



Porovnání strategií pro analýzu systému měření

Bakalářská práce

Studijní program:

B6208 Ekonomika a management

Studijní obor:

Podniková ekonomika

Autor práce:

Jakub Šimek

Vedoucí práce:

Mgr. Jiří Rozkovec

Katedra ekonomické statistiky





Zadání bakalářské práce

Porovnání strategií pro analýzu systému měření

Jméno a příjmení: **Jakub Šimek**
Osobní číslo: E17000494
Studijní program: B6208 Ekonomika a management
Studijní obor: Podniková ekonomika
Zadávací katedra: Katedra ekonomické statistiky
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Stanovení cílů a formulace výzkumných otázek.
2. Metodika analýzy systému měření.
3. Charakteristika vybraného podniku.
4. Charakteristika použitých statistických metod a jejich aplikace.
5. Formulace závěrů a vyhodnocení výzkumných otázek.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

30 normostran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- HINDLS, R., S. HRONOVÁ, J. SEGER, J. FISCHER. 2007. *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing. ISBN 978-80-86946-43-6.
- *Analýza systémů měření: příručka*. 2010. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 9788002023265.
- *Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. 2011. Praha: Česká společnost pro jakost. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4.
- MSA. 2010. MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS: Reference Manual [online]. Fourth Edition. USA: General Motors Corporation [cit. 2019-10-15]. ISBN 978-1-60-534211-5. Dostupné z: http://www.rubymetrology.com/add_help_doc/MSA_Reference_Manual_4th_Edition.pdf
- ANDĚL, Jiří. 2019. *Statistické metody*. 5. vyd. Praha: Matfyzpress. ISBN 978-80-7378-381-5.
- PROQUEST. 2019. Databáze článků ProQuest [online]. Ann Arbor, MI, USA: ProQuest. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://knihovna.tul.cz/>

Konzultant: Ing. Jan Öhm, Ph.D.

Vedoucí práce:

Mgr. Jiří Rozkovec
Katedra ekonomické statistiky

Datum zadání práce:

31. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

31. srpna 2021

prof. Ing. Miroslav Žižka, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Jan Öhm, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 31. října 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

16. ledna 2021

Jakub Šimek

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku volby vhodné strategie pro analýzu systému měření. Úvodní část práce je věnována teoretickým východiskům k dané problematice. Je zaměřena na statistiku jako vědní obor, dále na její historický vývoj a následně je doplněna o metody, týkající se konkrétní činnosti, kterou je právě analýza systému měření. Dále jsou na základě odborné literatury porovnány rozdíly mezi dvěma hlavními metodikami, konkrétně MSA a VDA. V těchto podkapitolách jsou přesněji popsány a charakterizovány základní terminologické pojmy vyskytující se při řešení vhodnosti systému měření. Dále je zde zachycena metodika obou směrnic a jsou zde vytyčeny oblasti, na které se každá z nich zaměřuje. Praktická část je zaměřena na analýzu konkrétního procesu měření v podniku. Byla provedena měření a interpretace jednotlivých údajů na základě rozdílných metodik.

Klíčová slova

analýza systému měření, strannost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, nejistota, způsobilost

Annotation

This bachelor thesis is focused on the problematic of choosing suiting strategy for measurement system analysis. The theoretical part is focused on statistics as a stientific field and its historical development. There is further look into methods of measurement system analysis. On the basis of scientific literature, differences between two major methodologies are compared, specifically MSA and VDA. Terminology of measurement system analysis is further described. The practical part is focused on analysis of a specifics process of measurement in a company. Measurements and interpretation of information were made on basis of two different methodologies.

Keywords

measurement system analysis, bias, repeatability, reproducibility, uncertainty, capability

Poděkování

Tímto velice děkuji Mgr. Jiřímu Rozkovcovi za odborné vedení práce, jeho rady a postřehy. Dále děkuji vedení společnosti Magna za možnost vypracování bakalářské práce a poskytnutí veškerých potřebných údajů. V neposlední řadě děkuji Ing. Martinu Stránskému za jeho vstřícnost a ochotu při konzultaci práce.

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam zkratk a značek.....	12
Úvod.....	15
Teoretická část	17
1.1 Statistika.....	20
1.1.1 Statistické pojmy	20
1.2 Charakteristika analýzy systému měření.....	21
1.3 Systém měření	22
1.4 Proces měření	23
1.5 MSA - Analýza systému měření	25
1.5.1 Terminologie MSA	26
1.5.2 Metodika MSA.....	28
1.5.2.1 Variabilita šíře.....	28
1.5.2.2 Variabilita systému měření.....	32
1.5.2.3 Variabilita polohy.....	33
1.5.3 Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.....	36
1.6 VDA 5 – Vhodnost kontrolních procesů.....	37
1.6.1 Terminologie	38
1.6.2 Metodika VDA.....	42
1.6.3 Indexy způsobilosti Cg a Cgk	43
1.7 Porovnání MSA a VDA	44
1.8 Charakteristika podniku	46
1.8.1 Historie.....	46
1.8.2 Používané metody	47
2 Praktická část	48
2.1 Výstupní protokol.....	48
2.2 Průběh analýzy	48
2.3 Popis dílu, měřeného znaku a měřicího systému	50
2.4 Výpočet koeficientů Cg , Cgk	51
2.5 Výpočet GRR	54
2.6 Zhodnocení výsledků	60
3 Další možný problematický bod.....	62
Závěr	64
Seznam použité literatury.....	65

Seznam příloh.....	67
--------------------	----

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma postupných kroků projektu.....	18
Obrázek 2: Proces měření	24
Obrázek 3: Shodnost	28
Obrázek 4: Opakovatelnost	29
Obrázek 5: Reprodukovatelnost	29
Obrázek 6: Opakovatelnost a reprodukovatelnost.....	30
Obrázek 7: Konzistence	32
Obrázek 8: Uniformita	32
Obrázek 9: Stabilita.....	34
Obrázek 10: Strannost	35
Obrázek 11: Linearita.....	36
Obrázek 12: Průběh analýzy systému měření.....	49
Obrázek 13: Kontrolní fixační přípravek	50
Obrázek 14: Vyhodnocení koeficientů C_g a C_{gk} ve výstupním protokolu.....	52
Obrázek 15: Naměřené hodnoty pro výpočet C_g a C_{gk}	53
Obrázek 16: Naměřené hodnoty pro výpočet GRR.....	54
Obrázek 17: Vyhodnocení GRR	59

Seznam tabulek

Tabulka 1: Podmínky pro rozhodnutí o výsledku	37
Tabulka 2: Rozdíly vhodnosti MS a MP	38
Tabulka 3: Rozdíly v názvosloví metodik MSA a VDA.....	45
Tabulka 4: Koeficienty pro stanovení indexu způsobilosti	51
Tabulka 5: Výpočet průměru a rozpětí jednotlivých operátorů.....	55
Tabulka 6: Celkové průměry jednotlivých dílů.....	56
Tabulka 7: Hodnoty d_2^*	57
Tabulka 8: Porovnání výsledků vlastní studie /výstupní protokol	61

Seznam zkratek a značek

AIAG	akční skupina pro automobilový průmysl (<i>Automotive Industry Action Group</i>)
ANOVA	analýza rozptylu (<i>Analysis of Variation</i>)
ARM	metoda průměru a rozpětí (<i>Average and Range Method</i>)
AV	reprodukovatelnost, variabilita operátora
Bi	strannost (<i>Bias</i>)
BMW	německý výrobce automobilů, motocyklů a motorů (<i>Bayerische Motoren Werke</i>)
C_g, C_{gk}	indexy způsobilosti měřicího zařízení
d_2^*	výpočtový koeficient (tabulková hodnota)
EVO	opakovatelnost, variabilita zařízení
FMEA	analýza možných vad a jejich důsledků (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)
GRR	studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (<i>Gauge Repeatability and Reproducibility</i>)
GUM	průvodce pro vyjadřování nejistoty měření (<i>Guide of Expression of Uncertainty in Measurement</i>)
IA	interakce
INT	interakce mezi díly a operátory
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci (<i>International Organization of Standardization</i>)
k_1, k_2	konstanty pro určování indexů způsobilosti dle zvolené metodiky
LCL/LSL	dolní toleranční mez (<i>Lower Specification Limit</i>)
MPE	největší přípustná chyba
MS	kvadratický průměr
MSA	analýza systému měření (<i>Measurement System Analysis</i>)
ndc	počet rozlišitelných kategorií (<i>Number of distinct categories</i>)
NOK	kus, který není v pořádku

OK	kus, který je v pořádku
PV	variabilita dílů (<i>Parts Variation</i>)
QMP, QMS	limitní hodnoty procesu měření/měřicího systému (<i>Quality Management Plan or System</i>)
R	Rozpětí
R&R	opakovatelnost a reprodukovatelnost (<i>Repeatability and Reproducibility</i>)
RE	Rozlišení
RM	metoda rozpětí (<i>Range Method</i>)
SIPOC	procesní diagram (<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>)
SPC	statistická regulace procesu (<i>Statistical Process Control</i>)
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
s_x	směrodatná odchylka
T	Tolerance
TOL	rozmezí velikosti tolerance
TV	celková variabilita (<i>Total Variation</i>)
U	rozšířená celková standardní nejistota
□AV	reprodukovatelnost operátorů
UCL/USL	horní toleranční mez (<i>Upper Specification Limit</i>)
□EV	nejistota vlivem rozptylu měřidla
□GV	reprodukovatelnost upínacích přípravků
□IA	Interakce
□STAB	reprodukovatelnost rozdílných časových bodů
□OBJ	nehomogenita dílu
□T	nejistota způsobená teplotou
□□	kombinovaná nejistota měření
□□□	rozšířená nejistota procesu měření
VDA	sdružení automobilového průmyslu (<i>Verband der Automobil Industrie</i>)

$\bar{x}$	průměrná naměřená hodnota (aritmetický průměr)
x_{ref}	referenční (přijatá) hodnota
σ^2	rozptyl

Úvod

V dnešní době je kladen největší důraz na kvalitu a spolehlivost produktů a služeb. Konkrétně v automobilovém průmyslu, kterého se práce týká, je pomyslná laťka velmi vysoko. Odběratelé a zákazníci kladou nesmírně náročné požadavky na výrobce, kteří jsou nuceni splňovat nastavený standard, pokud chtějí uspět. Tento standard je dán souhrnem znaků jakosti vycházejících právě z požadavků zákazníka. Výrobní podniky se snaží tyto požadavky naplnit, a tím být konkurenceschopné. Právě kvůli těmto požadavkům na kvalitu a stálost produktu dochází k nespočtu měření a procesů kontroly či určování vhodnosti systému měření.

Tato práce se zabývá statistickými metodami, především těmi, které jsou využívány ve vybraném výrobním podniku. Tím je Magna Exteriors (Bohemia), s.r.o., jež vyrábí plastové díly pro automobilový průmysl. Sídlí v Liberci v Dolním Hanychově.

Hlavním tématem je analýza systému měření, která je hojně využívána k posouzení vhodnosti systému měření, a to především u velkosériové výroby. MSA nemá za úkol hledat zmetkové kusy vycházející z výrobního procesu, ale předejít všem možným chybám, rozdílnostem a nežádoucím odchylkám při procesu měření. Snaží se analyzovat příčiny vzniku těchto odchylek a systematických chyb, které by nesplňovaly přísné požadavky na systém měření i samotný výrobek. Právě proto je důležité zvolit tu nejsprávnější možnou strategii pro určování vhodnosti měření, která poskytne kvalitní informace a výsledky (data). Na základě naměřených dat se dá určit, zda musí být systém měření optimalizován, nebo je zapotřebí pořídit například kvalitnější měřidlo, případně provést jiné úpravy v procesu měření tak, aby bylo měření stabilní. S těmito analýzami začaly americké automobilky.

V organizačních strukturách firem se čím dál častěji objevují celá oddělení zabývající se právě touto problematikou. Management kvality má jako hlavní úkol zajistit kvalitu výrobního procesu a snaží se předejít chybám, maximalizovat spolehlivost výroby a minimalizovat náklady, ke kterým dochází mimo jiné i v souvislosti se zmetkovou výrobou. Proto je důležité zabývat se kvalitou naměřených dat. Ta jsou definována statistickými vlastnostmi získanými ze systému měření. Za data vysoké kvality jsou považována ta data, kde se naměřená hodnota pohybuje s nepatrnými rozdíly okolo pravé hodnoty. To znamená, že nepřesahuje stanovenou horní ani dolní mez tolerančního pole. Naopak pokud výsledné hodnoty měření přesahují dané meze, lze vyvodit závěr buď o nízké kvalitě dat, nebo že měřené výrobky nejsou v pořádku.

Cílem této práce je prozkoumat a porovnat základní strategie pro analýzu systému měření. V úvodní části jsou vysvětleny základy statistiky, co je analýza systému měření, samotný systém měření a souvislosti s ním spojené. Dílčím cílem je charakterizovat a vysvětlit systém měření na základě normy MSA, která je hojně využívána v zámoří na americké půdě. Druhým dílčím cílem je představit normu VDA 5, která je využívána především u nás v Evropě. Hlavními představiteli používající tento model jsou koncern Volkswagen Group a BMW. Dále je zmapována situace ve společnosti Magna Exteriors (Bohemia), s.r.o. a jsou vymezeny její silné a slabé stránky. Záměrem je představit konkrétní statistické metody a procesy, které se v této firmě používají a případně poukázat na možné prostory pro zlepšení.

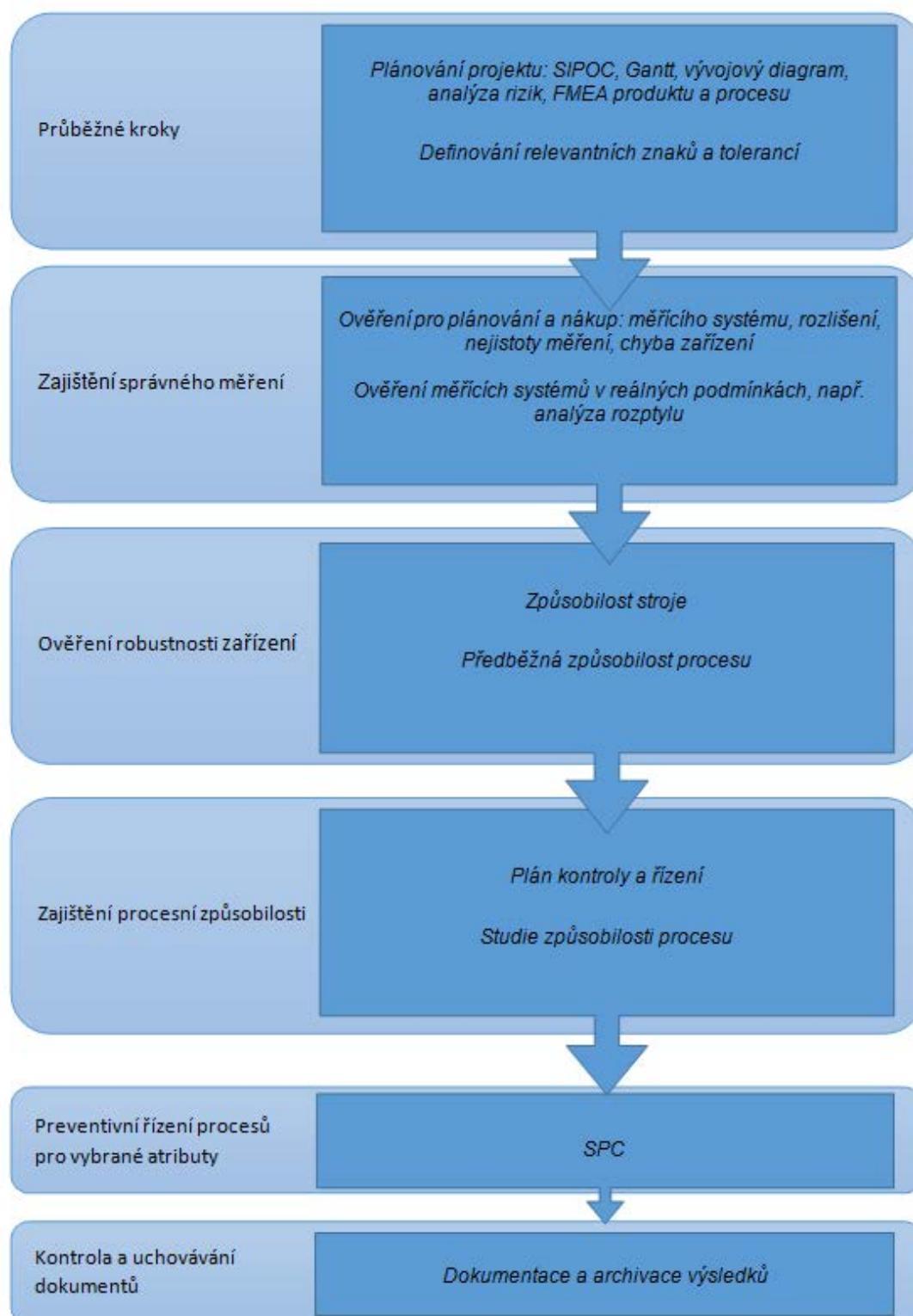
Tyto teoretické poznatky analytických technik jsou využity v praktické části k hodnocení současného stavu a systému, jaký je zaveden ve vybraném výrobním podniku z oblasti automobilového průmyslu. Na konkrétním případě bude provedena analýza vybraného systému měření. Závěrem práce bude posouzení dosažených výsledků a jejich využití do budoucna.

V důsledku vládních opatření vyvolaných šířením nemoci Covid-19 došlo k výraznému omezení výroby a zároveň pohybu externích osob ve společnosti Magna, kde probíhala praktická část této práce. Situace se opakovala krátce po uvolnění vládních opatření v okamžiku výskytu nemoci přímo ve společnosti Magna. Z tohoto důvodu nemohla proběhnout všechna plánovaná měření, proto je práce v praktické části zaměřena především na metodiku MSA, u které potřebná měření proběhla ještě před restriktivními opatřeními.

Teoretická část

Cílem této kapitoly je vysvětlit oblasti související se statistikou a analýzou systému měření. Nejprve je vymezena statistika jako vědní obor. Hlavním cílem této kapitoly je vysvětlení pojmů analýza systému měření, systém měření a dále v podkapitolách postupně přiblížit základní metodiky a vybrané typy norem využívané v tomto procesu. Nejprve je to již zmíněná americká norma MSA 4, dále pak evropská norma VDA 5. Dále budou vymezeny rozdíly mezi nimi a objasněny jejich výhody a nevýhody. Následuje představení vybraného podniku, kterým je Magna Exteriors (Bohemia), s.r.o., která souhlasila s poskytnutím všech potřebných údajů pro zpracování tohoto tématu.

Při návrhu a vývoji nového produktu probíhá proces, kdy se provádí celá řada analýz, měření a různých výpočtů pro dosažení optimálního výsledku. Analýza systému měření je jedna z metodik, která se používá v projektové fázi výrobku, konkrétně pro zajištění správného měření. Pro lepší orientaci v dané problematice a použitých statistických metodách slouží obrázek č. 1.



Obrázek 1: Schéma postupných kroků projektu

Zdroj: vlastní zpracování

Jak lze vyčíst ze schématu výše, projekt jako takový se vždy skládá z několika základních kroků. Prvním krokem je plán projektu, kde se pomocí vhodných technik zkoumá a modeluje samotný projekt. Mezi tyto techniky patří např.

- SIPOC, což je složenina ze začátečních písmen supplier – dodavatel, input – vstup, proces – proces, output – výstup a customer – zákazník. Nejčastější využití této techniky je při modelování procesů a jejich strukturalizaci.
- Ganttův diagram je druh pruhového diagramu, který má své využití především při řízení projektů pro grafické znázornění naplánované posloupnosti činností v čase.
- Vývojový diagram slouží jako grafické znázornění jednotlivých kroků procesu.
- Analýza rizik slouží jako varování a vytyčuje rizika, která mohou mít největší dopad na vznik ztrát a jiných problémů.
- FMEA je metodou, která hodnotí možné problémy a selhání jednotlivých kroků procesu. Princip této metody je založen na kvantifikaci častosti poruch, jejich závažnosti a snadnosti jejich detekce.

Dalším krokem je zajištění správného měření tedy problematika MSA. Tento krok je zároveň hlavním tématem práce a přímo ovlivňuje kroky následující. Podrobněji je postup zachycen v teoretické části práce.

Následující fází projektu je ověření robustnosti zařízení, pod kterou spadá způsobilost stroje a předběžná způsobilost procesu. S touto fází úzce souvisí fáze zajištění této způsobilosti.

Fází, navazující na předchozí úkony je statistická regulace procesu, statistické hodnocení a hodnocení způsobilosti strojů tzv. SPC. Tento modul je určen právě pro statistickou regulaci procesu, jejíž pomocí na základě vybraných vzorků lze odhalit příčiny variability a zmetkovosti jednotlivých kusů. Za pomoci SPC lze provádět statistickou regulaci měření a srovnávání, stejně jako hodnocení způsobilosti strojů.

Závěrečnou fází je kontrola a uchovávání získaných dokumentů, která uzavírá vývoj celého projektu.

1.1 Statistika

Název pochází z latinského „status“, což v překladu znamená stát. Tento název zprvu označoval obor (vědu), zabývající se pouze sběrem dat a informací o státu, jako jsou například počet obyvatel, výše daní, ekonomická situace a jiné. [17, 18]

Dnešní statistika je věda o zjišťování, zpracování, hodnocení a interpretaci číselných údajů pro potřeby rozhodování. Zkoumá stav a vývoj hromadných jevů a vztahů mezi nimi prostřednictvím hromadných pozorování. Smyslem statistiky je najít nejlepší a nejpoužitelnější informace a z nich vyvodit závěry. Statistické zjišťování a vyvozování závěrů na základě evidovaných dat je základem pro tuto vědní disciplínu. [17, 18]

1.1.1 Statistické pojmy

Dnes se lze na statistiku dívat třemi základními pohledy.

- jako na souhrn hromadných jevů vyjádřený pomocí slovních a číselných údajů
- jako na praktickou činnost, kde se sbírají, zpracovávají a vyhodnocují data o hromadných jevech
- jako na teoretickou disciplínu, která zkoumá zákonitosti hromadných jevů. To znamená souhrn vědeckých metod sběru dat a jejich následné zpracování a analyzování

Z toho lze vyvodit, že jedním z hlavních statistických pojmů jsou *hromadné jevy*, což jsou jevy vyznačující se opakovatelností a masovým výskytem. Tedy takové jevy, u kterých lze snadno shromáždit velký počet pozorování, se kterým lze následně pracovat a provádět potřebné analýzy.

Těmto hromadným jevům jsou přiřazeny *statistické jednotky*, které jsou vymezeny z hlediska věcného, prostorového a časového vnímání. Množinou všech zkoumaných statistických jednotek se stejnými vlastnostmi je *statistický soubor*. Ten se dělí na základní, nebo výběrový. *Základní statistický soubor* je typický tím, že obsahuje všechny zkoumané statistické jednotky a je zpravidla velice rozsáhlý. *Výběrový soubor* vznikne provedením takzvaného reprezentativního výběrového šetření právě ze základního souboru. Je to takový soubor, u kterého se vybere určitým způsobem vzorek, tedy pouze některé statistické

jednotky. Reprezentativní výběrová šetření mohou být buď záměrná (subjektivní, neboť závisí na úsudku odborníka), nebo náhodná. V tomto případě jde o pravděpodobnostní výběrové šetření. Vlastnosti statistických jednotek, které mohou být předmětem zkoumání, se nazývají *statistické znaky*. Jde například o hmotnost, rychlost, délku a tak dále. Různé hodnoty těchto znaků nazýváme obměnami, nebo variantami. [17, 18]

1.2 Charakteristika analýzy systému měření

Před získáváním a vyhodnocováním dat z výstupu výrobního procesu je nezbytně nutné provést analýzu systému měření, jejímž účelem je zjistit, zda jsou používané postupy a zařízení v procesu měření správné, a proto nepovedou k chybným závěrům. Chybnými závěry se v tomto případě rozumí nedostatečná přesnost a použitelnost naměřených údajů, kvůli kterým se nedá správně určit, zda je nastavený proces vhodný. Cílem MSA je určit a posoudit vhodnost procesu měření pro daný projekt. Tato metoda je v dnešní době hojně využívána především v různých odvětvích průmyslu. Čím je proces výroby a samotný výrobek složitější, tím je tato metoda potřebnější.

Analýza systému měření neboli MSA je analytickou studií, která vychází z naměřených dat. Jedná se o souhrn statistických metod k posouzení vhodnosti a způsobilosti systému měření. Musí být zjištěna tolerance a celková variabilita systému za účelem jeho stabilizace a vylepšení. Pomocí této analýzy lze zjistit, zda je systém měření za daných podmínek vyhovující či nikoli. Pomocí těchto faktů může pověřená osoba usoudit, zda je vybraná měřicí metoda správná, a také jestli je díky ní možno správně odlišit dobrý díl od špatného. Proto je důležitá kvalita dat. Pokud je kvalita nízká, pak i přínos této analýzy je malý a naopak. [4, 15, 16]

Data můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

1. *Atributivní data* jsou taková data, u kterých lze jednoznačně posoudit, zda je daný výrobek nebo jakákoli jiná měřená veličina v pořádku či nikoli. Pomáhají tedy odpovídat na konkrétní typ otázek, kterým jsou otázky uzavřené. Uzavřenými otázkami jsou pouze takové, na které lze jednoznačně odpovědět Ano/Ne. V této problematice se jedná především o rozhodnutí, jestli je měřený výrobek v pořádku (OK/NOK).

Tato data porovnává atributivní systém měření vzhledem k mezním hodnotám (etalonům, standardům). Při hodnocení vztahu mezní hodnoty a hodnoty naměřené se rozhoduje, zda měření vyhovuje daným mezím. Pokud ano, pak je přijato. V opačném případě nevyhovuje a je zamítnuto.

2. *Kvantitativní data* patří naopak do skupiny dat, ke kterým lze přiřadit konkrétní hodnotu, aniž by nějakým způsobem určovala a posuzovala správnost zkoumané veličiny.

1.3 Systém měření

Systém měření je chápán jako proces obsahující kombinaci všech možných aspektů měření. V případě ideálního systému měření by každá naměřená hodnota za každých okolností odpovídala přesně stanovenému zadání. Jinak řečeno každé měření by vždy odpovídalo etalonu. Jelikož je to prakticky nemožné, jsou pracovníci odpovídající za tento proces nuceni použít reálně dostupné systémy, které však mají méně žádoucí statistické vlastnosti. [4, 7, 15]

Systém je přizpůsoben tak, aby poskytoval informace využívané ke generování naměřených hodnot zkoumaných veličin. Kvalita měřicího systému se určuje na základě několika kritérií. Prvním a současně hlavním kritériem jsou bezesporu statistické vlastnosti naměřených dat produkovaných daným systémem v konkrétním čase. Tím je myšleno, jaká je variabilita systému měření. Dále jsou náklady, ovladatelnost, efektivita a spousta dalších kritérií, které přispívají k určení vhodnosti měřicího systému. [4, 7, 15]

Od měřicího systému se vyžaduje, aby naměřená hodnota byla v ideálním případě stále stejná nebo s minimální odchylkou. To znamená stabilitu měření v čase. Dále aby vše bylo nastavené tak, že měřidlo naměří konkrétní požadovanou hodnotu. A v neposlední řadě, aby byl systém dostatečně přesný v poměru k dané toleranci. Ne všechny statistické vlastnosti jsou vyžadovány pro jednotlivá použití měřicího systému. Existuje však několik základních statistických vlastností, které definují „správný“ systém měření. [4, 7, 15]

Patří sem například odpovídající práh citlivosti a citlivost. Ta se vztahuje na obecně známé „pravidlo deseti“, které říká, že práh citlivosti by měl rozdělit toleranci na deset nebo více částí, aby byl zajištěn minimální výchozí bod pro volbu měřidla. Další vlastností je statistická stabilita, která prokazuje kvalitu stavu měřicího systému. Jedná se o fakt, že při opakovatelných podmínkách je variabilita systému měření způsobena pouze náhodnými

příčinami. To znamená, že zvýšení variability systému nebylo vyvoláno lidským selháním, špatným postupem, ani nedokonalostí měřicího systému. S tím souvisí, že v případě řízení produktu musí být vždy variabilita systému měření v porovnání s mezními hodnotami malá. Jako poslední statistická vlastnost definující „správný“ systém měření je, že v případě regulace procesu by variabilita systému měření měla prokazovat efektivní rozlišitelnost a měla by být malá v porovnání s variabilitou výrobního procesu. [4, 7, 15]

Tento systém není výjimkou, tudíž jak je tomu u všech procesů, je i systém měření ovlivněn jak náhodnými, tak i systematickými zdroji variability. Tyto zdroje jsou tvořeny buď náhodnými, nebo zvláštními příčinami. Proto je důležité zjistit možné zdroje variability, které je nutné eliminovat, nebo případně alespoň monitorovat. [4, 7, 15]

Tento systém řeší několik základních otázek, jež se musí předem správně stanovit. Základem jsou čtyři hlavní otázky, jejichž odpovědi definují konkrétní měřicí systém.

- Co se bude měřit?

Musí být vymezeny veškeré konkrétní informace o měřeném produktu.

- Kdo bude obsluhovat dané měřidlo?

Lidský faktor je v tomto případě jedním ze zdrojů systematické chyby, tudíž je velmi důležité s tímto faktem pracovat.

- Jaký typ měření je vyžadován?

Určuje, pomocí jakých postupů a jakým způsobem k měření dojde.

- V jakém prostředí bude k měření docházet?

Stejně, jako u otázky „Kdo bude obsluhovat dané měřidlo“, je i vliv prostředí možným tvůrcem systematické chyby. Proto by mělo k měření docházet v prostředí se stabilními podmínkami.

Tyto otázky a spoustu dalších je nutné si předem stanovit a ujasnit. Jejich pomocí je tvořen základ pro rozhodování o zvolení vhodného procesu měření.

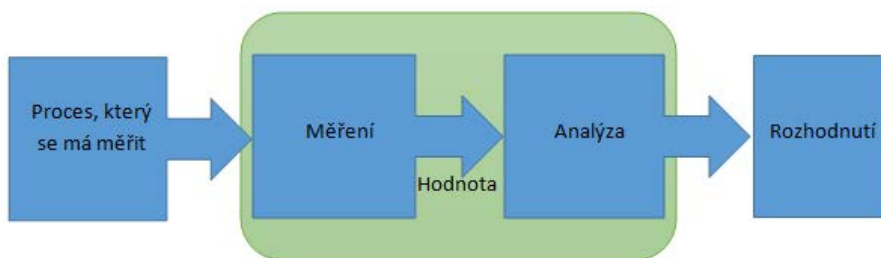
1.4 Proces měření

Procesem měření se rozumí kombinace vzájemně provázaných zdrojů, aktivit a vlivů, které vytvářejí měření. Zdroje mohou být lidské nebo materiální povahy. Zkoumaným aspektem

je vhodnost procesu měření. Aby bylo možné efektivně řídit variabilitu procesu, je nutné vědět, co by měl proces dělat, co se může případně pokazit a hlavně, co proces ve skutečnosti dělá. [4, 5]

Poznatky o tom, co proces dělá, se získávají na základě hodnocení parametrů nebo výsledků procesu. Jde vlastně o kontrolu, jejímž hlavním cílem je vyšetřování parametrů procesu, rozpracovaných dílů, smontovaných substitutů nebo konečných produktů za pomoci vhodných etalonů a měřicího zařízení. Pozorovatel na základě těchto vyšetřování potvrdí, nebo odmítne předpoklad, že proces pracuje stabilizovaný způsobem, s přijatelnou variabilitou a v souladu s cílovou hodnotou. Nedílnou součástí je průzkum užitečnosti přístroje, jeho kompatibilita s procesem a prostředím a v neposlední řadě jeho použitelnost. Je zapotřebí identifikovat potřeby zákazníka, na jejichž základech se sestaví proces měření. Vedení musí zajistit nezbytné zařízení a veškeré náklady s tím spojené. Avšak zařízení je pouze částí celého procesu. Vlastník procesu musí vědět, jak správně tato zařízení používat a znát způsob, jak správně analyzovat a interpretovat výsledky. Dále má povinnost monitorovat a řídit proces tak, aby zajistil žádoucí a stabilní výsledky, což zahrnuje zohlednění celkové analýzy systému měření. Naopak vedení musí stanovit jasné definice a etalony. Proces měření se liší od obecného procesu právě analýzou získaných výstupů. Obecný proces se dá charakterizovat jako určitá provozní činnost, do které je zapotřebí vložit minimální potřebné množství vstupů s cílem získat určitý obohacený výstup. [4, 5, 7]

Proces měření vypadá následovně: na začátku je proces, který se má změřit, druhým krokem je měření, které má poskytnout podklady pro třetí fázi procesu, a tou je právě analýza. Provedením analýzy procesu měření podnik získá potřebné informace a hodnoty pro učinění rozhodnutí, které je zároveň poslední fází procesu měření. Celý proces je zobrazen na obrázku č. 2. [4, 5]



Obrázek 2: Proces měření

Zdroj: Vlastní zpracování

Z obrázku číslo 2 je patrné, že analýza procesu měření má prakticky stejnou případně i větší váhu, než samotné měření. Proto je jí také věnována patřičná pozornost a jsou na ni kladeny velmi přísné požadavky.

1.5 MSA - Analýza systému měření

Tento základní dokument pro dodavatele automobilového průmyslu byl vypracován skupinou pro analýzu systému měření, schválenou pracovním týmem pro stanovení požadavků na kvalitu dodavatelů společností Chrysler Group LLC, Ford Motor Company a General Motors Corporation pod patronací akční skupiny pro automobilový průmysl „AIAG“. [4, 14]

Účelem příručky Analýza systémů měření, 4. vydání, je poskytnutí obecných směrnic pro posuzování kvality systému měření. Každý proces má nastavené určité požadavky. Ať už mírné nebo přísné. Nejdříve je zapotřebí zjistit, zda jsou tyto požadavky splněny. Následně je provedeno měření dílů z výroby a na základě získaných dat z měření se sleduje, zda je proces stabilní. Jelikož na systém měření působí celá řada různých faktorů, které ovlivňují průběh měření i konkrétní naměřené hodnoty, je zapotřebí tyto faktory vytyčit a zkoumat. Analýza nahlíží na měření jako na seskupení mnoha faktorů zahrnujících vliv a vlastnosti měřidla, postup měření, vlastnosti prostředí, ve kterém k měření dochází, typ měřeného objektu, operátora a další. K odhalení a kvantifikaci těchto činitelů slouží analýza statistických vlastností systémů měření, která generuje informace o tom, jaká je variabilita měření nebo informace související s měřicím systémem a jeho prostředím. Obecně se dá říci, že analýza systému měření zkoumá vhodnost konkrétních systémů pro konkrétní měření. Statistické vlastnosti systému měření lze pro lepší přehlednost rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou charakteristiky polohy, druhou skupinou jsou pak charakteristiky variability. Jednotlivé charakteristiky jsou popsány v kapitole metodika MSA. [4, 14]

Terminologie obsažená v této kapitole je nutností pro pochopení podstaty celého procesu. Proto je tato kapitola zaměřena na přehled a zavedení souboru termínů, týkajících se obecných statistických vlastností a souvisejících prvků systému měření, které jsou využívány v uvedené příručce. Termíny vysvětlené v následující kapitole jsou základem systému měření a celé této oblasti.

Je tak možné stanovit například opakovatelnost a strannost a stanovit jejich odpovídající meze. To vše za předpokladu, že naměřená data mají odpovídající kvalitu. Od této kvality se odvíjí přínos samotného systému měření. MSA je zaměřena na porozumění procesu měření, přičemž stanovuje velikost a typ chyby v daném procesu a posuzuje adekvátnost systému měření pro kontrolu a řízení produktu a procesu. Dále napomáhá obecnému porozumění a zlepšení procesu, což se odráží ve zmenšení jeho variability. [4]

1.5.1 Terminologie MSA

- **Měření** je definováno jako přiřazování konkrétních čísel hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti. Proces přiřazování je definován jako proces měření. Na základě toho je možné konstatovat, že tento proces lze považovat za výrobní proces, který na svém výstupu produkuje čísla neboli data. [4]
- **Měřidlo** je libovolné zařízení, které je využíváno k měření buď samostatně, nebo ve spojení s doplňkovým a pomocným přístrojovým zařízením. [4]
- **Systém měření** je brán jako soubor přístrojů a měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke kvantifikaci jednotky měření, nebo ke stálému posuzování měřené stěžejní charakteristiky. [4]
- **Etalonem** nebo také standardem je myšlen přijatý základ pro porovnávání. Takovýto základ je podmíněn kritériem přijatelnosti. Někdy je také označován jako známá hodnota v rozsahu stanoveném mezí nejistoty, přijatá jako hodnota pravá. Etalony se dále dělí na různé poddruhy. K nejpoužívanějším patří například referenční etalon, který má obecně nejvyšší metrologickou kvalitu, a se kterým se porovnávají naměřené hodnoty. Dále kalibrační etalon, sloužící jako reference při provádění běžné kalibrace. Pracovní etalon se používá k provádění běžných měření v laboratoři. Jako poslední je kontrolní etalon, který je ve své podstatě mnohem stabilnější než hodnocený proces měření. [4]
- **Základní zařízení** je chápáno jako nejmenší jednotka stupnice měření nebo výstupu přístroje a je uváděna jako jednotka míry. Závisí na prahu citlivosti, čitelnosti, rozlišitelnosti a efektivní rozlišitelnosti, která představuje citlivost systému měření k variabilitě procesu při konkrétní aplikaci. [4]

- Souborem operací, které za stanovených podmínek určují vztahy mezi měřicím zařízením a návazným etalonem známé referenční hodnoty a nejistoty, je **systém kalibrace**. Rovněž může zahrnovat kroky vedoucí k dekódování, korelaci, dokumentování nebo eliminování úpravy jakéhokoli rozdílu přesnosti. Používáním kalibračních metod a etalonů tento systém určuje návaznost měření na systém měření. [4]
- **Pravá hodnota** dílu je „skutečnou“ mírou dílu, která nemůže být nikdy s jistotou známa či poznána. I přesto je cílovou hodnotou procesu. Avšak existuje zástupce této hodnoty, kterým je hodnota referenční. **Referenční hodnotou** nebo také přijatou referenční hodnotou se rozumí nejlepší přiblížená hodnota pravé hodnoty. Cílem procesu měření je dosáhnout této hodnoty, nebo se jí alespoň co nejvíce přiblížit. [4]
- **ANOVA** neboli analýza rozptylu je statistická metoda, pomocí níž lze provádět vícenásobné porovnávání středních hodnot. Je založena na výběrových směrodatných odchylkách a průměrech. [4]
- **Systematická chyba** je chyba způsobená buď lidským selháním, špatným postupem, nebo nedokonalostí měřicího systému. Tato chyba zůstává konstantní, co se týče opakovaných měření. [4]
- **Náhodná chyba** se v identických podmínkách mění libovolně. Takovou chybu lze snížit větším počtem měření. [4]
- **Návaznost** určuje těsnost měření. Znamená to, že měření, která jsou návazná na stejné nebo podobné etalony, budou mnohem těsnější než ta, která nejsou tak návazná. Smyslem je snížit potřebu opakovatelné zkoušky, riziko zamítnutí dobrého produktu, nebo naopak přijetí kusu špatného. Návaznost lze taktéž vysvětlit jako vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, pomocí níž může být výsledek vztažen ke stanoveným referencím. [4]

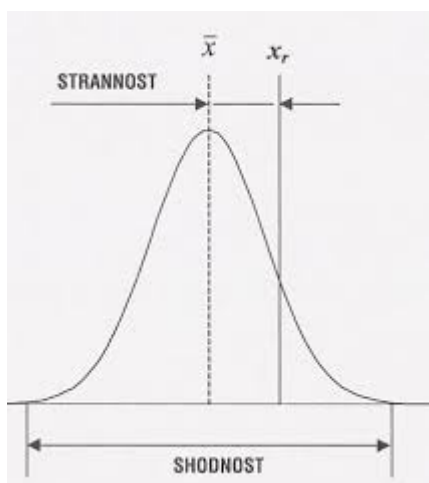
1.5.2 Metodika MSA

V této kapitole jsou popsány jednotlivé vlastnosti, na které je MSA zaměřena. Některé z těchto vlastností budou zároveň hlavním tématem výstupního protokolu MSA v praktické části, kde jsou zároveň i jejich výpočty.

1.5.2.1 Variabilita šíře

➤ Shodnost (Precision)

Shodnost tvoří složku náhodné chyby systému a představuje těsnost opakovaných odečtů jednoho od druhého. Nejčastěji je využívána k popisu očekávané variability opakovaných výsledků měření v daném rozsahu měření. [4, 14]

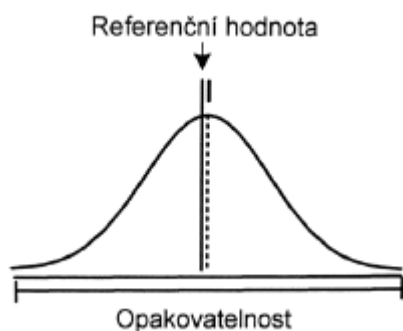


Obrázek 3: Shodnost

Zdroj: [4]

➤ Opakovatelnost (Repeatability)

Opakovatelnost je definována jako shodnost systému měření v podmínkách opakovatelnosti. Jedná se o variabilitu měření získaných jedním měřicím přístrojem, pokud jej jeden operátor použije několikrát při měření identické charakteristiky u téhož dílu, a to v co možná nejkratším časovém období. Jedná se o rozptyl vyvolaný náhodnými příčinami a je taktéž označována jako variabilita operátora. [4, 14]

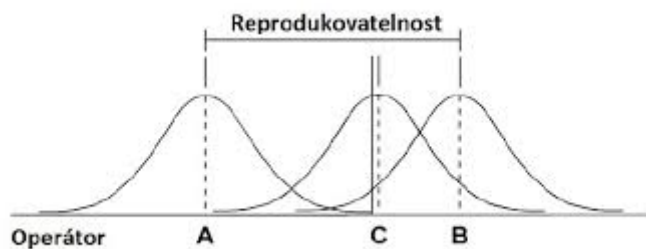


Obrázek 4: Opakovatelnost

Zdroj: [4]

➤ Reprodukovatelnost (Reproducibility)

Reprodukovatelnost je definována jako variabilita průměru středních hodnot měření provedených různými operátory za použití stejného měřidla při měření identické charakteristiky jednoho dílu. Není to však podmínkou. O reprodukovatelnosti se dá hovořit i v případě, kdy pouze jeden operátor provádí měření, avšak za použití odlišných měřidel, případně na jiných měřících stanovištích. [4, 14]



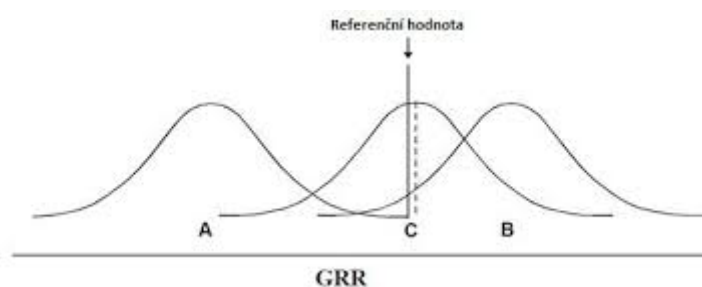
Obrázek 5: Reprodukovatelnost

Zdroj: [4]

Jelikož je prakticky nemožné zajistit trvale stabilní podmínky opakovatelnosti, neprovádí se analýza jednotlivých vlastností samostatně. V praxi se používá analýza kombinované opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, též známá jako GRR. Ta využívá techniky, jako jsou metoda rozpětí, metoda rozpětí a průměru, nebo analýza rozptylu.

➤ Opakovatelnost a reprodukovatelnost (Gage R&R)

Opakovatelnost a reprodukovatelnost tvoří tzv. **GRR ukazatel**, který představuje kombinovaný odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Jedná se o rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy. Pro analýzu GRR se využívají metody rozpětí (RM), průměru a rozpětí (ARM), nebo analýza rozptylu, též zvaná jako ANOVA. [4, 8, 9, 11]



Obrázek 6: Opakovatelnost a reprodukovatelnost

Zdroj: [4]

Metoda rozpětí je využívána pro určení toho, zda se GRR mění či nikoli. Využívá dvou operátorů, kteří měří pět dílů a každý pouze jednou. Průměrné rozpětí se získá jako rozdíl hodnot naměřených operátorem A a operátorem B. Toto rozpětí je následně vyděleno součinitelem d_2^* . Tak se získá celkový odhad reprodukovatelnosti a pomocí vztahu lze vypočítat GRR. [8, 9, 11]

$$GRR = \left(\frac{\bar{R}}{d_2^*} \right) \quad (1)$$

Pro určení hodnoty d_2^* lze využít tabulku uvedenou v praktické části.

Metoda průměru a rozpětí je zaměřena na opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému, které lze pomocí této metody rozdělit na samostatné složky. Nedokáže však posoudit jejich vzájemné působení. U této analýzy platí, že čím více vzorků změříme, tím přesnější bude výsledek. Výsledek získáme dle vztahu: [8, 9, 11]

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

Směrnice říká, že závěrečným krokem této analýzy je stanovení kritéria přijatelnosti systému měření. Jedná se o podíl GRR z celkové variability a také o hodnotu ndc. Pro výpočet těchto dvou ukazatelů slouží vztahy: [8, 11]

$$\%GRR = 100 * \left(\frac{GRR}{TV} \right) \quad (3)$$

$$ndc = 1,41 * \left(\frac{PV}{GRR} \right) \quad (4)$$

Kde *TV* značí celkovou variabilitu a *PV* značí variabilitu dílu.

Poslední metodou je **analýza rozptylu** využívaná k analyzování chyb měření. Rozptyl se u této metody dělí do čtyř složek, kterými jsou díl, operátor, měřidlo a interakce mezi díly a operátory. Pro výpočet je nutná orientace a znalosti statistického programu. Tato metoda je už značně složitější než obě předchozí a její výpočet je dle vztahu: [8, 11, 12]

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (INT)^2} \quad (5)$$

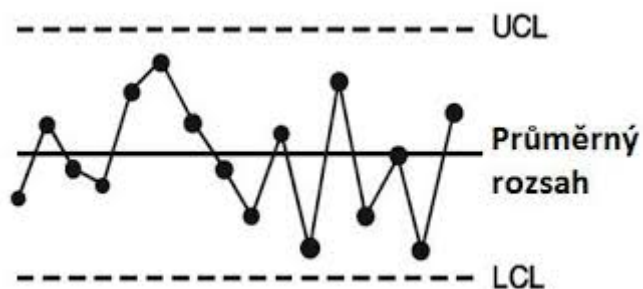
kde *INT* je právě interakce mezi díly a operátory. *EV* a *AV* značí opakovatelnost a reprodukovatelnost a jejich výpočet je vysvětlen v praktické části práce.

➤ **Citlivost** (Sensitivity)

Citlivost představuje schopnost reakce systému měření na změny měřeného prvku. Je dána tzv. prahem citlivosti, inherentní kvalitou (výrobce originálního zařízení) a provozní údržbou a také provozním stavem přístroje a etalonu. Citlivostí je také chápán nejmenší vstup, který způsobí zjiitelný výstupní signál. Jedná se o odezvu systému měření na změny měřené charakteristiky. [4, 14]

➤ **Konzistence** (Consistency)

Představuje stupeň změny opakovatelnosti v čase. Konzistence je nejčastěji ovlivňována teplotními podmínkami jak měřeného výrobku, tak i přístroje použitého k danému měření. [4, 14]

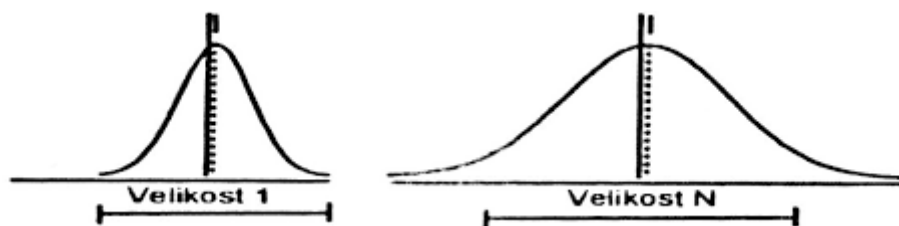


Obrázek 7: Konzistence

Zdroj: [4]

➤ **Uniformita** (Uniformity)

Poslední součástí variability šíře je uniformita neboli změna opakovatelnosti v běžném provozním rozsahu měřidla. Někdy nazývána jako homogenita opakovatelnosti vzhledem k velikosti. Mezi nejčastější příčiny vzniku uniformity patří špatná čitelnost hodnot z používaného měřidla, dále paralaxní čtení hodnot (čtení nesprávných hodnot zapříčiněné špatným úhlem), nebo třeba variace upnutí měřeného výrobku. [4, 14]



Obrázek 8: Uniformita

Zdroj: [4]

1.5.2.2 Variabilita systému měření

Variabilita systému měření je charakterizována třemi základními funkcemi lišícími se délkou období pro získání hodnot.

➤ **Způsobilost** (Capability)

Způsobilost systému měření je odhad kombinované variace chyb měření na základě krátkodobého hodnocení. To znamená odhad variability jak systematických, tak i náhodných chyb. Odhad způsobilosti měření je vyjádřením očekávané chyby pro definované podmínky

použitelnosti a rozsahu systému měření, včetně grafického znázornění. Způsobnost, kam spadají složky strannosti, linearity, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti a v neposlední řadě také konzistence se vyjádří pomocí vztahu: [4, 14]

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

➤ **Funkčnost (Performance)**

Následuje funkčnost (výkonnost), která představuje celkový účinek všech významných a stanovitelných zdrojů variability v daném časovém intervalu. Výkonnost také kvantitativně vyjadřuje dlouhodobé posuzování kombinovaných chyb měření. Jelikož se jedná o variabilitu v odečtech hodnot získaných během dlouhého časového období, zahrnuje složky dlouhodobé chyby. Těmi jsou způsobnost, stabilita a konzistence. [4, 14]

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

➤ **Nejistota (Uncertainty)**

Nejistota měření je tvořena odhadnutým rozmezím hodnot okolo měřené hodnoty, kde se nachází hodnota pravá. Jedná se o parametr související s výsledkem měření, který charakterizuje rozptyl hodnot. Tento rozptyl lze odpovídajícím způsobem přiřadit měřené veličině. [4, 14]

1.5.2.3 Variabilita polohy

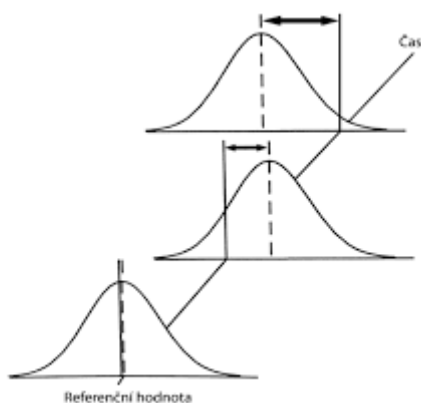
➤ **Přesnost (Accuracy)**

Přesnost systému měření spočívá v těsnosti shody mezi průměrnou hodnotou jednoho či několika naměřených výsledků a pravé nebo přijaté referenční hodnoty. Udává, na kolik se průměrná hodnota přibližuje zadání. [4, 14]

➤ **Stabilita** (Stability)

Stabilita systému měření je charakterizována jako celková variabilita naměřených hodnot, získaných měřením jednoho znaku, a to v dostatečně dlouhém časovém období. Stabilita je také označována jako změna strannosti v čase, což obecnější charakteristiku více specifikuje. [4, 14]

Opakovaným měřením stejného vzorku ve vhodně zvolených intervalech jsou získány potřebné údaje pro analýzu stability systému. Ta se vyhodnocuje na základě několika kroků. Prvním je provedení analýzy jak vzorku, jehož hodnota odpovídá středu výrobního rozpětí, tak i vzorků s hodnotami na obou okrajích téhož rozpětí. Ve zvolených intervalech je třeba provést požadovaný počet měření daného vzorku. Následuje výpočet vybraných charakteristik opakovaných měření (aritmetický průměr, směrodatná odchylka nebo rozpětí). Na základě výpočtu je třeba stanovit centrální přímky a regulační meze pro zvolenou dvojici regulačních diagramů. [4, 14]



Obrázek 9: Stabilita

Zdroj: [4]

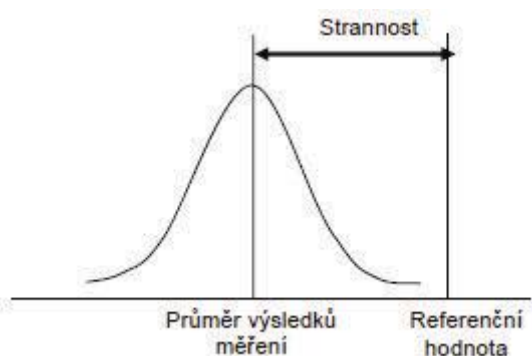
➤ **Strannost** (Bias)

Strannost systému měření představuje rozdíl mezi aritmetickým průměrem měření (provedených u stejné charakteristiky na stejném dílu) a přijatou referenční hodnotou. Jedná se tedy o průměrnou odchylku naměřených hodnot od hodnoty referenční. Tvoří také složku systematické chyby systému měření. [4, 14]

Pro analýzu strannosti systému je zapotřebí údajů, získaných měření etalonu. Stejně, jako tomu je u stability, i u strannosti je vhodné provést měření etalonu i vzorku s hodnotami odpovídajícími dolní i horní mezi výrobního rozpětí. Na základě těchto měření je možné získat údaje o linearitě, která značí závislost strannosti na velikosti naměřené hodnoty. Vztah pro výpočet strannosti je: [4, 14]

$$Bi = \overline{x}_G - x_R$$

kde je $\overline{x}_G$ průměrná naměřená hodnota a x_R je referenční (přijatá) hodnota.



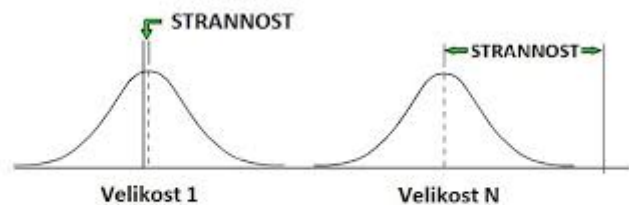
Obrázek 10: Strannost

Zdroj: [4]

➤ **Linearita** (Linearity)

Linearita je charakterizována, jako rozdíl mezi hodnotami strannosti v pracovním rozsahu systému měření. Zároveň představuje maximální odchylku od pomyslné spojnice nulového a koncového bodu měřicího rozsahu. Zkoumá tedy, jestli existuje závislost mezi hodnotami strannosti a velikostí naměřené hodnoty. [4, 14]

Podobně, jako u předchozích případů je podmíněna opakovaným měřením vzorků v podmínkách opakovatelnosti, a to v dostatečném rozsahu výrobního rozpětí. Analýza linearity je opět založena na několika základních krocích. Od výběru vzorků, přes požadovaná opakovaná měření, výpočet odchylek měření od referenční hodnoty, výpočet strannosti systému měření pro jednotlivé vzorky, sestavení závislosti hodnot odchylek na referenční hodnotě, až po testování statistické významnosti regresního koeficientu a absolutního členu. [4, 14]



Obrázek 11: Linearita

Zdroj: [4]

1.5.3 Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Jedním z hlavních ukazatelů je ukazatel opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Metoda R&R je označením pro metodu průměrů a rozpětí (Gauge Repeatability and Reproducibility), která bývá také označována zkratkou GR&R nebo GRR. Tato metoda je druhou nejpoužívanější metodou sloužící pro analýzu systému měření. Je zaměřena nejen na posuzování samotného měřidla ale i systému měření jako celku včetně všech ostatních faktorů, které na měření působí. Měření je prováděno na skutečném výrobku. U metody GRR je zapotřebí tří operátorů, kteří se nesystematicky střídají při měření deseti výrobků stejného typu s tím, že každý z nich musí každý z deseti výrobků třikrát změřit, přičemž nesmí vědět, o jaké číslo výrobku jde. Naměřená data se zapisují do tabulky, kterou následně program vyhodnotí a výstupem je protokol, který popisuje sledované ukazatele, a kterým se zabývá praktická část této práce. Nejdůležitějšími výstupy jsou opakovatelnost EVO, reprodukovatelnost AV, interakce IA, rozlišení %RE, celkové rozptýlení %GRR, rozptýlení dílů %PV a počet rozlišitelných tříd ndc. [4, 8, 11]

Vyhodnocení výsledků ukazatelů R&R pomocí kritéria %GRR je posuzováno dle několika základních podmínek, které jsou vyobrazeny v následující tabulce. Tabulka obsahuje limity pro posouzení způsobilosti měřidla a také, zda je systém měření vyhovující či nikoli. Tyto limity jsou základním podkladem pro rozhodování ve vybrané společnosti.

Tabulka 1: Podmínky pro rozhodnutí o výsledku

%GRR	Rozhodnutí
$\%GRR < 10\%$	měřidlo je způsobilé, systém měření je vyhovující
$10\% \leq \%GRR \leq 30\%$	měřidlo je podmíněčně způsobilé, systém měření může být vyhovující, ale záleží na konkrétní aplikaci (měření méně důležitých znaků kvality)
$\%GRR > 30\%$	měřidlo je nezpůsobilé, systém měření je nevyhovující a nesmí se používat.

Zdroj: Vlastní zpracování

Vyhodnocení výsledků ukazatelů R&R pomocí kritéria ndc , které slouží pro detekování počtu rozlišitelných dílů. Jedná se o schopnost systému měření kategorizovat měřicí proces a vypočte se dle vztahu (4). [4, 8]

Důležitou podmínkou je, že výsledná hodnota, která se zaokrouhluje vždy směrem dolů, musí být větší než 5. Pokud tomu tak není, systém měření nemá dostatečnou citlivost detekovat jednotlivé kategorie měření a musí být tedy považován za nevyhovující. [4, 8]

1.6 VDA 5 – Vhodnost kontrolních procesů

Tato příručka ukazuje, jak splnit požadavky na stanovení a zohlednění nejistoty měření. Směrnice VDA popisuje postupy a metody týkající se zabezpečování jakosti. Příručka byla vytvořena pracovní skupinou pro automobilový průmysl a jeho dodavatele a je platná právě pro toto odvětví. Jsou zde obsaženy známé a široce používané metody pro posuzování a zásady přijetí systému měření a jeho vhodnosti (taktéž obsažené v příručce MSA). Některé oblasti jsou totožné, avšak každá směrnice používá jiné označení, Ve spojitosti s kontrolou a měřením produktů musí být použity vhodné metody pro monitorování odchylek produktu. V rámci kontroly dochází k ověření, zda se naměřená hodnota pohybuje v rámci tolerančního pole či nikoli. Tato příručka je zaměřena především na zkoumání opakovatelných procesů u měřených parametrů. [7, 6, 10, 13]

Směrnice VDA 5 je rozdělena na 2 části. První je vhodnost měřicího systému a druhou je vhodnost měřicího procesu. [13]

Tabulka 2: Rozdíly vhodnosti MS a MP

Vhodnost měřicího systému	Vhodnost měřicího procesu
Nejistota kalibrace	Opakovatelnost operátorů
Opakovatelnost etalonu	Reprodukovatelnost měřicího přípravku
Odchylka linearity	Nejistota související se změnou prostředí

Zdroj: Vlastní zpracování

1.6.1 Terminologie

Pro orientaci v této oblasti je opět nutné stanovit a představit základní terminologii. Termíny vyskytující se i v příručce MSA zde nebudou opakovány. Budou uvedeny pouze ty, o kterých se práce prozatím nezmiňuje a které jsou typické právě pro normu VDA 5.

➤ Koeficient rozšíření (k)

Tento koeficient představuje číselný součin, kterým je násobena kombinovaná standardní nejistota, aby byla stanovena rozšířená nejistota měření. Hodnoty se získávají z tabulky (Hodnoty související s rozdělením průměrného rozpětí). [13]

➤ Směrodatná odchylka (s_x)

Směrodatná odchylka určuje, jak moc jsou naměřené hodnoty rozptýleny (odchýleny) od průměru hodnot. Zároveň se rovná druhé odmocnině z rozptylu. [13]

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

➤ **Nejistota (Uncertainty)**

Nejistota měření vymezuje a charakterizuje rozptyl hodnot, který lze přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistotu nesledujeme pouze u výsledku měření, ale také u měřidla samotného. Parametrem nejistoty je směrodatná odchylka. [13]

Standardní nejistota je nejistota vyjádřená jako směrodatná odchylka výsledku měření. Značí se u a dělí se na čtyři základní skupiny: [10, 13]

a. **Nejistota typu A (U_A)**

Nejistotu typu A, u které se vždy provádí experiment, způsobují náhodné chyby, které se získají z vyhodnocení opakovaných měření stejné hodnoty ve stejných podmínkách. [10, 13]

$$u_{Ax} = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

b. **Nejistota typu B (U_B)**

Takováto nejistota je způsobena buď známými, nebo odhadnutelnými příčinami. Jedná se tedy o nejistotu způsobenou systematickými chybami tj. bez statistického výpočtu. Konkrétně jde o odhad maximálního rozsahu odchylek od naměřené hodnoty. Aby bylo vůbec možné určit nejistotu typu B, je zapotřebí provést podrobný a důkladný rozbor vzniku chyb. [10, 13]

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

Kombinovaná nejistota (U_C)

Kombinovaná nejistota udává interval, ve kterém se pravá hodnota vyskytuje s pravděpodobností 68,27 %. Tento interval je od -1 do 1 a díky tomu lze stanovit koeficient rozšíření, který je nutný pro její výpočet. V tomto případě je $k_S = 1$. [10, 13]

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

c. Rozšířená nejistota měření (U_{MP})

Rozšířená nejistota se využívá při interpretaci výsledku měření ve výstupním protokolu. Podmínkou je, že interval nejistoty U_A musí být vynásoben předem stanovenou hodnotou koeficientu rozšíření k_S . Pokud je $k_S = 1$, tak do daného intervalu spadá 68,27 % hodnot získaných z měření. V případě, že bude $k_S = 2$, tak jde o 95,45 % hodnot a co se týče $k_S = 3$, jde dokonce o 99,73 % všech naměřených hodnot. [10, 13]

$$U_{MP}(x) = k_1 u_C(x)$$

➤ Shoda

Shody je dosaženo splněním stanovených požadavků. Opakem je neshoda. [13]

➤ Kontrola

Kontrola znamená stanovení jedné nebo více vlastností pro posouzení objektu, na které je prokazována shoda. Jedná se o srovnávání naměřené hodnoty a hodnoty etalonu. [13]

➤ Kontrolor

Osoba s odpovídajícími odbornými a osobními schopnostmi, která je způsobilá k provádění kontroly a k vyhodnocování jejího výsledku. [13]

➤ **Kontrolovaný znak**

Znak, který je předmětem kontroly. Samotný znak je chápán jako charakteristická vlastnost. S tím souvisí hodnota znaku (y_i), což je hodnota přidružená charakteristické vlastnosti. [13]

➤ **Výsledek měření (Y)**

Y představuje množinu hodnot, která je přiřazena měřené veličině. Je zpravidla vyjádřen jako jediná naměřená hodnota a je určen vztahem: [13]

$$Y = y_i \pm U_{MP}$$

➤ **Vychýlení**

Vychýlení znamená odhad systematické chyby měření, způsobené lidskou či systémovou chybou. [13]

➤ **Atributivní kontrola**

Taktéž kontrola kalibrem představuje porovnání kontrolovaného znaku s kalibrem. [13]

➤ **Kalibrace**

Činnost, která nejprve stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření. Ve druhé fázi použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření a indikace. [13]

➤ **Justování**

Justování je definováno jako soubor činností, které jsou provedeny na měřicím systému tak, aby poskytoval předepsané indikace, které odpovídají daným hodnotám měřené veličiny. [13]

➤ **Rozlišení**

V této oblasti je chápáno jako nejmenší změna měřené veličiny, která způsobí rozeznatelnou změnu v odpovídající indikaci. [13]

➤ **Tolerance**

Představuje absolutní hodnotu bez znaménka a je to rozdíl mezi horní a dolní mezí tolerance. Může být buď dvoustranná, nebo jednostranná a nemusí nutně obsahovat jmenovitou hodnotu. [13]

➤ **Ověřování**

Poskytuje objektivní důkaz, že studovaný objekt splňuje specifikované požadavky. Dodává potvrzení, že nejvyšší hodnota nejistoty měření může být dodržena. [13]

➤ **Validace**

Představuje ověření, že specifikované požadavky jsou přiměřené pro zamýšlené použití. [13]

1.6.2 Metodika VDA

Metodika VDA zkoumá několik základních postupů pro vyhodnocování nejistoty měření. Těmi jsou získání důkazů vhodnosti měřicího systému, získání důkazů vhodnosti procesu měření a získání důkazů vhodnosti systému měření atributivních znaků. Celková nejistota měření obsahuje různé komponenty. Těmi nejdůležitějšími jsou standardní nejistota, kombinovaná standardní nejistota měřicího systému (U_{MS}) a procesu měření (U_{MP}) a jako poslední je rozšířená nejistota (U_{MS}) a (U_{MP}). Pro výpočet ukazatelů vhodnosti je však nutné získané hodnoty vynásobit koeficientem rozšíření a to dle vztahu: [6, 10,13]

$$U_{MS} = k * u_{MS}$$

$$U_{MP} = k * u_{MP}$$

Další z hlavních kritérií pro posouzení vhodnosti systému měření jsou ukazatel vhodnosti systému měření Q_{MS} a ukazatel vhodnosti procesu měření Q_{MP} . [10,13]

$$Q_{MS} = \frac{2 * U_{MS}}{TOL} * 100\%$$

$$Q_{MP} = \frac{2 * U_{MP}}{TOL} * 100\%$$

Přičemž rozmezí tolerančního pole (TOL), nebo také limitní hodnota, musí být stanoveno na základě dohody mezi zákazníkem a dodavatelem. [10, 13]

1.6.3 Indexy způsobilosti C_g a C_{gk}

Koeficienty C_g a C_{gk} jsou jedním ze dvou hlavních ukazatelů zkoumaných a hodnocených ve výstupním protokolu. Analýza systému s využitím indexů způsobilosti C_g , C_{gk} je taktéž označována jako hodnocení způsobilosti měřidla. Zaměřuje se na posouzení strannosti a shodnosti měření v podmínkách opakovatelnosti. Index C_g popisuje možnosti měřidla dané jeho variabilitou a bere v úvahu pouze opakovatelnost měření. Kdežto index C_{gk} popisuje skutečnou způsobilost měřícího zařízení a v úvahu bere jak opakovatelnost, tak i strannost. Samotné měření se provádí na skutečném výrobku. Měřený výrobek plní z pohledu této metody roli etalonu, avšak skutečnou hodnotu pravého etalonu je třeba zjistit pomocí jiného přesnějšího měření, např. 3D měření.

Metoda spočívá v opakovaném měření hodnoty (optimálně 50x) jednoho výrobku jedním operátorem za pomoci jednoho měřidla ve stejném prostředí s ustálenými podmínkami. Dále tato metoda spočívá ve zjišťování rozptylu a jeho porovnání s částí tolerančního pole. U každého výrobku je toto pole jasně definováno. Výsledkem provedení požadovaných úkonů podle přesně stanovených pravidel a postupů je výstupní protokol, který vyhodnotí vše potřebné a podá zpětnou vazbu o tom, co systémem prošlo, případně kde nastala chyba. Aby systém správně vyhodnotil data o měřeném výrobku, je třeba nejprve vyplnit potřebné údaje jako je název dílu, jeho výrobní číslo, jméno operátora nebo datum a místo, kde k měření došlo. Nejdůležitějšími výstupy tohoto měření jsou rozlišení značené jako % RE,

dále %EVO, C_g a C_{gk} . Měřidlo je považováno za způsobilé, pokud $C_g > 1,33$ a $C_{gk} > 1,33$. Konkrétní příklad takového protokolu je použit v praktické části.

$$C_g = \frac{k_1 T}{k_2 s} \quad (7)$$

$$C_{gk} = \frac{k_1 T - 2 |x_{ref} - \bar{x}|}{k_2 s} \quad (8)$$

Kde T je rozdíl mezi horní a dolní mezí tolerance ($T = USL - LSL$),

k_1 a k_2 jsou zvolené konstanty,

s značí výběrovou směrodatnou odchylku,

x_{ref} je označení pro přijatou referenční hodnotu etalonu a $\bar{x}$ značí aritmetický průměr naměřených hodnot. [10,13,15]

Jelikož indexy porovnávají podíl šířky tolerančního pole s šířkou pásma celkové variability naměřených hodnot, vždy by měl platit vztah: [13]

$$C_{gk} \leq C_g \quad (9)$$

1.7 Porovnání MSA a VDA

Jelikož se jedná o dvě celosvětově nejpoužívanější metody určování vhodnosti procesu měření, je nezpochybnitelné, že má každá z nich určité výhody. Ani jedna z metod však není dokonalá a u obou se najdou oblasti, které neposkytují patřičné a dostatečně přesné podklady pro interpretaci výsledů. A to i za předpokladu, že celý proces proběhl správně a byly dodrženy veškeré postupy a metody. Pro specifické a hlavně různorodé požadavky jednotlivých zákazníků jsou využívány různé metodiky a každá firma upřednostňuje a používá jinou.

Obě zkoumané metodiky se liší především ve zdrojích variability. MSA je založena na čtyřech základních zdrojích (obrobek, měřidlo, prostředí a operátor), kdežto VDA má

dvojnásobný počet zdrojů variability (člověk, prostředí, měřidlo, měřený objekt, upínací zařízení, etalon, metoda měření a metoda hodnocení).

Jak již bylo zmíněno výše, MSA je zaměřena na pochopení samotného procesu měření a následně jeho vylepšení a eliminaci zdrojů variability. Tato směrnice popisuje základní postupy k provádění analýzy systému měření. Vše je zde přehledně a srozumitelně popsáno a jednotlivé oblasti jsou podpořeny grafickým vyobrazením. Směrnice MSA je založena především na důkladné studii procesu měření a všech souvisejících oblastí a to všechno ještě před zahájením konkrétního měření.

Naopak směrnice VDA přistupuje k posuzování vhodnosti měřicího procesu trochu jinak. Vhodnost se určuje vztahem k nejistotě měření a vymezené toleranci. Jejím hlavním cílem je tedy spíše vyhodnocení nejistoty měření než provádění samotné analýzy systému. VDA se zabývá zejména výsledkem měření na úkor přípravné fáze, které se nevěnuje. Používané metody jsou aplikovány na již existující systémy měření a na jejich základě jsou vyhodnoceny podmínky pro způsobilost systému měření.

Každá z uvedených metodických příruček využívá jiné techniky, pomocí nichž jsou schopny stanovit hodnoty jak stejných, tak i odlišných vlastností. Některé oblasti mají jiné označení i přesto, že sledují identické znaky a vlastnosti. Naopak některým oblastem je věnována pozornost pouze ve směrnici MSA nebo pouze ve směrnici VDA.

Pro ukázkou byly vybrány některé základní vlastnosti s jiným označením v metodice MSA a VDA, týkající se totožné problematiky. Byla vytvořena stručná tabulka pro porovnání.

Tabulka 3: Rozdíly v názvosloví metodik MSA a VDA

MSA		VDA
Strannost	=	Systematická odchylka měření
Linearita	=	Chyba linearity
Stabilita	=	Reprodukovatelnost v čase

Zdroj: Vlastní zpracování

Naopak typickou metodou, kterou je dosahováno prakticky totožných výsledků, je například analýza rozptylu. To vše pouze za předpokladu, že budou v obou metodikách přesně použity správné metody a dodrženy uvedené omezující podmínky.

1.8 Charakteristika podniku

V této kapitole budou představeny základní informace o zvoleném podniku a stručně charakterizována jeho struktura a používané metody. Nejprve je práce zaměřena na historii a její milníky a dále se bude věnovat současnému stavu.

Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o. je součástí nadnárodní společnosti Magna International Inc., která je třetím největším světovým dodavatelem komponentů pro automobilový průmysl. Celkově Magna zaměstnává více než 110 000 lidí. Působí na 5 kontinentech ve 28 zemích. Tím se společnost řadí mezi největší světové hráče na poli automobilového průmyslu. Tento podnik, skládající se z několika divizí lišících se jejich výrobním portfoliem, je nadále jediným světovým dodavatelem automobilového průmyslu s odbornými znalostmi o celém autě a prostředky pro výrobu veškerých komponentů. Od elektroniky přes interiér až po celkovou karoserii auta. Jinak řečeno, všechny divize Magny jsou schopny společně vytvořit prakticky celý automobil.

Jen za poslední dekádu společnost získala několik desítek různých ocenění. Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o. vznikla roku 1946 pod názvem Plastimat, kdy začala vyrábět plastové předměty různého uplatnění. Od roku 2009 jako člen sítě Magna International se stovkami pracovišť a desítkami tisíc zaměstnanců patří k hlavním dodavatelům plastových dílů pro automobilový průmysl. Výrobní závody v České republice sídlí v Nymburku a v Liberci, kde dále funguje nástrojárna, engineering a ředitelství společnosti, jehož součástí je odbor vývoje nových projektů, který dále slouží jako podpora zahraničních závodů. [3]

1.8.1 Historie

Firma byla založena Frankem Stronachem roku 1957 pod názvem Multimatic Investments Limited. Roku 1959 přišla první smlouva o spolupráci s General Motors v Ontáriu na výrobu kovově-lisovaných držáků sluneční clony. V 60. letech společnost budovala svou základnu a překročila roční obrát million dolarů. V roce 1962 se firma stává veřejnou společností na Toronto Stock Exchange pod symbolem MG. Téhož roku je otevřen druhý závod v Richmond Hill v Ontáriu. První díly směřované do USA se objevily roku 1965. V roce 1969 je Multimatic spojen s Magna Electronic Corporation Limited. 70 léta byla desetiletím diverzifikace Magny. Do konce tohoto desetiletí byly překročeny tržby v hodnotě 100 milionů dolarů. V Montezumě v Iowě je roku 1972 otevřen první americký závod. Roku

1973 je změněn název společnosti na Magna International Inc. V roce 1983 je firma přestěhována do nového sídla v Markhamu v Ontáriu. Uznání za největší inovaci v daném odvětví 80. let bylo dosaženo výrobou integrované dětské sedačky. 90. léta byla obdobím geografické expanse a byl překročen obrat ve výši 9 miliard dolarů. New York Stock Exchange uznává Magnu veřejnou společností a byl otevřen závod v Mexiku. V tomto období bylo vyvinuto několik inovačních a jedinečných technik výrobního procesu. Mezi roky 1996 až 1998 prošla Magna velkou evropskou expanzí. V roce 1999 je společnost označena časopisem Forbes jako špičková světová společnost pro výrobu náhradních dílů. Další desetiletí je obdobím evaluace. Během této dekády Magna překročila jen v USA tržby v hodnotě 20 miliard dolarů. V roce 2008 byl oznámen vývoj elektromobilu a společnost se stává největším dodavatelem automobilových dílů na světě. V roce 2010 překročil roční obrat 23 miliard dolarů. V roce 2016 činil roční obrat 37 miliard dolarů. Až do současnosti společnost patřila a patří mezi 3 nejvýznamnější dodavatele automobilových dílů na trhu.[3]

1.8.2 Používané metody

Používané metody se u každého projektu odvíjí od konkrétních a specifických požadavků jednotlivých zákazníků. Tyto požadavky se mění v závislosti na složitosti, velikosti nebo třeba na konkrétním uplatnění daného produktu.

V této práci jsou používanými metodami především metoda průměru a rozpětí GRR a indexy způsobilosti C_g a C_{gk} . Podrobný postup výpočtu je zachycen v praktické části a následně je podpořen vyhodnocením vhodnosti měřicího systému.

2 Praktická část

Praktická část této bakalářské práce se věnuje, jak již bylo několikrát zmíněno, zjištění vhodnosti systému měření. Konkrétně jde o porovnání výsledků z výstupního protokolu s vlastními výpočty. Jedná se tedy o MSA, u které byly použity základní metody vyhodnocení vhodnosti dle stanovených postupů a kritérií.

Obsahem praktické části bylo provedení konkrétního měření dílu dle stanovených kritérií. Hodnoty zjištěné měřením byly následně vloženy do systému, který společnost Magna používá. Údaje byly vyhodnoceny a promítnuty do výstupního protokolu, který je zároveň prostředkem pro vyhodnocení vhodnosti systému měření a správnosti samotného měření. Druhou částí praktické části práce je porovnání výsledků z výstupního protokolu s výsledky vlastní studie podle stanov popsaných v teoretické části.

Výstupní protokol je složen z kombinace nejdůležitějších parametrů z obou směrnic. První část je věnována ukazatelům C_g a C_{gk} , které představují složku pocházející z příručky VDA. Následuje analýza GRR, která představuje jednu ze základních složek MSA.

2.1 Výstupní protokol

Výstupní protokol slouží jako podkladový materiál pro posuzování způsobilosti systému měření. Data získaná z měření jsou následně vyhodnocena a poskytují údaje o tom, zda bylo měření úspěšné, nebo v opačném případě, kde došlo k chybě a proč. Tyto výsledky jsou následně porovnány s vlastní studií a na jejich základě jsou vymezeny jednotlivé problematické body v jejich použitelnosti.

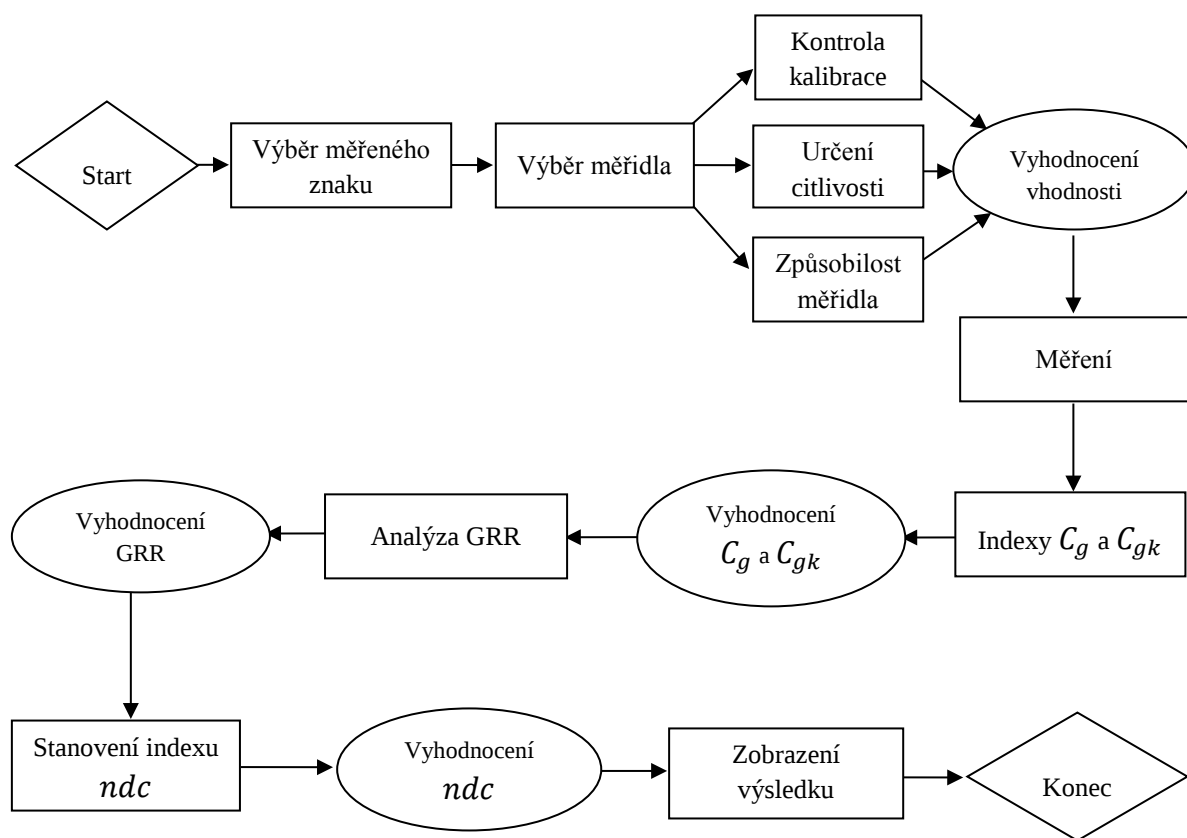
2.2 Průběh analýzy

Průběh vyobrazený na obrázku č. 12 spoléhá na fakt, že všechny jednotlivé kroky projdou hodnocením a nevyskytne se žádný problém. V případě, že by tomu tak nebylo, proces by se musel opakovat a bylo by nutné najít zdroj chyby a eliminovat ho.

Analýza systému začíná výběrem měřicího znaku u konkrétního dílu a jsou nastíněny faktory, které na měřený znak mohou působit a ovlivňovat tak jeho velikost. Navazujícím krokem je výběr vhodného měřidla. Toto měřidlo je vybíráno na základě několika kritérií. Těmi jsou platná kalibrace, práh citlivosti a způsobilost měřidla. Po vyhodnocení vhodnosti

měřidla je možné přejít ke konkrétnímu měření. Po získání naměřených údajů je provedena analýza indexů způsobilosti C_g a C_{gk} , u které musí být sesbíráno dostatečný počet dat, aby bylo možné indexy vyhodnotit. Pokud je vše splněno a indexy jsou vyhodnoceny, lze přejít k dalšímu kroku. Za použití metody průměru a rozpětí (GRR) je provedena analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Pokud je opět nasbíráno dostatečný počet dat a GRR je vyhodnocena, přichází na řadu poslední fáze a tou je stanovení indexu ndc . V případě, že i tento index systémem projde, zobrazí se výsledek a analýza tímto krokem končí.

Pro lepší přehlednost a pochopení bylo vytvořeno následující schéma.



Obrázek 12: Průběh analýzy systému měření

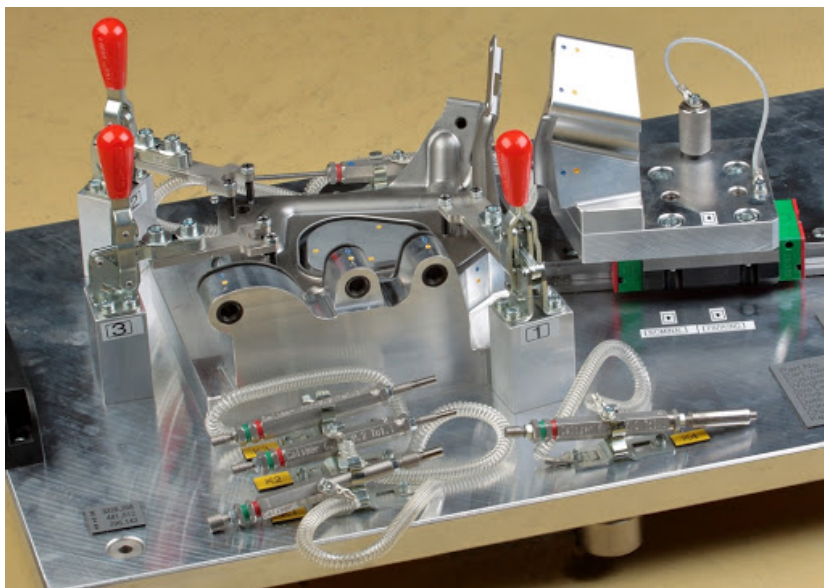
Zdroj: Vlastní zpracování

2.3 Popis dílu, měřeného znaku a měřicího systému

Hned na úvod je důležité zmínit, že měření bylo provedeno jak pro levostranný, tak i pro pravostranný díl k pátých dveřím automobilu. Postupy jsou totožné, takže v práci budou uvedeny jednotně. Pro vzorový příklad byl vybrán díl z levé srany.

K analýze byl vybrán díl určený pro automobilový průmysl. Tento díl byl vyroben z plastu technologií vstřikování a jedná se o komponent do pátých dveří. Měřeným znakem byl v tomto případě součet odchylek od celkové délky s tolerancí $\pm 0,5$ mm. V teoretické části bylo zmíněno, že pro měření musí být zvoleno prostředí s konstantními podmínkami a to proto, že plast, který je použit v tomto měření, má tendenci se smršťovat a deformovat v souvislosti s okolní teplotou a dalšími faktory. I proto je důležité měřit v adekvátních podmínkách. Jak měřidlo, tak i díl musí být alespoň 2 hodiny před zahájením měření na místě, kde k měření dojde. Důvodem je, že díl musí vychladnout na okolní teplotu a měření musí být provedeno na stejném místě, kde dochází k ochlazení dílu.

Pro jednotlivé díly jsou stanoveny přesné kontrolní postupy, které má operátor k dispozici. Každý díl se měří na kontrolním fixačním přípravku s interním označením *1UP-XXX*, který je opatřen pouzdry pro úchylkoměry. Odchytky byly měřeny pomocí digitálního úchylkoměru s označením *1cu-XXX*. Výběr vhodného měřidla závisí na rozhodnutí pověřené osoby, která určí, zda má měřidlo platnou kalibraci, správný práh citlivosti a jestli je způsobilé k danému měření.



Obrázek 13: Kontrolní fixační přípravek

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4 Výpočet koeficientů C_g , C_{gk}

Po odsouhlasení způsobilosti měřidla a měřicího systému došlo na první měření, které se týkalo koeficientů C_g a C_{gk} . Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.6.3, indexy způsobilosti C_g a C_{gk} se vypočtou z 50 naměřených hodnot. Měření jsem prováděl osobně. Konkrétní postup měření spočíval ve výběru (v tu dobu) náhodného dílu, který se opatrně upevnil do fixačního přípravku. Pomocí jednoduché páčky byly ukotveny čtyři upevňovací body. Páčka byla zakončena gumou, aby se díl nepoškodil. U tohoto konkrétního dílu bylo zapotřebí změřit odchylku na obou stranách. Odchylka byla měřena pomocí úchylkoměru tak, že se úchylkoměr zasunul do pouzdra kontrolního přípravku s tím, že se musel lehce dotknout upevněného dílu. Digitální displej úchylkoměru zobrazil velikost odchylky, která se následně zapsala do předem připravené tabulky. Nejdříve byl předmětem měření bod MB1, následně bod MB2 a v závěru byl proveden součed odchylek obou měřených bodů. Na 3D měřícím zařízení, které je přesnější, se změřily body adekvátní bodům MB1 a MB2 a ze součtu odchylek byla stanovena referenční hodnota -0,07 mm.

Tabulka 4: Koeficienty pro stanovení indexu způsobilosti

	k_1	k_2	$C_{g_{min}}$
MSA	0,2	6	1,33
VDA	0,2	4	1,33

Zdroj: Vlastní zpracování

Tyto koeficienty jsou využívány k výpočtu indexů způsobilosti C_g a C_{gk} , které se vypočtou dle vztahu (7) a (8).

$$C_g = \frac{k_1 T}{k_2 s} = \frac{k_+ (UCL - LCL)}{k_2 s} = \frac{0,2 * 1}{0,06} = 3,33$$

$$C_{gk} = \frac{k_1 T - |x_{ref} - \bar{x}|}{k_2 s} = \frac{0,2 - |-0,27 - (-0,2702)|}{0,06} = 3,33$$

kde T ... tolerance daná rozdílem horní a dolní toleranční meze $T = USL - LSL$

k_1, k_2 ... zvolené konstanty podle vybrané metodiky

x_{ref} ... přijatá referenční hodnota etalonu

$\bar{x}$... aritmetický průměr naměřených hodnot

s ... výběrová směrodatná odchylka vyjádřená vztahem:

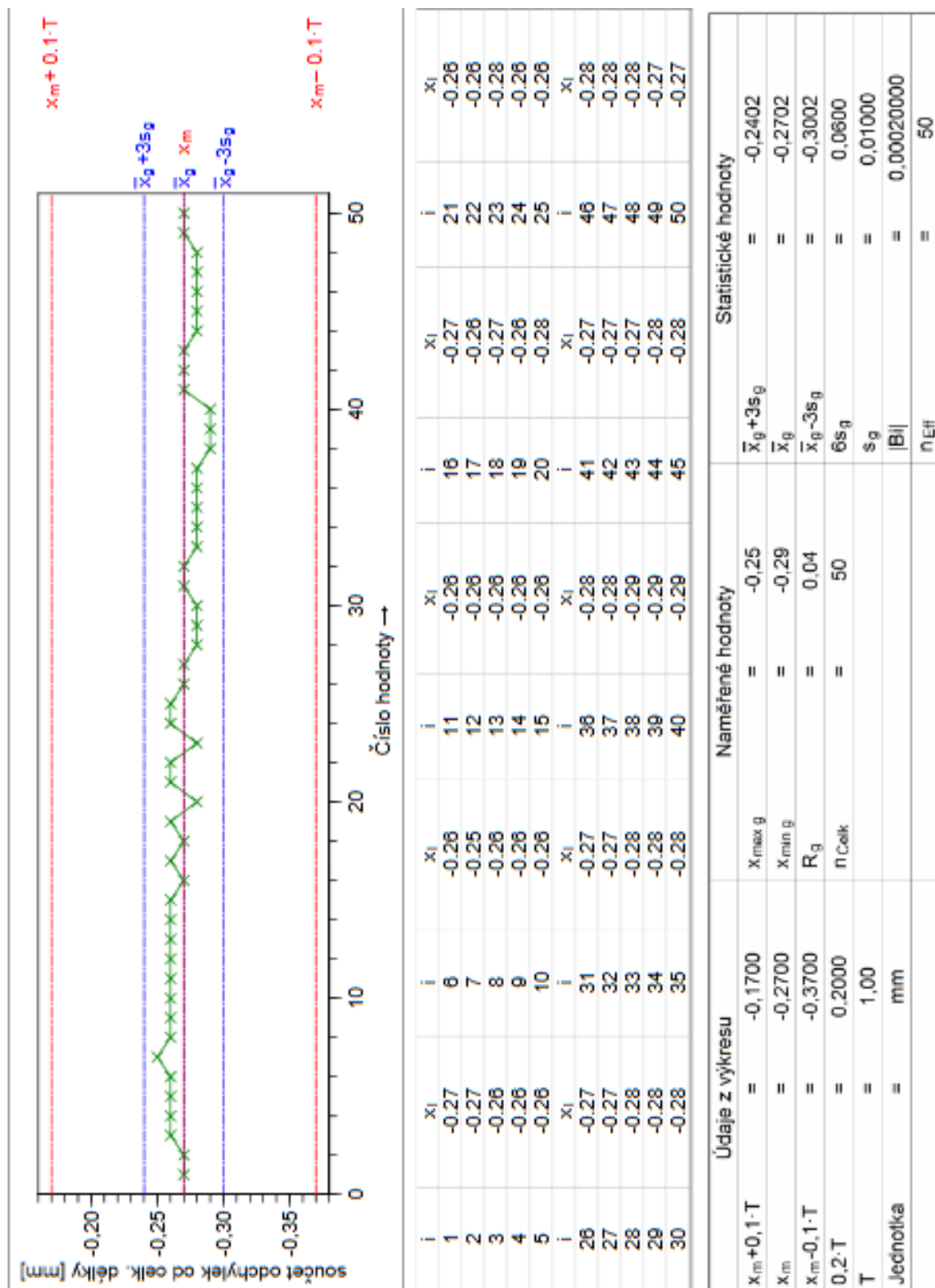
$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{50} [(-0,27 + 0,2702)^2 + \dots + (-0,28 + 0,2702)^2 + \dots + (-0,27 + 0,2702)^2]} = 0,01$$

Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m+0,1\cdot T$	= -0,1700	$x_{max\ g}$	= -0,25	$\bar{x}_g+3s_g$	= -0,2402
x_m	= -0,2700	$x_{min\ g}$	= -0,29	$\bar{x}_g$	= -0,2702
$x_m-0,1\cdot T$	= -0,3700	R_g	= 0,04	$\bar{x}_g-3s_g$	= -0,3002
$0,2\cdot T$	= 0,2000	n_{Celk}	= 50	$6s_g$	= 0,0600
T	= 1,00			s_g	= 0,01000
Jednotka	= mm			$ B $	= 0,00020000
				n_{Eff}	= 50
Test na systematickou odchylku měření (Bias)				Výsledek testu : Statisticky nevýznamné	
Systematická odchylka měření (Bias) = 0,02%					
Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!					
Rozlišení	%RE = 1,00%			$T_{min} (\%RE)$	= 0,100
$\%EVO = \frac{EVO}{T}$	= 6,00%			$T_{min} (\%EVO)$	= 0,600
$C_g = \frac{0,2\cdot T}{6\cdot s_g}$	= 2,66 ≤ 3,33 ≤ 3,99			$T_{min} (C_g)$	= 0,399
$C_{gk} = \frac{0,1\cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3\cdot s_g}$	= 2,66 ≤ 3,33 ≤ 3,99			$T_{min} (C_{gk})$	= 0,401
Měřicí systém je způsobilý (C_g, C_{gk})					

Obrázek 14: Vyhodnocení koeficientů C_g a C_{gk} ve výstupním protokolu

Zdroj: Výstupní protokol

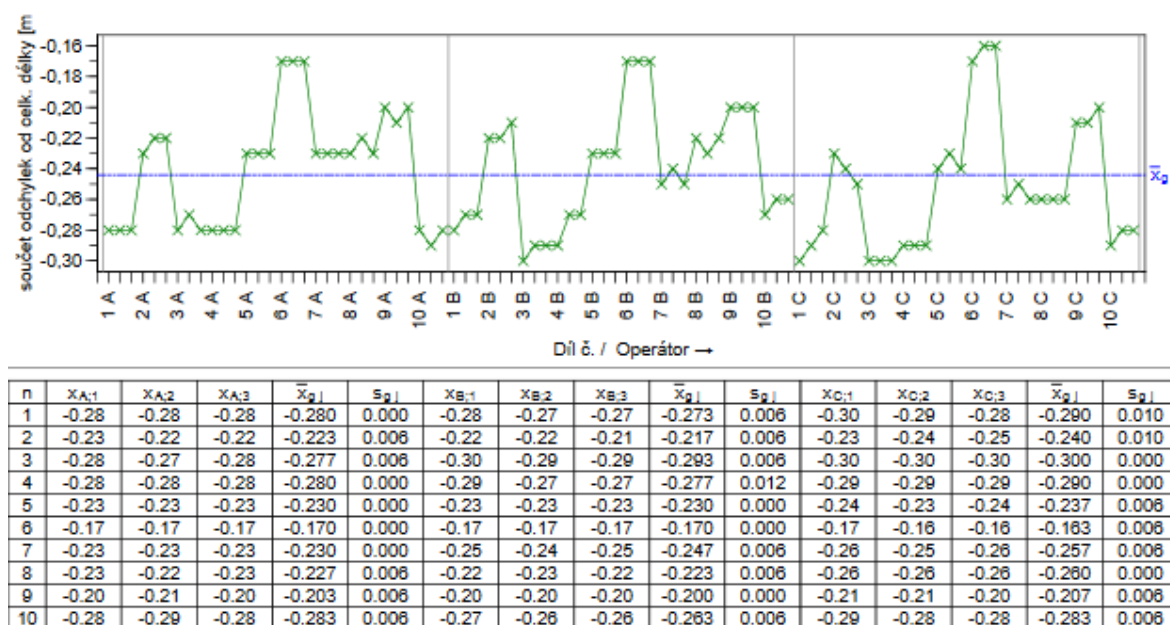


Obrázek 15: Naměřené hodnoty pro výpočet C_g a C_{gk}

Zdroj: Výstupní protokol

2.5 Výpočet GRR

Následujícím krokem je analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti za použití metody průměru a rozpětí. Tato metodika byla nastíněna v kapitole 1.5.3 „Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti“. Toto měření bylo provedeno třemi operátory, z nichž jedním jsem byl opět já. Předmětem měření bylo 10 dílů stejného produktu. Díly byly náhodně vybrány tak, aby reálně popisovaly celé výrobní rozpětí proto každý z vybraných dílů pocházel z jiné fáze výrobní směny. Proces měření probíhal nesystematickým střídáním dílů tak, aby každý z operátorů změřil každý z deseti dílů třikrát. Naměřené údaje se opět zaznamenávaly do připravené tabulky. Náhodné pořadí dílů slouží k tomu, aby operátoři poctivě měřili každý díl bez ohledu na to, jakou měl díl hodnotu při předcházejícím měření. Celý průběh měření opět odpovídal podrobnému manuálu, který byl umístěn na stanovišti.



Obrázek 16: Naměřené hodnoty pro výpočet GRR

Zdroj: Výstupní protokol

Ze získaných dat z měření byly vypočteny základní údaje pro další průběh hodnocení testu GRR. Jako první se vypočte rozpětí jednotlivých dílů měřených jedním operátorem a následně se vypočte průměrné rozpětí pro každého ze tří operátorů.

Výpočty dle vztahů:

$$\overline{R_{1A}} = |\max(x_{1A}) - \min(x_{1A})| = |-0,28 + 0,28| = 0 \text{ mm}$$

$$\overline{R_A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{iA} = \frac{(0 + 0,01 + 0,01 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,01 + 0,01 + 0,01)}{10} = 0,005 \text{ mm}$$

Tabulka 5: Výpočet průměru a rozpětí jednotlivých operátorů

**Operátor
(A)**

	Díl											
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	
1	-0,28	-0,23	-0,28	-0,28	-0,23	-0,17	-0,23	-0,23	-0,20	-0,28	-0,241	
2	-0,28	-0,22	-0,27	-0,28	-0,23	-0,17	-0,23	-0,22	-0,21	-0,29	-0,24	
3	-0,28	-0,22	-0,28	-0,28	-0,23	-0,17	-0,23	-0,23	-0,20	-0,28	-0,24	
Průměr	-0,28	-0,223	-0,277	-0,28	-0,23	-0,17	-0,23	-0,227	-0,203	-0,287	$\bar{X} \text{ (A)}$	-0,2403
Rozpětí	-	0,01	0,01	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	$\bar{R} \text{ (A)}$	0,005

Zdroj: Vlastní zpracování

To samé se provede u operátorů B a C s tím že $\overline{R_A}$ je tedy 0,005 mm, $\overline{R_B}$ je 0,008 mm a $\overline{R_C}$ má hodnotu 0,009 mm.

Poté se vypočte celkové průměrné rozpětí dle vztahu:

$$\bar{R} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \overline{R_k} = \frac{\overline{R_A}}{3} + \frac{\overline{R_B}}{3} + \frac{\overline{R_C}}{3} = \frac{0,005 + 0,008 + 0,009}{3} = 0,0073 \text{ mm}$$

Díky této hodnotě lze určit horní regulační mez, která se vypočte následovně.

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 2,575 \times 0,0073 = 0,019$$

Jelikož je u všech operátorů jejich průměrné rozpětí menší než horní regulační mez, nemusí se žádný z měřených dílů přeměřovat. Kdyby tomu tak ale nebylo, musel by operátor, u kterého by bylo průměrné rozpětí vyšší než horní regulační mez, znovu třikrát změřit každý z vybraných dílů. V tomto případě problém nenastal a tak bylo možné přistoupit k dalšímu kroku. Hodnota dolní regulační meze LCL je 0, jelikož je počet opakování měření jednotlivých dílů menší než sedm.

Následným krokem je výpočet aritmetického průměru, stejně jako tomu bylo u rozpětí. Tedy nejdříve výpočet průměru pro každý díl měřený jedním operátorem, následně výpočet průměrů měření jednotlivých operátorů a na závěr se určí celkový aritmetický průměr.

$$\overline{X}_{1A} = \frac{-0,28 + (-0,28) + (-0,28)}{3} = -0,28$$

$$\overline{X}_A = \frac{-0,28 + (-0,223) + (-0,277) + (...) + (-0,203) + (-0,283)}{10} = -0,2403$$

Opět se stejný výpočet provede u dalších dvou operátorů s tím, že $\overline{X}_A$ je tedy -0,2403 mm, $\overline{X}_B$ je -0,239 mm a $\overline{X}_C$ má hodnotu -0,2527 mm.

Na závěr se zjistí celkový aritmetický průměr pomocí vztahu:

$$\bar{X} = \frac{\overline{X}_A}{3} + \frac{\overline{X}_B}{3} + \frac{\overline{X}_C}{3} = \frac{-0,2403 + (-0,239) + (-0,2527)}{3} = -0,244 \text{ mm}$$

Jako další se vypočte rozpětí mezi jednotlivými díly *RP* tak, že se vypočte ke každému dílu jeho průměr z hodnot naměřených všemi třemi operátory a nejnižší z průměrů se odečte od toho nejvyššího.

Tabulka 6: Celkové průměry jednotlivých dílů

Průměr pro díl	-0,281	-0,227	-0,29	-0,282	-0,232	-0,167	-0,245	-0,237	-0,203	-0,276	$\bar{X}$	-0,244
-----------------------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------	--------

Zdroj: Vlastní zpracování

Výpočet RP dle vztahu:

$$RP = \max(x_i) - \min(x_i) = -0,167 - (-0,290) = 0,123 \text{ mm}$$

Na závěr bylo vypočteno rozpětí mezi průměry jednotlivých operátorů dle vztahu:

$$\overline{x_{DIFF}} = \max(x_k) - \min(x_k) = -0,239 - (-0,2527) = 0,0137 \text{ mm}$$

Tyto kroky jsou automaticky vypočítány softwarem a ve výstupním protokolu nejsou zmíněny.

Hlavními ukazateli, kterým je ve výstupním protokolu věnována největší pozornost a zároveň tvoří nejpodstatnější část pro rozhodování, jsou opakovatelnost, reprodukovatelnost, celkové rozptýlení (opakovatelnost a reprodukovatelnost), rozptýlení jednotlivých dílů neboli disperze. V neposlední řadě je rozlišení, které tvoří samostatnou složku a je absolutně nezávislé vůči nejistotě měření a vůči veškerým částem měřicího procesu i samotného dílu. Jedná se čistě o vlastnost konstrukce čtecího zařízení. U těchto výpočtů je využito tabulkových hodnot pro konstantu d_2^* , jejíž hodnoty tvoří obsah tabulky č. 7.

Tabulka 7: Hodnoty d_2^*

		m (počet operátorů)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
g (počet měření)	1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83	2,96	3,08	3,18
	2	1,28	1,81	2,15	2,4	2,6	2,77	2,91	3,02	3,13
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75	2,89	3,01	3,11
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74	2,88	3	3,1
	5	1,19	1,74	2,1	2,36	2,56	2,73	2,87	2,99	3,1
	6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73	2,87	2,99	3,1
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72	2,87	2,99	3,1
	8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72	2,87	2,98	3,09
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	11	1,16	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72	2,85	2,98	3,09
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71	2,85	2,98	3,09
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08
	> 15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,97	3,078

Zdroj: Vlastní zpracování

Opakovatelnost značená EV se vypočítá dle vztahu:

$$EV = \bar{R}/d_{2\ EV}^* = 0,0073/1,693 = 0,004$$

reprodukovatelnost značená AV dle vztahu:

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF}K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}} = (0,0137 \times 0,5231)^2 - \frac{(0,0043)^2}{30} = 0,007$$

opakovatelnost a reprodukovatelnost značená GRR dle vztahu:

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} = \sqrt{(0,004)^2 + (0,007)^2} = 0,008$$

dále variabilita dílu značená PV dle vztahu:

$$PV = \frac{RP}{d_{2\ PV}^*} = \frac{0,123}{3,18} = 0,039$$

a celková variabilita TV dle vztahu:

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2} = \sqrt{(0,004)^2 + (0,007)^2 + (0,039)^2} = 0,04$$

Následně se počítá procento tolerance. Výpočet procentuálního podílu jednotlivých variabilit opakovatelnosti a reprodukovatelnosti vzhledem k celkové variabilitě dle vztahů:

$$\%EV = 100 \left(\frac{EV}{TV} \right) = 10 \%$$

$$\%AV = 100 \left(\frac{AV}{TV} \right) = 17,5 \%$$

$$\%PV = 100 \left(\frac{PV}{TV} \right) = 97,5 \%$$

$$\%GRR = 100 \left(\frac{GRR}{TV} \right) = 20 \%$$

Na základě těchto procentuálních ukazatelů se stanoví procento tolerance, které slouží jako hlavní ukazatel vhodnosti měřících systémů. Výpočet dle vztahů:

$$\%EV = 100 \left(\frac{EV}{Tol} \right) = 2,8 \%$$

$$\%AV = 100 \left(\frac{AV}{Tol} \right) = 4,2 \%$$

$$\%PV = 100 \left(\frac{PV}{Tol} \right) = 23,5 \%$$

$$\%GRR = 100 \left(\frac{GRR}{Tol} \right) = 4,9 \%$$

Závěrečným výpočtem v protokolu o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla je určení indexu ndc , který značí počet rozlišitelných kategorií a vypočítá se dle vztahu (4).

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{GRR} = 4$$

Pro určení výsledku studie, zda je systém měření způsobilý, je zapotřebí vyhodnotit procentuální ukazatel $\%GRR$. V kapitole 1.5.3 „Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti“ byly uvedeny podmínky pro rozhodnutí o přijetí měřícího systému.

Na závěr se vypočte rozlišení, které tvoří samostatnou skupinu v hodnocení vhodnosti procesu.

Čís. dílu Znak č.	xxxxxxxxxx MB1+MB2	Díl ozn. Znak ozn.	VW T7 - Attika lak L součet odchylek od celk. délky
	Rozptýl	Směrodatná odchylka	
Opakovatelnost	0,000028889	0,0053748	EVO = 0,0045817 ± 0,0053748 ± 0,00654
Reprodukovatelnost	0,000048230	0,0069448	AV = 0,0022753 ± 0,0069448 ± 0,04656
Interakce	0,000059547	0,0077167	IA = 0,0050227 ± 0,0077167 ± 0,01228
Celkové rozptýlení	0,00013667	0,011690	GRR = 0,0098218 ± 0,011690 ± 0,047537
			PV = 0,022520 ± 0,039116 ± 0,075668
T	=	1,00	
Tolerance	T	=	1,00
		Interval spolehlivosti	1-α = 95,000%
Rozlišení	%RE	=	1,00%
Celkové rozptýlení	%GRR	=	7,01%
Rozptýlení dílů	%PV	=	23,47%
Počet rozlišovatelných tříd	ndc	=	4
Požadavky nejsou splněny (%RE,%GRR,ndc)			
Magna Bohemia Liberec MSA4/VDA5, Postup 2: Vůči Toleranci			
	T _{min} (%GRR)	=	0,701
	T _{min} (%GRR)	=	0,234

Obrázek 17: Vyhodnocení GRR

Zdroj: výstupní protokol

2.6 Zhodnocení výsledků

První část výstupního protokolu tvoří koeficienty C_g a C_{gk} , které hodnocením prošly bez menšího problému. Výsledky z obou měření (3,33) byly vyšší, než minimální požadovaná hodnota 1,33. Rozlišení ve výši 1 % říká, že bylo zvoleno vhodné měřidlo a zelený smajlík poukazuje na fakt, že veškeré výpočty a analýzy systému jsou vyhovující.

Co se týče ukazatelů GRR, zde nastala menší potíž. Hodnota rozlišení vyšla opět 1 %, což znamená, že bylo zvoleno správné měřidlo. Pokud by bylo rozlišení příliš velké, mělo by za následek nepřesné odhady všech ostatních vlastností. Horní toleranční mez, co se rozlišení týče, je na hodnotě 10 %, což vypovídá o vhodném výběru měřicího zařízení. Ukazatel GRR s výsledkem lehce přes 7 % je také v pořádku. Opakovatelnost a reprodukovatelnost se pohybují v rozmezí tolerančního i regulačního pole. V teoretické části bylo naznačeno, že pokud se GRR pohybuje pod 10 %, je měřidlo způsobilé a systém měření je vyhovující. Stejně jako rozptýlení jednotlivých dílů, které se pohybuje mezi 23 a 25 %, což je také v pořádku.

Naopak koeficient ndc , jež značí počet rozlišovaných kategorií, systém vyhodnotil jako chybný. To, že nějaký ze zkoumaných ukazatelů nevyjde, ještě však neznamena chybný výsledek. Zde je zapotřebí připomenout, že měření bylo velmi stabilní, i přesto ukazatel ndc nevyšel. To je způsobeno tím, že nelze (ani není požadováno) vyrobit díly v celém rozpětí tolerance. Všechny tyto díly jsou vstřikovány do stejné formy, ze které vycházejí pouze s nepatrnými rozdíly, což je koneckonců záměrem. Při měření 10 dílu není možné obsadit rozpětí celé tolerance a tak koeficient ndc nemohl vyjít i přesto, že systém měření je vhodný.

Proto je důležité, aby při hodnocení pověřená osoba ne vždy koukala pouze na zelenou, případně červenou barvu, ale je nutné se zamyslet nad důvodem, proč k takovému závěru došlo.

Porovnání výsledků vlastní studie s výsledky ve výstupním protokolu pomocí tabulky č. 8 potvrzuje jejich správnost. Drobné rozdíly jsou způsobeny zaokrouhlováním, ale vesměs se výsledky velmi přibližují číslům z protokolu. Jediným větším rozdílem je, že vlastní studie nebere v potaz interakci, naopak výstupní protokol ano. Interakci je zapotřebí zapojit v případě, že je pro výpočet použita metoda ANOVA. Ruční výpočet interakce je však natolik složitý, že se pro jeho zjištění používají pouze výpočetní techniky, jimiž byla

interakce zjištěna právě ve výstupním protokolu. V tabulce jsou porovnány výsledky nejsledovanějších ukazatelů pro posouzení vhodnosti měřicího systému.

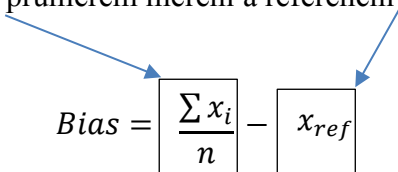
Tabulka 8: Porovnání výsledků vlastní studie s výstupním protokolem

	Výstupní protokol	Vlastní studie
Cg	3,33	3,33
Cgk	3,33	3,33
Sg	0,01	0,01
EV	0,004562	0,004
AV	0,006945	0,007
PV	0,039116	0,039
GRR	0,009822	0,008
% EV	3,22 %	2,8 %
% AV	4,17 %	4,2 %
% PV	23,47 %	23,5 %
% GRR	7,01 %	4,9 %
ndc	4	4

Zdroj: Vlastní zpracování

3 Další možný problematický bod

MSA je nejvyžívanější metodikou pro zhodnocení vhodnosti systému měření. Metodikou MSA však nelze za každých podmínek sledovat potřebné ukazatele. Práce odhalila hned několik problémů, ke kterým dochází v důsledku nesprávného použití této metodiky. Hlavní zjištěnou oblastí je určování strannosti. Respektive vhodnost MSA pro určování strannosti. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, strannost je systematická chyba měřicího systému způsobená operátorem, měřidlem nebo systémem měření. Pro potřeby MSA je definována jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem měření a referenční hodnotou.


$$Bias = \frac{\sum x_i}{n} - x_{ref}$$

Jelikož je MSA zjednodušenou formou pro zkoumání způsobilosti měřících zařízení, je poměrně snadné aplikovat uvedené metody v praxi. Na druhou stranu tím však omezuje jejich obecnou použitelnost. V ideálním případě by se strannost měla rovnat nule, toho však nelze nikdy dosáhnout. Otázkou tedy je, jak velká strannost je přípustná, aby splňovala daná kritéria. MSA říká, že strannost je akceptovatelná, pokud není signifikantně různá od nuly.

To vyjadřují testy nulové ($Bias = 0$) a alternativní ($Bias \neq 0$) hypotézy. V posledním kroku MSA říká, že strannost je přijatelná (statisticky nulová) na hladině alfa, kde alfa značí možnost, že se zmýlíme, pokud bude dosaženo závěru, že průměrná strannost je signifikantně různá od nuly. Běžně používaná pravděpodobnost chyby I. druhu α je 5 %.

$$\frac{|Bias|}{\sigma_r} \leq \frac{t\left(k, 1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sqrt{n}}$$

Levá strana vzorce porovnává strannost s opakovatelností tak, že vydělí strannost směrodatnou odchylkou měření. Výsledek tohoto zlomku musí být menší nebo roven výrazu na pravé straně, tj. $(1 - \frac{\alpha}{2})$ %-kvantilu α rozdílu s k stupni volnosti. Tento požadavek se mění v závislosti na počtu opakovaných měření.

Vzorec pro výpočet strannosti však v sobě skrývá hned několik problémů. Zaprvé říká, že čím větší je směrodatná odchylka, tím větší může strannost být.

$$\frac{|Bias|}{\sigma_r} = \frac{0,1}{0,5} = \frac{1,1}{5,5} = \frac{16}{80} = \frac{123}{615}$$

MSA sice směrodatnou odchylku ohraničuje do určitého rozmezí, takže strannosti nedovoluje tuto hranici překročit. Avšak v tento moment dochází k tomu, že se měřidlo bude zdát tím lepší, čím horší bude opakovatelnost.

Druhým velkým problémem je fakt, že každé měřidlo (i se sebemenší stranností) dojde do fáze, kdy musí být prohlášeno za nezpůsobilé. To je podmíněno tím, že čím více měření nad požadovaný počet měření bude provedeno a strannost se tak bude neustále blížit nule, tím přísnější bude požadavek na strannost.

To znamená, že čím víc bude měření, tím menší je tolerovaná chyba. Jinak řečeno, pokud bude nekonečně mnoho řešení, maximální přípustná chyba bude rovna 0. To však nedává smysl, jelikož měřicí zařízení bude vyhodnoceno jako nezpůsobilé i když se teoreticky jedná o ideální stav.

Třetím problémem je pravděpodobnost chyby I. druhu α , která uvádí šanci, že bude chybně zamítnuta platná hypotéza. Hodnota takovéto chyby je pro MSA 5%. Použití této chyby může navodit dojem, že závěru je dosaženo s určitou mírou nejistoty. To vlastně říká, že čím jistější si chceme s výsledkem (dostatečně nízkou stranností) být, tím vyšší strannost povolíme.

Tato fakta poukazují na to, že jinak velmi užitečné a funkční metody jsou někdy použity nesprávně, i když podle správných postupů. Důvodem je, že statistické testování hypotéz vždy hledá důkazy ve prospěch alternativní hypotézy na úkor hypotézy nulové. Proto může nastat, a ve skutečnosti nastává situace, kdy je měřidlo prohlášeno za nezpůsobilé, i když tomu tak není. Problém je ve skutečnosti v použité metodě.

Závěr

Bakalářská práce se zabývala problematikou měřicích systémů a to konkrétně jejich vhodností. Dále porovnává metodiky MSA 4. vydání a VDA 5, které zaujímají odlišné názory na hodnocení kvality a vhodnosti měřicích systémů.

V úvodu praktické části byla pozornost věnována průběhu samotné analýzy a jsou zde vysvětleny jednotlivé kroky a postupy k jejich úspěšnému naplnění. Praktická část práce pokračovala konkrétním měřením ve vybraném podniku. Naměřená data byla vložena do programového systému, následně vyhodnocena a výsledkem byl výstupní protokol, který posuzuje kvalitu měřicího systému pro daný projekt a zároveň poukazuje na možné nedostatky. Dále byla na konkrétním systému měření provedena jeho analýza. Byl zde popsán měřený díl, měřicí přípravek a celý systém měření. V závěru praktické části jsou mé vlastní výpočty, u kterých následně došlo k porovnání s výsledky ve výstupním protokolu.

Vlastní studií bylo zjištěno, že programový systém na výpočet jednotlivých aspektů pro posuzování vhodnosti měřicího systému pracuje správně a bylo dosaženo téměř totožných výsledků jako ve výstupním protokolu. Na druhou stranu byly nalezeny i jisté nedostatky v použitelnosti konkrétních metodik. Tyto nedostatky jsou zachyceny v posledních dvou kapitolách práce. Kapitola „Zhodnocení výsledků“ a následně kapitola „Další možný problematický bod“ popisují situace, kdy použitý programový systém vyhodnotí výsledky jako chybné na úkor správnosti postupů i výpočetních technik. Chybnými výsledky jsou v tomto případě myšleny hodnoty, které nespádají do stanoveného tolerančního pole. Dále bylo zjištěno, že ne všechny vlastnosti a charakteristiky mohou být správně interpretovány a je velmi důležité se nad každým problémem zamyslet.

Seznam použité literatury

- 1) LUDVÍK, Vladimír. *Komentář k vydání ČSN EN ISO 10012 Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení*. Praha: Český normalizační institut, 2004. ISBN 80-7283-147-X.
- 2) ČSN P ISO/TS 16949. *Systémy managementu kvality: Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2008 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu*. 2010. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2010
- 3) MOHR, et al. *Od Plastimatu k Magně 1946-2016: 70 let historie zpracovávání plastických hmot v Čechách*. Liberec: Marketing K2, 2016. ISBN 978-80-270-0848-3.
- 4) *Analýza systému měření*. 4. vyd., Praha: Česká společnost pro jakost, 2010, 231s., ISBN 978-80-02-02323-5
- 5) *Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4.
- 6) NĚMEČEK, P. *Vhodnost kontrolních procesů (VDA 5) – 2. vydání*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02307-4.
- 7) JAROŠOVÁ, E. *Způsobilost systému měření podle normy ČSN ISO 22514-7*. [cit. 21. 7. 2020][online]. 2007. Dostupné z:
http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/Zpusobilost_systemu_mereni_6_2014.pdf
- 8) PAN, Jeh-Nan. *Evaluating the Gauge Repeatability and Reproducibility for Different Industries*. Quality. 2006, vol. 40, issue 4. DOI: 10.1007/s11135-005-1100-y.

- 9) KLAPUT, P.: *Faktory ovlivňující výsledky analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření*. Kvalita 2010 – sborník přednášek. Ostrava: DTO CZ, s.r.o. 2010. ISBN 978-80-02-02240-4.
- 10) PALENČÁR, Rudolf, František VDOLEČEK a Martin HALAJ. *Nejistoty v měření 1: vyjadřování nejistot*. Automa: časopis pro automatizační techniku. Praha: FCC Public, 2001.
- 11) AL-REFAIE, Abbas a Nour BATA. *Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures*. *Measurement*. 2010, č. 43, 842 -851.
- 12) KAZEROUNI, Afrooz Moatari. *Design and Analysis of Gauge R&R Studies: Making Decisions Based on ANOVA Method*. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009, č. 40, 31 -35. ISSN: 2070-3740.
- 13) *Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. Praha: Česká společnost pro kvalitu, 2011, 170 s. Management kvality v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4.
- 14) DAIMLER CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. *Analýza systémů měření (MSA)*. 4. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011 (české), 231 s. ISBN 978-80-02-02326-5.
- 15) NETOLICKÝ, Petr. *Statistické aspekty analýzy systému měření*. Plzeň, 2006. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- 16) NETOLICKÝ, P., TŮMOVÁ, O. *Použitelnost analýzy systémů měření*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7043-484-8.
- 17) CYHELSKÝ, Lubomír, Jana KAHOUNOVÁ a Richard HINDLS, 2001. *Elementární statistická analýza*. 2. vydání, Praha: Management Press. ISBN 80-7261-003-1.
- 18) HINDLS, Richard, et al. 2007. *Statistika pro ekonomy*. 8 vyd. Praha: Professional Publishing. ISBN 978-80-86946-43-6

Seznam příloh

Příloha 1: Výstupní protokol

MAGNA		Analýza měřicích systémů		Strana 1 / 4	
Číslo dokumentu: BLC-5600-004-F01		Číslo revize dokumentu: 1		Závod: Magna Liberec	
Díl ozn.: VW T7 - Altika lak L		Zprac. jméno: Martin Stránský		Datum/Čas: 3/20/2020	
Číslo dílu: xxxxxxxx	Odd./Nákl. střed./V1	OZK	Zkuš. místo	OZK Exteriör	
Zkušební prostředek		Etalon		Znak	
Zk. pr.: Ozn.	Digitální úchytkoměr	Etalon ozn.	Kontrolní přípravek	Znak ozn. součet odchylek od celk. délky	
Zk. pr. čís.	1cuXXX	Etalon čís.	1UPxxxx	Znak č. MB1+MB2	
Zk. pr.: Rozlišení	0.01	Etalon akt. hodn.	-0.27	Jmen. ho 0.00	HTM 0.50 Δ 0.50
Dáv. zk.	Uvolnění KP do série	Jedn.	mm	Jedn.	mm DTM -0.50 Δ -0.50
Poznámka: Cg, Cgk - měřeno 12.3.2020, měřil: Šimek Jakub					

1	x ₁	1	x ₁	1	x ₁	1	x ₁	1	x ₁
2	-0.27	6	-0.26	11	-0.26	16	-0.27	21	-0.26
3	-0.27	7	-0.26	12	-0.26	17	-0.26	22	-0.26
4	-0.26	8	-0.26	13	-0.26	18	-0.27	23	-0.28
5	-0.26	9	-0.26	14	-0.26	19	-0.26	24	-0.26
6	-0.26	10	-0.26	15	-0.26	20	-0.28	25	-0.26
7	x ₁	1	x ₁	1	x ₁	1	x ₁	1	x ₁
26	-0.27	31	-0.27	36	-0.28	41	-0.27	46	-0.28
27	-0.27	32	-0.27	37	-0.28	42	-0.27	47	-0.28
28	-0.28	33	-0.28	38	-0.29	43	-0.27	48	-0.28
29	-0.28	34	-0.28	39	-0.29	44	-0.28	49	-0.27
30	-0.28	35	-0.28	40	-0.29	45	-0.28	50	-0.27

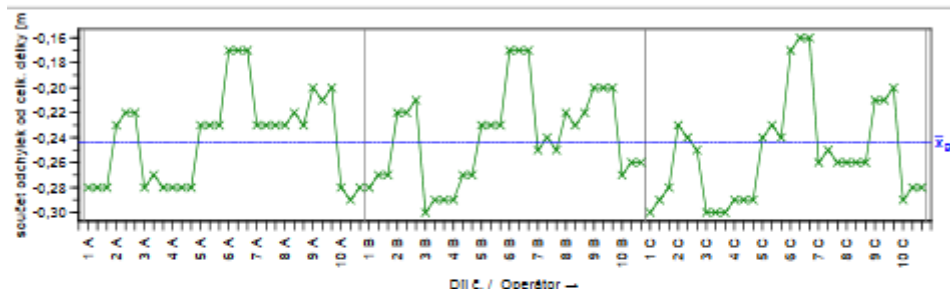
Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_{m+0.1 \cdot T}$	= -0.1700	$x_{max g}$	= -0.25	$\bar{x}_g + 3s_g$	= -0.2402
x_m	= -0.2700	x_{avg}	= -0.29	$\bar{x}_g$	= -0.2702
$x_{m-0.1 \cdot T}$	= -0.3700	R_g	= 0.04	$\bar{x}_g - 3s_g$	= -0.3002
$0.2 \cdot T$	= 0.2000	n_{Cpk}	= 50	$6s_g$	= 0.0600
T	= 1.00			s_g	= 0.01000
Jednotka	= mm			$ B $	= 0.00020000
				n_{gr}	= 50

Test na systematickou odchylku měření (Bias)			Výsledek testu: Statisticky nevýznamné	
Systematická odchylka měření (Bias) = 0.02%			Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!	
Rozlišení	%RC = 1.00%	0 10	$T_{max} (EAO)$	= 0.100
$\%EVO = \frac{EVO}{T}$	= 6.00%	0 10 30	$T_{min} (NEVO)$	= 0.600
$C_g = \frac{0.2 \cdot T}{6 s_g}$	= 2.68 $\leq$ 3.33 $\leq$ 3.99	0 1.33	$T_{min} (C_g)$	= 0.399
$C_{gk} = \frac{0.1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 s_g}$	= 2.66 $\leq$ 3.33 $\leq$ 3.99	0 1.33	$T_{min} (C_{gk})$	= 0.401

Měřicí systém je způsobilý (C_g, C_{gk})

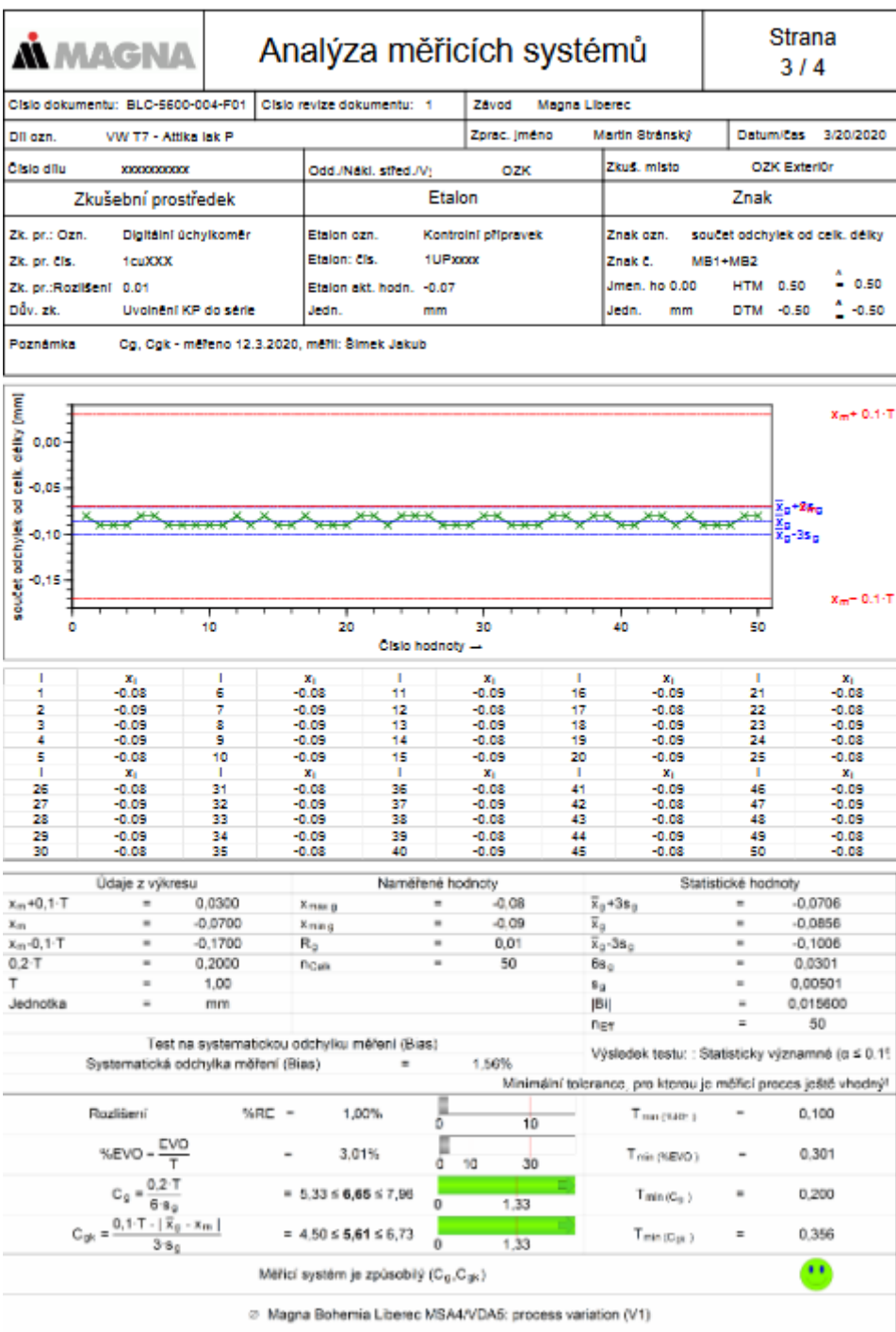
© Magna Bohemia Liberec MSA4/VDA5: process variation (V1)

Číslo dokumentu: BLC-5600-004-F01		Číslo revize dokumentu: 1		Závod Magna Liberec	
Díl ozn. VW T7 - Atika lak L		Zprac. jméno Martin Stránský		Datum/čas 3/20/2020	
Číslo dílu xxxxxxxx		Odd./Nákl. střed./V: OZK		Zkuš. místo OZK Exterér	
Zkušební prostředek		Etalon		Znak	
Zk. pr.: Ozn. Číselníkový úchytkoměr		Etalon ozn. Kontrolní přípravek		Znak ozn. součet odchylek od celk. délky	
Zk. pr. čís. 1cuxxx		Etalon čís. 1UP1158		Znak č. MB1+MB2	
Zk. pr.: Rozlišení 0,01		Etalon akt. hodn. -0,5		Jmen. ho 0,00 HTM 0,50 Δ 0,50	
Dův. zk. Uvolnění KP do série		Jedn. mm		Jedn. mm DTM -0,50 Δ -0,50	
Poznámka GRR - měřeno 12.3.2020, měřil: A: Šimek Jakub, B: Kopecký Michal, C: Stránský Martin					

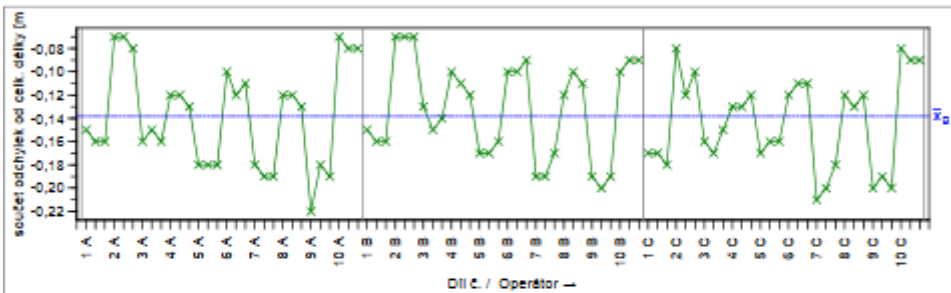


n	$X_{A,1}$	$X_{A,2}$	$X_{A,3}$	$\bar{X}_{g,1}$	$S_{g,1}$	$X_{g,1}$	$X_{g,2}$	$X_{g,3}$	$\bar{X}_{g,1}$	$S_{g,1}$	$X_{C,1}$	$X_{C,2}$	$X_{C,3}$	$\bar{X}_{g,1}$	$S_{g,1}$
1	-0,28	-0,28	-0,28	-0,280	0,000	-0,28	-0,27	-0,27	-0,273	0,006	-0,30	-0,29	-0,28	-0,290	0,010
2	-0,23	-0,22	-0,22	-0,223	0,006	-0,22	-0,22	-0,21	-0,217	0,006	-0,23	-0,24	-0,25	-0,240	0,010
3	-0,28	-0,27	-0,28	-0,277	0,006	-0,30	-0,29	-0,29	-0,293	0,006	-0,30	-0,30	-0,30	-0,300	0,000
4	-0,28	-0,28	-0,28	-0,280	0,000	-0,29	-0,27	-0,27	-0,277	0,012	-0,29	-0,29	-0,29	-0,290	0,000
5	-0,23	-0,23	-0,23	-0,230	0,000	-0,23	-0,23	-0,23	-0,230	0,000	-0,24	-0,23	-0,24	-0,237	0,006
6	-0,17	-0,17	-0,17	-0,170	0,000	-0,17	-0,17	-0,17	-0,170	0,000	-0,17	-0,16	-0,16	-0,163	0,006
7	-0,23	-0,23	-0,23	-0,230	0,000	-0,25	-0,24	-0,25	-0,247	0,006	-0,26	-0,25	-0,26	-0,257	0,006
8	-0,23	-0,22	-0,23	-0,227	0,006	-0,22	-0,23	-0,22	-0,223	0,006	-0,26	-0,26	-0,26	-0,260	0,000
9	-0,20	-0,21	-0,20	-0,203	0,006	-0,20	-0,20	-0,20	-0,200	0,000	-0,21	-0,21	-0,20	-0,207	0,006
10	-0,28	-0,29	-0,28	-0,283	0,006	-0,27	-0,26	-0,26	-0,263	0,006	-0,29	-0,28	-0,28	-0,283	0,006

Čís. dílu	xxxxxxxxxx		Díl ozn.		VW T7 - Atika lak L			
Znak č.	MB1+MB2		Znak ozn.		součet odchylek od celk. délky			
	Rozptyl	Směrodatná odchylka						
Opakovanost	0,00029589	0,0053745	EVO	$\pm 0,0345617 \pm 0,0053746 \pm 0,00054$	%EVO	= 3,22%		
Reprodukovanost	0,00048230	0,008445	Av	$\pm 0,0322753 \pm 0,0099446 \pm 0,04056$	%Av	= 4,17%		
Interakce	0,00058547	0,0077167	IA	$\pm 0,0302227 \pm 0,0077967 \pm 0,01228$	%IA	= 4,63%		
Celkové rozptýlení	0,0013667	0,011829	GRR	$\pm 0,0385218 \pm 0,011606 \pm 0,047537$	%GRR	= 7,91%		
			Pv	$\pm 0,027570 \pm 0,038116 \pm 0,075888$	%Pv	= 23,47%		
T	=	1,00						
Tolerance	T	= 1,00	Interval spolehlivosti		T=0	= 95,00%		
Rozlišení	%REC	= 1,30%						
Celkové rozptýlení	%GRR	= 7,91%						
Rozptýlení dílů	%PV	= 23,47%						
Počet rozlišitelných dílů	n/d	= 4						
Požadavky NEpos schůlny (%REC/%GRR/%PV)								
								
Magna Bohemia Liberec MB4/ND45, Postup 2, V05, Tolerance:								
			T _{rec} (%GRR)	=	9,731	T _{rec} (%GRR)	=	9,234



		Analýza měřicích systémů		Strana 4 / 4	
Číslo dokumentu: BLC-5600-004-F01		Číslo revize dokumentu: 1		Závod: Magna Liberec	
Díl ozn.: VW T7 - Atika lak P		Zprac. jméno: Martin Stránský		Datum/čas: 3/20/2020	
Číslo dílu: xxxxxxxx		Odd./Nákl. střed./V1: OZK		Zkuš. místo: OZK Exterér	
Zkušební prostředek		Etalon		Znak	
Zk. pr.: Ozn. Číselníkový úchytkoměr		Etalon ozn. Kontrolní přípravek		Znak ozn. součet odchylek od celk. délky	
Zk. pr. čís. 100000		Etalon čís. 1UP1158		Znak č. MB1+MB2	
Zk. pr.: Rozšíření 0.01		Etalon akt. hodn. -0.5		Jmen. ho 0.00 HTM 0.50 Δ 0.50	
Dův. zk. Uvolnění KP do série		Jedn. mm		Jedn. mm DTM -0.50 Δ -0.50	
Poznámka: GRR - měřeno 12.3.2020, měřil: A: Šimek Jakub, B: Kopecký Michal, C: Stránský Martin					



n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	$\bar{X}_A$	S _A	X _{B,1}	X _{B,2}	X _{B,3}	$\bar{X}_B$	S _B	X _{C,1}	X _{C,2}	X _{C,3}	$\bar{X}_C$	S _C
1	-0.15	-0.16	-0.16	-0.157	0.006	-0.15	-0.16	-0.16	-0.157	0.006	-0.17	-0.17	-0.18	-0.173	0.006
2	-0.07	-0.07	-0.08	-0.073	0.006	-0.07	-0.07	-0.07	-0.070	0.000	-0.08	-0.12	-0.10	-0.100	0.020
3	-0.16	-0.15	-0.16	-0.157	0.006	-0.13	-0.15	-0.14	-0.140	0.010	-0.16	-0.17	-0.15	-0.160	0.010
4	-0.12	-0.12	-0.13	-0.123	0.006	-0.10	-0.11	-0.12	-0.110	0.010	-0.13	-0.13	-0.12	-0.127	0.006
5	-0.18	-0.18	-0.18	-0.180	0.000	-0.17	-0.17	-0.16	-0.167	0.006	-0.17	-0.16	-0.16	-0.163	0.006
6	-0.10	-0.12	-0.11	-0.110	0.010	-0.10	-0.10	-0.09	-0.097	0.006	-0.12	-0.11	-0.11	-0.113	0.006
7	-0.18	-0.19	-0.19	-0.187	0.006	-0.19	-0.19	-0.17	-0.183	0.012	-0.21	-0.20	-0.18	-0.197	0.015
8	-0.12	-0.12	-0.13	-0.123	0.006	-0.12	-0.10	-0.11	-0.110	0.010	-0.12	-0.13	-0.12	-0.123	0.006
9	-0.22	-0.18	-0.19	-0.197	0.021	-0.19	-0.20	-0.19	-0.193	0.006	-0.20	-0.19	-0.20	-0.197	0.006
10	-0.07	-0.08	-0.08	-0.077	0.006	-0.10	-0.09	-0.09	-0.093	0.006	-0.08	-0.09	-0.09	-0.087	0.006

Čís. dílu: xxxxxxxx		Díl ozn.: VW T7 - Atika lak P	
Znak č.: MB1+MB2		Znak ozn.: součet odchylek od celk. délky	
Opakovatelnost	0,00077775	Standardní odchylka	EVO = 0,0274848 ± 0,0001192 ± 0,01073
Reprodukce	0,00030123		AV = 0,0214106 ± 0,0004406 ± 0,03702
Interakce	0,00033210		IA = 0,0219676 ± 0,0007626 ± 0,01055
Celkové rozptýlení	0,0014111		GRR = 0,00715 ± 0,011979 ± 0,03006
			Pr = 0,021737 ± 0,001000 ± 0,00000
T	=	1,00	
Tolerance	T	=	1,00
			Interval opakovatelnosti
			T=0 = 95,00%
Rozšíření	%RE	=	1,30%
Celkové rozptýlení	%GRR	=	7,13%
Rozptýlení dle	%PV	=	24,65%
Počet rozlišovatelných úrovní	ndc	=	4
Požadavky NĚpos schvářeny (%RE/%GRR,025)			
Magna Bohemia Liberec MSM4/NDAS: Posup 2: V05 Tolerance			
	T _{max} (%GRR)	=	9,713
	T _{min} (%GRR)	=	0,238