



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# ZPŮSOBILOST MĚŘENÍ KAROSERIE NA IN-LINE 3D MĚŘÍCÍM ZAŘÍZENÍ

CAPABILITY OF BODY MEASUREMENT ON AN IN-LINE 3D MEASURING DEVICE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Čada

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Šrámek, Ph.D.

BRNO 2020



## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Michal Čada
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Jan Šrámek, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

### Způsobilost měření karoserie na In-line 3D měřicím zařízení

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zvýšení spolehlivosti a důvěryhodnosti měření karoserie pomocí In-line měřicího zařízení. Návrh metod pro odhalování chybně naskenovaných oblastí karoserie při sériovém In-line měření ve výrobní lince. Stanovení vhodných opatření k minimalizaci chyb z In-line měřicího zařízení.

#### Cíle diplomové práce:

Definování způsobů vyhodnocování a prezentací naměřených odchylek.

Navržení vhodné statistické metody pro vyhodnocení měření konkrétního typu karoserie.

Stanovení oblastí karoserie s významnými naměřenými odchylkami při skenování v porovnání s měřením dotykem.

Navržení opatření ke zvýšení způsobilosti měření robotického měřicího zařízení ve výrobní lince dle VDA 5.

Návrhy a doporučení pro praxi.

#### Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 9001. Systém managementu kvality: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 48 s. Třídící znak 010321.

ČSN EN ISO 14253-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením: Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 36 s. Třídící znak 014100.

VDA 5. Management jakosti v automobilovém průmyslu: Způsobilost kontrolních procesů. CZ - 116 68 Praha 1, Novotného lávka 5: Česká společnost pro jakost, 2003. IBSN 80-02-01656-4.

Karpíšek, Zdeněk. Matematika IV Statistika a pravděpodobnost. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-214-4858-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Rozvojem technologií optického měření tvarů a prvků je dnes možné měřit karoserie přímo ve výrobním toku linky ve svařovně firmy na výrobu automobilů, tzv. In-line měření. Při nasazování tohoto kontrolního procesu je také potřeba množství naměřených dat zpracovávat pomocí normou popsaného postupu na řízení procesu. Práce předkládá návrh na zavedení řízení procesu rozměrové kontroly finálního výrobku svařovny, svařené karoserie.

## **ABSTRACT**

By developing optical measurement technologies of shapes and elements, it is now possible to measure the carbody directly in the production flow of the welding company's line for the production of cars, the so-called „In-line measurement“. When deploying this control process, you also need to process the amount of data measured using the standard described procedure for process control. The thesis presents a proposal for the introduction and control of the dimensional inspection process of the final product of the welded body.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

In-line 3D měření, nejistota měření, systém managementu měření, proces měření, ověřování, měřící vybavení.

## **KEYWORDS**

In-line 3D measurement, measurement uncertainty, measurement management system, measurement process, verification, measuring equipment.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ČADA, Michal. *Způsobilost měření karoserie na In-line 3D měřícím zařízení* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124435>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Šrámek.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Janu Šrámkovi Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Také děkuji firmě ŠKODA AUTO a.s. v Kvasinách za poskytnutí pracovních dat z oblasti metrologie a rozměrovosti karoserie zpracovávaných v této práci. Velké poděkování patří mé rodině za podporu a trpělivost při mém studiu.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

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

V Brně dne 2020

.....

Bc. Michal Čada



# OBSAH

1	ÚVOD .....	3
2	Motivace.....	5
3	Přehled současného stavu poznání .....	7
3.1	Vývoj sériového 3D měření karoserií .....	7
3.2	Rozměrová kontrola karoserií v sériové výrobě .....	8
3.3	In-line měřicí systémy .....	8
3.3.1	I. způsob ustavení karoserie – „Bypass“, obr. 2).....	8
3.3.2	II. způsob ustavení karoserie přímo na výrobním pásu, obr. 3) .....	9
3.4	3D skenovací systémy .....	9
3.4.1	Laserová triangulace.....	10
3.4.2	3D skenování strukturovaného světla.....	10
3.4.3	Laserový radar [16] .....	11
3.4.4	Fotogrammetrie .....	11
3.4.5	Kontaktní 3D skenování .....	12
3.4.6	Laserový puls.....	12
3.4.7	Výhody a nevýhody skenovacích systémů:.....	13
3.5	Zpracování a vyhodnocení naměřených výsledků.....	14
4	Návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu .....	17
5	Nejistota měření .....	19
5.1	Co je nejistota měření .....	19
5.2	Vyjádření pole nejistoty .....	19
5.3	Pravidla pro ověřování <u>shody</u> se specifikací.....	20
5.4	Pravidla pro ověřování <u>neshody</u> se specifikací.....	22
5.5	Vlivy na nejistotu výsledků měření .....	25
5.6	Výpočet nejistoty – teorie .....	26
5.6.1	Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „A“ .....	26
5.6.2	Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „B“ .....	27
5.6.3	Zjištění kombinované standartní nejistoty.....	29
5.6.4	Vyhodnocení rozšířené standartní nejistoty podle staré metody z roku 2014.....	29
5.6.5	Vyhodnocení rozšířené standartní nejistoty podle nové metody z roku 2018.....	29
5.7	Výpočet nejistoty – praktický výpočet .....	31
5.7.1	Výpočet nejistoty měření měřicího zařízení In-line č.1.....	32
5.7.2	Výpočet nejistoty měření měřicího zařízení In-line č.2.....	33
5.7.3	Výpočet nejistoty měření CMM měřicího zařízení Off-line .....	34
6	Definování měřených bodů .....	35
6.1	Rozdělení měření karoserie na části .....	35
6.2	Celkový počet měřených bodů na karoserii.....	37
6.3	Redukování počtu měřených bodů na karoserii.....	37
6.4	Návrh redukování měřených bodů karoserie .....	38
7	Korelace.....	39
7.1	Koeficient korelace – teorie .....	39
7.2	Koeficient korelace – praktický výpočet .....	40
7.3	I. korelace – počáteční .....	40
7.4	II. korelace – ověřovací .....	40

8	Identifikace negativních vlivů.....	43
8.1	Provedená opatření po první korelaci.....	44
8.2	Návrh opatření po druhé korelaci .....	46
9	Statistické řízení procesu .....	49
9.1	Příklad – Sledování polohy desek předních podélníků .....	49
9.2	Příklad – Statistické vyhodnocení v systému výrobce .....	59
9.3	Statistické zpracování a vyhodnocení procesu .....	59
10	Vlastní doporučení .....	61
10.1	Skenovací zařízení.....	61
10.2	Korelace měřících systémů.....	63
10.3	Zpracování výsledků .....	63
11	Zhodnocení a diskuze.....	65
12	Závěr .....	67
13	Seznam použitých zdrojů.....	69
14	Seznam zkratk, symbolů, tabulek a obrázků .....	71
14.1	Seznam zkratk.....	71
14.2	Seznam symbolů.....	71
14.3	Seznam tabulek.....	72
14.4	Seznam obrázků.....	72
15	Seznam příloh .....	75

# 1 ÚVOD

Rychlé až dramatické změny v automobilovém průmyslu, které pozorujeme v poslední době, si žádají nové přístupy ve výrobě automobilů. Jsou to především nové emisní předpisy Evropské unie, které zvyšují tlak na vývoj nových technologií a konstrukcí automobilů. Současné spalovací motory se, jak se zdá, přiblížily svým fyzikálním limitům, co se emisních hodnot týká. Nezbývá než vrhnout všechny síly do vývoje alternativních pohonů.

Nejsilnější a také nejreálnější směry v dnešní době se jeví hlavně elektrické pohonné jednotky napájené nabíjecími bateriemi nebo vodíkovými články. Elektromobily se ukazují jako hlavní budoucí směr velkých výrobců automobilů. I když infrastruktura v podobě budování nabíjecích stanic poněkud pokulhává, dá se předpokládat, že se situace bude rapidně zlepšovat s tím, jak porostou prodeje těchto elektromobilů.

Konstrukčně jsou tyto vozy jednodušší. Karoserie může být navržena v jiném stylu, nemusí být tolik přizpůsobována velikosti motoru, jak je vyžadováno pro konvenční pohonné jednotky. Alternativní pohony dávají prostor pro netradiční design vozů, pro tvary karoserie co nejvíce snižující odpor vzduchu. Snižování této hodnoty je jedna z důležitých součástí skládačky ovlivňující spotřebu elektrické energie z baterií elektromobilu, a tím i jeho dojezdovou vzdálenost na plné nabití.

Tvary karoserií jsou navrhovány designéry a konstruktéry do ideálních tvarů, kde je poměrně přesně spočítán index odporu vzduchu. Ten pak slouží, jako jedna z mnoha dalších hodnot různých parametrů, k určení teoretické spotřeby energie potřebné na pohyb automobilu určitou rychlostí za standardních podmínek. Teoretické hodnoty jsou ale stále hodnoty ideální – virtuální. V reálném světě, v reálné výrobě automobilu, se výrobce snaží k těmto teoretickým hodnotám maximálně přiblížit. To znamená maximálně přesně vyrábět díly automobilu i samotný automobil podle výkresové dokumentace v povolených tolerančních mezích.

U karoserie to obnáší rozšíření rozměrové a tvarové kontroly i na ty části tvarů, které dosud byly měřeny pouze nárazově nebo vůbec. To s sebou nese zvýšené nároky na výrobní zařízení. Ta při nárocích na kvalitu vyráběného produktu musí splňovat také požadavky na spolehlivost a bezpečnost.

Rozměrová kontrola karoserií je v dnešním kapacitně maximalizovaném výrobním procesu nedostatečná, pokud se tato činnost provádí na 3D měřících strojích mimo výrobní linku, tzv. Off-line měření. Nestačí rozměrová kontrola jedné až dvou karoserií za jednu výrobní směnu. Pokud si uvědomíme rychlost výroby jednotlivých karoserií, která se pohybuje v desítkách kusů za hodinu, tak samotné měření mimo výrobní linku už vlastně ověřuje stav výroby před několika desítkami minut až před několika hodinami. Není pak možné včas odhalit vznikající problémy související s nesprávnou rozměrovostí karoserie.

Řešením je pak nasazení In-line měřících robotů přímo ve výrobní lince. Bohužel tato zařízení stále nepožívají potřebné důvěry v naměřené výsledky, jak by bylo potřeba pro přesnější sledování procesu.

V této diplomové práci je navrženo řešení pro zvýšení spolehlivosti In-line měřících strojů tak, aby kontinuální výsledky měření karoserií byly schopné nahradit Off-line měření sériové produkce v měrovém středisku. Rovněž je navržen způsob zpracování velkého množství naměřených dat tak, aby výrobu karoserií bylo možné sledovat, řídit procesně

a případně zobrazovat graficky chybové partie karoserie v reálném čase. Například změny na karoseriích za celý týden. Lze tak predikovat možné poruchy na výrobním zařízení.

## 2 MOTIVACE

3D měření v automobilovém průmyslu se věnuji již více než 30 let. Poznal jsem metody, kdy nebyla ještě k dispozici výpočetní technika, kdy měření karoserií bylo omezeno jen na pár základních kontrolních bodů zaznamenávaných pomocí pevného hrotu na posuvném měřidle s čárkovým noniem – nádrhem. Změření karoserie bylo velmi časově náročné. Rovněž požadavek na přesnost a soustředěnost operátora, který měření prováděl, byl vysoký, neboť nebylo jiné vyšší metody, jak zkontrolovat jeho práci. Získal také za to náležité důstojnosti a vážnosti.

Následoval rozvoj souřadnicových měřících strojů s dotykovými sondami označovanými jako CMM. Zpracování signálů ze sond převzala výpočetní technika, se stále se zdokonalujícím softwarem. Dotykové snímání se dnes vyznačuje vysokou přesností především u měření geometrických prvků. Rychlost, s jakou tyto stroje měří, ale přestává dnes stačit. Pomalu začínají být vytlačovány nastupující technologií optického snímání povrchů.

Po vývoji optických technologií během posledních let vidím v systémech pro rozměrové měření dílů, nabízených různými firmami, neskutečné možnosti. Rychlost, s jakou je možné získat velké množství dat tvarových ploch či souřadnice prvků, je neskutečná. Avšak je potřeba tyto získané informace náležitě a co nejrychleji zpracovávat do smysluplných prezentací rozměrovosti daného dílu. Monitorování s predikcí vývoje výrobního procesu by pak měla být cesta, jak dále digitalizovat výrobní proces z pohledu kvality vyráběného produktu. V tomto případě karoserie automobilu.

Má diplomová práce navrhuje zlepšení spolehlivosti způsobu rozměrové kontroly karoserie přímo ve výrobní lince svařovny, od monitorování stavu dotčených měřících zařízení, návrhu opatření na zlepšení zjištěného stavu, až po možný výstup či prezentování naměřených hodnot pomocí vývojových regulačních diagramů. Zamýšlí se také nad některými v současnosti nabízenými systémy In-line měření od různých výrobců. Jen jako můj osobní návrh, bez vyzdvihování konkrétního systému.





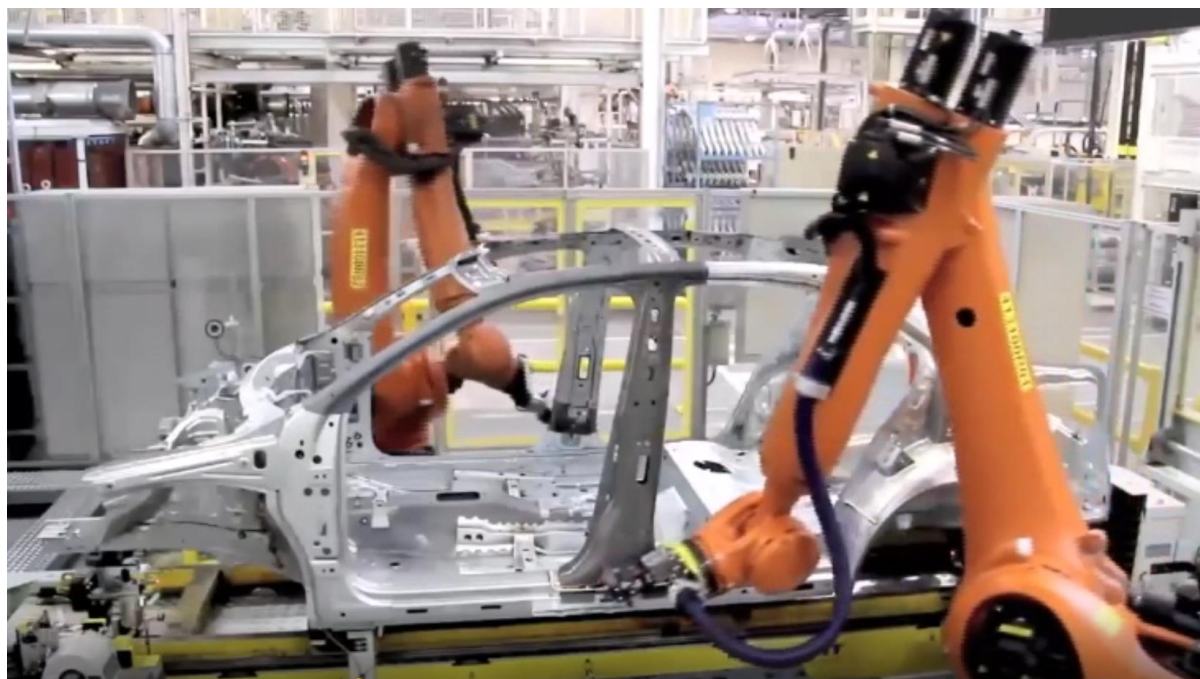
## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 3.1 Vývoj sériového 3D měření karoserií

Výrobní linky pro karoserie automobilů jsou do značné míry přesná zařízení, kde jsou menší podkomplety svařenců z předvýrobních zařízení postupně skládány a svářeny do finálního produktu, tedy svařené karoserie. Tento produkt je nutné podrobit rozměrové kontrole, aby bylo možné zaručit bezproblémovou montáž dílů na montážní lince. Do nedávné doby byla tato kontrola prováděna pouze mimo výrobní linku, zpravidla na měrovém středisku vzdáleném několik desítek metrů od výrobní linky. Bylo nutné karosérii vyjmout z výrobního toku, přepravit do místa měření a po změření zase zpět odvézt k výrobní lince a zařadit ji do výrobního toku. Měření bylo prováděno dotekovým snímacím systémem, který je časově náročný. Bylo takto možné kontrolovat pouze omezený počet kusů výrobků, zpravidla jednu až dvě karoserie za směnu. O sériovém měření se proto nedalo hovořit ačkoli se takto nazývalo.

Zvrat nastal až zaváděním měřících systémů přímo vedle výrobní linky. Pokusy s dotekovými senzory na tří-osých souřadnicových strojích opět narážely na rychlost snímání měřených prvků. Nutností bylo vysunutí karoserie z toku výrobní linky do bočního prostoru u linky, tzv. Bypassu. Rychlost a četnost měřených karoserií se o několik kusů zvýšila, ale stále nebyla kontrolována celá produkce. Částečně už ale mohl být proces výroby řízen procesně.

Díky vývoji optického měření a technologií v robotice bylo možné zavést měření přímo ve výrobním toku linky, obr 1). Už tak můžeme tento proces měření nazývat jako sériové měření neboli In-line 3D měření. Rovněž lze s velkou jistotou zavádět procesní řízení výroby s možnou predikcí vývoje rozměrnosti.



Obr. 1) Optické měření ve výrobním toku linky – In-line [13]

### 3.2 Rozměrová kontrola karoserií v sériové výrobě

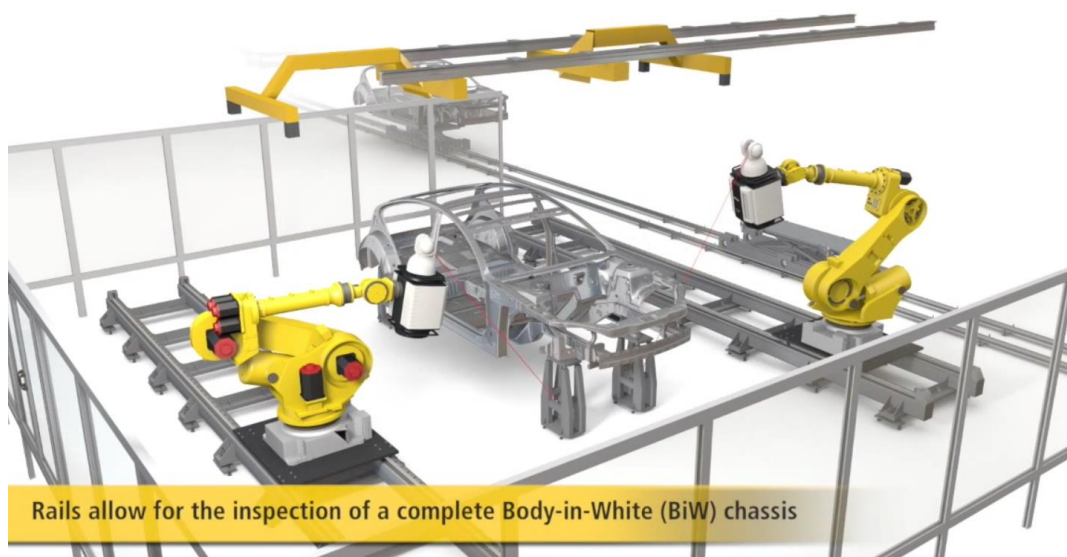
In-line 3D měření svařené karoserie je okamžité zjišťování rozměrovosti finálního svařence přímo ve výrobní svařovací lince svařovny. V dnešní době, kdy se zavádí automatizace výroby jako součást strategie průmyslu 4.0, je tato kontrola nevyhnutelnou součástí výrobního procesu. Umožňuje okamžitou regulaci procesu, čímž se minimalizují časové ztráty při zachytávání nesrovnalostí s výkresovou dokumentací a odsouhlasenými tolerancemi u konečného produktu svařovny. Díky dobře nastaveným regulačním mezím lze také včas predikovat možné problémy výrobních zařízení, jako například pomalá ztráta pevnosti upevňování menších celků – svařenců ve svařovací lince nebo počínající rozměrové problémy vstupujících dodavatelských dílů.

### 3.3 In-line měřící systémy

Kontrolní část neboli měřící buňka výrobní linky je umístěna ihned za poslední operaci sváření, karoserie, aby byla odstraněna možná pochybnost ovlivnění rozměrovosti přepravou a časovou prodlevou. Umístění měřící buňky se navrhuje dvěma známými způsoby podle polohy ustavení karoserie pro měření vůči výrobní lince. Každý má svoje výhody a nevýhody.

#### 3.3.1 I. způsob ustavení karoserie – „Bypass“, obr. 2)

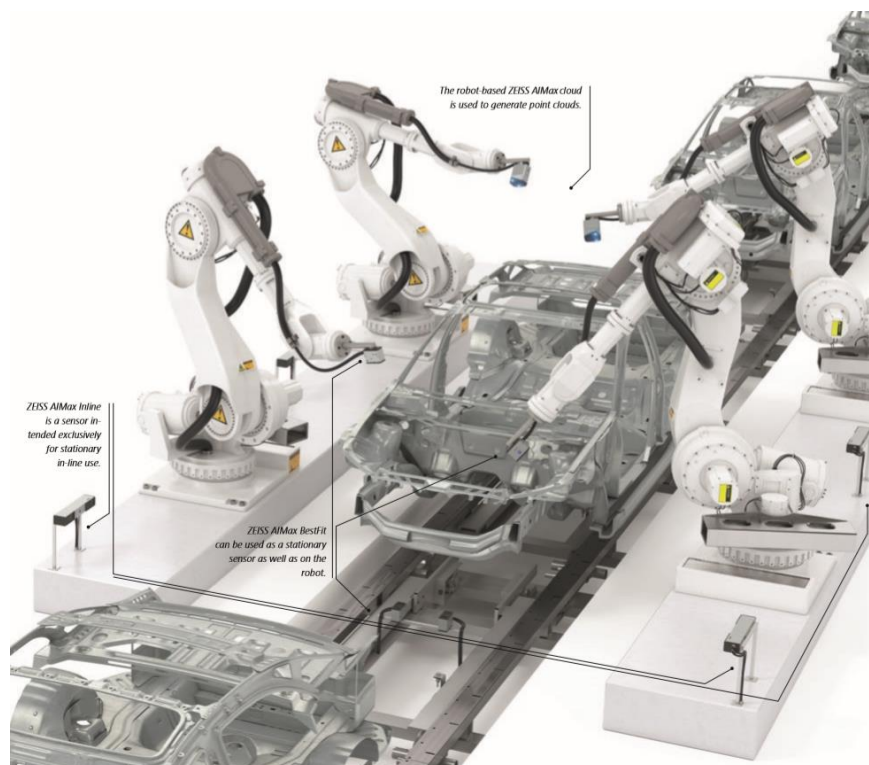
První způsob, tak zvaný „Bypass“, kdy je měřící buňka umístěna paralelně vedle výrobní linky, má velkou výhodu v tom, že zde může být karoserie změřena kompletně v celém potřebném rozsahu. Měření zde není omezeno časem posunu výrobní linky. Tato výhoda je vyvážena nutností odebrání karoserie manipulátorem z toku linky, čímž se vytvoří prázdná pozice na výrobním pásu a při návratu karoserie zpět do linky volnou pozici v toku linky zase mezi karoseriemi vytvořit. Toto lze vyřešit samostatným dopravníkem z měřící buňky do zásobníku karoserií, kde dojde dle naprogramování k zařazení změřené karoserie do toku následujícího procesu výroby. Tou je lakovna, kde dostává svařená karoserie protikorozní ochranné vrstvy a vrchní barevný lak. Další, už vzpomínanou nevýhodou je nemožnost takto měřit každou karoserii v lince.



Obr. 2) Skenování karoserie vedle výrobní linky – Bypass [16]

### 3.3.2 II. způsob ustavení karoserie přímo na výrobním pásu, obr. 3)

Jako druhý způsob je umístění měřicí buňky sériově v toku linky. Zde karoserie neopouští svou pozici na výrobním páse, ale je zde pevně daný časový interval na operaci měření. Ten nemusí stačit k naměření všech potřebných hodnot, a tak se tato činnost dělí na několik částí. Na karoseriích, zpravidla na třech až čtyřech, jdoucích do měřicí buňky po sobě, je měřen vždy jiný okruh bodů a prvků. Až po změření poslední z karoserií je uzavřeno měření celé karoserie. Je to určitá nevýhoda, protože není zaručené, že všechny karoserie jsou s dostatečnou přesností stejně ustavené, že v průběhu výroby došlo ke stejným vzájemným nepatrným posunům svařenců ve svařovacích přípravcích.



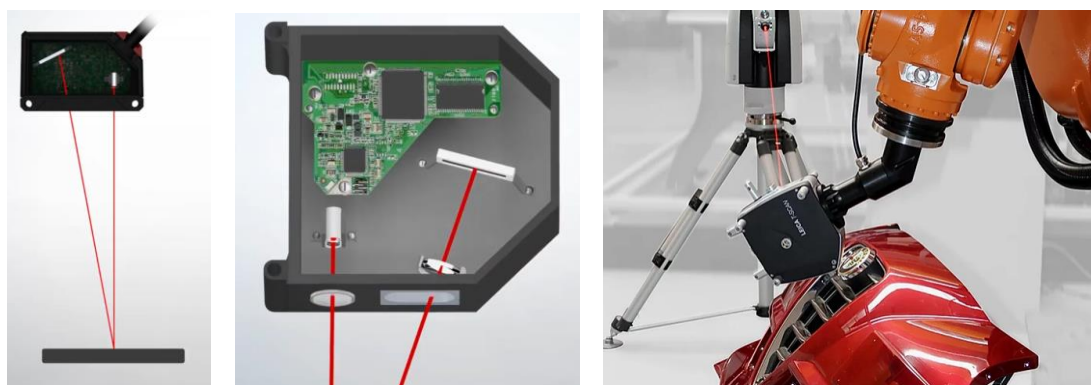
Obr. 3) Skenování karoserie přímo na výrobním pásu [15]

### 3.4 3D skenovací systémy

Snímání geometrických prvků a tvarových ploch na kontrolované karoserii je prováděno bezkontaktními měřicími hlavicemi umístěnými na robotických ramenech. Ta mohou přenášet souřadnice polohy při měření nebo slouží pouze jako nosiče měřících hlavic bez přenosu polohy. Pak musí být pro sledování polohy měřících hlavic umístěno v měřicí buňce ještě sledovací zařízení, neboli tracker, který polohu hlavic pomocí senzorů monitoruje v prostoru za předpokladu, že je „vidí“. Robotická ramena mohou být umístěna stacionárně na podstavcích nebo posuvně na lineárních vedeních. Zařízení pracuje v automatickém provozu, proto je celé umístěno v ohrazené měřicí buňce opatřené bezpečnostními prvky. Nejdůležitějšími vlastnostmi těchto zařízení je přesnost – nejistota měření, rozlišení – hustota skenu, měřící rozsah a rychlost měření. Samotné snímací systémy jsou shrnuty v následujících kapitolách.

### 3.4.1 Laserová triangulace

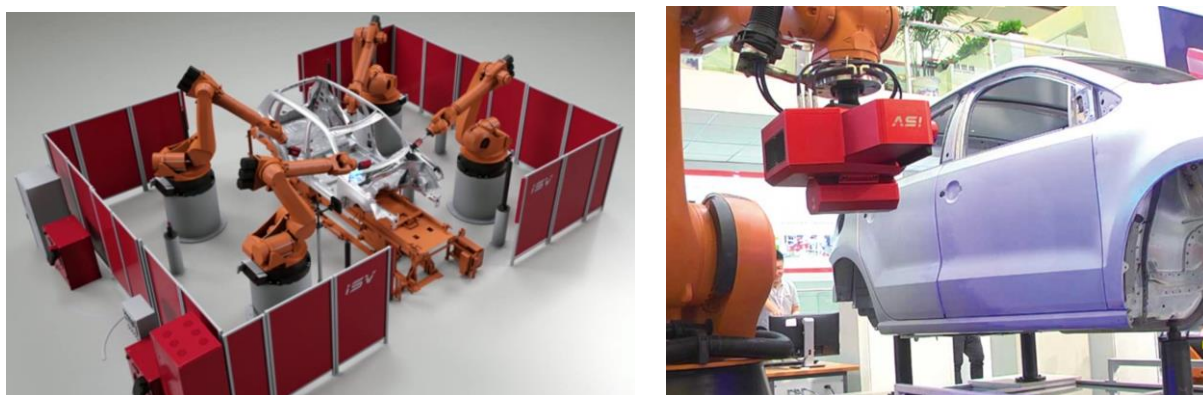
Princip spočívá v emitování laserového paprsku ke skenovanému povrchu po trajektorii, jeho odrazu od tohoto povrchu, změně trajektorie a následného opětovného zachycení senzorem ve skeneru. Z modifikace trajektorie a goniometrické triangulace je systémem rozpoznán specifický úhel odchyšky. Vypočtený úhel je přímo úměrný vzdálenosti skeneru od objektu. Skener může vysílat pouze bodový paprsek nebo laserovou čáru. Její nastavenou šířkou a vzdáleností bodů od sebe lze najednou přenést větší množství bodů. Rychlost pohybu skeneru a nastavená frekvence vysílaných paprsků pak ovlivňuje vzdálenost čar od sebe, a tím i hustotu a detailnost mračka měřených bodů popisujících měřený povrch. Poloha skeneru v prostoru je sledována prostřednictvím sensorů na plášti skeneru a trekovacím zařízením – laser trackerem. Odstraňuje se tak chyba měření způsobená snímáním polohy z robotických ramen.



Obr. 4) Princip laserové triangulace [14]

### 3.4.2 3D skenování strukturovaného světla

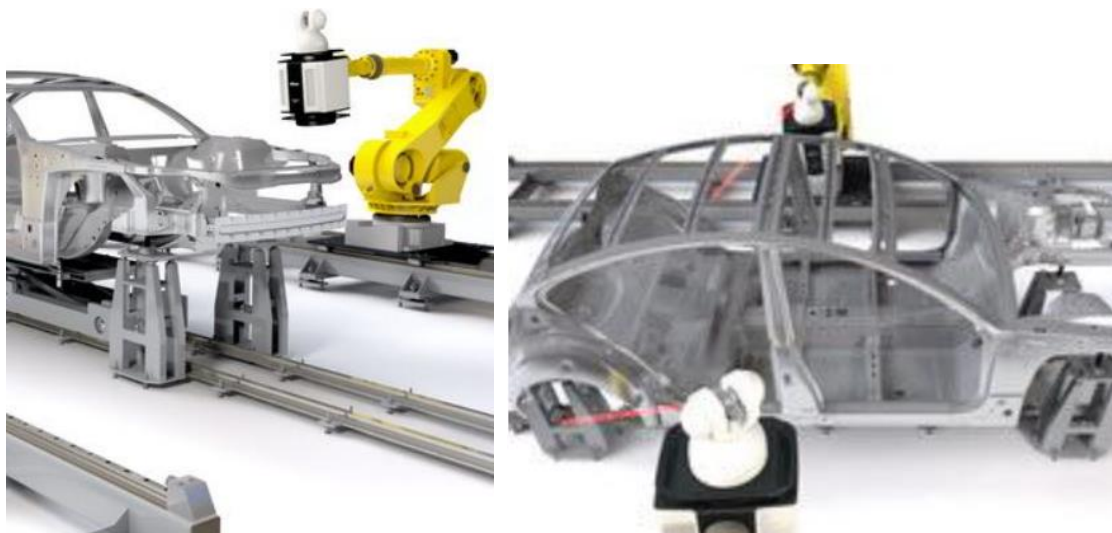
Princip skenování modrým nebo bílým světlem spočívá v promítání lineárních linií ze skeneru na snímáný povrch. Obraz čar se podle povrchu deformuje a tento se dvěma kamerami skeneru zaznamenává a převádí výpočtem do bodů v 3D rozměru – mračko bodů. Hustota bodů je nastavitelná a závisí na rychlosti skenování a nastaveném rozlišení promítané mřížky. Skenování bílým světlem je velmi rychlá a přesná metoda, bohužel je velmi ovlivnitelná působením jasného denního světla.



Obr. 5) Robotické skenování strukturovaným bílým světlem [17]

### 3.4.3 Laserový radar [16]

Laserový radar provádí automatizovaná, vysoce přesná, bezkontaktní měření v systému souřadnic vozu pomocí ohniskového laseru, který je řízen přesným azimutem a výškovým systémem. Laserový radar vyžaduje zlomek odraženého signálu, aby provedl přesné měření, což mu umožňuje kontrolovat téměř jakýkoli materiál, barvu nebo strukturu povrchu, jako je holý plech, protikorozně upravené karoserie nebo lakované vozy. Jedna z výhod je minimální pohyb robotických ramen. Na několik málo pozic lze radarem změřit celou karoserii.



Obr. 6) Laserový radar In-line ve výrobní lince [16]

### 3.4.4 Fotogrammetrie

V principu je to rekonstrukce prostorového objektu ze zachycených 2D digitálních fotografií pomocí početních algoritmů. Celkový obraz se skládá z velkého množství fotografií statického objektu, který je nasnímán z vícero úhlů pohledu. Velmi se doporučuje polepení skenovaného objektu fotogrammetrickými 2D značkami. Ty, jako pevné body s jasně definovanou polohou v prostoru významně, přispívají k přesnosti skládaného obrazu. Po měření je nutné tyto značky odstranit.



Obr. 7) Fotogrammetrie použitá při kontrole dveří [16]

### 3.4.5 Kontaktní 3D skenování

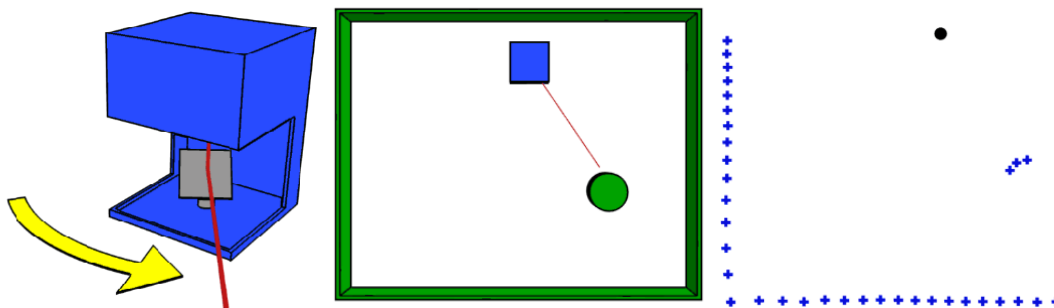
Někdy nazývané jako digitalizace povrchu. Skenovaného povrchu se postupně v určitém vzorkovacím rastru dotýká sonda měřicího zařízení. Její deformací se přenášejí souřadnice prostorových bodů snímaného povrchu do počítače, kde se následně skládá výsledný tvar povrchu. Sonda je zpravidla umístěna na kloubovém měřicím rameni nebo na 3D souřadnicovém měřicím stroji – CMM. Tyto systémy jsou velmi vhodné pro měření geometrických prvků, méně už pro plošné tvary.



Obr. 8) Kontaktní skenování součásti [18]

### 3.4.6 Laserový puls

Tyto skenery jsou také označovány jako Time – of – Flight nebo Lidar. Princip spočívá v měření času vyslaného laserového paprsku ke skenovanému objektu a zpět. Ze známé definice rychlosti světla se pak počítá přesná vzdálenost objektu od 3D skeneru. Skener propočítává milióny laserových impulsů s přesností na pikosekundu ( $1 \times 10^{-9}$  s). Jinak stacionární skener vysílá díky pohyblivému zrcadlu orientovaný laserový paprsek  $360^\circ$  kolem sebe. Podskupinou k pulsním skenerům jsou skenery s fázovým posunem, které dokážou modulovat také výkon laserového paprsku. Tím nabízejí lepší celkový výkon zařízení.



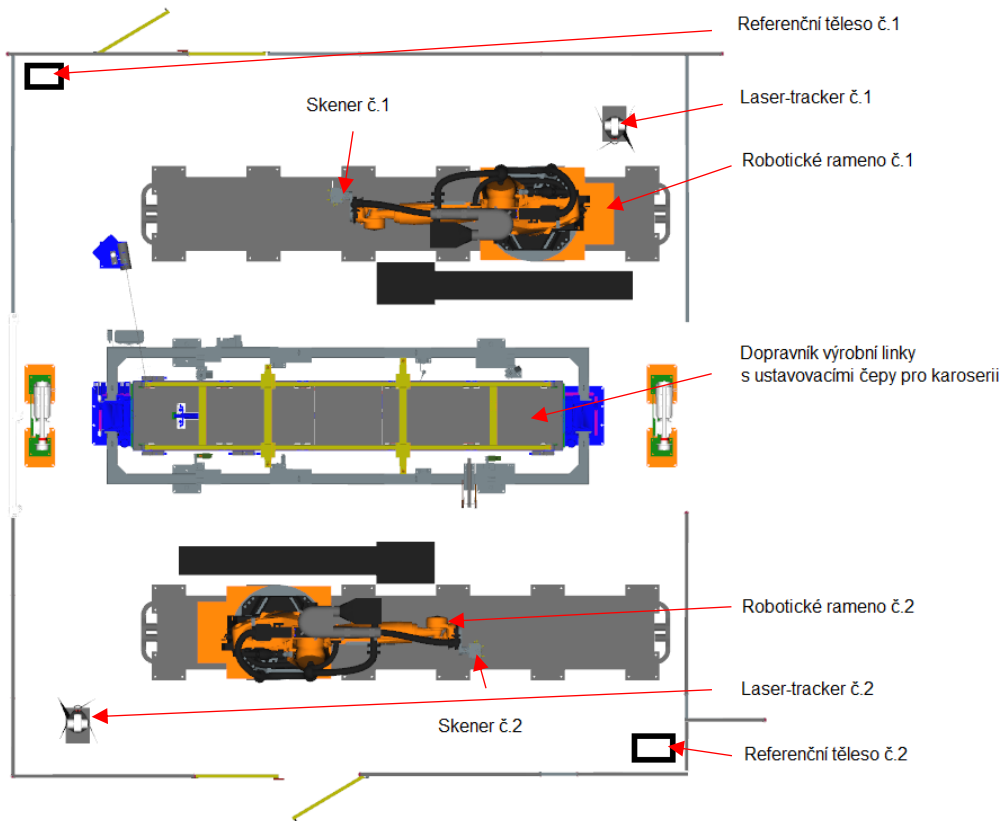
Obr. 9) Princip skenování laserovým pulsem [19]

### 3.4.7 Výhody a nevýhody skenovacích systémů:

Název systému	Výhody	Nevýhody	Vhodnost pro In-line měření
Laserová triangulace	Rozlišení, přesnost, skenování větších ploch.	Citlivost na vlastnosti skenovaných povrchů, horší skenování ořezů, matic a šroubů.	Vhodné
Strukturované světlo	Rychlost, rozlišení a schopnost skenování flexibilních objektů a velkých plošných tvarů.	Velká citlivost na světelné podmínky, problémy při práci mimo budovy.	Vhodné
Laser radar	Rychlost, rozlišení, měření otvorů, šroubů, matic, optimalizováno pro In-line měření.	Skenování malých plošek v řádu mm <sup>2</sup> .	Vhodné
Fotogrammetrie	Velká přesnost, rychlost získání snímků.	Citlivost na rozlišení vstupních fotografií, pomalé zpracování fotografií, velmi objemná data a náročnost na výpočetní techniku. Nutnost polepení objektu 2D značkami.	Nevhodné
Kontaktní 3D skenování	Přesnost, nezávislost na povrchu (průhledné, tmavé a reflexní plochy), opakované měření součástí.	Rychlost snímání, citlivost na teplotní výkyvy ovlivňující přesnost, nevhodné pro skenování flexibilních materiálů.	Nevhodné
Laserový puls	Schopnost skenování velmi velkých objektů a prostředí.	Rychlost.	Nevhodné.

Tab 1) Vhodnost skenovacích systémů pro In-line měření

Další část diplomové práce se zabývá pouze robotickým měřícím zařízením se skenery na principu laserové triangulace, obr. 10). Toto zařízení je v současné době nasazeno jako In-line měřící zařízení ve výrobním toku výrobní linky svařovny firmy ŠKODA AUTO a.s. v Kvasinách. Zde jsou také čerpány informace a data pro tuto práci.



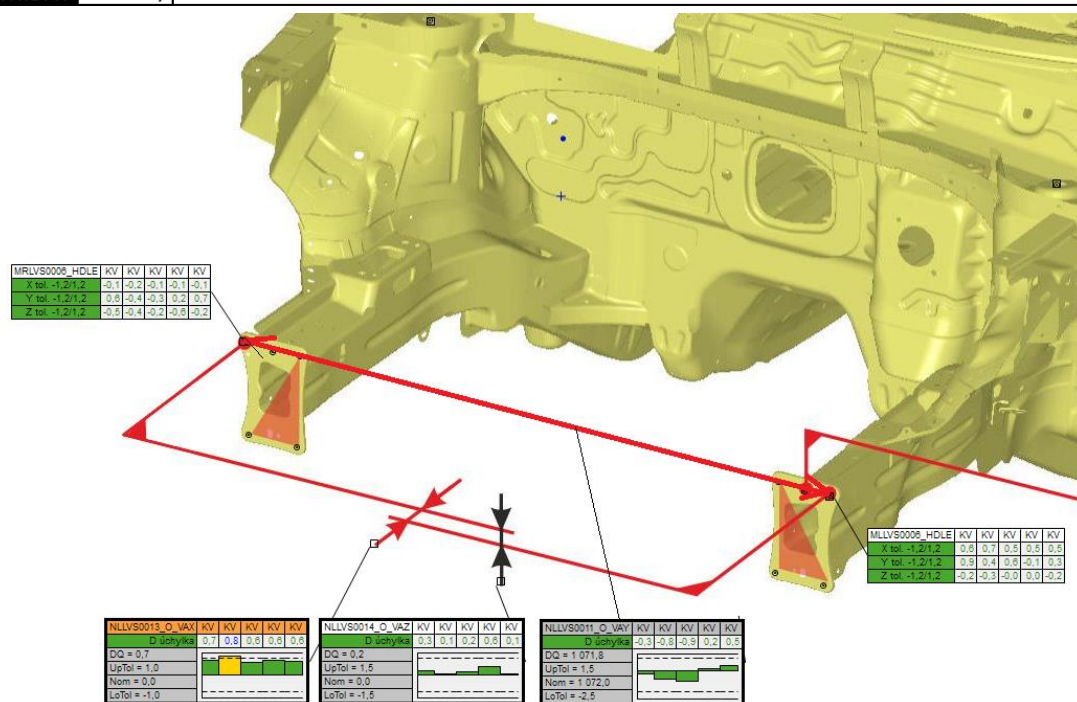
Obr. 10) Pohled shora na robotizovanou měřící buňku [12]

### 3.5 Zpracování a vyhodnocení naměřených výsledků

U Off-line systémů se vyhodnocení naměřených rozměrů, nebo spíše naměřených bodů a prvků s odchylkami v osách X,Y,Z, děje pomocí automatizovaného systému do předem definovaných šablon s obrázky měřených partií karoserie. Zobrazit takto lze 1 až 10 karoserií na jednom výstupním protokolu. Přičemž mezi 1. a 10. karosérií může být až několikadenní časový rozdíl. Sledování procesu je pak v tomto případě obtížné až nemožné.

U In-line systémů se po získání mračen bodů skenovacími systémy tyto data početně zpracovávají ve vyhodnocovacím softwaru. Mračna bodů s 3D souřadnicemi se mohou transformovat na polygonální 3D model, nebo se z nich přímo vyextrahují měřené geometrické prvky a body s předem definovanými nominálními hodnotami. Proběhne výpočet odchylek s porovnáním k tolerancím. Výsledný soubor těchto naměřených výsledků je exportován do statistického systému. Stejného systému jako je používán pro dotekové Off-line měření. Nastává druhý případ, kdy je zobrazeno v jednom výstupním protokolu 1 až 10 měření, ale pouze v intervalu několika minut, obr. 11).





Obr. 11) Ukázka vyhodnocení Off-line a In-line měření – pouze 5 měření

Z tohoto prostředí pak uživatelé používají naměřené hodnoty ke svým pracovním potřebám. Především k analyzování závad na svařené karoserii. Sledování procesu je zde obtížné. Lze částečně monitorovat vývoj bodů v čase. To ale nedává ucelený přehled o výrobním procesu. Statistický modul, který je v tomto vyhodnocovacím systému také funkční, je využíván velmi málo, obr. 48). Je to z důvodu malé informovanosti o tomto modulu a také zvyklosti řešit rozměrové analýzy pomocí předdefinovaných šablon z Off-line měření.



## 4 NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ ZADANÉHO ÚKOLU

Aby bylo možné korektně posuzovat naměřené výsledky z In-line měřicího zařízení a aby byla zaručena správnost řízení procesu výroby karoserie, je nutné zkontrolovat proces měření už od samého počátku, od měřicího stroje, až do konce. To znamená až po zobrazení regulačních diagramů procesu výroby karoserie.

V této diplomové práci je postupováno podle následujícího postupu řešení:

1. Zjištění nejistoty měření měřících zařízení. Jak u posuzovaného In-line robotického měřicího zařízení, tak u porovnávacího Off-line měřicího zařízení. Způsob stanovení nejistoty měření vychází z aktuálních norem a jako podklad s naměřenými hodnotami slouží aktuální kalibrační protokoly jednotlivých měřících zařízení. V kapitole o nejistotě měření je nejprve osvětlen teoretický základ s osvětlením nových metod ověřování shody a neshody, které vstoupily v platnost novým vydáním normy ČSN EN ISO 14253-1 z června 2018. Za touto částí je pak proveden praktický výpočet nejistot měření u obou měřících zařízení. Po zjištění nejistoty měření bude tato hodnota použita k dalšímu zpracovávání u statistického hodnocení procesu.
2. Definování měřených bodů na svařené karoserii. Aby bylo možné porovnávat měření totožné karoserie měřené oběma měřicími systémy, je nutné definovat kontrolní měřící body na svařené karoserii. Při jejich definování se musí brát do úvahy možnosti jednotlivých systémů. Body by měly být vybírány tak aby nemohly vznikat pochybnosti o správnosti naměřené hodnoty. Počet bodů by měl být maximálně možný tak, aby se v zadaném měřicím intervalu pro In-line měřící zařízení dalo toto množství měřit na každé karoserii.
3. Korelace. Jako další bod v postupu práce je zjištění počáteční hodnoty korelací svařené karoserie měřené na obou měřících zařízeních. A to jak z období, kdy byly pochybnosti o správnosti naměřených výsledků z In-line měřicího zařízení, tak z aktuálního období po nasazení opatření ke zlepšení spolehlivosti. Počáteční hodnota slouží pro porovnání s aktuálním stavem pro zhodnocení již proběhlých korekcí a vylepšení na In-line měřicím zařízeních. Je to způsob, jak numericky potvrdit úspěšnost či neúspěšnost provedených opatření k zvýšení spolehlivosti In-line měřicího zařízení.
4. Negativní vlivy na měření In-line. V další fázi jsou označené odchýlené rozměry nejvíce přispívající do negativní hodnoty korelace. Z nich jsou identifikována měřená místa na karoserii. Je proveden rozbor těchto míst na vnější a vnitřní vlivy, které mohou tyto rozdíly způsobovat. Postupovat lze podle publikace „VDA 5.1 In-line měřící technika pro zpětné sledování ve stavbě karoserií“. Po této identifikaci lze snadněji navrhnout technická řešení, která by umožnila další

zlepšení koeficientu korelace mezi měřeními, a tím zlepšení spolehlivosti 3D měřicího robotického zařízení ve výrobní lince.

5. Sledování procesu. Jako poslední krok je pak navrhnout způsob vyhodnocování naměřených hodnot z In-line měřicího zařízení pomocí regulačních diagramů.

## 5 NEJISTOTA MĚŘENÍ

### 5.1 Co je nejistota měření

Měřicí systémy při své činnosti vytváří po kontaktu s povrchem měřeného objektu, ať fyzickým dotykovým nebo optickým bezdotykovým způsobem, naměřenou hodnotu měřené geometrické veličiny. Tato, měřením získaná hodnota (výsledek měření), se hledané pravé (skutečné) hodnotě pouze více nebo méně blíží. Proto se k získané hodnotě měřením musí uvádět informace o nejistotě měření měřidla a měřicího procesu. Ta definuje kolem výsledku měření symetrický interval, ve kterém leží hledaná pravá hodnota veličiny s danou pravděpodobností.

*Nejistota měření se chápe jako nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny, který je na základě užité informace přidružen k měřené veličině [4].* Kompletní výsledek měření je pak vyjádřen pomocí rovnice (1) [4]:

$$y' = y \pm U, \quad (1)$$

kde

$y'$  je kompletní výsledek měření,

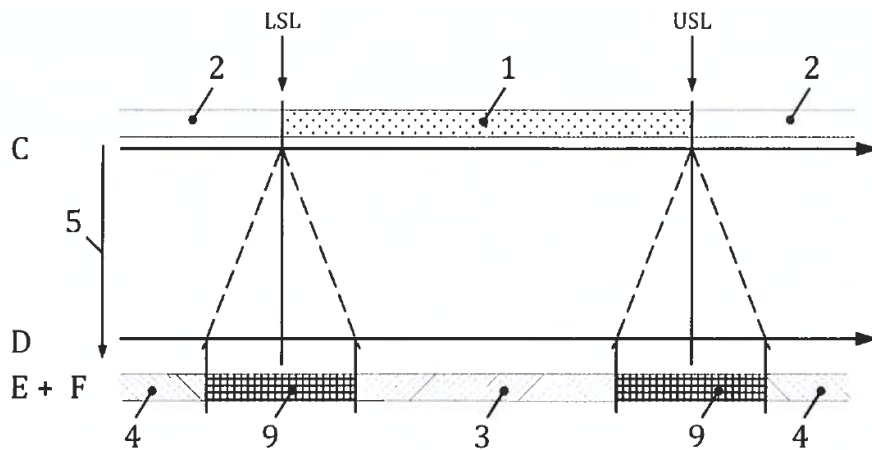
$y$  je výsledek měření,

$U$  je rozšířená nejistota měření.

### 5.2 Vyjádření pole nejistoty

Základem určování nejistot měření je statistický přístup. Předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje, jak se může udávaná hodnota odchylovat od skutečné hodnoty, respektive pravděpodobnost, s jakou se v intervalu daném nejistotou může nacházet skutečná hodnota. Nejistotu měření lze přiřazovat přímo k naměřené hodnotě měřené veličiny, jak je zobrazení na vztahu (1) anebo se o ní ponížují hranice specifikace měřeného rozměru, zmenšující tak pole přijetí, obr.12).

Nejistota měření prochází vývojovými fázemi během cyklu vývoje rozměru na měřeném objektu. V konstrukční fázi je její hodnota nulová, předpokládá se ideální stav rozměru – výrobku. Následně se při určování výrobních tolerancí začíná tvořit také uvažovaná nejistota měření ve formě požadavku na měřicí zařízení, kterým lze uvedený rozměr spolehlivě změřit. Zjednodušeně lze nastavit prvotní požadovanou nejistotu měření způsobem, kdy se vezme v úvahu nejmenší definovaná tolerance a vydělí se dvěma či třemi. Takto získaná hodnota udává maximální možnou velikost nejistoty měření měřidla uvažovaného pro měření daného výrobku. Záleží na možnostech organizace, jak přísně si definuje míru spolehlivosti měření. Ta pak zásadně ovlivňuje finanční náklady vynakládané na pořízení a provoz měřidla s velmi malou nejistotou, avšak naproti tomu vyvážené velkou spolehlivostí při prokazování shody směrem k zákazníkovi. Graficky je tento stav interpretován v normě ČSN EN ISO 14253-1, obr. 12) [5].



Obr. 12) Nejistota měření ovlivňuje zóny ověření shody a neshody [5]

kde

- C fáze konstrukce
- D fáze ověření pro konkrétní nejistotu měření
- E ověření shody
- F ověření neshody
- 1 pole specifikace
- 2 vnější pole mimo specifikaci
- 3 pole, kde je ověřena shoda – pole přijetí
- 4 pole, kde je ověřena neshoda – pole zamítnutí
- 5 zvyšování nejistoty měření zmenšuje pole přijetí i pole zamítnutí
- 9 pole nejistoty
- LSL dolní mez specifikace
- USL horní mez specifikace

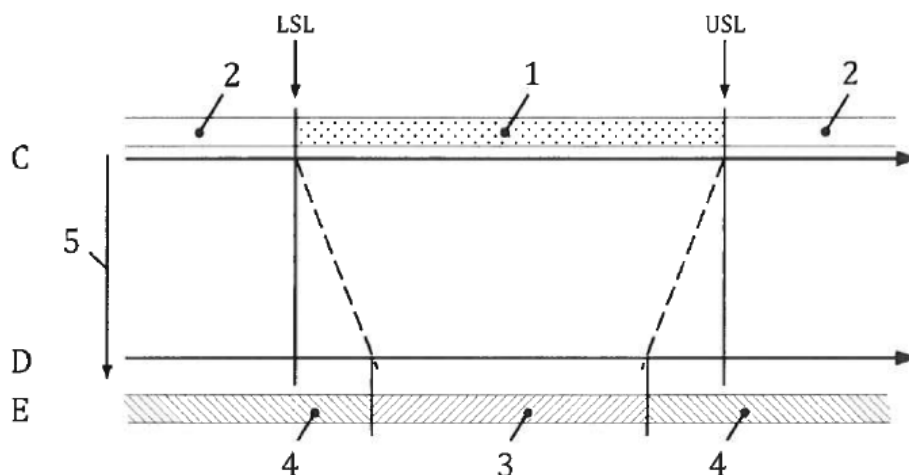
Nejistota měření vždy o nějakou konkrétní hodnotu zmenší pole přijetí a zamítnutí ze specifikace měřidla. Při volbě špatného měřidla na zamýšlené měření veličiny může být pole přijetí tak malé, že nebude možné s jistotou shodu prokázat ani vyvrátit. Takové měření bude nespolehlivé a pro případné řešení sporů se zákazníkem nevyhovující. Na druhou stranu při volbě příliš přesného měřidla docílíme velké pole přijetí při dané toleranci měřené veličiny, ale za cenu velkých ekonomických nákladů na pořízení, provoz a pozdější údržbu měřidla, jak bylo popsáno výše.

### 5.3 Pravidla pro ověřování shody se specifikací

Pole přijetí zaručuje s jistotou splnění stanovených požadavků na výrobní toleranci kontrolovaného rozměru nebo specifikaci měřidla. Pokud kompletní výsledek měření, tj. výsledek měření s přidruženou nejistotou, celý leží v toleranci nebo ve specifikaci, je shoda jednoznačně prokázána. V opačném případě, kdy kompletní výsledek měření leží mimo toleranci nebo specifikaci, je jednoznačně prokázána neshoda.

Nejasný výsledek nastává, kdy výsledek měření je na mezi specifikace v poli nejistoty. U takového případu nelze s jistotou rozhodnout, obr. 12) pole 9. Norma ČSN EN ISO 14253-1 2018 v těchto případech rozděluje rozhodnutí na dvě části.

První pro případ, kdy dodavatel prokazuje zákazníkovi shodu se specifikací, má pole přijetí zmenšené o nejistotu, obr. 13). Zákazník má v tomto případě určitou výhodu, kdy může odmítnout produkci výrobků jejichž důležitý rozměr nebo rozměry jsou na hranicích tolerance. Sice rozměrově v toleranci, ale už v pásmu nejistoty. Určitou výhodu zde ovšem získají i výrobci, jejichž kontrolní měřicí zařízení je na špičkové úrovni. Rozšíření nejistoty měření vypočítávané podle nové metodiky zmenšuje pole nejistoty pro tyto kvalitní měřidla.

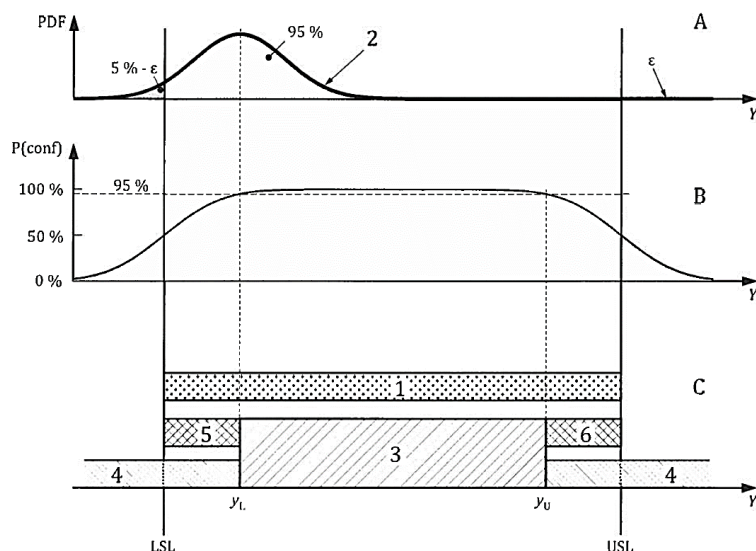


Obr. 13) Ověřování shody dodavatelem [5]

kde

- C fáze konstrukce
- D fáze ověření pro konkrétní nejistotu měření
- E ověření shody
- 1 pole specifikace
- 2 vnější pole mimo specifikaci
- 3 pole přijetí – při ověřování shody
- 4 pole zamítnutí – při ověřování shody
- 5 zvyšování nejistoty měření zmenšuje pole přijetí
- LSL dolní mez specifikace
- USL horní mez specifikace

Pokud má hustota pravděpodobnosti naměřených hodnot normální rozdělení se směrodatnou odchylkou výrazně menší, než je rozměr pole specifikace, pak standardní limita pravděpodobnosti shody 95 % odpovídá hodnotě faktoru ochrannému pásmu = 1,65, tj. šířka ochranného pásma je rovna 1,65 x kombinovaná standardní nejistota, obr. 14). [3]



Obr. 14) Ověření shody se specifikací [5]

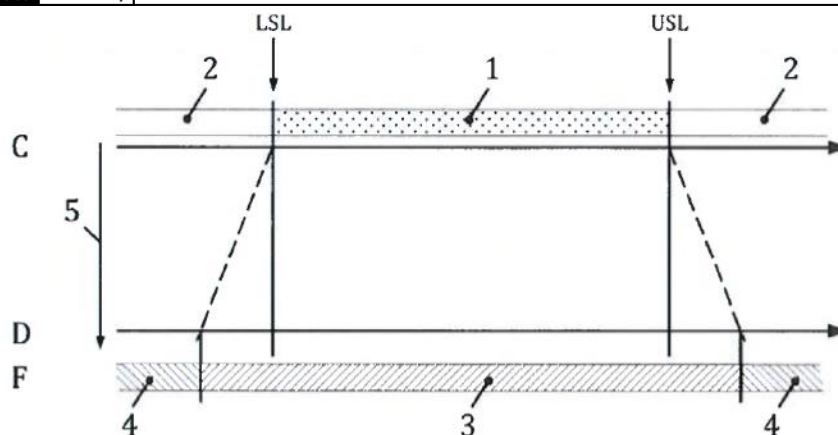
kde

- A hustota pravděpodobnosti naměřené hodnoty  $y_L = LSL + g_{LA}$
- B pravděpodobnost shody
- C pole přijetí při ověřování shody
  - 1 pole specifikace
  - 2 hustota pravděpodobnosti naměřené hodnoty v místě  $LSL + g_{LA}$
  - 3 standardní pole přijetí
  - 4 standardní pole zamítnutí
  - 5 ochranné pásmo  $g_{LA}$  na LSL
  - 6 ochranné pásmo  $g_{UA}$  na USL
- $y_L$  nejmenší naměřená hodnota pro kterou může být shoda ověřena
- $y_U$  největší naměřená hodnota pro kterou může být shoda ověřena
- $Y$  naměřená hodnota
- LSL dolní mez specifikace
- USL horní mez specifikace
- $\varepsilon$  nekonečně malý zbytek

#### 5.4 Pravidla pro ověřování neshody se specifikací

Druhý případ nastává při ověřování neshody zákazníkem. To mohou být případy reklamací, kdy zákazník svým kontrolním měřením prokazuje neshodu rozměrů u dodaných výrobků. Zde naopak nejistota měřidla působí v prospěch dodavatele, kdy se rozšiřuje pole přijetí a v neprospěch zákazníka, kdy je zmenšeno o nejistotu měření pole zamítnutí, obr. 15). I zde platí pro zákazníka, že v jeho neprospěch působící nejistotu měření, může zmenšit kvalitnějším měřidlem. Bohužel se zvýšenými finančními nároky na pořízení, provoz a údržbu.



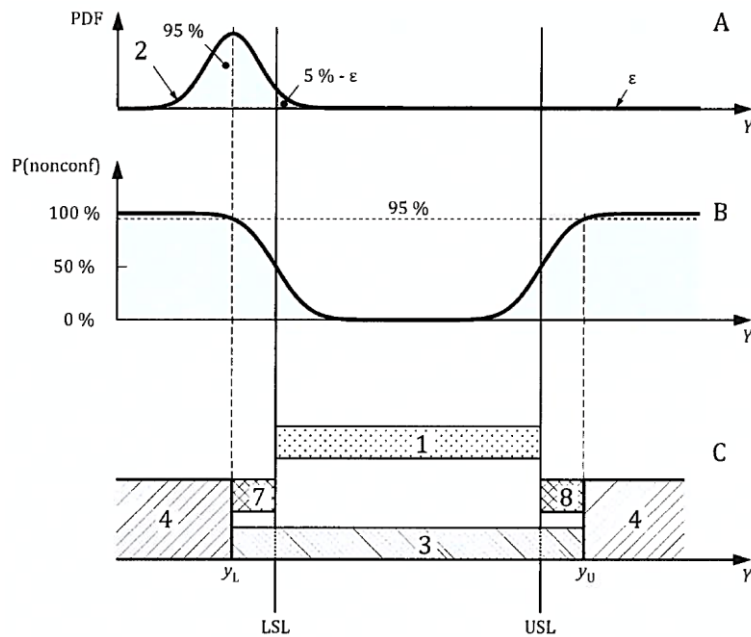


Obr. 15) Ověřování neshody zákazníkem [5]

kde

- C fáze konstrukce
- D fáze ověření pro konkrétní nejistotu měření
- F ověření neshody
- 1 pole specifikace
- 2 vnější pole mimo specifikaci
- 3 pole přijetí – při ověřování neshody
- 4 pole zamítnutí – při ověřování neshody
- 5 zvyšování nejistoty měření zmenšuje pole zamítnutí
- LSL dolní mez specifikace
- USL horní mez specifikace

Pokud má hustota pravděpodobnosti naměřených hodnot normální rozdělení, pak standardní limita pravděpodobnosti shody 95 % odpovídá hodnotě faktoru ochrannému pásmu = 1,65, tj. šířka ochranného pásma je rovna 1,65 x kombinovaná standardní nejistota, obr. 16). [3]



Obr. 16) Ověření neshody se specifikací [5]

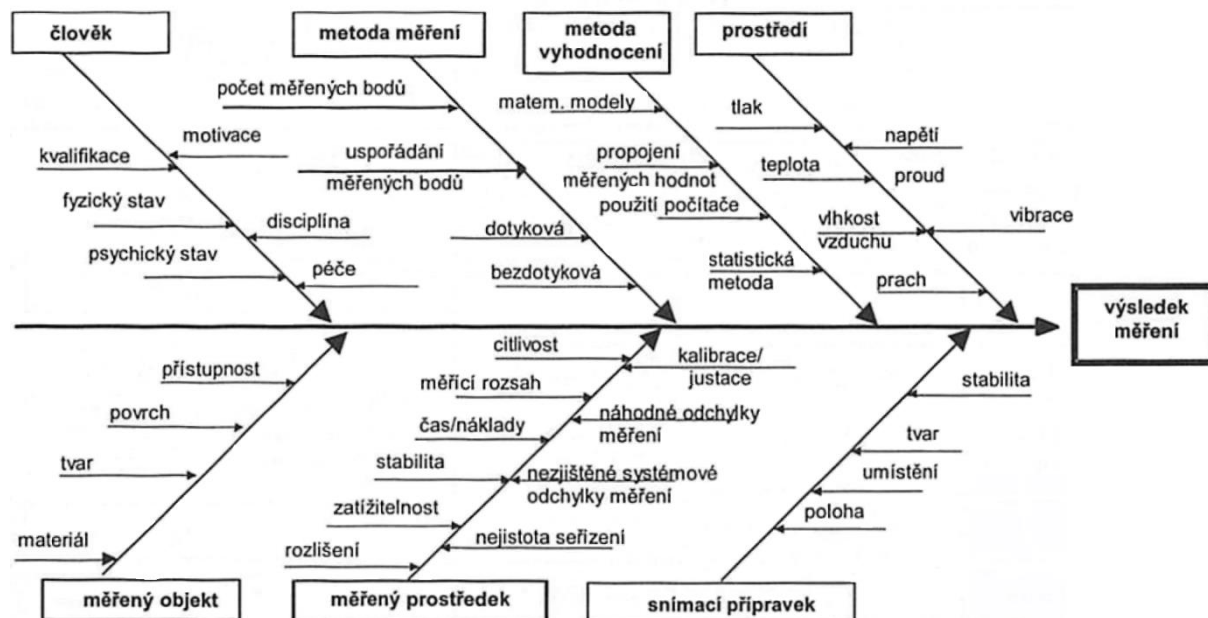
kde

- A hustota pravděpodobnosti naměřené hodnoty  $y_L = LSL - g_{LR}$
- B pravděpodobnost neshody
- C ochranná pásma při ověřování neshody
- 1 pole specifikace
- 2 hustota pravděpodobnosti naměřené hodnoty v místě  $LSL - g_{LR}$
- 3 standartní pole přijetí
- 4 standartní pole zamítnutí
- 7 ochranné pásmo  $g_{LR}$  na LSL
- 8 ochranné pásmo  $g_{UR}$  na USL
- $y_L$  největší naměřená hodnota pod LSL, pro kterou může být neshoda ověřena
- $y_U$  nejmenší naměřená hodnota nad USL, pro kterou může být neshoda ověřena
- $Y$  naměřená hodnota
- LSL dolní mez specifikace
- USL horní mez specifikace
- $\varepsilon$  nekonečně malý zbytek

Na těchto případech lze nejlépe ukázat na vhodnost měřidla v měřícím procesu. Pokud by levné a méně přesné měřidlo mělo příliš velké pole nejistoty, stavů, kdy nelze jednoznačně rozhodnout by bylo neúměrně mnoho a měřící proces by tímto byl celý nedůvěryhodný a nevhodný. Naopak měřidlo s velmi malým polem nejistoty by prokazovalo s jistotou mnohem častěji shodu nebo neshodu ale za cenu neúměrně vysokých vynaložených finančních nákladů na pořízení a provoz měřidla, jak bylo uvedeno. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]

## 5.5 Vlivy na nejistotu výsledků měření

Analýza kontrolního procesu obsahuje identifikaci ovlivňujících veličin působících na nejistotu měření. V obr. 17) jsou znázorněny důležité komponenty působící na nejistotu výsledku měření.



Obr. 17) Důležité vlivy na nejistotu výsledků měření [1]

- Člověk – při manuálním měření je tento faktor schopný generovat náhodné chyby. Aktuální stav měřiče ovlivňuje jeho soustředění a pečlivost, se kterou měření provádí.
- Metoda měření – určuje jakým způsobem se má daný prvek měřit. To zaručuje sjednocení postupů měření ve všech dotčených měřících laboratořích a provozech. Předchází se takto nesrovnalostem vzniklých různými postupy. Nejlépe je tento předpis zakotvit podnikovou normou, kterou akceptují i dodavatelé a odběratelé.
- Metoda vyhodnocení – stejný případ jako u metod měření. Je potřebná shoda všech zúčastněných stran na formě generování výsledků měření, aby nedocházelo k pochybám a různým interpretacím. Nejlépe také zakotvit tato pravidla v podnikové normě.
- Prostředí – ovlivňuje fyzikální vlastnosti měřícího zařízení. Nejvlivnějším parametrem je zde teplota, jejíž kolísáním dochází k roztažnosti materiálu měřícího zařízení a tím k měření nesprávných hodnot. Ideální je nastolit podmínky pro měření, kde je prostor plně klimatizován, bez vibrací a bezprašný.
- Měřený objekt – zde je také důležitá teplota měřeného objektu. Před měřením by mělo by dojít k vytemperování měřeného objektu na teplotu, jakou má místnost s měřícím zařízením. To zvláště pokud rozdíl teplot velmi vysoký. Pokud z časových důvodů nelze temperování provést lze připojit na měřený

objekt teplotní čidlo které odesílá aktuální teplotu objektu do řídicího softwaru ke korigování naměřených hodnot.

- Měřený prostředek – jsou to vlastnosti měřícího zařízení, které mají přímý vliv na schopnost daný měřený objekt změřit. Například rozlišení, s jakým měřidlo měří, ovlivňuje schopnost změřit hodnotu s nejistotou danou specifikací. Dále jak je měřidlo stabilní drzet zjištěnou nejistotu v čase v daných podmínkách měření.
- Snímací přípravek – určuje, jak je měřený objekt ustavený pro měření. Zda je řádně zafixován, zda je zaručena opakovatelnost měření při znovu ustavení měřeného objektu pro měření.

Pro rozpočet nejistot se vytipují všechny možné vlivy a přiřadí se možná maximální velikost chyby. Při určování nejistoty měření kontrolního procesu je třeba respektovat všechny komponenty. Pro potřeby této práce jsou vytipovány tyto možné vlivy:

$Z_1$  je vliv měřeného prostředku – nejistota použitého etalonu,

$Z_2$  je vliv prostředí – teplota výrobní haly,

$Z_3$  je vliv prostředí – osvětlení (používáme optické měřící systémy),

$Z_4$  je vliv člověka – kvalifikace, disciplína.

## 5.6 Výpočet nejistoty – teorie

Výsledná nejistota měření přiřazovaná k výsledkům měření se skládá z několika složek. Pro jejich určení platí „obecně platný postup určování nejistoty měření“, který se skládá z:

- analýzy kontrolního procesu a pojmenování komponent nejistoty,
- zjištění standartních nejistot metodou „A“ / metodou „B“,
- zjištění kombinované standartní nejistoty,
- rozšíření nejistoty.

### 5.6.1 Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „A“

Tato metoda popisuje určení standartní nejistoty typu **A** ( $u_A$ ), která vychází ze statistického zpracování řady  $n$  jednotlivých naměřených hodnot. Tyto hodnoty byly stanoveny za definovaných podmínek zkoušky, a to pomocí výběrové směrodatné odchylky  $s_{\bar{x}}$  jednotlivých naměřených hodnot. Výběrová směrodatná odchylka je mírou rozptylu, která je úměrná střední hodnotě vzdálenosti jednotlivých hodnot od aritmetického průměru.

K jejímu stanovení je potřeba nejprve vypočítat odhad pravé hodnoty středu  $\mu$  rozdělení – aritmetický průměr (výběrový) z minimálního počtu měření  $n = 10$  dle vztahu (2) [6]:

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

kde

$\bar{x}$  je odhad pravé hodnoty středu  $\mu$  rozdělení – aritmetický průměr (výběrový),

$n$  je počet měření,

$x_i$  je výsledek měření.

Výběrová směrodatná odchylka založená na  $n$  hodnotách měření.  $s_x$  je odhad směrodatné odchylky rozdělení  $\sigma$ , dle vztahu (3) [6]:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad . \quad (3)$$

Směrodatná odchylka výběrového průměru založená na  $n$  hodnotách měření vypočítaná dle vztahu (4) [5] je pak zároveň standartní nejistotou typu **A** ( $u_A$ ) :

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad . \quad (4)$$

Pokud je počet měření  $n < 10$ , je nutné standartní nejistotu typu **A** rozšířit koeficientem  $k_s$  na Tab 2), dle vztahu (5). Jeho velikost závisí na počtu měření  $n$ . Při větším počtu měření než 9 je  $k_s = 1$  (doporučuje se volit počet měření  $> 10$ , v krajním případě 5 [7]).

$n$	9	8	7	6	5	4	3	2
$k_s$	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

Tab 2) Tabelované hodnoty  $k_s$  pro počet měření  $n$  [8]

$$u_A = s_{\bar{x}} \times k_s \quad . \quad (5)$$

### 5.6.2 Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „B“

Tato metoda popisuje určení standartní nejistoty typu **B** ( $u_{Bz_j}$ ), která je stanovena jinak než statistickým zpracováním opakovaně naměřených hodnot. Je nutné ke všem vytipovaným možným vlivům na měření  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ , viz kapitola 5.3, přiřadit nejistotu typu **B**  $u_{Bz_j}$ . To může být například převzetím hodnot z technické dokumentace, z kalibračních listů, z údajů výrobce atd./ nebo odhadem [8].

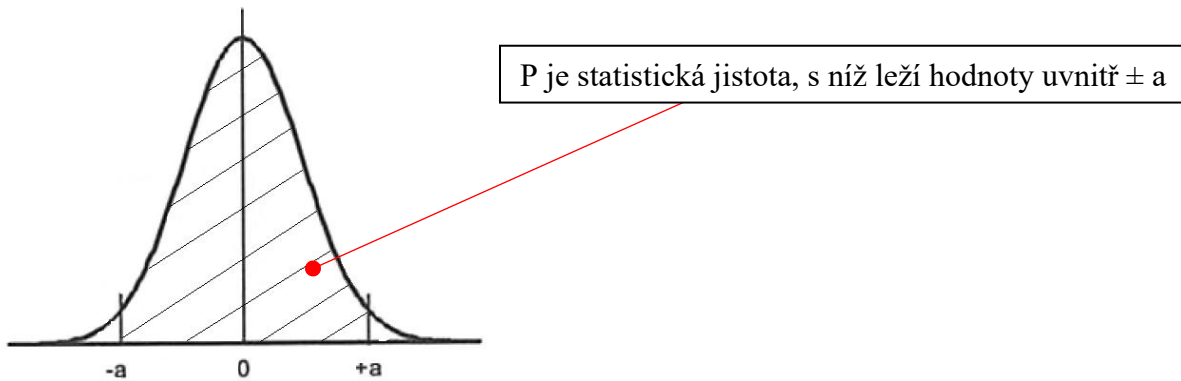
#### Postup:

- odhadne se maximální rozsah změn  $\pm Z_{max}$  (např. od měřené hodnoty). Velikost  $\Delta Z_{max}$  se volí tak, aby její překročení bylo málo pravděpodobné,
- uváží se, které rozdělení pravděpodobnosti nejlépe vystihuje výskyt hodnot v intervalu  $\pm Z_{max}$  a z tabulky rozdělení pravděpodobnosti odečteme konstantu  $\chi$ .

Je-li pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu vyšší než výskyt hodnot v krajním intervalu, použijeme normální rozdělení. V případě, že rozdělení pravděpodobnosti

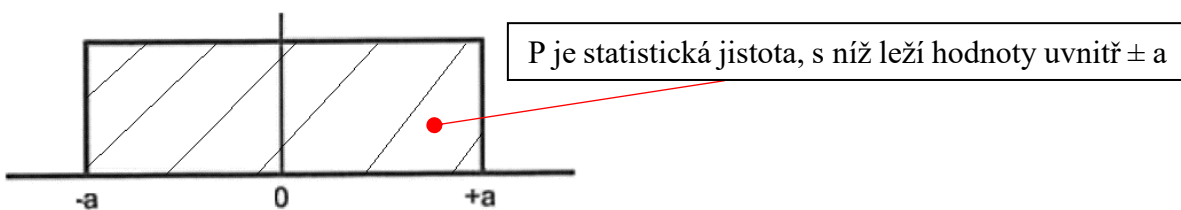
odchylek v intervalu  $\pm Z_{max}$  je přibližně stejný nebo je není možné posoudit, předpokládá se stejná hodnota pravděpodobnosti pro všechny odchylky, tzn. volíme rovnoměrné rozdělení [8].

**Normální (Gaussovo) rozdělení, obr. 18)**, s  $\chi = 2$  je voleno pro takové případy, kdy je pravděpodobnost malých či velmi malých odchylek značná, zatímco pravděpodobnost velkých odchylek, rovných mezím, je velmi malá [8].



Obr. 18) Normální (Gaussovo) rozdělení:  $P = 95,45 \%$ ,  $\chi = 2$  [5]

**Rovnoměrné (pravoúhlé) rozdělení, obr. 19)**, volíme ve většině běžných případů, kde lze uvažovat, že hodnota ovlivňující veličiny může ležet kdekoli mezi oběma mezními hodnotami, aniž by byla kterákoli hodnota upřednostňována [8].



Obr. 19) Rovnoměrné rozdělení:  $P = 100 \%$ ,  $\chi = \sqrt{3}$  [6]

- Určí se nejistoty typu B z jednotlivých zdrojů  $Z_j$  ze vztahu:

$$u_{Bzj} = \frac{\Delta Z_{max}}{\chi}, \tag{6}$$

kde  $\chi$  se volí dle rozdělení. Tato konstanta udává poměr maximální hodnoty  $\Delta Z_{max}$  ku směrodatné odchylce normálního rozdělení [8].

Kalibrační certifikáty udávají naměřené hodnoty pro metrologické charakteristiky a s tím spojenou nejistotu měření. Pokud je daná kalibrovaná hodnota použita, je složka nejistoty  $u_{xx}$  odvozena jako následující [6].

Nejistota je vyjádřena jako „rozšířená nejistota“  $U$  s uvedeným „koeficientem rozšíření“  $k$  v souladu s GUM [6]:

$$u_{Bzj} = \frac{U}{k} \quad (7)$$

### 5.6.3 Zjištění kombinované standardní nejistoty

Kombinovanou nejistotu  $u_c$  stanovíme dle vztahu (8) [8]:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + \sum_{j=1}^m u_{Bzj}^2} \quad (8)$$

kde

$m$  je počet nekorelovaných složek nejistoty

$u_{Bzj}$  je nejistota typu B jednotlivých zdrojů.

### 5.6.4 Vyhodnocení rozšířené standardní nejistoty podle staré metody z roku 2014

je dána vztahem (9), kde koeficient rozšíření  $k = 2$  v měření GPS, pokud není specifikováno jinak. Koeficient rozšíření (pokrytí),  $k = 2$  odpovídá 95,45 % pravděpodobnosti, že bude naměřená hodnota v intervalu  $\pm U$ .

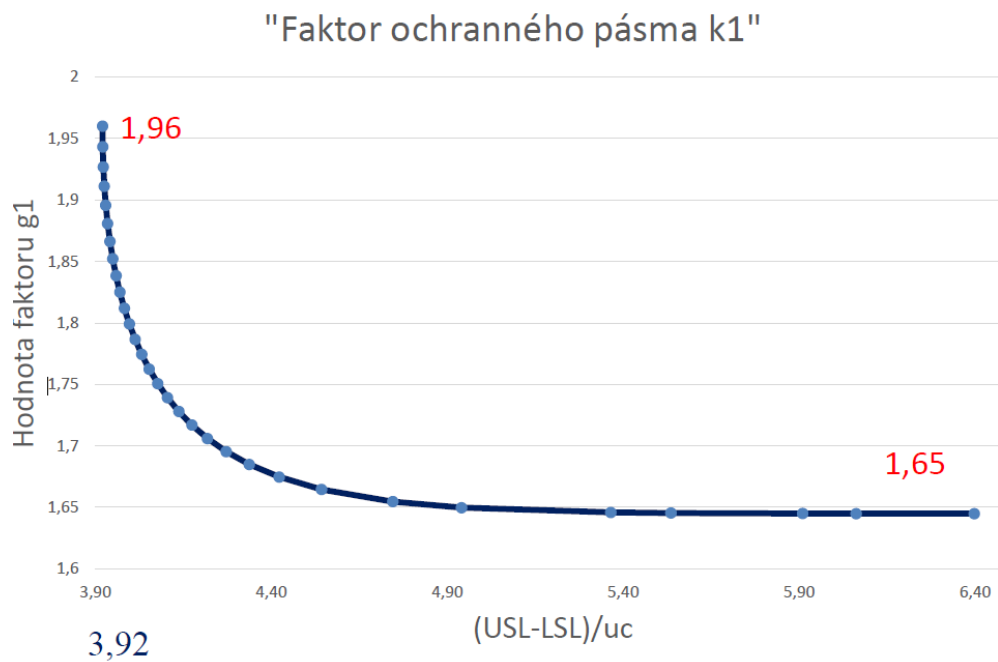
$$U = k \cdot u_c \quad (9)$$

### 5.6.5 Vyhodnocení rozšířené standardní nejistoty podle nové metody z roku 2018

je dána vztahem (10) [6], kde se vypočítá poměr rozsahu specifikace se standardní nejistotou

$$k_1 + k_2 = \frac{USL - LSL}{u_c} \quad (10)$$

Obr 20) ukazuje průběh distribuční funkce, jak se pro pravděpodobnost shody 95 % faktor ochranného pásma „ $k_1$ “ přibližuje k hodnotě 1,65, když se nejistota relativně snižuje k širší zóny specifikace, což znamená že pravděpodobnost neshody je pouze 5 %. Podle tohoto průběhu můžeme usuzovat, že pokud výsledná hodnota  $k_1 + k_2 > 5$ , tak můžeme standardní nejistotu rozšířit faktorem  $g_1 = 1,65$ . Nejistota měření je tak mírně ponížena oproti staré metodě. [6]



Obr. 20) Ochranné pásmo faktoru  $k_1$  pro pokrytí pravděpodobnosti 95 % [6]

kde

X  $(USL - LSL) / u_c$

Y Ochranný hraniční faktor  $g_1$

Maximální hodnota pro  $g_1 = 1,96$ , což platí když  $(USL-LSL) / u_c$  je rovna do  $2 * 1,96 = 3,92$ . [6]



## 5.7 Výpočet nejistoty – praktický výpočet

Výpočet nejistoty měření byl proveden pro obě robotická ramena in-line měřícího zařízení a pro off-line 3D souřadnicový měřicí stroj.

Pro výpočty nejistot typu  $u_B$  byly zohledněny tyto faktory:

- Rozlišení měřidla
- Teplota prostředí
- Nejistota etalonu
- Vliv osvětlení u optických měřidel

Pro názornost je v tabulkách i v grafickém zobrazení dále ukázána rozdílnost staré (2014) a nové metody (2018) výpočtu nejistoty měření. Rozdíl je v přístupu k rozšiřování standardní nejistoty typu  $u_C$ .

Pro další zpracovávání pak byla použita hodnota nejistoty měření  $H$ , což je celá délka 5 000 mm etalonu.

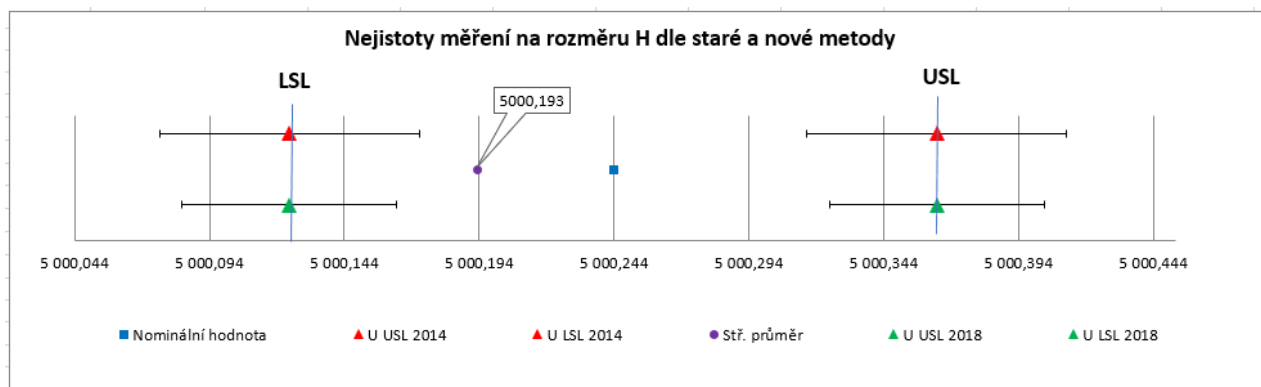


Obr. 21) Kontrolní těleso „Kugelstab 5000 mm fy. KOBA“ na 3D souřadnicovém dotykovém měřicím stroji [11]

### 5.7.1 Výpočet nejistoty měření měřícího zařízení In-line č.1

Rozlišení (mm) 0,001	Rozměr [mm]											
	Nominál	500,0088	499,9580	500,0759	500,0479	500,0695	499,9796	500,0339	499,9762	499,9918	500,1021	5000,2437
Tol. +	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	
Tol. -	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	
USL	500,129	500,078	500,196	500,168	500,190	500,100	500,154	500,096	500,112	500,222	5000,364	
LSL	499,889	499,838	499,956	499,928	499,950	499,860	499,914	499,856	499,872	499,982	5000,124	
Číslo měření	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	H	
H 1	500,016	499,942	500,044	500,039	500,073	500,027	499,982	499,973	500,017	500,091	5000,204	
H 2	500,021	499,916	500,085	500,029	500,066	500,000	500,025	499,976	500,014	500,042	5000,174	
H 3	499,998	499,951	500,053	500,043	500,065	499,993	500,020	500,008	499,962	500,108	5000,201	
$\bar{x}$	500,012	499,936	500,061	500,037	500,068	500,007	500,009	499,986	499,998	500,080	5000,193	
$s_{(x)}$	0,012	0,018	0,022	0,007	0,004	0,018	0,024	0,019	0,031	0,034	0,017	
$u_a$	0,007	0,010	0,012	0,004	0,003	0,010	0,014	0,011	0,018	0,020	0,010	
$u_a + k_s$	0,016	0,024	0,029	0,010	0,006	0,024	0,031	0,026	0,041	0,046	0,022	
$u_b$	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	
$u_c$	0,019	0,026	0,030	0,014	0,012	0,026	0,033	0,028	0,042	0,047	0,024	
2014	$U (k=2)$	0,038	0,052	0,061	0,028	0,023	0,052	0,066	0,055	0,085	0,093	
2018	$k1+k2$	12,699	9,192	7,921	17,372	20,836	9,289	7,322	8,690	5,680	5,152	
	$g$	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	
	$U (g=1,65)$	0,031	0,043	0,050	0,023	0,019	0,043	0,054	0,046	0,070	0,040	

Tab 3) Výpočet nejistoty měření In-line robotického ramene č.1



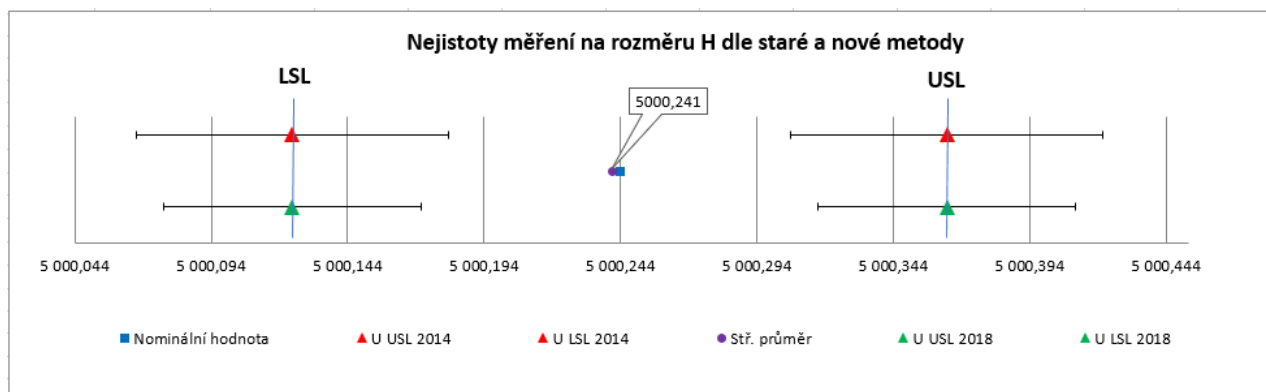
Obr. 22) Grafické zobrazení výpočtu nejistoty u in-line robotického ramene č.1

U měřícího robotického ramene č.1 byla zjištěna nejistota měření  $U_I = \pm 0,040$  mm s odchýlením průměrné hodnoty od nominální o  $-0,051$  mm.

## 5.7.2 Výpočet nejistoty měření měřicího zařízení In-line č.2

Rozlišení (mm) 0,001	Rozměr [mm]											
	Nominál	500,0088	499,9580	500,0759	500,0479	500,0695	499,9796	500,0339	499,9762	499,9918	500,1021	5000,2437
Tol. +	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
Tol. -	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,120
USL	500,129	500,078	500,196	500,168	500,190	500,100	500,154	500,096	500,112	500,222	5000,364	
LSL	499,889	499,838	499,956	499,928	499,950	499,860	499,914	499,856	499,872	499,982	5000,124	
Číslo měření	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	H	
H 1	500,011	499,942	500,104	500,028	500,069	499,991	500,029	499,980	499,977	500,095	5000,226	
H 2	500,021	499,937	500,075	500,070	500,067	499,977	500,027	499,995	499,988	500,077	5000,233	
H 3	500,040	499,964	500,070	500,057	500,059	499,989	500,027	499,966	499,993	500,099	5000,264	
$\bar{x}$	500,024	499,948	500,083	500,052	500,065	499,986	500,028	499,980	499,986	500,090	5000,241	
$s(x)$	0,015	0,014	0,018	0,022	0,005	0,008	0,001	0,015	0,008	0,012	0,020	
$u_a$	0,009	0,008	0,011	0,012	0,003	0,004	0,001	0,008	0,005	0,007	0,012	
$u_a * k_s$	0,020	0,019	0,024	0,029	0,007	0,010	0,002	0,019	0,011	0,016	0,027	
$u_b$	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	
$u_c$	0,022	0,022	0,026	0,030	0,012	0,014	0,010	0,022	0,015	0,018	0,029	
2014	$U(k=2)$	0,044	0,043	0,053	0,060	0,024	0,028	0,020	0,043	0,029	0,037	
2018	$k1+k2$	10,934	11,154	9,114	7,937	19,692	16,959	23,820	11,070	16,281	12,990	
	$g$	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	
	$U(g=1,65)$	0,036	0,036	0,043	0,050	0,020	0,023	0,017	0,036	0,024	0,030	

Tab 4) Výpočet nejistoty měření In-line robotického ramene č.2



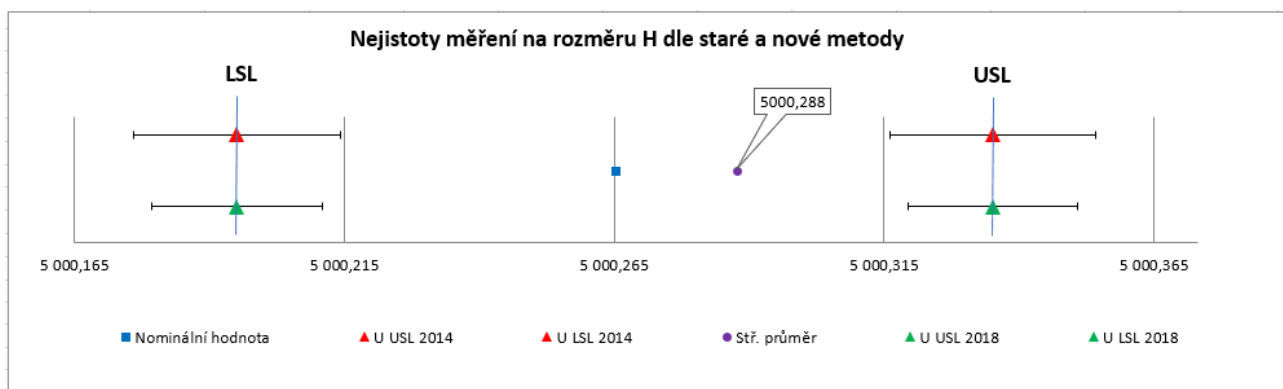
Obr. 23) Grafické zobrazení výpočtu nejistoty u in-line robotického ramene č.2

U měřicího robotického ramene č.2 byla zjištěna nejistota měření  $U_2 = \pm 0,047 \text{ mm}$  s odchýlením průměrné hodnoty od nominální o  $-0,003 \text{ mm}$ .

### 5.7.3 Výpočet nejistoty měření CMM měřícího zařízení Off-line

Rozlišení (mm) 0,001	Rozměr [mm]											
	Nominál	500,0106	499,9597	500,0778	500,0504	500,0728	499,9818	500,0363	499,9779	499,9933	500,1045	5000,2651
Tol. +	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	
Tol. -	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	-0,070	
USL	500,081	500,030	500,148	500,120	500,143	500,052	500,106	500,048	500,063	500,175	5000,335	
LSL	499,941	499,890	500,008	499,980	500,003	499,912	499,966	499,908	499,923	500,035	5000,195	
Číslo měření	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	H	
H 1	500,021	499,964	500,078	500,058	500,052	500,001	500,030	499,985	499,961	500,137	5000,288	
H 2	500,020	499,965	500,070	500,063	500,054	500,004	500,026	499,990	499,963	500,133	5000,287	
H 3	500,020	499,967	500,071	500,063	500,047	500,005	500,025	499,991	499,956	500,141	5000,287	
$\bar{x}$	500,020	499,966	500,073	500,061	500,051	500,003	500,027	499,989	499,960	500,137	5000,288	
$s_{(x)}$	0,001	0,002	0,005	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,001	
$u_a$	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	
$u_a \cdot k_s$	0,001	0,002	0,006	0,004	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,001	
$u_b$	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	
$u_c$	0,010	0,010	0,011	0,010	0,011	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,010	
2014	$U(k=2)$	0,019	0,020	0,023	0,021	0,021	0,020	0,020	0,021	0,021	0,019	
2018	$k1+k2$	14,640	14,259	12,340	13,641	13,056	14,119	13,910	13,466	13,291	13,101	14,644
	$g$	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	
	$U(g=1,65)$	0,016	0,016	0,019	0,017	0,018	0,016	0,017	0,017	0,017	0,016	

Tab 5) Výpočet nejistoty měření Off-line dotykového CMM – duplex



Obr. 24) Grafické zobrazení výpočtu nejistoty u Off-line CMM - duplex

U CMM v duplexu byla zjištěna nejhorší nejistota měření  $U_3 = \pm 0,016 \text{ mm}$  s odchýlením průměrné hodnoty od nominální o  $0,023 \text{ mm}$ .

## 6 DEFINOVÁNÍ MĚŘENÝCH BODŮ

Sledování rozměrovosti svařené karoserie v čase se děje prostřednictvím definovaných plošných bodů a geometrických prvků. Nejjednodušší cesta, jak tyto body získat pro In-line měření, je převzít všechny měřené body z dotykového Off-line systému. Tyto body mají historii a jsou mocí jedinečných jmen statisticky sledovány v centrálním vyhodnocovacím systému už od zavádění výroby karoserie. Pro porovnávání karoserie měřené na obou systémech je to ideální situace, uvažujeme-li výpočet korelace.

Další výhodou je systematičnost definování těchto bodů, kdy si body drží své jméno i umístění už od výlisku přes nižší svařence až do finálního kompletu. Lze takto sledovat vývoj rozměrovosti konkrétního místa na karoserii. Je třeba si ale uvědomit, že tyto body jsou definovány podle měřících principů vztahující se k dotekovému měření na CMM dle interní normy VW10126-1 koncernu Volkswagen. Pro optické měření jsou měřící principy definovány svojí normou VW10135. Rozdíl je především ve vzdálenosti bodů při extrahování od hran, velikost extrahovaných ploch kolem definovaných geometrických prvků a dalších parametrů, které se u dotekového snímání nepoužívají a naopak. Je třeba převést měřící principy z dotekového měření na principy extrakce bodů a geometrických prvků z mraku bodů vytvořeného optickým skenerem.

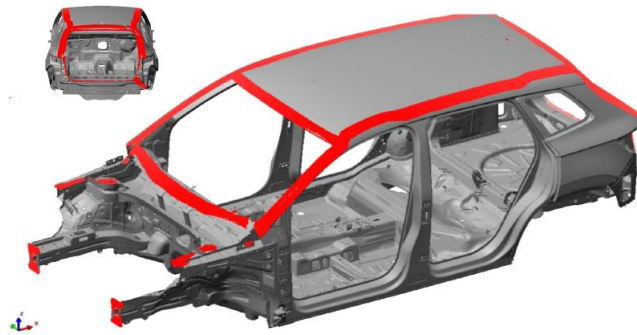
Další problém s měřeními body je jejich množství. Na Off-line měřícím zařízení není takový časový tlak na změření, a proto je zde definována spousta prvků a bodů, které do značné míry pouze duplikují rozměry z nižších podskupin a nemají žádnou vypovídající hodnotu o stavu výrobního zařízení na svařování kompletní svařené karoserie. Přináší to především komfort pracovníkům provádějící rozměrové analýzy v podobě konstatování stavu na vyšším svařenci.

Pokud víme, že časový interval zastavení výrobního pásu mezi posuny linky je 75 sekund není možné takto obsáhlý soubor rozměrů korektně kontrolovat na každé karoserii v In-line měřícím procesu. Skutečný čas na měření je ještě o něco kratší, poněvadž je nutné do intervalu zastavení výrobního pásu vložit čas na položení karoserie z dopravníku na ustavovací trny a po změření zase její vyzvednutí zpět na dopravník.

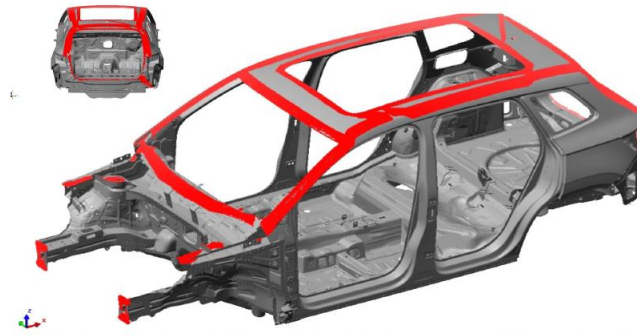
### 6.1 Rozdělení měření karoserie na části

Aby se takovéto množství bodů dalo v In-line měřícím zařízení naskenovat, jsou tyto skenované partie rozděleny na části, které se pak periodicky opakují na karoseriích jdoucí linkou za sebou. Jsou možné i varianty, kdy se měřené části nasazují k měření dle potřeby.

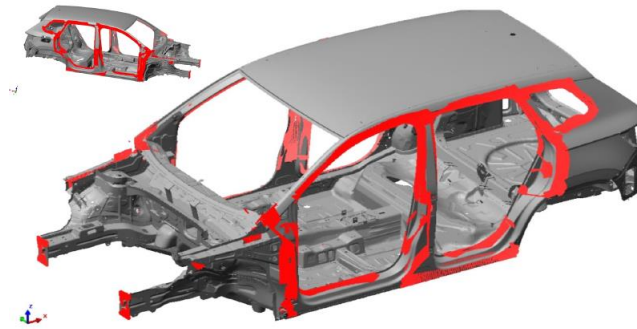
Vizualizace těchto měřených částí karoserie je zobrazena na následujících obrázcích. Červené partie jsou skenované plochy karoserie, ze kterých pak ve vyhodnocovacím procesu probíhá extrahování měřených bodů a geometrických prvků v definovaných místech. Lze zde názorně pozorovat, pokud pomíneme variantu karoserie s otevřenou střechou, že celý cyklus změření všech bodů se provede na třech po sobě jdoucích karoseriích. Jednotlivé části ale nezaručují korektní měření karoserie jako celku, neboť každá z karoserií má různé odchylky způsobované vůlemi svařovacích přípravků, odchylkami vstupujících dílů a dalšími podmínkami a vlivy působícími ve výrobním procesu na výrobu finálního svařence.



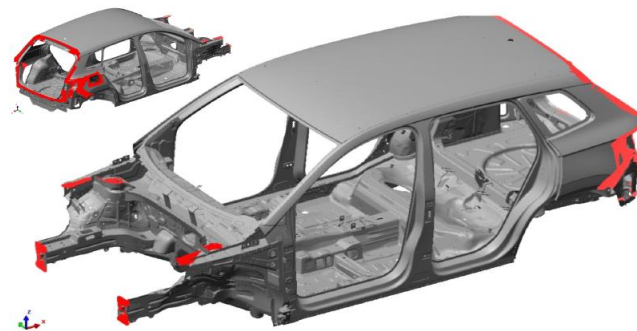
Obr. 25) Část I. – Přední a horní část karoserie



Obr. 26) Část II. – Přední a horní část karoserie ve variantě se otevřenou střechou



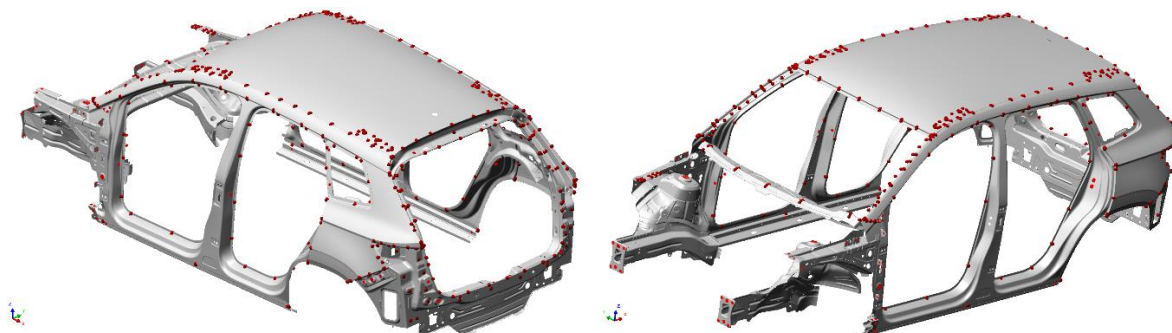
Obr. 27) Část III. – Přední a boční část karoserie



Obr. 28) Část IV. – Přední část a zadní část

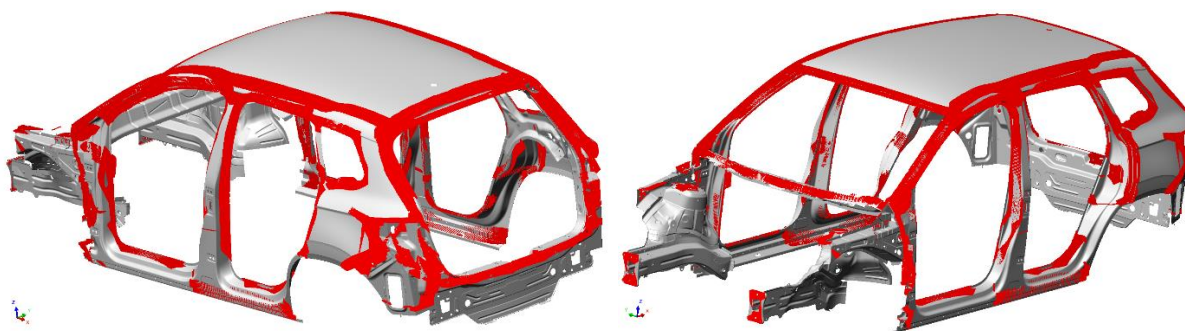
## 6.2 Celkový počet měřených bodů na karoserii

Na následujících obrázcích je zobrazen popis všech měřených bodů na svařené karoserii při sloučení všech tří částí měřicí programů na In-line měřicím zařízení. Je zde vidět velká hustota měřených bodů na partiích, které jsou důležité pro lícování panelových dílů. Panelové díly jsou všechny díly, které se montují na závěsy karoserie, které jsou upevněny pohyblivě (dveře, kapota, zadní víko).



Obr. 29) Množství bodů sloučených In-line programů

Při takovéto hustotě měřených bodů nelze skener vést po dráze k povrchu moc rychle. Vznikaly by tak velké mezery ve skenu dané nastavenou frekvencí emitování laserové čáry skeneru. Extrahování měřených bodů je ve velmi řídkém skenu problém. Je nutné zvětšovat parametry pro zachycení skenu od středu bodu. Tím dochází ke znehodnocování naměřené odchylky. V daném časovém intervalu tedy není možné kvalitně dané partie roboticky naskenovat.



Obr. 30) Skeny sloučených In-line programů

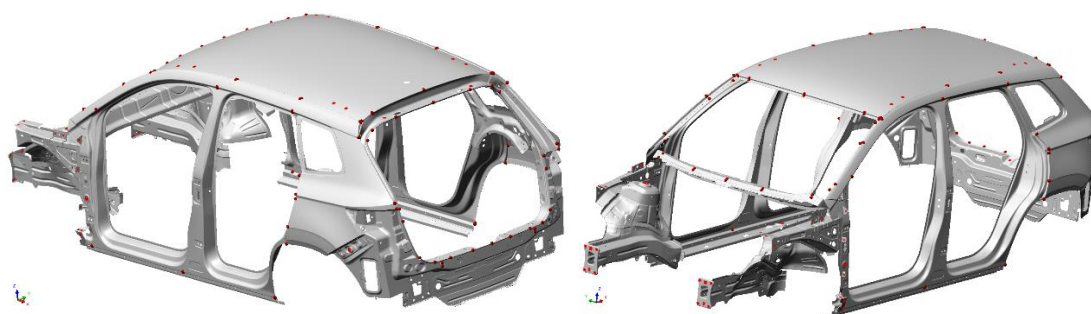
## 6.3 Redukování počtu měřených bodů na karoserii

Pro procesní sledování výroby je potřeba měřit menší počet bodů a geometrických prvků, avšak na každé karoserii. Omezení počtu vychází z rychlosti a schopnosti In-line měřicího zařízení naskenovat maximum možného za daný krátký čas. Návrh tohoto redukovaného počtu bodů však musí popisovat celkovou geometrii karoserie. Musí být brán zřetel především na výrobní operace, které proběhnou v úseku od nižšího svařence, který je ještě měřený, ať In-line nebo Off-line systémem, až po finální svařenou karoserii. To obsahuje především operace, kdy jsou

k takzvané vnitřní karoserii připojeny vnější postranice, střecha a další menší podkomplety. V této části výrobního procesu probíhá také vystřižení důležitých otvorů, přivaření matic, šroubů a konečné zpevnění karoserie svary a svarovými body. Měření In-line by mělo mapovat především tyto operace s celkovou geometrií. Jen tak lze korektně sledovat a vyhodnocovat tento proces výroby karoserie.

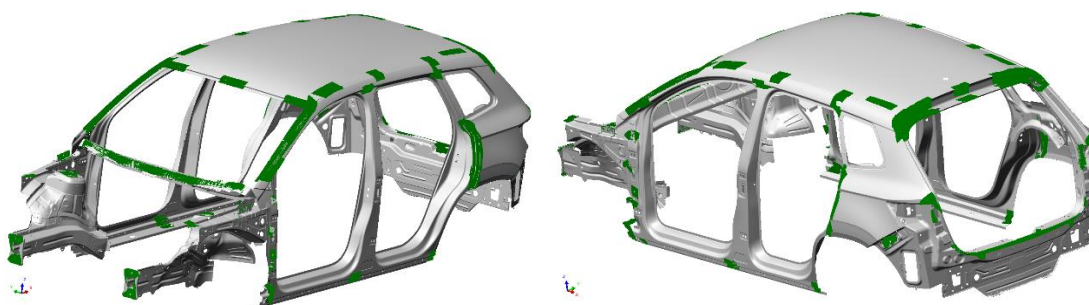
#### 6.4 Návrh redukování měřených bodů karoserie

Návrh redukování měřených bodů vychází z promyšleného výběru bodů. Musí zde být sledovány kontrolní body karoserie, které monitorují stav výrobního procesu od posledního místa rozměrové kontroly nižšího svařence.



Obr. 31) Redukovaný počet bodů

Na navržený redukováný počet bodů je dále zobrazen návrh skenů jako pomůcka pro programování robotického In-line zařízení. Takto upravený sken by měl být naskenovaný celý v daném časovém intervalu.



Obr. 32) Redukované skeny měřených oblastí

Takto navržený program měření by měl být použit jako základní a měl by měřit karoserie po většinu výrobního času. Výsledky z tohoto měření by pak měly být statisticky zpracovány do regulačních diagramů, aby bylo možné proces spolehlivě regulovat. Dodatečně v delších časových odstupech by pak měli být zařazovány do měření stávající dílčí programy s detailnějším popisem uvedených partií. Ideálně na začátku a konci výrobní směny.



## 7 KORELACE

### 7.1 Koeficient korelace – teorie

Korelace znamená vzájemný vztah mezi znaky či hodnotami  $\zeta$  a  $\vartheta$ . Její míru vyjadřuje korelační koeficient ( $r$ ), který může nabývat hodnot v intervalu od -1 až po +1. Pokud je vztah (11) kladný, značí přímou lineární závislost hodnot  $\vartheta$  na hodnotách  $\zeta$ . Při výsledné hodnotě korelačního koeficientu blížícímu se hodnotě +1 můžeme prohlásit, že dva vzorky  $\zeta$  a  $\vartheta$  korelují. Naopak při hodnotě blížící se k nule by oba vzorky nebyly ve vzájemné závislosti, byly by neporovnatelně rozdílné. Hodnota korelace -1 by nám označila oba vzorky jako nepřímo závislé, antikorelaci [9].

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta_i - \bar{\zeta})(\vartheta_i - \bar{\vartheta})}{s(\zeta)s(\vartheta)}, \quad (11)$$

kde

$r$  je koeficient korelace,

$n$  je počet měření,

$\zeta_i$  je střední hodnota měřených bodů In-line měřicího systému,

$\vartheta_i$  je střední hodnota měřených bodů Off-line měřicího systému,

$\bar{\zeta}$  je aritmetický průměr měřených bodů In-line měřicího systému,

$\bar{\vartheta}$  je aritmetický průměr měřených bodů Off-line měřicího systému,

$s(\zeta)$  je směrodatná odchylka měřených bodů In-line měřicího systému,

$s(\vartheta)$  je směrodatná odchylka měřených bodů Off-line měřicího systému.

Směrodatné odchylky  $s(\theta)$  a  $s(\vartheta)$  pro výpočet korelace se vypočítají podle vztahů (12)(13) [9].

$$s(\zeta) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta_i - \bar{\zeta})^2} \quad (12)$$

$$s(\vartheta) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\vartheta_i - \bar{\vartheta})^2} \quad (13)$$

## 7.2 Koeficient korelace – praktický výpočet

Pro objektivní zvýšení spolehlivosti In-line měřicího systému je potřeba zjistit hodnotu korelace před provedenými zlepšeními a hodnotu korelace po nasazení opatření v měřícím systému. Tato numerická hodnota je snáze porovnatelná v dalších zpracováních a vyhodnoceních při dokladování úspěšnosti nebo neúspěšnosti zásahů v zařízení.

První soubor dat je získán z I. části měřicího cyklu In-line systému. Je zvolen z důvodu, že nejvíce mapuje polohu postranic a střechy. To znamená dílů, které jsou přivařeny na vnitřní karoserii v operacích před In-line měřícím zařízením.

Druhý soubor dat je pak část kompletního měření karoserie na dotekovém CMM. Jsou vybrány pouze body, které jsou prokazatelně měřené In-line systémem v I. části.

Takto spárovaná data byla dále očištěna o vyhodnocení nerelevantních souřadnic. Jsou to především souřadnice XYZ u plošných bodů, kde je vyhodnocovaná normálová odchylka s tolerancí. Souřadnice XYZ jsou pouze díly rozložené normálové odchylky. Objektivní hodnotu korelace zhoršují nebo vylepšují. Dále byla data očištěna o pomocné body, které do vyhodnocení nevstupují ale v textovém výstupu měření se objevují.

## 7.3 I. korelace – počáteční

Toto ověření měření bylo vyvoláno pochybností pracovníků oddělení zpracovávajících výsledky měření o správnosti měření In-line systému.

Měření svařené karoserie proběhlo v jeden den na obou systémech s dostupem cca 3 hodin. Do výpočtu korelace podle vztahu (11) bylo použito 787 naměřených hodnot. Soubor dat je uveden v příloze.

Bylo konstatováno, že:

Hodnota korelace obou systémů je  $r_I = 0,848$ .

Přičemž bylo dále konstatováno porovnáním odchylek, že:

rozdíl hodnot odchylek obou systémů  $x \leq 0,5 \text{ mm} = 612$ , tj. 77,8 %,

rozdíl hodnot odchylek obou systémů  $0,5 < x < 1 \text{ mm} = 140$ , tj. 17,8 %,

a rozdíl hodnot odchylek obou systémů  $x > 1 \text{ mm} = 35$ , tj. 4,4 %.

Výsledky byly dále analyzovány. Výsledky analýzy a doporučení na opatření jsou uvedeny v kapitole o negativních vlivech na měření.

## 7.4 II. korelace – ověřovací

Po nasazení opatření ke zvýšení spolehlivosti In-line systému bylo provedeno druhé ověřovací měření s výpočtem korelace. Toto měření proběhlo po 6 měsících, jelikož bylo nutné provedení opatření v průběhu seřizovat a stabilizovat. Všechny práce na měřícím In-line zařízení mohly probíhat pouze o nedělích, kdy nebyla v provozu výrobní linka. V mezi krocích instalace a seřizování probíhalo ověřování srovnáváním naměřených výsledků pouze na principu procentuálního porovnávání odchylek.

Ověřovací měření svařené karoserie pro výpočet korelace proběhlo za stejných podmínek jako při výpočtu výchozího stavu. Tedy měření v jeden den na obou systémech s dostupem cca 3 hodin. Do výpočtu korelace podle vztahu (11) bylo použito tentokrát 803 naměřených hodnot. Rozšíření počtu hodnot je z důvodu potřeby doplnění měřených bodů na karoserii. Soubor dat je uveden v příloze.

Bylo konstatováno, že:

Hodnota korelace obou systémů je  $r_2 = 0,947$ .

Přičemž bylo dále konstatováno porovnáním odchylek, že:

rozdíl hodnot odchylek obou systémů  $x \leq 0,5 \text{ mm} = 770$ , tj. 95,9 %,

rozdíl hodnot odchylek obou systémů  $0,5 < x < 1 \text{ mm} = 30$ , tj. 3,7 %,

a rozdíl hodnot odchylek obou systémů  $x > 1 \text{ mm} = 3$ , tj. 0,4 %.

Z výsledku korelace je patrné zlepšení spolehlivosti In-line měřícího systému o 0,099. Další analýzou odchylek s rozdílem nad 0,5 mm lze spolehlivost dále zlepšit. Tyto úpravy by měly být už v oblasti samotných úpravách programů a podmínek pro skenování.

Požadavkem je dosažení rozdílů všech hodnot u obou měření do 0,5 mm. Korelace by se měla pohybovat těsně pod hraniční hodnotou 1. Výsledkem by pak mělo být zdokonalení procesu 3D měření karoserie In-line tak, aby bylo možné tuto výrobu statisticky řídit ověřováním procesu. Identifikace, analýza a návrhy na zlepšení jsou náplní následující kapitoly.



## 8 IDENTIFIKACE NEGATIVNÍCH VLIVŮ

In-line rozměrová kontrola svařené karoserie ve výrobním procesu s sebou nese spoustu negativních vlivů a rizik, které působí na samotné snímání měřených bodů a prvků. Jejich identifikace je velmi důležitá pro další postupy a strategie vedoucí ke zlepšování tohoto procesu tak aby byl důvěryhodný a smysluplný.

Typické veličiny ovlivňující proces měření v In-line měřících stanicích je popsán v publikaci VDA 5.1. Tento přehled ulehčuje hledání negativních vlivů na měření, kdy stále není dosaženo velké spolehlivosti In-line měřícího systému.

Zdroj nejistoty		Ovlivňuje
In-line měřící stanice	Skener	Osvětlení měřené karoserie Výběr měřené karoserie Skenování měřeného prvku Volba náhradního měřícího prvku Dlouhodobé změny (drift)
	Konstrukce měřícího robota	Poloha / poloha skeneru Seřízení skeneru Dlouhodobé změny Kompenzace konstrukce
	Zátěžová kapacita	Podávání měřené karoserie Upnutí měřené karoserie
Měřená karoserie	Povrch plochy	Optická reakce (rozdílné povrchy, odrazy) Drsnost, barva, znečištění Sklon plochy vůči skeneru
	Tvar plochy	Povrchové a tvarové odchylky Varianty produkce Ořezové hrany
	Tepelná reakce	Teplota Teplotní gradient Koeficient tepelné roztažnosti
	Deformace	Elastická deformace Plastická deformace
Prostředí	Teplotní vlivy	Okolní teplota Časové teplotní výkyvy Prostorový teplotní gradient Tepelné záření
	Kmitání	Vibrace

		Zvuk přenášený konstrukcí Zvuk přenášený vzduchem
	Elektromagnetické záření	Okolní osvětlení Elektromagnetické vlnění
	Znečištění	Prach Okuje od sváření Vyteklá lepidla

Tab 6) Typické veličiny ovlivňující proces měření In-line měřících stanic [1]

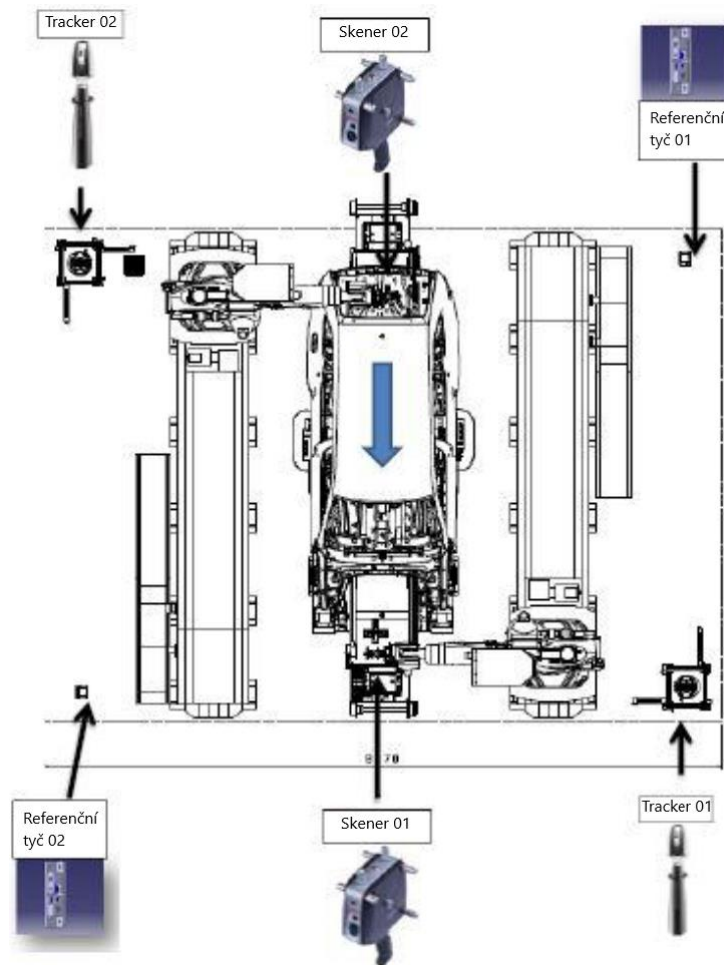
### 8.1 Provedená opatření po první korelaci

Po výsledku první korelace bylo zjištěno, že opravdu jsou výsledky měření nějakým faktorem znehodnocené. Bylo rozhodnuto o okamžité nápravě. Bylo nutné provést několik kontrol pro zjištění problému.

Proběhla automatická kontrola seřízení obou laser-trackerů na referenční tyče. Tato kontrola určuje polohu obou laser-trackerů vůči sobě a probíhá automaticky podle naprogramovaného cyklu. Je tak zabezpečen jednotný souřadnicový systém. Polohu souřadnicového systému měřící buňky zabezpečují k podlaze upevněné referenční tyče, umístěné v protějších rozích od laser-trackerů. Jsou na nich instalovány reflektory, zrcátkové odražeče, které mají v měřící buňce přesně zaměřenou polohu nezávislým přenosným měřícím zařízením. Toto přesné zaměřování probíhá v době kalibrace celého In-line systému. Na referenční tyče vidí oba laser-trackery jak je vidět na nákresu měřící buňky na obr. 33). Po spuštění kontroly seřízení byla zjištěna nesrovnalost. Po dalším zkoumání se přišlo na výchylku v poloze jedné z referenčních tyčí. Vychýlení bylo zřejmě provedeno po nějakém nárazu kdy v měřící buňce probíhal víkendový úklid. Problém byl ale v tom, že systém, ač byl neseřízený vlivem špatné polohy referenční tyče, stále prováděl nekorektní měření.

Bylo rozhodnuto, že se přidá další kontrolní prvek, kterým je kontrola referenčních trnů pro ustavení karoserie. Referenční trny fungují tak, že jeden trn je určen jako hlavní a je pevně zafixovaný pevnou podpěrou v souřadném systému měřící buňky. Tímto trnem se přenáší souřadný systém na karoserii. Ostatní tři trny jsou pak uloženy na posuvných vedeních podle stupňů uvolnění v ustavovacím systému karoserie. Základní poloha všech trnů je ale seřízená na výkresové hodnoty s tím, že se tato poloha dá pomocí pneumatických zámků zafixovat. V této zafixované poloze probíhá druhá kontrola, kdy se oběma laser-trackery zaměří reflektory všech ustavovacích trnů. Pokud jsou výsledky měření obou laser-trackerů v toleranci, systém je vyhodnocen jako schopný měření, obr. 34). V opačném případě systém nahlásí chybu a neměří. Robotická ramena jsou pak ve výchozích bezpečných polohách. Karoserie měřící buňkou pouze projíždí.

Tímto opatřením byla zvýšena hodnota korelace při porovnávacím měření o  $r2 = 0,099$ .



Obr. 33) Schéma polohy trackerů a referenčních tyčí [12]

```

Status
119807.0: Archive/Cleaning: 7.24s/0.01s
146.2: File saved, DB: 2, Inspector no.: 3/0.12s
146.1: File saved, DB: 1, Inspector no.: 3/0.00s
146.1: Not measured: 13, Inspector no.: 3
000.9: MTX file saved, max. deviation: 0.042 mm
000.0: Data alignment in Inspector no.: 4
000.0: Downloading: KEA3A14414260_ref_20200303_083551
014.7: Data processing, Inspector no.: 3
000.6: Loading Template, Inspector no.: 3
000.6: Inspection:
[KEA3A14414260_SE326_B_20200303_083346_#_106066260
  
```

Obr. 34) Výpis kontrolního měření ustavovacích čepů [12]

## 8.2 Návrh opatření po druhé korelaci

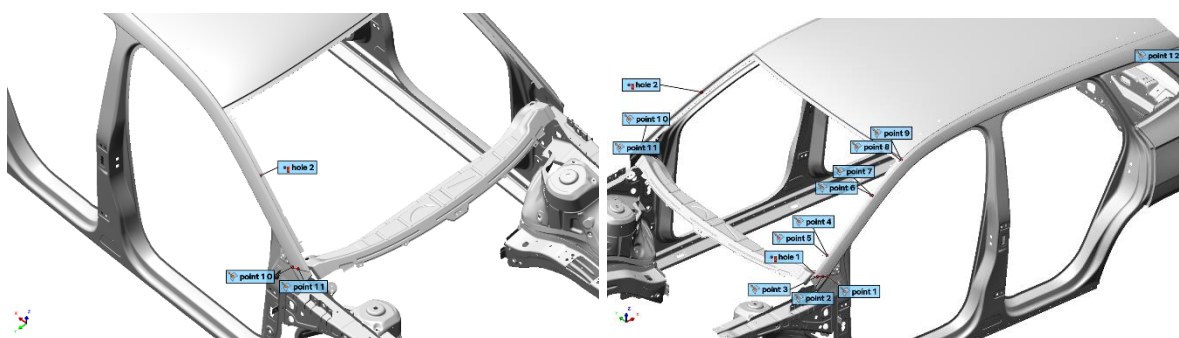
Po druhé korelaci zbývá dohledat vlivy, které způsobují zbytkovou část do ideální hodnoty korelace 1, to je 0,053. Pro určení negativních vlivů na měření jsou využita data z druhé korelace.

Filtrováním odchylek mezi In-line a Off-line měřením je zjištěno, že 3 měření jsou rozdílné více jak o 1 mm. Dalších 30 je pak rozdílných od 0,5 mm do 1 mm.

V dalším kroku jsou vyřazeny z výběru odchylky související s výpočtem nějakých vzdáleností mezi body. Tím se výběr dále zmenšil na 2 měření s rozdílem nad 1 mm a 28 odchylek v intervalu od 0,5 mm do 1 mm.

Následovalo další vyřazení odchylek, které se váží k měření ořezových hran stojin na karoserii. Měření těchto hran je obecně problém pro optické měřicí systémy, protože se zde vlivem stříhání materiálu v raznicích vytváří nesouměrné struktury povrchu na řezové hraně odrážející laserový paprsek pokaždé jinak. Po tomto vyřazení zbývá okruh odchylek 1 s rozdílem nad 1 mm a 17 v intervalu od 0,5 mm do 1 mm.

Identifikací těchto naměřených hodnot je zjištěno jejich umístění na karoserii, obr. 35 a 36).



Obr. 35) A), B) Identifikované body na přední části karoserie



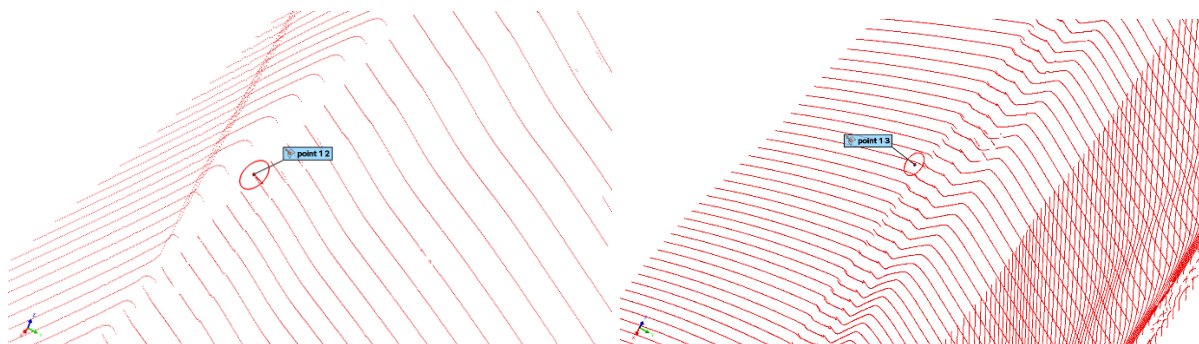
Obr. 36) C), D) Identifikované body na zadní části karoserie

Po identifikaci bodů na karoserii, které negativně ovlivňují korelaci je provedena analýza, proč v těchto místech dochází k rozdílným naměřeným hodnotám.

U všech bodů byla provedena kontrola hustoty skenu, zda řádkování není moc řídké vlivem rychlostí pohybu skeneru. Pouze u jednoho bodu na obr. 36) D) má horní bod nedostatečný popis tvaru skenem, obr. 37) E). Zde navrhuji zlepšit nastavení úhlu skeneru



v měřícím programu robota. Ostatní body mají hustotu skenu dostatečnou, obr. 37) F). Není zde pozorovatelná nějaká anomálie v podobě nepravidelností v naskenovaných tvarech.



Obr. 37) E), F) Hustoty skenů u zkoumaných bodů

Uspořádáním reklamovaných bodů je vidět, že největší zastoupení mají body na předních sloupcích. Hlavně na levé straně, obr. 35) B). To ukazuje na rušivé vnější vlivy. Obhlédnutím okolního prostředí u měřící buňky je zaznamenán zdroj světla, jak denního světla ze světlíků nedaleko měřidla, tak z osvětlení haly. Toto by mohla být příčina nesprávného naskenování tvarů pro extrahování měřených bodů. Pro jednoznačné určení těchto vlivů je potřeba provést další porovnávací měření při stejných podmínkách jako při II. korelaci. Pokud se tyto samé body opět objeví jako nevyhovující, navrhuji další zkoušku porovnání s vypnutým nebo eliminovaným osvětlením. Tím může být také dočasné zakrytí měřící buňky neprůhlednou fólií v určených místech. Při vyhovujících naměřených hodnotách pak bude následovat návrh na konečné řešení odstínění měřící buňky. V opačném případě bude nutné dále hledat další příčiny negativních vlivů na měření podle publikace VDA 5.1.



## 9 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESU

Po zlepšení spolehlivosti měření In-line měřicího zařízení lze s jistotou používat ke statistickému řízení procesu naměřené hodnoty z tohoto zdroje. Nasazením navrhnutého redukovaného měřicího programu lze získat stálou řadu dat o stavu rozměrovosti svařené karoserie. Naplánované přerušování této řady za účelem spouštění měřících programů pro detailnější kontrolu rozměrovosti zvolených částí karoserie není na škodu. Sledovaný průběh vývoje výrobního procesu nebude tímto nijak závažně narušen.

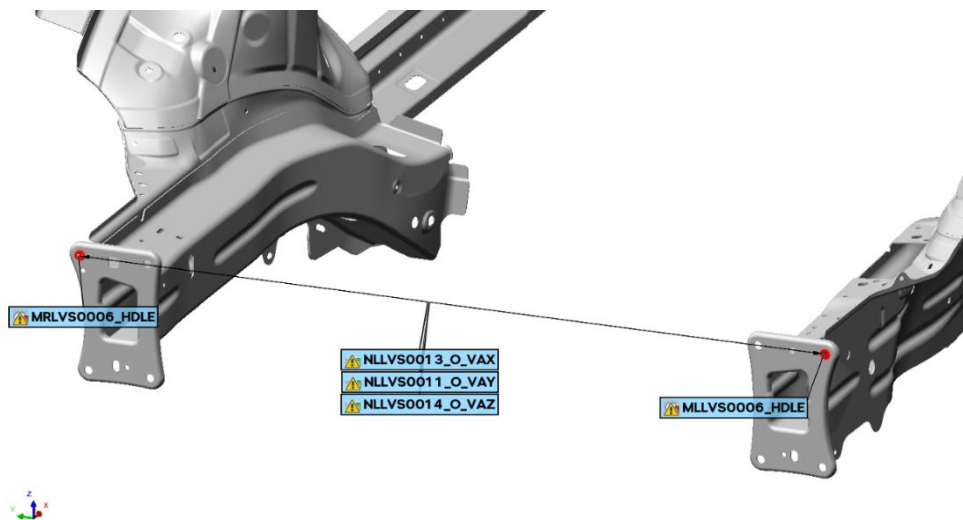
Pro tuto diplomovou práci je zde pro příklad navrženo zpracování řady naměřených dat pouze na přední části karoserie. Konkrétně kontrola polohy přivaření desek na předních podélnících pro následnou robotickou zástavbu předního chladiče na montážní lince. V praxi pak bude toto sledování zpracováno pro celý rozsah naměřených hodnot popisujících celkovou rozměrovost svařené karoserie. Data jsou zpracována v aplikaci MINITAB 17. Vyhodnocení procesu je pak sepsáno v následující podkapitole č.9.3.

### 9.1 Příklad – Sledování polohy desek předních podélníků

Při automatizované robotické zástavbě předního chladiče do karoserie na montážní lince se stává, že se montážní šrouby navedou správně do závitů přivařených desek karoserie. Pak je nutné nasadit časově náročnější náhradní řešení montáže – manuální zástavbu s přípravkem. Je podezření, že se přední podélníky na karoserii vlivem různé hmotnosti motorů a převodovek různě roztahují nebo stahují. Pro zdůvodnění tohoto podezření a zavedení příslušných opatření na montážní lince je nutné nejprve vyloučit chybu ve svařovně, tj. zjistit stálost procesu přivaření montážních desek k předním podélníkům.

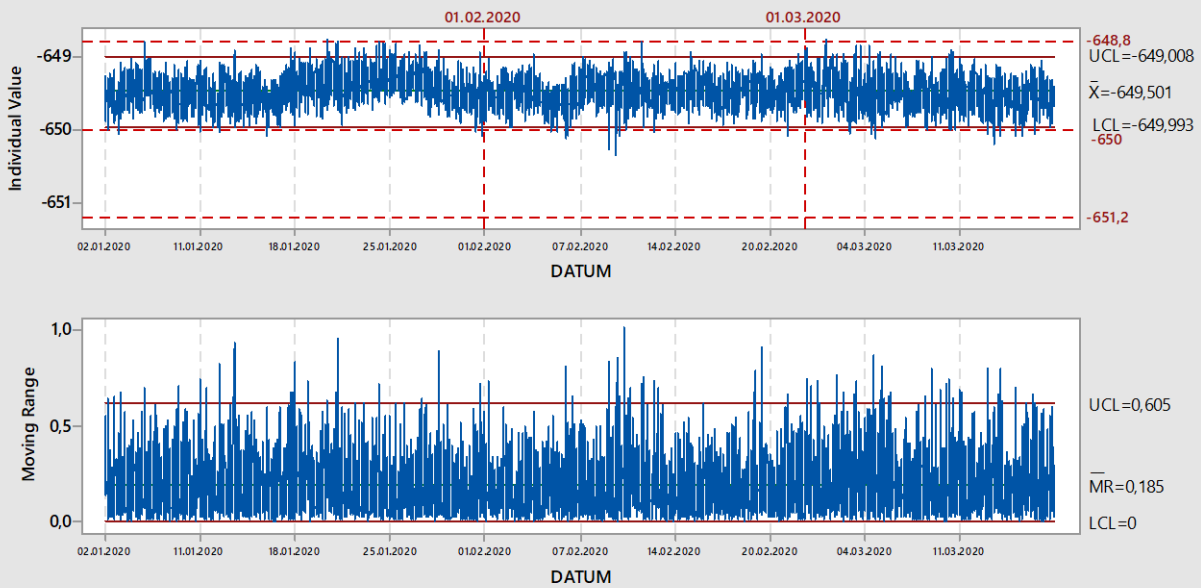
Použitá data:

- jsou použita z In-line programu pro měření karoserie P1,
- jsou za sledované období tři měsíce,
- jsou sledována pro výpočet procesu u tří rozměrů na přední části karoserie vždy v osách X,Y,Z, obr. 38).



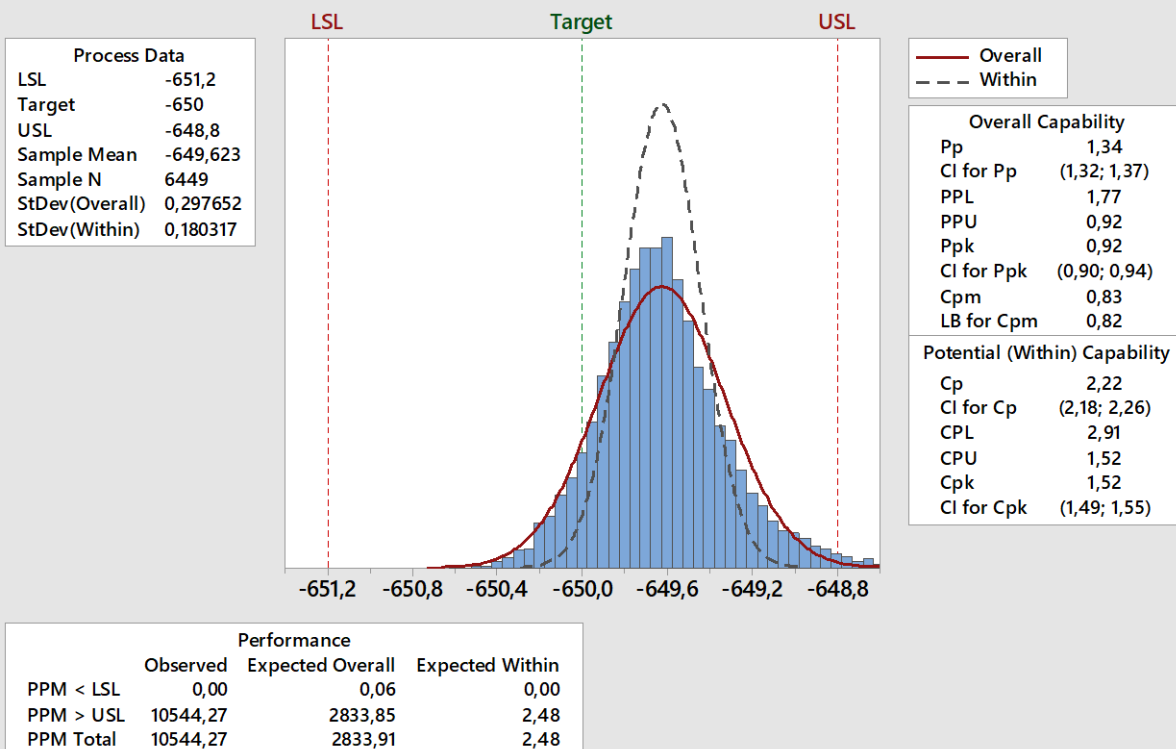
Obr. 38) Kontrolované rozměry karoserie použité pro výpočet

## I-MR Chart of MLLVS0006\_HDLE X Levý otvor v ose X 6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040$  mm ,  $U2 = \pm 0,047$  mm

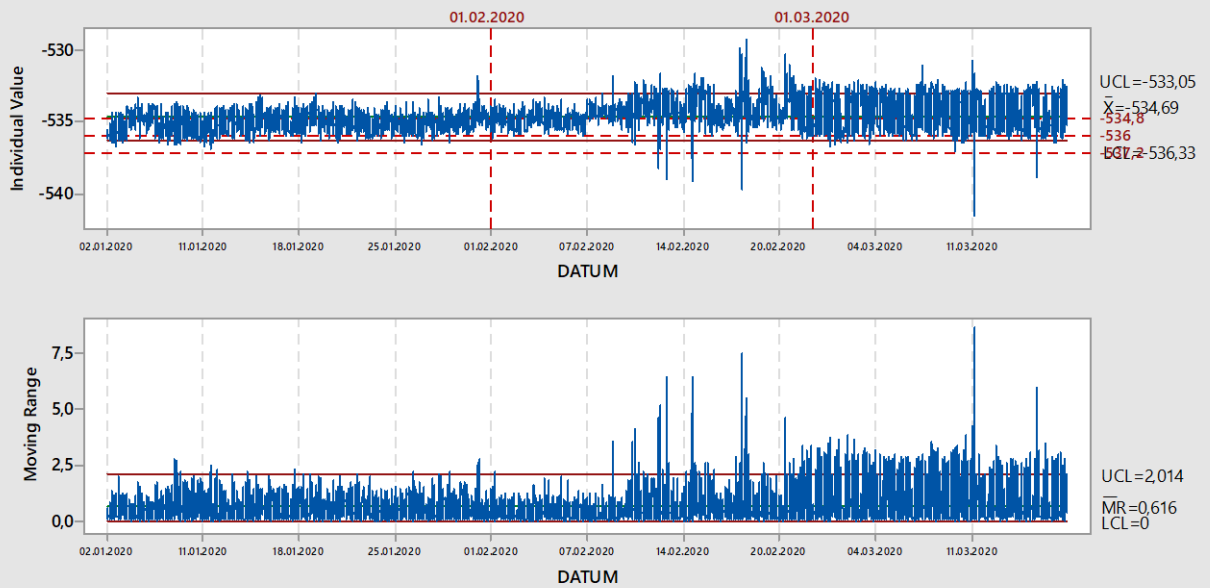
## Process Capability Report for MRLVS0006\_HDLE X (using 95,0% confidence)



Obr. 39) Levý otvor v ose X – Cpk = 1,42

### I-MR Chart of MLLVS0006\_HDLE Y

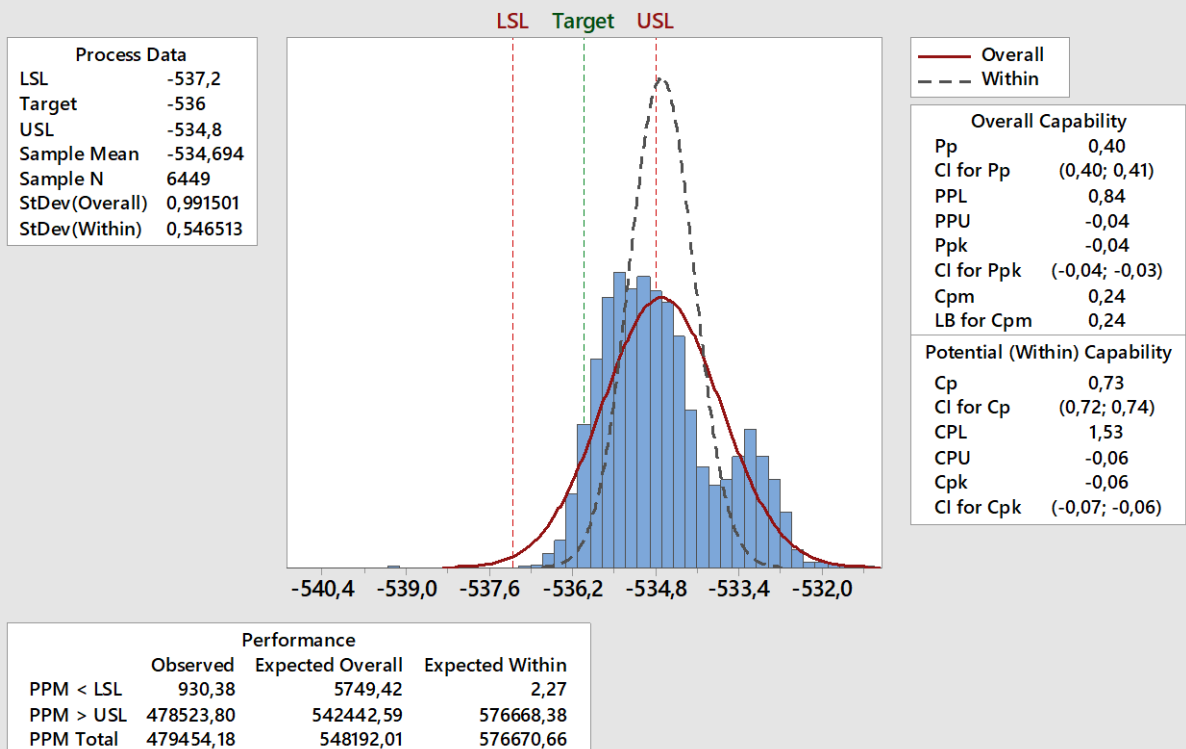
Levý otvor v ose Y  
6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
 Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040$  mm ,  $U2 = \pm 0,047$  mm

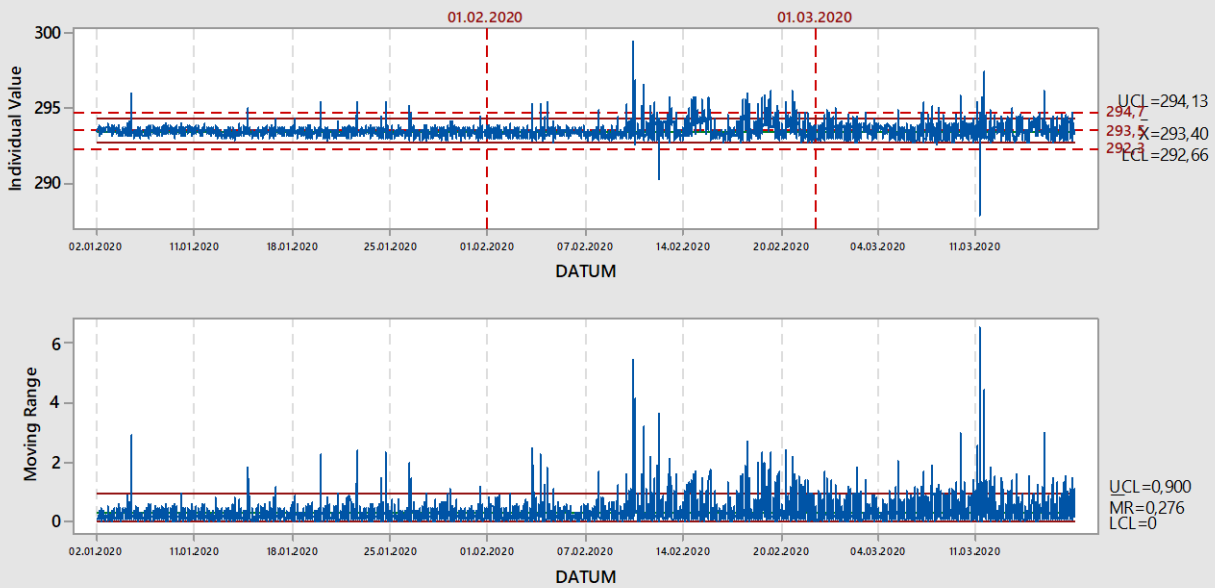
### Process Capability Report for MLLVS0006\_HDLE Y

(using 95,0% confidence)



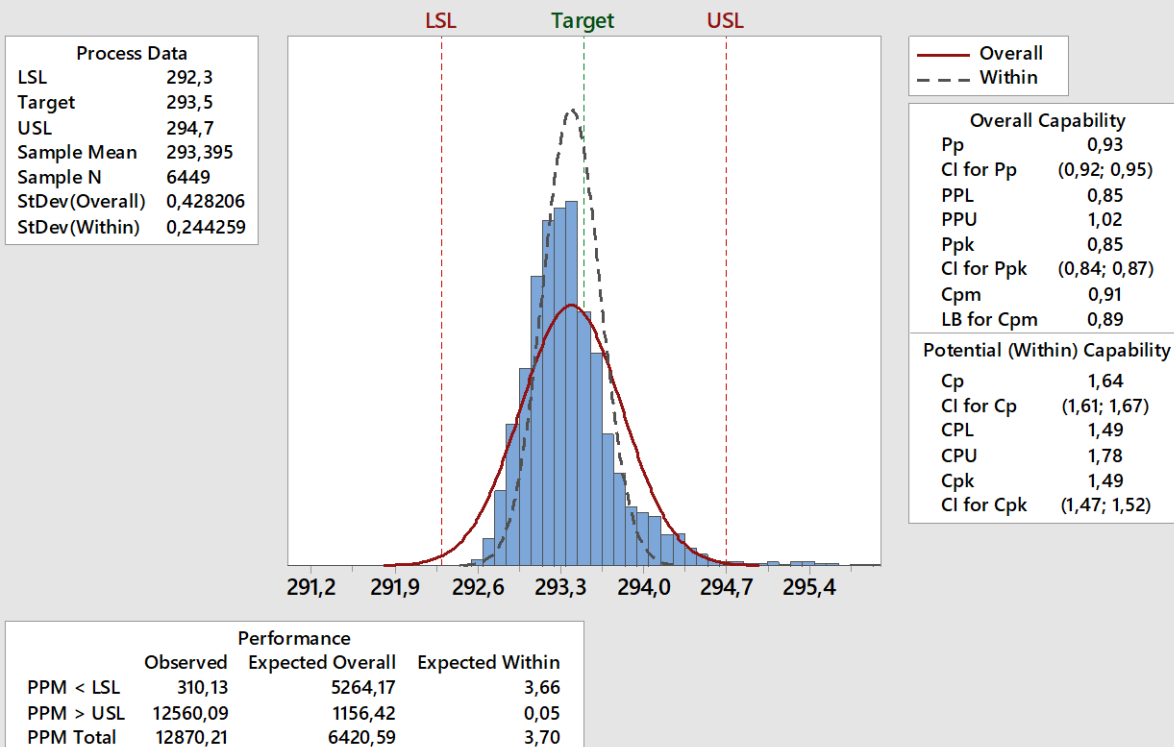
Obr. 40) Levý otvor v ose Y –  $Cpk = -0,06$

## I-MR Chart of MLLVS0006\_HDLE Z Levý otvor v ose Z 6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040 \text{ mm}$ ,  $U2 = \pm 0,047 \text{ mm}$

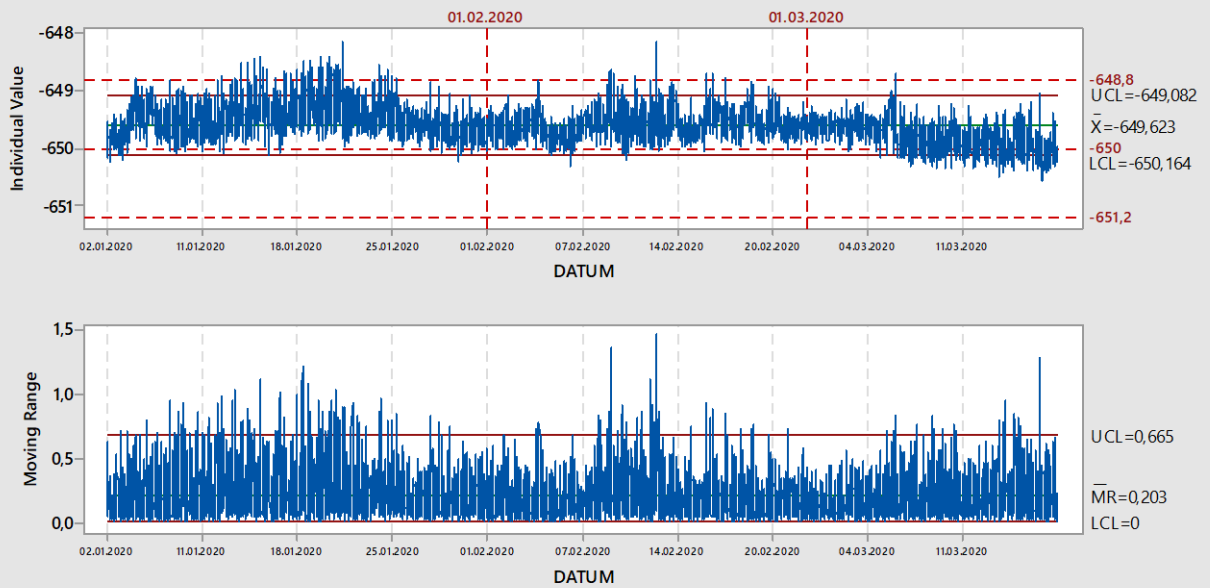
## Process Capability Report for MLLVS0006\_HDLE Z (using 95,0% confidence)



Obr. 41) Levý otvor v ose Z –  $Cpk = 1,49$

### I-MR Chart of MRLVS0006\_HDLE X

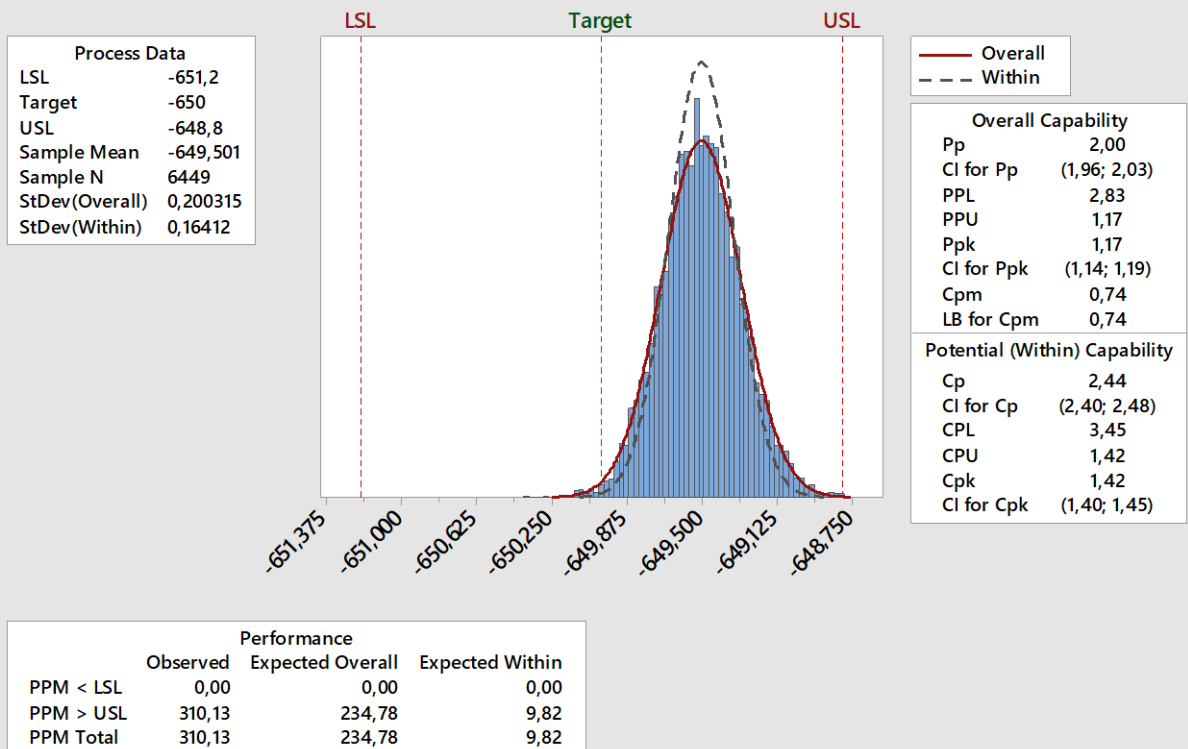
Pravý otvor v ose X  
6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
 Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040 \text{ mm}$ ,  $U2 = \pm 0,047 \text{ mm}$

### Process Capability Report for MLLVS0006\_HDLE X

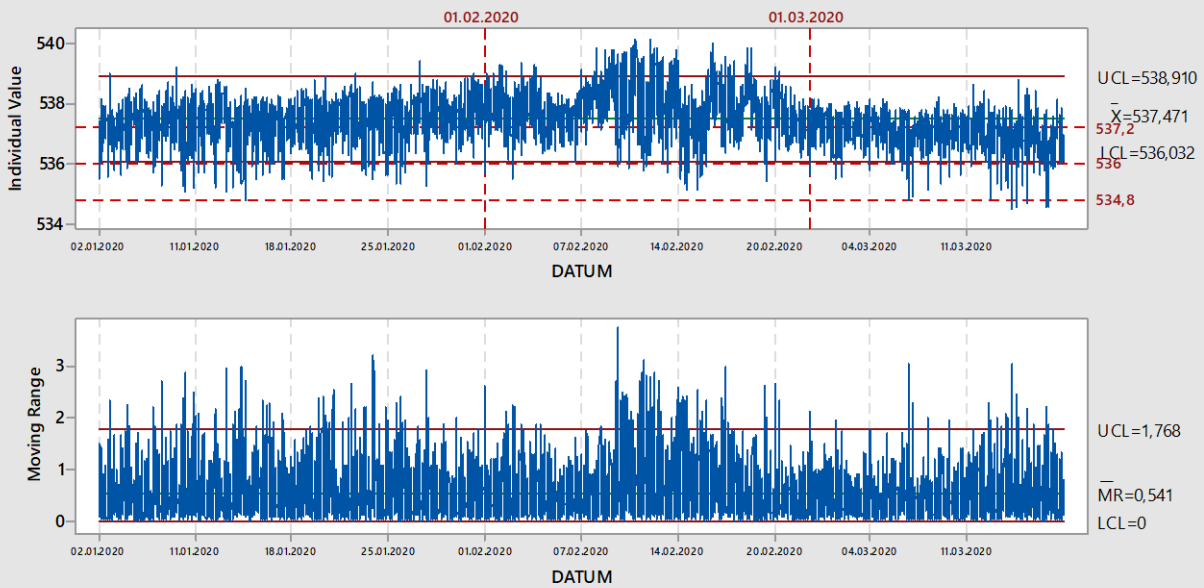
(using 95,0% confidence)



Obr. 42) Pravý otvor v ose X – Cpk = 1,52

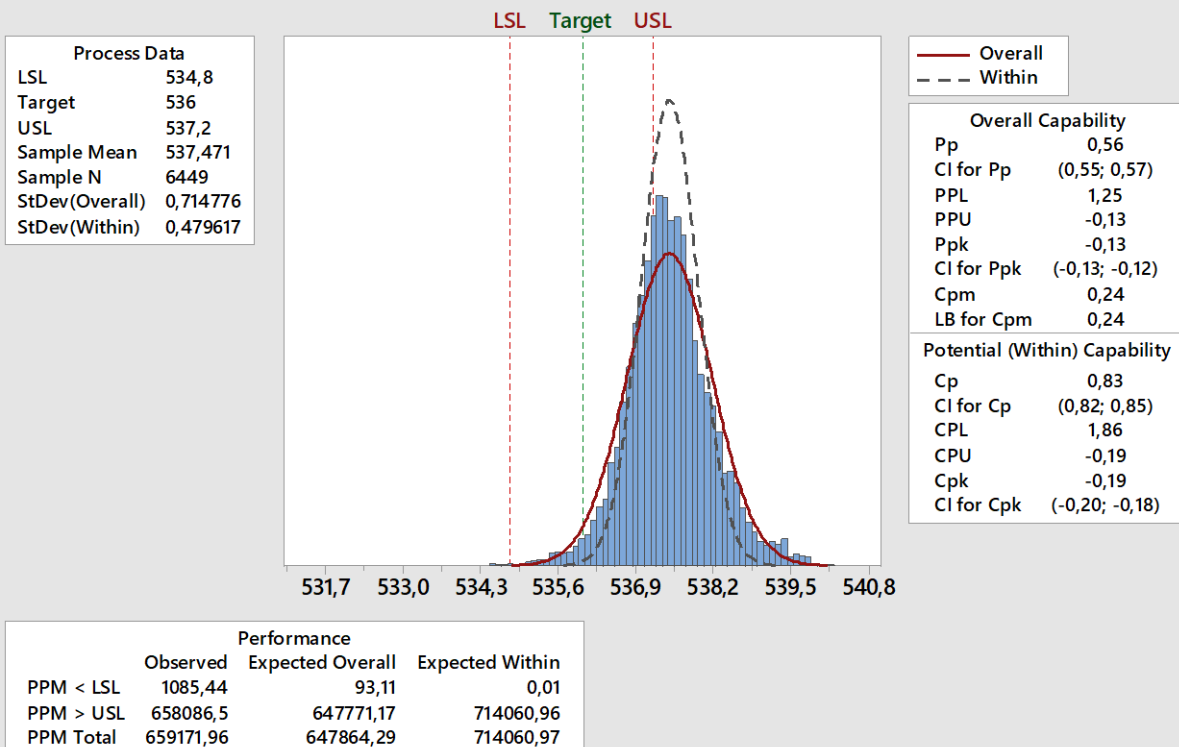
## I-MR Chart of MRLVS0006\_HDLE Y

Pravý otvor v ose Y  
6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
 Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040 \text{ mm}$ ,  $U2 = \pm 0,047 \text{ mm}$

## Process Capability Report for MRLVS0006\_HDLE Y (using 95,0% confidence)

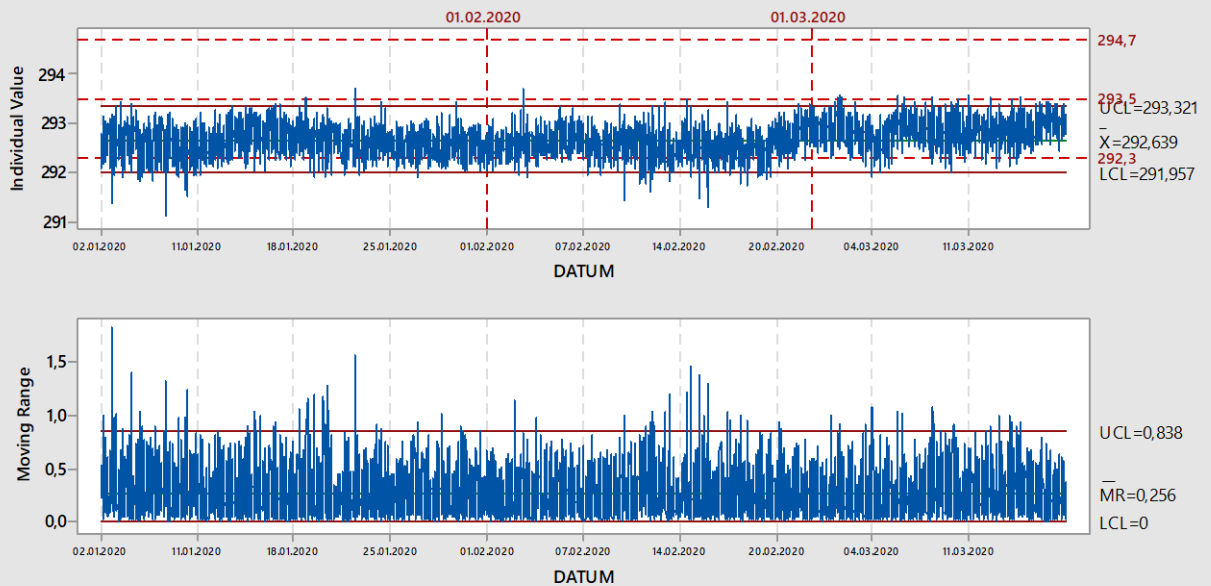


Obr. 43) Pravý otvor v ose Y –  $Cpk = -0,19$



### I-MR Chart of MRLVS0006\_HDLE Z

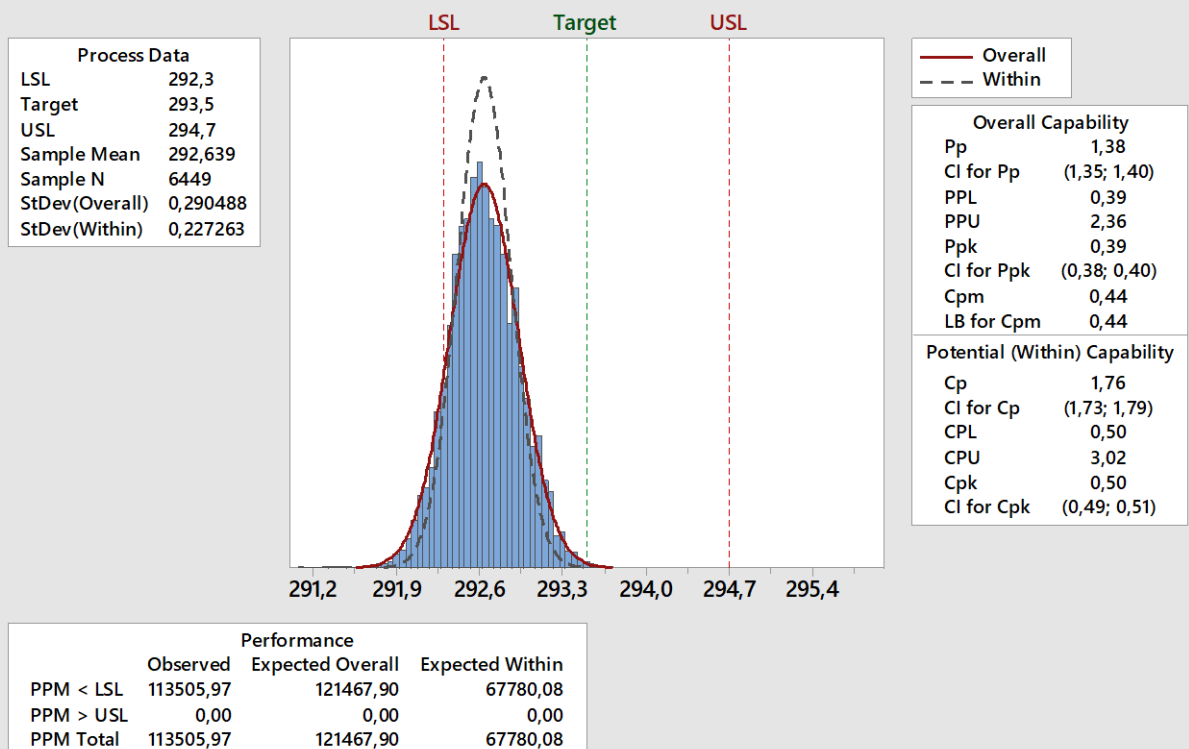
Pravý otvor v ose Z  
6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
 Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040$  mm,  $U2 = \pm 0,047$  mm

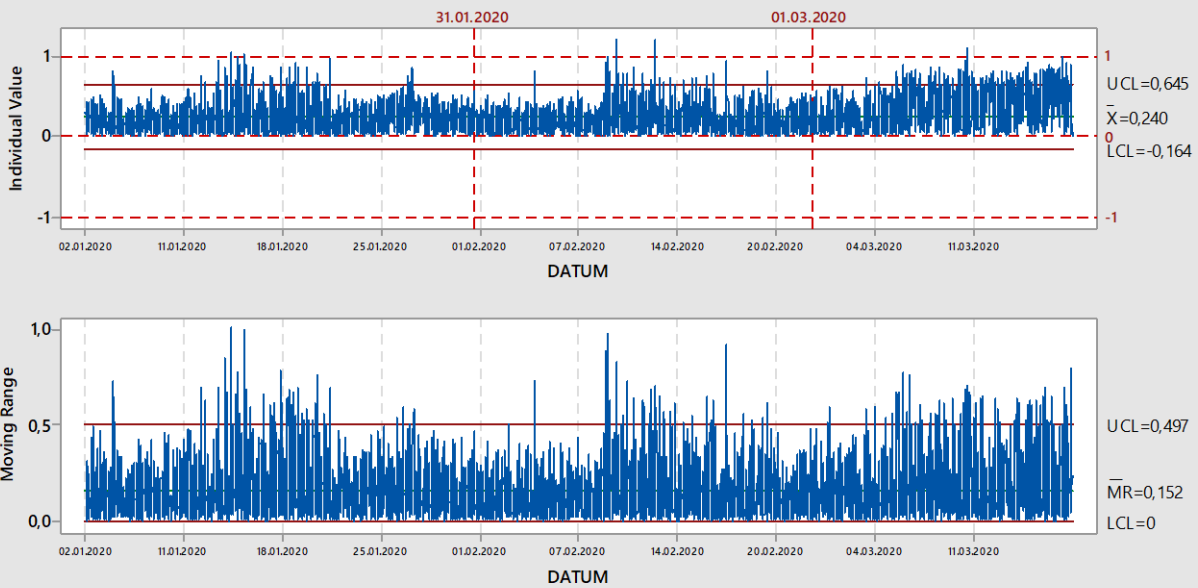
### Process Capability Report for MRLVS0006\_HDLE Z

(using 95,0% confidence)



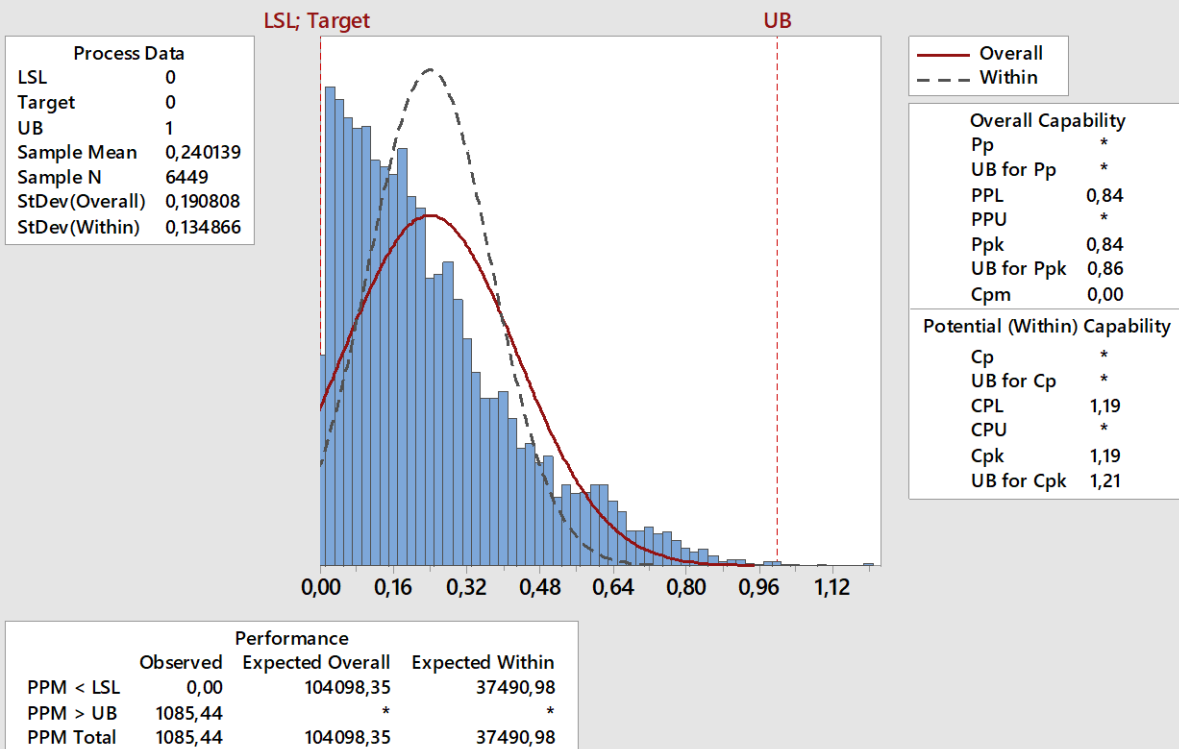
Obr. 44) Pravý otvor v ose Z – Cpk = 0,50

### I-MR Chart of NLLVS0013\_O\_VAX Vzájemný přesah otvorů v ose X 6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040 \text{ mm}$ ,  $U2 = \pm 0,047 \text{ mm}$

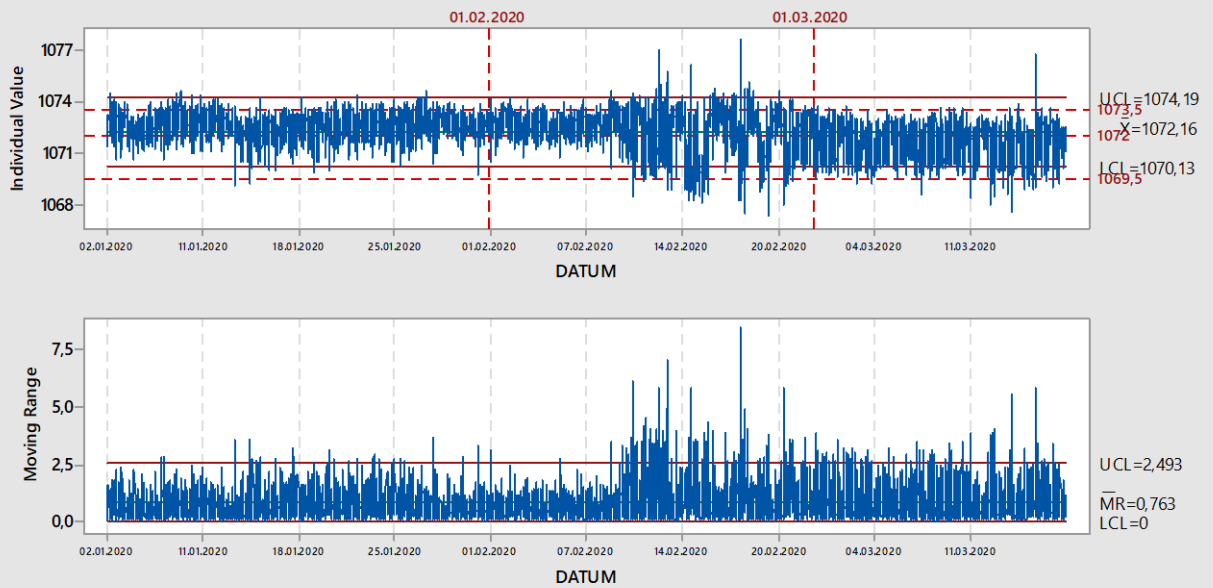
### Process Capability Report for NLLVS0013\_O\_VAX (using 95,0% confidence)



Obr. 45) Vzájemný přesah otvorů v ose X –  $Cpk = 1,21$

### I-MR Chart of NLLVS0011\_O\_VAY

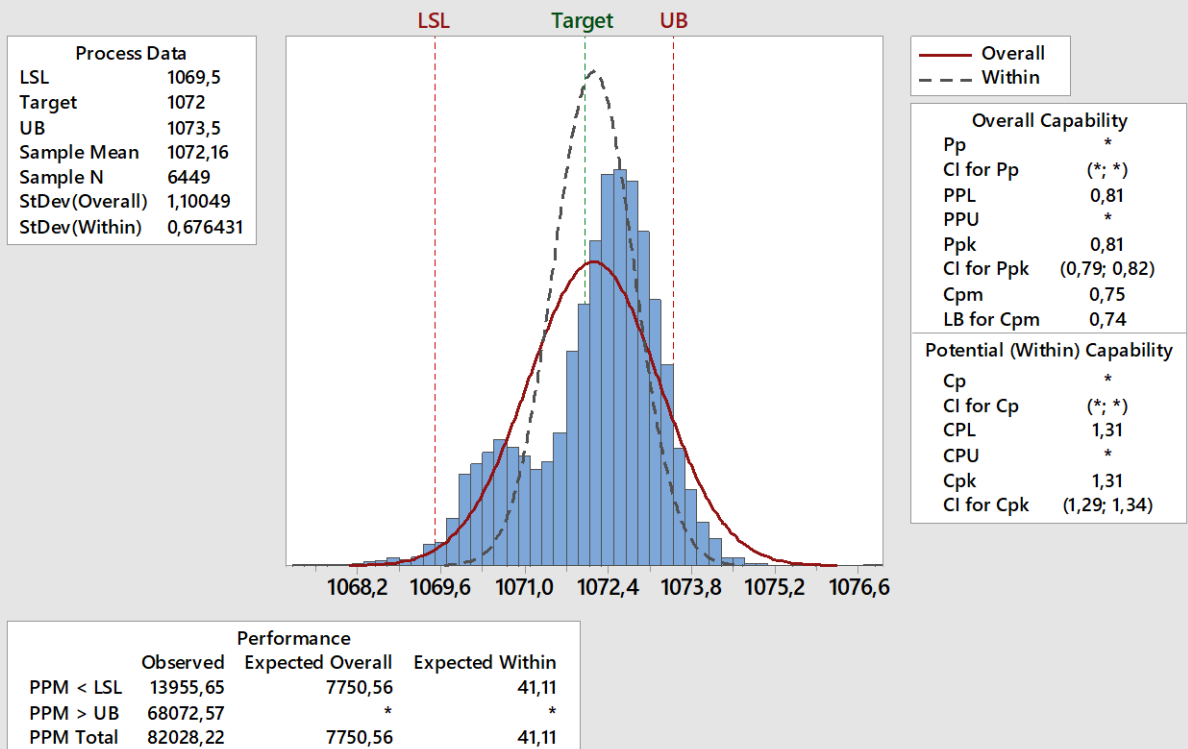
Šířková rozteč otvorů v ose Y  
6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
 Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040$  mm ,  $U2 = \pm 0,047$  mm

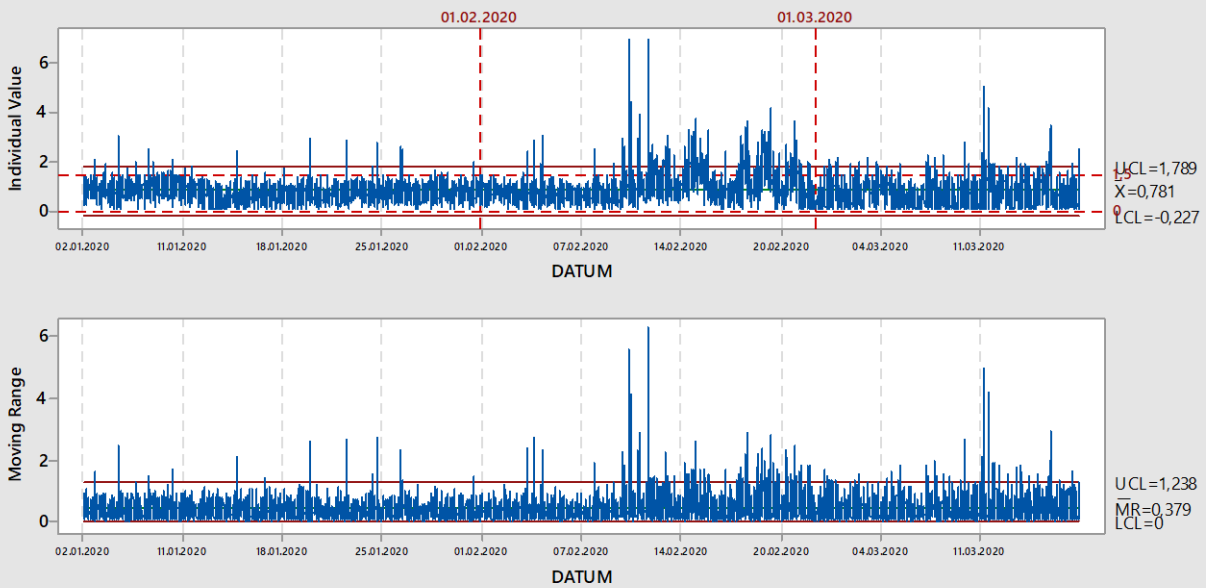
### Process Capability Report for NLLVS0011\_O\_VAY

(using 95,0% confidence)



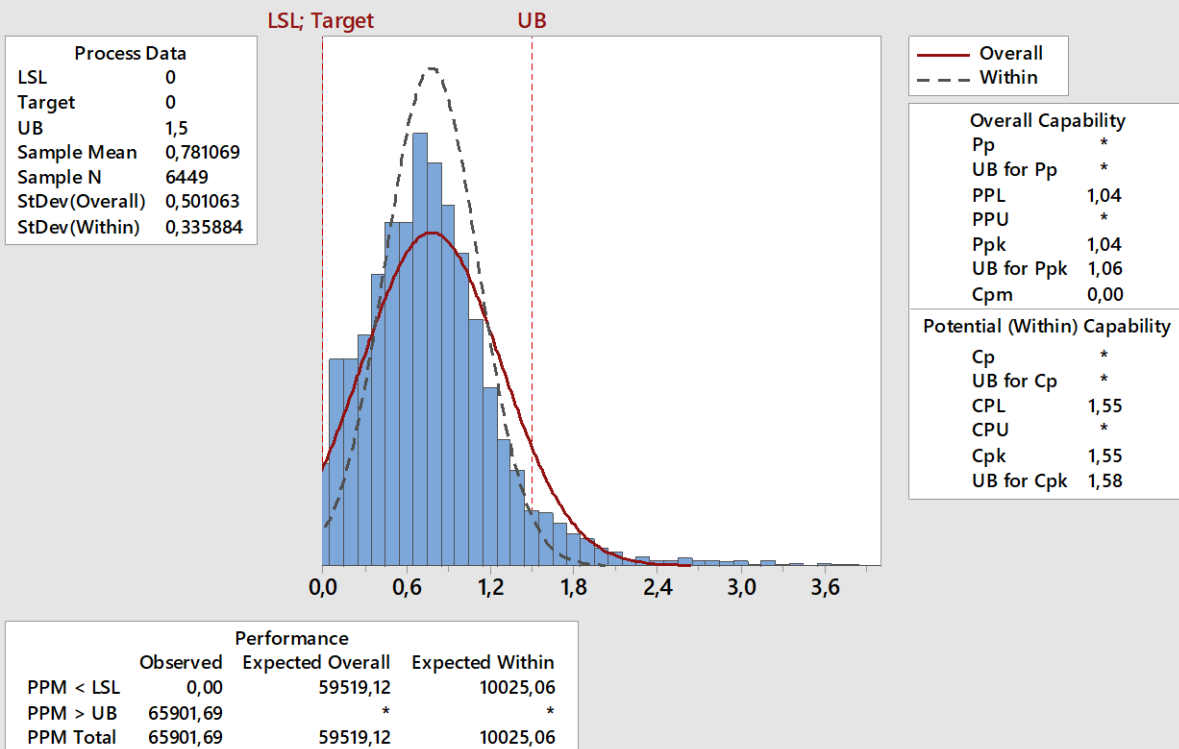
Obr. 46) Šířková rozteč otvorů v ose Y – Cpk = 1,31

### I-MR Chart of NLLVS0014\_O\_VAZ Vzájemný přesah otvorů v ose Z 6449 měření



Inline měřicí buňka s robotickými skenovacími rameny č.1 a č.2  
Nejistota měření:  $U1 = \pm 0,040 \text{ mm}$ ,  $U2 = \pm 0,047 \text{ mm}$

### Process Capability Report for NLLVS0014\_O\_VAZ (using 95,0% confidence)



Obr. 47) Vzájemný přesah otvorů v ose Z – Cpk = 1,58

Vyhodnocení průběhů naměřených hodnot bude provedeno v následující kapitole 10.

## 9.2 Příklad – Statistické vyhodnocení v systému výrobce

Ve vyhodnocovacím systému existuje statistický modul, kde lze výsledky z In-line měření zpracovávat. Pro jeho minimální používání uživateli však není delší dobu vylepšován. Neexistuje detailní popis, jak jsou početně zpracovávány naměřené hodnoty přímo v aplikaci. Jak výpočty odpovídají dnešním požadavkům na statistické vyhodnocování. Uživatel může pouze nastavit zdroj dat a pak už je odkázán na grafickou tabulku výstupu, obr. 48). Zde není možné s daty dále pracovat. Jakési zobrazení histogramu a regulačních diagramů tu funguje, ale nelze je detailněji rozebírat. Obsah dat jdoucích do zpracování je zde nějakým způsobem filtrován, ale není zřejmé jak. Na základě čeho byly některé hodnoty vyřazeny.

Bylo by dobré tento modul s dodavatelem softwaru podrobit modernizaci s vypracováním podrobného manuálu, kde bude popsáno, jak jsou hodnoty zpracovávány.

Označení dílu		Označení zkušebního zařízení		In-line		Razeno dle sloupce:					
Vyhodnocované období		02.01.2020 00:00:00 - 18.03.2020 23:59:59		Srovnávané období		Číslo znaku (vzestupně)					
Počet protokolů: 30 - 9999 ; IP01 : periodické měření, úprava, trvalá změna											
Znak č.	n(ce) celkem	n(ce) eff	n>T<	P<T> [%]	Index Cp	Index Cpk	Regulační diagram z analýz	Průběh měření - Hodnoty	Histogram - Hodnoty	Zásahy	Trend
MLLVS0006_HDLE [X] Tol.: -1,2 / +1,2 Návrh reg.: -0,095 / +1,094	6456	6455	2	–	1,62	1,06					😊
MLLVS0006_HDLE [Y] Tol.: -1,2 / +1,2 Návrh reg.: -1,493 / +4,113	6456	6449	3085	–	0,34	0,02					😞
MLLVS0006_HDLE [Z] Tol.: -1,2 / +1,2 Návrh reg.: -1,239 / +1,015	6456	6428	55	–	0,82	0,67					😊
MRLVS0006_HDLE [X] Tol.: -1,2 / +1,2 Návrh reg.: -0,467 / +1,217	6472	6470	66	–	1,03	0,77					😊
MRLVS0006_HDLE [Y] Tol.: -1,2 / +1,2 Návrh reg.: -0,599 / +3,539	6472	6468	4256	–	0,44	-0,10					😞
MRLVS0006_HDLE [Z] Tol.: -1,2 / +1,2 Návrh reg.: -1,715 / -0,003	6472	6468	729	11,89 %	1,38	0,39					😊
NLLVS0013_O_VAX [M] Tol.: -1 / +1 Návrh reg.: -0,324 / +0,806	6462	6462	7	–	1,69	1,02					😊
NLLVS0014_O_VAZ [M] Tol.: -1,5 / +1,5 Návrh reg.: -0,592 / +2,135	6460	6436	402	–	0,99	0,35					😊
NLLVS0011_O_VAY [M] Tol.: -2,5 / +1,5 Návrh reg.: -2,981 / +3,299	6449	6444	524	–	0,52	0,49					😞

Obr. 48) Systém výrobce na statistické zpracování měření

## 9.3 Statistické zpracování a vyhodnocení procesu

Na uvedených grafech statistického průběhu naměřených odchylek lze poměrně snadno identifikovat současný stav polohy desek přivařených na předních podélnících karoserie. Po rozdělení průběhů na měsíce je vidět, že od začátku roku, po náběhu výroby po vánočních svátcích, byl průběh rozměrovosti otvorů i vzdáleností, až na výjimky v tolerančních mezích, při stabilním průběhu výroby.

V polovině února došlo ke změně, kdy se levá deska začala pohybovat v osách Y, Z a pravá v ose Y. To značí změnu fixování dílu svařovacím přípravkem při svaření na karoserii. Může to být uvolněná upínka nebo nahromaděné okuje na stykových plochách. Nekázeň pracovníků při upínání dílů není prokázána, jelikož se rozkolísaný stav ukazuje napříč výrobními směny. Museli by pracovní postup porušovat všichni dotčení pracovníci. Dalším důvodem tohoto zhoršení může být dodavatelský problém, kdy dodávané díly neodpovídají zadané specifikaci.

Po mírném zlepšení fixace polohy desek na konci února stále přetrvává problém se stabilitou přivaření desek, která nedosahuje stavu z ledna. To může ovlivňovat automatizovanou zástavbu chladiče na montážní lince. Pokud se uvedený problém s polohou desek v polovině února vyskytl neplánovaně, bylo možné už po pár směnách predikovat vývoj se zhoršujícím se trendem. Je zde i varianta, že probíhaly optimalizace na předních podélnících, jimiž byla poloha desek ovlivněna.

Nejistoty měření zjištěné u robotického měřicího zařízení jsou tak malé, že zásadně neovlivňují pole přijetí a zamítnutí.

Podle vyhodnocení dlouhodobých indexů způsobilosti Cpk jsou nezpůsobilé hlavně polohy otvorů v ose Y. Zde je potřeba lépe fixovat polohu při sváření, jak bylo uvedeno.

## 10 VLASTNÍ DOPORUČENÍ

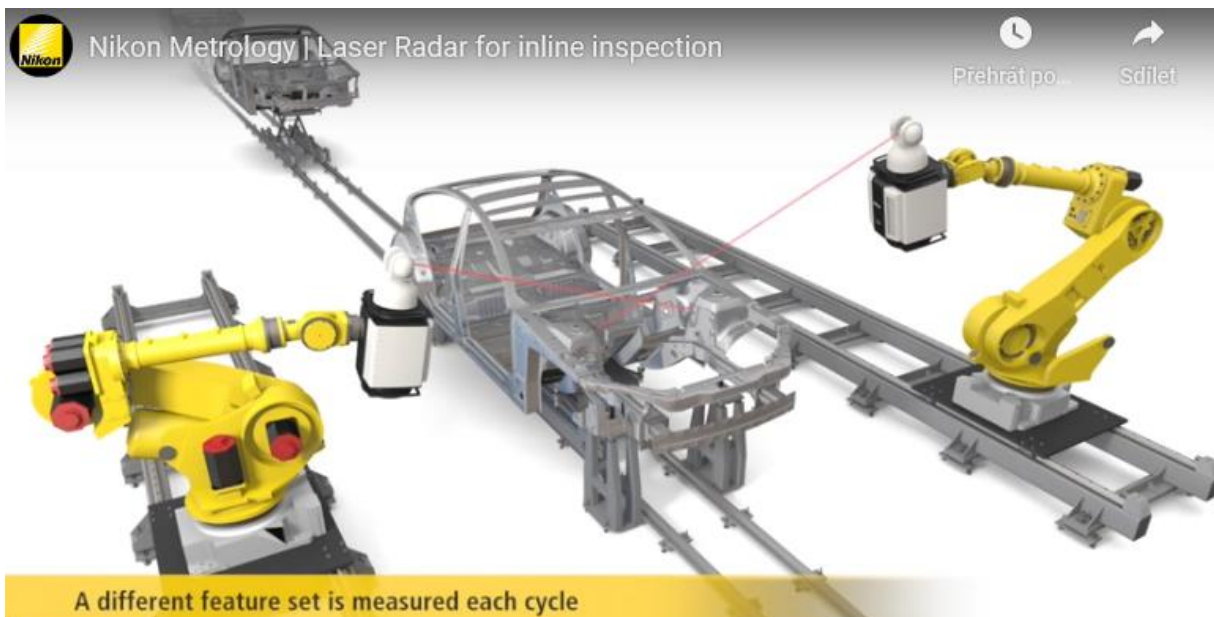
### 10.1 Skenovací zařízení

Skenování strukturovaným bílým nebo modrým světlem zachycuje celou oblast rozsahu skeneru více vzory najednou. Z toho plynou výhody precizního skenování, vytváření detailnějších a přesnějších mračen bodů, lepší popisování detailů a v neposlední řadě je tento systém i bezpečnější pro osoby pohybující se v blízkosti zařízení. Určitá nevýhoda je tu opět v potřebě minimalizování vnějších světelných vlivů. Tento systém bych navrhl pro oblast výroby dílů, především výlisků, kde je potřeba dbát na kontrolu povrchového tvaru. Systém díky velkému rozlišení velmi dobře rozpoznává nepatrné nerovnosti oproti CAD.



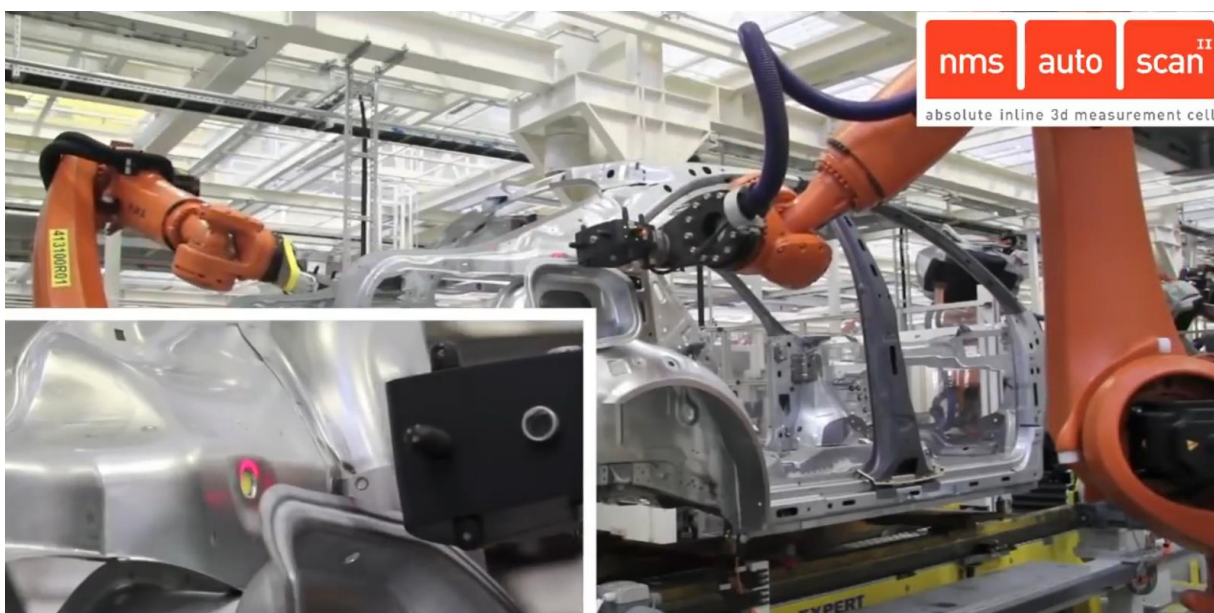
Obr. 49) Skenování strukturovaným světlem firmy ZEISS ABIS II [15]

Laserový radar je dle mého názoru ideální In-line měřící zařízení do výrobní linky svařovny na menší svařence až po svařenou karoserii. Jeho nespornou výhodou je rychlost snímání malých skenů pro extrahování měřených bodů a prvků. Na jednu polohu robotického ramene je naskenováno veškeré množství prvků, které jsou z této polohy laserovým radarem viditelné, a to i na protější vnitřní straně karoserie. Dle mého názoru je možné karoserii změřit na čtyři až pět poloh robotů na každé straně. Robotická ramena se při skenování nepohybují. Rotační pohyb vykonává pouze laserová hlava měřícího zařízení. Také velikost skenovaných plošek není velká, v řádu několika cm<sup>2</sup>. Tím není tolik zatěžován výpočetní systém.



Obr. 50) Laserový radar firmy NIKON Metrology [16]

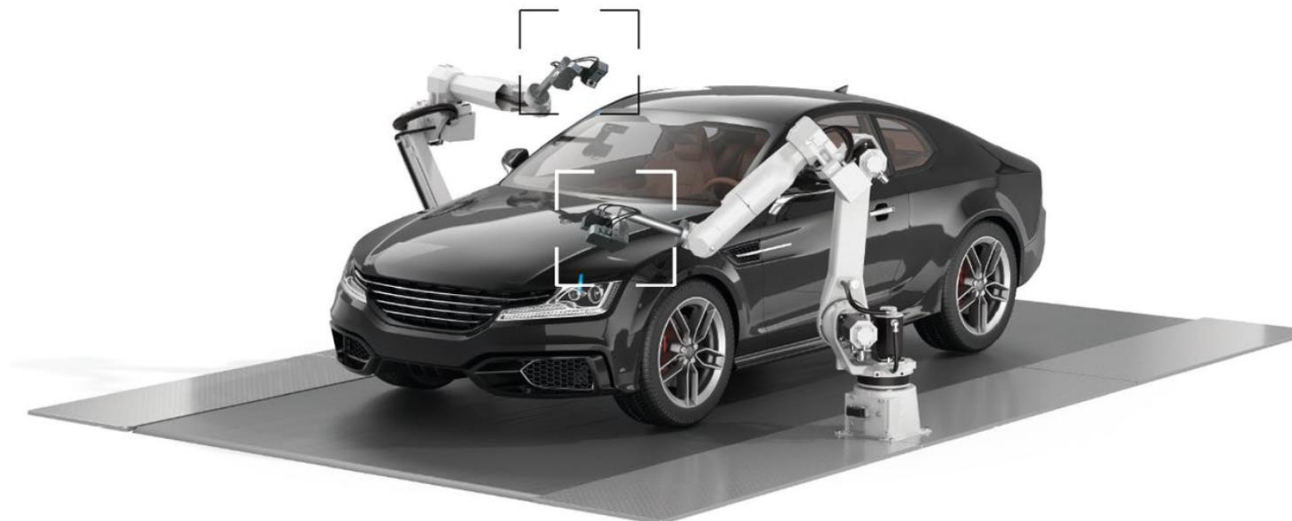
Pro kontrolu zástavby bočních dveří, kapoty a zadního víka do karoserie bych doporučil In-line laserové 3D skenery. Laserové 3D skenery získávají data postupně pomocí laserové čáry nebo bodu, kdy je skener unášen robotickým ramenem po naprogramovaných drahách. Skener musí dodržovat optimální skenovací vzdálenost od snímaného povrchu. Jinak dochází ke ztrátě skenu. Skenované plochy jsou mnohokrát větší než u laserového radaru, a proto se více hodí ke sledování celkového tvaru karoserie vyrobené ve svařovně. Kontrola plošného a obvodového lícování panelových dílů by mohla být trochu problém, jelikož na světelné a odrazivé podmínky je tento systém více náchylný. Je nutné precizní nastavení parametrů skenerů s minimalizací vnějších světelných vlivů.



Obr. 51) Robotická měřicí buňka firmy NMS s.r.o. Bratislava s 3D skenery a trackery Leica [13]



Skenování zdvojenými skenery firmy ZEISS bych navrhl na konec výrobního toku montáže, kde se kontroluje konečné nalícování všech vnějších viditelných dílů automobilu. Jelikož spáry jsou na automobilech velmi malé, je náročné je rychle bezkontaktně změřit. Měnící se barva kontrolovaných automobilů klade nároky na parametrizaci skenerů. I zde je nutné minimalizování vnějších světelných vlivů.



Obr. 52) Robotické měření flush and gap od firmy ZEISS AIMax twin UV [15]

## 10.2 Korelace měřících systémů

Porovnávací měření identických výrobků s výpočtem korelací by mělo probíhat podle určené periody, dle mého návrhu jednou měsíčně, a nemělo by se podceňovat. Ač jsou v In-line měřící buňce zavedené kontrolní mechanismy vždy je dobré provádět kontrolu spolehlivosti ještě jiným nezávislým systémem. V tomto smyslu dotekovým CMM v měrovém středisku, které má řádově menší nejistotu měření.

## 10.3 Zpracování výsledků

Pro tuto práci je zde navrženo zpracování řady naměřených dat pouze na části karoserie. V praxi pak, pokud bude tento systém sledování rozměrovosti zaveden, je nutné zpracovat ucelený výsledný protokol o stavu celé karoserie. S ohledem na možnosti zvoleného statistického softwaru doporučuji vydávat tyto protokoly po každé směně, a pak dále v týdenních a měsíčních přehledech ukládaných ve formě pdf dokumentů na intranetových stránkách kvality s přístupem k nim všech dotčených pracovníků. Moderní a stále více využívanější variantou je v dnešním digitalizovaném průmyslu využití napojení databáze výsledků měření na online čtecí softwaru, kde pomocí předdefinovaných šablon zobrazení si uživatelé sami na svých osobních zařízeních (notebooky, tablety nebo mobilní telefony) zobrazují aktuální přehledy o stavu výrobního procesu. Ideální možností poskytuje volně přístupná aplikace od firmy Microsoft PowerBI. Sledováním těchto dat s korektním nastavením regulačních mezí může být celkem spolehlivě predikován budoucí vývoj výrobního toku. Na

základě těchto poznatků bude počínající možná závada na výrobním zařízení včas rozpoznána a včas budou moci být přijata nápravná opatření.

## 11 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V mé diplomové práci jsem sepsal své myšlenky a návrhy v oblasti In-line měření na základě mnohaleté praktické zkušenosti s měřicími systémy v automobilovém průmyslu. Uvedl jsem zde podle mého názoru nevyhnutelný způsob vyhodnocování velkého množství dat, které In-line měřicí zařízení produkuje.

V odděleních zabývajících analýzami rozměrovosti s řešením zlepšení kvality výrobku nemůže být nadále využíván přístup dosud hojně používaný, který vychází z malé četnosti Off-line měření mimo výrobní linku. Tento postup je velmi zažitý, ale bohužel přestává stačit v rychlosti na nasazování opatření. Nehledě na fakt, že podle „občasného měření“ na Off-line měřicím zařízení je nemožné predikovat vývoj výrobního procesu. Online sledování vývoje rozměrovosti, podle mého názoru, začíná nabírat na důležitosti. Zvláště pokud dojde k informačnímu propojení s prediktivními metodami údržby výrobních zařízení. Lze tak udržovat výrobní zařízení na vysoké kvalitativní úrovni. Troufnu si říct, že i při nižších nákladech na údržbu. Obnáší to ale zavedení vyhodnocování sledování procesu u všech nasazených In-line měřicích zařízení a v plánování budoucích projektů počítat s masivním nasazením těchto měřidel. Jen tak lze úspěšně kontrolovat zrychlující se a objemově zvětšující se výrobu automobilů.



## 12 ZÁVĚR

Tato diplomová práce má za cíl provést komplexní kontrolu spolehlivosti In-line měřícího zařízení s návrhem na další zlepšení spolehlivosti tak, aby nedocházelo k pochybnostem o správnosti naměřených hodnot na svařené karoserii.

Na úvod je zde představen současný přehled měřících systémů, které pracují s optickými skenery a kamerami. V dalších částech této diplomové práce je pracováno s In-line robotickým měřícím zařízením s laserovými skenery, který je používán ve firmě ŠKODA AUTO a.s.. Krátce je zde zmíněn i systém vyhodnocování naměřených hodnot, který vychází z Off-line měření.

První faktor přispívající ke spolehlivosti měřícího zařízení je vyjádřen výpočtem nejistoty měření pro obě robotická měřící ramena. Byla zjištěna nejistota měření  $U_1 = \pm 0,040$  mm a  $U_2 = \pm 0,047$  mm. Tyto hodnoty jsou shledány jako vyhovující specifikaci, se kterou bylo měřící zařízení pořízeno.

Mezikrokem mezi hodnotícími kritérii pro spolehlivost bylo provedeno posouzení současného stavu počtu měřících bodů na svařené karoserii, který vychází z Off-line měření. Bylo navrženo nové redukované množství měřících bodů tak, aby zohledňovalo celkovou geometrii karoserie s výhledem pro kontinuální měření celé produkce na konci výrobní linky svařovny. Toto kontinuální měření je důležité pro získávání dat ke sledování a regulování výrobního procesu regulačními diagramy.

Dalším kritériem v hodnocení spolehlivosti bylo srovnávací měření totožné karoserie na řešeném In-line měřidle a srovnávacím Off-line CMM s dotekovým systémem. První srovnávací měření bylo provedeno v situaci, kdy byla zpochybňována spolehlivost In-line měření, jelikož výsledky rozměrovosti neodpovídali měření karoserie na Off-line CMM. Vypočtená hodnota korelace  $r_1 = 0,848$  je pak výchozí hodnotou pro další porovnávání korelací provedených po zlepšujících opatřeních na In-line měřícím zařízení. Druhý výpočet korelace je proveden půl roku po prvním s hodnotou  $r_2 = 0,947$ . Lze konstatovat, že hodnota korelace po nasazení opatření se zvýšila. Je tím ověřeno zlepšení spolehlivosti In-line měření.

Je zde ale stále prostor pro zlepšení výsledků v podobě zbytku korelace 0,053, která chybí k dosažení hodnoty 1 a tím i 100% závislosti In-line a Off-line měření. Popis provedených opatření po první korelaci a návrh dalších zlepšení po druhé, je pak proveden v další části práce.

Následuje ukázka, jak by mohlo být procesně zpracováno množství naměřených dat, pokud bude nasazen jeden měřící program a s ním měřena kontinuálně celá produkce. Až na malé výjimky, kdy by bylo potřeba spustit detailnější měření určitých partií.

V kapitole „11 vlastní doporučení“ jsem uvedl svou představu o nasazování různých systémů optického měření v průběhu výrobního procesu automobilu. Je to má vize, jak zlepšit kvalitu měření produktu v oblasti In-line 3D měření.



## 13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VDA 5.1. *Management kvality v automobilovém průmyslu: In-line – měřicí technika pro zpětné sledování ve stavbě karoserií*. CZ - 116 68 Praha 1, Novotného lávka 5: Česká společnost pro jakost, 2003. IBSN 978-80-02-02476-7.
- [2] LABORATORNÍ VÝBOR EA. *EA-4/02: Vyjádření nejistoty měření při kalibraci*. Praha: Český institut pro akreditaci, 2014.
- [3] Doc. Ing. JANKOVÝCH, Róbert, CSc. *Statistické nástroje v metrologii 3*. VUT Brno: Obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost, 2019. Prezentace pro přednášku.
- [4] Šrámek, Jan. *Nejistoty měření přesných délkových měření II*. Brno, 2011. Diplomová práce. VUT v Brně, FSI-ÚVSSR.
- [5] ČSN EN ISO 14253-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením: Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [6] ČSN EN ISO 14253-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením: Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN EN ISO 14253-3. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením: Část 3: Směrnice k dosažení souhlasu na základě stanovené nejistoty měření*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [8] PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. *Strojírenská metrologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. IBSN 8021433388.
- [9] Doc. RNDr. Karpíšek, Zdeněk, CSc. *Matematika IV Statistika a pravděpodobnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. IBSN 978-80-214-4858-2.
- [10] SUCHÁNEK, CSC., Prof. Ing. Miloslav, Ing. Jaroslav SKOPAL, CSC. a Ing. Jarmila MILLEROVÁ, VIDÍMOVÁ, PH.D., Ing. Klára, ed. *Pokyn pro vyjadřování nejistoty měření (GUM): Sborníky technické harmonizace*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [11] KOBA: KOB A-Kugelstab. *KOB A  $\mu$ -TECH: Propagační brožura* [online]. Aschaffenburg, Germany: Kolb & Baumann GmbH & Co, 2005. Dostupné z: <http://www.koba.de>.
- [12] NMS: Nonkontakt measuring systems. *Manuál k robotické měřicí buňce*. Bratislava, Slovensko: NMS, 2016.
- [13] NMS: Nonkontakt measuring systems. *Aktuality: Propagační video* [online]. Bratislava, Slovensko: NMS, 2011. Dostupné z: <http://www.sk.nms-int.com/>.
- [14] ANIWAA: *3D scanners comparison*. [online]. France: AIWAA Pte. Ltd., 2020. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/comparison/3d-scanners/>.
- [15] ZEISS Ltd.: *In-line Solutions*. [online]. Cambourne, United Kingdom: ZEISS Ltd., 2020. Dostupné z: <https://www.zeiss.co.uk/metrology>.
- [16] NIKON Metrology NV: *Shop floor inspection*. [online]. Leuven, Belgium: NIKON Metrology Europe, 2020. Dostupné z: <https://www.nikonmetrology.com/en-gb/solutions/shop-floor-inspection>.

- [17] ISV – Isvision technology Co., Ltd.: *In-line/Off-line measurement system*. [online]. Tianjin, China: ZEISS Ltd., 2020. Dostupné z: <http://www.tjisv.com>.
- [18] Gomeasure3D: *Industry applications*. [online]. Virginia, USA: GoMeasure3D, 2020. Dostupné z: <http://gomeasure3d.com>.
- [19] MIKE1024. LIDAR - scanned - SICK-LMS. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 9.4.2008 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LIDAR-scanned-SICK-LMS-animation.gif>



# 14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

## 14.1 Seznam zkratek

PDF	Probability density function Funkce hustoty pravděpodobnosti
CMM	Coordinate Measuring Maschine Souřadnicový měřicí stroj
GPS	Geometrické specifikace produktu
RPS	Reference points system Systém referenčních bodů
VDA	Veband der Automobilindustrie Management kvality v automobilovém průmyslu
3D	Three dimensional Trojrozměrný
CAD	Computer aided design Počítačem podporované projektování
In-line	Měřicí systém implementovaný do výrobní linky
Off-line	Měřicí systém mimo výrobní

## 14.2 Seznam symbolů

LSL	Lower specification limit Dolní mez specifikace
USL	Upper specification limit Horní mez specifikace
$y'$	Kompletní výsledek měření
$y$	Výsledek měření
$U$	Nejistota měření
$u_A$	Nejistota měření typu A
$u_b$	Nejistota měření typu B
$u_c$	Nejistota měření typu C
$k, k_s$	Koeficient rozšíření
XYZ	Souřadnice kartézského souřadného systému
$n$	Počet měření
$r$	Koeficient korelace
$\Delta$	Rozdíl dvou hodnot, odchylka

P	Pole statistické jistoty
$\chi$	Konstanta, udává poměr maximální hodnoty $\Delta Z_{\max}$ ku směrodatné odchylce normálního rozdělení
$\overline{\Delta x_{1di}}$	Aritmetický průměr průměru odchylek $\overline{\Delta x_{1di}}$ měřicího systému č. 1
$\overline{\Delta x_{2di}}$	Aritmetický průměr průměru odchylek $\overline{\Delta x_{2di}}$ měřicího systému č. 2
$s(\overline{\Delta x_{1di}})$	Směrodatná odchylka průměru odchylek $\overline{\Delta x_{1di}}$ měřicího systému č. 1
$s(\overline{\Delta x_{2di}})$	Směrodatná odchylka průměru odchylek $\overline{\Delta x_{2di}}$ měřicího systému č. 2
$r_{ms}$	Koeficient korelace měřících systémů č. 1 a č. 2
$\zeta_i$	Střední hodnota kontrolního bodu měřicího systému č. 1
$\vartheta_i$	Střední hodnota kontrolního bodu měřicího systému č. 2
$\bar{\zeta}$	Aritmetický průměr kontrolních bodů měřicího systému č. 1
$\bar{\vartheta}$	Aritmetický průměr kontrolních bodů měřicího systému č. 2
$s(\zeta)$	Směrodatná odchylka kontrolních bodů měřicího systému č. 1
$s(\vartheta)$	Směrodatná odchylka kontrolních bodů měřicího systému č. 2
$x_i$	Výsledek měření
$\bar{x}$	Odhad pravé hodnoty středu $\mu$ rozdělení (aritmetický průměr)

### 14.3 Seznam tabulek

Tab 1)	Vhodnost skenovacích systémů pro In-line měření .....	13
Tab 2)	Tabelované hodnoty $k_s$ pro počet měření $n$ [8].....	27
Tab 3)	Výpočet nejistoty měření In-line robotického ramene č.1 .....	32
Tab 4)	Výpočet nejistoty měření In-line robotického ramene č.2 .....	33
Tab 5)	Výpočet nejistoty měření Off-line dotykového CMM – duplex .....	34
Tab 6)	Typické veličiny ovlivňující proces měření In-line měřících stanic [1] .....	44

### 14.4 Seznam obrázků

Obr. 1)	Optické měření ve výrobním toku linky – In-line [13] .....	7
Obr. 2)	Skenování karoserie vedle výrobní linky – Bypass [16].....	8
Obr. 3)	Skenování karoserie přímo na výrobním pásu [15] .....	9
Obr. 4)	Princip laserové triangulace [14].....	10
Obr. 5)	Robotické skenování strukturovaným bílým světlem [17] .....	10
Obr. 6)	Laserový radar In-line ve výrobní lince [16].....	11
Obr. 7)	Fotogrammetrie použitá při kontrole dveří [16].....	11
Obr. 8)	Kontaktní skenování součásti [18] .....	12
Obr. 9)	Princip skenování laserovým pulsem [19] .....	12
Obr. 10)	Pohled shora na robotizovanou měřící buňku [12] .....	14

Obr. 11)	Ukázka vyhodnocení Off-line a In-line měření – pouze 5 měření .....	15
Obr. 12)	Nejistota měření ovlivňuje zóny ověření shody a neshody [5] .....	20
Obr. 13)	Ověřování shody dodavatelem [5].....	21
Obr. 14)	Ověření shody se specifikací [5] .....	22
Obr. 15)	Ověřování neshody zákazníkem [5] .....	23
Obr. 16)	Ověření neshody se specifikací [5].....	24
Obr. 17)	Důležité vlivy na nejistotu výsledků měření [1].....	25
Obr. 18)	Normální (Gaussovo) rozdělení: $P = 95,45 \%$ , $\chi = 2$ [5].....	28
Obr. 19)	Rovnoměrné rozdělení: $P = 100 \%$ , $\chi = 3$ [6].....	28
Obr. 20)	Ochranné pásmo faktoru $k$ pro pokrytí pravděpodobnosti 95 % [6] .....	30
Obr. 21)	Kontrolní těleso „Kugelstab 5000 mm fy. KOBA“ na 3D souřadnicovém dotykovém měřicím stroji [11].....	31
Obr. 22)	Grafické zobrazení výpočtu nejistoty u in-line robotického ramene č.1 .....	32
Obr. 23)	Grafické zobrazení výpočtu nejistoty u in-line robotického ramene č.2 .....	33
Obr. 24)	Grafické zobrazení výpočtu nejistoty u Off-line CMM - duplex .....	34
Obr. 25)	Část I. – Přední a horní část karoserie .....	36
Obr. 26)	Část II. – Přední a horní část karoserie ve variantě se otevřenou střechou .....	36
Obr. 27)	Část III. – Přední a boční část karoserie .....	36
Obr. 28)	Část IV. – Přední část a zadní část.....	36
Obr. 29)	Množství bodů sloučených In-line programů .....	37
Obr. 30)	Skeny sloučených In-line programů .....	37
Obr. 31)	Redukovaný počet bodů .....	38
Obr. 32)	Redukované skeny měřených oblastí .....	38
Obr. 33)	Schéma polohy trackerů a referenčních tyčí [12].....	45
Obr. 34)	Výpis kontrolního měření ustavovacích čepů [12].....	45
Obr. 35)	A), B) Identifikované body na přední části karoserie.....	46
Obr. 36)	C), D) Identifikované body na zadní části karoserie .....	46
Obr. 37)	E), F) Hustoty skenů u zkoumaných bodů .....	47
Obr. 38)	Kontrolované rozměry karoserie použité pro výpočet .....	49
Obr. 39)	Levý otvor v ose X – $C_{pk} = 1,42$ .....	50
Obr. 40)	Levý otvor v ose Y – $C_{pk} = -0,06$ .....	51
Obr. 41)	Levý otvor v ose Z – $C_{pk} = 1,49$ .....	52
Obr. 42)	Pravý otvor v ose X – $C_{pk} = 1,52$ .....	53
Obr. 43)	Pravý otvor v ose Y – $C_{pk} = -0,19$ .....	54
Obr. 44)	Pravý otvor v ose Z – $C_{pk} = 0,50$ .....	55

Obr. 45) Vzájemný přesah otvorů v ose X – $C_{pk} = 1,21$ .....	56
Obr. 46) Šířková rozteč otvorů v ose Y – $C_{pk} = 1,31$ .....	57
Obr. 47) Vzájemný přesah otvorů v ose Z – $C_{pk} = 1,58$ .....	58
Obr. 48) Systém výrobce na statistické zpracování měření .....	59
Obr. 49) Skenování strukturovaným světlem firmy ZEISS ABIS II [15] .....	61
Obr. 50) Laserový radar firmy NIKON Metrology [16] .....	62
Obr. 51) Robotická měřicí buňka firmy NMS s.r.o. Bratislava s 3D skenery a trackery Leica [13] .....	62
Obr. 52) Robotické měření flush and gap od firmy ZEISS AIMax twin UV [15] .....	63

## 15 SEZNAM PŘÍLOH

- 1) Kalibrační protokol In-line robotické měřicí buňky
- 2) Kalibrační data pro Off-line CMM
- 3) Data pro výpočet korelací



# PŘÍLOHY

## 1) Kalibrační protokoly In-line robotické měřicí buňky



NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia  
tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1298, nms@nms.sk,  
http://www.nms.sk  
Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

### Kalibračný certifikát CC\_20190203\_1

**Zákazník:** Škoda Auto a.s.  
V. Klementa 869  
293 60 Mladá Boleslav  
Česká Republika

**Umiestnenie:** Kvasiny

**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT960-MR      T-Scan 5  
**Sériové č. :** N3202-15I02      **Sériové č. :** 750272      1200611  
**Sériové č. :** 750264      1200378

**Dátum:** 03.02.2019  
**Operátor:** Petr Vaněk

#### Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Položka	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
H	5000.2437	5000.264	0.020	0.120	Vyhovuje
D1	5000.2437	5000.244	0.000	0.120	Vyhovuje
D2	5000.2437	5000.240	-0.004	0.120	Vyhovuje
D3	5000.2437	5000.235	-0.009	0.120	Vyhovuje
D4	5000.2437	5000.227	-0.017	0.120	Vyhovuje
Najhoršia nameraná hodnota			0.020	0.120	Vyhovuje

#### Výsledky meraní na referenčnej guli [mm]

T-Scan 5      1200611

Face	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
Face 1	0.000	0.010	0.010	0.060	Vyhovuje
Face 2	0.000	0.016	0.016	0.060	Vyhovuje
Face 3	0.000	-0.055	-0.055	0.060	Vyhovuje
Face 4	0.000	0.014	0.014	0.060	Vyhovuje

T-Scan 5      1200378

Face	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
Face 1	0.000	0.005	0.005	0.060	Vyhovuje
Face 2	0.000	0.015	0.015	0.060	Vyhovuje
Face 3	0.000	-0.041	-0.041	0.060	Vyhovuje
Face 4	0.000	0.013	0.013	0.060	Vyhovuje

**Záver:** Kalibrácia bola vykonaná na základe interných predpisov NMS\_IP\_201108\_001.  
Boli použité etalóny s platným certifikátom. Namerané hodnoty vyhovujú technickej špecifikácii prístroja.

Bratislava  
03.02.2019

**NMS s.r.o.**  
Hviezdoslavova 13  
821 06 BRATISLAVA  
IČO: 35 74 640 IČ DPH: SK2020254588  
Petr Vaněk  
NMS s.r.o.

## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha horizontálna

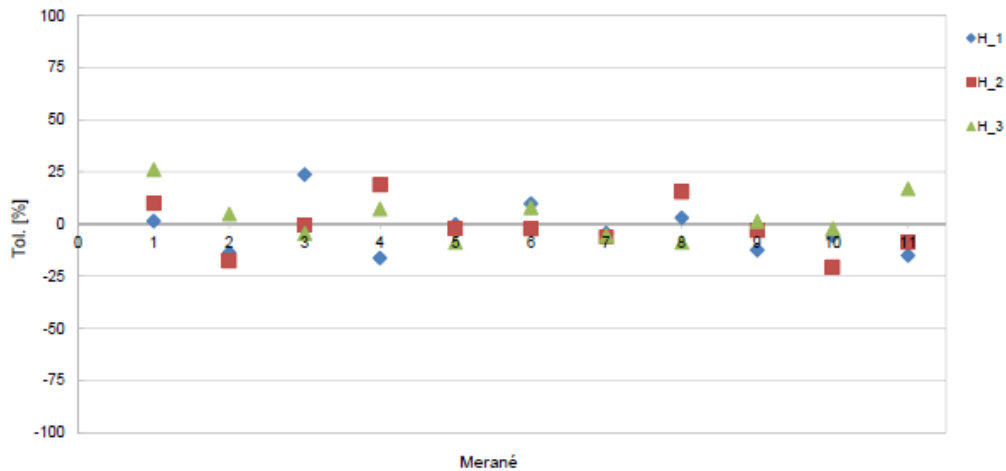
**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT960-MR      T-Scan 5  
**Sériové č.:** N3202-15I02      **Sériové č.:** 750272      1200611  
**Teplota:** 22.7 °C      **Sériové č.:** 750264      1200378  
**Tlak:** 979 hPa  
**Vlhkosť:** 42.00%

**Typ referencie:** 10 x 500 CFK - mat  
**Sériové č.:** 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané		
		H 1	H 2	H 3
d1	500.0088	500.011	500.021	500.040
d2	499.9580	499.942	499.937	499.964
d3	500.0759	500.104	500.075	500.070
d4	500.0479	500.028	500.070	500.057
d5	500.0695	500.069	500.067	500.059
d6	499.9796	499.991	499.977	499.989
d7	500.0339	500.029	500.027	500.027
d8	499.9762	499.980	499.995	499.966
d9	499.9918	499.977	499.988	499.993
d10	500.1021	500.095	500.077	500.099
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.226</b>	<b>5000.233</b>	<b>5000.264</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.018</b>	<b>-0.011</b>	<b>0.020</b>
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.120</b>
<b>Opakovateľnosť</b>		<b>0.038</b>		

Percento využitia tolerancie







NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia  
tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1298, nms@nms.sk,  
http://www.nms.sk  
Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D1

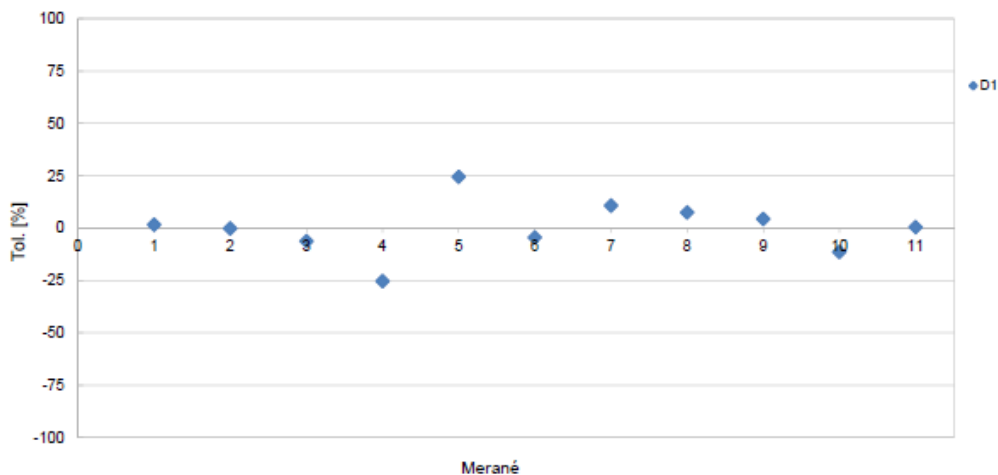
Produkt: NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      Komponent: AT960-MR      T-Scan 5  
Sériové č.: N3202-15102      Sériové č.: 750272      1200611  
Teplota: 22.7 °C      Sériové č.: 750264      1200378  
Tlak: 979 hPa  
Vlhkosť: 42.00%

Typ referencie: 10 x 500 CFK - mat  
Sériové č.: 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.011	0.002
d2	499.958	499.958	0.000
d3	500.0759	500.068	-0.007
d4	500.0479	500.017	-0.031
d5	500.0695	500.099	0.029
d6	499.9796	499.974	-0.005
d7	500.0339	500.047	0.013
d8	499.9762	499.985	0.009
d9	499.9918	499.997	0.005
d10	500.1021	500.088	-0.014
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.244</b>	<b>0.000</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>0.000</b>	
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D2

**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT960-MR      T-Scan 5  
**Sériové č.:** N3202-15I02      **Sériové č.:** 750272      1200611  
**Sériové č.:** 750264      1200378

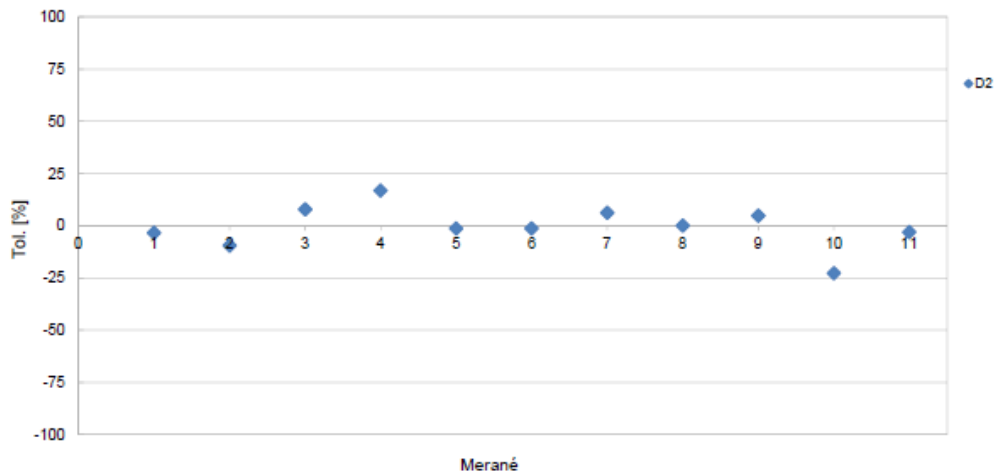
**Teplota:** 22.7 °C  
**Tlak:** 979 hPa  
**Vlhkosť:** 42.00%

**Typ referencie:** 10 x 500 CFK - mat  
**Sériové č.:** 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.005	-0.004
d2	499.9580	499.947	-0.012
d3	500.0759	500.085	0.009
d4	500.0479	500.068	0.020
d5	500.0695	500.068	-0.002
d6	499.9796	499.978	-0.002
d7	500.0339	500.041	0.007
d8	499.9762	499.976	0.000
d9	499.9918	499.998	0.006
d10	500.1021	500.075	-0.027
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.240</b>	<b>-0.004</b>
<b>Odchýlka ± Tolerancia</b>		<b>-0.004 0.120</b>	

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D3

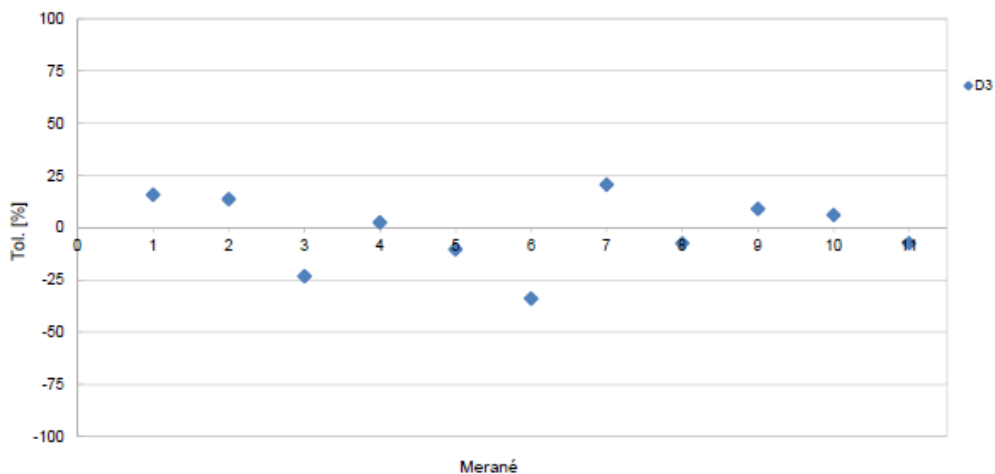
Produkt: NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      Komponent: AT960-MR      T-Scan 5  
Sériové č.: N3202-15102      Sériové č.: 750272      1200611  
Sériové č.: 750264      1200378  
Teplota: 22.7 °C  
Tlak: 979 hPa  
Vlhkosť: 42.00%

Typ referencie: 10 x 500 CFK - mat  
Sériové č.: 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchylka
d1	500.0088	500.028	0.019
d2	499.9580	499.974	0.016
d3	500.0759	500.048	-0.028
d4	500.0479	500.051	0.003
d5	500.0695	500.057	-0.012
d6	499.9796	499.939	-0.041
d7	500.0339	500.059	0.025
d8	499.9762	499.967	-0.009
d9	499.9918	500.003	0.011
d10	500.1021	500.109	0.007
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.235</b>	<b>-0.009</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.009</b>	
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D4

**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT960-MR      T-Scan 5  
**Sériové č. :** N3202-15I02      **Sériové č. :** 750272      1200611  
**Sériové č. :** 750264      1200378

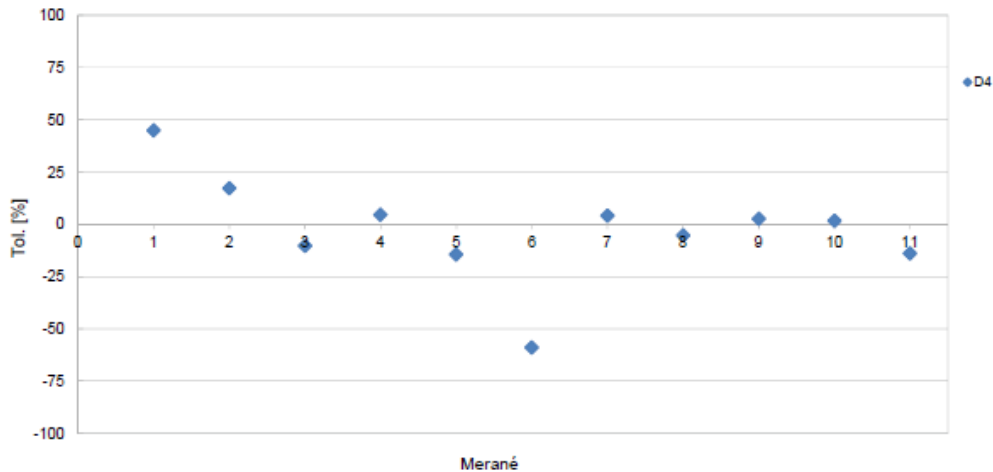
**Teplota:** 22.7 °C  
**Tlak:** 979 hPa  
**Vlhkosť:** 42.00%

**Typ referencie:** 10 x 500 CFK - mat  
**Sériové č. :** 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.063	0.054
d2	499.9580	499.979	0.021
d3	500.0759	500.064	-0.012
d4	500.0479	500.053	0.005
d5	500.0695	500.052	-0.017
d6	499.9796	499.909	-0.071
d7	500.0339	500.039	0.005
d8	499.9762	499.970	-0.006
d9	499.9918	499.995	0.003
d10	500.1021	500.104	0.002
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.227</b>	<b>-0.017</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.017</b>	
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	

Percento využitia tolerancie









NMS s.r.o., Hviezdoslavova 13, 821 06 Bratislava, Slovakia  
 tel.: +421 2 5363 1296, fax: +421 2 5363 1299, nms@nms.sk,  
 http://www.nms.sk  
 Vedený v OR OS BA I, odd: Sro, vložka č.: 18902/B

## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha horizontálna

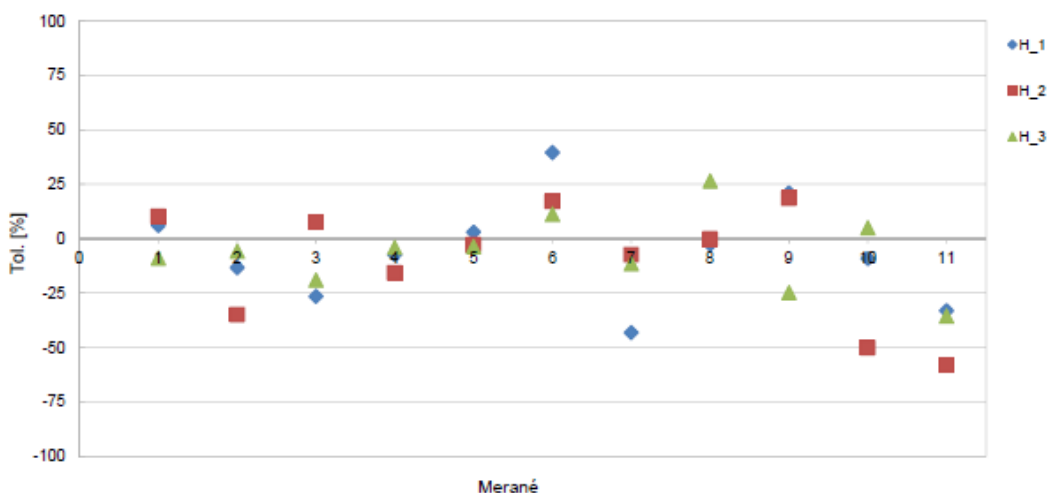
<b>Produkt:</b>	NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo	<b>Komponent:</b>	AT960-MR	T-Scan 5
<b>Sériové č.:</b>	N3202-15I01	<b>Sériové č.:</b>	750271	1200380
<b>Teplota:</b>	22.4 °C	<b>Sériové č.:</b>	750276	1200279
<b>Tlak:</b>	988hPa			
<b>Vlhkosť:</b>	37.00%			

**Typ referencie:** 10 x 500 CFK - mat  
**Sériové č.:** 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané		
		H 1	H 2	H 3
d1	500.0088	500.016	500.021	499.998
d2	499.9580	499.942	499.916	499.951
d3	500.0759	500.044	500.085	500.053
d4	500.0479	500.039	500.029	500.043
d5	500.0695	500.073	500.066	500.065
d6	499.9796	500.027	500.000	499.993
d7	500.0339	499.982	500.025	500.020
d8	499.9762	499.973	499.976	500.008
d9	499.9918	500.017	500.014	499.962
d10	500.1021	500.091	500.042	500.108
<b>Celkom</b>	5000.2437	5000.204	5000.174	5000.201
<b>Odchýlka</b>		-0.040	-0.070	-0.043
<b>± Tolerancia</b>		0.120	0.120	0.120
<b>Opakovateľnosť</b>		0.030		

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D1

Produkt: NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      Komponent: AT960-MR      T-Scan 5  
 Sériové č. : N3202-15I01      Sériové č. : 750271      1200380  
    Sériové č. : 750276      1200279

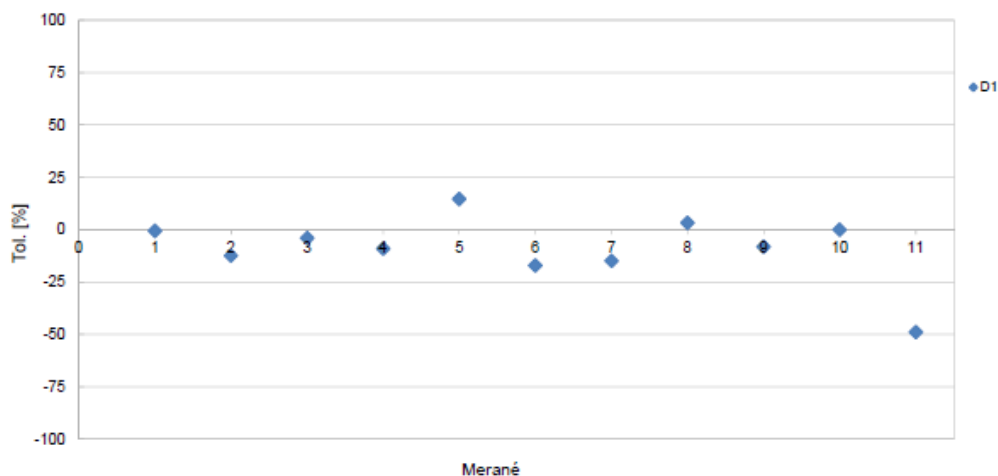
Teplota: 22.4 °C  
 Tlak: 988hPa  
 Vlhkosť: 37.00%

Typ referencie: 10 x 500 CFK - mat  
 Sériové č. : 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.008	-0.001
d2	499.958	499.943	-0.015
d3	500.0759	500.071	-0.005
d4	500.0479	500.037	-0.011
d5	500.0695	500.087	0.017
d6	499.9796	499.959	-0.021
d7	500.0339	500.016	-0.018
d8	499.9762	499.980	0.004
d9	499.9918	499.982	-0.010
d10	500.1021	500.102	0.000
Celkom	5000.2437	5000.185	-0.059
Odchýlka ± Tolerancia		-0.059 0.120	

Percento využitia tolerancie





## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D2

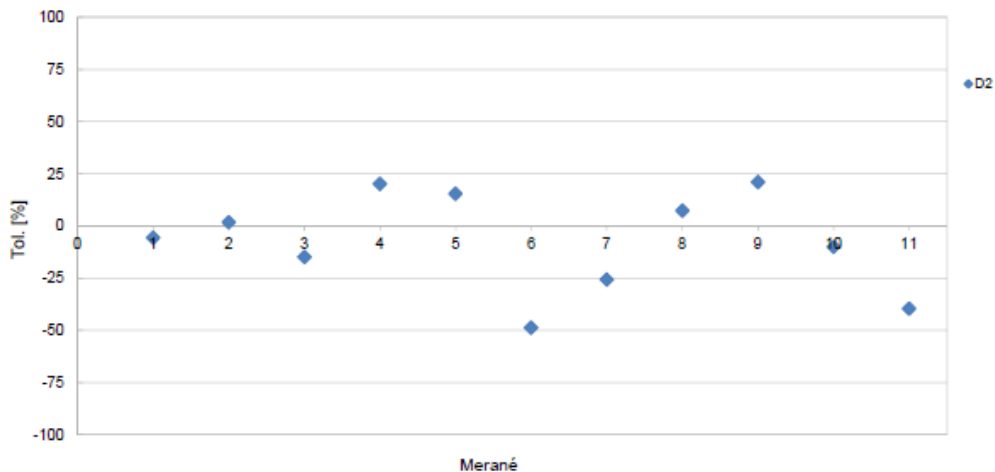
Produkt: NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      Komponent: AT960-MR      T-Scan 5  
Sériové č.: N3202-15101      Sériové č.: 750271      1200380  
Sériové č.: 750276      1200279  
Teplota: 22.4 °C  
Tlak: 988hPa  
Vlhkosť: 37.00%

Typ referencie: 10 x 500 CFK - mat  
Sériové č.: 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.002	-0.007
d2	499.9580	499.960	0.002
d3	500.0759	500.058	-0.018
d4	500.0479	500.072	0.024
d5	500.0695	500.088	0.019
d6	499.9796	499.921	-0.059
d7	500.0339	500.003	-0.031
d8	499.9762	499.985	0.009
d9	499.9918	500.017	0.025
d10	500.1021	500.090	-0.012
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.196</b>	<b>-0.048</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.048</b>	
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D3

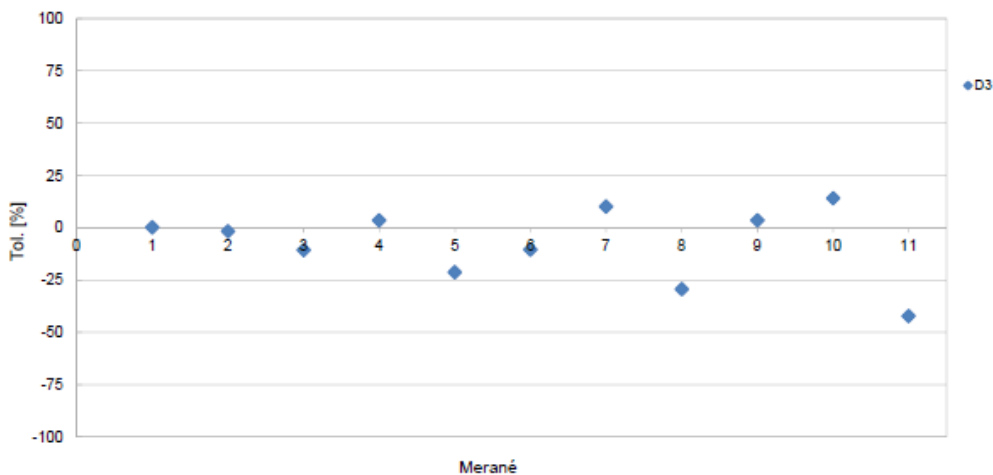
**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT960-MR      T-Scan 5  
**Sériové č.:** N3202-15I01      **Sériové č.:** 750271      1200380  
**Teplota:** 22.4 °C      **Sériové č.:** 750276      1200279  
**Tlak:** 988hPa  
**Vlhkosť:** 37.00%

**Typ referencie:** 10 x 500 CFK - mat  
**Sériové č.:** 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.009	0.000
d2	499.9580	499.956	-0.002
d3	500.0759	500.063	-0.013
d4	500.0479	500.052	0.004
d5	500.0695	500.044	-0.026
d6	499.9796	499.967	-0.013
d7	500.0339	500.046	0.012
d8	499.9762	499.941	-0.035
d9	499.9918	499.996	0.004
d10	500.1021	500.119	0.017
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.193</b>	<b>-0.051</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.051</b>	
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D4

Produkt: NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      Komponent: AT960-MR      T-Scan 5  
Sériové č.: N3202-15101      Sériové č.: 750271      1200380  
Sériové č.: 750276      1200279

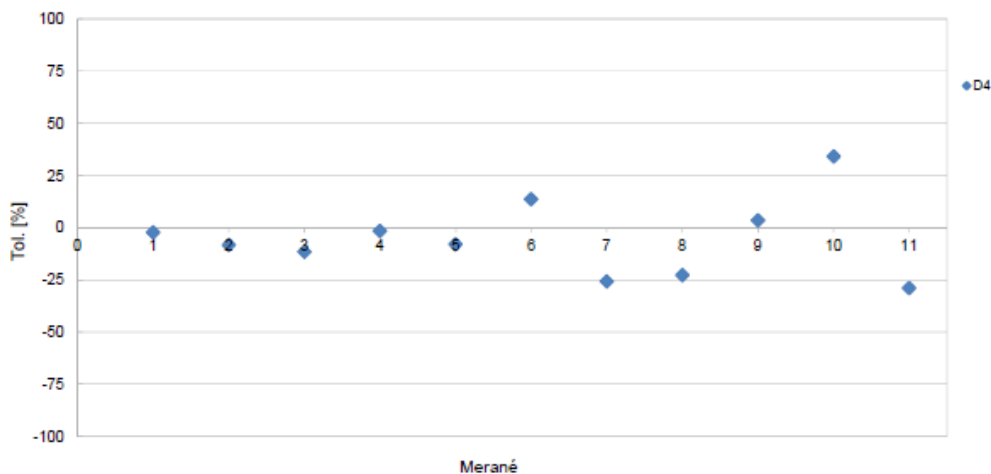
Teplota: 22.4 °C  
Tlak: 988hPa  
Vlhkosť: 37.00%

Typ referencie: 10 x 500 CFK - mat  
Sériové č.: 31324 ID1001493

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané	Odchýlka
d1	500.0088	500.006	-0.003
d2	499.9580	499.948	-0.010
d3	500.0759	500.062	-0.014
d4	500.0479	500.046	-0.002
d5	500.0695	500.060	-0.010
d6	499.9796	499.996	0.016
d7	500.0339	500.003	-0.031
d8	499.9762	499.949	-0.027
d9	499.9918	499.996	0.004
d10	500.1021	500.143	0.041
<b>Celkom</b>	<b>5000.2437</b>	<b>5000.209</b>	<b>-0.035</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.035</b>	
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	

Percento využitia tolerancie



## Detaily meraní na referenčnej guli

<b>Produkt:</b>	NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo	<b>Komponent:</b>	AT960-MR	T-Scan 5
<b>Sériové č.:</b>	N3202-15I01	<b>Sériové č.:</b>	750271	1200380
		<b>Sériové č.:</b>	750276	1200279
<b>Teplota:</b>	22.4 °C			
<b>Tlak:</b>	988hPa			
<b>Vlhkosť:</b>	37.00%			

**Typ referencie:** D 50 mm  
**Sériové č.:** ESP1000179

### Výsledky meraní na referenčnej guli [mm]

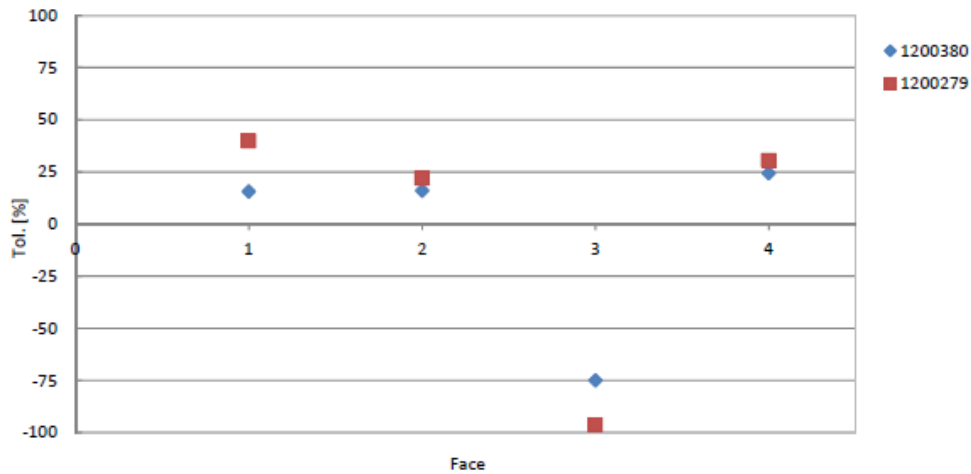
T-Scan 5 1200380

Face	Nominálne	Merané	Odchýlka	Tolerancia	Výsledok
Face 1	0.000	0.009	0.009	0.060	Vyhovuje
Face 2	0.000	0.010	0.010	0.060	Vyhovuje
Face 3	0.000	-0.045	-0.045	0.060	Vyhovuje
Face 4	0.000	0.015	0.015	0.060	Vyhovuje

T-Scan 5 1200279

Face	Nominálne	Merané	Odchýlka	Tolerancia	Výsledok
Face 1	0.000	0.024	0.024	0.060	Vyhovuje
Face 2	0.000	0.013	0.013	0.060	Vyhovuje
Face 3	0.000	-0.058	-0.058	0.060	Vyhovuje
Face 4	0.000	0.018	0.018	0.060	Vyhovuje

### Percento využitia tolerancie



## 2) Kalibrační data pro Off-line CMM

Naměřené hodnoty etalonu			Vypočítané vzdálenosti			Vypočítané 3D vzdálenosti		
1, MERENÍ	2, MERENÍ	3, MERENÍ	1, MERENÍ	2, MERENÍ	3, MERENÍ	1, MERENÍ	2, MERENÍ	3, MERENÍ
-231,549	-231,545	-231,543	0,000	0,000	0,000			
1316,574	1316,574	1316,574	0,000	0,000	0,000			
-2464,319	-2464,329	-2464,330	0,000	0,000	0,000			
233,133	233,131	233,134	464,682	464,676	464,677	500,021	500,020	500,020
1319,106	1319,106	1319,108	2,532	2,532	2,534			
-2279,698	-2279,696	-2279,698	184,621	184,633	184,632			
697,632	697,632	697,638	464,499	464,501	464,504	499,964	499,965	499,967
1320,460	1320,457	1320,459	1,354	1,351	1,351			
-2094,758	-2094,757	-2094,761	184,940	184,939	184,937			
1162,297	1162,286	1162,294	464,665	464,654	464,656	500,078	500,070	500,071
1322,131	1322,129	1322,129	1,671	1,672	1,670			
-1909,928	-1909,922	-1909,929	184,830	184,835	184,832			
1627,047	1627,045	1627,050	464,750	464,759	464,756	500,058	500,063	500,063
1323,286	1323,280	1323,285	1,155	1,151	1,156			
-1725,363	-1725,367	-1725,365	184,565	184,555	184,564			
2091,720	2091,721	2091,718	464,673	464,676	464,668	500,052	500,054	500,047
1324,819	1324,820	1324,819	1,533	1,540	1,534			
-1540,623	-1540,630	-1540,627	184,740	184,737	184,738			
2556,327	2556,329	2556,329	464,607	464,608	464,611	500,001	500,004	500,005
1326,592	1326,595	1326,593	1,773	1,775	1,774			
-1355,857	-1355,860	-1355,860	184,766	184,770	184,767			
3020,914	3020,913	3020,912	464,587	464,584	464,583	500,030	500,026	500,025
1327,845	1327,840	1327,847	1,253	1,245	1,254			
-1170,959	-1170,965	-1170,964	184,898	184,895	184,896			
3485,394	3485,396	3485,396	464,480	464,483	464,484	499,985	499,990	499,991
1329,761	1329,761	1329,763	1,916	1,921	1,916			
-985,919	-985,920	-985,918	185,040	185,045	185,046			
3949,991	3949,992	3949,987	464,597	464,596	464,591	499,961	499,963	499,956
1330,809	1330,810	1330,811	1,048	1,049	1,048			
-801,231	-801,225	-801,228	184,688	184,695	184,690			
4414,654	4414,651	4414,655	464,663	464,659	464,668	500,137	500,133	500,141
1331,861	1331,860	1331,862	1,052	1,050	1,051			
-616,232	-616,227	-616,233	184,999	184,998	184,995			
						Celová vzdálenost		
						5000,288	5000,287	5000,287



