

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Ing. Vítězslav Svoboda

**KVANTITATIVNÍ A KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ JAKOSTI
MĚŘICÍCH PROSTŘEDKŮ**

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE EVALUATION OF MEASURING
INSTRUMENTS QUALITY

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Metrologie a zkušebnictví

Školitel: prof. Ing. Josef VAČKÁŘ, CSc. (VUT FSI Brno)

Oponenti: prof. Ing. Jiří Stodola, DrSc. (VA Brno)
doc. Ing. Vasilij Teš, CSc. (VUT FSI Brno)
Ing. Rostislav Suchánek, Ph.D. (ITI TŮV pobočka Brno)

Datum obhajoby: 18. 12. 2003

KLÍČOVÁ SLOVA

hodnocení měřidel, jakost měřidel, přesnost, strannost, opakovatelnost, stabilita, reprodukovatelnost

KEY WORDS

Key words – evaluation of measuring instruments, measuring instruments quality, accuracy, bias, repeatability, stability and reproducibility

Disertační práce je uložena na oddělení vědy a výzkumu fakulty strojního inženýrství v Brně, Technická 2, 616 69 Brno.

OBSAH

OBSAH	3
1 ÚVOD.....	5
2 SOUČASNÝ STAV	5
3 HODNOCENÍ MĚŘICÍCH PROSTŘEDKŮ	7
3.1 Analýza vlivů	8
3.1.1 Strannost	8
3.1.2 Opakovatelnost	8
3.1.3 Reprodukovatelnost	9
3.1.4 Stabilita (stálost)	9
3.1.5 Linearita	9
3.2 Hodnocení pomocí c_g , c_{gk}	9
3.3 Hodnocení pomocí R&R	12
3.3.1 Stanovení R&R testu	13
3.4 Hodnocení srovnáním	16
4 ZÁVĚR.....	17
5 POUŽITÁ LITERATURA	17
6 ŽIVOTOPIS.....	19
7 ABSTRACT	20

1 ÚVOD

Na základě zavedených norem ČSN ISO řady 9000, ČSN EN řady 45 000, zákona o metrologii 505/1990 Sb., (změny: 119/2000 Sb., 13/2002 Sb., 137/2002 Sb., 226/2003 Sb.) a zákona o technických požadavcích na výrobky č. 22/1997 Sb., (změny: 71/2000 Sb., 102/2002 Sb., 205/2002 Sb., 226/2003 Sb.) nestačí pouze vyrábět jakostní výrobky, ale navíc musí výrobci zabezpečovat a dokladovat takový systém řízení jakosti podniku, který s vysokou pravděpodobností nejakostní výrobu vylučuje. Významným faktorem ovlivňující jakost výrobku je celkový sortiment a stav použitých měřicích prostředků.

Cílem této práce je vytvořit model, který by jednoznačně stanovil zda měřicí prostředek vyhovuje nebo nevyhovuje danému použití.

2 SOUČASNÝ STAV

Jednotlivé charakteristiky jakosti měřidel vyplývají ze souhrnu znaků ovlivňujících jeho schopnost uspokojovat stanovené a předpokládané potřeby a dle požadavků na ně kladených. Tyto charakteristiky jsou:

- přesnost měřidla,
- provozní spolehlivost,
- technické a funkční vlastnosti,
- stálost,
- estetické vlastnosti,
- cenové ukazatele,
- jiné charakteristiky a kritéria.

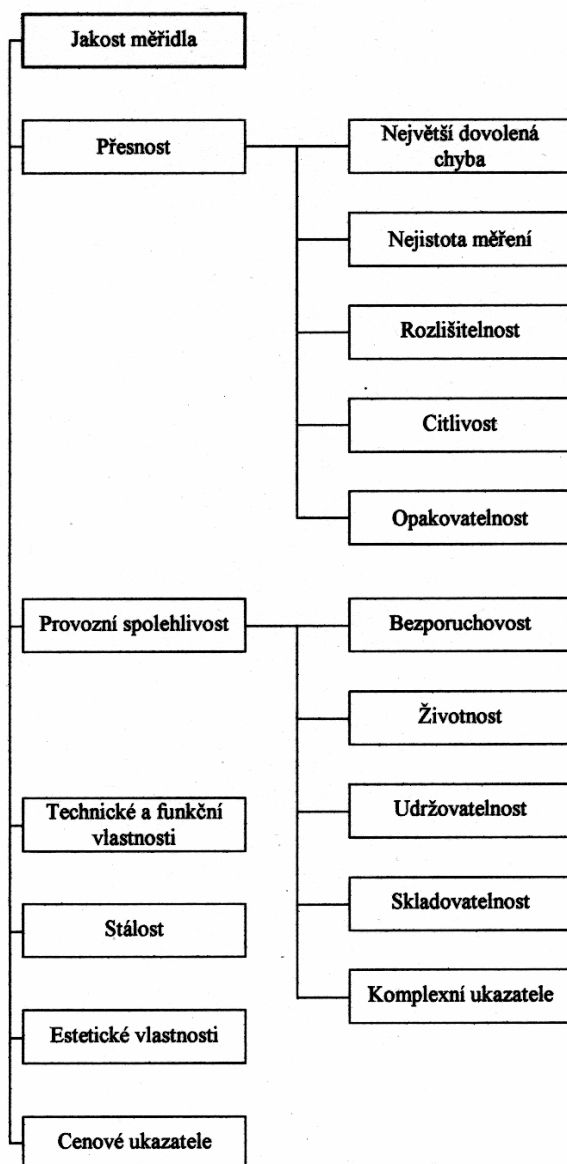
Tyto charakteristiky je možné přímo kvantifikovat nebo jinak hodnotit pomocí dalších ukazatelů.

Lze tvrdit, že největší vliv na jakost měřidla mají ty charakteristiky, které nejsou odvozeny z jiných vlastností, takže jsou jednoduché a lze je posuzovat samostatně, nezávisle na ostatních.

Vlastní jakost měřidla je tvořena souborem charakteristik, které ji tvoří. Ale každý uživatel nemá stejné požadavky na měřidlo a z toho je patrné, že každý uživatel bude mít jiné požadavky na vlastní jakost měřidla.

Každý uživatel očekává od měřidla, jak měřidlo reaguje na změny vstupní veličiny a podle toho do jaké míry vstupní veličina odpovídá její pravé hodnotě, jaká je přesnost měřidla. Dále pak požaduje, aby přesnost měřidla byla vykazována v určitém časovém okamžiku nebo údobí (např. během měření), tj. bude spolehlivé a že po dobu, kdy se dá předpokládat, že přístroje bude užíváno, bude vykonávat

činnosti, ke kterým je určeno, v požadovaných mezích. Toto jsou charakteristiky, které mají největší vliv na jakost měřidla.



Obrázek 2.1 Charakteristiky jakosti měřidel

Přesnost měřidel se kvantifikuje pomocí:

- největší dovolené chyby,
- nejistoty měření,
- rozlišitelnosti,
- citlivosti,
- opakovatelnosti.

Spolehlivost se kvantifikuje pomocí dílčích charakteristik jako jsou:

- bezporuchovost,
- životnost,

- udržovatelnost,
- skladovatelnost,
- komplexní ukazatele (charakterizuje dvě nebo více dílčích vlastností spolehlivosti).

3 HODNOCENÍ MĚŘICÍCH PROSTŘEDKŮ

Pro hodnocení přesnosti měřidel je vhodné použít v zahraničí, převážně pak v automobilovém průmyslu, používané hodnocení měřidel pomocí postupů c_g , c_{gk} a R&R (opakovatelnost a reprodukovatelnost). Jde o postupy, které hodnotí nejenom měřidlo jako takové, ale v případě R&R jde o posouzení celého měřicího systému.

Tyto postupy jsou založeny na sledování měřidel v čase, tzn. sledované měřidlo se kontroluje v daném časovém okamžiku. Pro tento časový okamžik zjistíme statistické charakteristiky naměřených dat a porovnáme je s hodnotami, které získáme v jiných časových okamžicích a ty se mohou vhodně graficky zobrazit. Na základě hodnocení v čase lze stanovit nebo odhadnout další trendy měřidla. Na základě těchto informací jsme potom také schopni reagovat podle skutečného stavu měřidla na to, je-li měřidlo nadále schopno plnit požadavky na něj kladené bez omezení, omezeně nebo zda je měřidlo nevyhovující.

Na základě tohoto principu sledování měřidla v čase jsme schopni taktéž reálně stanovovat a upravovat rekalibrační interval.

Pomocí výše uvedených postupů c_g , c_{gk} a R&R lze kvantifikovat tyto statistické veličiny:

- strannost,
- opakovatelnost,
- reprodukovatelnost,
- stabilitu,
- linearitu.

Nejčastěji se tyto postupy používají pro vyhodnocování strannosti, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

Při vlastním hodnocení měřidla je nutno se zabývat několika problémy:

- má měřidlo dostatečnou rozlišovací schopnost?
- je měřidlo stabilní v čase postačujícím způsobem?
- jsou statistické vlastnosti měřidla konzistentní v očekávaném rozsahu?

Je důležité si uvědomit, že v celém systému měření existuje variabilita a ta nám ovlivňuje vlastní naměřené údaje, které dále mají vliv na rozhodnutí na základě těchto údajů.

3.1 ANALÝZA VLIVŮ

Účelem analýzy je pochopení zdrojů variability, které nám následně umožní kvantifikovat a sdělit omezení měřidla (měřicího systému).

Při vlastním výběru nebo analýze je nutno věnovat pozornost rozlišitelnosti, tedy schopnosti měřidla detekovat a věrohodně znázorňovat změny měřeného znaku, které lze prokazatelně rozlišit. Tyto znaky nejsou v celém procesu vyhodnocovány spojitě (ekonomické, fyzikální omezení), proto jsou seskupovány do kategorií podle znaku. Pokud by měřidlo nemělo dostatečnou rozlišovací schopnost, nemuselo by být vhodné pro zjišťování variability nebo pro kvantifikaci. Pokud by tento stav nastal je nutno použít jiné měřidlo.

3.1.1 Strannost

Strannost je rozdíl mezi přijatou referenční hodnotou a střední hodnotou výsledků zkoušek. Strannost je míra systematické chyby[35].

K tomu, aby jsme byli schopni stanovit strannost měřidla, je nutné získat konvenčně pravou hodnotu znaku. To se obvykle zajišťuje kontrolním etalonem, vyrobeným nebo vybraným z reálných výrobků, který je vyhodnocený pro účel testů.

Pokud je strannost veliká, je nutno prověřit potenciální příčiny:

- chyba kontrolního etalonu,
- velké opotřebení součástí,
- měřidlo není vyrobeno pro daný rozměr,
- nesprávná kalibrace,
- vliv obsluhy měřidla,
- vliv prostředí.

3.1.2 Opakovatelnost

Opakovatelnost předpokládá, že variabilita vlastního systému je konzistentní (systém je zvládnut). Zdrojem neopakovatelnosti bývá obvykle měřidlo a druhým variabilita polohy měřeného objektu v měřidle. Tyto variability jsou reprezentovány rozpětím skupiny opakovaných měření, které nám znázorňují konzistenci. Je-li prokázán neregulovaný stav, je nutno body, které byly identifikovány jako nezvládnuté vyřešit z hlediska příčiny a tuto příčinu je nutno odstranit.

3.1.3 Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost procesu předpokládá, že variabilita mezi operátory je konzistentní. Na reprodukovatelnost lze pohlížet jako na strannost, která je spojena s každým operátorem.

3.1.4 Stabilita (stálost)

Stálost a její znalost nám umožňuje předpovídat chování měřidla v budoucnosti. Je nutné udělat vše potřebné a možné proto, aby měřidlo (systém měření) bylo odolné proti všem podmínkám, které způsobují nestabilitu (teplotní změny, opotřebení, koroze). Ne vždy je možné předcházet všem těmto stavům a není ani rozumné kontrolovat všechny vlivy.

3.1.5 Linearita

Linearitu lze analyzovat na základě výběru kusů v celém rozsahu měřidla. Linearita se zjišťuje na základě porovnání hodnot průměrů měření jednotlivých kusů výběru s jejich konvenčně pravou hodnotou. Pokud je měřidlo nelineární, je několik potenciálních zdrojů příčin:

- měřidlo není zkalibrováno pro celý rozsah měřidla,
- chyba ve vzorových kusech,
- opotřebované měřidlo,
- konstrukční znaky měřidla.

3.2 HODNOCENÍ POMOCÍ c_g , c_{gk}

Tento postup slouží pro hodnocení měřidel, u kterých nedochází k ovlivňování měřidla během měření obsluhou, jde např. o měřicí automaty a absolutní měřidla.

Hodnocení pomocí c_g , c_{gk} posuzuje měřidlo z hlediska strannosti a opakovatelnosti.

Tento postup je založen na opakovaném měření kontrolního etalonu. Kontrolní etalon představuje konvenčně pravou hodnotu, kterou je potřeba stanovit tak, aby přednostně ležela uprostřed měřené hodnoty.

Použitý postup pro hodnocení měřidel předpokládá normální rozdělení náhodné veličiny.

Při hodnocení měřidel pomocí postupu c_g a c_{gk} je nutné dodržet několik předpokladů:

- je doporučeno minimálně 30 opakování měření kontrolního etalonu,
- měření provádí jedna osoba,
- měření je uskutečněno na jednom měřidle,
- v průběhu kontroly měřidla je měření prováděno na základě stejného postupu,

- během měření je nutno zajistit stejné podmínky.

Opakovatelnost je dána vztahem:

$$c_g = \frac{0,2 \times T}{6 \times s_g} \quad (3.1),$$

kde T – je tolerance měřeného výrobku,
 s_g – je výběrová směrodatná odchylka z měření kontrolního etalonu,
 a jsou dány vztahy:

$$T = HMR - DMR \quad (3.2),$$

kde HMR – je horní mezní rozměr měřené součásti,
 DMR – je dolní mezní rozměr měřené součásti,

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} \quad (3.3),$$

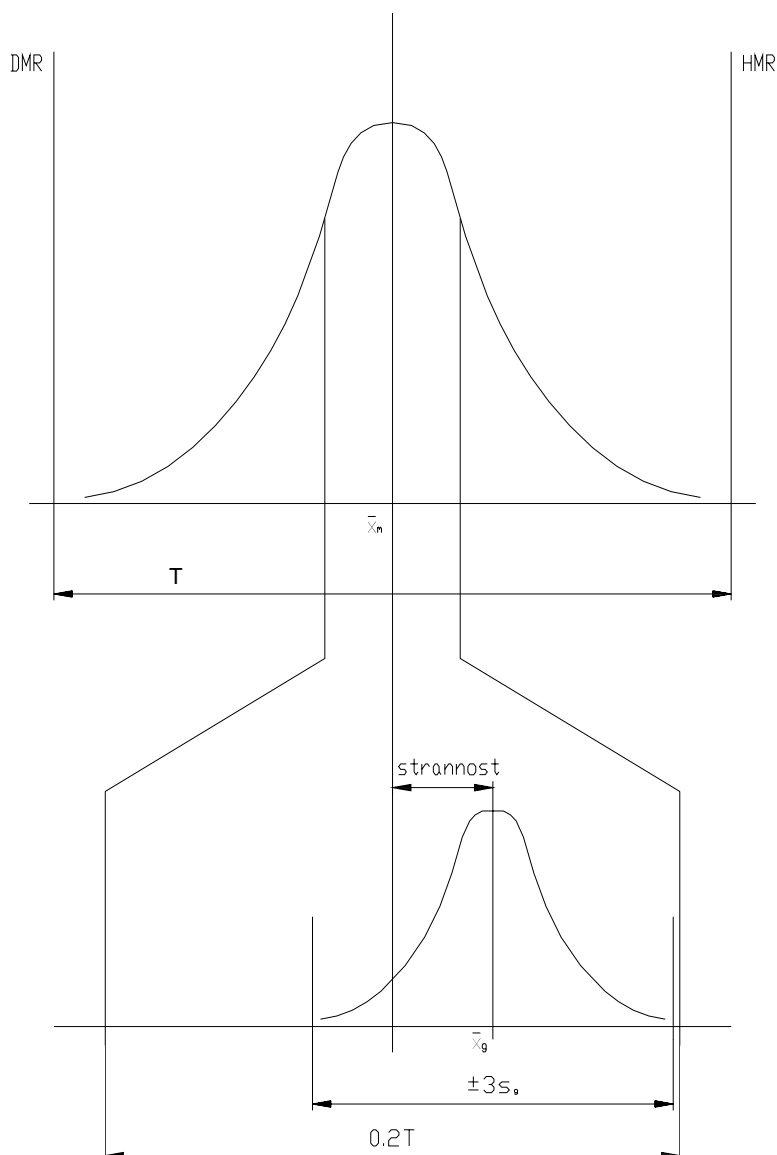
kde n – je počet měření (doporučený min. je 25 opakování),
 x_i – je i -té měření,
 \bar{x}_g – je výběrový průměr kontrolního etalonu a stanoví se dle:

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.4).$$

Strannost je dána vztahem:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \times T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \times s_g} \quad (3.5).$$

Výsledné indexy c_g , c_{gk} nám určují zda výsledek měření kontrolního etalonu leží s pravděpodobností 99.73% ve zvolném pásmu tolerance měřidla. Šířka tolerance měřidla je stanovena dle [17] jako 20% šířky tolerančního pásma.



Obrázek 3.1 Znázornění c_g a c_{gk} vzhledem k toleranci

Na základě výpočtů lze měřidlo zařadit jako způsobilé nebo nezpůsobilé pro účel, ke kterému má sloužit. Tabulka 3.1 zobrazuje mezní hodnoty pro schválení nebo zamítnutí měřidla. Tato tabulka zohledňuje i problematiku malých tolerancí.

Tabulka 3.1 Hraniční hodnoty pro vyhodnocení výsledků postupu c_g, c_{gk}

Tolerance	Hraniční hodnoty
$T \leq 50 \mu\text{m}$	$c_g, c_{gk} \geq 1$
$T > 50 \mu\text{m}$	$c_g, c_{gk} \geq 1,33$

3.3 HODNOCENÍ POMOCÍ R&R

Tento postup slouží pro zjišťování a posouzení celkové variability měřidla.

R&R je určen zejména pro hodnocení v závislosti na opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Na základě výsledku opakovatelnosti a reprodukovatelnosti lze odhadnout, některé příčiny. Je-li opakovatelnost velká vůči reprodukovatelnosti mohou být důvody:

- nutnost provedení údržby,
- úprava měřidla za účelem zvětšení tuhosti,
- nadměrná variabilita v měřeném kusu (zavést orientaci měřeného kusu),
- nedostatečné upnutí (poloha) při měření.

A je-li reprodukovatelnost velká ve srovnání s opakovatelností, mohou to být pak s důvodu:

- nedostatečně proškolení a zacvičení operátoři,
- etalonáž je nejasná.

Pro posouzení schopnosti měřidel lze použít dva postupy:

- dlouhý; používá se posuzování prototypů, zakázkových měřidel apod., před použitím tohoto testu je vhodné prokázání schopnosti měřidla pomocí c_g a c_{gk} , provádí se na 10 výrobcích, 3 osoby a dvě opakování,
- krátký (orientační); pro měřidla, jejichž prototyp byl schválen, provádí se na 5 výrobcích, 2 osoby a 2 opakování.

Před vlastním provedením R&R testu je potřeba provést přípravy, které mají za účel maximální věrohodnost výsledků:

- přístup k hodnocení; např. posouzení zda operátor má vliv na měření (kalibrace, vlastní měření),
- určení počtu kusů, operátorů a opakování; velikost měřeného kusu (váha, rozměr), kritické rozměry (více opakování a více vzorků),
- vybrat osoby z pravidelné obsluhy měřidla, které budou provádět vlastní měření,
- pro vlastní hodnocení jsou vybrány vzorky z provozu a to tak, aby pokrývaly celý provozní rozsah, každý kus použitý pro hodnocení musí být očíslován,
- posuzované měřidlo musí mít postačující rozlišovací schopnost pro odečítání alespoň jedné desetiny očekávané variability,
- v průběhu měření je nutno dodržovat postup měření a měřicí metoda musí zabezpečovat měření skutečného rozměru.

Předpokládá se statistická nezávislost jednotlivých měření v průběhu testování měřidel. K tomu, aby nedocházelo k ovlivnění výsledků je potřebné:

- provádět vlastní měření v náhodném pořadí (drift, změny budou náhodně rozloženy do celého testu),
- operátoři provádějící měření nemají brát ohled na to, který kus právě kontrolují (odstranění vlivu strannosti), ale vedoucí testu musí vědět, který kus je právě měřen a podle toho správně zanášet data do vyhodnocovacího protokolu,
- v průběhu měření odhadovat hodnoty na nejbližší číslo, které lze odečíst (je možný odhad na polovinu nejmenšího dělení stupnice),
- nad celým testováním má být stanoven dozor,
- operátoři provádějící měření v průběhu testu mají používat stejný postup pro změření a odečítání měřené hodnoty.

3.3.1 Stanovení R&R testu

Výsledky R&R testu nám odhadnou variabilitu a procento variability procesu, se kterou nám pokryje celkovou variabilitu systému měření a příslušné složky opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a variability mezi jednotlivými kusy. Je vhodné tyto výsledky sledovat i graficky.

V rámci výpočtů je pro každou složku variability, která ovlivňuje proces měření stanoven 5,15 násobek směrodatné odchylky (odpovídá 99% plochy pod křivkou normálního rozdělení).

Opakovatelnost (variabilita zařízení) se stanoví:

$$EV = \bar{R}_R \times K_1 \quad (3.6),$$

kde \bar{R}_R – je průměrné rozpětí z průměrných rozpětí osob,
 K_1 – je konstanta závislá na počtu opakování a stanoví se:

$$K_1 = \frac{5,15}{d_2^*} \quad (3.7),$$

kde d_2^* – je hodnota závislá na počtu opakování a počtu kusů měřených během testu násobených počtem operátorů.

Průměrné rozpětí z průměrných rozpětí osob se stanoví:

$$\bar{R}_R = \frac{\sum_{i=1}^o \bar{R}}{o} \quad (3.8),$$

kde o – je počet osob provádějící hodnocení,
 \bar{R} – je průměrné rozpětí osoby provádějící hodnocení a stanoví se:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R}{n} \quad (3.9),$$

kde n – počet měřených kusů,
 R – je rozpětí osoby provádějící měření pro daný měřený kus a stanoví se,

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (3.10),$$

kde x_{\max} – je maximální hodnota z naměřených hodnot,
 x_{\min} – je minimální hodnota z naměřených hodnot.

Reprodukovatelnost (variabilita operátora) se stanoví:

$$AV = \sqrt{[R_{\bar{x}} \times K_2]^2 - \left[\frac{(EV)^2}{n \times r} \right]} \quad (3.11),$$

kde $R_{\bar{x}}$ – je rozpětí z průměrů osob,
 n – je počet měřených kusů,
 r – je počet opakování.
 K_2 – je konstanta, která je závislá na počtu operátorů a stanoví se dle:

$$K_2 = \frac{5,15}{d_2^*} \quad (3.12),$$

kde d_2^* – je hodnota závislá na počtu operátorů a výpočtu rozpětí.

Pokud nastane stav, kdy se vypočte záporná hodnota, která by se měla odmocnit, pak je variabilita operátora (AV) rovna nule.

Variabilita měření se stanoví:

$$R \& R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} \quad (3.13).$$

Variabilita kusů je dána:

$$PV = R_p \times K_3 \quad (3.14),$$

kde R_p – je rozpětí průměrů kusů,
 K_3 – je konstanta, která je závislá na počtu operátorů a stanoví se dle:

$$K_3 = \frac{5,15}{d_2^*} \quad (3.15),$$

kde d_2^* – je hodnota závislá na počtu operátorů a na výpočtu rozpětí.

Celková variabilita se stanoví dle:

$$TV = \sqrt{(R \& R)^2 + (PV)^2} \quad (3.16).$$

Vyhodnocení spotřeby variability jednotlivých faktorů vůči celkové variabilitě se provádí dle:

$$\%EV = 100 \times \left(\frac{EV}{TV} \right) \quad (3.17),$$

$$\%AV = 100 \times \left(\frac{AV}{TV} \right) \quad (3.18),$$

$$\%R \& R = 100 \times \left(\frac{R \& R}{TV} \right) \quad (3.19),$$

$$\%PV = 100 \times \left(\frac{PV}{TV} \right) \quad (3.20).$$

Je nutno si uvědomit, že součet jednotlivých faktorů variabilit vyjádřených v procentech nebude roven 100%.

Jednotlivé procentuální výsledky je potřeba vyhodnotit a posoudit zda je měřidlo vhodné pro daný účel.

Analýzu je možné založit na toleranci a ne na variabilitě procesu. Postup výpočtu je totožný, až na změny v procentuálním vyjádření, kde se místo celkové variability (TV) dosazuje tolerance (T). Pak jsou jednotlivé variability spotřebované s tolerance dány:

$$\%EV = 100 \times \left(\frac{EV}{T} \right) \quad (3.21),$$

$$\%AV = 100 \times \left(\frac{AV}{T} \right) \quad (3.22),$$

$$\%R \& R = 100 \times \left(\frac{R \& R}{T} \right) \quad (3.23),$$

$$\%PV = 100 \times \left(\frac{PV}{T} \right) \quad (3.24).$$

Na základě výpočtů lze měřidlo zařadit jako způsobilé nebo nezpůsobilé pro účel, ke kterému má sloužit. Tabulka 3.1 zobrazuje mezní hodnoty pro schválení nebo zamítnutí měřidla. Tato tabulka zohledňuje i problematiku malých tolerancí.

Tabulka 3.2 Hraniční hodnoty pro vyhodnocení výsledků postupu R&R vztaženo k variabilitě

Měřidlo je	Hraniční hodnoty
nepřijatelné	$R\&R \geq 30\%$
podmíněně vyhovuje	$10\% < R\&R < 30\%$
vyhovující	$R\&R \geq 10\%$

Tabulka 3.3 Hraniční hodnoty pro vyhodnocení výsledků postupu R&R vztaženo k toleranci

Tolerance	Hraniční hodnoty
$T \leq 50 \mu\text{m}$	$R\&R \geq 20\%$
$T > 50 \mu\text{m}$	$R\&R \geq 15\%$

V [17] je pro $T > 50 \mu\text{m}$ stanovena mez způsobilosti 10%, ale s ohledem na možné měřidla (číselnikové úchylkoměry, posuvné měřítka), je upravena tato hodnota, protože podle platných norem mohou mít tyto vyhodnocovací měřidla nejistotu vyšší než je požadavek 10%.

Hodnocení měřidla vztažené k toleranci znaku se provádí tehdy, jsou-li výsledky a hodnotící kritéria vztažena ke specifikaci znaku (shoda nebo neshoda). Jde o kontrolu 100% anebo kontrolu výběrovou.

Hodnocení vztaženo k variabilitě procesu je vhodné použít v případě regulace procesu.

3.4 HODNOCENÍ SROVNÁNÍM

Tento postup je vhodné použít pro měřidla, které porovnávají měřený kus se specifikacemi (nejsou vyhodnocovány číselné výsledky měření) a pokud jsou splněny poté je kus vyhodnocen jako shodný, pokud nevyhoví specifikacím je vyhodnocen jako neshodný.

Pro hodnocení srovnáním jsou potřeba vybrat výrobky a ty musí být jednoznačně označeny jako:

- shodné; jednoznačně bezchybné výrobky,
- hraniční; nelze jednoznačně měřidlem zařadit výrobky mezi shodné nebo neshodné, jejich kontrolou lze zjistit jakou má měřidlo schopnost třídění výrobků na shodné a neshodné (citlivost),
- neshodné; jednoznačně neshodné výrobky.

K vlastnímu testu se vybere 10 kusů, shodných, hraničních a neshodných výrobků, které jsou označeny a promíchány mezi sebou. V náhodném pořadí se provede jejich změření a to nejméně 3x. V případě, že by bylo k dispozici málo výrobků je vhodné provést větší počet opakovaných měření.

Měřidlo je způsobilé pokud nedojde ani k jednomu chybnému vyhodnocení při měření neshodných kusů během testu.

Na základě výsledků testu při měření hraničních dílů může být měřidlo vyhodnoceno jako podmíněně vyhovující.

4 ZÁVĚR

Zpracovaný návrh hodnocení měřidel je stanoven na základě požadavků, které jsou kladeny na měřicí prostředek výrobkem, který jím má být kontrolován. Je zde proveden rozbor možných vlivů, které mohou způsobit nevhodnost měřicího prostředku pro daný účel použití a dále je navržen model hodnocení, který odpovídá danému použití měřicího prostředku. Tento model vychází ze statistického zpracování dat, které jsou získány z měření daného výrobku (kontrolního etalonu), pro který je měřicí prostředek určen.

Tento návrh byl prakticky ověřen na měřicích prostředcích zhotovených na zakázku.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Anděl, J.: Matematická statistika. SNTL-Alfa, Praha 1965
- [2] Brezina, I.: Súradnicové meracie stroje a ich skúšanie. VÚNM Praha 1987
- [3] Calabro, S.R.: Základy spolehlivosti a jejich využití v praxi. SNTL Praha 1965
- [4] Čech, J.- Pernikář, J.- Beneš, M.: Strojírenská metrologie. VUT FS Brno, 1994
- [5] Duncan, A.J.: Quality Control and Industrial Statistics, 4th ed., Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1974
- [6] Hurt, J.: Teorie spolehlivosti. SPN Praha, 1984
- [7] Kožíšek, J.: Statistické zabezpečování jakosti. ČVUT Praha 1995
- [8] Kuba, J.: Hodnocení spolehlivosti strojů. SNTL Praha 1984
- [9] Kurz metrologie QMe 2, Česká společnost pro jakost, Duben 2000
- [10] Nenáhlo, Č.: Měření vybraných geometrických veličin. ČMS Praha 1999
- [11] Nenáhlo, Č.: Vliv teploty na přesnost délkových měření. SNTL Praha 1981
- [12] Matyáš, V.: Základy teorie chyb měření. VUT Brno 1978

- [13] Metodika vyjadřování nejistot měření při kalibraci, EAL-R2, Český institut pro akreditaci Praha 1996
- [14] Mlčoch, L – Slimák, L: Řízení kvality a strojírenské metrologie, SNTL Praha 1987
- [15] Analýza systému měření (MSA), Česká společnost pro jakost 2003
- [16] Palenčar,R. – Halaj,M.: Metrologické zabezpečenie systémov riadenie kvality. STU Bratislava 1998
- [17] Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe Nr. 10 – Technische Statistik. Fähigkeit von Meßenrichtungen BOSCH 1990
- [18] Skřivánek, M. – Polívka, E.: Provozní spolehlivost a údržba strojů. SNTL Praha 1974
- [19] TPM 005X – Stanovenie neistôt pri meraniach 1. diel, Československý metrologický ústav, oddelenie normalizácie, Bratislava, 1992
- [20] Zelený, F.: Základní vlastnosti měřicích přístrojů. SNTL Praha 1976
- [21] ČSN 01 0103: Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav
- [22] ČSN 01 0115: Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii
- [23] ČSN 01 0250: Statistické metody v průmyslové praxi. Všeobecné základy
- [24] ČSN EN 60300-2: Management spolehlivosti. Prvky a úkoly programu spolehlivosti
- [25] ČSN IEC 50(191): Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služieb
- [26] ČSN IEC 300-1: Řízení spolehlivosti. Řízení programu spolehlivosti
- [27] ČSN IEC 300-3-1: Řízení spolehlivosti. Část 3: Návod k použití, Oddíl 1: Metody analýzy spolehlivosti: Metodický návod.
- [28] ČSN IEC 300-3-2: Řízení spolehlivosti. Sběr dat o spolehlivosti z provozu
- [29] ČSN EN ISO 9001:2001 Systémy jakosti: Model zabezpečování jakosti při návrhu, vývoji, výrobě, instalaci a servisu
- [30] ČSN EN ISO 14253-1: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel měřením – Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi.
- [31] ČSN EN ISO/IEC 17025: Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
- [32] ČSN EN ISO 10012: Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.
- [33] ČSN EN 20286-1: Soustava tolerancí a uložení ISO. Část 1: Základní ustanovení, úchytky a uložení
- [34] ČSN ISO 3207: Statistická interpretace údajů. Stanovení statistického tolerančního intervalu
- [35] ČSN ISO 5725-1: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 1: Obecné zásady a definice,
- [36] ČSN ISO 9000:2001: Systémy managementu jakosti - Základy, zásady a slovník

- [37] Zákon č.20/1993 Sb. Zákon o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví, ve znění zákona č. 137/2002 Sb.
- [38] Zákon č.22/97 Sb. Zákon o technických požadavcích na výrobky(změny: 71/2000 Sb., 102/2002 Sb., 205/2002 Sb., 226/2003 Sb.),
- [39] Zákon č.262/2000 Sb. Vyhláška, kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření, ve znění zákona č. 344/2002 Sb.
- [40] Zákon 505/1990 Sb.Zákon o metrologii(změny: 119/2000 Sb., 13/2002 Sb., 137/2002 Sb., 226/2003 Sb.).

6 ŽIVOTOPIS

Osobní údaje

Jméno, příjmení: Vítězslav Svoboda
 Zaměstnavatel: MESING, spol. s r.o.
 Kontakt: tel.: +420 545 426 216
 e-mail: vitezslav.svoboda@mesing.cz
 Datum narození: 25. březen 1973
 Národnost: česká

Vzdělání

1996 – 1999 VUT Fakulta strojního inženýrství v Brně, Ústav strojírenské technologie, interní doktorand odboru jakost a strojírenská metrologie
 1991 – 1996 VUT Fakulta strojní v Brně, Ústav strojírenské technologie
 1987 – 1991 SPŠ strojnická Vsetín

Praxe

1999 – doposud MESING, spol. s r.o., konstruktér délkové měřicí techniky

Publikace

- Svoboda, V.-Suchánek, R.: Provozní spolehlivost měřidel, technický bulletin Zpravodaj technické inspekce, ročník 7, č. 3/02, říjen 2002
- Svoboda, V.-Suchánek, R.: Nejistota měření, technický bulletin Zpravodaj technické inspekce, ročník 7, č. 2/02, červenec 2002
- Svoboda, V.-Matoušková, D.:Konfirmační intervaly měřicích prostředků, 4. Mezinárodní vědecká konferenci, Rozvoj technologie obrábění RTO 2002, str. 38, Košice 22.-23.5.2002
- Svoboda, V.: Objektivní hodnocení spolehlivosti měřidel, DOKSEM '99, str. 201, Súlöv 19.-20. otóbra 1999

- Vačkář, J – Shejbal, D. – Svoboda, V.: Metrological assurance of testing laboratories as a condition of their accreditation, In: Sborník konference konané v roce oslav 100. výročí založení VUT TRANSFER '99, sekce I, str. 17-18, Brno, 1999
- Shejbal, D.- Hradečná, I.- Svoboda, V.-Matoušková, D.:Úloha lidského činitele při zavádění systémů jakosti dle norem ČSN ISO řady 9000, grant FV 38 00 25/98, VUT FS v Brně, prosinec 1998
- Svoboda, V.-Shejbal, D.-Chovancová, J.: Objektivní hodnocení spolehlivosti měřidel v návaznosti na metrologický certifikační systém, grant FP 38 0006, VUT FS v Brně, prosinec 1998
- Svoboda, V.-Suchánek, R.:Analýza rizikovosti při prokazování shody strojních zařízení, technický bulletin Zpravodaj technické inspekce, ročník 3 č. 2/98, červenec 1998
- Svoboda, V.: Spolehlivost měřidel jako součást jejich jakosti, časopis Strojírenská výroba, ročník 46, číslo 9-12, 1998
- Svoboda, V.-Suchánek, R.: Aplikace bezpečnostních norem při prokazování shody strojních zařízení, 6. mezinárodní vědecká konference CO-MA-TECH '98, str. 614, Trnava 22.-23. október 1998

7 ABSTRACT

This thesis resolves the issue of evaluating measuring instruments quality. The quality of a measuring instrument is evaluated according to how well the measuring instrument meets the requirements of such an instrument. Any of its attributes can decide about the usability of the measuring instrument for required purposes. This thesis proposes a method for the evaluation of a measuring instrument. The method has been based on the requirements placed on the instrument by a product that will be examined by this instrument. In addition, the thesis analyses various influences that can make the measuring instrument unsuitable for a certain purpose of use. Further, it proposes an evaluation model that is in consistence with a given use of the measuring instrument. This model results from statistical data processing, the data of which is obtained during measuring of a given product (working standard) for which the measuring instrument is designated.

This method has been verified on custom-made measuring gauges of a simple workshop model (a three-point diameter gauges), semiautomatic measuring instruments and a fully automatic measuring instrument (measuring station for inspecting diameters and heights of bearing rings). In the case of semiautomatic measuring instruments, the operator places the product in a holding position and instructs the instrument to move the product into the measuring position (measuring instrument for inspection of headlight lamps and multi-parameter measuring instrument for inspection of bearing rings).