



# 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 PROCESU VSTUPNÍ KONTROLY DODÁVEK VE FIRMĚ

DESIGN OF THE PROCESS OF INPUT CONTROL OF DELIVERIES IN THE COMPANY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Kateřina Ondřejová**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Karla Maradová**

**BRNO 2023**





## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	<b>Bc. Kateřina Ondřejová</b>
Studijní program:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>Ing. Karla Maradová</b>
Akademický rok:	2022/23

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 procesu vstupní kontroly dodávek ve firmě

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době je většina firem certifikovaná dle ISO 9001 a deklarují kvalitu svých výrobků, ale i přesto některé dodávky obsahují nějaké množství neshodných materiálů či dílů. Cílem práce je analyzovat současný stav procesu vstupní kontroly a navrhnout zlepšený proces ve firmě, jelikož v současné době firma nemá vhodně nastavené na sebe navazující procesy vstupní kontroly, což může mít dopad na nekvalitu.

#### Cíle diplomové práce:

Rozebírat současný stav vědy a techniky u řešené problematiky.  
Systémový rozbor řešené problematiky vybraného procesu, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu ve firmě.  
Statistické zpracování a vyhodnocení výsledků u vybraného procesu (měření).  
Návrh procesu vstupní kontroly.  
Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

#### Seznam doporučené literatury:

Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001:2016: systémy managementu kvality - Požadavky. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02642-6.

Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016: požadavky na systém managementu kvality v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu příslušných náhradních dílů v automobilovém průmyslu = Automotive quality management system standard IATF 16949:2016 : quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá analýzou současného stavu procesu vstupní kontroly ve firmě. Je zde popsán současný stav procesu vstupní kontroly ve firmě a navazující procesy, které jsou součástí procesů v celé organizaci. V práci je využita metodika PDCA, která vydefinovala slabé místo jakož to proces měření, který je součástí vstupní kontroly. Dále jsou zde popsány nástroje a jejich aplikace pro docílení zlepšení procesu měření v návaznosti i na proces vstupní kontroly a zamezení tak možnému dopadu na nekvalitu finálních dílů. Zavedením definovaných metodik lze považovat data za způsobilá a lze je vhodně využít v celém sledovaném procesu.

## **ABSTRACT**

The thesis analyzes the current state of the process of incoming inspection in the company. It describes the current state of the process in the company and subsequent processes that are part of the whole organization. The thesis uses the PDCA methodology to define the weak points in the measurement system, which are parts of entry control. Furthermore, it will explain how tools and their applications are used to improve the measurement system the follow-up of the incoming inspection. Ultimately I would like to avoid an increase in low quality parts in the incoming inspection process. By implementing the defined methodologies, the data can be considered eligible and can be subsequently presented throughout the whole process.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Proces, vstupní kontrola, způsobilost měřidla, PDCA, analýza systému měření, opakovatelnost a reprodukovatelnost měření, VDA5

## **KEYWORDS**

Process, incoming inspection, gauge capability, PDCA, measurement system analysis, repeatability and reproducibility measurement, VDA5



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ONDŘEJOVÁ, Kateřina. *Návrh procesu vstupní kontroly dodávek ve firmě* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149310>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Karla Maradová.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala svému partnerovi a blízkým, kteří mě po celou dobu studia podporovali a měli se mnou trpělivost. Dále pak své poděkování věnuji paní Ing. Karle Maradové, která mi pomáhala při zpracování diplomové práce a za její cenné rady, kterými do práce přispěla.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

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

V Brně dne 26.5.2023

.....

Bc. Kateřina Ondřejová



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>MANAGEMENT KVALITY</b> .....	<b>19</b>
2.1	Systemy managementu kvality .....	19
2.2	Proces .....	20
2.2.1	Požadavky na procesy .....	21
2.3	Proces kontroly kvality .....	22
2.4	Proces neustálého zlepšování.....	24
2.5	Demingův cyklus PDCA .....	25
2.6	Metodologie DMAIC.....	26
2.7	Diagram příčin a následků .....	28
<b>3</b>	<b>DEFINOVÁNÍ SYSTÉMU MĚŘENÍ</b> .....	<b>30</b>
3.1	System měření v kontrolním procesu .....	32
3.2	MSA (Analýza systému měření).....	32
3.3	VDA 5.....	33
3.4	Definice.....	33
<b>4</b>	<b>OBECNÉ PŘEDSTAVENÍ 3D MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>37</b>
4.1	Romer Absolute Arm.....	38
4.1.1	Kalibrace a ověření zařízení Romer Absolute Arm.....	40
4.2	Měřicí zařízení senzor ATOS Core 500 .....	41
4.2.1	Kalibrace a ověření zařízení Atos Core 500 .....	42
<b>5</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A NÁVRH ŘEŠENÍ</b>	<b>44</b>
5.1	Plánuj – Plan .....	46
5.2	Dělej – Do .....	50
5.3	Kontroluj – Check.....	51
5.4	Jednej – Act .....	52
<b>6</b>	<b>NÁVRH NA APLIKACI NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ</b> .....	<b>53</b>
6.1	Návrh interní metodiky MSA 1 Způsobnost měřidla .....	53
6.2	Návrh interní metodiky způsobnosti měřidla dle normy VDA 5 .....	60
6.3	Začlenění metodiky do procesu vstupní kontroly v organizaci .....	65
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ</b> .....	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC</b> .....	<b>73</b>
10.1	Seznam obrázků.....	73
10.2	Seznam tabulek .....	73
10.3	Seznam rovnic.....	74
10.4	Seznam symbolů .....	74
10.5	Seznam zkratk .....	76
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>77</b>



# 1 ÚVOD

Již od pradávna byla kvalita pojem, který nám pomáhal určit „jaké“ jsou nějaké vlastnosti věci. Z historického hlediska bylo často měněno i názvosloví, kdy byla kvalita označována slovem jakost, to však již dnes neplatí. V dnešním moderním světě se s pojmem kvalita setkáváme na každém rohu. Je to nedílná součást našeho běžného života. Jedná se o rozsáhlý obor, který může být chápán z mnoha stran. Ať už jsme v roli koncového zákazníka a chceme koupit „kvalitní“ výrobek, anebo jsme v roli výrobce, kdy chceme vyrobit výrobek v požadované „kvalitě“. To vše nese velkou zodpovědnost, kterou v sobě skrývá pojem kvalita. Tento vědní obor v sobě nese spoustu náhledů a návazností.

Ať již stojíme na straně kupujícího nebo prodejce naše očekávání budou stejná, a to výrobek v odpovídající kvalitě. Pokud chceme, aby náš výrobek nesl známku „kvalitní“ je potřeba, aby splňoval nejen požadavky zákazníka, ale také i legislativní požadavky. Při splnění těchto, ale i mnoha dalších faktorů a požadavků zvyšujeme pravděpodobnost, že výrobek může být úspěšný na trhu. Ke specifikování těchto požadavků nyní máme zavedenou normu ISO 9001. Tato norma nám může posloužit jako podklad pro zavedení systému managementu kvality, který nám může přispět mnoha přínosy, které pomohou zvýšit naši kvalitu.

Diplomová práce je zaměřena na jeden z podpůrných procesů, součást zajišťování kvality, a to je vstupní kontrola. Abychom zamezili vstupu neshodného produktu do výroby a snížili pravděpodobnost vzniku neshodného produktu, je tento proces nedílnou součástí výroby. Správným použitím měřidel a zavedením kontroly můžeme odhalit vysoké procento neshodného produktu již na vstupu. Cílem této práce je specifikovat současný stav vstupní kontroly u dané firmy, která je certifikovaná dle ISO 9001 a stanovit navazující procesy, především měření.

V praktické části se zaměřím na definování úzkého místa ve firmě a na návrh řešení, abych splnila stanovené cíle a dosáhla tak požadovaných výsledků. V rámci neustálého zlepšování bude použita metodika PDCA, která pomůže systematicky odhalit problém a definovat cíle zlepšení v procesu vstupní kontroly.

V organizaci zatím není bohužel přesně nastaven systém měření, proto jsem se v této práci soustředila na zavedení několika vybraných metodik a analyzovat měřicí systém v rámci vstupní kontroly. Neboť převážná míra vstupních komponentů je právě vyhodnocována měřicími zařízeními. Pro zavedení systému měření aplikujeme metody jako jsou například MSA či VDA 5.

Dále pak bych zde chtěla poukázat na to, že zákazník nemusí být jen ten kdo si výrobky kupuje tedy externí, ale mohou to být také vlastníci interních procesů, kteří si předávají informace či produkty. Proto je důležité každým bodem se procesům věnovat a neustále je zlepšovat, abychom dosáhli nejen spokojenosti externího zákazníka, ale také i interního zákazníka ve smyslu například navazujícího procesu.

V neposlední řadě lze zavedený systém měření aplikovat i u dodavatelů vstupních komponentů a tím rozšířit povědomí systému měření a sjednotit tak celý dodavatelský řetězec. Což může následně vést ke snížení počtu kontrolovaných dílů v organizaci.



## 2 MANAGEMENT KVALITY

Jak již víme management kvality neboli řízení kvality datuje svůj vznik již ve 20. letech minulého století. Rozvojem sériové výroby s kladeným důrazem na kvalitu výrobku, výroby a snižování různých nákladů s výrobou spojených, vyvstal požadavek na zavedení systému kvality. Aby nedocházelo k rozdílným náhledům a chápání systému kvality, došlo k sjednocení těchto požadavků a vytvoření normy ISO. ISO nebo také Mezinárodní organizace pro normalizaci je složena z několika členů národních normalizačních orgánů. [1]

Zavedením a také dodržováním normy řady ISO předpokládáme, že při správném pochopení základních pojmů, zásad a procesů, můžeme zvýšit pravděpodobnost naplnění cílů organizace. Prvním stavebním kamenem je pochopení pojmu kvalita. Kvalitu můžeme vnímat jakož to měřitelnou vlastnost, ale rovněž jako pochopení potřeb zákazníků a všech zapojených stran, které nám pomáhají k naplnění hodnoty potřeb organizace. [1], [2]

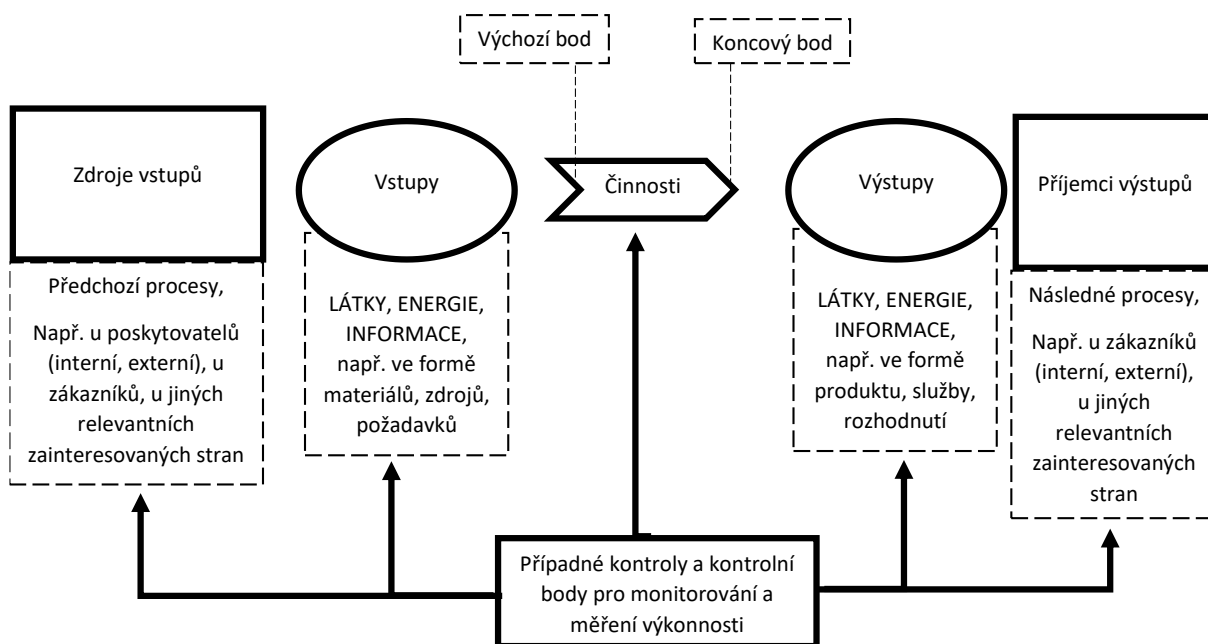
Na základě tohoto pochopení si můžeme odvodit, že kvalita je velice komplexní obor, který zahrnuje jak vlastnosti výrobku, služeb, informací, lidí, i systému, ale stejně tak i schopnost plnit požadavky, které jsou vyžadovány. Můžeme ji také zároveň vnímat, že je vlastností, která dokáže rozpoznávat různé produkty a přidělovat jim hodnotu. Je jasné, že pro naplnění všech těchto požadavků je nutností rozvíjet jednotlivé podsystémy řízení, které nám pomohou jednotlivé činnosti vést a řídit. [2]

### 2.1 Systémy managementu kvality

Systém managementu kvality má několik definicí, které jsou popsány v normě ISO 9000. Jedná se o soubor koordinovaných činností pro vedení a řízení organizace. Těchto činností je několik a můžeme je zařadit do jednotlivých procesů. Prvním bodem v normě ISO 9000 je stanoveno, že pro dosažení žádoucích výsledků je nutno, aby si organizace identifikovala své cíle, ale i procesy a zdroje. Tento požadavek můžeme vysvětlit s návazností na ISO 9001 požadavky systému managementu kvality, který definuje, že organizace musí vytvořit, zavést, udržovat a neustále zlepšovat systém managementu kvality, včetně potřebných procesů a jejich vzájemných vazeb, v souladu s požadavky normy. [3]

Pro splnění požadavků a naplnění spokojenosti zákazníka je důležitou součástí použití procesního přístupu. Procesní přístup je jednou ze základních činností, která je schopna napříč všemi na sebe vzájemně navazujícími procesy přispívat k efektivnosti a účinnosti systému managementu kvality a tím také plnit stanovené cíle organizace. Praktické osvojení tohoto přístupu vede k celkovému pochopení jednotlivých procesů a systému jako celku. Pomůže nám pochopit principu dosahování výsledků v organizaci a následně optimalizovat systém managementu kvality a řídit jeho výkonnost. Ke správnému pochopení je nutno vysvětlit a popsat pojem „proces“, který si popíšeme níže. [3], [2], [1]

Jeden z klíčových kroků je to, že organizace musí stanovit všechny potřebné procesy pro systém managementu kvality a musí zajistit jejich aplikaci v celé společnosti. Již při plnění této podmínky využíváme procesního přístupu. Schématické znázornění prvků procesu, a jejich vzájemné vazby lze vidět na Obr. 1). Z pravidla se jedná o několik bodů, které musí procesy naplňovat. [1]



Obr. 1) Schéma prvku jednoho procesu [3]

## 2.2 Proces

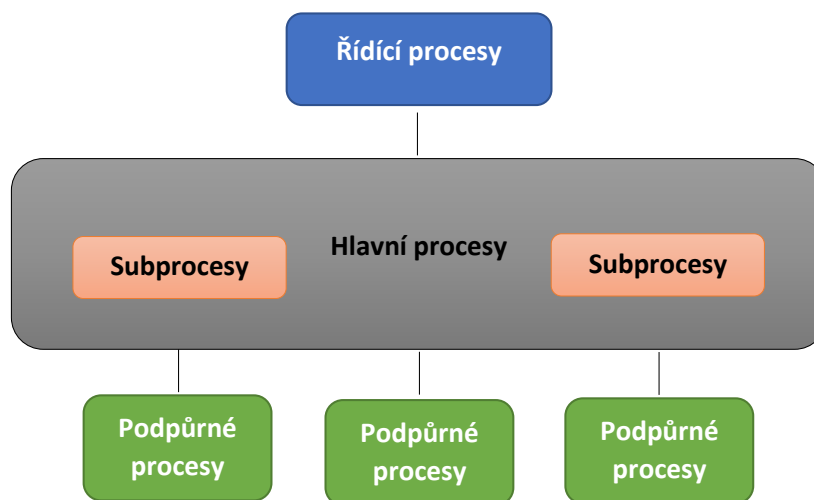
Jedním neméně důležitých pojmů je pojem proces. Můžeme jej chápat jako základní stavební jednotku v pochopení procesního řízení a také celého systému managementu kvality, který je zásadní pro správné řízení kvality.

Proces můžeme vnímat jako jednotlivou činnost nebo soubor jakýchkoliv činností, které za využití zdrojů přeměňují vstupy na výstupy. Abychom dosáhli toho, že systém managementu kvality je nedílnou součástí celkového systému řízení, musí organizace v zastoupení vrcholových manažerů stanovit jednotlivé procesy, jejich rozsah a následnou návaznost. Toto definování se musí promítat do produktů organizace, její velikosti, organizační struktury a dalších oblastí. Na základě tohoto tvrzení můžeme říct, že každá organizace vytváří originální procesní mapu vyplývající z charakteru společnosti. Rozdělení procesů a jejich návaznosti jsou uvedeny na Obr. 2). [3] [2]

Procesy v organizaci můžeme rozdělit do několika typů:

- Hlavní procesy jsou takové procesy, které primárně vycházejí z podstaty organizace a přispívají k naplnění poslání a vize organizaci. Přinášejí přidanou hodnotu firmě, a proto je často označujeme jako klíčové. Obvykle jsou to procesy, kterými je vytvářen zisk, a to je důvod, že je na ně v organizaci kladem větší důraz. V organizaci se mnohdy nachází minimálně jeden hlavní proces. Počet hlavních procesů je definován v závislosti na množství produktů nebo služeb, které organizace nabízí. Hlavní proces musí poskytovat specifickou hodnotu a obecně ve většině případů bývají legislativně nastaveny. [4]
- Řídící procesy jsou nezbytně nutné pro náležitý chod organizace. Na rozdíl od řídicích procesů nepřinášejí žádný zisk a obvykle jsou realizovány managementem organizace. Přispívají však k efektivnímu fungování hlavních, ale i podpůrných procesů a tím podporují chod organizace jako celku. [5]

- Podpůrné procesy jsou pro organizaci velice důležité. I když také neprodukují přímý zisk, představují jednotlivé aktivity uvnitř organizace. Můžeme tedy říct, že bez podpůrných procesů by hlavní procesy nebyly funkční. To znamená, že prostředí pro úspěšné aplikování hlavních procesů, je vytvářeno právě procesy podpůrnými. Jsou to procesy, které přímo podporují jednotlivé hlavní procesy. Není zvykem, aby existoval jakýkoliv podpůrný proces, který by nebyl přímo navázán na hlavní proces. Jedná se tedy o procesy obecného charakteru, a proto se zde nabízí i možnosti tyto procesy řešit z hlediska outsourcingu mimo organizaci. [4] [5]



Obr. 2) Rozdělení procesů [vlastní]

### 2.2.1 Požadavky na procesy

Jak již bylo zmíněno, procesem se myslí soubor činností, které transformují vstupy na výstupy s použitím zdrojů v určených podmínkách. Tento princip spočívá v logickém tvrzení, že organizace pracuje efektivněji a dosahuje lepších výsledků, pokud jsou vzájemně propojené činnosti chápány a řízeny jako procesy. [2]

Podmínkou naplnění tohoto principu, je nutné, aby společnost použila několik praktických opatření. Mezi ně patří systematické určení procesů, které jsou nezbytné pro dosažení cílů organizace a jednotlivých organizačních jednotek. Tyto procesy by měly být oficiálně popsány v dokumentech jako je příručka kvality nebo jiný důležitý dokument. [2]

Určení struktury a rozvržení hlavních procesů organizace, kde pod rámeček spadají správně zvolená kritéria pro výběr těchto procesů, jako je neodmyslitelně například identifikace klíčových procesů, které umožní efektivnější řízení procesů, musí být vnímáno se stejnou důležitostí. [2]

Definování vlastníků procesů s přesným určením jejich zodpovědnosti a pravomocí je dalším důležitým bodem. Nedílnou součástí je pravidelné sledování a měření výkonu procesů pomocí vhodných metrik. Následná identifikace propojení mezi procesy a funkcemi v organizaci, zejména pokud jde o místa předávání vstupů do procesů. Dalším bezesporu důležitým bodem je zaměření se na faktory zvyšování efektivity procesů, jako jsou například prostředky, postupy a suroviny. [2]

Zavedení průběžného vyhodnocování rizik na všechny zainteresované strany. A v neposlední řadě provádět revizi a neustálé zlepšování procesů a systému řízení kvality. Konečné zhodnocení stanovených procesů a implementace změn nám uzavírá skupinu jednotlivých požadavků. [2] [3]

S ohledem na procesní princip lze konstatovat, že identifikace, pochopení a správa vzájemně propojených procesů jako systému, přispívá ke zvýšení účinnosti a efektivity při dosahování cílů organizace. V praxi to znamená, že systém řízení kvality musí být tvořen vzájemně propojenými procesy. Každý vlastník procesu musí zvládnout roli dodavatele i zákazníka současně, aby se dosáhlo stavu, kde fyzické a informační výstupy z jednoho procesu jsou současně vstupy do alespoň jednoho následujícího procesu. [2]

### 2.3 Proces kontroly kvality

I přestože hlavním cílem systému kvality je odstranění nutnosti kontrolovat jednotlivé kroky výroby či procesů, kontrolní proces zůstává klíčovou součástí celého systému. Je obecně známo, že kontrolní aktivity samy o sobě nedokážou vytvořit skutečnou kvalitu. Nicméně, jejich úloha při zajišťování kvality je stále důležitá. Zvláště v souvislosti se zákazníkem je kontrola důležitým nástrojem pro zajištění kvality a posilování důvěry v dodavatele. [6]

Odpovídající systém sledování, hodnocení a kontroly kvality zahrnuje mnoho úkolů. Je nezbytný v případech, kdy se prokazují závažné nedostatky týkající se kvality, jako jsou bezpečnost, spolehlivost a nezávadnost pro zdraví. V takových případech jsou požadována různá osvědčení kvality třeba například reverzní zprávy, atesty, protokoly o kvalitě, certifikáty kvality a mnoho dalších. Dále také plní preventivní funkci tím, že odhaluje chyby a zabrání jejich vzniku během práce, manipulace nebo skladování. Systém kontroly také plní eliminační funkci, když zastaví kontrolované soubory vstupní, výrobní nebo expedované, pokud jsou při kontrole zjištěny nedostatky v kvalitě. [6]

Pokud jde o ekonomický dopad kontroly, je důležité si uvědomit, že kontrolní operace jsou nákladné a obvykle nevedou ke skutečnému zvyšování kvality, jak již bylo zmíněno v textu výše. Proto je nutné při plánování kontrolních činností brát v úvahu několik doporučení:

- Nepoužívejme obecné postupy kontroly, ale nejprve zhodnoťme rizika vadnosti v jednoduchých oblastech a na základě toho rozlišujme přístupy ke kontrole.
- Není efektivní mít duplicitní kontroly, proto je nutné prověřit všechny situace, kdy se duplicitní kontroly provádějí.
- Kontrolní úsilí by mělo být především zaměřeno na nestabilní procesy, jako jsou nové výrobky, technologie, materiály, stroje po opravě. [6]

Během procesu kontroly je nutné věnovat zvýšenou pozornost situacím, kdy konkrétní činnost může významně ovlivnit kvalitu a nelze ji napravit v následujících krocích nebo jen s vysokými náklady. Navíc je vždy doporučeno provést kontrolu po opravě, úpravě nebo přepracování vadného dílu nebo výrobku. Kontrola kvality je specifickou oblastí kontrolní činnosti v organizaci. Předmětem této kontroly je:

- Kvalita výrobku nebo služby, kde provádíme kontrolu kvality materiálů, nedokončených výrobků, hotových výrobků nebo služeb v souladu s příslušnými specifikacemi.
- Kvalita procesu, kde se zaměřujeme na provádění kontroly parametrů provozního zařízení (teploty, tlaku atd.), stejně tak i nástrojů a pomůcek, parametrů prostředí (prašnost, teplota, vlhkost, mikrobiologická čistota atd.) za účelem ověření, zda se nacházejí v předepsaném rozsahu, který zajišťuje kvalitní provedení nebo udržení kvality. [6]

Tradiční rozdělení kontroly rozlišuje následující typy:

- Kontrola přijatých vstupních surovin, materiálů, polotovarů, komponentů a dalších.
- Kontrola procesů prováděná během výroby výrobku nebo poskytování služby.
- Kontrola hotového výrobku nebo poskytnuté služby. [6]

Dále pak můžeme vzít i v potaz rozlišení inspekčních aktivit podle začlenění v pracovních procesech:

- Pooperační inspekce, která se provádí až po dokončení operace, a tak tento typ inspekce ve skutečnosti představuje spíše třídící kontrolu rozlišující dobré a špatné elementy.
- Mezioperační inspekce, kdy se kontrola provádí během provádění operace, takže může odhalit nežádoucí průběh prováděných kroků a pomoci nám při stanovit a následně přijmout vhodné nápravné opatření.
- Kontrola před zahájením operace, která má ověřit, zda jsou všechny klíčové elementy, na kterých závisí kvalita operace, vyhovující. [6]

Klasifikace kontrolních činností dle úplnosti:

- Úplná kontrola, také nazývána jako stoprocentní kontrola, zahrnuje prověření každého definovaného elementu kontrolovaného souboru.
- Neúplná kontrola, zahrnující pouze definovanou část ze souboru, může být provedena jako náhodná kontrola, kdy rozsah kontroly a rozhodné kritérium jsou definované a závislé na osobě kontrolora, nebo je prováděna statistická kontrola, ve které je rozsah a kritérium kontroly definované statistickými postupy. [6]

Nutností je také uvést rozlišení ověřovacích aktivit podle osoby, která je provádí:

- Autokontrola neboli samokontrola, kdy zaměstnanec, který provádí příslušnou operaci, provádí zároveň i kontrolu.
- Kontrola, kterou provádí zaměstnanec, který provádí následující operaci, a může odhalit nedostatky v kvalitě, která může být výsledkem operace předchozí.
- Kontrola prováděná pracovníkem technické kontroly, který jako odborník provádí kontrolu dle příslušných specifikací.
- Kontrola prováděná vedoucím zaměstnancem jako například mistr či vedoucí směny, který může také kontrolovat kvalitu prováděných operací v rámci svého dohledu nad průběhem procesu. [6]

Abychom dosáhli co nejsprávnější kontrolního procesu, tak se předpokládá, že kontrolní operace jsou stanoveny předem danými kontrolními postupy. Tyto postupy mohou být vytvořeny v různých podobách jako kontrolní plány či jako kontrolní postupy nebo specifikace. Tyto kontrolní instrukce obsahují informace pro jednotlivé kontrolní operace, které určují:

- Předmět kontroly, včetně specifikace kvalitativních parametrů a jejich tolerance.
- Frekvenci, s jakou se kontrola bude provádět.
- Místo a prostředky, které budou použity pro kontrolu.
- Způsob kontroly, který může být stručně definován například vizuální kontrola, nebo podrobně popsán průběh kontroly.
- Způsob zaznamenávání kontroly, označení dobrých a vadných výrobků a způsob izolace vadných výrobků. [6]

Nedílnou součástí kontrolního procesu je i vedení záznamů během jakékoliv kontroly. Vedení záznamů je nutné. Následně nám tyto dokumenty či formuláře mohou sloužit k potvrzení, že kontrola byla provedena, byly zjištěny relevantní kvalitativní charakteristiky pro budoucí hodnocení a identifikaci případných trendů nebo souvislostí, které mohou být použity k nápravným akcím nebo preventivním opatřením. Formát kontrolních záznamů se může lišit. Je pouze na organizaci, aby si vytvořila vhodnou strukturu formulářů a určila, které údaje je třeba zaznamenávat. [6]

Při plnění kontrolního procesu se často organizace dopouští nejrůznějších chyb. Je důležité, aby se těmto chybám organizace snažila co nejvíce vyvarovat. Uvedme si několik nejzávažnějších chyb, které by mohly způsobit nesprávné naplnění kontrolní činnosti:

- V případě nedodržení termínů dodávky se organizace dostává do rizika nerealizace některých kontrolních operací nebo podceňování jejich významu.
- Provádění kontrolních operací je nedostatečné a výsledky jsou zkrácené.
- Nepodařilo se identifikovat pracoviště, které způsobilo vadnou produkci.
- Neprovádí se analýza záznamů o kvalitě, nejsou stanoveny příčiny vad, anebo kontrolní opatření nejsou využita ke zlepšení kvality. [6]

## 2.4 Proces neustálého zlepšování

Hlavním cílem organizace, jakmile již má definované a nastavené požadované procesy je i jejich neustálé zlepšování. Záměrem společnosti je definovat problém a jeho vyřešením přispět ke zlepšení a plnění cílů organizace. Jedná o stěžejní požadavek pro organizaci a je vhodné, aby byla této problematice věnována zvýšená pozornost, jak je i uvedeno v požadavcích normy ČSN EN ISO 9001. Přičemž by se společnost měla zapojit do průběžného plnění požadavků vyplívající z normy. [7] [2]

V dnešní terminologii to je chápáno jako část managementu kvality, která je zaměřena na zvýšení schopnosti plnit požadavky kvality. Jsou to tedy aktivity, kterými přispíváme k dosažení vyšší úrovně kvality, a to v porovnání se stavem předešlým. Důležitým bodem je i chápání procesu zlepšování jakož to neustále se opakující děj. Každé dosažené zlepšení, bráno jako splnění cílů je nám cílem novým, tudíž lze neustále pokračovat. Naplnění principů neustálého zlepšování je jedním z hlavních předpokladů k celkovému úspěchu společnosti. [2]

Pro dosažení co nejlepších výsledků je doporučeno se držet činností, které mohou zahrnovat tyto body:

- sběr dat;
- získání informací z dat jejich analýzou;
- návrh řešení;
- zajištění dosažení požadovaných výsledků.

Je důležité, aby při zlepšování bylo vycházeno z potřeb interního či externího zákazníka a naplnilo se tak jeho očekávání. Jednotlivé kroky nebo činnosti při zlepšování procesů musí být postupně kontrolovány v jednotlivých fázích a tím se potvrdí, zda se nevzdalujeme od původního očekávání zákazníka. [7]

Neustálé zlepšování je soubor činností, které zlepšují výkonnosti procesů v organizaci. Zásadním faktem je sledovat různé úrovně výkonnosti procesu. Jako pomůcka správné interpretace byl zaveden pojem zralost procesu. Tento pojem nám pomůže při plánování harmonogramu při zlepšování. Nejvíce se používá pět úrovní zralosti:

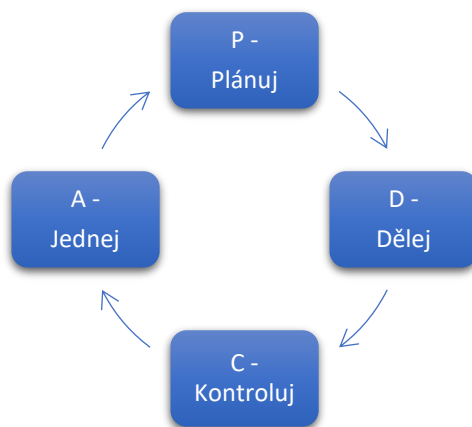
- počáteční (úroveň 1) – žádný popis procesu v organizaci;
- řízení (úroveň 2) – reakce pouze na požadavek zákazníka; proces, který má odpovídat zákazníkovi, je formalizován;
- definování (úroveň 3) – všechny procesy v organizaci jsou definovány;
- řízení pomocí ukazatelů (úroveň 4) – všechny procesy na úrovni 3 jsou kvantifikovány pomocí ukazatelů;
- optimalizace (úroveň 5) – všechny procesy lze optimalizovat pomocí ukazatelů (trvale zlepšovat). [7]

Jakmile se postupně začnou aplikovat jednotlivé činnosti, jednotlivé úrovně zralosti se postupně mění. Různé úrovně nám potom dávají obecný harmonogram v programu trvalého zlepšování a nové úrovně zralosti jednotlivých procesů. [7]

Navazujícím krokem je i příprava podmínek pro proces neustálého zlepšování. Pokud je naším cílem, abychom docílili co nejlepších výsledků a zajistili tak pevnou půdu pro vytvoření kultury zlepšování je nutné plnění zmíněných podmínek a zapojit co nejširší okruh pracovníků. Zajistí se tak spokojenost všech stran. Aktivní zapojení pracovníku do celého systému, napomáhá hledat příležitosti ke zlepšování výkonnosti procesů, činností a produktů rozsáhlejším měřítku. Jako vhodné podmínky můžeme uvést například delegování pracovníků, kteří přejímají zodpovědnost za identifikování různých příležitostí zlepšení. A následně uplatňování jednotlivých kroků procesu neustálého zlepšování. [2]

## 2.5 Demingův cyklus PDCA

Při řízení a zlepšování procesů je na základě doporučení normy ČSN EN ISO 9001 aplikovat na všechny procesy Demingův cyklus PDCA Plánuj – Dělej – Kontroluj – Jednej (Plan-Do-Check-Act). Jedná se cyklus, který je základním nástrojem pro zlepšování. Cyklus můžeme rozdělit do čtyř fází, ve kterých se chceme zaměřit na provádění změn nebo zlepšení. Jak si můžeme všimnout na Obr. 3), tudíž nemá konec, což by nás mělo navést k tomu, abychom neustálé zlepšování stále opakovali.



Obr. 3) Demingův cyklus PDCA [vlastní]

Jak bylo řečeno výše, v zásadě proces PDCA metody je rozdělen do 4 základních elementů:

- Plánuj - Plan

V tomto kroku začínáme se získáváním potřebných informací a analýzou řešeného problému. Jsou shromažďovány jednotlivé návrhy na zlepšení, které jsou následně hodnoceny. Jsou zde taktéž stanoveny cíle, kterých chceme při zlepšení dosáhnout. Stanoví se plán, ve kterém jsou popsány jednotlivé činnosti, které povedou k odstranění problému.

- Dělej – Do

V tomto dalším kroku se již věnujeme zavedení jednotlivých činností, které jsme si stanovili v plánu. Implementují se definovaná opatření ke zlepšení. Začnou se shromažďovat data, která nám ukazují účinnost jednotlivých opatření a činností.

- Kontroluj – Check

Shromažďována data se vyhodnotí a následuje jejich analýza a výsledné hodnoty se porovnají se stanoveným cílem. Můžeme si to představit jako takovou kontrolu, zda zadaný problém je skutečně řešen a potvrdíme si tak účinnost aplikovaných opatření.

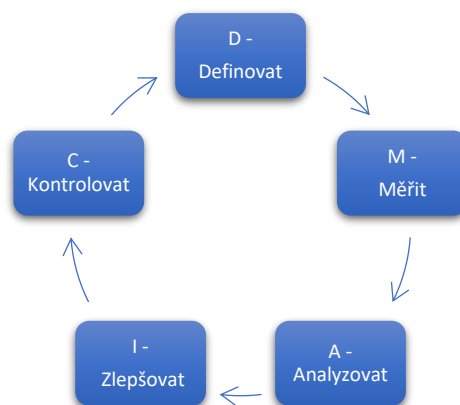
- Jednej – Act

V této části cyklu se aplikované činnosti nebo patření potvrdí, pokud jsou v souladu s našimi požadavky a očekávání a dochází v jejich implementaci jakož to součást standartního postupu či systému. Pokud však opatření nedosahuje požadovaných výsledků, tudíž se nemusí prokázat jako přínosné, celý cyklus se opakuje a vracíme se na část cyklu „Plánuj“ a to k plnění řešení daného problému. V neposlední řadě se musí i ověřit, že zavedené změny jsou uplatňovány a jsou používány jako součást každodenních činností. [8]

## 2.6 Metodologie DMAIC

Jednou z mnoha dalších metod založených na využití dat pro řešení problémů a neustálého zlepšování je metoda DMAIC, která nám může sloužit jako nástroj pro zlepšení provozních systémů podniku. Může nám být nápomocna při zlepšování stávajících systémů a to trvaleji, dosažení vyšší produktivity a také k dosažení spokojenosti zákazníka. [7]

DMAIC ve volném překladu znamená definovat – měřit – analyzovat – zlepšovat a kontrolovat (define, measure, analyse, improve and control) Tato metodika je rozdělena do 5 základních fází při procesu zlepšování a ty si můžeme postupně představit. Jedna z možností chápání kruhu lze vidět na Obr. 4).



Obr. 4) Cyklus DMAIC [vlastní]

Tato metodika je rozdělena do 5 fází. Každá fáze představuje jednotlivý krok, a každý krok má svůj vlastní význam. Tato metodika se postupně vyvíjela z Demingova PDCA cyklu a je nedílnou součástí Six Sigma zlepšování. [9]

- Definovat – Define

V tomto prvním kroku metodiky DMAIC jsou definovány cíle a požadavky nebo také výstupy, kterých chce interní či externí zákazník dosáhnout. Dále pak se zde nominuje tým, který danou problematiku či úkol bude řešit. S tímto krokem je následně i spojeno organizační seskupení celého týmu, jelikož je důležité, aby v týmu bylo co nejvíce odborníků na danou problematiku, ale také i lidé, kteří mají k dané problematice blízko. Celé toto seskupení můžeme nazývat jako projektový tým.

V této fázi dochází k určení důležitých otázek, které napomáhají k lepšímu pochopení a vyřešení problému. Důležitou otázkou často bývá, kdo jsou vlastně naši zákazníci? Jaké jsou jejich požadavky na službu či produkt? Jaké jsou jejich konečná očekávání? Jsou definována hranice daného úkolu, včetně počátečních a koncových bodů? Zda máme zmapován tok procesu. Tyto všechny otázky mohou vést k tomu, abychom se zamysleli, zda máme identifikovány zákazníky a třetí strany a zda jsme zcela porozuměli jejich požadavkům a mohli je převést do požadavků měřitelných. Odpověď na všechny otázky následně vede ke stanovení nových cílů a charakterizaci činnosti nebo procesu. [9] [10] [11]

Abychom to tedy shrnuly cílem této fáze je:

- identifikování požadavků a očekávání zainteresovaných stran v organizaci;
- identifikování hlasu zákazníka a třetích stran;
- výběr týmu;
- vypracování procesní mapy;
- vytvoření základní listiny. [10]

- Měřit – Measure

Druhým krokem metodiky je krok měřit. Jedná se o krok, kde dochází k dokumentování výchozího stavu procesu, jsou zde ověřeny jeho formy měřením a posouzením základní výkonnosti. Dochází zde ke sběru velkého množství dat z různých zdrojů. Definují se měřitelné požadavky a několik kritických faktorů, které chceme v procesu zlepšit.

Důležitým faktorem je i správnost měřených dat. Data musí být přesné a spolehlivé. Shromážděná data musí být správně pochopená a vyhodnocená. Všechny shromážděná data poté mají úlohu jako jeden ze základních elementů při srovnávání a vyhodnocování zlepšení procesu. To vše pak vede i ke správnému rozhodnutí. Cílem této fáze je zobrazit data za pomoci diagramu trendu, histogramu, měření procesní způsobilosti atd. Dále pak posouzení výchozího stavu měřeného procesu v závislosti na stanoveném cíli. [9] [10] [11]

- Analyzovat – Analyze

Třetím krokem je analyzovat získaná data. Dospět tak k současnému stavu výkonnosti procesu. Identifikovat ztráty a negativní dopady na prostředí a na společnost. Přesnou analýzou dospějeme ke korektivnímu definování činností, které vyžadují zlepšení. Doporučenými postupy, které dokážou přesně vymezit činnosti nepřidávající hodnotu, jsou například analýza příčin a následků, mapování procesu, diagram rybí kosti.

Často se stává, že analýza dat není dostatečně interpretována a potenciální příčiny mohou být přehlédnuty. Proto je velmi důležité analýze věnovat dostatek času, aby došlo k co nejlepšímu pochopení výsledků. Nejčastěji používanými nástroji jsou např. regresní a korelační analýza, testování hypotéz, Paretův a bodový diagram nebo i brainstorming. [9] [10] [11]

- Zlepšovat – Improve

Ve čtvrtém kroku se zaměřujeme na plné pochopení analyzovaných výsledků, které jsme získali v předchozím kroku analýzy. Naším účelem je se zaměřit na hlavní příčiny a ty v této fázi co nejlépe eliminovat, nebo je začít kontrolovat, abychom v nejkratším čase dosáhli zadaných požadavků, cílů nebo výkonu procesu.

V tomto kroku tým definovaných lidí začne prozkoumávat vlastní řešení, naplánuje a provede pilotní test například za pomoci DOE a vyvíjí se robustní řešení. Provádí se testování spolehlivosti a následné nové posouzení rizika. Zavádí se nápady zlepšení [9] [10] [11]

- Kontrolovat – Control

Posledním pátým krokem metodiky je kontrolovat. Zde se zaměřujeme na to, aby všechna aplikovaná zlepšení dosahovala trvalých výsledků a trvalé změny. Nadále probíhá měření, tak aby se mohlo pokračovat v aktualizaci a sledování výsledků. V případě, že kontinuálně probíhá zaznamenání různých odchylek, můžeme v dostatečně rychlém čase na vzniklé odchylky reagovat a proces udržovat v požadovaném výkonu.

Dochází k přezkoumání, ověření a validaci aplikovaných zlepšení (plán řízení), které se průběžně zaznamenávají (nasazení TPM). Všechna zlepšení jsou zaznamenána a dokumentována. Docílí se tím udržet způsobilost procesu v požadované kondici. Jedním z důležitých kroků je také poskytnutí zpětné vazby a nadále tak pracovat v dalším rozvoji, popřípadě aplikaci podobných zlepšení na další procesy. [9] [10] [11]

## 2.7 Diagram příčin a následků

Grafický nástroj, který se nazývá diagram příčin a následků nebo také diagram rybí kosti, a to díky svému tvaru, který připomíná rybí kost, je velmi důležitý nástroj pro analýzu všech faktorů, které vedou k určitému problému s kvalitou. Tento nástroj je také znám jako Ishikawův diagram, pojmenovaný po svém objeviteli japonském odborníkovi Kaoru Ishikawovi, který ho poprvé použil v roce 1943. [12]

Použití tohoto nástroje přináší systémový přístup k řešení problému. Pomáhá zdokumentovat všechny myšlenky a nápady. Diagram příčin a následků by měl být prvním krokem při řešení jakéhokoli problému, který může být způsoben více faktory. Jeho zpracování je jednoduché a snadno pochopitelné. Jednoduchost tohoto zpracování umožňuje zapojení širšího okruhu pracovníků do řešení problému. Použití diagramu může vést k novým nekonvenčním řešením a často přináší nové nápady. [12]

Pro účinné zpracování diagramu je nezbytné pracovat v týmu a využít brainstormingu. Stejně jako při tvorbě afinitního diagramu, by měli být členové týmu vybráni tak, aby odpovídali tématu, které je řešeno. Doporučuje se také zapojit „laiky“, kteří nejsou ovlivněni takzvaně „pracovní slepotou“. Týmovou práci by měl vést zkušený moderátor. [12]

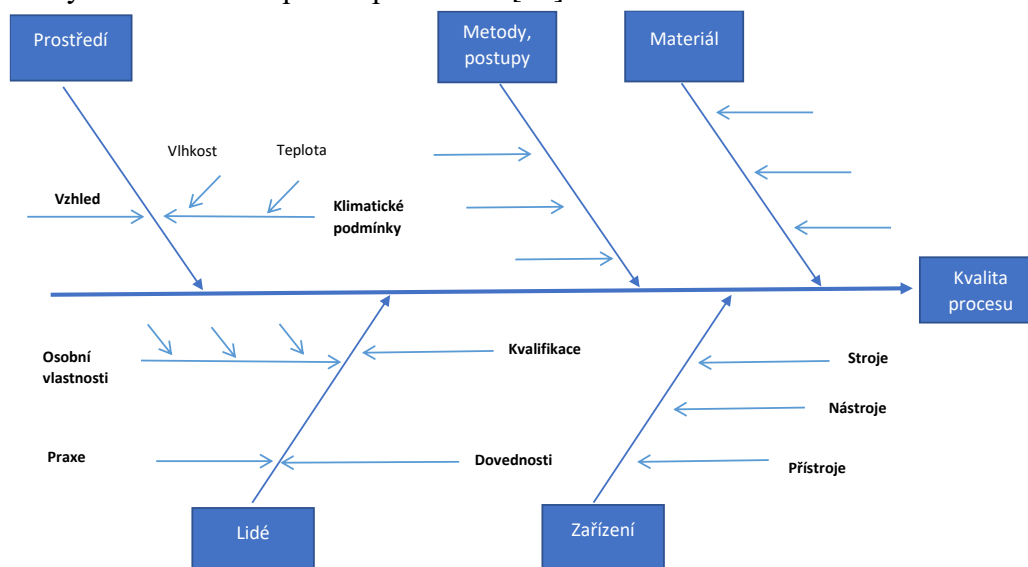
Kolektivní práce začíná exaktním vymezením řešené výzvy jakožto následků, kdy se může jednat o současnou či potenciální výzvu například možné neshody analyzované prostřednictvím metody FMEA. Definovaný výsledek se zapíše na pravou stranu dostatečně

velké pracovní plochy a zakreslí se hlavní rovnoběžná linie. V úvodní fázi se tým zaměřuje na stanovení hlavních kategorií příčin daného problému. Pokud se jedná o problém s kvalitou výrobku, bývají často používány následující hlavní kategorie dle pomůcky anglických slov 5M:

- materiál (material);
- zařízení (machine);
- metody (methods);
- lidé (men);
- prostředí (mother nature). [12]

Tyto hlavní kategorie jsou zaneseny do nově vznikajícího diagramu jako hlavní větve vedoucí k horizontální čáře. [12]

Následně tým systematicky prozkoumává všechny potenciální důvody pro daný výsledek v různých kategoriích a postupně se dostává k většímu detailu. Klíčové je formulovat tyto důvody co nejpřesněji. Jakmile jsou identifikovány možné příčiny, zapisují se na vedlejší větve diagramu. Strukturu diagramu a jeho možné rozložení lze vidět na Obr. 5). Formulace však může být stanovena dle potřeb problému. [12]



Obr. 5) Struktura diagramu Ishikawa [6]

Rozklad důvodů na následky a příčiny by měl být proveden až do odhalení všech základních příčin následků. Základními příčinami jsou konkrétní možné příčiny následků, které již není nutné dále rozkládat, a na jejichž odstranění lze navrhnout konkrétní nápravná nebo preventivní opatření. V případech, kdy se diagram stává příliš rozsáhlým, lze některé z dílčích příčin analyzovat v samostatném diagramu. Vytvořené schéma příčin a následků je veden s živým záznamem, s nímž se při řešení daného problému kontinuálně pracuje, a který se rozšiřuje o nové myšlenky a nově zjištěné informace. [12]

Pro zhodnocení klíčových důvodů za posuzovaným dopadem je vhodné aplikovat Paretovu metodu. Informace potřebné pro její vyhodnocení lze získat prostřednictvím hlasování jednotlivých členů týmu, kdy každý z nich vybere tři nejpodstatnější důvody a ohodnotí je body. Celkové hodnocení jednotlivých důvodů pak charakterizuje jejich význam v rámci řešeného problému a definuje vstupní hodnoty pro provedení Paretovy analýzy. [12]

### 3 DEFINOVÁNÍ SYSTÉMU MĚŘENÍ

Jak již bylo zmíněno v textu, abychom mohli něco zlepšit musíme to nejdříve změřit. V této diplomové práci se zaměřujeme na proces vstupní kontroly a do té neodmyslitelně spadá měření dílců či objektů, které jsou do společnosti dodávány. Správné nastavení systému měření nám zajistí podporu při rozhodování na základě výsledků a dokážeme tak předejít možným negativním následkům. [13]

Měřením můžeme sledovat proces a také jeho stabilitu, na základě měření můžeme udělat například rozhodnutí. Měření nám pomáhá identifikovat slabá místa, na kterých můžeme dále pracovat. [13]

Důležitou vlastností naměřených dat je jejich kvalita. Naší úlohou je z dat získat co nejpřesnější výsledek pro naše užití. Ke splnění tohoto úkolu musíme docílit toho, aby kvalita dat byla co nejlepší. Jak můžeme zabezpečit co nejlepší kvalitu naměřených dat? Obecně platí, že kvalita měřených dat je stanovena statistickými vlastnostmi, které získáváme násobením měření a velikostí získaného vzorku dat z předem definovaných a stabilizovaných podmínek prostředí. Analýza měření nám poskytne informaci o tom, v jaké kvalitě naše měřená data jsou a v jakém rozptylu se nachází náš měřící systém. Systémem měření nazýváme soubor přístrojů, měřidel, etalonů, metod, přípravků, personálu a podobně je to i celý proces, který používáme pro získání dat měřením. Měření tedy můžeme nazvat procesem výrobním, a to z důvodu, že nám produkuje data na výstupu. [13]

Proces měření nám dovoluje řídit variabilitu jakéhokoliv procesu. Abychom řízení mohli provádět co možná nejvíce efektivně, je třeba vědět, co by měl proces dělat a jaké jsou rizika v daném procesu a co proces standartně dělá. K tomu využíváme různé specifikace či technické požadavky, které nám definují, co by měl proces dělat. [13]

V souvislosti s analýzou příčin rizik a jejich důsledků využíváme metodu PFMEA, kde jejím účelem je přesně definovat riziko a související možnosti vzniku různých poruch procesu a následně pak navrhnout vhodné opatření a tím zabránit vzniku těchto poruch. [13]

Naším cílem v procesu měření je získat data, které potřebujeme, abychom zjistili, co proces dělá, a to na základě výsledků. Tuto činnost v systému měření nazýváme pojmem kontrola. V celém systému měření můžeme kontrolní činnost označit za samostatný proces. Kontrola umožňuje pozorovateli na základě výsledků a sledování nejrůznějších parametrů procesu, ale také i vstupních dílů, rozpracovaných dílů a finálních dílů v případě vhodně zvolených etalonů a měřících zařízení posoudit, zda proces je přijatelný a pracuje stabilně s přijatelnou variabilitou, která je v souladu s definovanou cílovou hodnotou. Cílovou hodnotu definuje zákazník, ale může to být i navazující proces či jeho potřeba. [13]

Pro dosažení co nejvíce přesné pravé hodnoty, musí být zkoumána v celém procesu měření i samotná měřidla. Častou chybou bývá, že organizace sice disponuje drahými měřidly, avšak nezkoumá již jeho užitečnost a kompatibilitu s procesem v daném prostředí. V návaznosti ani jeho správné použití. Následkem toho se může stát, že organizace je sice vlastníkem měřidel, ale jsou nesprávně použita, anebo nejsou použita vůbec. [13]

Na začátku je vždy důležité si identifikovat vše co potřebujeme procesem dosáhnout. Kdo jsou naši zákazníci, jaké mají potřeby. Jak bylo již několikrát zmíněno zákazník není jen ten, komu nabízíme náš finální produkt, ale také třeba jakýkoliv jiný proces v organizaci nebo také kolega. [13]

Cílem každého zákazníka nebo procesu je učinit správné rozhodnutí. Nejlepší možnou variantou je učinit rozhodnutí bez potřeby různých zdrojů. Učinění správného rozhodnutí je velká zodpovědnost, proto musí organizace zajistit zdroje, které nám zajistí nákup odpovídajících zařízení. Nákupem se však procese neuzavírá. Měřidlo, jakožto měřicí zařízení je pouze jednou z částí celého procesu měření. Součástí celého procesu měření je, aby vedení zajistilo, že každý vlastník procesu má povědomí o tom, jak zařízení používat, jak analyzovat data a interpretovat výsledky. Následně také musí zajistit provozní definice a etalony a k tomu i odpovídající zaškolení. Vlastník procesu měření má jako svou povinnost monitorování a řízení procesu, tak aby byl schopen zajistit správné a stabilní výsledky. To zahrnuje celkovou analýzu systému měření. Můžeme si pod tím představit například seznámení s měřidlem a postupy měření, prostředí, ale také i provozní podmínky. [13]

Ideálním systémem měření myslíme takový stav, kdy by celý systém produkoval takové hodnoty, které by byly shodné s měřením na etalonu. Tím pádem by systém produkoval takové měření, které by vykazovalo nulový rozptyl, nulovou strannost apod. Nicméně dosáhnout takových vlastností je velice náročné, proto se obvykle využívají systémy měření, které sic nemají tak odpovídající statistické vlastnosti, ale které však dokážou na základě statistických vlastností dat splnit kvalitu měřeného systému. Dalšími důležitými aspekty jsou například náklady, nebo možnosti použití. [13]

Pro docílení co nejpřesnějšího systému měření si můžeme během sestrojování položit několik otázek. Seznam otázek se upravuje dle specifikací zákazníka a požadavků zákazníka. Seznam může sloužit jako kontrolní list naplnění požadavků během návrhu, aplikace vlastního systému měření a zavádění procesu měření. [13]

Při zavádění systémů a procesů měření musíme zajistit, aby všechny systémy a procesy byly dostatečně a komplexně zhodnoceny. Musíme brát v potaz všechny vstupující vlivy jako třeba nejistota při kalibraci etalonů a jejich návaznost a na národní a mezinárodní etalony, vstupující vlivy měřeného objektu, a i dlouhodobou stabilitu daného procesu měření. Je však nutno si také uvědomit, že uvedení nejistoty měření není definováno jako nedostatek měřicího systému nebo něco negativního, ale je to připsání reálné kvality či záruky. Nelze říct, že nejistota měření představuje „chybu měření“ a taktéž není důkazem, že výsledek je nesprávný. Nejistotu vnímáme jako informaci k uvedení komplexního výsledku měření. [14]

Nesprávné stanovení vhodnosti procesu nebo jeho úplné nestanovení, může mít za následek uvolnění „nevhodného“ procesu měření a může vést ke zvýšení nákladů následného zlepšování a vést k rozboru kontroly a přezkoumání měřících systémů. Důležitým krokem k odstranění jakýchkoliv negací v tomto odvětví je správnost stanovení vhodnosti procesů. Správné stanovení vhodných a způsobilých procesů nám přináší možnost se spolehlivě a přesně rozhodnout na základě naměřených výsledků. [14]

Mezi důležitá rozhodnutí můžeme považovat například přijetí či zamítnutí výrobků, expedice, oprava či jejich sešrotování, zásah do fungujícího výrobního procesu, uvolnění výrobních nebo měřících zařízení. Jakékoliv takové rozhodnutí je následně nutno prokázat a doložit výsledky z měření, které sloužili jako data k výsledku hodnocení. [14]

### 3.1 Systém měření v kontrolním procesu

Během kontrolního procesu se často využívá právě systém měření. V situacích, kdy se provádějí jednotlivé kontroly s použitím měřících prostředků, je nutné zajistit, aby výsledky kontroly byly přesné. K tomuto účelu je nutné mít v organizaci zaveden metrologický systém, který je obvykle popsán v metrologickém řádu. Tento řád stanovuje řadu povinností nebo činností, jako je například:

- vybrat vhodná měřidla pro jednotlivé konkrétní kontrolní operace;
- vést odpovídající záznamy a dokumentaci o měřidlech;
- zajistit, aby měřidla byla schopná provádět měření správným způsobem pomocí metrologické kontroly;
- zavést a dodržovat pravidla pro správné používání měřidel. [6]

Jak již bylo zmíněno, kontrolní proces plní mnoho činností. Tyto činnosti by měly být naplněny s použitím měřidel a následného měření, u kterých musí být sledována jejich přesnost a spolehlivost. Základní pravidlo metrologie radí k použití měřidla s větší přesností, než je měřená veličina. [6]

Ve standartních situacích lze zaručit správnost měřidla prostřednictvím kalibrace nebo validace. Kalibraci obvykle provedou externí kalibrační laboratoře, které jsou přímo certifikované na požadovaný typ kalibrace, zatímco validací lze často provést přímo v provozních podmínkách dle daného postupu, nejčastěji porovnáním s interním etalonem. [6]

Pro definovaná měření se smí používat pouze předepsaná měřidla. Je důležité, aby měřidla použitá k měření byla evidována a prověřena. Pokud jsou k měření potřeba přípravky pro uchycení měřeného prvku, je nutné je používat v souladu s předepsanými postupy. V případě, že uživatel pochybuje o přesnosti měřidla, měl by požádat o jeho prověření. Jestliže je zjištěno, že kontrolní, měřicí a zkušební zařízení bylo poškozeno a jeho skutečný stav se liší od kalibrovaného, je třeba zkontrolovat výrobní sérii zpětně až do doby, kdy jsou výsledky měření správné. Uživatel měřidel je zodpovědný za správné skladování, ošetřování, čištění, manipulaci a skladování měřidla. [6]

### 3.2 MSA (Analýza systému měření)

Analýza měřícího systému MSA (Measurement Systems Analysis) je soubor postupů pro zhodnocení nastaveného systému měření. MSA má kořeny v měření kvality v automobilovém průmyslu. Jedná se o analytickou techniku pro hodnocení systému měření a je součástí systému řízení kvality. [15]

První vydání příručky AIAG MSA, která se zaměřila na standardizaci těchto metod byla vydána v roce 1990 společností AIAG, aby sloužila jako příklad pro automobilové společnosti. Společnost AIAG založily velké automobilky jako jsou Ford, General Motors, Chrysler. [16]

Ačkoli byla tato technika původně vyvinutá pro automobilový průmysl, je dnes metoda MSA využívána i v dalších odvětvích díky své praktičnosti. Tato metoda je využívána k hodnocení jak samotného měřidla, tak k posouzení celého měřícího systému. Zaměřuje se na analýzu zdrojů nejistot v celém procesu měření, protože přesné měřidlo samo o sobě nepřispívá k dosažení přesných výsledků. Cílem metody je zajistit, jaké faktory v celém procesu měření ovlivňují variabilitu výsledku měření. Využívá se zde statistických metod a technik a je zde kladen důraz na opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (R&R – Repeatability and Reproducibility). Hlavním cílem metody je zlepšení přesnosti celého měřícího systému. [15]

### 3.3 VDA 5

VDA je zkratkou pro Sdružení automobilového průmyslu (Verband der Automobilindustrie) v Německu. Tato asociace spojuje více než 600 společností, které se zabývají výrobou komponentů pro automobilový průmysl. Kromě toho vydává VDA standardy, které pomáhají lépe pochopit a dodržovat dané požadavky norem a zákazníků v tomto průmyslu. Pokud jde o plánování kvality, VDA poskytuje několik standardů, mezi nimiž je například VDA 5 – Vhodnost kontrolních procesů. Tyto standardy jsou k dispozici i v české verzi a do od roku 2011. Z tohoto standardu je v této diplomové práci vycházeno. [14] [17]

Při vytváření a certifikaci systému řízení kvality musí organizace dodržovat mnoho požadavků týkajících se stanovení a zahrnutí nejistoty měření, které jsou obsaženy v různých normách a směrnících. Příručka VDA 5 poskytuje organizacím návod, jak tyto požadavky splnit, zejména při zkoumání geometrických parametrů, jako jsou délky a úhly. Postupy, které jsou v příručce popsány, jsou odvozeny z ČSN P ENV 13 005 – Pokyny pro vyjádření nejistoty měření, která však byla v roce 2019 zrušena bez náhrady, nicméně standard VDA5 je staršího vydání a stále ji využívá. Druhým standardem je DIN EN ISO 14 253 – Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel měřením Část 1: Pravidla pro rozhodování o shodě nebo neshodě s požadavky. [14]

Pokud v organizaci není stanovena vhodnost procesu kontroly, mohou být uvolněny nevhodné procesy měření, což může vést k vysokým nákladům na trvalé sledování výrobního procesu a dalších nákladů na zlepšení procesu. [14]

### 3.4 Definice

Pro správné pochopení systému měření si níže vysvětlíme několik definic.

Nejistota měření je parametr měření, který odráží nedostatek přesné hodnoty měřené veličiny. Výsledek měření po korekci na rozpoznané systematické vlivy je stále pouze odhadem hodnoty měřené veličiny. V praxi existuje mnoho možných zdrojů nejistoty měření, například:

- neúplná definice měřené veličiny;
- nedokonalá realizace definice měřené veličiny;
- nereprezentativní výběr vzorku – měřený vzorek nemusí reprezentovat definovanou měřenou veličinu;
- nedostatečná znalost vlivu podmínek prostředí na měření nebo nedokonalá znalost vlivu podmínek prostředí na měřenou veličinu. měření podmínek prostředí;
- osobní zkreslení při čtení analogových přístrojů;
- konečné rozlišení přístroje nebo diskriminační práh;
- nepřesné hodnoty měřicích standardů a referenčních materiálů;
- nepřesné hodnoty konstant a jiných parametrů získaných z externích zdrojů a použitých při měření. algoritmu redukce dat;
- aproximace a předpoklady zahrnuté do metody a postupu měření;
- odchylky při opakovaných pozorováních měřené veličiny za zdánlivě stejných podmínek.

Tyto zdroje nejsou nutně nezávislé a některé z uvedených zdrojů mohou přispívat ke zdroji v posledním bodě (odchylky při opakovaných pozorováních měřené veličiny za zdánlivě stejných podmínek). Samozřejmě, že nerozpoznaný systematický účinek nelze zohlednit při vyhodnocování nejistoty zdrojů výsledku měření, ale přispívá k jeho chybě. [18]

Standardní nejistoty kvalifikují jednotlivé složky na jistotě. Podle pravidel šíření nejistot v Gaussově postupu se stanoví koeficienty citlivosti pomocí parciálních derivací rovnice modelu měření podle jmenovitých zdrojů. V bilanci jistot jsou standardní nejistoty popsány odpovídajícími koeficienty citlivosti a z nich stanovenými kombinovanými a rozšířenými nejistotami. Určení standardní nejistoty lze provést dvěma způsoby. Jednotlivé typy značíme jako standardní nejistotu typu A a standardní nejistoty typu B. [14] [18]

Cílem kategorizace standardní nejistoty typu A a typu B je poukázat na dva odlišné způsoby hodnocení prvků nejistoty a využívají se výhradně k usnadnění diskuse. Kategorizace neznámá, že existuje nějaký rozdíl v povaze prvků, které jsou výsledkem obou typů hodnocení. Oba typy hodnocení jsou založeny na pravděpodobnostních rozděleních a prvku nejistoty, které z nich vyplývají. Oba typy jsou kvantifikovány pomocí rozptylů nebo směrodatných odchylek. [18]

Standardní nejistota typu A se tedy získává z funkce hustoty pravděpodobnosti, která je odvozena z pozorovaného rozdělení četností.

Výpočet nejistoty typu A 1)):

$S_g$  – směrodatná odchylka,  $n$  – počet měření,  $K_0$  – koeficient nejistoty pro malý počet měření

$$u_A = K_0 \times \left( \frac{S_g}{\sqrt{n}} \right) \quad (1)$$

Tab 1) Hodnota koeficientu  $K_0$  v závislosti na počtu měření

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$K_0$	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0	1,0

Zatímco standardní nejistota typu B se získává z předpokládané funkce hustoty pravděpodobnosti, která je založena na míře přesvědčení, že událost nastane, často je označována jako subjektivní pravděpodobnost. Hodnocení složky nejistoty typu B se většinou zakládá na sadě poměrně spolehlivých dat a předpokladů. [18]

Výpočet nejistoty typu B 2)):

$u_{zn}$  - jednotlivý zdroj nejistoty typu B,  $u_B$  - nejistota typu B

$$u_B = \sqrt{\sum_{n=1}^m u_{zn}^2} \quad (2)$$

Standardní nejistota je nejistota výsledku měření vyjádřená jako směrodatná odchylka. Standardní nejistotou výsledku měření, pokud je tento výsledek získán z hodnot řady dalších veličin, se označuje jako kombinovaná standardní nejistota  $u_c$ . Je to odhadovaná směrodatná odchylka spojená s výsledkem a rovná se kladné odmocnině z kombinované nejistoty získané ze všech složek rozptylu a kovariance. [18]

Kombinovaná nejistota 3)):

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (3)$$

Kombinovaná standardní nejistota je standardní nejistota výsledku měření, pokud je tento výsledek získán z hodnot řady jiných veličin, rovnající se kladné odmocnině součtu členů, přičemž členy jsou rozptyly nebo kovariance těchto jiných veličin vážené podle toho, jak se výsledek měření mění se změnami těchto veličin. [18]

Rozšířená nejistota měření  $U$  jak je značeno v rovnici 4)) je získávána vynásobením kombinované standardní nejistoty  $u_c$  koeficientem rozšíření  $k$ . Účelem  $U$  je poskytnout interval o výsledku měření, u kterého lze očekávat, že bude zahrnovat velkou část rozdělení hodnot, které by mohly být rozumně přiřazeny měřené veličině. Rozšířená nejistota měření je veličina definující interval kolem výsledku měření, u něhož lze očekávat, že bude zahrnovat velkou část rozdělení hodnot, které lze rozumně přiřadit měřené veličině. [18]

Rozšířená nejistota ( $U$  4)):

$$U = k \times u_c \quad (4)$$

Tab 2) Vztah koeficientu  $k$  na pravděpodobnosti  $P$

Koeficient rozšíření <b>k</b>	Pravděpodobnost pokrytí rozdělení <b>P</b>
<b>1</b>	68%
<b>2</b>	95%
<b>2,58</b>	99%
<b>3</b>	99,7%

Koeficient rozšíření  $k$  je třeba vždy uvést, aby bylo možné stanovit standardní nejistotu měřené veličiny. Je důležitou hodnotou pro použití při výpočtu kombinované standardní nejistoty ostatních výsledků měření, které mohou záviset na této veličině. Volba faktoru  $k$ , který se obvykle pohybuje v rozmezí 2 až 3, vychází z pravděpodobnosti pokrytí nebo požadované úrovně spolehlivosti intervalu. [18]

Kalibrace je definována jako činnost prováděná za specifických podmínek s cílem stanovit vztah mezi hodnotou veličiny stanovenou etalonem, její nejistotou měření a odpovídajícím údajem s přidruženou nejistotou měření a následně použít tyto informace k získání výsledků měření. [14]

Metrologická návaznost je vlastnost výsledku měření, která umožňuje vztahovat výsledek k referenci prostřednictvím nepřerušovaného řetězce dokumentovaných kalibrací, z nichž každá přispívá k nejistotě měřené hodnoty. [14]

Vhodnost měřicího systému je využití systému pro jeho zamýšlenou úlohu v kontrolním procesu, přičemž se berou v úvahu výhradně požadavky na přesnost (nejistota měření). [14]

Krajní hodnotou chyby měření se označuje největší dovolená odchylka měření vzhledem k referenční hodnotě veličiny, specifikaci nebo předpisům pro konkrétní měření, měřidlo nebo měřicí systém. Tento fakt označujeme jako největší chyby měření s označením MPE. [14]

Vhodnost procesu měření je použitelnost měřicího procesu stanovena pro plánovaný účel v kontrolním procesu s výhradním zřetelem k požadavkům na přesnost (rozšířenou nejistotou měření). [14]

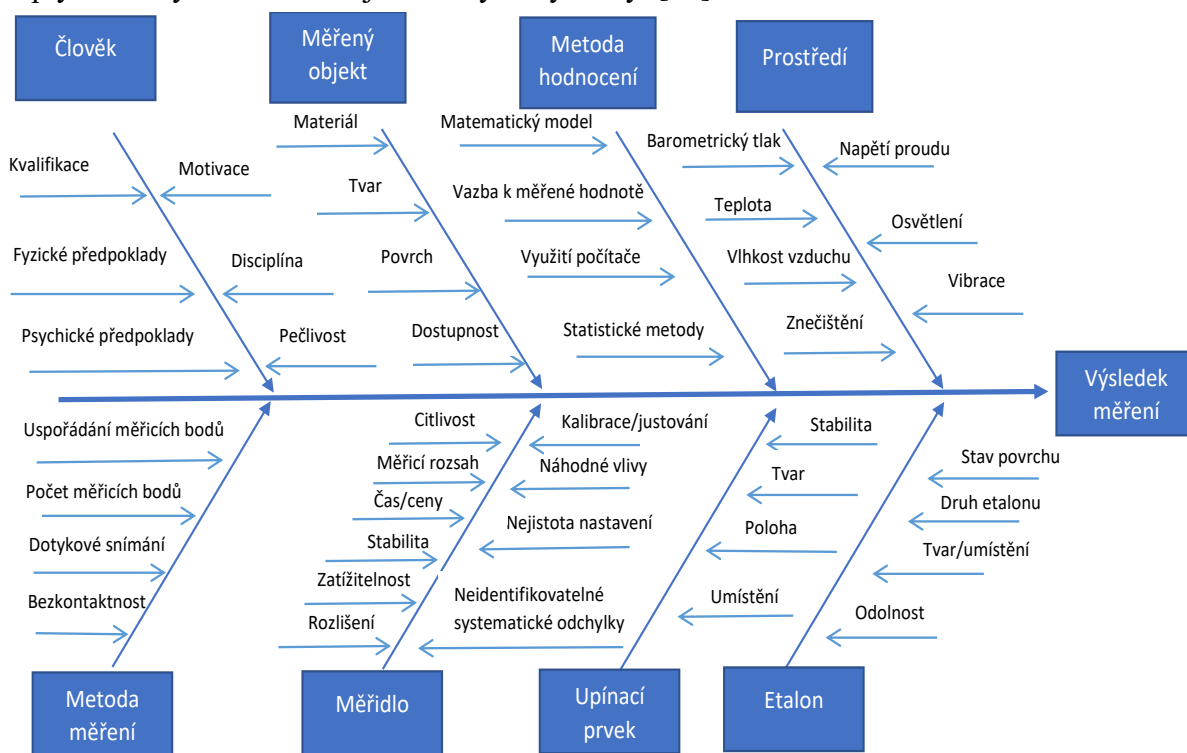
Stabilita měření je charakteristika měřidla, určující, zda jeho metrologické vlastnosti zůstávají v průběhu času neměnné. Prokázání stability měření vyžaduje nepřetržité sledování vlastností v celém procesu měření. [14]

Vlivy na nejistotu měření jsou nejrůznějšího charakteru viz Obr. 6). Jsou to různé faktory, které mohou vznikat vlivem měřicího systému, obsluhy, měřeného objektu, prostředí a dalších, způsobují především náhodné odchylky výsledku měření. [14]

Pod pojmem opakovatelnost měření si v běžné praxi můžeme představit variabilitu „operátora“. Jedná se tedy o variabilitu výsledků měření uvnitř systému, které byly získány jedním měřicím zařízením několikrát za sebou jedním operátorem, a to při měření jedné stanovené charakteristiky stejného dílu. Opakovatelnost můžeme definovat jako rozptyl vyvolaný náhodnými příčinami, chybami po sobě jdoucími. Tyto chyby jsou hodnoceny zkouškami za definovaných měřicích podmínek. [13]

Druhý pojem reprodukovatelnost chápeme jako variabilitu „mezi operátory“. Definujeme ji jako variabilitu průměru měření, které byly prováděny různými operátory s použitím stejného měřicího zařízení, a to také při měření jedné stanovené charakteristiky stejného dílu. Většinou je nejvíce vnímána při používání ručních měřicích přístrojů v závislosti na odbornosti či způsobilosti obsluhy. U automatizovaných měřicích systému obsluha není hlavních zdrojem variability a její významnost klesá. Na základě toho nazýváme reprodukovatelnost průměrnou variabilitou měření mezi systémy nebo podmínkami. [13]

V této práci byla hodnocena opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR), což je odhad kombinované variability a opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Jedná se tedy o součet rozptylů vně systému a mezi jednotlivými systémy. [13]



Obr. 6) Ishikawa – vliv nejistoty na výsledek měření [13]

## 4 OBECNÉ PŘEDSTAVENÍ 3D MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ

Měřicí zařízení jsou nám k dispozici již dlouhá léta. Jako první měřicí přístroje evidujeme CMM – coordinate measuring machine, což se postupem času stalo standartním termínem pro označení 3D měřícího zařízení. Celá historie strojů sahá až do dvacátých let 19. století, kdy se začal registrovat první vynález. Během 60. let se poprvé na trhu objevil souřadnicový měřicí stroj a s tím i přišel jeho průlom v průmyslu, které nyní nazýváme souřadnicové měření. První 3D měřicí stroj pracoval na jednoduchém principu zobrazení polohy stroje v X, Y, Z souřadnicích. [19]

Označení CMM v českém překladu souřadnicový měřicí stroj (SMS), je zařízení, které využívá geometrických vlastností nejrůznějších objektů, a to nejen v průmyslu. Mohou složit jako stroje pro měření či kontrolu různorodých výrobků s nejrůznějšími tvary a rozměry jako mohou být délky, průměry, ale také sousost a nejsložitější tvarové plochy. Jedná se buď o ručně naváděné systémy anebo pomocí počítače. Jak bylo již naznačeno, celý princip měření vyplývá ze tří os, které nám umožňují kontrolovat nespočetně rozměrů. [19]

Jak již vyplývá z názvu, systémy využívají souřadnicového systému, které určují polohy jednotlivých bodů v prostoru. Pro přenesení se nejčastěji používá kartézský souřadný systém. Tento systém využívá velké množství měřících strojů jako třeba portálové, mostové, stojanové, a to proto, že tyto stroje nejčastěji používají délkové rozměry v jednotlivých osách X, Y, Z. V praxi nazývány takzvané tříosé měřicí stroje. Vše probíhá při jednom upnutí. Díky tomu je tak i možné monitorovat a odstraňovat množství vzniklých chyb. K měření stroj využívá předem definovanou sondu, která je propojena s třetí pohyblivou osou stroje. Existuje několik druhů sond jako třeba mechanické, optické, laserové a mnoho dalších. Rozdíl lze vidět u měřících ramen, které pracují se sférickým souřadnicovým systémem, který využívá dva úhly a jeden délkový rozměr. [19]

Mezi první modely patřily stroje, které byly zcela neautomatizované. K měření využívaly pouze tuhé sondy a neměly zcela průmyslové využití. Změnu však přinesl měřicí stroj, který byl již plně automatizovaný. Tuto změnu můžeme datovat k roku 1973. Výhodou tohoto stroje bylo automatické řízení speciálním ovladačem. Program se zadával pomocí papírových pásků. Vše se změnilo s nástupem počítačových zařízení a tím se rozjel i plně řízený provoz. To vše vedlo k integraci měřícího systému s výpočetní technikou. Tento přínos nám dovoluje, aby souřadnicové měřicí systémy dokázaly pracovat s modely CAD a tak můžeme v reálném čase porovnávat naměřené body s 3D modelem. Čehož dnes využíváme na denní bázi. [20]

Trendem posledních let v průmyslovém měření je dosáhnout co nejrychlejšího a přesného měření. Výhodu v tomto mají měřící ramena, které díky své mobilitě a jednoduchosti čím dál více nalézají své uplatnění. Měřící ramena využívají sférického souřadnicového systému. Nejsou tak složité na obsluhu a jsou velikostně přívětivější. Jejich využití můžeme sledovat hlavně u měření dílů, které nelze upevnit do klasického souřadnicového stroje. Měřící rameno můžeme používat jak pro klasické dotykové měření sondou, která je upevněná na konci ramene tak i s použitím laseru. Při použití s dotykovou sondou, rameno využívá šest stupňů volnosti, kdežto při použití laseru je nutno použít stupňů sedm. Oba tyto senzory se mohou využívat během jednoho měření zároveň, poněvadž jsou namontovány společně na konci ramene. V další kapitole si blíže popíšeme princip jednoho z nich. Konstrukce ramena je složena z několika částí spojena kloubem. Každý kloub obsahuje úhlový enkodér, který

spolupracuje s připojeným softwarem a ten zpracovává data o současné pozici sondy. Malou nevýhodou může být větší chyba měření, než je u klasického CMM. Velikost chyby je způsobena součtem jednotlivých chyb vznikajících na jednotlivých kloubech ramena. [20]

#### 4.1 Romer Absolute Arm

Měřicí rameno Romer Absolute Arm od společnosti Hexagon je přenosný 3D souřadnicový kloubový měřicí přístroj, který se vyrábí z vysoce kvalitního uhlíkového vlákna. Uhlíkové vlákno se používá především kvůli svým vlastnostem, v tomto případě se zejména jedná o přirozenou teplotní stabilitu, která je nesmírně důležitá. [20]

Ramena se vyrábí v různých délkách a to od 1200 mm až po 4500 mm a to se 6 nebo 7 osami. Při výběru je důležité si uvědomit, na jakou aplikaci chceme rameno využívat. Ať se jedná o 6 nebo 7 ose zařízení napodobuje a zdokonaluje pohyb a dosah lidské paže. Můžeme si to představit jako rameno, loket a zápěstí. Jednotlivé osy jsou pojmenovány A, B, C, D, E, F a G. Osy A a B tvoří rameno pomyslné ruky, C a D napodobuje loket a E, F a G zastávají funkci zápěstí. Pro každou osu se udává jednotlivý čítač úhlů os, ze kterého se dále vypočítávají souřadnice středu sondy. Osy A, C, E a G mají neomezenou rotaci což nám umožní ergonomické použití. [20]

Zápěstí je navrženo tak, abychom si mohli jako uživatelé připojit kontaktní i nekontaktní trubkové sondy nebo také externí skener, který nám poslouží pro digitalizaci naměřených dat. Samotné rameno se skládá z několika částí. [20]

Jednou z částí jsou sondy. Vyrábí se několik specifických sond. Výběr sondy se odvíjí od její aplikace a dosažení efektivních výsledků. Rozhodujeme se na základě velikosti měřeného předmětu, jeho povrchu nebo třeba měřené hloubky. Průměr hrotu sondy musí být přizpůsoben velikosti měřeného předmětu. Jako příklad si můžeme uvést, že hrot, který bude mít velký průměr nemusí rozlišit jednotlivé nedokonalosti povrchu, kdežto hrot s menším průměrem s těmito hodnotami počítá. Sondu a skener, který je využíván v organizace ke měření lze vidět na Obr. 7). Dodržuje se několik měřících pokynů, které přezpívají k eliminaci chyby, kterou zanáší do měření lidský faktor. [20]



(a)



(b)

Obr. 7) Sonda (a) a externí skener (b) [vlastní]

Dále pak při měření využíváme tvaru vrcholu sondy. Jedná se o rubínovou kouli. Tvar koule je zvolen záměrně, můžeme u ní předpokládat integraci všech jejich odchylek. Souřadnice koule zůstávají stále stejné. Při měření sondou software pro výpočet středové souřadnice koule, nevyužívá kontaktní bod, ale nejdříve spočítá daný předmět a poté přidá nebo nahradí samotný poloměr bodů sondy. Například při měření roviny jde hlavně o její přenos spolu s jejím vlastním vektorem a s hodnotou poloměru. Na druhou stranu u kruhu, válce, koule či podobného předmětu jde o sečtení či odečtení průměru sondy od průměru předmětu. I přestože nemusíme podržovat přímou kolmost k povrchu, minimální orientace sondy je nezbytná pro získání správné kompenzace poloměru sondy. [20]

Dalším důležitým faktorem je počet naměřených bodů pro výpočet jakéhokoliv předmětu. Jako příklad můžeme uvést měření roviny. Pro změření roviny potřebujeme alespoň 3 body, abychom byli schopni získat nějakou hodnotu. Je však dobré vždy snímat o jeden bod více, abychom byli schopni si zkontrolovat chybu tvaru prostřednictvím samotného předmětu nebo měření. Logicky z toho tedy vyplývá, že čím více bude snímáno bodů tím lepší výsledek dostaneme. Vše se ovšem přizpůsobuje měřenému předmětu. [20]

Pokud se tedy bavíme o počtech naměřených bodů nesmíme vynechat jejich umístění. Opakování bodů je stejně tak důležité. Jednotlivé body musí být rozmístěny tak, aby odpovídaly funkcionalitě předmětu. Jednotlivé lokace bodů musí respektovat jejich rovnoměrné rozložení, nikoli upřednostňovat jednu oblast na úkor té druhé. Nedílnou součástí pro dosažení co nejpřesnějšího výsledku je kalibrace. Na Obr. 8) je uveden přístroj Romer Absolute Arm využíváný ve firmě. [20]



Obr. 8) Přístroj Romer Absolute Arm [vlastní]

#### 4.1.1 Kalibrace a ověření zařízení Romer Absolute Arm

Nejpřesnějších výsledků měření dosáhneme pokud je každá sonda kalibrována společně a měřícím ramenem. Existuje několik možností, jak sondy kalibrovat, my využíváme metody koule. Využívá se při ní certifikované kalibrované koule jako etalonu uvedena na Obr. 9) b) a celý proces se skládá ze tří kroků.

V prvním bodě musíme provést měření koule referenční sondou, kterou lze vidět na Obr. 9) a). Koule musí být umístěna do střední vzdálenosti od ramene a připevněna k desce, aby nedocházelo k jakémukoli pohybu, který by nám mohl ovlivňovat výsledek. Referenční sondou se na kouli vydefinuje devět bodů. Jakmile je tento krok úspěšně proveden, můžeme přistoupit k měření koule sondou, kterou jsme si určili ke kalibraci. Nasadíme sondu, a přistoupíme ke kalibraci. Postupujeme dle instrukcí v softwaru. Na kouli se vyhodnotí na čtyřech orientačních pozicích sondy devět bodů. Měření můžeme opakovat tak dlouho dokud nedosáhneme požadovaného výsledku zbytkové odchylky.

Posledním krokem je již jen výpočet a potvrzení v softwaru.

Součástí tak jako u každého měřicího stroje je však kontrola přesnosti ramene, která se může provádět na základě stanovení metrologa či metrologického řádu podniku. My si však přiblížíme tři nejvíce vhodné úrovně kontroly přesnosti:

- Systematická kontrola uživatelem; většinou obsahuje kontroly na bázi preventivní údržby, zjištění bezpečnosti používání od posledního měření, většinou se jedná o rychlý a snadný proces.
- Pravidelná kontrola zákazníkem; požadavky může vznést zákazník dle intenzity používání, může to zahrnovat certifikační proces B89, speciální proces kontroly měření nebo jakýkoliv jednodušší způsob kontroly.
- Výroční recertifikace servisní střediskem Hexagon; provedení kompletní recertifikace podle B89 používaná u starších modelů ramen, u novějších typů se již kalibrace provádí dle normy ISO 10360 a může být prováděna v závislosti na firemní politice podniku. Doporučuje se ji však provádět každých 6 měsíců, ročně, nebo každé 2 roky. [20]



(a)



(b)

Obr. 9) Referenční sonda (a) a kalibrovaná koule (b) [vlastní]

## 4.2 Měřicí zařízení senzor ATOS Core 500

Měřicí zařízení ATOS využívá technologie měření souřadnic, který nalézá uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích jako je třeba konstrukce, výroba a také zajišťování kvality. Díky tomu lze měření provádět jako srovnání reálných dílů s naměřenými teoretickými daty, anebo jejich vyhodnocováním. [21]

Celý digitalizační systém ATOS (Advanced Topometric Sensor) pracuje na principu triangulace, což si můžeme představit tak že, jakýkoliv jeden 3D naměřený bod je zachycen a následně za pomoci dvou různých metod při kvazi triangulačním měření. Během měření senzor promítá na sledovaný objekt rastrovaný vzor, který se následně snímá pomocí dvou kamer. Počet bodů během měření je generován v závislosti na použitém typu senzoru. ATOS Core dokáže vygenerovat až 5 milionů 3D bodů při jednom měření. [21]

Pro zajištění co nejlepšího měření je nutno objekt měřit v několika samostatných měření z různých směrů a v definované vzdálenosti. Systém posléze vypočítá 3D body, které se promítnou jako oblast, kterou můžeme nazývat jako měřicí objem. Vypočítané body se následně vyhodnocují v softwaru GOM. [21]

Kompletní systém transformuje jednotlivá měření do celkového souřadnicového systému. K zmíněnému přenosu se využívá referenčních bodů. Jedná se o kruhové značky, které se rozmístí na měřený díl nebo objekt, případně v jeho dostatečné blízkosti. K umístění můžeme využít i různých přípravků jako jsou třeba otočné stoly, rámy, případně upínací přípravky. [21]

Co se týče samotného skenování, senzor můžeme, jakkoliv polohovat a libovolně ho nastavovat vůči měřenému objektu nebo dílu. Typ senzoru používaný v organizaci pro měření je uveden na Obr. 10). Vzniká rastrový vzor, který se během měření senzorem promítá na měřený objekt. Daný software vzniklý vzor během několika sekund přepočítá na miliony vysoce přesných bodů 3D měření. Pro dosažení komplexního měření definovaného objektu je vyžadováno kombinací nejrůznějších pohledů objektu. [21]



Obr. 10) Skenovací senzor [vlastní]

Využíván je zde také měření souřadného systému. Při použití referenčních bodů během měření dílů či objektů, systém transformuje jednotlivé body měření do jejich společného souřadného systému. To vše je promítáno a sledováno na monitoru. Hodnoceny jsou i další aspekty, které mohou přispívat k přesnosti výsledků. [21]

Často jsou stroje využívány ve výrobním prostředí, kde podmínky měření nemusejí být ideální, pro se v rámci každého měření kontroluje několik možných aspektů jako jsou:

- stav kalibrace měřicího systému;
- pohyb měřeného objektu a skeneru;
- změny okolního světla.

K měření přístroj využívá senzorů ATOS, které pracují na principu stereo kamer a využívají triple scan technologie. Poskytují tak přesnější a spolehlivější 3D data. V praxi si to můžeme vysvětlit následovně. Na základě kalibrace software rozezná fixní úhel mezi dvěma kamerami, pravou a levou a jejich přesnou vzdálenost mezi sebou. Obraz, který zachytí obě kamery společně software zpracovává jako 3D měřené body v definovaných oblastech. Jsou nám také známé úhly mezi pravou a levou kamerou k projektoru. Výsledné úhly mezi kamerami a projektozem jsou menší než úhly mezi samostatnými kamerami. Zásluhou rastrové projekce, může software zachytit body, které jsou viditelné pouze jednou kamerou. Jedná se o využití kombinace projektoru i jednotlivých kamer. Je tak proto možné zachytit i oblasti, které leží hlouběji v dílu či objektu. [21]

#### **4.2.1 Kalibrace a ověření zařízení Atos Core 500**

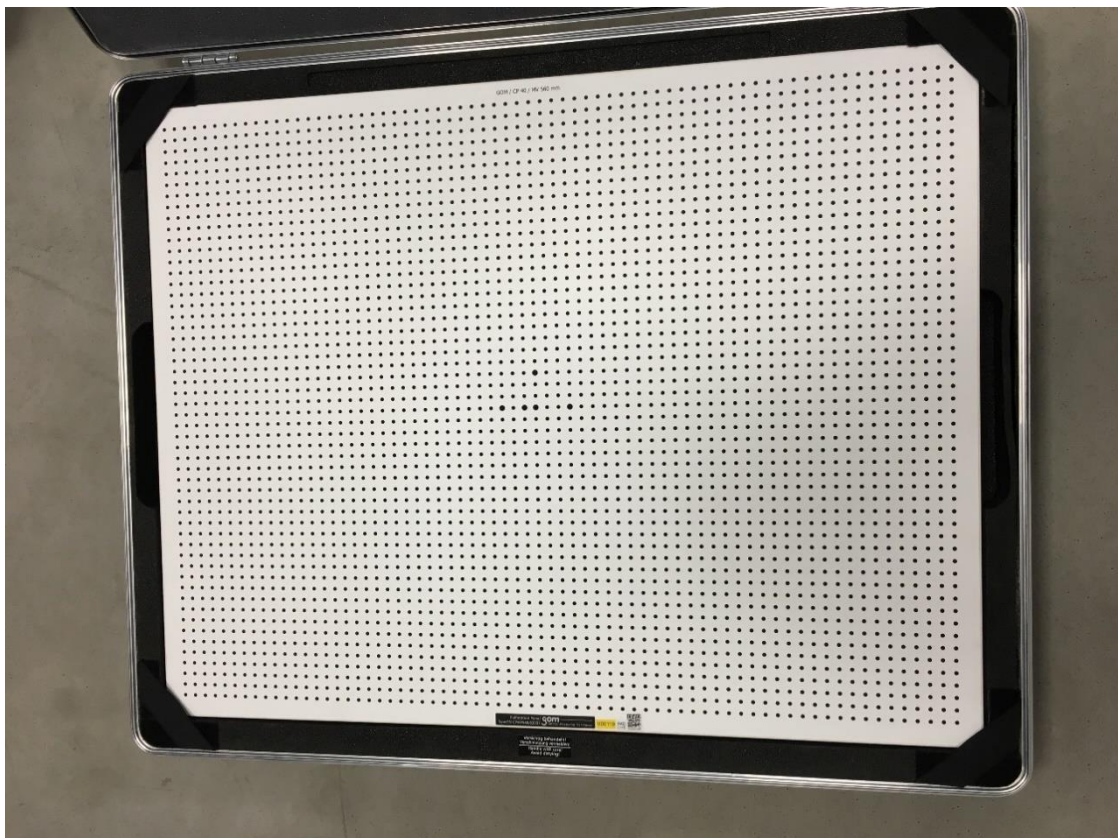
Naměřené výsledky a jejich přesnost se odvíjí od výsledku kalibrace, která je pravidelně prováděna. V tomto procesu se eviduje několik kroků kalibrace.

Prvním krokem je kalibrace externí firmou či servisním střediskem, která měřidlo dodává. V našem případě servisním střediskem a ta provádí kalibraci za daných podmínek v laboratoři, a to dle normy ISO EN 10360. Výsledek této kalibrace je uveden v kalibračním listu a provádí se dle stanov v metrologickém řádu společnosti, nebo na základě definování metrologa. Cyklus kalibrace se doporučuje stejný, jak již bylo uvedeno u kalibrace Romer Arm výše v kapitole 4.1.1.. [21]

Druhým krokem je kalibrace senzoru ve společnosti uživatelem. Při tomto procesu probíhá nastavení měřicího systému pomocí kalibračních objektů, zajistí se tak rozměrová konzistence. Tato kalibrace probíhá ve společnosti, která měřidlo používá dle stanoveného intervalu, anebo v případě, že systém zahlásí možnou „dekalibraci“. Během tohoto kroku procesu kalibrace, software stanoví geometrické parametry, jako je třeba pozice a orientace jednotlivých kamer. Parametry jsou zjištěny na základě zaznamenání snímků z kamery. Další zjišťovanou charakteristikou jsou optické charakteristiky objektivů kamer a čipů kamer. Díky známých geometrických parametrů senzoru a charakteristik optiky, software ATOS vypočítá 3D souřadnice bodů na kalibrační desce, která je dodávána jako součást měřidla. V případě kalibrace na kalibrační desce, zařízení Atos Core 500 využívá kalibrační desku v pouzdře CP40, která je definována výrobcem. Jak můžete vidět na Obr. 11) deska je tvořena černými body na bílém pozadí. Větší body uprostřed určují softwaru ATOS typ kalibrační desky. Každý objekt má své vlastní kalibrační data a příslušný kalibrační certifikát. Jakýkoli bod kalibrační desky byl při výrobě fotogrammetricky proměřen. Každá deska je unikátní, a tudíž má své unikátní kalibrační data i sériové číslo. Data z kalibrační desky jsou uloženy v senzoru ATOS core, není teda možné použít jiný kalibrační objekt pro kalibraci. [21]

Kalibrační deska nám zde může sloužit jako etalon, je doporučeno s tímto kalibračním objektem zacházet s maximální opatrností a dbát na to, aby nedošlo k jeho znečištění či poškození, poškrábání. Nejlepšího stavu objektu dosáhneme dodržением několika rad, které jsou doporučeny dodavatelem. Je-li to možné, nedotýkat se povrchu kalibračního objektu holými rukama, deska je totiž velmi citlivá na poškrábání. Čistění povrchu se provádí hadříkem z mikrovlákna, a to bez použití hrubé síly anebo tlacení na povrch. Jakékoliv poškozené body následně již nebudou moci být na desce identifikovány. Pokud společnost vlastní více senzorů je nezbytné provést kontrolu sériového čísla objektu v softwaru, aby sériové číslo kalibračního objektu souhlasilo se sériovým číslem v softwaru. Pokud by došlo k nedodržení této podmínky měřící systém bude poskytovat nepřesná měřící data. [21]

Kalibrace musí probíhat za určitých provozních podmínek. Pro přesnost uvedu několik příkladů. Teplota senzoru musí být nahřátá na provozní teplotu, což odpovídá 20 minutám, kdy senzor necháme zapnutý s projekcí světla. Nastaví se měřící vzdálenost ke kalibračnímu objektu a zaznamená se teplota prostředí při níž se kalibrace provádí. Samotným procesem kalibrace a jednotlivými potřebnými kroky nás již povede software. Po splnění všech definovaných kroků kalibrace v softwaru se nám zobrazí výsledek kalibrace. Výsledky jsou reprezentovány pomocí ikon. Zelená ikona znamená dobrý výsledek a červená ikona ve tvaru „X“ znamená špatný výsledek. V případě červené ikony je nutno celou kalibraci opakovat. Jakmile dosáhneme požadovaného výsledku, kalibrační data zůstanou uložena v senzoru ATOS Core. [21]



Obr. 11) Kalibrační deska [vlastní]

## 5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A NÁVRH ŘEŠENÍ

Společnost XY, ve které byla diplomová práce řešena je výrobní společností se sídlem v Kuřimi u Brna, která se zabývá výrobou systémů pro snižování emisí. Hlavními zákazníky jsou zahraniční, především evropští výrobci těžkých strojů, nákladních a užitkových vozidel. Jedná se o dceřinou společnost, která byla založena v roce 2019. Jedná se o výrobní závod, provádí se zde především sváření a montáž komponentů.

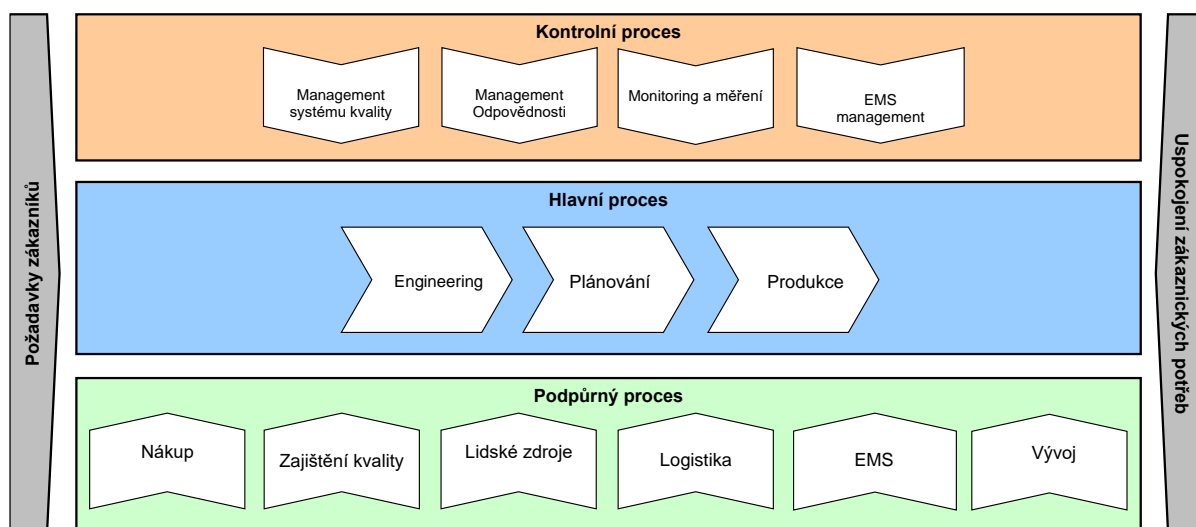
Společnost má zavedený integrovaný systém řízení kvality a je certifikovaná na integrovaný systém kvality, a to certifikace dle ISO 9001:2015 Systém managementu kvality a ISO 14001:2015 Systém environmentálního managementu.

Řešení diplomové práce bylo zaměřeno na proces vstupní kontroly, jelikož vstup odpovídajících dílců je jednou z nejvíce stěžejních procesů ve společnosti. Ve společnosti se nyní eviduje něco kolem 1000 vstupních komponentů. Většina z nich je vyhodnocována měřicími přístroji.

Důležité charakteristiky vstupních, ale také i výstupních dílů nebo výrobků musí být monitorovány, měřeny a hodnoceny s cílem ověřit, zda vyhovují stanoveným požadavkům. Tyto výsledky musí být ověřeny jako způsobilé. Jelikož tyto výsledky mohou mít vliv na konečného zákazníka.

Jakož to je společnost certifikovaná dle ISO 9001:2015 rozbor práce se bude hodnotit dle této normy, za použití metodiky a systémového přístupu PDCA, kterou norma doporučuje a již jsme si ji popisovali výše. Při řešení problematiky se bude postupovat dle několika, kroků, které vycházejí z dané metodiky.

Pro spolehlivé porozumění organizaci je vypracován Obr. 12) model kontextu organizace, který nám pomůže k vymezení systému managementu kvality a aplikovat požadavky na kvalitu, životní prostředí či bezpečnost informací. Vychází z normy ISO 9001 řešen v kapitole 4 „Kontext organizace“. Jsou zde zohledněny procesy, v nichž vznikají produkty. V této diplomové práci se budu věnovat jednomu z podpůrných procesů zajišťování kvality, kde je i součástí proces vstupní kontroly.



Obr. 12) Model kontextu organizace [vlastní]

V první fázi identifikuji problém nebo oblast pro zlepšení v daném procesu a uvedu důvod ke zlepšení. Následně se vyhodnotím současnou situaci v existujícím procesu, definuji problém a stanovím cíl pro zlepšení. Poté proběhne analýza identifikace a ověření stávajícího stavu. Identifikuji nejlepší řešení k odstranění problému a k jeho opětovnému výskytu. Vyhodnotím efektivnost a účinnost procesu s dokončeným opatřením. [2]

Pro identifikaci co nejvíce potřebných zlepšení, která jsou potřebná k odstranění nepříznivých důsledků a také ke snížení jejich možnosti výskytu nebo závažnosti je správné použít metodu FMEA, která postupně identifikuje a analyzuje způsoby a důsledky možných poruch. V Tab 3) lze vidět příklad vytvořené metodiky FMEA (Analýza způsobu a důsledků poruch) pro proces systému měření, který je jedním z nejdůležitějších procesů při vyhodnocování měření, během procesu vstupní kontroly. Organizace nevyužívá metody FMEA dle normy ČSN EN IEC 60812 ed. 2, ale harmonizované formy metody FMEA dle AIAG/VDA. Pro hodnocení jsem využila ukazatele AP, který se uvádím v normě. Tato tabulka je zde vložena jako vizualizace možných poruch a vydefinování slabých míst a slabých stránek, na které bych se v této práci zaměřila. Hodnotící kritéria naleznete v Příloha 1).

Pro dosažení způsobilého kontrolního procesu a naplnění tak požadavků zákazníka by měla společnost provádět analýzu systému měření. Což vede k neustálému zlepšování.

Tab 3) FMEA – systém měření [vlastní]

FMEA				Výchozí stav			
Funkce	Možná chyba	Možný následek	Příčina	S	O	D	A P
Systém měření	Nedodržení postupu měření	Ovlivňování výsledků	Nepochopení zvolených metodik	8	5	8	H
	Nesprávný výsledek měření	Špatné vyhodnocení výsledků	Není definován systém měření	9	9	6	H
	Špatně aplikované MSA	Ovlivnění závěru z MSA	Nevhodný výběr kusů pro měření	6	9	5	H
	Zvoleno nezpůsobilé měřidlo	Nepřesné měření	Není definován proces ověření způsobilosti měřidla	6	6	9	M
	Nevhodně zvolená metoda měření	Zanesení chyb do měření	Nejsou přesně definovány metody měření tudíž nelze dosáhnout stejných měřených hodnot	6	9	4	M
ARPN (podle nové normy) chybí tam interpretace a příklad	<b>AP (action priority) podle AIAG</b>	<b>high</b>	<b>H</b>				
		<b>medium</b>	<b>M</b>				
		<b>low</b>	<b>L</b>				

## 5.1 Plánuj – Plan

Prvním krokem metody PDCA bylo identifikovat a definovat problém nebo oblast pro zlepšení. Jak již bylo uvedeno společnost XY, se zabývá svářením a následnou montáží dodávaných dílů. Firma působí na trhu práce v celku krátkou dobu. V organizace nejsou zcela zavedeny ucelené systémy. Během přezkoumání bylo zhodnoceno jako slabé místo proces vstupní kontroly, který je sice ve společnosti definován, ale nelze ho považovat za způsobilý.

Kontrola dílů se provádí na základě definování v kontrolním plánu, který je vytvořen ke každému finálnímu výrobku. Kontrolní plán uvádí, buďto jen obecně provedení vstupní kontroly a to na 5 kusech z dodané dávky dle výkresové dokumentace anebo jsou vstupní kontroly jmenovitě definované na základě analýzy FMEA. Následně probíhá interně definovaná vstupní kontrola dle výkresové dokumentace 3D měřícím zařízením. Vývojový diagram, který je nyní zaveden v organizaci lze vidět na Obr. 13).

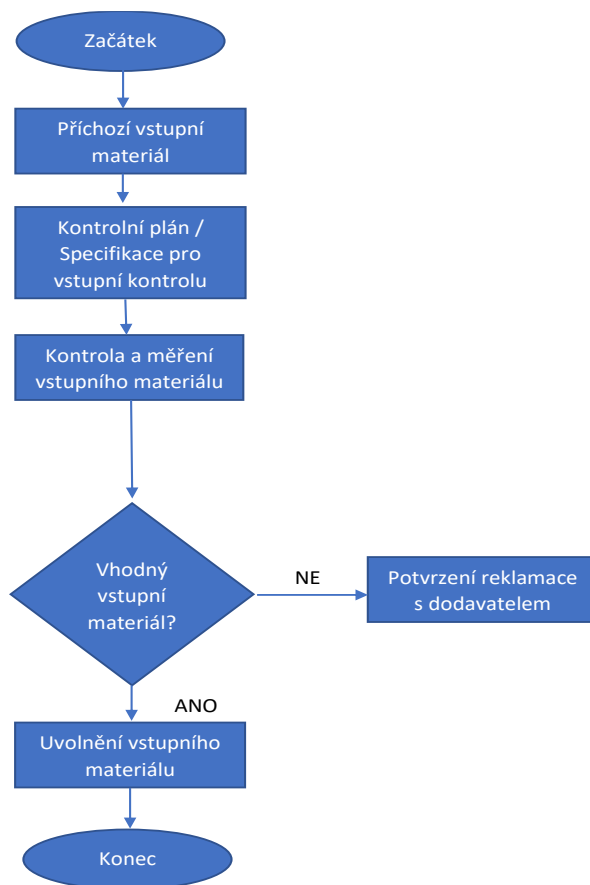
Dalším aspektem je to, že ve firmě není nastaven proces statistické přejímky s dodavatelem, provádí se kontrola každého interně definovaného dílu. Měrový protokol vyhodnocen od dodavatele je obdržen pouze při zahájení sériové dodávky, a to při vzorkování (PPAP). Další podmínky nejsou zatím sjednány.

Vstupní kontroly bývají časově náročné. Pracovník vstupní kontroly má definované dílce, které prochází vstupní kontrolou. Seznam kontrolovaných dílců, je živý dokument a je upravován dle požadavků kontrolních plánů nebo také požadavků výroby. Interní seznam dílců podléhající vstupní kontrole rozděluje kontroly do několika skupin jako je vizuální kontrola, ta probíhá dle interní specifikace společnosti, měření komunálním měřidlem – posuvným měřítkem a v neposlední řadě měření na zařízení 3D. Ve společnosti se nachází dva typy 3D měřících zařízení od společnosti Hexagon a GOM. Od společnosti Hexagon to jsou měřící rameno Hexagon Arm s možností měření dokem a skenem a od společnosti GOM je to skenovací zařízení. Tyto zařízení mohou používat pouze zaškolení pracovníci. Dále pak operátor vstupní kontroly užívá k měření posuvné digitální měřítko.

Každé měřidlo prochází pravidelnou kalibrací externí firmou, periodu kalibrace definuje interní metrologický řád a jmenovaný metrolog. Kalibrační listy jsou dostupné k nahlédnutí v přílohách viz 11. Jakmile je měřidlo kalibrováno je předáno uživateli a může se v procesu používat. Měřidlo se již následně neposuzuje v rámci jeho spolehlivosti, tudíž se nevyužívá rozšířených metod systému analýzy měření. Nelze jasně a spolehlivě stanovit, zda používané měřidlo je odpovídající a způsobilé pro hodnocení výsledku pro daný rozměr či použití.

Proces měření je jedním ze zásadních procesů, jakož to jeho výsledky nám stanovují, zda vstupní dílec je vhodný nebo nevhodný do procesu výroby. Jeho výsledky a vyhodnocení se také využívají jako podklad pro možnou reklamaci dodavateli. Bez vyhodnocení způsobilosti dat je zde velké riziko vniku neshody při interpretaci dat se všemi stranami.

Pro lepší vizualizaci procesních charakteristik byl použit nástroj želví diagram, který je často využíván pro popsání procesů při aplikaci požadavků normy IATF 16949, ale může se použít i jako vizuální pomůcka během aplikací požadavků normy ISO 9001 článku 4.1, která uvádí: „Organizace musí identifikovat procesy potřebné pro QMS a jejich aplikaci v celé organizaci a určit posloupnost a interakci těchto procesů“. [3]

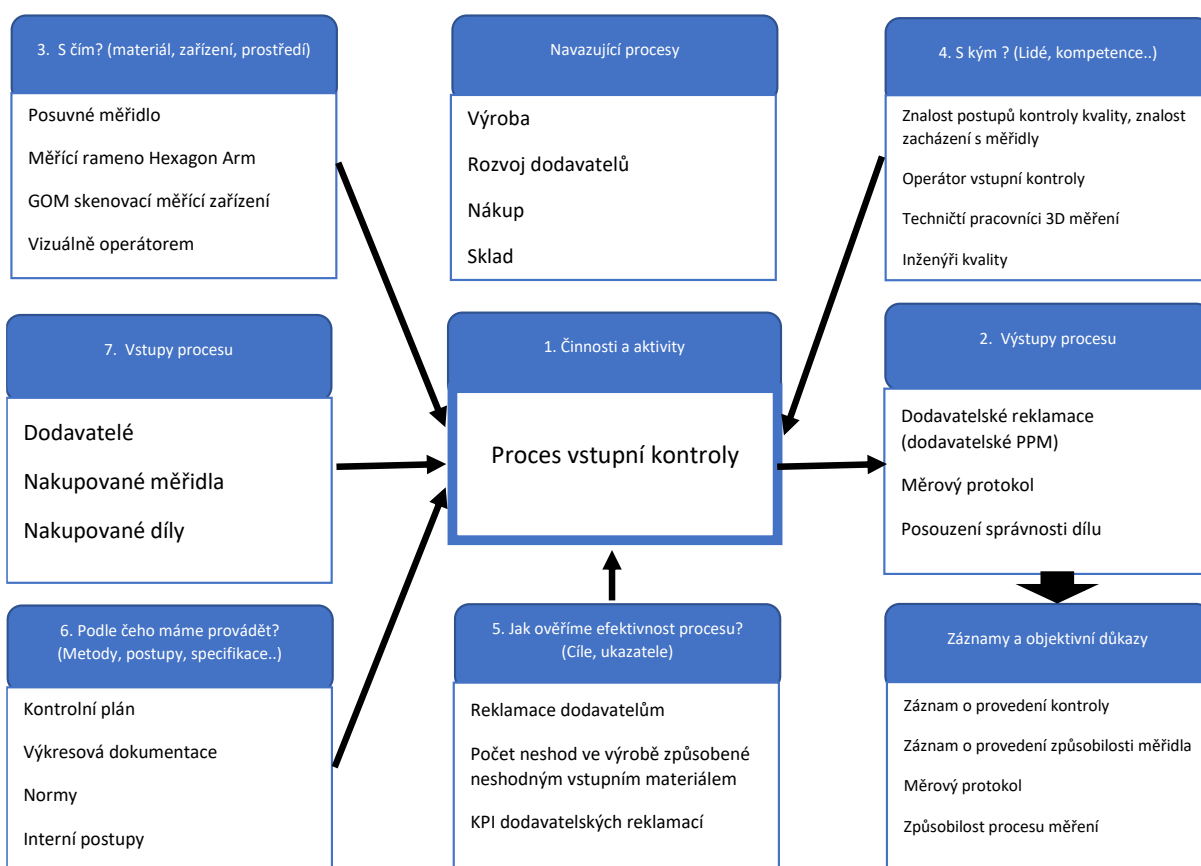


Obr. 13) Vývojový diagram procesu vstupní kontroly [vlastní]

Želví diagram umožňuje zmapovat celý proces, stejně jako zmapování vzájemně souvisejících procesů s relevantními funkcemi a úrovněmi v rámci organizace. Může pomoci managementu i pracovníkům lépe porozumět celému procesu. Může identifikovat mezery ve struktuře organizace a pomoci organizaci plnit požadavky, aby určily a řídily čtené propojené činnosti s následnou transformací vstupů a výstupů. Želví diagram se skládá ze 6 oblastí, které obklopují proces to je následně považováno za tělo želvy. Jednotlivé oblasti, které želvu obklopují se mohou definovat jako:

- Vstupy procesu.
- S čím? proces hodnotíme (materiál, zařízení, prostředí atd.).
- Podle čeho máme provádět? neboli jakých specifikací či dokumentů proces hodnotíme (metody, postupy, specifikace atd.).
- Jak ověříme efektivnost procesu? (cíle, ukazatele).
- S kým? neboli kdo se podílí na hodnocení a běhu procesu.
- Výstupy procesu.

Dle požadavků byla definována činnost. V našem případě se jedná o proces vstupní kontroly, kterým se tato práce zabývá. Dalším krokem bylo definovat jednotlivé vstupy a výstupy do procesu. Následně se určilo, dle čeho, jakých specifikací a dokumentů se proces provádí a kým je proces prováděn. V poslední části bylo definováno, jak ověříme efektivnost definovaného procesu. Aplikovaný želví diagram lze vidět na Obr. 14).



Obr. 14) Želví diagram – vstupní kontrola [vlastní]

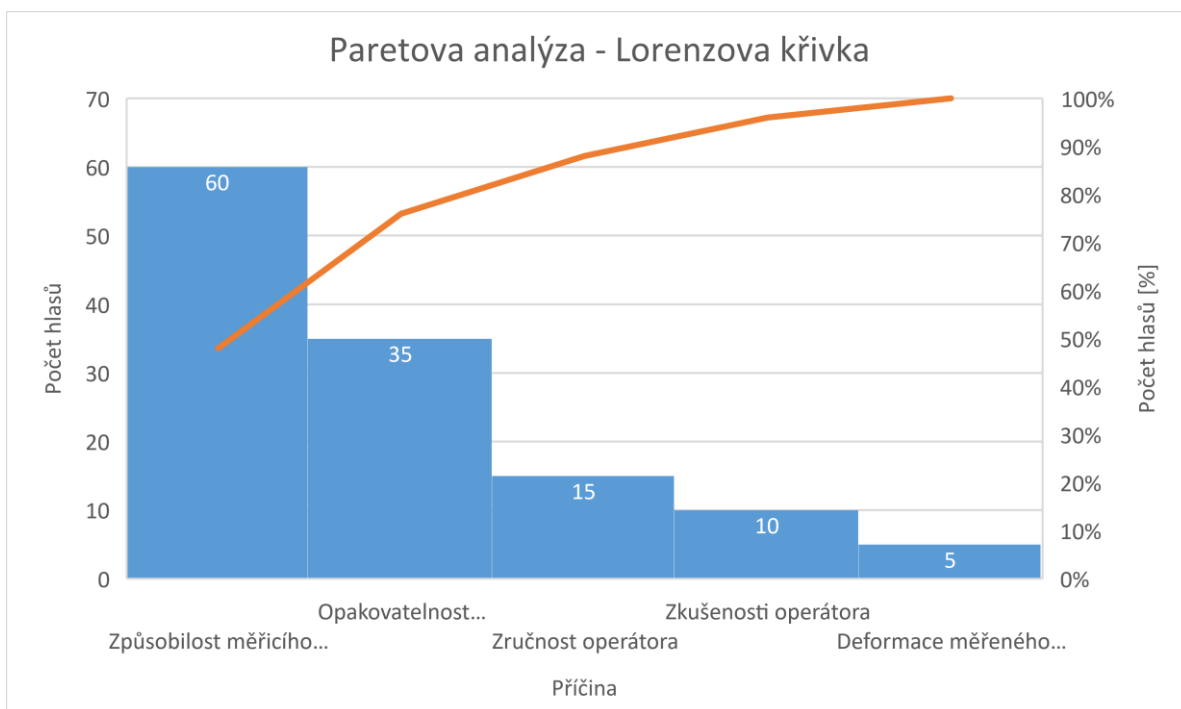
Z želvího diagramu bylo následně vyhodnoceno po krátkém brainstormingu, že v organizaci není zcela definován a veden systém měření. Jak v závislosti na vstupní kontrole, ale i na další navazující procesy. Tento aspekt byl managementem vyhodnocen jako největší slabé místo. V návaznosti i na to, že požadavky na sledování způsobilosti procesu měření jsou kladeny od zákazníků, kterým organizace dodává produkty.

Na základě tohoto rozhodnutí, byla následně provedena analýza příčin a následků neboli diagram rybí kosti znázorněn na Obr. 16). Jako problém byl definován vznik neshodného výsledku během procesu. Následně proběhl interní brainstorming, kde byly v diagramu definovány možné příčiny neshodného měření. Byly vyhodnoceny největší možné příčiny neshodného měření. Pro stanovení priorit při řešení tohoto problému byl využit Paretův diagram, který je vyhodnocen na Obr. 15), čím lze názorně prezentovat největší problém. V Tab 4) můžeme pozorovat vstupní data pro vyhodnocení z hlasování.

Tab 4) Hlasování – příčina neshodného měření [vlastní]

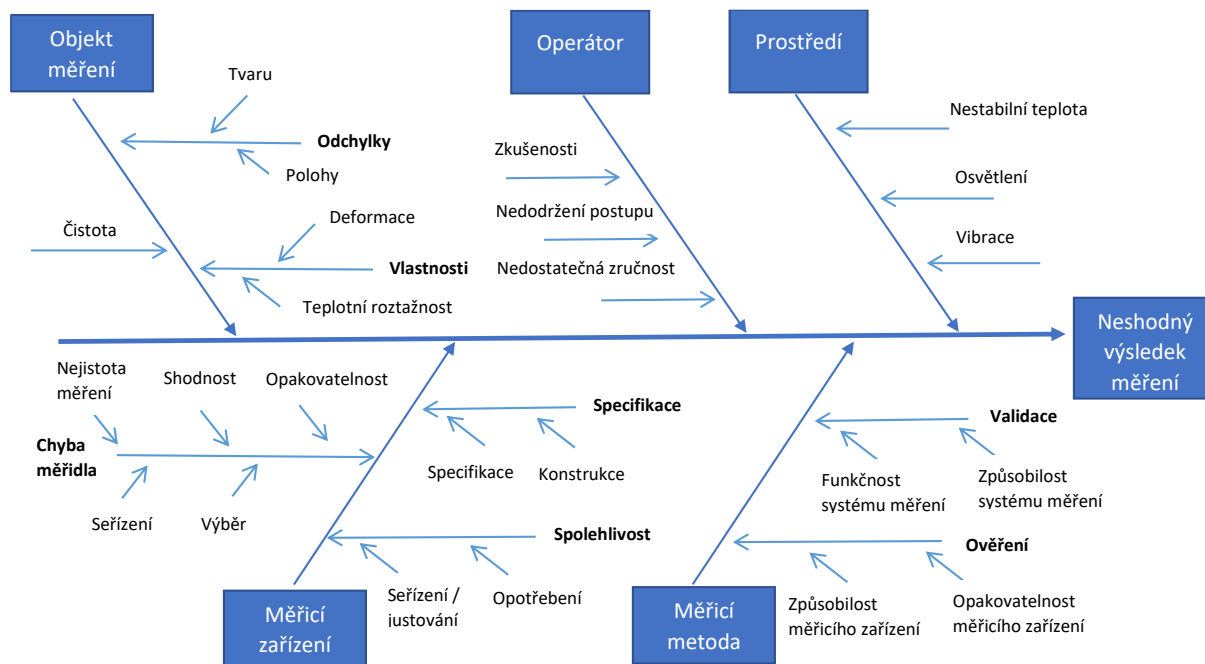
Příčina	Hlasování	Četnost [%]	Kumulativní četnost [%]
Způsobilost měřicího zařízení	60	48%	48%
Opakovatelnost měřicího zařízení	35	28%	76%
Zručnost operátora	15	12%	88%
Zkušenosti operátora	10	8%	96%
Deformace měřeného objektu	5	4%	100%
<b>Celkem</b>	<b>125</b>	<b>100%</b>	

Níže na Obr. 15) můžeme vidět Paretovu analýzu získanou z hodnot hlasování.



Obr. 15) Paretova analýza – příčina neshodného měření [vlastní]

Největším potenciálním rizikem bylo shledáno, způsobilost měřicího systému, a to i na základě toho, že měřidla se nepoužívají pouze v rámci měření vstupní kontroly, ale následně jsou využívána i pro mezioperační kontrolu, a i finální kontrolu. Zavedená statistika následně bude aplikována do celého procesu měření ve společnosti a dále dokládat zákazníkům jako důkaz o způsobilosti dat.



Obr. 16) Ishikawa – neshodný výsledek měření [vlastní]

## 5.2 Dělej – Do

Pro analýzu ve druhém kroku cyklu byli určeni tři způsobilí operátoři, kteří se podílejí na procesu měření ve společnosti, a k tomu tři nejvíce používaná měřidla, které se ve společnosti využívají. Jednalo se o Hexagon Arm měření dotykem a skenovacím zařízením, GOM skenovací zařízení a posuvné měřítko. U všech zařízení byla zkontrolována platná kalibrace dodavatelskou firmou.

Nakupované měřidla sice procházejí pravidelnou kalibrací, ale nesleduje se jejich způsobilost v procesu měření. Není zde sledována ani opakovatelnost a reprodukovatelnost. Při koupi měřidla jsou automaticky přidělena na pracoviště a sleduje se jen platná kalibrace. S určitostí nelze říct, že měřená data jsou způsobilá pro aplikovaný druh měření. Pro co nejlepší zabezpečení kvality měřených dat, je použití systému analýzy měření vhodným nástrojem. Při vyhodnocení každého měřidla můžeme docílit snížení měření na 3D zařízením, které časově i finančně náročné a nahradit jej měřeními komunálními měřidly. Velký vliv na měřené data má i lidský činitel. Tento aspekt lze minimalizovat dlouhodobým tréninkem a celkovým sjednocením měřících metod.

K zavedení měřícího systému bylo stanoveno provedení MSA 1 způsobilost měřidla, MSA 2 opakovatelnost a reprodukovatelnost a způsobilost měřidla dle normy VDA 5. Byly vytvořeny jednotlivé formuláře pro sběr a zaznamenávání dat. Pro analýzu MSA 1 způsobilost měřidla a způsobilost měřidla dle normy VDA 5 bylo využito stejného formuláře, který je znázorněn jako Tab 5) . Pro analýzu MSA 2 je využíváno znázorněné Tab 6) .

Byly definovány podmínky pro analýzu a vybrán díl, který bude analyzován. K provedení způsobilosti měřidla byla použita kalibrovaná kulička. Kalibrační list si lze prohlédnout v Příloha 13) až Příloha 15).

Tab 5) MSA1 – vzor tabulky (prázdné) [vlastní]

Analýza systémů měření									
Datum/Čas	Jméno Oper.		Oddělení			Místo testů			
Měřidlo		Kalibr/Etalon			Charakteristika				
Popis měřidla	Popis kalibru/etalonu		Popis charakteristiky						
Číslo měřidla	Číslo kalibru/etalonu		Číslo charakteristiky						
Rozlišení měřidla	Skutečná hodnota kalibru/etalonu		Nom.Hodnota	USL		=>			
Důvod testování	Jednotka		Jednotka	LSL		=>			
Pozn.									
i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$
1		11		21		31		41	
2		12		22		32		42	
3		13		23		33		43	
4		14		24		34		44	
5		15		25		35		45	
6		16		26		36		46	
7		17		27		37		47	
8		18		28		38		48	
9		19		29		39		49	
10		20		30		40		50	
Číslo dílu				Popis dílu	Upravená kulička pro kalibraci				
Číslo char.	1			Popis char.	Měření průměru				

Tab 6) MSA2 – vzor tabulky (prázdňé) [vlastní]

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému													
Číslo dílu :		Jméno dílu :		Revize dílu:									
Charakteristika :							Tolerance :						
Název měřidla :				Typ měřidla :				Číslo měřidla :					
Jméno odpovědné os				E-Mail :				Datum :					
PARAMETERY													
Operátor A		Operátor B		Operátor C						Počet operátorů			
Počet dílů		Počet pokusů		K1		K2		K3					
DATA													
Operátor	Počet dílů										Průměr		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
A	Měření 1											$\bar{X}_{A1} =$	
	Měření 2											$\bar{X}_{A2} =$	
	Měření 3											$\bar{X}_{A3} =$	
	Průměr											$\bar{X}_A =$	
	Rozsah											$R_A =$	
B	Měření 1											$\bar{X}_{B1} =$	
	Měření 2											$\bar{X}_{B2} =$	
	Měření 3											$\bar{X}_{B3} =$	
	Průměr											$\bar{X}_B =$	
	Rozsah											$R_B =$	
C	Měření 1											$\bar{X}_{C1} =$	
	Měření 2											$\bar{X}_{C2} =$	
	Měření 3											$\bar{X}_{C3} =$	
	Průměr											$\bar{X}_C =$	
	Rozsah											$R_C =$	
Průměr dílu												$\bar{X}_{part} =$	
												$R_{part} =$	

### 5.3 Kontroluj – Check

V této předposlední fázi jsem se zaměřila na zpracování a zhodnocení dat, které byly naměřeny dle stanovených podmínek a vyplněny do formulářů. Doposud nebyl v organizaci zkoumán systém měření z toto důvodu analýzy byly zaměřeny na vytvoření a definování postupů pro zavedení tohoto systému.

První fáze obnášela vytvoření podmínek pro hodnocení. Proběhlo měření dat na definovaných vzorcích. Byl vybrán odpovídající etalon pro analýzu.

Následně byly vytvořeny výpočty dle vybraných norem a příruček v excelovských tabulkách. Ke grafickému znázornění bylo použito regulačního diagramu, který graficky zakreslí stav měřených dat. Celý postup bude blíže popsán v následující kapitole 6. Všechny naměřená byla ověřena a vyhodnocena. Po statistické analýze byl následně stanoven závěr k výsledkům. Data a výsledky byly rovněž přezkoumány, abych docílila nejlepšího porozumění výsledků a předložila tak co nejpřesnější identifikované příčiny vzniklé variability. Na základě výsledků došlo k ověření, zda vybrané metody jsou spolehlivou metodikou interpretace dat.

## 5.4 Jednej – Act

Obsahem poslední fázi jednej bylo provedeno, na základě analýzy dat a výsledků, hodnocení aplikovaných metod. Metody způsobilost MSA 1 a způsobilost měřidla dle normy VDA 5 byly mezi sebou srovnány a vyhodnoceny. Byly vypracovány nové postupy a vydefinováno jejich použití v procesech organizace. Pro docílení co největší integrace systému měření do procesů, bylo navrženo i rozšíření interního metrologického řádu, který bude stanovovat jednotlivé kroky použití analýz a jejich časové rozložení.

Cílem je využití aplikovaných analýz. Všechny metody byly připraveny ve formě excel tabulek, tím se může zaručit širšího použití. Došlo ke zaškolení všech zainteresovaných pracovníků, kteří se budou podílet na průběžném monitorování a hodnocení způsobilostí.

Cyklus PDCA je neustále se opakující, to znamená, že mohou v tomto kroku mohou vyvstat nové myšlenky a cíle pro tvorbu nového PDCA cyklu. V tomto případě bylo navrženo doporučení zavedení statistické přejímky s dodavatelem, kterou nyní organizace nedisponuje. Většina dodavatelů tyto zatím tyto požadavky zatím nesplňuje. Tento bod je v práci zaveden jako navazující návrh na zlepšení, ale není cílem této diplomové práce. Tudíž bude jen okrajově popsán pro budoucí motivaci organizace ke zlepšení.

Aby firma docílila co nejširší aplikace zvolených, aplikovaných metod a podpořila potřebu snížení vstupních kontrol, co by následně vedlo ke snížení nákladů, je vhodné zvážit zavedení statistické přejímky s dodavatelem. Zavedením statistické přejímky organizace umístí odpovědnost za kvalitu k výrobcí a umožní organizaci objektivně rozhodnout, zda dodaná dávka vyhovuje či nevyhovuje s předem dohodnutými požadavky. Lze tak i tlačit na dodavatele, aby se snažil udržovat kvalitu v dohodnutých mezích. Výsledkem zavedené statistické přejímky je přijetí, nebo nepřijetí dodané kontrolované dávky.

## 6 NÁVRH NA APLIKACI NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ

V této kapitole se budu zaměřovat na návrh a aplikaci navržených řešení. Je zde navržen postup, kterým operátoři postupují ve sběru dat a zavedení vybrané metodiky do systému managementu kvality. Stanovení pracovních podmínek k jejich aplikaci. Vychází se zde ze znalostí, které byly popisovány v předešlých kapitolách.

Oblasti navrhovaných řešení jsou:

- Stanovení vhodných metod pro sledování systému měření v organizace.
- Stanovení metodiky MSA 1 – způsobilost měřidla dle příručky analýzy systémů měření.
- Stanovení metodiky MSA 2 – opakovatelnost a reprodukovatelnost měřícího systému měření dle příručky analýzy systémů měření.
- Vytvoření metodiky dle normy VDA 5 – způsobilost měřidla.

Při tvorbě a návrhu zmíněných metodik bylo podmínkou, aby jednotlivé zvolené metodiky byly uživatelsky nenáročné a přizpůsobené podmínkám organizace.

### 6.1 Návrh interní metodiky MSA 1 Způsobilost měřidla

Zavedením metodiky MSA 1 lze posoudit variaci, která pochází z měření. Konkrétně touto metodikou můžeme hodnotit účinky vychýlení a opakovatelnost měření prováděné na jedné referenční části jedním operátorem. Zde se zaměřím na měřidlo nikoli na jiné zdroje variací.

Zavedením metodiky MSA 1 lze brát jako první krok ke kompletní analýze systému měření. Lze tak měřidlo označit jako spolehlivé pro daný proces měření.

Pro zavedení metodiky byl vytvořen formulář, ve kterém byly stanoveny podmínky pro studii. Měření zahrnuje měření jednoho kalibrovaného referenčního dílu několikrát za sebou. V našem případě se jedná o 30 naměřených hodnot, ale doporučený počet je ideálně 50.

Byly vytvořeny postupy výpočtů, které povedou k výsledku a správné interpretaci naměřených dat. Průměrem všech naměřených dat, minus hodnota kalibrovaného referenčního dílu vypočítáme hodnotu odchylky. Dále se vypočítá směrodatná odchylka  $s_g$  všech výsledků měření. Výsledek směrodatné odchylky znázorňuje přesnost výsledků měření. Obecně se předpokládá normální rozložení dat.

K posouzení opakovatelnosti měřidla je zvoleno hodnocení dle metriky  $C_g$ , a to proto, aby se dosáhlo porovnání variací studie, rozpětí měření měřidla, a to s procentem tolerance. Hodnoty  $C_g$  vyšší než 1,33 znamenají, že rozptyl měření měřidla je adekvátní ke zvolenému tolerančnímu rozsahu. Hodnota  $C_g$  udává účinnost měřidla v rámci zvoleného tolerančního pole.

Výpočet byl proveden dle vztahu 5)):

$$C_g = \frac{0,2 \times T}{6 \times s_g} \quad (5)$$

Kromě opakovatelnosti měřidla se dále počítá metrika  $C_{gk}$ , která vyhodnotí opakovatelnost a vychýlení.  $C_{gk}$  porovnává variaci měřených dat s tolerancí a zároveň porovnává, zda se data přibližují k referenční hodnotě. Hodnota  $C_{gk}$  se následně snižuje s rostoucím rozdílem mezi

střední hodnotou měření a referenční hodnotou. Hodnota pro označení schopného měřidla je 1,33. Za schopné měřidlo můžeme považovat takové měřidlo, které je tak přesné, že dosahuje dobré opakovatelnosti, a i nízkého vychýlení.

Hodnota  $C_{gk}$  lze vyjádřit vztahem(6)):

$$C_{gk} = \frac{0,1 \times T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \times s_g} \quad (6)$$

Posledním výpočtem je zhodnocení rozlišitelnosti měřidla v procentech dle vztahu 7)):

$$\%RE = 100 \times \frac{RE}{\frac{1}{6}T} \quad (7)$$

Jako případová studie v této metodice bude sloužit ukázka výpočtu a studie pro měřicí přístroj 3D ramena Hexagon měření prováděno měřicí sondou v Tab 8) uvedeno jako dotyk. Bylo naměřeno 30 hodnot na zvoleném etalonu. Zde bude využit jako etalon kalibrovaná kulička.

Následně byly provedeny výpočty dle výše zmíněných vztahů. Pro vizualizaci změn naměřených hodnot byl použit regulační diagram, který nám znázorňuje rozptyl naměřených hodnot. Celou metodiku lze pozorovat v Tab 7) .

Tab 7) Ukázka případové studie Hexagon Arm dotyk MSA1

Datum/Čas	16.01.2023	Jméno Oper.	Kateřina Ondřejová	Oddělení	Proventia - Kuřim	Místo testů	Kuřim
Měřidlo	Kalibr/Etalon		Characteristika				
Popis měřidla	Hexagon_Dotyk	Popis kalibru/etalonu	Kalibrovaná kulička	Popis charakteristiky	Měření průměru kuličky		
Číslo měřidla	1	Číslo kalibru/etalonu	1	Číslo charakteristiky	1		
Rozlišení měřidla	0,001	sutečná hodnota kalibru/etalor	25,3955	lom.Hodnot:	25,4	USL	25,6 => 0,2
Důvod testování	MSA studie	Jednotka	mm	Jednotka	mm	LSL	25,2 => -0,2

i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$
1	25,388	11	25,394	21	25,394	31	25,394	41	
2	25,391	12	25,390	22	25,389	32	25,389	42	
3	25,391	13	25,390	23	25,394	33	25,394	43	
4	25,388	14	25,389	24	25,390	34	25,390	44	
5	25,398	15	25,388	25	25,385	35	25,385	45	
6	25,392	16	25,391	26	25,392	36	25,392	46	
7	25,393	17	25,392	27	25,388	37	25,388	47	
8	25,388	18	25,392	28	25,391	38	25,391	48	
9	25,392	19	25,391	29	25,392	39	25,392	49	
10	25,391	20	25,389	30	25,395	40	25,395	50	

Číslo dílu	1		Popis dílu	Upravená kulička pro kalibraci	
Číslo char.	1		Popis char.	Měření průměru	
Výkresové hodnoty		Naměřené hodnoty		Statistika	
USL	25,6	$X_{max}$	25,398	$\bar{x}_g$	25,3909
$x_m$	25,3955	$X_{min}$	25,385	$s_g$	0,0026
LSL	25,2	$R_g$	0,013	$ Bi  =  \bar{x}_g - x_m $	0,0046
T	0,4	$n_{tot}$	30	$n_{eff}$	30

Minimální hodnoty pro způsobilý měřicí systém					
$C_g = \frac{0,2 \times T}{6 \times s_g}$	5,104		$C_{g_{min}}$	1,33	$T_{min(eg)}$ 0,104
$C_{gk} = \frac{0,1 \times T -  \bar{x}_g - x_m }{3 \times s_g}$	4,522		$C_{gk_{min}}$	1,33	$T_{min(egk)}$ 0,150
%RE	0,25		$T_{min}$	5	$T_{min(RE)}$ 0,02

Způsobilost měřicího systému **ZPŮSOBILÝ**

Tab 8) Výsledky Způsobilosti měřidel dle MSA1

Měřidlo	$C_g$	$C_{gk}$	%RE	Způsobilost
Posuvné měřítko	1,155	0,544	2,5	Nezpůsobilý
GOM sken	3,558	2,218	0,25	Způsobilý
HEXAGON sken	4,359	2,208	0,25	Způsobilý
HEXAGON dotyk	5,104	4,522	0,25	Způsobilý

Jak lze vidět v Tab 8) , po vyhodnocení všech naměřených dat, které byly naměřeny na všech definovaných přístrojích, posuvné měřítko je vyhodnoceno jako nezpůsobilé. Příčinu přikládám k tomu, že k vyhodnocení způsobilosti byl použit jako etalon kalibrovaná kulička. Při měření kuličky posuvným měřidlem nelze zcela odhadnout pokaždé stejnou pozici pro měření, tím pádem se může stát, že hodnoty nejsou zcela relevantní.

K ověření způsobilosti posuvného měřítka spolehlivě, doporučuji měření provádět na kalibrované délkové měrce. Kalibrované délkové měrky nejsou nyní ve firmě dostupné. Na základě této analýzy dat, bylo rozhodnuto vedením firmy, že se objednájí kalibrované délkové měrky a měření i analýza se provede znovu s lepšími podmínkami pro analýzu.

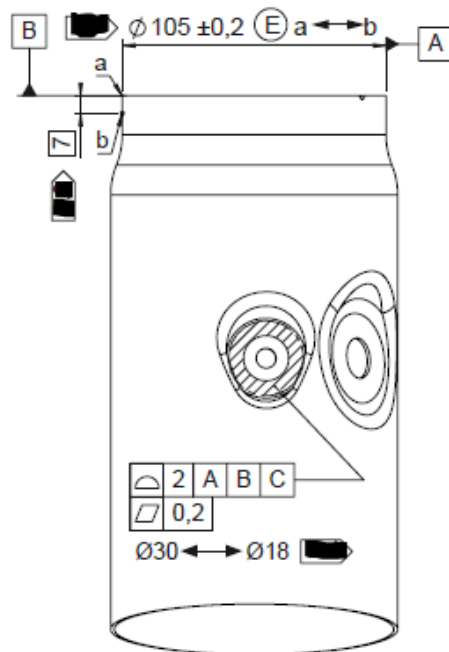
U všech ostatních měřidel byla způsobilost vyhodnocena jako způsobilý měřicí systém. Výsledné hodnoty  $C_g$  a  $C_{gk}$  jsou vyšší než 1,33, což znamená, že měřidlo je způsobilé a můžeme měřicí systém akceptovat. Kompletní výsledky ze zvolené studie pro všechny definovaná měřidla jsou dostupné v příloze viz. 11.

Zavedením metodiky MSA 2 dle příručky Analýza měřicího systému, organizace může odhalit variabilitu měřicího zařízení vzniklou uživatelem.

V první řadě se jedná o variabilitu „operátora“ běžně označovanu jako opakovatelnost. Opakovatelnost zahrnuje rozptyl výsledků měření, které byly provedeny stejným měřicím zařízením, stejným operátorem a na stejném dílu s identickými charakteristikami. Jedná se tedy o inherentní variabilitu samotného zařízení, která je nazývána variabilitou zařízení. V praxi se opakovatelnost projevuje jako rozptyl výsledků měření v rámci jednoho měřicího přístroje. Na druhé straně, opakovatelnost je také způsobena náhodnými faktory v průběhu několika po sobě následujících měření za definovaných podmínek. [13]

Za druhé, reprodukovatelnost se obvykle označuje jako variabilita „mezi pracovníky“. Reprodukovatelnost se často definuje jako variabilita průměru měření prováděných různými pracovníky za použití stejného měřicího přístroje, při měření stejné charakteristiky na stejném objektu. To platí zejména pro ruční měřicí zařízení, kde odbornost obsluhy může ovlivnit výsledky. Nicméně, to neplatí pro automatizované procesy měření, kde obsluha není hlavním zdrojem variability. [13]

Pro návrh analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla MSA 2, byl vytvořen formulář pro sběr dat, který byl postupně vyplňován definovanými operátory A, B, C. Sběr dat probíhal v měřicí místnosti, kde se nachází všechna použitá měřidla a je zde stále sledované prostředí. Bylo definováno deset dílů vybraného vzorku, které byly náhodně vybrány z příchozí dávky na vstupní kontrole. Díly byly označeny číslem 1 až 10, aby byla možnost jejich sledovatelnosti. Na dílech jsem vybrala charakteristiku průměru, který je uveden na výstřižku výkresu z organizace Obr. 17).



Obr. 17) Výstřižek z technického výkresu

Operátor A zahájil měření deseti dílů. Následně výsledky zapsal do tabulky. Dále pokračoval operátor B a C. Tento cyklus se opakovat do doby, než se dosáhlo naměření 10 dílu operátorem A, B, C třikrát. Vzorky dílů pro vizualizaci jsou uvedeny na Obr. 18). Operátoři měli zadanou podmínku, že si nesměli vzájemně kontrolovat výsledky, v tomto případě odečty od nominální hodnoty danou výkresem. Kompletní výsledky ze zvolené studie pro všechna definovaná měřidla jsou dostupné v příloze viz. 11.



Obr. 18) Vzorky dílů [vlastní]

V organizaci nebyl doposud zaveden žádný postup analýzy dat, proto byl vytvořen formulář v sešitu excel, který je v organizaci uživatelsky přístupný a numerické výpočty a vyhodnocení provede automaticky po zadání všech potřebných dat.

Naměřené hodnoty se zaznamenají do vytvořeného formuláře a prvním bodem je průměr definovaných řádků  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  tyto hodnoty se sčítají podělí se definovaným počtem operátorů ( $n$ ) a vypočítá se průměr všech rozpětí ( $\bar{R}$ ) dle vztahu 8)):

$$\bar{R} = \frac{(\overline{R_A} + \overline{R_B} + \overline{R_C})}{n} \quad (8)$$

Dále se vypočítá rozdíl maximálního a minimálního průměru řádků ( $X_{diff}$ ) dle vztahu 9)):

$$X_{diff} = \max((\overline{X_A} + \overline{X_B} + \overline{X_C})) - \min((\overline{X_A} + \overline{X_B} + \overline{X_C})) \quad (9)$$

Vypočítá se opakovatelnost – variabilita zařízení (EV) dle vztahu 10)):

$K_1$  – koeficient dle počtu měření,  $K_1$  pro  $r = 2$  je  $K_1=0,8862$ ,  $K_1$  pro  $r = 3$  je  $K_1=0,5908$

$$EV = \bar{R} \times K_1 \quad (10)$$

Následně se vypočítá reprodukovatelnost – opakovatelnost operátora (AV) dle 11)):

$K_2$  – koeficient dle počtu operátorů,  $K_2$  pro  $o = 2$  je  $K_2=0,7071$ ,  $K_2$  pro  $o = 3$  je  $K_2=0,5231$

$$AV = \sqrt{(X_{diff} \times K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n \times r}\right)} \quad (11)$$

Nyní se vypočítá opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR) dle vztahu 12)):

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (12)$$

Poté lze určit % celkové variability zařízení, dle zjednodušeného vztahu 13)):

$$\%EV = 100 \times \frac{EV}{\frac{1}{6}T} \quad (13)$$

Dále % celkové opakovatelnosti operátora, dle zjednodušeného vztahu 14)):

$$\%AV = 100 \times \frac{AV}{\frac{1}{6}T} \quad (14)$$

Také % celkové opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, dle zjednodušeného vztahu 15)):

$$\%GRR = 100 \times \frac{GRR}{\frac{1}{6}T} \quad (15)$$

Poté počet rozlišitelných kategorií (*ndc*), dle vztahu 16)):

$$ndc = 1,41 \times \frac{1}{6}T \times \frac{1}{GRR} \quad (16)$$

Nakonec se spočítá % rozlišitelnosti (%RE) dle vztahu 17)):

$$\%RE = 100 \times \frac{RE}{\frac{1}{6}T} \quad (17)$$

Jako případová studie v tomto případě bude sloužit ukázka výpočtu a studie pro měřicí přístroj 3D ramena Hexagon měření prováděno měřicí sondou v Tab 10) uveden jako dotyk.

Měření probíhalo na zvoleném etalonu, v našem případě byl jako etalon zvolen zástupce dílu tvarovaná trubka, která prochází vstupní kontrolou, abych dokázala odhalit spolehlivost měření.

Pro tuto studii byli definováni tři způsobilí operátoři, kteří se podílejí na měření vstupních komponentů a mohou se prokázat dobrou znalostí při používání měřicího přístroje. Bylo definováno 10 dílů, které následně každý operátor 3krát změřil. Změřené výsledky se následně po vyhodnocení zapsaly do tabulky.

Po změření všech dílů v odpovídajícím počtu a pořadí se přešlo k analýze a vyhodnocení dat. Měření se účastnili 3 operátoři a bylo provedeno 10 měření. Na základě příručky byly zvoleny následující koeficienty  $K_1=0,5908$  a  $K_2=0,5231$ ,  $K_3$  se upravuje dle počtu měřených definovaných dílů, avšak je-li analýza založena na toleranci místo variability procesu je možné upravit měření tak, aby pro výpočet představoval procento tolerance namísto procenta celkové variability. V takovém případě se %AV, %EV, %GRR, %PV vypočítají tak, že ve výpočtech dosadíme do jmenovatele namísto celkové variability (TV) hodnotu tolerance dělenou 6 jak je uvedeno ve vztazích 0,0,0,0,0. Celé vyhodnocení lze najít v Tab 9) . [13]

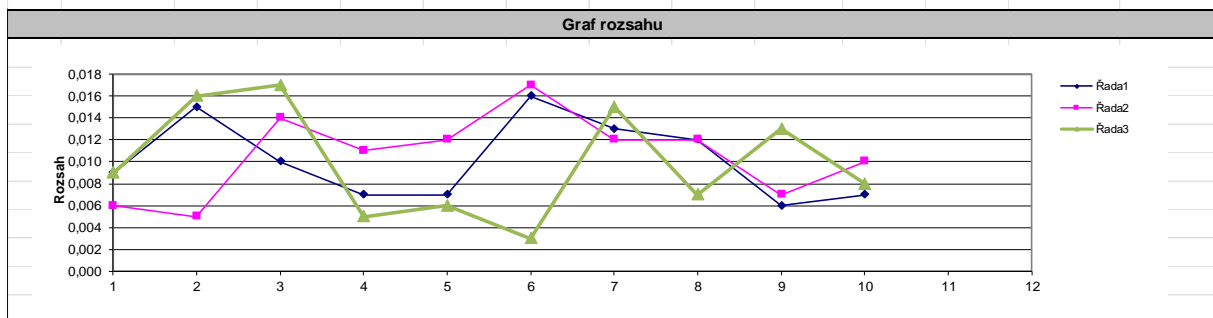
Tab 9) Ukázka případové studie Hexagon Arm dotyk MSA2

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému			
Číslo dílu :	F55832	Jméno dílu :	Trubka
Charakteristika :	Měření průměru trubky pro asembláž	Revize dílu:	A
Název měřidla :	HEXAGON_dotyk	Tolerance :	0,4
Jméno odpovědné os	Ondřejová K.	Typ měřidla :	HEXAGON_dotyk
	E-Mail :	Číslo měřidla :	1
		Datum :	09.01.2023

PARAMETRY							
Operátor A	A	Operátor B	B	Operátor C	C	Počet operátorů	3
Počet dílů	10	Počet pokusů	3	K1	0,5908	K2	0,5231
				K3			0,3146

DATA													
Operátor	Měření	Počet dílů										Průměr	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	Měření 1	104,724	104,882	104,848	104,814	104,888	104,812	104,773	104,774	104,809	104,830	$\bar{X}_{A1} =$	104,815
	Měření 2	104,727	104,896	104,839	104,807	104,881	104,828	104,786	104,769	104,815	104,826	$\bar{X}_{A2} =$	104,817
	Měření 3	104,718	104,897	104,849	104,810	104,885	104,821	104,780	104,781	104,809	104,823	$\bar{X}_{A3} =$	104,817
	Průměr	104,723	104,892	104,845	104,810	104,885	104,820	104,780	104,775	104,811	104,826	$\bar{X}_A =$	104,817
	Rozsah	0,009	0,015	0,010	0,007	0,007	0,016	0,013	0,012	0,006	0,007	$\bar{R}_A =$	0,010
B	Měření 1	104,732	104,885	104,855	104,795	104,879	104,816	104,767	104,777	104,816	104,824	$\bar{X}_{B1} =$	104,815
	Měření 2	104,726	104,884	104,841	104,792	104,881	104,818	104,772	104,782	104,811	104,829	$\bar{X}_{B2} =$	104,814
	Měření 3	104,728	104,889	104,849	104,803	104,891	104,801	104,779	104,789	104,818	104,834	$\bar{X}_{B3} =$	104,818
	Průměr	104,729	104,886	104,848	104,797	104,884	104,812	104,773	104,783	104,815	104,829	$\bar{X}_B =$	104,815
	Rozsah	0,006	0,005	0,014	0,011	0,012	0,017	0,012	0,012	0,007	0,010	$\bar{R}_B =$	0,011
C	Měření 1	104,718	104,875	104,831	104,810	104,874	104,809	104,771	104,788	104,803	104,825	$\bar{X}_{C1} =$	104,810
	Měření 2	104,715	104,878	104,845	104,815	104,878	104,812	104,786	104,781	104,816	104,833	$\bar{X}_{C2} =$	104,816
	Měření 3	104,724	104,891	104,848	104,812	104,880	104,810	104,780	104,784	104,806	104,830	$\bar{X}_{C3} =$	104,817
	Průměr	104,719	104,881	104,841	104,812	104,877	104,810	104,779	104,784	104,808	104,829	$\bar{X}_C =$	104,814
	Rozsah	0,009	0,016	0,017	0,005	0,006	0,003	0,015	0,007	0,013	0,008	$\bar{R}_C =$	0,010
Průměr dílu	104,724	104,886	104,845	104,806	104,882	104,814	104,777	104,781	104,811	104,828	$\bar{X}_{part} =$	104,815	
											$R_{part} =$	0,163	

$\bar{R} = (\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C) / \text{počet operátorů} =$	0,010	$X_{diff} = \max[\bar{X}_A, \bar{X}_B, \bar{X}_C] - \min[\bar{X}_A, \bar{X}_B, \bar{X}_C] =$	0,002
$UCL_R = \bar{R} \times D_4 =$	0,026	( $D_4 = 3.27$ pro 2 pokusy; $2.58$ pro 3 pokusy )	2,580



Metoda analýzy s tolerancemi			
Opakovatelnost - Variabilita vybavení (EV)	$EV = \bar{R} \times K_1 =$	0,0060	$\%EV = 100 ( EV / Tol ) =$ 9,1%
Reprodukovatelnost - Variabilita operátora (AV)	$AV = \sqrt{\bar{K}_{diff} \times K_2)^2 - (EV^2/(nr))} =$	0,00168	$\%AV = 100 ( AV / Tol ) =$ 2,5%
Opakovatelnost & Reprodukovatelnost (GRR)	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} =$	0,0063	$\%GRR = 100 ( GRR / Tol ) =$ 9,4%
Počet rozlišitelných kategorií (NDC)			$ndc = 1.41 * Tol / (6 * GRR) =$ 15
<b>Způsobilost</b>	<b>Způsobilé</b>		

Komentáře	

Výsledky všech důležitých parametrů měření pro všechna 4 vybraná měřidla jsou k dispozici v Tab 10) .

Tab 10) Výsledky Způsobnosti měřidel dle MSA2

Měřidlo	%EV	%AV	%GRR	ndc	Způsobnost
Posuvné měřítko	31,3	12,6	33,8	4	Nezpůsobilý
GOM sken	8,2	1,9	8,4	17	Způsobilý
HEXAGON sken	7,4	1,7	7,6	18	Způsobilý
HEXAGON dotyk	9,1	2,5	9,4	15	Způsobilý

Z vyhodnocených výsledků lze pozorovat, že jako nezpůsobilý měřicí systém se jeví měřicí systém měření posuvným měřítkem. Tudíž ho nelze v systému měření akceptovat.

K vyhodnocování studie se zde využívá hodnotící kritérium GRR jako celkové variability, avšak není doporučeno hodnotit celkový systém jen za základě tohoto jednoho kritéria, proto zde bylo použito další hodnotící kritérium, a to ndc počet rozlišitelných tříd. Kritéria pro hodnocení GRR lze pozorovat v Tab 11) . Kde zároveň musí být počet tříd větší než pět.

Tab 11) Hodnotící kritéria měřicího systému MSA2

Hodnocení	Popis	Reakce
Měřicí systém vyhovuje	Hodnoty jsou menší než 10%	Měřicí systém je akceptovatelný
Měřicí systém je omezeně použitelný	Hodnoty se pohybují mezi 11-30%	Měřicí systém lze akceptovat v závislosti na důležitosti daného systému, i když je akceptace daného měřicího systému s podmínkou
Měřicí systém nevyhovuje	Hodnoty se pohybují nad 30%	Měřicí systém musí být zlepšen se zjištěním příčin a stanovením nápravných opatření

Posuvné měřítko není vhodný měřicí systém pro vyhodnocování typu těchto dílů. Jak lze vidět v Tab 10) hodnota GRR je vyšší než 30% což je nad limit přijatelnosti a hodnota ndc je 4 to je méně než je požadovaná hodnota. Doporučuji i nadále používat 3D měřících přístrojů, které byly zhodnoceny jako způsobilé, tudíž je lze akceptovat.

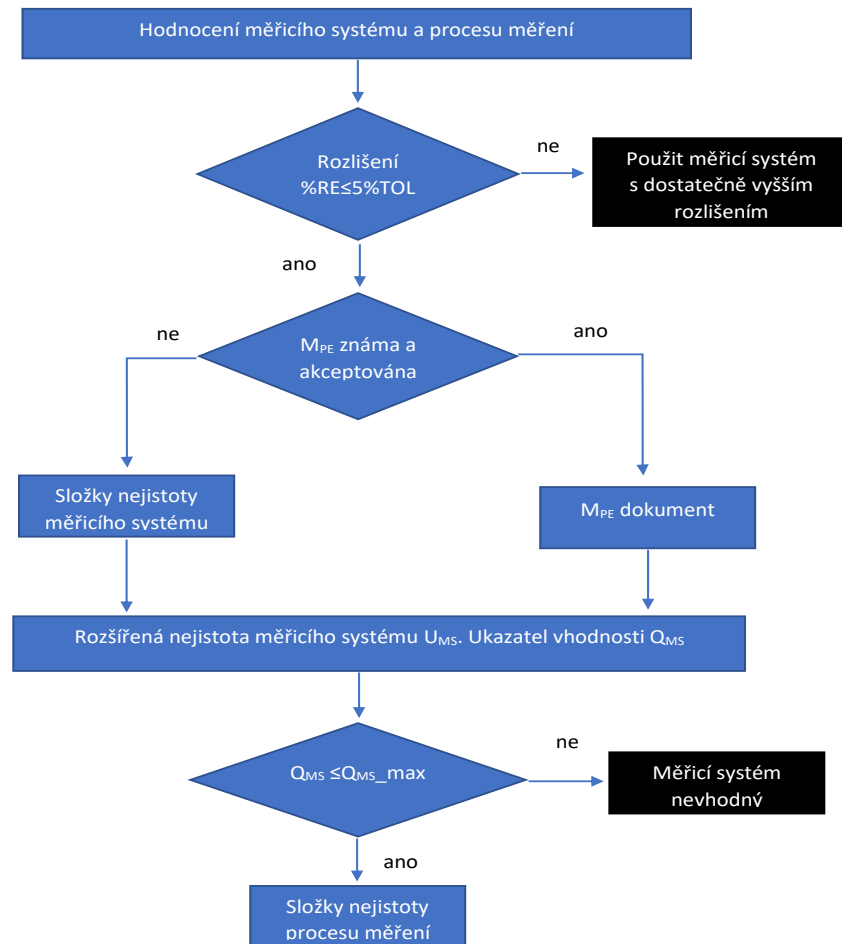
Posuvné měřítko bych doporučovala aplikovat při měření délkových rozměrů, kdy lze lehce definovat požadovanou měřenou délku. U vyhodnocování kruhových rozměrů trubek, nelze přesně definovat jeden rozměr, který má podléhat měření. Dochází zde k velkému přírůstu nejistoty měření operátorem. Kompletní výsledky ze zvolené studie pro všechna definovaná měřidla jsou dostupné v příloze viz. 11.

## 6.2 Návrh interní metodiky způsobnosti měřidla dle normy VDA 5

Prvním krokem pro zavedení hodnocení procesů měření dle VDA 5 je důkaz vhodnosti měřicího systému, kde se výsledek k interpretaci využívá rozšířená nejistota měření  $U_{MS}$  a ukazatel vhodnosti  $Q_{MS}$ . Jako vstupní data zde využíváme údaje k systému měření. Jedná se o naměřená data na kontrolovaném znaku či etalonu tudíž referenčním materiálu.

Při hodnocení vhodnosti měřicího systému se neberou v potaz vlivy, které mohou ovlivnit operátora, zkoumaný znak nebo prostředí.

Výpočet ukazatele vhodnosti  $Q_{MS}$  pro měřicí systém je využíván vzorec, který je definován jako procentuální vyjádření a jsou mu přiřazeny odpovídající limitní hodnoty  $Q_{MS\_max} = 15\%$ . Měřicí systém můžeme považovat za vhodný pokud je splněna podmínka  $Q_{MS} \leq Q_{MS\_max}$ . Vyhodnocování naměřených dat můžeme rozdělit do několika kroků. Diagram rozhodovacího procesu pro rozpoznání vhodného měřicího systému dle %RE viz Obr. 19).



Obr. 19) Vhodnost měřicího systému [14]

Pro výpočet  $Q_{MS}$  lze použít vztahu 18)), kde  $U_{MS}$  – rozšířená nejistota měření:

$$Q_{MS} = \frac{2 \times U_{MS}}{TOL} \times 100 \quad (18)$$

**Zhodnocení rozlišení RE** – u analogově zobrazujících přístrojích se jedná o hodnotu kroku mezi dvěma dílky a u digitálního zobrazení se jedná o nejmenší hodnotu, kterou lze spolehlivě vyhodnotit. Jednou z podmínek vhodnosti měřicího systému je maximální 5% tolerance  $\%RE \leq 5\%$  tolerance dle vztahu 19)):

$$\%RE = 100 \times \frac{RE}{TOL} \quad (19)$$

Složka nejistoty měření  $u_{RE}$  se vypočítá dle vzorce 20)):

$$u_{RE} = \frac{0,5 \times RE}{\sqrt{3}} \quad (20)$$

**Zhodnocení MPE** – jedná se o největší dovolenou chybu měření (mezní hodnotu chyby MPE). Je to krajní hodnota chyby měření, která se vztahuje k referenční hodnotě veličiny, a je povolena specifikacemi nebo předpisy pro dané měření, měřidlo nebo měřící systém. Dle vztahu 21)), kde  $u_{MS}$  – kombinovaná nejistota měření:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + \max\{u_{EVR}^2, u_{RE}^2\} + u_{BI}^2 + u_{LN}^2} \quad (21)$$

**Zhodnocení linearity** – pokud se provádí analýza linearity měřícího systému, je nutné provést test s minimálně třemi referenčními vzorky. Regresní funkce získaná z tohoto testu je poté použita ke korekci měřícího systému a tím se snižuje nejistota odchylky linearity. Toto však není v této práci hodnoceno.

**Výpočet kombinované nejistoty měřícího systému a jejích složek** – zde se jedná o výpočet jednotlivých složek dle vztahů z příručky VDA 5 dle následujících vztahů:

Rozlišení měřidla  $u_{RE}$  se vypočítá ze vztahu 22)):

$$u_{RE} = \frac{0,5 \times RE}{\sqrt{3}} \quad (22)$$

Kalibrace etalonu, koeficient rozšíření  $u_{CAL}$  je dán vztahem 23)):

$$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{k_{CAL}} \quad (23)$$

Systematická odchylka měření  $u_{BI}$  se vypočítá jako 24)):

$$u_{BI} = \frac{|\bar{x}_g| - x_m}{\sqrt{3}} \quad (24)$$

Opakovatelnost na etalonu  $u_{EVR}$  je vypočten pomocí vztahu 25)):

$$u_{EVR} = s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} \quad (25)$$

Pro úspěšné klasifikování měřicího systému se doporučuje vypočítat minimální hodnotu tolerance pro kterou by byl daný měřicí systém považován ještě za vhodný. Což se provede dle vztahu a odvodíme vztah pro toleranci (26)), kde  $U_{MS}$  – rozšířená nejistota měření:

$$Q_{MS\_max} = \frac{2 \times U_{MS}}{TOL} \times 100 \quad (26)$$

Můžeme také vypočítat vzorec pro výpočet tolerance (TOL), dle (27)):

$$TOL = \frac{2 \times U_{MS}}{Q_{MS\_max}} \times 100 \quad (27)$$

Jako případová studie v tomto případě bude sloužit ukázka výpočtu a studie pro měřicí přístroj 3D ramena Hexagon měření prováděno měřicí sondou v Tab 14) uveden jako dotyk. Bylo naměřeno 30 hodnot na zvoleném etalonu. Jako etalon byla opět zvolena kalibrovaná kulička, hodnoty jsou uvedeny v Tab 12) .

Následně byly provedeny výpočty dle výše zmíněných vztahů. Pro vizualizaci naměřených hodnot je zde použit regulační diagram, který byl pro lepší vizualizaci vyhodnocen v softwaru Minitab viz Obr. 20).

Vyhodnocení celé metodiky naleznete v Tab 13) .

Tab 12) Naměřená data na etalonu – kalibrovaná kulička

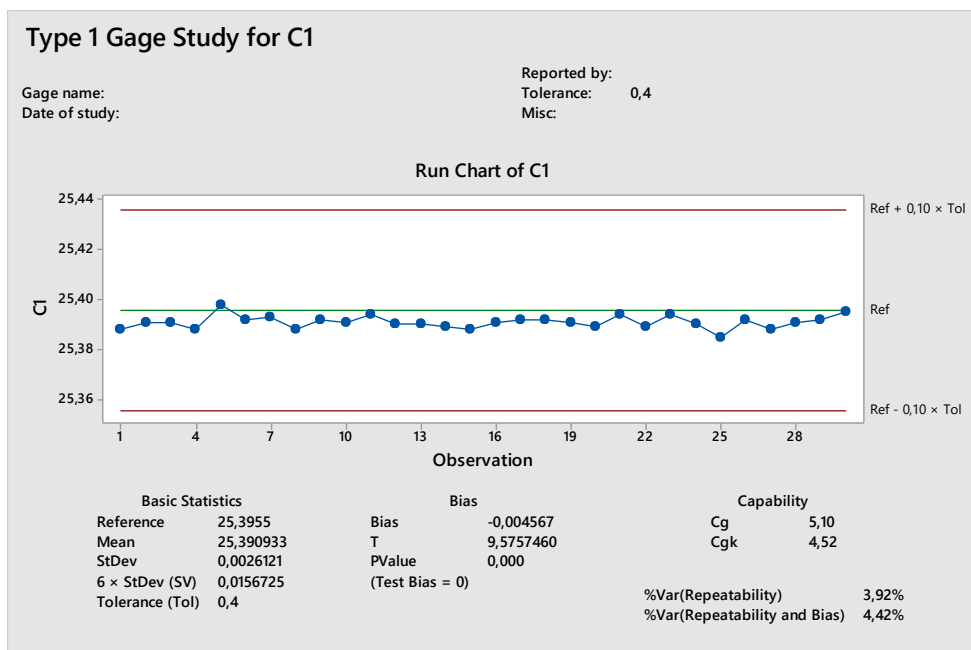
i	$x_i$	i	$x_i$	i	$x_i$
1	25,388	11	25,394	21	25,394
2	25,391	12	25,390	22	25,389
3	25,391	13	25,390	23	25,394
4	25,388	14	25,389	24	25,390
5	25,398	15	25,388	25	25,385
6	25,392	16	25,391	26	25,392
7	25,393	17	25,392	27	25,388
8	25,388	18	25,392	28	25,391
9	25,392	19	25,391	29	25,392
10	25,391	20	25,389	30	25,395

Tab 13) Ukázka případové studie pro Hexagon Arm dotyk pro vyhodnocení způsobilosti dle normy VDA 5

dle VDA-5			
$x_{min}$ - minimální hodnota	$x_{min}$	25,3850	mm
$x_{max}$ - maximální hodnota	$x_{max}$	25,3980	mm
rozsah	R	0,0130	mm
$x_{g(mean)}$ - průměrná hodnota	$x_{g(mean)}$	25,3909	mm
$s_g$ - směrodatná odchylka	$s_g$	0,0026	mm
$U_A$ - nejistota typu A	$U_A$	0,0005	mm
$x_{g(mean)} - 3 \times s_g$		25,3831	mm
$x_{g(mean)} + 3 \times s_g$		25,3988	mm
$6 \times s_g$		0,0157	mm
tolerance	T	0,4000	mm
$x_{etalonu}$ - naměřená hodnota etalonu	$x_m$	25,3955	mm
$U_{CAL}$ - nejistota kalibrace - dána v kalibračním protokolu	$U_{CAL} (k=2)$	0,0007	mm
$C_g$ - index způsobilosti	$C_g$	5,1045	-
$C_{gk}$ - kritický index způsobilosti	$C_{gk}$	4,5217	-
rozlišení	RE	0,0010	mm

Složky nejistoty (uncertainty components)			
rozlišení (Resolution)	$u_{RE}$	0,0003	mm
nejistota kalibrace (Calibration uncertainty)	$u_{cal} (k=2)$	0,0003	mm
opakovatelnost (Repeatability on reference standard)	$u_{evr}$	0,0026	mm
nejistota linearity (Uncertainty from linearity)	$u_{LN}$	0,0000	mm
nejistota bias (vychýlení) (Uncertainty from bias)	$u_{BI}$	0,0026	mm
kombinovaná nejistota měřicího systému (Measurement system)	$u_{MS}$	0,0037	mm

Výsledky VDA			
tolerance T (Tolerance)	TOL	0,4000	mm
rozlišení (Resolution)	%RE	0,2500	%
kombinovaná nejistota měřicího systému (Combined standard uncertainty of MS)	$u_{MS}$	0,0037	mm
rozšířená nejistota měřicího systému (Expanded measurement uncertainty of MS)	$U_{MS} (k=2)$	0,0075	mm
mezí hodnota ukazatele vhodnosti	$Q_{MS-max}$	15,0000	%
ukazatel vhodnosti	$Q_{MS}$	3,7256	%
minimální tolerance	$TQL_{MN-UMS}$	0,0993	mm



Obr. 20) Graf vyhodnocení způsobilosti dle normy VDA 5 - minitab

Výsledky všech analýz měření pro veškerá definovaná měřidla jsou v Tab 14) .

Tab 14) Výsledky Způsobilosti měřidel dle normy VDA 5

Měřidlo	TQL <sub>MN-UMS</sub> (mm)	Q <sub>MS</sub> (%)	%RE (%)	Způsobilost
Posuvné měřítko	0,448	16,816	2,5	Nezpůsobilý
GOM sken	0,252	9,477	0,25	Způsobilý
HEXAGON sken	0,315	11,801	0,25	Způsobilý
HEXAGON dotyk	0,099	3,726	0,25	Způsobilý

Jak lze pozorovat z výsledků měřící systém posuvného měřítka nelze považovat za způsobilý, jelikož hodnota  $Q_{MS} = 16,824 \%$ . Stanovená hodnota pro způsobilý systém je 15 %. Měřící systém není pro tuto hodnotu tolerance vhodný. Minimální tolerance, pro kterou je ještě měřící systém vhodný je nejméně 0,448 mm. Měřící systém má vyhovující rozlišitelnost. Nelze ho akceptovat.

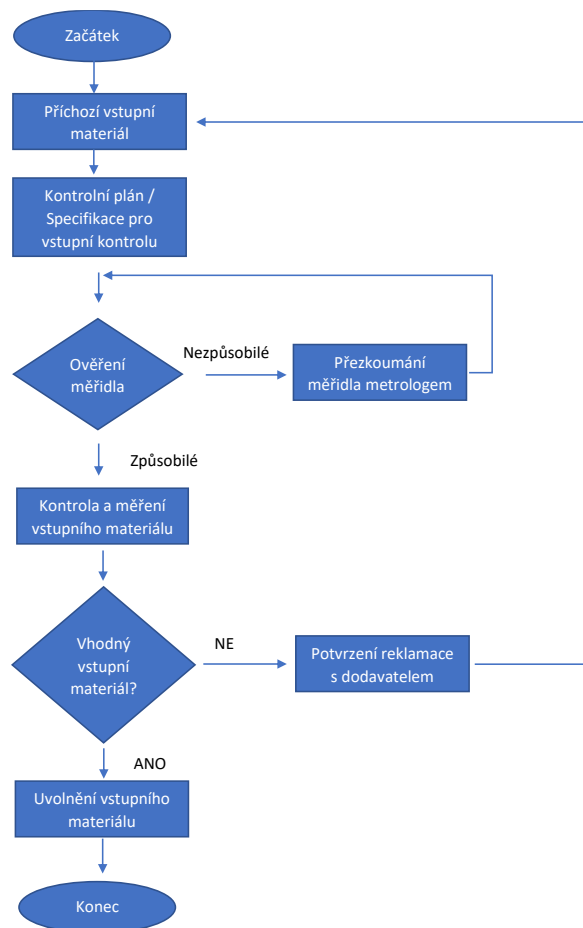
K ověření způsobilosti posuvného měřítka spolehlivě, doporučuji měření provádět na kalibrované délkové měřce. Kalibrované délkové měřky nejsou nyní ve firmě dostupné. Na základě této analýzy dat, bylo rozhodnuto vedením firmy, že se objednájí kalibrované délkové měřky. Jakmile budou délkové měřky ve firmě dostupné doporučuji analýzu a vyhodnocení provést znovu s lepšími podmínkami měření. A znovu systém vyhodnotit.

Provádění měření v procesu prozatím stále doporučuji měření 3D skenovacími zařízeními, kdy všechny hodnoty  $Q_{MS}$  jsou menší než 15% což znamená, že měřící systémy jsou pro zadanou hodnotu tolerance vhodné. A mají vyhovující rozlišitelnost. Můžeme je akceptovat. Je možné pozorovat, že Hexagon dotyk, lze použít i pro nižší hodnotu tolerance než ostatní měřidla. Kompletní výsledky ze zvolené studie pro všechny definovaná měřidla jsou dostupné v příloze viz. 11.

### 6.3 Začlenění metodiky do procesu vstupní kontroly v organizaci

Organizace nedisponuje zavedeným pozorováním systému měření a vyhodnocováním způsobilosti měřidel, které se využívají pro proces vstupní kontroly, tak i pro další navazující procesy, jako jsou mezioperační kontrola a výstupní kontrola. Organizace disponuje zavedeným metrologickým řádem, který definuje pouze postup, že nakupována měřící zařízení musí být externě kalibrována a poté označována a zavedena do procesu a evidována. Není zde definováno, jak nakoupené měřidlo ověřit z hlediska způsobilosti a jak ho sledovat při zavedení do procesu.

Metrologický řád obsahuje pouze stručný popis postupu při nakládání měřidel a začlenění do procesu, doporučuji, aby společnost rozšířila metrologický řád na základě navržených doporučení, a to o zavedení procesu ověření měřidel při jeho koupi a zavádění měřidel do procesu, dle výše popsanych metodik MSA a VDA 5. Zavedení metodiky pro proces lze vidět v navrženém vývojovém diagramu na Obr. 21).



Obr. 21) Návrh vývojového diagramu po zavedení metodik

Pro dosažení co nejlepší integrace do procesu zvolených metodik doporučuji provedení několika zásadních kroků, které přispějí ke správnému pochopení a využívání těchto analýz. Jedná se o tyto doporučení:

- Proškolení a seznámení definovaných operátorů, kteří se budou podílet na vyhodnocování metodik.
- Definování způsobilých operátorů, jelikož odbornost operátora během používání jakéhokoliv měřícího přístroje je více než žádaná.
- Zabezpečení odbornosti operátorů, kteří používají definovaná měřidla.
- Dodržování všech nastavených postupů zvolených metodik.
- Odpovědně reagovat na výsledky z měření a přijímat vhodná opatření.
- Vhodně stanovovat prostředí pro měření a definovat vhodný vzorek pro analýzy.

Na základě zvolených doporučení a vypracovaných metodik dle MSA a VDA5. Doporučuji rozšířit metrologický řád o studii ověření způsobilosti systému měřidel. Aplikovat systém měření do celého výrobního procesu. Docílit tak, aby povědomí o systému měření bylo vnímáno co nejširším okruhu zaměstnanců. Společnost tím tak získá široké povědomí o způsobilosti měřících systémů.

Při správné aplikaci a využívání výše navržených metodik lze sledování systému měření dále rozvíjet a tím docílit co největší spolehlivosti dat.

## 7 ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ

Smyslem této diplomové práce bylo zavedení jednotlivých metod systému měření do organizace a tím přispět k získání co nespolehlivějších výsledků z měření. Spolehlivost výsledků v procesu vstupní kontroly přispívá nejen k odhalení neodpovídajících dílů, které vstupují do procesu výroby, ale také jako důkaz o jejich správnosti. Díky zavedeným metodikám, lze data prezentovat a při vzniklých reklamaci k dodavateli data považovat za způsobilá.

Návrh jednotlivých metodik zahrnuje celkový postup, jak vybrané metodiky provádět, jak s naměřenými daty dále pracovat a jak je interpretovat.

Možnost dalšího zdokonalování interních metodik je stále otevřená v souladu s potřebami organizace. S dalšími získanými daty z implementace do procesu, lze případně analýzy systému měření dále rozšiřovat a rozvíjet o další vhodné metodiky, které také budou přispívat k neustálému zlepšování procesu.

Zavedení analýzy systému měření lze aplikovat nejen v rámci vstupní kontroly, ale také v celém výrobním procesu výsledky budou mít kladný přínos pro celý výrobní proces. Metodiky lze využívat při mezioperační a výstupní kontrole, ke které organizace používá stejná měřidla. Následně lze také metodiky rozšiřovat a dosáhnout tak celistvého zavedeného systému měření a dosáhnout zcela kontrolovaného systému.

Dalším neodmyslitelným a zamýšleným bodem je i to, že se metodikou mohou inspirovat i dodavatelské organizace, které jsou součástí systému. Mohou tak rozšířit povědomí i ve společnostech, které zatím nemají nebo se chystají k zavedení systému managementu kvality dle normy ISO 9001. Aplikací této myšlenky můžeme dosáhnout sjednocení měřícího systému v celém dodavatelském řetězci. Docílíme toho, pokud bude navržená metodika využívána a aplikována i na straně dodavatele. Tento bod lze vnímat jako rozvoj dodavatelů, což je také jeden požadavek normy ISO 9001. Můžeme i odstranit neshody, které vznikají při interpretaci dat ze strany dodavatele k zákazníkovi.

Co se týče ekonomického přínosu nelze ho v této části zcela vyčíslit. Při aplikaci způsobilosti měřidel, by se organizace mohla lépe rozhodovat při nákupu a výběru nových měřidel. Výsledky způsobilosti mohou ukázat, zda měřidla, která jsou zavedena v procesu měření jsou způsobilá či ne a zda je potřeba nákup dalších měřidel.

Pokud by se firma rozhodla rozšiřovat při aplikaci nových metod směrem k dodavateli nabízí se zde zavedení statistické přejímky. Po zavedení lze zodpovědnost převést na dodavatele a tím i snížit potřebu rozsáhlých kontrol měření. Je však zapotřebí definovat všechny podmínky, aby docházelo k naplnění potřeb statistické přejímky a tím i naplnění potřebné kvality vstupních dílů.



## 8 ZÁVĚR

Vypracovaná práce se zabývá návrhem procesu vstupní kontroly dodávek ve firmě, která je certifikována dle ISO 9001 a deklaruje kvalitu svých výrobků. Celá práce byla vypracována dle principů a požadavků normy ISO 9001, s příležitostí naplnit některé požadavky z normy IATF 16949. Tyto normy definují požadavky na systém managementu kvality a dbají na správné monitorování a měření procesů.

Firma, ve které byla diplomová práce vypracována, využívá pro svou výrobu řadu nakupovaných dílů od menších dodavatelů a většina z nich není certifikována dle normy ISO 9001. Většina vstupních komponentů je měřena při vstupní kontrole přímo ve firmě.

K dosažení spolehlivého měření všech komponentů, bylo navrženo několik metodik, které mohou pomoci docílit co nejvíce spolehlivých dat. Zavedení těchto metodik v celém výrobním procesu může rozšířit povědomí a návaznosti systému měření na další kontrolní procesy, jako je třeba mezioperační kontrola a výstupní kontrola, která se ve firmě provádí stejnými měřidly a provádí je stejní způsobilí operátoři.

Jako první krok pro zavedení analýzy systému měření bylo vybráno několik metod, dle kterých firma může sledovat základní vlastnosti měřicího systému a blíže tak specifikovat kvalitu svých interpretovaných dat. Metodiky jsou stručně popsány v příručkách. Jedná se o analýzu systému měření MSA 1 - způsobilost měřidla dle příručky systém analýzy měření, MSA 2 - opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla, dle stejnojmenné příručky a způsobilost měřidla dle VDA 5, kde rozdíl od MSA 1 spočívá v rozdílných ukazatelích a v interpretaci dat. Firma nedisponuje speciálními vyhodnocovacími softwary z toho důvodu byl kladen důraz na to, aby vytvořené metodiky byly co nejvíce uživatelsky přijatelné a použitelné v jakémkoli navazujícím procesu.

Byl proveden systémový rozbor dané problematiky a stanoveno nejslabší místo v procesu. V rámci řešení problematiky bylo využito metodiky PDCA, která je doporučena normou ISO 9001. Za pomoci použité metodiky byl identifikován problém, jeho příčiny a nedostatky v procesu. Byl definován cíl a návrh na zlepšení a následně vytvořeno několik postupů, které mohou pomoci naplnit stanovené cíle.

Na základě systémového rozboru, znalosti teorie a analýzy naměřených dat, byla navržena interní metodika pro zavedení do procesu vstupní kontroly. Metodiky mohou být stále rozvíjeny a aplikovány na jakékoliv kontrolní procesy dle potřeb organizace.

Výsledky z analýz ukázaly, že 3D měřicí zařízení jsou vhodným měřicím systémem pro proces vstupní kontroly a mohou být dále využívána. Naopak měřicí systém posuvným měřítkem byl vyhodnocen jako nevyhovující. To však připisují nevhodně zvoleným podmínkám pro měření a navrhuji analýzu provést znovu, jakmile budou vhodné podmínky splněny. Než tomu tak bude je vhodné pro proces měření během vstupní kontroly využívat pouze akceptovaná měřidla, aby společnost dosáhla spolehlivých dat.

Závěrem bylo doporučeno začlenění vybraných metodik do interního systému v podobě rozšíření metrologického řádu.



## 9 BIBLIOGRAFIE

- [1] ČSN EN ISO 9000 (01 0300) *Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*. 2016. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 87 stran.
- [2] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. : tabulky ; 24 cm. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [3] HNÁTEK, Jan, Otakar HRUDKA, Ondřej HYKŠ, Miroslav JEDLIČKA, Miroslav STANĚK, Elena STIBŮRKOVÁ, Marie ŠEBESTOVÁ a Milan TRČKA. *Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001: 2016*. 2016. Praha: Česká společnost pro jakost ; Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 138 stran : ilustrace. ISBN 978-80-02-02642-6.
- [4] ŘEPA, Václav. *Procesně řízená organizace*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 301 s. : grafy, tab. ISBN 978-80-247-4128-4.
- [5] Akademické centrum studentských aktivit. In: *PROCESNÍ ŘÍZENÍ. ŠKOLENÍ PROJEKTOVÉHO ŘÍZENÍ PRO FIRMY, VEŘEJNOU SPRÁVU A AKTIVNÍ STUDENTY* [online]. Brno, 2001 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.acsa.cz/verejnost/sluzby/podle-temat/procesni-rizeni/>
- [6] VEBER, Jaromír. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2007, 201 s. : il. ISBN 978-80-247-1782-1.
- [7] ČSN ISO 13053-1: *Kvantitativní metody zlepšování procesu - Six Sigma - Část 1: Metodologie DMAIC*. 1. Švýcarsko: ISO, 2011.
- [8] HOUSKA, Zdeněk. *Implementace informačního systému s pomocí nástrojů pro řízení změn*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 2021. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.
- [9] CHÁMA, Jakub. *Optimalizace výrobního procesu ve společnosti ADC Czech Republic s.r.o.* Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2019.
- [10] ČSN ISO 13053-2: *Kvantitativní metody zlepšování procesu - Six Sigma - Část 2: Nástroje a postupy*. 1. Švýcarsko: ISO, 2011.
- [11] What is DMAIC?. In: *What is DMAIC?: Six Sigma Daily* [online]. 9417 Princess Palm Avenue Tampa, FL 33619, 2022 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.sixsigmadaily.com/what-is-dmaic/>
- [12] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001, 244 s. : il. ISBN 80-7226-543-1.
- [13] PETRAŠOVÁ, Ivana a Vratislav HORÁLEK. *Analýza systémů měření (MSA): příručka*. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003, xvi, 233 s. : il., grafy, tab., formuláře. ISBN 80-02-01562-2.

- [14] NĚMEČEK, Pavel. *VDA 5 Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. 2., zcela přepracované vydání 2010 (české 2011). Praha: Česká společnost pro jakost, 2011, 170 stran : ilustrace. ISBN 978-80-02-02307-4.
- [15] MSA (Measurement System Analysis): Analýza systému měření. In: *ManagementMania* [online]. Wilmington: Creative Commons BY-NC, 2011 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: ManagementMania.com
- [16] A Brief History of Measurement System Analysis: Training and Consulting. *A Brief History of Measurement System Analysis: Training and Consulting* [online]. 2014, 2014(1), 3 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: q-das.com
- [17] VDA 5 - Procesy měření a zkoušení. In: *TechnickeNormy* [online]. Plzeň: European Standards s.r.o., 2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: TechnickeNormy.cz
- [18] JCGM 100:2008 GUM 1995 WITH MINOR CORRECTIONS, ISO/IEC GUIDE 98-3. *Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement*. 1. Sèvres (Paris): JCGM, 2008.
- [19] DOLÁK, David. *Rešerše souřadnicových měřicích strojů CMM a měřicích ramen CMMs*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [20] Support-Hexagon: Hexagonmi. In: *Support-Hexagon: Hexagonmi* [online]. North Kingstown, 2021 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://support.hexagonmi.com/s/article/RA7-Absolute-Arm-User-Manual-4-10-1?r=90&ui-knowledge-components-aura-actions.KnowledgeArticleVersionCreateDraftFromOnlineAction.createDraftFromOnlineArticle=1>
- [21] MCAE. *ATOS Core: Příručka uživatele - Hardware*. 7. Kuřim, 2014, 234 s. Dostupné také z: <https://www.mcae.cz/>. Příručka dostupná pouze po absolvování školení.

# 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC

## 10.1 Seznam obrázků

Obr. 1)	Schéma prvků jednoho procesu [3].....	20
Obr. 2)	Rozdělení procesů [vlastní].....	21
Obr. 3)	Demingův cyklus PDCA [vlastní] .....	25
Obr. 4)	Cyklus DMAIC [vlastní].....	26
Obr. 5)	Struktura diagramu Ishikawa [6] .....	29
Obr. 6)	Ishikawa – vliv nejistoty na výsledek měření [13] .....	36
Obr. 7)	Sonda (a) a externí skener (b) [vlastní].....	38
Obr. 8)	Přístroj Romer Absolute Arm [vlastní].....	39
Obr. 9)	Referenční sonda (a) a kalibrovaná koule (b) [vlastní].....	40
Obr. 10)	Skenovací sensor [vlastní] .....	41
Obr. 11)	Kalibrační deska [vlastní] .....	43
Obr. 12)	Model kontextu organizace [vlastní] .....	44
Obr. 13)	Vývojový diagram procesu vstupní kontroly [vlastní] .....	47
Obr. 14)	Želví diagram – vstupní kontrola [vlastní].....	48
Obr. 15)	Paretova analýza – příčina neshodného měření [vlastní].....	49
Obr. 16)	Ishikawa – neshodný výsledek měření [vlastní] .....	49
Obr. 17)	Výstřižek z technického výkresu .....	56
Obr. 18)	Vzorky dílů [vlastní] .....	56
Obr. 19)	Vhodnost měřicího systému [14] .....	61
Obr. 20)	Graf vyhodnocení způsobilosti dle normy VDA 5 - minitab.....	64
Obr. 21)	Návrh vývojového diagramu po zavedení metodik .....	66

## 10.2 Seznam tabulek

Tab 1)	Hodnota koeficientu $K_0$ v závislosti na počtu měření.....	34
Tab 2)	Vztah koeficientu $k$ na pravděpodobnosti $P$ .....	35
Tab 3)	FMEA – systém měření [vlastní].....	45
Tab 4)	Hlasování – příčina neshodného měření [vlastní].....	48
Tab 5)	MSA1 – vzor tabulky (prázdné) [vlastní] .....	50
Tab 6)	MSA2 – vzor tabulky (prázdné) [vlastní] .....	51
Tab 7)	Ukázka případové studie Hexagon Arm dotyk MSA1 .....	54
Tab 8)	Výsledky Způsobilosti měřidel dle MSA1 .....	55
Tab 9)	Ukázka případové studie Hexagon Arm dotyk MSA2 .....	59
Tab 10)	Výsledky Způsobilosti měřidel dle MSA2 .....	60
Tab 11)	Hodnotící kritéria měřicího systému MSA2 .....	60
Tab 12)	Naměřená data na etalonu – kalibrovaná kulička .....	63
Tab 13)	Ukázka případové studie pro Hexagon Arm dotyk pro vyhodnocení způsobilosti dle normy VDA 5.....	64
Tab 14)	Výsledky Způsobilosti měřidel dle normy VDA 5 .....	65

### 10.3 Seznam rovnic

(1)	Nejistota typu A.....	34
(2)	Nejistota typu B.....	34
(3)	Kombinovaná nejistota.....	34
(4)	Rozšířená nejistota.....	35
(5)	Index způsobilosti.....	53
(6)	Kritický index způsobilosti.....	54
(7)	Rozlišitelnost %RE.....	54
(8)	Průměrné rozpětí.....	57
(9)	Rozdíl průměrů $X_{diff}$ .....	57
(10)	Variabilita zařízení.....	57
(11)	Reprodukovatelnost operátora.....	57
(12)	Opakovatelnost a reprodukovatelnost.....	57
(13)	Variabilita zařízení %EV.....	57
(14)	Opakovatelnost operátora %AV.....	57
(15)	Opakovatelnost a reprodukovatelnost %GRR.....	57
(16)	Počet rozlišitelných kategorií.....	58
(17)	Rozlišitelnost %RE MSA2.....	58
(18)	Ukazatel vhodnosti.....	61
(19)	Rozlišení %RE VDA.....	61
(20)	Složka nejistoty měření VDA.....	62
(21)	Kombinovaná nejistota měření VDA.....	62
(22)	Rozlišení měřidla VDA.....	62
(23)	Kalibrace etalonu VDA.....	62
(24)	Systematická odchylka VDA.....	62
(25)	Opakovatelnost etalonu VDA.....	62
(26)	Minimální ukazatel vhodnosti.....	63
(27)	Tolerance VDA.....	63

### 10.4 Seznam symbolů

$n$	počet vzorků
$r$	počet opakování měření
$o$	počet operátorů
$T$	tolerance měřeného dílu
$x$	měřená hodnota
$\bar{x}_g$	průměrná hodnota
$x_m$	hodnota etalonu
$s_g$	směrodatná odchylka
$\overline{R_A}, \overline{R_B}, \overline{R_C}$	rozpětí měřených hodnot jednotlivých operátorů
$\overline{R}$	průměrné rozpětí měřených hodnot
$\overline{X_A}, \overline{X_B}, \overline{X_C}$	průměrné hodnoty měření
$X_{diff}$	rozpětí průměrů měřených hodnot

$u_A$	nejistota měření typu A
$u_B$	nejistota měření typu B
$u_C$	kombinovaná nejistota měření
$k$	koeficient rozšíření
$U$	rozšířená nejistota
$K_0$	koeficient nejistoty pro malý počet měření
$K_1$	koeficient dle počtu měření
$K_2$	koeficient dle počtu operátorů
$C_g$	index způsobilosti
$C_{gk}$	kritický index způsobilosti
$RE$	rozlišitelnost
$\%RE$	rozlišitelnost [%]
$EV$	variabilita zařízení
$\%EV$	variabilita zařízení [%]
$AV$	variabilita operátora
$\%AV$	variabilita operátora [%]
$GRR$	opakovatelnost a reprodukovatelnost
$\%GRR$	opakovatelnost a reprodukovatelnost [%]
$ndc$	počet rozlišitelných kategorií
$Q_{MS}$	ukazatel vhodnosti
$Q_{MS,max}$	maximální ukazatel vhodnosti
$U_{MS}$	rozšířená nejistota měření (značení VDA)
$u_{RE}$	složka nejistoty měření
$u_{MS}$	kombinovaná nejistota měření (značení VDA)
$u_{CAL}$	složka nejistoty kalibrace etalonu
$U_{CAL}$	nejistota kalibrace etalonu daná z kalibračního listu
$k_{CAL}$	koeficient rozšíření $u_{CAL}$
$u_{RE}$	složka nejistoty rozlišení zařízení
$u_{BI}$	složka nejistoty systematické odchylky měření
$u_{EVR}$	složka nejistoty opakovatelnosti měření etalonu
$TOL$	tolerance měřeného dílu (VDA)

## 10.5 Seznam zkratek

<b>IATF</b>	International Automotive Task Force
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>QMS</b>	Quality Management System
<b>FMEA</b>	Failure Mode and Effects Analysis
<b>AIAG</b>	Automotive Industry Action Group
<b>VDA</b>	Verband der Automobilindustrie
<b>GOM</b>	Gesellschaft for Optische Masstechnik
<b>ATOS</b>	Advanced Topometric Sensor
<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>CMM</b>	Coordinate Measuring Machine v překladu souřadnicový měřicí stroj (SMS)
<b>GRR</b>	Gage Repeatability and Reproducibility
<b>GPS</b>	Geometrické požadavky na výrobky (GPS), Geometrical Product Specifications
<b>R&amp;R</b>	Gauge Repeatability and Reproducibility
<b>AIAG</b>	Automotiv Industry Action Group
<b>MSA</b>	Measurement system analys
<b>PFMEA</b>	Process Failure Mode and Effects Analysis
<b>TPM</b>	Total Productive Maitenance
<b>DOE</b>	Design Of Experiment
<b>PPAP</b>	Production Part Approval Process
<b>MPE</b>	Maximum permissible error

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1)	Hodnotící kritéria pro FMEA.....	79
Příloha 2)	Kalibrační list HEXAGON_1/8.....	80
Příloha 3)	Kalibrační list HEXAGON_2/8.....	81
Příloha 4)	Kalibrační list HEXAGON_3/8.....	82
Příloha 5)	Kalibrační list HEXAGON_4/8.....	83
Příloha 6)	Kalibrační list HEXAGON_5/8.....	84
Příloha 7)	Kalibrační list HEXAGON_6/8.....	85
Příloha 8)	Kalibrační list HEXAGON_7/8.....	86
Příloha 9)	Kalibrační list HEXAGON_8/8.....	87
Příloha 10)	Kalibrační list GOM_1/3.....	88
Příloha 11)	Kalibrační list GOM_2/3.....	89
Příloha 12)	Kalibrační list GOM_3/3.....	90
Příloha 13)	Kalibrační list ETALON_Kulička_1/3.....	91
Příloha 14)	Kalibrační list ETALON_Kulička_2/3.....	92
Příloha 15)	Kalibrační list ETALON_Kulička_3/3.....	93
Příloha 16)	Kalibrační list Posuvné měřítko_1/2.....	94
Příloha 17)	Kalibrační list Posuvné měřítko_2/2.....	95

Příloha A - MSA1.zip

Příloha B - MSA2.zip

Příloha C - VDA.zip

Příloha D – Kalibracni\_listy.zip



## PŘÍLOHY

<b>Kritéria pro hodnocení Význam vady:</b>		S = závažnost
1-2	Zákazník ji nezaregistruje, nevádí mu	
3-4	Zákazník ji zaregistruje, nevádí mu	
5-6	Zákazník ji zaregistruje, vadí mu a obtěžuje ho	
7-8	Nefunkčnost dílu	
9-10	Ohrožení bezpečnosti a předpisů	
<b>Kritéria pro hodnocení Výskytu vady:</b>		O= výskyt
1-2	Nikdy se nevyskytuje	
3-4	Zřídka se vyskytuje	
5-6	Přichází v úvahu	
7-8	Často se vyskytuje	
9-10	Zcela určitě se vyskytne	
<b>Kritéria pro hodnocení pravděpodobnosti Odhalení vady:</b>		D= detekovatelnost
1-2	Jisté odhalení vady	
3-4	Vysoká pravděpodobnost odhalení vady	
5-6	Střední pravděpodobnost odhalení vady	
7-8	Malá pravděpodobnost odhalení vady	
9-10	Téměř žádná pravděpodobnost odhalení vady	

Příloha 1) Hodnotící kritéria pro FMEA

GR - 0999



ACCREDITATION  
N° 2-5510  
Dimensionnel  
Scope available on [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)



HEXAGON

Hexagon Metrology SAS  
2 Rue François Arago  
41800 Montoire-sur-le-Loir  
France

## CERTIFICATE OF CALIBRATION

### Report

**Number** 20226-9429-FA  
**Issue date** 27 June 2022

### Customer

**Company** Proventia Czech s.r.o.  
**Address** CZECH REPUBLIC

**Phone** -

### Instrument

**Type** Articulated Arm Coordinate Measuring Machine (AACMM)  
**Serial number** 8330-7-9429-FA  
**Model** 8330-7  
**Measuring range** 3000 mm  
**Calibration date** 27 June 2022

### Tests

**Standard** ISO 10360-12 : 2016

The instrument listed above was calibrated and tested under monitored and compensated environmental conditions, using gauges that are traceable to national laboratories. Environmental conditions during the tests and identification numbers for the instrument and gauges are reported below in this certificate. The calibration and test procedures conformed to ISO 10360-12.

### Results

Probing performance of the AACMM  
Articulation performance of the AACMM  
Length measuring performance of the AACMM

Pass  
Pass  
Pass

See the last page of this certificate for detailed measurement results.

### Acceptance

We hereby certify that the AACMM listed above passed all acceptance tests.

27 June 2022

This calibration certificate guarantees the connection of the calibration results to the International System of units (SI)

Operator

  
Vogt Jimmy

Inspector

  
Laurent Janvier



## CERTIFICATE OF CALIBRATION

### Terms and definitions

<b>AACMM</b>	Articulated Arm Coordinate Measuring Machine.
<b>Measuring range</b>	Diameter of the spherical volume within which an AACMM is capable of measuring. Specified by the manufacturer.
<b>Cone</b>	Mechanical, kinematic seat (nest) that repeatably holds the center of a spherical surface in a fixed position in space.
<b>Artefact</b>	Calibrated, traceable reference object (e.g. a bar with known length).
<b>P<sub>Size</sub></b>	Probing size error, tactile. Unabbreviated symbol is P <sub>Size.Sph.1x25:Tact.AArm</sub>
<b>P<sub>Form</sub></b>	Probing form error, tactile. Unabbreviated symbol is P <sub>Form.Sph.1x25:Tact.AArm</sub>
<b>L<sub>Dia</sub></b>	Articulated location error, tactile. Unabbreviated symbol is L <sub>Dia.5x5:Art:Tact.AArm</sub>
<b>E<sub>Uni</sub></b>	Length measurement error, unidirectional. Unabbreviated symbol is E <sub>Uni.0:Tact.AArm</sub>
<b>MPE</b>	Maximum Permissible Error.
<b>Specification</b>	MPE for the relevant AACMM acceptance test, as specified by the manufacturer.
<b>Deviation</b>	Difference between the calibrated value and the measured value of the test artefact.
<b>Acceptance</b>	The performance of the AACMM is verified for each acceptance criteria (probing size error, probing form error, articulated location error, and length measurement error). The error is not greater than the MPE specified by the manufacturer.

### Instrument calibrated

<b>Type</b>	AACMM
<b>Brand</b>	Hexagon
<b>Serial number</b>	8330-7-9429-FA
<b>Model</b>	8330-7
<b>Measuring range</b>	3000 mm
<b>Probe</b>	50mm length, 15mm ball

### Environmental conditions

<b>Temperature (°C)</b>	19.8
-------------------------	------

### Gauge(s) used

Nomenclature	Serial number	Report number	Calibration date	Calibration due
Length bar artefact	H00011383-FA-003	43353	20 July 2021	5 September 2022
Sphere artefact	M183	42824	30 June 2021	28 October 2022
Temp monitor	WTSBT-FA-015	4346961	30 December 2021	14 February 2023

### Traceability

This certification is traceable to international standards and laboratories via the gauges listed above.

### Test Status (for service arms)

#### Outgoing test



## CERTIFICATE OF CALIBRATION

### Calibration method

The AACMM is calibrated according to the ISO 10360-12 standard using specialized calibration tools, calibrated artefacts, and calibration software (RDS).

To test probing performance, a sphere is measured in 2 locations, 25 points per location, without rotating or changing the direction of the probe stylus.

To test articulation performance, a sphere is measured in 2 locations, 25 points per location, changing the direction of the probe stylus every 5 points per hemisphere of the sphere (top, left, right, front, and back).

To test length measuring performance, a bar at least 66% of the AACMM measuring range with multiple lengths on the bar is measured in 7 bar locations (3 horizontal, 3 diagonal, 1 vertical), with 5 well-distributed lengths per location, measured 3 times per length, changing the elbow articulation for each length, for a total of 105 length measurements.

### Conformity declaration

The declaration of conformity of this report is not made in accordance with ISO 10360-12, which specify to take in account the measurement uncertainty. The conformity of the AACMM is given following manufacturer specifications excluding test value uncertainties

### Additional information

Hexagon Metrology quality management system is ISO 9001:2015 certified.

The results in this document refer to the time and conditions under which calibration was performed.

Partial reproduction of this document is not authorized without written consent from Hexagon.



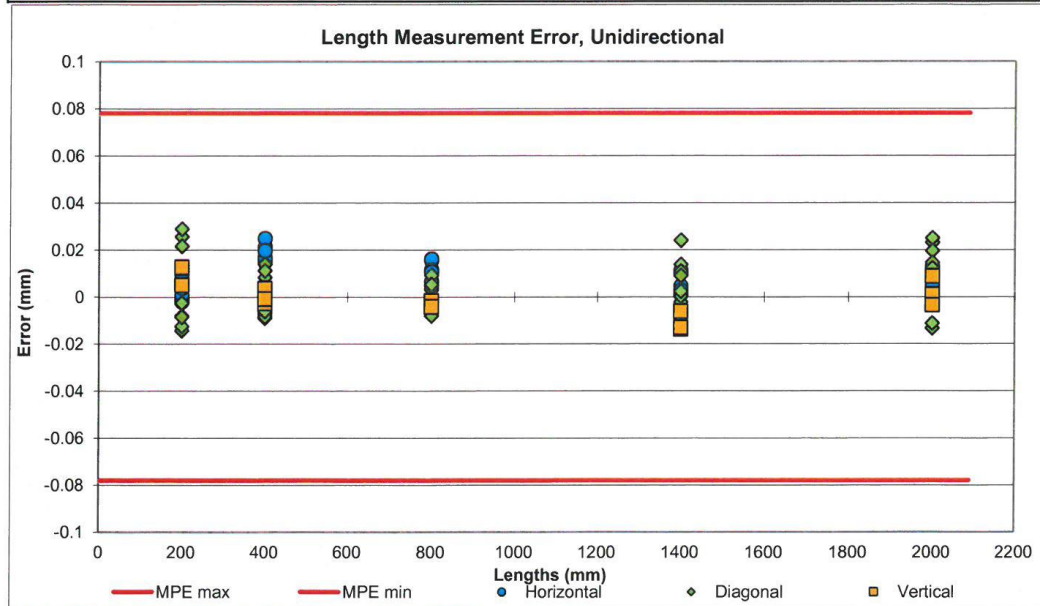
## CERTIFICATE OF CALIBRATION

### Measurement results

The measurement results for each AACMM acceptance test are listed below.

Measurement uncertainties as noticed below are express with k=2, providing a confidence level of 95%

Symbol (abbreviated)	Specification <i>coll (mm) tolerance max.</i>	Uncertainty ( $\mu\text{m}$ )	Measure (mm)	Result (Pass / Fail)
$P_{\text{Size}}$ <i>koule</i>	0.034	2.000 Probing size error, tactile	0.006	Pass
$P_{\text{Form}}$ <i>max-min tvar</i>	0.058	2.000 Probing form error, tactile	0.020	Pass
$L_{\text{Dia}}$ <i>opakovatelnost</i>	0.090	1.000 Articulated location error	0.039	Pass
$E_{\text{Uni}}$ <i>obdelka</i>	0.078	$U = 3 \mu\text{m} + 4 \cdot 10^{-6} \cdot L$ Length measurement error, unidirectional	0.029	Pass



This is the acceptance test to determine length measuring performance per ISO 10360-12. The chart shows the calculated error for the 105 length measurements defined in ISO 10360-12. The length measurement error is the difference between the measured value and the calibrated value of the test length. Temperature compensation with external temperature sensor is used during length measurement.

The CTE value of the length bar artefact used is :

$$4.8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

## CALIBRATION CERTIFICATE

### Report

**Number** 20226-AS1.1-04454-GE  
**Issue date** 27 June 2022

### Customer

**Company** Proventia Czech s.r.o.  
**Address** CZECH REPUBLIC

**Phone** -

### Instruments

**CMM Type** Articulated Arm Coordinate Measuring Machine (AACMM)  
**Serial number** 8330-7-9429-FA  
**Model** 8330-7  
**Measuring range** 3000 mm

**ODS Type** Laser Line Scanner  
**Serial number** AS1.1-04454-GE  
**Model** AS1

### Tests

**Standard** ISO 10360-8: 2013 Annex D

The instrument listed above was calibrated and tested under monitored and compensated environmental conditions, using gauges that are traceable to national laboratories. Environmental conditions during the tests and identification numbers for the instrument and gauges are reported below in this certificate. The calibration and test procedures conformed to ISO 10360-8 Annex D.

### Results

Articulation performance of the AACMM with ODS

**Pass**

See the last page of this certificate for detailed measurement results.

### Acceptance


We hereby certify that the AACMM listed above passed all acceptance tests.

**27 June 2022**

**Operator**

  
Vogt Jimmy

**Inspector**

  
Laurent Janvier



## CALIBRATION CERTIFICATE

### Terms and definitions

<b>AACMM</b>	Articulated Arm Coordinate Measuring Machine.
<b>ODS</b>	Optical Distance Sensor.
<b>Measuring range</b>	Diameter of the spherical volume within which an AACMM is capable of measuring. Specified by the manufacturer.
<b>Artefact</b>	Calibrated, traceable reference object (e.g. a bar with known length).
<b>L<sub>Dia</sub></b>	Articulated location value. Unabbreviated symbol is L <sub>Dia.5x25:Art.ODS</sub>
<b>MPL</b>	Maximum Permissible Limit.
<b>Specification</b>	MPL for the relevant AACMM with ODS acceptance test, as specified by the manufacturer.
<b>Deviation</b>	Difference between the calibrated value and the measured value of the test artefact.
<b>Acceptance</b>	The performance of the AACMM is compared for each acceptance criteria (probing size error, probing form error, articulated location error, and length measurement error). The error is not greater than the MPE specified by the manufacturer.

### Instrument calibrated

<b>CMM Type</b>	AACMM
<b>Brand</b>	Hexagon
<b>Serial number</b>	8330-7-9429-FA
<b>Model</b>	8330-7
<b>Measuring range</b>	3000 mm
<b>ODS Type</b>	Laser Line Scanner
<b>Brand</b>	Hexagon
<b>Serial number</b>	AS1.1-04454-GE
<b>Model</b>	AS1

### Environmental conditions

<b>Temperature (°C)</b>	19.6
-------------------------	------

### Gauge(s) used

Nomenclature	Serial number	Report number	Calibration date	Calibration due
Sphere artefact	14488-160	217751	26/05/2022	26/05/2023

### Traceability

This certification is traceable to national standards and laboratories via the gauges listed above.



## CALIBRATION CERTIFICATE

### Calibration method

The AACMM and ODS are independently calibrated, and then aligned together, according to the manufacturer's procedures using specialized calibration tools, calibrated artefacts, and calibration software.

### Certification method

The AACMM is calibrated according to the ISO 10360-12 standard. The AACMM performance is verified by following the measuring equipment, positions, and procedures defined in the ISO 10360-12 standard.

The AACMM with ODS is calibrated according to the ISO 10360-8 Annex D standard. The AACMM with ODS performance is verified by following the measuring equipments, positions, and procedures defined in the ISO 10360-8 Annex D standard.

A sphere artefact is measured with 5 different arm articulations. For each arm articulation, a sphere is scanned in 5 different angular positions. The articulated location value is the minimum circumscribed sphere of the five spheres measured.

Sphere is measured at three locations: 20%, 50% and 80% of AACMM measuring range.

Highest articulated location value of the three locations is considered.

### Additional information

Hexagon Metrology quality management system is ISO 9001:2015 certified.

The results in this document refer to the time and conditions under which calibration was performed.

Partial reproduction of this document is not authorized without written consent from Hexagon.



## CALIBRATION CERTIFICATE

### Measurement results

The measurement result for AACMM with ODS acceptance test is listed below.

Symbol (abbreviated)	Specification (mm)	Measure (mm)	Result (Pass / Fail)
$L_{Dia}$ <i>operational_ods</i>	0.082	Articulated location value 0.035	Pass



**Český metrologický institut**

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111

www.cmi.cz



**Kalibrační laboratoř č. 2202 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018**

**Pracoviště:** Laboratoře primární metrologie Praha, V Botanice 4, Praha 5, 150 72  
Oddělení technické délky, tel. +420 257 288 387, fax +420 257 328 077

## KALIBRAČNÍ LIST

**8015-KL-Y0043-22**

**Datum vystavení:** 18. května 2022

List 1 ze 3 listů

**Zákazník:** MCAE Systems, s.r.o.  
Knínická 1771  
664 34 Kuřim

**Měřidlo:** GOM Probing/Spacing Artifact  
Výrobce: GOM GmbH  
v.č.: PSA/400/P0172

**Metrologická návaznost:** Souřadnicový měřicí stroj Zeiss XENOS, výrobní číslo: 182519  
Kalibrační list číslo: 8015-KL-X0006-21  
Měření jsou metrologicky navázaná na (mezi)národní etalony.

**Kalibrační postup:** Kalibrace byla provedena dle metodiky číslo 815-MP-C503. Jednotlivé koule byly měřeny rovnoměrně rozloženými body. Průměr koule byl vyhodnocen metodou Gauss a tvar koule metodou Minimum. Vzdálenost středů dvojice koulí byla vyhodnocena jako 3D vzdálenost. Teplotní roztažnost etalonu udaná výrobcem je pro ocelové koule  $\alpha = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  a pro CFK desku  $\alpha = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

**Podmínky prostředí:** Teplota v laboratoři:  $(20,0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$

Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupu uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace.

**Datum kalibrace:** 18. května 2022

**Kalibraci provedl:**

Ing. Jakub Sýkora



**Vedoucí oddělení:**

Doc. Ing. Vít Zelený, CSc.

*Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.*

Příloha 10) Kalibrační list GOM\_1/3



## KALIBRAČNÍ LIST

8015-KL-Y0043-22

List 2 ze 3 listů

Místo kalibrace: Oblastní inspektorát Praha, Radiová 1136/3, 102 00 Praha 10- Hostivař

### Výsledky kalibrace:

Dvojice koulí L1-R1	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	15,9938
Průměr L1	6,0017
Průměr R1	6,0024
Tvar L1	0,0005
Tvar R1	0,0004

Dvojice koulí L2-R2	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	25,9957
Průměr L2	8,0011
Průměr R2	8,0013
Tvar L2	0,0011
Tvar R2	0,0012

Dvojice koulí L3-R3	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	40,0022
Průměr L3	10,0018
Průměr R3	10,0021
Tvar L3	0,0006
Tvar R3	0,0006

Dvojice koulí L4-R4	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	55,0039
Průměr L4	12,0023
Průměr R4	12,0029
Tvar L4	0,0011
Tvar R4	0,0010

Dvojice koulí L5-R5	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	80,0029
Průměr L5	15,0008
Průměr R5	15,0003
Tvar L5	0,0014
Tvar R5	0,0020

Český metrologický institut  
Laboratoře primární metrologie  
V Botanice 4  
150 72 Praha  
-5-

Dvojice koulí L6-R6	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	115,0134
Průměr L6	20,0053
Průměr R6	20,0051
Tvar L6	0,0005
Tvar R6	0,0005

Dvojice koulí L7-R7	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	160,0049
Průměr L7	25,0022
Průměr R7	25,0051
Tvar L7	0,0005
Tvar R7	0,0005

Dvojice koulí L8-R8	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	230,0142
Průměr L8	30,0101
Průměr R8	30,0044
Tvar L8	0,0004
Tvar R8	0,0002

Dvojice koulí L9-R9	
Parametr	Hodnota [mm]
Vzdálenost středů koulí	320,0469
Průměr L9	40,0068
Průměr R9	40,0063
Tvar L9	0,0005
Tvar R9	0,0007

Nejistota měření  $U = (0,3 + 1,0 \cdot L) \mu\text{m}$ , pro  $L$  v metrech

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02 M:2013. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu  $k$ , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření  $k = 2$ .

Konec kalibračního listu.

Český metrologický institut  
Laboratoře primární metrologie  
V Botanice 4  
150 72 Praha  
-5-



0102

**CERTIFICATE OF CALIBRATION**  
ISSUED BY TN UNITED KINGDOM, LTD  
DATE OF ISSUE 26 May, 2022  
CERTIFICATE NUMBER 217849

Page 1 of 1 pages

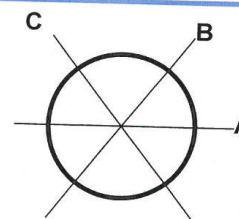
Approved Signature

*Christine Fox*

C. Fox

**TN UNITED KINGDOM, LTD**  
Unit K, Downlands Business Park, Lyons Farm  
Worthing, West Sussex. BN14 9LA  
Tel: +44 (0)1903 891200, Fax: +44 (0)1903 891220

Customer: Hexagon Metrology, INS Oside  
3536 Seagate Way  
Oceanside CA  
92056 USA  
U.K.  
Calibrated In: 607372  
Order No: 26-May-22  
Date of Calibration: 26-May-22  
Description: Modified Ball (Matt Finish)  
Part No: NCA7-7-20494  
Size: 25.400mm ±5µm, Grade 25  
Material: Tungsten Carbide  
Serial No: 13735-25  
Report: The ball has been checked against the Laboratory Standards for diameter on one plane with the measured diameter, corrected for elastic compression and expressed to the nearest 0.000 05mm given below, and for roundness on one plane with the result, to the nearest 0.1µm, given below.  
\* NOTE: Not UKAS Accredited but included for completeness and expressed to the nearest 0.01µm



Plane	Undeformed diameter (mm)	Roundness (µm)	Surface Finish (µm)*
		(LSC: Δr =)	(Ra)
A	25.395 50	0.46	0.24

Uncertainty of Measurement: ± 0.000 65mm  
Roundness Uncertainty: ±0.025 µm  
Equipment: Diameter: Heidenhain ND281B + CT6001 Transducer @ 1N  
Roundness: Talyrond 73PC Roundness Analyser  
Surface Finish: Form Talysurf Intra System  
Temperature: 20°C ± 1°C  
Traceability: To National Standards via Gauge Blocks serial no: 13393  
For USA: To NIST on Certificate No. 685-O-0000034988-21

**UKAS Decision Rule Conformity Statement**

For conformity to specification, the following decision rule will be applied by the laboratory:  
The acceptance band will be equal to the tolerance band with zero guard bands used, the uncertainty of measurement will be considered to ensure that the TUR ≥ N:1  
If other decision rules are required, please discuss this with the laboratory prior to the work being completed  
This Laboratory is accredited in accordance with the recognised International Standard ISO/IEC 17025. This accreditation demonstrates technical competence for a defined scope and the operation of a laboratory quality management system. (refer joint ISO-ILAC-IAF communiqué dated Jan 2009).  
The results contained in this Certificate relate only to the item calibrated.  
For customer supplied and Re-Calibration items the results apply to the product in an as received condition.  
The Decision Rule applied to the results in this report have been communicated at quoting and order confirmation.  
The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.  
This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to the SI system of units and/or to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory

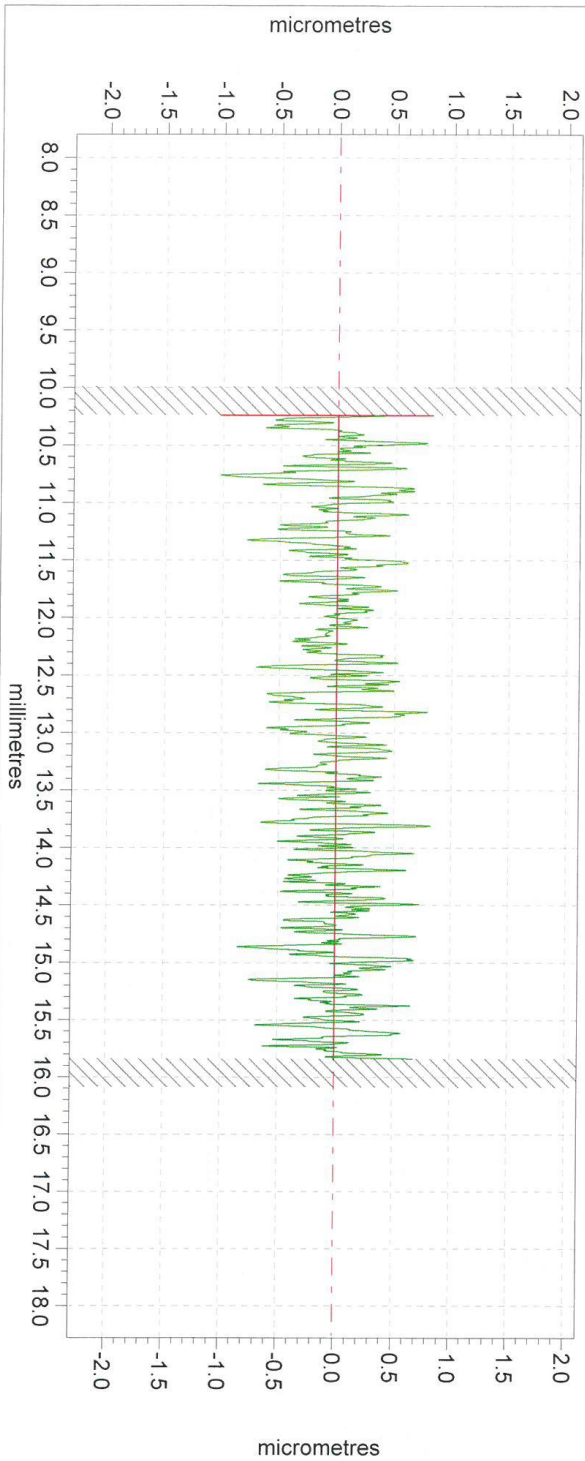
5.21.8.24



Modified Profile

Part No. NCA7-7-20494 - R/7x0.8mm/G/30/L5 Arc  
 Serial No. 13735-25 - 6.45mm/Admin/Intra

26/05/2022 08:22:21  
 26/05/2022 08:21:53



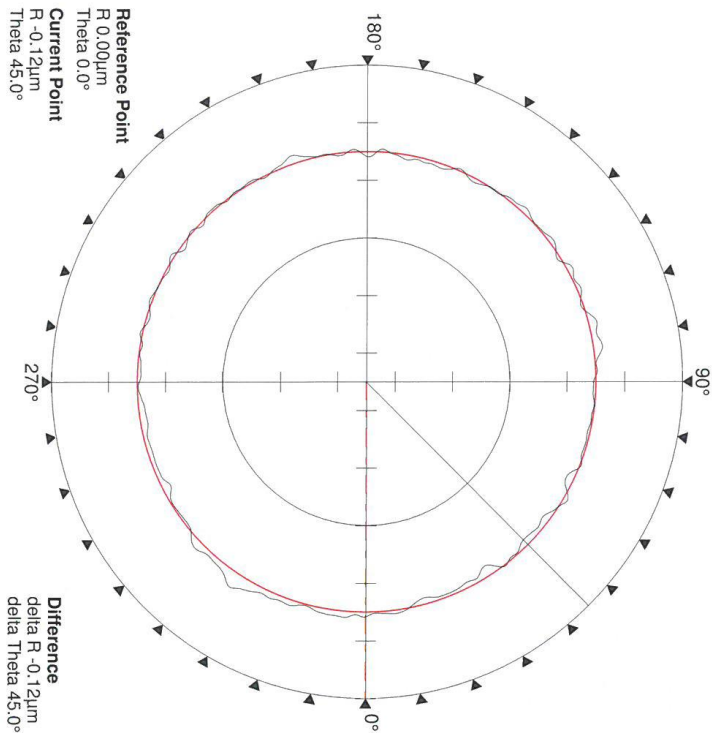
Ra	0.2453	µm							
Rt	1.8477	µm	Rmr(c)	50.56	% Height (mean)	0.000			
Rz	1.4841	µm							
			Rmr	50.00	% offset	0.000	µm	mr%	50.00
									%

Príloha 14) Kalibrační list ETALON\_Kulička\_2/3

5.23.16.8



Scale 1µm/div.



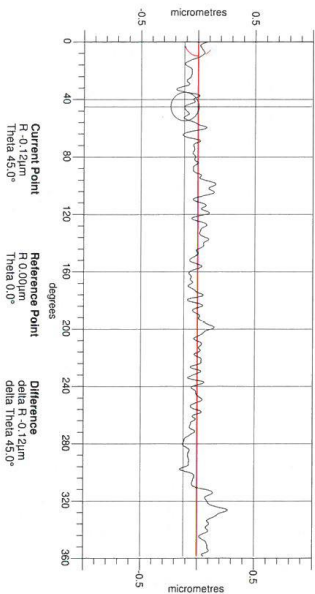
# TN UNITED KINGDOM, LTD

Roundness Report

NCA7-7-20494

13735-25

<b>RONT</b>	<b>0.46</b>	<b>µm</b>
Ecc	0.63	µm
Instrument Type	Talysrond73	
Filter Range	1-50µpr	
Filter Type	Gaussian	
Reference Type	LS Circle	
Datum	Spindle	
Time	26/05/2022 09:16:55	



## KALIBRAČNÍ LIST

č. KL – P05383/2023

Strana 1 ze 2 Stran



Lenka Sobolová, MBA  
vedoucí kalibrační laboratoře

Datum vystavení: 31.03.2023

**Zákazník :** Proventia Czech s.r.o.  
Knínická 2037/1,  
664 34 Kuřim

**Místo provedení :** na adrese laboratoře

**Měřidlo :**

- název : posuvné měřítko digitální
- výrobce : KINEX
- jmenovitý rozměr : 0-300/0,01 mm
- identifikační číslo : 6770 *H*
- výrobní číslo :

**Použitý etalon :**

- Koncové měřky 125 - 500 mm, ev.č. 140002, k.l. 4011-KL-D0435-21 (AKL č.2202), platnost kalibrace do: 19.4.2023.
- Sada nastavných kroužků, ev.č. SNK-01.(1-60), k.l. KL-P00034/2022 (AKL č. 2322), platnost kalibrace do: 5.1.2024.

Použité etalony jsou metrologicky navázány na státní (mezinárodní) etalonáž.

**Kalibrační metoda :** KP-001

**Podmínky měření :** Teplota vzduchu v laboratoři 20°C ± 1°C  
Relativní vlhkost prostředí 20 %

*Kalibrační list nesmí být bez písemného souhlasu kalibrační laboratoře TM Technik s.r.o. rozmnožován jinak než v celkovém počtu stran.  
Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratoři, která dokument vystavila.  
Výsledky měření platí jen pro měřidlo uvedené v kalibračním listě a ve stavu v jakém bylo přijato.*

FORM 10/02

Příloha 16) Kalibrační list Posuvné měřítko\_1/2

Výsledek měření :

měřený úsek [mm]	tolerance [mm] ČSN EN ISO 13385-1	naměřená odchylka [mm]	
		vnější měření	vnitřní měření
délka - 0	±0,02	0,00	
délka - 16,1		+0,01	
délka - 51,5	±0,03	+0,01	
délka - 150		0,00	
délka - 255,7	±0,04	-0,01	
délka - 300		-0,02	
průměr - 40	±0,03		+0,03

Rozšířená nejistota měření :  $U = 13 \mu\text{m}$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Standardní nejistoty byly určeny v souladu s dokumentem EA 4/02 M.

Datum kalibrace : 31.03.2023

Kalibraci provedl a přezkoumal : Miroslav Plšek

AKL = akreditovaná kalibrační laboratoř

Data dodaná zákazníkem jsou v kalibračním listem označena\*.  
Kalibrační laboratoř nemá odpovědnost za správnost dat dodaných zákazníkem.

**TM Technik s.r.o.** <sup>③</sup>  
kalibrační laboratoř  
Kaštanová 530/125b, 620 00 Brno, CZ  
DIC: CZ26889927  
Tel.: +420 515 500 715  
www.tm-technik.cz

**Konec kalibračního listu**