

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie - technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh metodiky měření a ověření způsobilosti měřící stanice
pro měření víceúčelového aktuátoru

Autor: **Bc. Jiří Běhounek**
Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří BĚHOUNEK**
Osobní číslo: **S17N0030P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie – technologie obrábění**
Téma práce: **Návrh metodiky měření a ověření způsobilosti měřicí stanice pro měření víceúčelového aktuátoru**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
 2. Analýza současného stavu
 3. Specifikace požadavků na měření vybraného produktu
 4. Návrh metodiky měření
 5. Hodnocení způsobilosti měření
-
6. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- Mlčoch, L., Slimák, I.: Řízení kvality a strojírenské metrologie. Praha, SNTL, 1987.
- Pernikář, J., Tykal, M., Vačkář, J.: Jakost a metrologie. Část metrologie. Učební texty vysokých škol, FSI-VUT v Brně, 2001.
- Publikace České společnosti pro jakost: ČSJ: SPC – Statistická regulace výrobního procesu 2. rozšířené vydání, 2006.
- ČSJ: MSA – Analýza systémů měření 4.vydání, 2011.
- ČSJ: PPAP – Proces schvalování dílů do sériové výroby, 2006.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jan Kutlwašer, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Zdeňku Pospěchovi, Ph.D. za jeho profesionální přístup, ochotu, čas a velmi cenné rady, které mi poskytl. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Radku Jánskému z nejmenované firmy za jeho čas a ochotu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Běhounek	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Pospěch, Ph.D.	Jméno Zdeněk	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh metodiky měření a ověření způsobilosti měřicí stanice pro měření víceúčelového aktuátoru		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	88	TEXTOVÁ ČÁST	63	GRAFICKÁ ČÁST	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce se zabývá hodnocením způsobilosti měřicí stanice víceúčelového aktuátoru. V první části práce je zaměřena na výběr metodiky hodnocení způsobilosti jak pro měřicí, tak pro lisovací operace a s tím související návrh metodiky měření. Následně v druhé části je tato metodika aplikována, kdy na základě získaných výsledků měření dochází k hodnocení způsobilosti měřicí stanice. Pro statistické výpočty je užitý program Q-DAS. Při analýze dat získaných během měření je hledána závislost lisovací síly na sledovaných parametrech procesu.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Způsobilost měření, způsobilost stroje, metrologie, kvalita, měření, lisování, způsobilost lisování, metodika měření</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Běhounek	Name Jiří		
FIELD OF STUDY	N2301 „Department of Machining Technology“			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Pospěch, Ph.D.	Name Zdeněk		
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Measuring methodology proposal and capability testing of measuring machine for the multifunctional actuator.			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	88	TEXT PART	63	GRAPHICAL PART	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Diploma theses focuses on the capability study of the measuring station for the multifunctional actuator. The first part deals with the selection of the methodology for capability study, capability for both, measuring and pressing operations and the related measuring methodology design. Subsequently in the second part, this methodology is applied, where the capability of the measuring station is evaluated on the basis of the obtained measurement results. The Q-DAS software is used for statistical calculations. During the analysis of collected data from the measurement there is sought for the dependence of pressing force on the process parameters.
KEY WORDS	Measuring capability, machine capability, metrology, quality, measuring, pressing, pressing capability, measuring methodology

Obsah

1	Úvod.....	4
2	Měřicí stanice	5
2.1	Způsobilost kontrolních procesů	5
2.1.1	Stanovení standardní nejistoty měření	6
2.2	Představení víceúčelového aktuátoru.....	8
2.3	Měřicí stanice pro víceúčelový aktuátor	10
2.3.1	Měřicí stanice	11
2.3.2	Lisovací stanice	12
2.4	Představení měřidel a zařízení.....	13
2.4.1	Lisovací osa Kistler NCFH	13
2.4.2	Snímač dráhy Keyence GT2-H12K.....	14
2.4.3	Snímač síly Dacell CM-5, CM-10.....	14
2.4.4	Dutinoměr Bowers XT3.....	15
2.4.5	Posuvné měřítko	15
2.4.6	Optický mikrometr Keyence TM-3000.....	16
3	Specifikace požadavků na měření vybraného produktu	17
3.1	Proces měření	17
3.1.1	Měření čepu.....	18
3.1.2	Měření díry	19
3.1.3	Měření lisovací síly.....	20
4	Návrh metodiky měření	21
4.1	MSA analýza	21
4.1.1	Metody hodnocení způsobilosti měřícího systému.....	21
4.1.2	Ovlivnění přesnosti měření	24
4.1.3	Metody hodnocení způsobilosti pro výrobní stroje	26
4.2	Přehled postupu hodnocení způsobilosti.....	27
4.2.1	Způsobilost měřidla	27
4.2.2	Způsobilost stroje.....	28
4.2.3	Příprava měřidel	29
4.2.4	Příprava měření.....	31
4.2.5	Nastavení Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru	33
4.2.6	Vlastní měření součástí VA.....	36

5	Zhodnocení výsledků	38
5.1	Měřicí část	39
5.1.1	Optické měření TM-3000	39
5.1.2	Dutinoměr XT3	43
5.1.3	Posuvné měřítko Mitutoyo ABS AOL řady 500	44
5.2	Lisovací část	47
5.2.1	Rozbor I. oblasti	48
5.2.2	Rozbor II. oblasti	49
5.3	Způsobilost MSVA	52
5.3.1	Způsobilost měřicí části MSVA	52
5.3.2	Způsobilost lisovacího procesu	54
5.4	Korelace lisovací síly vůči rozměrové přesnosti vzorků	55
6	Závěr	56
	Seznam obrázků	60
	Seznam tabulek	62
	Seznam příloh.....	63

Přehled použitých zkratk a symbolů

C_g / C_{gk}	Indexy způsobilosti měřidla
C_m / C_{mk}	Indexy způsobilosti stroje
CMOS	Snímač plošného obrazu
DMC	Maticový 2D čárový kód
ESD	Elektrostatický výboj
HSS	Rychlořezná ocel
MSVA	Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru
RFID	Radiofrekvenční identifikace
VA	Víceúčelový aktuátor
VDA	Německý sdružení automobilového průmyslu

1 Úvod

Zaměření podniku na kvalitu může zásadně zvýšit podíl společnosti na trhu společně s nárůstem celkového zisku tvrdí Phillips a kol. Hypotézu postavili na základě dat uveřejněných v publikaci zabývající se vlivem managementu kvality na podnik. V závěru publikace konstatují, že v dlouhodobém měřítku je vnímání kvality produktů či služeb nejzásadnějším kritériem při porovnání konkurenčních subjektů. Kvalita převyšující konkurenční podniky se projevuje ve dvou časových horizontech. Z krátkodobého hlediska se projevuje vyšším profitem, díky možnosti nasazení prémiových cen, z dlouhodobého se projevuje zvýšeným podílem na trhu. S kontrolou jakosti a prokazováním kvality jsou v každém podniku pochopitelně spojeny významné náklady, proto je nezbytné, aby byl vhodně nastaven systém kontroly.[1]

Diplomová práce bude vypracována pro nejmenovanou společnost zabývající se strojírenskou a elektro-technickou výrobou a s tím související montáží. Konkrétně se jedná o dodávky mechatronických produktů do odvětví automobilového průmyslu. Práce bude zaměřena na skutečný projekt, který je realizován v rámci výrobní sekce závodu, pro potřeby sledování a hodnocení kvality výrobního procesu. V rámci řešené problematiky bude nutné vytvořit a následně aplikovat metodiku pro hodnocení způsobilosti stanice pro kontrolu jakosti dílců před lisováním a následnou způsobilost lisovací části Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru. Měření by mělo identifikovat případný vliv rozměrové přesnosti dílů vstupujících do lisovacího procesu na výslednou lisovací sílu. Taková spojitost je předpokladem k lépe zvládnutému montážnímu procesu. V konečném důsledku by mělo dojít k dosažení vyšší kvality procesu.

Cílem diplomové práce je realizovat návrh metodiky měření pro lisování osičky do víceúčelového aktuátoru na měřicím stroji a následné ověření způsobilosti tohoto měření. Stanice byla navržena dle specifikace zadavatele diplomové práce, přičemž jde o jednoúčelové zařízení.

V první části bude popsáno zařízení, k němuž by měla být metodika vytvořena, jedná se o stroj určený pro kontrolu kvality sériové výroby umístěný v kontrolní laboratoři. V návaznosti na představení stroje bude navržena metodika měření a hodnocení způsobilosti pro měřicí část stanice, stejně jako metodika hodnocení způsobilosti lisovací části stanice. Poté bude navržená metodika aplikována a ověřena na dílech z reálného výrobního procesu, kdy na základě získaných dat by měla proběhnout analýza způsobilosti. Nakonec by měla být provedena analýza vlivu jakosti dílů, které vstupují do lisovacího procesu, na průběh lisovací síly.

Společnost, jakožto zadavatel práce, si nepřeje být v diplomové práci jmenována, neboť zde existuje riziko, že práce bude pracovat s citlivými údaji. Ty mohou být použity k poškození dobrého jména společnosti či ztráty konkurenční výhody oproti ostatním subjektům pracujícím ve stejném odvětví.

2 Měřicí stanice

2.1 Způsobnost kontrolních procesů

Způsobnost měřicího procesu bude stanovena pro měřicí stanici víceúčelového aktuátoru, dále jen „MSVA. Toto zařízení bylo dodáno na zakázku, dle zadávací dokumentace vystavené objednatelem se zaměřením na detailně rozebraný kontrolní proces uvedený níže, který vycházející z výrobního procesu užívaného při sériové montáži. Autor této práce neměl možnost ovlivnit zadávací dokumentaci, tedy ani výběr měřidel či komponent kontrolní stanice. Už během designu bylo předpokládáno, že MSVA bude užívána i pro podobná měření (tj. díly z podobných výrobních procesů či jiné generace produktu), ta však nejsou v této práci zpracována.

Níže je uveden krátký slovník základních technických termínů užívaných v diplomové práci, použitý z důvodu odchylek ve výkladu v některé dostupné literatuře, jež se věnuje problematice nejistot měření a způsobnosti systému měření.

Způsobnost systému měření je schopnost systému měření plnit požadavky na služby s danými kvantitativními charakteristikami při daných vnitřních podmínkách.. Většinou se jedná o sérii krátkodobého měření za účelem stanovení momentální variability systému. [2]

Systém měření je soubor přístrojů nebo měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, softwaru, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke kvantifikaci jednotky měření nebo ke stálému posuzování měřené stěžejní charakteristiky; úplný proces používaný k získání měření. [3]

Měření je souborem úkonů s cílem stanovení hodnoty veličiny. Měřením je tedy myšleno vše, co musí být uděláno tak, aby na ukazateli měřidla byla získaná věrohodná veličina. Do této části patří příprava a kontrola měřidla, případná montáž snímače, nastavení a kalibrace a samotné sejmutí a zpracování signálu.[2]

Etalon je ztělesněním míry. Slouží k přenosu míry na měřidla nižší kategorie. Každý etalon musí být navázán na etalon vyššího řádu a měl by být stálý v čase.

VDA standardy jsou souborem směrnic určených především dodavatelům automobilového průmyslu pro budování systému řízení jakosti podniku. Vydávány jsou německým sdružením automobilového průmyslu (Verband der Automobilindustrie).

Korekce je soubor činností vedoucí ke kompenzaci systematického vlivu. Kompenzace je obvykle prováděna pomocí korekčního činitele obvykle algebraickým součtem.

Kalibrace je souborem činností vedoucích ke stanovení vztahu mezi skutečnými hodnotami reprezentovanými etalony a mezi hodnotami indikovanými daným měřicím systémem za pevně daných podmínek. [2] [3]

Opakovatelnost (výsledků měření) je těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny provedených za stejných podmínek měření. Do podmínek opakovatelnosti se zahrnuje např.: postup měření, operátor, měřidlo aj. [2]

Reprodukovatelnost je shodnost za podmínek reprodukovatelnosti, což jsou takové podmínky, kdy výsledky zkoušek se získají stejnou metodikou na totožných zkoušených dílech v různých laboratořích nebo různými operátory používajícími stejné vybavení. [2] [3]

Nejistota měření je hodnot vztážená, kterou je možné důvodně přiřadit k výsledku měření. Udávána je jako rozptyl hodnot, který lze přiřadit k měřené veličině. Je složena z mnoha složek

a přenáší se mezi navázanými měřidly či etalony. Pro její stanovení je definována metodika uvedená například v příručce VDA 5 – Vhodnost kontrolních procesů. Užívá se jako veřejně respektované vyjádření variability měření. [2] [4]

Zdroje nejistoty měření je nezbytné pochopit při určování nejistoty měření. Kompletní znalost zdrojů by však vyžadovala obrovské množství informací, které mnohdy ani není možné vyjádřit číslem. K výsledku měření musí být vždy přiřazen údaj o nejistotě, přičemž jevy, které tuto nejistotu ovlivňují, jsou označovány jako zdroje nejistoty měření. Není možné všechny zdroje vyjmenovat, avšak níže jsou uvedené některé ze zdrojů:

- nekompletní definice měřené veličiny
- nedokonalá realizace definice měřené veličiny
- nereprezentativní vzorkování (tj. naměřené hodnoty nemusí reprezentovat definovanou měřenou veličinu)
- nedostatečná znalost vlivů okolního prostředí nebo jejich nedokonalé měření
- vliv lidského faktoru při odečítání z analogových měřidel
- omezené rozlišení měřicího přístroje nebo práh rozlišení
- nepřesné hodnoty měřicích etalonů a referenčních materiálů
- nepřesné hodnoty konstant a dalších parametrů získaných z externích zdrojů
- aproximace a zjednodušení obsažené v měřicí metodě a postupu
- změny v opakovaných pozorováních měřené veličiny, která jsou prováděna za zjevně shodných podmínek [5] [6]

2.1.1 Stanovení standardní nejistoty měření

Standardní nejistota dle metody A je vypočtenou hodnotou, kdy se pro zjištění užívá výběrové směrodatné odchytky a počtu měření. Jedná se o metodu zjištěnou opakovatelným měřením stejného znaku.

Standardní nejistota dle metody B je hodnotou stanovenou na základě mezí, kterých může nabývat a rozdělení pravděpodobnosti nabytí dané hodnoty. Tato nejistota není získána statistickým vyhodnocením na základě série měření.

Rozšířená nejistota měření je parametr přiřazený k měření, který odpovídá součinu standardní nejistoty a koeficientu rozšíření. Vzorce pro výpočet uvedeny níže. [7]

Aritmetický průměr výsledků měření

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

Výběrová směrodatná odchytky

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

Standardní nejistota měření dle metody A

$$u(x_i) = \frac{s_g}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Standardní nejistota měření dle metody B

$$u(x_i) = \frac{U_{MP}}{k} \quad (4)$$

$$u(x_i) = a * b \quad (5)$$

Kombinovaná standardní nejistota

$$u(y) = \sqrt{u \sum_{i=1}^n u(x_i)^2} \quad (6)$$

Rozšířená standardní nejistota

$$U_{MP} = k * u(y) \quad (7)$$

kde: n... počet měření

x_i ... výsledek i-tého měření

a... mezní hodnota

b... faktor rozdělení

k... koeficient rozšíření [8]

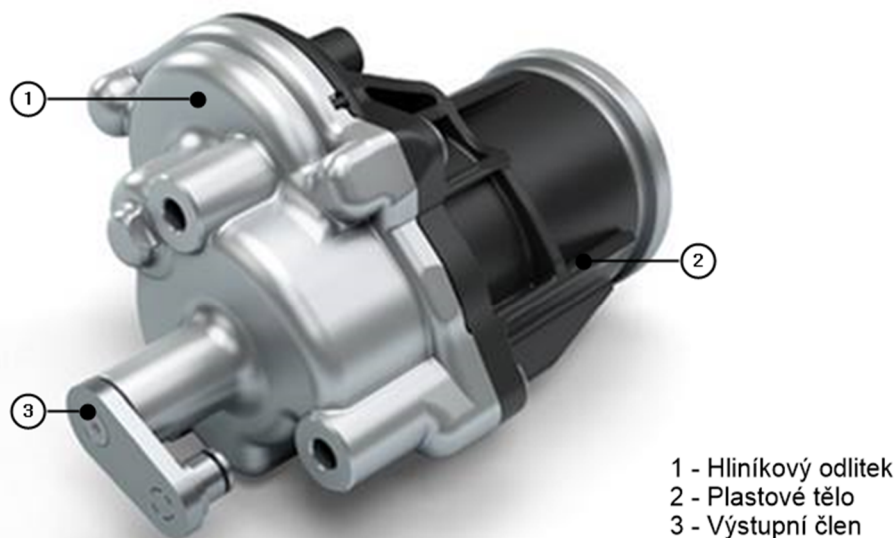
V automobilovém průmyslu se standardně užívá koeficient $k = 3$, který odpovídá intervalu spolehlivosti 99,73%, případně $k = 2$. Hodnoty dle Tab. 1 - Interval spolehlivosti [9].

Tab. 1 - Interval spolehlivosti [9]

Koeficient	1	2	3
Interval spolehlivosti	68%	95,45%	99,73%

2.2 Představení víceúčelového aktuátoru

Oficiální označení měřeného produktu je „General Purpose Actuator“, přičemž v této práci bude užíván český překlad tohoto termínu – víceúčelový aktuátor (zkráceně VA).



Obr. 1 – Víceúčelový aktuátor

Jde o produkt, kde je umístěn elektromotor s převodovým ústrojím, díky němuž je možné na výstupním členu dosahovat velmi přesného pohybu připojených komponent umístěných většinou v sacím systému automobilu. Zařízení je vybaveno zpětnovazebním senzorem pro kontrolu pozice. Možnost natočení výstupního elementu odpovídá rozsahu 0 - 130°. Rozměry obrysového hranolu jsou 180 x 120 x 80 mm, hmotnost nepřesahuje 0,5 kg. Jednotlivé generace produktu se mohou mírně odlišovat, obecně však platí, že elektromotor je umístěn do plastového těla (Obr. 1, položka 2), které je pomocí šroubů upevněno k hliníkovému odlitku (Obr. 1, položka 1). Na rozhraní těchto vnějších plášťů je z vnitřku ještě umístěno převodové ozubení pro převod „dopomala“. Z hliníkového těla vystupuje ocelová páčka (Obr. 1, položka 3), která je užívána jako akční člen připojeného zařízení. VA je obvykle užíváno pro nakládání lopatek turbodmyhadla či pro ovládání škrtecí klapky v sacím potrubí.

Tato práce se týká jedné konkrétní operace, čímž je zalisování čepu pro umístění ozubeného kola. Průměr čepu je $\varnothing 4n6$ při délce 30,7 mm do otvoru $\varnothing 4N6$. Podrobně budou rozměry spolu se souvisejícími tolerancemi rozebrány v pozdějších částech práce.

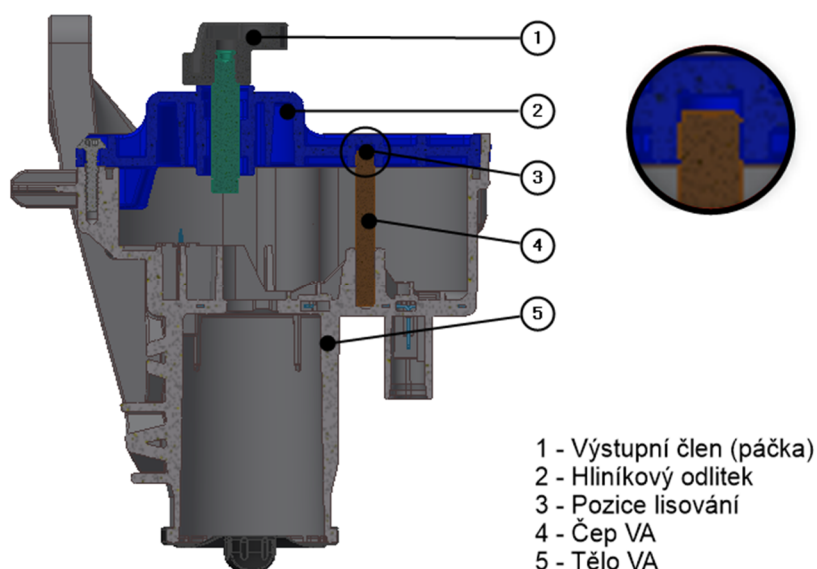
Nevhodná montáž, případně špatná rozměrová přesnost lisovaných komponent, může vést ke kritickému selhání celého funkčního celku, což v prostředí automobilového průmyslu znamená velké náklady spojené s řešením problému. Zde jsou uvedeny potenciální chyby před vstupem do lisovacího procesu na straně lisovaných komponent a následně popsán předpokládaný projev výrobní nepřesnosti v průběhu životního cyklu produktu:

- Házení čepu může způsobit odklon od lineárního průběhu pohybu na výstupním elementu, stejně jako nerovnoměrné zatížení elektromotoru.

- Nedostatečný přesah mezi dírou a čepem může vyústit k uvolnění čepu, což může způsobit špatné lícování ozubených kol. V konečném důsledku tak obvykle dochází k předčasnému opotřebení následovaným zadřením funkčního celku.
- Příliš velký přesah může narušit strukturu plastového dílu (s příměsí 20 – 40 % skelných vláken), což bývá následováno křehkým lomem, případně k lomu dochází při cyklické zátěži, při vibračních zkouškách či v reálném provozu, což je nehorší scénář z pohledu nákladů a nevratnému poškození dobrého jména výrobce.

V sériové výrobě je u této operace jako kritérium správné montáže sledována velikost lisovací síly. Ta je stanovena v montážním předpisu (dosažená hodnota lisovací síly), kontrola rozměrové přesnosti byla přenesena na dodavatele součástí. Takovýto postup ovšem nebyl dostatečně robustní a vznikl požadavek na podrobné sledování výrobního procesu, proto došlo k objednání Měřicí stanice pro víceúčelový aktuátor – stav objednaný pro účely kontroly výrobního procesu.

Měřicí pracoviště bylo navrženo tak, aby bylo možné dosáhnout rozměrové kontroly lisovaného čepu a otvoru pro čep (Obr. 2, pozice 3). Další sledované parametry by měly vycházet z průběhu lisovací síly v závislosti na dráze lisování.



Obr. 2 – Řez víceúčelovým aktuátorem

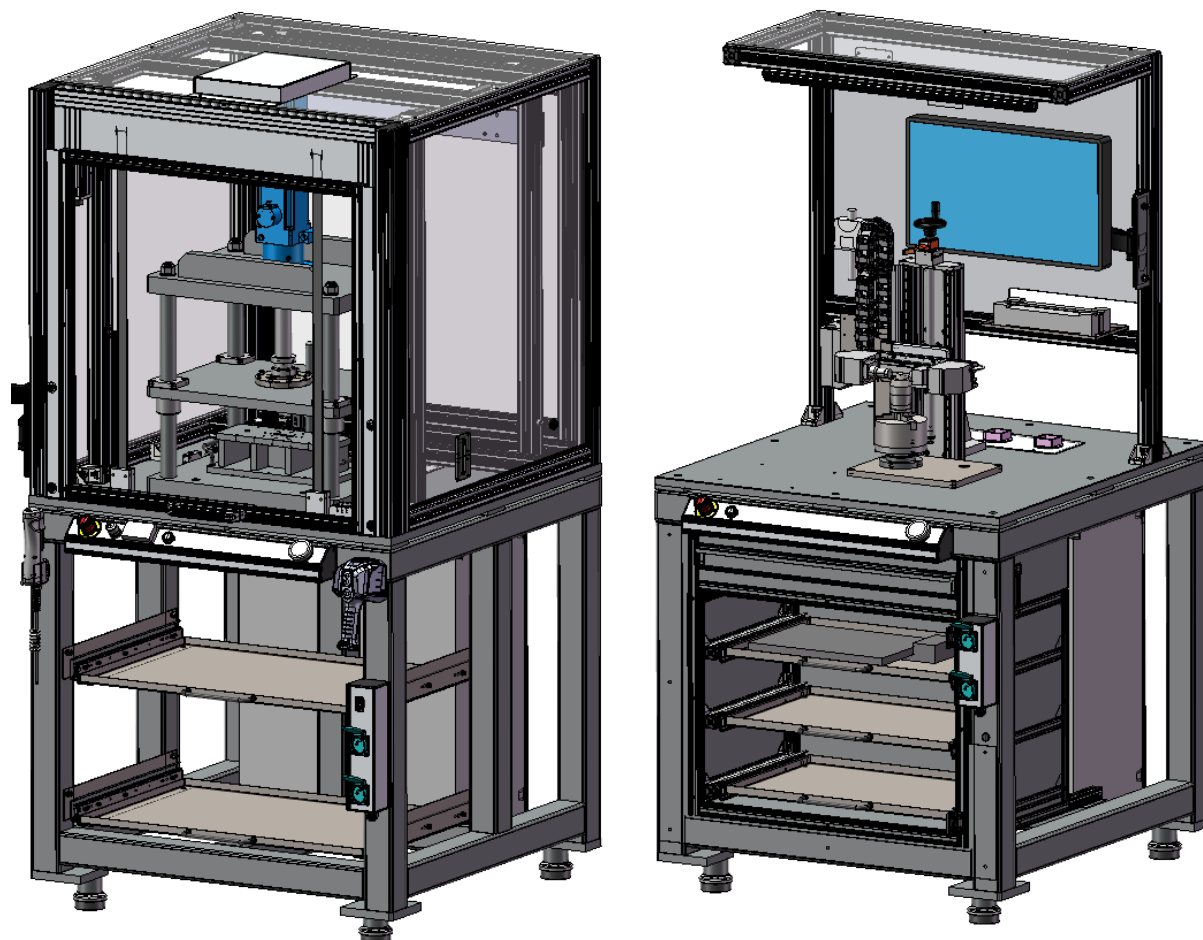
2.3 Měřicí stanice pro víceúčelový aktuátor

MSVA je v této práci popisována jako dvě samostatná pracoviště, i když z funkčního hlediska se jedná o jednu stanici se dvěma hnízdy, přičemž jedno je měřicí a druhé montážní. Vzhledem k logice měřicího procesu a procesnímu toku je jako první stanoviště označena Měřicí stanice, kde dochází k rozměrové kontrole. Druhým pracovištěm je označena lisovací část stanice, kde je následně měřena síla působící při procesu lisování. Ta je zaznamenána do grafu popisujícího vztah síla-dráha, na jehož základě dochází k hodnocení úspěšnosti montáže.

Z hlediska bezpečnosti práce musí stanice splňovat platné bezpečnostní normy, stejně jako vnitropodnikové bezpečnostní předpisy, které tyto normy doplňují. Z tohoto důvodu jsou zde použity bezpečnostní klíčky pro zapnutí ručního módu, čtečky RFID karet či kapacitní tlačítka pro spouštění cyklu, stejně jako nouzová STOP tlačítka. Studie zabývající se ergonomií či racionalizací těchto pracovišť nebyla provedena, neboť se jedná o výběrovou kontrolu sériového procesu.

Součástí stanice je čtečka DMC kódů s minimálním rozlišením 0,1 mm. Díky té je možné propojit naměřené hodnoty přímo s identifikačním číslem produktu, u kterého jsou obvykle zaznamenána data získaná během výrobního procesu.

Obě hnízda pracovní stanice mají samostatné osvětlení, ESD ochranu a pneumatické přípojky pro ofukovací pistoli, případně pro komplikovanější upínací přípravky.



Obr. 3 – Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru

2.3.1 Měřicí stanice

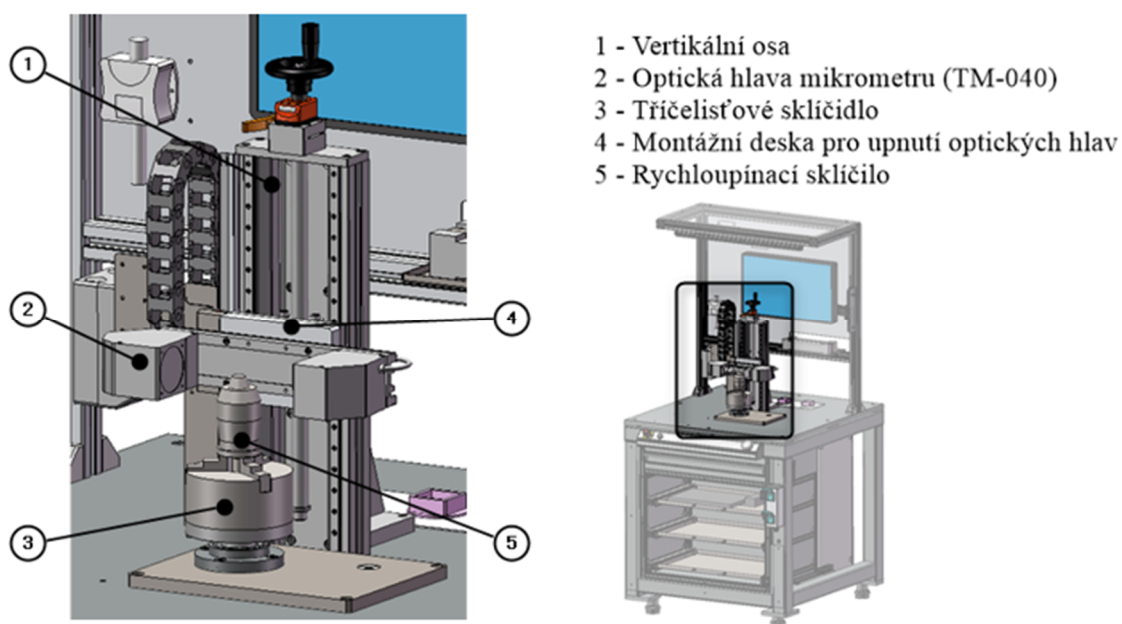
Měřicí stanice je prvním stanovištěm, které slouží pro rozměrovou kontrolu dílců. Jde o stůl, jehož podstava je tvořena svařovanou konstrukcí, na níž je přišroubovaná jemně frézovaná deska z nerezové oceli. Nad touto deskou je umístěna konstrukce ze standardních hliníkových profilů, na kterou je přimontována zobrazovací jednotka (monitor), LED světlo a příslušenství.

Samotné měřicí hnízdo je uchyceno do nerezové desky a tvoří jej především optický mikrometr TM-3000 od firmy Keyence. Toto zařízení má dvě vyměnitelné optické hlavy, TM-040 a TM-006, jejichž specifikace bude rozebrána níže. Optická hlava je šrouby připevněna k vertikální ose s ručním pohonem. Vertikální vedení je vybaveno analogovým odměřováním výšky, klička je vybavena aretací. Tato ruční lineární osa je určena k přestavení pracovní výšky 2D mikrometru, což umožňuje série měření dílců s různou délkou.

K upnutí rotačních součástí slouží tříčelistové sklíčidlo užívané například u konvenčních soustruhů, jež lze doplnit vrtačkovým sklíčidlem určeným pro rychlé upínání dílů, které je součástí příslušenství měřicího stanoviště. Tříčelistové sklíčidlo je poháněno krokovým elektromotorem a umožňuje automatickou rotaci dílce, přičemž lze nastavit rychlost otáčení, případně lze doprogramovat sekvence pootočení (ve stupních) a následné zaznamenání měřených hodnot v obslužném programu. Elektromotor má softwarově omezený krouticí moment a maximální otáčky tak, aby neohrozilo zranění obsluhy při rotaci sklíčidla.

Na monitoru je možné zobrazit měřicí program přímo z řídicí jednotky mikrometru nebo přepnout na vstup z průmyslového počítače. Měřicí software spuštěný z prostředí Windows obsluhuje uživatelsky přívětivější prostředí programu, proto je doporučeno pro užití během měřicího procesu. Program zároveň umožňuje snazší práci s jednotlivými měřicími programy.

Do příslušenství tohoto pracoviště je zahrnut kontaktní dutinoměr Bowers XT3 s měřicími hlavami různých rozsahů a posuvné měřítko Mitutoyo ABS AOS řady 500. Specifikace jednotlivých měřidel bude uvedena v kapitole „Představení měřidel a zařízení“ na straně 13.



Obr. 4 – Měřicí stanice MSVA

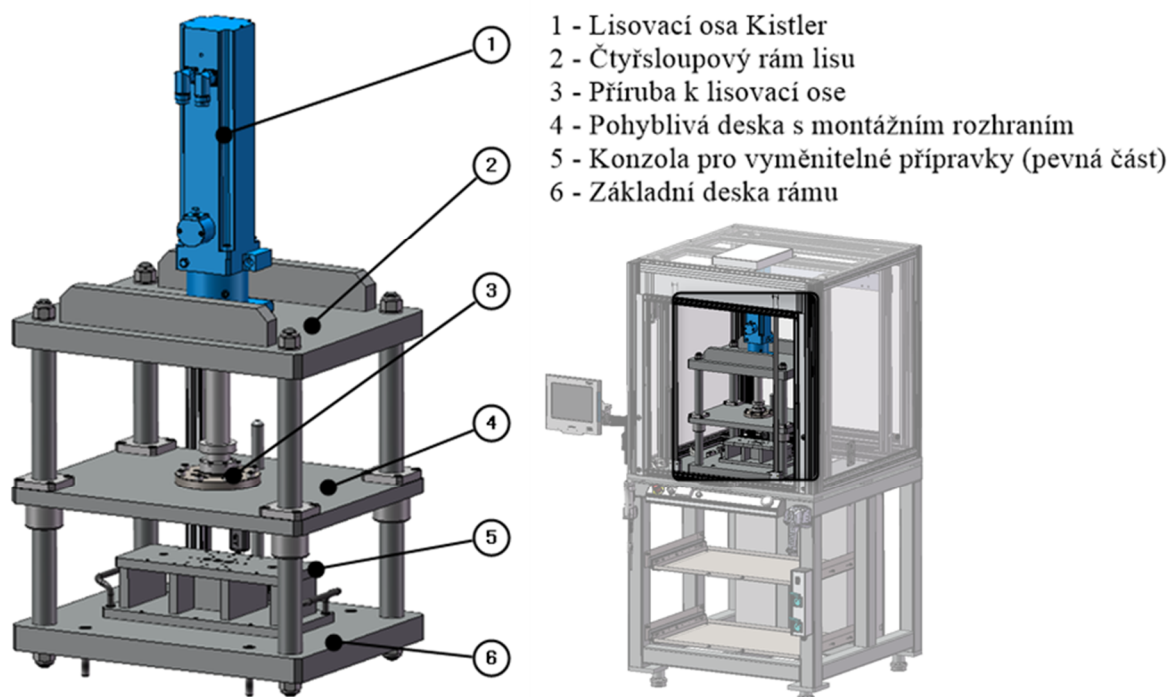
2.3.2 Lisovací stanice

Druhým pracovištěm je lisovací stanice. Spodní část je tvořena svařovaným rámem, na němž je umístěna nerez-ocelová deska. K této základní desce je přišroubován rám lisu se čtyřmi vodícími sloupy, které zastávají roli dostatečně tuhé vedení středové (lisovací) desky. Díky síti montážních otvorů slouží tato deska jakožto univerzální rozhraní pro ukotvení pohyblivé (horní) části přípravku. Základna lisu je opatřena závitovými otvory pro upevnění stacionární části potřebného přípravku.

Celek lisu je poháněn lineární osou se servomotorem (viz. kapitola 2.4.1). Stanice je konstruována pro možnost výměny lineární osy za robustnější typ s vyšší maximální silou a dráhou. Tento případ je uvažovaný do budoucna pro eventuální užití u nových generací stávajícího produktu VA, případně pro procesně podobné montáže. Lisovací rám byl dimenzován pro maximální pracovní sílu 30 kN.

V levé části tohoto zařízení je umístěn dotykový ovládací panel s uživatelským rozhraním společnosti Kistler, na kterém bude prováděno nastavení parametrů lisovacích operací (maximální lisovací sílu, maximální dráhu apod.) v rámci lisovacího programu. Zároveň panel umožňuje zobrazení graf síla-dráha v reálném čase. Nakonec program umožňuje vyhodnocením procesu pomocí parametrů OK / NOK dle nastavených vstupních podmínek.

Lisovací operace jsou potenciálně nebezpečné, proto proces lisování může být spuštěn pouze po uzavření padacího krytu, čímž je zamezeno přístupu do pracovního prostoru či v extrémním případě zasažení operátora odlomenými částmi lisovaného montážního celku při výskytu výrobní vady. Tím zároveň odpadá nutnost vybavit operátora dodatečnými ochrannými pomůckami.



Obr. 5 – Lisovací stanice MSVA

2.4 Představení měřidel a zařízení


Pro každé hodnocení způsobilosti stroje by měla být v první řadě provedena analýza měřidel, na základě které lze získat prvotní představu o vhodnosti kontrolního procesu. V této části budou postupně představena a popsána jednotlivá měřidla a zařízení společně s jejich maximálními dosahovanými přesnostmi dle dokumentace výrobce. Zároveň zde bude i hrubě popsán funkční princip daného jednotky, neboť představa o způsobu fungování přístroje je důležitá pro nastavení vhodného měřicího procesu spolu s předcházením chyb plynoucích z nesprávného užití, používáním v nevhodném prostředí apod. Popisována budou všechna měřidla a zařízení, jež jsou osazena na MSVA.

2.4.1 Lisovací osa Kistler NCFH

Jedná se o lineární pohybovou jednotku poháněnou servomotorem, rotační pohyb motoru je převeden na lineární díky užití převodu kuličkovým šroubem. Tím je dosaženo dobré přesnosti polohování, stejně jako vysoké maximální síly. Tento konkrétní typ umožňuje užití jak pro tlakové operace, tak pro tahové. Jednotka má možnost nastavení dvou silových rozsahů, užití nižšího rozsahu s sebou nese snížení variability naměřené hodnoty silového účinku. [10]

Tab. 2 – Lisovací osa Kistler NFCH 2151B [10] [12]

Název zařízení	Kistler NFCH 2151B	
Silový rozsah	5	kN
	15	kN
Silové rozlišení	0,01	N
Přesnost tenzometru	0,5	% RO
Zdvih	200	mm
Opakovatelnost	0,01	mm
Rozlišení dráhy	0,001	mm
Linearita	≤1	% RO



Odměrování polohy je pro každý NC modul zajištěno integrovaným absolutním enkodérem, kdy na stránkách konkurenčního výrobce lze nalézt informaci o principu fungování daného typu enkodéru. *Každému úhlovému kroku je přiřazen jednoznačný kód. Počet kódů na otáčku určuje rozlišení. Každý kód tvoří jednoznačnou referenci a tím absolutní polohu. Není proto nutná referenční otáčka po zapnutí* [11]. Pro polohu výrobce uvádí opakovatelnost 0,01 mm.

Měření síly je prováděné piezoelektrickým snímačem se dvěma prepínatelnými rozsahy, přičemž přesnost měření je dána procentuální odchylkou z měřicího rozsahu (menší rozsah = menší odchylka). Snímač je zabudován v lisovací ose, zároveň má mechanickou ochranu proti přetížení. Velkým benefitem je jednotnost montážního rozhraní mezi jednotlivými velikostmi, tím je umožněno nahrazení silnější jednotkou. Měřicí stanice je osazena jednotkou NFCH s rozsahem do 15 kN, avšak MSVA je dimenzována na užití jednotky s maximální pracovní silou 30 kN. Pro upevnění lisovací jednotky je možné využít přírubové montáže (závitové otvory na přírubě) nebo zahlučené díry pro šrouby s válcovou hlavou pro montáž z boku. V případě MSVA je využita přírubová montáž do horní desky lisovacího rámu, díky čemuž jsou šrouby významně namáhány pouze na tah. Jako klíčový prvek lisovacího systému slouží maXYmos NC, který monitoruje a řídí celý lisovací proces. Systém je vybaven


intuitivním dotykovým displejem a integrovaným sekvenčním řízením. Dokáže zaznamenávat, vyhodnocovat a ukládat XY křivky pro lisovací procesy. Mezi výhody systému patří možnost tvorby až 128 nezávislých programů s maximem 10 vyhodnocovacích prvků zaznamenaných v 8 000 měřicích bodech pro každou křivku. [10] [12]

2.4.2 Snímač dráhy Keyence GT2-H12K

Keyence GT-2 je čidlo pro přesné kontaktní odměřování. Měření probíhá v jedné ose, kdy táhlo se standartním dotekem pro úchylkoměry je po kontaktu s měřeným povrchem zatlačováno do těla snímače. Zde dochází k odtlačení křemenného sklíčka, na němž je zhotovena stupnice. CMOS senzor s rychlou odezvou odečítá inkrementální hodnoty ze stupnice. Skleněná stupnice je užita z důvodu minimalizace nepřesnosti vlivem elastické deformace vlivem silového působení, stejně jako minimalizace teplotních vlivů. [13]

Tab. 3 – Snímač dráhy Keyence GT2-H12K [13]

Název měřidla	Keyence GT2-H12K	
Rozsah	12	mm
Rozlišení	0,0001	mm
Indikovaná přesnost	0,001	mm
Přítlačná síla	0,8-1	N
Vzorkovací frekvence	1	ms
Životnost	20 mil.	cyklů




U typu H12K je pro vedení táhla užito kuličkové pouzdro, ke kterému se váže deklarovaná životnost 20 milionů cyklů. Tělo snímače je vybaveno LED diodou pro indikaci stavu měření. Pro uchycení snímače je určena broušená válcová plocha z oceli pod plastovým tělem snímače, stejně jako je tomu běžné u standartních úchylkoměrů. [13]

2.4.3 Snímač síly Dacell CM-5, CM-10

Pro dodatečné měření silového účinku budou ke stanici dodány dva externí tenzometry Dacell CM (číslice označuje maximální sílu v kN). Tělo snímače je tvořeno ocelovým válcem s kompaktními rozměry $\varnothing 51 \times 26$ mm pro oba detekční rozsahy. Měřidlo funguje na principu piezoelektrického jevu, tzn. ve chvíli, kdy je piezoelektrický krystal stlačen, generuje elektrické napětí, to je průběžně měřeno a vyhodnocováno. Tento snímač není nutné používat jako zástavbový, avšak síla musí působit v ose tenzometru. V opačném případě může dojít ke dvěma projevům, buďto ke zkreslení měření, v horším případě ke znehodnocení snímače. [14]

Tab. 4 – Tenzometr Dacell CM-5 / CM-10 [14]

Název měřidla	Dacell		
	CM-5	CM-10	
Rozsah	5	10	kN
Linearita	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	% RO
Hystereze	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	% RO
Opakovatelnost	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	% RO
Vliv teploty	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	% RO / 10°C




2.4.4 Dutinoměr Bowers XT3

Jde o ruční měřidlo, které není přímo integrováno do Měřicí stanice. Třídotekový digitální dutinoměr Bowers XT3 je určený pro kontrolu vnitřních otvorů v rozmezí $\varnothing 2-10$ mm. Takto široký rozsah je umožněn díky vyměnitelným měřicím hlavicím, přičemž vyhodnocovací jednotka dutinoměru stačí jedna pro určitou kombinaci rozsahů (hlavic). Maximální hloubka měření je daná zvolenou hlavou, v sadě SXTD1M má každá hlavice individuální maximální hloubku měření, u větší sady $\varnothing 6-10$ mm je maximální hloubka měření stejná pro obě hlavice. Výrobce udává, že doteky jsou odtlačovány konstantní silou a díky třem dotekům umístěných pravidelně po 120° dochází během měření k samovolnému vycentrování hlavice. Pro průměry $\varnothing 2-6$ mm jsou dodány hlavice pouze se dvěma doteky proti sobě. Zároveň k tomuto měřidlu přísluší nastavovací kroužky, vždy jeden pro každou hlavici, $\varnothing 3,999$ mm byl změřen na délkoměru akreditovanou laboratoří. Dutinoměr je vybaven LCD displejem a umožňuje uložení až tří předvoleb („nulových hodnot“). Přenos dat lze provádět bezdrátově pomocí Bluetooth, případně přes sériovou komunikaci RS-232C neboli COM port. [15]

Tab. 5 – Dutinoměr Bowers XT3 [15]

Název měřidla	Bowers XT3	
Indikovaná přesnost	$\pm 0,004$	N
Rozlišitelnost	0,001	mm
Rozsah sady SXTD1M	$\varnothing 2-6$	mm
Maximální hloubka měření	9-18	mm
Rozsah sady SXTD3M	$\varnothing 6-10$	mm
Maximální hloubka měření	58	mm




2.4.5 Posuvné měřítko

Součástí vybavení MSVA je posuvné měřítko, což je měřidlo určené pro ruční měření délky. Přesnost měření pro tento typ měřidla je udávána jako $\pm 0,02$ mm, jelikož výsledek měření je možné přímo ovlivnit přítlačnou silou či nesprávnou pozicí měřicích doteků vůči kontrolovanému objektu. Měřidlo je vybaveno hloubkoměrem, kdy zásadní vliv pro shodnost výsledku má kolmost posuvného měřítka vůči základní rovině měření, neboť opěrná plocha pro měření hloubkoměrem je malá a tím se zvyšuje riziko naměření nepravé hodnoty. [17]

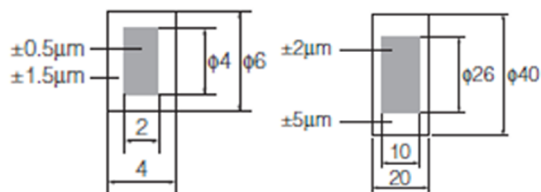
Tab. 6 – Posuvné měřítko Mitutoyo ABS 500-181-30 [16] [17]

Název měřidla	Mitutoyo ABS 500-181-30	
Rozsah	150	mm
Přesnost měření	$\pm 0,02$	mm
Rozlišení	0,01	mm



2.4.6 Optický mikrometr Keyence TM-3000

Pro kontrolu vnějších rozměrů je v měřicí části stanice zabudován optický mikrometr. Zařízení sestává z řídicí jednotky (TM-3000) a dvou optických hlav (TM-006/TM-040) lišících se především měřicími parametry. K řídicí jednotce je nutné připojit optickou hlavu dle požadované přesnosti a maximální velikosti snímané oblasti dané součásti, přičemž stanice je koncipována tak, aby byla současně připojena pouze jedna měřicí hlava. Na Obr. 6 lze nalézt výňatek z manuálu věnující se udávané přesnosti měření pro jednotlivé optické hlavy. Nákres rozděluje snímanou oblast objektivu na zónu blízko středu objektivu, kde je sledovaná součást identifikována s vyšší přesností oproti vnější oblasti, kde je dosahovaná přesnost 2,5x až 3x nižší. V základním datovém listu je uvedena pouze přesnější hodnota ze dvou hodnot, avšak při prozkoumání manuálu lze nalézt dodatečné informace o nižší přesnosti. Optická hlava je složena z vysílače a přijímače, vysílač je tvořen InGAN LED diodou (směs plynů indium-galium-dusík) a na druhé straně CMOS čip na který dopadá vysílané zelené světlo. Mezi emitorem a dopadovou plochou je soustava čoček rozptylujících světelné paprsky před měřeným objektem a následně shlukujícím na dopadovou plochu přijímače tvořeného opět soustavou čoček a foto-citlivým senzorem. Díky tomuto jevu je možné docílit zaclonění jednotlivých bodů čipu umístěného na přijímači a tím lze vyhodnotit siluetu sledovaného objektu. Zařízení používá zelené světlo, které není pro lidský zrak nebezpečné. Důležitým parametrem, který je při měření nutné nastavit uvádí manuál parametr „threshhold“. Tento parametr nastavuje citlivost přechodu mezi zacloněnými a osvětlenými body CMOS čipu, která je přímo ovlivněna typem materiálu, barvou povrchu a drsností povrchu (tj. odrazovými vlastnostmi sledované součásti). [18]

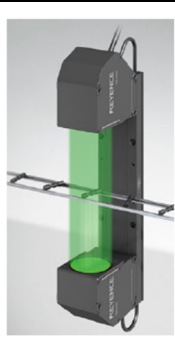


Obr. 6 – TM-3000 udávaná přesnost měřidla dle velikosti snímané oblasti [18]

Pro zajištění opakovatelného založení při výměnách jednotlivých měřících hlav nejprve dochází k založení zařízení na dva válcové kolíky a následně upevnění pomocí čtyř šroubů s válcovou hlavou (velikost závisí na typu hlavy). Pro nejmenší měřicí hlavu je používán adaptér (deska s otvory pro šrouby), která kompenzuje nižší vzdálenost objektivu vůči podstavě oproti hlavě TM-040, tím je docíleno udržení stejné polohy objektivu vůči ose tříčelst'ového sklíčovla i při výměně optické hlavy.

Tab. 7 - Optický mikrometr Keyence TM-3000 [18]

Název optické hlavy	TM-006	TM-040	
Rozsah	Ø 6	Ø 40	mm
Nejmenší detekovaný objekt	0,04	0,3	mm
Vzdálenost vysílač přijímač	60	180	mm
Přesnost měření	±0,5*	±2*	μm
Opakovatelnost	±0,06*	±0,15*	μm
Rozlišení	0,01	0,01	μm
Snímací frekvence	5,5	5,5	ms



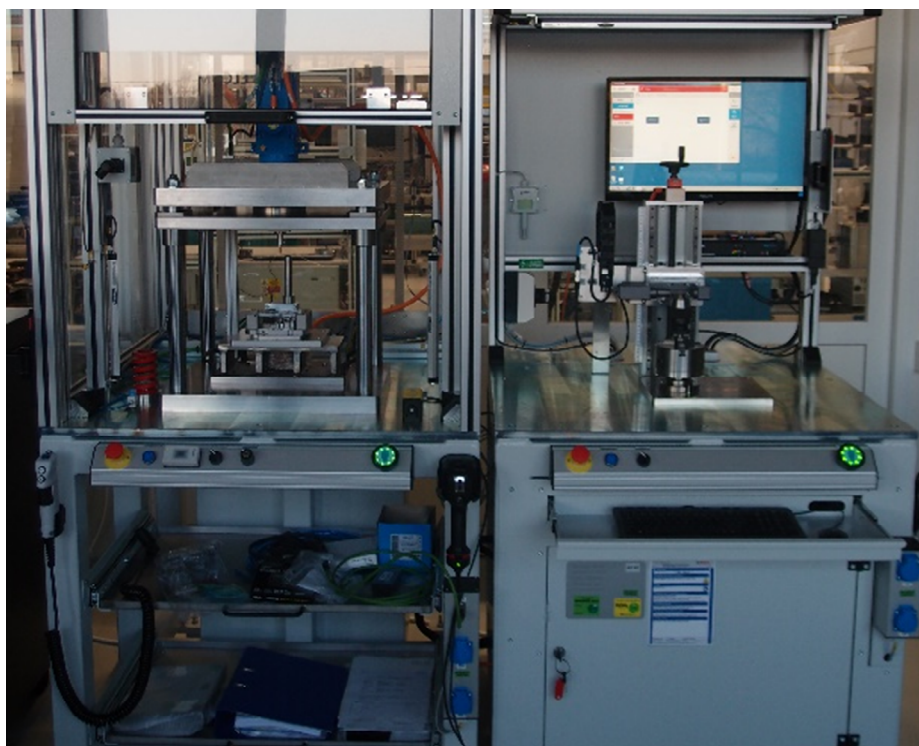
3 Specifikace požadavků na měření vybraného produktu

Společně se zpřísňujícími se požadavky v automotive především z pohledu kvality procesů a produktů, jsou naměřená data používána stále ve větší míře. Na základě sběru parametrů a následných analýz dochází k seřizování výrobních procesů, především dle výstupů ze statistických regulací. Dalšími možnostmi použití zmíněných dat je hledání významné závislosti mezi dvěma či více proměnnými, která přímo ovlivňuje výrobní proces, ať už v dlouhodobém či krátkodobém měřítku. Jako příklad lze uvést závislost lisovací síly na měřeném funkčním rozměru součástí montážního celku, kdy nízká lisovací síla s největší pravděpodobností znamená malý přesah mezi díly nebo malou hloubku zalisování. Tento faktor může v pozdějších fázích životního cyklu produktu vést k uvolnění daného spoje, čímž může dojít k znehodnocení celého funkčního celku (např. zalisovaný čep se uvolní z pouzdra a dojde ke kritickému selhání mechanismu).

V následující části bude popsán proces měření pro MSVA včetně předpokládaného toku materiálu, pro který byla stanice navržena. Ergonomické hledisko nebude hodnoceno ani diskutováno, neboť stanice při uvolnění výrobní dokumentace byla schválena zaměstnancem odpovědným za bezpečnost a ergonomii práce.

3.1 Proces měření

Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru byla navržena tak, aby umožnila plynulý tok materiálu. Jak již bylo zmíněno, stanice je rozdělena na měřicí (vpravo) a lisovací část (vlevo). Zde probíhá v reálném čase měření snímaných lisovacích parametrů. Tok materiálu je navržen tak, aby po naskladnění vzorků mohly být umístěny se stolem vedle MSVA. Po levé i pravé straně stanice je volný prostor pro zásobu dílů připravených pro měření (vpravo) i těch již změřených (vlevo). Logika procesu měření vychází z umístění jednotlivých pracovních hnízd, tj. zprava doleva.



Obr. 7 – MSVA v prostoru laboratoře

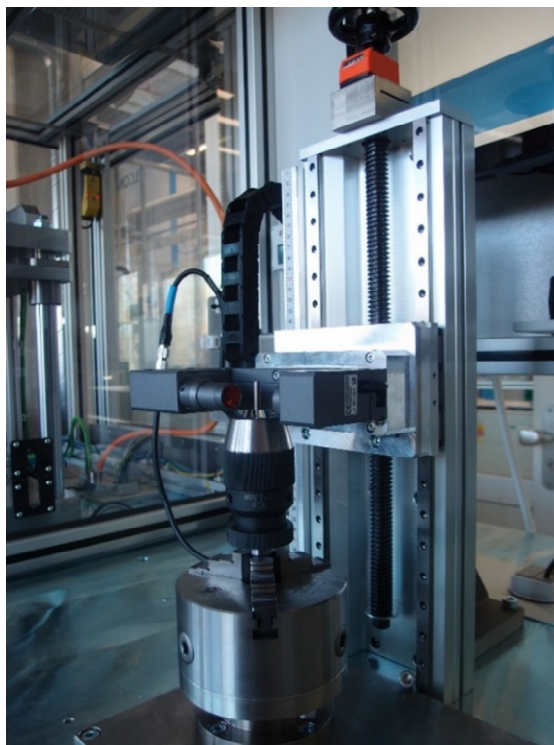
3.1.1 Měření čepu

Měření čepu VA bude realizováno v měřicí části, měřicí hnízdo (Obr. 8) umožňuje pro upnutí využití tříčelistového nebo rychloupínacího sklíčidla. Volba upínače by měla být učiněna dle rozměru měřeného objektu a očekávaných geometrických odchylek. Upínač je silně univerzální, co se týče rozměru upnutého dílu, neboť při konstrukci MSVA byl uvažován předpoklad, že stanice bude užita v budoucích fázích i pro produkty s podobnou charakteristikou. Pro čep VA bude užíváno univerzální rychloupínací sklíčidlo. Při průměru $\varnothing 4$ mm umožňuje tento upínač pohodlné založení. Pokud by bylo potřeba hodnotit geometrické úchytky, měl by být zvolen jiný typ upínače.

Tab. 8 – Sledované znaky čepu VA [19]

	Jmenovitá hodnota	Tolerance	Šíře tolerance	Měřidlo
Průměr [mm]	$\varnothing 4m6$	+0,012 +0,004	0,008	Keyence TM 006
Délka [mm]	30,7	$\pm 0,3$	0,6	Mitutoyo ABS AOL ř. 500
Rádus [mm]	0,3	$\pm 0,2$	0,4	Keyence TM 006
Úhel náběhu [°]	15	$\pm 2,5$	5	Keyence TM 006

Měření probíhá na funkční části čepu (tzn. té části, která bude zalisována), tomu je nutné uzpůsobit upnutí. Vzhledem k požadované přesnosti měření je nezbytné součást očistit technickým lihem, aby byly odstraněny všechny nečistoty. Upnutí měřeného objektu musí být následováno přestavením optické hlavy do pracovní pozice tak, aby na displeji byla dobře vidět požadovaná oblast kontroly.



Obr. 8 – Měřicí hnízdo

Po přestavení optické hlavy do správné pozice měření začíná volbou programu (pro každý projekt by měl být užitý samostatný program). V obslužném softwaru je možné nastavení až 15 samostatných programů s 15 měřeními výstupy v každém programu, případně lze doprogramovat načítání z externího úložiště. Při každém měření bude nutné dvakrát strojně pootočit o 120° sklíčidlem (3 body po 120°). K nastavení rotace slouží aplikace ovládající elektromotor, ve které je možné definovat úhlový krok a rychlost otáčení. Aplikace je součástí instalace na obslužném počítači. Z tohoto vyplývá užití 3 bodů měření, které by měly umožnit dostatečné množství informací k hodnocení průměru. Požadavek na měření válcovitosti není součástí požadavků kontroly.

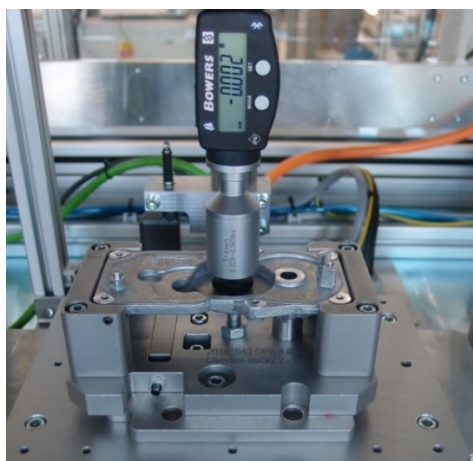
V další fázi proběhne ruční měření posuvným měřítkem pro zaznamenání délky čepu VA. Měření délky proběhne 3x pro eliminaci případné chyby, přičemž zaznamenána bude průměrná hodnota. V případě výskytu extrému je nutné provést měření znovu 3x. Poté je možné přesunout se k měření na dalším stanovišti. Čep víceúčelového aktuátoru musí být jednoznačně identifikovatelný, např. DMC kód, popisek aj.

3.1.2 Měření díry

Měření vnitřních otvorů proběhne v lisovacím hníždě. Pro měření díry je nutné mít odlitek založený v základacím lůžku lisovacího přípravku, které jej částečně fixuje a usnadňuje práci s měřidlem. Při otevřeném padacím krytu nehrozí zranění pracovníka, protože lis je odpojen od elektrického proudu a zajištěn elektromagnetickou brzdou.

Tab. 9 – Sledované znaky odlitku VA [19]

	Jmenovitá hodnota	Tolerance	Šíře tolerance	Měřidlo
Průměr [mm]	∅4N6	-0,005 -0,013	0,008	Bowers XT
Hloubka [mm]	8,5	+0,12 -0,02	0,14	Mitutoyo ABS AOL ř.500



Obr. 9 – Měření vnitřního průměru

Po založení odlitku je možné provést měření průměru otvoru pomocí dutinoměru s příslušnou hlavicí. Měřidlo je nejprve nutné vynulovat pomocí nastavovacího kroužku a ověřit správné nastavení nulové hodnoty opětovným přeměřením. V případě, že hodnota odpovídá, je možné pokračovat samotným měřením otvoru v odlitku. Aby bylo možné získat relevantní informaci

o kruhovitosti otvoru, musí být měření realizováno alespoň ve třech polohách vůči sobě pootočených o 120°, ideálně by mělo být provedeno aspoň ve dvou výškách, avšak hloubka otvoru neumožňuje výrazný rozdíl mezi jednotlivými měřícími řezy.

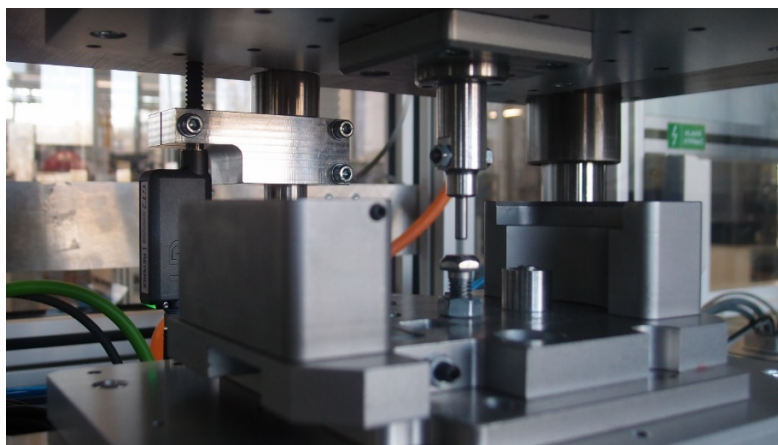
Nakonec na tomto stanovišti bude provedeno měření hloubky díry. Měření je vhodné provést 3x pro eliminaci náměru extrému. V případě výrazného odchýlení některé z tří měřených hodnot je nutné provést měření dílu znovu. Na tuto operaci je určeno posuvné měřítko s hloubkoměrem a digitálním odměřováním. Variabilita měření je však výrazně zatížena vyšší náchylností k nevhodnému náklonu hloubkoměru vůči ose otvoru vzhledem k malé opěrné ploše hloubkoměru posuvného měřítka. Proto musí být operátor obeznámen s touto problematikou a s tím související nejistotou měření.

3.1.3 Měření lisovací síly

Pro měření lisovací síly je nutné nejprve vložit odlitek do zakládacího lůžka, založení by mělo proběhnout hladce bez použití síly. V opačném případě pravděpodobně došlo k chybě v procesu volbou špatného přípravku, zakládání nevhodných dílů nebo v extrémním případě nedodržení tolerancí odlitku (neshodou dílu). Dále bude založen čep do horní části přípravku, tzn. vsunut do příslušné zděře, kde dochází k zajištění odpruženými elementy. Následným krokem je odstartování připraveného programu v prostředí Kistler, který je nastaven dle montážního předpisu VA.

Tab. 10 – Sledované znaky lisovacího procesu [19]

	Jmenovitá hodnota	Tolerance	Šíře tolerance	Zařízení
Lisovací síla [N]	3250	±250	500	Kistler NFCH



Obr. 10 – Sestava lisovacího přípravku

Nezbytnou součástí lisovacího procesu je ověření sousosti obou částí lisovacího přípravku, tato kontrola musí proběhnout před začátkem měření. Přípravek je umístěn na adaptérové desce a pomocí přesných strojních čepů vždy opakovaně založen do stejné pozice. V opačném případě je možné na přípravku využít stavěcích šroubů, které svým přestavením umožňují pohyb ve dvou osách. Pokud všechny předchozí kroky proběhly, je možné odstartovat strojní cyklus příslušným tlačítkem. Po úspěšné montáži je nezbytné díly vyndat ze stroje a vložit do příslušné krabice pro OK díly. Neúspěšná montáž musí být řešena individuálně dle nastalé situace.

4 Návrh metodiky měření

Víceúčelový aktuátor je zařízení užívané v automobilech, což do užití metodiky měření vnáší požadavek na respektování norem respektovaných v automobilovém průmyslu. Způsobnosti (vhodnosti) měřícího procesu se věnují především dvě metodiky užívané v automobilovém průmyslu. První z těchto metodik je vydávána pod záštitou německé skupiny VDA (Sdružení automobilového průmyslu), konkrétně VDA 5 – Vhodnost systému měření. Tato metodika se věnuje nejistotám měření, postupům k jejich stanovení a nakonec zhodnocení vhodnosti systému měření na základě rozšířené nejistoty měření. Ta bývá užívána především pro laboratorní stroje. Druhým užívaným přístupem je metodika vycházející z MSA analýzy, ta je vydávána pod záštitou původně americké AIAG (Akční skupina automobilového průmyslu). MSA analýza je obecně užívána pro měření v sériové výrobě, kdy probíhá mnoho měření na stejných nebo podobných dílech. Tato metodika se zabývá především celkovou variabilitou systému měření, která se v měřícím procesu projevuje jako odchylka naměřené hodnoty od té skutečné. [3] [8]

Pro návrh metodiky měření bude použit soubor postupů publikovaný v MSA analýze, neboť Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru je užívána pro kontrolu sériového výrobního procesu. Půjde o velké množství stejných nebo velmi podobných dávek dílů, tzn. dlouhodobé měření stejných parametrů velmi podobných hodnot.

4.1 MSA analýza

Metodika MSA je výrazně užívána napříč automobilovým průmyslem, vznikla okolo roku 1990 sloučením interních norem automobilek GM, Ford a Chrysler. Tento čin byl motivován nesourodostí jednotlivých firemních předpisů, která přímo zvyšovala náklady pro jednotlivé články dodavatelského řetězce. Metodika vznikla pod záštitou AIAG (Automotive industry action group) a ASQ (Americká společnost pro jakost).

Analýza systému měření (Measurement System Analysis) je metodika užívaná pro hodnocení variability měření. Cílem tohoto souboru metod je snížení variability měřícího systému pro dosažení co nejlepších výsledků měřícího systému. Výstupem analýzy systému měření je hodnocení způsobilosti pro daný systém, které udává, zda je daný celek vhodný k použití pro sledované měření při předpokladu stálých podmínek měření. Pro hodnocení užívá analýza systému měření ukazatele způsobilosti (např. C_g , C_{gk} , C_m , C_{mk} , C_p , C_{pk}), případně ukazatele vycházející z analýzy rozptylů (např. GRR, PV, ndc).

4.1.1 Metody hodnocení způsobilosti měřícího systému

Níže budou představeny jednotlivé metody hodnocení způsobilosti pro měřidla dle dokumentů MSA a vnitropodnikových směrnic. Uvedeny budou tři metody, kdy první je určená pro předběžné hodnocení, neboť se jedná o relativně rychlé měření. Ostatní vyžadují delší přípravu a jsou celkově komplexnější. Tím je dána hlavní nevýhoda, tj. jsou více nákladné.

a) Metoda opakovatelnosti a strannosti

Pro měření opakovatelnosti a strannosti je nutné provést měření, kdy dojde minimálně k 25 měřením známého kusu s pevně definovaným rozměrem (tj. etalon). Na základě tohoto měření je možné určit jak opakovatelnost, tak strannost měřícího systému. Dále je možné na základě tohoto výpočtu určit minimální šíři tolerančního pásma pro daný systém měření. V této práci bude užitá metoda opakovatelnosti a strannosti jako počáteční ověření měřidla. Jedná se o rychlou metodu s relativně nízkými náklady. Tento postup však nehodnotí vliv a kvalitu jednotlivých měřených dílů či vliv operátorů. [5]

Opakovatelnost je dána vztahem:

$$C_g = \frac{0,2 * T}{6 * s_g} \quad (8)$$

Strannost je dána vztahem:

$$C_{gk} = \frac{0,1 * T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 * S_g} \quad (9)$$

Kritérium způsobilosti měření:

$$C_g \geq 1,33 \mid C_{gk} \geq 1,33 \quad (10)$$

kde: T... šíře tolerančního pásma
s_g... směrodatná odchylka
c... ukazatel způsobilosti
 \bar{x}_g ... průměr naměřených hodnot
x_m... hodnota etalonu [5]

b) Analýza rozptylů s vlivem operátora

Tato analýza bude použita jako následná u měřidla, které prokázalo způsobilost metodou opakovatelnosti a strannosti. Používá se pro měřidla, u nichž nelze vyloučit ovlivnění měření operátorem. Dobrým příkladem je užití posuvného měřítka, kdy operátor vlivem přítlačné síly, kterou působí na měřítko, může ovlivnit naměřenou hodnotu. Pro tuto analýzu je potřeba minimálně 10 dílů, 2 operátoři a 3 série měření, příslušné koeficienty (ovlivněné počtem dílů, operátorů a měření) je možné nalézt v přílohách příručky MSA. Vyšší počty dílů, operátorů a sérií měření umožňují lepší poznání měřícího systému, avšak taková analýza bude nákladnější. [3] [5]

Opakovatelnost:

$$EV = \frac{\bar{R}}{K_1} \quad (11)$$

Rozptyl průměrných hodnot

$$\bar{X}_{DIFF} = Max \bar{X} - Min \bar{X} \quad (12)$$

Reprodukovatelnost (opakovatelnost operátora)

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2) * \left(\frac{EV^2}{(n * r)}\right)} \quad (13)$$

Opakovatelnost a reprodukovatelnost

$$GRR = \sqrt{EV^2 * AV^2} \quad (14)$$

Rozpětí průměrných hodnot

$$R_p = Max \bar{R}_i - Min \bar{R}_i \quad (15)$$

Variabilita dílu

$$PV = R_p * K_3 \quad (16)$$

Celková variabilita

$$TV = \sqrt{GRR^2 * PV^2} \quad (17)$$

Počet rozlišovaných tříd

$$ndc = \sqrt{2} * \frac{PV}{GRR} \geq 5 \quad (18)$$

kde: $\bar{\bar{R}}$... průměr naměřených rozpětí
 \bar{X} ... průměr měření jednoho operátora u více sérií
 \bar{X}_{DIFF} ... rozptyl průměrných hodnot
 K_1 ...koeficient závislý na počtu měření
 K_2 ...koeficient závislý na počtu operátorů
 K_3 ...koeficient závislý na počtu dílů
 n ... počet dílů
 r ... počet měření
 \bar{R}_i ... průměr pro díl [3]

Kritérium způsobilosti měření:

Tab. 11 – Kritérium způsobilosti měřidla [5]

$GRR \leq 10\%$	Systém měření je způsobilý.
$10\% \leq GRR \leq 30\%$	Systém měření je podmíněčně způsobilý.
$30\% \leq GRR$	Systém měření je nezpůsobilý

c) Analýza rozptylů bez vlivu operátora

Tuto metodiku je možné použít pouze v případě, kdy je možné z principu měřicího procesu vyloučit jakýkoliv vliv operátora na výsledek měřicího procesu. Typickým příkladem jsou vysoce automatizovaná pracoviště, kde měření probíhá bez účasti operátora, k manipulaci s díly jsou užívány víceosé manipulátory nebo je poloha dílu pevně daná zakládacími přípravky. Při užití této metody je nutné mít minimálně 25 sériových dílů, které lze opakovaně měřit. Měření by mělo probíhat za působení všech vlivů, které budou probíhat i při standardním měřicím procesu. Tyto díly musí být změřeny minimálně ve dvou sériích tak, aby při každé další sérii měření byla dodržena podmínka náhodného pořadí.

Kritérium způsobilosti měření je užitě stejně jako u metodiky pro analýzu rozptylů s vlivem operátora dle Tab. 11 – Kritérium způsobilosti měřidla [5]

Opakovatelnost:

$$EV = \frac{\bar{\bar{R}}}{K_1} \quad (19)$$

Rozptyl průměrných hodnot:

$$\bar{X}_{DIFF} = Max \bar{X} - Min \bar{X} \quad (20)$$

Opakovatelnost a reprodukovatelnost:

$$GRR = EV \quad (21)$$

Rozpětí průměrných hodnot:

$$R_p = Max \bar{R}_i - Min \bar{R}_i \quad (22)$$

Variabilita dílu:

$$PV = R_p * K_3 \quad (23)$$

Celková variabilita:

$$TV = \sqrt{GRR^2 * PV^2} \quad (24)$$

Počet rozlišovaných tříd:

$$ndc = \sqrt{2} * \frac{PV}{GRR} \geq 5 \quad (25)$$

4.1.2 Ovlivnění přesnosti měření

V části věnované nejistotám měření bylo upozorněno na faktory vstupující do měřicího procesu, které se přirozeně promítnou jako variabilita měřicího systému. Níže jsou uvedeny okolnosti, které byly identifikovány jako hlavní. Nelze vyloučit, že některé ovlivňující faktory chybí, neboť jak již bylo uvedeno v dřívější části práce, popis všech ovlivňujících činitelů by požadoval nekonečné množství znalostí o daném systému.

a) Vliv mechanických nepřesností měřicího systému

Výrazným ovlivňujícím faktorem pro měřicí systém jsou mechanické nepřesnosti v měřicí části MSVA. Zde při vizuální a funkční kontrole jednotlivých segmentů byly označeny potenciální chyby přenositelné do měřicího procesu.

- **Vertikální lože**, k němuž je uchycena měřicí hlava optického mikrometru, je určené k přestavení měřidla do výšky dle měřeného objektu. Primárně by tato výška měla zůstat konstantní, avšak v případě přestavení vertikální pozice je znatelné vychýlení od osy sklíčidla. Tato výchylka je způsobena pravděpodobně odchylkou kolmosti vůči základní desce měřicí části MSVA, ta je dle katalogu udávána jako 0,5 mm. Dalším aspektem je vůle rovnoběžnosti dvou vodících vozíků, která je uvedena jako 0,3 mm. Z těchto dat vyplývá, že při změně výšky dojde ke změně polohy vůči ose sklíčidla. Při aplikacích zahrnujících pouze měření průměru (tzn. vzdálenost strany vůči straně) žádné ovlivnění nehrozí, neboť tato vzdálenost by měla zůstat neovlivněna. Problém by však nastal při požadavku na hodnocení geometrických úchylek vycházejících od osy sklíčidla jako je házení, válcovitost apod. [20]
- **Tříčelist'ové sklíčidlo TOS IUS 125/3-2 M1** je hlavním upínačem určeným pro upnutí rotačních dílců. Při strojním pootáčení bylo sledováno házení samotného sklíčidla. Dle dokumentace je výrobcem stanovené házení 0,04 mm při upnutí obrobku o průměru $\varnothing 80$ mm stanovené dle normy DIN 6386. Tento upínač je další komplikací případného užití optického mikrometru pro hodnocení geometrických úchylek (házení aj.)

Vlivem součtu geometrických odchylek a pravděpodobně i chybné montáže dochází při upnutí čepu o průměru $\varnothing 5,5$ mm k vychýlení mimo zorné pole měřicí hlavy optického mikrometru. Na tomto zjištění lze konstatovat součet všech nepřesností za příliš zásadní. [21]

b) Vliv operátora

Nejsnáze identifikovatelnou příčinou variability je pracovník obsluhující stanici, respektive provádějící měření. Pro názornější rozdělení bude podrobně rozebrána každá měřící operace zvlášť.

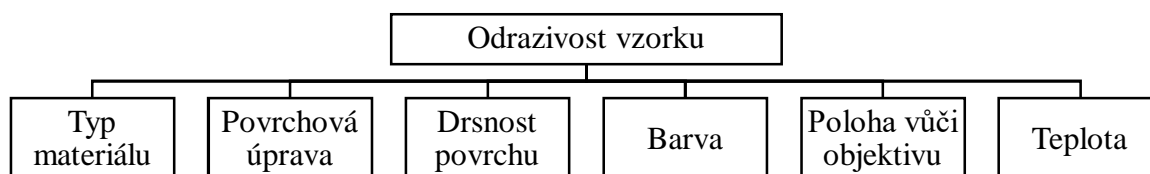
Tab. 12 – Stanovení vlivu operátora dle měřící operace

Číslo	Název operace	Měřidlo	Vliv operátora	Odůvodnění
1	Měření průměru, rádiusu a sražení čepu VA	TM-3000 TM-006	NE	U optického mikrometru z principu měření nemůže být způsobeno ovlivnění pracovníkem obsluhy, neboť pouze zaznamenává automaticky naměřenou hodnotu.
2	Měření délky čepu VA	Mitutoyo ABS AOL ř.500	ANO	Používáno je ruční měřidlo, kdy pracovník může ovlivnit výsledek měření. Použitím různé přítlačné síly či naklopením měřících ploch vůči měřeným může měnit hodnotu zobrazenou na měřidle.
3	Měření průměru díry odlitku VA	Bowers XT3	ANO	Používáno je ruční měřidlo, kdy pracovník může ovlivnit výsledek měření různým naklopením měřidla vůči ose otvoru.
4	Měření hloubky díry odlitku VA	Mitutoyo ABS AOL ř.500	ANO	Používáno je ruční měřidlo, kdy pracovník může přímo ovlivnit výsledek měření naklopením měř.

c) Vliv prostředí

Zatímco vlivy uvedené v předcházejících bodech jsou poměrně snadno identifikovatelné a většinou i jednoduše měřitelné, v kategorii vlivu prostředí není jednoduché daný činitel popsat či změřit. Většinou je potřeba hluboké analýzy pro definování dané proměnné.

- **Odrazivost**, tedy množství světla na materiál dopadajícího vůči množství světla odraženého. Odrazivost měřeného objektu může být ovlivněna širokým množstvím aspektů, přičemž zde jsou uvedeny ty hlavní.



Obr. 11 – Odrazivost vzorku a její činitele

- **Teplota** patří mezi standardně vnímané faktory ovlivňující výsledky měření. Pro koncové měřky i válečkové kalibry existují převodní koeficienty publikované výrobcí, které korigují změnu sledovaného rozměru součásti vlivem nárůstu či poklesu teploty.

4.1.3 Metody hodnocení způsobilosti pro výrobní stroje

Pro kvantitativní hodnocení výrobního stroje byly zavedeny ukazatele způsobilosti C , stejně jako při hodnocení způsobilosti měření se užívají. Dle této metodiky se jedná o indexy C_m , C_{mk} . Proces je zkoumán krátkodobě, za použití relativně nízkého počtu dílů ($25 \leq n$), přičemž je předpoklad, že v krátkém časovém horizontu budou vnější podmínky ovlivňující variabilitu výrobního systému stálé a proto se projeví pouze variabilita způsobená strojem. [22] [23] [24]

Ukazatel způsobilosti výrobního stroje C_m

Tento ukazatel reprezentuje výrobní přesnost stroje, přičemž je dán podílem intervalu tolerance daného produktu vůči x -násobku směrodatné odchylky (závisí na požadavku spolehlivosti intervalu). [25]

$$C_m = \frac{HMR - DMR}{6 * S_g} \quad (26)$$

Ukazatel způsobilosti výrobního stroje C_{mk}

Pro C_{mk} je nezbytné vybrat nižší ze dvou vypočtených hodnot, buď horní hranice mezního rozměru ponížena o průměrnou hodnotu, nebo průměrnou hodnotou poníženu o dolní mezní rozměr. Nižší z těchto hodnot je dělena trojnásobkem směrodatné odchylky a je ukazatelem způsobilosti. [25]

$$C_{mk} = \frac{\min[HMR - \bar{x}_g ; \bar{x}_g - DMR]}{3 * S_g} \quad (27)$$

Kritérium způsobilosti procesu

S přihlédnutím k současnému nastavení podnikových standardů je nutné respektovat požadavek na zvýšenou hodnotu C_m , C_{mk} při hodnocení n . V automobilovém průmyslu se jedná o relativně častý jev. [23] [24] [25]

Když $n \geq 50$:

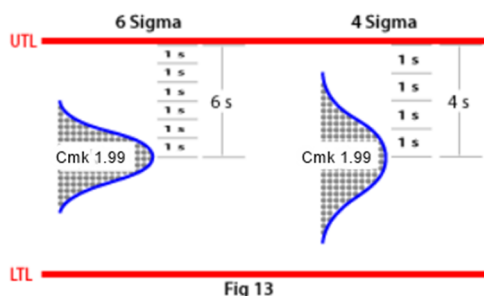
$$C_m \geq 1,67 \mid C_{mk} \geq 1,67 \quad (28)$$

Když $50 \geq n \geq 25$

$$C_m \geq 1,99 \mid C_{mk} \geq 1,99 \quad (29)$$

6 sigma

Jedná se o filozofii kvality procesu, užívanou především v automotive. Cílem je minimalizovat zmetkovitost produktů snižováním variability procesu. Konkrétně se jedná o podmínku, kdy poloha střední hodnoty musí být vzdálena minimálně šestinásobek směrodatné odchylky od horní či dolní hodnoty tolerance. [26]

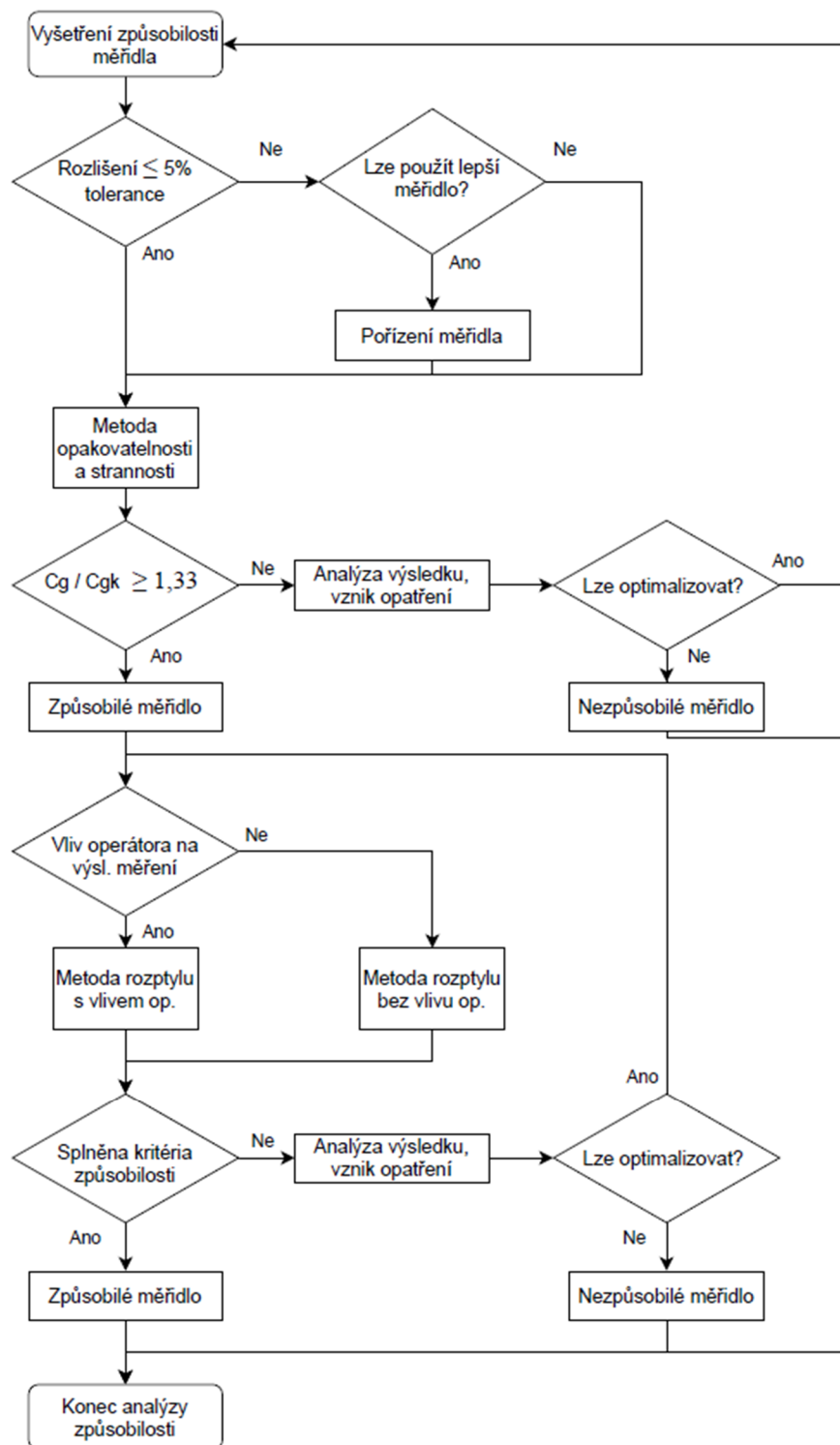


Obr. 12 – Vztah C_{mk} vůči 6s [26]

4.2 Přehled postupu hodnocení způsobilosti

Níže jsou uvedeny postupové diagramy pro analýzu způsobilosti měřidel nebo strojů. Oba vycházejí z přístupů uvedených v předchozích kapitolách, kde jsou podrobně popsány jednotlivé postupy a požadavky z nich vycházející.

4.2.1 Způsobilost měřidla

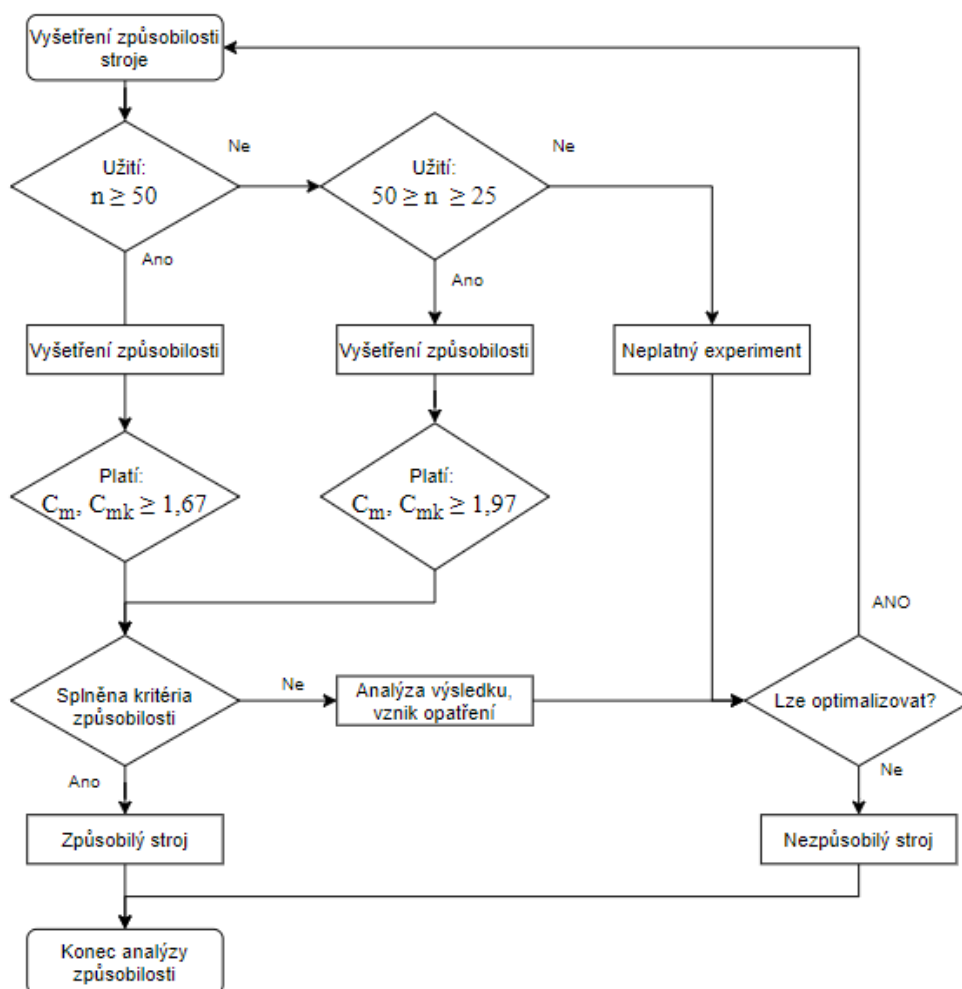


Obr. 13 – Způsobilost měřidla – postupový diagram [23] [24] [25]

Tab. 13 – Metodika hodnocení měřidel

Č.	Název operace	Zařízení	Postup a)	Postup b)	Postup c)	Popis
1	Měření průměru, rádiusu a sražení čepu VA	Optický mikrometr	ANO	NE	ANO	Postup a) 25 měření etalonu Postup c) 3 série měření, 25 vzorků, 1 operátor
2	Měření délky čepu VA	Posuvné měřítko	ANO	ANO	NE	Postup a) 25 měření etalonu Postup b) 2 série měření, 10 vzorků, 2 operátoři
3	Měření průměru díry odlitku VA	Dutinoměr	ANO	ANO	NE	Postup a) 25 měření etalonu Postup b) 2 série měření, 10 vzorků, 2 operátoři
4	Měření hloubky díry odlitku VA	Posuvné měřítko	ANO	ANO	NE	Postup a) 25 měření etalonu Postup b) 2 série měření, 10 vzorků, 2 operátoři

4.2.2 Způsobilost stroje



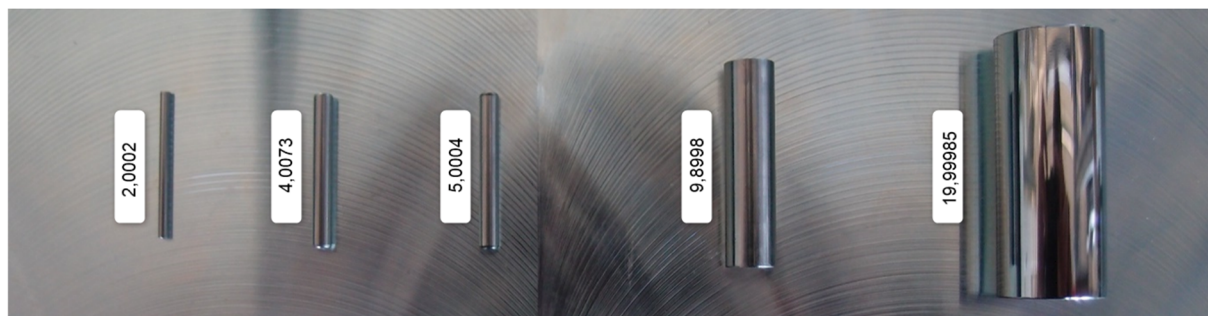
Obr. 14 - Způsobilost stroje – postupový diagram [23] [24] [25]

4.2.3 Příprava měřidel

Před započítím měření je nezbytné ověřit správnou funkci měřidel, což bude provedeno hodnocením způsobilosti dle výše uvedené metodiky.

Válcové etalony

Aby mohla kalibrace optického měření proběhnout, je nezbytné zajistit etalony v dostatečném množství a požadované přesnosti. K MSVA byly dodány 4 válečkové měřky s kalibračním listem z certifikované laboratoře. Z důvodu snahy o užití zlatého kusu jako bylo změřeno v měrové laboratoři 6 čepů shodných s těmi, které jsou určeny k lisování. Z těchto kusů byl vybrán čep s nejmenší úchytkou válcovitosti a následně používán jako etalon.



Obr. 15 – Válcové etalony

Keyence TM-3000

Pro optický mikrometr není známa reálná variabilita měření, je dostupná pouze informace z manuálu o maximální dosažitelné přesnosti. Jak bylo popsáno výše, optické měření má dvě hlavice o rozlišných parametrech. Pro každou z nich proběhne hodnocení způsobilosti zvlášť.

Keyence TM-006

Pro ověření způsobilosti této optické hlavy budou užity válečkové měřky (viz. Tab. 14). Z dat uvedených v tabulce lze vidět, že odchylka u čepu určeného pro lisování je 17x vyšší oproti ostatním etalonům, což je možné považovat jako předpoklad nevhodného etalonu. Kalibrační list pro čep 4 mm uvádí nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotu na čepu, což umožňuje využít při měření úvrať, při které bude měřidlo ukazovat nejnižší hodnotu. Tím by měla být značně snížena nejistota měření způsobená odchylkou válcovitosti.

Tab. 14 – TM-006 - užití etalony

Jmenovitá hodnota	Skutečná hodnota	Odchylka +/-	Rozšířená nejistota měření	Nejistota kalibrace etalonu
2	2,0002	0,0001	0,0004	0,0006
4	4,0073	0,0017	0,0004	0,0016
5	5,0004	0,0001	0,0004	0,0006

(hodnoty uvedeny v mm)

Během měření průměru při užití „zlatého kusu“ (změřeného čepu VA) budou nastaveny dvě průběžná měření, jedno měření bude zobrazovat aktuální hodnotu (snímkovací frekvence 0,033 s), druhá maska bude indikovat průměr z 256 hodnot (8,4 s). Úvrať s nejmenším rozměrem čepu bude nalezena pomocí aktuální hodnoty, do záznamového archu však bude uvedena hodnota z druhé masky. Toto měření však může být silně zatíženo chybou operátora,

kdy není možné dokonale přesně nalézt pozici při které je indikován nejmenší rozměr. Z důvodu snahy o eliminaci této chyby bude úvrať hledána 3x, následně zaznamenána průměrná hodnota z těchto tří měření. Tímto dodatečným postupem by mělo být zajištěno významné snížení variability výsledku vlivem obsluhy. Výsledek měření bude porovnán s hodnotami získanými při použití hlavy TM-040.

Keyence TM-040

U této optické hlavy bude použit stejný postup jako pro TM-006. Pro tuto hlavu je však možné využít i dalších dvou etalonů vyšších nominálních hodnot. Rozměry válečků reprezentují nominální rozměry dílů, které by měly být na stroji měřeny. Celkem proběhne 5x 25 měření (vyhodnocených z 256 hodnot), zároveň pro tento případ je dostupných pět známých normálů, čímž je možné vyhodnotit průběh chyby skrz rozsah měřidla.

Tab. 15 – TM-040 - užití etalony

Jmenovitá hodnota	Skutečná hodnota	Odchylka +/-	Rozšířená nejistota měření	Nejistota kalibrace etalonu
2	2,0002	0,0001	0,0004	0,0006
4	4,0073	0,0017	0,0004	0,0016
5	5,0004	0,0001	0,0004	0,0006
9,9	9,8998	0,0006	0,0004	0,0016
20	19,9985	0,00005	0,0005	0,0006

(hodnoty uvedeny v mm)

Lineární snímač GT2

Měřidlo není užito během procesu lisování čepu VA, proto v rámci hodnocení způsobilosti Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru nebude zahrnuto do vyhodnocení. S přihlédnutím k velké pravděpodobnosti užití tohoto měřidla v případě budoucích projektů bude níže uveden postup pro ověření. Snímač je zároveň opatřen kalibračním štítkem, přičemž zde existuje předpoklad, že vlivem montáže do MSVA nebyl poškozen, neboť upínání je realizováno na příslušné válcové ploše, do držáku určenému k upínání úchylkoměrů.

Pro otestování funkčnosti snímače by měly být užity koncové měrky pro ověření funkce na začátku a konci měřícího rozsahu (viz. Tab. 16.). Měrka bude vsunuta mezi dotek snímače a referenční plochu (desku lisu), přičemž vzhledem k orientaci snímače je nutné měrku ručně přiložit k referenční ploše a přidržet. Sledována bude indikovaná hodnota, kdy odchylka od koncové měrky nesmí přesáhnout 2 μm . Měření proběhne 3x s každou měrkou kvůli snížení rizika chyby. Případná způsobilost by měla být hodnocena postupem opakovatelnosti a poté analýzou rozpětí a rozptylu.

Tab. 16 – GT2 - doporučené etalony [17] [27]

Jmenovitá hodnota	Skutečná hodnota	Odchylka +/-
1	1,001	0,0006
8,5	8,502	0,0006
10	9,999	0,0007

(hodnoty uvedeny v mm)

Lisovací osa Kistler NCFH

Zařízení podléhá externí kalibraci výrobce. Z důvodu ověření správné funkce je doporučeno před začátkem série měření při odstávce, která bude trvat déle než 3 směny, provést níže uvedené zkoušky funkčnosti.

a) Kontrola nárůstu síly při dojetí „na nulu“ (spodní deska přípravku)

Postup, kdy bude lisovací osa naprogramována tak, aby jela pracovním posuvem do kolize se zakládacím přípravkem takovým způsobem, aby došlo k nárůstu síly při kontaktu s podpěrou lisování. Program musí mít nastavené okrajové podmínky, aby nedošlo k poškození měřícího celku. Doporučená maximální síla pro tento test je 50 N.

b) Připojení tenzometru Dacell CM

Kontrola rozdílu indikované hodnoty tenzometru a snímače síly lisovací osy při vzájemném silovém působení. Rozdíl hodnot musí být do 10%. Pro tuto kontrolu je doporučeno zkonstruování speciálního přípravku obsahujícího pevné dorazy, jenž zamezí destrukci tenzometru Dacell při špatném nastavení programu.

Dutinoměr Bowers XT3

Kalibrace dutinoměru a všech měřících hlav proběhla akreditovanou měřicí laboratoří, proto není nutné realizovat před měřením. Pro kontrolu správné funkce bude dutinoměr kontrolován na změřeném nastavovacím kroužku. Dojde k nastavení nulové hodnoty na nastavovacím kroužku 3,999 mm a poté k následnému měření dle metodiky způsobilosti měřidla, tedy nejprve měření opakovatelnosti a nakonec analýza rozptylů.

Posuvné měřítko Mitutoyo ABS AOL řady 500

I když posuvné měřítko nese kalibrační štítek z interní měřicí laboratoře, je nutné ověřit způsobilost měřidla. Pro potřeby hodnocení způsobilosti bude užitá koncová měřka délky 8,5 mm, poté reálné díly.

4.2.4 Příprava měření

Aby měření mohlo proběhnout, je nezbytné celý proces pečlivě naplánovat, a tím získat možnost předejít neočekávaným problémům. V první fázi je nutné vytipovat díly, které budou použity pro měření. Následně budou díly vyzvednuty, jednoznačně označeny tak, aby bylo možné provést zpětnou identifikaci po zalisování. Dále je nutné mít připravena všechna měřidla a etalony, které budou užitá pro plánované měření. U optického měření je doporučeno nechat zařízení 30 minut stabilizovat pro ideální výsledné hodnoty.

Během celého procesu měření je nezbytné monitorovat teplotu a vlhkost, neboť nominální hodnoty etalonů jsou navázané k teplotě a vlhkosti příslušných kalibračních listů. V případě rozdílných teplot mezi kalibrační laboratoří a měřicí je nutné hodnoty kompenzovat.

Dodatečně užitá měřidla

V Tab. 17 jsou uvedena měřidla, jež budou užitá nad rámec Měřicí stanice. Jedná se o měřidla podléhající podnikové kalibraci.

Tab. 17 – Dodatečně užitá měřidla

Název měřidla	Výrobce	Označení	Rozsah	Přesnost
Vlhkoměr	Testo	608-H1	-20 / +50 °C	±0,5 °C
			10 / 90 %	±3 %

Vytipování dílů z procesu

Z důvodu přípravné fáze sériové výroby budou pro měření využity díly z procesu stavby vzorků. Díly byly naskladněny ze dvou sérií, nejprve 17 kusů, o 40 dnů později dodatečně 9 kusů. Dále došlo k zajištění kusů demonstrující nevyhovující stav čepu VA, tzn. jeden kus pod dolní toleranci, druhý kus nad horní toleranci.

Jelikož je nákladné obstarat zušlechtěné čepy v požadovaných rozměrech a požadované jakosti povrchu, bylo rozhodnuto o užití válcových stopek HSS spirálových vrtáků. Vybrány byly vrtáky o velikosti 4,2 a 4,4 mm, předběžné měření posuvným měřítkem ukázalo rozměry stopek 3,95 a 4,15 mm. Nakonec došlo k odříznutí pracovní části vrtáků úhlovou bruskou a zaoblení hran tohoto řezu na stojanové brusce. Uvažována byla i možnost ovlivnění optického měření popisem velikosti na stopce vrtáku, avšak je zde realizován laserový popis, přičemž riziko ovlivnění bylo zanedbáno.

Zajištění dílů pro měření

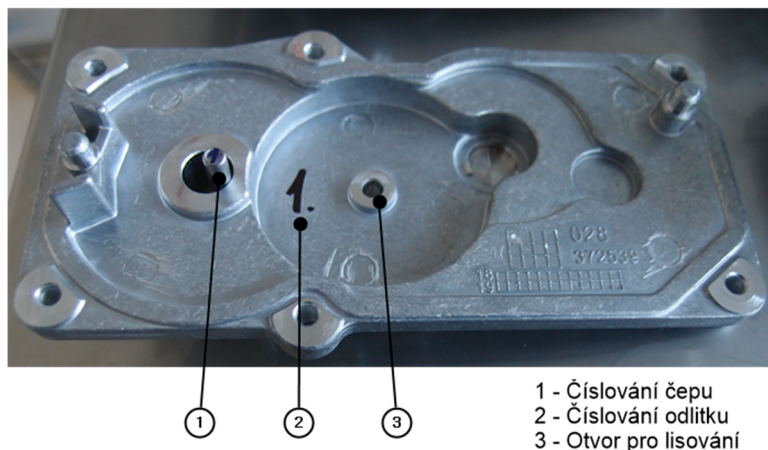
Pro potřeby ověření způsobilosti byly vyzvednuty následující díly. Z důvodu rané fáze projektu se jedná o vzorky z testovací fáze výrobního procesu:

- 17 + 9 odlitků ze dvou různých výrobních dávek (oddělení stavby vzorků)
- 17 + 9 čepů ze dvou různých výrobních dávek (oddělení stavby vzorků)
- 1 díl pod dolní toleranci - $\varnothing 3,95$ HSS čep
- 1 díl nad horní toleranci - $\varnothing 4,15$ HSS čep
- Etalony pro jednotlivá měřidla

Označení jednotlivých dílů

Díly byly řádně označeny z důvodu snadné identifikace pro potřeby záznamového archu stejně jako pro jednoduché následné spárování odlitků a čepů pro lisování.

- Odlitky číslovány na viditelné ploše (blízko měřeného otvoru)
- Čepy číslovány na čele



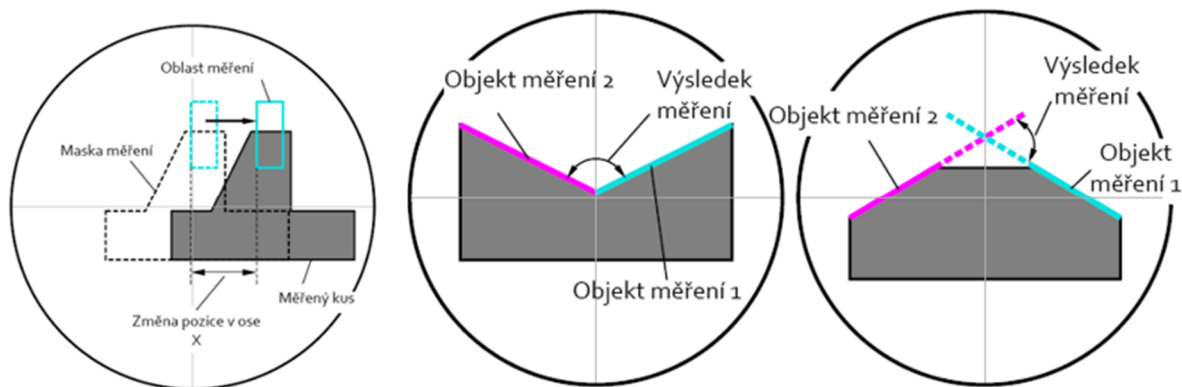
Obr. 16 – Značení jednotlivých součástí montážního celku VA

4.2.5 Nastavení Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru

Měřicí stanice

Před finálním započítím měření bylo nutné připravit MSVA. Pro optické měření byla vybrána hlava TM-006, došlo k usazení hlavy na kolíky, přišroubování k vertikálnímu loži a následné zapojení příslušného konektoru. Zásadní je, aby byl zdroj pro optický mikrometr odpojený v době připojení měřicí hlavy, jinak dochází k chybě komunikace mezi optickou hlavou a vyhodnocovací jednotkou, kterou lze řešit pouze restartem stroje (případně odpojení zdroje v rozvaděči).

V této části bude nastíněn hrubý popis nastavení optického mikrometru, pro podrobný popis je nutné využít manuál zařízení TM-3000. První krok pro nastavení měření je tvorba měřicí masky, což znamená nastavení měřicího cyklu v obslužném softwaru Keyence TM-Navigator. Nejprve je nutné do programu nastavit základní informace o použité měřicí hlavě, zde je možnost načíst nastavení z optické hlavy nebo z paměti obslužného softwaru. Jakmile jsou tyto informace vyplněny, přijde řada na registrování vzoru. Tím je myšleno vytvoření vzorového záznamu (snímek kontury), poté je možnost nastavit korekce polohy k určitým hranám. Bez této funkce by bylo nutné při každém měření buď dokonale přesně trefit pozici založení jako u původního kusu (masky) nebo vždy nastavit nový program. Zjednodušeně lze říci, že funkce pracuje s vytyčenou oblastí, ve které program hledá hranu z registrovaného vzoru buďto ve směru osy „x“, „y“ nebo v obou osách. Možné je i nastavení úhlové korekce, ale vzhledem k požadovaným měřením není užití nutné. Následným krokem je nastavení jednotlivých objektů měření. [18]

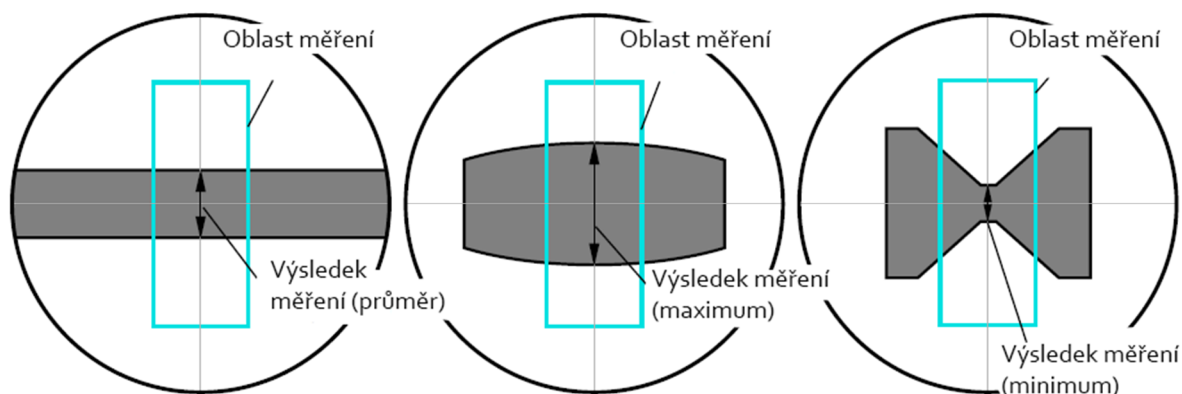


Obr. 17 – TM-3000 korekce pozice a měření úhlu [18]

Pro měření rádiusu je v programu TM-Navigator předdefinována funkce. Uživatel musí definovat oblast, ve které se rádius nachází, poté zvolit měření vnitřního či vnějšího rádiusu. Software následně proloží nalezenou křivku ležící v definované oblasti vepsanou kružnicí, ze které je vypočten poloměr. Měření rádiusu proběhlo s rozlišením 0,001 mm. Měření úhlu (Obr. 17) probíhá opět uživatelsky přívětivě, nejprve je nutné ve funkci prvek (element) nadefinovat sledované hrany. Poté je nutné obdélníkovým oknem na vzoru označit oblast s hranou (element 1), ve druhém výběrovém okně dojde k vybrání druhé hrany (element 2). Nakonec dojde k vybrání funkce měření úhlu mezi elementem 1 a 2. Pro měření bude užito rozlišení 0,01°. [18]

Měření průměru (Obr. 18) je pro nastavení tím nejjednodušším. Je potřeba definovat oblast, ve které se nacházejí dvě rovnoběžné hrany. Při správném nastavení mezi nimi program automaticky zobrazí spojnici (kolmice na osu těchto dvou hran) a změří její délku. Hodnota průměru není vyjádřena v „x“ nebo „y“ hodnotách, ale přepočítána na hodnotu vycházející

z normály od osy. Nakonec je nutné vybrat, jestli výsledná hodnota bude nejmenší, střední nebo největší průměr. Zvoleno bylo zobrazení hodnoty střední, protože pouze ta reprezentuje většinový stav povrchu (cílem měření není najít extrém o šířce jednoho mikronu). Pro měření průměru byla nastavena dvě měření ve stejné oblasti, přičemž pro první měření bylo nastaveno rychlé vyhodnocení, tzn. vyhodnocení ze 4 hodnot, pro druhé vyhodnocení z 256 hodnot (cca 8,5 vteřiny čas sběru signálu). Rozlišení bylo nastaveno na $0,01 \mu\text{m}$. [18]

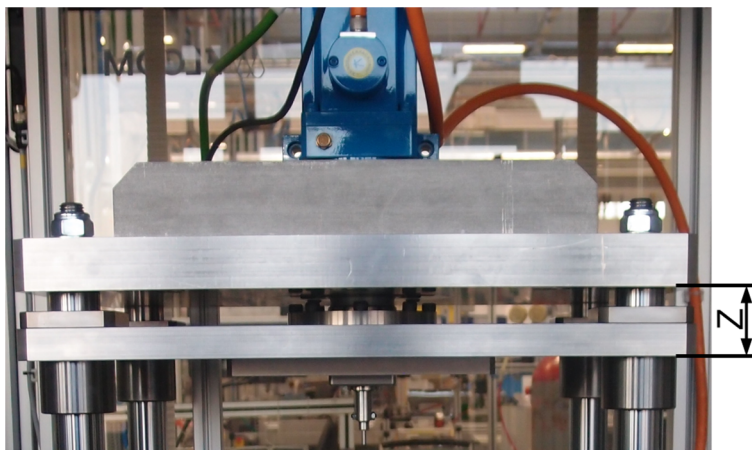


Obr. 18 – TM-3000 měření průměru [18]

Lisovací stanice

Při nastavení programu pro lisovací operace se vyskytlo několik technických nedostatků MSVA. Zde budou jednotlivé problémy popsány a uveden postup seřízení vedoucí k jejich řešení.

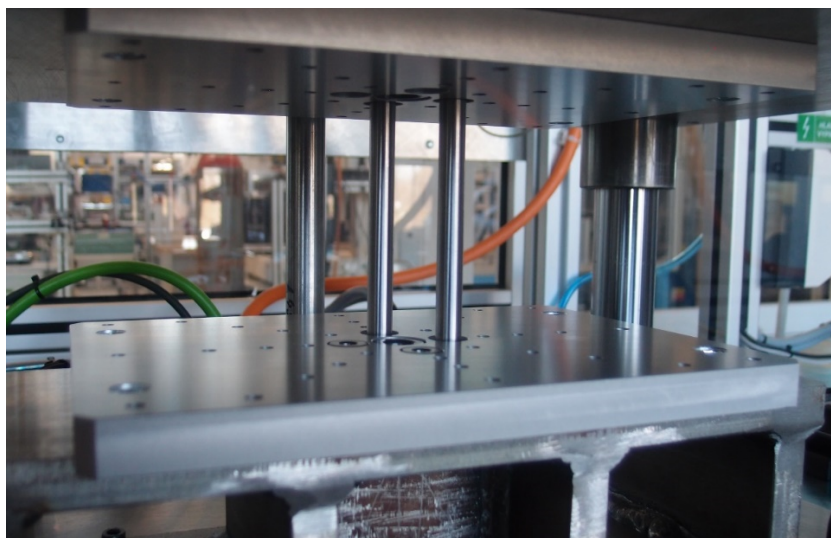
Při snaze o dosažení kontaktu adaptérových desek pro vzájemné vystředění přípravku došlo k zastavení lisovacího serva z důvodu přetížení 15 kN při zdvihu 150 mm . Překontrolováním nastavení a následnou telefonickou konzultací se zákaznickým servisem firmy Kistler došlo ke zjištění, že během „oživení“ stroje došlo ke špatnému nastavení referenční nulové hodnoty. Tato hodnota je užívána jako výchozí pozice, kam se lis vrací v klidovém režimu. Proto bylo potřeba odměřit referenční vzdálenost v bezpečné pozici, kdy ještě nehrozí kolize či přetížení servomotoru. Rozměr je demonstrován na Obr. 19 – Seřízení nulové pozice, označen písmenem „Z“. Z důvodu snížení rizika byla nulová hodnota lisu nastavena na 5 mm zdvihu lisovací osy, čímž došlo ke snížení pracovního zdvihu, zároveň díky tomu nehrozí kolize horní desky rámu se šrouby na přírubě Kistleru. Výsledkem této úpravy je dosažení pracovního zdvihu 195 mm .



Obr. 19 – Seřízení nulové pozice

Druhý problém pravděpodobně vznikl špatně realizovanou výrobou přípojných desek pro lisovací přípravky, v nichž nepasovaly naváděcí čepy do příslušných vodících pouzder v protikusy. Bylo nutné naváděcí čepy odstranit a vymyslet způsob, jak zajistit souosost přípravků bez těchto čepů, které měly přesně definovat pozici přípravků na desce lisu. Jelikož na spodní i horní přípojně desce byly proti sobě dva nevyužité otvory 10 H7, bylo možné pomocí kolíků DIN 8735 (10 x 100) vycentrovat desky proti sobě následujícím postupem:

- 1) Přišroubování horní i spodní desky, povolení šroubů o jednu otáčku na spodní desce.
- 2) Vsunutí kolíků do spodní desky.
- 3) Přejezd rychloposuvem lisem do pozice 20 mm před kontakt mezi kolíkem a horní deskou.
- 4) Nastavení pracovního posuvu 0,5 mm za sekundu, zároveň nastavení silového limitu o velikosti 10 N.
- 5) Posuv v ručním režimu do kontaktu horní desky s kolíkem ve spodní desce, následně ruční ověření vůle (vůle by neměla být nalezena).
- 6) Dotáhnutí spodní desky, vyjetí mimo kontakt kolíků v horní desce.
- 7) Pro ověření znovu dojet do kontaktu, aby bylo zkontrolováno, že během dotažení šroubů nedošlo k pohybu desky.

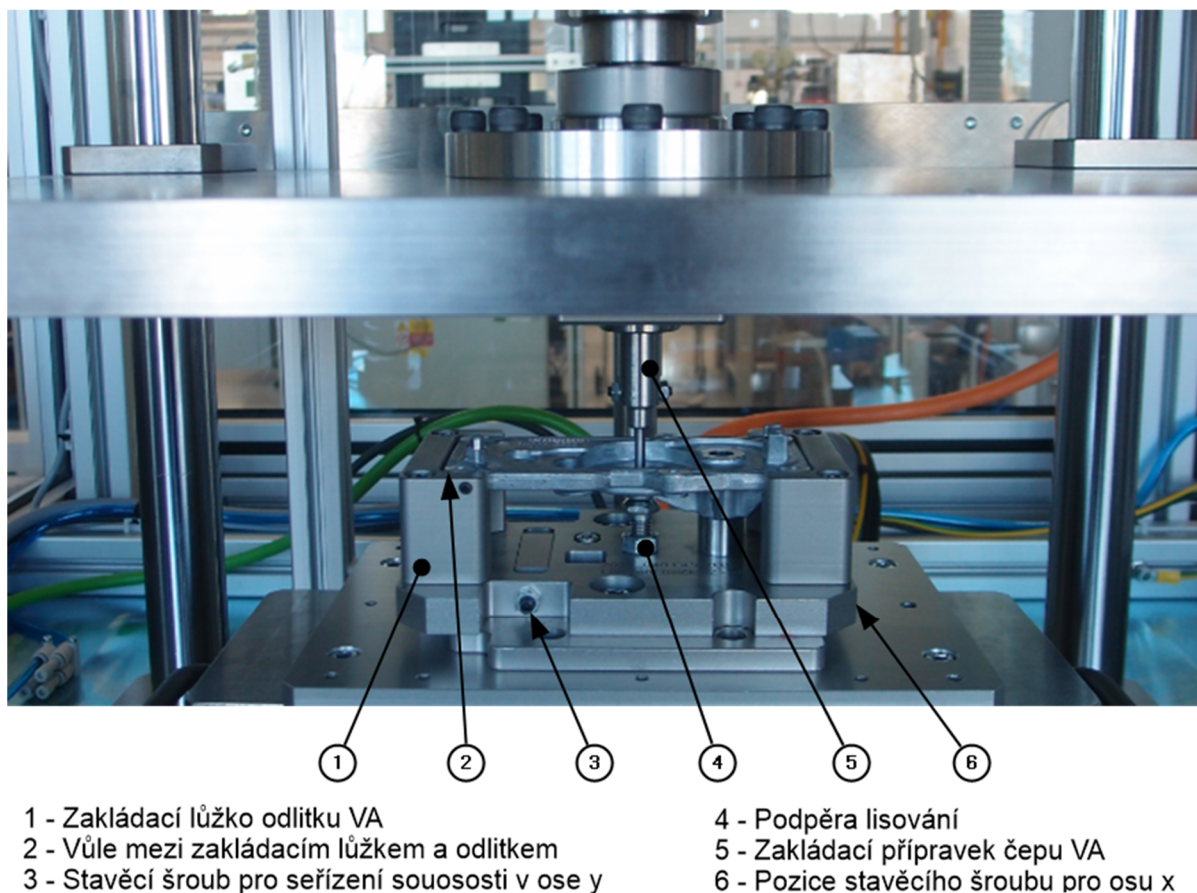


Obr. 20 – Seřízení souososti

Po vystředění přípojných desek pro lisovací přípravky došlo k umístění přípravků. Pozice přípravků je zajištěna dvěma čepy (v přípravku) a pouzdry (v desce) o průměru $\varnothing 8g6 / H7$, čímž je dosaženo velmi přesného založení. Po umístění přípravků však bylo ještě nutné nastavit i souosost spodního přípravku vůči horní části (zděř pro založení čepu). Je nutné říci, že mezi dílem a základacím lůžkem je značná vůle, není možné říci, zdali jde o nepřesnost výroby nebo záměr. Na základě odborného odhadu bylo konstatováno, že vůle dosahuje 0,5 mm na stranu. Proto je dostačující užití tohoto relativně jednoduchého postupu:

- 1) Umístění přípravků na rozhraní lisu do základacích pouzder.
- 2) Založení odlitku a čepu.
- 3) Přiblížení obou přípravků rychloposuvem lisu na vzdálenost 10 mm před kontaktem.
- 4) Pracovním posuvem přiblížení na kontakt.
- 5) Otáčením stavěcího šroubu dosáhneme přestavení základacího přípravku vůči základní desce.

- 6) Při dosažení správné pozice zakládacího lůžka, kdy kuželový náběh čepu zapadá do díry, je nutné dotáhnout šrouby tak, aby nedošlo k pohybu lůžka.
- 7) Finální kontrola.



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 - Zakládací lůžko odlitku VA | 4 - Podpěra lisování |
| 2 - Vůle mezi zakládacím lůžkem a odlitkem | 5 - Zakládací přípravek čepu VA |
| 3 - Stavěcí šroub pro seřízení sousosti v ose y | 6 - Pozice stavěcího šroubu pro osu x |

Obr. 21 – Finální kontrola sousosti

Příprava lisovacího programu je uživatelsky přívětivá. Jedná se o skládání „pracovních bloků“ za sebe. Každý blok obsahuje podmínku startu (tlačítko, případně podmínka dosažené síly nebo pozice), směr a rychlost posuvu a maximální silové zatížení. Zároveň je vždy nutné nastavit, jestli bude hodnota dráhy měřena interním snímačem lisovací osy nebo externím snímačem.

4.2.6 Vlastní měření součástí VA

Měření proběhlo po jednotlivých operacích. Nejprve byly změřeny samostatně čepy, následně došlo ke změření sledovaných znaků na odlitkách a nakonec proběhlo zalisování montážního celku. Poté byly čepy umístěny k odlitkům dle přiřazeného čísla, aby nedošlo k promíchání dílců při lisování (viz. Obr. 19).

V průběhu měření byla pořízena fotodokumentace některých částí pracovního postupu, jak pro potřeby této práce, tak pro případnou zpětnou kontrolu postupu. Níže je uvedeno shrnutí měřících znaků, který jsou rozepsány v předchozích kapitolách. Vliv teploty byl zanedbán, neboť v průběhu měření nedocházelo ke kolísání teploty vyššímu než $\pm 0,5$ °C. Měření probíhalo v klimatizované laboratoři.

Měření čepů

- Průměr (Opt. mikrometr)
- Úhel náběhu (orientační měření) (Opt. mikrometr)
- Rádus na čelní ploše (orientační měření) (Opt. mikrometr)
- Délka pro možnost dodatečné kontroly hloubky zalisování (Posuvné měřítko)

Každý čep byl měřen 3x s pootočením o 120°, délka čepu měřena 3x bez pootočení. Měření průměru bylo realizováno na části určené k zalisování.



Obr. 22 – Značení montážních celků

Měření odlitků

- **Průměr díry** (Dutinoměr)
Před započítím měření proběhly náměry způsobilosti měřidla pro hodnocení opakovatelnosti a strannosti. Následovalo měření vzorků pro. Vlivem samotné tolerance měřidla lze očekávat nedostatečnou přesnost měřidla
- **Hloubka díry** (Posuvné měřítko)
Na koncové měrce odpovídající hloubce otvoru v odlitku VA provedeno měření způsobilosti měřidla, poté měření reálných kusů.

Každý odlitek byl měřen 3x s pootočením o 120° pro eliminaci extrému. Hloubka díry měřena bez pootočení 3x, zaznamenána průměrná hodnota.

Zalisování montážního celku

- Zalisování čepu do odlitku (Lisovací stanice)
- Měření silového průběhu (Lisovací stanice)
- Měření hloubky zalisování (Lisovací stanice)

Změřeno pouze jednou (z principu měření), 25 teoreticky správných kusů a 1 dolní extrém.

Zaznamenání naměřených hodnot

Průběžně byly hodnoty zaznamenány v elektronické podobě do počítače. Využit byl tabulkový kalkulátor MS Excel pro snazší práci s daty.

Vyhodnocení způsobilosti

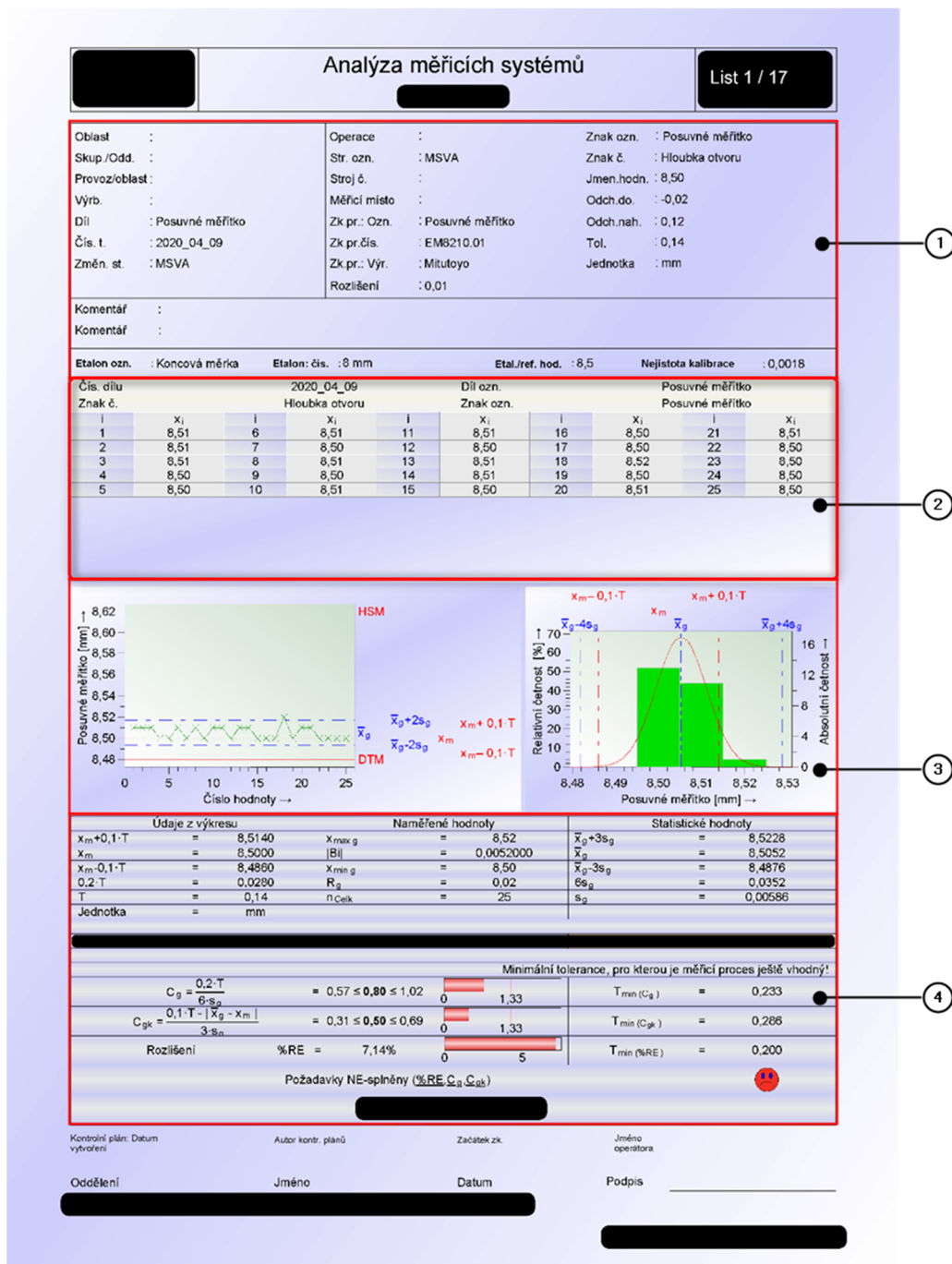
Data budou vyhodnocena dle metodiky hodnocení způsobilosti v programu q-DAS.

Hodnoty z jednotlivých měření

Jsou vždy uvedeny v jednotlivých listech hodnocení způsobilosti (Příloha č. 1).

5 Zhodnocení výsledků

Na Obr. 23 je ukázán příklad listu hodnocení způsobilosti měřidla, z důvodu zachování anonymity podniku bylo nutné některé pasáže začernit. V horní části protokolu je uvedena hlavička s informacemi o stroji, měřidle, měřeném rozměru a etalonu. Níže jsou uvedeny naměřené hodnoty. Ve spodní polovině jsou uvedeny grafy odvislé od metody vyhodnocení. V tomto případě jde o grafy reprezentující opakovatelnost a strannost. Pod nimi jsou uvedeny hodnoty používané pro výpočet a nakonec výsledky hodnocení způsobilosti.



Obr. 23 – Protokol způsobilosti měřidla – Posuvné měřátko při měření hloubky otvoru

5.1 Měřicí část

Všechny protokoly týkající se způsobilosti MSVA z programu Q-DAS jsou uvedeny v příloze č. 1, v této části budou využity pouze grafy četnosti u hodnocení způsobilosti měřidla. Pro způsobilost výrobního procesu jsou uvedeny grafy rozptylu naměřených hodnot jednotlivých montážních celků.

5.1.1 Optické měření TM-3000

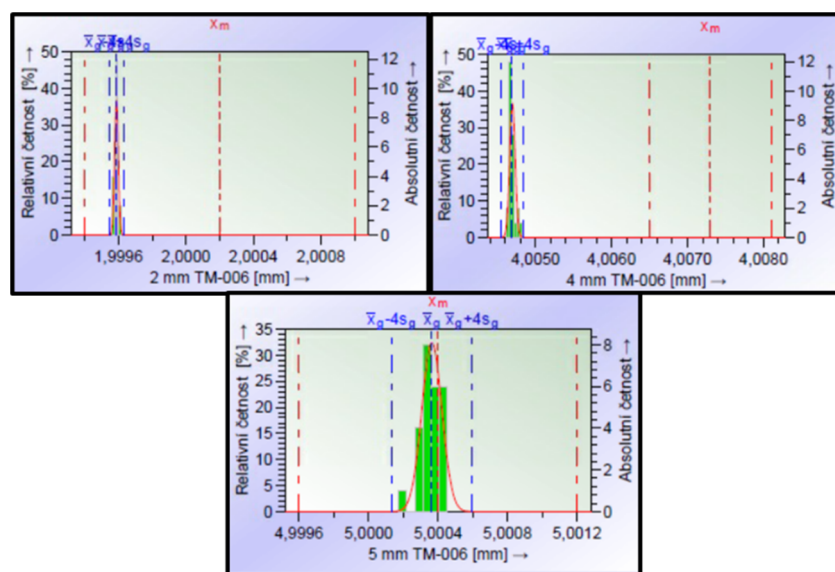
Na Obr. 24, 22 a 23 je graficky zobrazena četnost měření dle užitých etalonů pro obě optické hlavy. Z grafů je patrná četnost i strannost měření, kdy hodnota x_m značí nominální hodnotu etalonu, další dvě červené přerušované čáry značí hodnotu etalonu poníženou (vlevo) a povýšenou (vpravo) o desetinu šíře tolerance zkoumané součásti. Dále je v grafu vyobrazena průměrná hodnota měření spolu s hranicemi dané průměrnou hodnotou ponížené a povýšené o čtyřnásobek směrodatné odchylky. Tyto hranice jsou reprezentovány modrými přerušovanými čarami.

TM-006

Výsledek měření opakovatelnosti dopadl dobře při měření provedené s válečkovými měrkami. Zde bylo dosaženo dobrých výsledků, kdy strannost měření je nižší než 0,1 T. Náměry „zlatého kusu“ jsou také dobře opakovatelné, avšak výrazně odchýlené od nominální hodnoty. U všech měření je vidět strannost pod nominální rozměr, avšak pro komplexní zhodnocení linearity dle VDA není dostatek přesných válečkových měrek.

Tab. 18 – TM-006 - způsobilost optické hlavy

TM-006				
Jmenovitá hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [μm]	Systémová chyba měření [μm]	Minimální tolerance [μm]	C_{gk}
2	0,01	0,61	7	5,78
4	0,04	2,61	28	-16,74
5	0,06	0,38	3	4,39



Obr. 24 – TM-006 - opakovatelnost a strannost

V Tab. 18 jsou uvedeny výsledky testování za použití optické hlavy TM-006. Při zanedbání náměrů způsobilosti se „zlatým kusem“, je možné bezpečně konstatovat, že tuto hlavu lze použít pro další hodnocení způsobilosti čepu VA. Důvodem neuspokojivých výsledků při měření čepu 4 mm je s největší pravděpodobností poměrně vysoká úchylka válcovitosti.

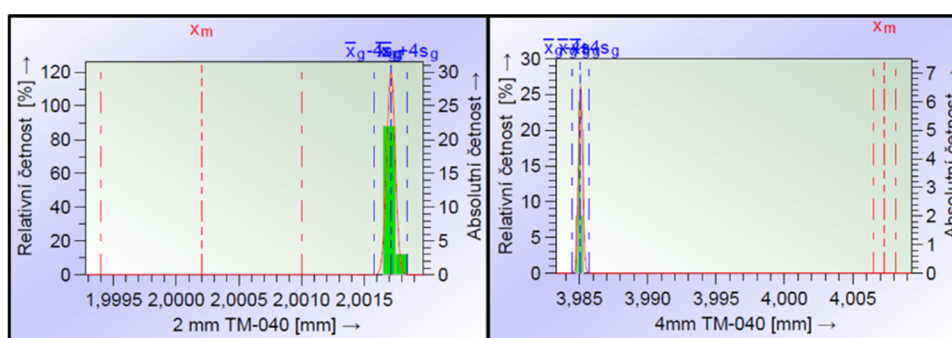
TM-040

Pro tuto optickou hlavu lze konstatovat, že měření jsou výborně opakovatelná, avšak vlivem strannosti (strannost $> 0,1 T$) jsou výrazně odchylená od nominální hodnoty etalonu. Pokud dojde k zanedbání náměrů ze „zlatého kusu“ (4 mm čepu VA), je možné říci, že hodnoty jsou vždy vychýlené nad udaný rozměr etalonu.

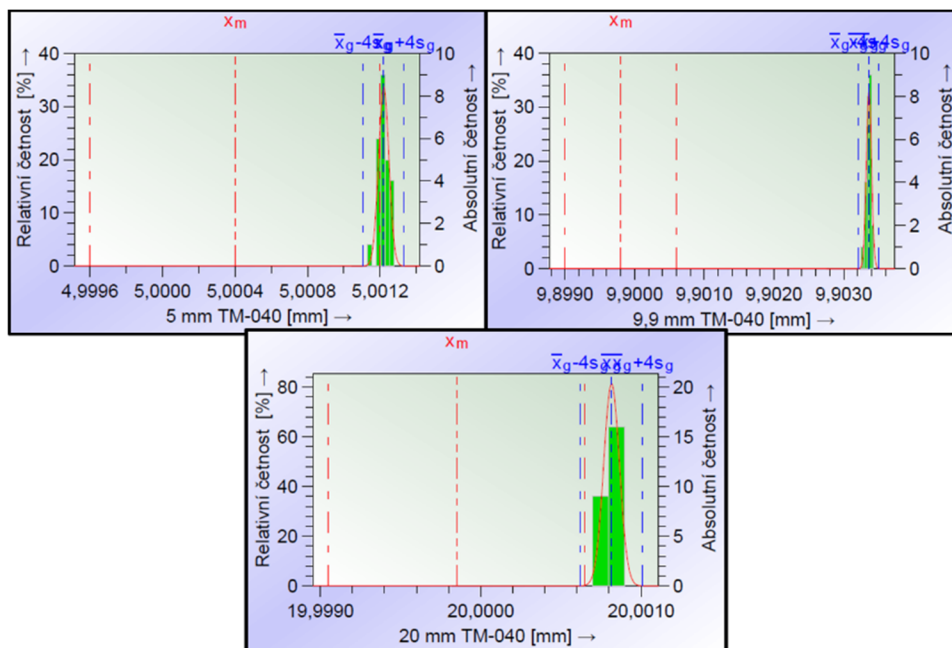
Na základě výsledků měření v Tab. 19 lze konstatovat, že u žádného čepu nebylo dosaženo způsobilosti pro měřicí proces čepu VA. Dále je možné si povšimnout, že všechny náměry jsou zatíženy výraznou systémovou chybou měření. Proto je vhodné zvážit justování či korekci měřidla vždy vzhledem ke konkrétnímu etalonu. Jako příklad lze uvést korigované měření u válečkové měřky 9,9 mm, v příloze č. 1 (list 8), kde je možné porovnat výsledky způsobilosti měření po justování s těmi před justováním a korekcí (list 10).

Tab. 19 – TM-040 - způsobilost optické hlavy

TM-040				
Jmenovitá hodnota [mm]	Směrodatná odchylka [μm]	Systémová chyba měření [μm]	Minimální tolerance [μm]	C_{gk}
2	0,03	1,51	16	-7,16
4	0,15	22,22	228	-46,52
5	0,03	0,82	11	-0,21
9,9	0,04	3,56	37	-24,69
20	0,05	0,96	12	-1,12



Obr. 25 – TM-040 - opakovatelnost a strannost, část 1



Obr. 26 - TM-040 - opakovatelnost a strannost, část 2

Zhodnocení

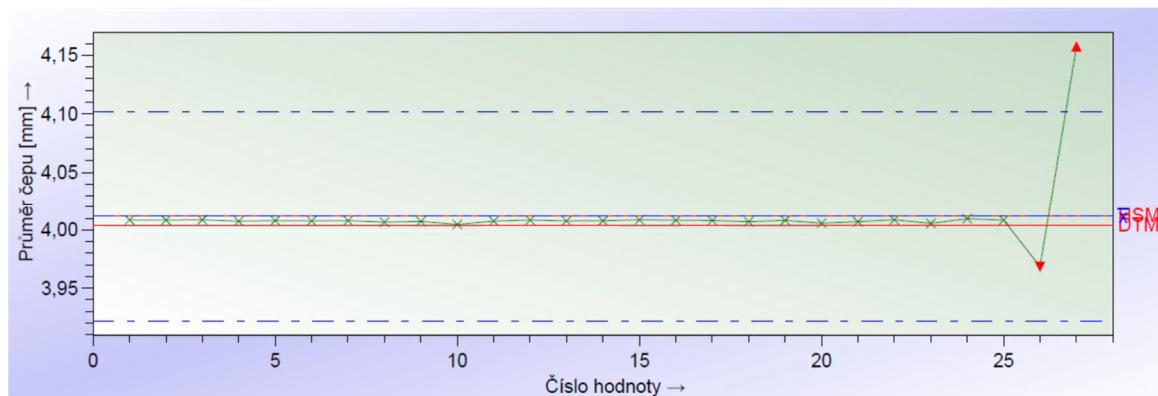
Z výsledků náměrů lze vysledovat, že není dostačující používat „zlaté kusy“ bez dodatečného justování a korekce. Válečkové měrky této třídy přesnosti jsou dobře použitelné. Na základě provedených měření byla stanovena minimální šíře tolerance, pro kterou je měřidlo vhodné bez dodatečného justování či korekce. Pro zadanou kontrolní operaci je optický mikrometr TM-3000 vhodný v kombinaci s měřicí hlavou TM-006. Hlava TM-040 není vhodná pro tuto aplikaci, kdy z měření vyplývá požadavek minimální tolerance $T_{\min} = 37 \mu\text{m}$ při zanedbání měření „zlatého kusu“.

Pro nejlepší výsledky by měl být použit etalon (válečková měrka), s nominálním rozměrem stejným jako má měřený objekt. Následně by mělo být provedeno 25 měření za účelem justování nebo korekce na daný rozměr a nakonec měřením překontrolován dosažený efekt. Výsledek takového postupu je vidět na listu 10 v příloze č. 1.

Neznámou veličinou je vliv odrazových vlastností válečkové měrky a reálných měřených objektů. Z ekonomického hlediska není možné požadovat výrobu stejným postupem jako válečkové měrky, avšak rozdíl odrazivosti povrchu vlivem rozdílu jakosti materiálu a drsnosti může být významný.

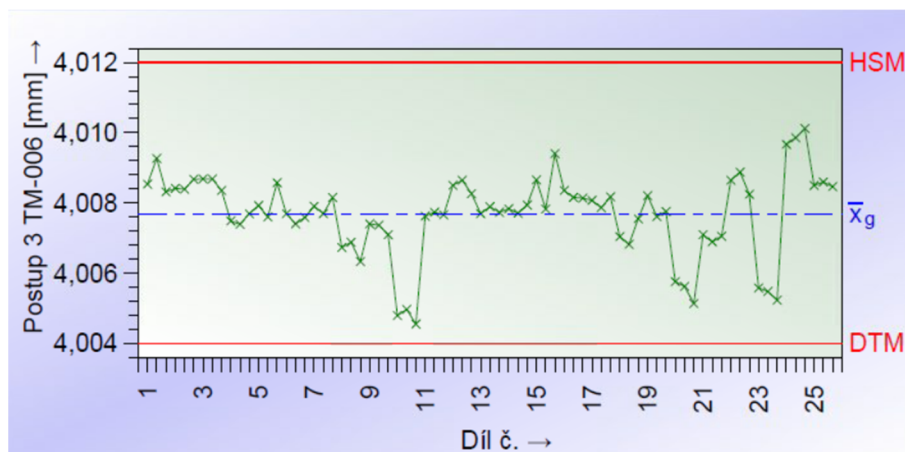
Měření průměru čepu

Pro optickou hlavu TM-006 platí, že při užití vhodných etalonů je měření průměru čepu VA způsobilé. Obr. 27 poukazuje na citlivost systému na extrémní výchylky způsobené užitím čepů výrazně rozměrově odlišných od měřeného dílu. Čepy byly vytvořeny ze šroubovitých HSS vrtáků (viz. kapitola 4.2.3). Předpoklad o indikaci výrazně neshodných čepů byl naplněn. Již při měření dílu s nastavenými hranicemi tolerance je uživatel upozorněn, že se jedná o hodnoty ležící mimo toleranční pole. Po takovém upomenutí může operátor provést opakované měření. Další upozornění na hodnotu ležící mimo očekávaný rozměr proběhne během vkládání naměřené hodnoty do vyhodnocovacího softwaru Q-DAS.



Obr. 27 – TM-006 užití cíleně neshodných dílů

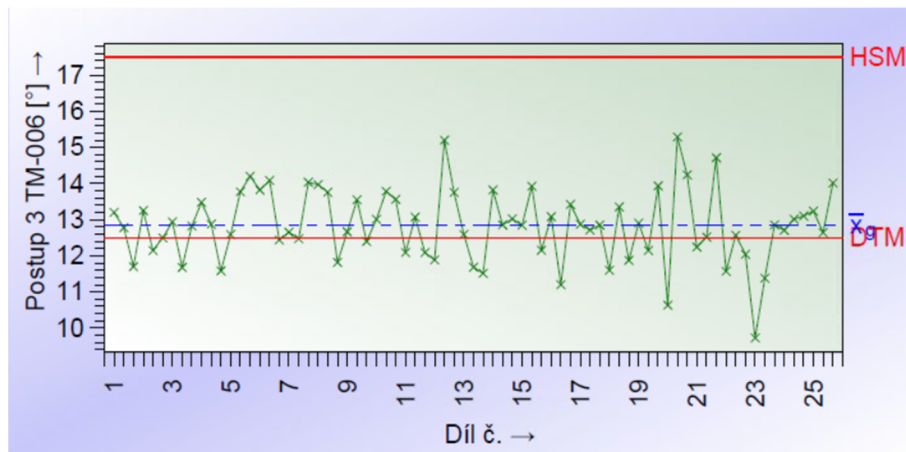
Graf na Obr. 28 pracuje pouze s hodnotami reálných dílů. Zde jsou vyobrazeny vždy tři měření jednoho kusu vedle sebe. Tento graf je vytvořen z náměrů užitých pro hodnocení způsobilosti na základě analýzy rozptylů. Ideální měření by vypadalo tak, že budou vždy tři hodnoty ležet přesně vedle sebe (mít stejný rozměr), takové měření by však požadovalo nulovou variabilitu měřicího systému. Největší rozpětí bylo pozorováno u vzorku 15, kdy činí 1,6 μm . Ve zbylých případech je rozpětí mezi jednotlivými náměry stejného vzorku nejvíce 0,9 μm . Celkové rozptýlení dílů v šíři tolerance je 84 %. Na základě těchto zjištění může být konstatováno, že všechny součásti leží uvnitř tolerančního pásma a průměr čepu VA je shodný znak.



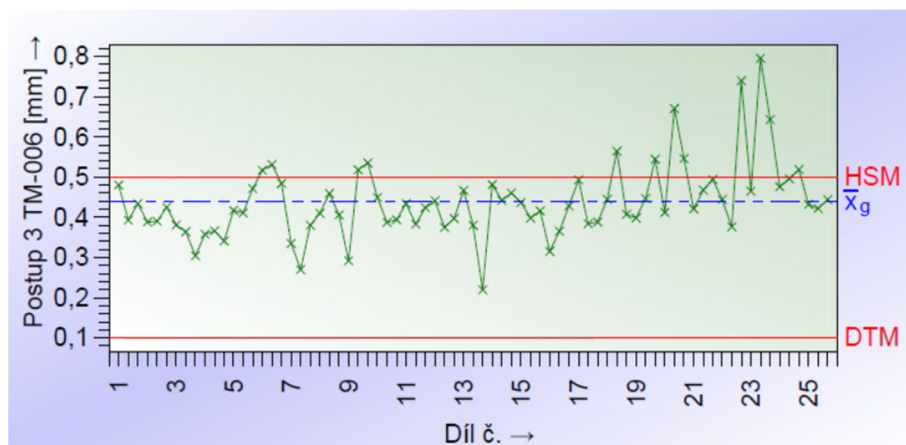
Obr. 28 – TM-006 – měření způsobilosti (průměr čepu VA)

Rádius a sražení

Pro tyto dva sledované znaky bylo, pracovníkem odpovědným za uvedené kontrolní operace, rozhodnuto o klasifikování těchto měření jako orientační. Jako odůvodnění byla uvedena absence etalonového kusu a náklady spojené s jeho pořízením. Není zde nadále požadována způsobilost měření těchto dvou znaků, avšak jejich záznam zůstává v programu zachovaný pro potřeby případné budoucí analýzy na požadavek zákazníka. Na základě naměřených hodnot lze konstatovat přílišnou variabilitu měřidla pro tyto znaky.



Obr. 29 – TM-006 – měření způsobilosti (úhel sražení čepu VA)



Obr. 30 – TM-006 – měření způsobilost (rádius čepu VA)

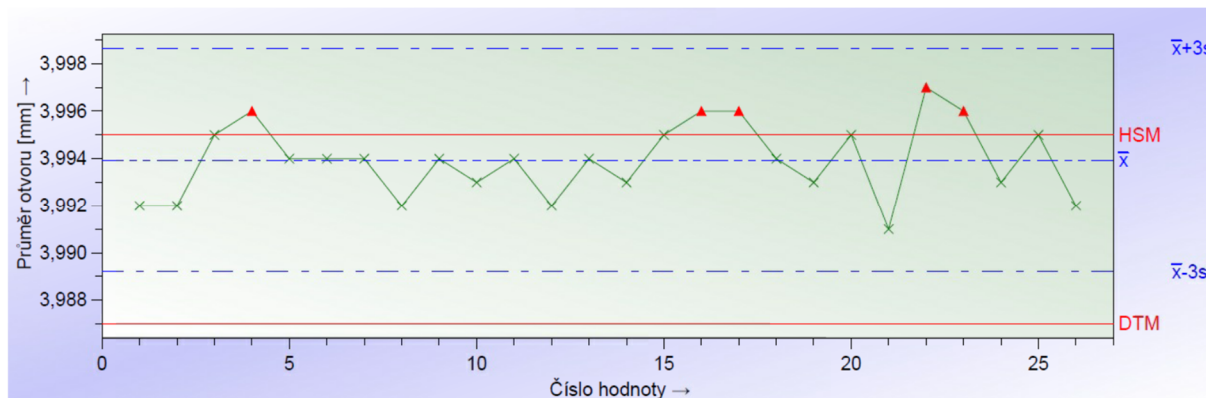
Výše uvedená měření poukazují na neshodné znaky úhlu sražení a zaoblení na jeho čelní hraně pro čep VA. Kvůli absenci etalonových kusů pro měření těchto znaků není možné potvrdit relevantnosti těchto hodnot. Na Obr. 30 můžeme vidět postupný trend stále stoupající střední hodnoty rádiusu pro jednotlivé vzorky.

5.1.2 Dutinoměr XT3

Na základě vyhodnocení způsobilosti měřidla (viz. Příloha č. 1, list 4) lze konstatovat, že měřidlo není způsobilé pro daný kontrolní proces. Potvrzeno bylo nesplnění základního požadavku na rozlišení měřidla, které musí být menší než 5% z měřeného rozsahu tolerance. Dle postupového diagramu (Obr. 13, strana 27) bylo z důvodu absence jiného měřidla pokročeno k metodice opakovatelnosti, v níž měřidlo nedosáhlo požadovaných hodnot C_g , C_{gk} . Tento experiment alespoň umožnil stanovení minimální vhodné šíře tolerančního pásma pro digitální dutinoměr v této aplikaci, tj. 0,072 mm při dodržení standardu MSA. Takové pásmo odpovídá přibližně stupni přesnosti IT11.

Průměr otvoru

Na grafu (viz. Obr. 31) jsou graficky zobrazeny výsledky z měření průměru otvoru jednotlivých odlitků. Pětina získaných náměrů leží nad horní hranicí tolerance, další čtyři kusy jsou na hraně tolerance, což lze považovat za předpoklad špatně nastaveného výrobního procesu, avšak nelze vyloučit ani systémovou chybu měření.



Obr. 31 – Dutinoměr XT3 – měření způsobilosti (průměr otvoru odlitku VA)

Zhodnocení

Vzhledem k výsledkům měření je za stávajících podmínek doporučeno užívat měřidlo jako orientační. V případě neshody rozměru kontrolovaného dílu vůči výkresovému rozměru však musí následovat kontrola na přesnějším zařízení, tj. kruhoměr nebo souřadnicový měřicí stroj vysoké kvality. Jako příklad lze uvést kruhoměr Mahr MMQ100, kdy je výrobcem uvedena odchylka při měření kruhovitosti 0,05 μm . [28]

Návrh na opatření

Aby toto měřidlo bylo způsobilé pro měřicí proces z hlediska rozlišení (podmínka $R \leq 5\% T$), musela by být širší tolerance aspoň 0,02 mm, tzn. IT9 (30 μm). Zároveň by bylo nutné snížit variabilitu měřicího procesu na minimum. Toho by mělo být možné dosáhnout pomocí měřicího přípravku, respektive úpravy stávajícího zakládacího přípravku se stacionárním stojanem pro upevnění dutinoměru pohyblivým pouze ve svislé ose. Zároveň je nutné zmenšit vůli zakládacího přípravku, protože by mohlo dojít k poškození měřicí hlavy vlivem nesouososti otvoru v dílu vůči dutinoměru.

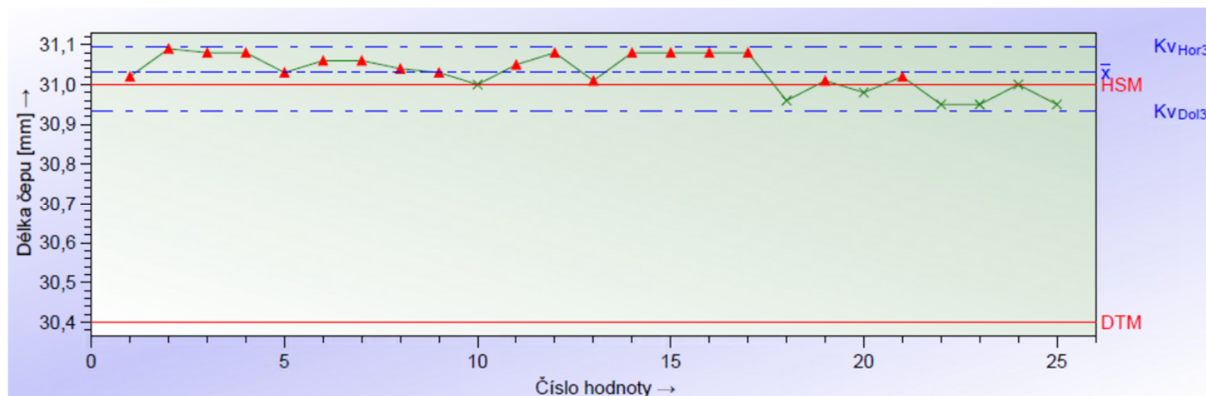
5.1.3 Posuvné měřítko Mitutoyo ABS AOL řady 500

Tímto měřidlem byly kontrolovány dva různé parametry, přičemž test způsobilosti měřidla dopadl rozdílně pro každou z aplikací. Pro obě měření byla v první fázi využita koncová měřka, později došlo k měření skutečných dílů. Měření je způsobilé pro kontrolu délky čepu, naopak při měření hloubkoměrem měřidlo nedosahuje požadovaných výsledků.

Délka čepu

Test způsobilosti měřidla na základě opakovatelnosti dopadl dobře (Příloha č. 1, list 2). Měřidlo bylo testováno na koncové měřce 8,5 mm. Naměřené výsledky ukazují maximální rozptyl 0,02 mm. Dále bylo pokračováno k analýze rozptylů s vlivem operátora, kdy hodnocení skončilo s verdiktem podmíněně způsobilé. V takovém případě musí následovat dohoda se zákazníkem.

Z měření vyplynulo (viz. Obr. 32), že všechny čepy jsou blízko horní hrany tolerance nebo nad ní. Na základě tohoto zjištění lze s jistotou konstatovat, že výrobní proces je nevhodně nastavený a vyrábí díly neshodné vůči výkresu. Vlivem špatné délky čepu VA může docházet ke zvýšené zmetkovitosti při montáži, případně při funkčních zkouškách nebo v nejhorším případě během provozu víceúčelového aktuátoru u koncového zákazníka.



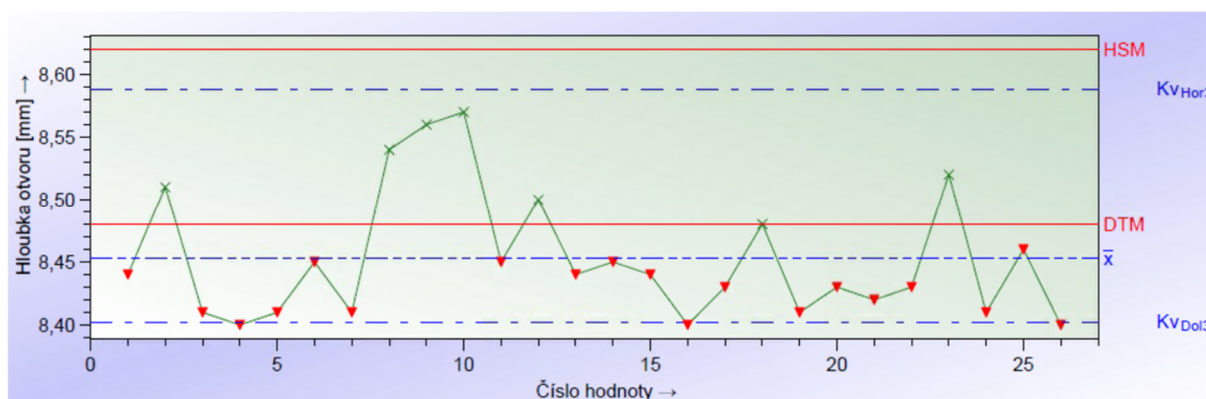
Obr. 32 – Mitutoyo ABS AOL – měření způsobilosti (délka čepu VA)

Při zkoumání grafu lze vidět trend, kdy poslední třetina dílů dosahuje kratší délky, to by mohlo být indikací chyby měření. Po přezkoumání bylo zjištěno, že díly 17 – 25 jsou vytipované z jiné výrobní dávky, což by mohla být příčina této změny. Problému však nebylo zcela zabráněno, neboť tři z devíti kusů neodpovídá výkresové toleranci.

Hloubka otvoru

Měření způsobilosti u kontroly hloubky otvoru v první řadě nespĺňuje požadavek na rozlišení měřidla. Rozlišení 0,01 mm je 7,14% rozsahu tolerance, z důvodu absence jiného měřidla pro tuto operaci došlo k pokračování v postupu hodnocení. Analýza opakovatelnosti však ukázala nedostatečné výsledky při měření hloubkoměrem. Z výsledku měření vyplynulo, že by byla potřeba minimálně dvojnásobná šíře tolerančního pásma, tj. 2,86 mm.

Při zkoumání naměřených hodnot je však vidět, že téměř 70% hodnot leží pod hranicí dolní tolerance, tj. otvor není dostatečně hluboký (viz. Obr. 33). Vzhledem k charakteru lisovaného spoje může existovat potenciální nebezpečí, že bude čep příliš hluboko zalisován do hliníkového odlitku, čímž by mohlo dojít ke zkrácení užité délky čepu při lisování na opačné straně do plastového krytu. V kombinaci s nepřesností uvedenou u měření délky čepu, tj. delší čepy oproti výkresu, se tato chyba částečně eliminuje.



Obr. 33 – Mitutoyo ABS AOL – měření způsobilosti (hloubka otvoru odlitku VA)

Zhodnocení

Pro měření hloubkoměrem je nutné pořídit jiné měřidlo, pro měření délky čepu je posuvné měřítko způsobilé.

Návrh na opatření

Splnění podmínek způsobilosti měření hloubky otvoru nebylo dosaženo, proto je nutné užití jiného měřidla. V případě pořízení výše zmíněného kruhoměru Mahr MMQ100 je možné objednat dodatečnou opci na měření hloubky slepého otvoru. Pořízení kruhoměru nebude levnější variantou, než jsou varianty uvedené níže, avšak je zde významný předpoklad, že by došlo k dosažení vyššího taktu pracoviště v případě sloučení pracoviště pro měření průměru i hloubky otvoru. V takové situaci by bylo vytvořeno silně specializované pracoviště s plně automatizovaným měřením, kdy obsluha pouze manipuluje s díly. To by zcela jistě vedlo ke snížení variability měření a ušetření strojního času. Rentabilita tohoto opatření by však musela být podložena podrobnou analýzou, avšak snížení variability měření a vznik takto specializovaného pracoviště by nemělo být vyjádřeno pouze ekonomickým hlediskem.

Další variantou je užití digitálního úchylkoměru s rozlišením 1 μm , příkladem je Mahr Marcator 1087 BR se zdvihem 12 mm, problémem je však průměr otvoru $\varnothing 4$ mm. K měřidlu je nezbytné zajistit dostatečně malý průměr měřicího doteku. Zároveň je nutné pořídit dostatečně tuhý metrologický stojan.

Univerzální použití umožňuje digitální hloubkoměr Tesa Mikromaster s rozlišením 1 μm , udávanou opakovatelností do 3 μm . Pracovní částí hloubkoměru je válcový dotek o průměru $\varnothing 4$ mm, avšak výrobce umožňuje objednání jiného doteku. Maximální hloubka otvoru 90 mm. [29]

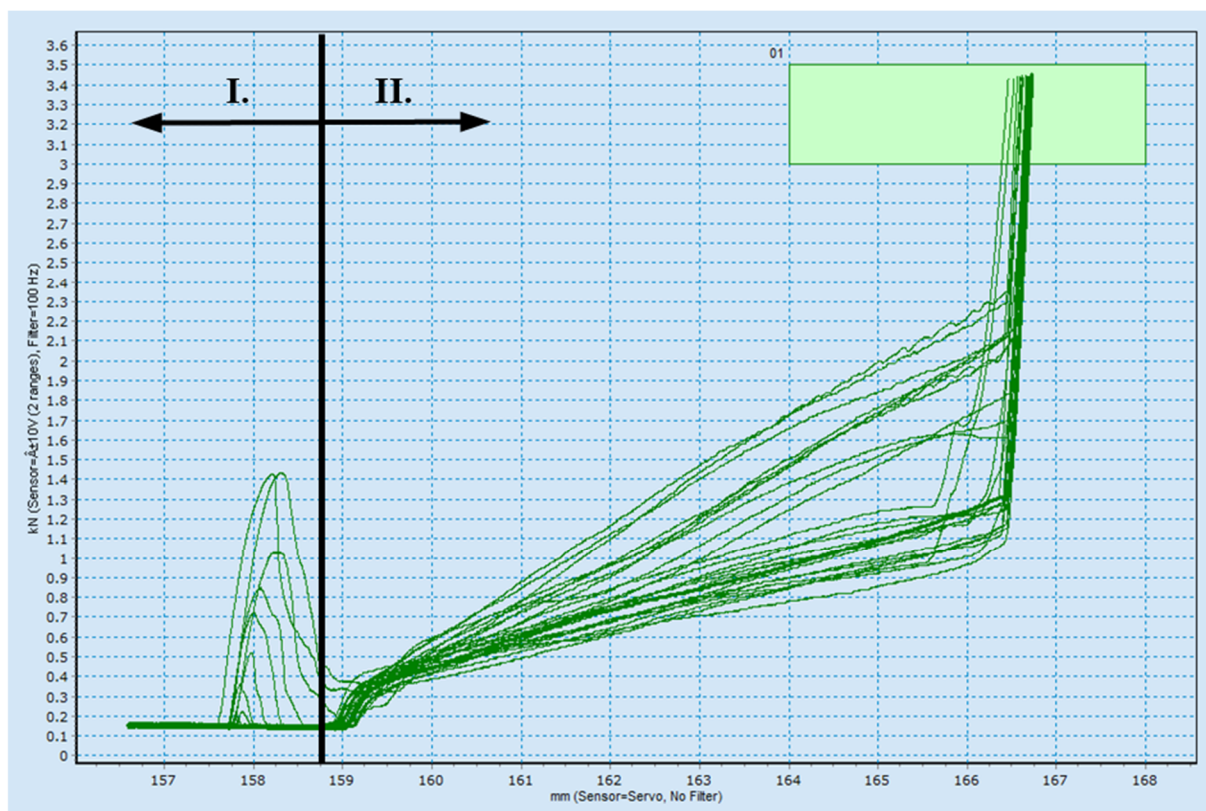
Poslední navrženou variantou je využití již stávajícího měřidla Keyence GT2, kterým je stroj osazen pro zvýšenou kontrolu lisovací dráhy. V tomto procesu není podmínkou správného procesu zalisování dosažená dráha, ale pouze síla, tudíž tento snímač není využíván. Implementování tohoto snímače může znamenat značné konstrukční úpravy, které je nutné řešit s výrobcem stroje. Rozlišení tohoto snímače je 0,1 μm , což by bylo plně dostačující, avšak ke stroji nenáleží zobrazovací jednotka pro senzor GT2. Ten je v současném stavu zapojen a vyhodnocován přímo v řídicí jednotce lisovací osy.

5.2 Lisovací část

V předchozí kapitole bylo uvedeno, že část součástí, užitých v lisovacím procesu, nespĺňuje pøedepsané tolerance. Standardně by měly být díly vyřazeny a nahrazeny řádnými díly. Vlivem karanténních opatření omezení části výroby podniku v době realizace tohoto měření nebylo možné díly nahradit a bylo nutné vyrobit 25 vzorků i za cenu potenciální poruchy některého ze vzorků.

Lisovací křivky svým číslováním stále respektují smysl číslování jednotlivých vzorků, neboli lisovací křivka č. 1 pracuje s čepem č. 1 a odlitkem č. 1.

Graf níže (Obr. 34) vykresluje výsledky měření lisovacího procesu, jedná se o originál verzi z obslužného softwaru firmy Kistler. Tmavě zelenou barvou jsou zaznamenány lisovací křivky, světle zelený rámeček je podmínka procesu, kdy je nastavena podmínka síly pro splnění procesu 3 – 3,5 kN. Zároveň je zde nastavena podmínka dráhy v absolutních souřadnicích 164 – 168 mm tak, aby nehrozila destrukce lisovacího celku vlivem přejetí maximální dráhy.

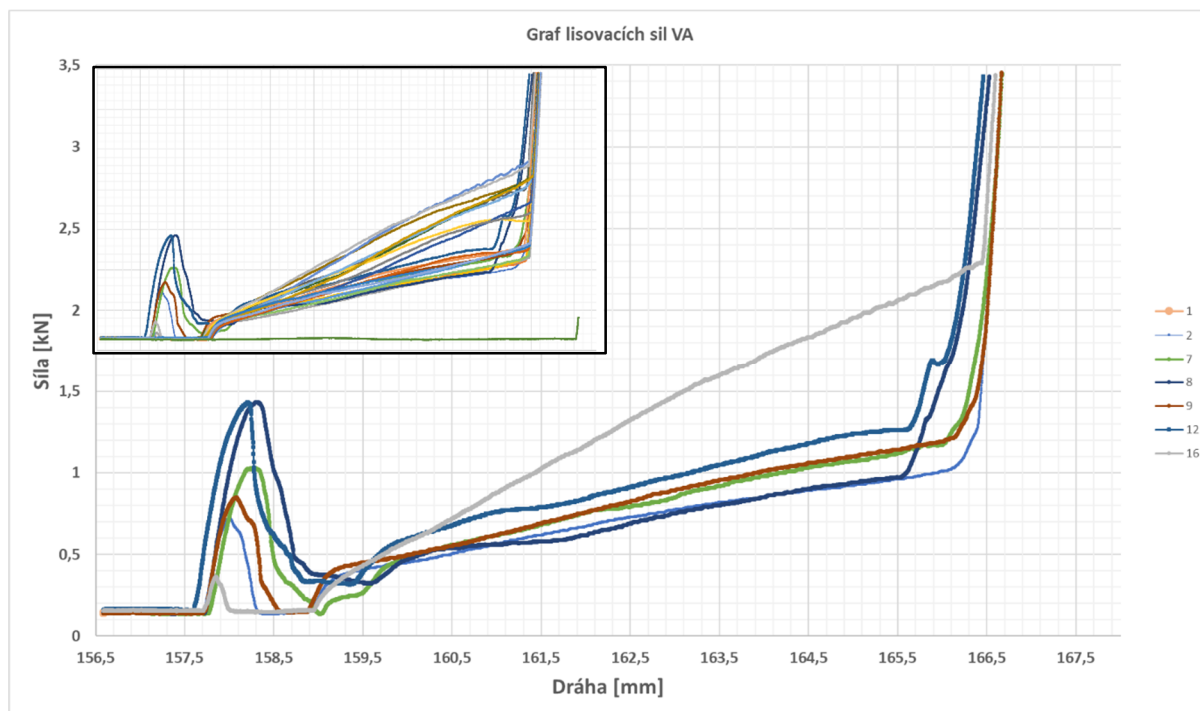


Obr. 34 – Kistler – graf síly originál

Pro hlubší analýzu křivek byla exportována čistá data (síla / dráha) a zpracována v grafu pomocí MS Excel. V závislosti na velikosti dráhy se mění množství zpracovaných hodnot, nejkratší křivka je tvořena 5 000 hodnotami, nejdelší má 5 500 záznamů.

Při zkoumání grafu je možné vidět významné silové špičky vzniklé u některých lisovacích křivek. Pro snazší popis problému je graf rozdělen do dvou oblastí dle absolutní dráhy lineární osy. I. oblast je 156,6 – 158,8 mm, v ní se nacházejí zmíněné silové špičky. II. oblast grafu odpovídá dráze 158,8 – 168 mm.

5.2.1 Rozbor I. oblasti



Obr. 35 – Kistler – rozbor montážních celků se špičkou v I. oblasti

U sedmi montážních celků (viz. Obr. 35) lze pozorovat v I. oblasti velmi strmý nárůst síly následovaný stejně strmým poklesem. Nejvyšší dosažená špička odpovídá zatížení 1,4 kN, díl s nejnižší špičkou dosahuje lisovací síly 0,36 kN. Vyjma tohoto dílu dalších šest dosahuje síly větší než 0,5 kN, jednotlivé hodnoty pro všechny křivky lze vidět v tabulce Tab. 21 (s. 51). Pro dalších 18 dílů v této oblasti není zaznamenáno zvýšené zatížení, případně je minimální oproti těmto sedmi dílům. Jako kritérium rozdělení bylo bráno dvojnásobné zatížení vůči výchozí síle, tj. 0,3 kN.

Dále je možné zaznamenat u většiny těchto křivek v I. oblasti opětovný pokles blízko výchozí hodnoty (přibližně 0,15 kN). Toto zatížení je způsobené vlivem setrvačné síly vyvolané pohybem zařízení společně s přípravkem. U křivek 8 a 9 však nedochází k návratu k výchozí hodnotě. I přes tento fakt však lze pozorovat pokles o více než 70% hodnoty špičkového zatížení. Přibližně od bodu 159 mm na dráze dochází k rovnoměrnému nárůstu síly do II. oblasti.

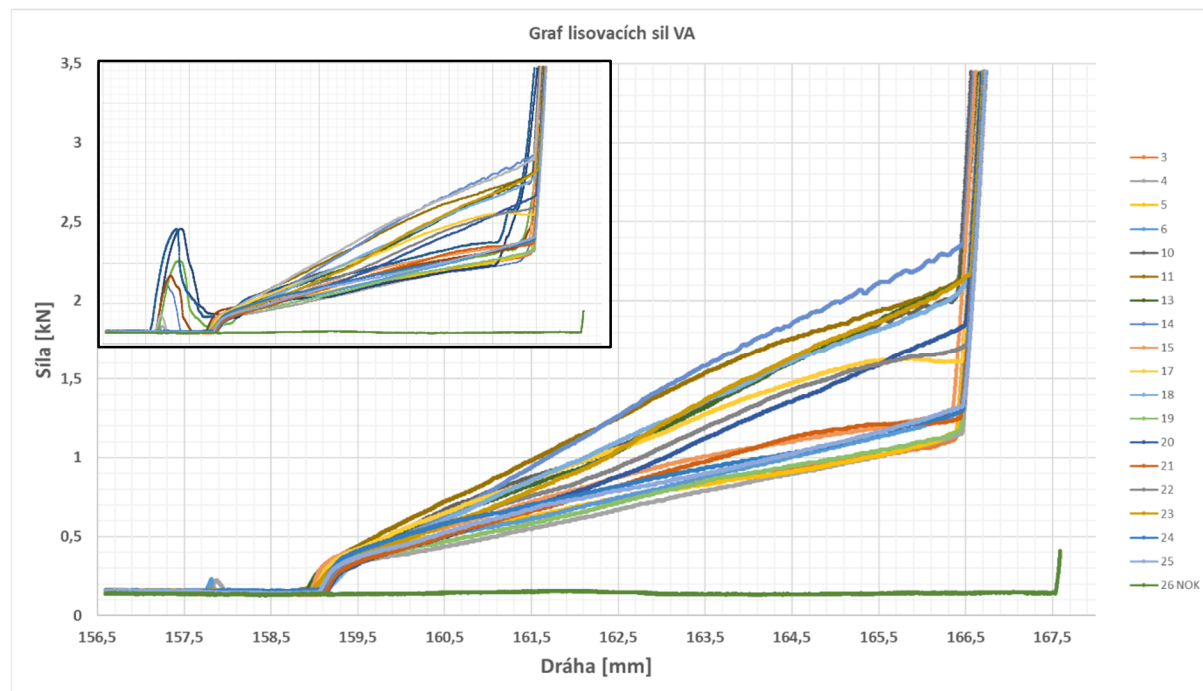
Logickým předpokladem je, že tento skokový nárůst síly je způsoben předčasným kontaktem materiálu jednotlivých dílců, což se u dvoutřetinové většiny dílů neděje. Analýzou přesahu mezi lisovanými komponentami nebyl nalezen žádný extrém u sledovaných dílů, rozdíly v přesahu se pohybují v rozptylu sedmi mikrometrů. Zároveň v případě, že by problém byl způsoben přesahem dílů, nemělo by docházet pouze k špičkovému nárůstu, ale konstantnímu. Další možností je pouze lokální změna průměru na čepu či díře. U čepu VA lze s jistotou konstatovat, že povrch byl v pořádku, neboť pracovní část byla kontrolována 2D mikrometrem, kdy součástí měření bylo několikanásobné zvětšení dílu. U díry v protikusku došlo pouze k vizuální kontrole, proto nelze vyloučit miniaturní ořep blízko horní hrany otvoru. Vzhledem k technologii tvorby lícovaného otvoru (vystružování) by mělo být dosaženo konstantního průřezu otvoru, minimálně v horních 2/3 hloubky. Špatným sledem operací ve výrobním

postupu by mohlo být této chyby dosaženo v případě, pokud by byl nejprve vyroben lícovaný otvor a až poté vyrobeno sražení.

V části zabývající se přípravou měření byla zmiňována nadbytečná vůle zakládacího přípravku, proto došlo k prověření tohoto nálezu. Opětovně byl do přípravku založen díl a následovalo přitlačení dílu ke stěně zakládacího lůžka tak, aby bylo možné na protější straně změřit vůli mezi odlitkem a stěnou. Spárovými měrkami byla naměřena vůle 1,1 mm. Tímto je možné dosáhnout nevhodným založením čepu víceúčelového aktuátoru a odlitku nesouososti až 1,1 mm. Na obou dílech je vyrobeno sražení pro správné navedení součástí montážního celku, avšak součtově jsou tato sražení schopna v ideálním případě pokrýt nesouosost maximálně 0,75 mm. ($0,5 \times 45^\circ$ u díry; $0,25 \times 75^\circ$ od čela pro čep). Mezera byla měřena spárovými měrkami.

Na základě tohoto zjištění došlo k vizuálnímu přezkoumání zalisovaných montážních celků v okolí otvoru, kde bylo možné pod lupou u dílů 7, 8 a 12 s jistotou identifikovat vryp vlivem nesouososti. Stejným způsobem byly zkoumány díly bez této špičky, zde však v okolí otvoru byl povrch neponičený. Z důvodu takového nálezu je nezbytné zajistit úpravu zakládacího přípravku, tzn. vymezení vůle v přípravku tak, aby bylo možné opakovaně zakládat do stejné pozice a nehrozilo mimoběžné lisování.

5.2.2 Rozbor II. oblasti



Obr. 36 – Kistler – rozbor dílů bez špičky v I. oblasti

Na základě výsledků měření absolutní dráhy (viz. Obr. 36) je možné tvrdit, že všech 25 sledovaných montážních celků dosáhlo požadované síly v rozmezí 0,27 mm. Dále je nutné zmínit křivku 26, která znázorňuje neúspěšnou montáž z důvodu užití malého čepu. Cyklus lisování s tímto dílem proběhl tak, že po dojetí na dno otvoru (dráha 167,6 mm) začala narůstat síla a ručně došlo k zastavení procesu. Stejný sklon směrnice je možné pozorovat i u ostatních lisovacích křivek od bodu 166,3 mm.

Takové zjištění vedlo k myšlence, že podmínka lisování je splněna tlakem na dno otvoru, což znamená, že na trhací zkoušce by byly naměřeny diametrálně odlišné výsledky. Následoval

rozbor, kdy bylo potvrzené opření o dno i u ostatních křivek. U vzorku 26 byl použit čep o 1,5 mm kratší oproti čepu VA. Výše bylo řečeno, že tento vzorek dosáhl dna při dráze 167,6 mm. Z toho vyplývá, že u ostatních vzorků muselo dojít ke kontaktu dna okolo hodnoty 166,1 mm, což pohled na lisovací křivky potvrzuje.

U křivky číslo 8 na grafu (Obr. 35, str. 48) můžeme zřetelně vidět lokální propad síly okolo dráhy 166 mm, avšak jedná se pouze o krátkodobé ovlivnění, pravděpodobně způsobené nehomogenitou materiálu. Toto zakolísání by nemělo mít žádný zásadní vliv na funkci spoje.

Technologické podmínky tohoto procesu jsou nastaveny tak, že je kontrolováno splnění požadavku na dosažení maximální síly, což u všech 25 vzorků bylo splněno. Na jednotlivých grafech lze pozorovat, že požadavek lisování na definované zatížení je velice stabilní, avšak vlivem délkových tolerancí (délka čepu / hloubka díry) je viditelné mírné kolísání maximální dosažené pozice. Nejvyšší rozdíl v koncové pozici dle absolutní dráhy je 0,28 mm.

Rozbor směrnic

Jelikož se v II. oblasti průběh lisovací síly jeví lineárně (i přes změnu směrnice vysvětlenou výše), je tato část vhodná pro vyšetření korelace průběhu lisovací síly vůči přesahu jednotlivých součástí. Pro potřebu této analýzy byly křivky rozděleny do 3 kategorií dle průběhu lisovací síly mezi dvěma body (Bod 1 a 2 v Tab. 20). Pro každou kategorii byly vybrány tři reprezentativní křivky, aby byl eliminován případný výskyt extrémů:

- Křivky **4, 5 a 19** leží nejnižší v II. oblasti, jsou charakteristické pozvolným nárůstem lisovací síly, přibližně v bodě 166,3 dochází k strmému nárůstu až do splnění silové podmínky. Tyto křivky mají přesah čepů vůči díře 11, 14 a 15 μm
- 10, 20 a 22** jsou představiteli středu mezi strmým a pozvolným nárůstem lisovací síly. Pro tyto dva celky byl naměřen přesah 12, 11 a 12 μm .
- Strmý nárůst v první části II. oblasti reprezentují křivky **11, 14 a 16**, ty svírají největší pomyslný úhel vůči vodorovné ose oproti ostatním křivkám. Přesah těchto křivek je 14, 15 a 12 μm .

Tab. 20 – Rozbor směrnic lisovací křivky v II. oblasti

Číslo dílu	Bod 1		Bod 2		Úhel směrnice		Průměry dílu	Hloubka / délka [mm]		
	Dráha [mm]	Síla [kN]	Dráha [mm]	Síla [kN]	Úhel [rad]	Úhel [°]		Přesah [μm]	Díra odlítku	Čep
4	159,50	0,41	165,49	1,01	0,10	5,76	0,011	8,40	31,08	22,68
5	159,50	0,39	165,49	1,13	0,12	7,11	0,014	8,41	31,03	22,62
10	159,50	0,44	165,49	1,94	0,26	14,66	0,012	8,57	31,00	22,43
11	159,50	0,39	165,50	1,26	0,15	8,37	0,014	8,45	31,05	22,60
14	159,50	0,42	165,49	1,19	0,13	7,41	0,015	8,45	31,08	22,63
16	159,50	0,42	165,49	1,61	0,20	11,53	0,012	8,40	31,08	22,68
19	159,50	0,33	165,49	1,59	0,21	12,23	0,015	8,41	31,01	22,60
20	159,50	0,34	165,49	1,21	0,15	8,38	0,011	8,43	30,98	22,55
22	159,50	0,37	165,49	1,87	0,26	14,66	0,012	8,43	30,95	22,52

Obecně by měla platit hypotéza, že u vyššího přesahu bude lisovací křivka stoupat strměji oproti kombinaci dílů s nižším přesahem. Na základě rozboru tří kategorií, uvedeného výše, nelze vysledovat přímou závislost strmosti náběhu lisovací síly na přesahu součástí. Pro přesah 11 μm je možné nalézt hodnoty 5,7 - 8,4°, pro přesah 12 μm hodnoty 11,5 - 14,7°, oproti tomu při přesahu 15 μm byly vysledovány hodnoty 7,4 - 14,7°. Je však nezbytné zdůraznit, že měření

vnitřního průměru nebylo způsobilé pro takovýto proces měření, proto tato data mohou být zatížena výraznou chybou či nejistotou měření. Toto měření by se mělo opakovat při užití způsobilých měřidel.

Další možné vlivy na průběh lisovací síly:

- Nejistota měření
- Souosost
- Nehomogenní materiál
- Mastnota díry v odlitku VA
- Sražení a rádius čepu VA

Tab. 21 – Montáž VA – naměřené hodnoty

Číslo dílu	Maximum v I. oblasti		Minimum v II. oblasti		Stop signál v II. oblasti		Maximum v II. oblasti		Informace o dráze [mm]			Průměry dílů [mm]			Hloubka / délka [mm]		
	Dráha (mm)	Síla (kN)	Dráha (mm)	Síla (kN)	Dráha (mm)	Síla (kN)	Dráha (mm)	Síla (kN)	Dráha pracov.	Dráha lisování	Začátek měření	Díra odlitku	Čep	Přesah	Díra odlitku	Čep	Rozdíl
1	157,96	0,52	158,93	0,15	166,71	3,31	166,71	3,44	10,12	7,78	156,59	3,992	4,009	0,017	8,44	31,02	22,58
2	158,01	0,72	158,77	0,15	166,66	3,31	166,66	3,44	10,07	7,89	156,59	3,992	4,008	0,016	8,51	31,09	22,58
3	157,81	0,21	159,05	0,15	166,67	3,32	166,67	3,44	10,07	7,62	156,59	3,995	4,009	0,014	8,41	31,08	22,67
4	157,87	0,22	159,12	0,15	166,74	3,31	166,74	3,44	10,15	7,62	156,59	3,996	4,007	0,011	8,40	31,08	22,68
5	157,48	0,16	159,01	0,15	166,67	3,31	166,67	3,44	10,08	7,66	156,59	3,994	4,008	0,014	8,41	31,03	22,62
6	157,81	0,23	158,99	0,15	166,69	3,32	166,69	3,44	10,10	7,69	156,59	3,994	4,008	0,014	8,45	31,06	22,61
7	158,28	1,03	159,05	0,15	166,67	3,31	166,67	3,44	10,08	7,61	156,59	3,994	4,008	0,014	8,41	31,06	22,65
8	158,31	1,43	159,59	0,32	166,53	3,29	166,53	3,43	9,93	6,94	156,59	3,992	4,007	0,015	8,54	31,04	22,50
9	158,08	0,85	158,88	0,15	166,66	3,32	166,66	3,44	10,07	7,78	156,59	3,994	4,007	0,013	8,56	31,03	22,47
10	157,44	0,15	158,92	0,15	166,56	3,32	166,56	3,44	9,97	7,64	156,59	3,993	4,005	0,012	8,57	31,00	22,43
11	158,89	0,17	158,72	0,15	166,62	3,31	166,62	3,44	10,03	7,90	156,59	3,994	4,008	0,014	8,45	31,05	22,60
12	158,21	1,43	159,13	0,33	166,46	3,27	166,46	3,43	9,87	7,33	156,59	3,992	4,009	0,017	8,50	31,08	22,58
13	157,44	0,15	158,91	0,15	166,63	3,30	166,63	3,44	10,04	7,72	156,59	3,994	4,008	0,014	8,44	31,01	22,57
14	157,40	0,15	158,95	0,15	166,59	3,31	166,59	3,44	10,00	7,64	156,59	3,993	4,008	0,015	8,45	31,08	22,63
15	158,88	0,16	158,89	0,16	166,61	3,30	166,61	3,45	10,02	7,72	156,59	3,995	4,009	0,014	8,44	31,08	22,64
16	157,85	0,36	158,69	0,15	166,60	3,30	166,60	3,44	10,01	7,90	156,59	3,996	4,008	0,012	8,40	31,08	22,68
17	157,41	0,16	158,97	0,15	166,68	3,30	166,68	3,44	10,09	7,70	156,59	3,996	4,008	0,012	8,43	31,08	22,65
18	157,41	0,16	159,10	0,15	166,68	3,30	166,68	3,43	10,09	7,57	156,59	3,994	4,007	0,013	8,48	30,96	22,48
19	157,65	0,16	158,88	0,15	166,71	3,31	166,71	3,44	10,11	7,83	156,59	3,993	4,008	0,015	8,41	31,01	22,60
20	157,48	0,16	159,14	0,15	166,68	3,30	166,68	3,43	10,09	7,54	156,59	3,995	4,006	0,011	8,43	30,98	22,55
21	157,41	0,16	159,13	0,15	166,70	3,31	166,70	3,44	10,11	7,57	156,59	3,991	4,007	0,016	8,42	31,02	22,60
22	157,41	0,16	159,04	0,15	166,73	3,31	166,73	3,44	10,14	7,69	156,59	3,997	4,009	0,012	8,43	30,95	22,52
23	157,49	0,16	158,95	0,15	166,70	3,30	166,70	3,44	10,11	7,75	156,59	3,996	4,006	0,010	8,52	30,95	22,43
24	158,00	0,16	158,96	0,16	166,72	3,30	166,72	3,44	10,12	7,75	156,59	3,993	4,010	0,017	8,41	31,00	22,59
25	157,53	0,16	159,06	0,15	166,73	3,32	166,73	3,44	10,14	7,66	156,59	3,995	4,009	0,014	8,46	30,95	22,49
26 NOK	157,46	0,16			167,59	0,28	167,59	0,41	11,00		156,59	3,992	3,968	-0,024	8,40	29,50	21,10
Min	157,40	0,15	158,69	0,15	166,46	3,27	166,46	3,43	9,87	6,94	156,59	3,991	4,005	0,010	8,40	30,95	22,43
Max	158,89	1,43	159,59	0,33	166,74	3,32	166,74	3,45	10,15	7,90	156,59	3,997	4,010	0,017	8,57	31,09	22,68
Rozdíl	1,49	1,28	0,89	0,18	0,28	0,04	0,28	0,02	0,28	0,96	0,00	0,006	0,005	0,007	0,17	0,14	0,25

Pro tabulky 20 platí následující pravidla formátování.

- Červený řádek – NOK kus, jedná se o HSS čep
- Hnědý řádek – díly se špičkou v první oblasti
- Tučné písmo u jednotlivých hodnot – maxima a minima v daném sloupci

5.3 Způsobnost MSVA

Způsobnost měření musí být hodnocena pro celý systém měření Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru. Na základě nasbíraných dat a následného vyhodnocení je MSVA jako celek nevhodné pro měření montážního procesu lisování čepu víceúčelového aktuátoru. Některá měřidla nemají dostatečné rozlišovací schopnosti, kdy samotná odchylka měřícího subsystému je svým poměrem vůči tolerančnímu pásmu příliš zásadní. Důvody, které způsobují nedostatečný výsledek hodnocení způsobnosti měřidel, jsou uvedeny v předchozích kapitolách věnující se jednotlivým výsledkům měření. Shrnutí je možné nalézt níže.

5.3.1 Způsobnost měřící části MSVA

Hlavními důvody pro nesplnění požadavků hodnocení je nedostatečná rozlišovací schopnost některých z měřidel či špatná opakovatelnost. U případů, kdy bylo dosaženo dostatečného rozlišení měřidla, byla velká odchylka mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou daného etalonu. Pro optické měření se ukázalo nevhodné použití „zlatého kusu“, jenž byl přeměřen externí laboratoří, neboť díl měl pro tuto aplikaci příliš velký rozptyl válcovitosti a z toho vycházející nepřesnost způsobovala nadbytečnou variabilitu.

Optický mikrometr TM-3000

Pro optický mikrometr byla způsobnost ověřována nejprve zrychlenou kontrolou opakovatelnosti, následně pro hlavu TM-006 byl využit postup s opakovaným měřením stejných dílů. U tohoto měření byl vyloučen vliv operátora na základě principu měření. Pro hlavu TM-040 bylo provedeno pouze měření opakovatelnosti.

a) TM-006 – průměr čepu

Měření je podmíněně způsobné, celkový rozptyl $GRR = 21,61\%$. V případě, kdy $10\% \leq GRR \leq 30\%$, jedná se o tzv. podmíněnou způsobnost, kdy je požadováno schválení měřícího systému zákazníkem. Další vypočtenou hodnotou je rozptyl dílů, který využívá téměř celou toleranci, tj. $84,63\%$. Rozlišení měřidla odpovídá $0,12\%$ z intervalu tolerance, což násobně převyšuje požadavek na $5\% T$.

$$C_g = 4,61 / C_{gk} = 4,39 \text{ (5 mm etalon)}$$

$$GRR = 21,61\%$$

b) TM-040

Měření touto optickou hlavou není způsobné, avšak měření s etalonem 9,9 prokázalo, že kompenzování systémové odchylky má významný přínos a při následném měření bylo dosaženo způsobnosti při testu opakovatelnosti. Proto je pro tuto optickou hlavu doporučeno při případném užití provést kalibraci, justování a korekci.

$$C_g = 7,17 / C_{gk} = 7,12 \text{ (9,9 mm etalon po justování)}$$

Dutinoměr XT3

Měřidlo neprokázalo způsobnost při testu opakovatelnosti a strannosti. Rozlišení nedosahuje rozlišení 5% z rozsahu tolerance, ani „zlatého pravidla metrologie“, tj. 10% z širší tolerance.

$$C_g = 0,16 / C_{gk} = 0,07$$

Posuvné měřítko Mitutoyo ABS AOL řady 500

Toto měřidlo je používáno při dvou měřících operacích, kdy pro první z nich byla prokázána způsobnost, avšak u druhé je výrazně vyšší požadavek na přesnost (nižší tolerance).

a) Délka čepu

U této kontroly se jedná o měření volné míry, na které je posuvné měřítko dostačující. Po splnění požadavků na opakovatelnost měření bylo provedeno hodnocení způsobilosti analýzou rozptylů s vlivem operátora. Tzn. dvě sady měření stejných dílů pro oba operátory, celkem 40 výsledků (použito 10 vzorků). Vyhodnocení ukázalo rozptýlení dílů 31,46%, avšak všechny díly leží na nebo nad hranou horní tolerance.

$$C_g = 3,41 / C_{gk} = 3,12$$

$$GRR = 10,36\%$$

b) Hloubka otvoru

Není splněn požadavek na rozlišení měřidla, tj. 5% měřeného rozsahu tolerance, dále nebyla dokázána dostatečná opakovatelnost. Testování proběhlo kontrolou míry dané etalonovou měrkou.

$$C_g = 0,8 / C_{gk} = 0,5$$

Návrhy na opatření

Pro dosažení způsobilosti systému měření musí být napraveny níže uvedené měřicí operace:

- 1) Pro měření vnitřního průměru není dostupné měřidlo s dostatečnou rozlišitelností a přesností, tak, aby byly splněny požadavky způsobilosti. Z tohoto důvodu je doporučeno doplnění MSVA o kruhoměr odpovídajícího typu (např. Mahr Marcator 1087 BR).
- 2) Měření hloubky otvoru není momentálně prováděno vhodným měřidlem z hlediska přesnosti a rozlišitelnosti. Pro změnu takového stavu je doporučeno užití jiného subsystému měření. Varianty byly podrobně popsány v kapitole 5.1.3, s. 44.

Poznátky

Během měření byly získány následující poznátky:

- 1) Měření vnějšího průměru čepu VA pomocí optického mikrometru TM-3000 prokázalo přínos kalibrace a justování při změně kontrolované součásti.

5.3.2 Způsobnost lisovacího procesu

U lisovacího procesu bylo dosaženo výborné opakovatelnosti výsledků, kdy i přes variabilitu jednotlivých průběhů lisovacích sil bylo dosaženo výsledku uvnitř tolerančního pole. Vyšetření vzniku lokálních špiček popisovaných výše (kapitola 5.2, s. 47) proběhlo úspěšně, kdy tuto špičku vyvolává nesprávné založení odlitku do zakládacího přípravku, čímž dochází k nesouososti jednotlivých částí montážního celku víceúčelového aktuátoru během procesu lisování. Montážní předpis neobsahuje požadavek na kontrolu dosažené dráhy, ale při analýze lisovacích křivek došlo i k rozboru zalisované vzdálenosti. U dvou montážních celků (8, 12) proběhlo dosažení silové podmínky o 0,2 mm dříve než je průměrná dosažená hodnota. Vlivem výrobních úchylek jednotlivých komponent těchto sestav je vzdálenost horní hrany čepu nad otvorem do 0,08 mm vůči průměrné délce všech sledovaných vzorků, tj. 22,58 mm, respektive 22,50 mm.

Sledované hodnoty u lisovacího procesu

$$C_m = 17,4 / C_{m_k} = 4,31$$

Kvalita výrobního procesu vstupních komponent

Znaky označené za neshodné, případně podezření na neshodu:

a) Délka čepu víceúčelového aktuátoru

Měření proběhlo posuvným měřítkem, kdy měřicí subsystém je označen za podmíněčně způsobilý (viz. příloha 1, list 2, 3). Z náměrů jednotlivých vzorků můžeme vidět, že 18 z 25 dílů leží nad horní hranicí tolerance. Díly byly vybrány ze dvou výrobních dávek, přičemž první výrobní dávka má neshodu dílů 93%, u dílů z druhé výrobní dávky je neshoda 30%. Druhá výrobní dávka má tedy násobné zlepšení výrobní kvality, avšak z pohledu způsobnosti výrobního procesu by mělo dojít k seřízení výrobního stroje, neboť průměrná délka čepu neleží blízko středu tolerance, avšak 0,04 mm nad horním mezním rozměrem dílu. Nutno upozornit, že v tomto případě se nejedná o žádný přísně tolerovaný rozměr, neboť zde se interval tolerance řídí volnou mírou, tj. $\pm 0,3$ mm pro délku čepu VA.

b) Hloubka díry odlitku

Pro tento znak je možné konstatovat pouze podezření, neboť měřidlo, kterým byly získány hodnoty, není způsobilé měřicího procesu dle MSA, zároveň však je splněno „zlaté pravidlo metrologie“, tj. měřidlo musí být desetkrát přesnější vůči intervalu tolerance sledovaného znaku. V grafu rozptylu hodnot (viz. Obr. 33, s. 45) lze vysledovat, že 70% vzorků leží pod hranicí dolního mezního rozměru. Tento stav zcela jistě nenapovídá o správném výrobním procesu, proto by v dalších výrobních dávkách měla být provedena kontrola vyráběných dílců vhodným měřidlem, minimálně do doby, než dojde ke zlepšení kvality.

c) Průměr díry odlitku

V tomto případě nelze konstatovat neshodu znaku, pouze podezření na nevhodně nastavený výrobní proces. Z měření (viz. Obr. 31, s. 44) vyplývá podezření na špatný výrobní proces. Pro pět vzorků byly zjištěny hodnoty překračující horní mezní rozměr, přičemž vlivem samotné nejistoty měřidla mohou být tyto hodnoty pouze špatně klasifikovány. Při zkoumání hodnot jako celku je však signifikantní průměr těchto hodnot, který činí 3,994 mm, což je pouze 0,001 mm od horního mezního rozměru. Takové zjištění může být v kombinaci s nálezem ohledně nedodržení hloubky téhož otvoru důvodem ke zlepšení kontrolního procesu pro odlitek víceúčelového aktuátoru.

5.4 Korelace lisovací síly vůči rozměrové přesnosti vzorků

Rozbor lisovacích křivek s cílem vysledování závislosti rozměrové přesnosti průměrů jednotlivých dílů a indikovanou lisovací silou byla podrobně popsána (viz. kapitola 5.2.2, s. 49). Na základě dat získaných dříve popsanými metodami lze konstatovat absenci předpokládané závislosti. Nelze však tvrdit, že daná závislost neexistuje, neboť s jistotou lze konstatovat pouze neidentifikování této závislosti z důvodu nedostatečné přesnosti některých z užitých subsystémů měření. Vlivem nejistoty měření je možné významné zkreslení dat, neboť teorie nejistot měření tvrdí, že naměřená hodnota se může se stejnou pravděpodobností nalézat kdekoliv v intervalu nejistoty. Jako příklad nezpůsobitelného měření lze uvést měření vnitřního průměru otvoru odlitku $\varnothing 4N6$ ($T=8 \mu\text{m}$, $s_g=1,7 \mu\text{m}$), kdy při použití dutinoměru Bowers XT3 není pro měřidlo splněna podmínka způsobilosti dle MSA, ani respektováno „zlaté pravidlo metrologie“.

6 Závěr

V diplomové práci byla řešena problematika související s hodnocením způsobilosti Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru, dále jen „MSVA“. Úvodní část je věnována krátkému seznámení s nejistotami měření, které jsou přímo spojeny s jakoukoliv měřenou hodnotou. V navazující části práce proběhlo obeznámení s jednotlivými měřidly a zařízeními, jež jsou součástí MSVA, a zároveň jsou předmětem hodnocení způsobilosti. Dále byl popsán postup měření pro standardní kontrolu montáže a následnou montáž víceúčelového aktuátoru. V praktické části byla navržena metodika hodnocení způsobilosti, kdy je nutné uvědomění faktu, že stanice sestává ze dvou částečně nezávislých pracovišť, přičemž pro každé pracoviště bylo nezbytné navržení odlišné metodiky hodnocení způsobilosti. Z důvodu využití stroje pro kontrolu procesu vycházejícího ze sériové výroby bylo rozhodnuto o navržení metodiky na základě přístupu AIAG, jelikož se jedná o měřicí procesy s minimální variabilitou dílů a velkým počtem testovaných kusů. Konkrétně se jedná o způsobilost měření dle MSA pro měřicí pracoviště a způsobilost stroje pro lisovací část stanice dle podnikových interních dokumentů (založených na PPAP metodice). Zmíněné metodiky byly následně užity v praxi k samotnému hodnocení způsobilosti MSVA.

Na základě protokolů způsobilosti MSVA (uvedeno v příloze č. 1) lze konstatovat, že Měřicí stanice pro víceúčelový aktuátor nemá vhodně zvolená některá z měřidel, neboť nedosahují požadovaných ukazatelů způsobilosti (C_g , C_{gk}). Pořízení MSVA však umožnilo odhalení zásadních odchylek dodavatelských dílů od stanovených tolerancí. V případě některých dílů lze konstatovat pouze podezření na neshodné díly z důvodu vysoké variability měření u nezpůsobilých měřidel. Z tohoto důvodu by mělo dojít k dodatečné kontrole na vhodných měřidlech a případné konfrontaci dodavatelského subjektu s výsledky měření, pokud následné měření potvrdí stávající podezření. Dvě měřidla byla označena jako podmíněně způsobilá, což udává povinnost komunikovat tento stav se zákazníkem a usilovat o souhlas s užitím těchto měřidel. Výstupem vycházejícím z analýzy opakovatelnosti, provedené na optickém mikrometru TM-3000, bylo klasifikování maximální použitelné šíře tolerančního pásma napříč rozsahem měřidla. Zároveň byl prokázán pozitivní přínos justování měřidla pro měřicí hlavu TM-040, kdy bylo možné po kalibraci, následném justování a korekci dosáhnout způsobilých ukazatelů pro toto měřidlo. Justování bylo provedeno pro parametr treshold, který je dán odrazivými vlastnostmi měřeného objektu.

V části práce věnující se lisovacímu procesu bylo zjištěno, že u osmi lisovacích křivek v I. části záznamu (viz. Obr. 35, s. 48) je možné sledovat špičkový nárůst síly následovaný stejně strmým poklesem. Příčina tohoto jevu byla v průběhu práce nalezena. Jde o nesouosost způsobenou nevhodným zakládacím přípravkem, čímž dochází k mimoběžnému lisování v I. části lisovací křivky. V II. části dochází k rovnoměrnému nárůstu síly, což je přerušeno (vlivem dosažení určité dráhy) výraznou změnou směrnice indikující strmý nárůst síly. Tento jev je připisován dosažení dna otvoru a následným tlakem na dno odlitku. Síla, jež tímto vzniká, je klasifikována jako lisovací, avšak zcela určitě není vypovídající o síle potřebné pro vytržení čepu VA z odlitku.

Dále práce demonstruje, že při užití neshodných nebo pravděpodobně neshodných dílů lze dosáhnout způsobilého lisovacího procesu. Hodnotícím kritériem je pouze dosažení definované lisovací síly bez dodatečného požadavku na kontrolu koncové pozice. V budoucnu by mělo být dosaženo zlepšení měřicího systému MSVA tak, aby mohly být neshodné znaky jednoznačně identifikovány způsobilým měřicím systémem a mohla být potvrzena či vyvrácena hypotéza o zanedbatelném vlivu neshodných znaků na výsledek lisovacího procesu při stávajících podmínkách vyhodnocení. V případě potvrzení tohoto nálezu, by bylo možné rozvolnit výrobní

tolerance jednotlivých dílů. To by mělo vést k úsporám výrobních nákladů, které v době ochlazení ekonomiky mohou být zásadní konkurenční výhodou podniku. Zároveň by měl vzniknout požadavek na kontrolu dosažené lisovací dráhy vztažené k lisovací síle.

Uvedené nálezy (kapitola 5) by měly být použity pro odůvodnění a obhájení investice do měřidel MSVA, aby bylo možné splnit požadavky na způsobilost měřicí stanice. Za stávající situace je **stanice shledána nezpůsobilou**, i přes fakt, že některé měřicí či výrobní subsystémy jsou způsobilé nebo způsobilé s výhradou.

- [1] PHILIPS LW, Chang D, Buzell RD, *Product quality, cost position and bussiness performance*. Harvard University, 1982
- [2] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. 96 s. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [3] ČSJ, *Analýza systémů měření: příručka*. 4. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. viii, 231 s. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [4] ČMI, *Základní pojmy* [online] [Citace: 14.02.2020] <https://www.cmi.cz/node/537>
- [5] PERNIKÁŘ, Jirí. *Hodnocení způsobilosti kontrolních prostředků* [online] [Citace: 06.05.2020] http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf
- [6] JANEČEK, Zdeněk. *Způsobilost kontrolních procesů: použitelnost kontrolních prostředků, vhodnost kontrolních procesů, přihlídnutí k nejistotám měření*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2004. 112 s. Management jakosti v automobilovém průmyslu; 5. ISBN 80-02-01656-4.
- [7] UNMZ, *Nejistoty měření, přesnost měření, správnost měření a otázky spojené se vzájemnou porovnatelností výsledků měření a s prohlášením o shodě s tech. specifikacemi*. [online] [Citace: 22.05.2020] https://www.unmz.cz/sborniky_th/sb8/nejistoty.pdf
- [8] VDA 5, *Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. 2., zcela přeprac. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. 170 s.
- [9] EA 4.02 M:2013, *Vyjadřování nejistot měření při kalibracích* [online] [Citace: 22.05.2020] https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2019/02/01_08-P001_EA_04_02_M_201404301.pdf
- [10] Kistler Group, *NC Joining systems*. Switzerland, 2017, 960-283e-07.17 [online] [Citace: 01.04.2020] <https://www.kistler.com/?type=669&fid=110846&model=document>
- [11] Absolutní enkodér [online] [Citace: 01.04.2020] <https://www.sick.com/cz/cs/encodery/absolutni-ekoder/c/g244395>
- [12] Kistler Group, *MaXYmos NC manual*, Switzerland 2019, Material No.: 55234067 [online] [Citace 01.04.2020] <https://www.kistler.com/files/document/002-679e.pdf>
- [13] Keyence Corporation, *GT2-100 Series User's manual*, 3rd rev. Japan, 2019, 189054GB 1099-2 635GB
- [14] Dacell, *Low Profile Comperssion Load Cell*. [online] [Citace: 05.04.2020] <http://www.dacell.com/attach/dacell/20181101/b527dd19731d3e9aff4f3463804514d1.pdf>
- [15] Bowers group, *XT3 Digital Bore Gauge with Bluetooth*, [online] [Citace: 10.04.2020] <https://www.bowersgroup.co.uk/row/xt3-digital-bore-gauge-with-bluetooth-metric.html>

- [16] Mitutoyo, *Datový list Digital ABS AOS Caliper* [online] [Citace: 10.04.2020] [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/500-181-30/datasheet.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/$catalogue/mitutoyoData/PR/500-181-30/datasheet.xhtml)
- [17] Mitutoyo, *Katalog měřících přístrojů 2008*, [online] [Citováno: 21.04.2020] https://issuu.com/zoner/docs/mitutoyo_katalog_cz-14001
- [18] Keyence Corporation, *High-speed 2D Measurement Sensor Users' Manual*. Japan, 2010 11192E 1116-6 96M11193
- [19] Nejménovaná společnost, *Výrobní dokumentace VA*, Česká Republika 2019
- [20] Misumi, *Manually Operated Units/Lifting Type/With Position Indicator* [online] [Citováno: 04.05.2020] <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302277130/>
- [21] Kovonástroje, *Univerzální samostředící sklíčidlo* [online] [Citováno: 04.05.2020] <https://www.kovonastroje.cz/Upinaci-nastroje/Univerzalni-sklicidla-a-prisl/Univ-sklicidla-3-cel/Univerzalni-samostredici-sklicidlo-TOS-IUS-125-3-2-M1-125-3-2M1-bezna-presnost.html>
- [22] NENADÁL a kol., *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. 1.vyd. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7
- [23] ČSN ISO 22514-7 *Statistické metody v managementu procesu - Způsobilost a výkonnost - Část 7: Způsobilost procesů měření*
- [24] ISO 22514-2:2015-06, *Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 2: Process performance capability and process capability statistics of time-dependent process models*
- [25] Nejménovaná společnost, *Interní dokument hodnocení způsobilosti*. Česká Republika 2008
- [26] Statistical Process Control, *Machine capability*. [online] [Citováno: 01.06.2020] <https://www.statisticalprocesscontrol.info/glossary.html#Capability>
- [27] ČSN EN ISO 3650 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Etalony délek - Koncové měřky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000, Třídící znak 253308.
- [28] Mahr, *MarForm, Form Measuring Instruments*. [online] [Citováno: 19.05.2020] http://www.tqscorp.com/docs/products/mahr/17_MarForm.pdf
- [29] Tesa technology, *Precision Measuring Instruments*. 10012.089.1601. [online] [Citováno: 19.05.2020] http://www.tesabs.cz/TESA_General-Catalogue_EN.pdf
- ČJS, *PPAP - Proces schvalování dílů do sériové výroby*. 4. vydání, Praha, 2006. ISBN: 80-02-01833-8
- Mitutoyo, *Koncové měřky*. [online] [Citováno 25.04.2020] https://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor//5_Produkty/5-23_mitutoyo/mitutoyo-katalog_koncove_merky_340az358.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1 – Víceúčelový aktuátor	8
Obr. 2 – Řez víceúčelovým aktuátorem	9
Obr. 3 – Měřicí stanice víceúčelového aktuátoru.....	10
Obr. 4 – Měřicí stanice MSVA	11
Obr. 5 – Lisovací stanice MSVA	12
Obr. 6 – TM-3000 udávaná přesnost měřidla dle velikosti snímané oblasti	16
Obr. 7 – MSVA v prostoru laboratoře.....	17
Obr. 8 – Měřicí hnízdo	18
Obr. 9 – Měření vnitřního průměru	19
Obr. 10 – Sestava lisovacího přípravku.....	20
Obr. 11 – Odrazivost vzorku a její činitele.....	25
Obr. 12 – Vztah C_{mk} vůči $6s$	26
Obr. 13 – Způsobnost měřidla – postupový diagram.....	27
Obr. 14 - Způsobnost stroje – postupový diagram.....	28
Obr. 15 – Válcové etalony	29
Obr. 16 – Značení jednotlivých součástí montážního celku VA	32
Obr. 17 – TM-3000 korekce pozice a měření úhlu	33
Obr. 18 – TM-3000 měření průměru	34
Obr. 19 – Seřízení nulové pozice	34
Obr. 20 – Seřízení sousosti	35
Obr. 21 – Finální kontrola sousosti	36
Obr. 22 – Značení montážních celků.....	37
Obr. 23 – Protokol způsobnosti měřidla – Posuvné měřítko při měření hloubky otvoru	38
Obr. 24 – TM-006 - opakovatelnost a strannost	39
Obr. 25 – TM-040 - opakovatelnost a strannost, část 1.....	40
Obr. 26 - TM-040 - opakovatelnost a strannost, část 2	41
Obr. 27 – TM-006 užití cíleně neshodných dílů	42
Obr. 28 – TM-006 – měření způsobnosti (průměr čepu VA)	42
Obr. 29 – TM-006 – měření způsobnosti (úhel sražení čepu VA).....	43
Obr. 30 – TM-006 – měření způsobnost (rádius čepu VA).....	43
Obr. 31 – Dutinoměř XT3 – měření způsobnosti (průměr otvoru odlitku VA)	44
Obr. 32 – Mitutoyo ABS AOL – měření způsobnosti (délka čepu VA).....	45
Obr. 33 – Mitutoyo ABS AOL – měření způsobnosti (hloubka otvoru odlitku VA)	45

Obr. 34 – Kistler – graf síly originál	47
Obr. 35 – Kistler – rozbor montážních celků se špičkou v I. oblasti	48
Obr. 36 – Kistler – rozbor dílů bez špičky v I. oblasti	49

Seznam tabulek

Tab. 1 - Interval spolehlivosti	7
Tab. 2 – Lisovací osa Kistler NFCH 2151B	13
Tab. 3 – Snímač dráhy Keyence GT2-H12K	14
Tab. 4 – Tenzometr Dacell CM-5 / CM-10	14
Tab. 5 – Dutinoměř Bowers XT3.....	15
Tab. 6 – Posuvné měřítko Mitutoyo ABS 500-181-30.....	15
Tab. 7 - Optický mikrometr Keyence TM-3000	16
Tab. 8 – Sledované znaky čepu VA	18
Tab. 9 – Sledované znaky odlitku VA	19
Tab. 10 – Sledované znaky lisovacího procesu	20
Tab. 11 – Kritérium způsobilosti měřidla	23
Tab. 12 – Stanovení vlivu operátora dle měřící operace	25
Tab. 13 – Metodika hodnocení měřidel.....	28
Tab. 14 – TM-006 - užití etalony	29
Tab. 15 – TM-040 - užití etalony	30
Tab. 16 – GT2 - doporučené etalony	30
Tab. 17 – Dodatečně užitá měřidla.....	32
Tab. 18 – TM-006 - způsobilost optické hlavy	39
Tab. 19 – TM-040 - způsobilost optické hlavy.....	40
Tab. 20 – Rozbor směrnice lisovací křivky v II. oblasti.....	50
Tab. 21 – Montáž VA – naměřené hodnoty.....	51

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Hodnocení způsobilosti (List 1 – 17)

PŘÍLOHA č. 1

Hodnocení způsobilosti

Analýza měřicích systémů

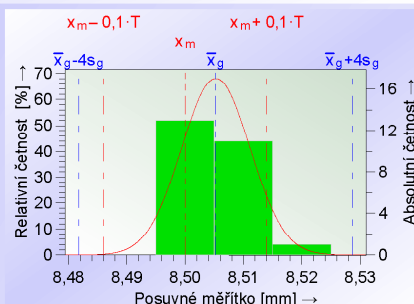
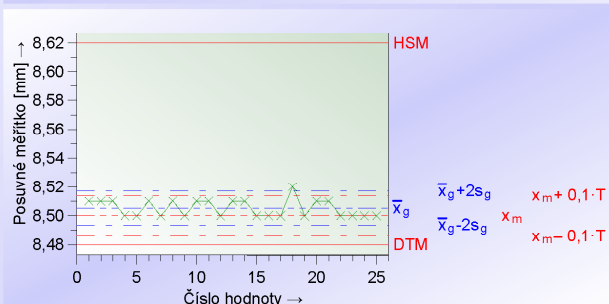
List 1 / 17

Oblast : Skup./Odd. : Provoz/oblast : Výrb. : Díl : Posuvné měřítko Čís. t. : 2020_04_09 Změn. st. : MSVA	Operace : Str. ozn. : MSVA Stroj č. : Měřicí místo : Zk.pr.: Ozn. : Posuvné měřítko Zk.pr.čís. : EM8210.01 Zk.pr.: Výr. : Mitutoyo Rozlišení : 0,01	Znak ozn. : Posuvné měřítko Znak č. : Hloubka otvoru Jmen.hodn. : 8,50 Odch.do. : -0,02 Odch.nah. : 0,12 Tol. : 0,14 Jednotka : mm
---	--	--

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : Koncová měrka **Etalon: čís.** : 8 mm **Etal./ref. hod.** : 8,5 **Nejistota kalibrace** : 0,0018

Čís. dílu		2020_04_09			Díl ozn.		Posuvné měřítko		
Znak č.		Hloubka otvoru			Znak ozn.		Posuvné měřítko		
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	8,51	6	8,51	11	8,51	16	8,50	21	8,51
2	8,51	7	8,50	12	8,50	17	8,50	22	8,50
3	8,51	8	8,51	13	8,51	18	8,52	23	8,50
4	8,50	9	8,50	14	8,51	19	8,50	24	8,50
5	8,50	10	8,51	15	8,50	20	8,51	25	8,50



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 8,5140	$x_{max\ g}$	= 8,52	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 8,5228
x_m	= 8,5000	$ B $	= 0,0052000	\bar{x}_g	= 8,5052
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 8,4860	$x_{min\ g}$	= 8,50	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 8,4876
$0,2 \cdot T$	= 0,0280	R_g	= 0,02	$6s_g$	= 0,0352
T	= 0,14	n_{celk}	= 25	s_g	= 0,00586
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!					
$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g}$	=	$0,57 \leq 0,80 \leq 1,02$	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, red, white, red);"></div>	$T_{min}(C_g)$	= 0,233
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g}$	=	$0,31 \leq 0,50 \leq 0,69$	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, red, white, red);"></div>	$T_{min}(C_{gk})$	= 0,286
Rozlišení	%RE =	7,14%	<div style="width: 100%; height: 10px; background: linear-gradient(to right, red, white, red);"></div>	$T_{min}(\%RE)$	= 0,200
Požadavky NE-splněny (%RE, C _g , C _{gk}) ☹					

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis _____

Analýza měřicích systémů

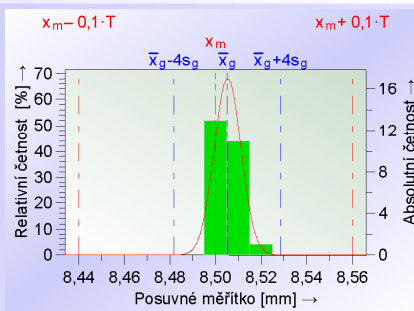
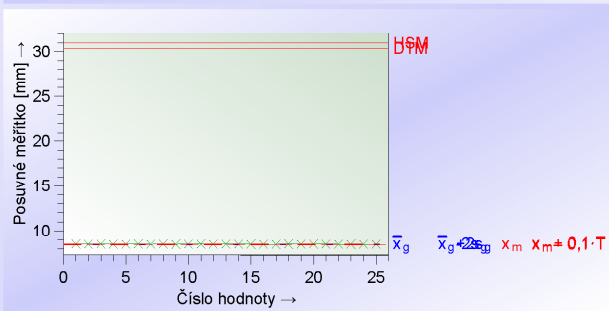
List 2 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : Posuvné měřítko
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : Délka čepu
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 30,70
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : -0,30
Díl : Posuvné měřítko	Zk.pr.: Ozn. : Posuvné měřítko	Odch.nah. : 0,30
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210.01	Tol. : 0,60
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Mitutoyo	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,01	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : Koncová měrka **Etalon: čís.** : 8 mm **Etal./ref. hod.** : 8,5 **Nejistota kalibrace** : 0,0018

Čís. dílu		2020_04_09		Díl ozn.		Posuvné měřítko	
Znak č.		Délka čepu		Znak ozn.		Posuvné měřítko	
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	8,51	6	8,51	11	8,51	16	8,50
2	8,51	7	8,50	12	8,50	17	8,50
3	8,51	8	8,51	13	8,51	18	8,52
4	8,50	9	8,50	14	8,51	19	8,50
5	8,50	10	8,51	15	8,50	20	8,51
						21	8,51
						22	8,50
						23	8,50
						24	8,50
						25	8,50



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 8,5600	$x_{max\ g}$	= 8,52	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 8,5228
x_m	= 8,5000	$ B $	= 0,0052000	\bar{x}_g	= 8,5052
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 8,4400	$x_{min\ g}$	= 8,50	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 8,4876
$0,2 \cdot T$	= 0,1200	R_g	= 0,02	$6s_g$	= 0,0352
T	= 0,60	n_{Celk}	= 25	s_g	= 0,00586
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!					
$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g}$	=	$2,45 \leq 3,41 \leq 4,37$	<input type="text" value="1,33"/>	$T_{min}(C_g)$	= 0,234
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_n}$	=	$2,23 \leq 3,12 \leq 4,01$	<input type="text" value="1,33"/>	$T_{min}(C_{gk})$	= 0,286
Rozlišení	%RE =	1,67%	<input type="text" value="5"/>	$T_{min}(\%RE)$	= 0,200
Měřicí systém je způsobilý (%RE, C _g , C _{gk})					

Kontrolní plán: Datum vytvoření Autor kontr. plánů Začátek zk. Jméno operátora

Oddělení Jméno Datum Podpis

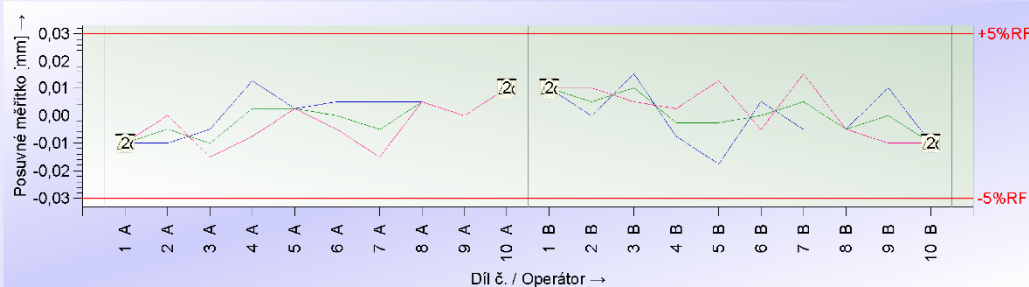
Analýza měřicích systémů

List 3 / 17

Oblast : Skup./Odd. : Provoz/oblast : Výrb. : Díl : Posuvné měřítko Čís. t. : 2020_04_09 Změn. st. : MSVA	Operace : Str. ozn. : MSVA Stroj č. : Měřicí místo : Zk.pr.: Ozn. : Posuvné měřítko Zk.pr.čís. : EM8210.01 Zk.pr.: Vyr. : Mitutoyo Rozlišení : 0,01	Znak ozn. : Posuvné měřítko Znak č. : Délka čepu Jmen.hodn. : 30,70 Odch.do. : -0,30 Odch.nah. : 0,30 Tol. : 0,60 Jednotka : mm
---	--	---

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : Koncová měrka Etalon čis. : 8 mm Etal./ref.hod. : 8,5



Čís. dílu	2020_04_09				Díl ozn.			Posuvné měřítko	
	Znak č.		Délka čepu		Znak ozn.			Posuvné měřítko	
n	X _{A,1}	X _{A,2}	$\bar{x}_{g,j}$	s _{g,j}	X _{B,1}	X _{B,2}	$\bar{x}_{g,j}$	s _{g,j}	
1	31,02	31,02	31,020	0,000	31,04	31,04	31,040	0,000	
2	31,09	31,10	31,095	0,007	31,10	31,11	31,105	0,007	
3	31,08	31,07	31,075	0,007	31,10	31,09	31,095	0,007	
4	31,08	31,06	31,070	0,014	31,06	31,07	31,065	0,007	
5	31,03	31,03	31,030	0,000	31,01	31,04	31,025	0,021	
6	31,06	31,05	31,055	0,007	31,06	31,05	31,055	0,007	
7	31,06	31,04	31,050	0,014	31,05	31,07	31,060	0,014	
8	31,04	31,04	31,040	0,000	31,03	31,03	31,030	0,000	
9	31,03	31,03	31,030	0,000	31,04	31,02	31,030	0,014	
10	31,00	31,00	31,000	0,000	30,98	30,98	30,980	0,000	

Opakovatelnost	Rozptyl	Směrodatná odchylk	0,0082474 ≤ 0,010356 ≤ 0,013921	%EVO = 10,36%	■
Reprodukovatelnost	[Statisticky nevýznamr			%AV = ---	+
Interakce	[pooling]			%IA = ---	+
Celkové rozptýlení	0,00010724	0,010356 ¹⁵	0,010113 ≤ 0,010356 ≤ 0,046243	%GRR = 10,36%	■

Rozlišení	=	%RE	=	1,67%	
Celkové rozptýlení	=	%GRR	=	10,36%	
Rozptýlení dílů	=	%PV	=	31,46%	
Počet rozlišovatelných tříd	=	ndc	=	4	

Měřicí systém je způsobilý s výhradou (%RE,%GRR,ndc) ☹

$T_{min}(\%GRR)$	0,621	$T_{min}(\%GRR)$	0,207
------------------	-------	------------------	-------

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

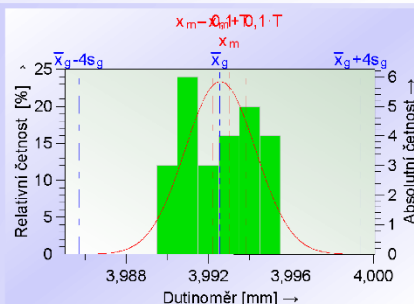
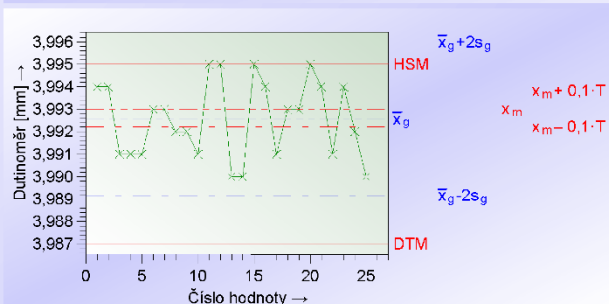
List 4 / 17

Oblast : Skup./Odd. : Provoz/oblast : Výrb. : Díl : Dutinoměr Čís. t. : 2020_04_09 Změn. st. : MSVA	Operace : Str. ozn. : MSVA Stroj č. : Měřicí místo : Zk.pr.: Ozn. : Dutinoměr XT3 Zk.pr.čís. : EM8210.02 Zk.pr.: Výr. : Bowers Rozlišení : 0,001	Znak ozn. : Dutinoměr Znak č. : 4 mm Jmen.hodn. : 4,000 Odch.do. : -0,013 Odch.nah. : -0,005 Tol. : 0,008 Jednotka : mm
---	---	---

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : Odlitek VA - 3 Etalon čís. : Etal.ref.hod. : 3,993 Nejistota kalibrace : 0,001

Čís. dílu		2020_04_09				Díl ozn.				Dutinoměr	
Znak č.		4 mm				Znak ozn.				Dutinoměr	
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	3,994	6	3,993	11	3,995	16	3,994	21	3,994		
2	3,994	7	3,993	12	3,995	17	3,991	22	3,991		
3	3,991	8	3,992	13	3,990	18	3,993	23	3,994		
4	3,991	9	3,992	14	3,990	19	3,993	24	3,992		
5	3,991	10	3,991	15	3,995	20	3,995	25	3,990		
i	x _i										
26											



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 3,99380	$x_{max\ g}$	= 3,995	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 3,99769
x_m	= 3,99300	$ B $	= 0,0044000	\bar{x}_g	= 3,99256
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 3,99220	$x_{min\ g}$	= 3,990	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 3,98743
$0,2 \cdot T$	= 0,00160	R_g	= 0,005	$6s_g$	= 0,01026
T	= 0,008	n_{Celk}	= 26	s_g	= 0,00171
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 0,11 \leq 0,16 \leq 0,20$	<input type="text" value="1,33"/>	$T_{min}(C_g) = 0,0665$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T \cdot \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -0,06 \leq 0,07 \leq 0,20$	<input type="text" value="1,33"/>	$T_{min}(C_{gk}) = 0,0726$
Rozlišení %RE = 12,50%	<input type="text" value="5"/>	$T_{min}(\%RE) = 0,0200$

Požadavky NE-splněny (%RE, C_g, C_{gk}) 😡

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

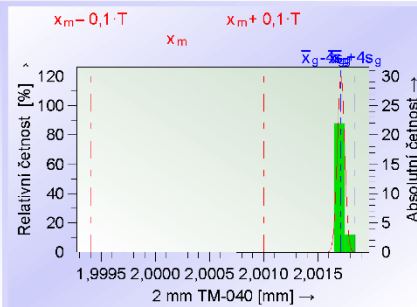
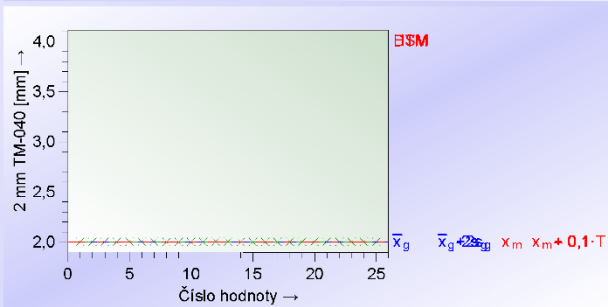
List 5 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 2 mm TM-040
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 2 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,0000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,0040
Díl : TM-040	Zk.pr.: Ozn. : TM-040	Odch.nah. : 0,0120
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,0080
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 2 mm ETALON **Etalon: čís.** : **Etal.ref.hod.** : 2,0002 **Nejistota kalibrace** : 0,0006

2020_04_09				Díl ozn.				TM-040			
2 mm				Znak ozn.				2 mm TM-040			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	2,0017	6	2,0017	11	2,0017	16	2,0017	21	2,0017	26	2,0017
2	2,0017	7	2,0017	12	2,0017	17	2,0017	22	2,0017	27	2,0017
3	2,0017	8	2,0017	13	2,0017	18	2,0017	23	2,0017	28	2,0017
4	2,0017	9	2,0017	14	2,0017	19	2,0017	24	2,0017	29	2,0017
5	2,0017	10	2,0017	15	2,0017	20	2,0017	25	2,0017	30	2,0017



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 2,001000	$x_{max\ g}$	= 2,0018	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 2,001811
x_m	= 2,000200	$ B $	= 0,0015120	\bar{x}_g	= 2,001712
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 1,999400	$x_{min\ g}$	= 2,0017	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 2,001613
$0,2 \cdot T$	= 0,001600	R_g	= 0,0001	$6s_g$	= 0,000199
T	= 0,0080	n_{Celk}	= 25	s_g	= 0,0000332
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 5,78 \leq 8,04 \leq 10,30$	$T_{min}(C_g) = 0,00132$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -9,18 \leq -7,16 \leq -5,13$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,0164$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$

Požadavky NE-splněny (%RE, C_g, C_{gk})

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

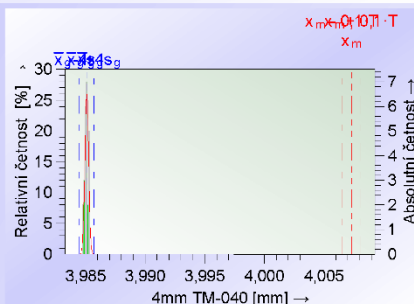
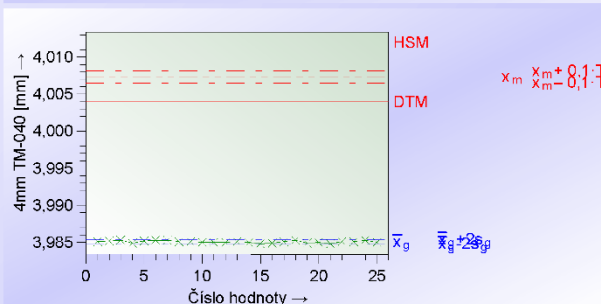
List 6 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 4mm TM-040
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 4 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,0000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,0040
Díl : TM-040	Zk.pr.: Ozn. : TM-040	Odch.nah. : 0,0120
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,0080
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 4 mm ČEP Etalon: čís. : 4,0073 Etal.ref.hod. : 4,0073 Nejistota kalibrace : 0,0038

Čís. dílu		2020_04_09				Díl ozn.				TM-040			
Znak č.		4 mm				Znak ozn.				4mm TM-040			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	3,9851	6	3,9853	11	3,9850	16	3,9849	21	3,9848	26	3,9851	31	3,9851
2	3,9852	7	3,9853	12	3,9850	17	3,9851	22	3,9851	27	3,9851	32	3,9851
3	3,9853	8	3,9851	13	3,9851	18	3,9853	23	3,9851	28	3,9851	33	3,9851
4	3,9849	9	3,9851	14	3,9850	19	3,9849	24	3,9849	29	3,9853	34	3,9853
5	3,9852	10	3,9850	15	3,9848	20	3,9850	25	3,9850	30	3,9850	35	3,9850



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 4,008100	$x_{max\ g}$	= 3,9853	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 3,985537
x_m	= 4,007300	$ B $	= 0,022224	\bar{x}_g	= 3,985076
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 4,006500	$x_{min\ g}$	= 3,9848	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 3,984615
$0,2 \cdot T$	= 0,001600	R_g	= 0,0005	$6s_g$	= 0,000921
T	= 0,0080	n_{Celk}	= 25	s_g	= 0,000154
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 1,25 \leq 1,74 \leq 2,22$	$T_{min}(C_g) = 0,00611$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -59,68 \leq -46,52 \leq -33,0$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,228$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$

Požadavky NE-splněny (%RE, C_g, C_{gk})

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánu	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

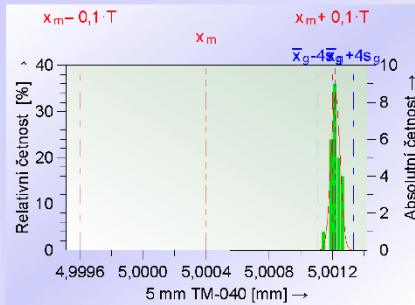
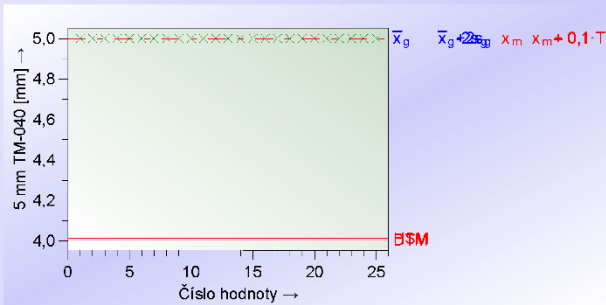
List 7 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 5 mm TM-040
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 5 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,00000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,00400
Díl : TM-040	Zk.pr.: Ozn. : TM-040	Odch.nah. : 0,01200
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,00800
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 5 mm ETALON **Etalon čis.** : **Etal.ref.hod.** : 5,0004 **Nejistota kalibrace** : 0,0006

2020_04_09				Díl ozn. TM-040			
5 mm				5 mm TM-040			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	5,00126	6	5,00120	11	5,00126	16	5,00123
2	5,00123	7	5,00122	12	5,00119	17	5,00118
3	5,00115	8	5,00121	13	5,00120	18	5,00124
4	5,00121	9	5,00120	14	5,00121	19	5,00119
5	5,00121	10	5,00121	15	5,00124	20	5,00121
						21	5,00122
						22	5,00127
						23	5,00121
						24	5,00123
						25	5,00127



Údaje z výkresu	Naměřené hodnoty	Statistické hodnoty
$x_m + 0,1 \cdot T = 5,0012000$	$x_{max\ g} = 5,00127$	$\bar{x}_g + 3s_g = 5,0013033$
$x_m = 5,0004000$	$ BI = 0,00081800$	$\bar{x}_g = 5,0012180$
$x_m - 0,1 \cdot T = 4,9996000$	$x_{min\ g} = 5,00115$	$\bar{x}_g - 3s_g = 5,0011327$
$0,2 \cdot T = 0,0016000$	$R_g = 0,00012$	$6s_g = 0,0001706$
$T = 0,00800$	$n_{Celk} = 25$	$s_g = 0,0000284$
Jednotka = mm		

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 6,74 \leq \mathbf{9,38} \leq 12,01$	$T_{min}(C_g) = 0,00113$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -0,35 \leq \mathbf{-0,21} \leq -0,07$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,00931$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$
Požadavky NE-splněny (%RE, C _g , C _{gk}) ⚠	

Kontrolní plán: Datum vytvoření

Autor kontr. plánů

Začátek zk.

Jméno operátora

Oddělení

Jméno

Datum

Podpis

Analýza měřicích systémů

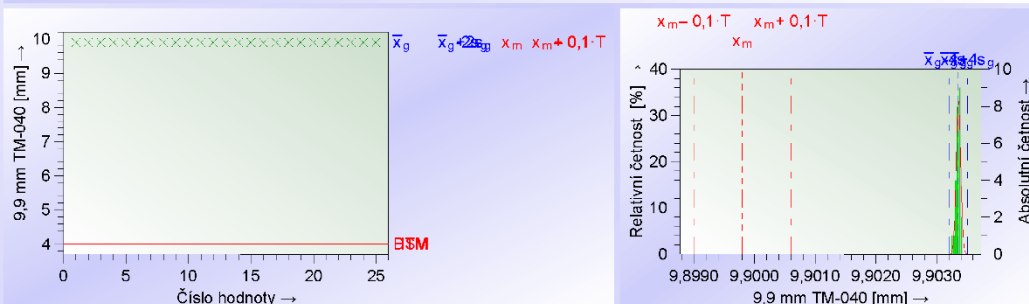
List 8 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 9,9 mm TM-040
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 9,9 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,00000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,00400
Díl : TM-040	Zk.pr.: Ozn. : TM-040	Odch.nah. : 0,01200
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,00800
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 9,9 mm ETALON **Etalon čis.** : **Etal.ref.hod.** : 9,8998 **Nejistota kalibrace** : 0,0016

2020_04_09				Díl ozn.				TM-040			
9,9 mm				Znak ozn.				9,9 mm TM-040			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	9,90326	6	9,90335	11	9,90342	16	9,90342	21	9,90342	26	9,90336
2	9,90334	7	9,90338	12	9,90338	17	9,90337	22	9,90338	27	9,90338
3	9,90339	8	9,90327	13	9,90334	18	9,90336	23	9,90339	28	9,90339
4	9,90333	9	9,90334	14	9,90334	19	9,90332	24	9,90332	29	9,90331
5	9,90333	10	9,90335	15	9,90336	20	9,90336	25	9,90338	30	9,90338



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 9,9006000	$x_{max\ g}$	= 9,90342	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 9,9034672
x_m	= 9,8998000	$ B $	= 0,0035556	\bar{x}_g	= 9,9033556
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 9,8990000	$x_{min\ g}$	= 9,90327	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 9,9032440
$0,2 \cdot T$	= 0,0016000	R_g	= 0,00015	$6s_g$	= 0,000232
T	= 0,00800	n_{Celk}	= 25	s_g	= 0,0000372
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 5,15 \leq 7,17 \leq 9,18$	$T_{min}(C_g) = 0,00148$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -31,68 \leq -24,69 \leq -17,0$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,0370$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$

Požadavky NE-splněny (%RE, C_g, C_{gk})

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

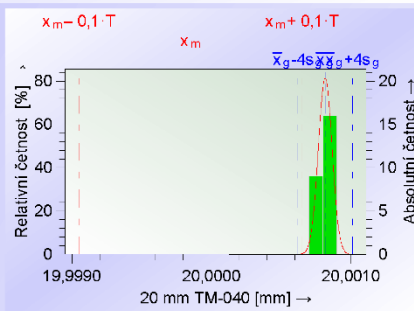
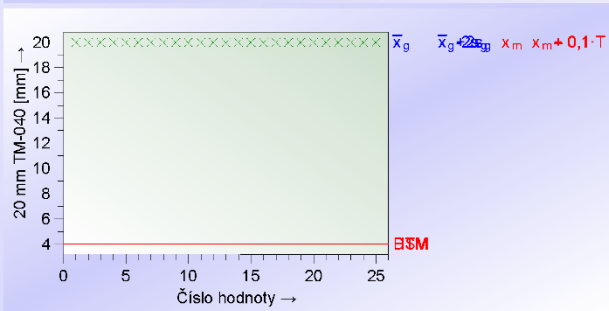
List 9 / 17

Oblast : Skup./Odd. : Provoz/oblast : Výrb. : Díl : TM-040 Čís. t. : 2020_04_09 Změn. st. : MSVA	Operace : Str. ozn. : MSVA Stroj č. : Měřicí místo : Zk.pr.: Ozn. : TM-040 Zk.pr.čís. : EM8210 Zk.pr.: Výr. : Keyence Rozlišení : 0,00001	Znak ozn. : 20 mm TM-040 Znak č. : 20 mm Jmen.hodn. : 4,00000 Odch.do. : 0,00400 Odch.nah. : 0,01200 Tol. : 0,00800 Jednotka : mm
--	--	---

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 20 mm ETALON **Etalon: čís.** : **Etal.ref.hod.** : 19,99985 **Nejistota kalibrace** : 0,0006

2020_04_09				TM-040			
20 mm				20 mm TM-040			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	20,00085	6	20,00075	11	20,00085	16	20,00075
2	20,00075	7	20,00085	12	20,00085	17	20,00075
3	20,00085	8	20,00085	13	20,00085	18	20,00085
4	20,00085	9	20,00075	14	20,00085	19	20,00085
5	20,00075	10	20,00085	15	20,00075	20	20,00085
21	20,00075	22	20,00085	23	20,00075	24	20,00085
25	20,00085						



Údaje z výkresu	Naměřené hodnoty	Statistické hodnoty
$x_{m+0,1 \cdot T}$ = 20,0006500	$x_{max \ g}$ = 20,00085	$\bar{x}_g + 3s_g$ = 20,0009610
x_m = 19,9998500	$ B $ = 0,00096400	\bar{x}_g = 20,0008140
$x_{m-0,1 \cdot T}$ = 19,9990500	$x_{min \ g}$ = 20,00075	$\bar{x}_g - 3s_g$ = 20,0006570
$0,2 \cdot T$ = 0,0016000	R_g = 0,00010	$6s_g$ = 0,0002939
T = 0,00800	n_{Celk} = 25	s_g = 0,0000490
Jednotka = mm		

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 3,91 \leq 5,44 \leq 6,97$	$T_{min}(C_g) = 0,00196$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - x_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -1,46 \leq -1,12 \leq -0,77$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,0116$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$

Požadavky NE-splněny (%RE, C_g, C_{gk}) ⚠

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

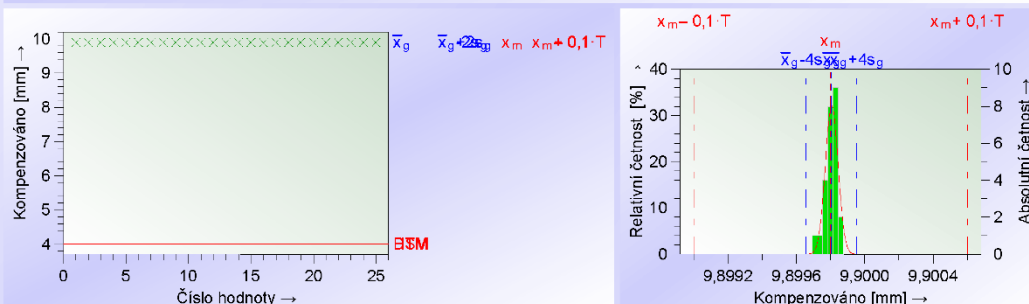
List 10 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : Kompenzováno
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 9,9 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,00000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,00400
Díl : TM-040	Zk.pr.: Ozn. : TM-040	Odch.nah. : 0,01200
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,00800
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 9,9 mm ETALON **Etalon čis.** : **Etal.ref.hod.** : 9,8998 **Nejistota kalibrace** : 0,0016

2020_04_09				Díl ozn. TM-040			
9,9 mm				Kompenzováno			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	9,89973	6	9,89980	11	9,89987	16	9,89987
2	9,89979	7	9,89983	12	9,89983	17	9,89982
3	9,89984	8	9,89972	13	9,89979	18	9,89983
4	9,89978	9	9,89979	14	9,89979	19	9,89977
5	9,89976	10	9,89980	15	9,89983	20	9,89981
						21	9,89981
						22	9,89983
						23	9,89984
						24	9,89976
						25	9,89983



Údaje z výkresu	Naměřené hodnoty	Statistické hodnoty
$x_m + 0,1 \cdot T = 9,9006000$	$x_{max\ g} = 9,89987$	$\bar{x}_g + 3s_g = 9,8999172$
$x_m = 9,8998000$	$ B = 0,0000056000$	$\bar{x}_g = 9,8998056$
$x_m - 0,1 \cdot T = 9,8990000$	$x_{min\ g} = 9,89972$	$\bar{x}_g - 3s_g = 9,8996940$
$0,2 \cdot T = 0,0016000$	$R_g = 0,00015$	$6s_g = 0,0002232$
$T = 0,00800$	$n_{Celk} = 25$	$s_g = 0,0000372$
Jednotka = mm		

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 5,15 \leq 7,17 \leq 9,18$	$T_{min}(C_g) = 0,00148$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = 5,10 \leq 7,12 \leq 9,14$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,00154$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$
Měřicí systém je způsobilý (%RE, C _g , C _{gk})	

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

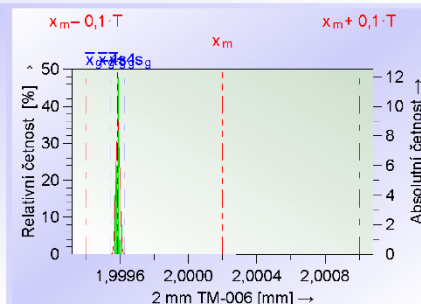
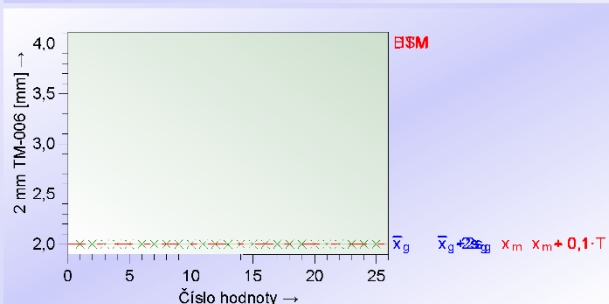
List 11 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 2 mm TM-006
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 2 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,00000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,00400
Díl : TM-006	Zk.pr.: Ozn. : TM-006	Odch.nah. : 0,01200
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,00800
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 2 mm ETALON **Etalon: čís.** : **Etal.ref.hod.** : 2,0002 **Nejistota kalibrace** : 0,0006

Čís. dílu		2020_04_09		Díl ozn.		TM-006	
Znak č.		2 mm		Znak ozn.		2 mm TM-006	
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	1,99958	6	1,99960	11	1,99959	16	1,99961
2	1,99959	7	1,99959	12	1,99958	17	1,99958
3	1,99957	8	1,99959	13	1,99959	18	1,99958
4	1,99957	9	1,99959	14	1,99959	19	1,99958
5	1,99959	10	1,99957	15	1,99959	20	1,99959
						21	1,99959
						22	1,99957
						23	1,99961
						24	1,99959
						25	1,99958



Údaje z výkresu	Naměřené hodnoty	Statistické hodnoty
$x_m + 0,1 \cdot T = 2,0010000$	$x_{max\ g} = 1,99961$	$\bar{x}_g + 3s_g = 1,9996187$
$x_m = 2,0002000$	$ B = 0,00061360$	$\bar{x}_g = 1,9995864$
$x_m - 0,1 \cdot T = 1,9994000$	$x_{min\ g} = 1,99957$	$\bar{x}_g - 3s_g = 1,9995541$
$0,2 \cdot T = 0,0016000$	$R_g = 0,00004$	$6s_g = 0,0000645$
$T = 0,00800$	$n_{Celk} = 25$	$s_g = 0,0000108$
Jednotka = mm		

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 17,82 \leq 24,80 \leq 31,75$	$T_{min}(C_g) = 0,000429$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g} = 4,14 \leq 5,78 \leq 7,42$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,00657$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$

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

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

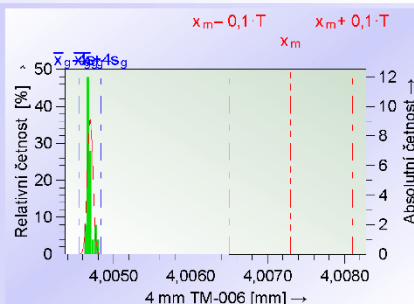
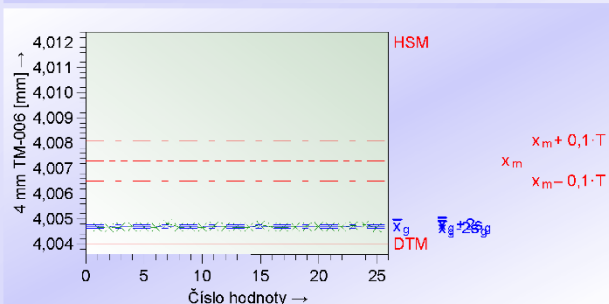
List 12 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 4 mm TM-006
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 4 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,00000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,00400
Díl : TM-006	Zk.pr.: Ozn. : TM-006	Odch.nah. : 0,01200
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,00800
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 4 mm ČEP **Etalon čis.** : 4,0073 **Etal.ref.hod.** : 4,0073 **Nejistota kalibrace** : 0,0038

2020_04_09				Díl ozn.				TM-006			
4 mm				Znak ozn.				4 mm TM-006			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	4,00467	6	4,00467	11	4,00470	16	4,00468	21	4,00468		
2	4,00465	7	4,00481	12	4,00469	17	4,00467	22	4,00468		
3	4,00466	8	4,00467	13	4,00467	18	4,00469	23	4,00473		
4	4,00468	9	4,00469	14	4,00467	19	4,00469	24	4,00476		
5	4,00469	10	4,00467	15	4,00475	20	4,00470	25	4,00465		



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
x _m +0,1·T	= 4,0081000	x _{max g}	= 4,00481	x _g +3s _g	= 4,0047997
x _m	= 4,0073000	B	= 0,0026084	x _g	= 4,0046916
x _m -0,1·T	= 4,0065000	x _{min g}	= 4,00465	x _g -3s _g	= 4,0045835
0,2·T	= 0,0016000	R _g	= 0,00016	6s _g	= 0,0002161
T	= 0,00800	n _{Celk}	= 25	s _g	= 0,0000360
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 5,32 \leq 7,40 \leq 9,48$	$T_{min}(C_g) = 0,00144$
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - x_g - x_m }{3 \cdot s_g} = -21,47 \leq -16,74 \leq -12,0$	$T_{min}(C_{gk}) = 0,0275$
Rozlišení %RE = 0,12%	$T_{min}(\%RE) = 0,000200$

Požadavky NE-splněny (%RE, C_g, C_{gk}) ⚠

Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Analýza měřicích systémů

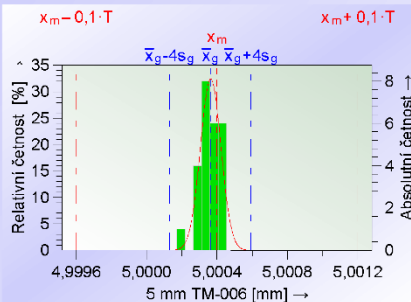
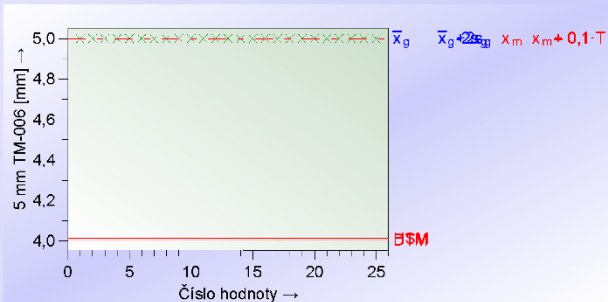
List 13 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : 5 mm TM-006
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : 5 mm
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 4,00000
Výrb. :	Měřicí místo :	Odch.do. : 0,00400
Díl : TM-006	Zk.pr.: Ozn. : TM-006	Odch.nah. : 0,01200
Čís. t. : 2020_04_09	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,00800
Změn. st. : MSVA	Zk.pr.: Výr. : Keyence	Jednotka : mm
	Rozlišení : 0,00001	

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : 5 mm ETALON **Etalon: čís.** : **Etal.ref.hod.** : 5,0004 **Nejistota kalibrace** : 0,0006

Čís. dílu				2020_04_09				Díl ozn.				TM-006			
Znak č.				5 mm				Znak ozn.				5 mm TM-006			
i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i	i	x _i
1	5,00030	6	5,00040	11	5,00040	16	5,00035	21	5,00037	26	5,00037	31	5,00037	36	5,00037
2	5,00031	7	5,00045	12	5,00045	17	5,00032	22	5,00022	27	5,00022	32	5,00022	37	5,00022
3	5,00040	8	5,00043	13	5,00032	18	5,00030	23	5,00042	28	5,00042	33	5,00042	38	5,00042
4	5,00040	9	5,00043	14	5,00042	19	5,00033	24	5,00031	29	5,00031	34	5,00031	39	5,00031
5	5,00032	10	5,00034	15	5,00034	20	5,00040	25	5,00033	30	5,00033	35	5,00033	40	5,00033



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$x_m + 0,1 \cdot T$	= 5,0012000	$x_{max\ g}$	= 5,00045	$\bar{x}_g + 3s_g$	= 5,0005361
x_m	= 5,0004000	BI	= 0,000037600	\bar{x}_g	= 5,0003624
$x_m - 0,1 \cdot T$	= 4,9996000	$x_{min\ g}$	= 5,00022	$\bar{x}_g - 3s_g$	= 5,0001887
$0,2 \cdot T$	= 0,0016000	R_g	= 0,00023	$6s_g$	= 0,0003474
T	= 0,00800	n_{Celk}	= 25	s_g	= 0,0000579
Jednotka	= mm				

Minimální tolerance, pro kterou je měřicí proces ještě vhodný!

$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g}$	= 3,31 ≤ 4,61 ≤ 5,90	0	1,33	$T_{min}(C_g)$	= 0,00231
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - x_m }{3 \cdot s_g}$	= 3,14 ≤ 4,39 ≤ 5,64	0	1,33	$T_{min}(C_{gk})$	= 0,00269
Rozlišení	%RE = 0,12%	0	5	$T_{min}(\%RE)$	= 0,000200
Měřicí systém je způsobilý (%RE, C _g , C _{gk})					😊

Kontrolní plán: Datum vytvoření

Autor kontr. plánů

Začátek zk.

Jméno operátora

Oddělení

Jméno

Datum

Podpis

Analýza měřících systémů

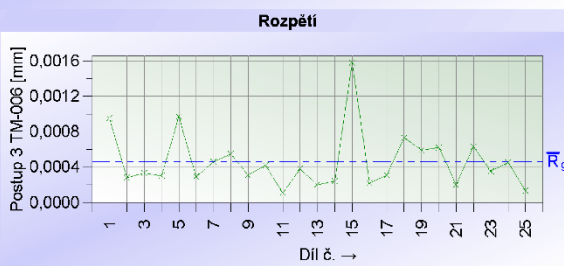
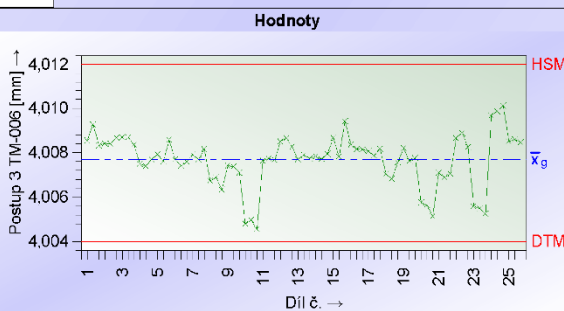
List 14 / 17

Oblast : Skup./Odd. : Provoz/oblast : Výrb. : Díl : TM-006 Čís. t. : 2020_04_09 Změn. st. : MSVA	Operace : Str. ozn. : MSVA Stroj č. : Měřicí místo : Zk.pr.: Ozn. : TM-006 Zk.pr.čís. : EM8210 Zk.pr.: Výr. : Keyence Rozlišení : 0,00001	Znak ozn. : Postup 3 TM-006 Znak č. : Čep VA Průměr Jmen.hodn. : 4,00000 Odch.do. : 0,00400 Odch.nah. : 0,01200 Tol. : 0,00800 Jednotka : mm
--	--	--

Komentář :
Komentář :

Etalon ozn. : Etalon: čís. : Etal./ref. hod. :

n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	\bar{x}_{gj}	s _{gj}
1	4,00854	4,00927	4,00832	4,008710	0,000497
2	4,00842	4,00840	4,00868	4,008500	0,000156
3	4,00869	4,00869	4,00836	4,008580	0,000191
4	4,00749	4,00740	4,00770	4,007530	0,000154
5	4,00793	4,00761	4,00858	4,008040	0,000494
6	4,00770	4,00741	4,00759	4,007567	0,000146
7	4,00791	4,00770	4,00816	4,007923	0,000230
8	4,00674	4,00689	4,00634	4,006657	0,000284
9	4,00741	4,00737	4,00710	4,007293	0,000169
10	4,00480	4,00498	4,00456	4,004780	0,000211
11	4,00763	4,00774	4,00767	4,007680	0,000056
12	4,00851	4,00865	4,00827	4,008477	0,000192
13	4,00770	4,00790	4,00774	4,007780	0,000106
14	4,00784	4,00771	4,00795	4,007833	0,000120
15	4,00866	4,00783	4,00941	4,008633	0,000790
16	4,00836	4,00816	4,00814	4,008220	0,000122
17	4,00808	4,00787	4,00818	4,008043	0,000158
18	4,00705	4,00683	4,00756	4,007147	0,000374
19	4,00821	4,00762	4,00776	4,007863	0,000308
20	4,00577	4,00563	4,00515	4,005517	0,000325
21	4,00710	4,00690	4,00706	4,007020	0,000106
22	4,00865	4,00888	4,00825	4,008593	0,000319
23	4,00559	4,00549	4,00524	4,005440	0,000180
24	4,00967	4,00996	4,01012	4,009883	0,000226
25	4,00850	4,00860	4,00847	4,008523	0,000068



	Rozptyl	Směrodatná odchylka	
Opakovatelnost	0,000000083051	0,00028819	0,00024113 ≤ 0,00028819 ≤ 0,000; %EVO = 21,61%
Celkové rozptýlení	0,000000083051	0,00028819 ¹⁾⁵	0,00024113 ≤ 0,00028819 ≤ 0,000; %GRR = 21,61%

Rozlišení	=	%RE	=	0,12%	
Celkové rozptýlení	=	%GRR	=	21,61%	
Rozptýlení dílů	=	%PV	=	84,63%	
Počet rozlišovatelných tříd	=	ndc	=	5	

Měřicí systém je způsobilý s výhradou (%RE,%GRR,ndc)

	T _{min} (%GRR)	0,0173	T _{min} (%GRR)	0,00576
--	-------------------------	--------	-------------------------	---------

Kontrolní plán: Datum vytvoření: Autor kontr. plánu: Začátek zk. Jméno operátora: Oddělení: Jméno: Datum: Podpis: _____

Analýza měřicích systémů

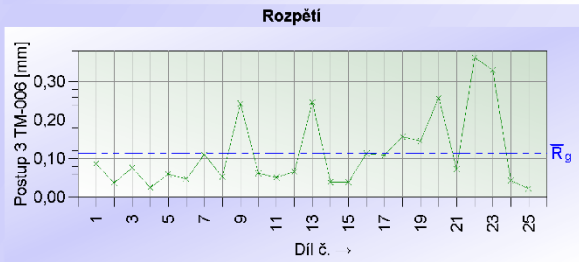
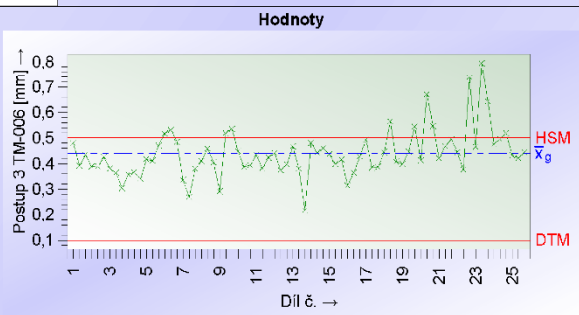
List 15 / 17

Oblast : Skup./Odd. : Provoz/oblast : Výrb. : Díl : TM-006 Čís. t. : 2020_04_09 Změn. st. : MSVA	Operace : Str. ozn. : MSVA Stroj č. : Měřicí místo : Zk.pr.: Ozn. : TM-006 Zk.pr.čís. : EM8210 Zk.pr.: Výr. : Keyence Rozlišení : 0,001	Znak ozn. : Postup 3 TM-006 Znak č. : Čep VA Rádus Jmen.hodn. : 0,300 Odch.do. : -0,200 Odch.nah. : 0,200 Tol. : 0,400 Jednotka : mm
--	--	--

Komentář :
 Komentář :

Etalon ozn. : **Etalon: čís.** : **Etal/ref. hod.** :

n	x _{A,1}	x _{A,2}	x _{A,3}	\bar{x}_{gj}	s_{gj}
1	0,480	0,393	0,434	0,4357	0,0435
2	0,388	0,390	0,425	0,4010	0,0208
3	0,381	0,364	0,304	0,3497	0,0405
4	0,358	0,366	0,341	0,3550	0,0128
5	0,417	0,411	0,471	0,4330	0,0330
6	0,517	0,531	0,484	0,5107	0,0241
7	0,335	0,270	0,380	0,3283	0,0553
8	0,410	0,459	0,406	0,4250	0,0295
9	0,292	0,518	0,535	0,4483	0,1357
10	0,449	0,387	0,394	0,4100	0,0340
11	0,434	0,383	0,424	0,4137	0,0270
12	0,441	0,375	0,397	0,4043	0,0336
13	0,467	0,380	0,220	0,3557	0,1253
14	0,481	0,442	0,460	0,4610	0,0195
15	0,437	0,398	0,416	0,4170	0,0195
16	0,315	0,365	0,428	0,3693	0,0566
17	0,493	0,384	0,388	0,4217	0,0618
18	0,445	0,564	0,407	0,4720	0,0819
19	0,398	0,447	0,544	0,4630	0,0743
20	0,412	0,670	0,546	0,5427	0,1290
21	0,421	0,468	0,494	0,4610	0,0370
22	0,444	0,376	0,739	0,5197	0,1930
23	0,465	0,795	0,643	0,6343	0,1652
24	0,476	0,496	0,519	0,4970	0,0215
25	0,432	0,422	0,444	0,4327	0,0110



Opakovatelnost	Rozptyl	Směrodatná odchylka	0,064807 ≤ 0,077455 ≤ 0,096282	%EVO = 116,18%	
Celkové rozptýlení	0,0059992	0,077455 ¹⁾	0,064807 ≤ 0,077455 ≤ 0,096282	%GRR = 116,18%	

Rozlišení	=	%RE	=	0,25%	<input style="width: 95%;" type="range"/>
Celkové rozptýlení	=	%GRR	=	116,18%	<input style="width: 95%;" type="range"/>
Rozptýlení dílů	=	%PV	=	76,79%	<input style="width: 95%;" type="range"/>
Počet rozlišovatelných tříd	=	ndc	=	1	<input style="width: 95%;" type="range"/>

Požadavky NE-splněny (%RE,%GRR,ndc)

	T _{min} (%GRR)	4,647	T _{min} (%GRR)	1,549
--	-------------------------	-------	-------------------------	-------

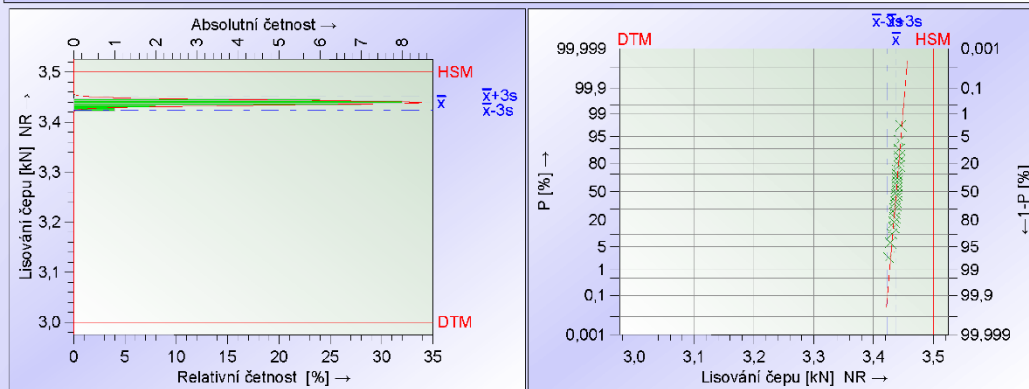
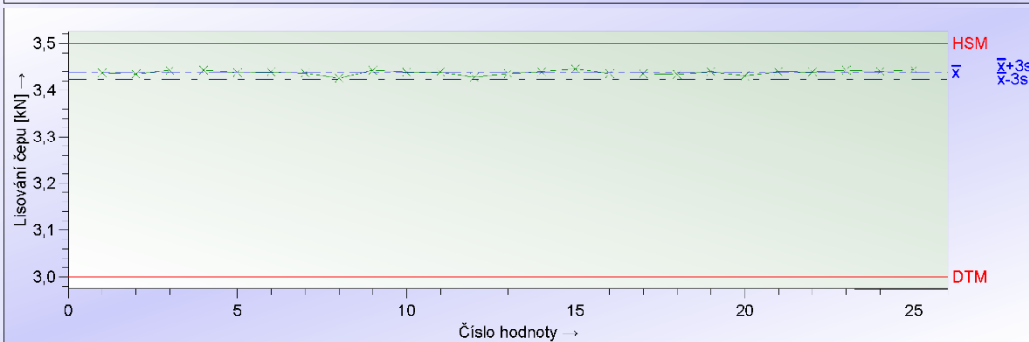
Kontrolní plán: Datum vytvoření	Autor kontr. plánů	Začátek zk.	Jméno operátora
Oddělení	Jméno	Datum	Podpis

Způsobilst strojů

List 17 / 17

Oblast :	Operace :	Znak ozn. : Lisování čepu
Skup./Odd. :	Str. ozn. : MSVA	Znak č. : čep VA
Provoz/oblast :	Stroj č. :	Jmen.hodn. : 3,250
Výrb. :	Měřicí místo : Laboratoř	Odch.do. : -0,250
Díl : Lisování	Zk.pr.: Ozn. : NFCH	Odch.nah. : 0,250
Čís. t. : 1	Zk.pr.čís. : EM8210	Tol. : 0,500
Změn. st. : 1	Zk.pr.: Výr. : Kistler	Jednotka : kN

Komentář :
Komentář :



Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
T _m	3,250	$\bar{x} - T_m$	0,188	\bar{x}	3,43812
DTM	3,000	x_{\min}	3,426	$\bar{x} - 3s$	3,42375
HSM	3,500	x_{\max}	3,446	$\bar{x} + 3s$	3,45249
T	0,500	R	0,020	6s	0,02874
		$n_{<T}$	25	$p_{<T}$	100,00000 %
		$n_{>HTM}$	0	$p_{>HTM}$	0,000000 %
		$n_{<DSM}$	0	$p_{<DSM}$	0,000000 %
		n_{celk}	25	n_{ef}	25

Modelové rozdělení		Normalní rozdělení	
Typ výpočtu		M4 ₂ Percentil (0,135%-50%-99,865%)	
Ukazatel způsobilosti procesu (A)	C _m	12,51 ≤ 17,40 ≤ 22,28	1,99
Využití způsobilosti (A)	C _{mk}	3,08 ≤ 4,31 ≤ 5,53	1,99

Požadavky splněny (C_m, C_{mk})

Kontrolní plán: Datum vytvoření Autor kontr. plánu Začátek zk. Jméno operátora

Oddělení Jméno Datum Podpis

[Redacted]

[Redacted]