



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH INTERNÍ METODIKY MSA PRO ATRIBUTIVNÍ DATA VE FIRMĚ

DESIGN OF AN INTERNAL METHODOLOGY FOR MSA OF ATTRIBUTIVE DATA IN THE COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Jaroš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vendula Sámelová, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. David Jaroš
Studijní program:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Vendula Sámelová, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh interní metodiky MSA pro atributivní data ve firmě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

MSA analýza je běžným a často také dobře zvládnutým procesem, který musí aplikovat firmy působící zejména v automobilovém průmyslu. MSA analýza atributivních dat nebývá často řešena komplexně, vychází ze zkušeností a konzervativního přístupu, což se setkává s výhradami při auditech. Je tedy v zájmu firem mít zavedenou interní metodiku, která by více reflektovala specifika jednotlivých atributivních měření. Hlavním úkolem bude navrhnout interní metodiku pro tvorbu atributivní MSA ve firmě a srovnat nově navržené postupy se stávajícími konzervativními postupy.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu metod hodnocení způsobilosti.

Systémový rozbor řešené problematiky.

Návrh nové metodiky, zdůvodnění zvoleného způsobu řešení, popis použitých metod.

Aplikace navržené metodiky ve firmě.

Vyhodnocení a posouzení výsledků.

Vyvození vlastních závěrů a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

STAMATIS, Dean. Automotive Process Audits: Preparations and Tools. Boca Raton: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2021. ISBN 9780367759391.

VDA 5. Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody. 2. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 9788002023074.

Analýza systémů měření: příručka. Čtvrté vydání. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 9788002023265.

IATF 16949. Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. 1st edition. International Automotive Task Force, 2016, 60 s.

ČSN ISO 22514-7:2014. Statistické metody v managementu procesu – Způsobilost a výkonnost: Část 7: Způsobilost procesů měření. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 46 s. 010277.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předložená diplomová práce se zabývá návrhem interní metodiky MSA pro atributivní data ve firmě v návaznosti na nález při auditu IATF 16949:2016. Text práce má za cíl zmapovat současné trendy v přístupech k atributivní MSA analýze se zaměřením na vizuální kontrolu. Na základě zjištěných teoretických poznatků má být posléze navržena nová firemní metodika. Jednotlivé definované cíle práce byly naplněny, díky čemuž vznikla metodika, odpovídající požadavkům firmy i metodám popsaným v relevantních příručkách. Navrhovaná metodika využívá metodu křížových tabulek, která popisuje analýzu atributivních dat bez znalosti reference. Výsledkem analýzy jsou koeficienty *kappa*, určující míru shody v hodnocení, a hodnoty efektivity systému měření. Při dodržení zásad, popsaných v diplomové práci, je možné zobecnit navrženou metodiku i pro použití v jiných firmách.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of an internal methodology for MSA of attributive data in the company following a finding in the IATF 16949:2016 audit. The thesis text aims to map the current trends in approaches to attributional MSA analysis with a focus on visual inspection. Based on the theoretical findings, a new company methodology is to be subsequently proposed. The defined aims of this thesis were fulfilled, resulting in a methodology that meets the company's requirements as well as the methods described in the relevant manuals. The proposed methodology uses the cross-tab method, which describes the analysis of attributional data without knowledge of the reference. The result of the analysis are *kappa* coefficients, which determine the measure of agreement in the evaluation, and efficiency values of the measurement system. By following the principles described in this thesis, it is possible to generalize the proposed methodology for use in other companies.

KLÍČOVÁ SLOVA

MSA analýza, atributivní data, vizuální kontrola, vhodnost měřicího systému, návrh metodiky

KEYWORDS

MSA analysis, attribute data, visual inspection, capability of the measuring system, design of the methodology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jaroš, David. *Návrh interní metodiky MSA pro atributivní data ve firmě*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2022, 73 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Vendula Sámelová, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mě během studia a tvorby této práce podporovali. Zejména bych chtěl poděkovat mé vedoucí Ing. Vendule Sámelové, Ph.D. za vstřícnost, trpělivost a cenné rady při konzultacích. Dále bych rád poděkoval za spolupráci zaměstnancům z oddělení kvality ve firmě, která zadala téma této diplomové práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Venduly Sámelové, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 15. května 2022

.....

David Jaroš

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE PRÁCE	17
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	19
3.1	Typy dat	19
3.1.1	Spojité	19
3.1.2	Diskrétní/atributivní	19
3.1.3	Volba mezi spojitými a atributivními daty	19
3.2	Analýza systémů měření (MSA)	19
3.2.1	Požadavky na MSA	19
3.2.2	Podstata MSA	20
3.3	Terminologie MSA	21
3.4	Statistické vlastnosti MSA	22
3.4.1	Variabilita procesu měření	22
3.4.2	Variabilita systému měření	22
3.4.3	Variabilita polohy	22
3.4.4	Variabilita šíře	22
3.5	Metodika vyhodnocení MSA pro atributivní data	23
3.5.1	Příručka VDA 5	23
3.5.2	Příručka MSA	25
3.5.3	Další zdroje	31
3.6	Softwarové vyhodnocení MSA analýzy pro atributivní data	34
3.6.1	Minitab	34
3.6.2	Palstat CAQ	38
3.6.3	Excel	40
4	ANALÝZA A SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLÉMU	41
4.1	Charakteristika firmy	41
4.2	Popis současného přístupu firmy	41
4.3	Důležité body MSA analýzy	44
4.3.1	Příprava studie	44
4.3.2	Výběr vzorků	44
4.3.3	Výběr operátorů a počet opakování	46
4.3.4	Průběh analýzy	47
4.3.5	Vyhodnocení a interpretace	47
4.3.6	Postup při nevyhovujícím výsledku	47
5	VLASTNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ	49
5.1	Shrnutí a srovnání teoretických předpokladů	49
5.1.1	Metodiky VDA 5 a MSA	49
5.1.2	Provedení MSA analýzy	49
5.1.3	Softwarové nástroje	50
5.2	Návrh interní metodiky	50
6	PRAKTICKÁ APLIKACE NAVRŽENÉ METODIKY	53
6.1	První aplikace („Mapy“)	53
6.1.1	Příprava analýzy	53
6.1.2	Průběh analýzy	55
6.1.3	Vyhodnocení a interpretace	56

6.1.4	Postup při nevyhovujícím výsledku	57
6.2	Druhá aplikace („Bublina“).	57
6.2.1	Příprava studie	58
6.2.2	Průběh analýzy	59
6.2.3	Vyhodnocení a interpretace	60
6.3	Analýza výsledků praktické aplikace	60
6.4	Srovnání stávajícího firemního přístupu a navrhované metodiky	61
7	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	63
8	ZÁVĚR.....	65
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	67
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	69
10.1	Seznam zkratk	69
10.2	Seznam symbolů	70
10.3	Seznam obrázků	71
10.4	Seznam tabulek	72
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

1 ÚVOD

Mnoho firem, nejen v oblasti strojírenství, zavádí a udržuje různé systémy managementu definované normami. Důvodem je zpravidla snaha lépe řídit kvalitu svých produktů, bezpečnost zaměstnanců, ovlivňování životního prostředí apod. Snad nejvýznamnější z těchto norem je (v českém prostředí) ČSN EN ISO 9001:2016 s názvem „Systém managementu kvality“. Zavedením tohoto systému firmy usilují v první řadě o osvědčení celkové firemní kvality, upevnění postavení na trhu, posílení konkurenceschopnosti či deklaraci stabilní spolupráce a partnerství s dodavateli i zákazníky. Specifickým odvětvím strojírenství je automobilový průmysl, v němž je standardem norma IATF 16949:2016 s názvem „Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu“. Jedná se o specifikaci a doplnění požadavků normy ISO 9001 na automobilový průmysl.

Jedním z požadavků normy IATF 16949:2016 je zavedení analýzy MSA, jakožto nástroje pro provádění statistické studie, která má analyzovat variabilitu výsledků každého typu systému měřících zařízení. Analýza MSA je určena k vyhodnocování spojitých (kvantitativních) a atributivních (kvalitativních) dat. Díky tomu může výrobce lépe chápat kvalitu svých výrobků, důvěřovat nástrojům sledujícím kvalitu a vyhledávat zdroje případné nekvality.

Firma, zadávající téma této diplomové práce (dále jen „firma“), dodává produkty mj. výrobcům nákladních vozidel a autobusů. Z toho pro ni vyplývá požadavek na zavedení a udržování normy IATF16949:2016. Při recertifikačním auditu uvedené normy však byly zjištěny firemní nedostatky v přístupu k vyhodnocování atributivních dat analýzou MSA. Odpovědné osoby ve firmě se rozhodly řešit vzniklý problém formou zadání diplomové práce, jejíž vypracování bude zároveň nápravným opatřením zmíněného nálezu auditu.

Předložená práce má za cíl navrhnout interní metodiku, která bude reflektovat současné požadavky a trendy v oblasti atributivní MSA analýzy se zaměřením na problematiku vizuální kontroly ve firmě. Nejdříve bude proveden teoretický a systémový rozbor problému, který bude následně analyzován a na základě analýzy bude rozhodnuto, jakým způsobem bude přistoupeno k samotnému návrhu interní metodiky. Následně bude návrh, tvořící samostatnou přílohu této práce, prakticky aplikován na reálné měření ve firmě a bude zhodnocen jeho přínos.

2 MOTIVACE PRÁCE

Tato práce vznikla na základě neshody při recertifikačním auditu IATF 16949:2016 ve firmě, jak je uvedeno na obrázku 1. Konkrétně se jednalo o neshodu s kapitolou 7.1.5.1.1 *Analyzá systému měření*, která říká:

„Pro analyzování variability výsledků každého typu systému kontrolních, měřicích a zkušebních zařízení identifikovaného v plánu kontroly a řízení se musí provádět statistická studie. Použité analytické metody a přijímací kritéria musí odpovídat metodám a kritériím uvedeným v příručkách pro analýzu systému měření. Mohou se používat i jiné analytické metody a přijímací kritéria, jestliže je zákazník schválil. (...)“ [1]

Při auditu bylo shledáno, že proces MSA není plně efektivní, neboť chybělo vypracování MSA analýzy pro atributivní data (data získaná z vizuální kontroly výrobků) v rámci určité výrobní linky. Příčinou neshody byla absence systémového požadavku pro vytvoření statistické analýzy pro každý typ kontroly ve firmě. Částí nápravného opatření uvedené neshody byla aktualizace systémových požadavků pro statistické analýzy. V průběhu zmíněné aktualizace však bylo odpovědnými osobami ve firmě shledáno, že firma nemá dostatečně pochopený a implementovaný postup pro tvorbu a vyhodnocení MSA analýzy pro atributivní data. Na základě tohoto poznatku byla firmou podána žádost o vypracování diplomové práce, která se má uvedenou problematikou blíže zabývat a jejímž zamýšleným výstupem by měl být návrh interní metodiky MSA pro vyhodnocování atributivních dat. Výslovným požadavkem zároveň bylo použití koeficientu *kappa* jakožto prostředku pro posouzení vhodnosti systému měření. [2]

Automotive: Action List



Management Service

A) Non-Conformities

* Evidence documents for each non-conformity must be sent to the Lead Auditor after implementation of each action by the organization.

No.	Chapter Audit Basis	Process	Evaluation	Description of non-conformity	5 Why Root Cause Analysis of the company	Action of the company	Responsible / Date
1.	7.1.5.1.1	Quality	x	<p>Non-Conformity: The process of MSA isn't fully effective</p> <p>Standard: Measurement system analysis Statistical studies shall be conducted to analyse the variation present in the results of each type of inspection, measurement, and test equipment system identified in the control plan. The analytical methods and acceptance criteria used shall conform to those in reference manuals on measurement systems analysis</p> <p>Evidence: Missing attribute MSA evidence for visual control mentioned in control plan line [redacted]</p> <p>Justification for minor non-conformity: Random failure occurrence, another MSA for testing, control or measuring method checked with positive result No risk to customer</p>	<p>1. Why: MSA for visual check have not been analyzed</p> <p>2. Why: PE/QE team have not prepared the study</p> <p>3. Why: The study was not required by system</p> <p>4. Why: System is not set to require the statistical analysis for each type of inspection</p> <p>5. Why: ---</p> <p>Root Cause: Procedure [redacted] does not require the statistical analysis of variability in each type of inspection, measurement and test equipment identified in control plan.</p>	<p>Correction Prepare statistical study for visual check on line [redacted]</p> <p>Evidence documents*: [redacted] – record of a new attribute MSA</p> <p>Systematic corrective Action to eliminate the root cause: (preventively to other products/processes): Update the procedure - Include requirements for statistical analysis (MSA)</p> <p>Evidence documents*: [redacted] - Requirement for statistical analysis (MSA) added to procedure [redacted] - training QE / SPEs on document updating</p> <p>Evidence of the company for verification of the effectiveness of corrective Actions: [redacted] - Verification audit report</p>	<p>[redacted] 1.2021 Done</p> <p>[redacted] 1.2021 Done</p>
<p>Comments / Details regarding verification of actions from Auditor: Correction: MSA attribute for missing control visual method done dated of attached report [redacted] 1.2021 Systematic corrective Action: Rule [redacted] updated [redacted] 1.2021 revision AK for missing requirement for MSA control method updated list attached Training of relevant people for changed documents with link of solving NC1 Minor attendance sheet [redacted] 1.2021 attached Effectiveness of corrective Actions: Internal audit [redacted] dated [redacted] 1.2021 confirms effective action implementation - effective implemented result -evidence checked , Corrective action accepted</p>							

Obr. 1) Neshoda při auditu IATF 16949 [2]

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Typy dat

V kapitole 1 bylo uvedeno, že práce má popsat metodiku tvorby MSA analýzy pro atributivní data. Proto je vhodné nejdříve popsat typy dat a určit, jakými daty se bude tato práce zabývat. Data jsou v pojetí MSA rozdělena na spojitá a diskrétní/atributivní.

3.1.1 Spojitá

Spojité data označují kvantitativní údaje. Proměnná je měřena na stupnici, kterou lze nekonečně dělit a je uvedena v jednotkách (čas v sekundách, délka v metrech apod.). [3; 4]

3.1.2 Diskrétní/atributivní

Diskrétní data označují kvalitativní údaje, mají tedy kategorickou povahu. Kupříkladu hodnocení školní zkoušky může být vyjádřeno ordinálně (stupni hodnocení A–F) nebo binárně (uspěl/neuspěl). Diskrétní data je možno dále dělit takto:

- **Nominální** – nejnižší stupeň klasifikace dat. Čísla přiřazená každé kategorii neposkytují žádné informace o tom, zda jsou data lepší nebo horší než jiná data ve výběru, neodrážejí škálu. Nemá tedy smysl je uspořádat (např. prosté uvedení počtu studentů v jednotlivých třídách školy). [3; 4]
- **Ordinální** – vyšší forma dat než nominální. Přiřazená čísla poskytují určitý význam, proto mohou být ordinální data uspořádána v logickém pořadí (např. hodnocení 1 až 10, kdy 1 je nejhorší a 10 nejlepší, avšak stupeň rozdílu mezi jednotlivými intervaly nemusí být vždy stejný). [3; 4]
- **Binární** – omezená forma nominálních dat. Mohou nabývat pouze jedné ze dvou hodnot (ano/ne, dobrý/špatný, OK/NOK apod.) [4]

3.1.3 Volba mezi spojitými a atributivními daty

Spojité data jsou obecně dobře interpretovatelná, neboť mají vyšší vypovídající hodnotu, jsou přesnější a existují pro ně silné statistické nástroje. Spojitá data lze převést na atributivní, nikoliv však atributivní na spojitá. Proto je preferován sběr spojitých dat před atributivními. Sběr spojitých dat je však zpravidla časově náročnější. [4]


V kapitole 1 je upřesněno, že se má tato práce zabývat tvorbou MSA pro vizuální kontrolu. Výstupem všech vizuálních kontrol ve firmě jsou data v podobě „dobrý/špatný“ či „OK/NOK“. Jedná se tedy o binární data, což je jedním ze základních předpokladů pro přístup k tvorbě této práce.

3.2 Analýza systémů měření (MSA)

3.2.1 Požadavky na MSA

Označení MSA je akronymem anglického sousloví *Measurement System Analysis*, které v překladu znamená *Analýza systému měření* (ekvivalentní je také označení „Studie MSA“, které bude v této práci často používáno). Požadavek na zavedení MSA uvádí norma IATF 16949:2016 v kapitole 7.1.5.1.1, která požaduje provádění statistické studie pro analyzování variability výsledků každého typu systému kontrolních, měřicích a zkušebních zařízení identifikovaných v kontrolním plánu. Příklad části firemního kontrolního plánu je

znázorněn na obrázku 2, přičemž žlutý symbol s písmeny „SZ“ značí tzv. speciální znak. Metoda ověřování, u které je znak „SZ“ uveden, musí být analyzována studií MSA. Použité analytické metody musí odpovídat metodám a kritériím uvedeným v příručkách pro analýzu MSA (jiné postupy jsou možné pouze se schválením zákazníka). [1; 2]

Part, process number / Číslo procesního kroku	Process name, operation description / Název procesního kroku, popis	Machine, device / Stroje, zařízení	Characteristics / Znaky			Classific. Special Character. / Zvláštní znaky	Specification / Specifikace				Control method - form of recording / Záznam	Reaction Plan / Reakční plán
			No. / č.	Product / Výrobku	Process / Procesu		Product/process tolerance specification / Specifikace znaků produktu/procesu	Measurement method / Metoda ověřování	Sample / rozsah			
									Quantity / množství	Frequency / frekvence		
1	Vložení o-ringů do portů 1 a 2 v těle / Insert o-rings into housing port 1 and 2	Ucpávka / Seal Lisovací přípravek / Press fixture	1.1	Kontrola přítomnosti o-ringů / o-ring presence check	--		V souladu s instrukcí / in accordance with instruction Operátor / Operator	Vizuální kontrola / Visual check	100% každý kus / 100% every piece	Každá zakázka / Every order	--	Okamžitá oprava V případě problémů informovat zodpovědnou osobu (1. směna - mistr, 2. a 3. směna - ved. směny).

Obr. 2) Příklad části firemního Kontrolního plánu [2]

Problematikou MSA se zabývají zejména norma ČSN ISO 22514-7:2014 (*Statistické metody v managementu procesu – Způsobilost a výkonnost – Část 7: Způsobilost procesu měření*) a 2 příručky. Jsou to příručka VDA 5 (*Vhodnost kontrolních procesů*) a příručka MSA (*Analýza systémů měření*). Mezi normou ČSN ISO 22514-7:2014 a příručkou VDA 5 existuje jen minimum věcných rozdílů. Příručka VDA 5 vychází z uvedené normy, kterou rozšiřuje o poznatky z dalších norem (např. ČSN EN ISO 9001:2016 – *Systém managementu kvality*, ČSN EN ISO 14253-1 – *Geometrické požadavky na výrobky*). Tím se – pro účely této práce – stává norma ČSN ISO 22514-7:2014 v podstatě redundantním zdrojem informací. [5; 6; 7] Proto bude dále čerpáno zejména z výše uvedených příruček.

3.2.2 Podstata MSA

Pokud chce mít výrobce na trhu dobré jméno, měl by věnovat zvýšenou pozornost kvalitě svých produktů. Není-li zjišťována vhodnost procesů kontroly, může dojít k uvolnění procesů, které jsou nevhodné. Tím by firmě vznikaly vysoké náklady na vyhledávání příčin a dodatečná zlepšování. Aby mohl výrobce lépe pochopit a dobře vyhodnotit kvalitu svých výrobků, musí mít jistotu, že nástroje, kterými kvalitu sleduje, jsou dostatečně přesné, spolehlivé a vyhodnocují data správně. Data mohou být považována za spolehlivá tehdy, jestliže má výrobce jistotu, že jeho měřicí systém měří správně. Je-li kvalita dat nízká, bude nízký i jejich přínos. Naopak vysoká kvalita dat jejich přínos zvyšuje. Proto je potřeba zavést nástroj, který důkladně, vědecky a objektivně analyzuje validitu měřicího systému a variabilitu výsledků měření. Takovým nástrojem je analýza MSA.

Analýza MSA umožňuje:

- analyzovat soubor zařízení, operací, postupů, softwarů a personálu, který ovlivňuje přiřazení hodnoty k charakteristice měření,
- kvantifikovat variabilitu měřicího systému,
- identifikovat chyby přesnosti v rámci nástrojů pro sběr dat,
- pochopit důsledky chyb měření pro rozhodování o produktu nebo procesu. [4; 6; 8; 9; 10]

3.3 Terminologie MSA

Je žádoucí definovat pojmy, které budou v této práci v souvislosti s MSA používány. Pojmy používané v příručkách VDA 5 a MSA se v několika případech liší. Přednost tedy bude dána spíše terminologii dle příručky VDA 5 (z důvodu návaznosti na normu ČSN ISO 22514-7:2014).

Měření – přiřazování hodnot hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti. [7]

Proces měření – kombinace vzájemně provázaných zdrojů (lidských nebo materiálních), aktivit a vlivů, které vytvářejí měření. [6]

Systém měření – úplný proces používaný k získání měření. Jedná se o soubor přístrojů nebo měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, softwaru, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke kvantifikaci jednotky měření nebo ke stálému posuzování měřené stěžejní charakteristiky. [7]

Měřidlo – libovolné zařízení používané k měření buď samostatně, nebo ve spojení s doplňkovým zařízením. Měřidlo použité samostatně je systémem měření. [6]

Měřicí zařízení – měřicí přístroj, software, etalon, referenční materiál nebo pomocný přístroj nebo jejich kombinace, které jsou potřebné pro realizaci procesu měření. [6]

Měřicí systém – kombinace měřidel a často jiných přístrojů jakož i potřebných činidel a obslužných zařízení, která jsou uspořádána a přizpůsobena poskytovat informace používané ke generování naměřených hodnot veličiny ve specifikovaných intervalech pro veličiny specifikovaných druhů. [6]

Vhodnost měřicího systému – vhodnost měřicího systému pro předpokládanou úlohu v kontrolním procesu s výhradním přihlédnutím k požadavkům na přesnost. [6]

Stabilita měření (Stálost) – vlastnost měřidla, určující, zda jeho metrologické vlastnosti zůstávají v čase konstantní. [6]

Etalon – referenční (pravá) hodnota přijatá jako základ pro porovnávání. Jedná se o známou hodnotu v rozsahu stanovených mezí nejistoty. [7]

Pravá hodnota – hodnota ve shodě s definicí veličiny. Lze ji získat ideálním měřením, proto je v podstatě nedosažitelná. [6]

Referenční hodnota – hodnota artefaktu, která slouží jako dohodnutý referenční prostředek pro porovnání. Používá se jako zástupce pravé hodnoty. [7]

Referenční rozhodnutí (Reference) – udává, zda má být (referenční) hodnota klasifikována jako přijatelná (OK, 1), nebo nepřijatelná (NOK, 0). [7]

Referenční díl – etalon, běžně používaný ke kalibraci nebo verifikaci měřidel nebo měřicích systémů. [6]

Tolerance – rozdíl mezi horní a dolní toleranční mezí. Tolerance je absolutní hodnotou bez znaménka, přičemž může být dvojstranná nebo jednostranná. [6]

Interval nejistoty – intervaly v blízkosti tolerančních mezí, pro které se nedá v důsledku nejistoty měření jednoznačně prokázat buď shoda, anebo neshoda. [6]

Shoda – splnění stanovených požadavků. [6]

Neshoda – nesplnění stanovených požadavků. [6]

Kontrola (Prokazování shody) – stanovení jedné nebo více vlastností pro posouzení objektu, na němž je prokazována shoda. [6]

Kontrolor (Operátor, Hodnotitel, Odhadce) – osoba s odpovídajícími odbornými a osobními schopnostmi, která je způsobilá k provádění kontroly a k vyhodnocení jejího výsledku. [6]

Znak – charakteristická vlastnost. [6]

Kontrolovaný znak – znak, na kterém je prováděna kontrola. [6]

Hodnota znaku (Měřená hodnota) – přidružená hodnota charakteristické vlastnosti. [6]

Výsledek měření – množina hodnot, která je přiřazena měřené veličině spolu se všemi dostupnými relevantními informacemi. [6]

Atributivní kontrola – porovnání kontrolovaného znaku s referenční hodnotou nebo referencí. Skutečná odchylka kontrolované hodnoty od jmenovité hodnoty není stanovena. [6]

3.4 Statistické vlastnosti MSA

3.4.1 Variabilita procesu měření

V závislosti na systému měření se celková variabilita uvádí jako normální, případně jako nenormální rozdělení.

3.4.2 Variabilita systému měření

Způsobilost – odhad kombinované variability chyb měření (náhodných a systematických) na základě krátkodobého hodnocení. [7]

Výkonnost – celkový účinek všech významných a stanovitelných zdrojů variability v daném čase. Kvantitativně vyjadřuje dlouhodobé posuzování kombinovaných chyb měření (náhodných a systematických). [7]

Nejistota – parametr související s výsledkem měření. Charakterizuje rozptyl hodnot, které lze odpovídajícím způsobem přiřadit měřené veličině. [7]

3.4.3 Variabilita polohy

Přesnost – „těsnost“ shody průměrné hodnoty naměřených výsledků vzhledem k pravé hodnotě nebo přijaté referenční hodnotě, případně k referenci. [7]

Strannost – rozdíl mezi pozorovaným průměrem měření a referenční hodnotou. [7]

Stabilita – změna strannosti v čase. [7]

Linearita – změna strannosti v běžném provozním rozsahu. [7]

3.4.4 Variabilita šíře

Shodnost – popisuje očekávanou variabilitu opakovaných výsledků měření v daném rozsahu měření (velikostním i časovým). [7]

Opakovatelnost – označována též jako „variabilita operátora“. Jedná se o variabilitu výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem, pokud jej jeden operátor několikrát použije při měření identické charakteristiky na stejném dílu. Příčiny chybné opakovatelnosti mohou být uvnitř operátora, dílu, přístroje, metody, prostředí apod. [7]

Reprodukovatelnost – označována též jako „variabilita mezi operátory“. Jedná se o variabilitu průměrů měření jedním měřicím přístrojem získaných různými operátory při měření identické charakteristiky na stejném dílu. Předpokládá se, že hlavním zdrojem variability je kontrolor,

proto se reprodukovatelnost zpravidla nevztahuje na automatizované systémy měření. Příčiny chybné reprodukovatelnosti mohou být mezi operátory, díly, přístroji, metodami apod. [7]

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (Gage R&R, GRR, R&R) – kombinovaný odhad variability opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Vyjadřuje způsobilost systému měření. [7]

Konzistence – rozdíl ve variabilitě měření prováděných v daném čase. Může být považována za opakovatelnost v daném čase. [7]

Uniformita – rozdíl ve variabilitě v provozním rozsahu měřidla. Může být považována za stejnost opakovatelnosti vzhledem k velikosti. [7]

3.5 Metodika vyhodnocení MSA pro atributivní data

V této kapitole budou popsány postupy pro tvorbu MSA s atributivními data, konkrétně pro binární data. Hlavními podklady jsou metodiky VDA 5 a MSA. Pro úplnost je vhodné uvést, že se obě publikace zabývají zejména metodikami MSA pro spojitá data, atributivní MSA jsou řešena spíše okrajově.

3.5.1 Příručka VDA 5

Již v předmluvě publikace je uvedeno, že jsou do příručky včleněny metody obsažené v příručce MSA. Příručka VDA 5 se vztahuje především na zkoumání geometrických parametrů spojitým měřením, avšak část příručky je věnována také problematice třídění. Konkrétně se jedná o atributivní zkoušky ve smyslu kontroly rozměrů kalibrem.

Vhodnost atributivních kontrolních procesů je zde dokázána pro zkoušky se znalostí referenční hodnoty i bez její znalosti. Jelikož u vizuální kontroly není referenční hodnota k dispozici, slouží jako důkaz vhodnosti „Quasi-důkaz vhodnosti bez znalosti referenčních hodnot“.

Quasi-důkaz vhodnosti bez znalosti referenčních hodnot

Myšlenka tohoto důkazu spočívá v tom, že není zohledňována správnost rozhodnutí při jednotlivých zkouškách, pouze je prověřována významnost rozdílů v rozhodování mezi operátory. Standardizovaným postupem experimentu je vybrat 2 operátory, přičemž každý z nich 3krát vyhodnotí 40 různých vzorků. Na základě jejich vyhodnocení jsou výsledky zařazeny do 3 tříd (výsledek je „dobrý“, „špatný“ nebo „nejednotný“). Takto roztržené výsledky jsou následně zpracovány Bowkerovým testem symetrie, který určí, zda jsou výsledky obou operátorů pokládány za srovnatelné, nebo rozdílné.

Příklad atributivní kontroly bez znalosti referenčních hodnot

Je požadováno, aby byla doložena a dokumentována vhodnost kontrolního procesu vizuální kontroly obrobení plechových ploch na tlakově litých dílech. Kontrolu provádí 2 operátoři, již kontrolují 40 vzorků ve 3 opakováních. Výsledky zkoušky jsou zaneseny do matice výsledků, znázorněné v tabulce 1, a otestovány Bowkerovým testem symetrie (tabulka 2), jehož pozorovací veličinou je 95% kvantil rozdělení χ^2 se 3 stupni volnosti.

Tab. 1) Matice výsledků [6]

Četnost opakovaných zkoušek		Operátor B			
		výsledek ---	výsledek smíšený	výsledek +++	
Operátor A	výsledek ---	2	1	0	3
	výsledek smíšený	3	12	2	17
	výsledek +++	7	6	7	20
		12	19	9	40

Tab. 2) Přehled s výsledkem Bowkerova testu [6]

Operátor A versus operátor B			
H0	oba operátoři zjišťují stejné výsledky!!!		
H0	oba operátoři zjišťují rozdílné výsledky!!!		
Hladina významnosti	Kritické hodnoty		Testovací statistika
	dolní	horní	
$\alpha = 5\%$	---	7,81	
$\alpha = 1\%$	---	11,34	
$\alpha = 0,1\%$	---	16,27	10,0000*
Výsledek zkoušky	Nulová hypotéza je na hladině významnosti $\alpha \leq 5\%$ zamítnuta		

Testovací statistika χ^2 nabývá hodnoty 10,0000, přičemž horní srovnávací hodnota je 7,81. Proto je hypotéza „oba operátoři zajišťují stejné výsledky“ zamítnuta na hladině významnosti $\alpha \leq 5\%$ a testovaný způsob vizuální kontroly je označen za nevhodný.

Aby byla vizuální kontrola zlepšena, je zaveden nový katalog vad zahrnující vzory hraničních případů. Pokus je oběma kontrolory zopakován a výsledky jsou opět zaneseny do matice (tabulka 3) a otestovány (tabulka 4).

Tab. 3) Matice výsledků po opravě [6]

Četnost opakovaných zkoušek		Operátor B			
		výsledek ---	výsledek smíšený	výsledek +++	
Operátor A	výsledek ---	8	3	1	12
	výsledek smíšený	2	9	3	14
	výsledek +++	0	1	13	14
		10	13	17	40

Tab. 4) Přehled výsledků po opravě [6]

Operátor A versus operátor B			
HO	oba operátoři zjišťují stejné výsledky!!!		
HO	oba operátoři zjišťují rozdílné výsledky!!!		
Hladina významnosti	Kritické hodnoty		Testovací statistika
	dolní	horní	
$\alpha = 5\%$	---	7,81	
$\alpha = 1\%$	---	11,34	
$\alpha = 0,1\%$	---	16,27	2,2000*
Výsledek zkoušky	Nulová hypotéza není vyvrácena		

Testovací statistika χ^2 nabývá hodnoty 2,20000, horní srovnávací hodnota je stále 7,81. Proto hypotéza „oba operátoři zajišťují stejné výsledky“ není zamítnuta na hladině významnosti $\alpha \leq 5\%$ a testovaný způsob vizuální kontroly je nyní označen za vhodný. [6]

3.5.2 Příručka MSA

Studie atributivního měření je v této příručce uvedena jako „Studie systémů měření metodou srovnávání“. Na počátku jsou uvedeny metody analýzy rizika, které hodnotí rizika špatných nebo nekonzistentních rozhodnutí v případech, kdy není možné zajistit „dostatečný počet“ vzorků s referenčními hodnotami. Jsou uvedeny metody „Analýza testů hypotéz“ a „Teorie detekce signálu“. Ty však nekvantifikují variabilitu systému měření srovnáváním, proto by se měly používat pouze se souhlasem zákazníka. Model detekce signálu je pro potřeby této práce nepoužitelný (požaduje znalost referenčních hodnot), nebude zde tedy uveden. Analýza testů hypotéz může, ale nemusí ve svém postupu zohlednit reference a referenční hodnoty jednotlivých vzorků.

Analýza testů hypotéz – Metoda křížových tabulek

Předpokladem může být proces, který vyrábí výrobky hodnocené srovnáváním dobrých a špatných kusů. Není možné zjistit, jak je výrobek dobrý nebo špatný, pouze se určují 2 kategorie: zda je přijat (označen jako 1) nebo nepřijat (označen jako 0). K analýze je využito 50 vzorků, jejichž reference ani referenční hodnota není známá. Měření provádí 3 operátoři (A, B a C) a každý z nich provede u každého dílu 3 rozhodnutí. Jednotlivá vyhodnocení jsou

zaznamenána do tabulky 5, uvádějící vyhodnocenou kategorii vzorku v závislosti na operátorech. Například označení „A-2“ znamená hodnocení operátora A během druhého opakování měření.

Tab. 5) Soubor dat pro studii metodou srovnáváním [7]

Díl	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Díl	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0
6	1	1	0	1	1	0	1	0	0	31	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	32	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	1	0	0	1	0	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	36	1	1	0	1	1	1	1	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	38	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1	1	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	41	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	43	1	0	1	1	1	1	1	1	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	44	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	1	0	1	0	1	0	1	0	46	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	0	0	1	0	1	0	1	1	0	47	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	49	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nejprve se vzájemně vyhodnotí pozorovaná data vzhledem k různým dvojicím kontrolorů. Do křížové tabulky se uvede kolikrát se jednotlivé dvojice shodly a neshodly v hodnocení (příklad pro dvojici A*B je znázorněn v tabulce 6).

Tab. 6) Sumarizace rozdělení dat pro dvojici pozorovatelů A*B [7]

		B		Celkem
		0	1	
A	0	44 shodují se	6 neshodují se	50
	1	3 neshodují se	97 shodují se	100
Celkem		47	103	150

Poté se odhadne očekávané rozdělení dat, tedy pravděpodobnost náhodné shody/neshody dvojice kontrolorů při měření. Ze 150 kontrolovaných vzorků zamítl kontrolor A daný díl 50krát, pozorovatel B 47krát:

$$p_{A0} = 47/150 = 0,313$$

$$p_{B0} = 50/150 = 0,333$$

Tito dva pozorovatelé jsou však nezávislí, proto je pravděpodobnost shody na špatném dílu dána vztahem:

$$p(A0 \cap B0) = p_{A0}p_{B0} = 0,104$$

Očekávaný počet případů, kdy se pozorovatel A a pozorovatel B shodují, že část je špatná, se odhadne vynásobením kombinované pravděpodobnosti počtem pozorování:

$$150 \times p_{A0}p_{B0} = 150 \times (47/150) \times (50/150) = 15,7$$

Podobné odhady se provedou pro každé dvojice v kategorii. Tímto způsobem se následně vytvoří křížové tabulky pro dvojice hodnotitelů A*B, B*C a A*C (viz tabulky 7–9).

Tab. 7) Křížová tabulka A*B [7]

A*B		B		Celkem	
		0	1		
A	0	Počet	44	6	50
		Očekávaný počet	15,7	34,3	50,0
	1	Počet	3	97	100
		Očekávaný počet	31,3	68,7	100,0
Celkem		Počet	47	103	150
		Očekávaný počet	47,0	103,0	150,0

Tab. 8) Křížová tabulka B*C [7]

B*C		C		Celkem	
		0	1		
B	0	Počet	42	5	47
		Očekávaný počet	16,0	31,0	47,0
	1	Počet	9	94	103
		Očekávaný počet	35,0	68,0	103,0
Celkem		Počet	51	99	150
		Očekávaný počet	51,0	99,0	150,0

Tab. 9) Křížová tabulka A*C [7]

A*C		C		Celkem	
		0	1		
A	0	Počet	43	7	50
		Očekávaný počet	17,0	33,0	50,0
	1	Počet	8	92	100
		Očekávaný počet	34,0	66,0	100,0
Celkem		Počet	51	99	150
		Očekávaný počet	51,0	99,0	150,0

K určení úrovně shody se používá koeficient (Cohenova) *kappa*, který měří míru shody v hodnocení stejného vzorku mezi dvěma operátory. Hodnota *kappa* 0 značí čistě náhodnou shodu, hodnota 1 dokonalou shodu a hodnota -1 dokonalou neshodu, přičemž hodnoty 0,75 až 1 značí dobrou až vynikající shodu, hodnoty menší než 0,4 značí špatnou shodu. Důležité je uvědomit si, že *kappa* nevypovídá nic o velikosti neshody mezi hodnotiteli, pouze udává, zda se shodují, či nikoliv. Koeficient *kappa* je aplikovatelný pouze na případy, ve kterých se pracuje se dvěma skupinami o stejném počtu proměnných. Výsledná hodnota koeficientu *kappa* říká, zda se počty vzorků se stejným hodnocením liší od počtu, který je očekáván pouze náhodou.

Necht'

p_o = součet pozorovaných podílů v diagonálních buňkách,
 p_e = součet očekávaných podílů v diagonálních buňkách,

potom

$$kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (1)$$

Výpočtem míry $kappa$ pro operátory vznikl závěr shrnutý v tabulce 10.

Tab. 10) Souhrn ukazatelů $kappa$ [7]

<i>Kappa</i>	A	B	C
A	-	0,86	0,78
B	0,86	-	0,79
C	0,78	0,79	-

Analýza ukazuje, že všichni operátoři vykazují vzájemně dobrou shodu. Odhaluje, jestli se mezi operátory vyskytují nějaké rozdíly v hodnocení, ovšem neříká nic o tom, jak dobře systém měření rozlišuje dobré díly od špatných. K tomu je potřeba znát reference jednotlivých vzorků. V tabulce 11 jsou hodnoty referencí doplněny a je sestavena další skupina křížových tabulek 12–14, porovnávajících každého operátora s referencemi.

Tab. 11) Soubor dat pro studii metodou srovnáváním doplněný o reference [7]

Díl	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Reference
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
22	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 12) Porovnání operátora A s referencemi [7]

A*REF			REF		Celkem
			0	1	
A	0	Počet	45	5	50
		Očekávaný počet	16,0	34,0	50,0
	1	Počet	3	97	100
		Očekávaný počet	32,0	68,0	100,0
Celkem	Počet	48	102	150	
	Očekávaný počet	48,0	102,0	150,0	

Tab. 13) Porovnání operátora B s referencemi [7]

B*REF			REF		Celkem
			0	1	
B	0	Počet	45	2	47
		Očekávaný počet	15,0	32,0	47,0
	1	Počet	3	100	103
		Očekávaný počet	33,0	70,0	103,0
Celkem	Počet	48	102	150	
	Očekávaný počet	48,0	102,0	150,0	

Tab. 14) Porovnání operátora C s referencemi [7]

C*REF			REF		Celkem
			0	1	
C	0	Počet	42	9	51
		Očekávaný počet	16,3	34,7	51,0
	1	Počet	6	93	99
		Očekávaný počet	31,7	67,3	99,0
Celkem	Počet	48	102	150	
	Očekávaný počet	48,0	102,0	150,0	

V tabulce 15 je vypočítaný koeficient *kappa* pro stanovení shody každého operátora s referencemi. Hodnoty koeficientů ukazují, že je každý operátor v dobré shodě se standardem.

Tab. 15) Koeficienty *kappa* (shoda operátorů s referencemi) [7]

	A	B	C
<i>kappa</i>	0,88	0,92	0,77

Následně se vypočítá efektivnost systému měření, znázorněné v tabulce 16:

$$\text{efektivnost} = \frac{\text{počet správných rozhodnutí}}{\text{celkový počet možností pro rozhodnutí}} \quad (2)$$

Tab. 16) Tabulka efektivity studie [7]

Zdroj	% operátora ¹			% bodového hodnocení versus srovnávání ²		
	Operátor A	Operátor B	Operátor C	Operátor A	Operátor B	Operátor C
Celkový zkontrolovaný počet	50	50	50	50	50	50
Počet shodných	42	45	40	42	45	40
Chybné negativní (operátor stranil zamítnutí)				0	0	0
Chybné pozitivní (operátor stranil přijetí)				0	0	0
Složeno				8	5	10
95 % UCI	93 %	97 %	90 %	93 %	97 %	90 %
Vypočtené bodové hodnocení	84 %	90 %	80 %	84 %	90 %	80 %
95 % LCI	71 %	78 %	66 %	71 %	78 %	66 %

Zdroj	% efektivního bodového hodnocení systému ³		% efektivního bodového hodnocení systému versus referenční hodnota ⁴	
Celkový zkontrolovaný počet	50		50	
Počet ve shodě	39		39	
95 % UCI	89 %		89 %	
Vypočtené bodové hodnocení	78 %		78 %	
95 % LCI	64 %		64 %	

Poznámky

- (1) Operátor vykazuje vůči sobě shodu u všech měření.
- (2) Operátor vykazuje u všech měření shodu se známým standardem.
- (3) Všichni operátoři vykazovali vůči sobě a mezi sebou shodu.
- (4) Všichni operátoři vykazovali vůči sobě a mezi sebou shodu A shodu s referenční hodnotou.
- (5) UCI a LCI jsou horní a dolní meze konfidenčního intervalu.

Položením nulové hypotézy lze provést několik testů hypotéz mezi jednotlivými dvojicemi operátorů:

$$H_0: \text{účinnost obou operátorů je stejná}$$

Tato hypotéza není zamítnuta na hladině významnosti 5 %, neboť vypočtené bodové hodnocení každého operátora leží uvnitř konfidenčního intervalu toho druhého.

Neexistují žádná teoreticky odůvodnitelná kritéria pro přijatelnost výsledků analýzy, směrnice přijatelnosti, uvedená v tabulce 17, je heuristická. Konečná rozhodovací kritéria by měla být založena na riziku vzhledem ke zbývajícimu procesu a na určení konečným zákazníkem. Směrnice přijatelnosti pro výsledky každého operátora poskytuje tato kritéria:

Tab. 17) Vzorová kritéria efektivity – Směrnice [7]

Rozhodnutí Systém měření	Efektivnost	Hodnota chybějícího signálu	Hodnota zbytečného signálu
Přijatelné pro operátora	≥ 90 %	≤ 2%	≤ 5 %
Marginálně přijatelné pro operátora - může vyžadovat zlepšení	≥ 80 %	≤ 5 %	≤ 10 %
Nepřijatelné pro operátora - vyžaduje zlepšení	< 80 %	> 5 %	> 10 %

Shrnutím všech informací, které byly na základě analýzy k dispozici, je sestavena tabulka 18.

Tab. 18) Shrnutí efektivnosti studie [7]

	Efektivnost	Hodnota chybějícího signálu	Hodnota zbytečného signálu
A	84%	6,3%	4,9%
B	90%	6,3%	2,0%
C	80%	12,5%	8,8%

Výsledky v tabulce ukazují, že systém měření má rozdílné úrovně výkonnosti z hlediska hodnoty efektivnosti, chybějícího signálu i zbytečného signálu v závislosti na operátorovi. Žádný z operátorů nemá přijatelné, ale ani nepřijatelné výsledky ve všech kategoriích. Vystávají tyto otázky:

- Musí se pro tento proces změnit směrnice přijatelnosti?
- Jsou tato rizika pro zákazníka přijatelná?
- Potřebují operátoři lepší výcvik?
- Mohlo by být zkušební prostředí zlepšeno?
- Především, co si zákazník myslí o systému měření a o těchto výsledcích — jaká jsou jeho očekávání?

Důležité role v této analýze hrají počet a vlastnosti vzorků. Dostatečný počet vzorků by měl být zvolen tak, aby pokryl očekávaný provozní rozsah. U systémů měření, analyzovaných metodou srovnávání, jsou zásadní vzorky na hranicích kategorií, znázorněných oblastí II na obrázku 16. Pokud je způsobilost procesu dobrá, pak malý náhodný výběr nemusí mít v této oblasti mnoho vzorků, případně dokonce žádné. Proto by měl být při zlepšení způsobilosti procesu zvětšen požadovaný náhodný výběr (pro studii metodou srovnávání). Jiným přístupem je „zfalšovaný“ výběr, kde jsou vzorky záměrně vybírány z oblasti II pro umocnění náhodného výběru s cílem zajistit, aby byl vliv variability operátora zjevný. [7]

3.5.3 Další zdroje

Kapesní příručka Lean Six Sigma

V této příručce se vychází z metodiky příručky MSA s důrazem na výpočet koeficientu *kappa*. Požadavkem pro použití *kappy* je vzájemná výlučnost hodnotících kategorií (měřená jednotka nemůže zároveň patřit do více kategorií, tj. nemůže být zároveň hodnocena jako shodná, částečně shodná a neshodná) či nezávislost měřených jednotek i hodnotitelů (měřená jednotka není ovlivněna jinou jednotkou, operátoři se také vzájemně neovlivňují). *Kappa* je vhodná pro binární data (dobrý/špatný, OK/NOK, projde/selže...).

Nejdříve je třeba určit prvky měřicího systému (měřidlo, operátoři, vzorky...). Vybrané vzorky by měly představovat celé rozpětí variability procesu (je žádoucí vybírat „různě“ dobré a špatné vzorky). Minimálním počtem pro dvě kategorie je 20 dobrých a 20 špatných vzorků (celkem 40 vzorků), maximálně pak 50 dobrých a 50 špatných (celkem 100 vzorků). Poměr dobrých a špatných by se měl držet přibližně v poměru 50:50. Vybrání jsou 2–3 operátoři, přičemž každý z nich vyhodnotí stejnou jednotku nejméně 2krát v náhodném pořadí. Během studie by měl být vedoucí analýzy přítomen jako pozorovatel, aby mohl sledovat neplánované vlivy. Po provedení měření se pomocí *kappa* tabulek vypočítá hodnota *kappa* pro každého

hodnotitele a mezi hodnotiteli stejným způsobem, jak je uvedeno v příručce MSA. Interpretace výsledků se však mírně liší – pokud $\kappa < 0,7$ → měřicí systém je neadekvátní, pokud $\kappa > 0,9$ → měřicí systém je výborný. Nízká *kappa* znamená, že hodnotitel pokaždé mění způsob měření (nízká opakovatelnost). Tím je narušeno srovnání s jinými hodnotiteli. [3]

Lean Six Sigma Master Black Belt Certification: Training Manual

Metoda popsaná v této příručce se zaměřuje na nástroj Gage R&R, tj. test opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Atributivní Gage R&R je tedy používán k analýze měřicích systémů pro go/no-go data. Analýza začíná výběrem alespoň dvou odhadců, kterým jsou poskytnuty vzorky, jejichž charakteristika je pro vedoucího analýzy známa (vyhodnocena co nejlepším/nejpřesnějším možným způsobem), ale není identifikovatelná odhadcem. Každý odhadce následně uvede výsledek svého měření pro každý vzorek. Po randomizaci vzorků (ke snížení šance, že si odhadce zapamatuje pořadí vzorků) je proces opakován se stejným odhadcem. Nakonec jsou všechna data zadána do tabulky 19, na jejímž základě je proveden test úspěšnosti/selhání měření.

Tab. 19) Tabulka Gage R&R [4]

Číslo vzorku	Skutečná hodnota	Hodnotitel 1		Hodnotitel 2		Shoda Ano/Ne?
		Opakování 1	Opakování 2	Opakování 1	Opakování 2	
1	P	P	P	F	P	Ne
2	P	P	P	P	P	Ano
3	P	P	P	P	P	Ano
4	F	P	F	F	F	Ne
5	P	P	P	P	P	Ano
6	F	F	F	F	P	Ne
7	F	P	P	F	F	Ne
8	P	P	P	F	F	Ne
9	F	F	F	F	F	Ano
10	P	P	P	P	P	Ano

Z tabulky Gage R&R lze pozorovat, že měřicí systém je reprodukovatelný pouze z 50 %, což z něj činí špatný měřicí systém. První odhadce má 90% opakovatelnost, druhý 80%. Vzhledem k referenci má první odhadce shodu 80 %, druhý 70 %. Ze zjištěných výsledků se nabízí úvaha, jestli existuje určitý problém s jednoznačností pokynů pro určení dobrého a špatného vzorku. Tabulka Gage R&R poskytuje data pouze z 10 vzorků, přičemž pro přesnější atributivní Gage R&R je obvykle vyžadováno alespoň 20 vzorků. [4]

Quality Assurance – Applying Methodologies for Launchings New Products, Services, and Customer Satisfaction

Publikace popisuje zejména tvorbu atributivní MSA analýzy v softwaru Minitab. Jelikož je však verze Minitabu, pro kterou je postup v publikaci popsán, již neaktuální a některé kroky se v novějších verzích provádí jiným způsobem, nebude popis postupu z publikace v této práci zohledněn.

Cíl atributivní MSA je zde definován jako požadavek 100% shody v rámci operátorů a mezi nimi se známou/správnou referencí. Vyhodnocení shody může být provedeno dvěma způsoby. Prvním z nich je jednoduché procento shody, druhým je výpočet hodnoty *kappa*.

Ke zjištění procentuální shody je použit tento vzorec:

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} \quad (3)$$

kde

$\sum np$ = součet počtu neshodných jednotek ve všech podskupinách

$\sum n$ = součet čísel kontrolovaných ve všech podskupinách

Procesní průměr (\bar{p}) je použit k výpočtu průměrné způsobilosti takto:

$$\text{Průměrná způsobilost} = (1 - \bar{p}) \times 100 \% \quad (4)$$

Pro vyhodnocení pomocí *kappa* platí, že pokud $\kappa = 1$, jedná se o perfektní shodu. Pokud $\kappa = 0$, odpovídá shoda očekávání náhodné shody. Za dobrou shodu je považována hodnota $\kappa = 0,75$ a vyšší. V některých případech se pro nominální data (go/no-go) používá Fleissova *kappa*, použití Cohenovy *kappa* není žádoucí. Cohenova *kappa* totiž předpokládá využití pouze dvou odhadců a jednoho opakování od každého z nich. Fleissova *kappa* je systematickým zobecněním Cohenovy *kappy*, které bere v úvahu všechny teoreticky možné párové kombinace jednotlivých hodnocení. Pro výpočet *kappa* je použita tato rovnice:

$$kappa = \frac{P_{\text{pozorované}} - P_{\text{očekávané}}}{1 - P_{\text{očekávané}}} \quad (5)$$

kde

$$P_{\text{očekávané}} = (P_{\text{kontrolované 1 dobré}})(P_{\text{kontrolované 2 dobré}}) + (P_{\text{kontrolované 1 špatné}})(P_{\text{kontrolované 2 špatné}}) \quad (6)$$

což znamená, že $P_{\text{pozorované}}$ je podíl shody operátora a $P_{\text{očekávané}}$ je podíl očekávaného náhodného výskytu. V běžné řeči to znamená:

Podíl případů, na kterých se odhadci dohodnou (opravený o náhodu)

Maximální podíl případů, kdy se odhadci mohli dohodnout (opravený o náhodu)

Aby byla známa fyzikální hodnota každého dílu, měl by být změřen spojitým měřidlem. Pokud takto nelze učinit, je třeba použít jiné prostředky (např. odborníky) k určení dobrých a špatných, případně hraničních dílů. Atributivní MSA v podstatě musí:

- umožnit analýzu R&R v rámci odhadců a mezi nimi,
- testovat účinnosti vzhledem ke standardu,
- umožnit použití nominálních dat se dvěma úrovněmi (i ordinálních dat s více než dvěma úrovněmi).

Pro nominální data poskytuje koeficient *kappa* míru relativní shody mezi odhadci. Otázka však zní: Kolik hodnot *kappa* je v analýze a která *kappa* musí být vyšší než 0,75? Odpověď na první otázku zní, že existují následující 4 možnosti:

- v rámci operátora,
- mezi operátory,
- každý operátor vzhledem ke standardu,
- všichni operátoři vzhledem ke standardu.

Odpověď na druhou otázku zní, že všechny hodnoty musí být vyšší než 0,75. Pokud je potřeba použít jinou hodnotu, musí proběhnout konzultace s inženýrem kvality, statistikem, zákazníkem apod.

Vlastní analýza je založena na použití nejméně 50 vzorků (čím více, tím lépe), alespoň 3 operátorů a 3 opakování měření. Dále je určena „tabulka pravdy“ – na základě nezávislého měření/hodnocení jsou do prvního sloupce definovány skutečné hodnoty, které označují referenci pro hodnocení operátory. Do dalších sloupců jsou zapisovány výsledky jednotlivých hodnocení operátory. Takto získaná tabulka je vyhodnocena v Minitabu a po jejím vyhodnocení vedoucí analýzy interpretuje numerické i grafické výsledky. [8]

3.6 Softwarové vyhodnocení MSA analýzy pro atributivní data

K vyhodnocení MSA analýzy je vhodná řada statistických softwarů. Ve firmě se k analýze MSA používá SW Minitab. Firma rovněž používá SW Palstat CAQ, ovšem pouze jeho modul pro správu měřidel, nikoliv pro vyhodnocení MSA. K vyhodnocení většiny výsledků atributivní MSA analýzy je možné využít i tabulkový procesor Microsoft Excel, jímž firma také disponuje. Následující část je věnována způsobu vyhodnocení analýzy a interpretaci výsledků.

3.6.1 Minitab

Software Minitab je balíkem statistických metod a testů. Pro svoji jednoduchost a výkonnost se stal oblíbeným prostředkem k implementaci a udržování nástrojů kvality v mnoha firmách a organizacích. Zvládá využívat, analyzovat a vizualizovat data k řešení náročných úkolů. Jednou z jeho schopností je také provádět studie MSA pro atributivní data. [11] Postup zadávání a zpracování dat Minitabem je popsán v příloze A. Zde bude uvedeno vyhodnocení analýzy a přístup k interpretaci výsledků.

Vyhodnocení MSA analýzy atributivních dat probíhá v souladu s metodikou popsanou v příručce MSA, tedy metodou křížových tabulek (určuje koeficienty *kappa*, přičemž je možné zvolit hodnoty Cohenovy nebo Fleissovy *kappy*, částečně vypočítává efektivnost studie, graficky interpretuje konfidenční intervaly, určuje procenta shody apod.). Zobrazení výsledků však není v podobě, jakou uvádí příručka. Minitab také nevytváří protokol celé analýzy, ale uvádí výsledky uvnitř programu. Proto je nutné znát interpretaci výsledků ve formátu uváděném Minitabem. Vyhodnocení je rozděleno na několik oblastí a dílčích částí.

Oblast *Within Appraisers* (V rámci hodnotitelů) na obrázku 3 vyhodnocuje shodu ve vyhodnocení stejných vzorků každým hodnotitelem v rámci svých opakování, tedy **opakovatelnost** operátorů. První část *Assessment Agreement* (Shoda v hodnocení) uvádí shodu (*Matched*) hodnotitele (*Appraiser*) ve vyhodnocení kontrolovaných vzorků (*Inspected*) kusově i v procentech (*Percent*). Poslední sloupec uvádí hodnoty dolní a horní meze konfidenčního intervalu (*95% CI*). Pro vysvětlení na konkrétním příkladu: Markéta hodnotila 40 různých vzorků, přičemž u 33 z nich v každém opakování přiřadila vzorku stejnou hodnotu, čímž dosáhla 82,5% shody. Druhá část *Fleiss' Kappa Statistics* uvádí hodnotu *kappa* (*Kappa*) pro každého z operátorů (*Appraiser*). Ve sloupci *Response* (Odpovědi) jsou uvedeny kategorie, které hodnotitelé použili jako stupnici hodnocení. Pro binární kategorie je *kappa* vždy stejná. Hodnota *SE Kappa* (*Standard Error for Kappa* – Standardní chyba *kappy*) udává přesnost odhadu hodnoty *kappa* z naměřených dat. Čím menší je standardní chyba, tím přesnější je odhad. Hodnota *Z* je přibližnou normální testovací statistikou, pomocí které je určena hodnota $P(vs > 0)$. Jedná se o nejmenší hladinu významnosti α (zpravidla $\alpha = 0,05$), při které je ještě

zamítnuta nulová hypotéza H_0 . Nižší hodnoty znamenají silnější důkaz proti zamítnutí nulové hypotézy.

Within Appraisers					
Assessment Agreement					
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI	
Iveta	40	28	70,00	(53,47; 83,44)	
Milan	40	24	60,00	(43,33; 75,14)	
Markéta	40	33	82,50	(67,22; 92,66)	

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics					
Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Iveta	nok	0,398496	0,158114	2,52031	0,0059
	ok	0,398496	0,158114	2,52031	0,0059
Milan	nok	0,181586	0,158114	1,14845	0,1254
	ok	0,181586	0,158114	1,14845	0,1254
Markéta	nok	0,631336	0,158114	3,99292	0,0000
	ok	0,631336	0,158114	3,99292	0,0000

Obr. 3) Hodnocení *Within Appraisers* [12]

Oblast *Each Appraiser vs Standard* (Každý hodnotitel vs. Standard) na obrázku 4 vyhodnocuje shodu jednotlivých operátorů s referencí, tedy **přesnost**. První část *Assessment Agreement* je obdobná jako v oblasti *Within Appraisers*, ovšem uvádí shodu jednotlivých hodnotitelů se standardem. Druhá část *Assessment Disagreement* (Neshoda v hodnocení) uvádí, kolikrát operátor (*Appraiser*) vyhodnotí vzorky s referencí NOK jako OK (*ok / nok*) – známé jako chybně pozitivní vyhodnocení, vzorky s referencí OK vyhodnotí jako NOK (*nok / ok*) – známé jako chybně negativní vyhodnocení, a kolikrát došlo k různým vyhodnocením v rámci opakování (*Mixed*). Hodnoty *Percent* u každé hodnoty uvádí její procentuální vyjádření. Třetí část *Fleiss' Kappa Statistics* uvádí hodnotu *kappa* pro každého z operátorů vzhledem k referenci.

Oblast *Between Appraisers* (Mezi hodnotiteli) na obrázku 5 vyhodnocuje vzájemnou shodu mezi operátory, tedy **reprodukovatelnost**. První část *Assessment Agreement* uvádí kolikrát se všichni operátoři shodli ve všech opakováních hodnocení stejných vzorků. Není tedy zohledněna reference (pokud by například všichni operátoři shodně vyhodnotili konkrétní vzorek jako NOK, ačkoliv by jeho reference byla stanovena jako OK, jedná se o shodu mezi operátory a do této tabulky bude vyhodnocení započítáno jako shodné). Druhá část *Fleiss' Kappa Statistics* uvádí hodnotu *kappa* pro reprodukovatelnost.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Iveta	40	21	52,50	(36,13; 68,49)
Milan	40	10	25,00	(12,69; 41,20)
Markéta	40	21	52,50	(36,13; 68,49)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# ok / nok	Percent	# nok / ok	Percent	# Mixed	Percent
Iveta	5 / 25,00		2 / 10,00		12 / 30,00	
Milan	10 / 50,00		4 / 20,00		16 / 40,00	
Markéta	9 / 45,00		3 / 15,00		7 / 17,50	

ok / nok: Assessments across trials = ok / standard = nok.

nok / ok: Assessments across trials = nok / standard = ok.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Iveta	nok	0,347958	0,111803	3,11223	0,0009
	ok	0,347958	0,111803	3,11223	0,0009
Milan	nok	-0,128865	0,111803	-1,15260	0,8755
	ok	-0,128865	0,111803	-1,15260	0,8755
Markéta	nok	0,212150	0,111803	1,89753	0,0289
	ok	0,212150	0,111803	1,89753	0,0289

Obr. 4) Hodnocení *Each Appraiser vs Standard* [12]

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
40	11	27,50	(14,60; 43,89)

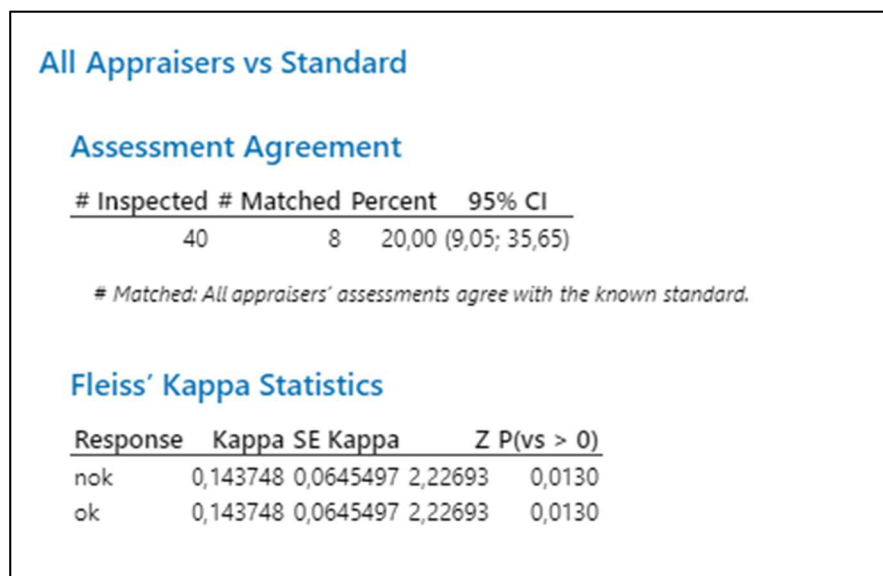
Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
nok	0,268656	0,0408248	6,58069	0,0000
ok	0,268656	0,0408248	6,58069	0,0000

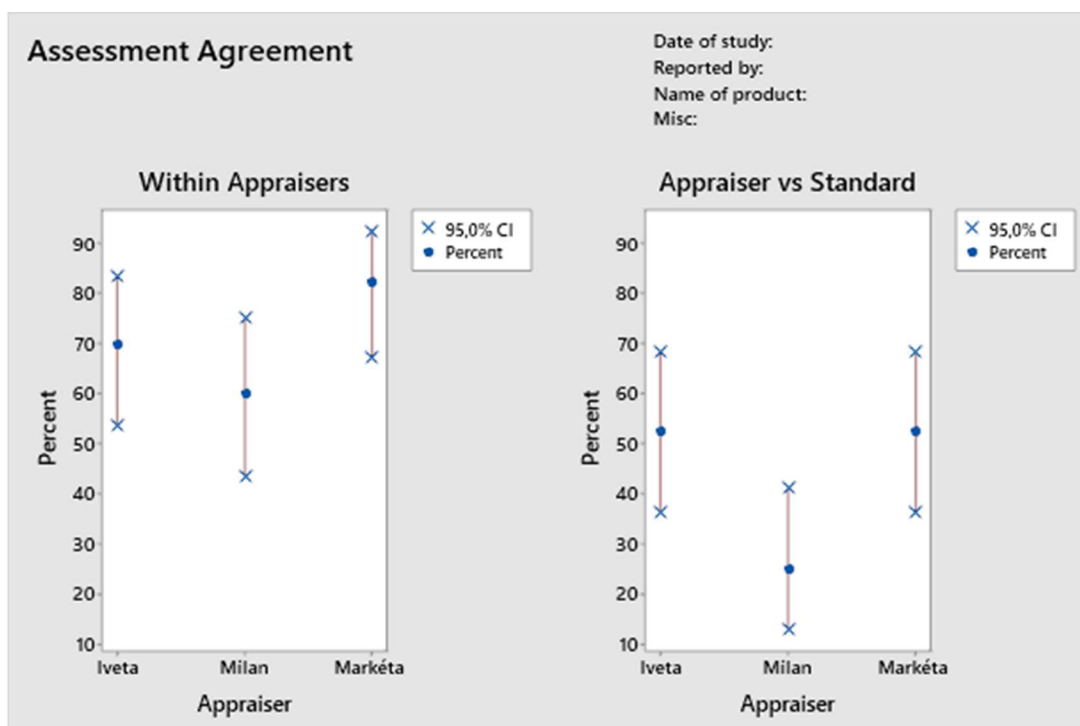
Obr. 5) Hodnocení *Between Appraisers* [12]

Oblast *All Appraisers vs Standard* (Všichni hodnotitelé vs. Standard) na obrázku 6 vyhodnocuje shodu všech operátorů s referencí. První část *Assessment Agreement* je opět obdobná jako v předchozích oblastech – vyhodnocuje, kolikrát (v kolika procentech hodnocení) všichni operátoři vyhodnotili konkrétní vzorky shodně s referencí. Druhá část *Fleiss' Kappa Statistics* uvádí hodnotu *kappa* pro všechny operátory vzhledem k referenci.



Obr. 6) Hodnocení *All Appraisers vs Standard* [12]

Na obrázku 7 je znázorněna grafická interpretace shody v hodnocení, a sice v rámci hodnotitelů (*Within Appraisers*) a jednotlivých hodnotitelů vzhledem k referenci (*Appraiser vs Standard*). Modrá tečka znázorňuje procentuální hodnotu shody, červená čára 95,0% konfidenční interval dané procentuální hodnoty a modrý křížek horní a dolní hranici 95,0% konfidenčního intervalu.



Obr. 7) Grafická interpretace shody [12]

Ve všech částech *Fleiss' Kappa Statistics* se objevuje hodnota $P(vs > 0)$. Jak již bylo uvedeno, jedná se o nejmenší hladinu významnosti α (zpravidla $\alpha = 0,05$), při které je ještě zamítnuta nulová hypotéza H_0 . Pro jednotlivé oblasti jsou stanoveny tyto hypotézy:

- H_0 pro „v rámci hodnotitele“: Shoda v rámci hodnotitele je způsobena náhodou.
- H_0 pro „každý hodnotitele vs. Standard“: Shoda mezi hodnoceními hodnotitelů a standardem je způsobena náhodou.
- H_0 pro „mezi hodnotiteli“: Shoda mezi hodnotiteli je způsobena náhodou.
- H_0 pro „všichni hodnotitelé vs. Standard“: Shoda mezi hodnoceními všech hodnotitelů a standardem je způsobena náhodou. [4; 12]


3.6.2 Palstat CAQ

Systém řízení kvality Palstat CAQ pomáhá dodržovat požadavky managementu kvality. Architektura Palstatu sestává z celé řady modulů důležitých pro řízení kvality. Modul MSA je určen pro zpracování analýz procesu měření dle různých metod automobilového průmyslu (zejména dle metodik VDA 5 a MSA) a jejich dlouhodobou archivaci. Pro jeho plnou implementaci a funkčnost MSA modulu je možné využít propojení s dalšími moduly (Díly, Kontrolní postupy, Měřidla apod.).

Modul MSA umožňuje provádět také studie MSA pro atributivní data. Postup zadávání a zpracování dat Palstatem je popsán v příloze A. V této kapitole bude uvedeno pouze vyhodnocení analýzy a interpretace výsledků.

Vyhodnocení MSA analýzy atributivních dat probíhá v souladu s Metodou křížových tabulek popsanou v příručce MSA, a to včetně způsobu zobrazení výsledků. Součástí vyhodnocení je také Model detekce signálu, který však nemá pro analýzu atributivních binárních dat žádný přínos. Protokol s výsledky je rozdělen na několik částí.

V první části, zobrazené na obrázku 8, jsou uvedeny obecné údaje o dílu, měřidle, datu měření, zúčastněných osobách apod.


PalstatCAQ®

Atributivní metoda

Datum tisku: 19.04.2022
Vytiskl: Správce PALSTAT CAQ

Název dílu:		Název měřidla:	Vizuální kontrola
Kóta:	-	Číslo:	Měřidlo nemá číslo
Název kóty:	Mapy	Typ měřidla:	
Datum:		Vedoucí:	
Kontroloři			
Iveta	Milan	Markéta	

Obr. 8) Úvodní informační tabulka [13]

Na obrázku 9 je znázorněno vypsání hodnot *kappa* do křížových tabulek, nejdříve pro shodu mezi operátory a poté v rámci operátorů (opakovatelnost).

Křížové tabulky

<i>Kappa</i>	A	B	C
A	-	0,14	0,32
B	0,14	-	0,35
C	0,32	0,35	-

	A	B	C
<i>Kappa</i>	0,35	-0,10	0,23

Obr. 9) Hodnocení *kappa* [13]

Ve třetí části (na obrázku 10) je vyhodnocena tabulka efektivnosti.

Výsledky

Zdroj	Kontrolor			Kontrolor x REF		
	A	B	C	A	B	C
Celkový zkontrovaný počet	40	40	40	40	40	40
Počet shodných	28	24	33	21	10	21
Chybné negativní (kontrolor stranil zamítnutí)				2	4	3
Chybné pozitivní (kontrolor stranil přijetí)				5	10	9
Smícháno				12	16	7
95% UCL [%]	83,4	75,1	92,7	68,5	41,2	68,5
Vypočtené bodové hodnocení [%]	70	60	82	52	25	52
95% LCL [%]	53,5	43,3	67,2	36,1	12,7	36,1

	Systém	Systém x REF
Celkový zkontrovaný počet	40	40
Počet shodných	11	8
95% UCL [%]	43,9	35,6
Vypočtené bodové hodnocení [%]	27	20
95% LCL [%]	14,6	9,1

Obr. 10) Výsledky (tabulka efektivnosti) [13]

Další část, znázorněná na obrázku 11, nabízí tabulky s hodnocením kontrolorů. Nejdříve jsou uvedeny počty vždy správných vyhodnocení OK reference 1 (100 % / 1) a NOK reference 0 (100 % / 0), dále kolikrát bylo pokaždé rozhodnuto v rozporu s referencí (100 % missed), kolikrát bylo rozhodnuto různě v rámci opakování (*Mixed*) a nakonec kolik vzorků bylo vždy správně vyhodnoceno napříč referencemi (100 % / 1 + 0). Další tabulka nabízí shrnutí efektivnosti studie – efektivnost (*E*), hodnotu zbytečného signálu (*Pfa*) a hodnotu chybějícího signálu (*Pmiss*). Třetí tabulka udává kritéria efektivnosti. [13]

Hodnocení kontrolorů

Kontrolor	100 %	100 %	100 % missed	Mixed	100 %
	1	0			1 + 0
A	10	11	7	12	21
B	5	5	14	16	10
C	12	9	12	7	21

Kontrolor	E	Pfa	Pmiss
A	52,00	30,00	35,00
B	25,00	47,50	62,50
C	52,00	27,50	50,00

Rozhodnutí	E	Pfa	Pmiss
Přijatelný pro kontrolora	≥ 90 %	≤ 5 %	≤ 2 %
Marginálně přijatelný pro kontrolora - může vyžadovat zlepšení		> 5 %	> 2 %
	-	-	-
	< 90 %	≤ 10 %	≤ 5 %
Nepřijatelný pro kontrolora - vyžaduje zlepšení	< 80 %	> 10 %	> 5 %

Obr. 11) Hodnocení kontrolorů (shrnutí efektivnosti a její kritéria) [13]

Pro úplnost je vhodné upřesnit, že zkratky UCL a LCL, použité Palstatem ve výsledkovém protokolu na obrázku 10, nejsou korektní. Pod zkratkami UCL a LCL jsou chápána spíše označení *Upper Control Line/Limit* a *Lower Control Line/Limit*, která se používají jako označení horní a dolní regulační meze v regulačním diagramu. Správná označení mají být UCI a LCI, tedy *Upper Confidence Interval* a *Lower Confidence Interval*, která značí horní a dolní mez konfidenčního intervalu.

3.6.3 Excel

Tabulkový procesor MS Excel, který je součástí kancelářského balíku Microsoft Office, je kvalitním a populárním pomocníkem pro sumarizaci dat, jejich zpřehlednění a případnou následnou analýzu. Samotný Excel neobsahuje nástroj, který by dokázal vyhodnotit data MSA analýzy. Velkou výhodou je však možnost zpracování dat pomocí veskrze intuitivního „programování“ vlastních výpočetních řešení pro konkrétní aplikace, případně customizací již dříve navrženého řešení. K tomu účelu slouží stovky přednastavených funkcí. Existují také různé zpoplatněné doplňky, které dokážou analýzu MSA provést.

V této kapitole nebude předložena metodika vyhodnocení Excelem (která v běžné verzi Excelu neexistuje). Příklad možného řešení pomocí vlastního naprogramování je znázorněn v příloze A. Vytvořený protokol je zcela v souladu s metodikou dle příručky MSA, a to po stránce obsahové i formální. [14]

4 ANALÝZA A SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLÉMU

4.1 Charakteristika firmy

Firma je součástí nadnárodní korporace. Zastává významné místo na trhu s produkty, které jsou určeny pro řízení chodu a průtoku vzduchu a kapalin (pohony, ventily, spínače, šroubení apod.). Tyto výrobky jsou určeny např. pro automobilový průmysl, průmyslovou automatizaci či energetiku. V současnosti firma zaměstnává okolo 750 zaměstnanců, přičemž výrobu provozuje ve třech výrobních halách. Přibližně třetina vyrobených produktů je určena pro automobilový průmysl. Z toho důvodu je firma držitelem certifikace IATF 16949:2016. Rovněž má implementován Integrovaný systém managementu (IMS), který obsahuje certifikaci o splnění požadavků norem ČSN EN ISO 9001:2016 (*Systémy managementu kvality*), ČSN EN ISO 14001:2016 (*Systémy environmentálního managementu*) a ČSN ISO 45001:2018 (*Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci*). [2]

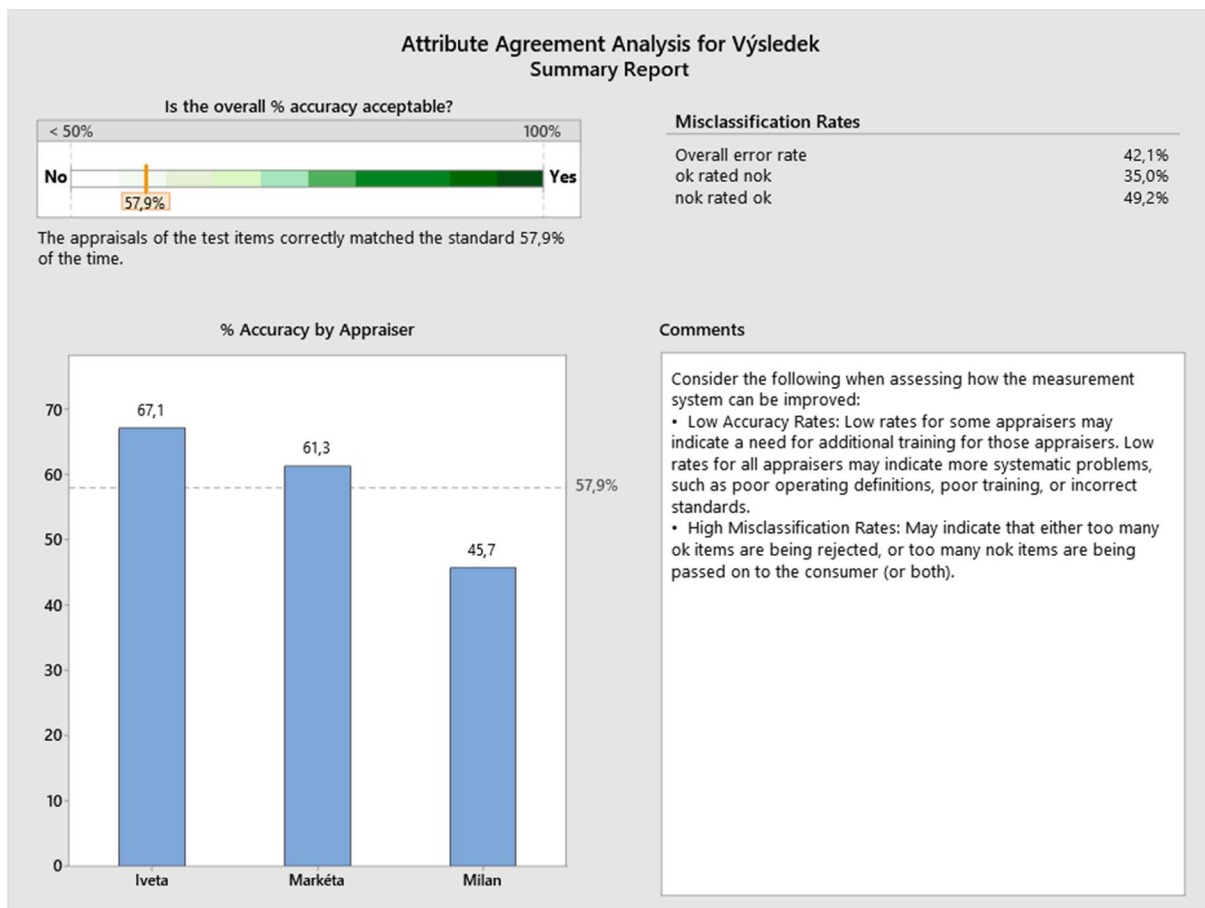
4.2 Popis současného přístupu firmy

Dosavadní firemní chápání MSA analýzy je zaměřeno zejména na analýzu spojených dat. Atributivním MSA nebyla doposud věnována dostatečná pozornost, jejich provádění vychází spíše z požadavku normy než z vlastní firemní iniciativy. Tato skutečnost se plně projevila při posledním recertifikačním auditu IATF 16949:2016, který shledal, že proces MSA není dostatečně efektivní z důvodu absence systémového požadavku pro vytvoření statistické analýzy pro každý typ kontroly ve firmě (viz kapitola 2).

Firma přistupuje k MSA analýze atributivních dat podle její metodiky pro MSA analýzu spojených dat, která mimo jiné uvádí následující:

- Ujistěte, že hodnotitelé využívají stejný postup měření/hodnocení vzorků a běžně používají daný měřicí systém ve své praxi.
- Znáhodněte pořadí měření vzorků. Vzorky očísľujte.
- Měření by měla pozorovat osoba znalá podmínek nutných pro spolehlivost studie. Tato osoba zajistí podmínky, které odpovídají reálnému měření v procesu.
- Výběr vzorků by měl pokrývat celou variabilitu procesu, zohledňovat ekonomické možnosti opakování měření a kritičnost měřené charakteristiky.
- Pokud jsou operátoři součástí standardního procesu, náhodně vyberte 2–4.
- Počet opakování (3–6) je vybrán na základě počtu vzorků a operátorů.
- Nejlepší zkušeností je 10 vzorků x 3 operátoři x 2–3 opakování.

Po provedení analýzy následuje vyhodnocení dat v Minitabu (cestou *Assistant* → *Measurement Systems Analysis (MSA)*... → *Attribute Agreement Analysis*). Výsledek na obrázku 12 je interpretován tak, že hodnota *Overall % accuracy* (Celková % přesnost) musí být 100 %, případně vyšší než 90 % (v závislosti na pojetí osoby odpovědné za provedení studie). Pokud není požadovaná hodnota splněna, je nutné hledat příčinu nesplnění a přijmout příslušná opatření dle reakčního plánu v kontrolním plánu. [2]

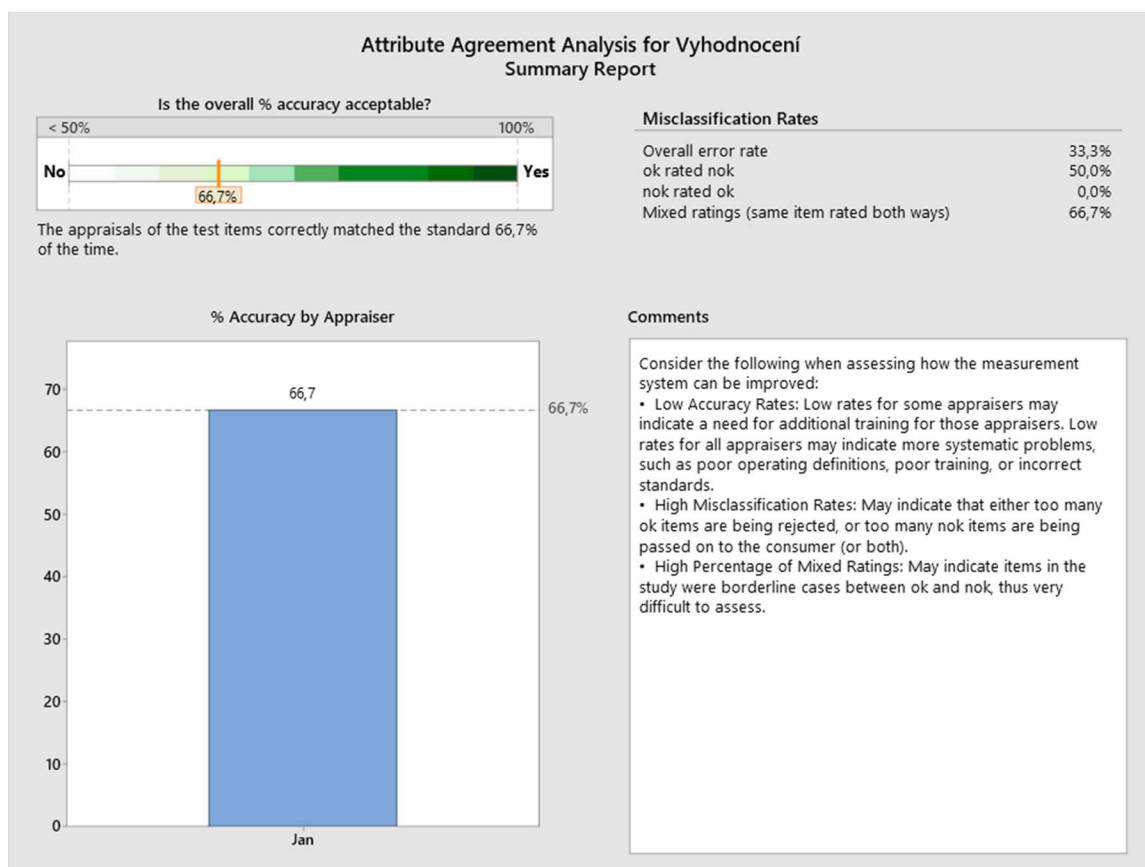


Obr. 12) Výsledek současného firemního přístupu

Tento přístup k vyhodnocení atributivní MSA analýzy je však zcela chybný. Vyhodnocení analýzy funkcí *Attribute Agreement Analysis* přes *Assistant* porovnává shodu v rámci jednotlivých opakování, oproti tomu správné vyhodnocení analýzy funkcí *Attribute Agreement Analysis* přes *Stat* → *Quality Tools* dle popisu v Metodice (příloha A) porovnává shodu v rámci jednotlivých vzorků. Pro příklad: Jsou hodnoceny 3 vzorky ve 3 opakováních, přičemž první vzorek byl operátorem dvakrát vyhodnocen v rozporu s referencí, druhý vzorek byl chybně vyhodnocen jednou a třetí vzorek byl správně vyhodnocen v rámci všech tří opakování (příklad analyzovaných dat znázorněn na obrázku 13). Analýza tohoto příkladu cestou *Assistant* určuje, že shodné vyhodnocení bylo provedeno v šesti ze devíti měření (tj. shoda v 66,7 % vyhodnocení, viz obrázek 14). Avšak vyhodnocení cestou *Stat* → *Quality Tools* určí, že shodné vyhodnocení bylo provedeno v jednom ze tří měření (tj. shoda ve 33,3 % vyhodnocení, viz obrázek 15). Z popsaného příkladu je zřejmé, že analýza cestou *Assistant* neodpovídá požadavkům dle příručky MSA (např. tím, že nedokáže vyhodnotit opakovatelnost a reprodukovatelnost). Důvodem tohoto rozdílu je podstata funkce *Assistant*, která má být pro uživatele (jak již označení napovídá) asistentem při rozhodování o vhodnosti funkcí Minitabu pro řešení uživatelského problému. Není proto možné používat tuto funkci jako plnohodnotný nástroj pro vyhodnocování atributivní MSA analýzy.

Číslo vzorku	Reference	Vyhodnocení	Operátor	Opakování
1	ok	nok	Jan	1
1	ok	nok	Jan	2
1	ok	ok	Jan	3
2	ok	nok	Jan	1
2	ok	ok	Jan	2
2	ok	ok	Jan	3
3	nok	nok	Jan	1
3	nok	nok	Jan	2
3	nok	nok	Jan	3

Obr. 13) Modelová data pro porovnávací příklad



Obr. 14) Vyhodnocení porovnávacího příkladu přes *Assistant*

Each Appraiser vs Standard				
Assessment Agreement				
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Jan	3	1	33,33	(0,84; 90,57)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Obr. 15) Vyhodnocení porovnávacího příkladu přes *Stat* → *Quality Tools*

4.3 Důležité body MSA analýzy

4.3.1 Příprava studie

Jestliže je určeno, že má být provedena MSA analýza, mělo by být nejdříve uskutečněno přiměřené plánování a příprava. V souvislosti s tím by mělo být zvaženo následující:

- Naplánování zamýšleného postupu.
- Určení počtu operátorů, počtu vzorků a počtu opakování měření.
- Znalost specifikace produktu a míry rozdílu mezi shodnými a neshodnými díly.
- Místo, čas, podmínky a způsob měření.
- Očekávaná variabilita procesu.
- Jednoznačnost postupu, požadavků, pojmů apod.

Před zahájením MSA je žádoucí ověřit stabilitu a statistické zvládnutí procesu (na základě regulačních diagramů). Při opakovatelných podmínkách by v tom případě byla variabilita systému měření způsobena pouze náhodnými příčinami (nikoliv jakýmkoliv zvláštními). Velká variabilita systému měření může při analýze zakrývat variabilitu výrobního procesu. Na nejistotu měření mají vliv zejména prostředí, operátor a objekt měření. Rovněž je zásadní znát odpovědi na otázky týkající se samotného měření. Tyto otázky mohou znít následně:

- Co bude měřeno?
- Kdo bude měřit?
- Jak bude měřeno?
- Kdy bude měřeno?
- Čím bude měřeno?

Aby měla studie větší vypovídající hodnotu, měly by být zaručeny stejné podmínky měření (pro operátory, vzorky, měřidla), aby situace co nejvíce odpovídala reálnému prostředí procesu. Pro vizuální kontrolu jsou zásadní stejné (a vždy vhodné) světelné podmínky, případně optické pomůcky.

Výsledkem přípravy studie by měl být plán měření, který může mít tuto podobu:

1. Definování charakteristiky, která má být měřena.
2. Zvolení systému měření k posouzení sledované charakteristiky.
3. Určení osoby odpovědné za provedení studie.
4. Určení osob, které měření provedou (a počet jejich opakování).
5. Identifikace vzorků, určení jejich počtu a jejich výběr.
6. Vytvoření formuláře pro zadávání naměřených hodnot.
7. Seznámení operátorů s postupem měření.
8. Realizace měření.
9. Vyhodnocení analýzy a interpretace výsledků.
10. Vyvození závěrů ze studie, případně návrh na zlepšení. [7; 10; 15]

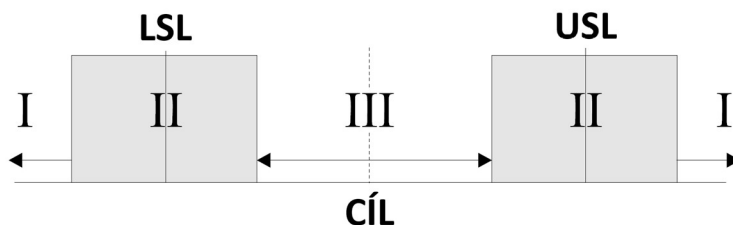
4.3.2 Výběr vzorků

Jedním z nejkritičtějších faktorů, ovlivňujících validitu výsledků analýzy MSA, je výběr vzorků. Způsob jejich výběru může analýzu učinit nepřiměřeně náročnou (vysoký počet vzorků), ale také zcela znehodnotit její výsledky (nízký počet vzorků, nevhodně vybrané

vzorky). Výběru nevhodných vzorků či jejich nevhodnému počtu je proto nutné věnovat zvýšenou pozornost.

Vzorky, které vstupují do studie, by měly být vybírány z procesu výroby. Pokud je (konkrétně u atributivní MSA bez znalosti referenční hodnoty nebo reference) výroba natolik stabilní, že produkuje minimum neshodných výrobků, je možné mít dlouhodobě k dispozici sadu NOK vzorků, které budou určeny pro potřebu studie.

Klíčová je znalost požadavku na měření, měřicí systém a jeho vztah ke specifikaci produktu. Pokud je například požadováno provedení kontroly přítomnosti nečistot na těsnící ploše produktu, je vhodná vizuální kontrola operátorem, který rozhodne o přítomnosti nebo nepřítomnosti nečistot. Nepřítomnost je následně vyhodnocena jako OK, přítomnost jako NOK. Pokud je však předmětem kontroly míra poškození povrchu (např. rýhy nebo porezita), může být hodnocení značně ovlivněno subjektivním posouzením operátora. Je tedy žádoucí (je-li to možné) jasně stanovit referenci, se kterou bude vyhodnocení operátorem srovnáno. Vzorky s referencí OK a NOK by měly být vybírány v poměru 50:50, přičemž je doporučeno, aby přibližně polovina vzorků z každé reference byla jasně rozpoznatelná a polovina v hraniční oblasti rozpoznatelnosti (resp. v intervalu nejistoty). Tato myšlenka je graficky znázorněna na obrázku 16, kdy jsou možnosti hodnocení vzorků rozděleny do tří vzájemně vylučných oblastí za předpokladu statisticky zvládnutého stavu procesu měření (veškerá variabilita náleží opakovatelnosti a reprodukovatelnosti). Oblasti I znázorňují situaci, kdy špatné díly budou vždy vyhodnoceny jako špatné a oblast III situaci, kdy budou dobré díly vždy vyhodnoceny jako dobré. Oblasti II znázorňují průnik předchozích situací, tedy kdy může dojít k označení špatného dílu za dobrý (chybějící signál, tj. riziko odběratele) a dobrého dílu za špatný (zbytečný signál, tj. riziko výrobce). Vyhodnocované vzorky by vždy měly reprezentovat rozpětí variability procesu výroby. Tím je ověřena úroveň schopnosti měřicího systému zachytit při kontrole opravdu všechny neshodné výrobky, případně neoznačovat shodné výrobky jako neshodné.



Obr. 16) Oblasti hodnocení vzorků [7]

Aby byl omezen vznik strannosti a byla zajištěna statistická nezávislost studie, je důležité znáhodnit (randomizovat) pořadí kontrolovaných vzorků. Existuje několik způsobů, jimiž lze randomizace docílit v závislosti na podmínkách dané studie. Nejdříve je nutné vzorky jednoznačně číselně označit, aby bylo možné přiřadit danému číslu vzorku jeho referenci. Není žádoucí, aby operátor znal číslo vzorku nebo jej byl schopen zjistit během měření. Řešeními jsou:

- zápis čísla na tu část vzorku, kterou operátor nekontroluje,
- popis „neviditelným“ UV fixem (inkoust je viditelný pouze při osvětlení UV světlem),
- použití nálepek s QR kódem,
- přelepení napsaného čísla neprůhlednou páskou během kontroly apod.

Pokud jsou takto označené OK a NOK vzorky vzájemně promíchány, může si operátor sám brát vzorky ke kontrole bez toho, aby byl ovlivněn znalostí čísla vzorku (při dalších opakováních by si například mohl pamatovat, že vzorek č. 10 hodnotil jako OK, proto jej může chtít opět takto vyhodnotit, čímž zásadně ovlivňuje variabilitu opakovatelnosti). Obecně doporučeným postupem je však vytvoření pracovního listu v Minitabu, kterým je předem určeno randomizované pořadí vzorků.

Ve stanovení počtu vzorků nepanuje jednoznačná, statisticky podložená shoda. Konkrétní počet vzorků se odvíjí od kritičnosti analýzy, rozměru vzorků, ekonomických nároků, časových možností měření apod. Existují určitá doporučení, avšak ve výsledku často záleží na zákazníkovi, zda studii se zvoleným počtem vzorků přijme jako vyhovující, svolí snížit počet vzorků, nebo naopak požaduje jejich navýšení.

Analýzou relevantních publikací vznikla tabulka 20, jíž jsou srovnány navrhované počty vzorků. Z tabulky vyplývá, že panuje rámcová shoda návrhů stojících na empirických podkladech. Lze se však důvodně domnívat, že návrhy nejsou vzájemně nezávislé (příručka VDA 5 i Kapesní příručka (...) se alespoň částečně opírají o příručku MSA). [7; 8; 10]

Tab. 20) Srovnání počtu vzorků [3; 6; 7]

Zdroj	Počet vzorků
Příručka MSA (3. vydání)	50
Příručka VDA 5 (2. vydání)	≥ 40
Kapesní příručka Lean Six Sigma	40-50

4.3.3 Výběr operátorů a počet opakování

Neméně důležitým faktorem analýzy MSA je výběr operátorů, kteří měří nebo určují hodnoty kontrolních znaků vzorků. Vzhledem k tomu, že účelem studie je hodnocení celkového systému měření, mají být vybráni operátoři, kteří běžně dané měření provádí a dobře znají příslušný proces. Je nezbytné, aby měl každý operátor znalost postupu měření či vyhodnocení a dokázal účinně rozlišit shodný vzorek od neshodného, k čemuž mu může posloužit pracovní návodka nebo kniha vad určená pro daný výrobek.

Počet vhodných operátorů může být limitován směnností, obtížností procesu kontroly nebo časovou náročností studie, zejména však osobními pracovními předpoklady. Je požadováno, aby daný operátor splňoval nároky na kvalifikaci, motivaci, pečlivost, rozhodnost apod. S počtem operátorů souvisí i počet opakování měření, která jednotliví operátoři v rámci studie absolvují. Tato hodnota se odvíjí – podobně jako u výběru vzorků a operátorů – od kritičnosti konkrétní kontroly, její časové náročnosti apod.

Analýzou stejných publikací, jako u výběru operátorů, vznikla tabulka 21, jež srovnává navrhované počty operátorů a opakování. Z tabulky opět vyplývá relativní shoda návrhů, ovšem s rizikem vzájemné závislosti. [3; 7]

Tab. 21) Srovnání počtu operátorů a opakování [3; 6; 7]

Zdroj	Počet operátorů	Počet opakování
Příručka MSA (3. vydání)	3	3
Příručka VDA 5 (2. vydání)	2	3
Kapesní příručka Lean Six Sigma	2-3	2

4.3.4 Průběh analýzy

Na základě plánu měření v kapitole 4.3.1 je možné provést samotnou analýzu. Po definování měřených charakteristik a zvolení odpovídajícího systému měření jsou určeny osoby, které se analýzy účastní (odpovědná osoba a operátoři měření). Odpovědná osoba poskytne operátorům vzorky k vyhodnocení a seznámí operátory s postupem a podstatou analýzy MSA. Po zajištění vhodných podmínek pro měření nechá odpovědná osoba operátory postupně vyhodnocovat předložené vzorky, přičemž dohlíží na správnost postupu analýzy. Naměřené výsledky zapíše do připraveného formuláře a po ukončení měření provede vyhodnocení získaných dat. [7]

4.3.5 Vyhodnocení a interpretace

Jakmile je analýza provedena, musí být získaná data vyhodnocena a výsledky správně interpretovány, protože bez pochopení výsledků studie není možné určit vhodnost měřicího systému, a tím postrádá provedená studie jakýkoliv smysl. Nejefektivnější vyhodnocení se provádí za použití vhodných softwarů (viz kapitola 3.6). Atributivní MSA analýza vyhodnocená metodou křížových tabulek nabízí dva soubory výsledků: hodnoty *kappa* a vyhodnocení efektivnosti (viz kapitola 3.5.2). Kritéria přijatelnosti hodnot *kappa* se odvíjí od požadavků zákazníka. Různé přístupy stanovení kritérií jsou znázorněny v tabulce 22. Na jejím základě lze hraniční hodnotu přijatelnosti hledat v oblasti hodnoty *kappa* 0,7–0,8. Hodnoty nižší (až do hodnoty 0,4) značí zvýšenou neshodu, která může mít příčinu ve špatně provedené studii, ale také ve vyšší variabilitě procesu. U hodnot nižších než 0,4 je třeba věnovat zvýšenou pozornost hledání příčiny takto nízké hodnoty a bezodkladně přijmout příčinná opatření. Je však důležité mít na paměti, že koeficient *kappa* neurčuje velikost neshody, pouze udává, zda se o shodu jedná, či nikoliv. Kritéria hodnocení efektivnosti v tabulce 17 určují její mezní hodnoty a popisují doporučené postupy. Rozhodnutí o přijetí systému měření by nemělo být omezeno jediným souborem ukazatelů, ale měla by být přezkoumána a zohledněna i např. dlouhodobá funkčnost systému (kupříkladu grafickou analýzou v daném čase). [7]

Tab. 22) Kritéria hodnocení koeficientu *kappa* [3; 7; 16]

Zdroj	Hodnota <i>kappa</i>	Význam
Příručka MSA (3. vydání)	< 0,4	Špatná shoda
	> 0,75	Dobrá až vynikající shoda
Kapesní příručka Lean Six Sigma	< 0,7	Neadekvátní shoda
	> 0,9	Výborná shoda
The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data	< 0	Slabá shoda
	0,01 – 0,20	Mírná shoda
	0,21 – 0,40	Uspokojivá shoda
	0,41 – 0,60	Průměrná shoda
	0,61 – 0,80	Značná shoda
	0,81 – 1	Téměř dokonalá shoda

4.3.6 Postup při nevyhovujícím výsledku

Cílem řešení nevyhovujícího výsledku je zajištění maximalizace správných vyhodnocení charakteristik vzorků. Ve smyslu oblastí hodnocení vzorků dle obrázku 16 se jedná o snížení počtu vzorků v oblasti II (tj. zlepšení výrobního procesu) nebo zúžením velikosti této oblasti (tj. zlepšení systému měření).

Pokud jsou výsledkem studie nevyhovující hodnoty *kappa* nebo nevyhovující hodnoty efektivnosti, je třeba zjistit jejich příčiny a učinit nápravná opatření. Je třeba usilovat o snížení vlivu zdrojů variability působících na proces kontroly. Těmi mohou být:

- nedostatečná kvalifikace operátora,
- nečistota vyhodnocovaných vzorků,
- nejednoznačně definované OK a NOK vzorky či jejich nejednoznačný stav,
- nedostatečná motivace operátorů apod.

Nápravou v těchto případech může být pravidelné provádění výcviku operátorů, důkladnější vypracování knihy vad či zvýšení motivace zaměstnanců.

V rámci GRR je věnována pozornost mírám opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Při nevyhovujících hodnotách opakovatelnosti je třeba zaměřit pozornost zejména na operátorovu znalost posouzení shodného a neshodného dílu (vhodné je individuální školení) a na vliv prostředí měření. Nevyhovující reprodukovatelnost může mít podobné příčiny, řešení však může nabízet spíše kolektivní školení všech zainteresovaných operátorů. Důležité je analyzovat standardní kontrolní postupy či provozní definice. Pro vyhledání příčin je doporučeno použití diagramu příčin a následků (Ishikawův diagram), který pomůže identifikovat potenciální zdroje odchylek měření.

Součástí firemního kontrolního plánu, ze kterého vychází požadavek na provedení analýzy MSA, je definování tzv. reakčního plánu (poslední pole na obrázku 2), který určuje postup při zjištění neshody se specifikací. Popis reakčního plánu sestavuje tým firemních odborníků a odvíjí se od charakteristiky konkrétního kontrolovaného znaku a jeho kritičnosti (zpravidla je stanoven požadavek na okamžitou výměnu nebo opravu, kontaktování zodpovědné osoby, blokaci vyrobených dílu apod.). [2; 6; 7; 8; 9]

5 VLASTNÍ NÁVRH ŘEŠENÍ

5.1 Shrnutí a srovnání teoretických předpokladů

Vypracování vlastního návrhu interní metodiky MSA pro atributivní data ve firmě vychází ze srovnání současného stavu poznání, analýzy řešeného problému, jejího vyhodnocení a nalezení optimálního přístupu, který bude v metodice uplatněn.

5.1.1 Metodiky VDA 5 a MSA

Pro potřeby atributivní MSA, konkrétně vizuální kontroly, nabízí příručka VDA 5 Quasi-důkaz vhodnosti systému měření. Jeho podstatou je prověření významnosti rozdílů v rozhodováních mezi operátory. Vyžaduje 40 vzorků, které vyhodnocují 2 operátoři ve 3 opakováních. Po položení nulové hypotézy „Oba operátoři zajišťují stejné výsledky“ je proveden Bowkerův test symetrie, na jehož základě je hypotéza přijata, nebo zamítnuta. Výsledkem provedeného experimentu je tedy závěr „Oba operátoři (ne)zajišťují stejné výsledky“. Při větším počtu operátorů musí být otestovány všechny možné dvojice operátorů. Příručka MSA nabízí analýzu testu hypotéz Metodou křížových tabulek. Nevyužívá tedy Bowkerova testu. Srovnáním pozorovaných dat shody/neshody a pravděpodobností náhodné shody/neshody je určen koeficient $kappa$, který měří míru shody v hodnocení stejného vzorku mezi dvěma operátory. Součástí metody je také výpočet efektivnosti systému měření.

Obě příručky umožňují provést analýzu systému měření atributivních binárních dat bez znalosti referenční hodnoty nebo reference. Metoda popsaná příručkou VDA 5 však nabízí pouhé kvalitativní vyhodnocení (potvrzení nebo zamítnutí hypotézy o shodě dvou operátorů), kdežto metoda dle příručky MSA podává kvantitativní výsledek ve formě hodnoty koeficientu $kappa$, efektivnosti systému měření a konfidenčních intervalů jednotlivých testů. [6; 7]

Další publikace ve své podstatě vychází z metodik popsanych těmito příručkami a nepřináší žádné zásadní změny nebo nové přístupy. Návrh interní firemní metodiky proto bude založen na metodě popsané v příručce MSA a přizpůsoben podmínkám a požadavkům firmy.

5.1.2 Provedení MSA analýzy

Jednotlivé stěžejní body analýzy, popsané v kapitole 4.3, nejsou zcela závazné a jejich implementace do konkrétních firemních postupů značně závisí na požadavcích zákazníka a charakteru firemních produktů.

Příprava studie bude v navrhované interní metodice vycházet z plánu měření popsaneho v kapitole 4.3. Její výsledná podoba se bude odvíjet od konkrétních firemních možností a požadavků na provedení MSA analýzy. Rámec přípravy však postačuje pro naprostou většinu možných kontrol atributivních znaků ve firmě.

Zásadním faktorem celé analýzy je problematika výběru vzorků. Vypovídající hodnota analýzy je ovlivněna kupříkladu charakteristikou, počtem, jakostí či poměrem shodných a neshodných vzorků, stejně jako mírou jejich vzájemné rozdílnosti. Předpokladem je, že analýza bude ve firmě aplikována ve větší míře na systémy měření, které již dříve byly analyzovány. Mělo by se tedy jednat o průběžně analyzované systémy měření. Není proto nutné volit neúměrně vysoký počet vzorků. Z uvedeného důvodu je navrženým počtem vzorků 40, z nichž 20 vzorků je s referencí OK a 20 vzorků s referencí NOK. Polovina vzorků by měla

spadat do oblasti II (dle obrázku 16). Jejich výběr by měl probíhat přímo z procesu výroby tak, aby reprezentoval rozpětí variability konkrétního procesu. V ojedinělých situacích (pokud výroba produkuje minimum neshodných vzorků) je možno použít předem připravenou sadu NOK vzorků. Každý vzorek musí být jednoznačně identifikovatelný (nejlépe číselně popsáný) a mít přiřazenou referenci. Podmínkou je, že operátor nesmí znát označení vzorku, proto je vzorek označen například UV fixem nebo nálepkou s QR kódem. Pořadí kontrolovaných vzorků je nutné vždy randomizovat.

Provedení MSA analýzy se budou účastnit 3 operátoři, kteří budou vybráni na základě jejich znalosti konkrétního výrobního procesu. Předpokladem je zejména znalost příslušného systému měření a vyhodnocení vzorků. Každý z operátorů provede 2 opakování měření. Průběh analýzy proběhne v souladu s kapitolou 4.3.4. K vyhodnocení získaných dat budou využity softwary Minitab, Palstat a Excel. Výsledek analýzy bude interpretován zvlášť pro efektivnost studie (dle tabulky 17) a zvlášť pro hodnoty koeficientů *kappa*, přičemž mezní hodnoty přijatelnosti *kappy* jsou stanoveny takto: $\kappa > 0,9$ značí vynikající shodu, $\kappa > 0,75$ značí dobrou shodu a $\kappa < 0,75$ značí špatnou shodu. V případě zjištění nevyhovujícího výsledku bude postupováno v souladu s kapitolou 4.3.6.

5.1.3 Softwarové nástroje

V návaznosti na skutečnosti popsané v kapitole 3.6 jsou k vyhodnocení analýzy uvažovány 3 SW: Minitab, Palstat CAQ a Excel. Každý z nich disponuje určitými přednostmi. Výhodou Excelu je jeho customizace, avšak sám o sobě není programem určeným pro MSA či statistickou analýzu, veškeré výpočtové funkce i grafickou podobu je nutné vkládat ručně. Ke statistické analýze je přímo určený Minitab, který je schopný vyhodnotit i MSA analýzu. Zadání dat k analýze je snadné, forma vyhodnocení analýzy však může být poněkud složitější a je třeba znát způsob její interpretace. S touto znalostí však Minitab nabízí výsledky tak, jak je uvádí metodika MSA (koeficienty *kappa*, efektivnost studie, procentuální vyjádření shody). Určitou nevýhodou je absence českého jazyka a „surová“ forma výsledků uvnitř softwaru s absencí tvorby upravitelného přehledového protokolu. Ten dokáže vytvořit Palstat, který rovněž vyhodnocuje atributivní MSA metodou křížových tabulek. Výhodou Palstatu je možnost propojení MSA s řadou jiných modulů, které tvoří komplexní podporu pro řízení kvality ve firmě. Zadání dat je intuitivní, výsledný protokol je ve formátu, který uvádí příručka MSA. Nevýhodou je nutnost zakoupení firemních licencí, jejichž cena je v řádu deseti tisíců korun za jednu licenci. Protože firma pro většinu statistických analýz již používá Minitab, bude důraz kladen právě na něj. Návrh interní metodiky přesto nabídne postup řešení ve všech uvedených softwarech.

5.2 Návrh interní metodiky

V návaznosti na kapitolu 5.1 byl vytvořen konkrétní návrh interní metodiky MSA pro atributivní data ve firmě. Účelem metodiky je seznámit odpovědné osoby ve firmě se současným (a metodikami doporučeným) chápáním MSA analýzy se zaměřením na vizuální kontrolu, tj. analýzu binárních atributivních dat. Forma metodiky je zvolena tak, aby byla maximálně přínosná pro odpovědné osoby ve firmě (členění metodiky, použité výrazy, způsob znázornění postupu studie apod.). Interní metodika je přílohou A této práce.

Metodika sestává z pěti částí: První částí je Hlavní část metodiky, následují 3 přílohy pro vyhodnocení v jednotlivých SW (Excel, Minitab a Palstat) a poslední částí je příloha Excelového souboru s protokolem pro vyhodnocení atributivní MSA.

Hlavní část metodiky čtenáře seznamuje se základními pojmy v kontextu MSA a s rámcovým popisem filozofie atributivní MSA ve vztahu k firemnímu prostředí. Následně předkládá náležitosti přípravy a průběhu analýzy, způsobu vyhodnocení dat, interpretace výsledků a případného postupu při špatném výsledku analýzy.

Následné 3 přílohy metodiky popisují po jednotlivých krocích zadání dat do konkrétních SW, jejich vyhodnocení a interpretaci výsledků.

Poslední část – Excelový protokol – je výsledkem možného řešení problému atributivní MSA, a sice pomocí vytvoření zadávacího protokolu a vyhodnocovacího rozhraní. Tento protokol i způsob vyhodnocení jsou v souladu s metodikou dle příručky MSA.

6 PRAKTICKÁ APLIKACE NAVRŽENÉ METODIKY

Před plnou implementací navržené metodiky do interní řízené dokumentace firmy bylo firemním oddělením kvality požadováno provést praktickou aplikaci navržené metodiky na konkrétní systémy měření. K tomuto účelu byly inženýrkou kvality vybrány 2 vizuální kontroly, jejichž MSA analýzy budou popsány v následující části.

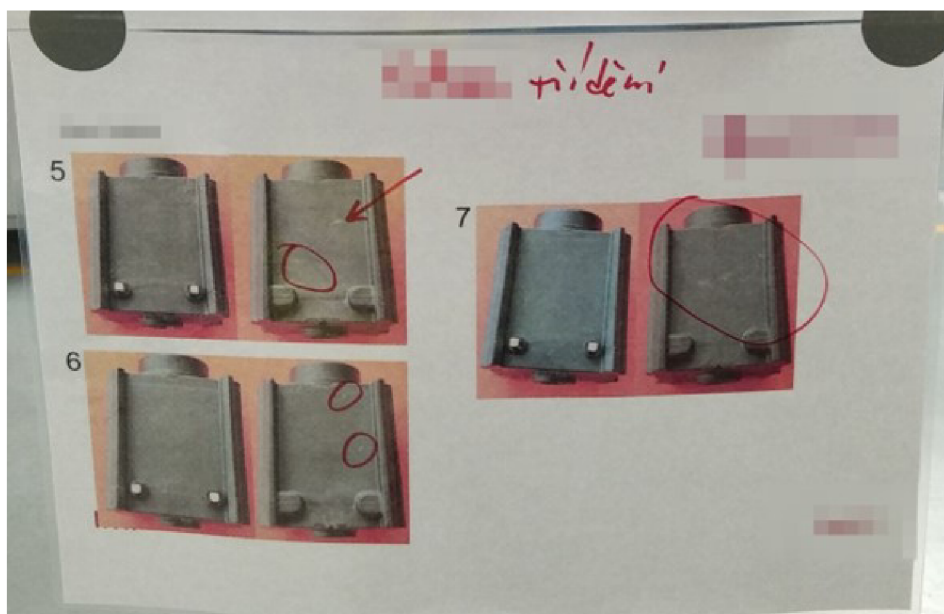
6.1 První aplikace („Mapy“)

Podstatou prvního měření bylo zejména ověření, zda je navrhovaná metodika schopna odhalit nevhodně nastavený proces měření. K tomu účelu byl inženýrkou kvality vybrán produkt, u kterého v danou chvíli nebyla zajištěna stabilita výrobního procesu a byla nejasně definována kritéria pro vyhodnocování shodných a neshodných kusů. Je třeba zdůraznit, že tento postup je v rozporu s pokyny uvedenými v navrhované metodice, která mimo jiné říká, že má být MSA analýza aplikována pouze na stabilní a statisticky zvládnuté procesy a má být jednoznačně stanovena reference každého vzorku. Účelem tohoto postupu však bylo ověření, zda a jak navrhovaná metodika odhalí takto nevhodné parametry studie. Kontrolovaným znakem byly tzv. „mapy“ na povrchu plastového vstřikolisovaného dílu se zalisovanými kontakty. Nejasnost hodnotícího kritéria spočívala v tom, že každý z operátorů vnášel značnou subjektivitu do posouzení přijatelnosti mapy (pro zákazníka byla přípustná pouze „malá a nevýrazná“ mapa bez bližšího upřesnění těchto vágních pojmů). Problematika situace se projevovala i v nejednoznačnosti určení referencí vzorků, které měly být hodnoceny v rámci analýzy MSA. V důsledku tímto pro firmu vznikala ekonomická ztráta vlivem reklamací zákazníka (tzn. firmou byly expedovány NOK kusy) i zbytečným zadržováním shodného materiálu (ve snaze firmy zabránit expedici NOK kusů).

6.1.1 Příprava analýzy

Jak bylo popsáno výše, jednalo se zejména o demonstrativní studii. Měření mělo probíhat jako u běžné analýzy s tím rozdílem, že byl předem předpokládán nevyhovující výsledek. Nebylo tedy zcela jednoznačně a objektivně určeno, jaké vzorky jsou s referencí OK a jaké s referencí NOK. Pro vyhodnocení NOK kusů sloužila operátorům provizorní (tj. neřízená) kniha vad (viz obrázek 17), která znázorňovala nepřípustné charakteristiky vzorků. Pokud vzorek tyto vady neměl, byl vyhodnocen jako OK.

Na pokyn inženýrky kvality bylo zajištěno 40 vzorků, které byly vybrány z KLT (přepravních boxů) s kusy po výstupní kontrole. Z KLT s červeným štítkem bylo vybráno 20 vzorků s referencí NOK, z KLT se zeleným štítkem bylo vybráno 20 vzorků s referencí OK. Uvedená KLT jsou vyfocena na obrázku 19. Každý vzorek byl popsán UV fixem (obrázek 20) tak, aby číslo vzorku nebylo známo operátorovi. Obrázek 18 ukazuje, že na OK vzorku lze pozorovat homogenitu pohledové plochy, která neobsahuje povrchové vady. Na NOK vzorku jsou naopak patrna světlá místa (tj. mapy), která byla zákazníkem vyhodnocena jako funkční vady. Tyto vady musel operátor na vzorku účinně rozpoznat a vyhodnotit vadný vzorek jako NOK.



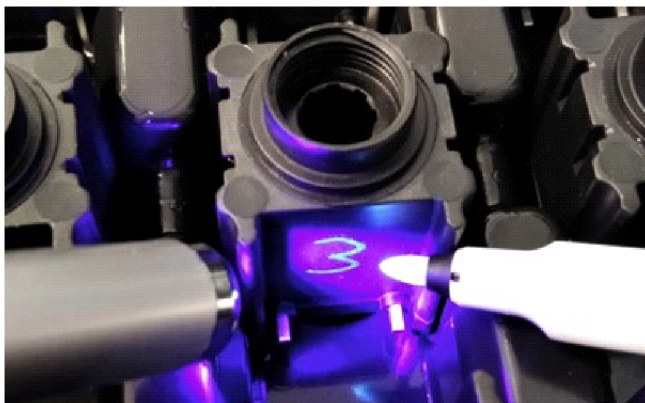
Obr. 17) Kniha vad (mapy jsou červeně vyznačeny)



Obr. 18) OK vzorek bez map (vlevo) a NOK vzorek s mapami (vpravo)



Obr. 19) KLT s NOK vzorky (vlevo) a OK vzorky (vpravo)



Obr. 20) Vzorek popsáný UV fixem a osvětlený UV lampou

K provedení vyhodnocení vzorků byli vybráni 3 operátoři, kteří již v minulosti tuto nebo podobnou vizuální kontrolu několikrát prováděli. Měli tedy dlouhodobou zkušenost a znalost ve vizuálním srovnávání vzorků. Každý z operátorů své hodnocení provedl ve dvou opakováních. Pro zaznamenávání naměřených dat byl zvolen „klasický“ nerandomizovaný formulář (vytvořený v SW Excel) s předpokladem, že byla náhodnost výběru zajištěna operátorovou neznalostí číselného označení vzorků. Inženýrka kvality rozhodla, že byly před operátora položeny 3 *traye* (plastové přepravní tácy s výlisky pro daný výrobek, zobrazené na obrázku 21). V prostředním *trayi* byly na začátku studie založeny všechny vzorky, do levého *traye* měl operátor vložit vzorky vyhodnocené jako OK, do pravého *traye* pak vzorky vyhodnocené jako NOK.



Obr. 21) Traye pro uložení vyhodnocovaných vzorků

6.1.2 Průběh analýzy

Postup provedení analýzy byl u všech tří operátorů totožný. Nejdříve byl operátor dotázán, zda tuto vizuální kontrolu běžně provádí, případně zda ji již někdy dříve prováděl. Odpovědi byly u všech operátorů kladné. Následně byl operátor seznámen s důvodem a průběhem měření. Bylo mu vysvětleno, jaké jsou požadavky na vyhodnocení vzorků a byly mu poskytnuty k prohlédnutí charakteristické OK a NOK vzorky (oba vzorky byly vybrány nad rámec souboru kontrolních vzorků). Poté, co operátor potvrdil, že rozumí požadavkům, začal s provedením kontroly.

Vizuální kontrola probíhala podle postupu navrženém v metodice. Operátor mohl během vyhodnocení použít i lupu s osvětlením (obrázek 22), jestliže si nebyl s vyhodnocením povrchu vzorku jistý. Poté, co operátor vyhodnotil všechny vzorky, byl požádán, aby na chvíli opustil pracovní stůl. Následně bylo možné osvětit UV lampou vyhodnocené vzorky a zapsat do formuláře čísla těch, které operátor vyhodnotil jako OK a které jako NOK. Po zapsání byly vzorky náhodně založeny zpět do prostředního *traye* a operátor byl požádán, aby měření

opakoval. Zápis čísel vzorků do formuláře byl poté totožný, jako v předešlém opakování. Tentýž průběh měření byl uplatněn i u zbývajících dvou operátorů.



Obr. 22) Operátor během vizuální kontroly map

6.1.3 Vyhodnocení a interpretace

Vyhodnocení analýzy bylo provedeno ve všech uvažovaných SW dle navrhované metodiky. Přílohy B, C a D obsahují výsledné protokoly vyhodnocené v jednotlivých SW. Počáteční předpoklad o nestabilitě procesu byl vyhodnocením analýzy potvrzen. Jak je patrné z tabulky 23, naprostá většina výsledků nevyhovuje kritériím.

Nízké hodnoty opakovatelnosti, především pak velmi nízká hodnota opakovatelnosti druhého operátora značí, že schopnosti operátorů vyhodnotit dané vzorky totožně během obou opakování měření je nedostatečná. Jelikož opakovatelnost operátora nemá spojitost s definovanými referencemi vzorků, je nutné zaměřit se v tomto ohledu zejména na proškolení operátorů v oblasti konzistence jejich vlastních vyhodnocení.

Hodnocení shody operátorů s referencemi poskytuje dva zásadní negativní výsledky, kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Prvním je značný pokles hodnoty *kappa* třetího operátora. To znamená, že ačkoliv daný operátor vykazuje nejvyšší opakovatelnost ze všech operátorů, jeho schopnost rozpoznat OK a NOK vzorky shodně s definovanými referencemi je velmi nízká. Pokud by byl podobně výrazný negativní trend pozorován i u zbývajících operátorů, mohla by být příčina v chybně stanovených referencích. Ovšem tento předpoklad je v rozporu se zjištěnými hodnotami *kappa* u prvního operátora. Alarmující je pak záporná hodnota *kappa* druhého operátora. Ta říká, že pravděpodobnost shody hodnocení druhého operátora je nižší než náhodná pravděpodobnost shody. Jinými slovy: Pokud by operátor náhodně určoval, který vzorek je OK a který NOK, vyhodnotil by tímto způsobem větší počet vzorků správně, než jak tomu bylo při jeho skutečném vyhodnocování.

Nízká hodnota reprodukovatelnosti může znamenat podobné příčiny, jako tomu bylo u opakovatelnosti, ovšem zásadním faktorem je zde vzájemná neshoda mezi operátory. Proto je žádoucí přistoupit nejen k individuálním proškolením operátorům, ale i ke kolektivnímu školení všech zainteresovaných operátorů.

Velmi nízká hodnota celkové hodnoty *kappa* poukazuje na systémové a procesní nedostatky, zejména na nestabilitu procesu, nízkou kvalifikaci či motivaci operátorů, nevhodné

měřicí postupy, nevhodné měřicí prostředí, nejasně/nevhodně definované charakteristiky OK a NOK vzorků apod. Ze všech hodnot $kappa$ tedy jednoznačně vyplývá, že pokud by se jednalo o běžnou (tedy předem záměrně negativně neovlivněnou) analýzu systému měření, byl by tento systém vyhodnocen jako zcela nevhodný a bylo by nutné zavést důkladná nápravná opatření.

Jiným přístupem k vyhodnocení studie než pomocí koeficientů $kappa$, jsou hodnoty efektivnosti. I zde však výsledné hodnoty vypovídají o nevhodnosti systému měření, neboť jsou téměř všechny výsledky označeny za nepřijatelné.

Tab. 23) Výběr z vyhodnocení studie „Mapy“

	Mapy (O1 / O2 / O3)	Kritéria vyhodnocení
Opakovatelnost (Fleissova $kappa$)	0,40 / 0,18 / 0,63	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Shoda s referencí (Fleissova $kappa$)	0,35 / -0,13 / 0,21	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Reprodukovatelnost (Fleissova $kappa$)	0,27	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Celková hodnota $kappa$ (Fleissova $kappa$)	0,14	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Efektivnost operátorů vůči sobě a mezi sebou [%]	70 / 60 / 82	≥ 90 přijatelné ≥ 80 marginálně přijatelné < 80 nepřijatelné
Efektivnost operátorů vůči sobě a mezi sebou vzhledem k referenci [%]	52 / 25 / 52	≥ 90 přijatelné ≥ 80 marginálně přijatelné < 80 nepřijatelné

6.1.4 Postup při nevyhovujícím výsledku

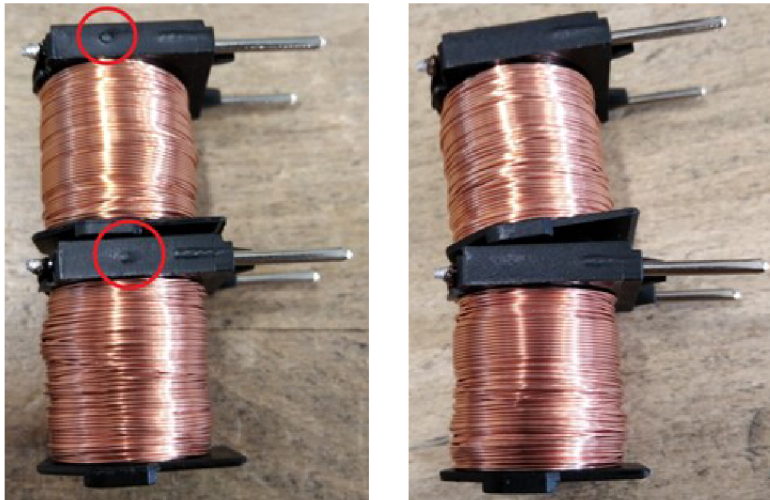
V rámci vyhodnocení a interpretace výsledků byly rovněž popsány návrhy, jak postupovat při nevyhovujícím výsledku. Je nepochybné, že systém měření musí být výrazně zlepšen. Protože se však ve skutečnosti jedná o záměrně ovlivněnou studii, je nezbytné nejdříve odstranit známé negativní vlivy, jako je např. nestabilita výrobního procesu. Následným opakováním analýzy mohou být zjištěny faktory, které systém měření skutečně negativně ovlivňují bez zásahu vedoucího studie. Vhodné je rovněž provedení studie dlouhodobé funkčnosti systému.

6.2 Druhá aplikace („Bubliny“)

Druhé měření již odpovídalo běžnému použití analýzy dle požadavků metodiky a určení kontrolním plánem. Proces výroby byl vyhodnocen jako stabilní, definování OK a NOK vzorků bylo jasně stanoveno. Kontrolovaným znakem byly tzv. „bubliny“ na plastovém vstříkolisovaném dílu se zalisovanými kontakty a měděnou cívkou. Přítomnost bubliny byla zákazníkem určena jako funkční vada, proto musí být během vizuální kontroly vyhodnocena jako NOK.

6.2.1 Příprava studie

Z popisu procesu výroby a kontroly vyplývalo, že se jednalo o stabilní, spolehlivý a přesný proces. Operátoři dlouhodobě neměli s vyhodnocováním NOK kusů vážnější potíže. Návodem k vyhodnocení OK a NOK vzorků byl popis vad v kontrolním plánu s fotografií neshodného kusu. NOK vzorkem se rozuměl ten, který ze strany obsahoval vypouklinu (bublinu) a kus, který ji neobsahoval, měl být vyhodnocen jako OK. Oba případy vzorků jsou zobrazeny na obrázku 23.



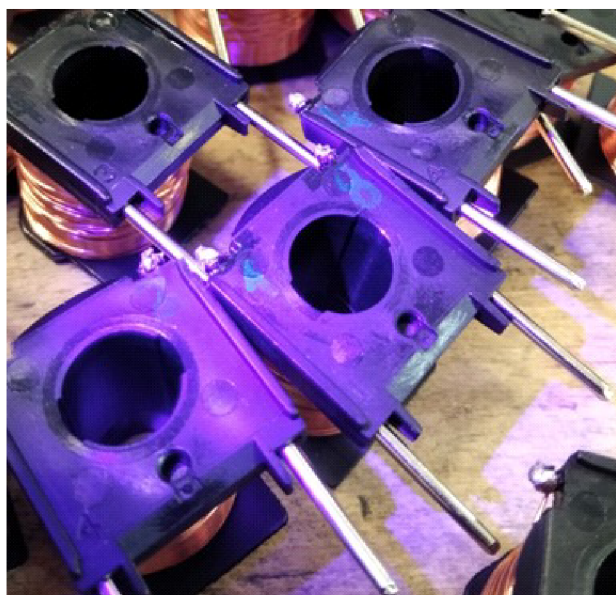
Obr. 23) NOK vzorky s bublinami (vlevo) a OK vzorky bez bublin (vpravo)

Jelikož se jednalo o mezioperační kontrolu, poskytla inženýrka kvality OK vzorky přímo z výrobní linky, jejíž výrobní proces na tuto vizuální kontrolu navazoval. Z toho důvodu byly OK vzorky již vloženy do kovového držáku a bylo nutné je před provedením studie vyjmout. NOK vzorky byly vybrány z KLT, do kterého operátoři vkládali neshodné kusy (obrázek 24). Vzorky byly následně číselně označeny UV fixem (obrázek 25). Při výběru vzorků byl brán zřetel na to, aby byl zastoupen celý rozsah výroby, tj. výrazně shodné i neshodné vzorky a vzorky z pásma nejistoty.

K provedení vyhodnocení vzorků byli i pro toto měření vybráni 3 operátoři se zkušeností a znalostí v této nebo podobné vizuální kontrole vzorků. Každý z operátorů měl své hodnocení dvakrát opakovat, zápis získaných dat měl být následně prováděn do nerandomizovaného Excelového formuláře za předpokladu náhodnosti výběru vzorků operátorem. Bylo určeno, že průběh vyhodnocování vzorků bude probíhat položením všech vzorků na stůl před operátora. Vzorky vyhodnocené jako OK měl operátor dávat na levou stranu stolu, vzorky vyhodnocené jako NOK na pravou stranu.



Obr. 24) OK vzorky v držáku (vlevo) a NOK kusy v KLT (vpravo)



Obr. 25) Vzorky popsané UV fixem při osvitu UV lampou

6.2.2 Průběh analýzy

Stejně jako v předchozím měření, i v této analýze byl operátor nejdříve dotázán, zda zná podmínky prováděné kontroly a zda s ní má nějaké zkušenosti. Poté byl obeznámen s důvodem měření a jeho postupem. Po ověření operátorova porozumění studii byla započata kontrola vzorků dle postupu v metodice. Měření probíhalo na pracovním stole za podmínek odpovídajících běžné vizuální kontrole daného výrobku. Po provedení druhého opakování měření prvního operátora byli o provedení kontroly požádáni i zbývající dva operátoři. Výsledky byly po každém opakování průběžně zapisovány do formuláře.

6.2.3 Vyhodnocení a interpretace

Vyhodnocení analýzy proběhlo prostřednictvím všech SW uvedených v metodice, přílohy F–H obsahují výsledné protokoly. Výsledky studie, shrnuté v tabulce 24, značí vynikající shodu a celkovou přijatelnost měřicího systému. Jediným hodnocením, které nevyjadřuje plnou přijatelnost, je Hodnota chybějícího signálu 2,5 %, jež značí marginálně přijatelnou efektivnost (viz příloha F či H). Vzhledem k ostatním vynikajícím výsledkům studie lze hodnotit analyzovaný systém měření jako vhodný. Nicméně, pro následnou hlubší analýzu tohoto systému měření je možné přistoupit k výběru většího poměru vzorků z intervalu nejistoty, tedy vzorků, u nichž je kontrolovaná charakteristika hůře rozpoznatelná. Tím se sníží počet zřetelně shodných a neshodných vzorků, což může pomoci lépe odhalit variability, které se ve výsledcích této analýzy neprojevíly.

Tab. 24) Výběr z vyhodnocení studie „Bublíny“

	Bublíny (O1 / O2 / O3)	Kritéria vyhodnocení
Opakovatelnost (Fleissova <i>kappa</i>)	0,95 / 1,00 / 1,00	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Shoda s referencí (Fleissova <i>kappa</i>)	0,95 / 1,00 / 1,00	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Reprodukovatelnost (Fleissova <i>kappa</i>)	0,98	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Celková hodnota <i>kappa</i> (Fleissova <i>kappa</i>)	0,99	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Efektivnost operátorů vůči sobě a mezi sebou [%]	97 / 100 / 100	≥ 90 přijatelné ≥ 80 marginálně přijatelné < 80 nepřijatelné
Efektivnost operátorů vůči sobě a mezi sebou vzhledem k referenci [%]	97 / 100 / 100	≥ 90 přijatelné ≥ 80 marginálně přijatelné < 80 nepřijatelné

6.3 Analýza výsledků praktické aplikace

Ze srovnání vyhodnocení studií „Mapy“ a „Bublíny“ v tabulce 25 vyplývá, že výsledky obou analýz se vzájemně diametrálně liší. Je zřejmé, že studie „Mapy“ se účastnili nedostatečně kvalifikovaní nebo poučení operátoři (viz nízké hodnoty opakovatelnosti a velmi nízké hodnoty shody s referencemi). Nedostatečný byl i celý systém měření (viz velmi nízká hodnota celkové *kappy*).

Největší podíl na tak značném rozdílu ve vhodnostech systémů měření měly zřejmě nestabilita procesu a nedostatečné poučení operátorů ohledně správného rozlišení shodných a neshodných vzorků. Vliv měla také skutečnost, že počáteční určení reference vzorků pravděpodobně mnohdy neodpovídalo skutečnému stavu konkrétního kusu. Naopak druhé měření bylo založeno na datech ze vzorků pocházejících ze stabilního procesu. Operátoři v tomto případě dokázali téměř bezchybně rozeznat neshodné kusy od shodných.

Kompletní výsledkové protokoly jsou součástí příloh B–D (studie „Mapy“) a příloh F–H (studie „Bublíny“).

Tab. 25) Srovnání výběrů z vyhodnocení studií „Mapy“ a „Bublíny“

	Mapy (O1 / O2 / O3)	Bublíny (O1 / O2 / O3)	Kritéria vyhodnocení
Opakovatelnost (Fleissova <i>kappa</i>)	0,40 / 0,18 / 0,63	0,95 / 1,00 / 1,00	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Shoda s referencí (Fleissova <i>kappa</i>)	0,35 / -0,13 / 0,21	0,95 / 1,00 / 1,00	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Reprodukovatelnost (Fleissova <i>kappa</i>)	0,27	0,98	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Celková hodnota <i>kappa</i> (Fleissova <i>kappa</i>)	0,14	0,99	> 0,9 vynikající shoda > 0,75 dobrá shoda < 0,75 špatná shoda
Efektivnost operátorů vůči sobě a mezi sebou [%]	70 / 60 / 82	97 / 100 / 100	≥ 90 přijatelné ≥ 80 marginálně přijatelné < 80 nepřijatelné
Efektivnost operátorů vůči sobě a mezi sebou vzhledem k referenci [%]	52 / 25 / 52	97 / 100 / 100	≥ 90 přijatelné ≥ 80 marginálně přijatelné < 80 nepřijatelné

6.4 Srovnání stávajícího firemního přístupu a navrhované metodiky

Důležitým bodem této práce je srovnání stávajícího firemního přístupu s navrhovanou metodikou.

Nejzásadnějším rozdílem je samotná existence navrhované metodiky, která nabízí ucelený pohled na tvorbu atributivní MSA analýzy, pochopení její podstaty a schopnost jejího správného vyhodnocení. Tento aspekt ve firemním přístupu chybí.

Druhým zásadním rozdílem mezi firemním přístupem a nově navrženou metodikou je počet vzorků, které byly pro analýzu MSA použity. Oproti nedostatečným 20 vzorkům dle dosavadního firemního přístupu bylo pro účely nově navržené metodiky použito 40 vzorků, tedy dvojnásobný počet. Aby bylo srovnání více vypovídající, byly provedené studie vyhodnoceny nejen dle nové metodiky, ale také postupem, který firma doposavad využívala. K analýzám dle firemního přístupu byla použita část vzorků určených pro aplikaci navrhované metodiky. Konkrétně se jednalo o vzorky s číslem 1-10 a 30-31.

Dalším zásadním rozdílem je způsob vyhodnocení studie v SW Minitab. Firma používá k vyhodnocení studií chybně funkci *Assistant* (viz kapitola 4.2), kdežto vyhodnocení dle nové metodiky má být prováděno za použití správné funkce. Jak je patrné z tabulky 26, která srovnává vyhodnocení studie „Mapy“ různými přístupy, rozdíly v hodnotách výsledků jsou zcela očividné a zásadní. Zatímco stávající firemní přístup (příloha E) poskytl výsledek s informací o nadpoloviční shodě operátorů s referencemi, nově navrhovaná metodika (příloha C) vyhodnotila shodu operátorů s referencemi jako pětinovou. Tímto je demonstrována podstata nevyhovujícího firemního přístupu.

Tab. 26) Srovnání výsledků stávajícího přístupu a nové metodiky

	Vyhodnocení stávajícím firemním přístupem	Vyhodnocení nově navrhovanou metodikou
Celková shoda operátorů s referencemi	57,9 %	20,0 %
Shoda operátorů s referencemi (O1 / O2 / O3)	67,1 % / 45,7 % / 61,3 %	52,5 % / 25 % / 52,5 %

Výsledky studie „Bublina“, zjištěné oběma přístupy, přinesly srovnatelné hodnoty, což bylo zapříčiněno téměř dokonalou shodou ve všech vyhodnoceních.

7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Pro splnění cílů této práce byl nejprve popsán současný stav metod hodnocení vhodnosti systémů měření pomocí MSA analýzy. Na tuto část práce plynule navazoval systémový rozbor, který zohledňoval širší kontext řešené problematiky. Poznatky, popsané v prvních dvou teoretických částech práce, byly následně analyzovány, aby mohly být porovnány s požadavky na práci a s podmínkami firemního prostředí. Bylo zjištěno a zohledněno, že problematika atributivní MSA analýzy má (dle metodik v příručkách MSA a VDA 5) vzhledem k podmínkám firemního prostředí (atributivní data bez znalosti referenčních hodnot) jediný použitelný přístup k provedení analýzy, a sice metodu křížových tabulek. Tato metoda vyhodnocuje vhodnost systému měření mj. i pomocí koeficientů *kappa*, jejichž užití v navrhované metodice bylo jedním z firemních požadavků.

Návrh metodiky byl tedy založen zejména na metodice dle příručky MSA, přizpůsobený konkrétním podmínkám firemního prostředí. Metodika, navržená v příloze A, popisuje postup přípravy, průběhu a vyhodnocení atributivní MSA analýzy bez znalosti referencí. Je požadováno použití alespoň 40 vzorků, vyhodnocovaných třemi operátory během dvou opakování měření. Vyhodnocení je popsáno pro 3 různé softwary (Excel, Minitab, Palstat). Aplikaci navrhované metodiky na reálný proces kontroly ve firmě měla být prakticky ověřena použitelnost metodiky pro firemní prostředí, včetně její robustnosti.

První aplikací metodiky bylo vyhodnocení povrchových vad výrobků, tzv. „Map“. Počáteční podmínky aplikace byly firemní inženýrkou kvality záměrně negativně ovlivněny, aby bylo ověřeno, že metodika analýzy dokáže tyto negativní parametry účinně rozpoznat. Provedený zásah byl v rozporu s předpoklady správného použití navrhované metodiky, ovšem účelem nebylo samotné určení vhodnosti konkrétní vizuální kontroly, nýbrž ověření funkčnosti metodiky jako takové. Požadavky inženýrky kvality na účinnost metodiky byly po vyhodnocení analýzy naplněny, což je popsáno v kapitole 6.1.3. Tím byla odpovědným osobám ve firmě demonstrována vhodnost použití navrhované metodiky pro firemní účely. Navíc byl v kapitole 6.4 popsán zásadní rozdíl mezi dosavadním firemním způsobem vyhodnocování atributivní MSA analýzy, který neodpovídal požadavkům příručky MSA, a novou metodikou, která byla navržena v souladu s požadavky norem a příslušných příruček.

Druhou aplikací byla kontrola přítomnosti tzv. „Bubliny“ na povrchu jiného výrobku. Účelem této analýzy již bylo určení vhodnosti používaného systému měření. Výsledky analýzy ukázaly, že je používán systém měření vyhovující.

Následnou konzultací se zástupci firmy bylo konstatováno, že navrhovaná metodika naplnila jejich požadavky kladené na tuto diplomovou práci. Pozitivně byla hodnocena zejména přehledná barevná interpretace výsledků v protokolu ze SW Excel. Proto bylo rozhodnuto, že bude navrhovaná metodika přidána do interní řízené dokumentace a tím implementována do celofiremního systému řízení kvality. Pozitivně hodnocen byl také rozsah metodiky, umožňující a popisující možnost vyhodnocení studie ve více různých SW dle volby osoby odpovědné za její provedení. Předpokládá se také úplné naplnění nápravného opatření nálezu, který byl popsán v rámci recertifikačního auditu IATF 16949:2016.

Je však důležité brát na vědomí, že navrhovaná metodika (stejně jako příručky MSA a VDA 5) poskytuje pouze doporučené postupy a přístupy, nikoliv však závazné pokyny k tvorbě MSA analýzy. Zásadní je respektování požadavků zákazníka, konkrétních možností

provedení analýzy výrobcem apod. Například pro analýzu vizuálních kontrol velmi rozměrných nebo velmi drahých výrobků, u kterých není výhodné zajistit požadovaný počet vzorků, je dovoleno provést analýzu s nižším počtem vzorků. Tento krok je však nutné kompenzovat zvýšením počtu operátorů a/nebo počtem opakování jejich měření. Naproti tomu, jedná-li se o výrobek, jehož vizuální kontrola je vyhodnocena jako kriticky důležitá, je možné zvolit jakýkoliv vyšší počet vzorků, operátorů či opakování. Vždy je však bezpodmínečně nutné dodržovat předpoklady stability procesu dle popisu v metodice. V opačném případě se osoby odpovědné za provedení studie vystavují značnému riziku, že výsledky analýzy budou nerelevantní a nebudou popisovat skutečný stav systému měření.

8 ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zadána s cílem navrhnout interní metodiku MSA pro atributivní data ve firmě, zaměřenou zejména na analýzu vizuální kontroly. Postup vypracování práce byl průběžně konzultován se zástupci firmy k naplnění jejich požadavků. Tím byla vytvořena nová metodika, která reflektuje požadavky a možnosti firmy a zároveň je v souladu s požadavky normy IATF 16949:2016. Zároveň byly splněny všechny cíle diplomové práce, popsané v jejím zadání.

Navrženou metodiku je však možné použít i mimo prostředí zadávající firmy, neboť existuje celá řada firem, které atributivní MSA analýzu nemají implementovanou ve svém systému řízení kvality. Důvodem může být absence požadavku na její provádění či neznalost nebo nepochopení její podstaty, průběhu, přínosu apod. Ačkoliv navrhovaná metodika poskytuje několik konkrétních požadavků (např. množství vzorků, operátorů či opakování), jedná se o minimální doporučené hodnoty. Zobecněním údajů poskytnutých metodikou je možné vytvořit jinou novou metodiku, která bude lépe reagovat na konkrétní požadavky dané firmy.

Z této diplomové práce plyne nejen vyřešení zadaného problému, ale také vyvstávají otázky, které (dle provedené rešerše odborných publikací) nemají v současné době uspokojivou odpověď. Jednou z těchto otázek je např. statistické analyzování vztahu mezi počtem vzorků, počtem operátorů a počtem opakování měření. Ze studie relevantních publikací vyplývá dojem, že se uváděné hodnoty odvíjí spíše od empirických poznatků než od exaktních vědeckých zjištění. Další otázkou je navržení zcela nové metody MSA analýzy atributivních dat bez znalosti reference, neboť v současné době je navržena pouze jedna metoda (popsaná v příručce MSA), která nabízí alespoň částečně uspokojivé statistické vyhodnocení.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] IATF 16949:2016. Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, z.s., 2016, 119 s. ISBN 978-80-02-02699-0.
- [2] ZADÁVAJÍCÍ FIRMA. Interní firemní informace, fotografie, dokumenty a soubory [online]. [cit. 12.3.2022].
- [3] GEORGE, Michael L. Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity. 1. vyd. [Brno]: SC&C Partner, 2010. ISBN 978-80-904099-2-7.
- [4] Lean Six Sigma Master Black Belt Certification: Training Manual [online]. June 2018 Edition. The Council for Six Sigma Certification, 2018 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.sixsigmacouncil.org/wp-content/uploads/2018/09/Lean-Six-Sigma-Master-Black-Belt-Certification-Training-Manual-CSSC-2018-06b.pdf>
- [5] ČSN ISO 22514-7. Statistické metody v managementu procesu - Způsobnost a výkonnost - Část 7: Způsobnost procesů měření. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 48 s. Třídící znak: 01 0277.
- [6] VDA 5 - Vhodnost kontrolních procesů: Vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody. 2. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4.
- [7] MSA - Analýza systémů měření: Příručka. Čtvrté vydání. Přeložila Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02326-5.
- [8] STAMATIS, D.H. Quality Assurance: Applying Methodologies for Launching New Products, Services, and Customer Satisfaction [online]. CRC Press, 2016 [cit. 2022-05-20]. ISBN 978-1-4987-2870-6.
- [9] STAMATIS, D.H. Automotive Audits: Principles and Practices [online]. First edition. CRC Press, 2021 [cit. 2022-03-30]. ISBN 978-1-003-14274-4.
- [10] MACHAČ, Jan. Lean Six Sigma: WorkBook. 1. vydání. Praha: Lean Six Sigma, s.r.o., 2021. ISBN 978-80-11-00674-7.
- [11] MINITAB. Powerful statistical software everyone can use [online brožura]. MINITAB. 2021 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: https://www.minitab.com/content/dam/www/en/uploadedfiles/documents/brochures/Minitab-Brochure_EN.pdf
- [12] MINITAB, LLC. Minitab® 19 [Software]. Verze 19.1 (64-bit). 2019 [cit. 20.4.2022]. Dostupné z: <https://www.minitab.com/en-us/products/minitab/>
- [13] PALSTAT S.R.O. Palstat CAQ® [Software]. Verze 2021.03.005. 2022 [cit. 20.4.2022]. Dostupné z: <https://www.palstat.cz/cz/kvalita/metrologie/msa-analyza-mericiho-procesu/>

- [14] MICROSOFT. Microsoft Excel [Software]. Verze 2204 Build 16.0.15128.20128. 2022 [cit. 20.4.2022]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/excel>
- [15] VOEHL, Frank, H. HARRINGTON, Chuck MIGNOSA a Rich CHARRON. The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration [online]. CRC Press, 2013 [cit. 2022-03-30]. ISBN 978-1-4665-5468-9.
- [16] LANDIS, J. a Gary KOCH. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics [online]. 1977, 33(1) [cit. 2022-04-30]. ISSN 0006341X. Dostupné z: [doi:10.2307/2529310](https://doi.org/10.2307/2529310)

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam zkratek

CI / UCI / LCI	Confidence Interval / Upper Confidence Interval / Lower Confidence Interval (Konfidenční interval / Horní konfidenční interval / Dolní konfidenční interval)
ČSN EN ISO	Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou normu identickou s mezinárodní normou ISO
GRR / Gage R&R	Gage Repeatability and Reproducibility (Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti)
IATF	International Automotive Task Force (Mezinárodní automobilová pracovní skupina)
KLT	Kleine Ladung Transporter (Přepravka na malý náklad)
MSA	Measurement System Analysis (Analýza systému měření)
OK / NOK	Vyhovující / Nevyhovující
SW	Software
VDA	Verband der Automobilindustrie (Sdružení automobilového průmyslu)

10.2 Seznam symbolů

A_0	Počet neshod operátora A
B_0	Počet neshod operátora B
H_0	Nulová hypotéza
$\sum n$	Součet čísel kontrolovaných ve všech podskupinách
$\sum np$	Součet počtu neshodných jednotek ve všech podskupinách
p	Pravděpodobnost
\bar{p}	Procesní průměr
p_{A0}	Pravděpodobnost neshody operátora A
p_{B0}	Pravděpodobnost neshody operátora B
p_e	Součet očekávaných dílů v diagonálních buňkách
p_o	Součet pozorovaných dílů v diagonálních buňkách
α	Hladina významnosti
κ	<i>Kappa</i> (koeficient míry shody)
χ^2	Kvantil rozdělení (Chí-kvadrát)

10.3 Seznam obrázků

OBR. 1) NESHODA PŘI AUDITU IATF 16949 [2]	17
OBR. 2) PŘÍKLAD ČÁSTI FIREMNÍHO KONTROLNÍHO PLÁNU [2]	20
OBR. 3) HODNOCENÍ <i>WITHIN APPRAISERS</i> [12]	35
OBR. 4) HODNOCENÍ <i>EACH APPRAISER VS STANDARD</i> [12]	36
OBR. 5) HODNOCENÍ <i>BETWEEN APPRAISERS</i> [12]	36
OBR. 6) HODNOCENÍ <i>ALL APPRAISERS VS STANDARD</i> [12]	37
OBR. 7) GRAFICKÁ INTERPRETACE SHODY [12]	37
OBR. 8) ÚVODNÍ INFORMAČNÍ TABULKA [13]	38
OBR. 9) HODNOCENÍ <i>KAPPA</i> [13]	39
OBR. 10) VÝSLEDKY (TABULKA EFEKTIVNOSTI) [13]	39
OBR. 11) HODNOCENÍ KONTROLORŮ (SHRNUTÍ EFEKTIVNOSTI A JEJÍ KRITÉRIA) [13]	40
OBR. 12) VÝSLEDEK SOUČASNÉHO FIREMNÍHO PŘÍSTUPU	42
OBR. 13) MODELOVÁ DATA PRO POROVNÁVACÍ PŘÍKLAD	43
OBR. 14) VYHODNOCENÍ POROVNÁVACÍHO PŘÍKLADU PŘES <i>ASSISTANT43</i>	
OBR. 15) VYHODNOCENÍ POROVNÁVACÍHO PŘÍKLADU PŘES <i>STAT</i> → <i>QUALITY TOOLS</i>	43
OBR. 16) OBLASTI HODNOCENÍ VZORKŮ [7]	45
OBR. 17) KNIHA VAD (MAPY JSOU ČERVENĚ VYZNAČENY)	54
OBR. 18) OK VZOREK BEZ MAP (VLEVO) A NOK VZOREK S MAPAMI (VPRAVO)	54
OBR. 19) KLT S NOK VZORKY (VLEVO) A OK VZORKY (VPRAVO)	54
OBR. 20) VZOREK POPSANÝ UV FIXEM A OSVÍCENÝ UV LAMPOU	55
OBR. 21) TRAYE PRO ULOŽENÍ VYHODNOCOVANÝCH VZORKŮ	55
OBR. 22) OPERÁTOR BĚHEM VIZUÁLNÍ KONTROLY MAP	56
OBR. 23) NOK VZORKY S BUBLINAMI (VLEVO) A OK VZORKY BEZ BUBLIN (VPRAVO)	58
OBR. 24) OK VZORKY V DRŽÁKU (VLEVO) A NOK KUSY V KLT (VPRAVO)	
59	
OBR. 25) VZORKY POPSANÉ UV FIXEM PŘI OSVITU UV LAMPOU	59

10.4 Seznam tabulek

TAB. 1) MATICE VÝSLEDKŮ [6]	24
TAB. 2) PŘEHLED S VÝSLEDKEM BOWKEROVA TESTU [6]	24
TAB. 3) MATICE VÝSLEDKŮ PO OPRAVĚ [6]	25
TAB. 4) PŘEHLED VÝSLEDKŮ PO OPRAVĚ [6]	25
TAB. 5) SOUBOR DAT PRO STUDII METODOU SROVNÁVÁNÍM [7]	26
TAB. 6) SUMARIZACE ROZDĚLENÍ DAT PRO DVOJICI POZOROVATELŮ A*B [7]	26
TAB. 7) KŘÍŽOVÁ TABULKA A*B [7]	27
TAB. 8) KŘÍŽOVÁ TABULKA B*C [7]	27
TAB. 9) KŘÍŽOVÁ TABULKA A*C [7]	27
TAB. 10) SOUHRN UKAZATELŮ <i>KAPPA</i> [7]	28
TAB. 11) SOUBOR DAT PRO STUDII METODOU SROVNÁVÁNÍM DOPLNĚNÝ O REFERENCE [7]	28
TAB. 12) POROVNÁNÍ OPERÁTORA A S REFERENCEMI [7]	29
TAB. 13) POROVNÁNÍ OPERÁTORA B S REFERENCEMI [7]	29
TAB. 14) POROVNÁNÍ OPERÁTORA C S REFERENCEMI [7]	29
TAB. 15) KOEFICIENTY <i>KAPPA</i> (SHODA OPERÁTORŮ S REFERENCEMI) [7] 29	
TAB. 16) TABULKA EFEKTIVNOSTI STUDIE [7]	30
TAB. 17) VZOROVÁ KRITÉRIA EFEKTIVNOSTI – SMĚRNICE [7]	30
TAB. 18) SHRNUÍ EFEKTIVNOSTI STUDIE [7]	31
TAB. 19) TABULKA GAGE R&R [4]	32
TAB. 20) SROVNÁNÍ POČTU VZORKŮ [3; 6; 7]	46
TAB. 21) SROVNÁNÍ POČTU OPERÁTORŮ A OPAKOVÁNÍ [3; 6; 7]	46
TAB. 22) KRITÉRIA HODNOCENÍ KOEFICIENTU <i>KAPPA</i> [3; 7; 16]	47
TAB. 23) VÝBĚR Z VYHODNOCENÍ STUDIE „MAPY“	57
TAB. 24) VÝBĚR Z VYHODNOCENÍ STUDIE „BUBLINY“	60
TAB. 25) SROVNÁNÍ VÝBĚRŮ Z VYHODNOCENÍ STUDIÍ „MAPY“ A „BUBLINY“	61
TAB. 26) SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ STÁVAJÍCÍHO PŘÍSTUPU A NOVÉ METODIKY	62

11 SEZNAM PŘÍLOH

Komprimované soubory:

Příloha A Metodika tvorby MSA pro atributivní data

Přílohy ve formátu PDF:

Příloha B Vyhodnocení měření Mapy (Excel)

Příloha C Vyhodnocení měření Mapy (Minitab)

Příloha D Vyhodnocení měření Mapy (Palstat)

Příloha E Vyhodnocení měření Mapy (firemní přístup)

Příloha F Vyhodnocení měření Bubliny (Excel)

Příloha G Vyhodnocení měření Bubliny (Minitab)

Příloha H Vyhodnocení měření Bubliny (Palstat)

Příloha I Vyhodnocení měření Bubliny (firemní přístup)