

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Porovnání vyhodnocování vhodnosti měřicího systému

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

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

Jméno a příjmení: **Jan KRENAUER**
Osobní číslo: **E13B0125P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Porovnání vyhodnocování vhodnosti měřicího systému**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Analyzujte různé systémy vyhodnocování vhodnosti měřicích systémů používaných v automobilovém průmyslu.
2. Porovnejte principy a vlastnosti různých systémů vyhodnocování.
3. Zhodnoťte porovnání a navrhněte společný postup.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. **DAIMLERCHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. Analýza systémů měření (MSA). 4. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011 (české), 231 s. ISBN 978-80-02-02323-5.**
2. **VDA svazek 5. Vhodnost kontrolních procesů. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011, 168 s.**

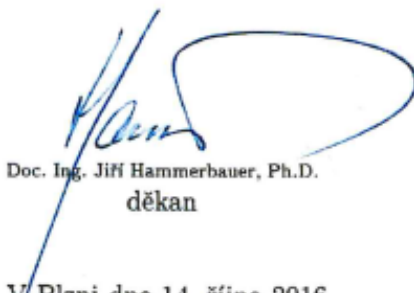
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Netolický, Ph.D.

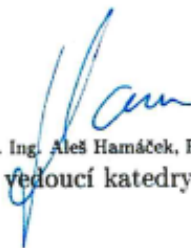
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**


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




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na shrnutí, analýzu a porovnání jednotlivých metodik, které se soustředí na analýzu systému měření v oboru automobilového průmyslu. Cílem práce je provést detailní rozbor a analýzu dvou nejrozšířenějších metodik MSA a VDA 5, zároveň je mezi sebou porovnat. V závěrečné části práce jsou popsány přednosti, nedostatky a společné vyhodnocení vhodnosti/způsobnosti měřicího systému daných metodik.

Klíčová slova

Způsobnost systému měření, vhodnost kontrolních procesů, MSA, VDA 5, analýza systému měření, metody analýzy, opakovatelnost, reprodukovatelnost, porovnání, nejistota měření, metody analýzy, metoda rozpětí, metoda průměru a rozpětí, variabilita

Abstract

This bachelor thesis is focused on summarization, analysis and comparison of different methodologies, which deals with the system analysis in the automotive industry. Objective of the thesis is in depth analysis and comparison of the two most used methodologies, MSA and VDA 5. The final part of the thesis describes advantages, shortcomings and evaluation of the suitability/capability of the measurement systems of the described methodologies.

Key words

Capability of measurement system, suitability of control processes, MSA, VDA 5, measurement analysis system, repeatability, reproducibility, comparison, measurement uncertainty, analysis methods, range method, average and range method, variability

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 6.6.2017

Jan Krenauer

Poděkování

Největší poděkování patří především mým rodičům, které mě po celou dobu studia podporovali, jak finančně, tak duševně a pokaždé za mnou stáli. Rovněž bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Netolickému, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, nápady a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 ZÁKLADY MĚŘENÍ	12
1.1 PODMÍNKY MĚŘENÍ A MĚŘÍCÍ METODY	12
1.2 CHYBY V MĚŘENÍ.....	13
1.3 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	14
2 ANALÝZA VHODNOSTI MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ – MSA, VDA 5	16
2.1 MSA – ANALÝZA SYSTÉMŮ MĚŘENÍ	16
2.1.1 Kvalita naměřených dat.....	17
2.1.2 Variabilita polohy.....	18
2.1.3 Variabilita šíře.....	20
2.1.4 Variabilita systému měření	23
2.1.5 Metody pro určování opakovatelnosti a reprodukovatelnosti	24
2.1.6 Studie měření metodou srovnáváním.....	26
2.2 VDA 5 – VHODNOST KONTROLNÍCH PROCESŮ	29
2.2.1 Všeobecný průběh stanovení vhodnosti procesu měření.....	30
2.2.2 Zvláštnosti.....	31
2.2.3 Výpočet ukazatele vhodnosti.....	32
2.2.4 Metody analýz VDA 5 srovnáváním.....	33
3 POROVNÁNÍ PRINCIPŮ VYHODNOCOVÁNÍ VHODNOSTI MĚŘICÍHO SYSTÉMU	35
3.1 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	36
3.2 PROCES MĚŘENÍ.....	37
3.3 VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI/VHODNOSTI	38
3.4 POROVNÁNÍ DVOU VYHODNOCOVACÍCH METOD – METODY DETEKCE SIGNÁLU	41
3.5 ZHODNOCENÍ METODIK	41
ZÁVĚR	43
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	45
PŘÍLOHY	1

Úvod

V současné době jsou zákazníci v automobilovém průmyslu, čím dál tím více náročnější a kladou velký důraz na kvalitu a přesnost produktu, proto je kvalitní systém měření u všech výrobních organizací důležitým faktem. Výrobci a poskytovatelé služeb jsou pod neustálým tlakem, konkurenceschopnost je na trhu obrovská, neboť má zákazník možnost výběru. Chce-li firma v konkurenčním prostředí uspět a svého zákazníka udržet nebo nového získat, musí neustále zlepšovat funkční vlastnosti a být zákazníkovi nápomocná. Tudíž je potřeba řídit všechny procesy, postupy a činnosti v podniku efektivně, tím se zvýší šance úspěchu. Spokojený zákazník, se většinou k firmě vrací a svými pozitivními referencemi, dál rozšiřuje okruh potenciálních zákazníků. Proto je nutné produkty, postupy, funkční vlastnosti i pracovníky neustále sledovat a podrobovat je různým analýzám. V praxi jsou za tímto účelem vytvořeny různé analýzy, z nichž jsou získávána potřebná data, aby následně daný problém řešila.

Existují dvě základní metodiky, které se danou problematikou pro vyhodnocování vhodnosti měřicího systému zabývají. V těchto metodikách najdeme několik metod vyhodnocování, pomocí nichž můžeme systém měření analyzovat. Zmíním zde něco z historie k časovému porovnání dvou metodik vyhodnocování. Počátky analýzy systému měření sahají kolem roku 1990, kde byl vydán 1. manuál metodiky MSA, až o necelých 14 let později, tj. roku 2003 byl vydán teprve 1. díl svazku VDA 5. V roce 2010 byl vydán už 4. díl MSA, byla to Analýza systému měření MSA a teprve 2. díl VDA 5, což je Vhodnost kontrolních procesů.

Svou bakalářskou práci jsem složil ze tří kapitol, ve kterých je zahrnuta teorie měření, obecné informace o metodikách, řešení a vyhodnocení analýzy systému měření. V první kapitole řeším obecný úvod do problematiky měření, kde jsem rozepsal nejistoty měření. Ve druhé kapitole jsem analyzoval systémy měření a jednotlivé metody pro řešení vyhodnocování vhodnosti/způsobivosti měřicího systému. Třetí kapitola je stěžejní část, ve které jsem obě metodiky porovnával z hlediska vyhodnocování vhodnosti a v poslední části jsem celou práci zhodnotil, shrnul a popsal přednosti a nedostatky.

Seznam symbolů a zkratk

AIAG	Automotive Industry Action Group (Akční skupina pro automobilový průmysl)
ANOVA	Analysis of Variation (Analýza rozptylu)
ARM	Average and Range Method (Metoda průmětu a rozpětí)
d_2	Výpočtový koeficient, tabulková hodnota závislá na operátorech a dílech
GRR	Gauge Repeatability and Reproducibility (Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti)
GUM	Guide of Expression of Uncertainty in Measurement (Průvodce pro vyjadřování nejistoty měření)
LSL	Lower Specification Limit (Dolní toleranční mez)
MPE	Největší přípustná chyba
MSA	Measurement System Analysis (Analýza systému měření)
ndc	Number of distinct categories (Počet rozlišitelných kategorií)
PV	Parts Variation (Variabilita mezi měřenými vzorky)
Q_{MP}, Q_{MS}	Limitní hodnoty procesu měření/měřicího systému
R&R	Repeatability and reproducibility (Opakovatelnost a reprodukovatelnost)
TOL	Rozmezí velikosti tolerance
TV	Total Variation (Celková variabilita)
U	Rozšířená celková standardní nejistota
u_{AV}	Reprodukovatelnost operátorů
u_{EV}	Nejistota vlivem rozptylu měřidla
u_{GV}	Reprodukovatelnost upínacích přípravků
u_{IAi}	Interakce

u_{STAB}	Reprodukovatelnost rozdílných časových bodů
u_{OBJ}	Nehomogenita dílu
u_T	Nejistota způsobena teplotou
u_C	Kombinovaná nejistota měření
u_{MS}	Rozšířená nejistota procesu měření
USL	Upper Specification Limit (Horní toleranční mez)
VDA	Verband der Automobilindustrie (Sdružení automobilového průmyslu)
$WECC$	Western Electricity Coordinating Council (Západní koordinační sněm elektřiny)
\bar{x}_g	Aritmetický průměr naměřených hodnot
x_r	Referenční hodnota
$\%RE$	Rozlišení systému měření
σ^2	Rozptyl

1 Základy měření

Měření je souhrn činností, kterým získáme za určitých podmínek pomocí měřicího zařízení hodnotu měřené veličiny. Pro měření se využívají měřicí prostředky: míry, měřicí přístroje a měřicí převodníky. Míra je měřidlo, které nám během používání reprodukuje hodnoty. Měřicí přístroje se dělí na analogové a digitální a měřicí převodník převádí vstupní veličinu podle určité zákonitosti na výstupní veličinu.[1, 2]

1.1 Podmínky měření a měřicí metody

Ovlivňují výslednou hodnotu měřené veličiny, do nichž např. patří:[2]

- vliv prostředí (změna teploty, tlaku, vlhkosti atd.),
- podmínky laboratorní, provozní a terénní,
- požadavek na počet současně měřených veličin,
- je-li měření statické nebo dynamické,
- požadavek na místní nebo dálkové měření.

Měřicí metody

Měřicí metody nám udávají, jakým způsobem a jak konkrétně provádět jednotlivá měření. Pro volbu měřicí metody je důležité, s jakou požadovanou přesností a jak rychle chceme znát výsledek měření, a také, jaké přístroje chceme využívat. Měřené metody dělíme:[1]

1) podle způsobu určení měřené veličiny

a) Přímé měřicí metody

- výsledek měření se získává odečtením údaje jediného přístroje, příklad je změření proudu pomocí ampérmetru

b) Nepřímě měřicí metody

- výsledek měření se získává výpočtem hodnoty funkce několika proměnných. Hodnoty těchto proměnných se získávají pomocí přímých měřících metod. Příkladem je určení odporu z údaje voltmetru a ampérmetru pomocí Ohmova zákona.

2) podle provedení měření

a) Základní měřicí metody

- měřená veličina se stanoví měřením základních veličin (např. času, hmotnosti, délky)

b) Srovnávací měřicí metody

- měřená veličina se stanoví srovnáním s veličinou téhož druhu a známé hodnoty. Srovnávací metody můžeme dále rozdělit:

b.1.) Diferenční metody

- měřená hodnota se porovnává se stejnou veličinou nepatrně odlišné hodnoty, měřením se zjišťuje pouze malá odchylka obou veličin

b.2.) Substituční metody

- měřená veličina nahradí stejnou veličinu známé hodnoty nalezené tak, aby bylo dosaženo stejných údajů indikačního přístroje

b.3.) Nulové metody

- měřená veličina najde z rovnováhy zařízení dosažené změnou jedné nebo několika veličin vázaných měřenou veličinou známými matematickými vztahy. Dosažení rovnováhy je indikováno nulovou výchytkou vhodného indikačního přístroje.

3) Rezonanční měřicí metody

- měřená veličina se určuje z parametrů obvodu ve stavu rezonance

1.2 Chyby v měření

Přesnost je základním kritériem pro posuzování kvality měření, vyjadřuje míru blízkosti výsledku měření vzhledem ke skutečné hodnotě a je vyjádřena chybou měření. Je několik druhů chyb: systematické chyby, náhodné chyby a hrubé chyby. Žádným měřením nezískáme správnou hodnotu měřené veličiny, jelikož je každé měření zatíženo chybou. Chyba charakterizuje přesnost měření.[1, 3]

Systematické chyby se projevují při opakovaném měření stejně, mají stejné znaménko a můžeme určit jejich velikost. Jsou to např.: chyby měřících přístrojů, chyby způsobené napájecím napětím, chyby způsobené podmínkami měření atd..[3]

Náhodné chyby jsou mimo kontrolu měření, nelze je odstranit korekcí, lze je snížit vícenásobným měřením a stanovením aritmetických průměrů.[3]

Hrubé chyby neboli omyly vznikají nesprávným měřením, při velké nepřesnosti, poruše měřicího přístroje, anebo při selhání pozorovatele. Dosahují někdy takové velikosti, že úplně zkreslí a znehodnotí výsledek. Většinou je snadno poznáme od ostatních chyb, a proto je nutné je vyloučit ze souboru naměřených veličin. [1, 2]

1.3 Nejistoty měření

Nejistota měření charakterizuje rozsah hodnot okolo výsledku měření, který lze přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota se udává nejen u výsledku měření, ale i u měřidel, u hodnot použitých konstant, u korekcí apod.. Základem určování je statistický přístup k vyhodnocování. Předpokládá se normální rozdělení pravděpodobností, které udává, jak se může měřená hodnota odchylovat od skutečné (pravé) hodnoty, popř. je uvedena pravděpodobnost, s jakou se může vyskytovat skutečná (práva) hodnota v intervalu, daném nejistotou. Mírou nejistoty je směrodatná chyba.[1, 2]

Standardní nejistoty u se dělí:

a) Nejistota typu A (značená u_A)

- jsou způsobeny náhodnými chybami, určí se statistickým vyhodnocením opakovaných měření stejné hodnoty, za stále stejných podmínek měření.

$$u_A(x) = \sigma(\bar{X}) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}; \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (1)$$

b) Nejistota typu B (značená u_B)

- jsou způsobeny známými nebo odhadnutými příčinami. Určují se postupy, které nejsou definovány přímo ve standardu GUM. U složitějších zařízení je nutný provést podrobný rozbor vzniku chyb a z nich stanovit nejistotu typu B, potom je výsledná nejistota u_B určena jejich geometrickým součtem.

$$u_B(z) = \frac{\Delta z}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

c) Kombinovaná nejistota (značená u_C)

- udává interval, ve kterém se při normálním rozdělení N vyskytuje skutečná hodnota s pravděpodobností $P = 68\%$

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (3)$$

d) Rozšířená (celková) standardní nejistota U

- rozšířená nejistota se používá pouze při udávání výsledku měření v protokolu o měření a musí být uvedena použitá hodnota koeficientu k_u nebo pravděpodobnost výskytu skutečné hodnoty. V rámci WECC platí dohoda, že se používá $k_u = 2$, tzn., že se skutečná hodnota nachází v daném intervalu s pravděpodobností $P = 95\%$.

$$U(x) = k_u u_C(x) \quad (4)$$

2 Analýza vhodnosti měřicích systémů – MSA, VDA 5

Analýzy vhodnosti měřicích systémů jsou důležitý nástroje pro zajištění kvality výroby. Jedná se o metody, které zkoumají kvalitu naměřených hodnot, neboli posuzují vhodnost nasazení daného měřicího systému pro konkrétní případ či aplikaci. Nevhodně zvolený měřicí systém může naprosto zničit sbíraná data, podle nichž usuzujeme o kvalitě výroby a o plnění specifik pro daný výrobek. Poté může nastat nebezpečí, že nebude včas rozpoznán pokles způsobilosti výrobních procesů a tedy i samotné kvality výroby. Z tohoto důvodu se provádějí studie vhodnosti měřicích systémů, které mají prokázat, že se daný měřicí systém hodí pro daný výrobní proces. [4]

Vhodností měřicích systémů se zabývá několik příruček. Mezi nejčastěji citované patří dvě: Verband der Automobilindustrie (VDA5) – *Vhodnost kontrolních procesů*, kterou vydává svaz německého automobilového průmyslu (VDA). Druhou příručkou je Measurement System Analysis (MSA) – *Analýza systémů měření*, která je vydávána americkou akční skupinou pro automobilový průmysl AIAG (*Automotive Industry Action Group*).[4–6]

Za zmínku stojí hodnocení způsobilosti měřicího procesu podle normy ČSN ISO 22514-7, která se zaměřuje na zjištění složek nejistoty měření a výpočet přejímacích ukazatelů, jako je tomu u metodiky VDA 5. Je to nejmladší příručka z těchto třech, vyšla roku 2014. Český překlad z mezinárodní normy ISO 22514-7 definuje postup validace měřicího systému, zda daný proces měření vyhovuje požadavkům pro danou měřicí úlohu s doporučením kritérií. Výhodou této normy je návaznost a použitelnosti na normy ISO, nevýhodou je její zaměření pouze na odhad vhodnosti systému. Dále již příručku nezmiňuji, zaměřil jsem se na dvě nejrozšířenější.[7]

2.1 MSA – Analýza systémů měření

Analýza systémů měření je soubor metod, které se používají pro hodnocení chyb měření a pomáhají při jejich snižování. Při měření se nejčastěji zabýváme tím, zda naměřené hodnoty odpovídají stanoveným předpokladům nebo se pohybují alespoň ve vhodných mezích. Jestliže tomu tak není, hledáme vzniklou chybu, která zapříčiňuje tento výsledek. Chyba měření vzniká v důsledku náhodných nebo systematických zdrojů variability. Pokud příčinu nenalezneme, může se jednat i o zatím nevysvětlené chování samotného

měřeného objektu. Výstupem z analýzy systémů měření bývá rozhodnutí, zda můžeme daný systém měření v určitých podmínkách použít či nikoliv.[8, 9]

Podle Analýzy systému měření, neboli podle příručky MSA se vyšetřuje několik základních charakteristik měřicího systému, mezi které patří: variabilita polohy (přesnost, strannost, stabilita, linearita), variabilita šíře (shodnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla, způsobilost systému měření, funkčnost systému měření, citlivost, konzistence, uniformita) a variabilita systému (způsobilost, funkčnost, nejistota). Snaží se porozumět celému procesu měření za snahou jeho vylepšení. [4, 5]

Hlavním zastáncem této metody jsou americké automobilové společnosti Chrysler Group LLC, Ford Motor Company a General Motors Corporation, pod patronací akční skupiny AIAG (Automotive Industry Action Group). [5]

2.1.1 Kvalita naměřených dat

Podle naměřených dat se např. zjišťuje, jaký výrobní proces v danou chvíli použít. Tyto data se různě porovnávají se statickými regulačními mezemi daného procesu, zdali toto porovnání ukáže, že proces není statisticky zvládnutelný, potom nastane určitý druh seřízení. Je dovoleno, aby proces probíhal i bez seřízení. Z využití postupu založeného na sběru dat je důležité, jak kvalitní data použijeme. Statickými charakteristikami, které se používají pro popis kvality dat, jsou strannost a rozptyl systému měření. Strannost je dána polohou vůči referenční (skutečné) hodnotě a rozptyl popisuje rozptýlení dat. Pokud použijeme data za stabilních podmínek kolem skutečné hodnoty, dá se říct, že kvalita dat a přínos je velice vysoký. Obdobně to platí i pro data, které jsou od skutečné hodnoty výrazně vzdáleny, poté je kvalita dat a přínos nízký. Data s vysokou kvalitou jsou důležitá pro správné fungování MSA.

Jedním z důvodů, kdy nejčastěji vznikají data nízké kvality, je jejich příliš vysoká variabilita. Podíl na této variabilitě v měření může mít interakce mezi systémem měření a jeho prostředím, poté nejsou data užitečná. S řízením systému měření je spjata velká část práce, monitoruje a řídí variabilitu. Znamená to, že je důležité klást velký důraz na získání znalosti o tom, jak systém měření interaguje se svým prostředím, aby poté byla generována jen data přijatelné kvality.[5, 10]

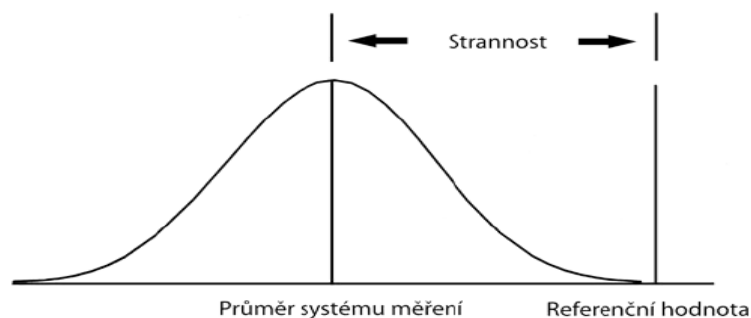
2.1.2 Variabilita polohy

Strannost (Bias)

Strannost se často nazývá přesnost, i když to literatura nedoporučuje a označuje míru správnosti měření. Strannost je definována jako rozdíl mezi přijatelnou referenční (skutečnou) hodnotou a pozorovanou průměrnou hodnotou měření u stejných charakteristik na stejném dílu. V podstatě se jedná o průměrnou odchylku naměřených hodnot od skutečné hodnoty. Vztah pro výpočet strannosti je:[11, 12]

$$Bi = \overline{x_G} - x_R, \quad (5)$$

kde je $\overline{x_G}$ průměrná naměřená hodnota a x_R je referenční hodnota.

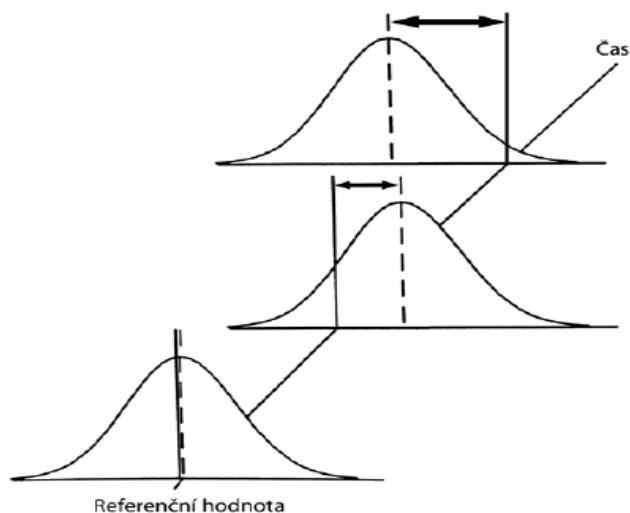


Obr. 1.1: Strannost měření (zdroj [5])

Jedná se o systematickou chybu a tuto odchylku je možné způsobit např. opotřebením nebo neúměrnou silou, kterou operátor působí na měřidlo, např. na mikrometr nebo posuvné měřidlo. Je nejisté, zda lze považovat systematickou chybu jako chybu operátora v čtení nebo při seřízení přístroje, v tomto případě by se zřejmě jednalo o náhodnou chybu. V praxi se provádí seřízení měřidla několikrát denně a je málo pravděpodobné, že by se všichni operátoři dopouštěli stejné chyby.[12]

Stabilita (Stability)

Stabilita neboli drift systému měření je charakterizována jako celková variabilita výsledků měření jednoho znaku jakosti v delším časovém intervalu. Definice je dosti obecná a přesněji zní, až po doplnění informace, která stabilitu vnímá jako změnu strannosti v čase. [5, 11]

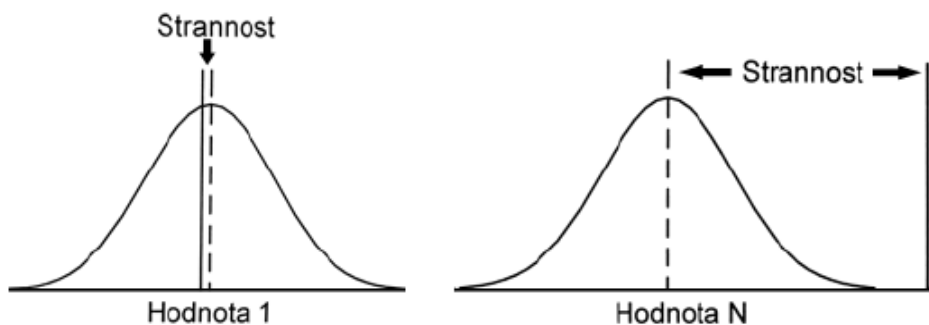


Obr. 1.2: Stabilita měření (zdroj [5])

Možné příčiny nestability mohou být, opotřebovaný nebo poškozený hlavní etalon, přístroj špatné kvality, špatná údržba či běžným stárnutím. Nestabilita může být způsobena i využitím špatného měřidla, kalibrací nebo použitím jiné metody měření. Roli může také hrát i prostředí.[5]

Linearita (Linearity)

Linearita systému měření je charakterizována jako rozdíl mezi hodnotami strannosti v běžném provozním rozsahu systému měření a posuzuje se, zdali hodnota strannosti závisí na velikosti naměřené hodnoty. Linearita nemá konstantní strannost a může nabývat několika podob.



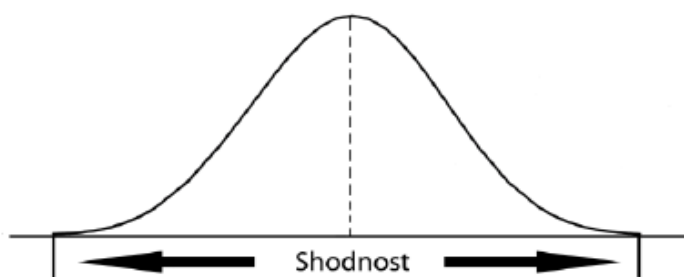
Obr. 1.3: Linearita měření (zdroj [5])

Možné příčiny chyby linearity jsou podobné, jako u strannosti. Přístroj vyžaduje kalibraci a zároveň zkrácení intervalu mezi nimi. Dále hraje velkou roli samotný přístroj, údržba, metody používání, deformace přístroje a neposlední řadě prostředí.[5, 11]

2.1.3 Variabilita šíře

Shodnost (Precision)

Shodnost je shoda mezi nezávislými výsledky zkoušek získanými za předem specifikovaných podmínek. Závisí pouze na rozdělení náhodných chyb a nemá vztah k pravé nebo specifikované hodnotě. Míra shodnosti se obvykle vyjadřuje pomocí směrodatné odchylky výsledku zkoušek. Menší shodnost se odrazí na větší směrodatné odchylce. Shodnost lze také popsat jako rozsah kolísavosti variability mezi opakovanými výsledky měření v daném rozsahu jednoho stejného kusu.[5, 13]



Obr. 1.4: Shodnost měření (zdroj [10])

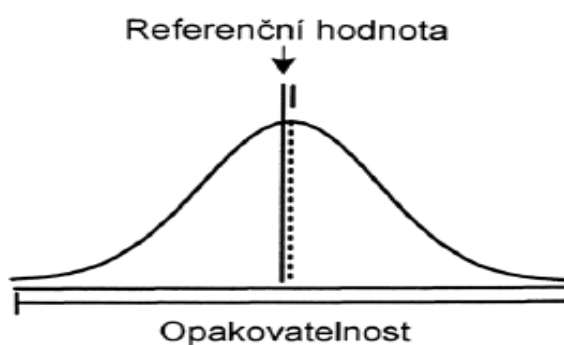
Shodnost a správnost jsou znázorněny na Obrázku 1.5. V levém okénku je znázorněno rozdělení naměřených hodnot jednoho měřidla a v pravém okénku je zobrazeno měření dvou měřidel. V polích Správnost - Shodnost je ukázán výsledek měření v blízkosti referenční hodnoty měřeného etalonu s malým rozptylem. V polích Správnost - Neshodnost jsou naopak zobrazeny výsledky s velkým rozptylem, ale se správným umístěním, tedy bez stranového posunutí. V polích Nesprávnost - Shodnost jsou hodnoty s malým rozptylem, ale se stranovým posunutím od referenční hodnoty. V posledních polích Nesprávnost - Neshodnost jsou hodnoty s velkým rozptylem a také se stranovým posunutím od referenční hodnoty etalonu.[14]

	Shodnost	Neshodnost	Shodnost	Neshonost
Správnost				
Nesprávnost				

Obr. 1.5: Správnost a shodnost (zdroj [14])

Opakovatelnost (Repeatability)

Opakovatelnost měření je variabilita výsledků, kterou získáme použitím jednoho měřicího přístroje. Tento přístroj je použit několikrát (opakovaně) na jednom stejném měření jedním pracovníkem a v co nejkratším čase. Běžně se označuje jako variabilita zařízení (EV - equipment variation), ačkoliv je toto zavádějící. Opakovatelnost je vyvolávána rozptylem náhodných příčin variability po sobě jdoucích zkoušek za definovaných podmínek měření, jenž působí uvnitř systému.[5, 11]

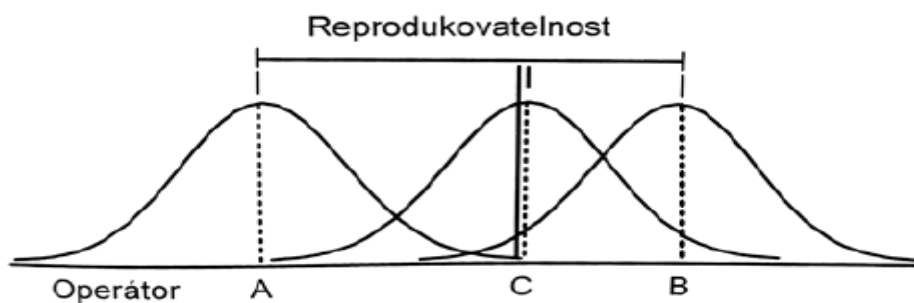


Obr. 1.6: Opakovatelnost měření (zdroj [5])

Možné příčiny chybné opakovatelnosti se mohou vyskytovat uvnitř dílu (jako je např.: poloha, povrchová úprava, zkosení), přístroje, etalonu nebo na jejich kvalitě. Příčiny opakovatelnosti mohou plynout i z chybně zvoleného měřidla a svůj vliv má také samotný pracovník a jeho zkušenosti.[5]

Reprodukovatelnost (Reproducibility)

Reprodukovatelnost je definována jako variabilita průměru měření charakteristik prováděna různými pracovníky za použití stejného měřicího přístroje na stejném dílu. Kromě pracovníků lze zaměnit v měření i prostředí, čas nebo použitou metodu. Mluvíme o variabilitě systému měření, která je způsobena rozdílností operátorů, obecně označována jako variabilita operátora (AV - appraiser variation).[5, 11]



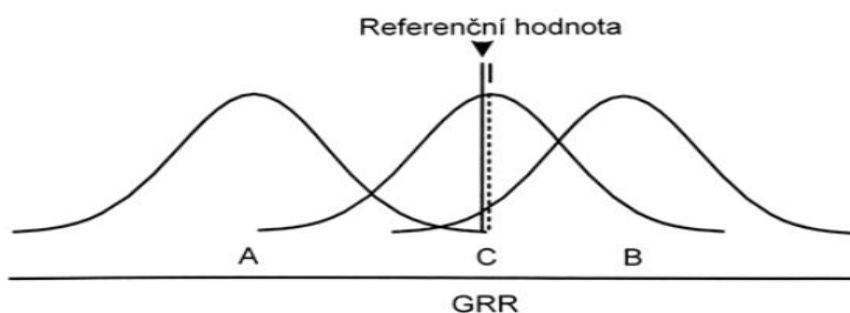
Obr. 1.7: Reprodukovatelnost systému (zdroj [5])

Možné zdroje chyb reprodukovatelnosti mohou být mezi samotnými díly, etalony, přístroji, prostředím a čas měření. Běžně mohou být způsobeny i samotnými pracovníky, jejich technikou a zkušenostmi pro dané měření.[5]

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR nebo Gage R&R)

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla je rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy. Opakovatelnosti a reprodukovatelnosti lze vyhodnotit různými přístupy, jako je například metodou rozpětí, metodou průměru a rozpětí nebo analýzou rozptylu. Celková variabilita systému lze vyjádřit pomocí rozptylu σ^2_{GRR} , je dána součtem variability produktu $\sigma^2_{reprodukovatelnost}$ a variability měřidla $\sigma^2_{opakovatelnost}$. [5, 11, 15]

$$\sigma^2_{GRR} = \sigma^2_{reprodukovatelnost} + \sigma^2_{opakovatelnost} \quad (6)$$



Obr. 1.8: Opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (zdroj [5])

Citlivost (Sensitivity)

Citlivost je nejmenší vstup, který vyvolá zjistitelný výstupní signál. Jednoduše řečeno, odezva systému měření na změny měřené charakteristiky. Citlivost je určena návrhem měřidla (práh citlivosti), kvalitou (OEM), provozní údržbou a stavem přístroje a etalonu. Udává se jako jednotka míry/měření.[5]

Faktory ovlivňující citlivost jsou například podmínky, při kterých se přístroj používá a to je okolní ovzduší, nečistoty, vlhkost, ale také odbornost obsluhy, opakovatelnost měřicího zařízení či schopnost utlumit přístroj.[5]

Konzistence (Consistency)

Konzistence je rozdíl neboli stupeň změny ve variabilitě měření opakovatelnosti v daném čase. Konzistentní proces měření je ve statickém zvládnutelném stavu vzhledem k šíři. Zvláštní příčiny ovlivňující konzistenci jsou teplota dílu, opotřebení zařízení a požadované zahřátí u elektronického zařízení.[5]

Uniformita (Uniformity)

Uniformita je změna ve variabilitě v provozním rozsahu měřidla. Může být považována za homogenitu opakovatelnosti vzhledem k velikosti. Faktor ovlivňující uniformitu je, špatná čitelnost stupnice, různý úhel ze dvou míst při čtení.[5]

2.1.4 Variabilita systému měření

Způsobilost (Capability)

Způsobilost systému měření je odhad variability systematických a náhodných chyb v krátkodobém hodnocení. Do způsobilosti spadají složky nekorigované strannosti či linearity, opakovatelnost a reprodukovatelnost (*GRR*) a v neposlední řadě konzistence. Odhad způsobilosti měření tedy říká očekávána chyba v definovaných podmínkách, použitelnosti a rozsahu systému měření. Když chyby měření nejsou nezávislé a náhodné lze kombinovanou variabilitu vyjádřit pomocí vztahu:[5]

$$\sigma^2_{\text{způsobilost}} = \sigma^2_{\text{strannost (linearita)}} + \sigma^2_{\text{GRR}} \quad (7)$$

Výkonnost (Performance)

Výkonnost systému měření je charakterizován celkovými účinky všech významných a stanovených zdrojů variability v daném časovém intervalu. Do výkonnosti patří krátkodobé chyby, stability a konzistence, kvůli jejímu dlouhodobému posuzování systematických a náhodných chyb měření. Odhad výkonnosti měření udává opět vyjádření očekávané chyby v případě definovaných podmínek, použitelnosti a rozsahu měření. Výraz pro kombinované variability neboli rozptylu je:

$$\sigma^2_{\text{výkonnost}} = \sigma^2_{\text{způsobilost}} + \sigma^2_{\text{stabilita}} + \sigma^2_{\text{konzistence}} \quad (8)$$

2.1.5 Metody pro určování opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Studie spojitého proměnlivého měřidla lze uskutečnit za použití celé řady různých technik. V zásadě se používají tři přijatelné metody a to jsou: metoda založená na rozpětí, metoda založená na průměru a rozpětí a metoda ANOVO. Návrh dat pro studie je u všech metod velice podobná, liší se jen metoda založená na rozpětí. Preferuje se metoda ANOVO, která měří chybu měřidla při vzájemném působení operátora a dílu, zatím co metoda rozpětí a metoda rozpětí a průměru tuto variabilitu nezahrnuje.[5]

Metoda rozpětí (Range Method - RM)

Metoda založená na rozpětí, je rychlou metodou, která je schopna určit, že GRR se nemění. Metoda většinou využívá při studii dva operátory – A, B a měří pět dílů, každý operátor měření jeden díl pouze jednou. Rozsah každého dílu se počítá jako rozdíl hodnot naměřených operátorem A a operátorem B. Z hodnot vypočítáme průměrné rozpětí a následně vydělíme součinitelem d_2^* . Ve sloupci je rozsah podskupin, čímž je počet operátorů a v řádku počet podskupin, což je počet dílů. Získáme tak celkový odhad reprodukovatelnosti a dle rovnice vypočítáme GRR.[5, 14]

$$GRR = \left(\frac{\bar{R}}{d_2^*}\right), \quad (9)$$

kde součinitel d_2^* zjistíme z tabulek hodnot, které jsou uvedeny v příloze A.

Metoda průměru a rozpětí (Average and Range Method - ARM)

Metodou průměru a rozpětí získáme na rozdíl od metody založené na rozpětí údaje o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému. Tento způsob dovoluje rozložit variabilitu systému měření na dvě samostatné složky, a to právě na opakovatelnost a reprodukovatelnost. Variabilita o závislosti mezi operátorem a dílem, případně operátorem a měřidlem se nezmiňuje. Obecně platí čím více vzorků, tím lepší a přesnější výsledek analýzy. Z jejich hodnot vyjádříme kombinovanou opakovatelnost a reprodukovatelnost podle vztahu[5, 16]:

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} \quad (10)$$

Dle směrnice je závěrečným krokem analýzy stanovení kritéria přijatelnosti systému měření, což je podíl GRR z celkové variability a hodnota ndc, které se počítají podle vztahů (11) a (12), kde TV (celková variabilita TV) a PV (variabilita dílu).

$$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR}\right) \quad (11)$$

$$\%GRR = 100 \cdot \left(\frac{GRR}{TV}\right) \quad (12)$$

Poté se tato kritéria porovnávají s limitními hodnotami a vyhodnocuje se přijatelnost, kde mohou nastat 3 stavy, zobrazené v tabulce 1 na následující stránce.[10, 17]

Metoda ANOVA (Analysis of variance – ANOVA)

Analýza rozptylu je statistická metoda používaná pro analyzování chyb měření. Výhodou této metody je schopnost vyrovnat se s jakýmkoliv experimentálním nastavením měřicího systému a tím můžeme získat přesnější odhad rozptylu. U metody ANOVA lze rozptyl rozdělit do čtyř kategorií: díly, operátoři, interakce mezi díly a operátory a chyba replikace způsobená měřidlem. Naopak nevýhodou metody je složitost výpočtu a nutnost statistických znalostí v počítačovém statistickém programu. Nezbytně nutné je, aby data byla shromažďována v náhodném pořadí a byla zapsána do stanoveného formuláře. Určení počtu měřených dílů a počtu operátorů zúčastněných analýzy je obdobný jako u předcházející metody. Umožňuje definovat velikost interakce mezi díly a vlivy operátorů a jeli statisticky významná, vypočte se následovně[5, 11, 17, 18]:

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (INT)^2} \quad (13)$$

Tab.1: Kritéria přijatelnosti analýzy (zdroj [19])

%GRR < 10% a ndc ≥ 5	Systém měření je přijatelný
10% < %GRR < 30% a ndc ≥ 5	Systém měření je podmíněně přijatelný vzhledem k celkové variabilitě procesu resp. tolerančnímu rozpětí, to závisí na poměru ceny nápravy a významnosti sledované veličiny
%GRR > 30% nebo ndc < 5	Systém měření není přijatelný a je nutné jej zlepšit

2.1.6 Studie měření metodou srovnáváním

Předpoklad použití metodik srovnáváním je takový, že výsledku měření kontrolované hodnoty odpovídá jedné z konečného počtu kategorií. Nevýhodou této metodiky je najít správné a pravé číselné hodnoty. Nejobvyklejší je například kalibr s dobrou i zmetkovou stranou, kde mohou být pouze dvě možná rozhodnutí a to, je-li výsledek „správný“ či „špatný“. Další složitější systémy využívající metody srovnáváním mohou mít pět až sedm klasifikací.

Při aplikaci metod srovnáváním mohou nastat situace, kde nelze zajistit dostatečný počet dílů s referenčními hodnotami proměnných. V tomto případě je možné provést pouze hodnocení rizik prováděných několika operátory pomocí:

- Analýz testů hypotéz
- Teorie detekce signálu

Poněvadž tyto metody nekvantifikují variabilitu systému měření, měly by se používat pouze se souhlasem zákazníka. Ke správnému použití těchto metod je důležité minimalizovat vnější zdroje variability systému měření, které ovlivňují rozhodování operátorů a ergonomický výzkum.[5]

Teorie detekce signálu

Jednou z metod vyhodnocování v metodice MSA je metoda detekce signálu. Cílem této metody je stanovení přibližného odhadu šíře pásma, kde se poté vyhodnocuje velikost opakovatelnost a reprodukovatelnost systému měření GRR. Dále se toto vyhodnocování porovnává s procentuálním podílem %GRR s předepsanými kritériálními hodnotami z tabulky 1, kde se rozhodne o přijatelnosti systému měření. Předpoklad použití této metody je znalost referenčních hodnot pro všechny díly, které budou kontrolovány. Tato metoda je čistě zaměřena pouze pro ty znaky kvality, u nichž lze zjistit pomocí systému měření proměnných pravou hodnotu.[5]

Postup metody:

1. Stanovení tolerance pro daný znak

Dle technické dokumentace se zjistí horní USL a dolní LSL toleranční mez pro daný sledovaný znak kvality.

2. Sestavení tabulky referenčních hodnot pro výpočet

Dalším postupem této metody je vytvoření a seřazení tabulky velikostí referenčních hodnot od největší po nejmenší. K těmto seřazeným referenčním hodnotám se přiřadí odpovídající kód dílu, tak jak to můžeme vidět v tabulce 2.

Tab.2: Tabulka seříděna podle referenčních hodnot (zdroj [5])

Referenční hodnota	Kód	Referenční hodnota	Kód
X_{max}	-		+
	-		+
	x		+
	x		+
	+		x
	+		x
	+	X_{min}	-

Diagramatické označení: $dUSL$ (dolní hranice) je spojena s referenčními hodnotami vpravo od střední tabulky, zatímco $dLSL$ (horní hranice) je spojena s referenčními hodnotami vlevo od střední tabulky.

3. Identifikace počátečních a koncových bodů oblastí

V tomto bodu metody se musí identifikovat počáteční a koncové body tzv. „šedé“ oblasti. Tato identifikaci se dělá pomocí tabulky 3, která přiděluje kódové znaky k jednotlivým referenčním hodnotám na základně definic. Tyto kódové znaky pomáhají učit místa předělu, kde se následně počítají hodnoty rozdílů:

d_{USL} = vzdálenost mezi posledním dílem přijatým všemi operátory v zóně III a prvním dílem zamítnutým všemi operátory v zóně I.

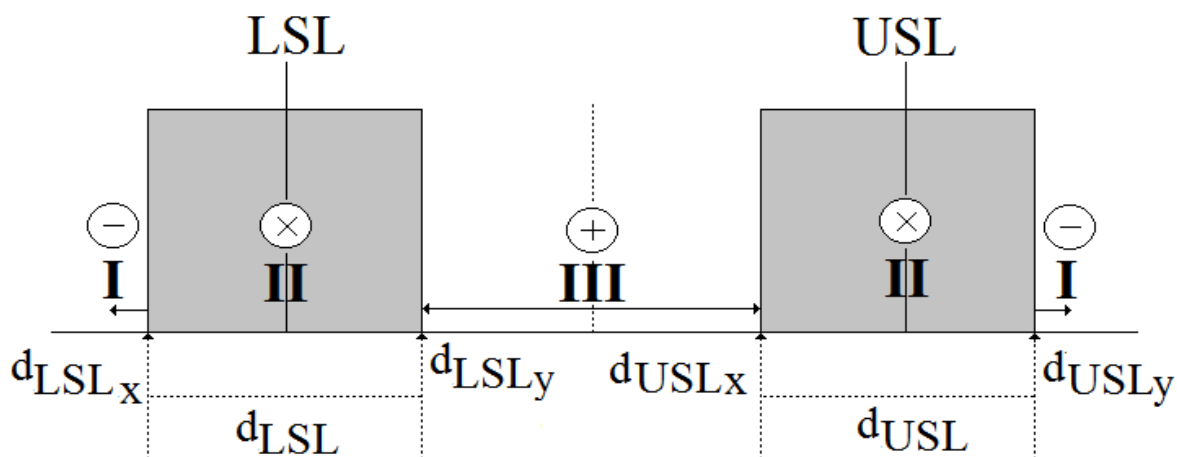
d_{LSL} = vzdálenost mezi posledním dílem přijatým všemi operátory v zóně III a posledním dílem zamítnutým všemi operátory v zóně I.

Tab.3: Tabulka shody/neshody (zdroj [5])

Kód	Popis	Definice
+	Přijato s celkovou shodnou	Operátoři se shodli, že díl bude přijat
-	Zamítnuto s celkovou shodnou	Operátoři se shodli, že díl bude zamítnut
x	Neshoda	Operátoři se neshodli, jelikož jde o sporné díly, ležící kolem každé z mezí

4. Stanovení šíře oblasti

Z předchozích kroků lze nyní určit šíře „šedé“ oblasti, jako je tomu na obr. 1.9.



Obr. 1.9: Rozdělení dílů do oblastí (zdroj [5])

Postup výpočtu:

- a) Stanovení vztahu „šedé“ šíře v oblasti dolní toleranční meze

$$d_{LSL} = d_{LSLy} - d_{LSLx} \quad (14)$$

- b) Stanovení vztahu „šedé“ šíři v oblasti horní toleranční meze

$$d_{USL} = d_{USLy} - d_{USLx} \quad (15)$$

- c) Vztah průměrné šíře v „šedé“ oblasti

$$d = \frac{d_{LSL} + d_{USL}}{2} \quad (16)$$

5. Vyhodnocení GRR

Vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření se provádí dle vztahu (17) na základě výpočtu průměru šíře a rozdíl mezi tolerancemi.

$$\%GRR = \frac{d}{TOL} \cdot 100 = \frac{d}{USL-LSL} \cdot 100 \quad (17)$$

Při vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření se vypočítaná hodnota %GRR porovnává s hodnotami kritérií GRR, které najdeme v tabulce 1.[5]

2.2 VDA 5 – Vhodnost kontrolních procesů

Směrnice VDA jsou vytvořeny pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu požadující znalost nejistoty měření, využívá osvědčené metody analýz způsobilosti MSA. Tento svazek popisuje postupy a metody týkající se zabezpečování jakosti a snaží se je sjednotit do jednotného a prakticky využitelného modelu. Zajišťuje eliminování ztrát a je zaměřen na opakovatelné procesy měření geometrických veličin, jako je měření délek a úhlů. Efektivní používání těchto postupů a metod dává konkurenční výhody, hospodárnost a perfektní kvalitu.[6, 16]

Příručka resp.: směrnice VDA 5 je rozdělena do dvou částí a to: vhodnost měřicího systému a vhodnost měřicího procesu. Do vhodnosti měřicího systému spadají tyto nejistoty, jako jsou např. nejistota kalibrace, opakovatelnost etalonu a odchylka linearit, které přímo souvisí s měřicím systémem. Do vhodnosti měřicího procesu se poté počítá opakovatelnost operátorů, reprodukovatelnost měřicího přípravku, nejistota způsobená změnami teploty a další. [6]

Hlavním zastáncem této metody jsou německé společnosti BMW Group, Daimler AG, GKN Driveline, KFMtec, MQS Consulting, MAN Nutzfahrzeuge, Robert Bosch GmbH a Volkswagen AG.[6]

2.2.1 Všeobecný průběh stanovení vhodnosti procesu měření

V rámci kontrol a měření procesů resp. produktů musí být zajištěny a použít vhodné metody pro monitorování a měření odchylek produktu k ověření, zda jsou splněny vlastnosti znaků vzhledem k toleranci kladené na produkt jako „prošlo“ (uvnitř specifikace) či „neprošlo“ (mimo toleranci). [6]

Jsou-li splněné požadavky kladené na odchylky produktu, zjistíme hodnocení procesů měření s uvažováními nejistoty měření uplatněním následující tabulky (tabulka 4).

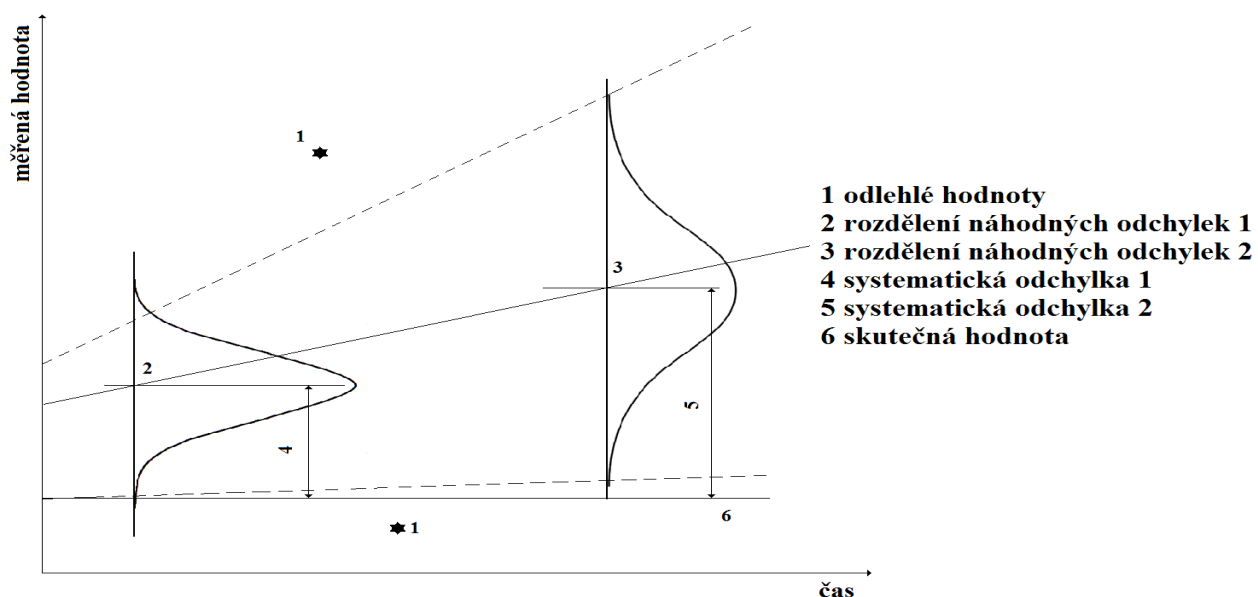
Tab.4: Obecný postup k poskytnutí důkazu o vhodnosti procesu měření (zdroj [6])

Vstupní informace	Popis	Výsledek
Údaje k systému měření popř. kontrolovanému znaku a etalonu (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 zdrojů nejistot	Důkaz vhodnosti procesu měření	Rozšířená nejistota měření U _{MP} Ukazatel vhodnosti Q _{MP}
Údaje k procesu kontroly a příslušným rozšířeným nejistotám U _{MP}	Hodnocení shody s přihlédnutím k rozšířené nejistotě měření	Intervaly shody resp. Neshody
Údaje z měřicího systému, procesu měření a o zkoušenému znaku	Průběžná prověrka vhodnosti procesu měření	Regulační karta s vypočítanými regulačními mezemi

2.2.2 Zvláštnosti

Náhodné odchylky měření

Odchylky měření se skládají z množství různých zdrojů a příčin. Jsou způsobeny nezvládnutelnými či nahodilými vlivy, odchylky jsou buďto známé nebo neznáme. Lze je popsat směrodatnými odchylkami a typem rozdělení viz Obr 1.9.[6]



Obr. 1.10: Odchylky měření v souvislosti s výsledkem měření (zdroj [6])

Drift měřidla

Drift měřidla je způsoben přírůstkovou nebo spojitou změnou indikace vlivem stárnutí nebo opotřebení metrologických vlastností měřidla. Indikace je hodnota veličiny poskytnutá měřidlem nebo měřicím systémem. Drifty jsou popsány v čase (např. že před použitím musí být měřidlo 20 minut zapnuto). Vlivem opotřebení se případně určí zkoumáním stability.[6]

Odlehlé hodnoty

Odlehlé hodnoty mohou být při měření způsobeny elektrickým a mechanickým rušením. Výskyt odlehlých hodnot je většinou nějaká technická chyba, jako je chyba čtení, chybný zápis naměřené hodnoty či špatný vztah operátora k měřicímu přístroji.[6]

2.2.3 Výpočet ukazatele vhodnosti

Pro každou konkrétní úlohu se předpokládá poskytnutí důkazu vhodnosti procesu měření doložené rozšířenou nejistotou měření a berou se na vědomí nežádoucí vlivy, které byly již zmiňovány. Zkoumané kontrolní znaky a tolerance řešíme na začátku posuzování. V příloze B můžeme vidět typický průběh hodnocení vhodnosti.[6]

Jsou zde zaváděny ukazatele vhodnosti pro měřicí systém Q_{MS} a pro proces měření Q_{MP} , ke kterým jsou přiřazeny limitní hodnoty. ($Q_{MS} \leq Q_{MS_max}$, resp. $Q_{MP} \leq Q_{MP_max}$) Pro měřicí systémy je navrženo $Q_{MS_max} = 15\%$ a pro procesy měření $Q_{MP_max} = 30\%$. Jsou-li tyto limitní hodnoty dodrženy, je měřicí systém a proces měření ohodnocen jako vhodný. Vyjádříme ho podle vztahu:

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{TOL} \cdot 100\% \quad \text{resp.} \quad Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100\% \quad (18)$$

V praxi jsou brány limitní hodnoty jako orientační, stanovují si je samotní zákazníci a dodavatelé. Pokud tomu tak nejde, musejí být navrženy realistické a po celou dobu je proces měření sledován. Stanovení složek nejistoty systému měření může odpadnout, pokud je největší přípustná chyba MPE řádně doložena a dokumentována. Poté se kombinovaná nejistota měření u_{MS} vypočte ze vztahu:

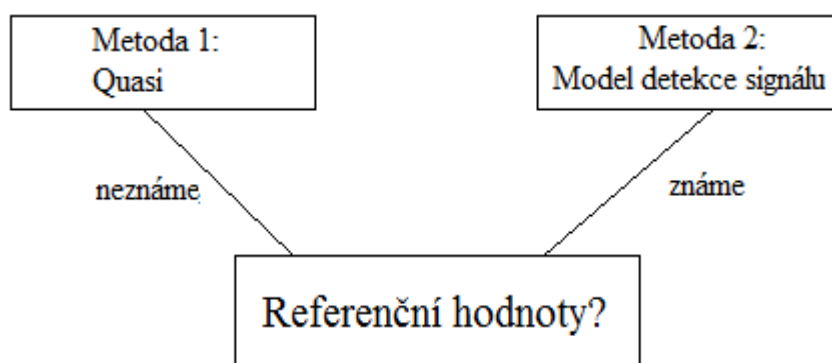
$$u_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Je-li kombinovaná standardní nejistota měření systému ovlivňována více jak jednou hodnotou MPE, je výpočet ze vztahu:[6]

$$u_{MS} = \sqrt{\frac{MPE_1^2}{3} + \frac{MPE_2^2}{3} + \dots} \quad (20)$$

2.2.4 Metody analýz VDA 5 srovnáním

Základním předpoklad pro použití metodik VDA 5 vzhledem k charakteru atributivních znaků kvality je fakt, zda jsou zajištěny referenční hodnoty pro analýzu. Metodika VDA 5 má dvě metody pro analýzu systému měření a rozhodnutí o použití dané metodiky probíhá, jako je tomu na Obr. 1.11. V případě, jsou-li známy referenční hodnoty, je navržen dvoustupňový postup a používá se metoda detekce signálu, která je převzata z metodiky MSA. V případě, nejsou-li známy referenční hodnoty, vyhodnocuje se metodou Quasi – důkaz vhodnosti systému měření. Tato metoda využívá test symetrie očekávaných četností dle Bowkera. Avšak metodika VDA 5 uvádí ještě jiné metody, jako je metoda Kappa podle návodu MSA.



Obr. 1.11: Proces pro použití správné metody

Postup metodiky VDA 5 k poskytnutí důkazu vhodnosti atributů znaku kvality zohledňuje i fakt, že pravděpodobnost určitého výsledku zkoušky je závislá na jednoznačnosti stavu posuzovaného znaku jakosti. Jedná se tedy o podmíněnou pravděpodobnost. Pro hodnoty

znaku ležící vně intervalu nejistoty mezi specifikace, je správný výsledek zkoušky přibližně 100% a pro hodnoty ležící uvnitř intervalu nejistoty, je to přibližně 50%. [6, 20]

Metoda detekce signálu – Důkaz vhodnosti při znalosti referenčních hodnot

Jak již můžeme vidět ze samotného názvu, pro tuto metodu je nutné povinně znát referenční hodnoty jednotlivých dílů. Cílem metody je určit šířku intervalu nejistoty, ve kterém operátoři nedospějí k jednoznačnému rozhodnutí.

Tato metoda vyhodnocování je v metodice VDA 5 převzata z metodika MSA a rozdíly, kterými se tyto popisované metodiky liší, jsou velmi malé, není potřeba tuto metodu dále rozepisovat a nějak zvlášť představovat. Rozdíly těchto metodik jsou uvedeny v následujících kapitolách. [6]

3 Porovnání principů vyhodnocování vhodnosti měřicího systému

Každá z metodik v posuzování měřicího systému MSA a VDA 5 má vlastní výhody a nevýhody, jako je tomu vždy u porovnání dvou vyhodnocovacích metodik. Specifické požadavky zákazníků plní v automobilovém průmyslu vždy jiná metodika, každá firma upřednostňuje a vyžaduje jinou metodiku. V následujících bodech si metodiky shrneme, jejich přednosti a nedostatky.

MSA je zaměřena na pochopení procesu měření, posuzování přiměřenosti měřicího systému, porozumění procesu a jeho zlepšení. Z obsahového hlediska jde o užitečnou metodiku, která v celku dobře popisuje řadu postupů pro provádění analýz systému měření. Metodika poskytuje také řadu grafický nástrojů a na uživatele určitě působí přehledně a uspořádaně.

Oproti tomu metodika VDA 5 je zaměřena na použitelnost měřidel, stanovení nejistot měření a stanovení rozsahu hodnot definovaných pomocí intervalu spolehlivosti. Je velice metodická a podporuje důkladnou znalost. Metodika VDA 5 spíše vyhodnocuje nejistoty měření nežli by prováděla analýzu systému měření. Analýza systému měření řeší celý systém měření, na rozdíl od nejistot měření, kteří se zabývají výsledkem měření.

V tabulce 3 můžeme vidět, že MSA vyhodnocuje systém měření jako celek, každý ovlivňující faktor vyhodnotí samostatně. VDA 5 vyhodnotí měřicí systém nejdříve dílčím způsobem, a poté až následuje vyhodnocení celého procesu měření. Jednotlivé složky variability vyhodnotí zvlášť a tím pak vyhodnotí nejistoty měření. Pro výsledné vyhodnocení systému měření jsou další odlišnosti v pojmu slova, jako je tomu způsoblost a vhodnost. Způsoblost systému využívá metodika MSA, kdežto vhodnost hodnocení procesu i systému měření metodika VDA 5.

Tab.5: Porovnání variability v měřícím systému (zdroj [20])

Ovlivňující faktory	Prvky variability		
	MSA 4	Pokyny společnosti	VDA 5 nebo ISO 22514-7
Rozlišení / kategorie dat	$ndc \geq 5$	$\%RE \leq 5\% \text{ TOL}$	$\%RE \leq 5\% \text{ a } u_{RE} = \frac{RE}{2\sqrt{3}}$
Nejistota odkazu	*)	$U \leq 5\% \text{ TOL}$	$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{2}$
Opakovatelnost	malá	$Cg \geq 1,33$	$u_{EVR} = s$
Strannost	t - Test	$Cgk \geq 1,33$	$u_{BI} = \frac{ \bar{x} - x_m }{\sqrt{3}}$
Linearita	t - Test	$\%LIN \leq 5\% \text{ TOL}$	$u_{LIN} = \max \{u_{BI}\}$
Opakovatelnost objektu	EV (ANOVO)		$u_{EVO} = AN \text{ (ANOVA)}$
Reprodukovatelnost objektu	AV (ANOVO)		$u_{AV} = EV \text{ (ANOVA)}$
Nejistota objektu	Opakované měření ve stejné pozici		$u_{OBJ} = \frac{TOL}{\sqrt{3}} \text{ nebo } \frac{a}{\sqrt{3}}$
Teplota	*)		$u_T = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Stabilita	Tabulka kontroly kvality		$u_{STAB} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ Tabulka kontroly kvality
Jiné	*)		u_{REST}

3.1 Příprava měření

V dnešní době má přesné měření čím dál tím větší význam a tudíž nelze provádět měření bez řádné kontroly, plánování a nastavení patřičného výrobního procesu. V metodice MSA se hned zpočátku zaměřují především na důkladnou znalost měření, což znamená, že se věnují podrobné přípravě před začátkem měření. Podrobná příprava obnáší všechno spojené s měřením, od volby vhodného měřidla, zpracování technického manuálu až po měření daného kolektivu zodpovědného za celý proces měření. Operátoři jsou vybíráni z těch, který běžně přístroj používají.

Při metodice VDA 5 se příprava neřeší, vyhodnocuje vhodnost systému již na existujících systémech měření, v případě nevhodného měřidla, bere v úvahu jednu z možností nesplnění podmínek pro způsobilost měřicího systému.

3.2 Proces měření

Variabilita a nejistota měření

Diagram příčin a následků, též Ishikawa diagram, anebo díky svému vzhledu diagram rybí kosti řeší určení pravděpodobné příčiny problému a v našem případě nám shrnuje zdroje variability systému měření jednotlivých metodik, na první pohled jsou mezi diagramy jen mále rozdíly, což můžeme vidět na konci práce viz. příloha C a D. Diagram u metodiky MSA má 4 základní zdroje variability (obrobek – díl, přístroj – měřidlo, prostředí, pracovník - operátor), oproti tomu metodika VDA 5 má 8 základních zdrojů variability. (člověk, měřený objekt, metoda hodnocení, prostředí, metoda měření, měřidlo, upínací přípravek, etalon) V metodice MSA najdeme méně zdrojů variability, jelikož se podrobněji dělí oproti metodice VDA 5. Můžeme říci, že oba dva diagramy popisují stejnou problematiku a přesto jsou rozdílné.

Zásadní rozdíl mezi metodikami je v určování nejistot, metodika MSA se nesnaží popsat variabilitu měření do složek nejistot, ale způsobílost systému měření určuje numerickou metodou z naměřených hodnot získaných opakováním měření. Kdežto metodika VDA 5 vyhodnocuje každou složku nejistoty měření samostatně, jak můžeme vidět v tabulce 5.

Rozlišení

Nejdříve je potřeba u metodiky MSA určit rozlišitelnost měřicího systému, což znamená, dostatečné zajištění nízkého prahu citlivosti měřicího systému. Tento práh citlivosti odhaluje nejmenší hodnotu dílku přístroje v postupech měření, kterou je možné při změně, systémem zaznamenat. Tato hodnota by měli odpovídat nejméně jedné desetině variability procesu.

U metodiky VDA 5 musí být rozlišení při posuzování vhodnosti měřicího systému menší než 5% tolerance požadované hodnoty, kterou testujeme nebo kontrolujeme. Není-li tato podmínka splněna, dále se už nic vyšetřovat nebude, jelikož realita měření se nedá vzít v úvahu. Proto už se toto rozlišení zpracovává v procesu měření a platí standardní nejistota z řešení měřicího přístroje.

Opakovatelnost a reprodukovatelnost

Pro vyhodnocování složek nejistoty z opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření musíme provést experiment, který nám tyto složky variability určí. Měření tohoto experimentu by se mělo provádět v náhodném pořadí, tím se zamezuje jakýkoli drift nebo změny, která by se mohla vyskytnout. Opakovatelnost je variabilita výsledku měření získaná měřením jedním měřicím přístrojem, který byl použit opakovaně jedním operátorem při měření na jednom dílu. Nejlépe jím můžeme definovat jako variabilitu uvnitř systému. Reprodukovatelnost se označuje jako variabilita mezi operátory a je definována jako variabilita průměru měřená různými operátory za použití stejného měřidla na jednom dílu. Lze jí definovat jako variabilitu systému měření, která vzniká rozdílností operátorů.

Metodika MSA z naměřených hodnot vypočítává variabilitu dílu EV a variability operátorů AV, výpočet těchto variability nám poté určí GRR. Metodika VDA 5 určí dvě standardní složky nejistoty, který odpovídají hodnotám EV a AV, rozdíl je pouze ve značení a interpunkci. Výsledky těchto měření jsou pro tento experiment následně vyhodnocovány metodou ANOVA, kterou obě metodiky využívají.

3.3 Vyhodnocení způsobilosti/vhodnosti

Postup při vyhodnocení způsobilosti systému a vhodnosti procesu měření je prováděn v reálných podmínkách, měřené veličiny jsou graficky analyzovány a číselně se vypočítají hodnoty a poté porovnávají se se stanovenými limity. Toto hodnocení rozhoduje o způsobilosti měřicího systému nebo procesu měření. Metodiky MSA a VDA 5 se liší především ve výpočtu statistických hodnot a principů, jak těchto hodnot dosáhnout.

Metodika MSA určuje způsobilost systému na základu opakovaných měření, pokud tento systém vyhovuje limitním hodnotám, je systém způsobilý k měření. Metodika VDA 5 má pro odhad všech složek nejistot měření celkem složitý postup. V tomto postupu jsou minimálně dva experimenty a zbytek složek nejistot měření získaných metodou B. Ověření vhodnosti měřicího systému Q_{MS} je pouze dílčím krokem k následujícímu určení vhodnosti celého procesu měření Q_{MP} .

Tab.6: Kritéria posuzování způsobilosti/vhodnosti systému (zdroj [20])

	MSA 4	VDA 5 nebo ISO 22514-7
<i>Index způsobilosti</i>	$\%GRR = \frac{\sqrt{EV^2 + AV^2}}{RF} \times 100\%$ <p>kde RF = celková variabilita TV, změna rozptylu σ, tolerance TOL, použití podle jednotlivých společností</p>	$QMS = \frac{2 \times UMS}{TOL} \times 100\% \quad QMP = \frac{2 \times UMP}{TOL} \times 100\%$ <p>kde TOL = tolerance $UMS \text{ resp. } UMP = 2 \times \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots$ u_i Standardní nejistota i-tého ovlivňujícího faktoru</p>
<i>Limitní hodnoty</i>	<p>$\%GRR \leq 10\%$ způsobilost $10 < \%GRR < 30$ částečná způsobilost $30 \leq \%GRR$ nezpůsobilost</p>	<p>Měření výsledků $y = x \pm U_{MP}$ $\%Q_{MP} \leq 30\%$ způsobilost</p>
<i>Grafické hodnocení</i>		

Vyhodnocení způsobilosti podle MSA

Abychom v metodice MSA vyhodnotili vyhodnocování způsobilosti systému měření, musíme zajistit tyto body:

- Zdali je práh citlivosti nízký
- Je-li systematická chyba nízká
- Je-li počet datových kategorií $ndc \geq 5$

Po vykonání těchto bodů se vyhodnocuje opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla a následný výpočet %GRR. Hodnota %GRR, jak vidíme v tabulce 4, by měla být menší nebo rovna hodnotě 10 % pro kompletní schopnost způsobilosti systému měření. V rozmezí 10 – 30 % pro částečnou způsobilost a systémy měření, který mají způsobilosti větší jak 30 % %GRR nejsou schopný způsobilosti a vyžadují změnu nebo zlepšení

systému měření. V případě, že nastane nezpůsobilost systému měření, nelze analyzovat příčiny přímo, pouze na základě mezivýsledků.

Vyhodnocení vhodnosti podle VDA 5

Metodika VDA 5 zavádí pro určení vhodnosti dva parametry, pro měřicí systém Q_{MS} a pro proces měření Q_{MP} . Z tabulky 6 můžeme vidět, jak se tyto parametry vypočítají. Podle největší přípustné chyby MPE se dělají další kroky, v případě že MPE není doložena ani dokumentována, je postupu následovný. V první řadě se určí všechny složky nejistoty měření, který by mohli ovlivnit daný měřicí systém. Z toho se poté určí standardní nejistota měření u_{MS} a pomocí koeficientu rozšíření vypočítat rozšířenou nejistotu měření U_{MS} . Pomocí této nejistoty měření U_{MS} a šířky tolerančního pásma TOL lze stanovit hodnotu ukazatele vhodnosti Q_{MS} . Tato hodnota musí být maximálně rovna 15 %, po splnění této podmínky lze považovat měřicího systému za způsobilý a může začít odhad druhého parametru Q_{MP} . Není-li podmínka splněná, je měřicí systém považován za nepřijatelný a je nutné vylepšení. Což znamená, odstranit všechny největší a nejsnáze odstranitelné složky nejistoty měření a poté celý proces opakovat, dokud nebude celý systém označen za vhodný.

Pro určení vhodnosti celého procesu měření metodikou VDA 5, je nutné získat všechny složky nejistot. Které lze rozdělit do dvou bodů:

- Složky nejistot metodou A (u_{EVO} , u_{AV} , u_{GV} , u_{IAi}), metodou ANOVA či dále u_{STAB}
- Složky nejistot metodou B (u_{OBJ} , u_T)

Tyto standardní složky nejistoty měření získáme buď experimentálně, anebo odhadem z předchozích informací. Po získání těchto složek nejistot lze odhadnou standardní nejistotu měření u_{MP} a přes koeficient rozšíření vypočítat rozšířenou nejistotu měření U_{MP} . Pomocí této nejistoty měření U_{MP} a šířky tolerančního pásma TOL lze stanovit hodnotu ukazatele vhodnosti Q_{MP} . Tato hodnota ukazatele vhodnosti musí být maximálně 30 %, aby byl proces měření uznán za vhodný. V případně větší hodnoty, se celý postup opakuje jako u Q_{MS} .

3.4 Porovnání dvou vyhodnocovacích metod – metody detekce signálu

Společným prvkem obou metodiky je metoda detekce signálu, který přes svou jednoduchost a kvalitu vyhodnocování má zásadní nedostatek, tato metoda může být použita jen v případě, kde se dá nepřetržitě měřit testovaná hodnota a máme ihned číselnou hodnotu. Jinými slovy, tato metoda je vhodná jen při znalosti referenčních hodnot. V tomto případě se nejedná o protichůdné metodiky, ale spíše doplňky.

U metodiky MSA je metoda detekce signálu celkem dobře popsána po krocích, vlastně až na závěrečný výpočet hodnoty procentuálního podílu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření – GRR. Kde chybí vzorec výpočtu, jak by se hodnota GRR měla počítat a zároveň chybí odkaz na kritéria posuzování hodnoty %GRR.

V metodice VDA 5 přímo metoda detekce signálu odkazuje na příručku MSA, kde je postup vyhodnocování měřicího systému více rozvinut. Metodika VDA 5 shrnuje postup této metody také v několika krocích, kde jsou hlavními rozdíly jiné symboly značení „šedé“ oblasti (oblast nejistot) a opakovatelnost a reprodukovatelnost systému měření. (ukazatele vhodnosti)

3.5 Zhodnocení metodik

Při výběru vhodné metodiky pro určování vhodnosti/způsobnosti systému měření rozhoduje to, do jakých krajinných celků případně jakým firmám v automobilovém průmyslu se bude dodávat. Tudiž o správné volbě metodiky zajišťující požadovanou kvalitu nerozhoduje pouze výrobce, ale většinou každá firma sama, jelikož má své standardy a těma se řídí. Pro evropský trh převládá metodika VDA 5, pro americký trh MSA.

MSA

Největší výhodou u metodiky MSA je mezinárodní uznání a to díky své historii, hned z počátku se snažila sloučit jednotlivé předpisy v automobilovém průmyslu dřív jak u metodiky VDA 5. Další výhodou je všestranné používání postupů, které se využívají pro odhad způsobnosti i mimo automobilový průmysl. MSA se zaměřuje hlavně na přípravu,

před použitím analýzy systému měření. Tudíž může být vhodná pro firmy, které jsou v oboru nové a začínají se v tomto oboru angažovat, jelikož detailní návody jsou velice vhodně a snadno popisovány. Další výhodou připadá řešení systému měření se složitými a neopakovatelnými měřeními. Oproti VDA 5 je proces odhadu způsobilosti systému měření jednodušší, místo určování mnoha složek nejistoty měření, což je časově náročné, stačí provést jeden základní experiment na zjištění %GRR a rozhodnout o způsobilosti procesu. Z druhé strany je to nevýhoda, jelikož nezískáme přehled o rozložení vlivů nejistot. Pokud %GRR nesplní limitní hodnoty, není snadné určit příčiny, které by měly na systém měření negativní vlivy.

VDA 5

U metodiky VDA 5 je postup hodnocení založen na určování složek nejistoty, jak bylo výše zmíněno. Tento proces je z hlediska času náročnější a zdouhavější, ale v případě nezpůsobilosti systému měření, lze lehce odhalit, které dílčí složky nejistoty mají vliv na měřicí systém, toto je velká výhoda oproti MSA. Další výhodou je, že metodika VDA 5 vychází z mezinárodně uznávaných norem ISO z důvodu rozšířenosti a použitelnosti norem ISO ve světě. V posledním vydání byla metodika VDA 5 vylepšena a rozšířena o několik postupů z MSA a tím nedostatky odstranila, zřejmě kvůli lepší konkurenceschopnosti a zvýšení využitelnosti VDA 5. První vydání VDA 5 neobsahovalo postupy pro atributivní zkoušky, metodu ANOVA a postup pro měření geometrických veličin.

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo analyzovat a porovnat nejpoužívanější metodiky vyhodnocování způsobilosti/vhodnosti měřicího systému v automobilovém průmyslu, kterými jsou metodika MSA a VDA 5. Analýza systému měření se zabývá posuzováním jeho přijatelnosti či nepřijatelnosti systému měření. Není-li měřicí zařízení způsobilé nebo správně kalibrované, nemůže být poté správně provedena analýza systému měření a následné vyhodnocení vhodnosti systému měření. Pro každou z metodik byl vytvořen rozbor metod a jejich určování způsobilosti, resp. vhodnosti systému měření a následně jsou popsány výhody a nevýhody jednotlivých metod.

Na začátku práce jsem popsal a poskytl obecný přehled do základů měření. V tomto tématu nesmí chybět podmínky a metody měření, chyby a v neposlední řadě nejistoty měření, které v daném měření mohou nastat. V další části práce jsou popsány a analyzovány dvě základní a v současné době nejvíce používané metodiky automobilového průmyslu metodiky MSA a VDA 5 z hlediska vyhodnocování. Jsou zde popsány i tři metody používané pro určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího zařízení. Jedná se o metodu založenou na rozpětí, dále na průměru a rozpětí a v neposlední řadě metoda analýza rozptylu (ANOVA).

Stěžejní část práce je třetí kapitola, ve které jsem dané metodiky porovnával z hlediska vyhodnocování vhodnosti měřicího systému. Detailní porovnání je v tabulce, kde jsem shrnul nejzákladnější vzorce a poté jednotlivé vzorce rozepsal. Toto porovnání jsem soustředil na dílčí nejistoty měření, porovnání koeficientů způsobilosti, indexů způsobilosti a ukazatelů vhodnosti. Postupy určování způsobilosti a vhodnosti systému měření se u metodiky MSA a VDA 5 výrazně liší. Odlišnosti jsou v celkovém přístupu k vyhodnocování způsobilosti systému měření.

Při výběru vhodné metodiky pro posuzování vhodnosti měřicího systému je rozhodující faktor zejména ten, kam a kde se metodiky budou využívat. Volba metodiky zajišťující dostatečnou kvalitu tedy není jen v rukou výrobce, ale i dodavatelé. Každá firma má v dnešní době své dané standardy kvality, kterými se řídí. Pro výběr optimální metodiky systému měření jsou podstatné její výhody, nevýhody a omezení ve srovnání s druhou metodikou.

Metodika MSA vznikla jako směrnice neboli příručka v americkém automobilovém průmyslu k analýze systému měření, která vyhodnocuje způsobilost systému. Proces odhadu způsobilosti systému měření je u metodiky MSA jednodušší, provede se základní experiment na zjištění %GRR a tím se rozhodne o způsobilosti. Nevýhoda tohoto procesu je, že nezíská přehled o rozložení jednotlivých vlivů nejistoty.

Metodika VDA 5, kterou vydal německý automobilový svaz, vyhodnocuje systém měření pomocí vstupních dat a poté určuje jednotlivé složky nejistoty měření. To je mírná výhoda, v případě nezpůsobilosti měřicího systému lze odhadnout, které dílčí složky nejistoty mají největší vliv na systému a následně pracovat na jejich eliminaci. Nevýhodou je, že tento postup je zdlouhavější a náročnější.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HAASZ, V., SEDLÁČEK, M. *Elektrická měření: přístroje a metody*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02731-7.
- [2] TŮMOVÁ, O., ČTVRTNÍK V., GIRG J., ŠVARNÝ, J. *Elektrické měření: měřicí metody*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-412-0.
- [3] SROVNAL V., a kolektiv. *Elektrotechnická měření*. 2007. ISBN 978-80-7333-062-0.
- [4] MOTYČKA, M., TŮMOVÁ, O. *Metody analýzy vhodnosti měřicích systémů*. [cit. 17.9.2016] [online]. 2013, s. 5. Dostupné z: www.electroscope.zcu.cz/rocnik2013/cislo2/metodyanalzyvhodnostimericichsystemu
- [5] DAIMLERCHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. *Analýza systémů měření (MSA) - 4.vydání*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02326-5.
- [6] NĚMEČEK, P. *Vhodnost kontrolních procesů (VDA 5) - 2.vydání*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02307-4.
- [7] JAROŠOVÁ, E. *Způsobilost systému měření podle normy ČSN ISO 22514-7*. [cit. 21.5.2017] [online]. 2007. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/Zpusobilost_systemu_mereni_6_2014.pdf
- [8] NETOLICKÝ, P., TŮMOVÁ, O. *Použitelnost analýzy systémů měření*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7043-484-8.
- [9] NETOLICKÝ, P. *Hodnocení předpokladů pro použití analýzy systémů měření*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-368-X.
- [10] PLURA, J. *Plánování jakosti I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 80-722-6543-1.
- [11] PLURA, J. *Plánování jakosti II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2588-5.
- [12] FABIAN, F. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01897-1.
- [13] ČSN ISO 5725-1. *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [14] BISSELL, D. *Statistical methods for SPC and TQM*. 1.vyd. vyd. 1994. ISBN 0-412-39440-5.
- [15] MONTGOMERY, D. *Statistical quality control. A modern introduction*. 6.vyd vyd. 2009. ISBN 978-0470-23397-9.

- [16] RICHTER, J. *Zabezpečování kvality dodávek: výběr dodavatelů, dohoda o zabezpečení kvality, uvolnění výrobního procesu a produktu, kvalitativní výkon v sériové výrobě, deklarace obsažených látek*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2005. ISBN 80-02-01746-3.
- [17] KLAPUT, P. *Současné přístupy k analýzám systému měření*. Mezinárodn. Zlín: UTB ve Zlíně, 2010. ISBN 978-80-731-8922-8.
- [18] MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Kompendium statistického zpracování dat: Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů*. 3. vyd. Praha: V nakl. Karolinum 1, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [19] PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti: příručka*. Praha: Computer Press, 2001. ISBN 80-7226-543-1.
- [20] DIETRICH, E. VDA 5 versus MSA 4: Q-DAS. [cit. 20.3.2017] [online]. 2012. Dostupné z: <http://www.q-das.de/en/current/piq-journal-32010/vda-5-versus-msa-4/>

Přílohy

Příloha A – Hodnoty související s rozdělením průměrného rozpětí

Příloha B – Postup pro hodnocení vhodnosti kontrolních procesů

Příloha C – Diagram příčin a následků variability systému měření

Příloha D – Důležité vlivy na nejistotu výsledku měření

Příloha A: Hodnoty související s rozdělením průměrného rozpětí (zdroj [5])

Hodnoty související s rozdělením průměrného rozpětí

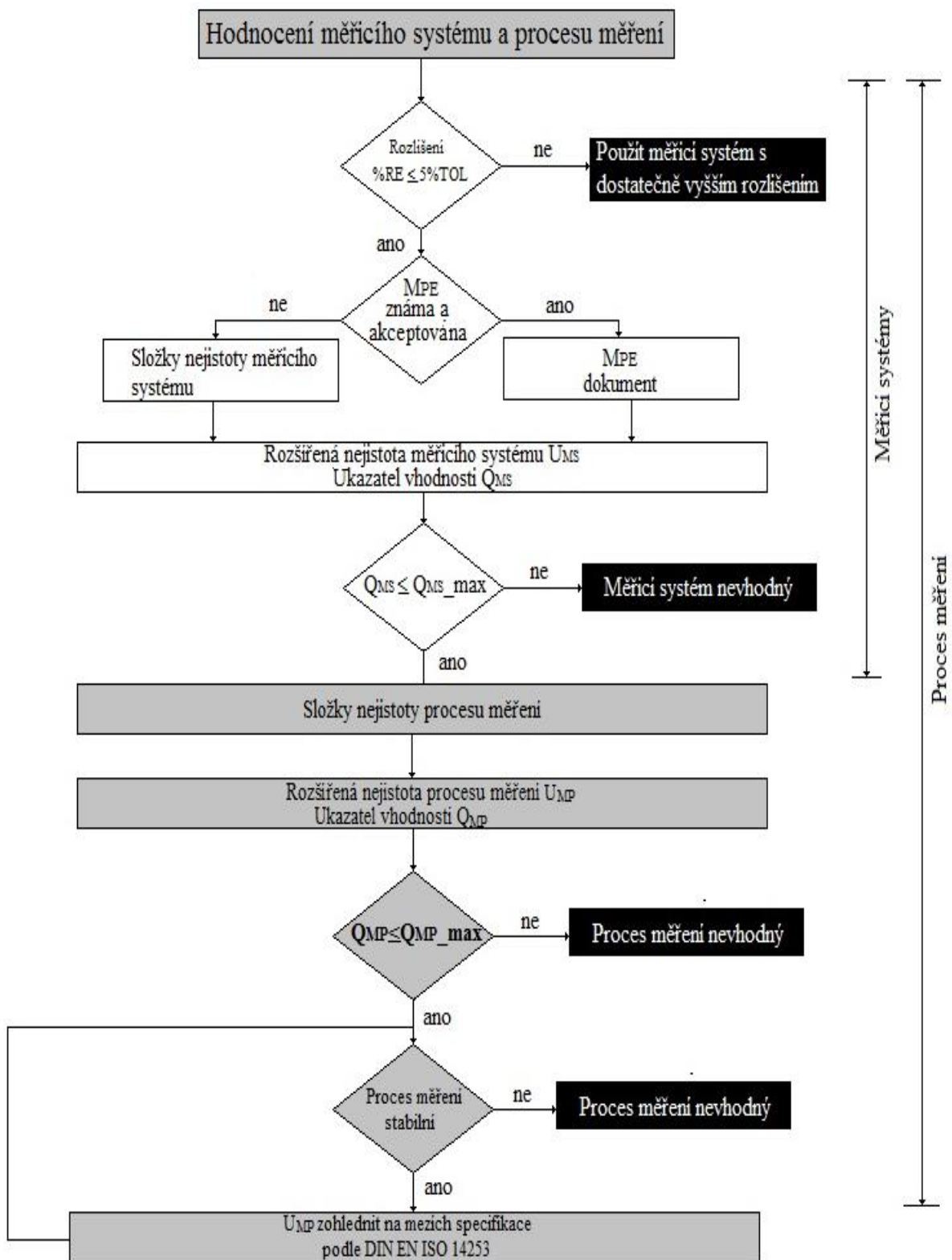
Počet podskupin (g)		Rozsah podskupiny (m)																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1.0	1.41421	2.0	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.8	11.3	11.9	12.4	12.9	13.4		
1.9	1.7931	3.8	5.7	7.5	9.2	10.8	12.3	13.8	15.1	16.5	17.8	19.0	20.2	21.3	22.4	23.5	24.5	25.5	26.5		
2.8	1.80538	5.7	8.4	11.1	13.6	16.0	18.3	20.5	22.6	24.6	26.5	28.4	30.1	31.9	33.5	35.1	36.7	38.2	39.7		
3.7	1.76858	7.5	11.2	14.7	18.1	21.3	24.4	27.3	30.1	32.7	35.3	37.7	40.1	42.4	44.6	46.7	48.8	50.8	52.8		
4.6	1.74989	11.2	16.7	22.0	28.0	34.8	41.4	48.8	56.1	63.2	70.3	77.2	84.1	91.0	97.9	104.9	111.7	118.5	125.2		
5.5	1.73857	16.7	24.0	32.0	40.8	49.6	58.4	67.2	76.0	84.8	93.6	102.4	111.2	120.0	128.8	137.6	146.4	155.2	164.0		
6.4	1.73099	22.0	31.0	40.8	50.6	60.4	70.2	80.0	89.8	99.6	109.4	119.2	129.0	138.8	148.6	158.4	168.2	178.0	187.8		
7.3	1.72555	28.0	38.8	49.6	60.4	71.2	82.0	92.8	103.6	114.4	125.2	136.0	146.8	157.6	168.4	179.2	190.0	200.8	211.6		
8.2	1.72147	34.0	46.8	59.6	72.4	85.2	98.0	110.8	123.6	136.4	149.2	162.0	174.8	187.6	200.4	213.2	226.0	238.8	251.6		
9.1	1.71828	40.0	54.8	69.6	84.4	99.2	114.0	128.8	143.6	158.4	173.2	188.0	202.8	217.6	232.4	247.2	262.0	276.8	291.6		
10	1.71573	46.0	62.8	79.6	96.4	113.2	130.0	146.8	163.6	180.4	197.2	214.0	230.8	247.6	264.4	281.2	298.0	314.8	331.6		
11	1.71363	52.0	70.8	90.6	111.4	132.2	153.0	173.8	194.6	215.4	236.2	257.0	277.8	298.6	319.4	340.2	361.0	381.8	402.6		
12	1.71189	58.0	78.8	101.6	125.4	149.2	173.0	196.8	220.6	244.4	268.2	292.0	315.8	339.6	363.4	387.2	411.0	434.8	458.6		
13	1.71041	64.0	86.8	111.6	137.4	163.2	189.0	214.8	240.6	266.4	292.2	318.0	343.8	369.6	395.4	421.2	447.0	472.8	498.6		
14	1.70914	70.0	94.8	122.4	149.2	176.0	202.8	229.6	256.4	283.2	310.0	336.8	363.6	390.4	417.2	444.0	470.8	497.6	524.4		
15	1.70804	76.0	102.8	132.0	160.8	189.6	218.4	247.2	276.0	304.8	333.6	362.4	391.2	420.0	448.8	477.6	506.4	535.2	564.0		
16	1.70708	82.0	110.8	142.4	173.2	204.0	234.8	265.6	296.4	327.2	358.0	388.8	419.6	450.4	481.2	512.0	542.8	573.6	604.4		
17	1.70623	88.0	119.2	152.8	185.6	217.2	248.0	278.8	309.6	340.4	371.2	402.0	432.8	463.6	494.4	525.2	556.0	586.8	617.6		
18	1.70547	94.0	128.8	163.2	198.0	230.4	261.2	292.0	322.8	353.6	384.4	415.2	446.0	476.8	507.6	538.4	569.2	600.0	630.8		
19	1.70480	100.0	139.6	176.0	210.4	244.8	279.2	313.6	348.0	382.4	416.8	451.2	485.6	520.0	554.4	588.8	623.2	657.6	692.0		
20	1.70419	106.0	151.6	192.0	230.4	268.8	307.2	345.6	384.0	422.4	460.8	499.2	537.6	576.0	614.4	652.8	691.2	729.6	768.0		
d ₁	1.12838	1.69257	2.05875	2.32593	2.53441	2.70436	2.8472	2.97003	3.07751	3.17287	3.25846	3.33598	3.40676	3.47193	3.53198	3.58788	3.64066	3.68996	3.735		
cd	0.876	1.815	2.7378	3.623	4.4658	5.2673	6.0305	6.7582	7.4539	8.1207	8.7602	9.3751	9.9679	10.5396	11.0913	11.6259	12.144	12.6468	13.1362		

Vstupy do tabulky: 1. řádek v každé buňce je stupeň volnosti (v) a 2. řádek v každé buňce je d_2 ; d_2 je nekonečná hodnota d_2 ; další hodnoty (v) lze zjistit z konstantního rozdílu (cd).

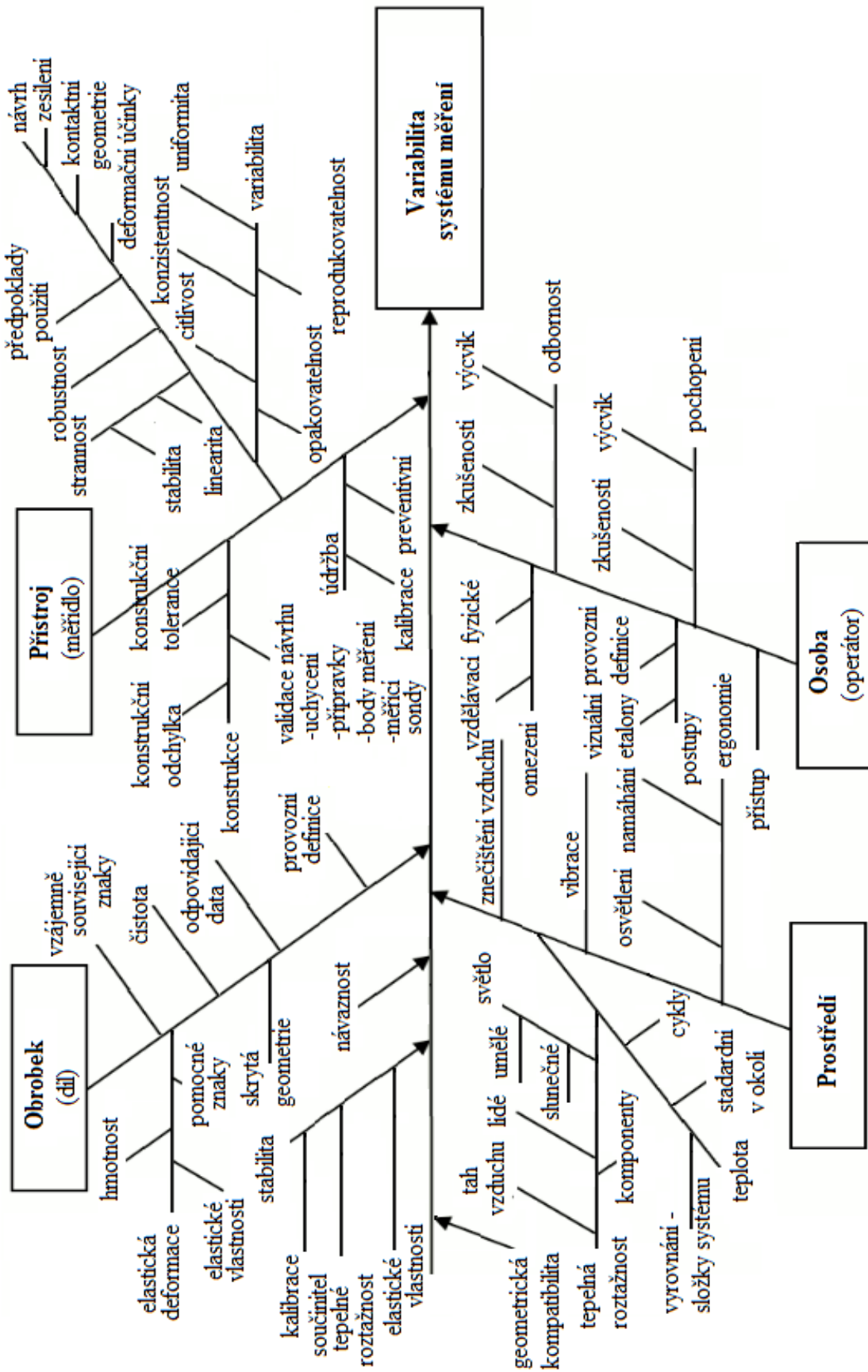
Poznámka: Symbolika použitá v této tabulce odpovídá symbolice použitým v publikaci Achesona *Quality Control and Industrial Statistics* (Řízení kvality a průmyslová statistika), 5. vydání, McGraw-Hill, 1986.

$v = (\bar{R} / d_2^*)^2 / \sigma^2$ má rozdělení blízké rozdělení χ^2 se stupni volnosti (v), kde \bar{R} je průměrné rozpětí z podskupin (g) o velikosti (m).

Příloha B: Postup pro hodnocení vhodnosti kontrolních procesů (zdroj [6])



Příloha C: Diagram příčin a následků variability systému měření (zdroj [5])



Příloha D: Důležité vlivy na nejistotu výsledku měření (zdroj [6])

