



# 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

# STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ ROZMĚROVÉHO USTAVENÍ AUTOMOBILU PRO 3D MĚŘENÍ

STATISTICAL EVALUATION OF DIMENSIONAL SETTING THE CAR FOR 3D MEASUREMENT

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Čada

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Šrámek

BRNO 2018





## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Michal Čada
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Jan Šrámek
Akademický rok:	2017/18

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 bakalářské práce:

### Statistické vyhodnocení rozměrového ustavení automobilu pro 3D měření

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití 3D skenů svařené karoserie automobilu z robotizovaného centra ve výrobní lince pro ustavení hotového automobilu, kde se následně provádí 3D měření pro analýzu závad.

#### Cíle bakalářské práce:

Rešerše aktuálních přístupů pro stanovování přesnosti 3D měření karoserie.

Definice přesnosti měření a obecně zdrojů nejistot měření.

Pro konkrétní měřicí úlohu vytypovat možné zdroje nejistot, sestavit metodiku pro jejich experimentální ověření a stanovení celkové nejistoty měření.

Dokázání rozměrové shody dvou metod ustavení automobilu pro 3D měření pomocí statistického vyhodnocení.

#### Seznam doporučené literatury:

PERNIKÁŘ, Jiří. TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie II. 1. vydání. Brno: CERM, 2006. ISBN 80-214-3338-8.

ŠRÁMEK, Jan. Nejistoty měření přesných délkových měření II. Diplomová práce. VUT v Brně. FSI – ÚVSSR, Brno 2011.

EA 4/02 M. Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Evropská akreditace, 2013.

ČSN EN ISO 9001. Systém managementu kvality - požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2008.

ČSN EN ISO 10012. Systémy managementu měření - požadavky na procesy měření a měřicí vybavení. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN EN ISO 14253 1-3. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení obrobku a měřidel. Praha: Český normalizační institut, 2012.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 26. 10. 2017



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



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

## **ABSTRAKT**

Práce předkládá návrh zlepšení procesu rozměrové kontroly vyrobeného automobilu. Před samotným ověřováním rozměrovosti musí být automobil ustaven – vyrovnán do hlavního výkresového souřadného systému. Zavedený předepsaný způsob geometrického vyrovnání (3 - 2 - 1) na referenční body podvozku už v dnešní době nevyhovuje. Složitě vybavení moderních automobilů na podvozkové části brání přístupnosti k těmto bodům. Navrhovaný nový způsob vyrovnání využívá moderní laserové měřicí systémy a softwarové vybavení na zpracovávání 3D skenů. Statistickým vyhodnocením naměřených kontrolních veličin na karoserii tato bakalářská práce určuje nejmenší toleranční pásmo, pro které lze tuto navrhovanou metodu použít.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis proposes a dimensional calibration improvement concept for a newly produced car. Before the dimensional calibration itself, a car must be fit in place – aligned into the main graphical coordinate system. Prevalent method of geometric levelling (3-2-1) upon reference points of the chassis does not meet requirements of the contemporary cars, whose support frames blocks accessibility of these points. Proposed alignment method uses advanced laser measuring systems and software capable of 3D scan processing. Statistical evaluation of measured control variables on the car body this bachelor's thesis proposes minimal allowance limit, for which this method is possible to viable.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Nejistota měření, systém managementu měření, proces měření, ověřování, měřicí vybavení.

## **KEYWORDS**

Measurement uncertainty, measurement management system, measurement process, verification, measuring equipment.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Čada, Michal. *Statistické vyhodnocení rozměrového ustavení automobilu pro 3D měření*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 86 stran. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Šrámek.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Janu Šrámkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské 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 PROHLÁŠENÍ

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

V Kostelci nad Orlicí dne 15. 5. 2018



.....

Michal Čada



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b> .....	<b>19</b>
3.1	Ustavení do výkresových souřadnic .....	19
3.2	Způsob ustavení svařené karoserie automobilu .....	19
3.3	Původní způsob ustavení hotového automobilu .....	19
3.4	Inovovaný způsob ustavení hotového automobilu.....	20
<b>4</b>	<b>MĚŘENÍ JAKO PROCES</b> .....	<b>23</b>
4.1	Management kvality v moderní firmě na výrobu automobilů .....	23
4.2	Příručky VDA pro automobilový průmysl .....	24
4.3	Proces měření .....	24
4.4	Začlenění měřících procesů do výrobních procesů.....	25
4.5	Měřicí systémy a jejich začlenění ve výrobním procesu .....	26
4.5.1	Měřicí systém č. 1: In-line laserové robotické měření ve výrobní lince .....	26
4.5.2	Měřicí systém č. 2: Manuální laserové skenování hotového automobilu.....	28
<b>5</b>	<b>TEORETICKÉ VZTAHY PRO VÝPOČTY</b> .....	<b>33</b>
5.1	Nejistota měření .....	33
5.2	Vyjádření nejistoty měření, shody a neshody s tolerancemi a specifikacemi ....	33
5.3	Vlivy na nejistotu výsledků měření .....	35
5.4	Výpočet nejistoty – teorie .....	35
5.4.1	Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „A“ .....	36
5.4.2	Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „B“ .....	37
5.4.3	Zjištění kombinované standartní nejistoty.....	38
5.4.4	Vyhodnocení rozšířené standartní nejistoty .....	38
5.5	Koeficient korelace .....	38
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÉ ZJIŠTĚNÍ NEJISTOTY</b> .....	<b>41</b>
6.1	Analýza kontrolního procesu a identifikace komponent nejistoty.....	41
6.1.1	Etalon pro kontrolu pracovního prostoru 3D měřících systémů.....	41
6.1.2	Vliv teploty okolního prostředí na roztažnost etalonu.....	42
6.1.3	Osvětlení okolního prostředí .....	42
6.1.4	Metrolog provádějící měření .....	42
6.2	Největší dovolená chyba měřícího systému – MPE.....	42
6.3	Stanovení standartní nejistoty typu A u měřících systémů č. 1 a 2 .....	43
6.3.1	Postup pro praktické měření etalonu .....	43
6.3.2	Výpočet standartní nejistoty typu A měření měřícího systému č. 1.....	43
6.3.3	Výpočet standartní nejistoty typu A měření měřícího systému č. 2.....	45
6.4	Stanovení standartních nejistot typu B .....	47
6.4.1	Etalon pro kontrolu pracovního prostoru 3D měřících systémů.....	47
6.4.2	Teplotní odchylka etalonu .....	47
6.4.3	Chyba vlivem osvětlení prostředí .....	47
6.4.4	Chyba metrologa – operátora .....	47
6.5	Zjištění kombinované standartní nejistoty .....	47
6.5.1	Zjištění kombinované standartní nejistoty pro měřicí systém č. 1 .....	47
6.5.2	Zjištění kombinované standartní nejistoty pro měřicí systém č. 2 .....	48
6.6	Zjištění rozšířené standartní nejistoty pro měřicí systémy č. 1 a č. 2.....	48

6.7	Korelace středních hodnot odchylek $\Delta$ vzdáleností d1-d10 etalonu .....	48
6.8	Vyhodnocení splnění požadavků na přesnost měřících systémů č. 1 a č. 2 .....	49
<b>7</b>	<b>OVĚŘENÍ INOVOVANÉHO VYROVNÁNÍ.....</b>	<b>51</b>
7.1	Získání rozměrových dat a definování kontrolních bodů na karoserii .....	51
7.2	I. způsob vyhodnocení.....	52
7.3	II. způsob vyhodnocení .....	55
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>59</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>61</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ.....</b>	<b>63</b>
11.1	Seznam zkratk.....	63
11.2	Seznam symbolů.....	63
11.3	Seznam tabulek.....	64
11.4	Seznam obrázků.....	65
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>67</b>

# 1 ÚVOD

Osobní automobil, dopravní prostředek, se v dnešní, digitalizované době mění v prostředí, kde je možné nejen trávit čas nutný k přemístění z jednoho místa na druhé, ale také díky vyvíjenému autonomnímu řízení, konektivitě s on-line světem a moderním prvkům výbavy. Je v něm možné pracovat jako v kanceláři či trávit volný čas třeba IT zábavou, aniž by bylo nutné se nacházet na pevně daném místě k tomu určeném. Stále náročnější zákazník, pořizující si takovýto automobil, od něj vyžaduje především vysokou kvalitu zpracování, komfort a spolehlivost ve všech situacích. V neposlední řadě také vysokou míru bezpečnosti.

V minulosti, před zavedením tržního hospodářství, byla v naší zemi a celém socialistickém bloku poptávka po automobilech tak velká, že nebyl kladen dostatečný důraz na kvalitu. Důležitá byla honba za kvantitou. S úspěchem se pak prezentovalo překračování plánů o několik desítek procent. Výsledkem byly vyrobené automobily, které nepatřily k vyšší kvalitativní, bezpečnostní ani komfortní třídě v porovnání s konkurencí ve světě. Automobily byly sice funkční, ale mnohdy nespolehlivé a poruchové.

Plnění požadavků stále náročnějších zákazníků je v dnešní, velmi dynamické době stěžejní pro každou firmu, která chce být úspěšná, rozvíjející se a chce zaměstnávat kvalifikované, spolehlivé a motivované zaměstnance. V automobilovém odvětví je toto umocněno velkým tlakem světových firem, zabývajících se výrobou automobilů. Udržení se a růst na světových trzích vytváří vysoké nároky na kvalitu a systém řízení celé firmy. Dnes nelze vyrábět ve větším množství kvalitní automobil, aniž by byla z větší míry zaručena jeho prodejnost na světovém trhu. Náročné požadavky legislativy a moderního zákazníka tak přináší velký tlak na dodržování výrobních procesů, jejich zlepšování a kontrolu uvnitř firmy. Kontrolní procesy jsou začleněny přímo do výrobního toku v různých částech výroby. Vyrobený automobil je dříve, než dojde k zákazníkovi, podroben několika stupňům výstupní kontroly. K těm se řadí i proces měření hotového automobilu pro účel analýzy závad. Ověřením použitelnosti zlepšení v tomto kontrolním procesu se zabývá tato bakalářská práce.

Přehled o členění a obsahu práce:

V kapitole č. 2 je objasněn proces vzniku požadavku na měření hotového automobilu, a co je cílem této bakalářské práce.

V kapitole č. 3 je současný stav poznání, kdy je popsán původní a inovovaný způsob ustavení hotového vozu pro 3D měření.

V kapitole č. 4 je pojednáno o měření jako procesu a jeho začlenění do výrobních procesů.

V kapitole č. 5 je výčet teoretických vztahů pro výpočty použitých v této práci.

V kapitole č. 6 je popsáno praktické zjištění nejistot měřicích systémů.

V kapitole č. 7 je zpracování naměřených dat a ověření inovovaného způsobu vyrovnání hotového automobilu pro další měření.

V kapitole č. 8 je zhodnocení a diskuze k zjištěným skutečnostem.

V kapitola č. 9 je sepsán závěr s konstatováním zjištěného stavu.



## 2 MOTIVACE

K velmi důležité kontrole neboli monitoringu aktuálního stavu výroby patří proces sledování stability rozměrovosti vyráběné karoserie včetně jejích podskupin. Prokazuje se tím shoda mezi odsouhlaseným referenčním vzorkem s tolerancí a skutečným vyráběným stavem. To je prováděno na speciálních dotekových 3D měřících off-line systémech v měrovém středisku mimo výrobní linku. Moderní a rychlý způsob sériového měření je 3D laserové skenování povrchu karoserie v robotické měřící buňce, která je integrovaná přímo do výrobní linky, také nazývaná „Robotická In-Line měřící buňka“. To je umožněno díky rychlému vývoji optických měřících systémů v poslední době.

Neméně důležitá je pak také kontrola rozměrovosti vyrobeného hotového automobilu. Toto měření neprobíhá za účelem pravidelného monitoringu aktuálního stavu, ale je vyžadováno na základě procesu analýzy závad. Požadavky na analýzy závad vycházejí z podnětů kontrolního auditu hotového vozu, který je prováděn přesně danými předpisy a postupy vyškolenými pracovníky. Jsou zde definovány závady na hotovém automobilu a rozříděny dle závažnosti. Následně dochází k jejich analýze a určení „viníka“, který je zodpovědný za včasné vyřešení nevyhovujícího stavu a za přijetí opatření k minimalizaci výskytu závady v budoucnu. Ověření rozměrovosti jednotlivých dílů, skupin dílů a následně i celku, dává jednoznačný přehled o tom, kde vzniká chyba. K tomuto nesériovému analytickému měření se používají moderní, převážně manuální 3D laserové skenovací systémy.

Nesériová měření za účelem analýzy závad jsou velmi variabilní, různorodá, málo se opakující a jsou těžko nahraditelná robotickými systémy. Vyžadují velké teoretické i praktické znalosti a zkušenosti z 3D měření u pracovníků, kteří měření provádí. Je nutné se stále přizpůsobovat měřícím se zadáním a úkolům na měření, vyvolané stavy a požadavky různorodých analýz. To vyžaduje také stálé zlepšování tohoto kontrolního procesu využíváním všech dostupných možností měřících systémů, pokročilou znalost měřícího softwaru a principů měření.

Před rozvojem 3D optických měřících systémů probíhalo měření manuálním dotekovým systémem, který měl omezený rozsah měřícího prostoru a někdy i obtížnou dostupnost měřených partií. Zpracované výsledky byly omezeny na hodnoty odchylek několika sejmutých bodů. Nasazením optického laserového měření se podstatně zvýšily možnosti. Měřící rozsah je rozšířen daleko nad základní rozměry automobilu a dostupnost měřených partií uvnitř automobilu je omezena pouze vyřešením pozice skenovacího zařízení vůči automobilu. Výsledné protokoly měření umožňují vyhodnocovat měřené partie po celých tvarových plochách. Lze barevně rozlišit místa s vyboulením či propadem tvaru a v místech zájmu vyextrahovat hodnoty odchylek. Vyvstala ale také nutnost pro operátory přeorientovat se ze zavedeného dotekového snímání na zcela nové chápání možností optického měření. To s sebou právě přináší zmíněné zlepšování kontrolního procesu měření pro analýzy hotového automobilu.

Cílem této bakalářské práce je ověření navrhovaného zlepšení kontrolního procesu. Ustavení hotového automobilu do hlavního výkresového souřadného systému metodou přenesení vyrovnání přes skeny vnější části karoserie. Pomocí statistického výpočtu se zjistí nejistota měřících systémů, které vstupují do měření, a poté se dvěma způsoby ověřuje přesnost vyrovnání hotového automobilu.

Navrhované zlepšení procesu vychází z požadavku na měření hotového automobilu optickým laserovým skenovacím zařízením a je registrováno jako můj vlastní zlepšovací návrh v systému zlepšovacích návrhů ŠKODA AUTO a.s.. K této metodě ustavení automobilu do souřadného systému jsem dospěl po různých zkouškách s využitím několikaletých zkušeností při práci s manuálními dotekovými, CNC dotekovými a optickými měřidly v měrovém středisku kvality. V současné době je tento zlepšovací návrh ve schvalovacím procesu. Probíhá roční ověřování přínosů v praktickém využívání této metody.

Pro účely této bakalářské práce je „Robotická In-line 3D měřicí buňka“ dále označována jako měřicí systém č. 1 a manuální 3D laserový skenovací systém jako měřicí systém č. 2.



## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 3.1 Ustavení do výkresových souřadnic

Kvalita je definována jako *stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik objektu* [1]. To znamená také splnění požadavků na shodu s konstrukční dokumentací automobilu. Tato bakalářská práce se omezuje na rozměrovost vnějšího tvaru karoserie. Tvar vnějších dílů karoserie je definován rozměry, které jsou navrženy CAD systémy při konstrukci automobilu. Každý rozměr, každý bod tvaru má definované toleranční pole. Vybrané rozměry dílů, které mají rozhodující vliv na kvalitu výrobku, jsou určeny pro sledování vyhodnocovacími statistickými systémy. Tyto sledované body můžeme nazvat jako inherentní znaky kvality pro oblast rozměrovosti karoserie. Aby tyto znaky mohly být opakovaně korektně měřeny, je pro každý díl a skupinu dílů (dále jen měřený objekt) konstruktérem definován RPS – systém referenčních bodů, jejichž prostřednictvím se měřený objekt vyrovná do souřadnicového systému. Základní a nejlépe fungující systém je navržen dle principu 3-2-1, kdy 3 body definují rovinu, 2 definují přímku a 1 bod definuje počátek souřadného systému. Na tyto referenční body se před započítáním samotného kontrolního měření měřený objekt vyrovná. To znamená, že se díl fyzicky upevní do měřicího přípravku a měřícím dotekem nebo laserovým skenerem se sejme přibližná poloha těchto referenčních bodů. Matematicky se za pomoci měřicího softwaru provede ustavení dílu do jmenovitých souřadnic dle konstrukční polohy. Následuje ověření referenčních bodů novým sejmutím na díle a při odchylkách mimo toleranční pole se případně znovu provede matematická korekce a ověření. Správně ustavený měřený objekt má ve všech hlavních referenčních bodech odchylku v definovaném tolerančním poli i se započítanou nejistotou měření měřicího systému.

Karoserie automobilu je velice složitý a komplikovaný svařenec sestavený z větších a menších podskupin svařenců. Tyto podskupiny se dále skládají z dalších menších svařenců až jednotlivých tvarových plechových výlisků o různých tloušťkách, různých pevnostech. Pro jednoznačné určení polohy těchto dílů v celé skladbě karoserie slouží základní kartézský souřadný systém o třech souřadnicích X, Y a Z. Počátek tohoto systému je definován do středu osy přední nápravy automobilu. Jednotlivé osy poté popisují polohu takto: podélná osa X orientovaná + do zadní části karoserie, šířková osa Y + doprava z pohledu po směru jízdy a výšková osa Z + nahoru dle obr. 2).

### 3.2 Způsob ustavení svařené karoserie automobilu

Pro karoserii a taktéž pro hotový automobil jsou tyto výše objasněné body RPS definovány do čtyř otvorů na hlavních nosných dílech podlahy karoserie. Do těchto bodů je navržen ustavovací přípravek v podobě sloupů s čepy, obr. 1). Tyto jsou pevně instalovány na základně měřicího systému. Posazením karoserie na tyto sloupy s čepy je jednoznačně a pevně daná její poloha v základním souřadném systému pro další kontrolní měření měřicími systémy.

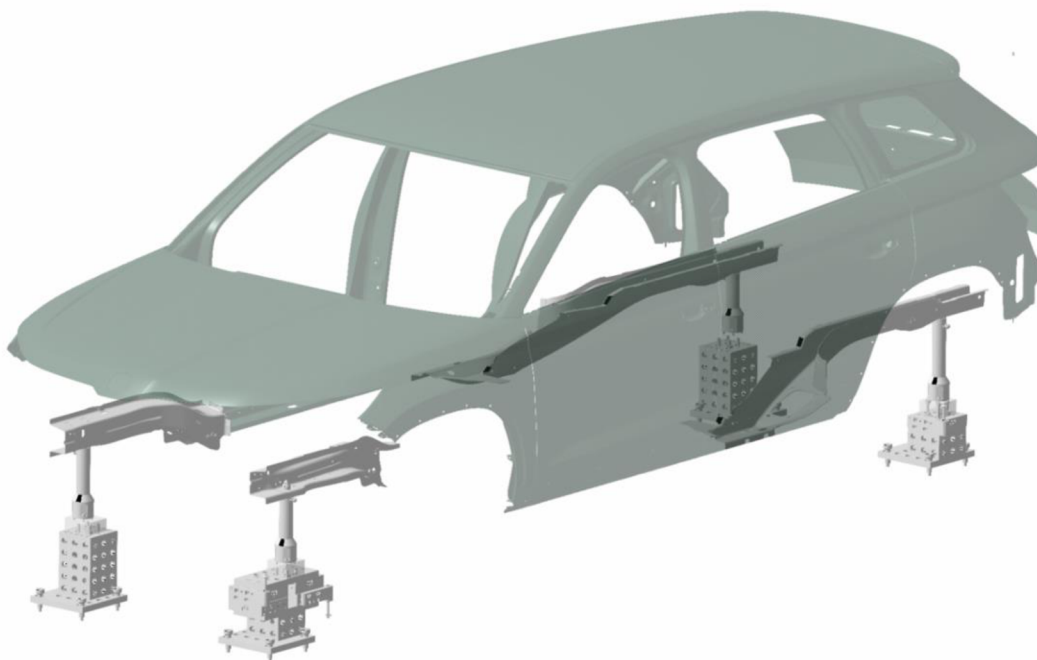
### 3.3 Původní způsob ustavení hotového automobilu

Ustavení hotového automobilu do základního výkresového souřadného systému je velmi důležitá část proto, aby byla následná geometrická měření pro analýzy závad korektní a porovnatelná s geometrickými měřeními v předešlých stupních monitorování výrobního toku. Původní výkresový způsob ustavení je založený na posazení automobilu na předem zaměřené čtyři podpěrné sloupy s čepy v místech, kde jsou výkresově definovány referenční body, stejně

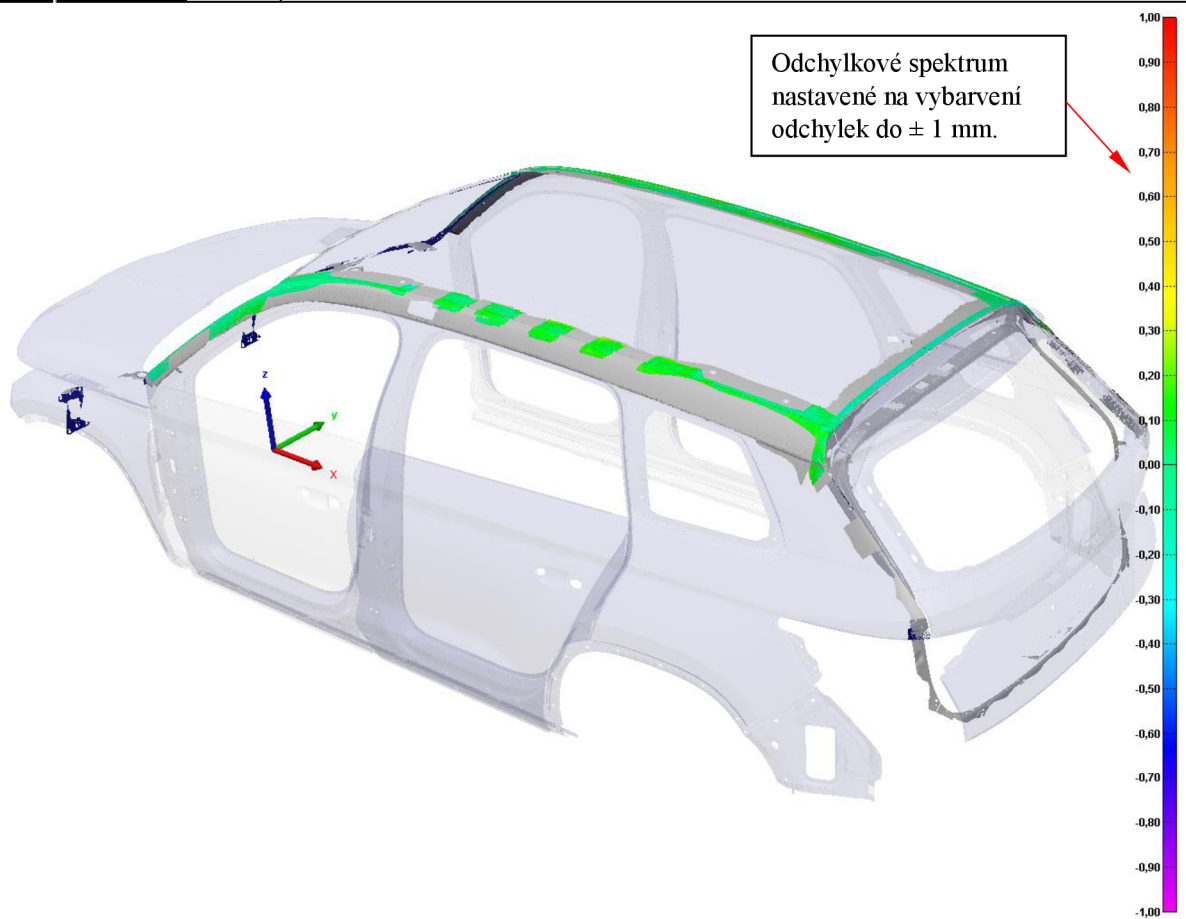
jako u svařené karoserie, obr. 1). Tento způsob je ale možný pouze u automobilů, kde jsou tyto otvory ze spodu na podvozku volně přístupné.

### 3.4 Inovovaný způsob ustavení hotového automobilu

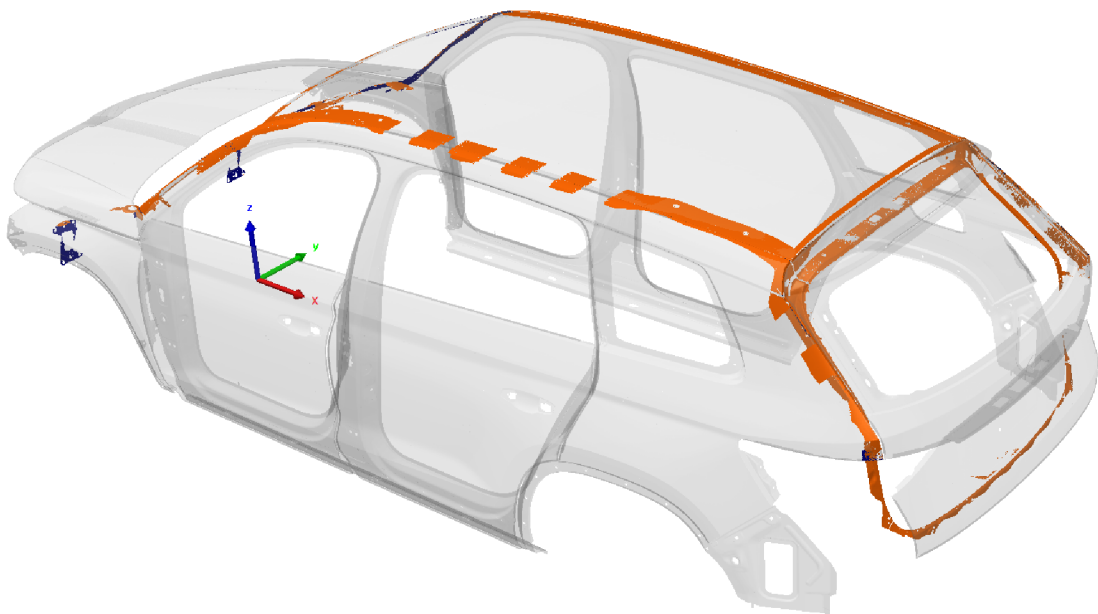
U moderních automobilů je původní, výkresový způsob ustavení stále obtížnější až nemožný. Spodní část podvozků se zastavuje různými komponenty výbavy, které referenční body překrývají. Demontáž a opětovná montáž těchto komponentů není možná. Nebyla by zaručena zpětná kontrola zástavby a utahovacích momentů, která se procesně provádí na montážní lince při výrobě. Ustavení automobilu do výkresových souřadnic se proto provádí náhradní metodou pomocí softwarového vyrovnání „Best-fit“. Vyrovnání „Best-fit“ lze popsat jako softwarové posunutí a rotování naměřeného porovnávaného skenu na referenční sken tak, aby maximální počet bodů vyhovoval nastaveným parametrům na odchylku. Referenční sken si při této softwarové operaci drží svoje původní souřadnice vztahované k vyrovnání na ustavovací přípravek. Naproti tomu naměřený porovnávaný sken se přepočítává do nových souřadnic, co nejlépe k referenčnímu skenu. Za referenční sken je brán tvar svařené karoserie z měřicího systému č. 1 ve svařovně a za naměřený porovnávaný sken tvar hotového automobilu skenovaný měřicím systémem č. 2 na pracovišti měření pro analýzy. Tímto způsobem je automobil ustaven do souřadného systému a lze na něm provádět další 3D měření. Výsledek takového vyrovnání je na obr. 2). Zelenou barvou odchylkového spektra je zde vidět, že sken porovnávaný je vyrovnán na referenční sken do  $\pm 0,2$  mm. Tato tolerance je použita pro I. způsob vyhodnocení v kapitole 7.2. V konkrétních místech kontroly rozměrnosti povrchu lze v měřicím softwaru k této barevné mapě zobrazit ještě hodnotu odchylky pomocí notifikací. Ověření správnosti tohoto softwarového vyrovnání je provedeno pomocí statistického porovnání deseti kontrolních bodů v 7. kapitole této bakalářské práce. Jako jejich jmenovité hodnoty jsou použity souřadnice na karoserii svařené, měřené ve výrobním toku svařovny obr. 3). Jako měřené souřadnice je použito měření té samé karoserie ale na hotovém voze obr. 4).



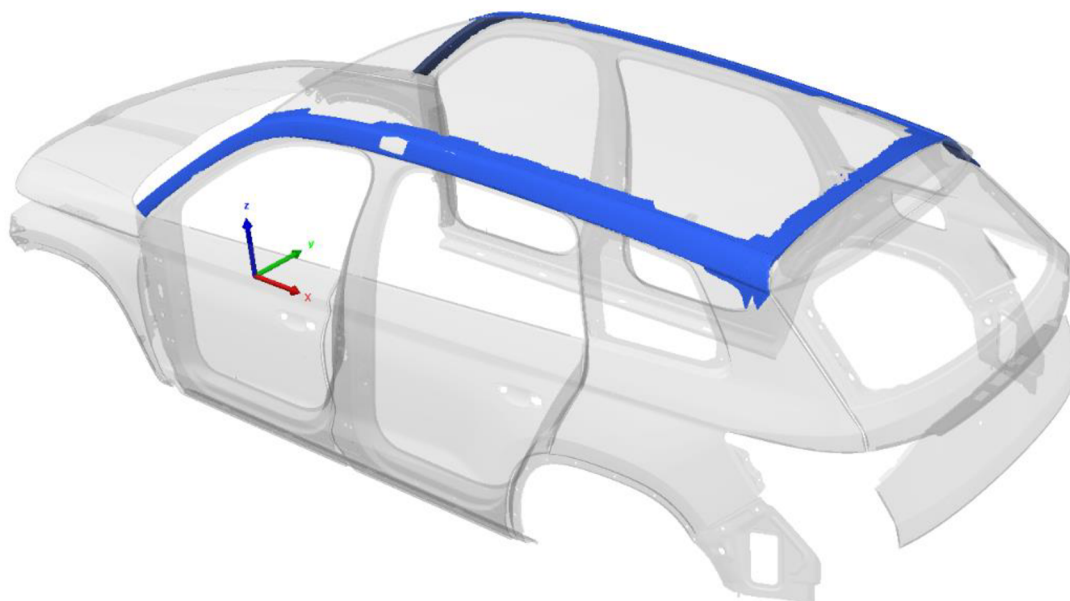
Obr. 1) Ustavovací přípravek pro karoserii s definovaným RPS [12]



Obr. 2) Výsledek softwarové metody vyrovnání „Best-fit“ [13]



Obr. 3) Naskenovaný tvar svařené karoserie měřícím systémem č. 1 [13]



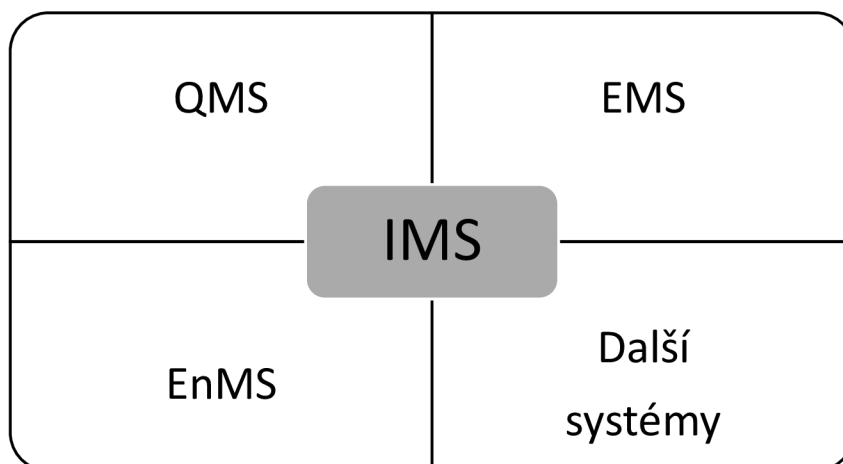
Obr. 4) Manuálně naskenovaný tvar karoserie měřícím systémem č. 2 na hotovém automobilu (zobrazeno pro představu pouze na vnějších dílech karoserie) [13]

## 4 MĚŘENÍ JAKO PROCES

### 4.1 Management kvality v moderní firmě na výrobu automobilů

Moderní firma na výrobu osobních automobilů, má-li být úspěšná, konkurenceschopná a chce-li prodávat na trhu Evropské unie zákazníkům kvalitní, spolehlivá, bezpečná a k životnímu prostředí šetrná vozidla, musí mít zavedený Systém managementu kvality (QMS) vycházející z norem řady ISO 9000. Tento systém je implementován do Integrovaného systému řízení firmy (IMS), viz obr. 5), spolu s dalšími systémy řízení jako např. Systém Environmentálního řízení (EMS) dle EN ISO 14001, Systém managementu hospodaření s energií (EnMS) dle EN ISO 50001 a další.

*Dle požadavků norem ISO a VDA, zajišťuje IMS identifikaci procesů, určuje jejich posloupnost se vzájemným provázáním. Definuje metody pro monitorování, měření procesů a jejich neustálé zlepšování pro trvale udržitelný rozvoj společnosti a spokojenost zákazníků. Zavedení, efektivnost a vhodnost IMS ve společnosti prověřuje nezávislá akreditovaná certifikační společnost při pravidelných certifikačních auditech. Posuzuje především míru shody systému řízení ve společnosti s požadavky vybraných norem [2]. Pro QMS je to posouzení shody s normou ČSN EN ISO 9001. Při úspěšném plnění těchto požadavků je udělen certifikát QMS dle ISO 9001, který je dle interní směrnice nutný pro typové schválení vozu. Bez typového schválení by nebylo možné prodávat vyrobené automobily na trhu Evropské unie. Certifikátem QMS je zákazníkovi sdělováno, že je výrobek vyroben s nejlepším vědomím a svědomím všech zaměstnanců, bezpečným a ekologickým výrobním zařízením a dle nejlepší dosažitelné kvality ve všech částech výrobního procesu. Kvalita vyrobeného automobilu je výsledkem kvality všech procesů, které probíhají ve společnosti prostřednictvím dělníků, techniků a managementu. Organizace proto musí vytvořit, zavést, udržovat a neustále zlepšovat systém managementu kvality, včetně potřebných procesů a jejich vzájemných vazeb, v souladu s požadavky mezinárodní normy ČSN ISO 9001 [2]. Tato norma prosazuje zavedení procesního přístupu při vývoji, zavádění a zlepšování efektivnosti systému managementu kvality s cílem zvýšit spokojenost zákazníka plněním jeho požadavků. Trvalé plnění požadavků a řešení budoucích potřeb a očekávání představuje pro organizaci ve stále dynamičtějším a složitějším prostředí výzvu [3].*



Obr. 5) Grafické zobrazení Integrovaného systému řízení [autor]

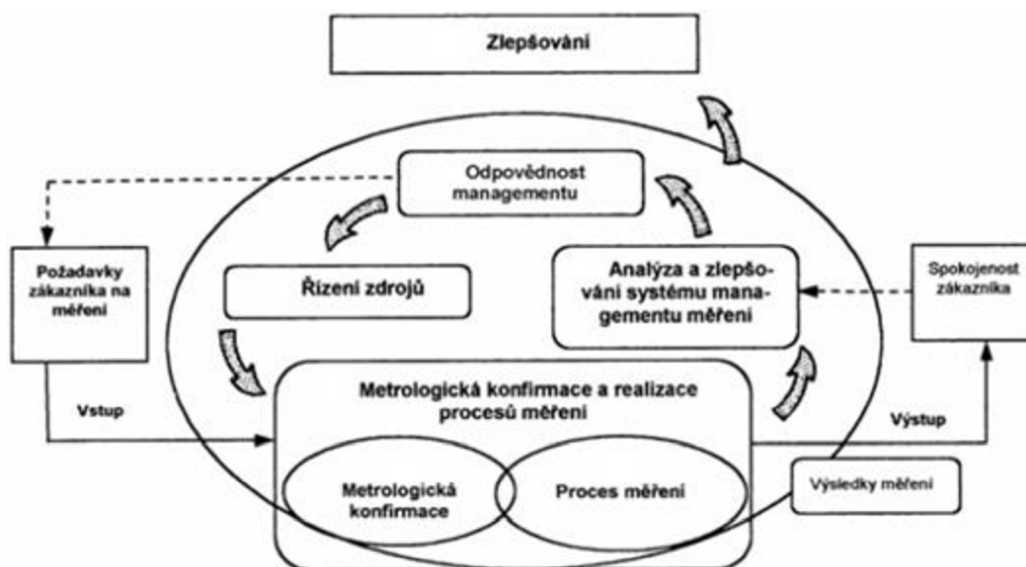
## 4.2 Příručky VDA pro automobilový průmysl

Pro automobilové odvětví jsou stanoveny speciální požadavky na QMS, označované jako „Soubor příruček VDA“ (Verband der Automobilindustrie – svaz německých výrobců automobilů a jejich dodavatelů) [5]. Mají v sobě implementovány další požadavky nad rámec norem řady ISO 9000. Upřesňují požadavky obecných norem v oblastech, které jsou specifické v tomto odvětví. Měřícím procesům se věnují příručky řady VDA 5. Je zde například popsána metodika kalibrací měřících systémů a přístrojů nebo systém ověřování přesnosti procesu měření In-line 3D měřících systémů pomocí dotykových Off-line 3D měřících strojů.

## 4.3 Proces měření

Důležitým požadavkem či doporučením normy ČSN EN ISO 9001 je monitorování a zlepšování výrobních procesů ve společnosti. Monitorování procesu výroby automobilu je prováděno měřením na různých úrovních výroby a při plnění různých technologických operací. *Organizace musí určit procesy potřebné pro systém managementu kvality, jejich aplikaci v celé organizaci a musí mimo jiné: určovat a aplikovat kritéria a metody (včetně monitorování, měření a příslušných ukazatelů výkonnosti) potřebné pro zajištění efektivního fungování a řízení těchto procesů* [3].

Procesní přístup, jak ukládá norma, vychází ze základního principu: *Konzistentních a předvídatelných výsledků se mnohem efektivněji a účinněji dosáhne v případě, že jsou činnosti pochopeny a řízeny jako vzájemně provázané procesy, které fungují jako koherentní systém* [1]. Dle definice je *proces soubor vzájemně provázaných nebo vzájemně působících činností, které využívají vstupy pro dosažení zamýšleného výsledku* [1]. *Proces měření je pak soubor činností, jejichž cílem je stanovení hodnoty veličiny* [4]. Modelové schéma managementu měření je na obr. 6). V této bakalářské práci je použit proces vedoucí ke zjištění nejistoty měření u dvou sledovaných měřících systémů. Pro tyto potřeby jsou kontrolní nominální hodnoty převzaty z kalibračních listů etalonu, jak je popsáno dále. Jako další je zde uveden proces popisující ověření inovovaného ustavení automobilu pomocí dvou způsobů statistického vyhodnocení.



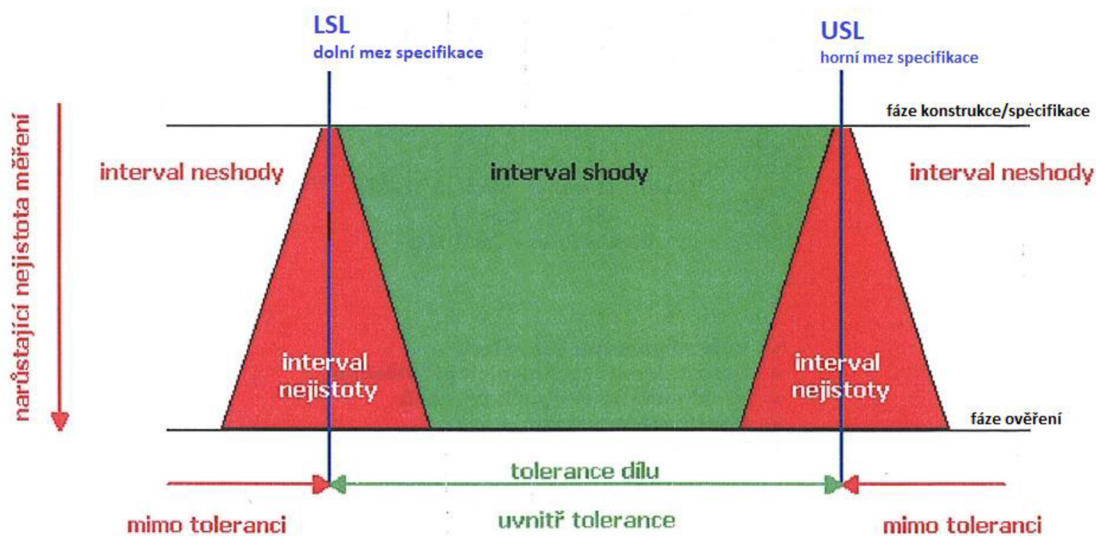
Obr. 6) Model systému managementu měření [4]



#### 4.4 Začlenění měřících procesů do výrobních procesů

Vztah výrobních procesů mezi sebou můžeme chápat jako vztah zákazník dodavatel. Výrobní část firmy, svařovna, ve svém výrobním procesu za použití vstupů a zdrojů svaří karoserii automobilu. Pokud pomíneme následující proces lakování v lakovně, můžeme tvrdit, že se svařovna stává dodavatelem pro další část firmy a tou je montáž celého automobilu. Montáž se tímto stává zákazníkem odebírající karoserii k dalšímu zpracování ve svém výrobním procesu. Výsledkem je poté hotový, funkční automobil. Aby bylo možné v montážním procesu, dle definovaných postupů a předepsaných návodů, kvalitně zastavět díly do dodané karoserie, je nutné dostat jako vstup karoserii také v požadované kvalitě. To znamená svařenou z kvalitních dodávaných dílů a v co největší shodě s výkresovou dokumentací. Shoda s výkresovou dokumentací znamená, že důležité a sledované rozměry karoserie jsou vyrobeny v daných tolerancích. Tolerance by měly být nastaveny od konstruktéra výrobku tak, aby byla zaručena zástavbová montáž dílů, jak už bylo uvedeno. Aby výsledný produkt vyhovoval platným předpisům. Musí ale být také zohledněna ekonomická náročnost výroby karoserie ve svařovně. Pro výrobu velmi přesné karoserie je zapotřebí na finance velmi náročné vybavení svařovací linky. Rovněž tlak na kvalitu dodávaných plechových výlisků je vysoký. Všechny tyto ekonomické ukazatele se musí definovat při rozhodování managementu firmy o budoucí výrobě automobilu, jeho zaměření a ceně. Z těchto rozhodnutí vzejdou následně požadavky na jednotlivé procesy včetně specifikací na kontrolní, monitorovací a měřící mechanismy. Měly by zde být specifikovány horní a dolní hranice dovolené hodnoty měřených veličin při kalibraci měřících systémů, tzv. meze specifikací. V těchto mezích se musí pohybovat naměřená maximální dovolená chyba měření měřících systémů – MPE před spuštěním do provozu ale i během provozní životnosti při pravidelných kalibracích.

Maximální dovolená chyba měření MPE musí být tak malá, aby bylo možné s dostatečným intervalem shody, který je ještě snížen o příspěvek nejistoty měření samotného měřícího systému, měřit nejmenší definovanou toleranci výrobku na daném kontrolním místě výrobního procesu. Schéma je zobrazeno na obr. 7).



Obr. 7) Interval nejistoty a interval shody, případně neshody [5]

Pro svařenou karoserii, měřenou přímo ve výrobní lince In-line měřícím systémem, je obvykle nejmenší definovaná tolerance  $\pm 0,5$  mm. Například na vzdálenosti dvou otvorů do 120 mm pro přesnou vzájemnou montáž dvou komponentů. Tuto vzdálenost s tolerancí  $\pm 0,5$  mm dokážeme s určitou spolehlivostí změřit měřidlem, které bude mít MPE – maximální dovolenou chybu 2x menší než tato tolerance, tj.  $MPE = 0,125$  mm. Tato hodnota je určující pro výběrové řízení dodavatele měřícího systému. Přesnější zařízení by bylo finančně náročné jak na pořízení a na provozní podmínky, tak na pozdější údržbu, servis a kalibraci. Po pořízení měřidla, dle specifikace a jeho instalace na určené místo, jsou dodavatelem provedena mechanická a softwarová seřízení. Provádí se ověření funkčnosti systému a ověření shody s předpisy na provoz zařízení. Ihned po těchto úkonech se provádí kalibrace. Kalibrace měřícího systému spočívá v určeném postupu kontrolních měření etalonu II. třídy takové délky, aby byl naměřenými hodnotami maximálně popsán celý používaný měřící prostor. Tato činnost se pro svou důležitost provádí za účasti pracovníka, který může tyto kalibrace provádět a má platný certifikát metrologa. Případně toto zajišťuje akreditovaná firma.

Po zpracování naměřených hodnot je zjištěna největší odchylka od etalonu a na základě opakovaných měření se statistickým výpočtem stanoví nejistota měření měřícího systému. Největší odchylka i se započítanou nejistotou musí být bez pochybností v intervalu shody se zadanou specifikací a deklarovanou maximální dovolenou chybou měření MPE dodavatelem měřícího systému. Zjištěnou nejistotu měření je nutno dále při procesu měření kontrolních veličin přiřazovat k naměřeným hodnotám.

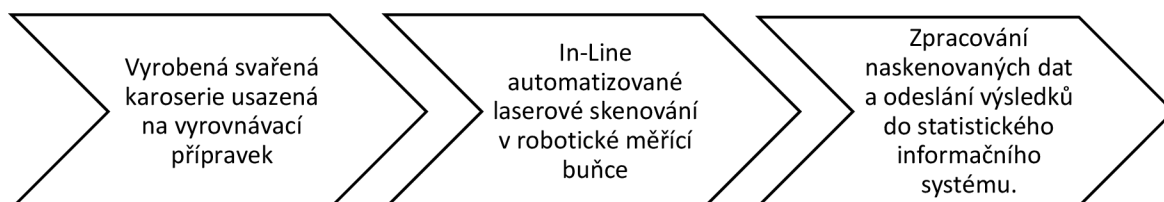
V praktické části této bakalářské práce jsou zjištěny kontrolním měřením etalonu nejistoty obou měřících systémů, které jsou použity k ověření rozměrové správnosti ustavení hotového automobilu inovovanou metodou.

## 4.5 Měřící systémy a jejich začlenění ve výrobním procesu

### 4.5.1 Měřící systém č. 1: In-line laserové robotické měření ve výrobní lince

Po vyrobení svařené karoserie se ještě na téže lince provádí In-line automatizované laserové skenování v robotické měřící buňce. Čas pro změření karoserie je zde velmi omezen. Je dán rychlostí výrobního toku a rychlostí měřícího systému. Kompletní změření karoserie je proto rozděleno na několik částí, které se pravidelně střídají. Pro monitorování celkového stavu karoserie je třeba několika karoserií jdoucích výrobní linkou za sebou.

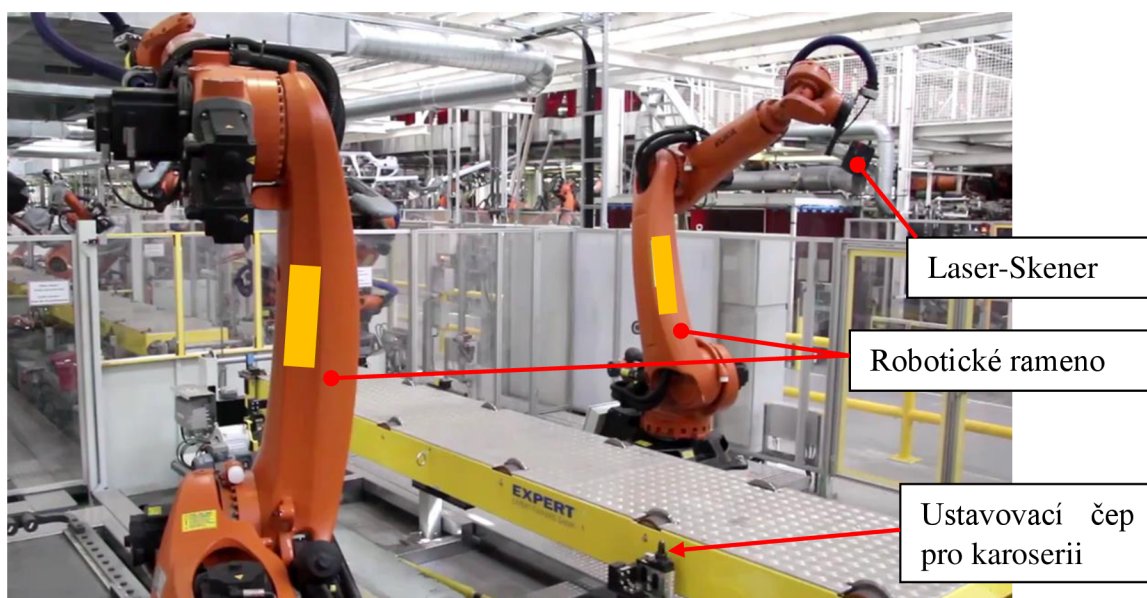
Proces měření zasazený do výrobního procesu svařovny je zobrazen na následujícím schématu, obr. 8).



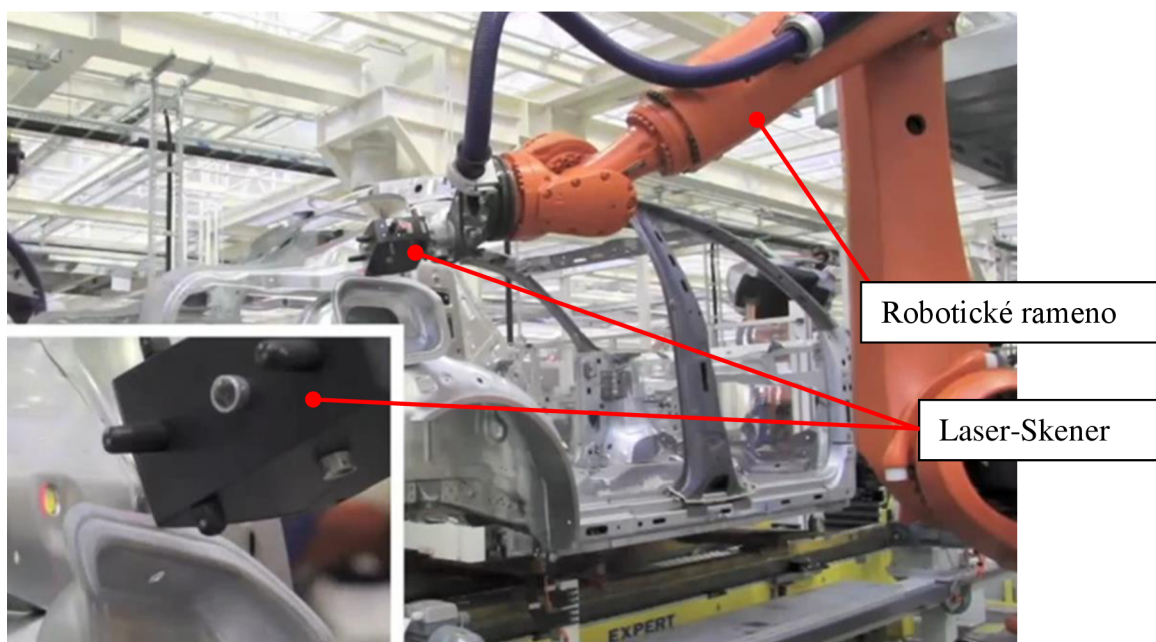
Obr. 8) Začlenění měřidla ve výrobním procesu svařovny [autor]



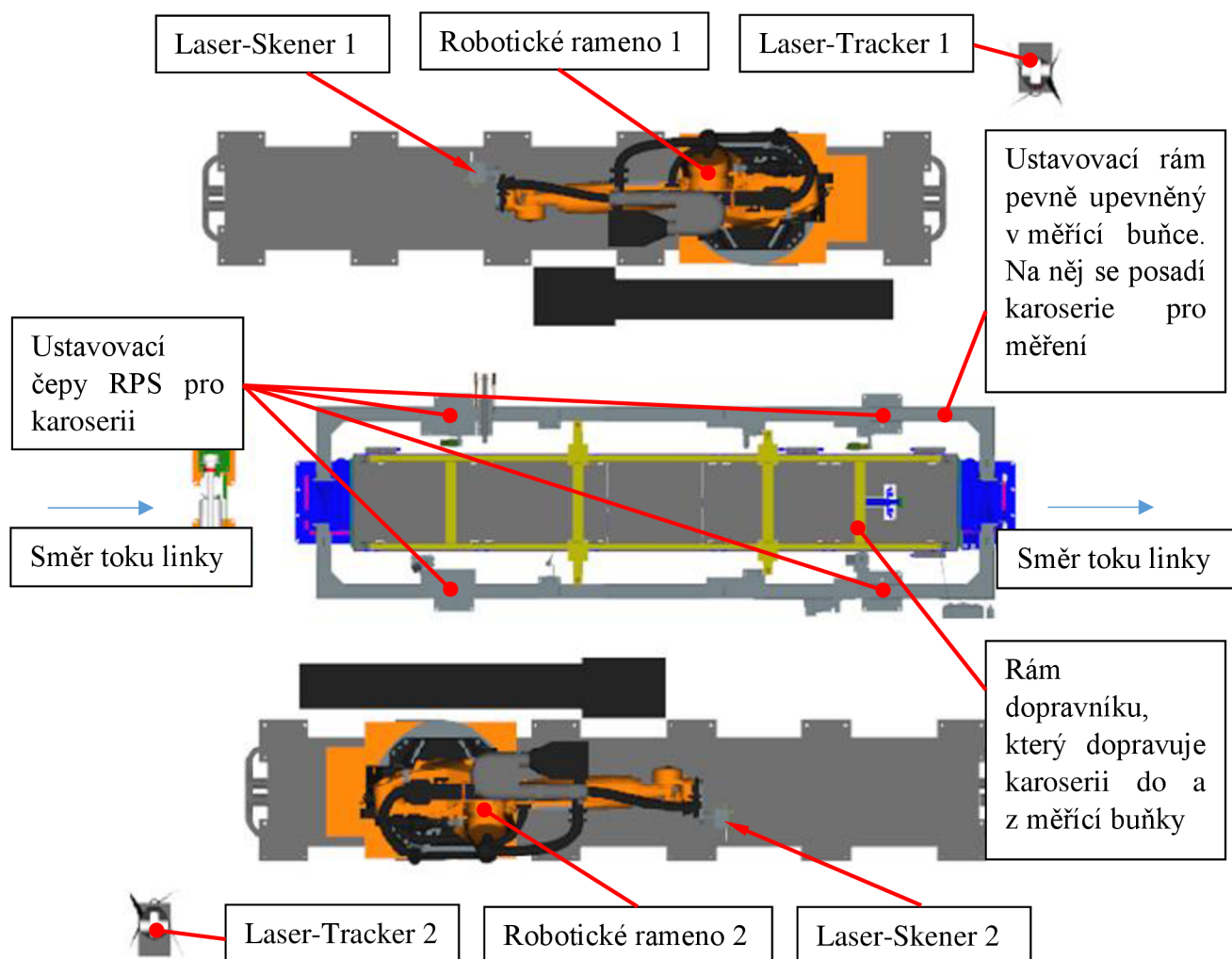
In-line robotická měřicí buňka je vybavená 2x Laser-Trackerem s 2x laserovým 3D skenerem (detailní popis zařízení je v kapitole 4.5.2.) na robotických ramenech pro měření svařené karoserie, ustavené na referenční body pomocí měřicího přípravku, ukázka na obr. 9), 10), 11). Automatizované měření probíhá dle měřicího programu, který řídí dráhy robotických ramen, náklon skenerů nad skenovaným povrchem a také spouští a zastavuje samotné skenování laserového skeneru. Extrahování měřených bodů z naskenovaných dat a jejich vyhodnocení probíhá ihned po změření v počítačové stanici přímo u měřicí buňky. Data se pak automaticky odesílají do informačního systému ke statistickému zpracování. V tomto systému pak mají zainteresovaní uživatelé možnost sledovat rozměrovost karoserie a dalších měřených podskupin výrobního procesu svařovny. Systém sám upozorňuje a signalizuje překročení nastavených tolerančních mezí.



Obr. 9) Měřicí buňka In-line laserového robotizovaného pracoviště [15]



Obr. 10) In-line automatizované laserové skenování části karoserie [15]

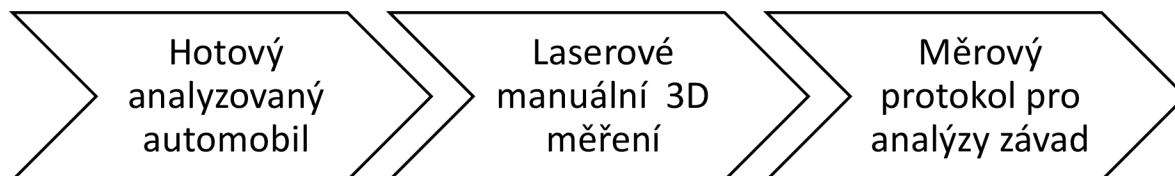


Obr. 11) Měřicí buňka robotizovaného pracoviště, pohled shora [19]

#### 4.5.2 Měřicí systém č. 2: Manuální laserové skenování hotového automobilu

Poslední kontrola rozměrovosti probíhá na hotovém voze, „Měření pro analýzy závad hotového vozu“. Pokud byly na konci výrobního procesu zjištěny nesrovnalosti s požadavky na konečnou podobu a stav automobilu, je potřeba určit zdroj chyb ve výrobním procesu a tyto v co nejkratší době odstranit. To zabezpečuje tým zabývající se analýzou závad, který pro své korektní závěry potřebuje právě 3D měření hotového vozu.

Proces měření, zasazený do kontrolního procesu centra kvality, je zobrazen na následujícím schématu:



Obr. 12) Začlenění měřidla ve výrobním procesu centra kvality [autor]

Pracoviště rozměrové analýzy hotového vozu je vybavené samostatným mobilním měřicím systémem. Skládá se z 3D Laser-Trackeru obr. 13) a samostatného 3D skeneru T-Scan obr. 14). Obě tyto části jsou spojeny kabely s výkonnou pracovní grafickou stanicí, ve které se zpracovávají naskenovaná data a jejíž součástí je i kontroler zajišťující chod celého zařízení. Skenování povrchu spočívá v ručním vedení skeneru v určité vzdálenosti od povrchu. Správná vzdálenost je indikována jednak kontrolkami na skeneru a také zeleným terčem na snímaném povrchu, který se v ideální vzdálenosti od povrchu protíná s laserovou čarou, obr. 14). Na jedné laserové čáře je možné variabilně měnit počet snímaných bodů. Rovněž intenzita vysílání laserové čáry je nastavitelná, takže je možné získat povrch o různé hustotě bodů (různě detailní). Lze sejmout až 210 000 bodů za sekundu. To je velmi důležité při dalším zpracování skenů na virtuální povrchy těles při reverzním inženýrství. Odražený paprsek laserové čáry od snímaného povrchu putuje zpět do tělesa skeneru. Polohu a náklon skeneru v prostoru monitoruje Laser-Tracker. Zobrazeno na obr. 15). Všechna data se pak přenáší kabely do počítače. Propočtem času návratu od snímaného povrchu s vlnovou délkou vysílaného laserového paprsku a polohy skeneru v prostoru se získávají měřené body povrchu s prostorovými souřadnicemi – skeny povrchu. Ty se dále zpracovávají a vyhodnocují porovnáváním s konstrukčními daty CAD přímo na počítačové stanici tohoto zařízení nebo paralelně na výkonných grafických stanicích. Výsledný měřový protokol je pak ukládán do informačního systému k dalšímu použití. Ukázka skenování povrchu automobilu je na obr. 16).

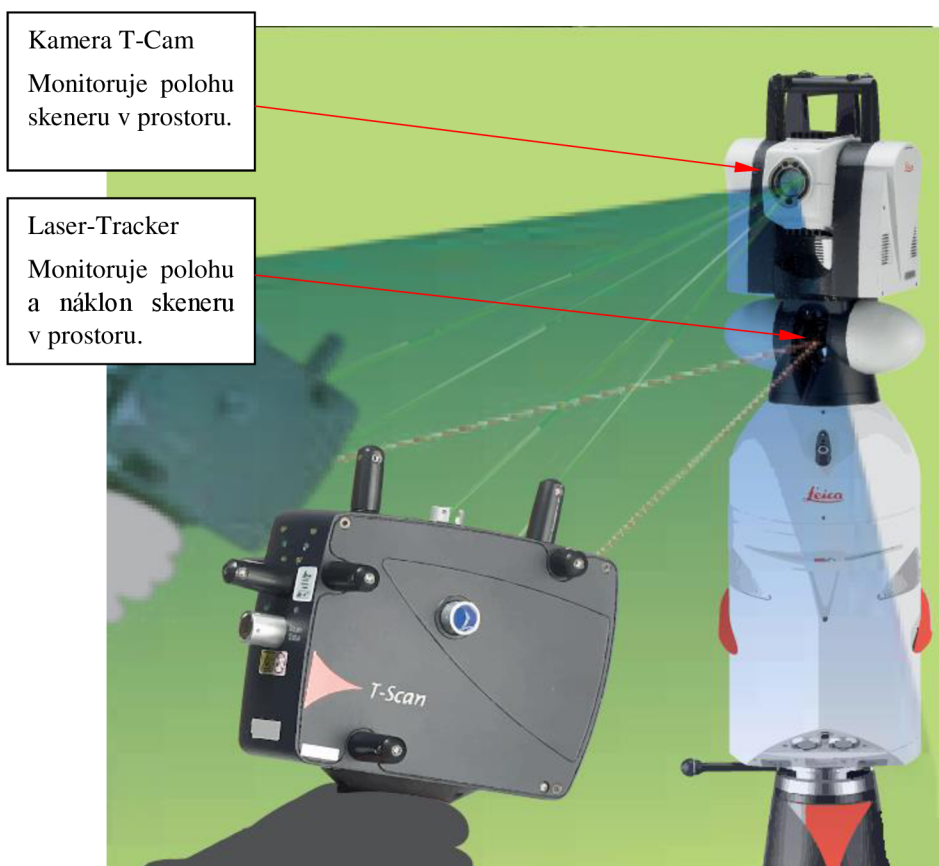


Obr. 13) Sestava 3D Laser-Tracker [14]





Obr. 14) Manuální 3D Laserový skener T-Scan při skenování povrchu [14]



Obr. 15) Detail skeneru T-Scan a 3D Laser-Trackeru [14]



Obr. 16) Ukázka práce s manuálním 3D Laserovým skenerem [14]



## 5 TEORETICKÉ VZTAHY PRO VÝPOČTY

### 5.1 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 užití informace přidružen k měřené veličině [8].* Kompletní výsledek měření je pak vyjádřen pomocí rovnice (1) [8]:

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

kde

$y'$  je kompletní výsledek měření,

$y$  je výsledek měření,

$U$  je rozšířená nejistota měření.

### 5.2 Vyjádření nejistoty měření, shody a neshody s tolerancemi a specifikacemi

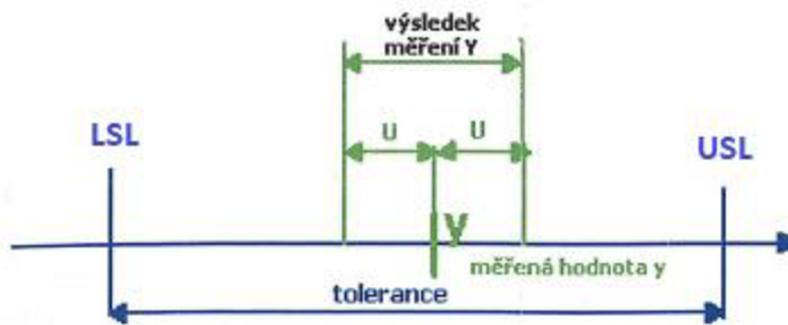
Základem určování nejistot měření je statistický přístup. Předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje, jak se může udávaná hodnota odchylovat od skutečné hodnoty, respektive pravděpodobnost, s jakou se v intervalu daném nejistotou může nacházet skutečná hodnota. Nejistotu měření můžeme interpretovat dvěma způsoby:

- Rozsah nejistoty se přiřadí přímo k naměřené hodnotě, tzv. jednostranná specifikace, obr. 17),
- Rozsah nejistoty se přiřadí na hranice pole specifikace / tolerance, tzv. dvoustranná specifikace, obr. 7).

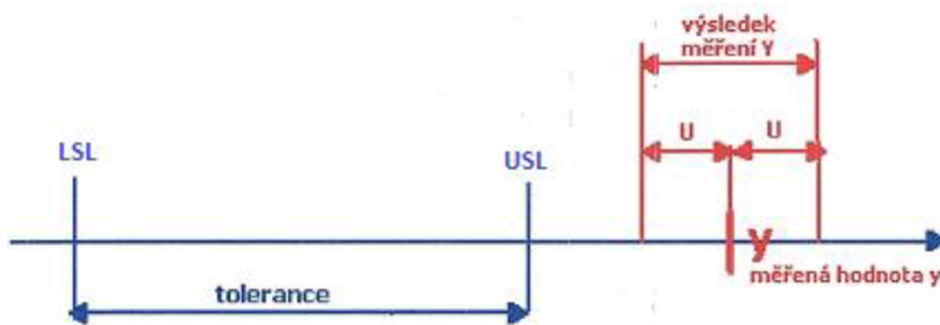
Nejistota měření vždy o nějakou konkrétní hodnotu zmenší pole shody a neshody ze specifikace měřidla. Při volbě špatného měřidla na zamýšlené měření veličiny může být pole shody tak malé, že nebude možné s jistotou shodu prokázat ani vyvrátit. Takové měření bude nespolehlivé a pro případné řešení sporů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

Pole shody 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, obr. 17). V opačném případě, kdy kompletní výsledek měření leží mimo toleranci nebo specifikaci, je jednoznačně prokázána neshoda, obr. 18). Nejasný výsledek nastává, kdy kompletní výsledek měření je na mezi specifikace. Pole přidružené nejistoty

k výsledku měření je jak v toleranci nebo ve specifikaci, tak i mimo ni. U takového případu nelze s jistotou rozhodnout, obr. 19). 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. [5] [6] [7] [8] [9]



Obr. 17) Shoda se specifikací jednoznačně prokázána [5]



Obr. 18) Neshoda se specifikací je jednoznačně prokázána [5]

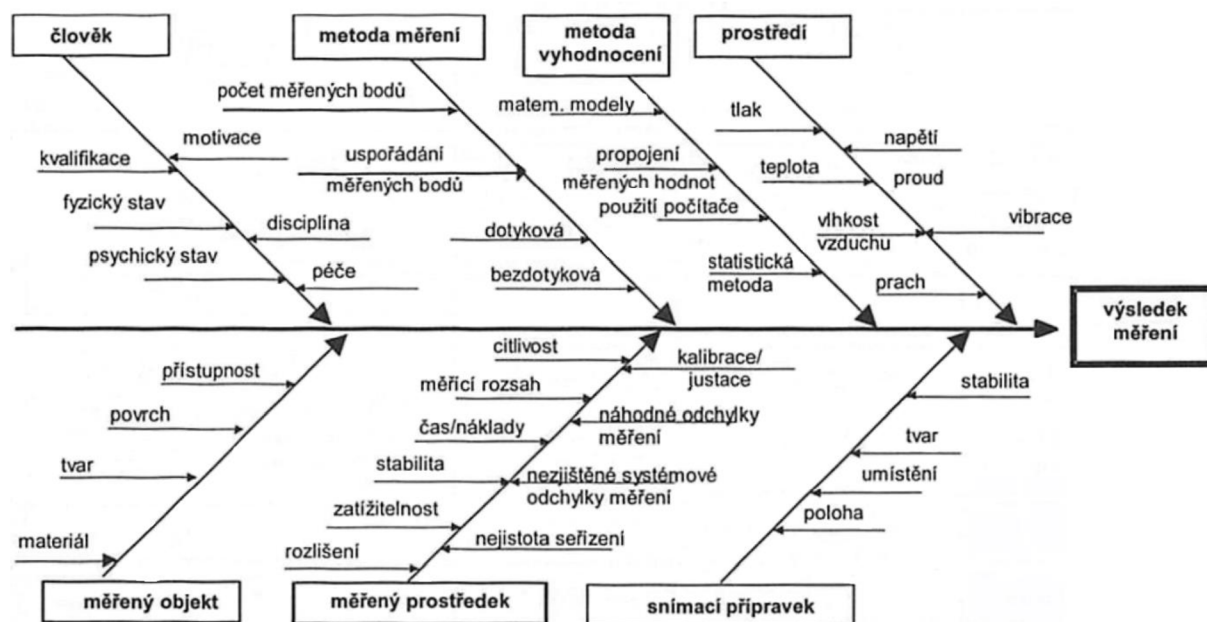


Obr. 19) Nelze jednoznačně prokázat shodu ani neshodu [5]



### 5.3 Vlivy na nejistotu výsledků měření

Analýza kontrolního procesu obsahuje identifikaci ovlivňujících veličin působících na nejistotu měření. V obr. 20) jsou znázorněny důležité komponenty působící na nejistotu výsledku měření.



Obr. 20) Důležité vlivy na nejistotu výsledků měření [5]

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 měřicí systémy),
- $Z_4$  je vliv člověka – kvalifikace, disciplína.

Detailně je toto rozpracováno v 6. kapitole.

### 5.4 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.

### 5.4.1 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 střední hodnoty – aritmetický průměr z minimálního počtu měření  $n = 10$  dle vztahu (2) [9]:

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

kde

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

$n$  je počet měření,

$x_i$  je výsledek měření.

Směrodatná odchylka rozdělení výběru založená na  $n$  hodnotách měření.  $s_x$  je odhad směrodatné odchylky rozdělení  $\sigma$ , dle vztahu (3) [9]:

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

Výběrová směrodatná odchylka vypočítaná dle vztahu (4) [9] je pak zároveň standartní nejistotou typu A ( $u_A$ ):

$$u_A = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}. \quad (4)$$

Pokud je počet měření  $n < 10$ , je nutné standartní nejistotu typu A rozšířit koeficientem  $k_s$  na obr. 21), 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 [11]).

<b>n</b>	9	8	7	6	5	4	3	2
<b><math>k_s</math></b>	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

Obr. 21) Tabelované hodnoty  $k_s$  pro počet měření  $n$  [11]

$$u_A = s_x \times k_s. \quad (5)$$

## 5.4.2 Standartní nejistota vyhodnocená způsobem „B“

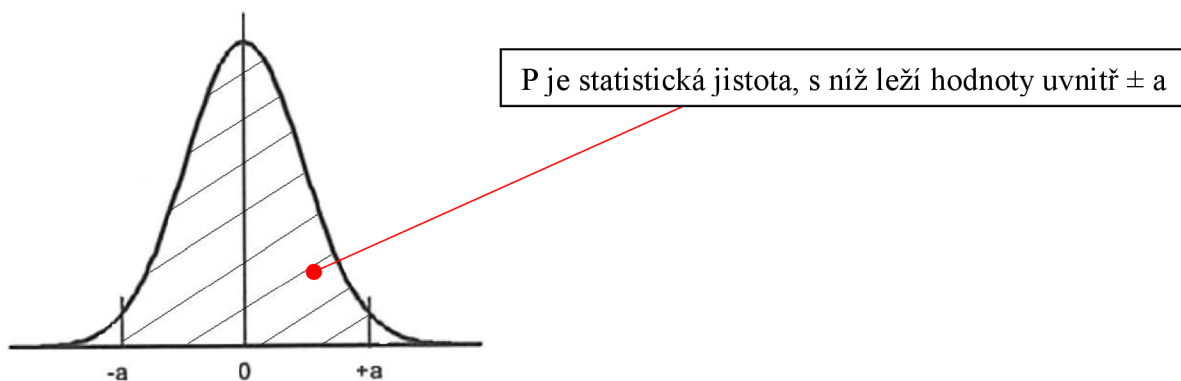
Tato metoda popisuje určení standartní nejistoty typu **B** ( $u_{Bzj}$ ), která je stanovena jinak než statistickým zpracováním opakovaně naměřených hodnot. Je nutné ke všem vytipovaným možným vlivům na měření  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ , viz kapitola 5.3, přiřadit nejistotu typu B  $u_{Bzj}$ . To může být například *převzetím hodnot z technické dokumentace, z kalibračních listů, z údajů výrobce atd./ nebo odhadem* [11].

### 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  $\chi$ .

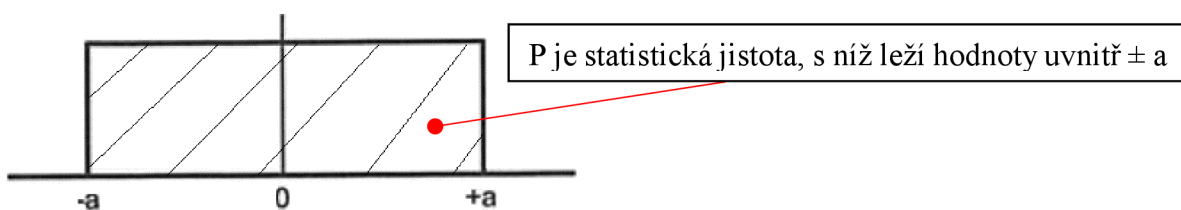
Je-li pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu vyšší než výskyt hodnot v krajním intervalu, použijeme normální rozdělení. V případě, že rozdělení pravděpodobnosti odchylek v intervalu  $\pm Z_{max}$  je přibližně stejné nebo je není možné posoudit, předpokládá se stejná hodnota pravděpodobnosti pro všechny odchylky, tzn. volíme rovnoměrné rozdělení [11].

Normální (Gaussovo) rozdělení, obr. 22), 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 [11].



Obr. 22) Normální (Gaussovo) rozdělení:  $P = 95,45 \%$ ,  $\chi = 2$  [9]

Rovnoměrné (pravoúhlé) rozdělení, obr. 23), 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 [11].



Obr. 23) Rovnoměrné rozdělení:  $P = 100 \%$ ,  $\chi = \sqrt{3}$  [9]

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

$$u_{Bzj} = \frac{\Delta Z_{max}}{\chi} , \quad (6)$$

kde  $\chi$  se volí dle rozdělení. Tato konstanta udává poměr maximální hodnoty  $\Delta Z_{max}$  ku směrodatné odchylce normálního rozdělení [11].

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 [9].

Nejistota je vyjádřena jako „rozšířená nejistota“  $U$  s uvedeným „koeficientem rozšíření“  $k$  v souladu s GUM [9]:

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

### 5.4.3 Zjištění kombinované standardní nejistoty

Kombinovanou nejistotu  $u_c$  stanovíme dle vztahu (8) [11]:

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

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

### 5.4.4 Vyhodnocení rozšířené standardní nejistoty

je dána vztahem (9) [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  $\pm U$ , viz kapitola č. 5.1.

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

## 5.5 Koeficient korelace

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 (10) kladný, značí přímou lineární závislost hodnot  $\vartheta$  na hodnotách  $\zeta$ . Při výsledné hodnotě korelačního koeficientu blízcímu se hodnotě +1 můžeme prohlásit, že dva vzorky  $\zeta$  a  $\vartheta$  korelují. Naopak při hodnotě blízcí 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 [18].

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta_i - \bar{\zeta})(\vartheta_i - \bar{\vartheta})}{s(\zeta)s(\vartheta)}, \quad (10)$$

kde

$r$  je koeficient korelace,

$n$  je počet měření,

$\zeta_i$  je střední hodnota kontrolního bodu měřicího systému č. 1,

$\vartheta_i$  je střední hodnota kontrolního bodu měřicího systému č. 2,

$\bar{\zeta}$  je aritmetický průměr kontrolních bodů měřicího systému č. 1,

$\bar{\vartheta}$  je aritmetický průměr kontrolních bodů měřicího systému č. 2,

$s(\zeta)$  je směrodatná odchylka kontrolních bodů měřicího systému č. 1,

$s(\vartheta)$  je směrodatná odchylka kontrolních bodů měřicího systému č. 2.

Směrodatná odchylky  $s(\theta)$  a  $s(\vartheta)$  pro výpočet korelace se vypočítá podle vztahů (11)(12) [18].

$$s(\zeta) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta_i - \bar{\zeta})^2} \quad (11)$$

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



## 6 PRAKTICKÉ ZJIŠTĚNÍ NEJISTOTY

### 6.1 Analýza kontrolního procesu a identifikace komponent nejistoty

Prvním krokem k definování možných zdrojů příspěvků k nejistotě měření je jejich identifikace v procesu měření. Jako vodítka může sloužit tzv. rybí kost, obr. 20), kde jsou vypsány nejdůležitější známé vlivy. Pro účely této bakalářské práce byly vytipovány tyto následující vlivy:

#### 6.1.1 Etalon pro kontrolu pracovního prostoru 3D měřících systémů

Pro kalibrační činnosti v provozu musí být etalony navázány na firemní etalon I. třídy. Ten je dále navázán na primární státní etalony délky ČMI v Praze, které realizují základní jednotku soustavy SI 1 metr. Současná platná definice: *metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu  $1/299\,792\,458$  sekundy* [17][17]. Pro kalibraci měřících systémů s velkým měřícím prostorem se používá odpovídající etalon. Je to 5000 mm dlouhé těleso obdélníkového průřezu, obr. 24). Plášť je vyroben částečně z hliníku a částečně z uhlíkových vláken. Vnitřek je pak vyplněn pěnou. To vše z důvodu tuhosti, hmotnosti a co nejmenší teplotní roztažnosti celého tělesa která je  $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \mu\text{m}$  na délce 500 mm, příloha 1). Na horní části tělesa jsou umístěny přes pružné planžety přesné keramické koule o průměru 25 mm, obr. 25 a). Pro zkoušky, kde se používá laserové skenování, mají tyto koule upravený povrch matnou šedivou barvou. Mezi tyto koule je pak umístěno celkem 10 rozpěných tyčí z uhlíkových vláken o délce cca 500 mm, obr. 25 b). Vzdálenosti středů vždy dvou sousedních koulí jsou pak kalibrační navázané délkové rozměry. Součtem všech deseti úseků získáme celkový rozměr 5000 mm pro kontrolu měřícího prostoru měřidla. Nejistota tohoto etalonu je uvedena na kalibračním listu, příloha 1).



Obr. 24) Kontrolní těleso „Kugelstab 5000 mm fy. KOBA“ na 3D souřadnicovém dotykovém měřícím stroji [16]



Obr. 25) a) Detail keramické koule [16], b) Detail rozpěrné tyče [16]

### 6.1.2 Vliv teploty okolního prostředí na roztažnost etalonu

Měřicí systém č. 1 je integrovaný přímo do výrobní linky, a proto nemůže mít svoje klimatizované prostředí s pevně danou teplotou. Variabilita teploty okolního prostředí ale i tak není velká. Odhad pro stanovení nejistoty tu byl v rozmezí  $24\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .

Měřicí systém č. 2 pracuje v klimatizované hale měrového střediska. Teplotní kolísání je zde minimální. Zaznamenaná teplota pro stanovení nejistoty tu byla  $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ .

### 6.1.3 Osvětlení okolního prostředí

Protože se jedná o měřicí systémy pracující s laserovými skenery, může okolní osvětlení zanést do měření svůj podíl nejistoty. Osvětlení ve výrobním provozu je stále od výbojkových stropních reflektorů. Je ale narušováno denním světlem procházejícím ze střešních světlíků a od svařovacích zařízení v okolí. V měrovém středisku je možné osvětlení vypnout, a tak jeho vliv na měření minimalizovat.

### 6.1.4 Metrolog provádějící měření

U robotizovaného pracoviště lze předpokládat, že každé opakované měření bude co do pohybu skeneru kolem povrchu karoserie stejný. Tento vliv tedy zanedbáme.

U manuálního měřicího systému je naopak vliv metrologa pracujícího se skenerem patrný. Projevuje se zde zkušenost a praxe se skenováním různých povrchů. Jsou zde nutné znalosti s nastavením intenzity laserového paprsku, sklonu a filtrací sejmutých mračen bodů a dalších proměnných parametrů. Je nutná zkušenost s vedením ručního skeneru kolem povrchu automobilu.

## 6.2 Největší dovolená chyba měřicího systému – MPE

Je to hodnota největší chyby měřicího systému, kterou garantuje dodavatel měřicího systému při výběrovém řízení v celém měřicím rozsahu. Splnění dodacích podmínek se ověřuje ihned po uvedení do provozu a následně se ověřuje dodržení této hodnoty v pravidelných intervalech kalibrací. V této bakalářské práci se tento údaj, uveden v příloze 2) a 3), použije pro porovnání aritmetického průměru se zjištěnou nejistotou měření, zda systém splňuje nebo nespĺňuje požadavky na přesnost.



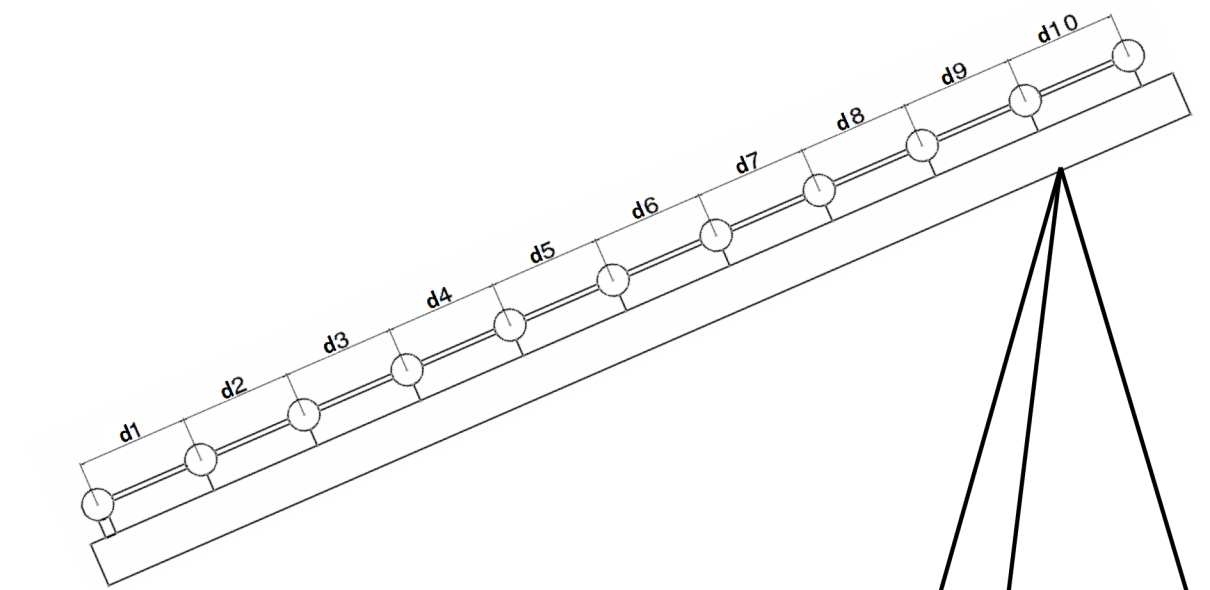
## 6.3 Stanovení standartní nejistoty typu A u měřících systémů č. 1 a 2

### 6.3.1 Postup pro praktické měření etalonu

Kontrolní těleso, etalon, je umístěno do měřícího prostoru měřícího systému úhlopříčně s jedním koncem etalonu dole a druhým podepřeným do výšky stativem, viz obr. 26). Provede se skenování jednotlivých koulí, a to od nejnižší po nejvyšší postupně desetkrát po sobě. Každá sada skenů se označí pořadovým číslem.

Etalon se přestaví do nové úhlopříčky a skenování se opakuje. Protože se měření karoserie provádí současně oběma robotickými rameny, tzv. měření v duplexu, kontroluje se první polovina etalonu jedním ramenem a druhá polovina druhým ramenem. Celkem se takto naskenují prvky etalonu ve čtyřech úhlopříčkách a lineárních osách X, Y a Z. Pro osy Y a Z se použije těleso etalonu zkrácené. Tímto kontrolním postupem se pokryje většina měřícího prostoru.

Následuje softwarové zpracování, kdy se ze skenů povrchů koulí vyextrahují geometrické prvky, středy koulí. Softwarovou funkcí jsou sousední geometrické prvky spojovány do vzdáleností, kterým je pak jednotlivě přiřazena jmenovitá hodnota délky dle kalibračního listu etalonu kontrolního tělesa. Vzdálenosti se označují systémem „d1“ až „d10“ podle obr. 26), přičemž „d1“ značí výchozí začátek. Odchytky na těchto vzdálenostech jsou použity k výpočtům nejistoty měřícího systému.



Obr. 26) Pořadí měřených vzdáleností kontrolního etalonu [12]

### 6.3.2 Výpočet standartní nejistoty typu A měření měřícího systému č. 1

Z důvodu složitosti provést kontrolní měření u měřícího systému integrovaného ve výrobní lince, byly pro výpočet nejistoty měření použity naměřené hodnoty zaznamenané při poslední kalibraci, po uvedení systému do provozu, příloha 2). Pro výpočet nejistoty bylo vybráno měření etalonu „Poloha diagonálně D2“, kde byly naměřeny největší odchytky, příloha 2), strana 4. Byly provedeny pouze tři cykly měření  $n < 3$ . *Není proto možné učinit kvalifikovaný odhad na základě zkušeností, lze tak stanovit standartní nejistotu typu A ze vztahu (5) [11].* Pro  $n = 3$  je pak  $k_s = 2,3$  [11].

Tab 1) Vyhodnocení dílčích vzdáleností etalonu měřené měřícím systémem č. 1.

Kontrolovaná vzdálenost etalonu $d_i$ [mm]	Aritmetický průměr odchylek ze tří měření D2_1, D2_2 a D2_3 z přílohy 2) strana 4: $\overline{\Delta x_{1d_i}}$ [mm] dle vztahu (2)	Směrodatná odchylka rozdělení výběru $S_{x1d_i}$ ze 3 měření dle vztahu (3)	Vypočítaná nejistota typu A $u_{A1d_i}$ [mm] dle vztahu (5)
<b>d1: 500,0078</b>	-0,0238	0,0020	0,0046
<b>d2: 499,9578</b>	0,0069	0,0156	0,0358
<b>d3: 500,0750</b>	-0,0040	0,0092	0,0211
<b>d4: 500,0466</b>	-0,0103	0,0162	0,0372
<b>d5: 500,0685</b>	-0,0112	0,0103	0,0236
<b>d6: 499,9782</b>	0,0211	0,0156	0,0358
<b>d7: 500,0325</b>	-0,0075	0,0168	0,0387
<b>d8: 499,9749</b>	0,0074	0,0168	0,0386
<b>d9: 499,9907</b>	0,0083	0,0333	0,0766
<b>d10: 500,1008</b>	-0,0048	0,0135	0,0311

Legenda: Hodnoty vzdáleností d1-d10 etalonu jsou uvedeny v příloze 1). Aritmetické průměry jsou vypočítány z naměřených odchylek jednotlivých vzdáleností d1-d10 uvedených v příloze 2) strana 4.

Pro zjištění nejistoty měření bude dále zpracovávána hodnota na součtové vzdálenosti etalonu 5 000,2328 mm:

Tab 2) Vyhodnocení celkové vzdálenosti etalonu měřené měřícím systémem č. 1.

Cyklus měření z přílohy 2) strana 4	Kontrolovaná součtová vzdálenost etalonu $\sum_{i=1}^{10} d_i$ [mm]	Součet naměřených úseků D2_1, D2_2 a D2_3 v příloze 2) strana 4 $\sum_{i=1}^{10} x_{1D2_i}$ [mm]	Odchylka od etalonu [mm], $\Delta x_{1D2_i}$
<b>1.</b>	5 000,2328	5 000,2030	-0,0298
<b>2.</b>	5 000,2328	5 000,2040	-0,0288
<b>3.</b>	5 000,2328	5 000,2380	0,0052

Tab 3) Výpočet nejistoty typu A měřícího systému č. 1.

Kontrolovaná součtová vzdálenost etalonu $\sum_{i=1}^{10} d_i$ [mm]	Aritmetický průměr odchylek ze tří měření: $\bar{x}_1$ [mm] dle vztahu (2)	Směrodatná odchylka rozdělení výběru $S_{x1}$ ze 3 měření dle vztahu (3)	Vypočítaná nejistota typu A $u_{A1}$ [mm] dle vztahu (5)
<b>5 000,2328</b>	<b>-0,0178</b>	<b>0,0199</b>	<b>0,0458</b>

Aritmetický průměr měřícího systému č. 1:  $\bar{x}_1 = -0,0178$  [mm]

Nejistota typu A měřícího systému č. 1:  $u_{A1} = 0,0458$  [mm]

### 6.3.3 Výpočet standardní nejistoty typu A měření měřicího systému č. 2

Manuální měřicí systém je schopný skenovat povrchy v rozsahu 360° kolem Laser-Trackeru do vzdálenosti 9 m (omezeno dosahem kabelů systému). Pro kontrolu celého měřicího prostoru systému při kalibraci slouží speciální software dodavatele, který prověřuje postupně všechny komponenty. Jsou k tomuto také nutné další kontrolní etalony v podobě artefaktů přesné roviny, přesné matné koule o průměru  $D = 120$  mm, měřky délky  $L = 1000$  mm s přesnou koulí na obou koncích a zkušební těleso o délce  $L = 750$  mm s „hnízdy“ pro přesný reflektor. Snáze tak lze identifikovat tu část systému, která do měření zanáší největší chyby měření.

Ke zjištění nejistoty měření měřicího systému č. 2 a pro účely této bakalářské práce bylo provedeno měření stejného etalonu jako u měřicího systému č. 1. Měřena byla jedna prostorová úhlopříčka, na které proběhlo celkem  $n = 10$  cyklů měření etalonu. Není tedy potřeba rozšiřovat vypočítanou nejistotu typu A koeficientem  $k_s$ .

Tab 4) Vyhodnocení dílčích vzdáleností etalonu měřené měřicím systémem č. 2.

Kontrolovaná vzdálenost etalonu $d_i$ [mm]	Aritmetický průměr odchylek z přílohy 4): $\Delta x_{2d_i}$ [mm] dle vztahu (2)	Směrodatná odchylka rozdělení výběru $S_{x2}$ dle vztahu (3)	Vypočítaná nejistota typu A $u_{A2d_i}$ [mm] dle vztahu (4)
<b>d1: 500,0078</b>	-0,0046	0,0182	0,0058
<b>d2: 499,9578</b>	0,0035	0,0216	0,0068
<b>d3: 500,0750</b>	-0,0063	0,0211	0,0067
<b>d4: 500,0466</b>	-0,0109	0,0120	0,0038
<b>d5: 500,0685</b>	-0,0016	0,0094	0,0030
<b>d6: 499,9782</b>	0,0062	0,0220	0,0070
<b>d7: 500,0325</b>	0,0119	0,0191	0,0060
<b>d8: 499,9749</b>	-0,0112	0,0222	0,0070
<b>d9: 499,9907</b>	0,0234	0,0284	0,0090
<b>d10: 500,1008</b>	-0,0072	0,0307	0,0097

Legenda: Hodnoty vzdáleností d1-d10 u etalonu jsou uvedeny v příloze 1). Naměřené hodnoty a vypočtené hodnoty aritmetických průměrů odchylek jsou uvedeny v příloze 4).

Pro zjištění nejistoty měření bude dále zpracovávána hodnota na součtové vzdálenosti etalonu 5 000,2328 mm:

Tab 5) Vyhodnocení celkové vzdálenosti etalonu měřené měřicím systémem č. 2.

Cyklus měření	Kontrolovaná součtová vzdálenost etalonu $\sum_{i=1}^{10} d_i$ [mm]	Součet naměřených úseků $\sum_{i=1}^{10} x_{2i}$ [mm]	Odchylka od etalonu [mm], $\Delta x_{2i}$
<b>1.</b>	5 000,2328	5 000,1850	-0,0478
<b>2.</b>	5 000,2328	5 000,3020	0,0692
<b>3.</b>	5 000,2328	5 000,1770	-0,0558

4.	5 000,2328	5 000,1880	-0,0448
5.	5 000,2328	5 000,2550	0,0222
6.	5 000,2328	5 000,2770	0,0442
7.	5 000,2328	5 000,2870	0,0542
8.	5 000,2328	5 000,2040	-0,0288
9.	5 000,2328	5 000,2050	-0,0278
10.	5 000,2328	5 000,2800	0,0472

Tab 6) Výpočet nejistoty typu A měřicího systému č. 2.

Kontrolovaná součtová vzdálenost etalonu $\sum_{i=1}^{10} di [mm]$	Aritmetický průměr odchylek: $\bar{x}_2 [mm]$ dle vztahu (2)	Směrodatná odchylka rozdělení výběru $s_{x2}$ z 10-ti měření dle vztahu (3)	Vypočítaná nejistota typu A $u_{A2} [mm]$ dle vztahu (4)
5 000,2328	0,0032	0,0487	0,0154

Aritmetický průměr měřicího systému č. 2:  $\bar{x}_2 = 0,0032 [mm]$

Nejistota typu A měřicího systému č. 2:  $u_{A2} = 0,0154 [mm]$

## 6.4 Stanovení standardních nejistot typu B

### 6.4.1 Etalon pro kontrolu pracovního prostoru 3D měřících systémů

Kalibrační list etalonu délky 5 000 mm, příloha 1), kde je uvedena jeho nejistota:

$$U = 3 + 2,7 \cdot L = 3 + 2,7 \cdot 5 = 16,5 [\mu m] \quad (L \text{ v m}).$$

Tyto hodnoty jsou rozšířené koeficientem  $k=2$ , proto je upravíme vztahem (7).

$$\text{Měřicí systém č. 1 a 2:} \quad u_{Bz1} = \frac{16,5}{2} = 8,25 [\mu m]$$

### 6.4.2 Teplotní odchylka etalonu

Teplota prostředí při měření měřícího systému č. 1 ve výrobní hale byla  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Teplota prostředí při měření měřícího systému č. 2 v měrovém stř. byla  $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Teplotní roztažnost etalonu:  $\alpha_1 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  na délce  $L = 500 \text{ mm}$ , příloha 1).

Mezní hodnota chyby "a" na délce 5m [9]:

$$a = 2 \cdot \alpha_1 \cdot L = 2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 0,001 [\text{mm}] = 1 [\mu m]$$

Hodnota „a“ dosazena do vztahu (6), uvažujeme rovnoměrné rozdělení.

$$\text{Měřicí systém č. 1 a 2:} \quad u_{Bz2} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58 [\mu m]$$

### 6.4.3 Chyba vlivem osvětlení prostředí

Mezní chyba se kvalifikovaně odhadne dle zkušeností získaných několikaletou praxí s optickým měřením na  $25 \mu m$  u měřícího systému č. 1 a  $10 \mu m$  u měřícího systému č. 2. Hodnoty dosazeny do vztahu (6), uvažujeme rovnoměrné rozdělení.

$$\text{Měřicí systém č. 1:} \quad u_{Bz31} = \frac{25}{\sqrt{3}} = 14,4 [\mu m]$$

$$\text{Měřicí systém č. 2:} \quad u_{Bz32} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,8 [\mu m]$$

### 6.4.4 Chyba metrologa – operátora

Jak bylo uvedeno v analýze kontrolního procesu a identifikaci komponent nejistoty, zanedbáme tento vliv u měřícího systému č. 1. U měřícího systému č. 2 odhadneme maximální chybu na  $10 \mu m$ . Hodnoty dosadíme do vztahu (7), uvažujeme rovnoměrné rozdělení.

$$\text{Měřicí systém č. 2:} \quad u_{Bz4} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,8 [\mu m]$$

## 6.5 Zjištění kombinované standardní nejistoty

### 6.5.1 Zjištění kombinované standardní nejistoty pro měřicí systém č. 1

Vypočítáno podle vztahu (8).

$$u_{c1} = \sqrt{u_{A1}^2 + u_{Bz1}^2 + u_{Bz2}^2 + u_{Bz31}^2 + u_{Bz4}^2} = 0,0491 [\text{mm}]$$

### 6.5.2 Zjištění kombinované standardní nejistoty pro měřicí systém č. 2

Vypočítáno podle vztahu (8).

$$u_{c2} = \sqrt{u_{A2}^2 + u_{Bz1}^2 + u_{Bz2}^2 + u_{Bz32}^2 + u_{Bz4}^2} = 0,0193 \text{ [mm]}$$

### 6.6 Zjištění rozšířené standardní nejistoty pro měřicí systémy č. 1 a č. 2

Každou ze zjištěných nejistot rozšíříme koeficientem  $k = 2$  dle vztahu (9).

$$U_1 = u_{c1} * k = 0,0982 \text{ mm.}$$

$$U_2 = u_{c2} * k = 0,0386 \text{ mm.}$$

Tyto zjištěné nejistoty měření budou dále přiřazovány k porovnávacímu měření svařené karoserie a hotového automobilu.

### 6.7 Korelace středních hodnot odchylek $\Delta$ vzdáleností d1-d10 etalonu

Dále byl proveden výpočet korelace obou systémů podle vztahů 10), 11), a 12) kde byly pro tyto účely zaměněny symboly  $\zeta$ ,  $\vartheta$  a  $r$  za  $\overline{\Delta x_{1di}}$ ,  $\overline{\Delta x_{2di}}$  a  $r_{ms}$ . Pro výpočet korelace se použily střední hodnoty odchylek z přílohy 4). Ty vycházející z měření vzdáleností d1- d10 kontrolního etalonu oběma systémy.

Tab 7) Střední hodnoty odchylek  $\Delta$  vzdáleností d1-d10 etalonu z přílohy 4) v mm.

	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
$\overline{\Delta x_{1di}}$	-0,0238	0,0069	-0,0040	-0,0103	-0,0112	0,0211	-0,0075	0,0074	0,0083	-0,0048
$\overline{\Delta x_{2di}}$	-0,0046	0,0035	-0,0063	-0,0109	-0,0016	0,0062	0,0119	-0,0112	0,0234	-0,0072

Tab 8) Arit. průměry vypočítané ze středních hodnot dle vztahu (2) v mm.

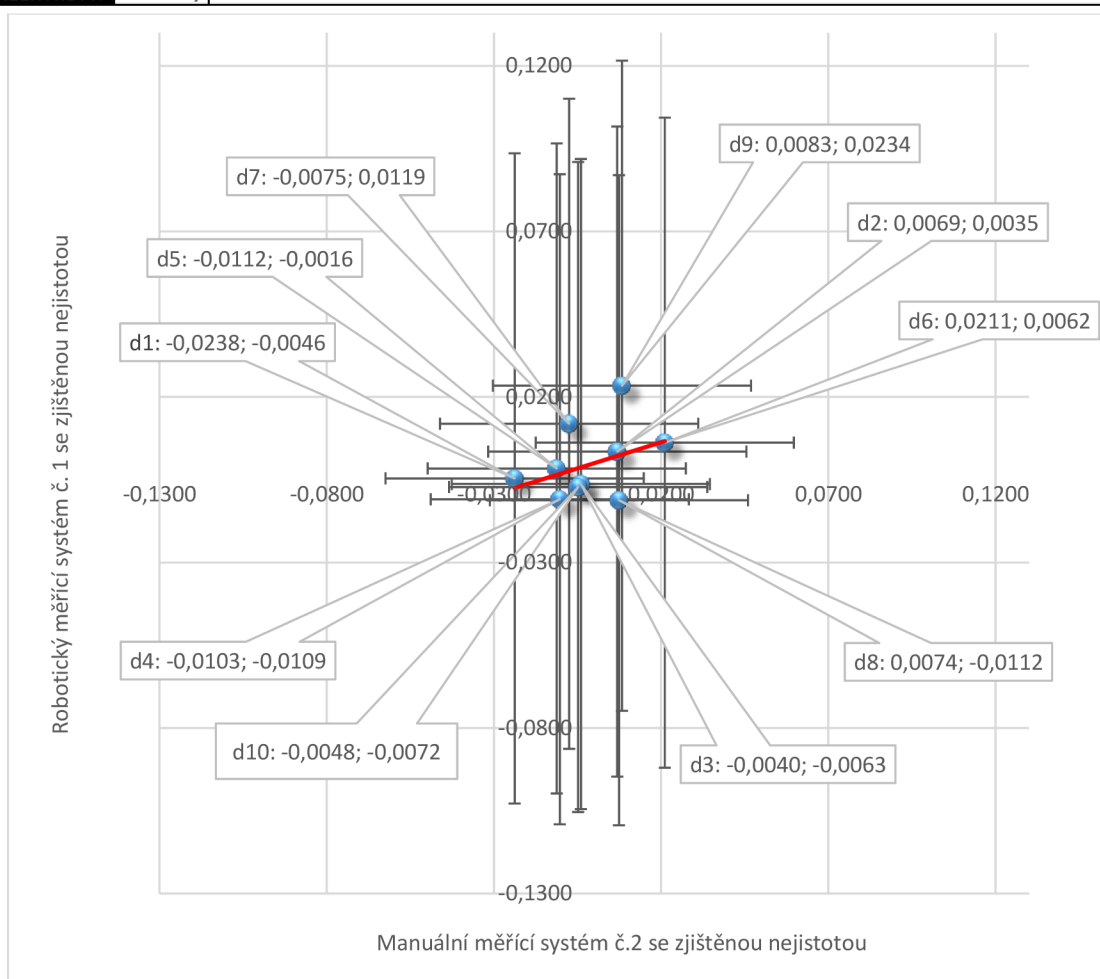
Měř. syst č. 1	$\overline{\overline{\Delta x_{1di}}}$	-0,002
Měř. syst č. 2	$\overline{\overline{\Delta x_{2di}}}$	0,000

Tab 9) Výběrové směrodatné odchylky vypočítané dle vztahu (11) a (12) v mm.

Měř. syst č. 1	$s(\overline{\Delta x_{1di}})$	0,012
Měř. syst č. 2	$s(\overline{\Delta x_{2di}})$	0,010

Tab 10) Koeficient korelace vypočítaný dle vztahu (10).

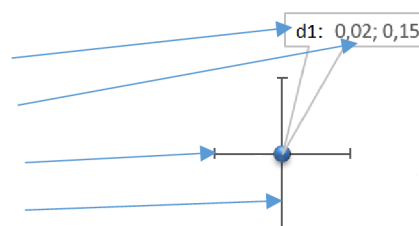
$r_{ms}$	0,379
----------	-------



Obr. 27) Grafické zobrazení středních hodnot odchylek  $\Delta$  vzdáleností d1-d10 etalonu s trendem

Legenda:

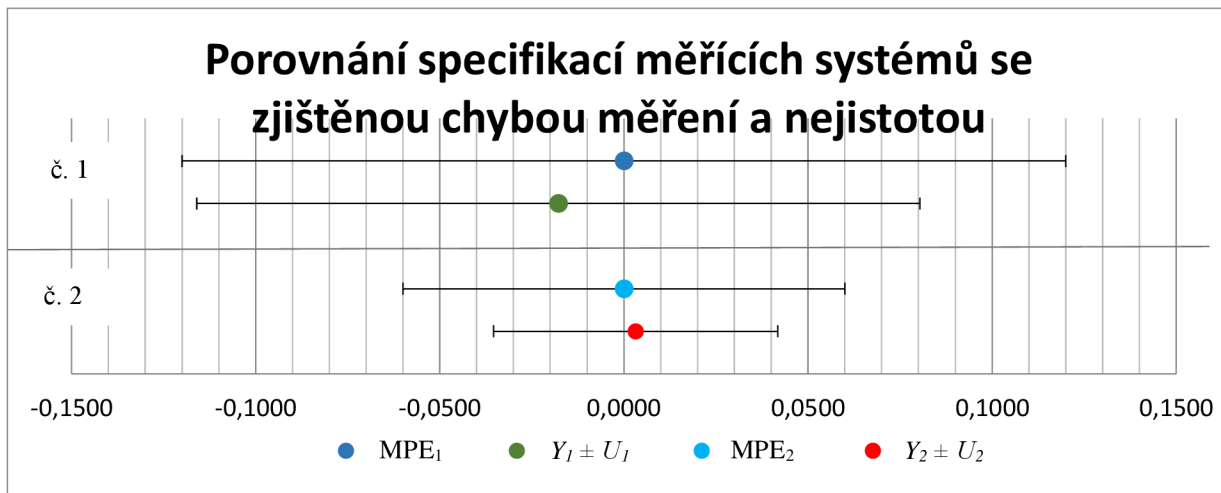
- označení kontrované vzdálenosti etalonu
- střední hodnoty  $\overline{\Delta x_{1di}}$  a  $\overline{\Delta x_{2di}}$  – souřadnice bodu
- nejistota měření manuálního měřicího systému č. 2
- nejistota měření robotického měřicího systému č. 1



## 6.8 Vyhodnocení splnění požadavků na přesnost měřících systémů č. 1 a č. 2

Robotizovaný měřicí systém č. 1 splňuje dodavatelem garantovanou specifikaci  $MPE_1 = 0,1200$  mm, uvedena v příloze č. 2). Byla zjištěna chyba  $-0,0178 \pm 0,0982$  mm na 5 000 mm vzdálenosti, zapsáno dle vztahu (1). Graficky zobrazeno v obr. 28).

Manuální měřicí systém č. 2 splňuje dodavatelem garantovanou specifikaci  $MPE_2 = 0,0600$  mm, uvedeno v příloze č. 3). Byla zjištěna chyba  $+0,0032 \pm 0,0386$  mm na 5000 mm vzdálenosti, zapsáno dle vztahu (1). Graficky zobrazeno v obr. 28).



Obr. 28) Grafické znázornění zjištěných chyb měřících systémů a jejich nejistoty

Za přesnější můžeme označit měřicí systém č. 2, protože vytváří menší chybu měření i menší nejistotu měření než systém č. 1. Toto zjištění lze vyzorovat i z nižší hodnoty zjištěné korelace obou systémů a dále z grafického zobrazení odchylek v obr. 27). Největší vychýlení odchylek od lineárního průběhu trendu zanáší měřicí systém č. 1.



## 7 OVĚŘENÍ INOVOVANÉHO VYROVNÁNÍ

### 7.1 Získání rozměrových dat a definování kontrolních bodů na karoserii

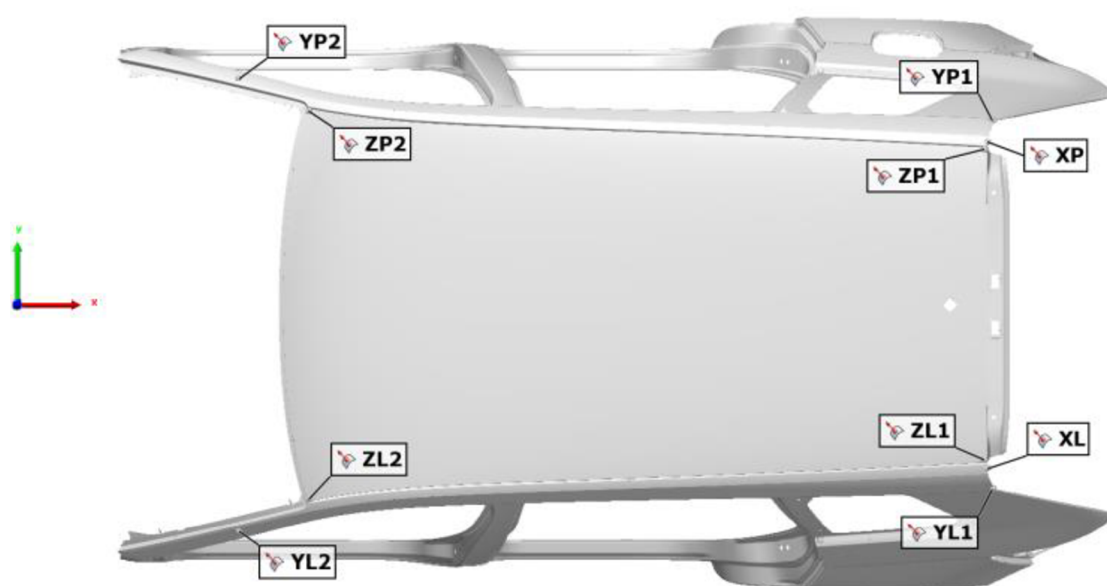
Ověření inovovaného způsobu vyrovnání hotového automobilu pro další měření bylo provedeno dvěma způsoby:

- I. Statistickým vyhodnocením průměrné hodnoty  $\Delta$  u kontrolních bodů mezi referenčním a porovnávaným skenem s tolerancí  $\pm 0,2$  mm.
- II. Statistickým vyhodnocením aritmetických průměrů s uvedením nejistoty měření obou měřících systémů a koeficientem korelace.

Pro uvedené vyhodnocení bylo potřeba provést skenování 10-ti svařených karoserií měřícím systémem číslo 1 a poté, co tyto karoserie prošly celým výrobním procesem, se znovu skenovaly stejné plochy těchto 10-ti karoserií jako hotové vozy měřícím systémem číslo 2. Skenování proběhlo v různých časových úsecích jdoucích výrobní linkou od sebe. Síla vrstvy laku na hotovém automobilu, která přidává určitou malou část k odchylce, byla zanedbána. Naskenované plochy se spárovaly a provedlo se softwarové vyrovnání „Best-fit“ hotového automobilu do souřadného systému svařené karoserie způsobem uvedeným v kapitole 3.4.

Změřily se definované kontrolní body. Měření bodů se v tomto případě myslí extrakce měřených bodů ze skenů povrchů karoserie. Takto byl získán soubor naměřených hodnot pro statistické vyhodnocení rozměrovosti měřených bodů tvaru karoserie.

Měřené body se definovaly na vytipovaných místech na povrchu karoserie, kde dochází dle zkušeností a dle rozměrových analýz k nejmenším změnám v průběhu výrobního toku. Pro maximální popis všech základních směrů jsou definovány 2 body pro směr X (XP a XL) na zadní hraně střechy, 4 body (YP1, YP, YL1, YL2) pro směr Y na bočnicích a 4 body pro směr Z (ZP1, ZP2, ZL1, ZL2) shora na střechě, dle obr. 29).

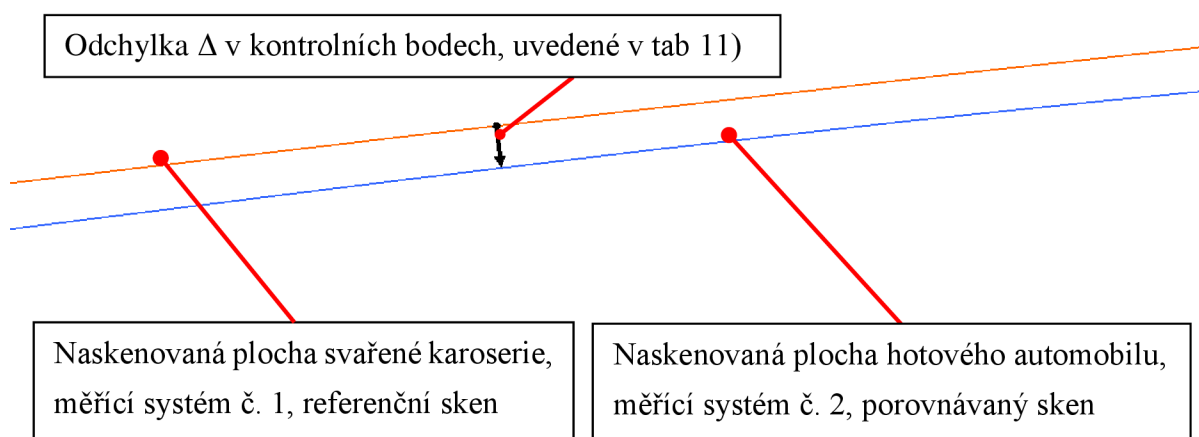


Obr. 29) Grafické vynesení definovaných měřených bodů na karoserii [11]

## 7.2 I. způsob vyhodnocení

### Vyhodnocení průměrné hodnoty $\Delta$ kontrolních bodů mezi referenčním a porovnávaným skenem.

Naskenovaná tvarová plocha svařené karoserie se určila jako výchozí referenční sken. Na tento sken jsou nadefinovány kontrolní body v místech dle kapitoly 7.1 a obr. 29). Extrahováním hodnot z porovnávaného skenu hotového automobilu jsou nadefinovaným kontrolním bodům přiřazeny měřené hodnoty a vypočítány odchylky  $\Delta$ . Graficky je toto zobrazeno na obr. 30). Tato hodnota je uvedena v tab 11) a v příloze 6). Celý postup extrahování bodů je proveden na všech 10-ti spárovaných karoseriích. Z odchylek  $\Delta$  je dále vypočtena průměrná hodnota v kontrolních bodech [13]. Tolerance pro tyto průměrné hodnoty  $\Delta$  je stanovena na  $\pm 0,2$  mm (popsáno v kapitole 3.4). Výsledek je vyneseno do grafu obr. 31), ve kterém je k této hodnotě přiřazena ještě nejistota měření  $\pm 0,0386$  mm měřicího systému č. 2, protože je tímto systémem získán porovnávací sken. V grafu na obr. 32) je pak zobrazeno rozpětí odchylek  $\Delta$ .

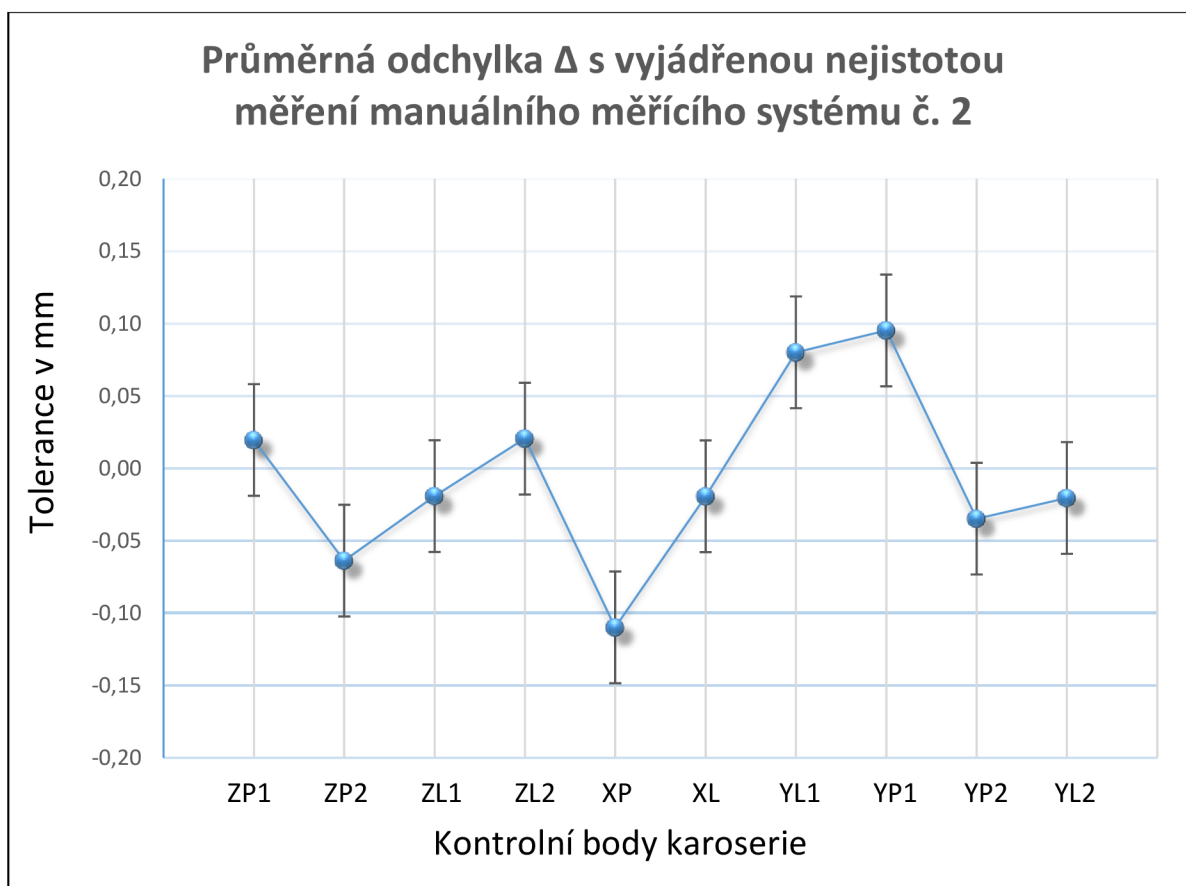


Obr. 30) Zobrazení odchylky kontrolního bodu [13]

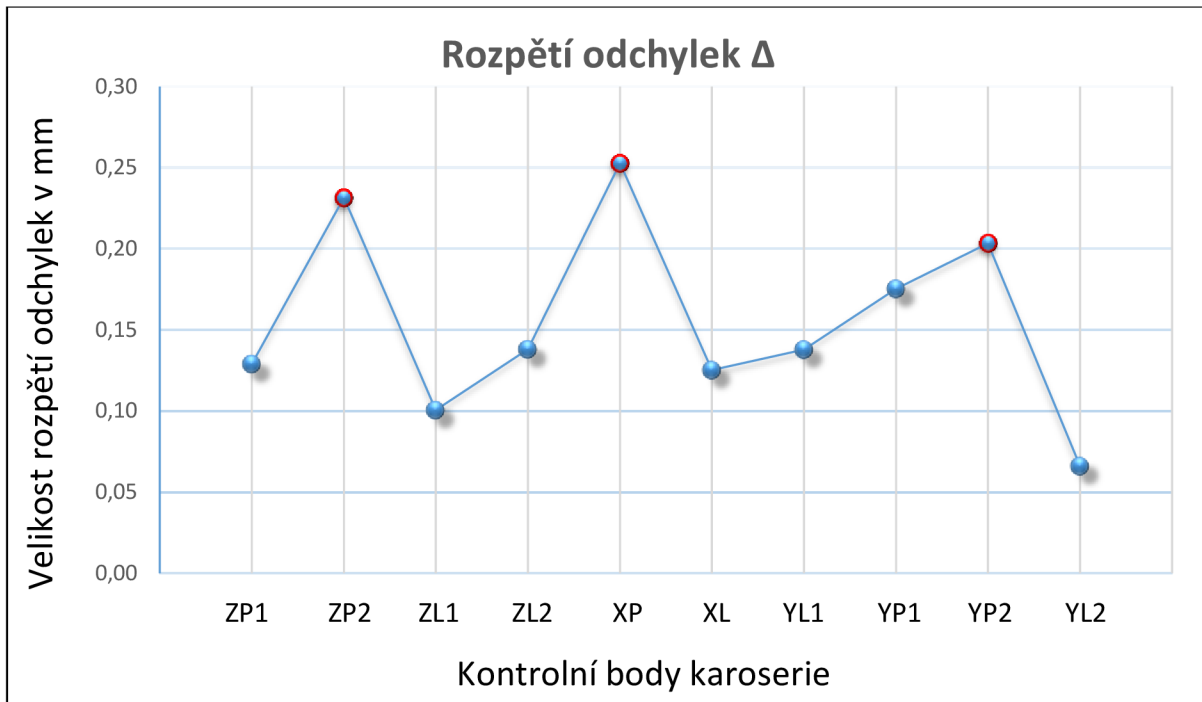
Tab 11) Naměřené hodnoty  $\Delta$  v kontr. bodech a výpočet průměrné hodnoty  $\Delta$  [mm].  
Zdroj příloha 6) [13].

Měřené hodnoty $\Delta$ v kontrolních bodech:	ZP1	ZP2	ZL1	ZL2	XP	XL	YL1	YP1	YP2	YL2
1. karoserie	0,0534	-0,1447	0,0295	-0,0221	-0,1060	-0,0474	0,1259	0,0629	-0,0731	-0,0254
2. karoserie	-0,0392	-0,0916	-0,0261	-0,0218	-0,1883	0,0434	0,1388	0,0242	-0,0630	-0,0106
3. karoserie	-0,0484	-0,0426	-0,0277	-0,0223	-0,2589	-0,0759	0,0794	0,0686	-0,1241	-0,0280
4. karoserie	0,0372	-0,0623	-0,0246	0,0487	-0,0624	-0,0233	0,0876	0,1626	0,0254	0,0062
5. karoserie	0,0680	-0,0793	-0,0354	-0,0142	-0,0061	0,0494	0,0877	0,1409	0,0793	-0,0260
6. karoserie	0,0806	-0,1174	-0,0711	0,1158	-0,0973	-0,0623	0,0550	0,1316	-0,0813	-0,0252
7. karoserie	-0,0171	0,0868	-0,0105	0,0436	-0,0528	-0,0517	0,0526	0,0325	0,0293	-0,0421

8. karoserie	0,0045	-0,1125	0,0130	0,0349	-0,1389	0,0438	0,1134	0,1166	0,0135	0,0239
9. karoserie	0,0429	-0,0763	-0,0182	0,0217	-0,1007	-0,0450	0,0598	0,1939	-0,0369	-0,0369
10. karoserie	0,0136	0,0015	-0,0215	0,0205	-0,0884	-0,0244	0,0010	0,0186	-0,1173	-0,0409
Průměrná hodnota odchylek $\Delta$	0,0196	-0,0638	-0,0193	0,0205	-0,1100	-0,0193	0,0801	0,0952	-0,0348	-0,0205
Rozpětí odchylek $\Delta$	0,1290	0,2315	0,1006	0,1381	0,2528	0,1253	0,1378	0,1753	0,2034	0,0660



Obr. 31) Graf s průměrnými hodnotami  $\Delta$  u jednotlivých kontr. bodů



Obr. 32) Graf s rozpětím odchylek  $\Delta$  u jednotlivých kontr. bodů

Na základě obr. 31) lze konstatovat, že všechny průměrné hodnoty  $\Delta$  v kontrolních bodech jsou v toleranci  $\pm 0,2$  mm i s využitím pásma nejistoty měřicího systému č. 2, kterým je vytvořen porovnávaný sken hotového automobilu pro extrahování měřených veličin.

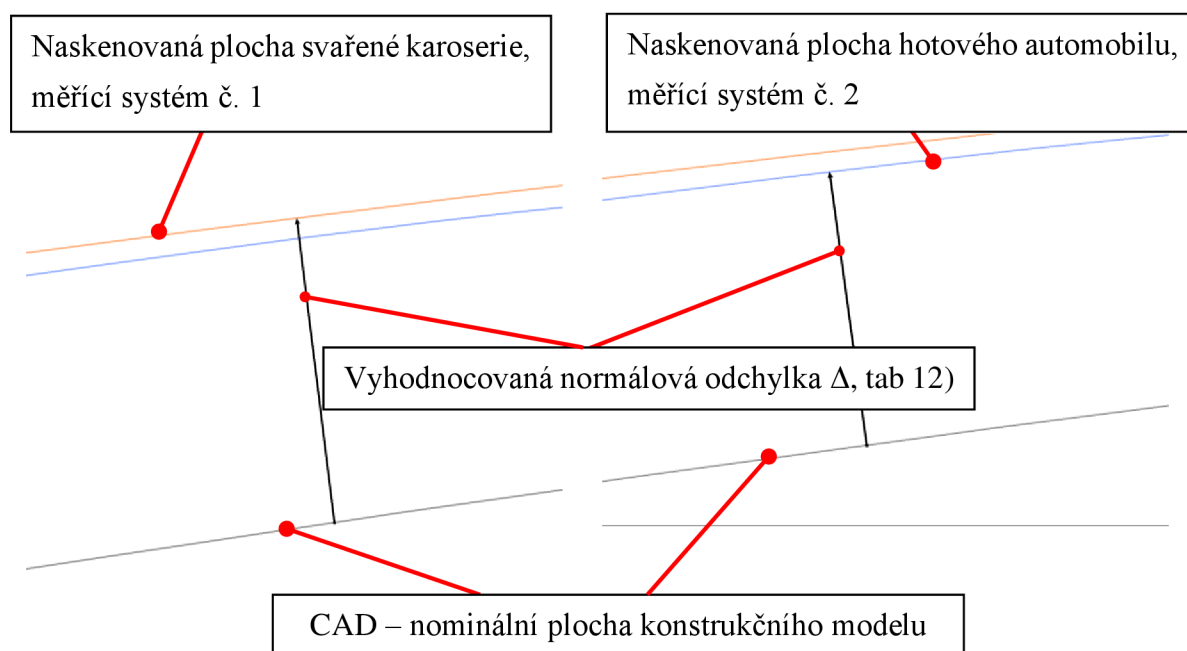
Z grafu na obr. 32) je vidět rozpětí odchylek  $\Delta$  u jednotlivých kontr. bodů. Největší je u bodů XP, ZP2 a YP2. Přes 0,2 mm.

Můžeme prohlásit, že vyrovnání hotového automobilu je provedeno s přesností do  $\pm 0,2$  mm od referenční svařené karoserie, která je vyrovnaná na RPS na ustavovacích podpěrách.

## 7.3 II. způsob vyhodnocení

### Grafické vyhodnocení normálových odchylek k CAD s uvedením nejistoty měření obou měřících systémů a koeficientu korelace.

Nominální hodnota kontrolních bodů karoserie je určena z konstrukčních CAD modelů. Definování kontrolních bodů je ve stejných místech jako u předchozího vyhodnocení, podle obr. 29). Extrahování naměřených hodnot je provedeno 2x. Jednou ze skenu svařené karoserie měřené měřícím systémem č. 1 a podruhé ze skenu hotového automobilu měřené měřícím systémem č. 2, graficky je toto zobrazeno na obr. 33). Z vyextrahovaných naměřených odchylek je z vyhodnocovacího softwaru [13] získána střední hodnota každého kontrolního bodu na 10- ti karoseriích, zdroj příloha 7) a 8). Takto je vytvořen dvourozměrný neroztříděný statistický soubor, tab. 12) jehož grafické zobrazení je na obr. 34). Z něj pak jsou vypočítány aritmetické průměry tab. 13) a směrodatné odchylky tab. 14). Výsledný koeficient korelace je pak uveden v tab. 15).



Obr. 33) Grafické zobrazení hodnot odchylek kontrolních bodů

Tab 12) Střední hodnoty odchylek  $\Delta$  kontr. bodů z 10-ti karoserií v mm. Zdroj příloha 7) a 8) [13].

		XP	XL	YL1	YL2	YP1	YP2	ZL1	ZL2	ZP1	ZP2
Měř. syst. č. 1	$\zeta_i$	0,05	-0,03	0,31	0,73	0,02	0,75	0,05	0,17	-0,08	0,08
Měř. syst č. 2	$\vartheta_i$	-0,10	-0,08	0,39	0,70	0,15	0,71	0,02	0,17	-0,09	0,01

Tab 13) Arit. průměry vypočítané ze středních hodnot dle vztahu (2) v mm.

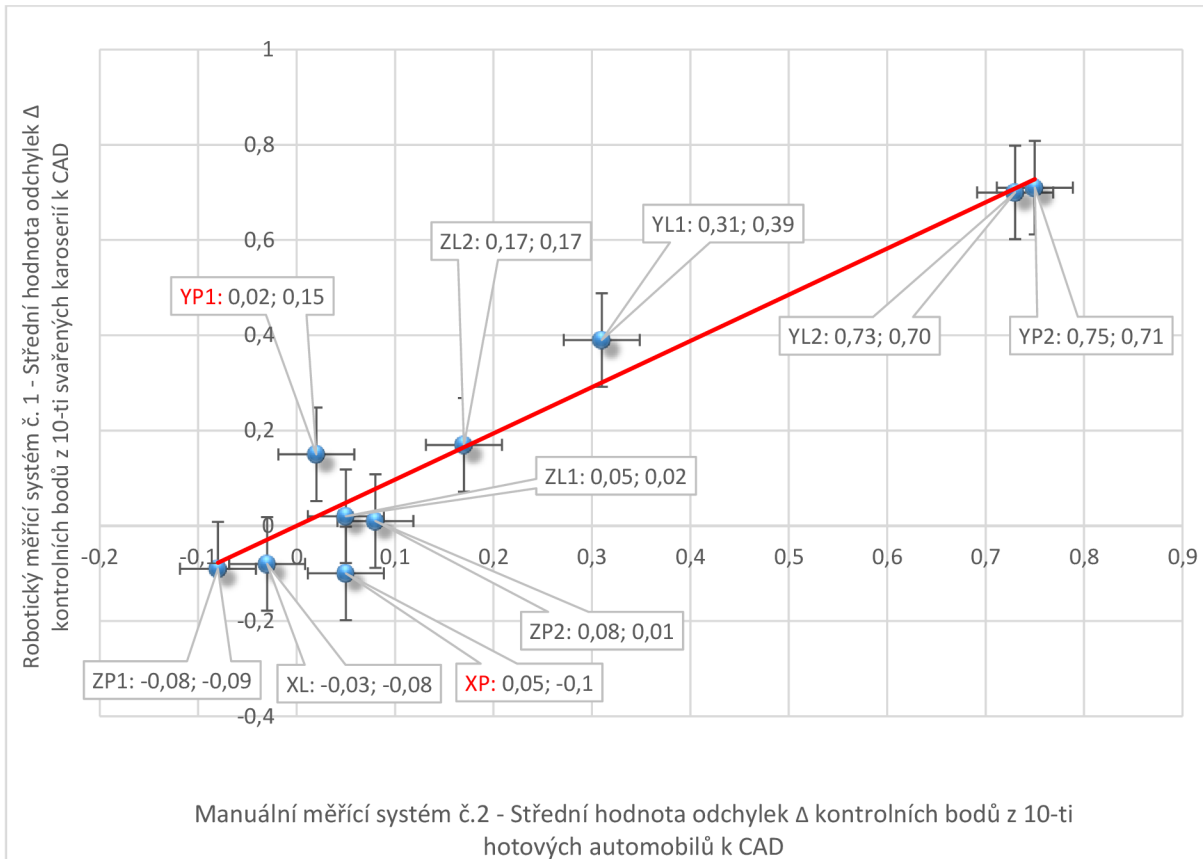
Měř. syst č. 1	$\bar{\zeta}$	0,205
Měř. syst č. 2	$\bar{\vartheta}$	0,188

Tab 14) Výběrové směrodatné odchylky vypočítané dle vztahu (11) a (12) v mm.

Měř. syst č. 1	$s(\zeta)$	0,286
Měř. syst č. 2	$s(\vartheta)$	0,295

Tab 15) Koeficient korelace vypočítaný dle vztahu (10).

r	0,969
---	-------



Obr. 34) Graf vzájemné závislosti obou měřících systémů

Legenda:

- označení kontrolního bodu
- střední hodnoty  $\zeta_i$  a  $\vartheta_i$  – souřadnice bodu
- nejistota měření manuálního měřicího systému č. 2
- nejistota měření robotického měřicího systému č. 1

Lze konstatovat, že sken svařené karoserie, která je vyrovnaná do výkresových souřadnic prostřednictvím ustavovacího přípravku, a sken hotového automobilu vyrovnaný softwarovou metodou „Best-fit“ spolu korelují. Vyrovnání hotového automobilu lze použít pro další měření.

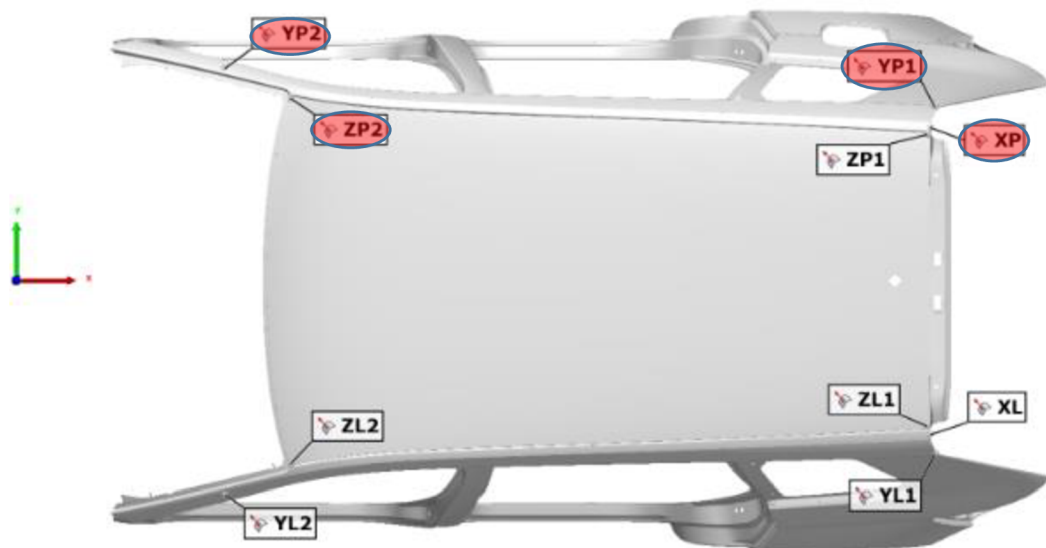
Dva body, XP a YP1, se s jistotou více odchyľují od lineárního závislosti zobrazené červenou čarou – trendem.

## 8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Z výsledků určování statistické chyby použitých měřidel a jejich zjištěných nejistot můžeme označit manuální optický měřicí systém č. 2 za přesnější, protože vytváří menší chybu měření s menší nejistotou než robotický In-Line měřicí systém č. 1. Oba systémy ale splňují zadané požadavky na maximální dovolenou chybu měření MPE v daném prostředí, kde se provádí měření karoserie nebo hotového automobilu. U robotického systému je dodrženo  $MPE \pm 0,120$  mm a u manuálního systému  $MPE \pm 0,060$  mm. Nepříliš vysoká hodnota korelace 0,397 obou systémů naznačuje zanášení větší chyby z robotického měřicího systému č. 1. To vede k poznatku, že hotový vůz lze ustavit velmi přesně do souřadnicového systému měření svařené karoserie, ale s tím rizikem, že se zde může promítnout chyba měření méně přesného robotického skenování té samé karoserie v lince. Toto je dokázáno v kapitole č. 6.

U ověřování navrhovaného zlepšení kontrolního procesu ustavení hotového automobilu do souřadnicového systému metodou přenesení vyrovnání přes skeny vnější části karoserie jsou použity dva způsoby vyhodnocení. První způsob vyhodnocení ukazuje všechny kontrolní body v toleranci, ale upozorňuje na rozpětí větší než 0,2 mm u odchylek  $\Delta$  kontrolních bodů XP, ZP2 a YP2. Druhý způsob vyhodnocení zobrazuje kontrolní body XP a YP1 s jistotou mimo lineární závislost. Je potřeba pečlivě analyzovat a zjistit, jak vznikají tyto nesrovnalosti na uvedených bodech. Pro názornost je toto zvýrazněno v obr. 35). Příčin může být mnoho. Při zanedbání vlivu lakování, které zanáší do měření tvarů nepatrnou odchylku v řádech několika setin mm je to například vliv zastavených dílů při montáži nebo i vliv polohy stropního osvětlení v hale při skenování v robotizované lince. Případně vliv naprogramovaného sklonu laserového skeneru k povrchu karoserie. Pokud chyba vzniká při skenování lze toto řešit vhodným zastíněním pracoviště či přeprogramováním drah a náklonu skeneru. Pro inovovaný způsob vyrovnání je potřeba kritické body XP, ZP2, YP2 a YP1 sledovat, případně je procentuálně omezit v nastavení parametrů při softwarovém výpočtu vyrovnání „Best-fit“. Korelace středních odchylek 10-ti karoserií na začátku a na konci výrobního procesu naproti tomu vychází s hodnotou 0,969 velmi příznivě.

Výsledky, kterých bylo dosaženo, ukazují, že inovovaný způsob vyrovnání automobilu do souřadnicového systému lze s jistotou používat. Odchýlení vyrovnání hotového automobilu od vyrovnání svařené karoserie je u sledovaných kontrolních bodů do tolerance  $\pm 0,2$  mm, jak bylo uvedeno v kap. 3.4. Pokud si uvědomíme, že kontrolní body se výrobním procesem na té samé karoserii mění pouze do uvedené tolerance, lze považovat volbu jejich umístění za vyhovující. Karoserie je v těchto místech velmi tuhá a lze proto přes tyto tvarové plochy přenášet souřadný systém na hotový vůz.



Obr. 35) Grafické vynesení definovaných měřených bodů na karoserii [11]



## 9 ZÁVĚR

Nároky na rychlé odstranění zjištěných závad jsou v dnešní dynamické firmě na výrobu automobilů vysoké. Především v době přípravy a náběhu nového vozu je rychlost, a přitom velká přesnost měření velmi důležitá, a to na všech úrovních kontrol rozměrovosti dílů ve výrobním procesu. Metoda ustavení přenesením souřadného systému přes naskenované plochy vnější části karoserie velmi urychluje celkovou přípravu hotového automobilu na následné měření pro analyzování závad. K výrazným časovým úsporám rovněž patří i kvalitativní zlepšení, které řeší tato metoda. Není potřeba demontovat díly na podvozkové části za účelem přístupnosti ustavovacích RPS bodů. Podvozková část je tak ve stavu, v jakém opustil automobil kontrolní stanoviště na montáži. Metoda se používá denně a umožňuje do několika málo hodin od zveřejnění požadavku na analýzu závady vydat měrový protokol s výsledky měření.

Tuto bakalářskou práci jsem využil na ověření vhodnosti a správnosti inovované metody měření, kterou jsem vymyslel a zaregistroval jako zlepšovací návrh v systému zlepšovacích návrhů firmy ŠKODA AUTO a.s.. Studium norem a literatury zabývající se metrologií, pro získání informací k této práci, se mi rozšířily znalosti o pojmech jako je nejistota měření a statistické zpracování dat. Znalosti využiji při mé metrologické práci při ověřování nových metod měření s optickými měřicími systémy případně při ověřování nových měřidel, která se mohou vývojem technologií v budoucnu používat v automobilovém průmyslu.



## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality: Základní principy a slovník*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [2] Příručka IMS ŠKODA AUTO a.s. *Integrovaný systém řízení kvality*. ŠKODA AUTO a.s., Management systému kvality, Mladá Boleslav, 2015.
- [3] ČSN EN ISO 9001. *Systémy managementu kvality: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] ČSN EN ISO 10012. *Systémy managementu měření: Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [5] 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.
- [6] EA-4/02: *Vyjádření nejistoty měření při kalibraci*. Praha: Český institut pro akreditaci, 2014.
- [7] Šrámek, Jan. *Nejistoty měření přesných délkových měření II*. Brno, 2011. Diplomová práce. VUT v Brně, FSI-ÚVSSR.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. *Strojírenská metrologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 8021433388.
- [12] CATIA V5, *Version 5-6 Release 2014: 3D Konstrukční software*. Dassault Systemes 1998-2014, France.
- [13] Polyworks 2016, *rel. IR11: 3D měřicí a vyhodnocovací software*. InnovMetric. Quebec, Canada.
- [14] Leica Geosystems. In: *Leica Geosystems: Propagační brožura* [online]. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems, 2017. Dostupné z: <http://w3.leica-geosystems.com/de/index.htm>.
- [15] NMS: Nonkontakt measuring systems. *Aktuality: Propagační video* [online]. Bratislava, Slovensko: NMS, 2011. Dostupné z: <http://www.sk.nms-int.com/>.
- [16] Koba: Koba-Kugelstab. *Koba  $\mu$ -TECH: Propagační brožura* [online]. Aschaffenburg, Germany: Kolb & Baumann GmbH & Co, 2005. Dostupné z: <http://www.koba.de>.

- [17] ČMI: Český metrologický institut. *Státní etalony: Vyhlášené státní etalony ČR / Délka* [online]. Brno: ČMI, 2016. Dostupné z: <http://www.cmi.cz/>.
- [18] Doc. RNDr. Karpíšek, Zdeněk, CSc. *Matematika IV Statistika a pravděpodobnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-214-4858-2.
- [19] NMS: Nonkontakt measuring systems. *Manuál k robotické měřicí buňce*. Bratislava, Slovensko: NMS, 2016.

# 11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

## 11.1 Seznam zkratk

GPS	Geometrické specifikace produktu
RPS	Reference points system Systém referenčních bodů
QMS	Quality management systems Systém managementu kvality
IMS	Integrovaný systém řízení
EMS	Systém Environmentálního řízení
EnMS	Systém managementu hospodaření s energií
VDA	Veband der Automobilindustrie Management kvality v automobilovém průmyslu
3D	Three dimensional Trojrozměrný
CAD	Computer aided design Počítačem podporované projektování
In-Line	Měřicí systém č. 1 implementovaný do výrobní linky
Off-line	Měřicí systém č. 2 mimo výrobní
MPE	Maximum permissible error Maximální dovolená chyba
IT	Information technology Informační technologie
SI	Mezinárodně domluvená soustava jednotek
ČMI	Český metrologický institut
Best-fit	Softwarové vyrovnání tvaru na tvar
GUM	Iterativní metoda pro odhad nejistoty měření

## 11.2 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)

### 11.3 Seznam tabulek

Tab 1)	Vyhodnocení dílčích vzdáleností etalonu měřené měřícím systémem č. 1....	44
Tab 2)	Vyhodnocení celkové vzdálenosti etalonu měřené měřícím systémem č. 1. ...	44
Tab 3)	Výpočet nejistoty typu A měřicího systému č. 1. ....	44
Tab 4)	Vyhodnocení dílčích vzdáleností etalonu měřené měřícím systémem č. 2....	45
Tab 5)	Vyhodnocení celkové vzdálenosti etalonu měřené měřícím systémem č. 2. ...	45
Tab 6)	Výpočet nejistoty typu A měřicího systému č. 2. ....	46
Tab 7)	Střední hodnoty odchylek $\Delta$ vzdáleností d1-d10 etalonu z přílohy 4) v mm. .	48
Tab 8)	Arit. průměry vypočítané ze středních hodnot dle vztahu (2) v mm.....	48
Tab 9)	Výběrové směrodatné odchylky vypočítané dle vztahu (11) a (12) v mm. ....	48

Tab 10)	Koeficient korelace vypočítaný dle vztahu (10).....	48
Tab 11)	Naměřené hodnoty $\Delta$ v kontr. bodech a výpočet průměrné hodnoty $\Delta$ <b>mm.</b> ..	52
Tab 12)	Střední hodnoty odchylek $\Delta$ kontr. bodů z 10-ti karoserií v mm. ....	55
Tab 13)	Arit. průměry vypočítané ze středních hodnot dle vztahu (2) v mm.....	55
Tab 14)	Výběrové směrodatné odchylky vypočítané dle vztahu (11) a (12) v mm.....	56
Tab 15)	Koeficient korelace vypočítaný dle vztahu (10).....	56

#### 11.4 Seznam obrázků

Obr. 1)	Ustavovací přípravek pro karoserii s definovaným RPS [12] .....	20
Obr. 2)	Výsledek softwarové metody vyrovnání „Best-fit“ [13].....	21
Obr. 3)	Naskenovaný tvar svařené karoserie měřícím systémem č.1 [13].....	21
Obr. 4)	Manuálně naskenovaný tvar karoserie měřícím systémem č.2 na hotovém automobilu (zobrazeno pro představu pouze na vnějších dílech karoserie) [13].....	22
Obr. 5)	Grafické zobrazení Integrovaného systému řízení[3] [autor].....	23
Obr. 6)	Model systému managementu měření [4] .....	24
Obr. 7)	Interval nejistoty a interval shody, případně neshody [5] .....	25
Obr. 8)	Začlenění měřidla ve výrobním procesu svařovny [autor].....	26
Obr. 9)	Měřicí buňka In-line laserového robotizovaného pracoviště [15].....	27
Obr. 10)	In-line automatizované laserové skenování části karoserie [15].....	27
Obr. 11)	Měřicí buňka robotizovaného pracoviště, pohled shora [19] .....	28
Obr. 12)	Začlenění měřidla ve výrobním procesu centra kvality [autor].....	28
Obr. 13)	Sestava 3D Laser-Tracker [14].....	29
Obr. 14)	Manuální 3D Laserový skener T-Scan při skenování povrchu [14].....	30
Obr. 15)	Detail skeneru T-Scan a 3D Laser-Trackeru [14] .....	30
Obr. 16)	Ukázka práce s manuálním 3D Laserovým skenerem [14].....	31
Obr. 17)	Shoda se specifikací jednoznačně prokázána [5] .....	34
Obr. 18)	Neshoda se specifikací je jednoznačně prokázána [5].....	34
Obr. 19)	Nelze jednoznačně prokázat shodu ani neshodu [5].....	34
Obr. 20)	Důležité vlivy na nejistotu výsledků měření [5].....	35
Obr. 21)	Tabelované hodnoty $k_s$ pro počet měření $n$ [11].....	36
Obr. 22)	Normální (Gaussovo) rozdělení: $P = 95,45 \%$ , $\chi = 2$ [9].....	37
Obr. 23)	Rovnoměrné rozdělení: $P = 100 \%$ , $\chi = 3$ [9].....	37
Obr. 24)	Kontrolní těleso „Kugelstab 5000 mm fy. KOBA“ na 3D souřadnicovém dotykovém měřícím stroji [16].....	41
Obr. 25)	a) Detail keramické koule [16],      b) Detail rozpěrné tyče [16].....	42
Obr. 26)	Pořadí měřených vzdáleností kontrolního etalonu [12].....	43

Obr. 27) Grafické zobrazení středních hodnot odchylek $\Delta$ vzdáleností d1-d10 etalonu s trendem	49
Obr. 28) Grafické znázornění zjištěných chyb měřících systémů a jejich nejistoty	50
Obr. 29) Grafické vynesení definovaných měřených bodů na karoserii [11]	51
Obr. 30) Zobrazení odchylky kontrolního bodu [13]	52
Obr. 31) Graf s průměrnými hodnotami $\Delta$ u jednotlivých kontr. bodů	53
Obr. 32) Graf s rozpětím odchylek $\Delta$ u jednotlivých kontr. bodů	54
Obr. 33) Grafické zobrazení hodnot odchylek kontrolních bodů	55
Obr. 34) Graf vzájemné závislosti obou měřících systémů	56
Obr. 35) Grafické vynesení definovaných měřených bodů na karoserii [11]	58




## 12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1) Kalibrační protokol etalonu.
- Příloha 2) Protokol o kalibraci robotizovaného měřicího systému č. 1.
- Příloha 3) Protokol o kalibraci manuálního měřicího systému č. 2.
- Příloha 4) Naměřené hodnoty, vypočítané odchylky  $\Delta$  měřicího systému č. 1 .
- Příloha 5) Naměřené hodnoty, vypočítané odchylky  $\Delta$  měřicího systému č. 2.
- Příloha 6) Protokol z měření: hodnoty  $\Delta$  v kontr. bodech na 10-ti karoseriích.
- Příloha 7) Protokol z měření 10-ti svařených karoserií.
- Příloha 8) Protokol z měření 10-ti hotových automobilů.



# PŘÍLOHY




## ŠKODA

**GQM/24 - Speciální měření a metrologie**  
**Interní kalibrační místo 1**

**Protokol o kalibraci č. 1001493/3M**

**Datum kalibrace :** 26.1.2016

  
 L. Šafařovský  
 koordinátor IKM 1

**Zadavatel :** GQK1/1

**Měřidlo :** **tyč s matnými koulemi**  
 Výrobce / typ : Kolb&Baumann, Aschaffenburg  
 Rozsah : 6x250; 10 x 500  
 Identifikace : 31324 ID1001493  
 Koeficient tepl. roztažnosti:  $0,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \mu\text{m}$  (250mm)  
 $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \mu\text{m}$  (500mm)

**Použitý etalon :**

název / typ etalonu	evidenční číslo	ID číslo	nejistota kalibrace
CMM Zeiss	101983	21998	$MPE_e : 0,7+L/600 \mu\text{m}$ (L v mm)
Měrka s koulemi	37869/1-250	309050	U : 1,2 $\mu\text{m}$
Měrka s koulemi	37869/1	309049	U : 1,2 $\mu\text{m}$

**Metoda měření:** Měření na CMM s kompenzací lineární chyby pomocí porovnání s etalonovou měrkou s koulemi.

**Postup:** Výpočet střední hodnoty z deseti měření každé jednotlivé vzdálenosti středů koulí sestaveného tělesa - viz výsledky (sejmutím pěti bodů na kouli), výpočet střední hodnoty porovnávacích deseti měření etalonové tyče v každém místě měření kalibrovaného tělesa a početní korekce lineární chyby CMM.

**Podmínky měření :** teplota měřidla a etalonu  $20,0 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

**Výsledky měření 10 x 500:**

koule	tyčka	koule	vzdálenost středů koulí (mm)
73814/0	0 - 73814- 1	73814/1	500,0078
73814/1	1 - 73814- 2	73814/2	499,9578
73814/2	2 - 73814- 3	73814/3	500,0750
73814/3	3 - 73814- 4	73814/4	500,0466
73814/4	4 - 73814- 5	73814/5	500,0685
73814/5	5 - 73814- 6	73814/6	499,9782
73814/6	6 - 73814- 7	73814/7	500,0325
73814/7	7 - 73814- 8	73814/8	499,9749
73814/8	8 - 73814- 9	73814/9	499,9907
73814/9	9 - 73814- 10	73814/10	500,1008

1/2

Příloha 1) Kalibrační protokol k etalonu.

**Výsledky měření 6 x 250:**

<u>koule</u>	<u>tyčka</u>	<u>koule</u>	<u>vzdálenost středů koulí (mm)</u>
73814/0	0 - 73814-250 - 1	73814/1	250,0827
73814/1	1 - 73814-250 - 2	73814/2	250,1384
73814/2	2 - 73814-250 - 3	73814/3	250,1314
73814/3	3 - 73814-250 - 4	73814/4	250,1840
73814/4	4 - 73814-250 - 5	73814/5	250,1309
73814/5	5 - 73814-250 - 6	73814/6	250,0904

**Výsledek kalibrace :**     **vyhovuje****Odborné stanovisko :**    Při použití tyče s koullemi při kalibraci CMM (v libovolné délkové sestavě tyče) musí být uvažovaná nejistota etalonu  $U = 3 + 2,7 \cdot L \text{ } \mu\text{m}$  (L v m).**Platnost kalibrace do:**    dle lhůty stanovené v dokladu měřidla

Platnost kalibrace dále zaniká dle Orig. pokynu č.ON.1.018 kapitola 5.5

**Kalibroval:** M. Bišický**Ověřil:** R. Janíček



www.nms.sk  
NMS s.r.o. Bratislava  
IČO 2020254586

## Kalibračný certifikát CC\_20160416

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

**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo  
**Sériové č. :** N3202-15I01

**Komponent:** AT 960MR  
**Sériové č. :** 750271  
**Sériové č. :** 750276

**T-Scan 5**  
1200380  
1100279

**Dátum:** 18.04.2016  
**Operátor:** Tomáš Knotek

### Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Pooha	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
H	5000.2328	5000.170	-0.063	0.120	Vyhovuje
D1	5000.2328	5000.213	-0.020	0.120	Vyhovuje
D2	5000.2328	5000.202	-0.031	0.120	Vyhovuje
D3	5000.2328	5000.203	-0.029	0.120	Vyhovuje
D4	5000.2328	5000.200	-0.033	0.120	Vyhovuje
Najhoršia nameraná hodnota			-0.063	0.120	Vyhovuje

### Výsledky meraní na referenčnej guli [mm]

T-Scan 5 1200380

Face	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
Face 1	0.000	0.042	0.042	0.060	Vyhovuje
Face 2	0.000	0.025	0.025	0.060	Vyhovuje
Face 3	0.000	0.028	0.028	0.060	Vyhovuje
Face 4	0.000	0.041	0.041	0.060	Vyhovuje

T-Scan 5 1100279

Face	Nominálne	Merané	Odchýlka	± Tolerancia	Výsledok
Face 1	0.000	0.011	0.011	0.060	Vyhovuje
Face 2	0.000	0.017	0.017	0.060	Vyhovuje
Face 3	0.000	0.049	0.049	0.060	Vyhovuje
Face 4	0.000	0.031	0.031	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  
18.04.2016

**NMS s.r.o.**  
Hlavná 12  
821 09 BRATISLAVA  
IČO 2020254586

František Trgo  
NMS s.r.o.

*TK*  
Tomáš Knotek  
NMS s.r.o.





10770 22, Kankovská 10, 207 00, Praha 2, ČR  
Technický oddělení: tel. +420 2 2431 4200, fax: +420 2 2431 4201, e-mail: info@nms.cz  
Kodový vzor: 03 08 1 030 101 0800000 - 10100000

## Detaily meraní na etalóne dížky

Poloha diagonálna D1

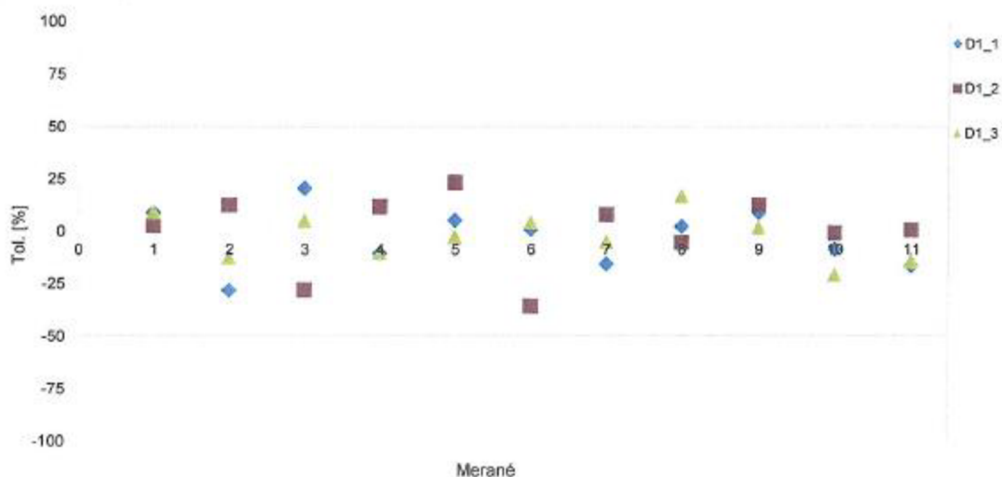
**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT 960MR      T-Scan 5  
**Sériové č. :** N3202-15101      **Sériové č. :** 750271      1200380  
**Teplota:** 21,6 °C      **Sériové č. :** 750276      1100279  
**Tlak:** 965 hPa  
**Vlhkosť:** 37,00%

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

Výsledky meraní na etalóne dížky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané		
		D1 1	D1 2	D1 3
d1	500.0078	500.018	500.011	500.019
d2	499.9578	499.924	499.973	499.943
d3	500.075	500.099	500.042	500.081
d4	500.0466	500.034	500.061	500.034
d5	500.0685	500.075	500.096	500.065
d6	499.9782	499.979	499.935	499.983
d7	500.0325	500.014	500.042	500.026
d8	499.9749	499.978	499.968	499.995
d9	499.9907	500.001	500.006	499.993
d10	500.1008	500.091	500.100	500.076
<b>Celkom</b>	<b>5000.2328</b>	<b>5000.213</b>	<b>5000.234</b>	<b>5000.216</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.020</b>	<b>0.001</b>	<b>-0.017</b>
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.120</b>
<b>Opakovateľnosť</b>		<b>0.020</b>		

Percento využitia tolerancie









## Detaily meraní na etalóne dĺžky

Poloha diagonálna D3

**Produkt:** NMS Online AbsoluteScanCell AWPL Duo      **Komponent:** AT 960MR      T-Scan 5  
**Sériové č. :** N3202-15101      **Sériové č. :** 750271      1200380  
**Sériové č. :** 750276      1100279

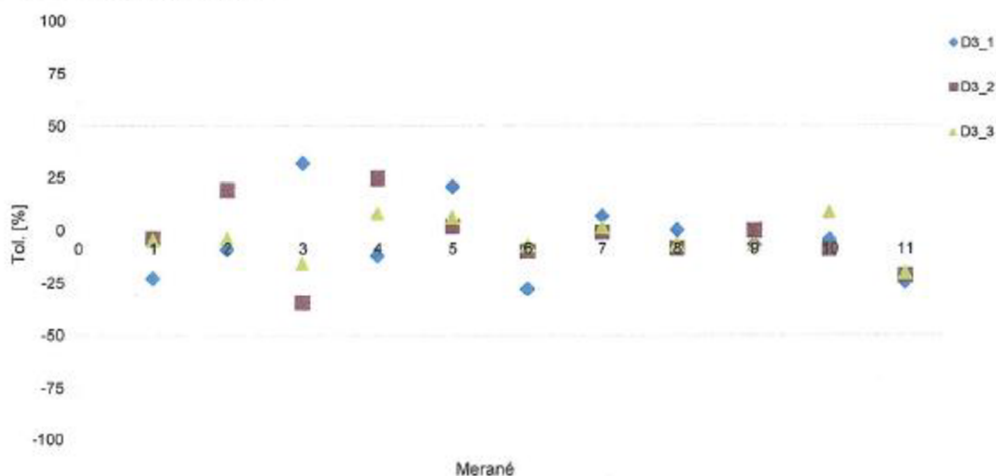
**Teplota:** 21,6 °C  
**Tlak:** 965 hPa  
**Vlhkosť:** 37,00%

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

Výsledky meraní na etalóne dĺžky [mm]

Vzdialenosť	Nominálne	Merané		
		D3 1	D3 2	D3 3
d1	500.0078	499.980	500.003	500.002
d2	499.9578	499.947	499.981	499.953
d3	500.0750	500.113	500.033	500.056
d4	500.0466	500.032	500.076	500.056
d5	500.0685	500.093	500.071	500.076
d6	499.9782	499.945	499.986	499.970
d7	500.0325	500.040	500.031	500.034
d8	499.9749	499.975	499.965	499.967
d9	499.9907	499.982	499.991	499.983
d10	500.1008	500.096	500.090	500.111
<b>Celkom</b>	<b>5000.2328</b>	<b>5000.203</b>	<b>5000.207</b>	<b>5000.209</b>
<b>Odchýlka</b>		<b>-0.029</b>	<b>-0.026</b>	<b>-0.024</b>
<b>± Tolerancia</b>		<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.120</b>
<b>Opakovateľnosť</b>		<b>0.005</b>		

Percento využitia tolerancie







## Kalibrační certifikát CC\_20161107

**Zákazník:** ŠKODA AUTO a.s., Kvasiny  
**Produkt:** Leica Tracker/T-Probe/T-Scan  
**Sériové č. :** AT 901MR 4761  
 T-Cam 1708  
 T-Probe 2188  
 T-Scan 1000158

**Datum:** 07.11.2016  
**Operátor:** Petr Vaněk

### Výsledky měření na etalonu délky [mm]

Laser Tracker					
Poloha	Nominální	Měřené	Odchylka	± Tolerance	Výsledek
2000	800,008	799,996	-0,012	0,041	Vyhovuje
4500	800,008	800,016	0,008	0,061	Vyhovuje
7000	800,008	800,016	0,008	0,082	Vyhovuje

T-Probe					
Poloha	Nominální	Měřené	Odchylka	± Tolerance	Výsledek
2000	800,010	800,032	0,022	0,060	Vyhovuje
4500	800,010	800,032	0,022	0,060	Vyhovuje
7000	800,010	800,020	0,010	0,060	Vyhovuje

T-Scan					
Poloha	Nominální	Měřené	Odchylka	± Tolerance	Výsledek
2000	1154,860	1154,853	-0,007	0,060	Vyhovuje
4500	1154,860	1154,844	-0,016	0,060	Vyhovuje
7000	1154,860	1154,854	-0,006	0,060	Vyhovuje

**Závěr:** Kalibrace byla vykonána na základě interních předpisů NMS\_IP\_201001\_001. Byli použité etalony s platným certifikátem. Naměřené hodnoty vyhovují technické specifikaci přístroje.

**NMS s.r.o.**  
 Hviezdoslavova 13  
 821 06 BRATISLAVA  
 IČO:35 764 848, IČ DPH: SK2020254588

František trgo  
**NMS s.r.o.**

07.11.2016

**NMS s.r.o.**  
 Hviezdoslavova 13  
 821 06 BRATISLAVA  
 IČO:35 764 848, IČ DPH: SK2020254588

Petr Vaněk  
**NMS s.r.o.**



NMS s.r.o., Ilievodslavova 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 měření: Laser Tracker

Sériové č. : AT 901MR 4761

Teplota: 22 °C  
Tlak: 977 hPa  
Vlhkost: 30,00%

Datum: 07.11.2016  
Operátor: Petr Vaněk

Reflektor: RRR 1.5° 10949

Typ reference: Leica Scale Bar – 574550

Sériové č. : 1365

Nejistota měření: ± 0.010 mm

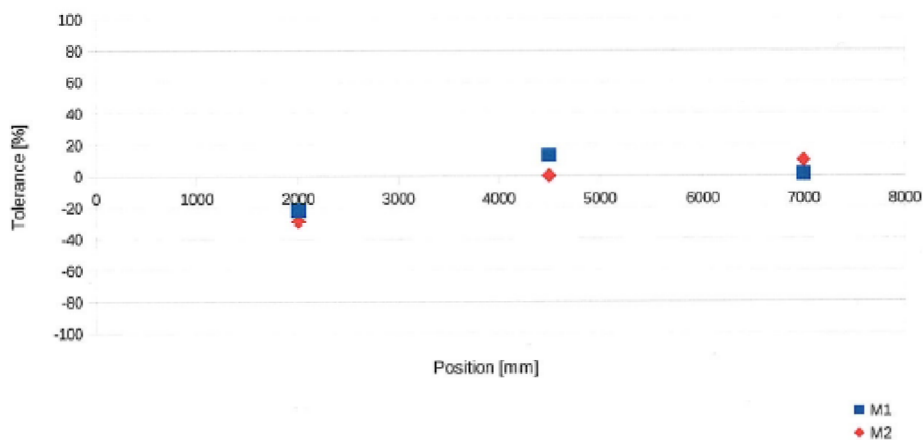
Nom.délka při teplotě kalibrace: 800,009 mm

Nom.délka při teplotě měření: 800,008 mm

### Výsledky měření na etalonu délky [mm]

Poloha	Měření M1/M2		Opakovateln. M1-M2	Odchylka od nom. M1/M2		± Tolerance
2000	799,999	799,996	0,003	-0,009	-0,012	0,041
4500	800,016	800,008	0,008	0,008	0,000	0,061
7000	800,009	800,016	-0,007	0,001	0,008	0,082

### Procento využití tolerance



### Detaily měření: T-Probe systém

Sériové č. : AT 901MR 4761  
 T-Cam 1708  
 T-Probe 2188

Teplota: 22 °C  
 Tlak: 977 hPa  
 Vlhkost: 30,00%

Datum: 07.11.2016  
 Operátor: Petr Vaněk

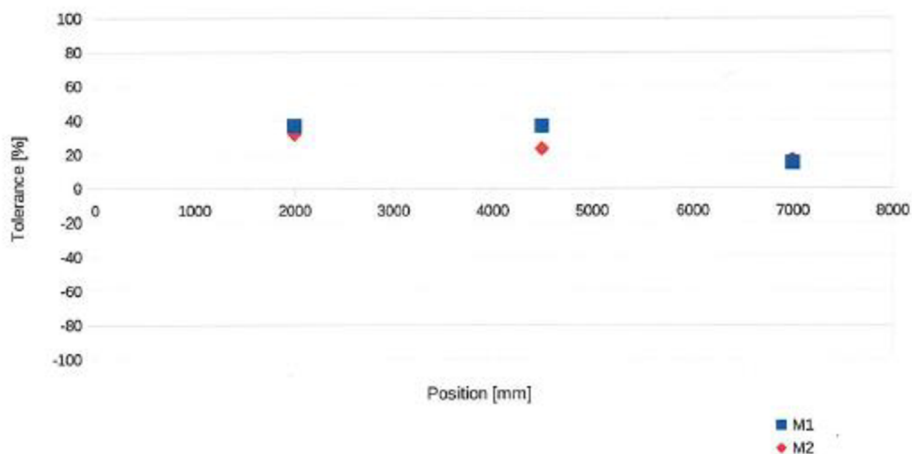
Hrot – délka / průměr / konektor: 120 mm / 12.7 mm / 1

Typ reference: Leica Scale Bar  
 Sériové č. : 1365  
 Nejistota měření: ± 0.010 mm  
 Nom.délka při teplotě kalibrace: 800,011 mm  
 Nom.délka při teplotě měření: 800,010 mm

#### Výsledky měření na etalonu délky [mm]

Poloha	Měření M1/M2		Opakovatel. M1-M2	Odchylka od nom. M1/M2		± Tolerance
2000	800,032	800,029	0,003	0,022	0,019	0,060
4500	800,032	800,024	0,008	0,022	0,014	0,060
7000	800,019	800,020	-0,001	0,009	0,010	0,060

#### Procento využití tolerance







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 měření: T-Scan systém

Sériové č. : AT 901MR 4761  
T-Cam 1708  
T-Probe 2188  
T-Scan 1000158

Teplota: 22 °C  
Tlak: 977 hPa  
Vlhkost: 30,00%

Datum: 07.11.2016  
Operátor: Petr Vaněk

Typ reference: Invar Reference Bar

Sériové č. : 190

Nejistota měření: ± 0.011 mm

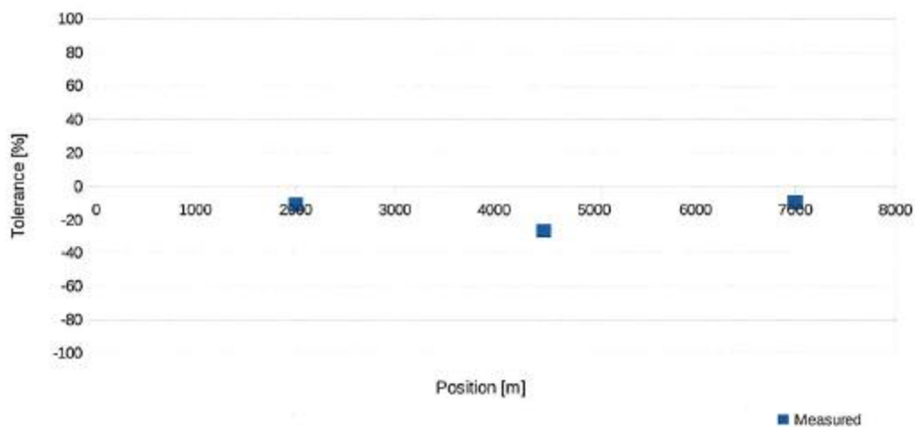
Nom.délka při teplotě kalibrace: 1154,860 mm

Nom.délka při teplotě měření: 1154,860 mm

### Výsledky měření na etalonu délky [mm]

Poloha	Měřené	Odchylka od nom.	± Tolerance
2000	1154,853	-0,007	0,060
4500	1154,844	-0,016	0,060
7000	1154,854	-0,006	0,060

### Procento využití tolerance



Vypočítané odchylky  $\Delta x_{1di}$  vzdáleností d1-d10 pro výpočty měřicím systémem č. 1.

Nominální hodnoty pro výpočty odchylek byly použity z přílohy 1) a naměřené hodnoty byly použity z přílohy 2) strana 4.

	1.	2.	3.	$\overline{\Delta x_{1di}}$
<b>d1</b>	-0,0238	-0,0258	-0,0218	-0,0238
<b>d2</b>	0,0232	-0,0078	0,0052	0,0069
<b>d3</b>	-0,0120	0,0060	-0,0060	-0,0040
<b>d4</b>	-0,0276	-0,0076	0,0044	-0,0103
<b>d5</b>	-0,0025	-0,0085	-0,0225	-0,0112
<b>d6</b>	0,0358	0,0228	0,0048	0,0211
<b>d7</b>	-0,0265	0,0055	-0,0015	-0,0075
<b>d8</b>	-0,0109	0,0221	0,0111	0,0074
<b>d9</b>	0,0323	-0,0297	0,0223	0,0083
<b>d10</b>	-0,0178	-0,0058	0,0092	-0,0048

Legenda: vodorovně je pořadí měření + aritmetický průměr, svisle je kontrolovaná vzdálenost

Příloha 4) Naměřené hodnoty, vypočítané odchylky  $\Delta$  robotického měřicího systému č. 1 k etalonu a jejich aritmetický průměr.



Hodnoty  $x_{2di}$  vzdáleností d1-d10 etalonu a naměřené hodnoty měřícím systémem č. 2.

	Etalon	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>d1</b>	500,0078	499,9680	500,0010	500,020	499,9890	500,002	500,0240	499,9870	500,0070	500,0080	500,0260
<b>d2</b>	499,9578	499,9990	499,9450	499,9470	499,9650	499,9610	499,9410	499,9580	499,9340	499,9690	499,9940
<b>d3</b>	500,0750	500,0380	500,0310	500,0280	500,0580	500,0300	500,0480	500,0490	500,0250	500,0220	500,0280
<b>d4</b>	500,0466	500,0640	500,0310	500,0460	500,0580	500,0660	500,0500	500,0490	500,0650	500,0600	500,0650
<b>d5</b>	500,0685	500,0640	500,0690	500,0810	500,0590	500,0520	500,0640	500,0710	500,0810	500,0590	500,0690
<b>d6</b>	499,9782	499,9600	500,0010	499,9650	499,9650	500,0170	500,0090	499,9910	499,9620	499,9710	500,0030
<b>d7</b>	500,0325	500,0570	500,0380	500,0630	500,0100	500,0380	500,0260	500,0570	500,0350	500,0750	500,0450
<b>d8</b>	499,9749	499,9610	499,9730	499,9270	499,9630	499,9590	499,9440	499,9900	499,9680	499,9480	500,0040
<b>d9</b>	499,9907	499,9640	500,0060	499,9800	500,0470	500,0210	500,0470	500,0070	500,0450	500,0000	500,0240
<b>d10</b>	500,1008	500,1360	500,1420	500,0790	500,0580	500,1120	500,0870	500,1050	500,0660	500,0970	500,0940

Legenda: vodorovně je hodnota etalonu + pořadí měření, svisle je kontrovaná vzdálenost [13]

Vypočítané odchylky  $\Delta x_{2di}$  vzdáleností d1-d10 pro výpočty měřícím systémem č. 2.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	$\overline{\Delta x_{2di}}$
<b>d1</b>	-0,0398	0,0412	-0,0370	-0,0086	-0,0045	-0,0182	0,0245	-0,0139	-0,0267	0,0352	-0,0046
<b>d2</b>	-0,0068	-0,0128	0,0210	-0,0156	0,0005	0,0228	0,0055	-0,0019	0,0153	0,0412	0,0035
<b>d3</b>	0,0122	-0,0108	0,0120	-0,0186	0,0125	-0,0132	0,0305	-0,0479	-0,0107	-0,0218	-0,0063
<b>d4</b>	-0,0188	0,0072	-0,0010	0,0114	-0,0095	-0,0132	-0,0225	-0,0119	0,0563	-0,0428	-0,0109
<b>d5</b>	-0,0058	0,0032	-0,0120	-0,0166	-0,0165	0,0388	0,0055	-0,0159	0,0303	0,0112	-0,0016
<b>d6</b>	0,0162	-0,0168	0,0120	0,0014	-0,0045	0,0308	-0,0065	-0,0309	0,0563	-0,0138	0,0062
<b>d7</b>	-0,0208	0,0002	-0,0030	0,0024	0,0025	0,0128	0,0245	0,0151	0,0163	0,0042	0,0119
<b>d8</b>	-0,0008	-0,0238	0,0060	-0,0216	0,0125	-0,0162	0,0025	-0,0069	0,0543	-0,0348	-0,0112
<b>d9</b>	0,0002	0,0112	-0,0190	-0,0246	-0,0095	-0,0072	0,0425	-0,0269	0,0093	-0,0038	0,0234
<b>d10</b>	0,0182	0,0362	-0,0420	-0,0186	0,0005	0,0248	0,0125	0,0291	0,0333	-0,0468	-0,0072

Legenda: vodorovně je pořadí měření + aritmetický průměr, svisle je kontrovaná vzdálenost

č. 2 k etalonu a jejich aritmetický průměr.

Odchylky kontrolních bodů.

Referenční sken: Karoserie svařená měřicím systémem č. 1

Porovnávaný sken: hotový automobil měřicím systémem č. 2

Název	Měřená	Název	Měřená	Název	Měřená	Název	Měřená	Název	Měřená
ZP1_1	0,0534	ZP1_2	-0,0392	ZP1_3	-0,0484	ZP1_4	0,0372	ZP1_5	0,0680
ZP2_1	-0,1447	ZP2_2	-0,0916	ZP2_3	-0,0426	ZP2_4	-0,0623	ZP2_5	-0,0793
ZL1_1	0,0295	ZL1_2	-0,0261	ZL1_3	-0,0277	ZL1_4	-0,0246	ZL1_5	-0,0354
ZL2_1	-0,0221	ZL2_2	-0,0218	ZL2_3	-0,0223	ZL2_4	0,0487	ZL2_5	-0,0142
XP_1	-0,1080	XP_2	-0,1883	XP_3	-0,2589	XP_4	-0,0624	XP_5	-0,0061
XL_1	-0,0474	XL_2	0,0434	XL_3	-0,0759	XL_4	-0,0233	XL_5	0,0494
YL1_1	0,1259	YL1_2	0,1388	YL1_3	0,0794	YL1_4	0,0876	YL1_5	0,0877
YP1_1	0,0629	YP1_2	0,0242	YP1_3	0,0686	YP1_4	0,1626	YP1_5	0,1409
YP2_1	-0,0731	YP2_2	-0,0630	YP2_3	-0,1241	YP2_4	0,0254	YP2_5	0,0793
YL2_1	-0,0254	YL2_2	-0,0106	YL2_3	-0,0280	YL2_4	0,0062	YL2_5	-0,0260

Název	Měřená	Název	Měřená	Název	Měřená	Název	Měřená	Název	Měřená
ZP1_6	0,0806	ZP1_7	-0,0171	ZP1_8	0,0045	ZP1_9	0,0429	ZP1_10	0,0136
ZP2_6	-0,1174	ZP2_7	0,0868	ZP2_8	-0,1125	ZP2_9	-0,0763	ZP2_10	0,0015
ZL1_6	-0,0711	ZL1_7	-0,0105	ZL1_8	0,0130	ZL1_9	-0,0182	ZL1_10	-0,0215
ZL2_6	0,1158	ZL2_7	0,0436	ZL2_8	0,0349	ZL2_9	0,0217	ZL2_10	0,0205
XP_6	-0,0973	XP_7	-0,0528	XP_8	-0,1389	XP_9	-0,1007	XP_10	-0,0884
XL_6	-0,0623	XL_7	-0,0517	XL_8	0,0438	XL_9	-0,0450	XL_10	-0,0244
YL1_6	0,0550	YL1_7	0,0526	YL1_8	0,1134	YL1_9	0,0598	YL1_10	0,0010
YP1_6	0,1316	YP1_7	0,0325	YP1_8	0,1166	YP1_9	0,1939	YP1_10	0,0186
YP2_6	-0,0813	YP2_7	0,0293	YP2_8	0,0135	YP2_9	-0,0369	YP2_10	-0,1173
YL2_6	-0,0252	YL2_7	-0,0421	YL2_8	0,0239	YL2_9	-0,0369	YL2_10	-0,0409

Organization: ŠKODA AUTO a.s.

Operator: Michal Čada

E-mail:

Part name: Karoserie /Hotový automobil

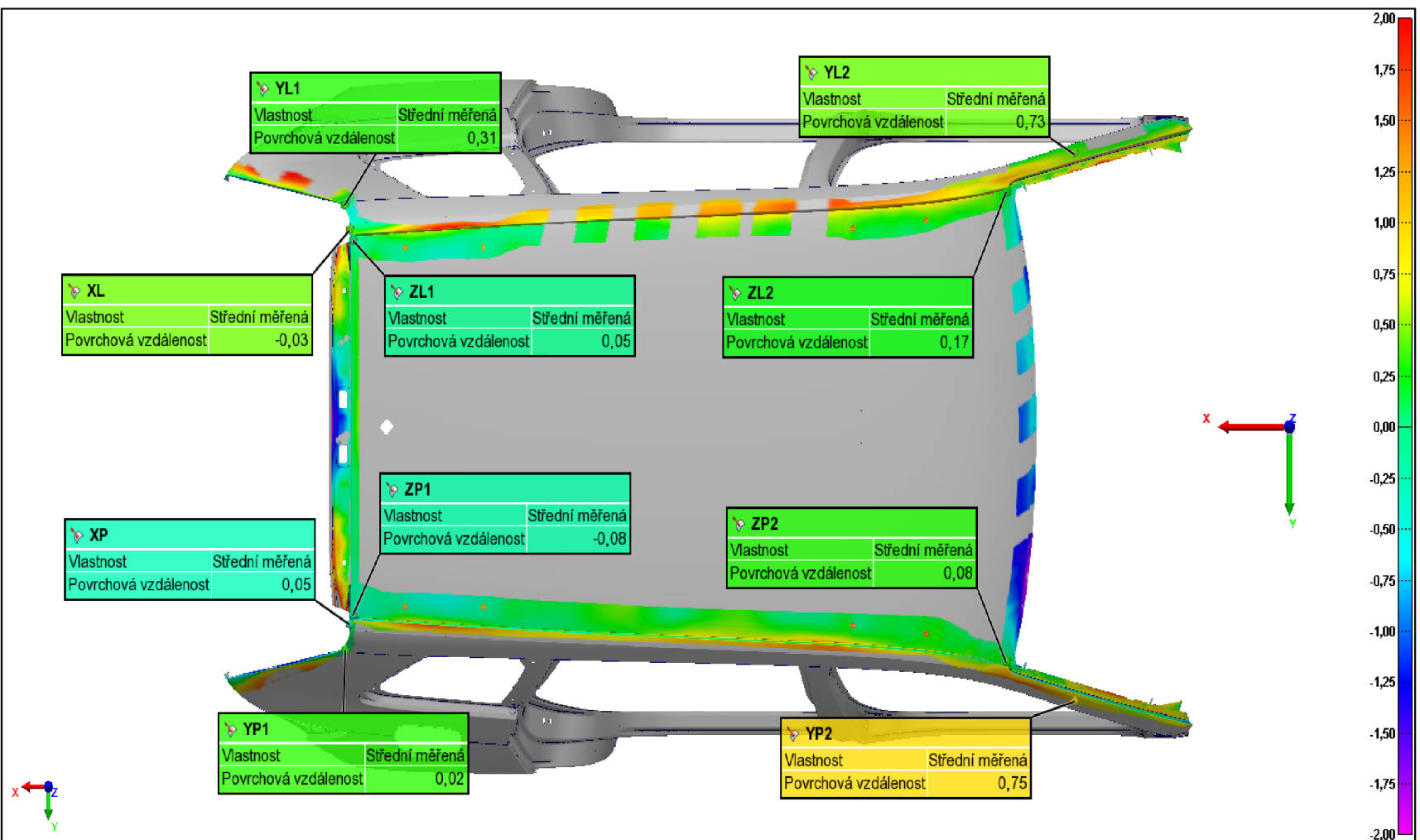
Part number:

Piece: č. 1 až č. 10

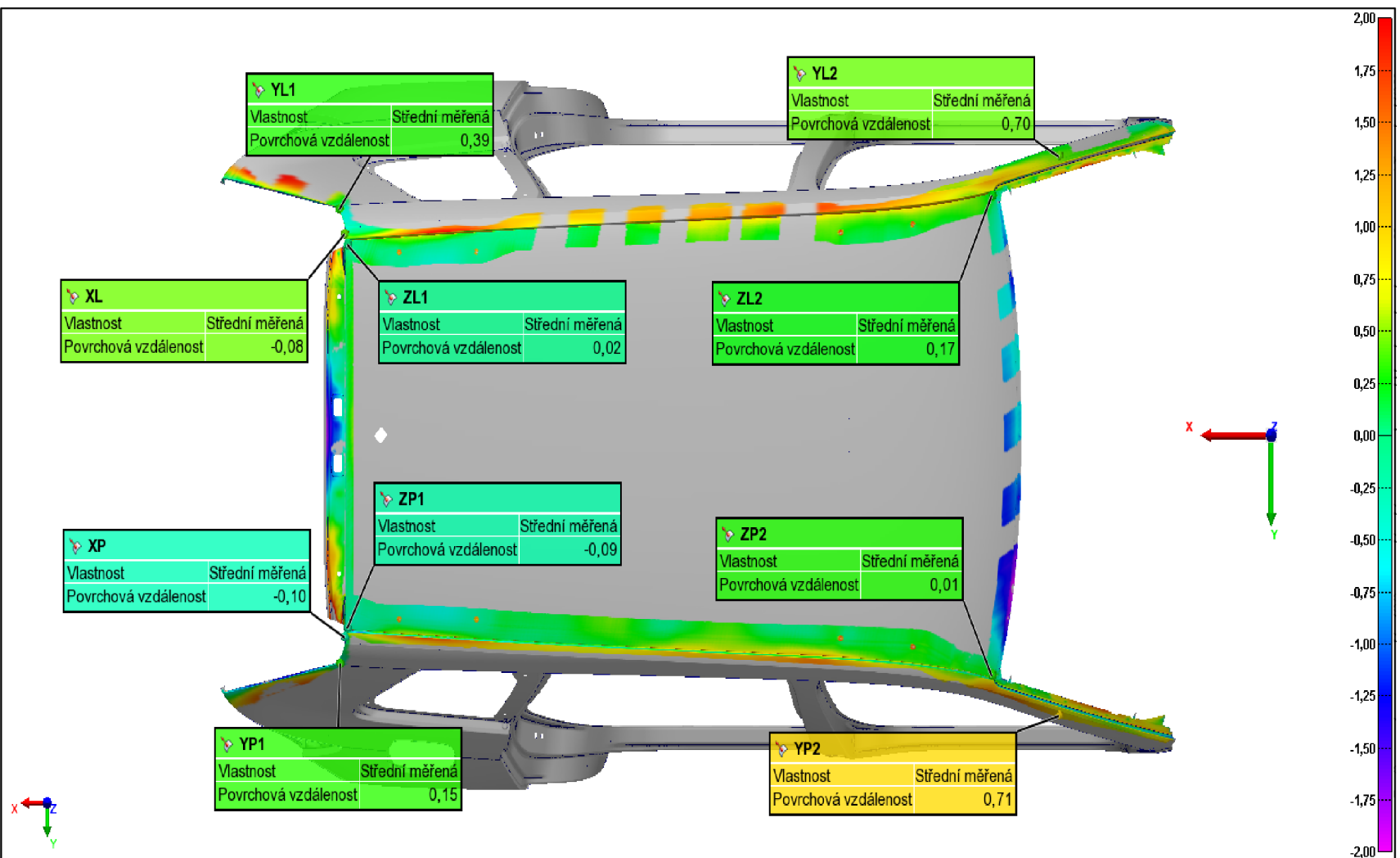
15.5.2018

1/1

Příloha 6) Protokol z měření: hodnoty  $\Delta$  v kontr. bodech na 10-ti karoseriích [13].



Příloha 7) Střední hodnota odchylek  $\Delta$  10x svařené karoserie měřené měřicím syst. č. 1 [13].



Příloha 8) Střední hodnota odchylek  $\Delta 10x$  hotového vozu měřeného měřicím systémem č. 2 [13].