodnotách zjištěných aritmetickým průměrem, tudíž lze pochybovat o jejich přesnosti. Také nám pro určení vhodnosti systému měření chybí parametr nejistoty kalibrace u_{CAL} . Dále jsou uvedeny velikosti jednotlivých složek nejistoty.

$$u_{RE} = 0,0029$$

$$u_{LIN} = 0,064$$

$$u_{EVR} = 0,0167$$

$$u_{BI} = 0,00385$$

$$u_{AV} = 0,0011653$$

$$u_{EVO} = 0,0193314$$

Největší podíl na nejistotě měření mají složky u_{LIN} , u_{EVR} a u_{EVO} . První dvě složky byly odhadnuty z opakovaného měření na referenčních dílech. Správný odhad těchto složek by měl být proveden na etalonech, proto kvůli špatnému postupu odhadu těchto složek nejistot dosahují tak vysokých hodnot. Složka nejistoty u_{EVO} (opakovatelnost na objektu měření) je také vysoká. Tento závěr byl již učiněn při vyhodnocování způsobilosti metodu Gage R&R.

Vyhodnocení odhadu způsobilosti systému procesu indexy C_p , C_{pk} , P_p a P_{pk}

Po vyhodnocení testu Ryan – Joinerova testu normality jsme zjistili, že normalita získaných dat nevyhovuje. Byla tedy provedena Johnsonova transformace daných dat a vyhodnocena způsobilosti procesu jak nových transformovaných dat, tak dat původních.

Obě vyhodnocení vyšla výrazně odlišně. Při vyhodnocení původních dat splňovalo kritérium způsobilosti procesu (tj. $\geq 1,33$) pouze C_p , zatímco po transformaci dat toto kritérium splňovaly všechny čtyři indexy způsobilosti procesu.

Index způsobilosti C_p , který splňuje podmínku v obou souborech hodnot, dokazuje způsobilost procesu měření. Hodnota C_{pk} v původním souboru hodnot těsně nesplnila podmínku a po transformaci ji splnila. Lze tedy předpokládat, že skutečná hodnota $C_{pk} \geq 1,33$. Hodnoty P_p a P_{pk} v původních datech poměrně jednoznačně nespĺňovaly podmínku a po transformaci jí překročily, zde je tedy obtížné dojít k jasným závěrům.

Indexy způsobilosti dokládají zvládnutý měřicí proces a na jeho základě predikují výkonnost procesu. Stabilitu procesu lze předpokládat, pokud se hodnoty indexů způsobilosti C_p a P_p příliš neliší. V našem případě se liší poměrně významně a tudíž indexy výkonnosti procesu P_p a P_{pk} nelze považovat za relevantní. [32]

6 Závěr

Cílem předložené práce bylo porovnat různé metodiky způsobilosti procesů, které slouží k vyhodnocení vhodnosti či způsobilosti systémů měření resp. procesů měření. Porovnávány byly metodiky MSA, VDA 5 a norma ČSN ISO 22514-7. Pro každou metodiku byl vytvořen detailní rozbor jejich metod pro určení způsobilosti či vhodnosti. Značná podrobnost rozborů vyplývala z potřeby poznání všech dílčích postupů tak, aby mezi sebou metodiky mohly být porovnávány.

V první kapitole své práce jsem poskytl přehled a vysvětlení základních termínů použitých v této práci. Také zde byl popsán management kvality a vysvětlen význam a postup některých metod používaných pro hodnocení kvality. Poslední část této kapitoly obsahuje výčet důležitých norem z oblasti kvality a AUTOMOTIVE a dále stručnou charakteristiku obou metodik a normy, včetně jejich historie.

Druhá kapitola již analyzuje postupně jednotlivé metodiky, včetně normy, z hlediska postupů a metod používaných k určení způsobilosti či vhodnosti systému měření resp. procesu měření. Zvláštní pozornost byla věnována analytickým nástrojům používaným v rámci jednotlivých metodik. V rámci této kapitoly vzniklo přehledné shrnutí metodik MSA a VDA 5 i normy ČSN ISO 22514-7.

Těžištěm této práce je kapitola 3, která srovnává jednotlivé metodiky a normu. Byla provedena dvě porovnání, a to metodika VDA s normou ČSN a metodika VDA s metodikou MSA. Metodika VDA a norma ČSN mají společný základ, který tvoří norma ISO/WD 22514-7. Norma ČSN je překladem normy ISO, zatímco metodika VDA je komplexnější. Integruje další normy (viz tabulka 2) a snaží se je aplikovat ve výrobní praxi. Z uvedeného vyplývá, že srovnání normy ČSN ISO 22514-7 s metodikou MSA by nebylo účelné.

Metodika MSA vznikla jako společná směrnice velkých amerických automobilek k analýze systémů měření. Postupy určování způsobilosti a vhodnosti systému měření resp. procesu měření se u metodiky MSA a VDA 5 výrazně liší. Odlišnosti jsou v celkovém přístupu k vyhodnocování způsobilosti systému měření resp. procesu měření. MSA je postavené především na vyhodnocení výsledků měření a zejména statistickými metodami se snaží kvantifikovat způsobilost systému měření.

Metodika VDA pracuje při posuzování vhodnosti se širším okruhem vstupních dat (měření na etalonech, dokumentace apod.) a na základě těchto informací kvantifikuje tzv. dílčí nejistoty. Na základě souhrnu těchto dílčích nejistot metodika jednak posuzuje celkovou vhodnost systému i procesu měření, ale je také schopná určit příčiny v případě neuspokojivých výsledků.

Detailní srovnání metodik VDA a MSA v kapitole 3 se soustředilo na porovnání vyhodnocení dílčích nejistot měření, porovnání koeficientů způsobilosti, indexů způsobilosti a ukazatelů vhodnosti.

Ve čtvrté části této práce bylo provedeno porovnání nejrozšířenějších statistických softwarových produktů z hlediska jejich využitelnosti pro hodnocení způsobilosti podle metodik MSA a VDA 5. Bylo zjištěno, že většina (5 z 8) prověřovaných softwarových produktů plně vyhovuje potřebám statistických analýz podle metodik VDA a MSA.

Pátou kapitolu předložené práce tvoří případová studie ověření použitelnosti metodik

v praxi. Cílem praktického ověření bylo využít znalosti získané v rámci předchozích prací a ověřit teoretické znalosti na praktickém příkladu.

Pro tuto analýzu byly ve výrobním podniku zajištěny reálné součásti a byl navržen systém měření. Naměřené hodnoty byly zpracovány a byla provedena analýza způsobilosti systému měření v programu MiniTab. V rámci celého postupu zpracování dat se podařilo získat představu o významu jednotlivých nejistot reálného systému měření i o jejich dopadu na způsobilost měření.

6.1 Shrnutí – porovnání metodik MSA, VDA 5 a normy ČSN

Pravděpodobně prvním a rozhodujícím faktorem ve výběru vhodné metodiky pro určení vhodnosti měřicího systému pro výrobní závod je zejména to, do jakých regionů a jakým firmám bude dodávat (Kdo bude váš zákazník?). Volba metodiky zajišťující dosažení požadované kvality není tedy pouze v rukou výrobce, protože dnes každá firma funguje podle určitých standardů kvality a totéž vyžaduje od svých dodavatelů. Pro evropský, zejména automobilový, trh převládá metodika VDA, pro americký trh metodika MSA.

Odhlédneme-li od tohoto významného hlediska, jsou pro výběr optimální metodiky systému měření podstatné její výhody a omezení ve srovnání s ostatními metodikami. Z tohoto důvodu jsou v následujících podkapitolách shrnuty hlavní výhody a omezení nebo nevýhody identifikované v této práci.

Metodika MSA

Mezi výhody metodiky MSA určitě patří vysoké mezinárodní uznání, především díky velké historii této metodiky a také jejímu prvenství ve snaze sjednotit pokyny pro firmy v automobilovém průmyslu (asi o 13 let dříve než vydání 1. vydání VDA 5). Další výhodou je univerzálnost uplatňovaných postupů, které používá pro odhad způsobilosti a často se tak využívá i mimo automobilový průmysl.

MSA klade velký důraz na přípravu před pořízením systému měření, na návrh systému měření a jeho nákup. Tato metodika tedy může být přínosná zejména pro začínající firmy, které nemají zkušenosti se systémy měření, neboť obsahuje poměrně detailní návody pro vypracování návrhu systému měření, pro zakomponování tohoto systému do firmy i pro výběr správného dodavatele měřicího systému.

Samotný proces odhadu způsobilosti systému měření podle metodiky MSA je o něco jednodušší než podle VDA 5. Namísto určování mnoha složek nejistoty měření, což je časově náročné a vyžaduje řadu experimentů, lze u MSA provést pouze jeden základní experiment na zjištění %GRR, na jehož základě rozhodnout o způsobilosti procesu.

Nevýhodou jednodušší metody je, že nezískáme přehled o rozložení vlivů nejistoty, tak jako u VDA 5. Pokud %GRR nesplní požadované meze, není tedy snadné určit příčiny, které měly na systém měření největší negativní vliv a kde je tedy nutné systém měření zlepšit.

Naopak jako další výhodou metodiky MSA se jeví řešení systémů měření se složitými a neopakovatelnými měřeními (např. destruktivní zkoušky). Navíc MSA obsahuje postupy řešení pro nestandardní měřicí systémů nebo dílů, které metodika VDA postrádá.

Metodika VDA 5

Podle metodiky VDA 5 je postup hodnocení založen na určování a kvantifikaci složek nejistoty. Tento postup je delší a náročnější, ale v případě nezpůsobilosti měřicího systému resp. procesu měření, lze snadno odhalit, které dílčí složky nejistoty mají majoritní vliv na měřicí systém (proces měření) a pracovat na jejich eliminaci. To lze označit za velkou výhodu oproti metodice MSA.

Metodika VDA 5 navíc vychází z norem ISO, což lze označit za výhodu oproti metodice MSA, především z důvodu rozšíření a použitelnosti norem ISO ve světě. Metodika VDA na rozdíl od MSA obsahuje validaci software pro zpracování a vyhodnocování výsledků.

V posledních vydáních byla metodika VDA 5 rozšířena o řadu postupů z metodiky MSA (např. metoda ANOVA, atributivní řešení) zřejmě ve snaze využít dobré zkušenosti MSA pro zvýšení praktické využitelnosti metodiky VDA. Podle mého názoru se toto daří a VDA je na trhu minimálně důstojným soupeřem metodice MSA.

První vydání metodiky VDA 5 mělo mnoho nedostatků. Například neobsahovalo postupy pro atributivní zkoušky, metodu ANOVA, postup pro měření geometrických veličin. Nyní však tyto nedostatky odstranila a to by patrně mohlo vést k většímu rozšíření.

Norma ČSN ISO 22514-7

Výhodou normy ČSN je její návaznost na normy ISO a tedy její univerzálnosti a použitelnosti. Nevýhodou této normy je její zaměření pouze na odhad vhodnosti systému resp. procesu měření, bez praktických rad a širších souvislostí.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Analýza systémů měření (MSA), Česká společnost pro jakost, Praha 1, originální 4. vydání 2010 (české 2011), [www. cqs.cz](http://www.cqs.cz), [cit. 2016-02-18].
- [2] VDA5: Vhodnost kontrolních procesů, Česká společnost pro jakost, Praha 1, edice Management kvality v automobilovém průmyslu, 2. Přepřacované vydání 2010 (2011) www.csq.cz [cit. 2016-02-20].
- [3] Terminologie v oblasti metrologie odpadu [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné na World Wide Web: < <http://www.sekk.cz/terminologie/Text/Terminologie.htm> >.
- [4] Tůmová O.: Přednášky z předmětu Metrologie na FEL ZČU, Plzeň, 2013, [cit. 2016-02-25].
- [5] M. Motyčka, O. Tůmová: Metody analýzy vhodnosti měřicích systémů, časopis Electroscope:, FEL ZČU 2013, ročník II., [cit. 2016-02-26].
- [6] Chromý, V. a spol.: Management kvality v analytické a klinické chemii, učebnice Masarykovy univerzity, Brno, 2009, [cit. 2016-02-26].
- [7] V. E. Sower, Ph.D., C.Q.E: Definitions of Quality, [cit. 2016-02-26]. dostupné na World Wide Web: <http://www.shsu.edu/~mgt_ves/mgt481/lesson1/>.
- [8] Klouda J.: Optimalizace QMS podniku vyrábějícího elektronické součástky pro oblast průmyslové výroby a automotive, FEL ZČU, 2013 [cit. 2016-02-24].
- [9] Tůmová O., D. Pirich – Nástroje řízení jakosti a nástroje technické diagnostiky, ZČU v Plzni, 2003, [cit. 2016-02-21].
- [10] Plura J: Plánování jakosti II., Vysoká škola báňská – Technická škola Ostrava, Ostrava 2012, dostupné na World Wide Web: <<http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/QP2/Planovani%20jakosti%20II.pdf>>.
- [11] Kochmannová E.: Nástroje řízení kvality, časopis Electroscope, FEL ZČU 2012, ročník II., [cit. 2016-03-02].
- [12] Husák M.: Nástroje řízení kvality, bakalářská práce, VUT Brno, 2010, [cit. 2016-03-02]. Dostupné na World Wide Web: < https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29772>.
- [13] Netolický P: cvičení z předmětu Řízení jakosti a technická diagnostika, FEL ZČU 2015, [cit. 2016-03-04]
- [14] Netolický P. a Mazínová I.: Plánování produktu v předvýrobních etapách, Digitální knihovna ZČU, [cit. 2016-03-06]
- [15] Mach P.: Komplexní řízení jakosti, [cit. 2013-04-24], dostupné na World Wide Web: < <http://martin.feld.cvut.cz/~mach/vyuka/13KRJ/Prednasky.pdf>>.
- [16] Kubáčová E.: Aplikace moderních nástrojů řízení jakosti ve vybraném podniku, [cit. 2016-02-05], Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta, Brno 2007, dostupné na World Wide Web: <file:///D:/%C5%A1kola/Diplomov%C3%A1%20pr%C3%A1ce/diplomova_prace_Eva_Kubacova.pdf>.
- [17] Internetová stránka o kvalitě: [ikvalita.cz](http://www.ikvalita.cz) [online]. 2012, [cit. 2013-02-24], dostupné na World Wide Web: < <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=33> >.
- [18] Normy ISO 9000 z Management.jakosti.cz [online], 2005 [cit. 2016-01-27].

- Dostupné na World Wide Web: <<http://normy.jakosti.cz>>.
- [19] Vykydal D.: Plánování jakosti a jeho význam pro dodavatele v automobilovém průmyslu, 2000, [cit. 2016-04-26], VŠB-TU Ostrava, dostupné na World Wide Web: <<http://katedry.fmmi.vsb.cz/639/qmag/mj15-cz.htm> >.
- [20] Internetová stránka České společnosti pro jakost: Managementmania.com [online], [cit. 2016-02-21]. dostupné na World Wide Web: <<https://managementmania.com/cs/qs-9000> >.
- [21] Balejová I.: Uplatnění inovativní metody systémového přístupu pro plánování kvality ve vývoji produktu [online], Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, [cit. 2016-02-18], dostupné na World Wide Web: <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28783/balejov%C3%A1_2014_dp.pdf?sequence=1&isAllo wed=y9000 >.
- [22] Internetová stránka Q-DAS (Experts in Statistics): Nejistoty měření aneb co přináší nová VDA5, 2010 [online], [cit. 2016-01-21]. dostupné na World Wide Web: <<http://www.q-das.cz/cz/udalosti-priciny-opatreni/>>.
- [23] Palán J. (Palstat CAQ): Analýza systémů měření MSA / VDA5, 2005, Vrchlabí, [cit. 2016-02-26].
- [24] Vočadlo O.: Vazba mezi geometrickou specifikací produktu (GPS) a zajišťováním kvality, Fakulta Strojní ZČU, Plzeň, 2011 [cit. 2016-01-19].
- [25] Dušek M.: Naplňování požadavků automobilového průmyslu ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o., Fakulta Strojní ZČU, Plzeň, 2012 [cit. 2015-12-03].
- [26] Veber J. a kolektiv: Řízení jakosti a ochrana spotřebitele, Grada Publishing a.s., 2007 [cit. 2015-16-04].
- [27] Jarošová E.: Způsobilost systému měření podle normy ČSN ISO 22514-7, 2007, [cit. 2015-17-04]. Dostupné na World Wide Web na: <http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Stat isticke_metody/sborniky/Zpusobilost_systemu_mereni_6_2014.pdf>.
- [28] Petřkovská L. a Čepová L.: Metrologie a řízení kvality [cit. 2015-17-04]. Ostrava, 2007, Dostupné na World Wide Web na: <http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory /Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf>.
- [29] Šlaichová E.: Hodnocení způsobilosti procesu, [cit. 2015-18-04]. Technická Univerzita v Liberci, Dostupné na World Wide Web na: <http://multiedu.tul.cz/~eva.slaichova /multiedu/Rizeni_jakosti/Hodnoceni_zpusobilosti_procesu.pdf>.
- [30] Dietrich E.: Comparison between the MSA manual and VDA Volume 5 [cit. 2015-10-05]. Q-das, Německo, Dostupné na World Wide Web na: <http://www.q-das.com/en/applications/solara/technical-reports/?no_cache=1&download=MSA4_VDA5_ea.pdf&did=118>.
- [31] StatSoft: Analýza způsobilosti procesu [cit. 2016-05-06], Praha, Dostupné na World Wide Web na: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft _Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf>.

- [32] Michálek J: Jak správně interpretovat ukazatele způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu, Ústav teorie informace a automatizace AV ČR Praha, [cit. 2016-05-12],
- [33] SC&C Partner: Návod k programu MiniTab, Brno, [cit. 2016-05-13].
- [34] Bednář J.: MSA-Analýza systému měření, VUT, Brno [cit. 2016-05-14].
- [35] Přednášky z předmětu Biostatistika, ZČU Strojní, Plzeň, [cit. 2016-05-14],
- [36] Janda O.: Využití MSA v běžném strojírenském podniku, [cit. 2016-05-14],
- [37] Hrdlička M.: Hodnocení přesnosti a způsobilosti souřadnicového stroje pioneer, VUT, Brno, 2014 [cit. 2016-05-14],
- [38] Vencel P.: Metrologická confirmace měřidla – způsobilost systému měření, VUT, Brno, 2014 [cit. 2016-05-15],
- [39] Obrázky dostupné na World Wide Web: <https://bazant.files.wordpress.com/2015/07/11_msa.pdf> [cit. 2016-05-15],
- [40] Obrázky dostupné z Transkript prezentace: dostupné na World Wide Web: <<http://slideplayer.cz/slide/2443794/>> [cit. 2016-05-15],
- [41] Popis normy ISO ČSN ISO 22514-7: Dostupné na World Wide Web na: <<http://shop.normy.biz/detail/94809>> [cit. 2016-05-15].

Přílohy

Příloha 1: Ukázky regulačních diagramů při různém prahu citlivosti z metodiky MSA

Příloha 2: Postup při ověřování vhodnosti systému a procesu měření metodikou VDA 5

Příloha 3: Typické složky nejistoty měřicího systému dle VDA 5

Příloha 4: Složky nejistoty procesu měření zjištěné metodou B (VDA)

Příloha 5: Metody k určování typických standardních nejistot použitelné v praxi (VDA)

Příloha 6: Přehled metod a typických modelů procesů měření (VDA)

Příloha 7: Příklad vyhodnocení atributivního systému měření (VDA)

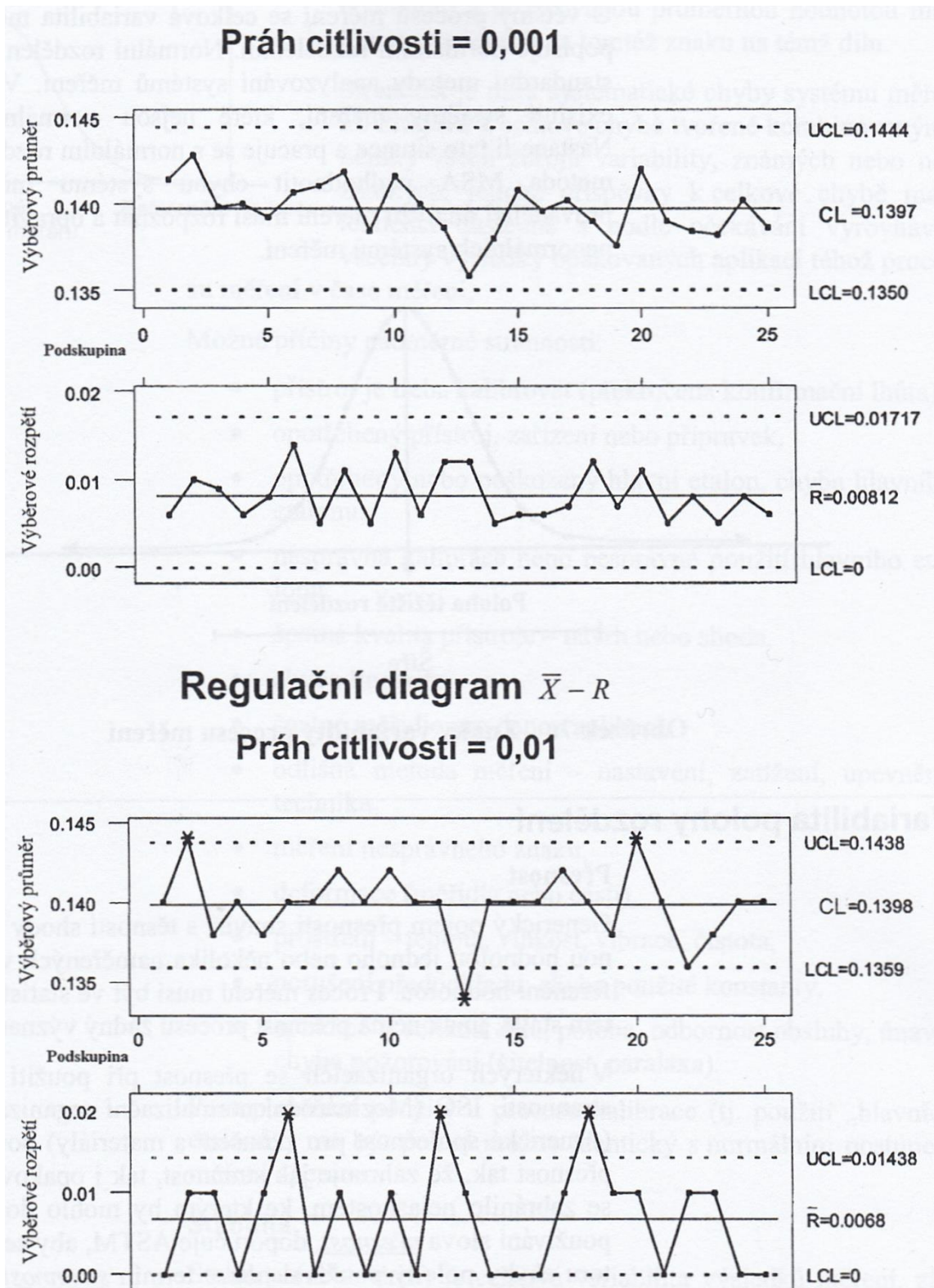
Příloha 8: Vývojový diagram postupu validace systému resp. procesu měření podle normy
ČSN ISO 22514-7

Příloha 9: Popis měřicího přístroje značky MITUTOYO využitého v případové studii

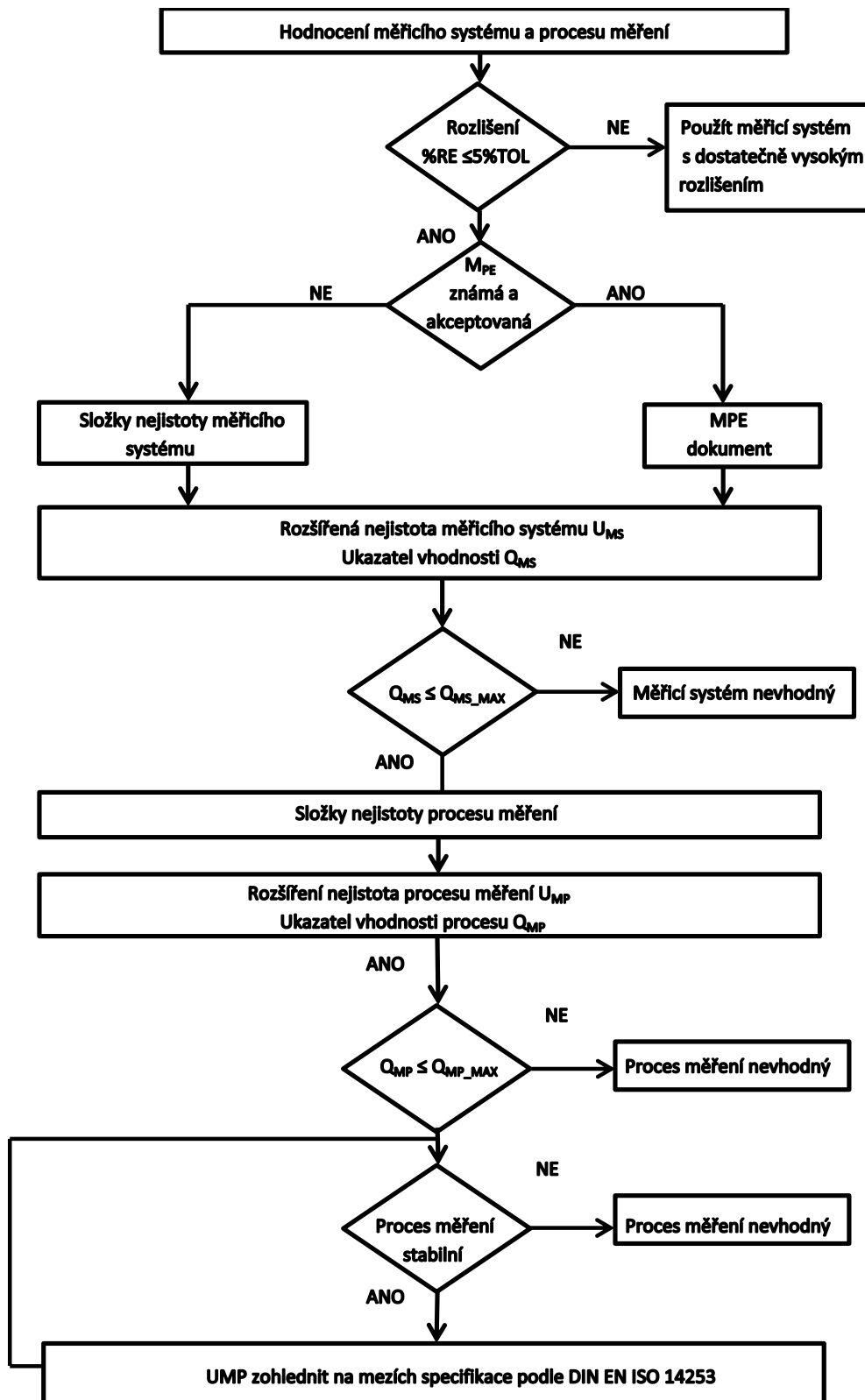
Příloha 10: Krabicový graf k případové studii – variabilita jednotlivých dílů v programu
MiniTab

Příloha 11: Diagram případové studie: Johnsonova transformace v programu MiniTab

Příloha 1: Ukázky regulačních diagramů při různém prahu citlivosti z metodiky MSA



Příloha 2: Postup při ověřování vhodnosti systému a procesu měření metodikou VDA 5



Příloha 3: Typické složky nejistoty měřicího systému dle VDA 5

Složka nejistoty	Značka	Určení / Model
Rozlišení stupnice	u_{RE}	%RE musí být menší než 5% tolerance. Standardní nejistota měření je dána vztahem: $u_{RE} = \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{R_E}{2} = \frac{R_E}{\sqrt{12}}$
Nejistota kalibrace	u_{CAL}	Z kalibračního protokolu etalonu. V protokolu je uvedena rozšířená nejistota, ta musí být dělena příslušným koeficientem rozšíření: $u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{k_{CAL}}$
Opakovatelnost na etalonu	u_{EVR}	V závislosti na měřicím systému jsou provedena opakovaná měření na jednom, dvou nebo třech etalonech. Na jednom etalonu je zpravidla provedeno minimálně 25 opakovaných měření, z nich je stanoveno rozptýlení: $u_{EVR} = s_g$ Na dvou etalonech je provedeno zpravidla minimálně 15 měření, na třech etalonech 10. Je použita nejvyšší hodnota z výsledků.
Nejistoty pocházející z vychýlení	u_{BI}	Z naměřených hodnot ze zkoumání opakovatelnosti na etalonech se určí standardní nejistota u_{BI} podle vztahu: $u_{BI} = \frac{ \bar{x}_g - x_m }{\sqrt{3}}$
Odchylka linearity	u_{LIN}	Při vyšetřování linearity je vypočítána u_{LIN} pomocí ANOVA. U systémů s lineární ztělesněnou mírou se odchylka linearity určí z kontrolního certifikátu výrobce nebo z kalibračního protokolu
Zbytkové zdroje	u_{MS_REST}	Všechny další vlivy působící na měřicí systém, pokud existují nebo je lze předpokládat, je třeba je posuzovat odděleným experimentem, z tabulek nebo z informací výrobce.

Příloha 4: Složky nejistoty procesu měření zjištěné metodou B (VDA)

Složka nejistoty	Značka	Model
Nehomogenita dílu	u_{OBJ}	<p>Nehomogenitu dílu lze určit podle vztahu:</p> $u_{OBJ} = \frac{a_{OBJ}}{\sqrt{3}}$ <p>kde a_{OBJ} maximální odchylkou tvaru</p>
Teplota	u_T	<p>Vliv teploty lze spočítat podle vzorce:</p> $u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2}$ <p>kde: u_{TD} je nejistota z rozdílu (kolísání) teplot, u_{TA} je nejistota koeficientu tepelné roztažnosti.</p> <p>Nejistota rozdílu teplot může být vypočítána např. podle ISO/TR 14523 část 2:</p> $u_{TD} = \Delta T * \alpha * l * \frac{1}{\sqrt{3}}$ <p>kde: α je koeficient roztažnosti. ΔT je rozdíl teplot, l je měřený rozměr.</p> <p>Pokud je měřidlo nastaveno pomocí referenčního dílu a součást a referenční díl mají rozdílné teploty tepelné roztažnosti, může být u_{TD} vypočítána pomocí rozdílu v roztažnosti Δl mezi součástmi.</p> $u_{TD} = \Delta l * \frac{1}{\sqrt{3}}$ <p>Nejistotu koeficientů roztažnosti je možno odhadnout v souladu s ISO 15530-3 podle vztahu:</p> $u_{TA} = T - 20^\circ C * u_\alpha * l$ <p>kde: T je střední teplota při měření, u_α je nejistota koeficientu tepelné roztažnosti, l je měřený rozměr</p>
Zbytková nejistota	u_{REST}	Všechny ostatní vlivy procesu měření jsou brány v úvahu samostatně.

Příloha 5: Metody k určování typických standardních nejistot použitelné v praxi (VDA)

Zdroj složek nejistot	Doporučení / poznámky	Metoda A/B	Zdroj
Rozlišení ukazatele / odečtu u_{RE}	<p>Doporučení: RE = nejmenší vyhodnotitelná hodnota na stupnici (mezi 2 dílky) u analogového přístroje nebo nejmenší hodnota kroku (0,1;0,5; 1,0) u digitálního přístroje.</p> <p>Rozlišení by mělo být zřetelně jemnější než kontrovaná tolerance součásti (% RE ≤ 5% tolerance součásti). Rozlišení je v tomto případě obsaženo v rozptylu opakovatelnosti.</p> <p>Pokud má být zohledněna standardní nejistota z rozlišení, vypočítá se:</p> $u_{MS} = \frac{1}{\sqrt{3}} * \left(\frac{RE}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{12}} * RE$	B	Odečíst, odhadnout nebo zjistit z údajů výrobce
Nejistota kalibrace etalonu u_{CAL}	<p>Obvykle je v oblasti měřicí techniky počítána s koeficientem rozšíření $k=2$. Pro určení standardní nejistoty u_{CAL}, musí být rozšířená nejistota U_{CAL} dělena 2. Příslušnou hodnotu rozšíření lze vždy nalézt v kalibračním listu.</p> <p>Poznámka: Nejistota při kalibraci by měla být zřetelně menší než cílová nejistota měření</p>	B	Kalibrační protokol, údaje výrobce, kalibrační list interní kalibrace
Opakovatelnost u_{EVR} (na etalonu), zjištění systematické odchylky U_{BI} (Bias)	<p>Složky nejistoty mohou být vyšetřeny měřicím experimentem. Dříve než se začne měřit, musí být zvoleny zpravidla 1 nebo 2 etalony, zároveň jsou zohledněny odchylky a kalibrační hodnoty.</p> <p><u>Zkouška 1 etalonem</u></p> <p>Zpravidla se měří alespoň 25 opakovaných měření na 1 etalonu. Stanoví se u_{EVR} (směrodatná odchylka namátkového výběru) a U_{BI} (Bias). Jsou-li v měřicím systému známy vlivy systematických odchylek, mohou být korigovány pomocí Bias.</p> <p><u>Zkouška se 2 etalony</u></p> <p>Zjištění tolerančních hranic resp. Nastavení pracovních bodů: nulový bod a zesílení. Obvykle 2 x 15 měření.</p>	A	Zkouška „Postup 1“
Opakovatelnost se 2 etalony (horní a dolní toleranční mez) max. u_{EVR}	<p>Jako zkouška s jedním etalonem, avšak na horní a dolní toleranční meze. Pro další hodnocení je doporučeno použít největší standardní nejistotu u_{EVR1} a u_{EVR2}.</p> <p><u>Model</u></p> <p>Jsou-li známy vlivy procesu nastavení, může být vytvořen vhodný model. Pro mechanická měřidla to mohou být například: Odchylky tvaru, odchylky polohy nastavovacího etalonu, přesnost polohování kontrolované součásti, výrobní a montážní tolerance a další.</p>	B	Zkouška 2x „Postup 1“

Zdroj složek nejistot	Doporučení / poznámky	Metoda A/B	Zdroj
Chyba linearity u_{LIN}	<p><u>Krok 1: Využití údajů výrobce</u> Při udání hodnot výrobcem:</p> $u_{LIN} = \frac{1}{\sqrt{3}} * a$ <p><u>Krok 2: Zkouška se 3 etalony</u> Na každém etalonu alespoň 10 opakovaných měření. Minimální velikost výběru je 30. Etalony jsou během měření upnuty a měří se ve stejné pozici.</p> <p><u>Krok 3: Zkouška se 3 a více etalony</u> Při použití této metody musí být zohledněna regresní funkce, vzhledem k tomu že jsou při této metodě stanovení u_{LIN} vydány jen početně korigované hodnoty.</p>	B A A	Údaje výrobce Zkouška se třemi etalony Zkouška s etalony
Reprodukovatelnost operátorů se sériovými díly u_{AV}	<p>Zpravidla 2 opakovaná měření 10ti zkušebními díly se 2 až 3 operátory. Opět je důležité měřit díly upnuté na stejné pozici. Díly použité ve zkoušce by se měli rozložit po celém pásmu tolerance. Zjištění u_{AV} pomocí ANOVA</p>	A	Zkouška „Postup 2“
Reprodukovatelnost bez vlivu operátorů se sériovými díly u_{EVO}	<p>Zpravidla 2 opakovaná měření na 25 sériových dílech. Použití částečně automatizovaných měřicích systémů nebo v případě, kdy operátor nemá vliv na výsledek. Opět je důležité měřit díly upnuté na stejné pozici. Díly použité ve zkoušce by se měli rozložit po celém pásmu tolerance. Vzájemné působení dílu, měřicího systému atd. je obsaženo ve výsledku.</p>	A	Zkouška „Postup 3“
Reprodukovatelnost stejných měřicích systémů u_{GV}	<p>Významné alespoň pro 2 měřicí systémy <u>Hodnocení etalonů:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Posouzení podílu rozptýlení každého měřicího místa • srovnání měřené hodnoty x s kalibrovanou hodnotou (Bias) • Max - Min porovnání měřené hodnoty x pro rozdílné měřicí systémy <p><u>Hodnocení sériových dílů:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Posouzení podílu rozptýlení každého měřicího místa, • Max - Min porovnání měřené hodnoty x pro rozdílné měřicí systémy • Vzájemné působení dílu, měřicího systému atd. je obsaženo ve výsledku <p>Tyto složky nejistoty jsou zohledněny pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) Provádět se stejnými nastavovacími etalony a sériovými díly</p>	A	Zkouška „Postup 1 a 3“

Zdroj složek nejistot	Doporučení / poznámky	Metoda A/B	Zdroj
Reprodukovatelnost pro různé časové vlivy u_{STAB}	<p><u>Krátkodobé posouzení:</u></p> <p>Zpravidla není stabilita předmětem zkoumání</p> <p><u>Dlouhodobá analýza stability</u></p> <p>Pokud při základním šetření získáme podezření, že se výsledek měnil v čase, je doporučen vyšetřit nejistotu z definované řady měření</p> <p>Jako kontrolní díly mohou být použity jak etalony, tak sériové díly</p>	A	Zkouška „Postup 1 a Postup 2 nebo 3“
Odchylka tvaru, kvalita povrchu, materiálové vlastnosti objektu měření u_{OBJ}	<p>Pro stanovení standardní nejistoty odchylky tvaru jsou k dispozici následující možnosti:</p> <ol style="list-style-type: none"> Údaj na výkrese (skutečná odchylka tvaru) Díly při zkoušce (skutečná odchylka tvaru) Zkušební objekty (min. 5) použité pro zkoušky by měli být rozloženy po celém pásmu tolerance a reprezentovat očekávanou odchylku tvaru Všechny další vlivy, jež lze předpokládat, musí být posuzovány samostatnými experimenty, z tabulek nebo informací výrobce 	B B A A	Označení Regulační karta Zkouška Tabulky, Materiálové listy
Teplota u_T	<p>Pro stanovení nejistoty vlivu teploty je k dispozici následující úvaha: existuje teplotní kompenzace Ano/Ne</p> <p>Nezávisle na kompenzaci, nebo pokud je k dispozici komplexní závislost na neznámých koeficientech tepelné roztažnosti, by mělo být skutečné chování roztažnosti stanoveno zkouškou. K tomu jsou objekty měření zahřívány a ve fázi chlazení zkoumány.</p> <p>Rozdíl mezi max. a min. hodnotou je použita pro odhad u_T</p>	A/B	Zkouška
Další vlivy u_{REST}	Všechny možné vlivy, které působí na nejistotu měřicího systému, pokud je lze předpokládat nebo existují. Je třeba je posuzovat odděleně ze samostatného experimentu, tabulek nebo informací výrobce.	A/B	Pokusy podle různých dokumentů

Příloha 6: Přehled metod a typických modelů procesů měření (VDA)

	1 rozlišení ukazatele u_{RE}	2 rozlišení z kalibrace u_{CAL} nebo z mezní chyby MPE	3 nejistota z nastavení u_{BI} nebo Bias	4 opakovatelnost s etalonem u_{EVR}	5 linearita s etalony u_{LIN}	6 reprodukovatelnost operátorů u_{AV}	7 opakovatelnost bez vlivu operátorů u_{EVO}	8 reprodukovatelnost stejných měřicích systémů u_{GV}	9 reprodukovatelnost k rozdílným časovým měřením u_{STAR}	10 odchylky tvaru/vlastnosti povrchu - materiálové vlastnosti objektu měření u_{OBJ}	11 teplota u_T	12 další vlivy u_{REST}
<u>Model A</u> nejistota kalibrace etalonu												
<u>Model B</u> uvolnění procesu měření pro standardizované měřicí systémy												
<u>Model C</u> přejímka/uvolnění měřicího systému												
<u>Model D1</u> uvolnění procesu měření s vlivem operátorů a bez vlivu sériových dílů (měřit jen v definované poloze)												
<u>Model D2</u> uvolnění procesu měření bez vlivu operátora a bez vlivu sériových dílů												
<u>Model E1</u> zkouška shody/uvolnění procesu měření s vlivem operátorů a sériových dílů												
<u>Model E2</u> zkouška shody/uvolnění bez vlivu operátorů s vlivem sériových dílů												

Legenda:

Černá – vždy zohlednit

Šedá – zohlednit, pokud je významný

Bílá – k modelu se nehodí

Příloha 7: Příklad vyhodnocení atributivního systému měření (VDA)

n	Ref	xA1	xA2	xA3	xB1	xB2	xB3	xC1	xC2	xC3	
25	0,599581	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
48	0,587893	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
3	0,576495	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
5	0,570360	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
42	0,566575	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
4	0,566152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
30	0,561457	—	—	—	—	—	+	—	—	—	●
12	0,559918	—	—	—	—	—	—	—	+	—	●
26	0,547204	—	+	—	—	—	—	—	—	+	●
22	0,545604	—	—	+	—	+	—	+	+	—	●
6	0,544951	—	+	—	+	+	+	+	—	+	●
36	0,543077	+	+	—	+	+	+	+	—	+	●
13	0,542704	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
16	0,531939	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
23	0,529065	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
29	0,523754	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
26	0,521642	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
19	0,520496	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
17	0,519694	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
15	0,517377	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
10	0,515573	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
24	0,514192	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
41	0,513779	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
2	0,509015	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
32	0,505850	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
31	0,503091	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
27	0,502436	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
8	0,501295	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
40	0,501132	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
35	0,498696	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
46	0,493441	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
11	0,488905	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
38	0,488184	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
33	0,487613	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
47	0,486379	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
18	0,484167	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
49	0,483603	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
20	0,477236	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
1	0,476901	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
44	0,470832	+	+	+	+	+	+	+	+	+	☺
7	0,465454	+	+	+	+	+	+	+	—	+	●
43	0,462410	+	+	+	+	+	+	+	+	—	●
14	0,454518	+	+	—	+	+	+	+	—	—	●
21	0,452310	+	+	—	+	—	+	—	+	—	●
34	0,449696	—	—	+	—	—	+	—	+	+	●
50	0,446697	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
9	0,437817	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
39	0,427687	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
45	0,412453	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺
37	0,409238	—	—	—	—	—	—	—	—	—	☺

Poslední shodné odmítnutí

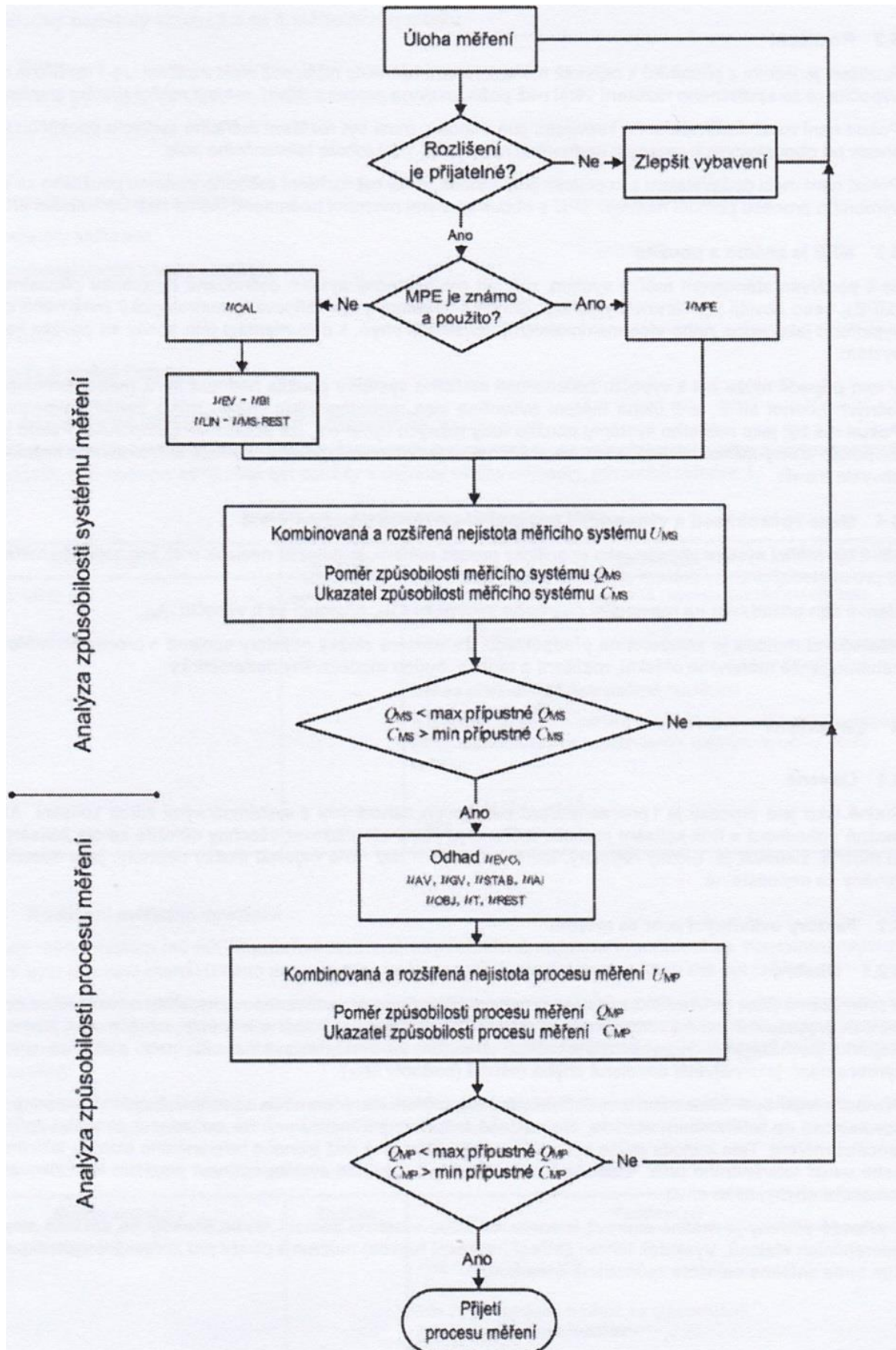
První shodné přijetí

Poslední shodné odmítnutí

První shodné přijetí

+ díl označen jako dobrý, — díl označen za špatný, ☺ shoda operátorů, ● neshoda operátorů

Příloha 8: Vývojový diagram postupu validace systému resp. procesu měření podle normy ČSN ISO 22514-7



Příloha 9: Popis měřicího přístroje značky MITUTOYO využitého v případové studii

ABSOLUTE DIGIMATIC Posuvná měřítka

Série 500

- Standardní konstrukce.
- Vysoce kvalitní povrchová úprava pro plynulý pohyb jezdců.
- Velké číslice.
- Dlouhá životnost baterie.



Metrické Bez posuvového kolečka

Obj. č.	Rozsah měření	Hloubkoměr	Výstup dat	L mm	a mm	b mm	c mm	d mm	Hmotnost g	Cena €
500-180-20*	0-100 mm	Ø 1,9 mm		182	40	21	16,5	16	142	180,00
500-201-21	0-100 mm	Ø 1,9 mm		182	40	21	16,5	16	143	190,00
500-184-20	0-150 mm	Ø 1,9 mm		233	40	21	16,5	16	164	105,00
500-203-21	0-150 mm	Ø 1,9 mm		233	40	21	16,5	16	168	132,00
500-181-20	0-150 mm	Plochý		233	40	21	16,5	16	164	105,00
500-161-20	0-150 mm	Plochý		233	40	21	16,5	16	164	132,00
500-182-20	0-200 mm	Plochý		290	50	24,5	20	16	194	162,00
500-162-20	0-200 mm	Plochý		290	50	24,5	20	16	194	188,00
500-205	0-300 mm	Plochý		404	64	27,5	22	20	350	349,00

Metrické S posuvovým kolečkem

Obj. č.	Rozsah měření	Hloubkoměr	Výstup dat	L mm	a mm	b mm	c mm	d mm	Hmotnost g	Cena €
500-150-20	0-100 mm	Ø 1,9 mm		182	40	21	16,5	16	143	209,00
500-151-20	0-150 mm	Plochý		233	40	21	16,5	16	164	145,00
500-158-20	0-150 mm	Ø 1,9 mm		233	40	21	16,5	16	164	145,00
500-152-20	0-200 mm	Plochý		290	50	24,5	20	16	194	206,00
500-153	0-300 mm	Plochý		404	64	27,5	22	20	350	383,00

Funkce	Série 500
ORIGIN (ABS-Nula)	☑
NULOVÁNÍ/ABS	☑
ZAP/VYP	☑
Alarm slabé baterie	☑

Technické parametry

Přesnost	≤ 200 mm/8" : ±0,02 mm/0.001" > 200 mm/8" : ±0,03 mm/0.0015" (bez kvantizační chyby)
Číselný krok	0,01 mm nebo 0,01 mm/0.0005"
Displej	LCD, výška číslic: 9 mm
Max. rychlost odezvy	Neomezená
Životnost baterie	cca 20 000 hodin
Dodává se	V pouzdře, včetně 1 baterie

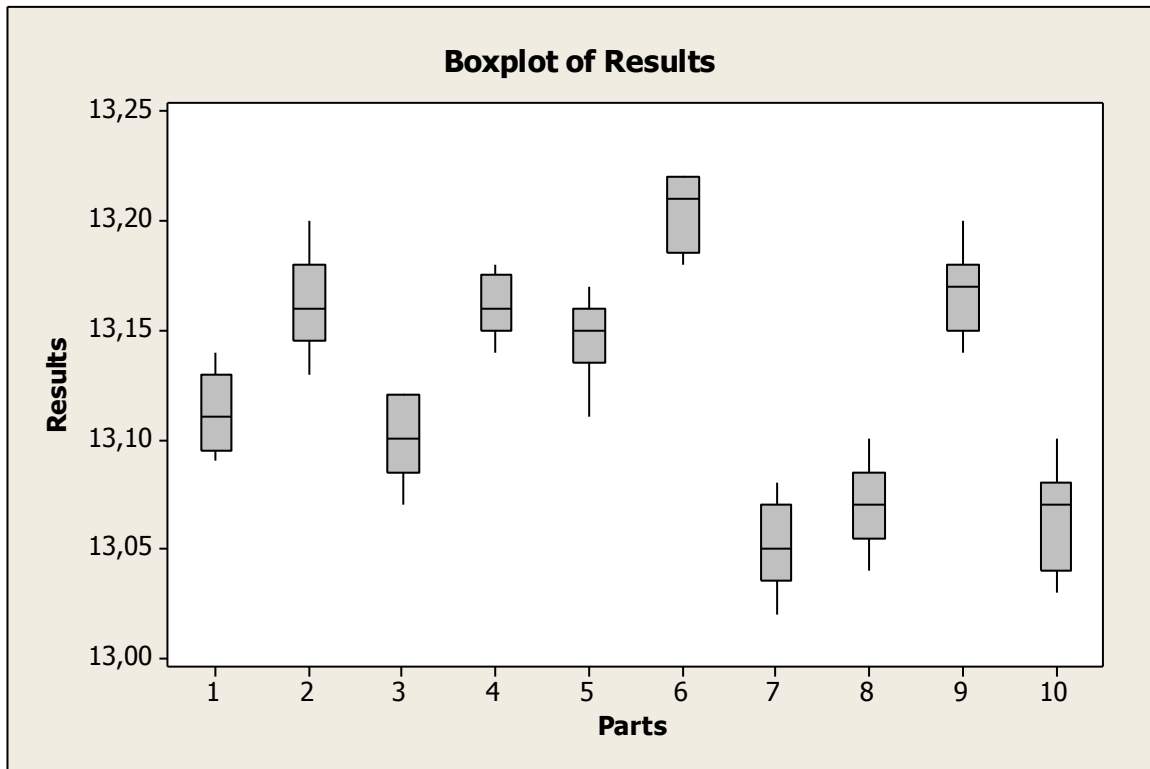
Zvláštní příslušenství

Obj. č.	Popis	Cena €
959143	Jednotka HOLD (zastavení)	24,00
959149	DIGIMATIC kabel s tlačítkem DATA (1 m)	36,50
959150	DIGIMATIC kabel s tlačítkem DATA (2 m)	42,00
06ADV380C	Propojovací USB přímý kabel s tlačítkem DATA (2 m)	97,00
02AZD790C	Propojovací kabel s tlačítkem DATA pro U-WAVE	87,00
050083-10	75 mm hloubkoměrný můstek pro modely do 200 mm	43,00
050084-10	100 mm hloubkoměrný můstek pro modely do 200 mm	48,50
050085-10	125 mm hloubkoměrný můstek pro modely do 300 mm	55,00

Spotřební materiál

Obj. č.	Popis	Cena €
938882	Baterie SR-44	5,00

Příloha 10: Krabicový graf k případové studii – variabilita jednotlivých dílů v programu MiniTab



Příloha 11: Diagram případové studie: Johnsonova transformace v programu MiniTab

