



Optická kontrola kvality povrchu pomocí snímacího senzoru ABIS II

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T049 – Výrobní systémy a procesy
Autor práce: **Bc. Kristýna Kubíková**
Vedoucí práce: Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Optical inspection of surface quality by using sensor ABIS II

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301T049 – Manufacturing Systems
Author: **Bc. Kristýna Kubíková**
Supervisor: Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kristýna Kubíková**
Osobní číslo: **S17000221**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní systémy a procesy**
Název tématu: **Optická kontrola kvality povrchu pomocí snímacího senzoru ABIS II**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem této závěrečné práce bude analýza optického snímače ABIS II a ověření jeho vhodnosti pro kontrolu povrchu lisovaných dílů. Součástí práce bude nejen stanovení vlivů na přesnost snímání pomocí tohoto zařízení, ale také navržení možných řešení pro jejich snížení či odstranění.

Doporučené metody pro vypracování:

1. Úvod do problematiky, seznámit se se způsoby kontroly povrchu lisovaných dílů.
2. Provést rešerši současných optických snímačů ve spojitosti s kontrolou povrchových vad výlisků (přehled současného stavu poznání).
3. Popsat principy a použití snímače ABIS II.
4. Stanovit aspekty ovlivňující optické vyhodnocení povrchu výlisku senzorem ABIS II.
5. Navrhnout a realizovat možná opatření ke snížení vlivu jednotlivých aspektů na kvalitu a přesnost vyhodnocení povrchu.
6. Zpracování a interpretace výsledků, zhodnocení přínosů, diskuze, závěr.
7. Součástí DP bude příprava odborného článku na řešené téma.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **min. 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] SALVI, J., J. PAGES a J. BATLLE. Pattern Recognition. Pattern codification strategies in structured light systems [online]. Elsevier, 2003, s. 827-849 [cit. 2018]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320303003303?via%3Dihub>.
- [2] ASUNDI, A.K. a P.K. RASTOGI. Fringe projection techniques: Whither we are? Optics and Lasers in Engineering [online]. Elsevier, 2010, s. 133-140 [cit. 2018]. Dostupné z: <http://infoscience.epfl.ch/record/140745/files/OLEN.pdf>.
- [3] SONG, Z. Handbook of 3D machine vision: optical metrology and imaging. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2013. ISBN 978-1-4398-7219-2.
- [4] ABIS II TeachIn: Příručka. Neubeuern - Německo: Carl Zeiss Optotechnik, 2016.

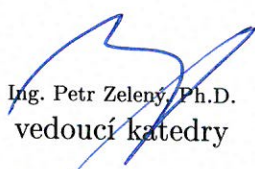
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání diplomové práce: **15. listopadu 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2018

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 30.4.2019

Podpis: 

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu závěrečné práce Ing. Radomíru Mendřickému, Ph.D. a konzultantovi ve ŠKODA AUTO a.s. Ing. Michalovi Lánskému za poskytnuté konzultace, odborné rady a připomínky při psaní této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá optickým senzorem ABIS II, konkrétně využitím tohoto zařízení při kontrole lisovaných dílů ve ŠKODA AUTO a.s. V této práci je představena problematika kontroly výlisků a v první části jsou zmapovány dostupné kontrolní metody. Druhá část se zabývá porovnáním současné manuální kontroly lisovaných dílů se systémem ABIS II a následně i se systémem ATOS Triple Scan. Poslední část práce se zabývá faktory, které ovlivňují přesnost snímání senzorem ABIS II. V této části jsou na některé z vlivů navržena a následně realizována opatření. V závěru jsou poté tato opatření spolu se systémem ABIS II zhodnocena.

Klíčová slova:

ABIS II, kontrola výlisků, optické skenery, brouskování, digitální brousek, VMT kamery, kontrolní přípravek, vlivy na přesnost snímání, kvalita povrchu

Abstrakt

This thesis deals with optical sensor ABIS II, specifically with the use of this device in ŠKODA AUTO a.s. In this work are presented issues of inspection of pressed parts. In the first part the available control methods are mapped. The second part deals with the comparison of current control systems with the system ABIS II and with the optical scanner ATOS Triple Scan. The last part of this thesis deals with effects on the scanning accuracy of the sensor ABIS II. In this part, there are suggested and realized measures on these effects. Finally are evaluated these measures and the system ABIS II.

Keywords:

ABIS II, pressing inspection, optical scanning, grinding, digital grinding stone, VMT cameras, control fixture, effects on scanning accuracy, surface quality

Obsah

Úvod	13
1 Rešerše současného stavu poznání	14
1.1 Způsoby inspekčních metod	14
1.2 3D skenování	19
1.2.1 Klasifikace 3D skenerů	19
1.2.2 Optické skenery	20
1.3 Profilometrické metody	20
1.3.1 Metody optické triangulace	20
1.3.2 Projekce strukturovaného světla	21
1.3.3 Generování strukturovaného vzoru	22
1.3.4 Snímání strukturovaného vzoru	22
1.3.5 Analýza strukturovaného vzoru	22
2 Vzájemné porovnání kontrolních metod	24
2.1 Manuální kontrola výlisků	24
2.1.1 Kontroly výlisků	24
2.1.2 Audit výlisků	24
2.2 Sensor ABIS II (automatic body inspection system)	26
2.2.1 Senzor ABIS II	26
2.2.2 2D laserový projekční systém	28
2.2.3 VMT kamery	28
2.2.4 Tvorba nového měřicího programu pro daný lisovaný díl	29
2.3 Porovnání obou metod	32
2.4 Shrnutí	34
2.5 Ruční kontrola, ABIS II a ATOS Triple Scan	35
3 Faktory ovlivňující vyhodnocení povrchu výlisku senzorem ABIS II	37
3.1 Vlivy na přesnost měření – související studie	37
3.2 Vliv světla na správnou funkci VMT kamer	39
3.1.1 Ověření funkce kamer	40

3.1.2	Dodatečné zastřešení měřicí buňky.....	41
3.2	Vliv ustavení dílu na výsledky měření	43
3.2.1	Zkouška opakovatelnosti měření	43
3.2.2	Opatření – záměna materiálu podložky.....	45
3.2.3	Opatření - návrh a realizace měřícího přípravku	46
3.3	Vliv naklopení a natočení snímače.....	50
3.3.1	Optimální nastavení snímače.....	50
3.3.2	Zkouška – naklopení snímače.....	52
3.4	Způsob promítání proužků.....	56
3.4.1	Zkouška - natočení snímače	57
3.5	Mask Fit.....	60
3.5.1	Volba křivek pro Mask Fit	60
3.5.2	Mask Fit větších ploch	61
3.6	Materiál výlisku	63
4	Využití systému ABIS II pro IN-Line měření.....	64
5	Závěr.....	65
	Použitá literatura	66
	Přílohy	70
	A – vyhodnocení povrchu blatníku pomocí optického skeneru ATOS	70
	B – vyhodnocení blatníku pomocí ručního brouskování, ABIS II a ATOS	71
	C - Technické údaje skenerů ABIS II a ATOS [7, 17].....	75

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma metody deflektometrie [37].....	15
Obrázek 2: Schéma retroreflexní metody [5].....	15
Obrázek 3: a) Atos Triple Scan [7]; b) Skenovací hlava od FCC [8].....	17
Obrázek 4: Surface CONTROL: a) Snímač; b) Projekce strukturovaného světla; c) Digitální brousek [9]; d) Snímač Cross Scanner [10].....	18
Obrázek 5: Klasifikace 3D skenerů [11] [12]	19
Obrázek 6: Pasivní triangulace [13]	21
Obrázek 7: a) 1D triangulace; b) 3D triangulace [13]	21
Obrázek 8: a) Laserová interferenční metoda; b) Projekční metoda [14].....	22
Obrázek 9: a) Fázové posunutí strukturovaného vzoru; b) DEM [15]	23
Obrázek 10: Výpočet Z souřadnice bodu.....	23
Obrázek 11: Brouskovaný díl	25
Obrázek 12: ABIS II.....	26
Obrázek 13: a) Senzor ABIS II; b) Způsob promítání; c) Porovnání ABIS I a ABIS II [17]	27
Obrázek 14: a) Projekce strukturovaného světla na povrch blatníku; b) detail vzoru	27
Obrázek 15: Projekce laserového vzoru na měřící stůl.....	28
Obrázek 16: a) VMT kamera; b) Princip VMT kamer [19].....	29
Obrázek 17: Hodnocení závad [20].....	31
Obrázek 18: Auditovaný blatník	35
Obrázek 19: a) Strop haly lisovny, b) měřící buňka ABISu	39
Obrázek 21: Korekční vektor [19].....	40
Obrázek 20: Proměnlivé světelné podmínky v měřící buňce.....	40
Obrázek 22: Znázornění dodatečného zastřešení měřící buňky	41
Obrázek 23: Detaily výlisků	43
Obrázek 24: Ustavení výlisku na měřícím stole.....	45
Obrázek 25: Návrh měřícího přípravku pro postranici	46
Obrázek 26: a) Spojení podpěry s měřícím stolem; b) první verze podpěry pro otvor; c) konečná verze v podobě čepu.....	47
Obrázek 27: Snímek podpěry.....	47
Obrázek 28: Hotový přípravek spolu s postranicí	48
Obrázek 29: Velikost defektu a) díl volně položený na měřícím stole b) díl ustavený v navrženém přípravku	48
Obrázek 30: Bod středu nástroje – TCP [20].....	50
Obrázek 31: Nastavení polohy snímače.....	51

Obrázek 32: Projekční Moiré interferometrie [13].....	52
Obrázek 33: Detekce závad v závislosti na sklonu povrchu [18].....	52
Obrázek 34: Měřicí pozice v závislosti na naklopení snímače – fáze, defekty, kontrast.....	53
Obrázek 35: a) Časová kodifikace; b) Prostorová kodifikace; c) Přímá kodifikace [33]	56
Obrázek 36: Směr promítaných proužků vzhledem k zakřivení povrchu [20]	57
Obrázek 37: Natočení snímače: a) 0°; b) 10°; c) 20°; d) 30°; e) 40°; f) 50°; g) 60°; h) 70°	59
Obrázek 38: a) kontrast, b) video, c) intenzita	60
Obrázek 39: a) Snímek dveří; b)c) designová hrana použitá pro Maskfit	60
Obrázek 40: a) původní nastavená maska, b) posunutá maska	61
Obrázek 41: Vnější plech kapoty	62
Obrázek 42: a) Otlaky na výlisku blatníku; b) značení plechu; c) vady materiálu.....	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání časové náročnosti kontroly výlisků	32
Tabulka 2: Porovnání nákladů na zmetky v jedné lisovací dávce	33
Tabulka 3: Nalezení jednotlivých závad.....	36
Tabulka 4: Hodnoty korekčního vektoru v závislosti na denní době	41
Tabulka 5: Hodnoty korekčního vektoru v závislosti na denní době	42
Tabulka 6: Auditové známky systému při opakovaném pokládání dílů.....	44
Tabulka 7: Auditové známky při opakovaném pokládání dílu	45
Tabulka 8: Auditové známky při opakovaném pokládání dílu	49
Tabulka 9: Hodnoty a známky auditu při naklopení snímače	54

Seznam použitých zkratek a symbolů

1D	1-Dimensional, jednorozměrný
2D	2-Dimensional, dvourozměrný
3D	3-Dimensional, trojrozměrný
ABIS	Automatic Body Inspection System, systém pro automatickou kontrolu karoserie
CAD	Computer Aided Design, počítačem podporované projektování
CCD	Charged Coupled Device, elektronická součástka pro snímání obrazu
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor, elektronická součástka pro snímání obrazu
DEM	Digital Elevation Model, model reprezentující reálný povrch
KTL	Kathodische Tauchlackierung, kataforézní lakování
LCD	Liquid Crystal Display, zobrazovací panel fungující na principu tekutých krystalů
LCOS	Liquid Crystal On Semiconductor, zobrazovací panel s tekutými krystaly na polovodiči
LED	Light Emitting Diode, elektrická součástka emitující světlo
PLA	Polylactic Acid, syntetické vlákno
STL	Standard Triangle Language, formát souboru stereolitografie
VMT	Vision Machine Technic, technika strojového vidění
WT	Wavelet Transformation, vlnková transformace

Úvod

Kvalita povrchu výlisku úzce souvisí s kvalitou celého vozu. Proto je kladen velký důraz na kontrolu povrchových dílů. Během procesu lisování se mohou na výliscích objevit deformace, jako jsou propady, boule nebo zvlnění. Tyto nedostatky jsou v rané fázi výroby lidským okem téměř nezjistitelné. V rámci procesu se pak mohou projevit jako závady mající vážný dopad na kvalitu vozu. Opravy takových závad jsou vysoce nákladné a v pokročilé fázi výroby několikanásobně vyšší než na samotném začátku. Proto je potřeba nedostatky rychle a především včas odstranit. V rámci této práce budou zmapovány a popsány dostupné technologie pro kontrolu povrchu lisovaných dílů.

Předmětem této závěrečné práce je optický kontrolní systém ABIS II od firmy Carl Zeiss Optotechnik GmbH. Jedná se o nový inspekční systém ve společnosti ŠKODA AUTO a.s., který slouží ke kontrole lisovaných dílů. Na rozdíl od ostatních optických systémů nekontroluje rozměrovou přesnost výlisku, ale kvalitu jeho povrchu. Hlavním cílem využití tohoto optického zařízení je automatizace současného manuálního způsobu kontroly výlisků, a zároveň zrychlení a zpřesnění celého kontrolního procesu. Dále odstranění vlivu lidského faktoru při hodnocení dílů a dosažení zcela objektivní kontroly výlisků.

I když je tento systém navržen přímo pro kontrolu výlisků, vyhodnocení závad, které se pohybují v řádu desítek mikrometrů, není tak úplně jednoduché. Cílem této práce tedy bude ověření funkce a nalezení optimálního nastavení systému ABIS II pro kontrolu výlisků. Jeho vlastnosti a výstupy budou porovnány se současným způsobem manuální kontroly výlisků, a to z hlediska odhalitelnosti a správné klasifikace závad, časové náročnosti a dalších parametrů důležitých pro kontrolu výlisků. Budou stanoveny a analyzovány vlivy na přesnost snímání a na tyto vlivy budou následně navržena a realizována opatření pro jejich snížení nebo odstranění. Praktickou částí této práce bude tedy optimalizace celého systému, aby bylo dosaženo výsledků měření co nejlépe vypovídajících o kvalitě snímaného dílu.

Pokud by se toto zařízení osvědčilo, do budoucna by mohlo zcela nahradit ruční kontrolu, která je v současné době jediným nejspolehlivějším způsobem kontroly výlisků.

1 Rešerše současného stavu poznání

Na kvalitu povrchu lisovaných dílů jsou kladeny stále větší nároky. I s novými výrobními technologiemi není vždy možné vysokým požadavkům na kvalitu povrchových dílů vyhovět. Během procesu lisování se mohou objevit deformace, jako jsou propady, boule, zvlnění nebo trhliny a je potřeba na takové nedostatky rychle reagovat a odstranit je.

Na lakované karoserii mohou být vizuálně vnímány propady již s hloubkou deseti mikrometrů a plošným rozměrem několika milimetrů. V rané fázi výroby nejsou tyto malé defekty na výliscích lidským okem viditelné. Což je způsobené drsným povrchem lisovaných dílů bez povrchové úpravy. Tyto drobné defekty se stávají viditelnými až po nanesení vrstvy laku. Jelikož se při každém výrobním kroku cena dílů zvyšuje, odstranění závad v pokročilé fázi výroby je nákladné. Čím déle se tedy na závadu přijde, tím je korekce dražší [1].

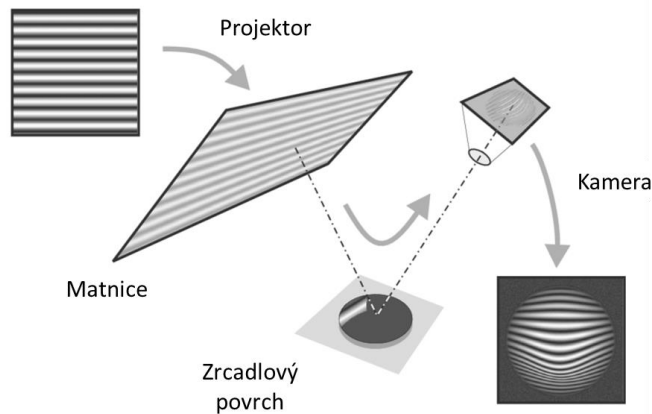
1.1 Způsoby inspekčních metod

Existuje celá řada způsobů jak kontrolovat rozměrovost výlisků, průměry otvorů, jejich polohu a další prvky. Naopak metod pro kontrolu kvality povrchu, kde je potřeba k vyhodnocení přesnost v řádu desítek mikrometrů, je minimum. V této kapitole jsou stručně popsány metody, které byly pro vyhodnocení kvality povrchu během posledních let využívány. Zároveň jsou zde vysvětleny principy, na kterých tyto metody fungují.

Defekty na výliscích jako propady, boule či zvlnění byly dříve vyhodnocovány pomocí **2D vizualizace** povrchu, na který bylo promítáno světlo. Takový povrch musel být reflexní, aby promítané světlo co nejlépe odrazil. Zkoumané objekty musely být tedy lakované nebo pokryté kapalným filmem vody či oleje. Odraz světla se pak vlivem zakřiveného povrchu měnil. Orientace odraženého paprsku v prostoru však úzce závisela na lokální orientaci (sklonu) zkoumaného povrchu. Bylo tedy velmi důležité, aby byl senzor vždy obklopený svazkem paprsku. Na tomto principu zavedl Nissan Motor Corporation systém, který promítal na zakřivený povrch pomocí laseru linku a následně ji snímal lineárním CCD snímačem [2].

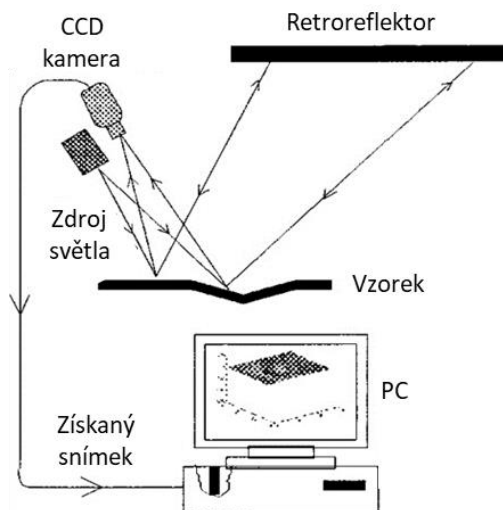
Na podobném principu funguje **deflektometrie**, která se také využívá pro automatickou kontrolu povrchů. Tato metoda však umožňuje detekci vad pouze na hotových nalakovaných vozech [4]. Toto omezení řeší systém založený na principu jednorázové deflektometrie pracující v **infračerveném rozsahu**. Při dostatečně dlouhých vlnových délkách se totiž povrch plechu stává zrcadlově odrazivým, což umožňuje využít metody klasické deflektometrie přímo na surovém plechu. Zařízení je schopné zobrazovat referenční vzor na infračervených vlnových délkách. Ten se poté odráží od povrchu surového plechového dílu a odražený obraz je zachycen termovizní

kamerou. Deformovaný odražený vzor je následně analyzován metodou Fourierovy transformace [1].



Obrázek 1: Schéma metody deflektometrie [37]

Společnost Diffracto Ltd. Kanada představila v roce 1993 systém, který využíval dvouprůchodový **retroreflexní systém**. Ten odrážel světlo zpět k jeho zdroji. Snímač byl umístěn v blízkosti světelného zdroje a snímal zpětně odražené světlo. Intenzita odchylek byla způsobená místními odchylkami sklonu povrchu a ještě zesílena pomocí retroreflektoru. Tato metoda využívala CCD kamery k získání dvourozměrných snímků, které popisovaly geometrii povrchu. Do té doby systémy nezískávaly žádné údaje o geometrii povrchu, ale pouze výstupy vhodné pro kvalitativní vyhodnocení. Navíc vždy vyžadovaly již zmíněné reflexní povrchy [3].



Obrázek 2: Schéma retroreflexní metody [5]

Pro objektivní vyhodnocení defektů představil Kase a kol. v roce 1999 Curvature analysis neboli Analýzu zakřivení. Tato metoda využívala pro vyhodnocení **postprocesingu** naměřených dat. Analyzovala změny zakřivení panelu a odlesky prezentující konkávní a konvexní prvky. V roce

2008 Hazra a kol. představili WT (Wavelet transformation) neboli vlnkovou transformaci. Důležitým přínosem těchto výzkumných prací bylo to, že byly schopny identifikovat defekty z dat získaných konvenčními měřicími nástroji. V roce 2011 Hazra a kol. využili k identifikaci defektů metody strukturovaného světla [36].

Stále je kladen velký důraz na odstranění povrchových vad výlisků v rané fázi, nejlépe ještě v lisovně, což výše zmíněné metody pro kontrolu povrchu neumožňují. Jelikož je nelze využít přímo ve výrobním prostředí, jsou založeny převážně na subjektivním hodnocení nebo je vyhodnocení příliš komplikované. Výlisky se tedy stále kontrolují manuálně. Je tomu tak i ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. **Ruční kontrola** výlisků je prováděna příslušným kvalifikovaným pracovníkem vizuálně, hmatem či brouskováním. Kontrolní proces je však velmi časově náročný. Může být tedy prováděn pouze na vybraných dílech, nikoli stoprocentně na celém objemu výroby. Zároveň i reakce na případné závady v nové lisovací dávce je pomalá. Tento způsob ruční kontroly dílů je tedy z hlediska časové náročnosti nedostačující. Výsledky kontroly výlisku jsou významně ovlivněny lidským faktorem a obdobně jako výše zmíněné metody kontroly jsou subjektivní.

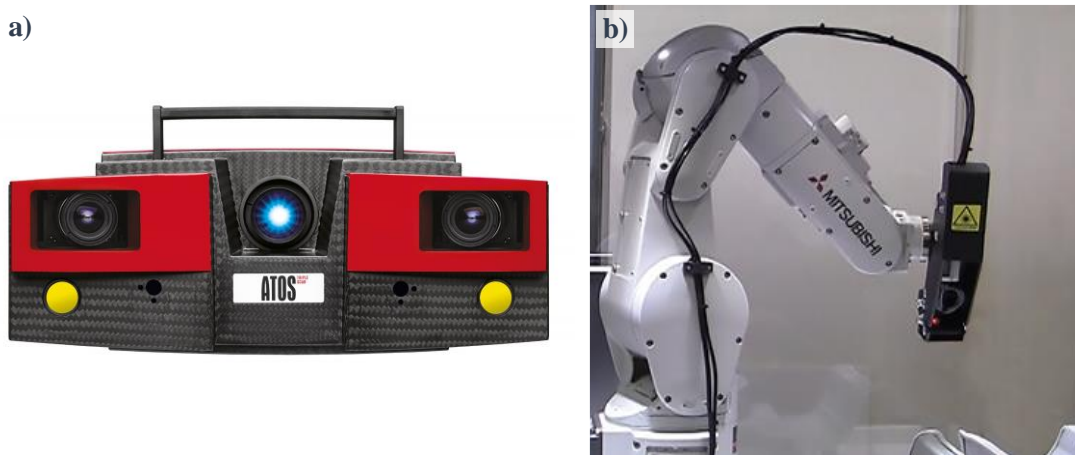
Z těchto důvodů by bylo efektivnější provádět kontrolu výlisků automaticky, a to prostřednictvím průmyslových měřicích systémů. Měření takovým systémem by bylo nejen rychlejší, ale především objektivní a reprodukovatelné. Na takový měřicí systém jsou však kladeny vysoké nároky. Zařízení musí disponovat vysokým rozlišením pro rozpoznání i těch nejmenších defektů, což především u plechových dílů s danou odrazivostí není vůbec jednoduché. Zároveň musí být zařízení spolehlivé i v náročném prostředí průmyslové výroby. Jelikož má být systém umístěn v bezprostřední blízkosti lisovací linky, měl by odolávat nežádoucím vlivům, jako jsou vibrace, proměnná teplota okolí, nehomogenní osvětlení a nečistoty.

Na dnešním trhu firmy jsou dostupné různé systémy pro kontrolu kvality. V průmyslu našlo uplatnění zejména tzv. strojové vidění nebo také **počítačové vidění**, které pomocí rozpoznávání obrazu z kamer nahrazuje lidskou pracovní sílu. Obvykle se využívá k počítání dílů, optické kontrole kvality, určování polohy nebo měření tvaru, rozměrů a odchylek dílu. Tyto systémy nabízejí vizuální kontrolu dílů, následné porovnání s daty či výkresy a jejich vyhodnocení v řádu několika sekund. Jelikož systém vyhodnocuje výrobky v reálném čase, lze ho například připojit přímo k výrobní lince tak, aby v případě nalezení závady mohl zasáhnout do výrobního procesu vyřazením dílu nebo zastavením linky. Kromě již zmíněných činností lze zařízení použít i ke kontrole mechanického poškození povrchu výrobku (škrábanec, trhliny, nedokonalosti laku) [6].

Jedná se ale opět o kontrolní systémy, které slouží pouze ke kontrole rozměrovosti dílu nebo jen některých druhů povrchových závad, které ale musí být dobře viditelné. Pro kontrolu defektů, jejichž velikost se pohybuje v řádu mikrometrů, nejsou vhodné. V následující části jsou

představeny optické systémy dostupné na dnešním trhu, které se zabývají kontrolou kvality povrchu u lisovaných dílů.

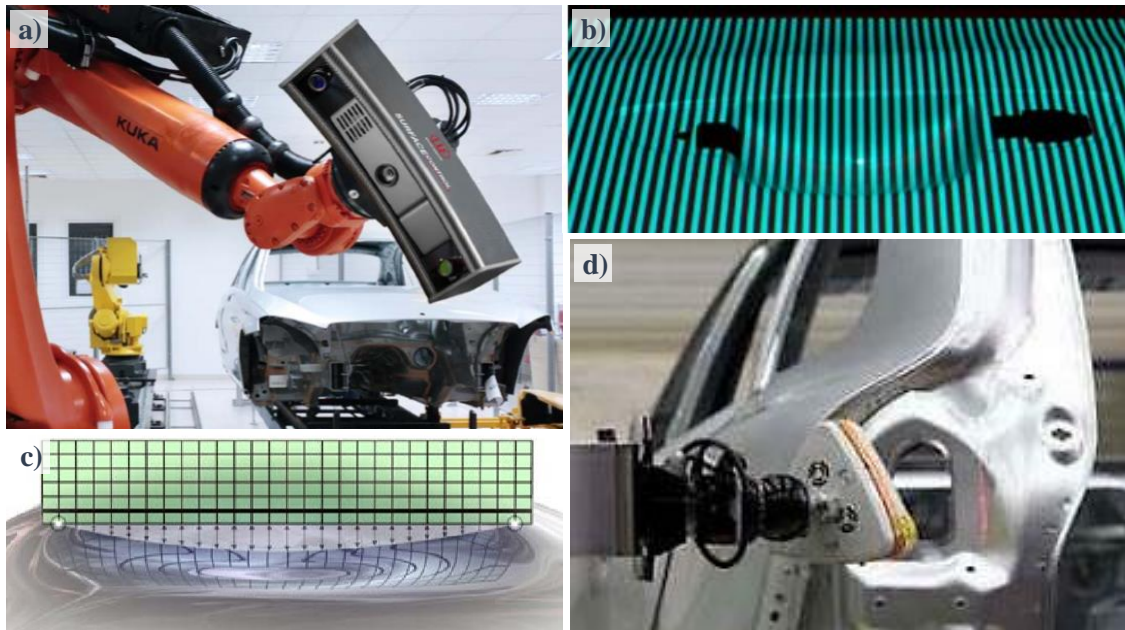
Jednou z mála firem je společnost GOM. Ta pro tyto účely nabízí 3D skener **ATOS Triple Scan**, který funguje na principu optické triangulace. K měření využívá techniky Blue Light Technology. Jedná se o modré světlo, které není tolik závislé na okolních světelných vlivech, což je obrovskou výhodou při měření ve výrobních podmínkách a při měření poměrně lesklých povrchů. Skener vyniká především svou přesností a vysokým rozlišením kamer. K vyhodnocení povrchu se zde využívá nové funkce Surface Defect Map, která by měla simulovat reálný brousek. Výsledkem by měla být mapa defektů s přesnými informacemi o jejich hloubce [7].



Obrázek 3: a) Atos Triple Scan [7]; b) Skenovací hlava od FCC [8]

Další firmou na trhu je **FCC průmyslové systémy s.r.o.**, která nedávno představila svůj systém pro kontrolu kvality výlisků. Toto měřicí zařízení opět funguje na principu optické triangulace. Snímací hlava s laserem a vysokorychlostní kamerou je připevněna k robotu. Dokáže analyzovat povrchové závady plechu menší než 100 μm se snímací rychlostí až 6 m/s. Povrch skenuje v pruzích širokých cca 20 mm. Tato technologie by měla zvládnout snímat i znečištěný povrch výlisků [8].

Dalším zařízením využívaným v automotive je snímač **SurfaceCONTROL** od firmy INB. Je speciálně navržen pro difúzně reflektivní plochy. Měl by tedy být vhodný pro kovové (nepovlakované, galvanizované), plastové i keramické materiály. Snímač je založen na projekci sekvence strukturovaného světla a následném vytvoření 3D mračna bodů reprezentující snímaný povrch. K vyhodnocení povrchu se zde používá digitální brusný kámen. Délka a směr brousů se nastavují podle tvaru povrchu. Snímač by měl dokázat rozpoznat odchylky od 5 - 50 μm , samozřejmě v závislosti na povrchu [9].



Obrázek 4: Surface CONTROL: a) Snímač; b) Projekce strukturovaného světla; c) Digitální brousek [9]; d) Snímač Cross Scanner [10]

Jedním z dalších skenerů používaných v automobilovém průmyslu je **Cross Scanner**, který vznikl ve spolupráci společnosti Metris (Leuven) a Volvo. Funguje na principu 3D laserového skenování. Křížový skener promítá 3 sady laserových paprsků vzájemně posunutých o 120° , což umožňuje skenování otvorů, štěrbin. Umožňuje skenovat reflexní plechy (ocel, hliník) i lakované povrchy s přesností 20 mikrometrů. Získaná data ve formě mračna bodů se porovnávají s CAD daty [10].

Posledním systémem, který je zároveň předmětem této závěrečné práce je inspekční systém **ABIS II**. Tento inspekční systém byl vyvinut společností Daimler Benz AG ve spolupráci s Carl Zeiss GmbH a v současné době se používá k automatické kontrole výlisků ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. Senzor ABIS II využívá ke kontrole povrchu výlisků technologii 3D skenování, která je blíže popsána v následující kapitole. Samotný systém ABIS II bude podrobněji popsán v kapitole 2.2 [2].

1.2 3D skenování

Jedná se o technologii, pomocí které lze reálný trojrozměrný objekt převést do digitální podoby. V současnosti má tato technologie uplatnění téměř ve všech odvětvích. Využívá se ve zdravotnictví, automobilovém a leteckém průmyslu, ale i v oblastech Rapid prototypingu či reversního inženýrství. Často se tato technologie používá k rozměrové kontrole porovnáváním naměřených hodnot s CAD daty [12].

V této kapitole budou popsány jednotlivé metody 3D skenování, které se využívají ke kontrole dílů v automobilovém průmyslu. Budou stručně vysvětleny principy, na kterých tyto metody fungují. Blíže bude popsána metoda Projekce strukturovaného světla, na níž pracuje systém ABIS II a která se řadí mezi metody optické triangulace.

1.2.1 Klasifikace 3D skenerů

Základní rozdělení snímacích systémů je na dotykové a bezdotykové. U dotykových systémů je potřeba hmotný dotyk (obvykle sondy) se snímanou součástí. Tyto systémy vynikají svou vysokou přesností, spolehlivostí a opakovatelností. Bezkontaktní systémy dotyk s povrchem součásti nevyžadují. Jejich hlavní výhodou oproti kontaktní metodě je možnost skenovat tvarově složité součásti. Výstupem je pak hustá síť bodů, která poskytuje informaci o celém povrchu v krátkém čase. Na rozdíl od dotykové metody, kde by bylo měření celého povrchu tělesa velmi časově náročné, obzvláště v případě tvarově velmi členitého dílu.



Obrázek 5: Klasifikace 3D skenerů [11] [12]

Tato diplomová práce se bude blíže zabývat bezkontaktními systémy, konkrétně optickými skenery, které dnes patří mezi nejrozšířenější a řadí se mezi ně i systém ABIS II. Zároveň získaly v poslední době díky zvyšující se přesnosti měření velké uplatnění v průmyslovém odvětví, především ke kontrole jakosti vyráběných dílů [11][12].

1.2.2 Optické skenery

Samotné optické skenery lze dělit na **profilometrické a topografické** v závislosti na výstupních datech. Výstupními daty z profilometrických systémů jsou trojrozměrná data - tzv. mračna bodů, která jsou dále zpracována a interpretována prostřednictvím formátu *.stl (trojúhelníková síť). Tato data mohou být použita jako výchozí datový model pro 3D tisk. Nebo mohou být dále upravována v CAD softwarech například pro účely reversního inženýrství. U topografických systémů jsou výstupní data ve formě dvourozměrného obrazu, tzv. interferogramu. Jedná se o skupiny světlých a tmavých proužků, které fungují na podobném principu jako topografické vrstevnice.

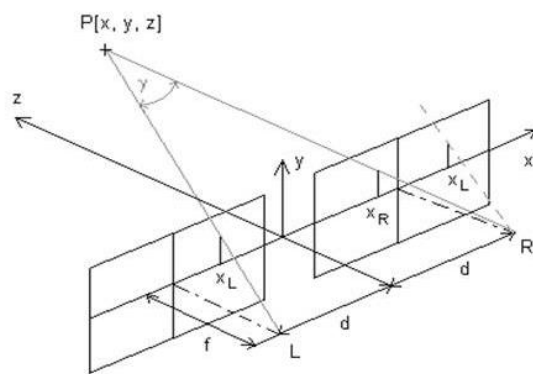
Optické skenery lze také dělit podle toho, na jakém principu získávají informaci o Z souřadnici o trojrozměrném tvaru měřeného objektu. A to na skenery využívající koherentní nebo nekoherentní metody. Koherentní metody fungují na principu interference a umožňují rozlišit výškové rozdíly povrchu o velikosti odpovídající vlnové délce použitého světla. Nelze je však využít k měření rozměrných členitých dílů. Zatímco ty nekoherentní fungují na principu triangulace [12].

1.3 Profilometrické metody

1.3.1 Metody optické triangulace

Dnes se jedná o nejpoužívanější bezkontaktní metodu optického měření. Optické systémy založené na triangulaci lze dělit na pasivní a aktivní. A to v závislosti na tom zda při snímání objektu dochází k emitaci energie na povrch objektu nebo ne.

Na principu pasivní triangulace funguje technika **stereovidění**. Ke snímání měřeného objektu využívá dvou kamer, jejichž ohniska svírají s měřeným bodem daný úhel (tzv. úhlová paralaxa). Tímto způsobem se získají 2 stereoskopické snímky. Následným přiřazením snímaného bodu z levé kamery k bodu ze snímku z pravé kamery se vypočítá prostorová souřadnice zkoumaného bodu.



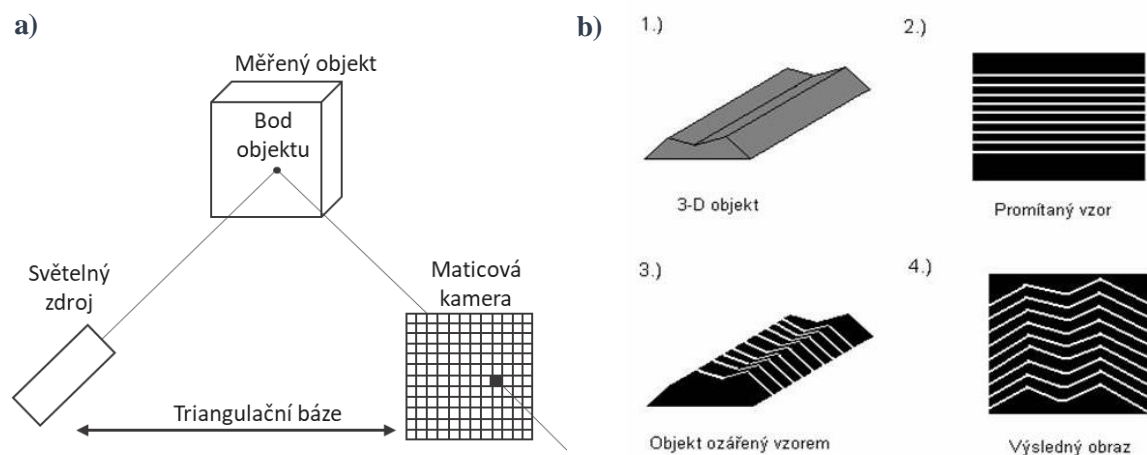
Obrázek 6: Pasivní triangulace [13]

U aktivní metody dochází k emitaci dané formy energie na povrch měřeného objektu. Patří sem metoda **Měření doby letu světla**, u které se ze změřené doby letu světelného paprsku od světelného zdroje až ke snímači určí vzdálenost měřeného objektu. Jedná se o vzájemný vztah mezi referenčním a měřeným optickým signálem. Vzhledem k vysoké rychlosti světla jsou však kladeny vysoké nároky na měřicí zařízení.

Další metodou, která se řadí do kategorie aktivní triangulace a na jejímž principu pracuje senzor ABIS II, je **Projekce strukturovaného světla** neboli Fringe projection [13].

1.3.2 Projekce strukturovaného světla

Tato metoda dnes patří k nejpoužívanějším a nejefektivnějším způsobům snímání povrchu tělesa. Našla uplatnění v medicíně, strojírenství, průmyslových aplikacích, refraktometrii, korozních analýzách, zabezpečovacích systémech, virtuální realitě, reverzním inženýrství nebo i biometrické identifikaci tváří. Princip této metody spočívá v projekci vzoru nebo sady vzorů na povrch snímaného objektu. Z jiné perspektivy dochází vlivem geometrie povrchu ke zkreslení

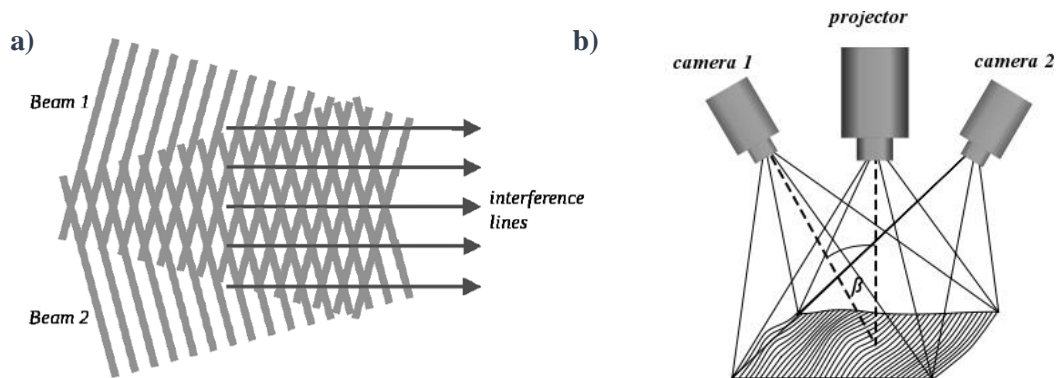


Obrázek 7: a) 1D triangulace; b) 3D triangulace [13]

tvaru promítaného vzoru, viz obrázek 7b. Tento zkruslený vzor je snímán snímačem, čímž se vytvoří rastrový obraz. Zdroj světla, snímač a snímáný bod tvoří triangulační trojúhelník, kde spojnice mezi zdrojem světla a snímačem představuje triangulační bázi, viz obrázek 7a. Úhel, který svírá zdroj s triangulační bází, je neměnný. Naopak úhel mezi snímačem a triangulační bází je proměnný a je výchozím pro výpočet Z-souřadnice. Pro jednotlivé způsoby triangulace se využívají různé promítané vzory. Pro 1D triangulaci je to světelný paprsek, pro 2D světelný pruh a pro 3D strukturovaný světelný svazek [13].

1.3.3 Generování strukturovaného vzoru

Existují 2 způsoby generování vzorů: interferencí a projekcí. Laserová interferenční metoda pracuje se 2 rovinnými paprsky. Jejich interferencí vznikne pravidelný vzor z ekvidistantních přímk. Projekční metoda nevyužívá koherentního světla, ale pracuje na podobném principu jako



Obrázek 8: a) Laserová interferenční metoda; b) Projekční metoda [14]

videoprojektor. Vzor je generován zobrazením přes projektor, obvykle pomocí LCD (Liquid Crystal Display) nebo LCOS (Liquid Crystal on Semiconductor) [14]. Systém ABIS II funguje na principu projekční metody využívající k projekci xenonového světla.

1.3.4 Snímání strukturovaného vzoru

Aby mohly optické skenery snímat povrch zkoumaného objektu, potřebují k tomu optické snímače. Jedná se o technologická zařízení, která převádějí světelný signál na elektrický. Mezi nejpoužívanější snímače patří CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) a CCD (Charged Coupled Device).

1.3.5 Analýza strukturovaného vzoru

Poté co je deformovaný vzor nasnímán, dochází k jeho porovnání s promítaným vzorem. Defekty na povrchu dílu způsobí posun fáze vzoru, která je zachycena v jednom pixelu kamery, oproti fázi

mřížky ve stejném pixelu v referenční rovině. Tento fázový posun určuje vzdálenost bodu měřeného povrchu od referenčního. Deformovaný vzor je fázově modulován v závislosti na rozložení výšky objektu. Jednotlivé odpovídající pixely na kameře se srovnávají s pixely na projekčním zařízení.

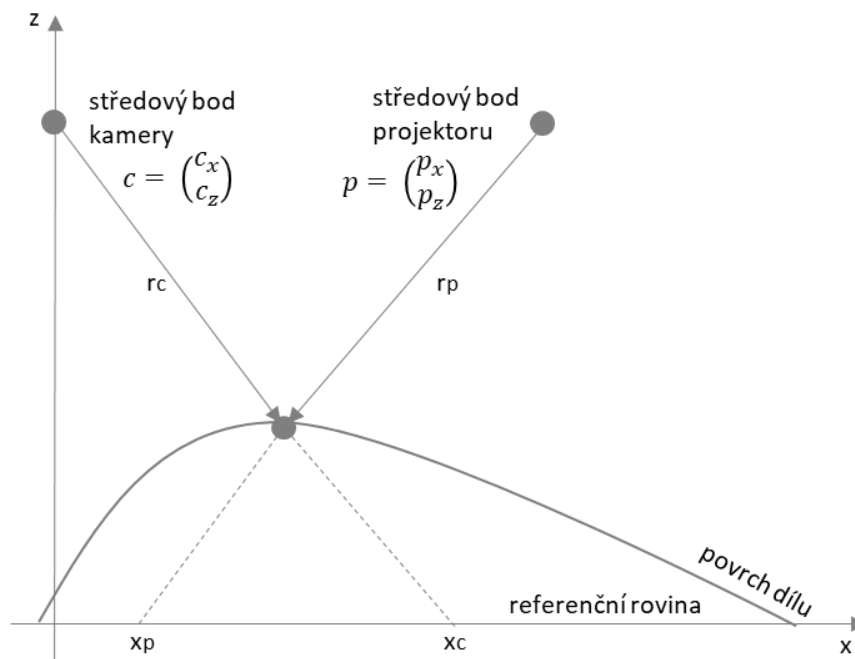


Obrázek 9: a) Fázové posunutí strukturovaného vzoru; b) DEM [15]

Pomocí optické triangulace se pro každý pruh vypočte Z-ová souřadnice dosazením do rovnice 1, kde výraz v čitateli představuje právě fázový posun.

$$W_Z = \frac{x_c - x_p}{\frac{x_c}{c_z} + \frac{p_x - x_p}{p_z}} \quad (1)$$

Takto jsou získány prostorově orientované body (mračna bodů) a následně lze vytvořit DEM model (Digital Elevation Model), neboli model reprezentující reálný povrch [15].



Obrázek 10: Výpočet Z souřadnice bodu

2 Vzájemné porovnání kontrolních metod

V této kapitole jsou vzájemně porovnány kontrolní metody používané ve ŠKODA AUTO a.s., tedy současná manuální kontrola výlisků s novým systémem ABIS II. Nejprve jsou obě metody představeny a podrobně popsány. Následně jsou porovnány z hlediska časové náročnosti, způsobu provedení, nástrojů k vyhodnocování, personálu, nákladů a schopnosti nalézt závady.

2.1 Manuální kontrola výlisků

2.1.1 Kontroly výlisků

Výlisky jsou kontrolovány jak v lisovně, tak v rámci celého výrobního procesu. Kvalita povrchu dílů je kontrolována v každé lisovací dávce, mimo lisovnu pak pomocí samokontrol, automatických kontrol, kontrol v kontrolních bodech a samozřejmě při konečné přejímce celého vozu. Po každém zahájení výroby lisovací dávky je **kontrolován první vyrobený výlisek**. Cílem kontroly je určit celkovou kvalitu dílu. Kontroluje se kvalita povrchu, otřepy a další zjevné povrchové vady. Pokud mají díly vyhovující kvalitu, pracovník provádějící kontrolu potvrdí uvolnění výroby. Dále se provádí tzv. **kontrolní akce**. Jedná se o kontroly výlisků zaměřené na ověření účinnosti provedených nápravných opatření nebo kontrolu aktuálních problémů připomínkových z výroby. Četnost a místo provedení kontroly se řídí dle charakteru připomínek. **Samokontrola**, jedná se o kontrolu, kterou provádí samotný pracovník, a to při výrobě prvního podkompletu ve svařovně. Tímto způsobem kontroluje, zda je díl vhodný pro další zpracování a zároveň správnost provedení operace. Samokontrola se provádí nejen v rámci svařovny, ale i montáže vozu. Další kontroly kvality povrchových dílů karoserie jsou prováděny v **kontrolních bodech**. Ty jsou rozmístěny v celém výrobním procesu [16].

2.1.2 Audit výlisků

Kromě výše zmíněných kontrol jsou samozřejmě prováděny i audity. Při provádění auditů výlisků využívá kvalita koncernových směrnic. Audit je prováděn na náhodně vybraných výliscích, které byly uvolněny k dalšímu zpracování. Díl je během auditu umístěn na speciálním osvětleném pracovišti, kde se posoudí, zda je výrobek v pořádku a odpovídá výrobní dokumentaci. V případě zjištění závady se stanoví, zda je závada opravitelná či nikoliv. Podle toho je paleta označena příslušnou závěskou. V rámci auditu se hodnotí kvalita povrchu, tzn. nerovnosti povrchu jako deformace, zvlnění, dvojité hrany, trhliny, propady, pucky a další. Dále se hodnotí hrany a rádiusy výlisků, funkční a styčné plochy, otřepy či groty. Výlisek je během kontroly rozdělen do 3 zón a závady jsou klasifikovány dle třídění závad.

Vyhodnocení dílu se provádí 3 následujícími způsoby:

- 1) vizuální kontrola povrchu pro zjištění hrubých závad
- 2) kontrola hmatem přetřením povrchu stírací rukavicí pro nalezení menších nerovností
- 3) brouskování povrchu brusným kamenem / brusným papírem



Obrázek 11: Brouskovaný díl

Dle charakteru broušené partie či rádiusu se používá odpovídající brouskovací kámen. Pro zakřivené, oblé, malé plochy či stojiny se používá brousek menších rozměrů. Směr broušení závisí na geometrii dílu. Veškeré odhalené závady na povrchu vylisku se označí, následně zařadí dle polohy a charakteru a poté zaevidují. Závady, které nemají vliv na kvalitu procesu, mohou být akceptovány. Při zjištění závažných závad může být pozastavena výroba [16].

2.2 Sensor ABIS II (automatic body inspection system)

Optický systém ABIS II, který se ve ŠKODA AUTO a.s. využívá pro automatickou kontrolu povrchu lisovaných dílů, je uveden na obrázku 12 a sestává z následujících částí:

- senzor ABIS II,
- robot KUKA - KR 120 R3900 ULTRA (Serie 2010 s řízením VKRC4),
- VMT kamery,
- 2D laserový projekční systém,
- měřicí stůl,
- oplocení,
- bezpečnostní prvky,
- zastřešení.



Obrázek 12: ABIS II

Senzor ABIS II, VMT kamery a 2D projekční laserový systém budou blíže popsány v následujících podkapitolách.

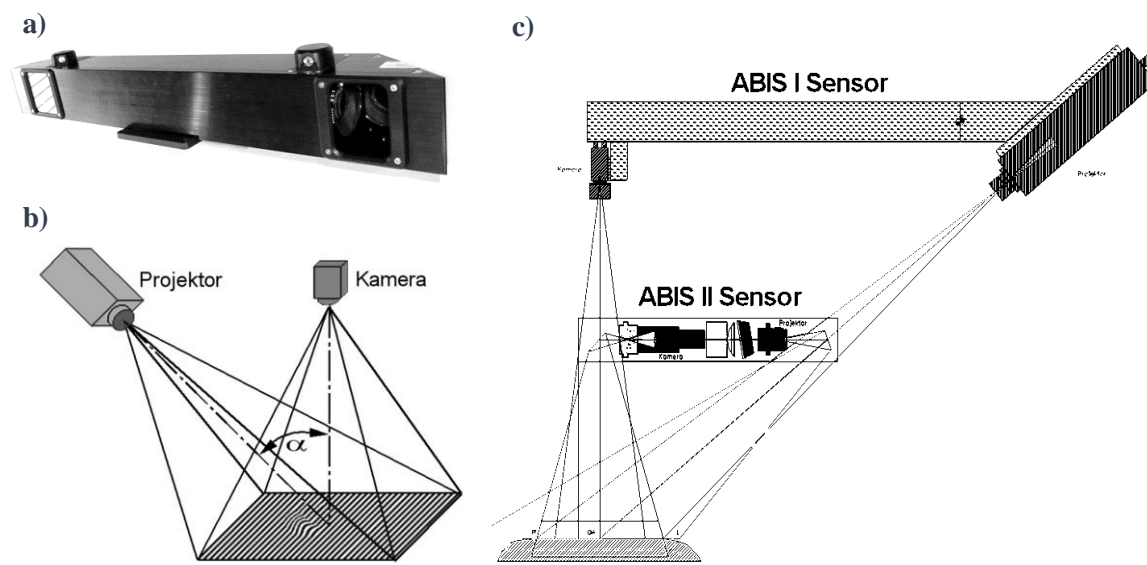
2.2.1 Senzor ABIS II

Jak již bylo zmíněno, senzor ABIS II umožňuje snímat plechové díly v jejich surovém stavu. Je tedy schopen najít i ty nejmenší nerovnosti, které mohou být odhaleny až po vrchním laku. Zároveň dokáže tyto nalezené defekty automaticky klasifikovat dle jejich závažnosti a dopadu na kvalitu výlisku. Hlavní výhodou ABISu je především jeho vysoká přesnost a krátký cyklus měření. Tento systém lze efektivně využít při kontrole kvalitativních smyček v lisovacím nářadí nebo pro zpětnou vazbu při výměně nástroje. Další předností je jeho jednoduchá obsluha.

Rychlost snímání je velmi vysoká, pořízení 1 snímku trvá přibližně 0,1 ms. To umožňuje eliminovat vliv vibrací na výsledky měření a umístit tak ABIS II do bezprostřední blízkosti lisovací linky. Objem, který je tento senzor schopen změřit v jedné pozici, je přibližně 300 x 200 x 40 mm. Systém ABIS II by měl být schopen nejen provést kontrolu lisovaného dílu, ale i svařence nebo celé karoserie. Měl by tedy umět sledovat kvalitu povrchu dílu v průběhu celého procesu. Zároveň dokáže snímat velké množství druhů povrchových vad jako například: boule, důlky, propadliny, škráby, trhliny nebo zvlnění. Systém umožňuje detekovat závady již od 20 μm . Dodatečně lze do systému navíc integrovat kontrastní snímač. Pomocí něho lze kromě nerovností povrchu detekovat zbytky lepidla, škráby nebo nečistoty [17].

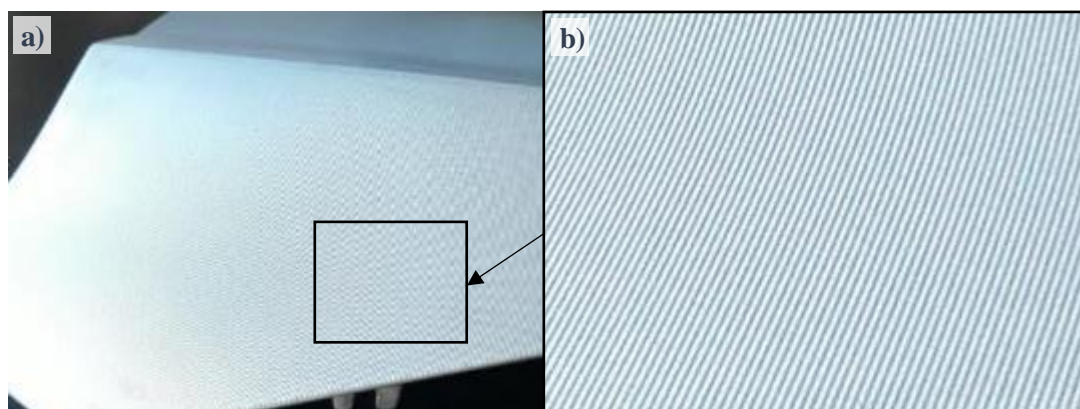
Popis a princip senzoru

Senzor se skládá ze snímače ABIS II uloženého v hliníkovém pouzdře. To umožňuje snímání výlisků přímo ve výrobě, aby bylo minimalizováno riziko poškození snímače prachem, nečistotami, olejem atd. Pro větší kompaktnost a výhodnější uspořádání komponentů uvnitř senzoru jsou v pouzdře umístěna dodatečná zrcadla, která lámou trajektorii paprsku. To je velkou výhodou oproti předchozímu systému ABIS I, kde byl projektor i snímač pevně umístěn u stropu měřicí buňky. Novější verze senzor ABIS II je připevněn přímo na robotu [17].



Obrázek 13: a) Senzor ABIS II; b) Způsob promítání; c) Porovnání ABIS I a ABIS II [17]

Snímač funguje na principu projekce strukturovaného světla, která patří mezi optické metody s vysokou přesností. Tento princip byl podrobněji popsán výše v kapitole 1.3. Pomocí projekce sinusoidálních proužků dochází k určení hodnoty hloubky jednotlivých pixelů. Proužky jsou na povrch měřeného objektu promítány pod triangulačním úhlem 50° a následně snímány CCD snímačem, který je umístěn kolmo nad povrchem.

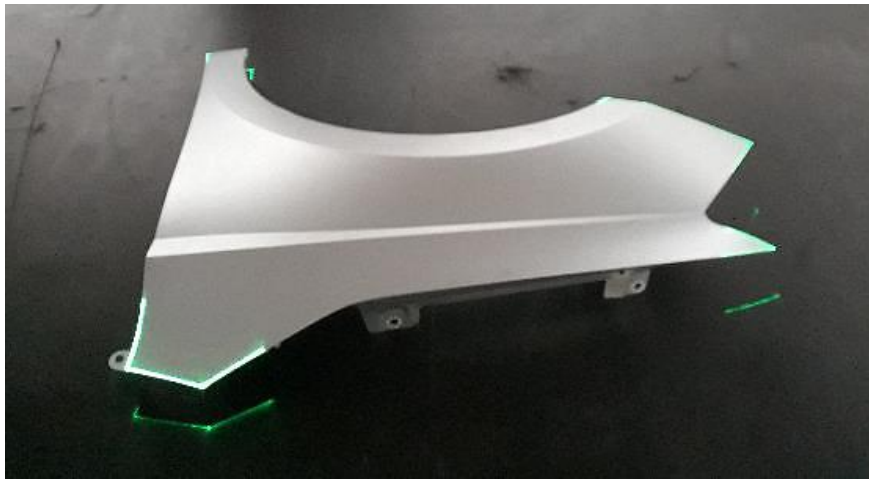


Obrázek 14: a) Projekce strukturovaného světla na povrch blatníku; b) detail vzoru

Získané snímky jsou poté zpracovány a defekty automaticky vyhodnoceny softwarem ABIS, který nabízí celou řadu nástrojů pro vyhodnocení. Závažnost jednotlivých typů závad si může auditor u jednotlivých dílů upravit způsobem odpovídajícím požadavkům společnosti a dle svých zkušeností [18].

2.2.2 2D laserový projekční systém

Systém ABIS II má pro snímání každého dílu pevně nastavené dráhy robota, proto je potřeba díl pokaždé položit do předem stanovené polohy. Jelikož se při snímání dílů nevyužívá žádných ustavovacích či středících prvků, je potřeba správnou polohu dílu určit jiným způsobem. K tomu slouží právě systém LAB CAD pro 2D laserovou projekci. Pomocí projekce hran či jiných zvolených prvků na měřicí stůl pomáhá obsluze měřicí buňky ustavit díl do správné polohy.



Obrázek 15: Projekce laserového vzoru na měřicí stůl

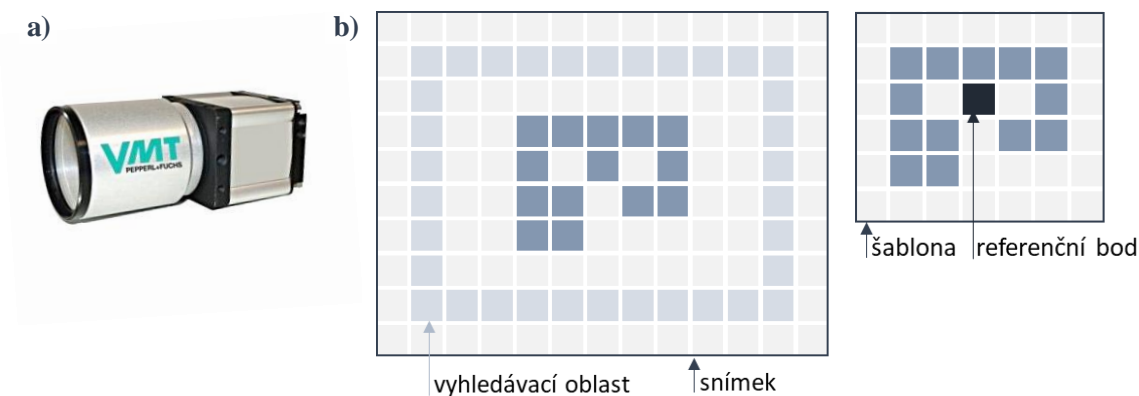
2.2.3 VMT kamery

VMT (Vision Machine Technic) kamery slouží k určení polohy kontrolovaného dílu v prostoru ABIS II. Mají však uplatnění v oblasti strojového vidění, lze je tedy využít ke kontrole těsnosti spojů, správné zástavby, ke kontrole zachování otvorů či kvality nátěru. Systém pracuje s tréninkovou neurální sítí a umožňuje vysoce kvalitní detekci i v proměnlivých světelných podmínkách.

Kamery určují přesnou polohu dílu na základě předem zvolených testovacích prvků. Samotná detekce dílu probíhá vždy přes měřený bod. V první fázi hrubým vyhledáním přes matematický algoritmus a následně vyhledáním přes korelaci stupně šedi (greyscale correlation). Korelace pomocí stupně šedi je nejznámější algoritmus pro určení podobnosti nebo detekci vzorků.

Následuje tedy výpočet aktuální pozice dílu vzhledem k jeho referenční pozici. Snímek hledaného objektu je proložen přes současný snímek a v každé pozici je propočítána podobnost. Pro

optimalizaci snímání je potřeba použít snímek s rozdílným jasem, barvou dílu a perspektivou. Výsledkem výpočtu je korelační vektor, který určuje odchylku aktuální pozice od referenční. Tento vektor se přenesení do programovatelného ovladače a poté je volán řídicí jednotkou robota. VMT systém tedy kompenzuje chyby způsobené nepřesným polohováním dílu následným zkorrigováním dráhy robota [19].



Obrázek 16: a) VMT kamera; b) Princip VMT kamer [19]

2.2.4 Tvorba nového měřicího programu pro daný lisovaný díl

Pro každý typ výlisku je potřeba nejen nastavit VMT kamery a 2D laserový projekční systém, je nutné vytvořit i nový měřicí program. Program se vytváří v softwaru ABIS Teach In a celý proces tvorby programu je popsán v následující části.

Import a kalibrace CAD dat

Nejprve jsou nahrána do systému CAD data požadovaného dílu. Nasnímaný díl se s CAD daty neporovnává z důvodu volného ustavení dílu během měření. Data tedy neslouží k vyhodnocení, ale pouze k vizualizaci jednotlivých měřicích pozic a k vizualizaci zjištěných defektů na měřeném díle v auditové zprávě.

Následuje kalibrace CAD dat, při které je sjednocen souřadnicový systém modelu se souřadnicovým systémem robota. V datech se tedy nejprve nadefinují charakteristické body na modelu výlisku (minimálně 3) a následně se najede středem nástroje (bodem TCP) senzoru ABIS II do těchto pozic. Aktuální souřadnice robota se poté v programu přiřadí ke zvoleným bodům.

Nastavení a maskování měřicích pozic

Poté následuje nastavení měřicích pozic, ve kterých bude senzor ABIS II snímat povrch výlisku. Při nastavování měřicích pozic se musí zohlednit nejen pozice snímače, ale i další sledované vlastnosti, které mají vliv na přesnost snímání. Sousedící snímky se musí překrývat minimálně 20

mm. Pořadí jednotlivých měřících pozic se volí s ohledem na pohyb robota tak, aby bylo co nejvíce ergonomické a bylo dosaženo co nejnižší doby měření. Pro přehledné rozvržení jednotlivých pozic se na měřeném panelu se používá magnetických pásků, které značí přechody mezi pozicemi.

Poté probíhá maskování měřících pozic, čímž se vyberou části snímku, které se nebudou vyhodnocovat. Maskování by mělo ležet při okraji dílu, ale aby měřící oblast neležela v ohybu dílu [20].

Mask fit

Obdobně jako u ostatních optických systémů je potřeba skenovaný díl ustavit. U klasických optických systému se k transformaci souřadného systému skenu velmi často používají RPS body (Reference Point Systém). Může se jednat například o otvory, dosedací plochy či centrovací kolíky. Sken lze zarovnat i pomocí zvolených geometrických prvků nebo best fitu. Best fit může být lokální či globální v závislosti na tom, jestli požadujeme co nejmenší odchylky v rámci zvoleného prvku nebo celého dílu [21].

U snímače ABIS II se nezarovnává celý díl, ale jednotlivé snímky. K zarovnání k referenčnímu snímku se používá funkce Mask Fit. Obvykle se k tomu využívají hrany dílu nebo konstrukční hrany, pokud hrany dílu nejsou k dispozici. Při každém měření se vypočítá odchylka polohy této hrany vzhledem k referenční. Funkce Mask Fit umožňuje tyto odchylky vzniklé nepřesným ustavením dílu na měřící stůl nebo polohováním robota korigovat [20].

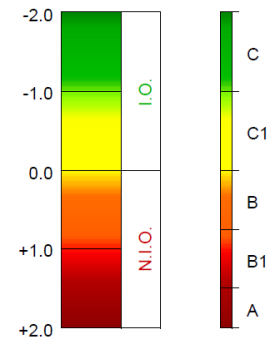
Nastavení nástrojů pro vyhodnocení

Na nezamaskované oblasti se použijí nástroje pro vyhodnocení defektů. Defekty lze rozdělit na dynamické a systematické. Ty dynamické se mohou objevit kdekoliv, zatímco ty systematické jsou obvykle dány procesem lisování a objevují se stále ve stejných oblastech. Také bývají větších rozměrů.

Systém ABIS II nabízí hned několik nástrojů pro vyhodnocení. Základním nástrojem je digitální brusný kámen. Ten slouží k detekci vad, jako jsou zvlnění, propady nebo boule. Software nabízí hned několik délek brusných kamenů pro různé velikosti závad. U jednotlivých snímků se tedy nastaví směr brouskování a velikost zvoleného brusného kamene. Kromě brusného kamene jsou zde na výběr ještě speciální nástroje k detekci dvojitých hran, škráb, zúžení, trhlin, hloubky defektů nebo kontrole otvorů [20].

Klasifikace závad – auditová známka

Hodnota závady je stanovena na základě speciálního algoritmu, který zohledňuje viditelnost závady na hotovém lakovaném díle. Systém tedy umožňuje objektivnější proces detekce defektu. Pro jednotlivé defekty využívá ABIS II různé algoritmy pro výpočet auditové známky. Čím větší je hodnota, tím je defekt závažnější. Hodnoty větší než 0 znamenají defekt s nutností vícepráce. Třídou A jsou ohodnoceny závady viditelné ještě před nalakováním dílu, třídou B závady viditelné po laku a třídou C závady, které nejsou viditelné vůbec. Zeleně jsou znázorněny irelevantní závady, červeně relevantní a žlutou barvou závady hraniční. ABIS II klasifikuje závady na relevantní a irelevantní podle vlastností jednotlivých defektů, například dle jejich hloubky.



Obrázek 17: Hodnocení závad [20]

Dynamické chyby jsou u dílů analyzovány automaticky. Procesně podmíněné dlouhodobé chyby musí být u každého snímku zavedeny manuálně. Jednotlivé hodnoty defektů auditor nastavuje podle svého uvážení [2][18].

K automatickému vyhodnocení závad se využívá Případové usuzování CBR (Case based reasoning) neboli algoritmus, který určí váhu závady na základě předchozích zkušeností. Cyklus CBR může být obecně popsán pomocí 4 kroků. Nejprve CBR hledá případy nejpodobnější řešenému problému, ty následně využije k řešení problému. Poté zkontroluje navrhané řešení a uchová toto nové řešení jako řešení nového případu [22].

2.3 Porovnání obou metod

V této části závěrečné práce je porovnán současný způsob kontroly výlisku se systémem ABIS II. Pro lepší představu bylo porovnání obou způsobů provedeno na dvou konkrétních dílech. Každý díl je specifický dobou zhotovení, tvarovou komplexností, velikostí a způsobem brouskování. Pro tento účel byl vybrán blatník a postranice modelu Octavie, jelikož se jedná o dva velmi rozdílné povrchové výlisky. Tyto díly byly porovnány z hlediska časové náročnosti kontroly, s čímž souvisí také náklady na zmetky, dále z hlediska požadavku na personál a jejich kvalifikaci.

Časová náročnost kontroly

V tabulce 1 jsou porovnány oba způsoby kontroly z hlediska času, také je zde uvažována doprava na kontrolní pracoviště. V případě inspekčního systému ABIS II je v dopravě započítána doba na ustavení dílu na měřicím stole a spuštění programu.

U kontroly výlisku se počítá s kompletní kontrolou celého dílu. Pracovníci provádějící kontrolu mají čas ke kontrole dílu určený směrnici. Jelikož stanovení doby není jednoduché a může vždy lišit v závislosti na dané problematice a zároveň komplexnosti dílu, je tato hodnota stanovena jednotně pro všechny díly na 40 minut. V tabulce 1 jsou skutečné naměřené hodnoty, nikoliv časy dané směrnici. Tyto časy se však mohou měnit v závislosti na aktuální problematice daného dílu, osobě provádějící kontrolu a dalších faktorech.

Tabulka 1: Porovnání časové náročnosti kontroly výlisků

Díl	Blatník		Postranice	
	Manuální	ABIS II	Manuální	ABIS II
Doprava [min]	0,1	2	0,1	3,5
Kontrola povrchu [min]	20	1,7	60	2
Celkem [min]	20,1	3,7	60,1	5,5
Porovnání [%]	100	18,41	100	9,15

Náklady na zmetky

Určení nákladů na zmetky není úplně jednoduchou záležitostí. Nelze jednoznačně určit, zda na výliscích defekty vůbec budou přítomny, a pokud ano, kdy a zda vůbec bude závada na výlisku odhalena a zároveň, jak nákladné bude její odstranění.

Při klasickém brouskování je dle metodického pokynu kontrolován každý 300tý kus. Tato hodnota vychází z časové náročnosti kontroly a zároveň závisí na době výroby jednoho dílu, která je určena počtem zdvihů za jednu minutu. Náklady na zmetky jsou uvedeny v procentech a jsou vypočítány na základě nejhorší varianty, kdy by neshodné díly byly odhaleny co nejpozději. U

systému ABIS II vychází z doby kontroly, že je možné zkontrolovat každý 41. blatník a každou 42. postranici.

Tabulka 2: Porovnání nákladů na zmetky v jedné lisovací dávce

Díl	Blatník		Postranice	
	Manuální	ABIS II	Manuální	ABIS II
Způsob kontroly				
Počet kusů v lisovací dávce	3500		2500	
Počet zdvihů za minutu	11		7,5	
Počet zkontrolovaných dílů	11	85	8	60
Počet zmetků	600	82	600	84
Náklady na zmetky [%]	100	13,7	100	14

Personál

U této konkrétní lisovací linky PXL jsou pro kompletní kontrolu celého dílu určeni 2 pracovníci, kteří kontrolují každý 300tý kus. Dále jsou zde umístěni další 4 pracovníci, kteří kontrolují určité problémové partie u každého výlisku, který je v lince vyroben. V celkovém srovnání se ale uvažuje jen s kompletní kontrolou povrchu, tedy 2 pracovníky. U systému ABIS II je potřeba k obsluze pouze 1 pracovník.

Kromě počtu pracovníků potřebných pro kontrolu je potřeba uvažovat také požadavek na jejich kvalifikaci. V případě konvenčního způsobu kontroly je nutné, aby daní pracovníci měli dostatečné zkušenosti s kontrolou výlisků a byli seznámeni s problematikou jednotlivých dílů. Zatímco u systému ABIS II není potřeba žádných zkušeností. Daný pracovník díl ke kontrole donese do měřicí buňky, ustaví do potřebné pozice na měřicí stůl a spustí program. To jsou však požadavky pouze pro obsluhu zařízení. Pro vytvoření kontrolního programu jsou nutné zkušenosti v oblasti auditu a zároveň znalosti programování robota a systému ABIS II.

Ustavení dílů

Při klasickém způsobu brouskování všech výlisků je díl položen volně na kontrolním stole bez jakýchkoliv upínacích nebo podpěrných pomocných přípravků. Pracovník provádějící kontrolu má však již zkušenosti s tím, jak se jednotlivé díly chovají ve volném stavu. Během brouskování si tedy daný díl různě polohuje, aby bylo dosaženo vypovídající kontroly výlisku. Při kontrole inspekčním systémem ABIS II je díl volně položen na měřícím stole.

Nástroj pro vyhodnocení závad

Systém ABIS II využívá k vyhodnocení tzv. digitálního brousku, který simuluje na základě informace o hloubce stupeň zkreslení strukturovaného světla. Délka brusného kamene pak simuluje periodu a hodnota auditu vychází poté ze stupně zkreslení vzoru.

Délka brusného kamene se volí v závislosti na velikosti defektu, tvaru a zakřivení panelu. K dispozici je několik délek brouseků. Krátký slouží k vyhodnocení kritických míst, jako jsou oblasti kolem madla dveří nebo úzké konkávní plochy. Broušící kámen o délce 55 mm je vhodný pro hledání propadů a boulí. Dále je zde k dispozici krátký, střední a dlouhý kámen o délkách 60, 103 a 200 mm. Pro dvojité hrany 45mm a pro trhliny 3-13 mm v závislosti na tvaru kontury. Směr brusného kamene se obvykle volí rovnoběžně s vrstevnicí dílu nebo kopíruje hranu výlisku.

Velikost brousku významně ovlivňuje odhalitelnost jednotlivých závad. Zatímco u klasického brouskování lze ke kontrole dílu použít jeden nebo maximálně dva typy brouseků o délce 100 a 200 mm, které dokáží odhalit všechny velikosti a typy závad, systém ABIS II toto nedokáže. Brousek větších rozměrů nedokáže odhalit drobné defekty a naopak. Velikost brusného nástroje se totiž volí 2,5x větší než je rozměr závady. Dlouhý brusný kotouč, tedy umožňuje detekovat závady o rozměrech 80 mm, střední 41 mm a krátký 24 mm [18]. Jelikož jsou délky brouseků pevně dané, objevují se situace, kdy digitální brousek závadu nevidí. Zároveň je potřeba u jednotlivých oblastí použít téměř všechny brousky, aby byly zajištěno nalezení všech závad.

2.4 Shrnutí

Z hlediska časové náročnosti na kontrolu výlisků vyšel ABIS výrazně lépe než ruční způsob kontroly. U blatníku trvala kontrola i s dopravou dílu do měřicí buňky pětkrát kratší dobu než u brouskování, u postranice dokonce desetkrát méně. Vzhledem ke kratší době kontroly jednotlivých dílů pomocí systému ABIS II může být kontrola dílů provedena s výrazně vyšší četností během jedné lisovací dávky. Jelikož jsou závady na dílech odhaleny dříve než při manuální kontrole, má to zároveň za následek významné snížení nákladů na neshodné díly. Pokud by se tedy uvažovalo s nejhorší možnou variantou, s pomocí systému ABIS II by se díky četnosti kontrol odlisovalo o 85% méně zmetků než při ruční kontrole.

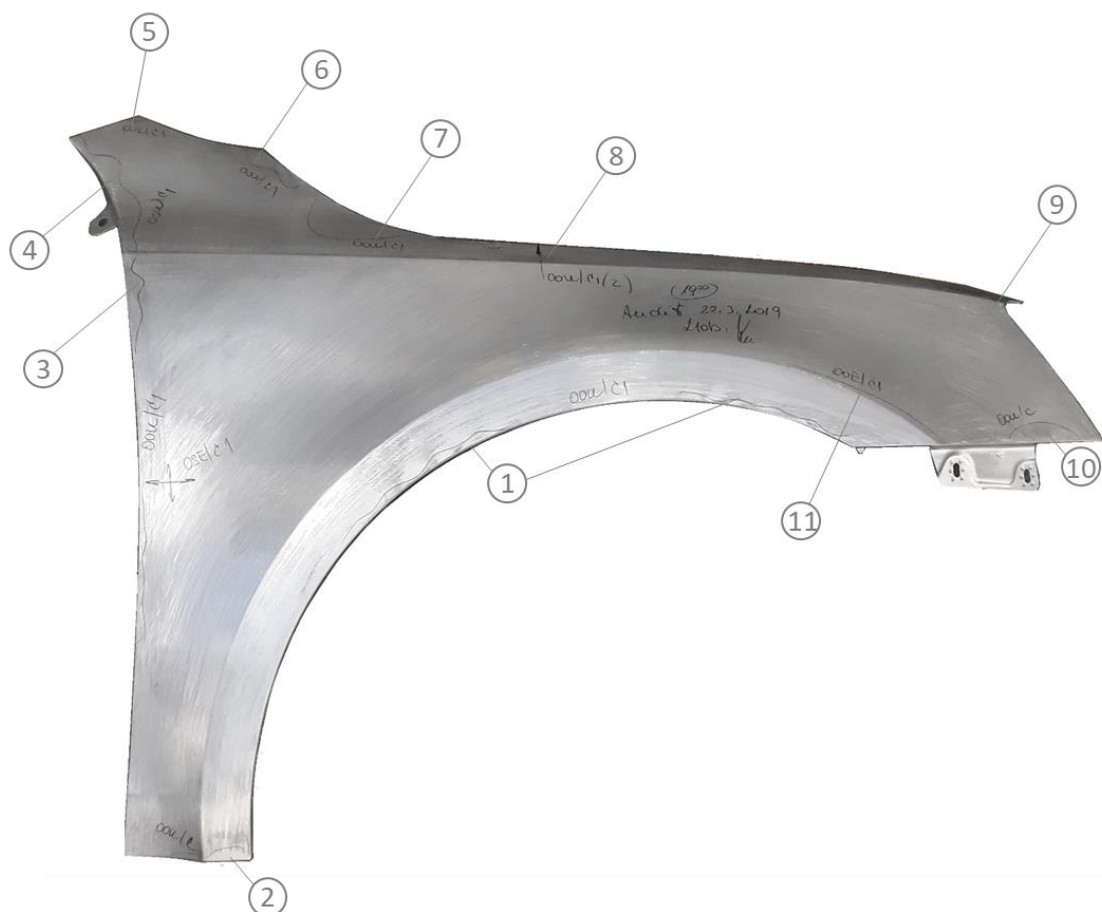
Další výhodou je, že není nutné díly brouskovat, ale jsou vyhodnoceny bezkontaktní metodou. Není tedy potřeba kontrolované díly řadit mezi zmetky a lze je použít k dalšímu zpracování ve výrobním procesu.

Z hlediska počtu personálu vyšel ABIS II opět lépe, tedy co se týká samotné obsluhy a požadavku na její kvalifikaci a zkušenosti. Je však potřeba myslet i na tvorbu programů, kde se vyžadují nejen auditorské zkušenosti, ale i znalosti programování.

Dle výše uvedených kritérií pro porovnání vyšel systém ABIS II jednoznačně lépe. Mezi nejdůležitější hlediska však patří vyhodnocení kvality výlisku, opakovatelnost měření a odhalitelnost relevantních závad, která samozřejmě závisí na celkové přesnosti tohoto inspekčního systému. Celková přesnost systému je tedy ověřena v následující kapitole.

2.5 Ruční kontrola, ABIS II a ATOS Triple Scan

V této kapitole je systém ABIS II porovnán nejen s konvenčním způsobem kontroly, ale i se systémem ATOS Triple Scan, který disponuje funkcí Surface Defect Map pro vyhodnocení defektů na skenovaných dílech bez použití CAD dat.



Obrázek 18: Auditovaný blatník

K porovnání všech metod byl vybrán blatník Octavie. Na obrázku 18 jsou vyznačeny defekty nalezené auditorem na testovaném díle pomocí klasického brousku. Závady vyhodnocené na základě brouskování jsou zde tedy brány jako referenční. Tentýž díl byl nasnímán systémem ABIS II a následně pomocí ATOS Triple Scan, který však z důvodu odlesků při snímání dílu vyžadoval použití antireflexního nástřiku. Z hlediska času trvalo naskenování dílu pomocí ABISu necelé 2 minuty, zatímco pomocí skeneru ATOS přibližně 20 minut, což zhruba odpovídá manuální kontrole dílu. Z hlediska času a přípravy se tedy skener ATOS systému ABIS II nevyrovnal. A to nebyla v tomto čase zahrnuta ani doba pro vyhodnocení, která by celkový čas ještě navýšila. V tabulce 3 jsou rozepsány jednotlivé závady, které byly na vybraném díle nalezeny auditorem. V jednotlivých sloupcích je pak uvedeno, zda byl defekt danou metodou

nalezen či nikoli. Pro vyhodnocení získaných dat z optického skeneru ATOS byl použit software GOM Inspect 2018.

Tabulka 3: Nalezení jednotlivých závad

	Typ závady	Brouskování	ABIS II	ATOS
1	Zvlnění plechu	√	√	√
2	Zvlnění plechu	√	-	√
3	Zvlnění plechu	√	√	√
4	Zvlnění plechu	√	-	√
5	Průběh rádiusu	√	-	-
6	Zvlnění plechu	√	√	-
7	Zvlnění plechu	√	√	-
8	Zvlnění plechu	√	√	√
9	Zvlnění plechu	√	√	√
10	Zvlnění plechu	√	√	√
11	Tahové faldy	√	√	-
Detekce závad [%]		100	72,7	63,6

I když skener ATOS není primárně určen pro kontrolu povrchových vad výlisků, z hlediska nalezení jednotlivých závad se téměř shodoval se systémem ABIS II. Výsledků uvedených v tabulce 3 bylo však dosaženo až po zdoluhavém nastavování velikostí hledaných defektů, směru vyhodnocení a stupnice odchylek. Nejprve byl díl vyhodnocen takovým způsobem, který odpovídá manuální kontrole dílů. V tomto případě nenašel ATOS žádnou ze závad. Samotné zakřivení povrchu bylo dle barevné mapy vyhodnoceno jako chyba, viz příloha A a). Při dalším nastavení se postupovalo stejným způsobem jako u systému ABIS II. Blatník byl rozdělen na jednotlivé vyhodnocovací oblasti, které odpovídaly měřícím pozicím ABISu. V příloze A b) lze vidět, že ani v tomto případě software GOM žádnou ze závad nenalezl.

Inspekční systém ABIS II také nenašel všechny z uvedených závad. Defekt označený číslem 2 nenašel z důvodu chybějícího snímku v této oblasti. Blatník zde kvůli velké členitosti povrchu a tedy problémového vyhodnocení není vůbec snímán. Pro závadu číslo 5, tedy průběh rádiusu žádnou funkci stejně jako ATOS k vyhodnocení ani nemá. Tedy jedinou závadu, kterou neodhalil, je závada číslo 4, která by ale pro systém problematická být neměla.

V příloze B jsou pak zobrazeny detaily všech závad odpovídající jednotlivým způsobům vyhodnocení.

3 Faktory ovlivňující vyhodnocení povrchu výlisku senzorem ABIS II

V této části práce byl detailně zkoumán proces snímání výlisku pomocí systému ABIS II a na základě toho byly stanoveny a analyzovány vlivy na přesnost snímání. Zjištěné vlivy a případné nedostatky tohoto inspekčního systému byly podrobně popsány. Následně pak na tyto vlivy byla navržena vhodná opatření, která byla v rámci této práce také realizována. Na závěr pak byla tato opatření zhodnocena, zda skutečně došlo ke snížení či odstranění nežádoucích vlivů ovlivňující přesnost a opakovatelnost měření.

3.1 Vlivy na přesnost měření – související studie

Kvalita dat získaných pomocí 3D skeneru je ovlivněna mnoha faktory, jako je například barva a lesk skenovaného povrchu, geometrie dílu, okolní osvětlení, rozlišení skeneru, naklonění skeneru vůči snímanému povrchu atd. Většina dostupných publikací se zabývá přesností skeneru, především chybou samotného snímače či vlivem měřeného rozsahu na přesnost. Zejména u skenerů založených na promítání strukturovaného světla je významným zdrojem chyb vliv okolního světla.

Problémem vlivu okolního osvětlení na přesnost snímání se zabýval S. Lemeš a N. Zaimović-Uzunović [23]. Jejich studie řešila vliv intenzity okolního světla a barvu skenovaného povrchu na kvalitu laserového skenování. Zjišťovali, kolik bodů skener za určitých zachytí.

Voisin a kol. ve své práci [24] také studovali vliv okolního světla na 3D skenery pracující na bázi strukturovaného světla. Opět potvrdili tvrzení, že kromě barvy skenovaného povrchu vnáší významné chyby do měření okolní světlo.

Voegtle a kol. v [25] zkoumali vliv různých materiálů a barev objektů na měření pomocí terestriálních laserových skenerů. Ukázaly, že testované desky v šedé škále vykazují významnou závislost získané přesnosti na jasů. Dále zkoumali vliv skenování ve dne a v noci, kde se skenování v noci prokázalo výrazně lepší. U kovových materiálů zkoumali navíc vliv natočení snímače, kde přišli na to, že nejvíce bodů bylo naskenováno v ortogonálním směru.

Forest Collado [26] ve své studii zkoumal kalibrační procesy a metody 3D laserového skeneru, včetně vlivu povrchových optických vlastností. Ve své práci potvrdil, jak významně ovlivňují optické vlastnosti povrchu výkon laserového skeneru.

Shi a kol. [35] ve svém článku řeší problémy kalibrace senzoru, úhel mezi snímačem a projektorem, převod 2D dat na 3D mračno bodů a další, tak aby bylo dosaženo co nejvyšší přesnosti a automatizace měření, což by umožnilo využít takový snímač v průmyslové praxi.

Salvatore Gerbino a kol. [27] ve své publikaci, která se jako jedna z mála zabývá zkoumáním tvarově složitěho dílu (plechu) nikoliv vzorky v podobě rovných plechů, zkoumá nejen vnitřní vlivy, jako je přesnost a rozlišení skeneru, ale i vnější vlivy jako okolního osvětlení, vlastnosti snímaného povrchu či orientace skeneru. Konkrétně sledovali vzájemný vliv úhlu popisující rotaci kolem normálové osy a okolního osvětlení.

Blanco a kol. [28] ve své práci vyhodnocovali povrch s 99% odrazivostí, tzv. kvazilambertovský povrch. Uvedená práce se zabývala vlivem okolního osvětlení na kvalitu zachyceného mračna bodů pod různými typy světla, kdy nejlepších výsledků bylo nakonec dosaženo při digitalizaci bez přítomnosti jakéhokoliv světla. Jelikož to v určitých pracovních podmínkách není splnitelné, byly doporučeny rtuťové výbojky (MVL) a nízkotlakové sodíkové výbojky. V další své studii [29] se pak zabývali vyhodnocením nelambertovských povrchů. Zde zkoumali především vliv materiálu (hliník, nerezová ocel, nízkolegovaná ocel, slitina mědi a další) na kvalitu virtuálního modelu.

Amiri Parian a Gruen [30] ve svém výzkumu řešili další zdroje chyb, jako je excentricita středu skenování, kolimace, naklonění a rozlišení při horizontální či vertikální rotaci.

Vukašinović [31] diskutoval vliv topologie povrchu na přesnost laserové triangulace. Bylo zjištěno, že největší vliv na výsledky má vzdálenost snímání a úhel snímání dopadového laserového paprsku. Se vzrůstajícím úhlem sklonu snímače a to do 55° odchylky mírně narůstaly, zatímco nad tento úhel došlo k prudkému nárůstu chyb.

Xu a kol. [35] se ve své práci zabýval využitím projekce strukturovaného světla při kontrole dílů v automobilovém průmyslu. Na rozdíl od výše zmíněných publikací se tato zaměřila na kódování promítaných vzorů. Volba kódovacího vzoru má totiž významný vliv na výkon, přesnost měření, hustotu bodů a dobu skenování. V tomto článku byl navržen nový strukturovaný vzor vhodný pro měření v reálném čase založený na promítání šachovnicového vzoru pomocí monochromatického světla, které snižuje vliv okolního osvětlení.

Všechny výše zmíněné publikace zkoumaly především vlivy u laserových skenerů. V oblasti kontroly výlisků nejsou vlivy okolního prostředí a dalších faktorů zmapovány, především co se týče systému ABIS II. Hlavním přínosem této práce by tedy mělo být zmapování těchto vlivů pro budoucí uživatele tohoto inspekčního systému. Níže jsou tyto vlivy podrobně popsány.

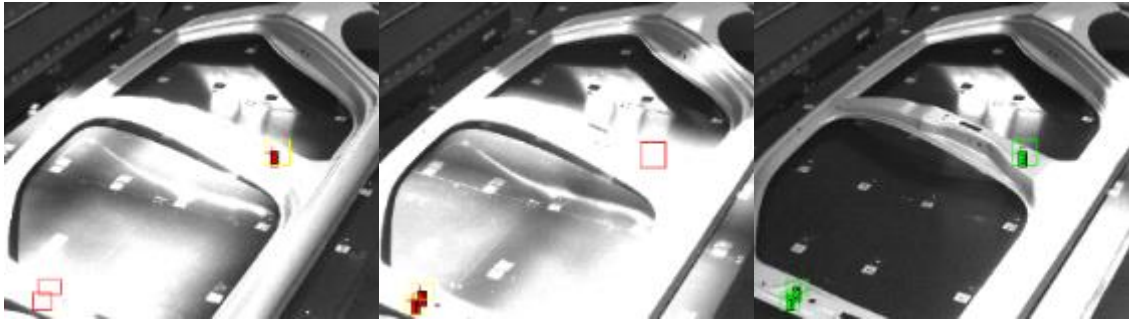
3.2 Vliv světla na správnou funkci VMT kamer

Nestabilní osvětlení v prostoru, kde jsou umístěny VMT kamery, má významný vliv na správnou funkci kontrolního procesu výlisků. Jelikož byl systém ABIS II nainstalován do lisovny dodatečně, okolní podmínky nejsou pro měření přizpůsobené. Jedním z problémů jsou stropní světlíky umístěné nad prostorem vyhrazeným pro měření. Jelikož je měřicí prostor ABISu v horní části zastíněn pouze částečně, osvětlení v měřicím prostoru není homogenní. Ze stropních světlíků tedy proniká světlo přes nezastíněná místa přímo k ABISu a ovlivňuje funkci VMT kamer. Inspekční systém ABIS II je umístěn i v dalších závodech koncernu VW, kde však tento problém řešit nemusí. Je to dáno navržením měřicí buňky ABISu dle VW standartu lisovny. Na obrázku 19 je znázorněn měřicí prostor ABISu. Z fotografií lze jasně vidět nevyhovující zastínění měřicí buňky.



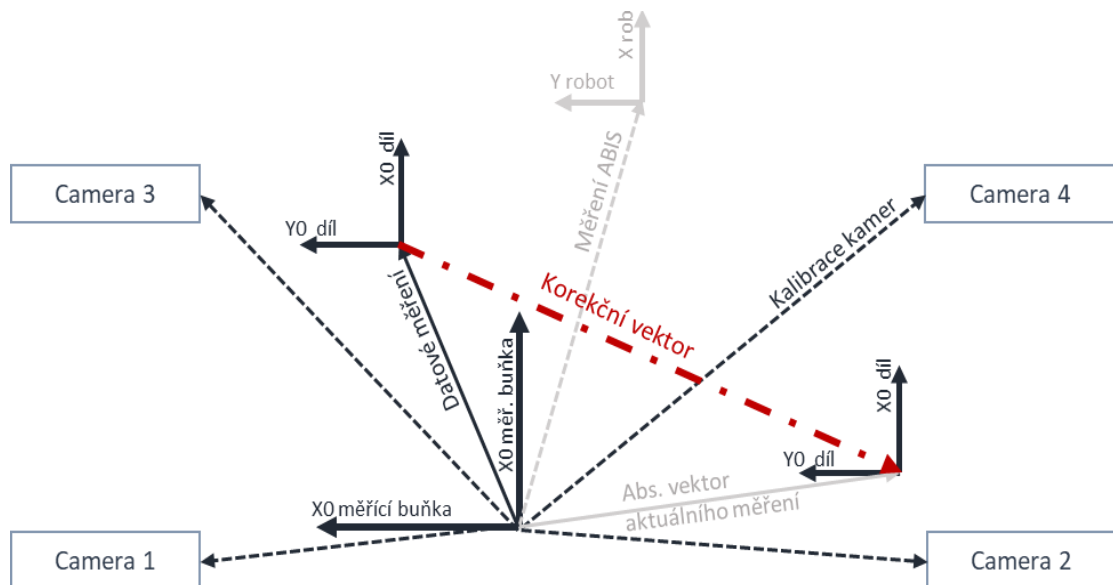
Obrázek 19: a) Strop haly lisovny, b) měřicí buňka ABISu

Z důvodu nehomogenního osvětlení a možnosti ovlivnění VMT kamer jsou nad nimi umístěna dodatečná LED světla, která by měla vliv působení cizím zdrojem světla minimalizovat. Jak je ale vidět na obrázku 20, během dne se vlivem dopadajícího světla ze stropních světlíků na měřicím stole vytvoří přesvícené plochy, které již LED světla nedokáží regulovat.



Obrázek 21: Proměnlivé světelné podmínky v měřicí buňce

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.3 VMT kamery slouží k určení polohy kontrolovaného dílu v prostoru ABIS II. Výstupem kamer je korekční vektor, který popisuje vztah mezi aktuální polohou dílu a nominální vztaznou polohou. Pomocí něj se následně koriguje dráha robota [19]. Zbylé odchylky si již koriguje samotný vyhodnocovací program ABIS pomocí Mask Fitu. To však umožňuje korigovat maximálně odchylky do 2 mm a pouze v osách X a Y [20].



Obrázek 20: Korekční vektor [19]

3.1.1 Ověření funkce kamer

V rámci této práce byl proveden test, který ověřuje vliv osvětlení na správnou funkci VMT kamer. Vybraný díl byl snímán v průběhu celého dne, aniž by se s ním manipulovalo. Ke zkoušce byla použita postranice modelu Fabie. V následující tabulce 4 jsou uvedeny časy, ve kterých kamery zaznamenávaly měřený díl. K tomu jsou zde uvedeny odpovídající hodnoty korekčního vektoru vypočtené VMT systémem.

Tabulka 4: Hodnoty korekčního vektoru v závislosti na denní době

Číslo	Čas	Hodnoty korekčního vektoru						Vyhodnocení VMT systémem
		X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	RX [°]	RY [°]	RZ [°]	
1	09:08:50	0,03	-0,02	-0,12	0,02	-0,01	0,00	Žádné chyby
2	09:39:01	0,07	-0,07	-0,24	0,03	0,00	0,00	Žádné chyby
3	10:44:48	-0,01	-0,11	-0,20	0,04	-0,01	0,00	Žádné chyby
4	11:14:25	0,01	-0,06	-0,18	0,04	-0,01	0,00	Žádné chyby
5	11:34:59	0,35	-0,07	-0,40	0,09	-0,05	0,01	Žádné chyby
6	12:56:15	0,26	-0,14	-0,53	0,09	-0,03	0,00	Žádné chyby
7	13:07:10	0,08	-0,25	-0,65	0,09	-0,01	-0,01	Žádné chyby
8	13:58:02	0,33	-0,11	-0,24	0,05	-0,04	-0,01	Žádné chyby
9	14:00:10	0,73	0,46	-3,21	-0,02	0,16	0,02	Žádné chyby
10	14:02:33	-	-	-	-	-	-	Příliš málo znaků
11	14:04:28	1,22	1,04	-7,68	-0,14	0,40	0,04	Žádné chyby
12	14:15:34	-0,60	-0,53	-1,19	0,14	-0,04	-0,01	Žádné chyby
13	14:21:14	-0,04	-0,42	-0,90	0,10	-0,01	-0,02	Žádné chyby
Max Δ		1,82	1,57	7,56	0,28	0,45	0,05	

Z tabulky 4 je zřejmé, jak se se změnou denní doby a s tím související pozicí stínů mění i korekční vektor. Přestože byla poloha dílu stále stejná, hodnoty korekčního vektoru se výrazně měnily. V horším případě VMT kamery nemohly polohu dílu na kontrolním stole vůbec určit. Ve směru osy X a Y se odchylky vzniklé osvětlením pohybovaly do 2 mm. Největší odchylky vznikly ve směru osy Z. Na základě naměřených dat VMT kamerami by tedy došlo k výškové korekci dráhy robota, v tomto případě více než o 7 mm, čímž by se změnila optimální vzdálenost senzoru od povrchu dílu a to i přesto, že byla poloha dílu stále stejná.

3.1.2 Dodatečné zastřešení měřicí buňky

Řešením tohoto problému je zastřešení celé měřicí buňky takovým způsobem, aby se zamezilo přístupu světla ze světlíků. Tedy především zakrytí zbývajících mezer mezi horní plachtou a zdí.

**Obrázek 22:** Znázornění dodatečného zastřešení měřicí buňky

Na obrázku 22 je černě vyznačeno provedení doplněného provizorního zastřešení, které bylo pro účely této zkoušky provedeno pomocí plachet. Následně byla provedena zkouška stability měření postranice, kdy byl měřený díl snímán v průběhu celého dne, aniž by se s ním jakkoliv manipulovalo. Tedy stejným způsobem jako před zastřešením.

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty korekčního vektoru při provizorním zastřešení. Lze vidět, jak zastřešení měřicí buňky významně ovlivňovalo funkci VMT kamer. Před zastíněním se maximální rozdíly hodnot korekčního vektoru v ose X a Y pohybovaly do 2 mm, a v ose Z dokonce přes 7 mm. Po zastínění se maximální rozdíly ve všech 3 osách pohybovaly do 0,4 mm. V ose X a Y tedy došlo ke zlepšení téměř o 80 %, u Z-složky dokonce o 90 %. To znamená, že se odchylky významně snížily a zároveň všechny dosahovaly hodnot menších než 2 mm. VMT kamery by tedy neměly mít vliv na přesnost snímání, jelikož ABIS II umožňuje eliminovat odchylky do 2 mm pomocí maskování. U rotačních složek se pohybovaly hodnoty korekčního vektoru maximálně do 0,03 °. Konkrétně u rotačních složek kolem osy X a Y, které mají zároveň vliv na naklonění snímače, došlo ke zlepšení o více jak 90 %. U Z-složky, která má vliv na natočení snímače vzhledem k povrchu pak o 40 %.

Tabulka 5: Hodnoty korekčního vektoru v závislosti na denní době

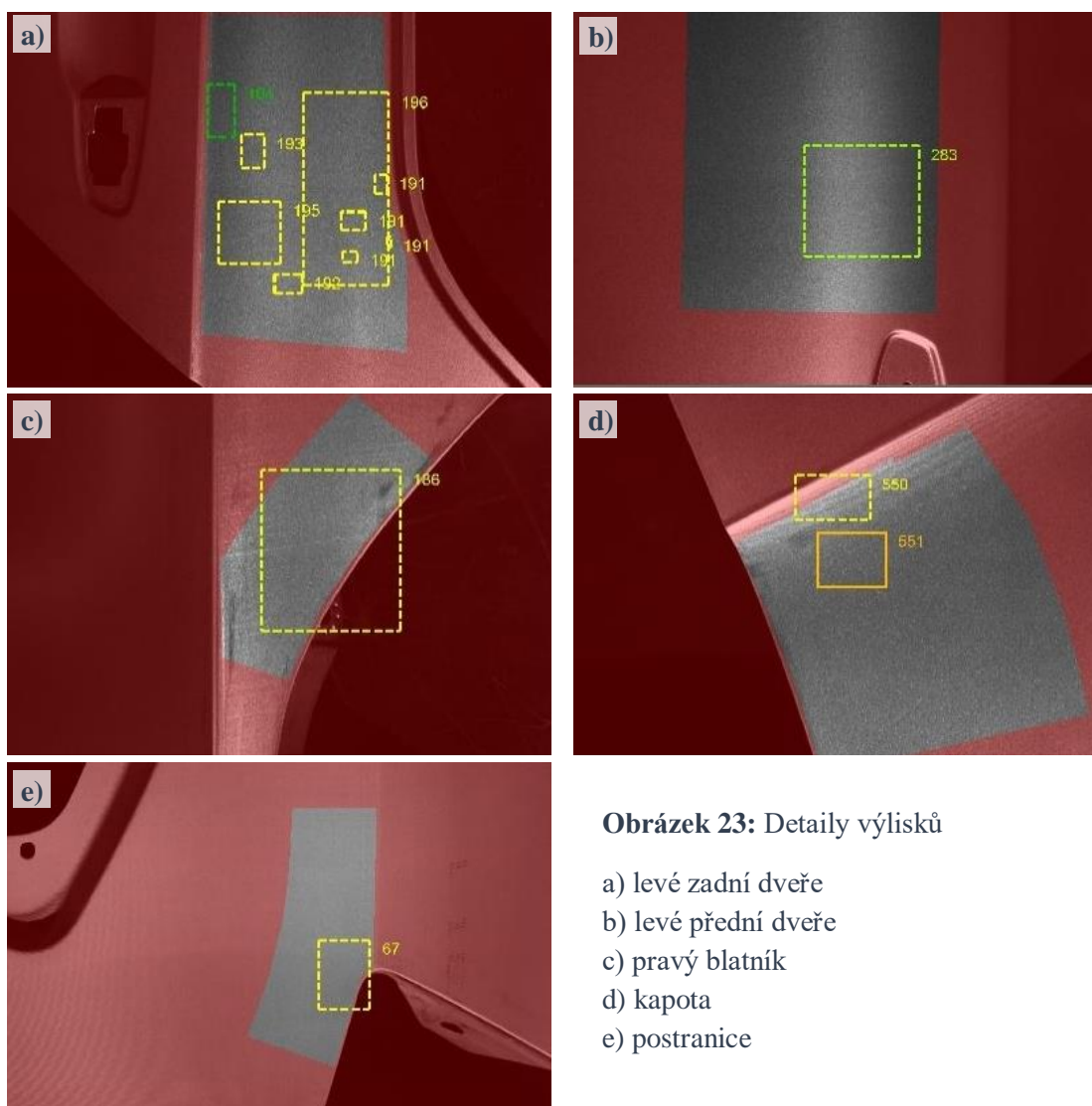
Číslo	Čas	Hodnoty korekčního vektoru						Vyhodnocení VMT systémem
		X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	RX [°]	RY [°]	RZ [°]	
1	09:00:13	-0,79	-2,54	-0,96	-0,09	0,08	0,03	Žádné chyby
2	09:29:15	-1,03	-2,67	-1,04	-0,08	0,08	0,02	Žádné chyby
3	10:15:36	-1,08	-2,88	-1,33	-0,07	0,10	0,00	Žádné chyby
4	11:16:40	-1,15	-2,87	-1,33	-0,08	0,11	0,01	Žádné chyby
5	11:59:12	-1,06	-2,88	-1,30	-0,08	0,10	0,01	Žádné chyby
6	12:34:54	-1,16	-2,65	-1,29	-0,09	0,09	0,00	Žádné chyby
7	13:00:29	-1,14	-2,86	-1,30	-0,07	0,10	0,01	Žádné chyby
8	13:49:05	-0,78	-2,72	-1,25	-0,07	0,08	0,02	Žádné chyby
9	14:06:20	-0,84	-2,59	-1,00	-0,09	0,11	0,02	Žádné chyby
10	14:30:17	-0,83	-2,82	-1,14	-0,08	0,10	0,03	Žádné chyby
11	14:53:26	-0,99	-2,83	-1,11	-0,07	0,11	0,00	Žádné chyby
12	15:07:37	-0,92	-2,66	-0,98	-0,09	0,09	0,02	Žádné chyby
13	15:31:27	-1,00	-2,79	-1,17	-0,09	0,10	0,01	Žádné chyby
Max Δ		0,38	0,34	0,37	0,02	0,03	0,03	

3.2 Vliv ustavení dílu na výsledky měření

Během kontroly dílu pokládá obsluha systému ABIS II výlisek na podložku měřicího stolu. Výlisky se pokládají na měřicí stůl volně bez jakýchkoliv podpěr nebo ustavovacích či upínacích přípravků. Vlivem gravitace se však díly pod vlastní vahou deformují a to především v místech, kde nejsou designové hrany nebo prolisy, které by díl dostatečně zpevnily. Jelikož se výlisky chovají pružně, systém ABIS II je přizpůsoben tak, že neporovnává naměřená data s CAD modelem, ale porovnává jednotlivé snímky s referenčními, které vyhodnocuje pomocí digitálního brousku. Vyhodnocení by tedy nemělo být průhybem dílu ovlivněno.

3.2.1 Zkouška opakovatelnosti měření

Pro ověření vlivu ustavení dílu na opakovatelnost měření byla provedena zkouška, kdy se ten samý díl opakovaně pokládal na měřicí stůl do přibližně stejné pozice. Pro účely zkoušky bylo vybráno pět rozdílných povrchových výlisků tak, aby bylo zmapováno co nejvíce různých typů



dílů. U těchto dílů byla na základě největších změn defektů a jejich auditové známky při opakovaném pokládání dílu zvolena nejkritičtější místa, která byla následně analyzována. Detaily vybraných partií jsou znázorněny na obrázku 23.

V níže uvedené tabulce 6 je u každého typu zkoušeného dílu uvedena auditová hodnota a příslušná auditová známka přiřazená systémem ABIS II. Tyto hodnoty popisují defekt v nejlépe problematické oblasti daného dílu při opakovaném pokládání na měřicí stůl.

Tabulka 6: Auditové známky systému při opakovaném pokládání dílů

Č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max Δ
Octavie - Levé zadní dveře											
Hodnota auditu	-0,37	-0,36	-0,30	-0,43	0,10	-0,30	0,02	-0,47	-0,05	-0,09	0,49
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	B	C1	B	C1	C1	C1	
Octavie - Levé přední dveře											
Hodnota auditu	-0,89	-1,00	-1,06	-0,72	-0,85	-0,69	-1,01	-1,01	-0,78	-0,93	0,37
Známka auditu	C1	C1	C	C1	C1	C1	C	C	C1	C1	
Octavie – Pravý blatník											
Hodnota auditu	-0,91	-0,84	-0,80	-0,73	-0,71	-0,86	-0,85	-0,80	-0,77	-0,69	0,22
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
Fabie – kapota											
Hodnota auditu	-0,42	-0,67	-0,64	-0,77	-0,36	-0,64	-0,07	-0,18	0,15	-0,23	0,92
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	B	C1	
Octavie – rám											
Hodnota auditu	-1,59	0,71	0,16	0,58	0,13	0,75	0,83	-0,16	1,00	0,02	2,59
Známka auditu	C	B	B	B	B	B1	B1	C1	B1	B	

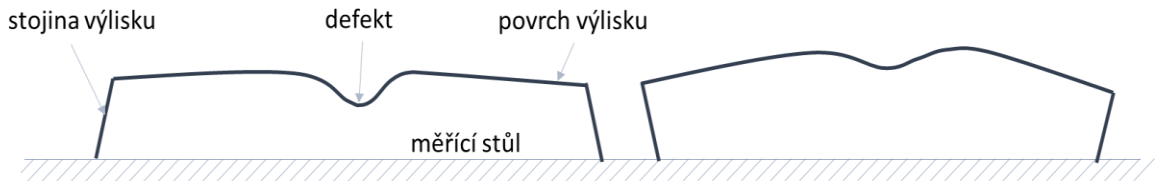
Z naměřených hodnot je viditelná změna hodnoty defektu v závislosti na položení dílu na stůl. Tyto změny jsou natolik velké, že se mění i příslušné přiřazené auditové známky. Z měření tedy vyplývá, že už samotná manipulace s dílem dokáže ovlivnit defekt a jeho auditovou váhu. Což je dáno změnou velikosti, tvaru a hloubky defektu v závislosti na průhybu dílu na měřicím stole.

Největší odchylky mezi měřeními vyšly u postranice Octavie, kde vyšel maximální rozdíl mezi auditovými hodnotami 2,59. Nejlépe vycházel blatník a následně dveře. Což potvrzuje to, že

nejmenší stabilitu mají díly větších rozměrů. To je v tomto případě způsobeno velkými rozměry a zároveň malou tuhostí surových dílů.

3.2.2 Opatření – záměna materiálu podložky

Z důvodu zjištěné nestability měřených partií, byla navržena výměna vrchní části měřicího stolu. Předpokládá se, že materiál měřicí podložky má vliv pouze na menší díly, jejichž povrch se nedeformuje vlivem gravitace, ale zapříčiním stojin o povrch podložky měřicího stolu.



Obrázek 24: Ustavení výlisku na měřícím stole

Současná pryžová podložka, která tvořila vrchní část měřicího stolu s vysokým součinitelem smykového tření, která byla zároveň doporučena dodavatelem systému ABIS II, byla nahrazena deskou z materiálu Pertinax. Následně byla opět provedena zkouška ke kontrole opakovatelnosti měření, kde byly díly opakovaně pokládány na novou podložku měřicího stolu.

Tabulka 7: Auditové známky při opakovaném pokládání dílu

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max Δ
Octavie - Levé zadní dveře											
Hodnota auditu	-0,77	-0,79	-0,77	-0,75	-0,75	-0,72	-0,78	-0,79	-0,70	-0,77	0,09
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
Octavie - Levé přední dveře											
Hodnota auditu	-0,53	-0,51	-0,59	-0,60	-0,50	-0,53	-0,45	-0,53	-0,59	-0,47	0,15
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
Octavie – Pravý blatník											
Hodnota auditu	-0,84	-0,86	-0,84	-0,84	-0,88	-0,89	-0,84	-0,81	-0,86	-0,91	0,10
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	
Fabie - kapota											
Hodnota auditu	-0,07	-0,39	-0,25	-0,43	0,15	-0,55	0,11	-0,58	-0,49	0,05	0,73
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	B	C1	B	C1	C1	B	

Octavie - postranice											
Hodnota auditu	-0,80	0,86	0,90	-0,54	0,82	0,79	0,84	-0,71	-0,26	0,41	1,44
Známka auditu	C1	B	B	C1	B	B	B	C1	C1	B	

V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty auditu při opakovaném pokládání povrchových výlisků dveří a blatníku. Je zřejmé, že změna povrchu měřicího stolu za jiný materiál pozitivně ovlivnila stabilitu měření a naměřené hodnoty vykazují minimální rozptyl auditových hodnot. U zadních dveří došlo ke zlepšení dokonce o 80%, u předních dveří o 60% a u blatníku o 45%. Pro kapotu a postranici je však toto řešení nedostačující.

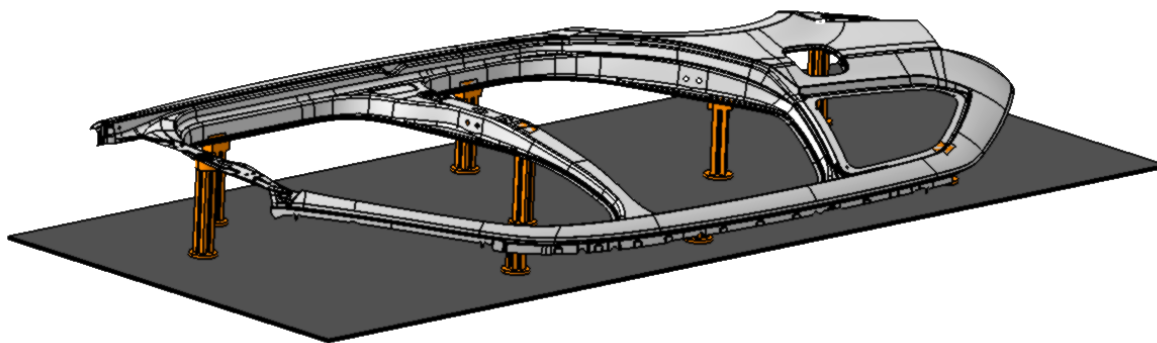
3.2.3 Opatření - návrh a realizace měřicího přípravku

Na základě předchozích měření byla zjištěna určitá nestabilita měření při manipulaci s díly. To znamená, že na přesnost měření má vliv způsob položení dílu na měřicí stůl a použití rozdílné síly při polohování dílu. U menších dílů byla tato nestabilita minimalizována změnou podkladu měřicího stolu, viz předchozí kapitola. U rozměrných dílů, jako je postranice nebo kapota, toto opatření nestačí, jelikož byly výsledky měření významně ovlivněny průhybem dílu.

Z toho důvodu byl navržen přípravek, který by díl podpíral během měření. Při auditování postranice se brouskování také neprovádí ve volném stavu, ale díl je zavěšen na speciálním rámu. Takový rám ale nelze v měřicí buňce použít kvůli VMT kamerám umístěným kolem měřicího stolu a z důvodu umístění stolu vzhledem k robotu.

Návrh a konstrukce přípravku

Pro účely zkoušky byla vybrána postranice, jelikož vykazovala nejhorší výsledky při zkoušce opakovatelnosti měření. Přípravek byl konstruován v Catii V5. Nejprve byla zvolena poloha postranice, ve které bude měření probíhat. Z důvodu umístění VMT kamer a výšky měřicího stolu byla vybrána vodorovná poloha.



Obrázek 25: Návrh měřicího přípravku pro postranici

Následně byly navrženy podpory dílu. Jelikož nejsou výlisky dostatečně tuhé, tvar povrchu je na umístění měřících podpor velmi závislý. Při návrhu bylo zvoleno 9 podpůrných elementů zakončených tvarovými díly. Ty jsou umístěny v hlavních a vedlejších bodech RPS systému a kopírují tvar postranice. Pro lepší výsledky měření by bylo lepší zvolit co nejvíce podpěr. Bylo však nutné zohlednit i čas na přípravu měření a umístování podpěr, který by s větším počtem podpěr narůstal.

Zhotovení přípravku

Konečná CAD data byla vyexportována ve formátu *.stl a následně byl v programu 3D Slicer vytvořen *.gcode, který byl nahrán do 3D tiskárny. K 3D tisku byla použita tiskárna od společnosti Průša a jako materiál byl vybrán filament PLA. Vytisknuté tvarové části se pomocí šroubů připevnili ke kovovým podpěrám.



Obrázek 26: a) Spojení podpěry s měřícím stolem; b) první verze podpěry pro otvor; c) konečná verze v podobě čepu

Při sestavování přípravku bylo provedeno několik konstrukčních změn. Původní vytisknuté podpěrné elementy, které měly ustavit díl v oblasti kruhových RPS byly nahrazeny čepy. Tyto čepy lépe a jednoznačně vymezily polohu celé postranice. Zároveň byly místo původně zamýšlených hliníkových profilů použity stavebnicové konstrukční prvky, které umožnily dorovnání jednotlivých tvarových částí přesně k výlisku. Jelikož vytisknuté podpory byly



Obrázek 27: Snímek podpěry

konstruovány na CAD data dílu a skutečný vyliisovaný díl se ve volném stavu nepatrně liší od dat a nedosedal by na navržené tvarové části. Nejprve tedy byly podpěry rozmístěny podle CAD dat a následně ještě doladěny přímo na daný výlisek.

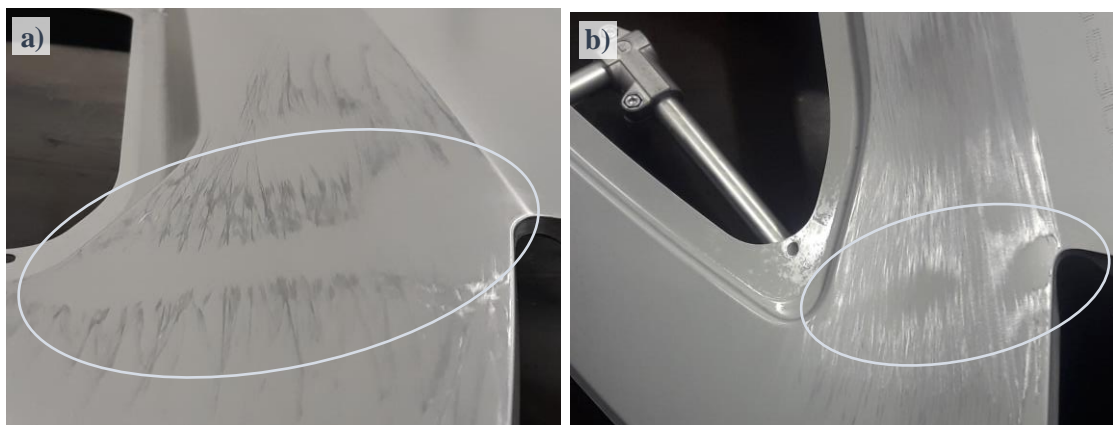


Obrázek 28: Hotový přípravek spolu s postranicí

Kromě těchto úprav se původně plánované vrtané otvory v desce měřicího stolu rozmístily do čtvercové sítě tak, aby se dal měřicí stůl do budoucna využít i pro postranice jiných modelů aut.

Ověření funkčnosti přípravku

Jakmile byl navržený přípravek sestaven a seřízen, bylo provedeno ověření jeho funkčnosti. Obrázek 29 ukazuje účinnost navrženého přípravku. Na prvním obrázku je brouskovaná postranice, která je volně položena na kontrolním stole. Na druhém snímku je postranice ustavena v navrženém měřicím přípravku. Je jasně vidět, že je sledovaný defekt rozměrově menší.



Obrázek 29: Velikost defektu a) díl volně položený na měřicím stole b) díl ustavený v navrženém přípravku

V následující tabulce 8 jsou tedy uvedeny auditové hodnoty a známky vyhodnocené přímo systémem. U původního volného ustavení dílu byl maximální rozdíl auditových hodnot 2,59. V navrženém přípravku 0,16, což ukazuje na více než 90% zlepšení.

Tabulka 8: Auditové známky při opakovaném pokládání dílu

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max Δ
Octavie – rám											
Hodnota auditu	-0,88	-0,81	-0,84	-0,91	-0,75	-0,75	-0,80	-0,85	-0,82	-0,79	0,16
Známka auditu	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	

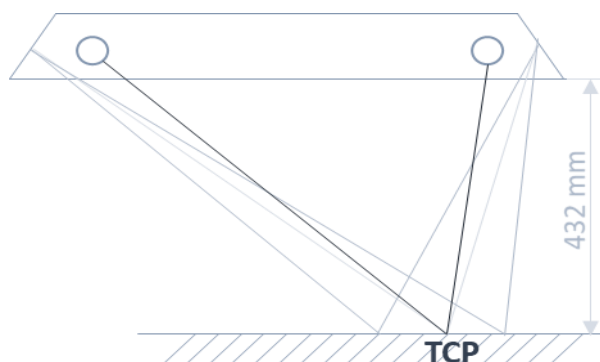
Nejlepším a zároveň jediným řešením pro zajištění stability měření je tedy měřící přípravek. Pomocí něhož bylo zajištěno správného a jednoznačného ustavení dílu. Přípravek umožnil ustavit díl do takové pozice, kdy naměřené výsledky co nejlépe vypovídaly o skutečném stavu měřeného výlisku a nebyly ovlivněny deformacemi dílu. V tomto případě tedy zpřesnil proces měření a zároveň zajistil jeho opakovatelnost.

3.3 Vliv naklopení a natočení snímače

Nastavení měřících pozic snímače ABIS II vůči měřenému dílu patří mezi nejzásadnější kroky při tvorbě měřícího programu. Na základě dosavadních měření bylo zjištěno, že jejich špatná volba či nastavení má významný vliv na přesnost snímání a vyhodnocení dílu. Proto zde budou provedeny zkoušky, které zkoumají vliv nastavení měřících pozic.

3.3.1 Optimální nastavení snímače

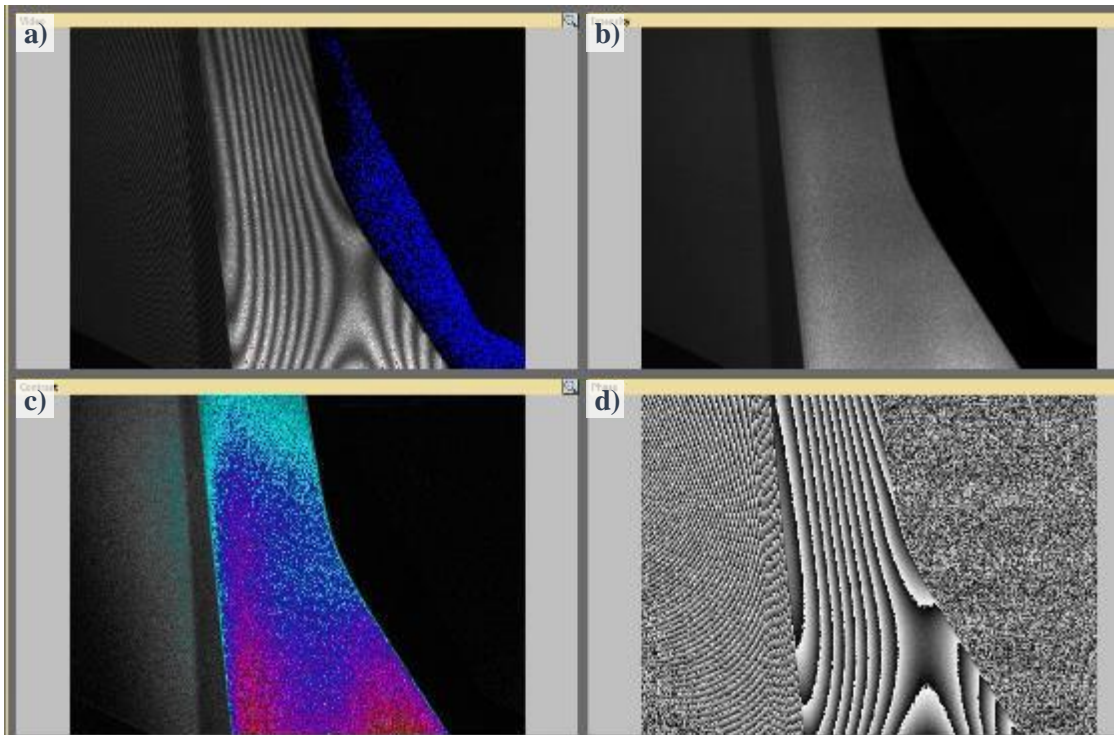
Nejprve pár vět k tomu, jak snímač ABIS II vlastně nastavuje svou ideální pozici vůči měřenému dílu. Snímač by měl být optimálně vyrovnan, když bod středu nástroje TCP (Tool Center Point) senzoru leží přesně uprostřed pole snímku. V takovém případě je vzdálenost od předního okraje snímače k měřenému dílu 432 mm. Tuto optimální vzdálenost znázorňují během tvorby programu 2 protínající se laserové paprsky, čímž usnadňují nastavení optimální vzdálenosti snímače od snímaného povrchu [20].



Obrázek 30: Bod středu nástroje – TCP [20]

Kromě dodržování optimální vzdálenosti od měřeného povrchu a natočení snímače dle zakřivení povrchu je potřeba přizpůsobit měřící pozici snímače v závislosti na pořízených snímcích. V každé měřící pozici je na monitoru vyobrazen video snímek z kamery, snímek zobrazující kontrast, intenzitu a fázi, viz obrázek 31. Všechna zobrazení napomáhají k optimálnímu nastavení polohy senzoru tak, aby byla nastavena správná vzdálenost, úhel a expozice (osvětlení). Kontrastní snímek slouží k nastavení optimální vzdálenosti snímače od měřeného povrchu. Kontrast je zde definován pomocí stupnice 8 barev, zrnitost odpovídá promítaným proužkům. Intenzita slouží k zobrazení kontrastu pomocí jednotlivých odstínů šedi. Pokud je snímek rozmazaný nebo podexponovaný, objevuje se na kontrastním snímku tyrkysová barva a snímek kontrastu ve stupni šedi je příliš tmavý. Video snímek a snímek fáze pak umožňuje správné nastavení sklonu snímače. Video snímek ukazuje tzv. Moiré obrazec, který vznikl superpozicí promítaných proužků s pixelovou sítí a je založen na principu optické Moiré interferometrie. Na živém snímku jsou zobrazeny tmavé světlé proužky a na fázi snímků jsou zobrazeny přesně

jednotlivé fáze. Při nastavování pozice snímače je potřeba, aby bylo na snímku co nejméně přechodů tmavých a světlých proužků. V případě, že je snímač nakloněn, je na snímku příliš mnoho fází nebo nejsou fáze vůbec zřetelné. V případě správného sklonu se na obrazovce objevují kružnice. Jakmile je nastavená vyhovující pozice snímače, je potřeba nastavit úroveň jasu. Jas se nastavuje podle živého snímku tak, aby se na snímku neobjevovala žádná červená místa [20].



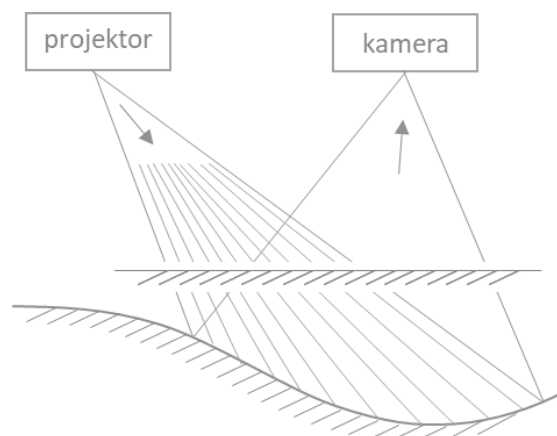
Obrázek 31: Nastavení polohy snímače

a) snímek z kamery, b) snímek intenzity, c) kontrastní snímek, d) snímek fází

Moiré interferometrie

Stejně tak jako u aktivní triangulace se u interferometrie na povrch měřeného objektu promítá soustava proužků. Může se jednat o sinusovou mřížku nebo lineární rastr. Pro vytvoření mřížky se nepoužívá fyzický rastr ale projektor, který promítá světelnou strukturu přímo na povrch měřeného objektu. Principem Moiré interferometrie je vznik tzv. Moiré jevu. Proložení 2 periodických struktur světlých a tmavých proužků, které jsou vůči sobě mírně zakřivené či pootočené, vznikne nová sestava tzv. Moiré proužky. Moiré proužky pak spojují místa měřeného povrchu se stejnou vzdáleností od referenční roviny. Vytváří tak proužky připomínající topografické vrstevnice, podobně jako u interferometrie využívající bílého světla. Ke znázornění optické interferometrie se využívá interferogram. Bílé proužky představují změnu interferenčního

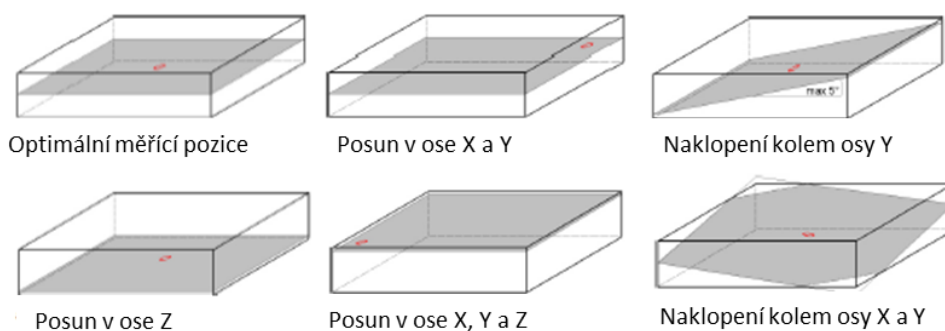
řádu. Nelze však přímo určit, jestli interferenční řád směřem od referenčního místa roste nebo klesá. Proto také nelze určit, zda je měřený povrch konkávní nebo konvexní.



Obrázek 32: Projekční Moiré interferometrie [13]

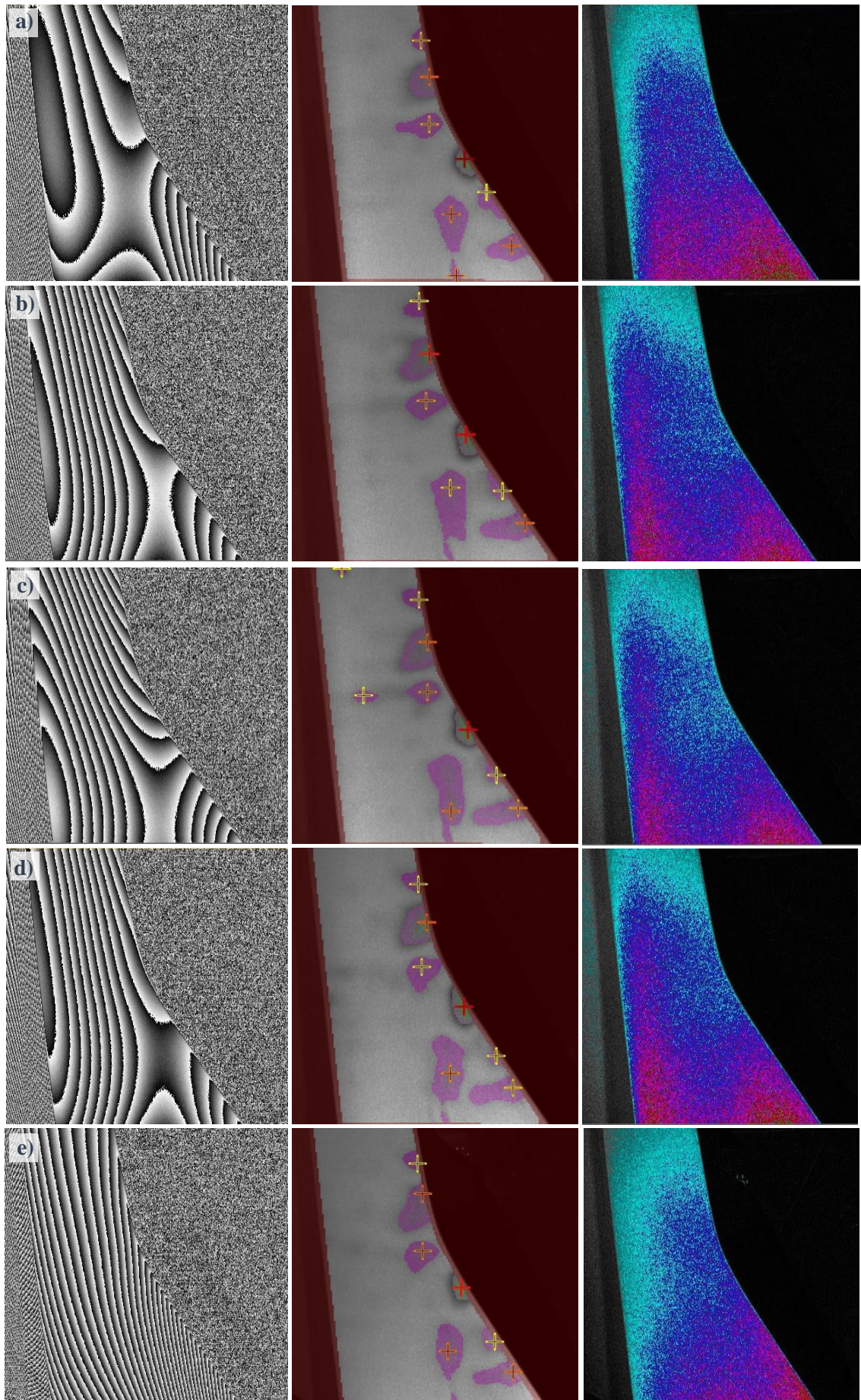
3.3.2 Zkouška – naklonění snímače

V souvislosti s nakloněním snímače již společnost Zeiss zkoušku provedla. Bylo provedeno měření stejného defektu na plechovém plátu, který byl různě naklápěn a posouván, viz obrázek 33. V rámci této zkoušky byla určena míra detekce závad na 85,7% [18]. Jednalo se však o zkoušku na rovném plechu s přesně definovaným defektem. Zatímco reálné díly mají komplikovaně tvarovaný povrch a spolu s dalšími vlivy není detekce závad tak jednoduchá. Z toho důvodu byla provedena zkouška s nakloněním snímače na reálném díle, konkrétně na výlisku blatníku Fabie. Během zkoušky se nenakláněl samotný díl ale snímač vůči povrchu výlisku.



Obrázek 33: Detekce závad v závislosti na sklonu povrchu [18]

Na následujícím obrázku 34 jsou uvedeny fáze Moiré obrazce, defekty a kontrast při různém úhlu naklonění. Na obrázku 34a je znázorněna poloha snímače, která by dle kruhového Moiré obrazce měla být vůči dílu ideální. Na snímku 34c lze vidět, že se zde objevila zcela nová závada, která na předchozích snímcích viditelná nebyla. Při naklonění snímače tedy dochází k rozdílnému vyhodnocení dílu. Objevují zcela nové závady a zároveň se závady rozdělují nebo naopak spojují



Obrázek 34: Měřící pozice v závislosti na naklonění snímače – fáze, defekty, kontrast

v jednu. To má za následek hlášení nových závad, které přitom nové nejsou. Zároveň se mění tvar a velikost závad, což následně ovlivňuje výpočet auditové hodnoty a výsledné hodnocení dílu. I když jsou na snímcích přítomny kruhové Moiré obrazce, které by měly zajistit optimální sklon snímače, významně se mění vyhodnocení kvality povrchu.

Na obrázku 34 vpravo jsou znázorněny snímky v kontrastním zobrazení. Kontrast by měl sloužit pro nastavení ideální vzdálenosti snímače od povrchu. Kontrast je zde prezentován prostřednictvím barev. Modrá místa jsou podexponovaná, červená přexponovaná [20]. Nejpriznivější podmínky vychází na snímku a), nejhorší pak na snímku e). Na kontrastním snímku a) lze nejlépe vyhodnotit pravou část blatníku, kde je kontrast reprezentován převážně fialovou barvou, dle fázového snímku s Moiré obrazcem je ale ideálně kolmo ke snímači levá část blatníku. U takto členitých dílů citlivých na světlo je tedy potřeba najít kompromis mezi fází a kontrastem. Nelze snímač nastavit do ideální polohy jako v případě rovného plechu.

Tabulka 9: Hodnoty a známky auditu při naklopení snímače

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max Δ
Fabie - blatník											
Souřadnice snímku a): x -75.38; y 239.56; z 106.41; rx 87.97; ry 26.06; rz 187.93											
Hodnota auditu	1,26	1,28	1,30	1,32	1,37	1,39	1,42	1,27	1,35	1,30	0,16
Známka auditu	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	
Souřadnice snímku b): x -75.32; y 239.60; z 106.35; rx 87.95; ry 24.87; rz 179.37											
Hodnota auditu	1,18	1,12	1,10	1,20	1,32	1,35	1,41	1,09	1,46	1,19	0,32
Známka auditu	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	
Souřadnice snímku c): x -75.31; y 239.63; z 106.36; rx 87.95; ry 24.87; rz 179.74											
Hodnota auditu	1,08	1,13	1,44	1,47	1,03	1,56	1,09	1,13	1,20	1,55	0,53
Známka auditu	B1	B1	B1	B1	B1	A	B1	B1	B1	A	
Souřadnice snímku d): x -75.31; y 239.63; z 106.36; rx 87.95; ry 24.87; rz 179.13											
Hodnota auditu	1,66	0,48	0,79	1,02	0,51	0,67	1,11	1,22	1,00	1,35	1,22
Známka auditu	A	B	B1	B1	B	B	B1	B1	B1	B1	
Souřadnice snímku e): x -75.38; y 239.56; z 106.41; rx 87.67; ry 35.18; rz 177.77											
Hodnota auditu	0,73	0,77	0,86	0,99	1,08	1,11	0,63	1,23	1,15	1,20	0,60
Známka auditu	B	B1	B1	B1	B1	B1	B	B1	B1	B1	

V tabulce 9 jsou uvedeny auditové hodnoty a známky k vybrané závadě v závislosti na naklonění snímače. Podle manuálu systému ABIS II by mělo být nejméně vhodnou polohou snímače dle znázorněného Moiré obrazce snímek e), kde je nejvíce fázových přechodů a zároveň nejvíce podexponovaný snímek. Na základě rozptylu auditových hodnot uvedených v tabulce však vychází nejméně příznivě naklonění snímače na snímku d), kde se auditová známka pohybuje v rozmezí tří různých hodnot. Při nastavování měřících pozic tedy nelze striktně vycházet pouze z Moiré obrazce.

V tabulce 9 jsou u každé pozice uvedeny souřadnice polohy snímače. Na souřadnicích lze vidět, že se snímek b) a c) od sebe liší natočením ani ne o 1° kolem osy Z a přesto je u snímku c) stabilita vyhodnocení defektu výrazně horší. Auditová známka může v tomto případě nabývat hned dvou různých hodnot. Výsledná stabilita je tedy velmi citlivá na změnu naklonění polohy snímače vůči kontrolovanému dílu.

3.4 Způsob promítání proužků

Pro určité aplikace byly z důvodu zrychlení, zlepšení kvality a přesnosti měření vytvořeny různé druhy promítaných vzorů. Projekční zařízení promítá obraz s určitou strukturou tak, aby byly jednotlivé sady pixelů rozpoznatelné pomocí kódovací strategie. Do sady pixelů jsou uložena kódová slova (jednoduchá čísla), která jsou umístěna ve vzoru pomocí stupňů šedi, barvy nebo geometrické reprezentace. Existují 3 základní kódovací strategie [33].

Časová kodifikace (time-multiplexing)

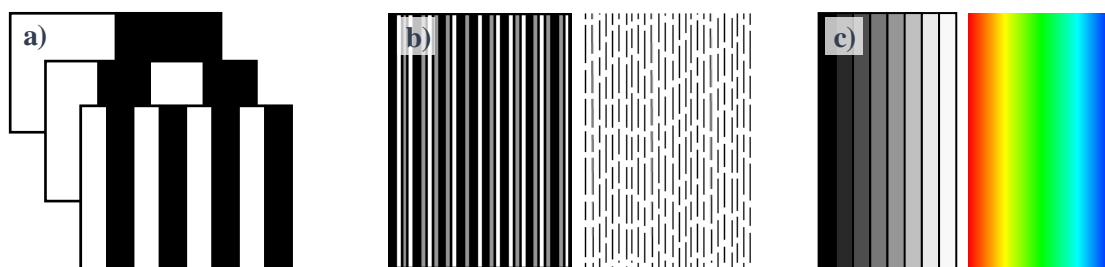
Patří mezi nejméně používané strategie. Je založena na časovém kódování, kdy je sekvence vzorů postupně promítána na měřený objekt a tím se každému kódovanému pixelu přiřadí kódové slovo. Mezi časové kodifikace lze zahrnout strategie založené na binárním kódu nebo Grayův kód v kombinaci s fázovým posunem. Pomocí této strategie lze tedy dosáhnout vysoké přesnosti a vysokého prostorového rozlišení. Nelze ji však použít pro pohyblivé objekty, protože je potřeba promítat mnohonásobný vzor.

Prostorová kodifikace (spatial neighbourhood)

Kódové slovo je určeno ze sousedních bodů kolem něho, z intenzity nebo barvy pixelů nebo skupiny sousedních pixelů. Kódování využívá unikátního kódu namísto několikanásobného promítaného vzoru postupně v čase. Cílem této techniky je získat jednosnímkový měřicí systém pro měření pohybujících se objektů. Nevýhodou je však nízké prostorové rozlišení.

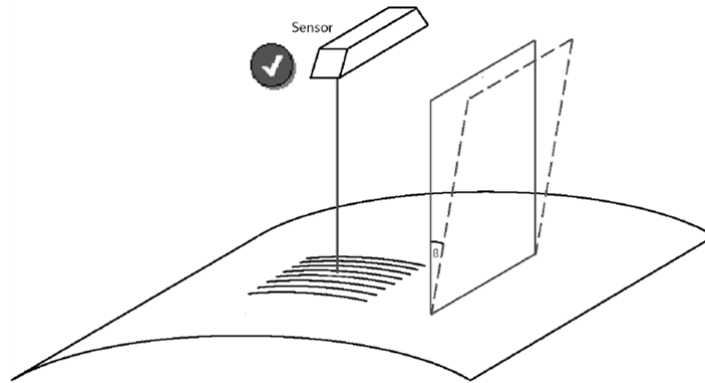
Přímá kodifikace

Jedná se o přímou cestu vytváření vzorů tak, že každý pixel je označen informací reprezentovanou přímo na něm. Nevýhodou je, že snímané barvy nezávisí pouze na těch promítaných, ale i na barvě měřeného povrchu. Proto je potřeba pořídít více referenčních snímků a tato technika není vhodná pro dynamické snímání. Patří sem kódování ve stupních šedi, kdy je každý zakódovaný bod identifikován pomocí stupně intenzity. Dále kódování založené na barvě, kdy jsou jednotlivé pruhy kódovány s rozdílnou vlnovou délkou [32][33].



Obrázek 35: a) Časová kodifikace; b) Prostorová kodifikace; c) Přímá kodifikace [33]

Snímač ABIS II používá k vyhodnocení povrchu pouze prostorovou kodifikaci, v tomto případě jednorázové promítnutí sinusoidálních proužků pouze v jednom směru. Je to dáno tím, že je umístěn v blízkosti lisovací linky a je potřeba zamezit ovlivnění výsledků měření vibracemi. Přináší to však určité nevýhody, nelze totiž vyhodnocovat příliš složité zakřivené díly. Tak, aby bylo dosaženo korektně naměřených dat a tvar povrchu byl kamerou správně zachycen, musí být promítané proužky umístěny rovnoběžně se zakřivením povrchu, viz obrázek 36.



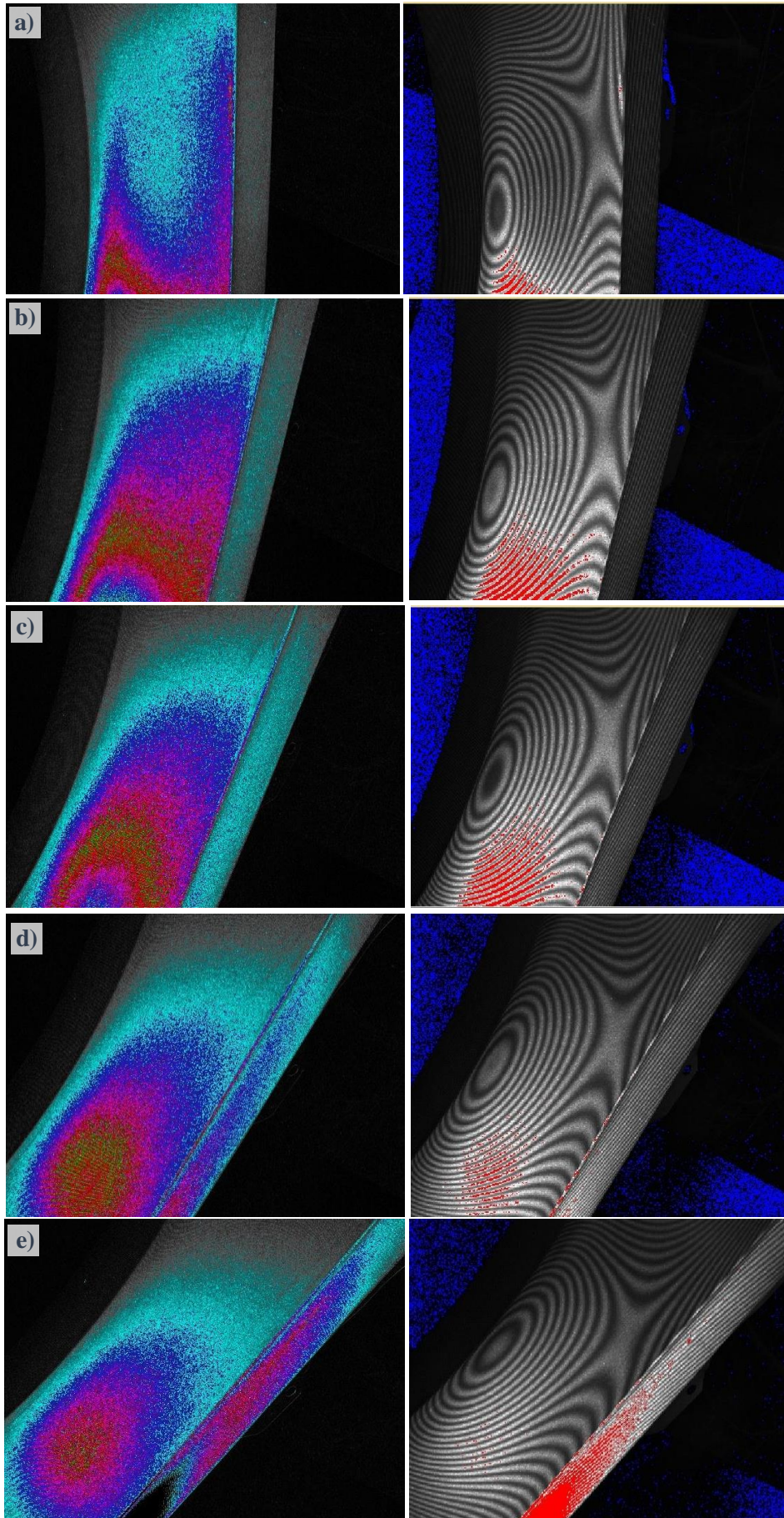
Obrázek 36: Směr promítaných proužků vzhledem k zakřivení povrchu [20]

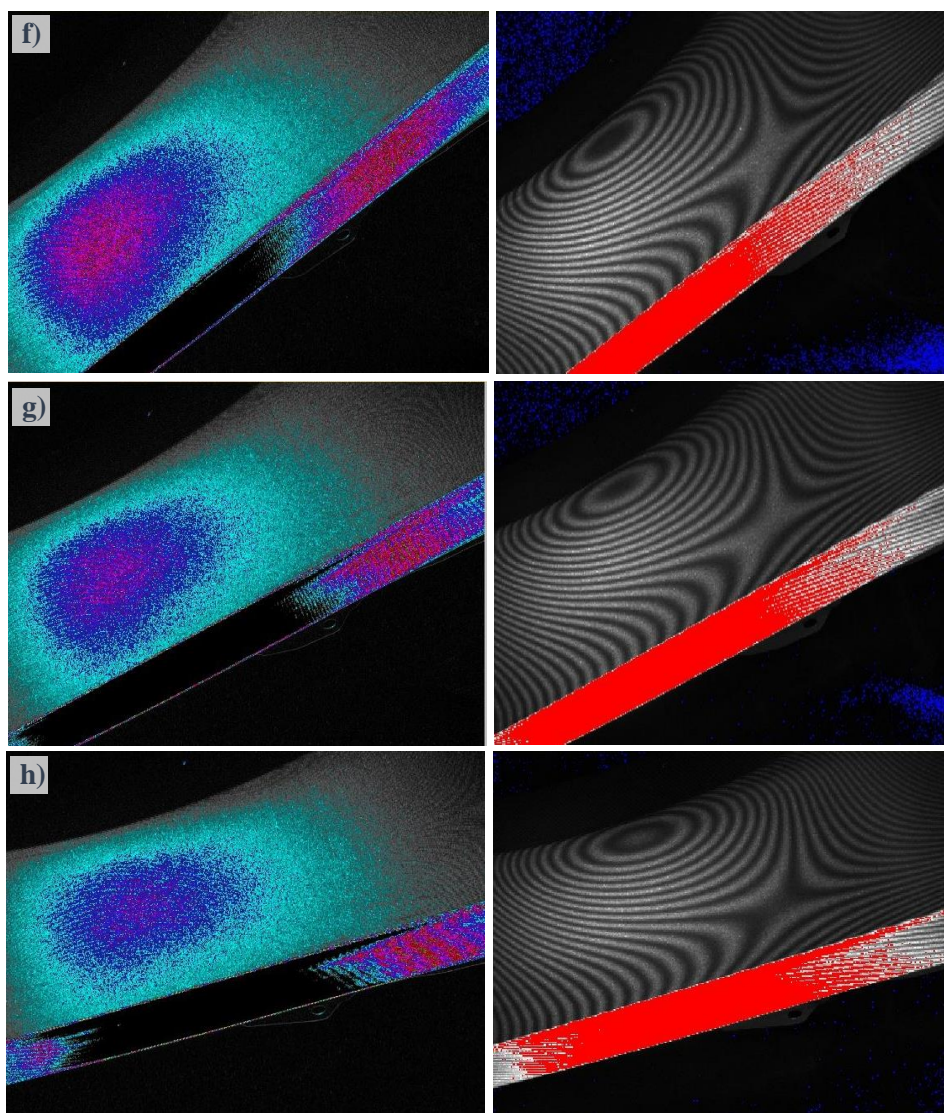
U některých dílů nelze směr proužků správně nastavit, jelikož je povrch konvexní nebo konkávní v obou směrech. Příkladem je kapota, která je svým tvarem v oblasti znaku velmi komplikovaná. Kapota je konkávně zakřivena jak kolem osy Y, tak kolem osy Z. Navíc se zde nachází prolis pro emblém. Polohu snímače v tomto případě nelze nastavit podle směru promítaných proužků. Dalším příkladem může být blatník, jehož povrch je nad výkrojem kola naopak konvexní ve směru obou os X a Z.

3.4.1 Zkouška - natočení snímače

Kromě naklonění snímače byl ověřen také vliv jeho natočení vůči měřenému dílu. Při natáčení snímače dochází i k natáčení promítaného strukturovaného vzoru. Pro účely zkoušky byl vybrán blatník Octavie. Snímač byl vůči dílu postupně natáčen po 10° . Na obrázku 37 vpravo je vidět, že s natočením snímače vůči dílu zůstává Moiré efekt stejný, to nám zároveň potvrzuje to, že byl stále v kolmé poloze vůči dílu a otáčel se pouze kolem TCP.

Na obrázku 37 vlevo je uveden kontrastní snímek pro každou měřicí pozici. Během zkoušky byla vzdálenost snímače stále stejná, přesto se kontrast významně měnil v závislosti na úhlu natočení snímače. Kontrast je pro vyhodnocení závad velmi zásadní. Aby byly závady v daném snímku viditelné, nesmí se nacházet ani v podexponované ani přeexponované oblasti. Na snímcích se tedy nachází pouze malá oblast ke spolehlivému vyhodnocení závad. V oblasti dílu s kruhovým Moiré efektem, kde je snímač kolmo k povrchu, je snímek pokaždé podexponovaný. Snímky g) a h) z hlediska kontrastu nevyhovují vůbec.





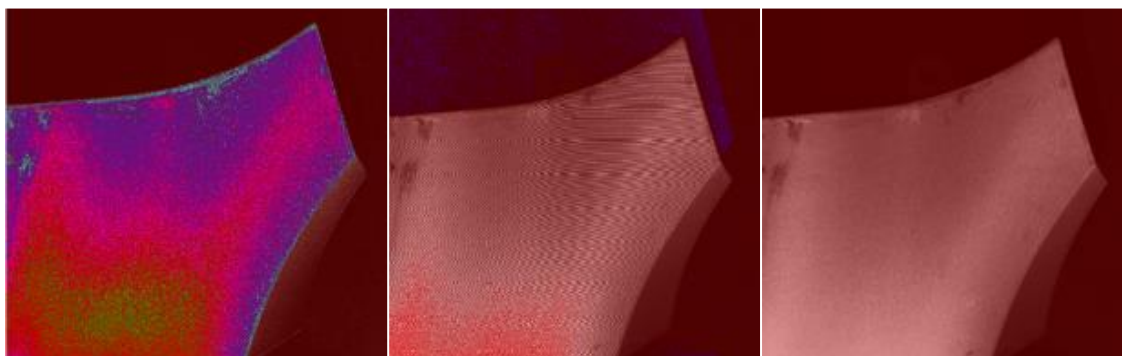
Obrázek 37: Natočení snímače: a) 0°; b) 10°; c) 20°; d) 30°; e) 40°; f) 50°; g) 60°; h) 70°

Správně by měly promítané proužky kopírovat průběh rádiusu. Jelikož je blatník konkávní ve 2 směrech, mělo by ideální natočení snímače odpovídat snímku a) nebo h). Ty však z hlediska kontrastu nevyhovují. I přesto, že byl snímač natočen ze všech možných úhlů, nebyla nalezena pozice, ve které by bylo možné ideálně vyhodnotit celý snímek. U tvarově komplikovaných dílů tedy nelze nastavit ideální polohu snímače.

Je potřeba vycházet z kompromisu mezi Moiré efektem a kontrastem. Obvykle je nutné takto členité díly vyhodnotit po velmi malých oblastech, ve kterých se tolik neprojeví členitost povrchu. V některých případech se snímek v dané oblasti musí zcela vynechat a tato část se vůbec nevyhodnocuje.

3.5 Mask Fit

Jak již bylo blíže vysvětleno v kapitole 2.2.4. Mask Fit slouží k zarovnání aktuálního snímku k referenčnímu. Program ABIS umožňuje maskovat pořízený snímek třemi způsoby, a to pomocí videa, intenzity nebo kontrastu. Volba vždy závisí na osvětlení, umístění stínů a dalších vlivech, které jsou pro každý snímek odlišné. Nemaskované oblasti by měly mít dostatečný kontrast a měly by v sobě zahrnovat okraje a záhyby panelu [18]. Na obrázku 38 jsou znázorněny jednotlivé metody.

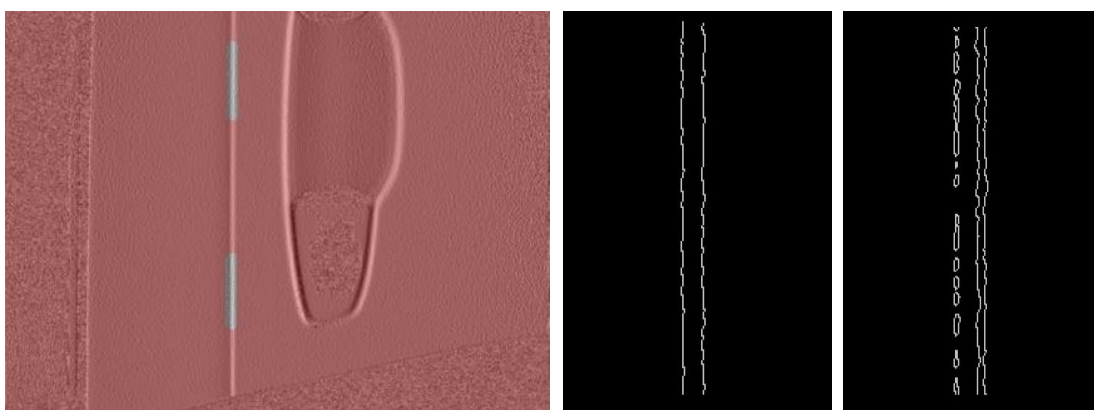


Obrázek 38: a) kontrast, b) video, c) intenzita

Maskování však není tak jednoduché, jak se na první pohled může zdát a nesprávné nastavení může zapříčinit nevypovídající vyhodnocení dílu. Z toho důvodu byly provedeny zkoušky, které by měly zmapovat jednotlivé vlivy vedoucí k nesprávnému nastavení masky.

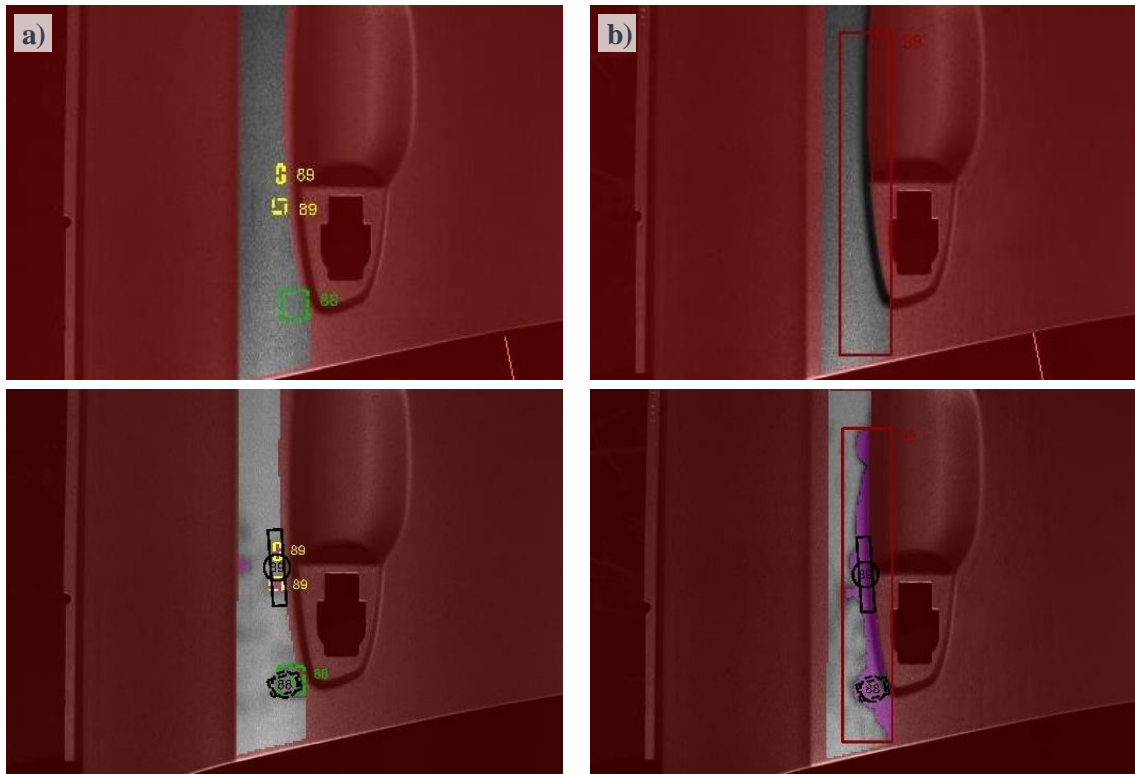
3.5.1 Volba křivek pro Mask Fit

Pro vytvoření masky je potřeba označit hrany výlisku. Tyto křivky dělí snímek na měřenou oblast a maskovanou oblast, která nebude programem vůbec vyhodnocována. Na obrázku 39 je znázorněna maska vytvořená na výlisku dveří. Jak je vidět na snímcích vpravo, křivky se významně liší kvalitou a spojitostí v závislosti na nastavení snímače. Snímek 39b představuje křivku vhodnou pro Maskfit, snímek 39c pak reprezentuje nevyhovující křivku.



Obrázek 39: a) Snímek dveří; b)c) designová hrana použitá pro Maskfit

Opět byla provedena zkouška, která ukazuje, jaký vliv má volba obou křivek na kvalitu vyhodnocení defektů. Při nesprávném nastavení a volbě křivky došlo během vyhodnocení snímku k posunu celé masky. To mělo za následek hlášení nové závady. Systém ABIS vyhodnotil z důvodu posunutí snímku vůči referenčnímu výrazné zakřivení povrchu jako závadu. Zároveň je zde vidět, že výběr křivek a umístění masky ovlivňuje výsledky hodnocení.



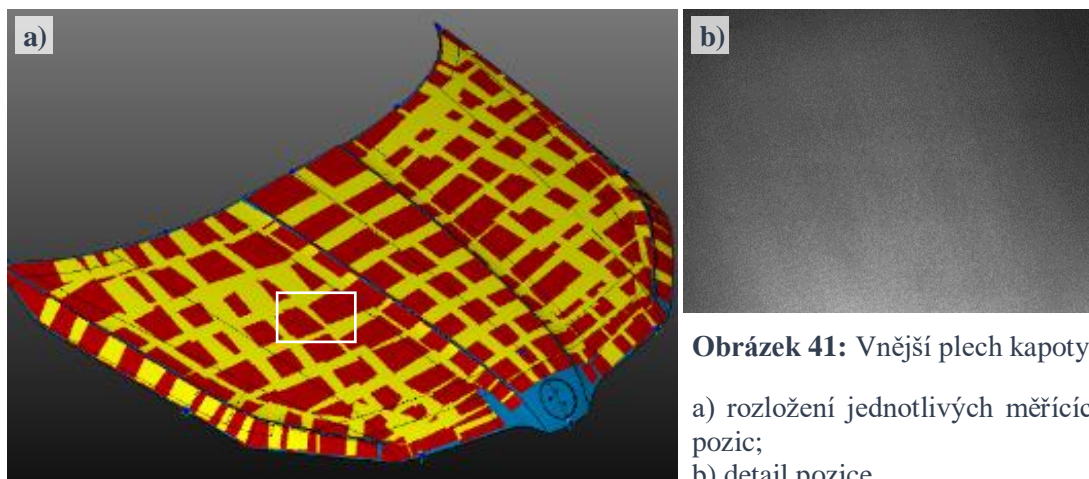
Obrázek 40: a) původní nastavená maska, b) posunutá maska

I když je při volbě křivek v ABISu k dispozici histogram, podle kterého by měla být volba křivek pro Mask Fit jednoznačně daná. Není tato doplňková funkce úplně směrodatná a je potřeba zohlednit i další vlastnosti. Zprv je nutné vybírat hladké a spojitě křivky. Zároveň musí mít nemaskované oblasti dostatečný kontrast, což je potřeba zajistit již během nastavování jednotlivých měřících pozic.

3.5.2 Mask Fit větších ploch

Na následujícím obrázku 41 je snímek kapoty, na kterém nelze provést maskování, jelikož není možné vybrat žádnou hranu dílu ani jinou designovou linku. U velkých ploch tedy nelze provést korekci polohy snímku a zároveň je vyhodnocení snímku dáno pouze nastavením polohy snímače. Při porovnání daného snímku s referenčním může dojít k nesprávnému posunu masky a následně k chybnému nalezení nové závady jako při nesprávné volbě křivek pro Mask Fit.

Při výběru oblasti, která bude vyhodnocována, je tedy nejvýhodnější zvolit celý snímek kamery. V takovém případě se tedy nemůže maskovaná oblast v rámci snímku jakkoliv posouvat a měřicí pozice je jasně dána pozicí daného snímku. Pokud je ale potřeba vyhodnotit takto rozměrný díl, ale s větším zakřivením povrchu, je to velmi problematické. U velkého zakřivení je z hlediska Moiré efektu a kontrastu ideální zvolit co nejmenší plochu, což se volí pomocí Maskfitu, jelikož velikost pořizovaných snímků je pevně daná. U takových dílů je pak potřeba s posunutím celé masky počítat.

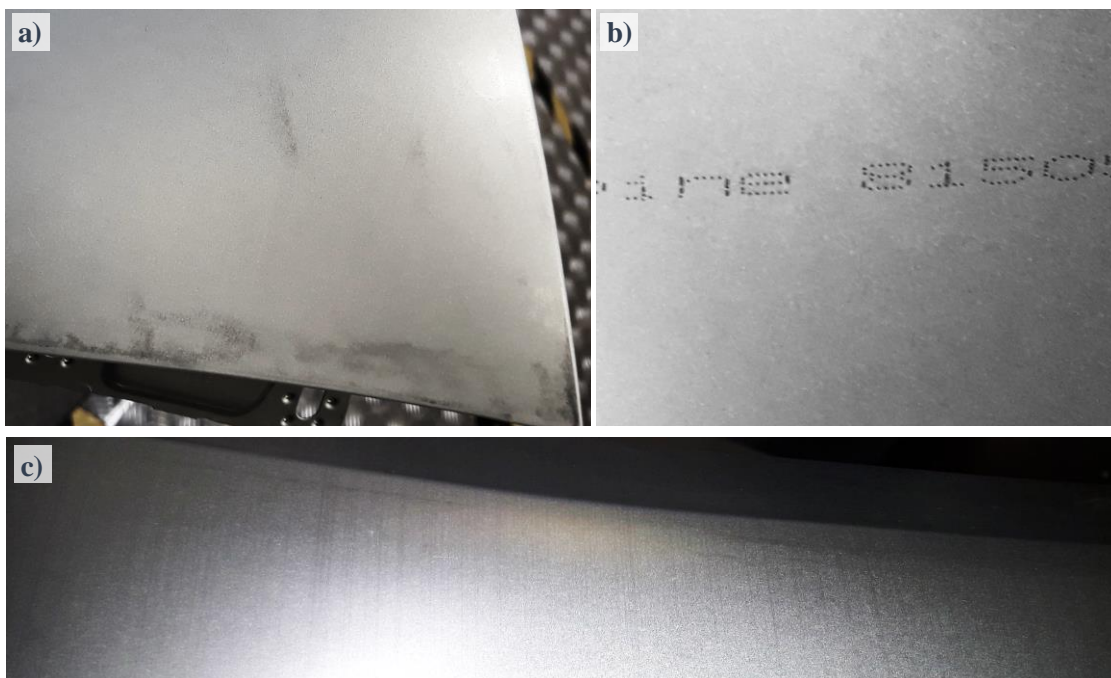


Obrázek 41: Vnější plech kapoty

- a) rozložení jednotlivých měřících pozic;
- b) detail pozice

3.6 Materiál výlisku

Nevýhodou jako u všech optických metod zůstává obtížné snímání transparentních či reflektivních povrchů, kde dochází k odrazu paprsku nebo jeho průchodu povrchem. To má pak za následek odchylky v naměřených datech a nesprávné určení souřadnic jednotlivých bodů. Je tedy potřeba, aby měl povrch snímaného objektu dostatečnou difúzní odrazivost [14]. Optimálním typem povrchu pro účely skenování je tzv. lambertovský povrch. Jedná se o idealizovaný dokonale matný povrch s konstantní odrazivostí, kde odrazivost nezávisí na úhlu odrazu. V ideálním případě by měly být snímané plochy rovnoměrně osvětlené, neprůhledné a lambertovské [34]. Výlisky používané pro výrobu karoserie jsou vyrobeny z pozinkované oceli. Dle společnosti Zeiss by měl být tento materiál pro vyhodnocení systémem ABIS II bezproblémový a to i v oblastech s vysokým zakřivením [18].



Obrázek 42: a) Otlaky na výlisku blatníku; b) značení plechu; c) vady materiálu

Během několika měření byly odhaleny jiné vlivy materiálu, které měly za následek nesprávné vyhodnocení dílu a nalezení falešných závad na výliscích. Jedním z těchto faktorů byly otlaky na výliscích vzniklé během lisování. Systém ABIS II tyto nedostatky hodnotí jako závady, i když se nejedná o deformace, což se potvrdilo i při ruční kontrole dílu pomocí brousku. Dalším problémem bylo číselné značení plechů, které se projevuje stejným způsobem jako otlaky od raznice. Jelikož se poloha označení plechu stále mění, nelze do systému zadat tuto závadu jako statickou, kterou by při dalších měřeních neměl ABIS II vyhodnocovat. Při vyhodnocení kvality dílu je tedy nutné zohlednit i tyto vlivy. Jedním z faktorů ovlivňující výsledky je také struktura povrchu, kde bylo zjištěno ovlivnění kontrastu. U takové struktury povrchu docházelo k přexponování snímku v dané oblasti.

4 Využití systému ABIS II pro IN-Line měření

Jak již bylo zmíněno na začátku, hlavním záměrem je využití systému ABIS II v lince pro vytvoření kompletně automatizovaného procesu kontroly dílů. Představou je zabudování systému přímo do lisovací linky. Zatímco dnes se pomocí ABISu kontroluje pouze několik kusů z lisovací dávky, implementováním ABISu do linky by se mohly kontrolovat všechny díly nebo alespoň větší část z nich. Dnes kontrolní proces funguje následujícím způsobem. Vybrané díly musí pracovník donést do měřicí buňky, vyhodnotit a opět vrátit zpět do palety. A zároveň musí být u linky přítomni další pracovníci, kteří zbylé díly pohledově kontrolují a zakládají do palet. Jelikož se doba lisování dílu pohybuje v rámci sekund, není zde prostor pro 100% kontrolu. Díly se tedy kontrolují pohledově a jen ve vybraných partiích.

Díky plně automatické kontrole a rychlému vyhodnocení by byla integrace ABISu do lisovací linky realizovatelná. V závislosti na velikosti dílu by pak byly díly při IN-Line měření vyhodnoceny pouze v určitých oblastech nebo zónách měřených dílů. Nebo by se jednotlivé oblasti střídaly, to znamená, že na jednom dílu by byla vyhodnocena jedna část a na druhém zase další. Tím by se zajistila 100% kontrola celého dílu. Integrací ABISu přímo do linky by se především využil jeho potenciál daný extrémně krátkou dobou vyhodnocení.

Na základě vlivů zmíněných v poslední části této práci se integrace ABISu do linky nedoporučuje. Jelikož systém zatím nedokáže spolehlivě kontrolovat tvarově členité díly a díly s velkým zakřivením povrchu. To se tedy týká především vnitřních plechů karoserie, které se systémem ABIS II vůbec nekontrolují, a dále i některých partiích na vnějších dílech, které se zatím při vyhodnocení zcela vynechávají. Pokud by se však ustoupilo od kontroly vnitřních dílů, bylo by nutné zrealizovat mnohá opatření. Jedním z nich by bylo například zajištění homogenního osvětlení v rámci celé haly nebo zajištění vyhovující polohy větších výlisků během snímání tak, aby se nedeformovaly.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit optický senzor ABIS II pro kontrolu kvality povrchu lisovaných dílů, porovnat ho s konvenčním způsobem kontroly a určit vlivy na přesnost snímání.

V porovnání se současným způsobem ruční kontroly je hlavní výhodou snímače ABIS II jeho krátká doba potřebná pro vyhodnocení dílu. U některých výlisků je až desetinásobně nižší než při brouskování. Díly tedy mohou být kontrolovány s vyšší četností a výrazně se tak sníží náklady na neshodné díly.

V této práci byl systém ABIS II také porovnán s optickým skenerem ATOS Triple Scan. Nejenže byla doba skenování u skeneru ATOS několikanásobně delší, z důvodu odlesků bylo potřeba výlisky před skenováním opatřit antireflexním nástřikem. Z hlediska časové náročnosti, nutnosti přípravy povrchu před skenováním, vyhodnocení a způsobu projekce strukturovaného vzoru se tedy ATOS systému ABIS II nevyrovnal a nebylo by ho možné ve výrobních podmínkách použít.

Dále byly zkoumány vlivy na přesnost snímání, jak reálně ABIS II vypovídá o skutečné kvalitě povrchu lisovaných dílů. Byly analyzovány podmínky okolního osvětlení, ustavení dílů během měření, naklopení a natočení snímače vzhledem ke snímanému povrchu, materiál lisovaných dílů a zarovnání jednotlivých snímků.

V rámci této práce bylo z důvodu proměnlivého okolního osvětlení a jeho negativním vlivům na výsledky měření navrženo dodatečné zastínění měřící buňky ABISu. Dalším z opatření bylo nahrazení podložky měřicího stolu jiným materiálem a návrh a zhotovení měřicího přípravku pro ustavení postranice během skenování. Na základě těchto optimalizací bylo dosaženo stabilnějších výsledků měření a minimálního rozptylu výsledných auditových hodnot.

Během dalších zkoušek bylo zjištěno, že jsou výsledky ABISu velmi závislé na snímaném povrchu. Nejen na materiálu, ale především na geometrii daného dílu, což je dáno způsobem promítání strukturovaného vzoru. Ten je promítán pouze v jednom směru, aby bylo zajištěno rychlé snímání a zamezilo se tak vlivu vibrací z lisovací linky. U velmi členitých povrchů je tedy obtížné optimálně nastavit snímač vůči snímanému povrchu pro dosažení vypovídajících výsledků. Jelikož přesnost měření s rostoucím zakřivením povrchu klesá, nelze spolehlivě kontrolovat tvarově členité díly a díly s velkým zakřivením povrchu, jako jsou vnitřní plechy, prolisy, kulové plechy a další tvarově komplikované části výlisku.

V souvislosti s jednotlivými faktory ovlivňujícími přesnost snímání, které byly popsány v poslední části této práce, se i přes vysokou technologickou úroveň systém ABIS II současné ruční kontrole zatím nevyrovná. V kategorii optických skenerů se však řadí mezi nejlepší dostupnou technologii pro kontrolu kvality povrchu výlisků.

Použitá literatura

- [1] SÁROSI, Zoltán, Wolfgang KNAPP, Andreas KUNZ a Konrad WEGENER. *Detection of surface defects on sheet metal parts by using one-shot deflectometry in the infrared range* [online]. 2010 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/236582583_Detection_of_surface_defects_on_sheet_metal_parts_by_using_one-shot_deflectometry_in_the_infrared_range
- [2] KARBACHER, S., J. BABST, G. HÄUSLER a X. LABOUREX. *Visualization and Detection of Small Defects on Car-Bodies* [online]. Německo, 1999 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: http://www.optik.uni-erlangen.de/fileadmin/leuchs/leuchs-uni/osmin/papers/1999/1999_119_SBK_VisDet_CarBds_1999.pdf
- [3] REYNOLDS, R. L., F. KARPALA, D. A. CLARKE a O. L. HAGENIERS. *Theory and applications of a surface inspection technique using double-pass retroreflection* [online]. 1993 [cit. 2019-03-29]. DOI: 10.1117/12.143938. Dostupné z: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/Optical-Engineering/volume-32/issue-9/0000/Theory-and-applications-of-a-surface-inspection-technique-using-double/10.1117/12.143938.short?SSO=1>
- [4] VON ENZBERG, Sebastian a Ayoub AL-HAMADI. *A defect recognition system for automated inspection of non-rigid surfaces* [online]. 2014 [cit. 2019-02-29]. DOI: 10.1109/ICPR.2014.318. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6977029/>
- [5] ZHANG, Xianzhu a Walter NORTH. *Retroreflective grating generation and analysis for surface measurement* [online]. 1998 [cit. 2019-03-29]. DOI: 10.1364/AO.37.002624. Dostupné z: <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-37-13-2624>
- [6] Strojové vidění (Machine Vision). In: *Hönigsberg and Düvel* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.hud.cz/strojove-videni/>
- [7] 3D měřicí systémy. *MCAE Systems, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/kategorie/3d-merici-systemy/>
- [8] HAVLE, Otto. *Detekce vad vylisku* [online]. In: . *Automa*, 5/2017, s. 19 [cit. 2019-03-29].
- [9] *INB Vision technologies - Inspection systems* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.inb-vision.com/produkte/Oberflaecheninspektionssysteme/#surfaceCONTROL-Robotic>
- [10] Body Geometry Verification at Volvo Speeded Up Using Metris Scanner. *CMM Quarterly* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://cmmquarterly.blogspot.com/2009/06/body-geometry-verification-at-volvo.html>
- [11] Digitalizace - její princip a rozdělení. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>
- [12] POCHMON, M. *Vybrané optické 3D metody a jejich aplikace*. Olomouc, 2012. Disertační práce.

- [13] KALOVÁ, I. a K. HORÁK. Optické metody měření 3D objektů. In: *Elektrorevue* [online]. 2005 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html>
- [14] SAMADI, Ali. *Structured-light 3D scanner* [online]. , 1-9 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: https://www.academia.edu/1107159/Structured-light_3D_scanner_-_Samadi
- [15] DENKENA, B., H. AHLERS, F. BERG a Th. *Fast Inspection of Larger Sized Curved Surfaces by Stripe Projection* [online]. 2002 [cit. 2019-03-29]. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61570-4. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607615704>
- [16] *Interní materiál*. ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav, Oddělení: GQF-3 Řízení kvality lisovna
- [17] *Zeiss Optotechnik - Surface inspection: ABIS II* [online]. [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://optotechnik.zeiss.com/en/products/surface-inspection/abis-ii>
- [18] *Interní materiál*. VW AG - TQS 05.01_03 Optische Oberflächenprüfung von Karosserieaußenhautteilen.
- [19] *VMT - Summary Instructions*. Mannheim: VMT Vision Machine Technic Bildverarbeitungssysteme, 2015.
- [20] *ABIS II - System Specification*. Carl Zeiss Optotechnik, 2016.
- [21] RYŠÁNEK, Jiří. *Tvorba výkresové dokumentace v Catii V5*. Bakalářská práce. ŠKODA AUTO Vysoká škola. Vedoucí práce Doc. Ing. Vítězslav Fliegel, CSc.
- [22] AAMODT, Agnar. *Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches* [online]. 1994 [cit. 2019-01-19].
- [23] LEMEŠ, S. a N. ZAIMOVIC-UZUNOVIC. *STUDY OF AMBIENT LIGHT INFLUENCE ON LASER 3D SCANNING*[online]. 2009 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://www.am.unze.ba/papers/327-330.pdf>
- [24] VOISIN, Sophie, Sebtl FOUFOU, Frédéric TRUCHETET, David PAGE a Mongi ABIDI. *Study of ambient light influence for threedimensional scanners based on structured light* [online]. 2007 [cit. 2019-03-29].
- [25] VOEGTLE, Thomas, I. SCHWAB a Tania LANDES. *INFLUENCES OF DIFFERENT MATERIALS ON THE MEASUREMENTS OF A TERRESTRIAL LASER SCANNER* [online]. 2008 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228910648_Influences_of_different_materials_on_the_measurement_of_a_Terrestrial_Laser_Scanner_TLS
- [26] COLLADO, Joseph Forest. *New methods for triangulation-based shape acquisition using laser scanners* [online]. [cit. 2019-03-25]. ISBN 84-689-3091-1. Dostupné z: <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4930/Tjfc.pdf?sequence=5>
- [27] GERBINO, Salvatore, Domenico Maria Del GIUDICE, Gabriele STAIANO, Antonio LANZOTTI a Massimo MARTORELLI. *On the influence of scanning factors on the laser scanner-based 3D inspection process* [online]. 2015 [cit. 2019-01-29]. DOI: 10.1007/s00170-

015-7830-7. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00170-015-7830-7.pdf>

[28] BLANCO, D., P. FERNÁNDEZ, E. CUESTA, S. MATEOS a N. BELTRÁN. *Influence of Surface Material on the Quality of Laser Triangulation Digitized Point Clouds for Reverse Engineering Tasks* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5347115>

[29] BLANCO, D., P. FERNÁNDEZ, E. CUESTA a C. M. SUÁREZ. *Influence of Ambient Light on the Quality of Laser Digitized Surfaces* [online]. 2008 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Cuesta2/publication/44261913_Influence_of_Ambient_Light_on_the_Quality_of_Laser_Digitized_Surfaces/links/02bfe50ff9a95776d4000000.pdf

[30] PARIAN, Jafar Amiri, Armin GRUEN, Frédéric TRUCHETET, David PAGE a Mongi ABIDI. *Integrated laser scanner and intensity image calibration and accuracy assessment* [online]. 2005 [cit. 2019-03-29].

[31] VUKAŠINOVIC, Nikola, Marjan KOROŠEC a Jože DUHOVNIK. The Influence of Surface Topology on the Accuracy of Laser Triangulation Scanning Results. *Strojniski Vestnik* [online]. 2010 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Nikola_Vukasinovic/publication/273445417_The_Influence_of_Surface_Topology_on_the_Accuracy_of_Laser_Triangulation_Scanning_Results/links/55017a820cf24cee39f78733.pdf

[32] SALVI, J., J. PAGÉS a J. BATTLE. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern Recognition* [online]. Elsevier, 2004, s. 827-849 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031320303003303?via%3Dihub>

[33] SALVI, J., J. PAGÉS, R. GARCIA a C. MATABOSCH. *Overview of coded light projection techniques for automatic 3D profiling* [online]. IEEE, 2003 [cit. 2018-11-24]. DOI: 10.1109/ROBOT.2003.1241585. ISSN 1050-4729.

[34] KOCOUR, Vladimír a Jaroslav VALACH. *Určování optických vlastností povrchů pro účely ochrany objektů kulturního dědictví* [online]. In: . [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB12/full_paper/039_Kocour.pdf

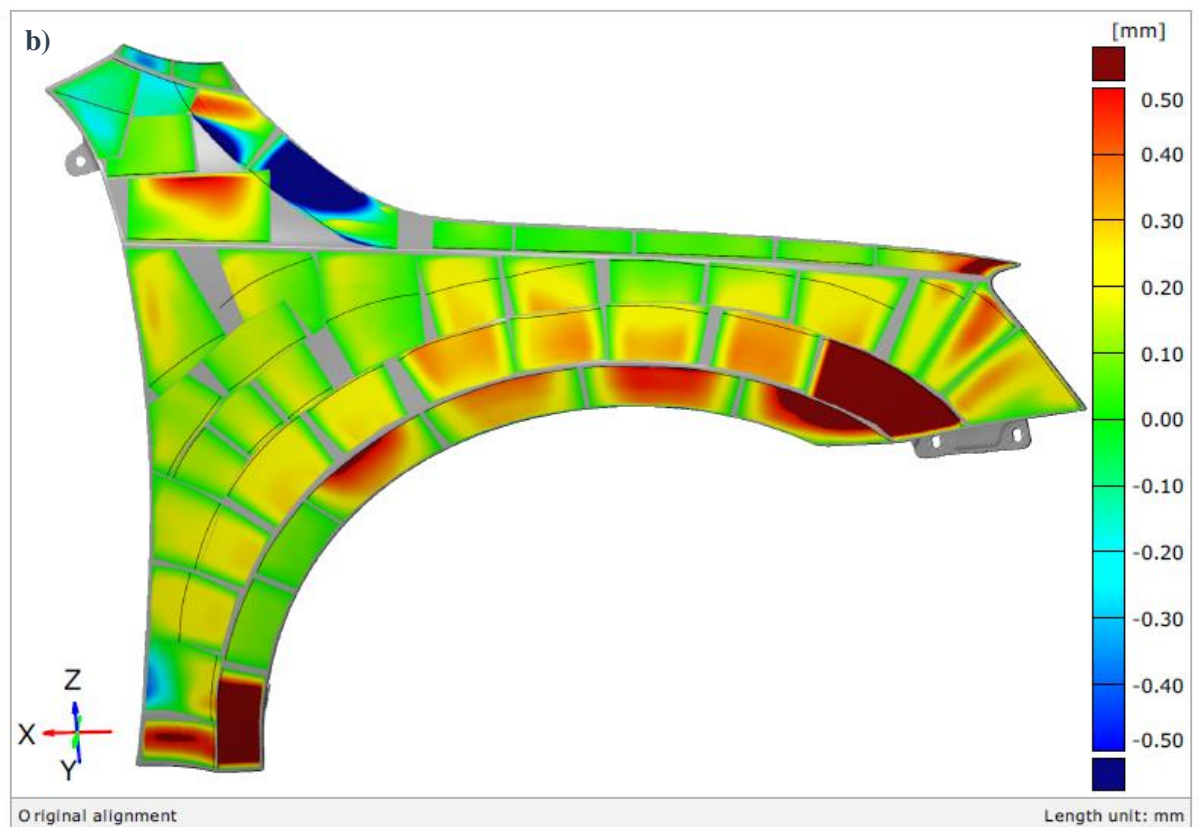
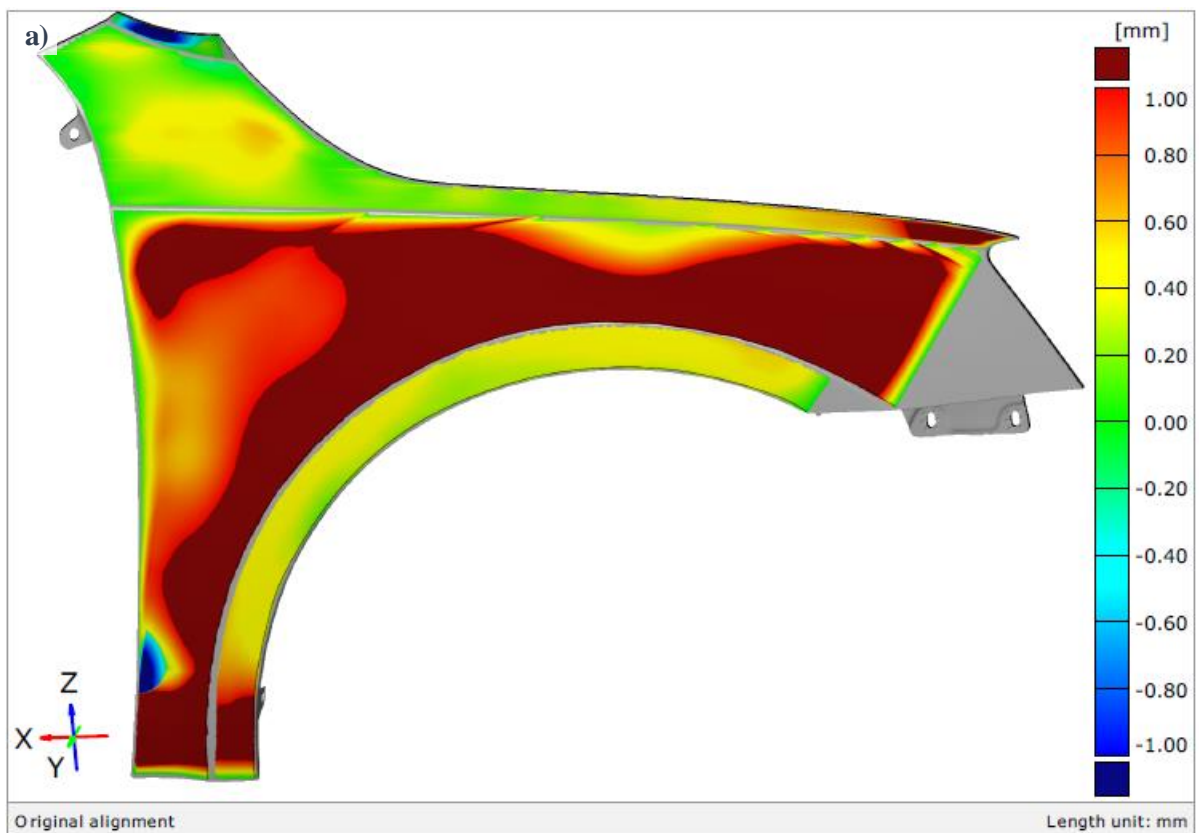
[35] SHI, Q., N. XI a Y. CHEN. *Development of an automatic optical measurement system for automotive part surface inspection* [online]. IEEE, 2005 [cit. 2018-11-19]. DOI: 10.1109/AIM.2005.1511233. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1511233>

[36] HAZRA, S., R. ROY, D. WILLIAMS, R. AYLMOORE a D. HOLLINGDALE. A novel inspection method for determining the cosmetic quality of automotive skin panels. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. Elsevier, 2013, s. 2049-2063 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: https://ac.els-cdn.com/S0924013613001453/1-s2.0-S0924013613001453-main.pdf?_tid=71cd2b04-6a89-4c48-b2e9-f94641774cdc&acdnat=1549312764_b867170464b3311932ac888094cbb54b

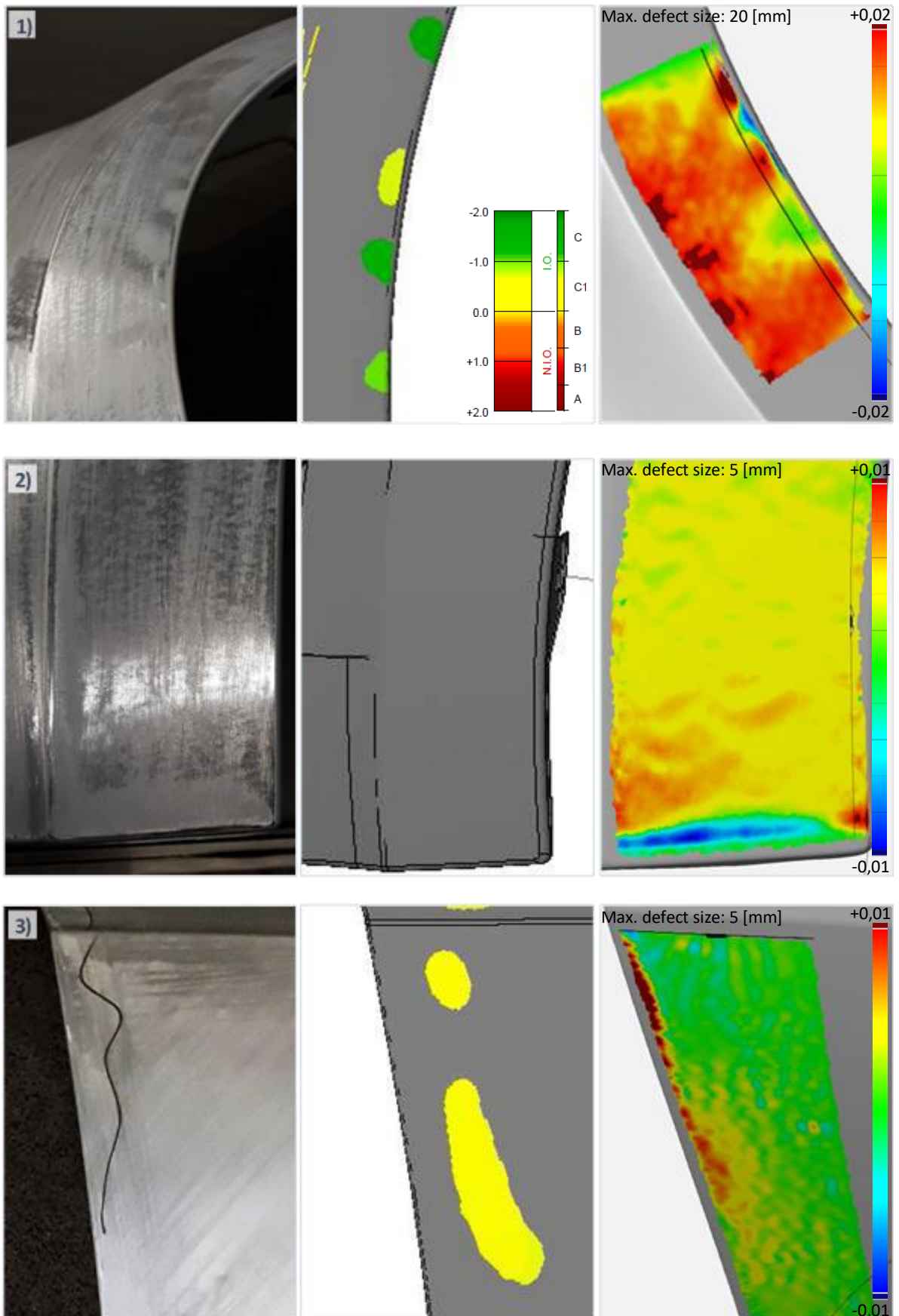
[37] YANG, Zheng. *Schnellere 3D-Messung mit strukturierter Beleuchtung durch bessere Informationseffizienz* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/327417089_Schnellere_3D-Messung_mit_strukturierter_Beleuchtung_durch_bessere_Informationseffizienz

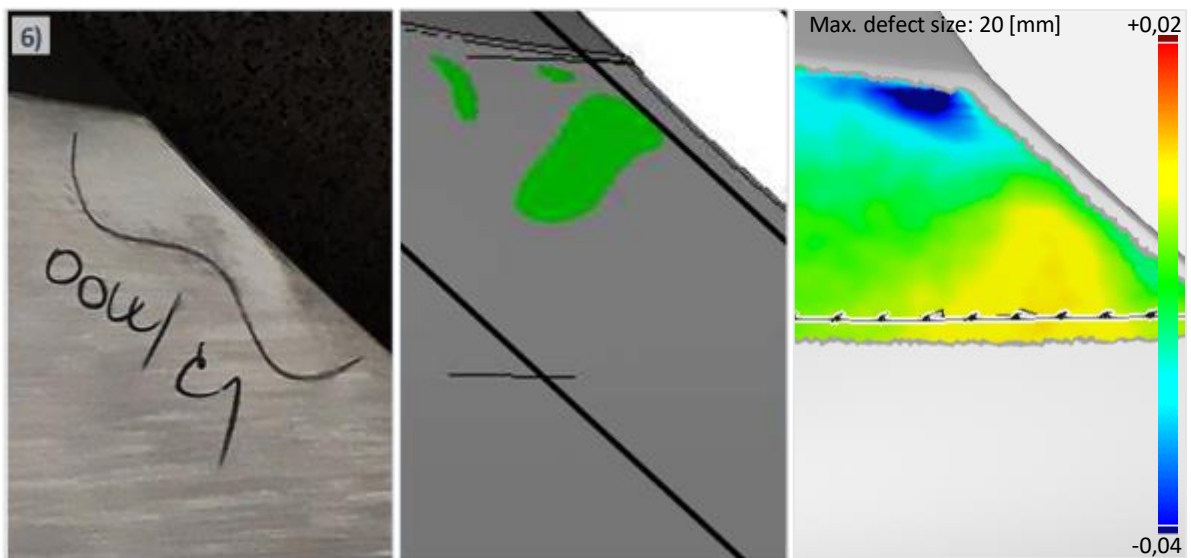
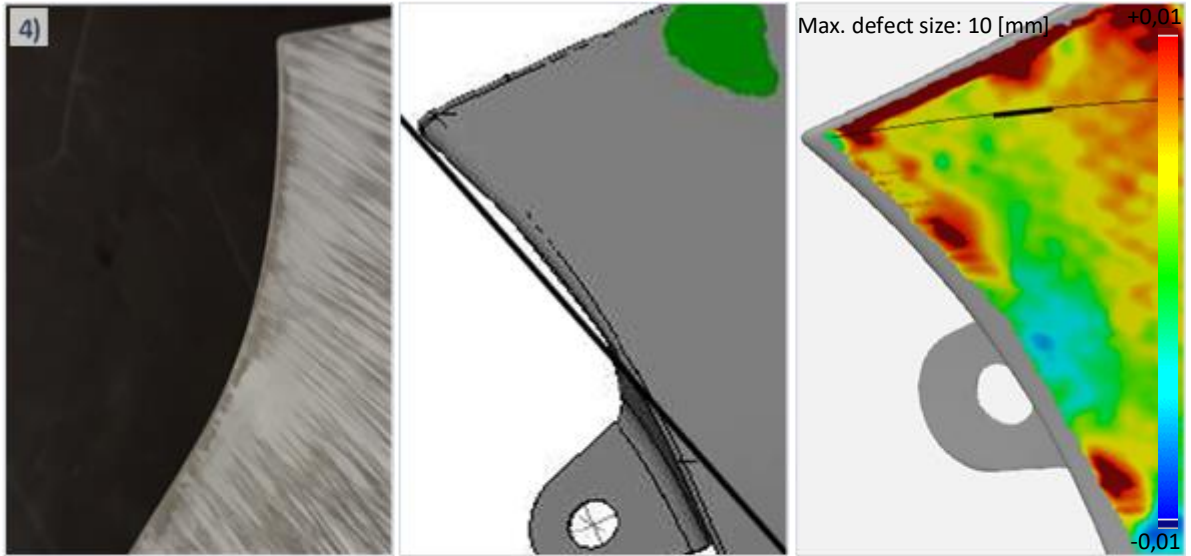
Přílohy

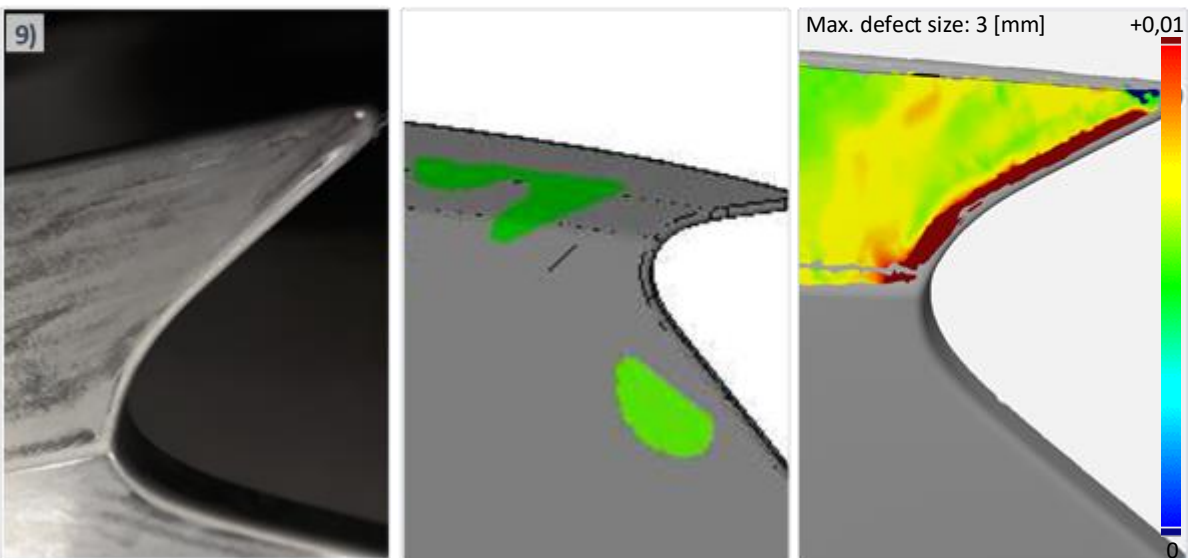
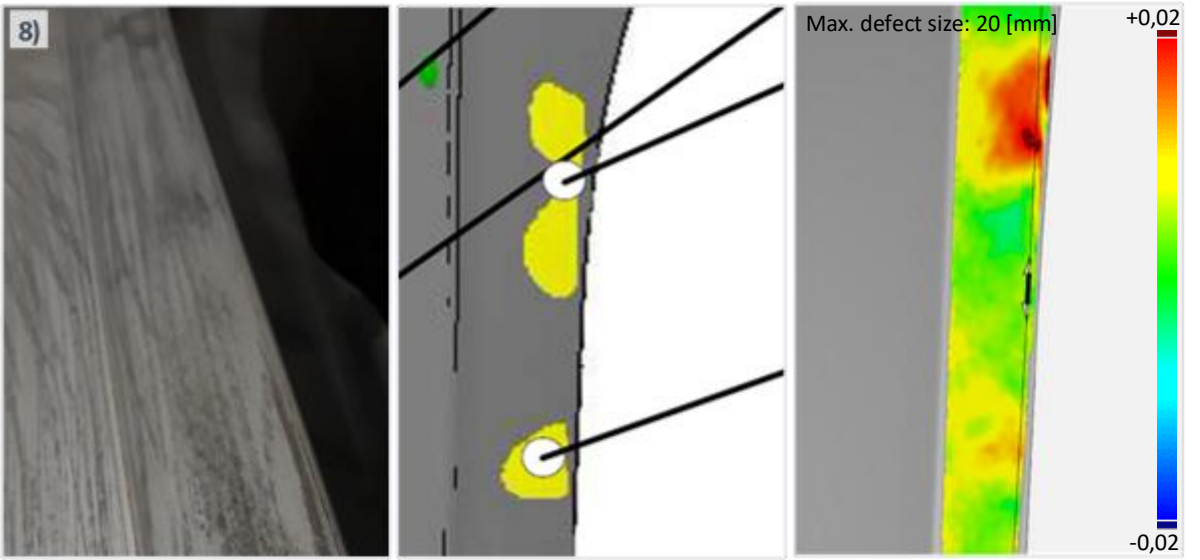
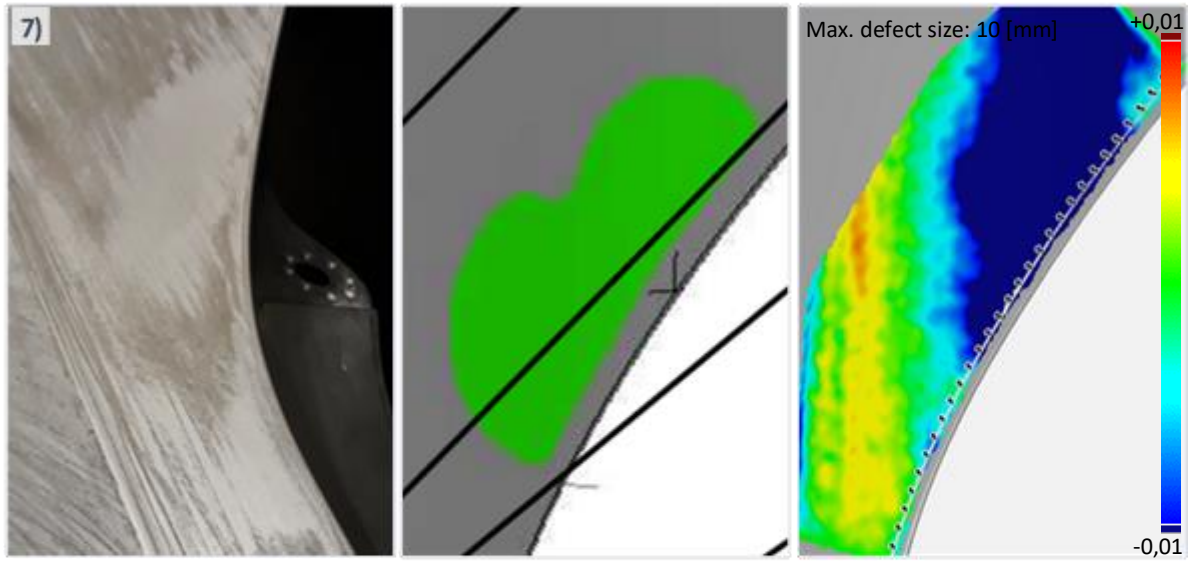
A – vyhodnocení povrchu blatníku pomocí optického skeneru ATOS

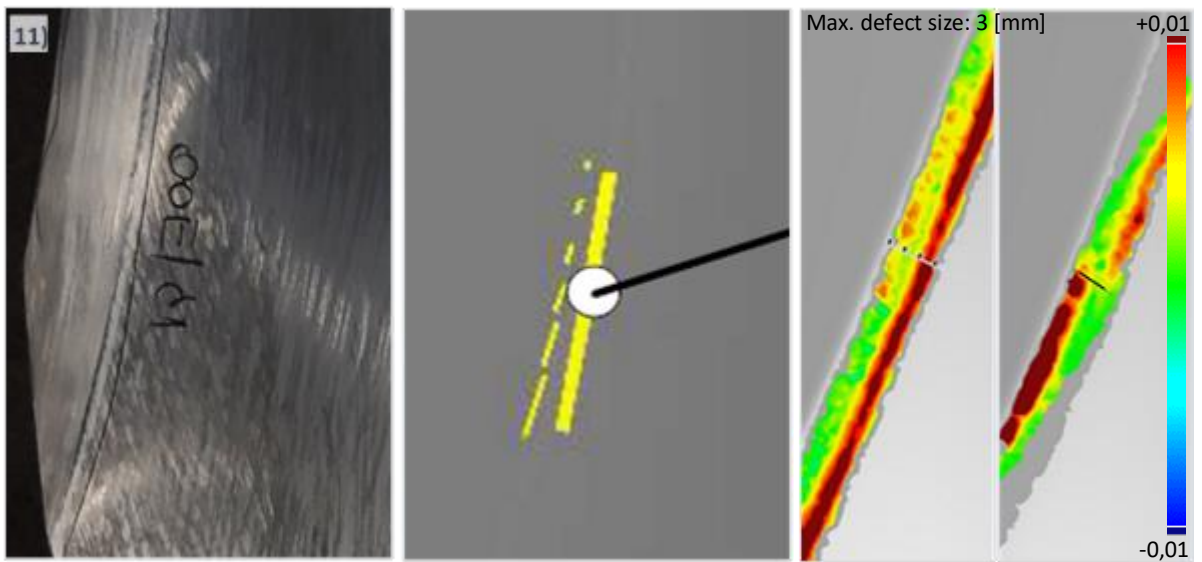
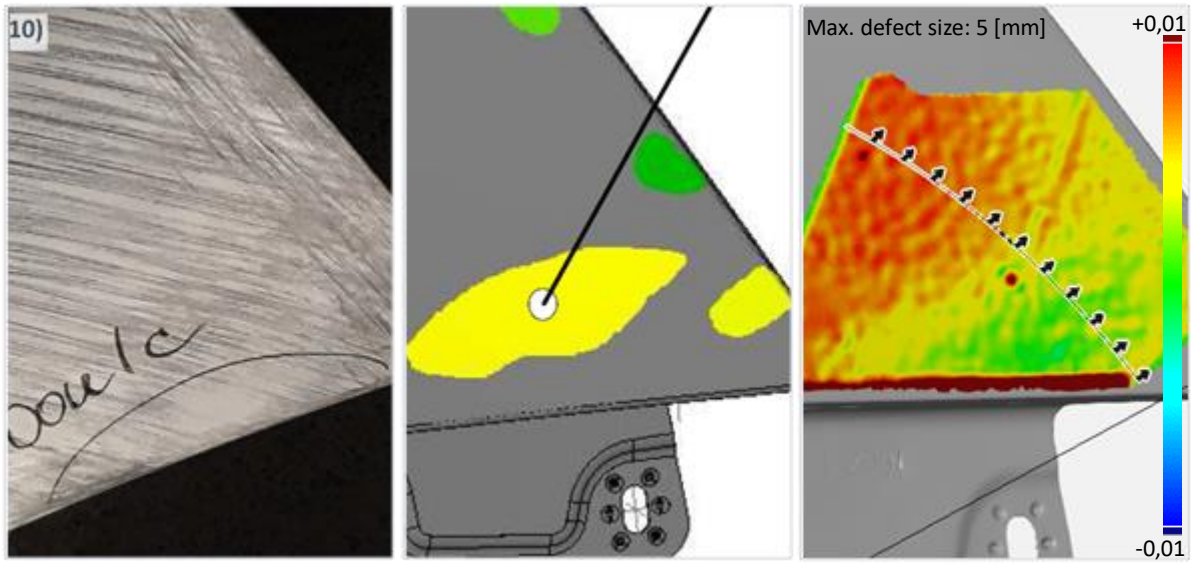


B – vyhodnocení blatníku pomocí ručního brouskování, ABIS II a ATOS









C - Technické údaje skenerů ABIS II a ATOS [7, 17]

Parametry	ABIS II	ATOS Triple Scan
Rozlišení kamery [px]	1600 x 1200	8 000 000 (2x)
Měřicí objem v [mm ³]	300 x 225 x 40	38 až 2000
Prostorové rozložení bodů [mm]	0,1875	0,21 až 0,03
Přesnost [μm]	10	30
Doba pro zachycení 1 snímku [s]	0,0001	1
Zdroj světla	Xenon	LED – Blue Light