

OBSAH

Krátký přehled čtvrtého vydání MSA	iv
Obsah	v
Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	viii
KAPITOLA I Všeobecné směrnice pro systémy měření	1
Oddíl A Úvod, účel a terminologie	3
Úvod	3
Účel.....	4
Terminologie.....	4
Oddíl B Proces měření	13
Systémy měření	13
Důsledky variability systému měření	18
Oddíl C Strategie a plánování měření	25
Oddíl D Rozvoj zdroje měření	29
Proces volby výrobce měřidla.....	31
Oddíl E Problematika měření.....	41
Oddíl F Nejistota měření.....	63
Oddíl G Analýza problémů měření.....	65
KAPITOLA II Všeobecné koncepte pro posuzování systémů měření	67
Oddíl A Filozofie	69
Oddíl B Volba/vývoj zkušebních postupů	71
Oddíl C Příprava pro studii systému měření	73
Oddíl D Analýza výsledků.....	77
KAPITOLA III Doporučená praktická řešení pro replikovatelné systémy měření.....	81
Oddíl A Vzorové zkušební postupy	83
Oddíl B Směrnice ke studii systému měření proměnných	85
Směrnice pro určování stability	85
Směrnice pro určování strannosti – Nezávislá výběrová metoda	87
Směrnice pro určování strannosti – Metoda regulačních diagramů.....	92
Směrnice pro určování linearity.....	96
Směrnice pro určování opakovatelnosti a reprodukovatelnosti	101
Metoda založená na rozpětí	102
Metoda založená na průměru a rozpětí.....	103
Analýza rozptylu – Metoda ANOVA	123
Oddíl C Studie systémů měření metodou srovnáváním	131
Metody analýzy rizika	131
Postup detekce signálu.....	143
Analytická metoda	145
KAPITOLA IV Koncepte a praktická řešení jiných měření	153
Oddíl A Praktická řešení pro nereplikovatelné systémy měření	153
Systémy s destruktivním měřením.....	153
Systémy, u nichž se díl při použití/zkoušce mění	153
Oddíl B Studie stability	155
Oddíl C Studie variability	161
Oddíl D Pochopení vlivu nadměrné variability uvnitř dílu.....	167
Oddíl E Metoda založená na průměru a rozpětí – Doplňkový postup	169
Oddíl F Křivka výkonnosti měřidla	177
Oddíl G Snižování variability použitím násobných odečtů	183
Oddíl H Metoda stanovení sdružené směrodatné odchylky pro <i>GRR</i>	185
PŘÍLOHY	193

Příloha A	195
Analýza koncepcí variability.....	195
Příloha B	199
Dopad <i>GRR</i> na ukazatel způsobilosti <i>C_p</i>	199
Vzorce	199
Analýza	199
Grafická analýza	201
Příloha C	203
Příloha D	205
Studie opakovatelnosti měřidla	205
Příloha E	207
Alternativní metoda výpočtu <i>PV</i> pomocí korekce chyby.....	207
Příloha F	209
Model chyby P.I.S.M.O.E.A	209
Výkladový slovník	213
Bibliografie	219
Vzorové formuláře	223
Rejstřík	227

Seznam tabulek

Tabulka I-B 1: Filozofie řízení a sledovaný zájem	18
Tabulka II-D 1: Kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla (<i>GRR</i>)	78
Tabulka III-B 1: Data ze studie strannosti	90
Tabulka III-B 2: Studie strannosti – Analýza studie strannosti	92
Tabulka III-B 3: Studie strannosti – Analýza studie stability v případě strannosti	95
Tabulka III-B 4: Data ze studie linearity	99
Tabulka III-B 5: Studie linearity – Dílčí výsledek	99
Tabulka III-B 6: Studie měřidla (metoda založená na rozpětí)	103
Tabulka III-B 6a: Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	105
Tabulka III-B 7: Tabulka ANOVA	127
Tabulka III-B 8: Analýza ANOVA – Procentní hodnota variability a příspěvku	127
Tabulka III-B 9: Porovnání metody ANOVA s metodou založenou na průměru a rozpětí	129
Tabulka III-B 10: Protokol <i>GRR</i> na základě metody ANOVA	129
Tabulka III-C 1: Soubor dat pro studii metodou srovnáváním	134
Tabulka III-C 2: Výsledky studie metody křížových tabulek	136
Tabulka III-C 3: Souhrn ukazatelů <i>kappa</i>	137
Tabulka III-C 4: Porovnání operátorů s referenčními hodnotami	138
Tabulka III-C 5: Tabulka efektivnosti studie	139
Tabulka III-C 6: Vzorová kritéria efektivnosti – Směrnice	140
Tabulka III-C 7: Shrnutí efektivnosti studie	140
Tabulka III-C 8: Tabulka III-C 1 seříděná podle referenční hodnoty	143
Tabulka IV-A 1: Metody založené na typu systému měření	154
Tabulka IV-H 1: Soubor dat z analýzy založené na sdružené směrodatné odchylce	189
Tabulka A 1: Odhad složek rozptylu	195
Tabulka A 2: Rozptýlení 6 Sigma	196
Tabulka A 3: Analýza rozptylu (ANOVA)	197
Tabulka A 4: Výsledky metody ANOVA sestavené do tabulky	198
Tabulka A 5: Výsledky metody ANOVA sestavené do tabulky	198
Tabulka B 1: Porovnání pozorované a skutečné hodnoty C_p	201
Tabulka C 1: Tabulka d_2^*	203
Tabulka F 1: Příklady modelu P.I.S.M.O.E.A.	211

Seznam obrázků

Obrázek I-A 1: Příklad řetězce návaznosti při měření délky	10
Obrázek I-B 1: Diagram příčin a následků variability systému měření	17
Obrázek I-E 1: Vztahy mezi různými etalony	44
Obrázek I-E 2: Práh citlivosti	46
Obrázek I-E 3: Dopad počtu odlišných kategorií (<i>ndc</i>) rozdělení proces na regulační a analytické činnosti	47
Obrázek I-E 4: Regulační diagramy procesu	49
Obrázek I-E 5: Charakteristiky variability procesu měření	50
Obrázek I-E 6: Vztahy mezi stranností a opakovatelností	62
Obrázek III-B 1: Analýza regulačního diagramu pro určení stability	86
Obrázek III-B 2: Studie strannosti – Histogram studie strannosti	91
Obrázek III-B 3: Studie linearity – Grafická analýza	100
Obrázek III-B 4: Diagram pro průměr – „Sdružený“	107
Obrázek III-B 5: Diagram pro průměr – „Rozložený“	107
Obrázek III-B 6: Diagram pro rozpětí – „Sdružený“	108
Obrázek III-B 7: Diagram pro rozpětí – „Rozložený“	109
Obrázek III-B 8: Průběh hodnot podle dílu	109
Obrázek III-B 9: Bodový diagram	110
Obrázek III-B 10: Diagram s „vousy“ (Whisker diagram) (kvartilový diagram)	111
Obrázek III-B 11: Diagramy chyb	112
Obrázek III-B 12: Normalizovaný histogram	113
Obrázek III-B 13: Graf X-Y pro průměry podle velikosti	114
Obrázek III-B 14: Porovnání grafů X-Y	115
Obrázek III-B 15: Vyplněný formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	118
Obrázek III-B 16: Protokol o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	119
Obrázek III-B 17: Regulační diagram pro interakce	125
Obrázek III-B 18: Diagram reziduí	126
Obrázek III-C 1: Příklad procesu s $Pp = Ppk = 0,50$	132
Obrázek III-C 2: „Šedé“ oblasti související se systémem měření	132
Obrázek III-C 3: Příklad procesu s $Pp = Ppk = 1,33$	141
Obrázek III-C 4: Atributivní křivka výkonnosti měřidla zakreslená na pravděpodobnostním papíru	149
Obrázek III-C 5: Křivka výkonnosti měřidla při metodě srovnáváním	150
Obrázek IV-E 1: Hodnocení měření pomocí regulačního diagramu $(\bar{X} \& R)$ -1	172
Obrázek IV-E 2: Hodnocení měření pomocí regulačního diagramu $(\bar{X} \& R)$ -2	173
Obrázek IV-E 3: Alternativní výpočty pro hodnocení procesu měření (část 1 ze 2)	174
Obrázek IV-E 4: Alternativní výpočty pro hodnocení procesu měření (část 2 ze 2)	175
Obrázek IV-F 1: Křivka výkonnosti měřidla bez chyby	180
Obrázek IV-F 2: Křivka výkonnosti měřidla – Příklad	181
Obrázek IV-F 3: Křivka výkonnosti měřidla zakreslená na pravděpodobnostním papíru ..	182
Obrázek IV-H 1: Grafická analýza studie založené na sdružené směrodatné odchylce ...	188
Obrázek IV-H 2: Bodový diagram hodnot <i>h</i>	191
Obrázek IV-H 3: Bodový diagram hodnot <i>k</i>	192
Obrázek B 1: Pozorované versus skutečné hodnoty <i>C_p</i> (založeno na procesu)	201
Obrázek B 2: Pozorované versus skutečné hodnoty <i>C_p</i> (založeno na toleranci)	202

KAPITOLA I

Všeobecné směrnice pro systémy měření

Oddíl A

Úvod, účel a terminologie

Úvod

Naměřená data se používají mnohem častěji a mnoha způsoby než kdykoli dříve. Například rozhodnutí, zda seřadit výrobní proces, je nyní obecně založeno na naměřených datech. Tato data nebo některé statistiky z nich vypočtené se porovnávají se statistickými regulačními mezemi daného procesu; jestliže toto porovnání ukáže, že proces není statisticky zvládnutý, potom se provede nějaký druh seřízení. Jinak je dovoleno, aby proces probíhal bez seřízení. Dalším použitím naměřených dat je stanovení, zda mezi dvěma nebo více proměnnými existuje nějaký významný vztah. Například může existovat podezření, že kritický rozměr lisovaného plastového dílu závisí na teplotě vstupního materiálu. Tento možný vztah by se mohl zkoumat pomocí statistického postupu, který se nazývá regresní analýza, kdy se porovnává měření kritického rozměru s měřeními teploty vstupního materiálu.

Studie, které zkoumají takové vztahy, jsou příkladem toho, co Dr. W. E. Deming nazval *analytické studie*. Obecně platí, že analytická studie je studie, která rozšiřují poznatky o systému příčin, které ovlivňují proces. Analytické studie patří k nejdůležitějším aplikacím naměřených data, neboť v konečném důsledku vedou k lepšímu pochopení procesů.

Přínos z využívání postupu založeného na datech je velkou měrou podmíněn kvalitou použitých naměřených dat. Je-li kvalita dat nízká, bude pravděpodobně přínos z daného postupu malý. Obdobně platí, je-li kvalita dat vysoká, bude pravděpodobně vysoký i přínos.

Aby se zajistilo, že přínos získaný z použití naměřených dat bude dostatečně velký a mohly se tak ospravedlnit náklady na jeho dosažení, je třeba zaměřit pozornost na kvalitu těchto dat.

Kvalita naměřených dat

Kvalita naměřených dat je definována statistickými vlastnostmi násobných měření získaných ze systému měření, který pracuje za stabilních podmínek. Předpokládejme například, že je systém měření, který pracuje za stabilních podmínek, využit k získání několika měření určité charakteristiky. Jsou-li všechna měření seskupena „těsně“ kolem skutečné hodnoty této charakteristiky, potom lze říci, že kvalita dat je „vysoká“. Obdobně platí, že pokud je některé měření nebo všechna měření „výrazně vzdáleno“ od skutečné hodnoty, potom lze říci, že kvalita dat je „nízká“.

Statistickými charakteristikami, které se nejčastěji používají pro popis kvality dat, jsou *strannost* a *rozptyl* systému měření. Charakteristika nazývaná strannost je dána polohou dat vůči referenční (skutečné) hodnotě, a charakteristika nazývaná rozptyl popisuje rozptýlení dat.

Jedním z nejběžnějších důvodů vzniku dat nízké kvality je jejich příliš velká variabilita. Velký podíl na této variabilitě v souboru měření může mít

interakce mezi systémem měření a jeho prostředím. Například systém měření používaný k měření objemu kapaliny v nádrži může být citlivý na teplotu okolního prostředí, ve kterém se používá. V tomto případě může být variabilita těchto dat způsobena buď změnami objemu, nebo změnami teploty okolního prostředí. To má za následek obtížnější interpretaci dat a tedy menší vhodnost systému měření.

Způsobuje-li interakce příliš velkou variabilitu, potom může být kvalita dat tak nízká, že nejsou užitečná. Například systém měření s velkou variabilitou nemusí být vhodný pro analyzování výrobního procesu, protože variabilita systému měření může zakrývat variabilitu výrobního procesu. Velká část práce, spojené s řízením systému měření, je zaměřena na monitorování a řízení variability. Mezi jiným to znamená, že je třeba klást důraz na získání poznatků o tom, jak systém měření vzájemně interaguje se svým prostředím, aby tak byla generována pouze data přijatelné kvality.

Účel



Účelem tohoto dokumentu je poskytnout směrnice pro posuzování kvality systému měření. Ačkoliv jsou tyto směrnice dosti obecné, aby mohly být použity pro libovolný systém měření, jsou určeny především pro systémy měření používané v oblasti průmyslu. Tento dokument nemá sloužit jako přehled analýz pro všechny systémy měření. Hlavně je zaměřen na systémy měření, u nichž lze odečít na každém dílu opakovat. Řada analýz je vhodná pro jiné typy systémů měření a v příručce jsou uvedeny odkazy a doporučení. V případě složitějších nebo neobvyklých situací, které zde nejsou popsány, se doporučuje vyhledat příslušné zdroje. Metody analýz systémů měření, které nejsou popsány v této příručce, vyžadují souhlas zákazníka.

Terminologie

Diskuse o analýze systému měření může být bez zavedení souboru termínů, které se týkají obecných statistických vlastností a souvisejících prvků systému měření, matoucí a nesprávná. Tento oddíl uvádí přehled těch termínů, které se používají v této příručce.

V tomto dokumentu se používají tyto termíny:

- **Měření** (Measurement) je definováno jako „přiřazování čísel [nebo hodnot] hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti“. Tuto definici poprvé vyjádřil C. Eisenhart (1963). Proces přiřazování čísel je definován jako proces měření, přičemž přiřazená hodnota je definována jako hodnota měření.

- **Měřidlo** (Gage) je libovolné zařízení používané k měření; často se používá ke specifickému označení zařízení používaných v dílně; zahrnuje zařízení s dobrou/zmetkovou stranou (viz také bibliografii: ASTM E456-96).
- **Systém měření** (Measurement System) 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.

Z těchto definic vyplývá, že proces měření může být považován za výrobní proces, který na svém výstupu dává čísla (data). Posuzování systému měření tímto způsobem je užitečné, protože umožňuje uplatnit všechny koncepce, filozofie a nástroje, které již prokázaly svoji užitečnost v oblasti statistické regulace procesu.

Přehled termínů¹

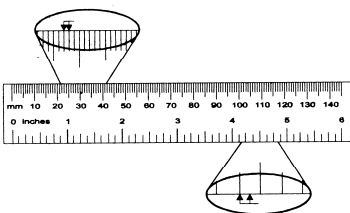
Etalon (Standard)

- Přijatý základ pro porovnávání
- Kritéria přijatelnosti
- Známá hodnota v rozsahu stanovených mezí nejistoty, přijatá jako pravá hodnota
- Referenční hodnota

Etalon by měl být provozní definicí: definicí, která zajistí stejné výsledky, když ji aplikuje dodavatel nebo zákazník, se stejným významem včera, dnes i zítra.

Základní zařízení

- **Práh citlivosti** (Discrimination), **čitelnost** (Readability), **rozlišitelnost** (Resolution)
 - ✓ Jinak také: nejmenší odečitatelná jednotka, rozlišitelnost měření, mez stupnice nebo detekční mez
 - ✓ Inherentní vlastnost daná návrhem
 - ✓ Nejmenší jednotka stupnice měření nebo výstup přístroje
 - ✓ Vždy se uvádí jako jednotka měření (míry)
 - ✓ Čistě praktická zásada: 10 ku 1
- **Efektivní rozlišitelnost** (Effective resolution)
 - ✓ Citlivost systému měření k variabilitě procesu při konkrétní aplikaci



¹ Terminologie, definice a diskuse – viz kapitolu I, oddíl E.

- ✓ Nejmenší vstup, který způsobí použitelný výstupní signál měření
- ✓ Vždy se uvádí jako jednotka měření (míry)

- **Referenční hodnota** (Reference value)

- ✓ Přijatá hodnota artefaktu
- ✓ Vyžaduje provozní definici
- ✓ Používána jako zástupce pravé hodnoty

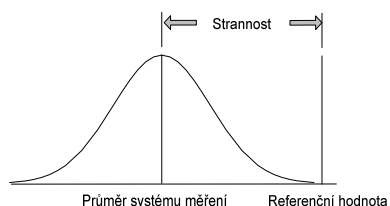
- **Pravá hodnota** (True value)

- ✓ Skutečná hodnota artefaktu
- ✓ Neznámá a nepoznatelná

Variabilita polohy

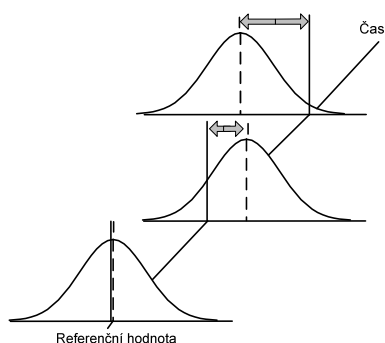
- **Přesnost** (Accuracy)

- ✓ „Těsnost“ vzhledem k pravé hodnotě nebo přijaté referenční hodnotě
- ✓ Dokument ASTM obsahuje účinek chyb polohy a šíře



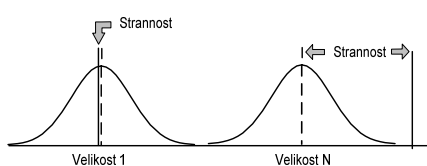
- **Strannost** (Bias)

- ✓ Rozdíl mezi pozorovaným průměrem měření a referenční hodnotou
- ✓ Složka systematické chyby systému měření



- **Stabilita** (Stability)

- ✓ Změna strannosti v čase
- ✓ Stabilizovaný proces měření ve statisticky zvládnutém stavu vzhledem k poloze
- ✓ Jinak řečeno: drift



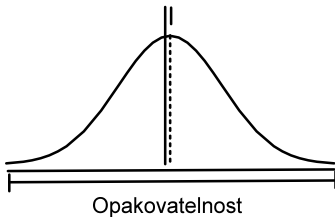
- **Linearita** (Linearity)

- ✓ Změna strannosti v běžném provozním rozsahu
- ✓ Korelace násobných a nezávislých chyb strannosti v provozním rozsahu
- ✓ Složka systematické chyby systému měření

Variabilita šíře

- **Shodnost² (Precision)**

- ✓ „Těsnost“ opakovaných odečtů jednoho ke druhému
- ✓ Složka náhodné chyby systému měření

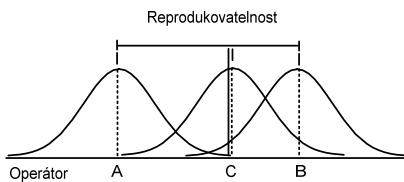


- **Opakovatelnost (Repeatability)**

- ✓ Variabilita měření získaných jedním měřicím přístrojem, pokud jej operátor použije několikrát při měření identické charakteristiky u téhož dílu
- ✓ Variabilita v po sobě jdoucích (krátkodobých) zkouškách za konstantních a definovaných podmínek měření
- ✓ Obecně označovaná jako E.V. – Variabilita zařízení
- ✓ Způsobilost nebo potenciál přístroje (měřidla)
- ✓ Variabilita uvnitř systému

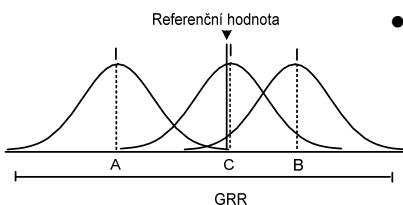
- **Reprodukovatelnost (Reproducibility)**

- ✓ Variabilita průměru měření provedených různými operátory při použití stejného měřidla při měření charakteristiky u jednoho dílu
- ✓ Při kvalifikaci produktu a procesu může být chyba vyvolána operátorem, prostředím (časem) nebo metodou
- ✓ Obecně označovaná jako AV – Variabilita operátora
- ✓ Variabilita mezi systémy (podmínkami)
- ✓ Dokument ASTM E456-96 obsahuje účinky opakovatelnosti, laboratoře, prostředí i účinky operátora



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

- ✓ Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla: kombinovaný odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření
- ✓ Způsobilost systému měření; v závislosti na použité metodě může i nemusí zahrnovat účinky času



- **Způsobilost systému měření (Measurement System Capability)**

- ✓ Krátkodobý odhad variability systému měření (např. „GRR“ včetně grafického znázornění)

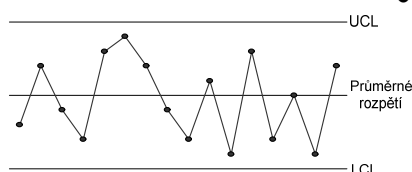
² V dokumentech ASTM se nevyskytuje nic jako *shodnost* systému měření; tj. *shodnost* nelze vyjádřit jedním číslem.

- **Funkčnost systému měření** (Measurement System Performance)

- ✓ Dlouhodobý odhad variability systému měření (např. dlouhodobá metoda regulačního diagramu)

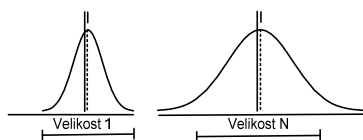
- **Citlivost** (Sensitivity)

- ✓ Nejmenší vstup, který způsobí zjistitelný výstupní signál
- ✓ Schopnost reakce systému měření na změny měřeného prvku
- ✓ Je dána provedením měřidla (práh citlivosti), inherentní kvalitou (výrobce originálního zařízení), provozní údržbou a provozním stavem přístroje a etalonu
- ✓ Vždy se uvádí jako jednotka měření (míry)



- **Konzistence** (Consistency)

- ✓ Stupeň změny opakovatelnosti v čase
- ✓ Konzistentní proces měření je ve statisticky zvládnutém stavu vzhledem k šíři (variabilita)



- **Uniformita** (Uniformity)

- ✓ Změna opakovatelnosti v běžném provozním rozsahu
- ✓ Homogenita opakovatelnosti

Variabilita systému

Variabilitu systému měření lze charakterizovat jako:

- **Způsobilost** (Capability)

- ✓ Variabilita v odečtech hodnot získaných v krátkém časovém úseku

- **Funkčnost** (Performance)

- ✓ Variabilita v odečtech hodnot získaných během dlouhého časového úseku
- ✓ Založena na celkové variabilitě

- **Nejistota** (Uncertainty)

- ✓ Odhadnuté rozmezí hodnot okolo měřené hodnoty, o němž se tvrdí, že uvnitř něho leží pravá hodnota

úseku

Systém měření musí být stabilní a konzistentní.

Všechny charakteristiky celkové variability systému měření předpokládají, že je systém stabilní a konzistentní. Například složky variability mohou zahrnovat jakoukoli kombinaci prvků znázorněných na obrázku I-B 1.