

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STROJNÍ

Analýza systému měření (MSA) pro dílenská
měřidla v automobilovém průmyslu

Štěpán KNAPP

Bakalářská práce

2020

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Measurement system analysis (MSA) for shop floor
measuring instruments at automotive

Štěpán KNAPP

Bachelor work

2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Knapp** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **466589**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza systému měření (MSA) pro dílenská měřidla v automobilovém průmyslu

Název bakalářské práce anglicky:

Measurement system analysis (MSA) for shop floor measuring instruments at automotive

Pokyny pro vypracování:

1. Popis metrologického systému v KMCZ
2. MSA pro měřidla používaná při mezioperační kontrole
3. Vyhodnocení systému MSA a návrhy na zlepšení v KMCZ

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

23.6.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, SW atd.) uvedených v příložených seznamech.

V Praze dne.....

Podpis autora.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. BcA. Janu Podanému Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, také za cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Mé poděkování patří též firmě KYB Manufacturing Czech s. r. o., která mi poskytla zázemí pro realizaci praktické části této práce. V neposlední řadě děkuji pánům, jmenovitě, Ing. Aleši Kopeckému a Ing. Lukáši Kašparovi, kteří mi ve firmě KYB Manufacturing Czech s. r. o. zaštiťovali tvorbu praktické části a poskytli důležité poznatky a připomínky.

ANOTACE

Bakalářská práce se zaměřuje na Analýzu systému měření (MSA) v automobilovém průmyslu, resp. v KYB Manufacturing Czech s.r.o. (KMCZ).

Nejprve pojednává o metrologickém systému obecně, včetně teoretického zpracování základních dílenských měřidel, potom přistupuje k popisu metrologického systému v KMCZ.

Další část se zpočátku věnuje MSA v obecném pohledu, a poté sleduje systém MSA v KMCZ.

Na závěr hodnotí stávající systém v KMCZ a hledá nová řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Analýza systému měření, MSA, Metrologický systém, Automobilový průmysl, Posuvné měřítko, Opakovatelnost, Reprodukovatelnost, Gage R&R

ANNOTATION

Bachelor work is concentrated on measurement system analysis in automotive, respectively at KYB Manufacturing Czech s.r.o. (KMCZ).

At first it speaks about metrological system in general, including theoretical treatment basics shop floor measuring instruments. And then it describes metrological system at KMCZ.

Next part starts with MSA in general view and it continues about MSA at KMCZ.

Finally evaluates existing system of KMCZ and search new solution.

KEY WORDS

Measurement system analysis, MSA, Metrological system, Automotive, Caliper, Repeatability, Reproducibility, Gage R&R

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AIAG	Akční skupina automobilového průmyslu (Automotive Industry Action Group)
BMW	Bavorské automobilové dílny (Bayerische Motoren Werke)
CNC	Počítačem řízený obráběcí stroj (Computer Numerical Control)
ČMI	Český metrologický institut
GRR	Gage R&R
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
KGE	Distribuční společnost
KPS	Kayaba Production System
KMCZ	KYB Manufacturing Czech
MSA	Analýza systému měření (Measurement system analysis)
NMS	Národní metrologický systém
Q-DAS	Název software
SI	Mezinárodní systém jednotek
TME	Testovací a měřicí zařízení, nástroje nebo kalibry
TPCA	Toyota Peugeot Citroën Automobile Czech, s.r.o.
VDA	Vhodnost výrobních procesů
VDE	Sdružení německých inženýrů (Verein Deutscher Ingenieure)
VDI	Asociace elektrotechniky, elektroniky a informačních technologií (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik)

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Produkce KMCZ [2]	16
Obrázek 2 Struktura NMS [5]	22
Obrázek 3 Posuvné měřítko [11]	25
Obrázek 4 Posuvné měřítko-správné umístění čelistí na měřeném obrobku [11]	25
Obrázek 5 Abbého princip [11]	26
Obrázek 6 Mikrometr [12]	26
Obrázek 7 Výškoměr [9]	27
Obrázek 8 Vývojový diagram [13]	29
Obrázek 9 Stabilita systému měření [15]	32
Obrázek 10 Strannost systému měření [15]	33
Obrázek 11 Opakovatelnost systému měření [15]	35
Obrázek 12 Reprodukovatelnost systému měření [15]	35
Obrázek 13 Rozdělení celkové variability zaznamenaných dat [18]	36
Obrázek 14 Regulační diagram pro průměry	41
Obrázek 15 Regulační diagram pro průměry jednotlivých zkoušejících	41
Obrázek 16 Diagram pro rozpětí "A" "B" "C"	42

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Mezinárodní soustava veličin SI (zpracováno dle: [7])	19
Tabulka 2 Důležité koeficienty [22].....	37
Tabulka 3 Naměřené hodnoty-šířka silentblocku.....	39
Tabulka 4 Zhodnocení dat 1	40
Tabulka 5 Regulační meze	40
Tabulka 6 Zhodnocení dat 2	42

SEZNAM POUŽITÝCH ROVNIC

(1 Bodový odhad strannosti) [17]	33
(2 Procentuální podíl opakovatelnosti) [17]	33
(3 Srovnání variability systému měření s celkovou variabilitou) [20].....	36
(4 Srovnání variability systému měření s tolerančním rozpětím) [20]	36
(5 Horní regulační mez) [22]	38
(6 Střední hodnota rozptylu) [22].....	38
(7 Střední hodnota rozptylu pro odlišný počet opakování měření) [22].....	38
(8 Opakovatelnost) [22].....	38
(9 Reprokovatelnost) [22].....	38
(10 Gage R&R) [22]	39
(11 Opakovatelnost procentuálně) [22]	39
(12 Reprokovatelnost procentuálně) [22]	39
(13 Gage R&R procentuálně) [22].....	39

Obsah

ÚVOD	13
1 KMCZ	14
1.1 O společnosti KYB	14
1.2 O společnosti KMCZ.....	14
1.3 Produkce KMCZ	15
1.4 Kvalita.....	17
2 METROLOGICKÝ SYSTÉM	18
2.1 Metrologie	18
2.1.1 Metrologie obecně	18
2.1.2 Mezinárodní soustava veličin SI	19
2.1.3 Metrologická návaznost.....	21
2.1.4 Národní metrologický systém	21
2.2 Měřidla.....	22
2.2.1 Etalony	23
2.2.2 Posuvné měřítko.....	24
2.2.3 Mikrometr	26
2.2.4 Výškoměr	27
2.3 Metrologický systém (Řízení kalibrací) v KMCZ	27
3 ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ MSA	30
3.1 Stabilita.....	32
3.2 Strannost.....	32
3.3 Linearita a uniformita	34
3.4 Opakovatelnost a reprodukovatelnost.....	34
3.5 Gage R&R.....	36
3.6 MSA v KMCZ	37
3.6.1 Postup a výpočet	37
3.6.2 Sběr dat.....	39
3.6.3 Zhodnocení dat.....	40

4	ZÁVĚR.....	44
5	CITOVANÁ LITERATURA	45
6	SEZNAM PŘÍLOH.....	47

ÚVOD

Dnešní svět je v mnohých ohledech založen na datech a v průmyslu to platí dvojnásob. Výrobní společnosti shromažďují každý den velké množství informací s využitím nejrůznějších podob kontroly a měření. Tyto informace jsou velmi podstatné pro další rozhodování o procesech, je tedy nutné zajistit odpovídající přesnost. Správně nastavená a provedená Analýza systému měření MSA může vybudovat pevný základ pro jakýkoliv rozhodovací proces založený na datech.

Aby byla správně nastavena přesnost výroby, musí tomu být přizpůsoben metrologický systém. Ten zahrnuje soubor měřidel, personál, software a příslušenství, jejichž prostřednictvím ověřuje platnost určité měrné jednotky nebo posuzuje měřené funkce a charakteristiky. Ovšem veškeré vstupy do metrologického systému vnášejí zdroj variací, jedná se o typ zkušební metody, druhu měřidla či proškolení personálu a vliv prostředí. Při provádění analýzy systému měření MSA by se měly všechny zdroje variací zhodnotit.

Práce má za cíl porovnat stávající systému MSA ve firmě KMCZ s dostupnými možnostmi realizace a popřípadě ho zlepšit. Nejprve se orientuje v oblasti metrologického systému a následně přechází k MSA, kde pracuje primárně s analýzou Gage R&R. Prakticky je pak Gage R&R v KMCZ provedena a hodnocena, navrhuje také možné zlepšení.

1 KMCZ

1.1 O společnosti KYB

Historie KYB sahá do počátku 20. století, konkrétně do roku 1919, tehdy jej založil Shiro Kayaba jako výzkumné centrum. V roce 1935 KYB založila továrnu na hydraulické tlumiče, protože společnost dále rostla, byla roku 1959 zapsána na tokijské burze. Sídlo společnosti se nachází v Tokiu, hlavním městě Japonska. [1]

Vzhledem k tomu, že ve společnosti dochází ke stálému vývoji, zlepšuje se synchronně i kvalita produktového portfolia. Protože je ona kvalita dostatečně podporována, stala se společnost jedním z největších dodavatelů tlumičů ve světě. Má 32 poboček ve 21 zemích a 15 výrobních továren rozmístěných na třech kontinentech, v Asii, Severní Americe (USA) a v Evropě. KYB tak čítá okolo 15 000 zaměstnanců po celém světě. [1]

KYB vyrábí mnoho dalších zařízení hydraulických i elektrických. Jsou to například: elektronika pro automobily, výrobní a zemědělská zařízení, posilovače řízení, invalidní vozíky a další. [1]

1.2 O společnosti KMCZ

KMCZ je výrobním závodem společnosti KYB sídlící v průmyslové zóně u Pardubic. Založena byla roku 2003 a výroba začala v roce 2006. Závod vyrábí tlumiče a patří mezi největší výrobce, každý pátý automobil používá KYB tlumiče. [1]

Důvodem vzniku bylo pokrýt čtyři hlavní automobilové trhy. Zákazníky KMCZ jsou TPCA Kolín, potom Suzuki (maďarská pobočka), Toyot (Ukrajina, Turecko, Rusko, Francie a Jihoafrická republika), Renault (Slovinsko, Francie), Nissan (Anglie, Ukrajina, Rusko), PSA z Francie, Škoda Mladá Boleslav a společnost Daimler z Francie. Kromě tlumičů vyrábí a prodává KMCZ také náhradní díly pro celou Evropu. K distribuci využívá sesterskou společnost KGE sídlící v Německu. Společnost KMCZ v současnosti zaměstnává asi 600 lidí. [1] [2]

1.3 Produkce KMCZ

Výroba je realizována díky strojním zařízením od kvalitních výrobců z Evropské unie a Japonska. [1]

K využívaným technologiím patří klasické obrábění na CNC strojích pro třískové obrábění, potom také povrchové úpravy lakováním a chromováním, v neposlední řadě také různorodé montážní stroje mechanizované a automatizované. Technologie také zahrnují nejmodernější prostředky pro šetrnou výrobu vůči životnímu prostředí. [1]

Celá koncepce výroby stojí na japonském principu řízení výroby. KMCZ pracuje podle KPS, to obsahuje například tyto prvky:

- **Jidoka:** zastavení procesu výroby, jakmile nastane abnormalita.
- **Poka – Yoke:** v KMCZ je tento prvek velmi významný. Je to opatření, které slouží k ověření kvality procesu. Řešení, které snižuje možnost lidské chyby v průběhu výrobního procesu nebo chybu procesu z hlediska techniky. Provádí se na začátku směny, výhradně při poruše stroje anebo při zásahu údržby
- **Monozukuri:** výrobní filozofie založená na zručnosti, kreativitě a sebekázní.
- **5S:** vhodná organizace pracoviště. Vytvoření standardu a jeho dodržování.
- **Kanban:** systém založený na zavedení vztahu zákazník – dodavatel do výrobního procesu.
- **5WHY:** zjištění příčin problému, stanovení a realizace opatření k odstranění jejich vzniku.

Jak už bylo zmíněno KMCZ produkuje tlumiče do automobilů různorodých typů. Pro orientaci v portfoliu jednotlivých vyráběných tlumičů slouží obrázek 1. [1] [3]



Obrázek 1 Produkce KMCZ [2]

1.4 Kvalita

Hlavním cílem společnosti je dodávat výrobky pouze s nejvyšším stupněm kvality. Systém řízení kvality byl podle kontrolních auditů vždy bezzávadný. Společnost prochází certifikačním auditem nezávislého certifikačního orgánu. KMCZ je držitelem certifikátu EN ISO 9001:2008. Dále také ISO/TS 16949:2009 a EN ISO 14001:2004. [1]

2 METROLOGICKÝ SYSTÉM

2.1 Metrologie

2.1.1 Metrologie obecně

Říká se, že co nemůžeme změřit, není možné ani vyrobit. První zmínky o metrologii jsou 6 000 let staré, to znamená, že pocházejí ze starověku. Člověk začal metrologii využívat s nástupem rozvoje zemědělství a obchodu. V časech, kdy se kmenová uspořádání začala měnit na města, začala vznikat také nová tržiště a s nimi spojený směnný obchod. Byla tak nutnost stanovit vhodné míry neboli jednotky. Později se metrologie dále rozvíjela i díky stavitelství, kde bylo nutné vytvořit celou soustavu na sebe navazujících jednotek. Na našem území, dnešní České republiky datujeme vznik míry tzv. loket k roku 1268 v období vlády Přemysla Otakara II. Kupující si tak mohl sám zkontrolovat, zda je jeho míra totožná s mírou daného tržiště. U „loketu“ je tedy možné hovořit jako o prvním „etalonu“. [4]

Metrologie zahrnuje soubor všech činností a znalostí, které souvisejí s měřením. Obsahuje také všechny aspekty s měřením spojené, protože cílem měření je zajistit co možná nejpřesnější výsledky, tedy dosáhnout určité přesnosti, stálosti a jednotnosti měření. Pracuje se všemi dosud stanovenými jednotkami ve všech oblastech lidské činnosti. [5]

Metrologii využívají také různé organizace poskytující služby (pro příklad, malíř není bez měřidel schopen určit, jak velkou plochu musí natřít. [4]

Metrologii můžeme rozdělit na několik oblastí. Metrologické veličiny, jejich jednotky, měřicí metody a jejich metodiky, vliv lidské činnosti na měřicí systém v neposlední řadě i na samotné měřicí prostředky. Nedílnou součástí metrologie je i její zasazení do administrativy a organizačních struktur, to je naprosto nezbytné právě z hlediska přesnosti měření ve všech stupních metrologického systému. Metrologie je legislativně zasazená do zákonů, vyhlášek, předpisů, směrnic, akreditačních požadavků, odborné způsobilosti a podobně. Tady můžeme uvést zákon: Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii, několikrát novelizován. [5] [6]

2.1.2 Mezinárodní soustava veličin SI

V roce 1954 byly přijaty: ampér, kelvin a kandela. Roku 1960 bylo určeno šest základních jednotek, metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, kandela. A v roce 1971 bylo přijato navíc jako základní jednotka látkové množství - mol. [4] [7]

Tabulka 1 Mezinárodní soustava veličin SI (zpracováno dle: [7])

jednotka	značka jednotky	veličina	značka veličiny	definice základní jednotky dle z. č. 505/1990 Sb., O metrologii a pozdějších novelizací z. č. 119/2000 Sb. (§ 2 odst. 2)
metr	m	délka	l, s, d	metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu 1/299 792 458 sekundy
kilogram	kg	hmotnost	m	kilogram (kg); kilogram se rovná hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu
sekunda	s	čas	t	sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133
ampér	A	elektrický proud	I	ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového

				průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi sílu 2×10^{-7} newtonu na 1 metr délky vodičů
kelvin	K	termodynamická teplota	T	kelvin je $1/273,16$ díl termodynamické teploty trojného bodu
kandela	cd	svítivost	I	kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s kmitočtem 540×10^{12} hertzů a jehož zářivost v tomto směru je $1/683$ wattu na steradián
mol	mol	látkové množství	n	mol je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu izotopu uhlíku ^{12}C . Při udávání látkového množství je třeba elementární jedince (entity) specifikovat; mohou to být atomy, molekuly, ionty, elektrony, jiné částice nebo blíže určená seskupení částic

K těmto uvedeným jednotkám také hovoříme o takzvaných doplňkových jednotkách, jsou to radián a steradián, které nebyly zařazeny do základních ani do odvozených jednotek. Poté mluvíme také o odvozených jednotkách, což jsou čtverečný a krychlový metr, newton, watt, joul, volt a ohm, tyto jednotky vznikly

z definičních vztahů jednotek základních a odvozených. Následují jednotky násobné a dílčí, ty se tvoří pomocí násobků (nejčastěji třetích mocnin). A nakonec patří jednotky vedlejší, které sice norma povoluje používat, ale v základní soustavě SI je nenajdeme. Jsou to například: astronomická jednotka, Celsiův stupeň nebo litr. [4] [7]

2.1.3 Metrologická návaznost

Metrologická návaznost je vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být výsledek vztažen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené nejistotě měření. [8]

„Kalibrace je činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření. Ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace. Kalibrace smí být vyjádřena údajem, kalibrační funkcí, kalibračním diagramem, kalibrační křivkou nebo kalibrační tabulkou.

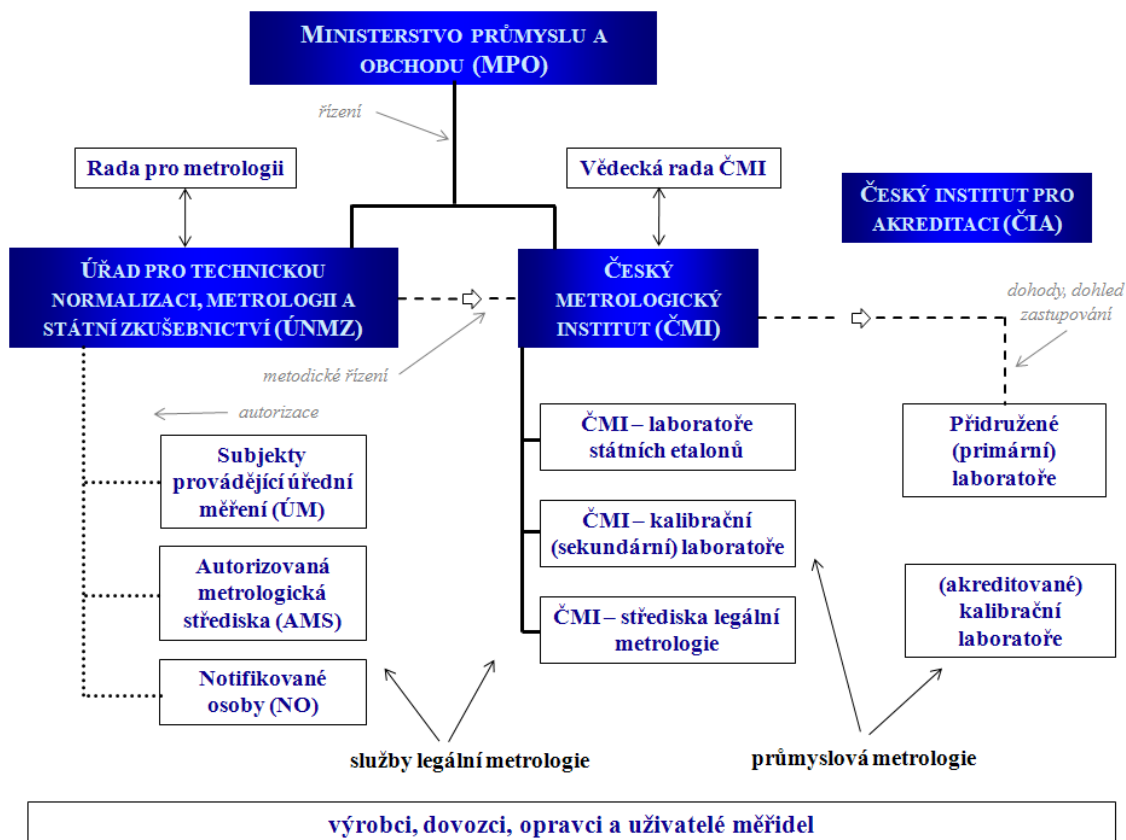
V některých případech se smí skládat ze součtových nebo násobných korekcí indikace s přidruženou nejistotou měření. Kalibrace nemá být zaměňována s justováním měřicího systému, často mylně nazývaným „samo-kalibrace“, ani s ověřením kalibrace. Samotný první krok ve výše uvedené definici je často chápán jako kalibrace.“ [8]

2.1.4 Národní metrologický systém

Národní metrologický systém (NMS) je systém ve státě, který slouží pro návaznost, přesnost a jednotnost měření v daném státě. Využívá prostředků v podobě přístrojů a zařízení, prostředků technických, různých předpisů, práv a povinností správních orgánů nebo podnikajících fyzických osob. [4] [6]

Základními oblastmi metrologického systému jsou legální, průmyslová a fundamentální metrologie. [4] [6]

Klíčový prvek celého systému je národní metrologický institut představovaný Českým metrologickým institutem (ČMI). [4] [6]



Obrázek 2 Struktura NMS [6]

Můžeme též hovořit o dalších součástech NMS, které zahrnují také: vzdělávání v metrologii, certifikaci osob včetně certifikačních orgánů zajišťujících tuto činnost. Český národní akreditační systém má významnou roli, protože stanovuje způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří, také certifikačních a inspekčních orgánů. V legální metrologii má také český národní akreditační systém stěžejní roli. [4] [6]

2.2 Měřidla

Dle zákona č. 505/1990 Sb., § 3 jsou měřidla používána k určení hodnoty měřené veličiny. Díky tomuto zákonu se měřidla dělí na:

- etalony,
- pracovní měřidla stanovená,
- pracovní měřidla nestanovená,
- certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály, pokud jsou určeny k etalonu nebo stanoveného nebo nestanoveného měřidla.

Ve většině organizací se nejčastěji používají měřidla z druhé a třetí skupiny. V oblasti stanovených měřidel se jedná o měření pro ochranu správnosti obchodního styku, také pro ochranu zdraví, životního prostředí, bezpečnosti práce, či jiného obchodního zájmu. Stanovená měřidla jsou například tachografy nákladních vozidel. Pro běžné občany to mohou být váhy v obchodech nebo benzinové pumpy. Tato měřidla jsou samozřejmě nutně ověřená tak, aby mohla být doložena schopnost měřit v doložitelných tolerancích, a nedostalo se tak zákaznickově újmě. Tato měřidla ověřuje autorizovaná metrologická laboratoř, dobu platnosti ověření určuje vyhláška ministerstva průmyslu a obchodu. Měřidla nestanovená jsou měřidla, která musí být kalibrována, jsou to například posuvná měřítka nebo mikrometry. [4] [9]

2.2.1 Etalony

Česká republika má zavedenou určitou infrastrukturu etalonů, která vychází z hospodářství a dlouhodobé metrologické koncepce národního systému, ta bývá pravidelně přijata pro víceletá období usnesením vlády. Soustava národních etalonů se mění, modernizuje a doplňuje podle potřeb ČR, podle možností ČMI a dalších pověřených organizací. Tuto infrastrukturu tvoří v zásadě etalony základních jednotek SI, a také etalony nejdůležitějších odvozených jednotek. Etalony jsou nezbytné pro tvorbu střednědobých a krátkodobých plánů technického rozvoje Českého metrologického institutu. Je ovšem nutné podotknout, že žádná z vyspělejších zemí včetně ČR není schopna zajistit metrologickou návaznost pomocí vlastních státních etalonů. [10]

Rozlišujeme několik typů etalonů a také sledujeme jejich návaznost. Východiskem je přesnost reprodukce příslušné veličiny.

- **Primární etalony** zabezpečují reprodukci dané jednotky s největší možnou a dosažitelnou přesností. Největší přesností se zde rozumí taková přesnost, která lze realizovat za současného vývoje vědy a techniky. Pro základní a odvozené jednotky těchto etalonů platí, že reprodukce jednotky vychází z její definice.

- **Sekundární etalony** jsou v etalonové hierarchii podřazené etalonům primárním, o nichž také přímo nebo nepřímo odvozují svoji hodnotu. Sekundární etalony jsou rozděleny na řády.

Dále zde hovoříme o rozdělení na národní či státní etalonu, který má také z pravidla největší přesnost ve státě. Pro některé vybrané veličiny se vytvářejí tzv. mezinárodní etalony. V rámci organizací jsou hierarchicky nejvýše postavené hlavní etalony (někdy též referenční či podnikové etalony). [11]

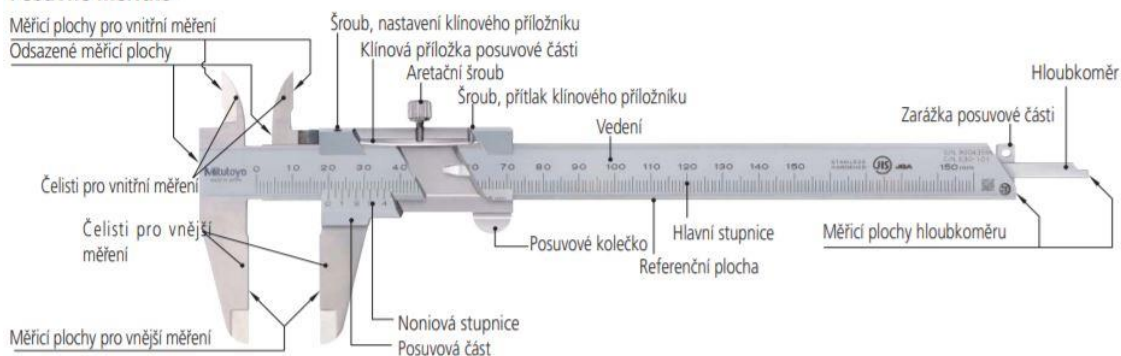
- **Pracovní etalony** většinou se jedná o etalony sekundární s určením pro kalibraci provozních měřidel, jejichž hodnota je odvozována od příslušného hlavního etalonu.
- **Svědecké etalony** používají s pro kontrolou etalonů primárních, a někdy je mohou dočasně nahradit (v případě vady). Primární etalony jsou z pravidla v počtu jednoho kusu pro danou jednotku, oproti tomu svědeckých etalonů je větší počet.
- **Porovnávací etalony** slouží jako prostředník k porovnávání etalonů mezi sebou. Jejich nejčastějším užitím je porovnávání primárních etalonů mezi různými státy. Protože primární etalony nemají být přemísťovány, kvůli zachování přesnosti, jsou etalony porovnávací naprosto zásadní.
- **Samostatný etalon** představuje pouze jediné měřidlo
- **Skupinový etalon** je to tvořen větším počtem měřidel stejného typu s totožnými metrologickými vlastnostmi. [11]

2.2.2 Posuvné měřítko

Měření pomocí posuvného měřítka spočívá v tom, že jsou spojeny čelisti posuvného měřítka se stupnicí v měřítku, měřítko odpovídá skutečné velikosti. [12]

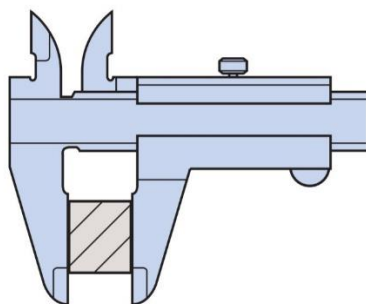
Posuvná měřítka jsou jednou z nejpoužívanějších pomůcek v běžné praxi ručního měření. Vyskytují se v různých rozměrech v digitální či pouze vizuální podobě. [12] [13]

Posuvné měřítko



Obrázek 3 Posuvné měřítko [13]

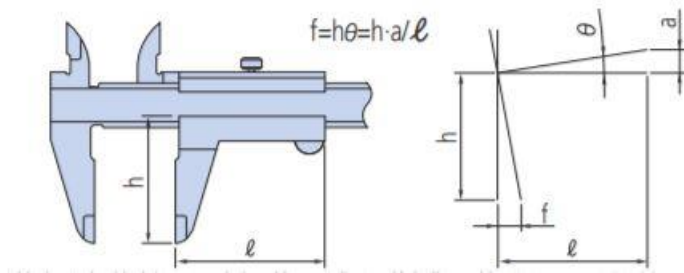
Pro správné užívání posuvného měřítka je nutné být obeznámen s určitými zásadami a informacemi o měření. Je například dobré vědět, že neexistuje žádný vztah mezi rozlišením a přesností. Rozlišení je stále stejné, ale přesnost je závislá na celé řadě faktorů způsobu a typu měření. Další důležitá věc je nepoužívat příliš velkých sil při měření, jinak měřítko v podstatě ohýbáme a dostaneme tak nepřesné údaje. Zásadní je i umístění měřeného objektu mezi čelisti. Správné umístění je na obr. č. 4. [13]



Obrázek 4 Posuvné měřítko-správné umístění čelistí na měřeném obrobku [13]

2.2.2.1 Abbého princip

Hlavní nevýhodou posuvného měřítka a dalších od něho odvozených měřicích zařízení je chyba naklonění posuvného měřítka. Nikdy nebude zabezpečená dostatečná přímota měřítka. Protože je tu vůle, aby bylo možné s měřítkem posouvat, je tu tak riziko naklonění v oné vůli, jak je znázorněno na obr. č. 5. [13]

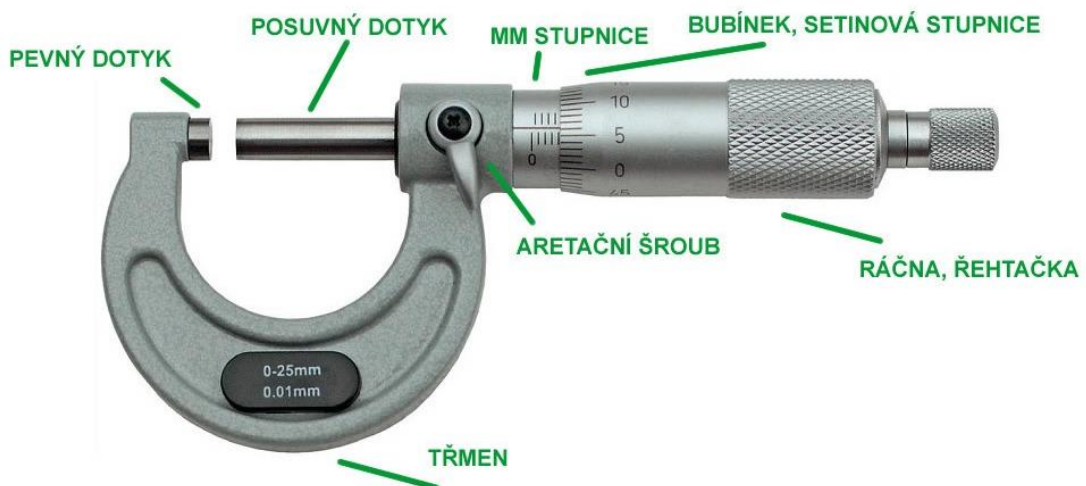


Obrázek 5 Abbého princip [13]

2.2.3 Mikrometr

Před několika dekádami byly mikrometry považovány za nejpřesnější měřidla. Dokonce i strojní měřidla v metrologických laboratořích fungovala na principu mikrometru. [12]

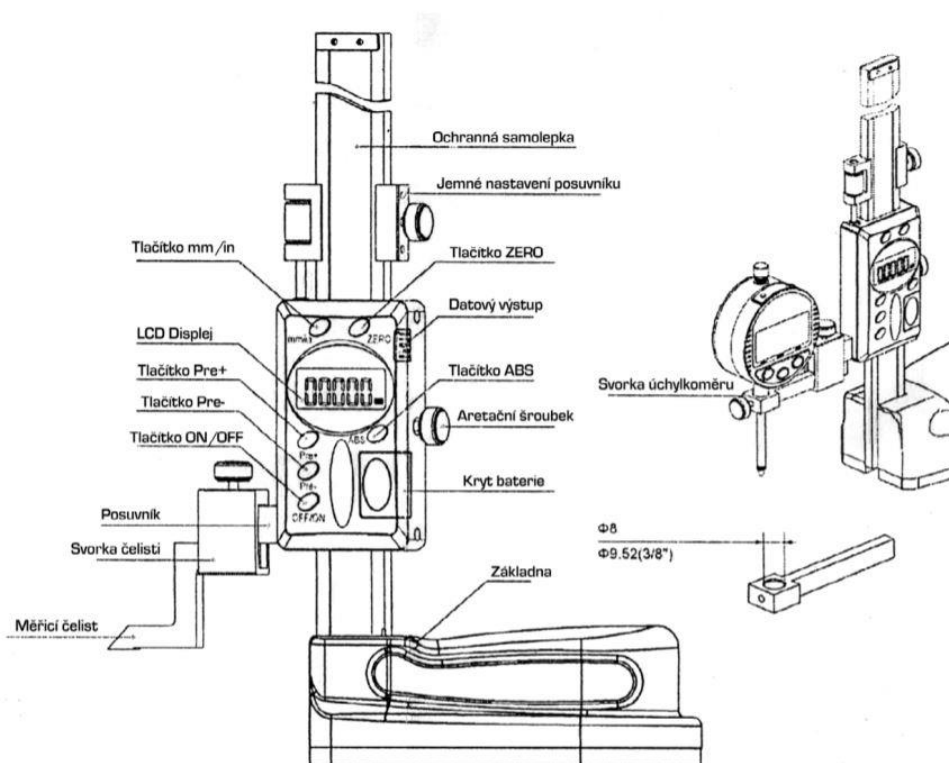
Princip mikrometru se zakládá na šroubu přesné výroby se specifickým stoupáním. Šroub je integrální s měřicím vřetenem, jehož čelo navazuje přímý kontakt se vřetenem. Vzdálenost pevné plochy od pevného vztaženého bodu představuje měřicí délku, která se potom zobrazuje na stupnici mikrometru. Mikrometr má dvě stupnice, jedna ze stupnic je lineární a milimetrová tak, aby bylo možné přímo měřit axiální posun vřeten v krocích dostatečně velkých k tomu, aby bylo zajištěno zřetelné odečtení. Druhá je setinová po obvodu dutého válce, který je uzamčen k mikrometrovému šroubu, pro indikaci velikosti rotace, když je poslední otočení šroubu během procesu menší než samotná otáčka. [12]



Obrázek 6 Mikrometr [14]

2.2.4 Výškoměr

Funkční principy posuvného měřítka jsou aplikovány velmi podobně také u výškoměru. Rozdílem je, že výškoměr leží na pracovním stole a není tak variabilní. Oproti posuvce, která má čelisti dvě, výškoměr má pouze jednu, protože základní deska, na které stojí stroj, funguje jako referenční plocha. Taktéž jako u posuvného měřítka existují i výškoměry digitální. Díky tomu že výškoměry stojí, můžeme zajistit poměrně velkou stabilitu. [12]



Obrázek 7 Výškoměr [12]

Pokud se týká chybného měření, můžeme zde opět hovořit o Abbého principu, tedy i u výškoměru dochází ke stejné chybě jako je tomu u posuvného měřítka. Může dojít taky k deformaci referenčního sloupu, který vede posuvnou část. Podobně jako u ostatních měřících přístrojů je opět velmi dobré zajistit správné umístění měřeného objektu mezi základnu a čelist. [13]

2.3 Metrologický systém (Řízení kalibrací) v KMCZ

Veškerá měření a analýzy v KMCZ se řídí primárně laboratorním řádem a pak dalšími návaznými postupy. Laboratorní řád je pro všechny zaměstnance závazný. Je tedy klíčové, aby s ním byl seznámen každý. Účelem systému je,

aby všechny testovací přístroje a zařízení sloužily k dosažení požadovaného stupně kvality výroby. Přesnost se zajišťuje díky systému kalibrací v souladu se zákonem o metrologii č. 505/1990, tento systém umožňuje eliminaci neshodných výrobků, garantuje jejich kvalitu směrem k požadavkům zákazníka. Řízení kalibrací, také eviduje a udržuje všechna měřidla. [15]

Využití mimo jiné měřidel jako: posuvná měřítka, mikrometry, či výškoměry. Nebo sofistikovanější jako: Vici Vision, Eddy Current, testy tlumících sil, testy reakcí plynu. Spousta procesů je kontrolována automaticky parametry výrobku. [15]

V systému vystupují jednotlivé subjekty:

- Kalibrační pracoviště

Zajišťuje testovací a měřicí zařízení, nástroje nebo kalibry (TME). Přiděluje evidenční čísla a označuje jimi TME. Stará se o měřidla, vede a řídí jejich evidenci nebo stanovuje nákup a servis měřidel v podniku.

- Pracovníci pověřeni kalibracemi

Přebírají a zařazují nově zakoupená zařízení, vedou evidenci, sjednocují plánování, vyhotovují požadavky na zařízení a opravy. Provádějí inventuru podnikových měřidel.

- Uživatel přístroje (oddělení)

Využívá pouze evidovaná a ověřená nebo kalibrovaná měřidla. Provádí údržbu a ochranu testovacích a měřících zařízení (v případě, že jde o zvláštní údržbu, žádá uživatel kalibrační pracoviště). Iniciuje pro nákup testovacích a měřících měřidel. Zadává požadavky na opravy a vyřazení měřidel.

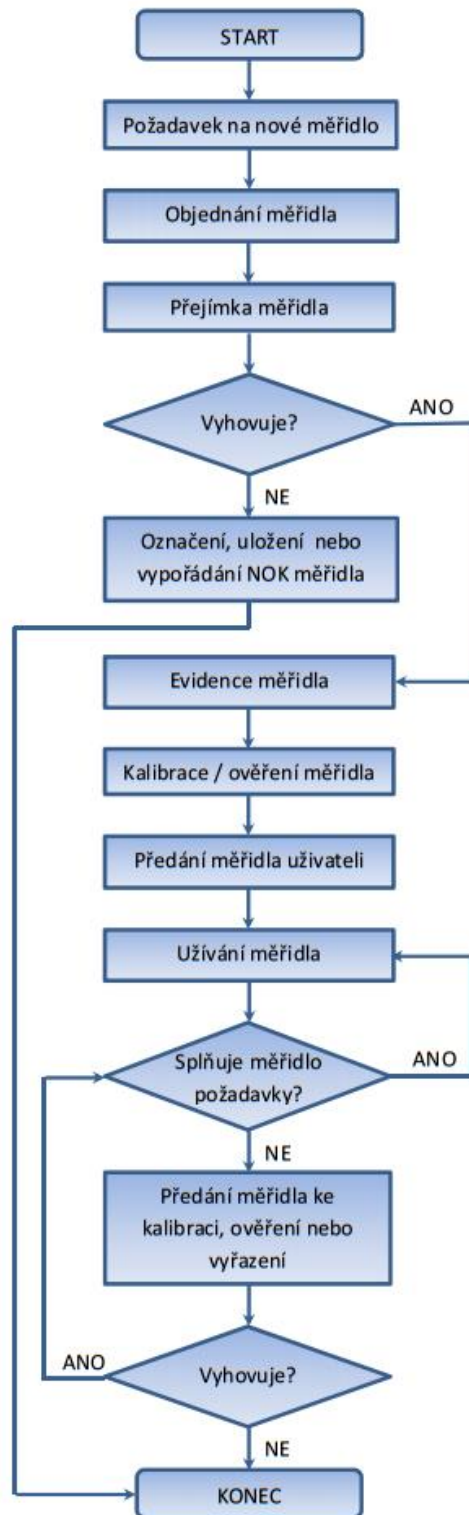
- Vedoucí oddělení

Dohlíží na systémové provádění úkonů souvisejících s manipulací s TME, dohlíží na zabezpečení oprav, kontroluje požadavky na nákup nových měřidel.

- Vedoucí oddělení kvality

Schvaluje požadavky pro vyřazení zařízení, také schvaluje identifikaci, kalibrační intervaly a třídy přesnosti měření pro zajištění kvality.

Schvaluje návrh kalibračního pracoviště a provozovatele strojních zařízení a technologických celků, zařazení měřidel zabudovaných ve jmenovaných zařízeních. [15]



Obrázek 8 Vývojový diagram [15]

3 ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ MSA

S analýzou MSA se setkáváme nejčastěji v automobilovém průmyslu, a tam můžeme také hledat počátky provádění této analýzy. Již v roce 1989 společnost Ford publikovala dokument o vývoji měření, který obsahoval dvě specifické procedury: Type - 1 a type - 2, dodnes používané metody. Následovaly je další společnosti z automobilového průmyslu. Už v roce 1990 AIAG (Automotive Industry Action Group) vydalo první edici AIAG MSA příručky, zaměřené na standardizaci této metody. Také vypracoval první brožuru týkající se vývoje měřicího systému v roce 1990. [16]

V roce 1995, krátce po vydání QS9000, AIGA přichází s průvodcem MSA, jedná se o jakousi referenční příručku k normě QS9000. Byl to velký krok vpřed, ovšem dnešní MSA čtvrté generace pracuje s jinými postupy. Čtvrté vydání MSA, která neobsahuje type - 1, jež mnohé podniky využívají. Různé korporátní společnosti pracovaly se svými průvodci, které se stále častěji odkazovaly na AIGA MSA. [16]

V roce 1999 byla zveřejněna norma ISO 14 253 pro výpočet nejistoty měření vzhledem k posuzování shody. Když se AIGA v té době nepodařilo standardizovat nové manuály, byl vytvořen průvodce pod záštitou Q-DAS® a mnoho podniků zakomponovalo nové postupy do svých procesů. Současně byla referenční příručka AIAG předmětem dalšího vývoje. V roce 2002 AIGA publikoval 3. vydání MSA s výraznými změnami. Ovšem i 3. vydání mělo hodně nedostatků, nezohledňovalo vliv na životní prostředí a vliv zkušební části (např.: vady tvaru) v celkovém vyhodnocení procesu měření. [16]

V roce 2003 VDA Svazek 5 publikovalo svůj dokument, které sloužil jako standard pro Volkswagen. Cílem dokumentu bylo celkové hodnocení procesu. Ale podle pokynu VDA zůstal AIGA neměnný. V roce 2010 bylo vydáno 4. vydání MSA, které obsahovalo malé množství změn, které byly ovšem naprosto zásadní. VDA prošlo v té době také značnými změnami, a tak měly mnohé podniky problém sjednotit korporátní směrnice, AIGA a VDA. Docházelo tak k dalším drobným změnám napříč dokumenty vedoucím často různými směry. [16]

Ford v roce 2012 publikuje „Gauging Application Specification“, tato příručka nepřichází se zásadními změnami, ovšem jako první pracuje s vlivem teploty. Naproti tomu VDA 5 svazek 5 publikoval pouze nepatrné změny. Společnosti Daimler a BMW vydaly v roce 2013 nové směrnice. Obě tyto směrnice výslovně odkazovaly na VDA svazek 5. Kromě toho norma ISO 14253 byla předmětem úprav týkajících se zohlednění nejistoty měření při posuzování shody. Příloha 1 ukazuje časovou osu, výše popsaného vývoje MSA včetně důležitých událostí. [16]

V příloze 2 je vidět vývoj důležitých standardů od roku 2014. Přesto, že referenční příručka AIAG MSA stále neobsahuje některé metody, které využívají podniky automobilového průmyslu. Alespoň některé části automobilového průmyslu již realizovaly obsah VDA 5. Přístup VDA 5 rovněž poskytuje odpovědi uvedené v ISO 14 253. Stojí za zmínku i další významný dokument vydaný v roce 2013, známý jako VDI / VDE 2600. Tato směrnice se zabývá validací procesů jednotlivě, ale také skupinově. [16]

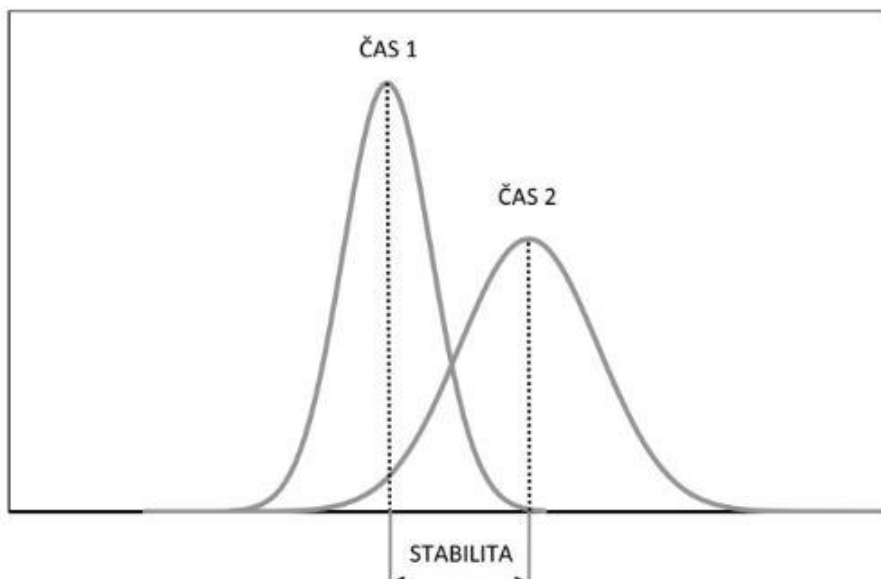
MSA je analýza, která má za cíl kvantifikovat rozdílnost měření. Vychází z principu rozhodnutí na základě faktů. Vyžaduje to, aby byla efektivně a správně určena rozhodnutí, která budou vycházet z dat a informací. Analyzuje, zda je měření reprodukovatelné a opakovatelné. Pro tato fakta jsou nezbytné naměřené údaje všech znaků kvality daného výrobku či služby. S tím souvisí i kvalita měřicího systému, která musí být vyhovující, aby mohla poskytovat kvalitní údaje pro zlepšování výrobního systému. K této problematice hovoří norma ČSN EN ISO 10012:2003, která požaduje, aby výkonové charakteristiky systému měření byly identifikovány a kvantifikovány, pro daný typ měření. Cílem metody je dosáhnout přesnějšího měření. Běžně lze takové studie provádět pomocí několika metod:

- požadavky odběratelské organizace,
- náročnost a komplexnost jednotlivých metodik,
- specifika výrobních procesů dané organizace.

Vedle analýzy systému měření můžeme dále pracovat s metodou Vhodnosti výrobních procesů (VDA 5). [17] [18]

3.1 Stabilita

Zjištění stability by mělo být provedeno nejprve, protože je základem pro objektivní zjištění dalších statistických vlastností systému měření. Stabilita představuje celkovou variabilitu měření jednoho konkrétního znaku kvality v dlouhém časovém úseku. Stabilitu lze posuzovat na základě změny strannosti v čase. Analýzu stability můžeme získat tak, že provádíme v pravidelných intervalech 3, 4 nebo 5 opakovaných měření 3 vzorků reprezentujících celou výrobní produkci. Po nabytí těchto dat, je dle postupu nejlépe vytvořit dva regulační diagramy \bar{x}, R pro variační rozpětí a průměr. [17] [19] [20]



Obrázek 9 Stabilita systému měření [17]

3.2 Strannost

Strannost je možné vyjádřit jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem z výsledků opakovaného měření a přijatou referenční hodnotou. Vyhodnocení strannosti nemusí být vždy relevantní pro statistické výpočty, proto se musí vyhodnotit; je statisticky významnou. Vyhodnocení statistické významnosti provedeme tak, že nejprve vybereme vzorky o známých referenčních hodnotách (etalony, referenční vzorky). Tyto vzorky by měly představovat střed výrobního rozpětí. Za správných podmínek opakovatelnosti, je pak každý

vzorek změřen nejméně desetkrát. Na závěr se vypočte z naměřených hodnot bodový odhad strannosti podle vzorce,

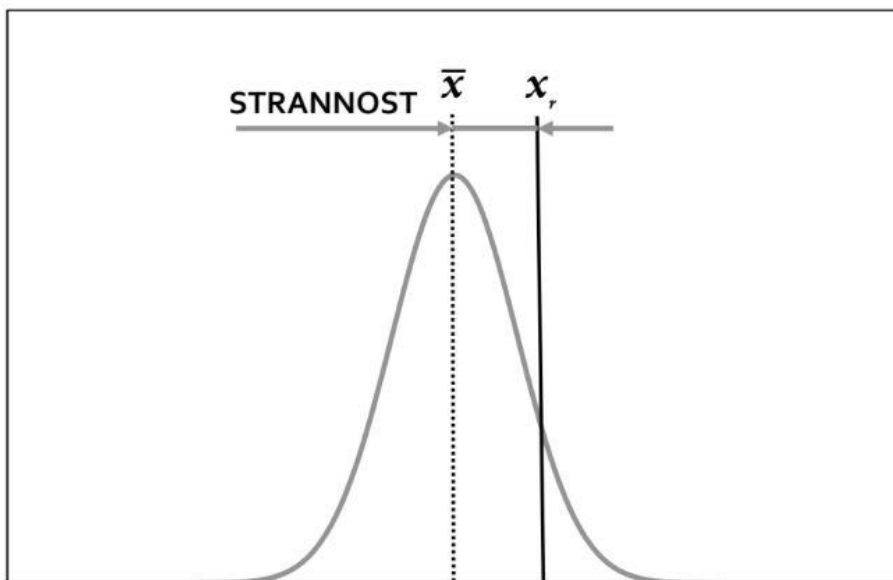
$$\hat{B}i = \bar{x} - x_r$$

(1 Bodový odhad strannosti) [17]

kde:

\bar{x} – aritmetický průměr měření

x_r – referenční hodnota vzorku



Obrázek 10 Strannost systému měření [17]

Uvedený vzorec neumožňuje určit, zda je hodnota strannosti statisticky významná, a proto je nutné ověřit vyhovující opakovatelnost. Díky výpočtu směrodatné odchylky měření stejného znaku, můžeme určit procentuální podíl opakovatelnosti z celkové variability (% EV). [17] [18]

$$\%EV = \frac{s}{TV} \cdot 100 = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{TV} \cdot 100$$

(2 Procentuální podíl opakovatelnosti) [17]

kde:

s – výběrová směrodatná odchylka

TV – celková variabilita odhadovaná pomocí směrodatné odchylky výrobního procesu [17] [18]

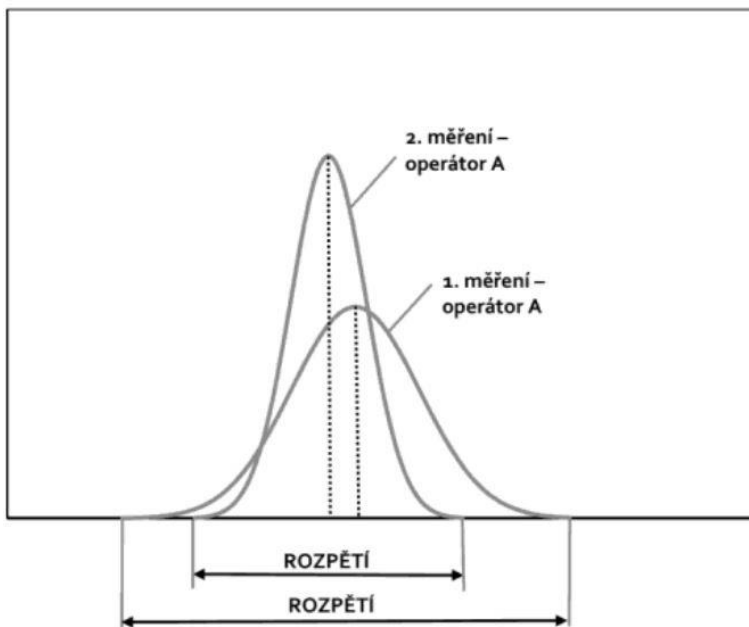
3.3 Linearita a uniformita

Rozdíl mezi hodnotami strannosti se nazývá linearita. Protože vycházíme ze strannosti, je i zde nutné vypočítat %EV. Pracovní rozsah by měl obsahovat alespoň pět vzorků se známou referenční hodnotou. Poté by měl být spočten bodový odhad strannosti při alespoň desetkrát opakovaném měření. Následně má být sestrojen graf v závislosti hodnot odchylek na referenční hodnotě, tento graf umožní určit, zda mezi naměřenými a referenčními hodnotami závisí na velikosti naměřené hodnoty. Graf můžeme proložit přímkou a pomocí testu vyhodnotíme významnost jednotlivých regresních koeficientů. Za předpokladu, že odhady regresních koeficientů nejsou statisticky významné je linearita přijatelná. [17]

Uniformita ukazuje změnu opakovatelnosti v rozsahu měření. Je možné ji vyhodnocovat dohromady s linearitou nebo současně s analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. [17]

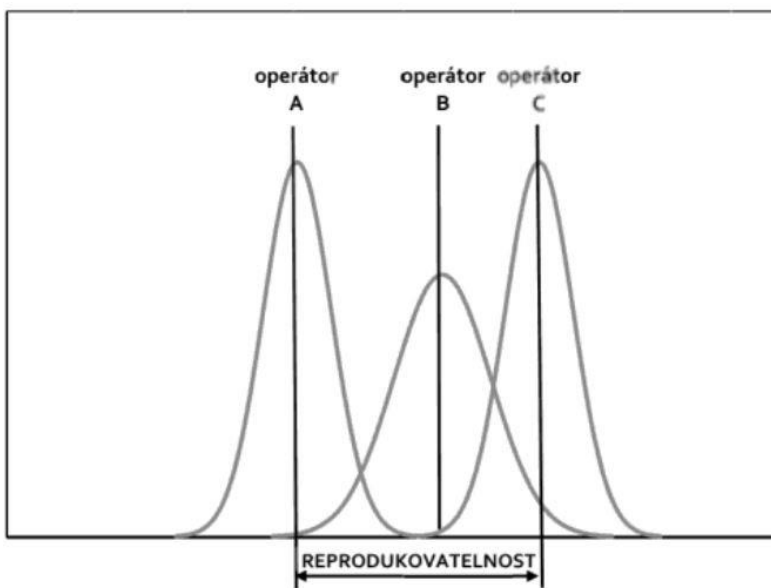
3.4 Opakovatelnost a reprodukovatelnost

Opakovatelnost vyžaduje určité podmínky, tedy že na sobě nezávislá měření získává stejný operátor, za použití stejné metody, stejného měření a v co nejkratším čase. Za těchto podmínek je opakovatelnost systému měření charakteristikou variability měření stejného výrobku. [17] [18]



Obrázek 11 Opakovatelnost systému měření [17]

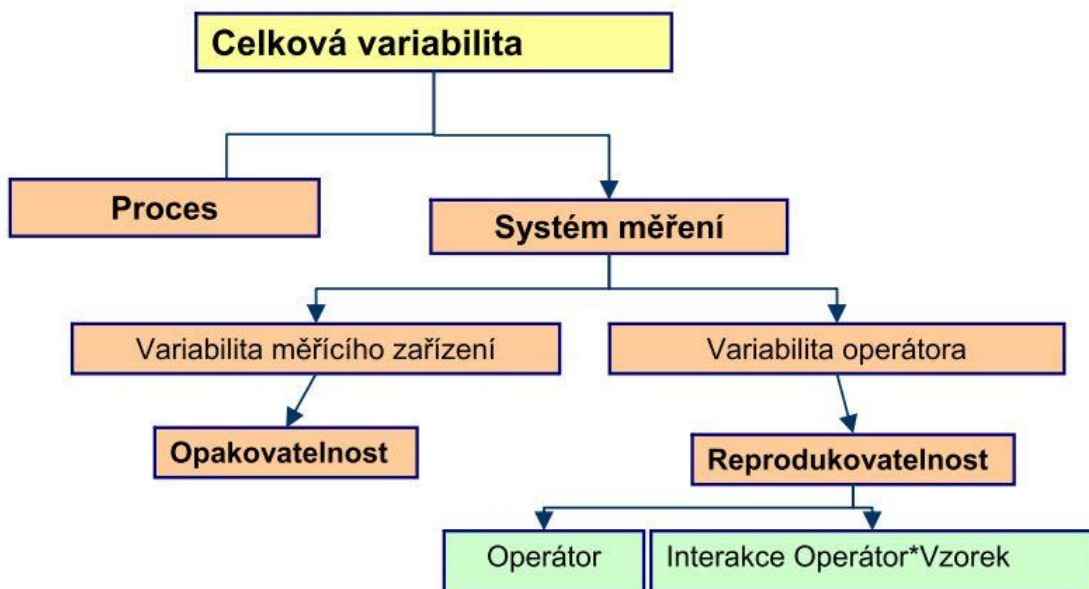
Na rozdíl od toho reprodukovatelnost probíhá za různých podmínek, měření jsou mnohdy prováděna různými operátory. Výjimečně měří jeden a tentýž operátor, ale odlišnými měřidly. Reprodukovatelnost je variabilita středních hodnot opakovaných měření stejného znaku. Běžně se ovšem často využívá kombinace opakovatelnosti a reprodukovatelnosti v podobě metody Gage R&R, je to proto, že často nelze vytvořit stabilní podmínky. [17] [18]



Obrázek 12 Reprodukovatelnost systému měření [17]

3.5 Gage R&R

V jakémkoliv systému měření existují rozdíly v datech měření a v každém výrobním procesu najdeme rozdíly. Každé měření sebou nese určitý stupeň variability nebo chyby měření. Metoda Gage R&R je velmi užitečná metoda pro vyhodnocení schopnosti měřicího systému. Porozumění Gage R&R, nám umožňuje ukázat pravděpodobnost chyby měření, a také dokáže nalézt její zdroj. Když víme, kde chyba vzniká, můžeme podniknout příslušná opatření a zlepšit kvalitu údajů. [17] [18]



Obrázek 13 Rozdělení celkové variability zaznamenaných dat [20]

Podle dostupné literatury, se nejčastěji se provádějí následující charakteristiky:

$$\%R\&R = \frac{S_{measurement\ system}}{S_{total}}$$

(3 Srovnání variability systému měření s celkovou variabilitou) [20]

$$P/T = \frac{6 \cdot S_{measurement\ system}}{USL - LSL}$$

(4 Srovnání variability systému měření s tolerančním rozpětím) [20]

K těmto uvedeným charakteristikám nutno doplnit, že:

- Pokud R&R% resp. P/T < 10 % je systém měření přípustný k procesu, resp. k tolerančnímu poli.

- 10 % <R&R% resp. P/T <30 % je systém podmíněně přípustný, tj. závisí na ceně změny a na významnosti sledované veličiny
- 10 % <R&R% resp. P/T >30 % systém není přípustný k procesu, resp. k tolerančnímu poli. [20] [21]

Jestliže bude opakovatelnost podstatně vyšší než reprodukovatelnost, může to znamenat problém s měřidlem nebo nadměrnou variabilitu měřených objektů. Jestliže bude vyšší reprodukovatelnost, chyba bude pravděpodobně na přesnosti, anebo na operátorovi. Pokud se opakovatelnost a reprodukovatelnost zásadně neliší, znamená to, že je měřicí systém v pořádku. [21]

Podrobný postup vyhodnocování Gage R&R se nachází v následující kapitole 3.6.1.

3.6 MSA v KMCZ

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.3, veškeré postupy se primárně řídí podle nadřazeného laboratorního řádu. Pokud se týká MSA, tak slouží primárně pro pravidelnou kontrolu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. O tom, jak často se tyto pravidelné kontroly provádí, hovoří tzv. Kontrolní plán. [22]

KMCZ pracuje s dokumentem, který se konkrétně zabývá vyšetřováním způsobilosti měřidla Gage R&R. S tímto postupem zároveň souvisí také dokumenty popisující uchovávání záznamů, a zároveň identifikaci a kalibraci měřidel. Za kontroly zodpovídá kalibrační laboratoř a vedoucí laboratoře, který ji zároveň řídí. [22]

3.6.1 Postup a výpočet

KMCZ vychází z obecně platných definic a výpočetních vztahů, které se v metodě MSA používají. Standardně se vychází z 2 až 3 operátorů, kteří přeměřují 10-15 vzorků, z praxe vyšší počet měřených vzorků vykazuje relevantnější a kvalitnější výsledky. Celé měření operátoři opakují dvakrát nebo třikrát. [22]

Tabulka 2 Důležité koeficienty [22]

Počet vzorků <i>Trial No</i>	2	3
K_1	4,56	3,05

D_4	3,27	2,58
Počet operátorů <i>Operátor No</i>	2	3
K_2	3,65	2,70

Vztah pro horní regulační mez:

$$UCL = D_4 \cdot R$$

(5 Horní regulační mez) [22]

D_4 je koeficientem z tabulky 2 a R je střední hodnota rozptylu pro všechna měření všemi operátory.

$$R = \frac{R_a + R_b + R_c}{n}$$

(6 Střední hodnota rozptylu) [22]

R s indexy jsou rozptyly jednotlivých operátorů a n reprezentuje jejich počet

$$R_{op} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{imax} - x_{imin})}{m}$$

(7 Střední hodnota rozptylu pro odlišný počet opakování měření) [22]

kde op je a, b nebo c a m je počet opakování měření

EV , tedy variabilitu zařízení neboli opakovatelnost, vypočteme takto:

$$EV = R \cdot K_1$$

(8 Opakovatelnost) [22]

kde K_1 je koeficient z tabulky 2.

Následuje výpočet reprodukovatelnosti, ta se vypočítá tímto způsobem:

$$AV = \sqrt{(x_{dif} \cdot K_2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}}$$

(9 Reprodukovatelnost) [22]

kde r je počet kusů. V případě, že je výraz pod odmocninou záporný, potom $AV=0$. $x_{dif} = (x_{max} - x_{min})$ je maximální rozdíl středních hodnot měření jednotlivých operátorů. [22]

Poté se již počítá celková opakovatelnost a reprodukovatelnost Gage R&R takto:

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

(10 Gage R&R) [22]

Hodnoty jednotlivých spočtených vlastností se obvykle počítají v procentuálním vyjádření se započtením tolerance T. [22]

Pro procentuální vyjádření vycházíme tedy z těchto vztahů:

$$\%EV = \frac{EV}{T} \cdot 100$$

(11 Opakovatelnost procentuálně) [22]

$$\%AV = \frac{AV}{T} \cdot 100$$

(12 Reprodukovatelnost procentuálně) [22]

$$\%R \& R = \frac{R\&R}{T} \cdot 100$$

(13 Gage R&R procentuálně) [22]

3.6.2 Sběr dat

Aby provádění analýzy bylo průkazné, je nutné, aby bylo měření uskutečněno nezávislými operátory. V tomto případě na této zkoušce pracovala trojice operátorů, kteří měření prováděli třikrát pro 15 vzorků. Měřili silentblock, tedy součást, jenž tlumí menší vibrace.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty-šířka silentblocku

Operátor 1			Operátor 2			Operátor 3		
1. měření	2. měření	3. měření	1. měření	2. měření	3. měření	1. měření	2. měření	3. měření
39,82	39,82	39,81	39,82	39,81	39,82	39,82	39,82	39,82
39,6	39,6	39,61	39,61	39,61	39,61	39,6	39,6	39,6
39,77	39,77	39,77	39,77	39,77	39,78	39,77	39,77	39,77
39,81	39,81	39,81	39,81	39,81	39,81	39,81	39,8	39,81
39,76	39,76	39,77	39,77	39,76	39,77	39,76	39,76	39,76
39,8	39,8	39,81	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8
39,75	39,75	39,75	39,76	39,75	39,75	39,75	39,75	39,76
39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83	39,83
39,76	39,76	39,76	39,76	39,77	39,76	39,77	39,77	39,76
39,73	39,73	39,73	39,73	39,73	39,73	39,73	39,73	39,72
39,71	39,71	39,7	39,71	39,71	39,71	39,71	39,71	39,71

39,75	39,75	39,75	39,75	39,76	39,75	39,75	39,75	39,75
39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,81
39,79	39,79	39,79	39,8	39,79	39,79	39,79	39,79	39,79
39,68	39,68	39,68	39,68	39,67	39,68	39,68	39,68	39,68

3.6.3 Zhodnocení dat

Pracoval jsem s variabilitou procesu $6s = 0,13$, což může vykazovat poměrně přísné hodnocení a šířkou tolerančního pole $T = 0,2$. Vycházel jsem tak z všeobecně používaných postupů.

Tabulka 4 Zhodnocení dat 1

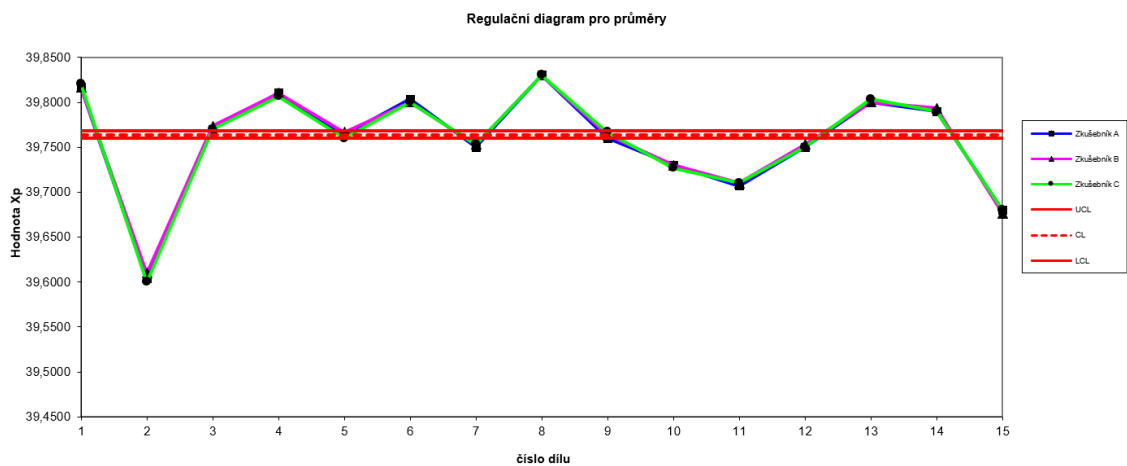
Výchozí statistiky	Absolutní hodnoty ukazatelů variability						Procentuální část									
	Opakovatelnost:						variability procesu				tolerančního pole					
Průměrné rozpětí:	Opakovatelnost:						Opakovatelnost:				Opakovatelnost:					
\bar{R}	0,0040	EV	0,0024	$EV = \bar{R} \cdot K_1$			% EV	10,91	%EV=100.(EV/TV)		% EV	7,09	%EV=100.(EV/(T/6))			
Diference průměrů:	Reprodukovatelnost:						Reprodukovatelnost:				Reprodukovatelnost:					
\bar{X}_{DIFF}	0,0016	AV	0,0007	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2 / (n \cdot r))}$			% AV	3,39	%AV=100.(AV/TV)		% AV	2,20	%AV=100.(AV/(T/6))			
	Opakovatelnost & reprodukovatelnost:						Opakovatelnost & reprodukovatelnost:				Opakovatelnost & reprodukovatelnost:					
	GRR	0,0025	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			% GRR	11,42	%GRR=100.(GRR/TV)		% GRR	7,42	%GRR=100.(GRR/(T/6))				
Rozpětí mezi \bar{X}_p :	Proměnlivost dílu:						Proměnlivost dílu:				Proměnlivost dílu:					
R_p	0,2256	PV	$PV = R_p \cdot K_3$			% PV		%PV=100.(PV/TV)		% PV		%PV=100.(PV/(T/6))				
	Celková proměnlivost:						ndc=1.41(PV/GRR)				Počet kategorií, které lze spolehlivě rozlišit systémem měření (musí být min. 5)					
	TV		$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$			ndc	12,3	X	ndc>5 rozlišitelnost vyhovuje		ndc<5 rozlišitelnost nevyhov.					
Počet měření (r)	2	3	Poče. zkoušených (n)	2	3	Počet dílů	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K_1	0,8862	0,5908	K_2	0,7071	0,5231	K_3	0,3742	0,3534	0,3375	0,3249	0,3146	0,3059	0,2985	0,2921	0,2864	0,2814

Podle tabulky 4 je vidět, že opakovatelnost $\% EV = 10,91$ je vyšší než reprodukovatelnost $\% AV = 3,39$. To může znamenat, že je nějaký problém s měřidlem nebo s nadměrnou variabilitu měřených objektů. GRR neboli opakovatelnost a reprodukovatelnost vychází 11,42 % je to mezi 10 a 30 %, to znamená, že systém je podmíněně přípustný. Podmíněně přípustný systém není ideální, na druhou stranu získané hodnoty GRR se pohybují na jejich dolní hranici.

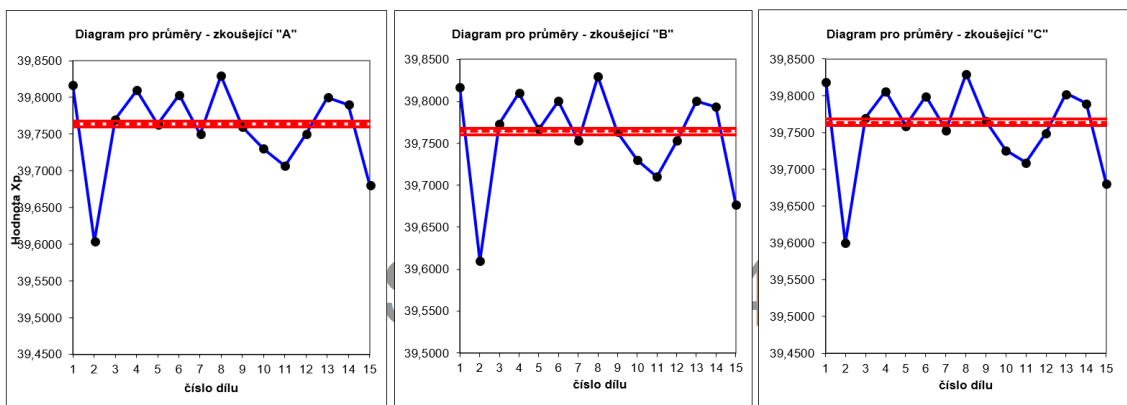
Tabulka 5 Regulační meze

Č. dílu	Xp			Regulační meze pro Xp			R			Regulační meze pro R			\bar{X}_p	39,7641
	A	B	C	UCL	CL	LCL	A	B	C	UCL	CL	LCL		
1	39,8167	39,8167	39,8200	39,7682	39,7641	39,7600	0,0100	0,0100	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000	Počet měření (r)	A_2
2	39,8033	39,8100	39,6000	39,7682	39,7641	39,7600	0,0100	0,0000	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000	2	1,88
3	39,7700	39,7733	39,7700	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0100	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000	3	1,023
4	39,8100	39,8100	39,8067	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0000	0,0100	0,0103	0,0040	0,0000	Počet měření (r)	D_4
5	39,7633	39,7667	39,7600	39,7682	39,7641	39,7600	0,0100	0,0100	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000	2	3,268
6	39,8033	39,8000	39,8000	39,7682	39,7641	39,7600	0,0100	0,0000	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000	3	2,574
7	39,7500	39,7533	39,7533	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0100	0,0100	0,0103	0,0040	0,0000	počet bodů mimo regulační meze	
8	39,8300	39,8300	39,8300	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000	26	
9	39,7600	39,7633	39,7667	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0100	0,0100	0,0103	0,0040	0,0000	% bodů mimo regulační meze	
10	39,7300	39,7300	39,7267	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0000	0,0100	0,0103	0,0040	0,0000	58%	
11	39,7067	39,7100	39,7100	39,7682	39,7641	39,7600	0,0100	0,0000	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000		
12	39,7500	39,7533	39,7500	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0100	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000		
13	39,8000	39,8000	39,8033	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0000	0,0100	0,0103	0,0040	0,0000		
14	39,7900	39,7933	39,7900	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0100	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000		
15	39,6800	39,6767	39,6800	39,7682	39,7641	39,7600	0,0000	0,0100	0,0000	0,0103	0,0040	0,0000		

Pokud se týká regulačních mezí jsou přísně nastaveny, a podle tabulky 5 je 58 % bodů mimo regulační meze, ovšem operátoři se mezi sebou shodují, to poukazuje na nadměrnou variabilitu měřených objektů. Shoda je znázorněna na obrázku 14. Nicméně, také to znamená, že měřidlo má dostatečnou rozlišitelnost, respektive práh citlivosti (jestliže 50 % bodů a více je mimo regulační meze). Pro grafické znázornění slouží graf na obrázku 14, který zachycuje všechny operátory současně a obrázek 15 ukazuje jednotlivé zkoušející zvlášť.

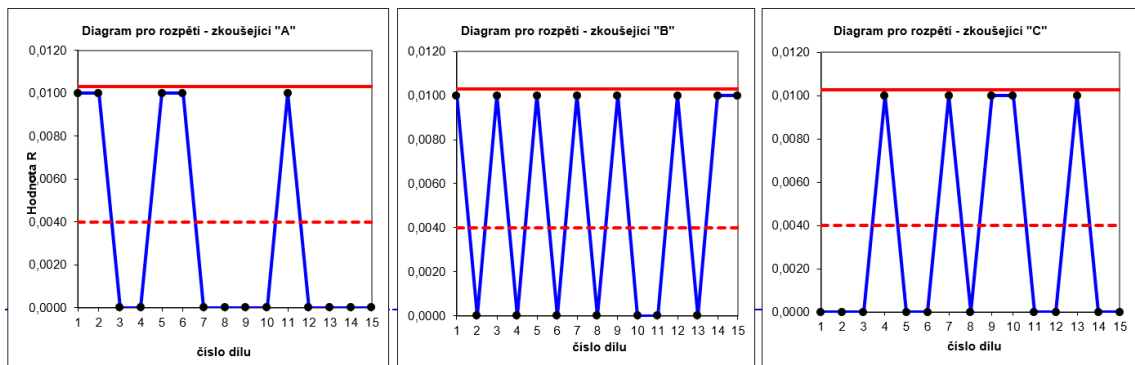


Obrázek 14 Regulační diagram pro průměry



Obrázek 15 Regulační diagram pro průměry jednotlivých zkoušejících

Obrázek 16 ukazuje diagramy pro rozpětí jednotlivých operátorů zvlášť pro všechny díly. Pro tento případ měření posuvkou není příliš vypovídající, naznačuje tak již spočtené rozpětí v tabulce 5.



Obrázek 16 Diagram pro rozpětí "A" "B" "C"

V případě volby mírnější variability procesu, tedy T (pouze tolerance), je výsledek analýzy znatelně příznivější. Pro měření posuvným měřítkem, je tato volba patrně vhodnější než v přecházejícím případě. Jak je vidět v tabulce 6, pro tento případ vycházejí hlavní parametry, tedy opakovatelnost $\%EV=7,06$ a reprodukovatelnost $\%AV=2,2$, celková $\%GRR=7,42$. Takže proces je způsobilý, protože je výsledek GRR v rozmezí 0-10 %.

Tabulka 6 Zhodnocení dat 2

Výchozí statistiky	Absolutní hodnoty ukazatelů variability					Procentuální část										
						variability procesu					tolerančního pole					
Průměrné rozpětí:	Opakovatelnost:					Opakovatelnost:					Opakovatelnost:					
\bar{R}	0,0040	EV	0,0024	$EV = \bar{R} \cdot K_1$		% EV	7,06	$\%EV=100 \cdot (EV/TV)$			% EV	7,09	$\%EV=100 \cdot (EV/(T/6))$			
Diference průměrů:	Reprodukovatelnost:					Reprodukovatelnost:					Reprodukovatelnost:					
\bar{X}_{DIFF}	0,0016	AV	0,0007	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2 / (n \cdot r))}$		% AV	2,20	$\%AV=100 \cdot (AV/TV)$			% AV	2,20	$\%AV=100 \cdot (AV/(T/6))$			
	Opakovatelnost & reprodukovatelnost:					Opakovatelnost & reprodukovatelnost:					Opakovatelnost & reprodukovatelnost:					
	GRR	0,0025	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$		% GRR	7,42	$\%GRR=100 \cdot (GRR/TV)$			% GRR	7,42	$\%GRR=100 \cdot (GRR/(T/6))$				
Rozpětí mezi \bar{X}_p :	Proměnlivost dílu:					Proměnlivost dílu:					Proměnlivost dílu:					
R_p	0,2256	PV		$PV = R_p \cdot K_3$		% PV		$\%PV=100 \cdot (PV/TV)$			% PV		$\%PV=100 \cdot (PV/(T/6))$			
	Celková proměnlivost:					ndc=1.41(PV/GRR)					Počet kategorií, které lze spolehlivě rozlišit systémem měření (musí být min. 5)					
	TV		$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$		ndc	12,3	X	ndc>5 rozlišitelnost vyhovuje			ndc<5 rozlišitelnost nevyhov.					
Počet měření (r)	2	3	Poče. zkoušených (n)	2	3	Počet dílů	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K_1	0,8862	0,5908	K_2	0,7071	0,5231	K_3	0,3742	0,3534	0,3375	0,3249	0,3146	0,3059	0,2985	0,2921	0,2864	0,2814
Závěrečné vyhodnocení																
Způsobilost měřicího systému podle % GRR:					Kritérium		Způsobilost měřicího systému podle % GRR a ndc:					Max % GRR				
Měřicí systém je způsobilý					X		0 až 10 %		X			Měřicí systém je způsobilý				
Měřicí systém je podmíněně způsobilý							10 až 30 %					Měřicí systém je podmíněně způsobilý				
Měřicí systém je nezpůsobilý							nad 30 %					Měřicí systém je nezpůsobilý				

Takový výsledek je pro fungování procesu dobrý a jistě postačující. Opakovatelnost a reprodukovatelnost, jsou samozřejmě ve stále v tomtéž poměru. Tzn., že pokud chceme proces zlepšovat, je nutné se podle zjištěných dat zaměřit na nadměrnou variabilitu měřených objektů. V takovém případě lze upravit požadavky výkresové dokumentace a změnit technologický postup. To vše ovšem nezahrnuje ekonomické hledisko. Při upravení technologického postupu by bylo možné dosáhnout vyšší přesnosti, a tak snížit variabilitu vyrobených dílů (silentblocků). Ale pak nevyklučují výrazné zvýšení nákladů na

výrobu. Pravděpodobně by muselo dojít k nákupu nových strojů, anebo by se z důvodů větších požadavků proces výroby mohl zpomalit natolik, že by výrobní proces přestal být efektivní.

4 ZÁVĚR

Práce si vzala za cíl zhodnotit stávající systém MSA v KYB Manufacturing Czech s.r.o.

Nejprve jsem zpracoval a vysvětlil fungování firmy KMCZ jako takové, včetně historického kontextu, výrobního portfolia a cílů výroby.

S prováděním Analýzy systému měření je úzce spjat metrologický systém. Proto jsem rozebral soustavu jednotek SI a návaznost metrologického systému, v neposlední řadě jsem také popsal samotná měřidla jako: posuvné měřítko, mikrometr atd. Tuto problematiku jsem zpracoval i na základě konkrétního příkladu fungování metrologického systému na podnikové úrovni KMCZ. Včetně prostředků, které má podnik k dispozici. K tomu jsem využil podnikovou dokumentaci.

Od metrologie jsem následně přešel k MSA. Bylo třeba porozumět některým statistickým prvkům, s nimiž MSA pracuje. Bylo nutné rozebrat: stabilitu, strannost, linearitu, uniformitu, opakovatelnost a reprodukovatelnost. Zaměřoval jsem se také na Gage R&R, která je pro automobilový průmysl často využívanou metodou. Abych rozpoznal, jakým způsobem se tato problematika řeší v KMCZ, použil jsem interní dokumentaci podniku.

V části věnující se praktickému zkoumání jsem jako první sbíral data. Jednalo se o proměření průměrů silentblocků prováděné třemi operátory. Každý z nich měřil průměr na 15 dílech a měření třikrát opakoval. Nasbíraná data jsem hodnotil na základě v této práci předem popsaných principů Gage R&R. Systém po zhodnocení vyhověl a není tedy nutné ho měnit, ovšem prostor pro zdokonalení a zvyšování kvality tu je. Podle výsledků navrhuji zaměřit se na snížení variability vyrobených objektů. Tedy eventuelně pracovat na zpřísnění požadavků u výkresové dokumentace a následné upravení výrobního postupu.

5 CITOVANÁ LITERATURA

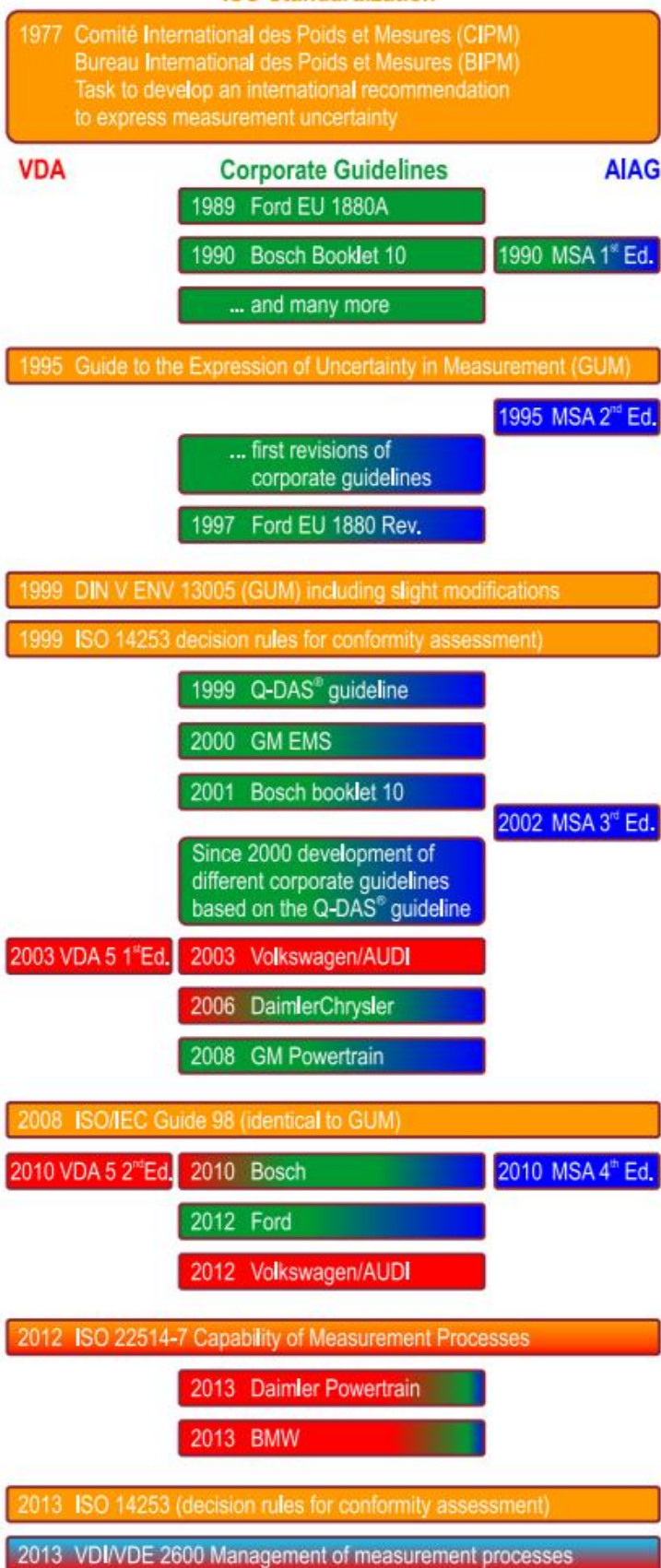
- [1] Seznámení s KMCZ. In: *KYB Manufacturing Czech, s. r. o.* [online]. Pardubice. [vid. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.kmcz.cz/o-nas.html>
- [2] HAMPL, Petr. *Support of technical education*. KYB Manufacturing Czech, s. r. o. Pardubice.
- [3] WALDA, T, ed. *Poka Yoke Systém*. Pardubice, 2018.
- [4] FILIP, Ludvík. *Efektivní řízení kvality*. Praha: Pointa, 2019. ISBN 978-80-907-5305-1.
- [5] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007, c1999. ISBN 978-800-1037-522.
- [6] *Národní metrologický systém České republiky* [online]. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [vid. 24. 1. 2020]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/narodni-metrologicky-system-ceske-republiky>
- [7] *Soustava SI a měření fyzikálních veličin* [online]. In: INFORMAČNÍ SYSTÉM MASARYKOVY UNIVERZITY. [vid. 23. 1. 2020]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/podzim2007/ZS1BK_ZFCH/um/3_Soustava_SI_a_mereni_fyzikalnich_velicin.pdf
- [8] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Strojírenská metrologie: studijní opora "Strojírenská metrologie"*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2723-0.
- [9] VEBER, Jaromír. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2007. Manažer. ISBN 978-80-247-1782-1.
- [10] *Státní etalony* [online]. Český metrologický institut. [vid. 3. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/statni-etalony>
- [11] *Etalony. Etalon je charakterizovaný takto: Druhy etalonů*: [online]. [vid. 13. 1. 2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/39748531-Etalony-etalon-je-charakterizovany-takto-druhy-etalonu.html>
- [12] FARAGO, Francis T. *Handbook of dimensional measurement*. 3rd ed. New York: Industrial Press Inc, c1994. ISBN 0-8311-3053-9.

- [13] *Metrologický příručka: pro přesné měřicí přístroje* [online]. Teplice: Mytutoyo [vid. 29. 1. 2020]. Dostupné z: <http://mitoro.cz/ke-stazeni/metrologicka-prirucka.pdf>
- [14] Třmenový mikrometr. In: *Vybavená dílna* [online]. © 2020. [vid. 22. 4. 2020]. Dostupné z: <https://vybavenadilna.cz/trmenovy-mikrometr-popis-mereni/>
- [15] *Řízená kalibrací: Systém: Podpůrný proces*. KYB MANUFACTURING CZECH S. R. O. Pardubice, 2018.
- [16] CONRAD, Stephen. *A Brief History of Measurement System Analysis* [online]. 2014 [cit. 2020-04-8]. Dostupné z: https://www.q-das.com/fileadmin/mediamanager/PIQ-Artikel/History_Measurement-System-Analysis.pdf
- [17] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-726-1561-2.
- [18] *Measurement System Analysis: MSA. 4*. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2010. ISBN 978-1-60-534211-5.
- [19] MICHAELSON a DIANE. *Measurement System Analysis, Overview* [online]. [cit. 3. 2. 2020]. DOI: 10.1002/9780470061572.eqr304. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9780470061572.eqr304>
- [20] BEDNÁŘ, Josef. *MSA-Analýza systému měření* [online]. (1M06047) [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: <http://www.statspol.cz/cs/wp-content/uploads/2013/05/request2006/sbornik/bednar.pdf>
- [21] *Gage R&R. Quality-One* [online]. [vid. 6. 2. 2020]. Dostupné z: <https://quality-one.com/grr/>
- [22] *Postup vyšetření způsobilosti měřidla RR, R0*. KYB MANUFACTURING CZECH s. r. o. Pardubice, 2018.






6 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Časový vývoj MSA společně s důležitými událostmi [16]	48
Příloha 2 - Vývoj standardizace od roku 2013 [16]	49

ISO Standardization



Příloha 1 - Časový vývoj MSA společně s důležitými událostmi [16]

ISO/IEC Guide 98 (GUM) ISO 14253	VDA Volume 5 (2 nd ed.) ISO 22514	Corporate guidelines about MSA („what people actually do ...“)	AIAG MSA 4 th ed.
<p data-bbox="300 304 521 465">/IEC Guide 98 (GUM) Combined standard measurement uncertainty Degrees of freedom Expands measurement uncertainty</p> <p data-bbox="300 472 521 546"><i>“It may therefore be necessary to develop particular standards based on this Guide that deal with [...] the various uses [...]”</i></p> <p data-bbox="300 553 521 627"><i>“Although this Guide provides a framework for assessing uncertainty, it cannot substitute for critical thinking, intellectual honesty and professional</i></p>	<p data-bbox="566 304 775 353">Capability of measurement systems</p> <p data-bbox="566 360 826 434">Consideration of type-1 study, linearity and other previous knowledge</p>	<p data-bbox="849 304 1023 331">Type-1 study - Cg/Cgk</p>	<p data-bbox="1131 304 1267 353">Bias study (sample or QCC)</p>
	<p data-bbox="566 472 775 521">-</p> <p data-bbox="566 528 826 627">Capability of measurement processes Consideration of type 2/3 study, temperature, test part, multipoint measurements, stability and other previous knowledge</p>	<p data-bbox="849 380 1062 430">Linearity in most cases only maximum bias)</p>	<p data-bbox="1131 380 1345 430">Linearity study (significant slope and intercept)</p>
		<p data-bbox="849 472 1023 499">Type-2 study - %GRR</p>	<p data-bbox="1131 465 1235 492">Gage R&R </p>
		<p data-bbox="849 510 1023 537">Type-3 study - %GRR</p>	<p data-bbox="1131 510 1235 537">and/or ndc </p>
		<p data-bbox="849 548 911 575">Stability</p>	<p data-bbox="1131 548 1209 575">Stability </p>
<p data-bbox="849 595 1098 645">(No influences from environment, test part, ...)</p> 	<p data-bbox="1131 595 1334 645">(No influences from environment, test part, ...)</p>		
<p data-bbox="288 678 502 772">ISO 14253: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications</p>	<p data-bbox="566 678 826 752">Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications</p>	<p data-bbox="849 678 984 752">No measurement uncertainty - no decision rules</p> 	<p data-bbox="1131 678 1267 752">No measurement uncertainty - no decision rules</p>

Příloha 2 - Vývoj standardizace od roku 2013 [16]