

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: P2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301V007 Průmyslové inženýrství a management

DISERTAČNÍ PRÁCE

Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj pěnových dílů
v automobilovém průmyslu

Autor: **Ing. Michal Gregor**

Školitel: **Doc. Ing. Pavel Kopeček, CSc.**

Konzultant specialista: **Doc. Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

Předkládám tímto k posouzení disertační práci zpracovanou na téma:

Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj pěnových dílů v automobilovém průmyslu

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, dle Studijního a zkušebního řádu Západočeské univerzity v Plzni, pod odborným dohledem školitele a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni dne:.....

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji své rodině za podporu a pochopení v průběhu studia a dále děkuji Doc. Ing. Pavlu Kopečkovi, CSc. a Doc. Ing. Petru Hořejšímu, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultace v pracovní době i mimo ni.

ANOTACE

AUTOR	Příjmení (včetně titulů) Ing. Gregor	Jméno Michal
STUDIJNÍ OBOR	Průmyslové inženýrství a management	
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Kopeček, CSc	Jméno Pavel
PRACOVISTĚ VEDOUcíHO	Katedra průmyslového inženýrství a managementu	
DRUH PRÁCE	disertační	
NÁZEV PRÁCE	Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj pěnových dílů v automobilovém průmyslu	

Fakulta: Strojí

Katedra: Průmyslové inženýrství a management

Rok odevzdání: 2020

Počet stránek (A4 a ekvivalentů A4)

Celkem	112	Textová část	112	Grafická část	0
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Následující práce s názvem „Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj pěnových dílů v automobilovém průmyslu“ spadá do oblasti průmyslového inženýrství a virtuální reality. Tento problém je velice aktuální, neboť řeší zefektivňování procesů ve vývojové fázi výrobku z automobilového průmyslu. Práce popisuje procesy plánování, ověřování a nastavování výrobních tolerancí automobilových dílů. Cílem této práce je položit základ pro další řešení vybrané problematiky v dizertační práci na základě navržené metodiky. Nástin budoucího řešení je uveden v závěru této práce.
KLÍČOVÁ SLOVA	Virtuální realita, bodové mračno, 3D skener

SUMMARY

AUTHOR	Surname (including of Degrees) Ing. Gregor	Name Michal
FIELD OF STUDY	Industrial Engineering and Management	
SUPERVISOR	Surname (including of Degrees) Doc. Ing. Kopeček, CSc.	Name Pavel
INSTITUTION	Department of industrial engineering and management	
TYPE OF WORK	dissertation	
TITLE OF THE WORK	Methodology of scanning and processing of point cloud for development of foam components in automotive	

Faculty: Mechanical Engineering
 Department: Industrial Engineering and Management
 Submitted in: 2020

Number of pages (A4 a eq. A4)

Totally	112		Text part	112		Graphical part	0
----------------	-----	--	------------------	-----	--	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis titled „Methodology of scanning and processing of point cloud for development of foam components in automotive“ belongs into the area of industrial engineering and virtual reality. This topic is very actual, because it deals with effectivity of processes during development phase of components in automotive. It describes the process of planning, checking and setting of production targets of car components. The goal of this thesis is to lay the foundations for future work based on proposed methodology. Proposal of future solutions is given at the end of this thesis.</p>
KEY WORDS	Virtual reality, point cloud, 3D scanner

Obsah	
Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
Seznam zkratk	9
Glosář	10
Úvod	11
1 Teoretická východiska a stav poznání v českých a zahraničních souvislostech	13
1.1 Virtuální realita	14
1.1.1 Podstata virtuální reality	14
1.1.2 Zařízení virtuální reality	15
1.2 Virtuální realita v průmyslu	16
1.3 Vztah virtuální reality a ergonomie	18
2 3D technologie	20
2.1 3D laserové skenery	20
2.2 Typy 3D laserových skenerů	22
2.3 3D modely	23
2.3.1 Oblasti využití 3D modelů a 3D laserového skenování	24
2.3.2 3D bodová mračna	25
2.4 3D bodová mračna v automobilovém průmyslu	30
2.4.1 Využití bodových mračen	31
2.4.2 3D skenování	32
2.5 Příklady z praxe v automotive	33
2.5.1 Reverzní inženýrství	36
2.5.2 3D inspekce	37
2.5.3 Zrychlení výroby	38
2.5.4 Testování automobilů	38
2.5.5 Vstřikování plastů	39
2.5.6 Výroba nástrojů a forem	40
2.5.7 Využití koncepce digitální továrny a ergonomické analýzy v Škoda Auto ..	40
2.5.8 Plánování výroby	40
2.5.9 Analýza ergonomie manuálních operací	41
2.5.10 Využití Motion Capture obleku	41
2.5.11 Studio virtuální reality ve Škoda Auto	42
2.6 3D laserové skenování bodových mračen u autosedaček	43
3 Cíle disertační práce, teze a hypotézy	46

3.1	Výzkumný problém a cíl disertační práce	46
3.2	Teze	46
3.3	Hypotézy.....	47
4	Vědecké metody zkoumání	49
5	Vlastní výzkum problematiky virtuální reality bodových mračen	52
5.1	Předchozí výzkum.....	52
5.2	Dotazníkové šetření – primární sběr dat.....	57
5.3	Shrnutí výsledků dotazníkového šetření	66
5.4	Sekundární výzkumy a metodiky skenování autodílů	67
5.4.1	Approach to evaluation of car seats fabrics performance	68
5.4.2	Modeling vehicle collision angle in traffic crashes based on three-dimensional laser scanning data	68
5.4.3	Car seat backrest static strength experiment and simulation.....	69
5.4.4	Comfort analysis of automobile seats based on 3D human models in SolidWorks	69
5.4.5	Simulation LIDAR point cloud for autonomous driving using real-world scenes and traffic flows.....	70
5.5	Výzkum v rámci zpracování práce	70
5.5.1	Skenování vzorků	71
5.5.2	Výsledky výzkumu	79
5.5.3	Zhodnocení výzkumu	83
6	Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj dílů v automobilovém průmyslu.....	85
6.1	Komparace metodiky s různými výzkumy.....	88
6.2	Závěr z tvorby metodiky	90
7	Ověření metodiky na skenování automobilové sedačky.....	91
8	Naplnění cílů disertační práce a další řešení	97
8.1	Vyhodnocení hypotéz.....	98
8.2	Doporučení pro další postup v bádání	99
8.3	Limity výzkumu.....	100
	Závěr.....	101
	Citovaná literatura	104

Seznam obrázků

Obrázek 1 Ergonomické analýzy pracovního postupu při montáži zámku, zdroj: [6]....	19
Obrázek 2 Laserový skener, zdroj: [14].....	21
Obrázek 3 Skenování součástky – příklad, zdroj: [14].....	27
Obrázek 4 Upravené bodové mračno - příklad, zdroj: [14].....	28
Obrázek 5 Finální zpracování bodového mračna - příklad, zdroj: [14].....	29
Obrázek 6 Finální zpracování bodového mračna proloženého plochou - příklad, zdroj: [14]	30
Obrázek 7 Příklad využití 3D skenování při reklamaci, zdroj: [25]	32
Obrázek 8 Příklad využití 3D skenování při reklamaci II, zdroj: [25]	33
Obrázek 9 Virtuální autoservis, zdroj: [28]	35
Obrázek 10 Virtuální oprava automobilu, zdroj: [28]	35
Obrázek 11 Odhad vývoje nákladů na virtuální a rozšířenou realitu v automobilovém průmyslu, zdroj: [37]	43
Obrázek 12 Skener FaroArm, zdroj: [44]	50
Obrázek 13 Realizace ergonomické analýzy v programu Technomatic Jack, zdroj: [45]	52
Obrázek 14 Snímání pohybu prostřednictvím Microsoft Kinect v programu IPi soft, zdroj: [45].	53
Obrázek 15 Data získání z Motion Capture, zdroj: [45].	53
Obrázek 16 Zobrazení virtuálního prostředí v CAVE, zdroj: [47].	54
Obrázek 17 Bodové mračno s umístěným modelem, zdroj: [48]	55
Obrázek 18 Metodický postup tvorby virtuálního prostředí, zdroj: [49]	56
Obrázek 19 Zpracování bodového mračna do vrstev, zdroj: [50].....	56
Obrázek 20 Usazení autosedačky do držáku, zdroj: vlastní skenování	70
Obrázek 21 Skenování I kožený potah, zdroj: vlastní skenování.....	72
Obrázek 22, Skenování I kožený potah II, zdroj: vlastní skenování.....	72
Obrázek 23, Skenování II kožený potah prémiová verze, zdroj: vlastní skenování	73
Obrázek 24, Skenování II kožený potah prémiová verze II, zdroj: vlastní skenování	74
Obrázek 25, Skenování III kožený potah speciální verze kůže, zdroj: vlastní skenování	74
Obrázek 26 Skenování III kožený potah speciální verze kůže II, zdroj: vlastní skenování	75
Obrázek 27 Skenování IV vinylový potah zdroj: vlastní skenování	76
Obrázek 28 Skenování IV II zdroj: vlastní skenování.....	76
Obrázek 29 Skenování V látkový potah, zdroj: vlastní skenování	77
Obrázek 30 Skenování VI látkový potah, zdroj: vlastní skenování	78
Obrázek 31 Skenování VII samotné pěny, zdroj: vlastní skenování	78
Obrázek 32 Skenování VII látkový potah, zdroj: vlastní skenování.....	79
Obrázek 33 Zobrazení verzí potahu, zleva látkový potah, látkový potah s PVC na okrajích, vinylový potah, kožený potah, kožený potah premium, kožený potah special, zdroj: vlastní výzkum	80
Obrázek 34 Zobrazení upnutí sedačky v rámci ověření metodiky, zdroj: vlastní výzkum	91

Seznam tabulek

Tabulka 1 Využití 3D skeneru ATOS Core	39
Tabulka 2 Vyhodnocení otázky 1	58
Tabulka 3 Vyhodnocení otázky 2	59
Tabulka 4 Vyhodnocení otázky 3	60
Tabulka 5 Vyhodnocení otázky 4	61
Tabulka 6 Vyhodnocení otázky 5	62
Tabulka 7 Vyhodnocení otázky 6	63
Tabulka 8 Vyhodnocení otázky 7	64
Tabulka 9 Vyhodnocení otázky 8	65
Tabulka 10 Vyhodnocení otázky 9	65
Tabulka 11 Vyhodnocení otázky 10	66
Tabulka 12 Vyhodnocení skenování	80
Tabulka 13 Porovnání znalostníchází 3D skenování zadních autosedaček	84

Seznam zkratk

CAD	Computer Aided Design
CAVE	Computer Aided Virtual Environment
HMD	Head Mounted Display
LIDAR	Light Detection and Ranging
RULA	Rapid Upper Low Analysis – Metoda pro hodnocení pracovní polohy
TX	Tecnomatix
V5	Označení verze platformy softwaru Delmia

Glosář

Slovo	Význam
Lastenheft	Soubor norem a požadavků na konkrétní projekt
Seatbuck	Držák sloužící k uchycení sedačkového systému
Soft-trim	Díly v interieru automobilu bez tvrdého povrchu

Úvod

Průmysl třetího tisíciletí je charakteristický řadou různých faktorů a jevů, ať už se jedná o globalizaci, rychlé změny v požadavcích a chování zákazníků či proměny dodavatelsko-odběratelských vztahů. To vše vede k požadavku, aby úspěšná organizace, byla schopná neustále udržovat svoji konkurenceschopnost prostřednictvím funkčnosti, životnosti, rychlosti a výkonnosti.

Dále platí, že se neustále zvyšují požadavky na neustálou inovaci a zkracování výrobních cyklů či životních cyklů produktů. Žádný výrobek nemůže dosáhnout konkurenceschopnosti, když nesplní kritéria inovace po celou dobu svého životního cyklu v relevantních a stanovených časových a finančních rámcích. Tento požadavek klade vysoké nároky na digitální podporu produkce a řízení výrobního cyklu výrobku. Takový trend vede k větší míře využití informačních a komunikačních technologií při výrobních či jiných procesech v rámci organizace. Vytváří se digitální prostředí a tzv. digitální továrny v souladu s koncepcí průmyslu 4.0. Toto digitální prostředí aktivně využívá i aplikací virtuální reality a 3D skenování bodových mračen, což jsou klíčová témata této práce, která se zabývá skenováním bodových mračen zadních sedadel osobního automobilu.

Skenování bodových mračen má v dnešním tržním prostředí řadu přínosů a slouží zejména v rámci kontrolní a výzkumné činnosti, ať už se tato činnost vztahuje k vývoji nových produktů, k inovacím či dalšímu zlepšování výrobků nebo technologií, tak ke kontrole vyráběných produktů. Pokrok z nedigitální výroby však s sebou nese i rizika a problémy, a tedy je nutné precizně analyzovat případné dopady na organizaci. Zejména je nutné zajistit, že se novým technologiím přizpůsobí zaměstnanci a jednotlivé podnikové procesy (tj. zejména části výrobního procesu). V konečném důsledku je potom nutné novým technologiím přizpůsobit i pracovní prostředí, porozumět jim a nastavit metodiky pro provádění činností.

Obsah práce je rozdělen do kapitol, které popisují teoretická východiska zkoumané problematiky, dále cíle disertační práce a pracovní hypotézy, použité vědecké metody zkoumání, vlastní výsledky disertační práce včetně původních a uveřejněných výsledků, návrh metodiky, příklad skenování, přínosy disertační práce a doporučení pro další postup v bádání.

Kapitola s teoretickými východisky se zaměřuje na rešerši současného stavu poznání problematiky v českých i zahraničních souvislostech, a to s ohledem na pojem virtuální realita, do které spadá problematika řešená v této práci. Následující kapitola obsahuje rešerši oblastí 3D technologií a 3D modelů, 3D bodových mračen a využití 3D bodových mračen v automobilovém průmyslu. K tomuto je využito různých odborných zdrojů, včetně informací z praxe průmyslových a výrobních podniků, které dané technologie aktivně využívají. V další kapitole se nachází popis cíle disertační práce, teze a pracovní hypotézy, které budou v rámci zpracování práce potvrzené či vyvrácené. Podrobnější popis použitých vědeckých metod v rámci zkoumání je předmětem další kapitoly. Čtvrtá kapitola se zabývá definicí vědeckých metod použitých pro zkoumání výzkumného problému definovaném v předchozí kapitole.

Pátá kapitola se věnuje vlastním výsledkům disertační práce včetně původních a uveřejněných výsledků. Jsou zde uvedené jednotlivé etapy vlastního zkoumání, ale také je zde zhodnocen výzkum. Kapitulu doplňují výstupy z primárního sběru dat, tj. dotazníkového šetření.

V šesté kapitole se nachází návrh metodiky skenování, který je klíčovým výstupem zpracování této práce a úzce souvisí s požadavkem na splnění cílů práce. Sedmá kapitola se zabývá ověřením metodiky na konkrétním příkladu skenování dílů z oblasti automobilového průmyslu.

Osmá kapitola shrnuje přínosy disertační práce, vyhodnocením hypotéz a možnostmi budoucího postupu v rámci dalšího bádání.

Tato struktura práce umožňuje komplexní zpracování řešené problematiky, tedy kombinuje sekundární poznatky, primární poznatky a vlastní poznatky autora. Prostřednictvím takového komplexního pohledu může čtenář snadnějším způsobem identifikovat význam využití virtuální reality a 3D skenování bodových mračen v dnešním automobilovém průmyslu. I toto je jednou z ambicí předložené práce.

1 Teoretická východiska a stav poznání v českých a zahraničních souvislostech

Významným trendem v dnešním průmyslu a podnikatelském prostředí je nastupující čtvrtá průmyslová revoluce, která je často označována jako průmysl 4.0. Tento vzestup je potom založen na principu automatizace všeho, co lze zautomatizovat, dále na principu integrace výrobního, logistického a distribučního systému, což má zajistit vysokou flexibilitu a integritu. Předmětem zájmu se stává obchodní model a spotřebitel (nikoliv výroba či výrobek). V rámci celého hodnotového řetězce se pak komunikačně integruje člověk, stroj a produkt. K výchozím činitelům nastupující průmyslové revoluce patří využití aktuálních a nejmodernějších komunikačních technologií (tj. zejména internetu věcí a služeb), informačních technologií (včetně možností zpracování a uchování velkých datových souborů, včetně cloudu), dále kybernetických a robotických prostředků, materiálů a technologií [1].

Prostřednictvím digitálních technologií a dalších principů koncepce průmyslu 4.0. mohou organizace získávat lepší efektivitu a úsporu nákladů v procesu výběru a zpracování materiálu, či v jiné podnikové činnosti [53].

Cílem této komplexní strategie je využít při výrobě produktů integrovaného, flexibilního a dynamicky organizovaného výrobního procesu, což souvisí s nutností zásadní změny přístupu k výrobě. Zejména digitalizace průmyslu v tomto směru vytváří širokou vlnu inovací a přináší zcela nové možnosti. Organizace mají možnost analýzy a využití velkého množství dat, které potom přinášejí zákazníkům rozhodující přidanou hodnotu. Data se transformují do znalostních a obchodních modelů dle kombinace procesního a produktového know-how, dat, aplikačního software [2].

Technologický pokrok mění i doposud využívané metody pro skenování, kdy se ve stále větší míře přechází z druhého do třetího rozměru. Přístroje pro 3D skenování se zaměřují na zachycení existujících prostorových objektů a jejich převod do digitální podoby. Prostřednictvím tohoto postupu je například možné realizovat reverzní inženýrství, které na základě objektu vytvoří zpětný návrh, jenž potom umožní jeho zpětnou výrobu. Toto je příležitost, ale zároveň ohrožení pro podnikatelské subjekty [3].

Přitom platí, že 3D skenování není novou technologií, ale v dnešní době už standardním způsobem pro získávání dat. Laserové skenovací systémy procházejí bouřlivým vývojem a i české organizace na toto reagují a začínají využívat 3D skenování pro zajištění svého podnikatelského úspěchu [4].

Metoda 3D skenování slouží pro tvorbu 3D modelů existujících předmětů. V praxi patří mezi velmi efektivní metody, a to i z toho důvodu, že lze skeny (výstupy ze skenování) vytvořit prostřednictvím jednoduchých digitálních aparátů, či lze využívat různá profesionální řešení [54].

„Dnes se technologie 3D optického měření a systémy celoplošného měření povrchů staly standardními nástroji prakticky ve všech průmyslových odvětvích po celém světě [5].“

Výběr správné metody měření výrazně ovlivňuje případné nedostatky, které mohou vyplynout z měření, a které mohou výsledky měření zkreslovat [55].

V tomto smyslu se hovoří o vzniku a uplatnění koncepce digitální továrny, která je disciplínou zahrnující celou řadu metod, postupů a nástrojů pro podporu průmyslové výroby s využitím nejmodernější výpočetní techniky, která následně umožňuje, aby digitální továrna byla přesným virtuálním obrazem fyzické výroby [6]. To směřuje k otázce, z čeho se vlastně digitální továrna jako taková skládá?

„Digitální továrna se skládá z provázané sítě digitálních modelů, metod, simulací a 3D vizualizací, jejímž účelem je komplexní plánování, realizace, řízení a průběžné zlepšování všech podstatných procesů a zdrojů závodu. Digitální továrna nabízí všem účastníkům plánování aktuální digitální obraz plánované nebo existující výroby. Toto přináší transparentní a rychlé poznatky o proveditelnosti, průběhu a nákladech nových procesů a výrobků [6].“

Tento stručný úvod představil význam využití digitálních novinek v rámci průmyslu či v rámci řízení organizací. Nyní se lze zaměřit na virtuální realitu, která právě spadá mezi zmíněné digitální novinky, a která navíc dosahuje velkého potenciálu využití v průmyslu.

1.1 Virtuální realita

Virtuální realita je poměrně novodobým jevem, který se navíc neustále rozvíjí a vyvíjí, tedy i mění svoji podobu. Tato kapitola se blíže zaměřuje na popis podstaty virtuální reality, dále na popis zařízení, které virtuální realita využívá. V závěru kapitoly je věnována pozornost konkrétním možnostem využití virtuální reality v průmyslu.

1.1.1 Podstata virtuální reality

Virtuální realita probíhá mimo čas a prostor, a tedy realizuje se v kyberprostoru. Její podstatou je zobrazování prostřednictvím počítačové techniky, a to v rámci téměř dokonalé kopie skutečného světa. Velmi působivě může nahrazovat skutečnou realitu. S využitím speciálních přístrojů jsou lidé v rámci virtuální reality schopni se vidět, hmatat, slyšet, hovořit apod. Jedinec se prostřednictvím virtuální reality dostává do zcela jiných situací a rolí, než v reálném světě [7].

Virtuální realita ve formě uměle stvořené skutečnosti je tvořena lidskou myslí a lidskými smysly. Jde o dva vzájemně svázané faktory, protože bez smyslů, které ji napoví o okolním bytí, může být mysl vědoma jen sebe sama. Mysl může být oklamána či ohnuta pomocí psychologických nebo chemických prostředků. Manipulování s myslí však může být velmi rizikové a při dlouhodobém působení i zdraví nebezpečné, protože mysl je definující součástí každého jedince. Pokud dochází k manipulování smyslu, tak lze dosáhnout žádoucího výsledku i bez nežádoucích dlouhotrvajících efektů. Zde se nabízí využití virtuální reality, která je počítačově zpracovanou simulací v reálném čase s trojrozměrnými modely, kombinovaná se zobrazovací technikou, která uživatele ponoří do virtuální reality a dá mu pocit jiné skutečnosti [8].

V interaktivním stupni virtuální reality je to jedinec, kdo ovlivňuje dění virtuálního světa [7]. Virtuální svět je podřízen člověku. Člověk dává virtuálnímu světu příkazy, které jsou naplněním určitých potřeb, a které potom virtuální realita plní. Dle dokonalosti, složitosti, podobnosti reálnému světu a jejímu chápání lze virtuální realitu rozdělit do několika skupin. Jde o pasivní, aktivní a interaktivní virtuální realitu [7].

Pasivní virtuální realitu jedinec neovlivňuje, ale vystupuje pouze v roli konzumenta, i když může mít pocit, že se v prostředí virtuální reality pohybuje sám [7]. Aktivní virtuální realita konzumentům umožňuje posunout se z pasivní role do role aktivního průzkumníka virtuálního světa [7].

„Virtuální realita bez pochyb přitáhla v posledních letech pozornost mnoha lidí, protože je to nový směr určující uživatelské rozhraní. Poskytuje jednodušší, rychlejší a intuitivnější komunikaci mezi počítačem a člověkem. Uživatel může sledovat a manipulovat s předměty stejně, jako v reálném životě, bez toho aby potřeboval znát (mnohdy matoucí) uživatelské rozhraní dané aplikace [8].“

Po pochopení podstaty virtuální reality lze pozornost zaměřit na popis základního technického zařízení, které je možné využít pro práci s virtuální realitou.

1.1.2 Zařízení virtuální reality

Technologie virtuální reality prochází nepřetržitým vývojem a neustále překonává svoje hranice. Tímto se stává virtuální realita vysoce významnou [9].

Z technologického hlediska je virtuální realita náročnější než například osobní počítače, protože jedna komponenta neumožňuje její zprostředkování pro uživatele. Virtuální realitu je nutné zprostředkovat prostřednictvím několika zařízení zároveň (v rámci současného působení). Nejpodstatnější vstupní faktor představují senzory, které poznají svoji prostorovou polohu, otáčení se v prostoru či jejich naklonění, a dle toho dochází k úpravě zobrazovaného výstupu. Takovéto senzory se umísťují na hlavě či tváři, na noze, na ruku, či hrudi apod. Ke klíčovými vlastnostem senzorů patří zejména rychlost přenosu, tj. kolik výpočtů je realizováno za vteřinu, v podobě latence – času, který uplyne od uživatelské akce do reakce, kterou uživatel pocítí, dále přesnost – míra chyby ve výsledné pozici a orientaci. Podstatné je i rozlišení v podobě detekce drobných pohybů senzorem či rozsah jako pracovní okruh, ve kterém přístroj dokáže snímat. Takové senzory mohou být magnetické, akustické, optické či mechanické [8].

Magnetické senzory se zakládají na principu indukce elektrického proudu mezi vysílači a přijímači. Jde o malé a praktické, nelimitované vizuálním polem, ale zároveň jejich rozlišení není na nejlepší úrovni (zejména v závislosti na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem). Kovové předměty pak mohou ještě narušovat magnetické pole [8].

Akustické senzory jsou založené na vysílání ultrazvukových vln (nad 20 kHz) za účelem určení svojí pozice v prostoru. Senzory jsou malé a lehké, levnější a netrpí na vnější ruchy, ale mohou trpět akustickými ruchy, tj. statickým hlukem a ozvěnou [8].

Optické senzory využívají předem daných bodů v prostoru, který snímají, na způsobu rozlišení vzorů, či na základě laserového odrazu. Jejich výhodou je vysoká přenosová rychlost a jednoduchost zvětšení jejich pracovního prostoru. K nevýhodám se řadí nemožnost zachycení obrazu ze všech stran, světla a infračerveného záření, které může ovlivňovat jejich výkon. Dále je nevýhodou jejich konstrukční komplikovanost [8].

Mechanické senzory jsou založené na principu přímého spojení jednotlivých bodů pevnými tyčemi a klouby, které jsou rozmístěné na končetiny a kopírují lidskou kostru. Výsledný vstup je dán v závislosti k jednomu bodu. Mechanické senzory jsou velmi přesné a imunní vůči interferenci, dále mají vysokou přenosovou rychlost a mohou podporovat silovou

odezvu. Jejich nevýhodou je hroší manipulace kvůli přímému kontaktu a malý pracovní prostor [8].

K dalším zařízením pro využití virtuální reality patří 3D myši a (data)rukavice, které uživatelům zprostředkovávají možnost ovládní virtuální reality, a to intuitivně a jednoduše. 3D myš má podobu joysticku, je vybavena svými senzory, které monitorují jejich polohu, dále je vybavena tlačítka, kterými se provádí daná akce. Data rukavice detekují nejen pohyb něčeho, co je drženo v ruce, ale přímo detekují i pohyby prstů a kloubů. Vyrábí se buď jako optická vlákna, fólie, či odporové. Rukavice jsou vhodné pro náročnější úkony, a to typu operací či manipulací s malými předměty. V tomto směru lze hovořit i o (data)obleku, který pokryje celé tělo a zajistí ovládní celého virtuálního těla [8].

K dalším technologiím v tomto smyslu patří 3D brýle, které jsou zároveň nejprimitivnějším výstupem, jenž dokáže oklamat lidský zrak (tj. okolo 70 %, co se týče smyslového rozvržení) a mozek. Brýle jsou založené na principu polarizace, tedy jedno sklíčko je modré, druhé sklíčko je červené barvy. Navození virtuální reality lze znásobit využitím surround displejů, tedy monitorů, které obklopí zorné pole uživatele (tohoto lze jednoduše dosáhnout i integrací více monitorů vedle sebe). Využití brýlí lze nahradit tzv. head-mounted displejem, což je helma pro zobrazení virtuální reality. K základním požadavkům na tuto technologii potom patří vysoké rozlišení, rychlá přenosová rychlost, rychlá odezva, zorné pole, vysoký jas a kontrast. Uživatelům ještě nabízí výhodu v podobě malé hmotnosti a objemu [8].

Výhodou head mounted displeje je jednoduchá manipulovatelnost a nižší nákladovost na pořízení oproti některým jiným technologiím virtuální reality [10].

K dalším výstupním zařízením se řadí taková, na která lze reagovat fyzickým pocitem. Tato se rozděluje na zařízení se silovou odezvou (tj. force-feedback), na zařízení s hmatovou odezvou (tactile-feedback). Silová odezva se reflektuje na svalech, tj. pokud položíme ruku nebo do něčeho strčíme ruku ve virtuální realitě, tak to do jisté míry lze poznat i realitě. Hmatová odezva je reakcí pokožky na situaci ve virtuální realitě, tj. reakce na dotyk, teplotu, hrubost, či tlak na povrch kůže [8].

Dále se ve virtuální realitě pracuje se zvukem, který patří k nejlépe zpracovatelným záležitostem a vytváří 20 % smyslového vnímání. Virtuální realita využívá surround audio systémy, které vytvářejí představu bytí v ději virtuální reality. [8]

Popis zařízení virtuální reality lze tímto zakončit. Nyní se pozornost může zaměřit na konkrétní příklady, kdy byla virtuální realita využita v průmyslu.

1.2 Virtuální realita v průmyslu

Každý uživatel virtuální reality a 3D laserového skenování (z řad podnikatelských organizací) musí zvažovat, do jaké míry konkrétní systém zapadne do jeho celkového inženýrského a konstrukčního systému [56].

V podnikatelské praxi organizace využívají zejména tzv. laboratoře virtuální reality, tedy computer aided virtual environment (CAVE). Konkrétní podoba těchto laboratoří se pak liší případ od případu (z hlediska konstrukce). Většinou však jde o stereoskopickou projekci (tzv. opravdickou či true 3D) pozorovanou prostřednictvím 3D brýlí. V případě projekce na jediné plátno se jedná o tzv. powerwall. V řadě případů se však využívá i projekce ze stran, na podlahu či strop. Každá z těchto dílčích projekcí je řízena vlastním procesorem. Všechny řídicí počítače

se potom integrují do multiclusteru a jsou řízené buď síťově, nebo v případě extrémních projekcí, například v rozlišení K, jsou na každou projekční stěnu přímo propojeny grafické karty. Doplnkově se může využít i soustava zrcadel nebo speciálních čoček (namísto pláten) [10].

Kromě vizualizačního hlediska je nutné splnit i aspekt interakční, k čemuž slouží senzory, které umožňují volný pohyb ve virtuálním prostoru [10].

V praxi výrobních podniků se virtuální realita využívá zejména ve větších organizacích, které působí v automobilovém, lodním či leteckém průmyslu. Na trhu navíc dochází ke snižování cen hardwarových prostředků virtuální reality a k vývoji nových zařízení, což zpřístupňuje daná řešení i dalším organizacím a vede k rozvoji využití virtuální reality v průmyslových podnicích. Konkrétně lze virtuální realitu ve výrobních podnicích využít pro [10]:

- Validace konstrukce – virtuální realita umožňuje rychlou validaci konstrukce prostřednictvím vizualizace v CAVE nebo HMD, kdy jsou k dispozici aktuální data, takže není nutné čekat na výrobu nákladného prototypu.
- Kontrola designu – efektivně a rychle lze prostřednictvím virtuální reality změnit barvy, textury, osvětlení scén apod.
- Simulace a kontrola obtížně opakovatelných situací – prostřednictvím virtuální reality lze několikrát zopakovat stejnou scénu (situaci jako například jízdu vozu za určitých podmínek) bez bezpečnostních rizik (například v rámci řízení pod vlivem alkoholu či omamných látek).
- Ověření ergonomičnosti konstrukce – prostřednictvím virtuální reality lze virtuální prototypy kombinovat se skutečnými modely, které je možné přestavit tak, aby se uživatel „dotýkal“ skutečného i virtuálního prostoru současně. Tímto lze ověřovat intuitivnost ovládání produktu, realizovat různé ergonomické analýzy v rámci využití produktu apod. Figurant může mít na různých částech těla senzory, které jeho pohyb snímají v rámci reálného času (tj. motion capture). Pohyby lze pak analyzovat.
- Ověřování ergonomičnosti pracoviště – virtuální realitou lze ověřovat ergonomické podmínky v různých 3D modelech komponent pracoviště, tedy například v CAVE (popř. HMD), aniž by muselo pracoviště reálně existovat.
- Virtuální trénink – v CAVE (či HMD) je možné trénovat nové zaměstnance bez rizika ztráty drahého vybavení či materiálu.

Uvedené varianty a možnosti lze samozřejmě libovolně rozšiřovat o možnosti další aplikace, ať už se jedná o vizualizaci analýzy smontovatelnosti dílů, vizualizaci odrazu a mrtvých úhlů nebo další funkce a modely. Řada společností s využitím virtuální reality eliminovala nutnost stavby fyzických prototypů a zefektivnila ověřování konstrukce nových produktů či rozložení pracovišť. Přidanou hodnotou využití virtuální reality je i marketing, kdy lze v marketingových aktivitách zmiňovat, že organizace využívá virtuální realitu za účelem lepší práce [10].

Každý větší výrobce konstrukčního software nabízí pro prohlížení a validaci konstrukčních 3D modelů individuální, a také poměrně nákladné řešení. To je dáno i tím, že tvorba individuálního virtuálního obsahu vhodného pro využití popisovaných speciálních

hardwarových prostředků často obsahuje složitou tvorbu softwaru na úrovni softwarového projektu, který vyžaduje intenzivní kooperaci programátorů a grafiků [10].

Využití virtuální reality v podnikatelských organizacích je spojeno i s problémy, které například souvisí s rozšířenou obavou ze změn, neochotou zaměstnanců k učení se novým věcem, či nutností toho, aby organizace disponovala odborným personálem, který bude schopen efektivně ovládat zařízení virtuální reality [10].

1.3 Vztah virtuální reality a ergonomie

Ergonomie je v posledních letech stále frekventovanějším pojmem, který zasahuje do široké řady různých odvětví lidské činnosti. Prakticky každodenně se lze setkat s různými výrobky, jejichž design je produktem náročného navrhování, modelování a testování, a to právě za účelem jejich dodržení ergonomických standardů. Ergonomie také ovlivňuje moderní způsoby příjmu a sdělování informací, včetně zpracování jejich vizuální podoby a členění informací v rámci nejrůznějších dokumentů, knih, jízdních řádů, telefonních seznamů či zobrazovacích jednotek. Zejména v pracovních-právní praxi má ergonomie klíčový význam, protože se používá pro zajištění bezpečného a zdravotně nezávadného stavu pracovišť, vlídného a přívětivého prostředí či zajištění pohodlí pracovníků [11].

Ergonomie má svoje klíčové zastoupení na všech pracovištích, kde v určitém prostředí a za daných podmínek realizuje svěřené úkoly minimálně jeden člověk. Aplikovaná ergonomie pak slouží k posouzení těchto podmínek v kontextu na požadavky stanovené charakterem daného úkolu s cílem optimalizace těchto podmínek a organizace práce tak, aby výkonové (tj. fyzické, psychické a sensorické) kapacity zaměstnance byly optimálně využity a jeho zdraví nebylo ohrožováno. Pokud zároveň dochází i k respektování individuálních potřeb jedince, tak má tento při práci správný komfort, při kterém pracuje nejefektivněji, nejspolehlivěji a nejbezpečněji. Ergonomie je v podstatě o optimálním nastavení pracoviště, prostředí a dalších souvisejících organizačních faktorů [11].

V rámci ergonomické analýzy pracoviště lze využít právě virtuální realitu a bodová mračna, a to za účelem zlepšení spokojenosti pracovníků, výkonnosti pracovníků, či za účelem prevence zdravotních rizik [12].

Následující obrázek č. 1 zobrazuje příklad využití virtuální reality při ergonomické analýze pracovního postupu při montáži zámku v automobilce Škoda Auto.



Obrázek 1 Ergonomické analýzy pracovního postupu při montáži zámku, zdroj: [6]

Po přehledu základních pojmů v oblasti virtuální reality lze pozornost soustředit na 3D technologie, které s tématem virtuální reality velmi úzce souvisí.

2 3D technologie

V rámci této kapitoly je pozornost soustředěna zejména na 3D laserové skenování a 3D laserové skenery, což je ovlivněno tím, že je tato technologie využita v rámci vlastního výzkumu v této práci.

2.1 3D laserové skenery

3D laserové skenery jsou vyspělými technologickými nástroji, které zprostředkovávají širokou řadu různých činností [57]. Používání 3D laserových skenovacích systémů roste rychlým tempem, a to napříč různými průmyslovými či vědními obory. Důvodem je vysoká efektivita, které lze dosáhnout při správném užití takové technologie [58].

K dalším výhodám využití laseru patří skutečnost, že se snižuje potenciální nebezpečí poškození produktu, nejsou potřeba žádné spotřební materiály, není problém s likvidací vedlejších produktů (které mohou vznikat při využití jiných metod). Moderní laserové systémy jsou jednoduše ovladatelné a udržovatelné [59]. Laserové 3D jsou zařízení snadno připojitelná k počítači, která zaznamenávají povrch předlohy a mnohdy i jeho strukturu (texturu), dále umožňují následné upravování, dotváření, rozpohybování či zpětné vytištění [13].

„3D laserové skenování je technologie, při níž je fyzický tvar objektu převeden na digitální pomocí triangulace [4].“

Laserové skenery pracují např. na principu záření laseru. Prostřednictvím skenovací hlavy (zde je umístěn laser) se najíždí nad měřenou součást. Ze skenovací hlavy září laserový paprsek na měřený prvek. Odrážené světlo zachycuje objektiv, a také velmi citlivá kamera. Toto potom umožňuje vyhodnotit polohu nasnímaných bodů od skeneru. K tomuto se využívá principu triangulace bodů, kdy skener může mít jednu nebo tři skenovací roviny. Laserový skener je zobrazen na obrázku číslo dva [14].

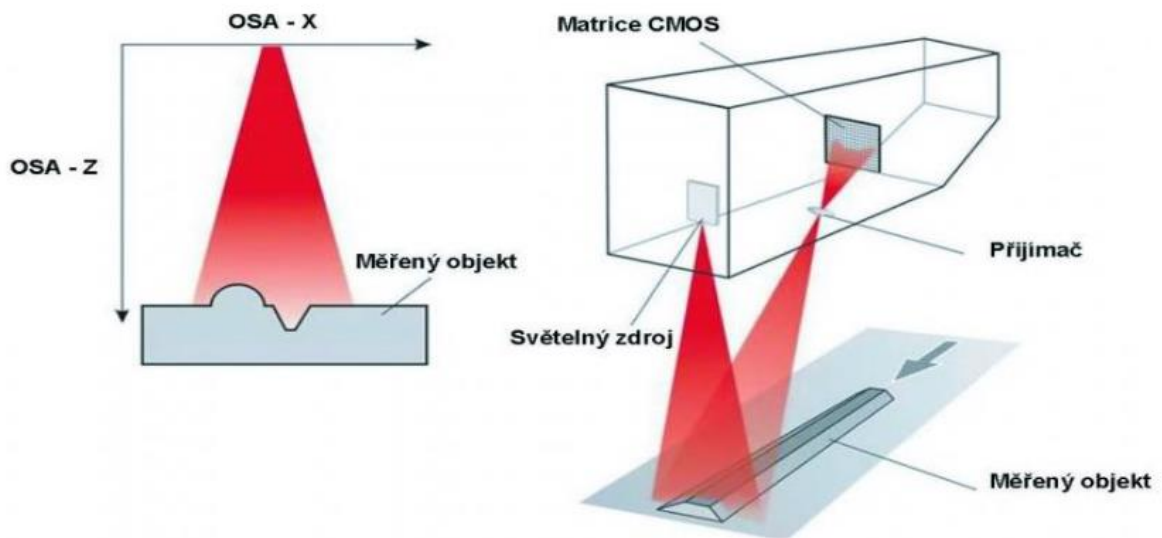
Laserový skener lze využívat například i ve stavebnictví pro přesné zaměřování staveb a objektů, či v geodézii pro přesné zaměření ploch (větších, než umožňuje skenování ze země) [60]. Ve výrobě lze 3D laserové skenování využít v rámci celé řady procesů a činností, ať už se jedná o modelování, inspekci a kontrolu, či reverzní inženýrství. Lze předpokládat, že se do budoucna bude rozsah těchto činností neustále navyšovat [61].

Laserovou triangulací se rozumí stereoskopická technika, ve které je vzdálenost objektu kalkulována prostřednictvím rozkmitávaného laserového paprsku a kamer. Laserový paprsek se promítá na povrch snímaného tělesa, kde jej snímají kamery. Kamery jsou umístěné ve známé poloze vůči skeneru a lze pomocí trigonometrie vypočítat prostorové souřadnice bodů (X,Y,Z) povrchu. Kamery pak zaznamenávají průměty laseru na povrch a digitalizují všechny body z laserové čáry [4].

I cenově dostupné 3D laserové skenery poskytují dostatečně kvalitní výsledky, čímž zprostředkovávají možnosti této technologie širší veřejnosti (resp. podnikatelské veřejnosti) [62].

Na obrázku č. 2 je zobrazen princip laserových skenerů, který je u všech typů skenerů v podstatě stejný, tedy jedná se o vyhodnocení odrazu laserového paprsku od měřeného povrchu dílu. V nejjednodušším pojetí se skládá laserový skener z vysílače laserového paprsku a ze snímací kamery, která snímá jeho odraz od povrchu dílu. Pro možnost hodnocení celého

objektu se laserové zařízení, nebo objekt v prostoru natáčí. Poloha skeneru musí být v každém okamžiku skenování známa, aby bylo možné kalkulovat absolutní polohy skenovacích bodů. V případě skenerů, které jsou umístěné na souřadnicových měřících přístrojích, jsou k dispozici informace o poloze os stroje, skenery na měřících ramenech mají informace o poloze jejich kloubů, ze kterých se dá absolutní poloha skeneru vypočítat [15].



Obrázek 2 Laserový skener, zdroj: [14]

3D laserové skenování se zakládá na transformaci třídímní informace o objektu do počítače prostřednictvím různých technologií snímání. Jedinou nezbytnou součástí 3D skenerů je velké (tisícové až milionové) množství měření vzdálenosti skenovaného objektu [13].

3D laserové skenování se řadí k bezkontaktním měřícím metodám, takže zde není kontakt mezi měřenou součástí a skenovací hlavou. Laserové skenery jsou vhodné pro skenování rozměrných součástí, jelikož snímají několik tisíc bodů za sekundu. Tímto je vytvořen dokonalý tvar součástky. Bezdotykový princip navíc umožňuje měření téměř jakéhokoliv materiálu [14].

V tomto případě se hovoří o tzv. LIDAR (Light Detection and Ranging) metodě, což je metoda dálkového měření vzdálenosti dle výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku od odráženého objektu, který je předmětem snímání. V současnosti se tato technologie využívá v celé řadě různých průmyslových odvětví a bodová mračna získaná 3D laserovým skenováním přispívají k desítkám různých inovací [16].

LiDAR je široce využitelnou technologií, která podává informace o vzdálenostech snímaných objektů, jejich začlenění do skupin, či poskytuje informace o poloze těchto objektů [63]. Využití LiDAR systémů je stále rozšířenější i v automobilovém průmyslu, kde zefektivňuje výrobní či vývojové procesy nových produktů [64].

K nesporné výhodě 3D laserového skenování patří i vznik virtuálního modelu, který je potom možné distribuovat do celého světa, aniž by bylo nutné převážet originál [13].

K nevýhodám 3D laserového skenování se řadí například menší přesnost oproti dotykovému měření, zdlouhavé zpracování bodového mračka, nenasnímaní lesklých ploch, či problémy s nasnímáním hran [14].

Vzhledem k tomu, že je 3D laserové skenování bezkontaktní, tak je vhodné pro různé materiály, ať jde o kůži, pěnu, plasty atd. Prostřednictvím laseru jsou uživatelům přístupná různá místa na skenovaném objektu [65].

V rámci výběru konkrétního 3D laserového skeneru je vhodné pokládat a zodpovídat otázky typu [15]:

- K čemu mají naskenovaná data sloužit? Půjde o data kontroly 3D modelu, reverzní inženýrství, 3D tisk, podklady pro další modelování designu apod.?
- Jak velké objekty budou skenované? Laserový skener nesmí mít rozměrová omezení, aby se nezmenšila přesnost měření.
- Bude docházet ke skenování s texturou nebo bez textury?
- Kde bude probíhat skenování? V dílně, v laboratoři, v exteriéru, v místnostech?
- Kolik času lze věnovat na skenování jednoho dílu?
- V čem budou získaná data zpracovávána (v jakém software)? Některé CAD systémy například neumí pracovat s některými typy skenerů, takže je nutné pořídit specializované softwarové řešení.

Na současných trzích jsou k dispozici různé softwarové nástroje pro zpracování bodových mračen a pro práci s těmito mračny. Jednotlivé produkty (nástroje) se odlišují svými funkcemi a možnostmi. Přitom, neustále dochází k jejich vývoji a zdokonalování [66].

Z přehledu těchto informací zároveň vyplývá, že existují různé typy 3D laserových skenerů. Nyní lze jednotlivé typy podrobnějším způsobem popsat.

2.2 Typy 3D laserových skenerů

Dále se skenery dělí na ruční, s kterými lze postupně dokola nasnímat objekt a na systémy pro 3D skenování, které jsou automatizovány [13].

Různé druhy skenerů se liší v technologii osvitů objektu. 3D laserové skenery lze také dělit dle jejich využitelnosti. Některé skenery jsou vhodnější pro skenování na krátkou vzdálenost a využívají se spíše pro menší modely. Jiné skenery se více hodí na skenování velkých objektů.

Ruční laserové 3D skenery využívají buď metodu trackování, nebo metodu referenčních složek. Při metodě trackování se využívá další optické zařízení, které musí být během skenování v neměnné poloze. Na laserovém skeneru se nachází reflexní body (tj. zrcátka), která jsou v rámci reálného času optickým zařízením sledována a toto zařízení vyhodnocuje vzdálenost a natočení soustavy reflexních bodů v prostoru. Toto vyhodnocení umožňuje identifikovat polohu reflexních bodů k laserovému paprsku a snímací kameře, a tedy je možné spočítat absolutní polohu bodu na povrchu dílu. Výhodou trackování je nenáročnost na přípravné práce. Přesnost měření zde závisí na trackovacím zařízení a jeho vzdálenosti od skeneru. Metoda absolutního polohování založená na referenčních značkách je levnější a nevyžaduje trackovací zařízení. Referenční značky se před skenováním umístí na měřený díl tak, aby snímací kamera viděla v každém záběru minimálně tři referenční značky [15].

- Laserové triangulační 3D skenery

Laserový triangulační 3D skener je postaven na bázi využití laserového paprsku, který se vysílá na objekt. Po odrazu jej zaznamená čidlo skeneru. Úhel a vzdálenost mezi vysílačem a čidlem je známy, takže pomocí triangulace systém vypočte vzdálenost skeneru od objektu. Takováto technologie se využívá nejčastěji pro ruční skenery do ohniskové vzdálenosti menší než metr, laserový systém neumožňuje zaznamenat texturu objektu [13].

- Strukturované světlo

Jedná se o digitální fotoaparát s vysokým rozlišením, který je synchronizován s projektořem, který vysílá strukturované světlo, snímá zakřivení světla dopadajícího na snímáný objekt. Strukturované světlo je obrazem přesně vypočítaných černobílých či modrobílých pruhů. Prostřednictvím vyhodnocení zakřivení jednotlivých hran pruhů se prostřednictvím triangulace vypočítává vzdálenost skeneru od objektu. S využitím snímání objektu fotoaparátem umožňuje tato technologie zaznamenat i texturu objektu [13].

- Stereoskopické skenery

Jedná se o zařízení, které využívá dvě nebo více kamer, které se zaměřují a zaostřují na jedno místo. Kamery ukládají obraz, který je potom systémem transformován do výsledného modelu. Tato metoda se využívá u ručních skenerů a umožňuje zaznamenávat i texturu povrchu. Nevýhodou je ovšem malá přesnost těchto skenerů a nutnost zajištění velmi dobrého osvětlení skenovaného objektu [13].

- Bezkontaktní 3D transmisivní skenery

Prostřednictvím bezkontaktních 3D transmisivních skenerů lze skenovat nejen povrch dílů, ale také jejich vnitřní technologii, protože využívají x-paprsky rentgenového záření. Princip měření je založen na tom, že se měřený objekt umístí do uzavřené komory, kde se za postupného otáčení zrentgenuje ze všech přístupných stran. Software potom zpracuje získané snímky a dle kontrastu bodů (tj. rozdílné absorpce rentgenového záření různými částmi materiálu hodnocené součástky) převádějí detektory fotony rentgenového záření na elektrický signál a známé polohy natočení v osách tak, aby došlo k získání projekce ze všech úhlů, dále se počítají prostorové body a ze série pořízených snímků (řezů) tomografickou rekonstrukcí se skládá trojrozměrný model objektu, trojrozměrný voxelový model (voxel je objemová obdoba pixelu), 3D model (včetně jeho vnitřní a vnější geometrie, struktury materiálu a opticky nedostupných prvků). K vnitřní analýze struktury se využívá mikro- a nanotomografie, při které lze dosáhnout voxelového rozlišení až 0,002 mm (resp. 0,001 mm), měření probíhá v klimatizovaném prostředí. Výstupem může být STL soubor, který je určen pro další zpracování. Díl před skenováním nevyžaduje žádnou přípravu. Problematické je, když se skládá z více materiálů [15].

Prostřednictvím 3D laserového skenování lze tedy vytvářet různé 3D modely, čemuž se věnuje následující kapitola.

2.3 3D modely

Zachycení 3D obrazu a 3D modelů prošlo v posledních letech svým vývojem. Původně se využívalo přístrojů, jejichž design vycházel ze skenování klasickými scannery. Postupem doby se jejich velikost stále zmenšovala, ale zároveň docházelo ke změně kvality výstupů [3].

Rozvoj technologie laserových skenerů u odborné veřejnosti vzbuzoval naděje a nekritické nadšení, a to i přesto, že zpočátku tato technologie poskytovala (v komparaci s dneškem) data poměrně nepřesná, s malým rozlišením, velkým obsahem šumových informací a celkově malou vypovídací schopností. Postupem času se ovšem dařilo odstraňovat slabiny těchto systémů a zlepšovat jejich konkurenceschopnost [17].

Využití 3D modelů není specifické pouze pro strojní nebo stavební průmysl, ale také například pro zábavní průmysl nebo jiná odvětví. 3D skenery lze nalézt i v tzv. chytrých mobilních telefonech. Další využití nacházejí 3D skenery v oblasti výstupní kontroly, při výrobě starších komponent, které již nejsou na trhu, při tvorbě rozsáhlých návrhů, kde musí nově vytvořené zařízení přesně navazovat na objekt, který je prostorový, a jehož rozměry lze velmi složitě měřit. Dále nachází 3D skenery uplatnění ve zdravotnictví, v geografii, při digitalizaci podoby památek za účelem jejich budoucí reprodukce [3].

2.3.1 Oblasti využití 3D modelů a 3D laserového skenování

Trojrozměrné technologie (3D) jsou základním nástrojem pro pokročilou vizualizaci v prostředí virtuální reality a rozšířené reality [18].

Laserové 3D skenování se využívá i ve školství, resp. ve vzdělávání, a to zejména na odborných školách, které se zaměřují na modelování jako na předmět výuky. Jde o školy uměleckoprůmyslové, průmyslové, inženýrské, grafické, lékařské či oděvní. V každém z těchto oborů je nutná znalost práce s modelem a editace předlohy. Při využití funkčního propojení s 3D tiskem si může každý student vytisknout vlastní model v rámci zásad tvůrčí konstruktivistické výuky [13].

Technologii 3D tisku je přisuzována velká budoucnost ve všech směrech, ale stále platí, že některé technologie jsou mimořádně nákladné (takže je jejich praktická využitelnost limitována). V dalších případech je výsledná kvalita na velmi nízké úrovni, takže je limitováno jejich praktické využití [67]. 3D tisk může vytvářet různé objekty, které může generovat každá organizace, aby svoje produkty lépe přizpůsobila požadavkům spotřebitelů a splnila kvalitativní očekávání, vytvořila přidanou hodnotu [68]. Výjimkou není ani předpoklad, že v budoucnosti mohou po silnicích jezdit automobily, které byly celé vyrobené prostřednictvím 3D tiskárny. 3D technologie tisku je tedy významným trendem ovlivňujícím automobilový průmysl [69].

Další využití nalézá 3D skenování například v geodetických pracích, kde dokonce v důsledku nástupu této technologie, došlo k eliminaci využívání klasických metod. Prostřednictvím 3D skenování lze snadnějším způsobem mapovat objekty, které nelze klasickými geodetickými metodami prozkoumat. To z důvodu jejich prostorové složitosti, nepravidelnosti tvaru, nepřístupnosti či v důsledku požadavku na vysokou přesnost a komplexnost. Tato výhoda například umožňuje využití pozemního laserového skenování například při záchranných archeologických výzkumech, při dokumentaci zřícenin hradů před jejich sanací, dokumentaci složitých potrubních systémů, průmyslových zařízení, nepřístupných či složitých stavebních konstrukcí, typu fasád, krovů, příhradových nosníků, spodních částí mostovek, stavební dokumentaci historických památek apod. [17]

Výsledky z 3D laserového skenování se zpravidla transformují do tzv. 3D bodových mračen, které blíže představuje následující podkapitola.

2.3.2 3D bodová mračna

Kromě procesu 3D laserového skenování (tj. jeho reálného provedení) je nejdůležitější součástí celého procesu zpracování získaných dat. Data, která se podaří nasbírat kamerou, se převádí do softwaru, kde se s nimi dále pracuje. Tato data jsou právě bodová mračna, která charakterizují plochu či část plochy, která byla skenována. S mračnem bodů lze dále pracovat, a to zejména ve vztahu k tomu, co má být výstupem této činnosti [14].

Zpracování 3D dat získaných prostřednictvím 3D laserových skenerů je významné pro celou řadu oborů a činností. Vysoce důležité jsou v tomto směru tzv. bodová mračna, která poskytují užitečné výstupy ze 3D skenování [19].

Bodová mračna se stávají stále populárnějším nástrojem homogenní, expresivní a kompaktní prezentace v rámci povrchově orientované geometrie se schopností vizualizace geometrických detailů. Bodová mračna jsou zejména přístupná díky tomu, že využívají jednoduchých geometrických operací a standardní 3D akviziční formát, který je zprostředkován využitím přístrojů pro snímání rozsahu (typu LiDAR, Kinect či iPhone) [18].

Bodová mračna se snímají prostřednictvím 3D skenerů, což jsou měřicí zařízení určená pro zachycení tvarů a textur fyzických objektů s následným převedením do digitální podoby. Principem skenování je v tomto případě snímání velkého počtu jednotlivých bodů na povrchu měřeného objektu, tzv. snímání mračna bodů. Pod tímto pojmem je zahrnut oblak bodů ve 3D prostor, který reprezentují souřadnice x, y, z. Vyhodnocovací program skeneru potom použije naměřené body k zrekonstruování (extrapolace z jednotlivých bodů), při použití vhodné polygonální sítě, prostorového počítačového virtuálního modelu [15].

„3D skenery se používají při vývoji, kontrole kvality i výroby a umožňují zkrátit čas a snížit náklady, což může být rozhodujícím faktorem, který určuje konkurenceschopnost podniku [5].“

Prostřednictvím 3D laserového skenování lze během velmi krátké doby získat velké množství dat. Tato obsahují informace o poloze bodů (tj. jasnosti bodů), popřípadě i o barvě bodů. Objem těchto dat bývá zpravidla v řádech milionů bodů v rámci tzv. neselektivního měření, tedy body se naskenují bez ohledu na jejich důležitost, což ovšem není překážkou, protože se naskenují všechny body, a tedy nehrozí případné opomenutí. Výsledkem 3D laserového skenování je tzv. mračno bodů (též bodové mračno). S mračnem bodů (jako výsledkem 3D laserového skenování) lze dále pracovat s využitím specializovaného software. Tento umožňuje například odstranit body, které do výsledného souboru bodů nepatří. Další softwarové nástroje umožňují vektorizaci bodových mračen, tzn., že na základě bodového mračna vytvoří výkresový 3D soubor, který obsahuje základní geometrické prvky jako například úsečky, kružnic, ale také jednoduchá geometrická tělesa typu kvádra, válce apod. S těmito tělesy lze následně jednoduše pracovat v grafických programech. Vektorizace se realizuje v poloautomatizovaném režimu, kdy je nutné realizovat selekci dat za pomoci obsluhy. Výhodou vektorového modelu je potom jeho datová velikost, která je zpravidla o několik řádů menší než v případě bodového mračna. Vektorizací však dochází ke generalizaci prostorových dat, a tedy k jisté ztrátě informace [20].

„Dnes již velmi vysoká rychlost sběru dat (500 000 bodů/s), velmi vysoká přesnost (pro délky do 25 m je chyba měřené délky bez odrazového dálkoměru 0,7 mm), malé rozměry a hmotnost laserových skenerů, v porovnání s modely předchozích generací, umožňují velmi efektivně provádět 3D digitalizaci reálného světa a jeho následného vyhodnocování ve virtuálním prostředí zpracovatelských programů [17].“

Výsledek 3D skenování v podobě bodového mračka je možné dodat v krátkém čase po zahájení měření, a to při garanci vysoké přesnosti při stanovování prostorových poměrů, kdy je zaručena kompletnost zaměření. Kompletnost zaměření zároveň zaručuje, že je možné zadání v zaměřeném prostoru i nadále rozšiřovat a získávat tak z dat další a další informace, které budou platné k datu pořízení bodového mračka [17].

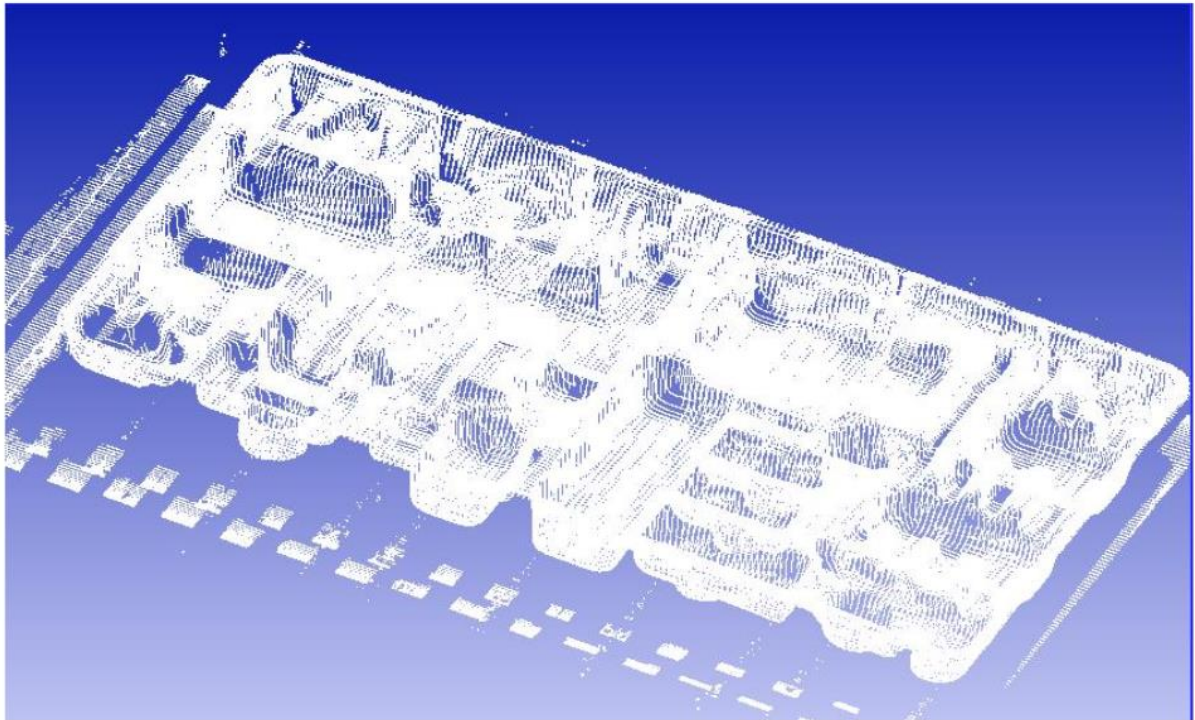
Mračno bodů je získáno jako výstup z 3D laserového skenování a jeho využití je široké. Tohoto postupu se využívá v celé řadě odvětví a pro různé účely. Bodová mračka poskytují řadu výhod a přínosů. Tento efekt se pak ještě násobí, když se využívají v integraci se speciálními softwarovými nástroji či dalšími technologiemi, které umožňují jejich filtraci, klasifikaci apod. [21]

Například v oblasti zlepšování pracovních podmínek a zajištění ergonomie na pracovišti umožňují bodová mračka vizualizovat různé odchylky od žádoucího stavu, a to prostřednictvím technologie Motion Capture, tedy snímáním pohybu [22].

Zpracování mračka bodů lze rozdělit do kroků v podobě [14]:

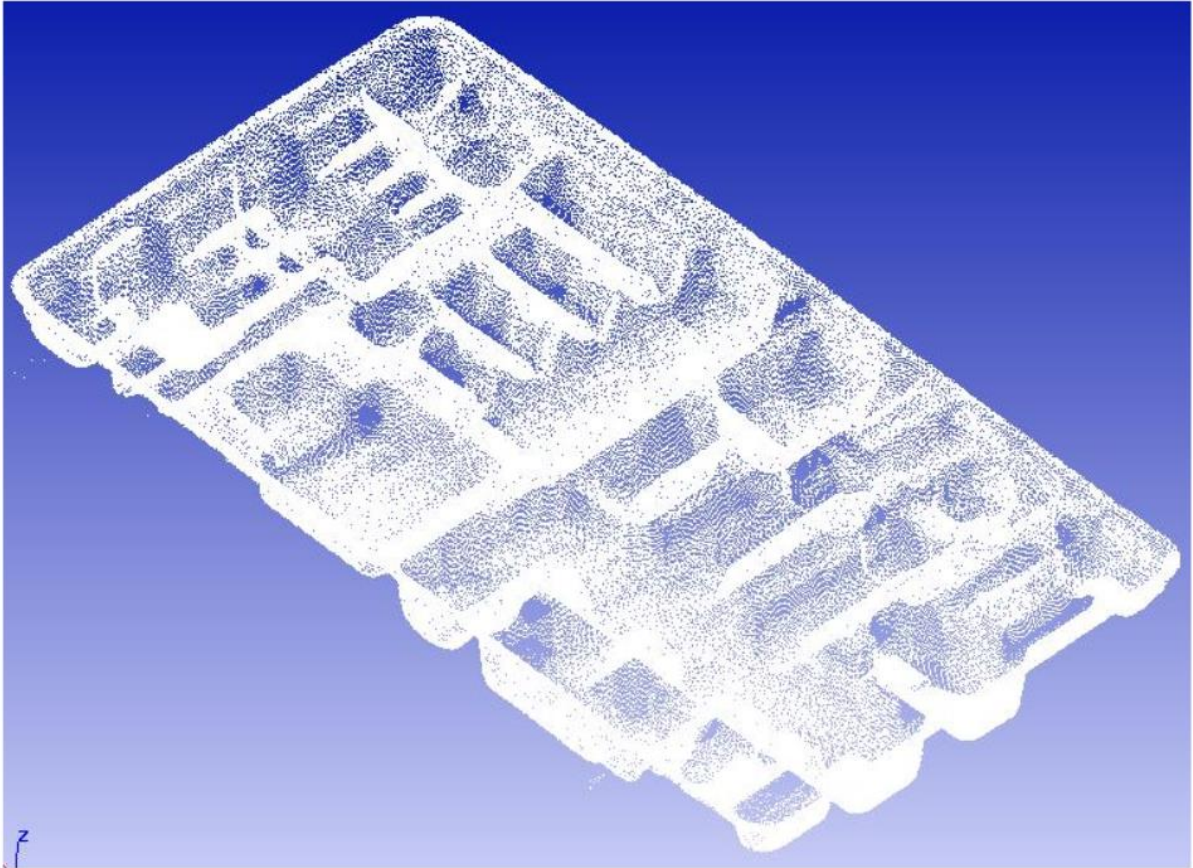
- Komparace mračka bodů s CAD modelem.
- Odečet, filtrace, detekce a spojení mračka bodů do jednoho.
- Nahrazení křivek matematicky definovanými polohami (NURBS).

Postup zpracování naskenovaných dat lze například popsat na následujícím příkladu – skenování součástky na následujícím obrázku číslo tři. Tato součástka byla naskenována s využitím skenovací hlavy LC 60DX 3D laserového skeneru. Jako softwarová podpora pro zpracování bodového mračka byl využit program Focus Inspection 9.2. [14]



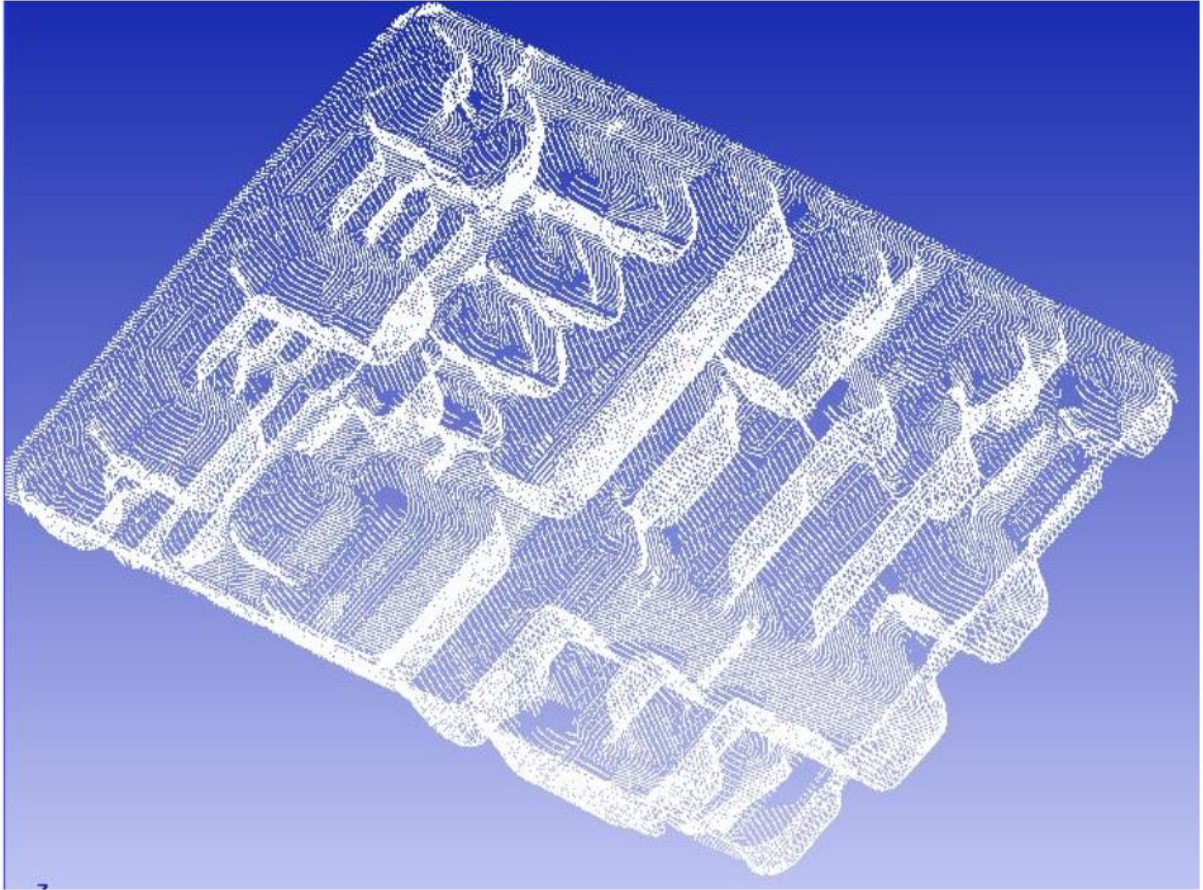
Obrázek 3 Skenování součástky – příklad, zdroj: [14]

U složitějších součástek platí, že je nelze naskenovat prostřednictvím jednoho skenu, ale je nutné využít více skenů. Tímto ovšem dochází k překrývání. Situaci pak ještě více komplikuje fakt, že se většinou naskenují i okolní součástky (tj. například základová deska, přípravky či různé držáky). To znamená, že je nutné výsledky skenu upravit. Touto úpravou se rozumí odstranění nežádoucího bodového mračka. Takové nežádoucí bodové mračko lze definovat jako nesouvisející s měřenou součástkou. Po odstranění je získán přibližný tvar součástky v podobě několika se překrývajících skenů – viz další obrázek číslo čtyři. [14]



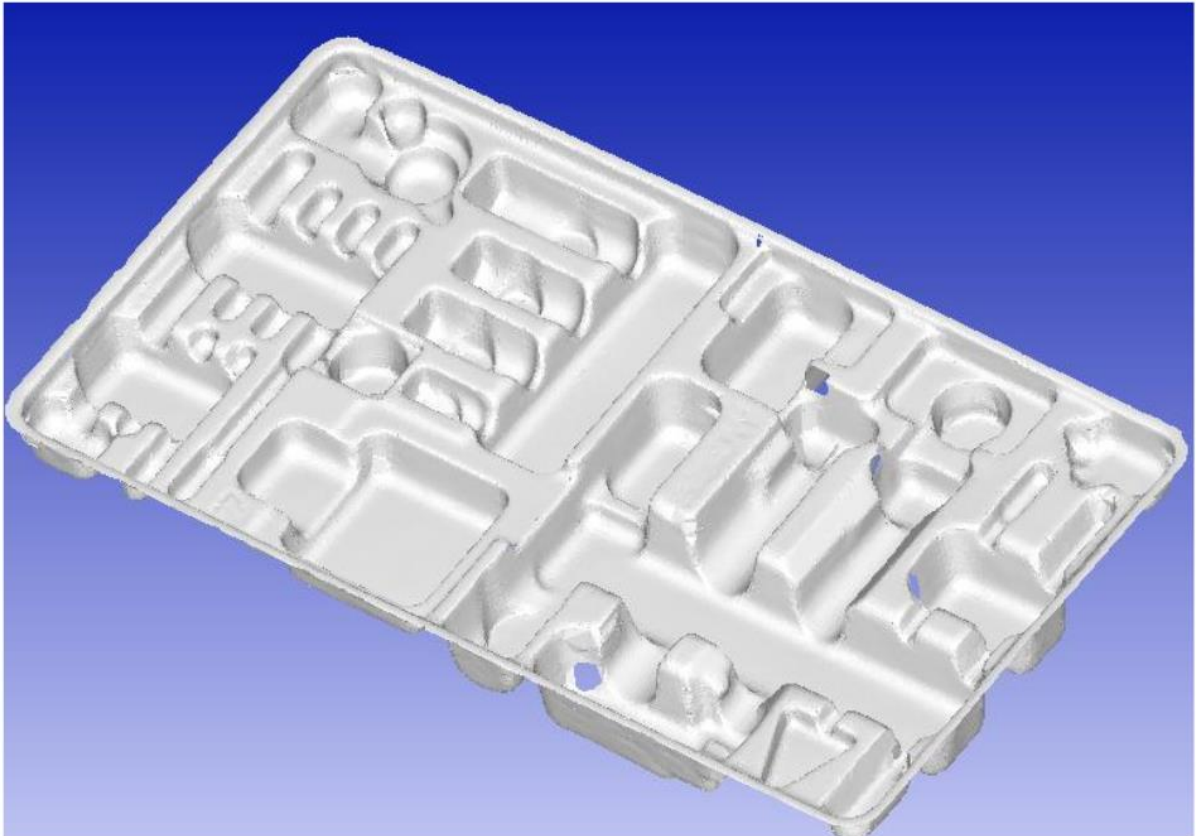
Obrázek 4 Upravené bodové mračno - příklad, zdroj: [14]

Situace v podobě překrytí mnoha skenů přes sebe může být řešena s využitím software a softwarové funkce odečítání. Před tímto odečítáním bylo v daném příkladu zvoleno toleranční pole, ve kterém se mají bodová mračna pohybovat. Po zadání příkazu došlo k odečtu těch bodů, které leží mimo toleranční pole. Dále je nutné zaoblit hrany přechodu mezi jednotlivými částmi bodového mračna. Pokud by k tomuto nedošlo a data byla použita pro CNC obrábění, mohlo by nastat, že na povrchu součástky budou jemné skoky způsobené právě těmito odečty. Tímto krokem končí první fáze a nyní přichází možnost pro integraci všech skenů do jednoho. Následující obrázek číslo pět vychází z realizace filtrace dat, která má stejnou důležitost jako odečítání bodových mračen. V rámci filtrace dochází k volbě bodů a mezi řádky si lze zvolit dle toho, jestli se skenují plochy či roviny, nebo jestli je nutné zachytit určitou hranu či zaoblení. Prostřednictvím filtrace lze zvolit, jakou hustotu mraku bodů bude mít daná součást. Filtrace je volena dle dalšího využití naskenované součástky. To je většinou v integraci s CAD/CAM systémem, v komparaci s CAD modelem či především pro účely reverzního inženýrství. Po dokončení těchto činností (tj. odstranění nežádoucích bodů, odečítání a filtrace) je k dispozici bodové mračno (viz následující obrázek), s kterým lze dále pracovat, a z kterého lze vyvozovat určité závěry [14].



Obrázek 5 Finální zpracování bodového mračna - příklad, zdroj: [14]

V dalším kroku sledovaného příkladu následuje detekce útvaru, kdy se finální bodové mračno proloží trojúhelníkovou sítí, tj. součástí tvořenou z velmi mnoha ploch. Velikost se přizpůsobuje hustotě roztečí bodového mračna – viz následující obrázek číslo šest. Z obrázku je zřejmé, že na třech místech nastal problém v podobě špatného zaznamenání hrany a zaoblení[14].



Obrázek 6 Finální zpracování bodového mračka proloženého plochou - příklad, zdroj: [14]

Data mohou nabývat různých forem. Pro zpracování vizuálních dat a informací se zpravidla využívá určitých snímků, což mohou být právě bodová mračka, která patří mezi nejjednodušší a nákladově nejefektivnější způsoby získávání prostorových dat v 3D prostředí [23].

Po představení základních pojmů v oblasti bodových mraček a příkladů využití bodových mraček v praxi se lze blíže soustředit na popis využití 3D mraček bodů v automobilovém průmyslu, protože toto téma úzce souvisí s výzkumnou částí práce.

2.4 3D bodová mračka v automobilovém průmyslu

Využití 3D mraček bodů v automobilovém průmyslu má velmi široké možnosti. Tato kapitola nejprve popisuje základní oblasti využití, ale také popisuje konkrétní a praktické příklady z praxe globálních automobilek. V závěru kapitoly je pozornost soustředěna na 3D laserové skenování bodových mraček u autosedaček, protože toto úzce souvisí s vlastním výzkumem, který byl realizován v rámci práce.

Výzkum kolektivu autorů Muftooh využil 3D laserové skenování automobilů a bodových mraček k tomu, aby prokázal, že tato technologie má svoje efektivní využití v automobilovém průmyslu. Prostřednictvím 3D virtuálního modelů automobilů lze řídit kvalitu, plánovat montáže, plánovat využití robotů, či realizovat inspekci [70]. 3D laserové skenování bodových

mračen se využívá i v rámci tzv. robotizace výroby, kdy roboti vykonávají základní výrobní operace, a to právě na základě interaktivního 3D laserového skenování bodových mračen [71].

Výzkum autora Mendrického se zabýval využitím moderních 3D bezkontaktních metod měření pro kontrolu kvality v automobilovém průmyslu. K tomuto bylo využito metody 3D skenování. Výsledkem bylo prokázání, že se 3D skenování může významně podíle na optimalizaci výrobního procesu a zjištění vyšší kvality produktů. V rámci metodického postupu byl každý testovaný vzorek digitalizován ve vysokém rozlišení, byl získán model skutečného dílu, který byl následně podroben důkladné kontrole přesnosti tvaru a rozměru [72].

2.4.1 Využití bodových mračen

Z obecného hlediska generuje využití virtuální a rozšířené reality v průmyslu následující výhody [24]:

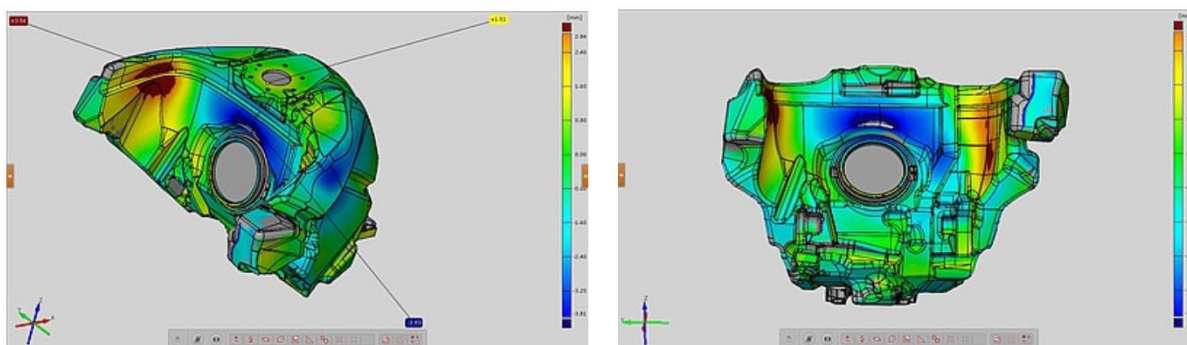
- Vylepšení konstrukčního řešení – rozšířená a virtuální realita může zjednodušit přechod k individualizované a zákaznický orientované výrobě prostřednictvím usnadnění procesu zlepšení konstrukčního řešení produktů. Virtuální realita navíc umožňuje zvukové, vizuální a hmatové simulace u virtuální reality, takže plnohodnotné vytváření, studování a testování virtuálních prototypů. V automobilovém průmyslu dochází ke značným investicím do virtuální reality za účelem zdokonalení návrhu produktů. Software pro 3D vizualizaci vybavený virtuální realitou pomáhá výrobcům automobilů snižovat náklady na prototypování a vede ke zdokonalení procesu přezkumu konstrukčního návrhu a jeho zpětnovazební smyčky, což v konečném důsledku zkracuje cyklus vývoje produktu a zrychluje jeho uvedení na trh.
- Komplexní montáž – prostřednictvím rozšířené reality lze navádět pracovníky při montáži, tedy například precizně sestavovat a instalovat produkty.
- Zajištění kvality – v automobilovém průmyslu se například využívá brýlí s rozšířenou realitou a tabletů pro zkoumání kvality dílů, které přichází od třetích dodavatelů, a pro umístění různých komponent na montážní lince. Pro zajištění požadované kvality se také využívá systémů navádění pracovníků při montáži komponent, nástrojů na bázi rozšířené reality v kombinaci s průmyslovými kamerami s vysoce výkonnými projektory pro zobrazení zásadních informací přímo na pracovní povrch. Konečné digitální promítací plátno potom umožňuje technikům ověřovat a validovat pořadí montáže a výroby dílů. U některých výrobců automobilů se tímto podařilo snížit chybovost až o 90 % a zkrátit cyklus o 40 % až 50 %.
- Údržba – virtuální a rozšířenou realitu lze využít pro prohlížení strojů, což zjednodušuje detekci problémů předtím, než se začnou řešit na daném místě. Vylepšení software pro údržbu na bázi rozšířené reality technikům umožňuje sledovat pozice překryvné vrstvy, aby nedošlo k přemístění obsahu, když uživatel pohybuje tabletem.
- Odborná podpora – vzdálená pomoc založená na rozšířené a virtuální realitě umožňuje propojit uživatele v různých geografických lokalitách a společně řešit případné problémy. Tímto se eliminují například cestovní náklady, či se zrychluje celý proces.

- Bezpečnost – prostřednictvím virtuální reality lze vzdáleně monitorovat nebezpečné podmínky a implementovat údržbové protokoly, což technikům umožňuje bezpečným způsobem uplatňovat dodržování bezpečnostních norem. Například výrobce automobilů využil technologii virtuální výroby pro návrh bezpečného a efektivního pracovního prostředí. Využívá technologie společně s 3D tiskem a snímáním pohybu umožnila snížení úrazovosti zaměstnanců o 70 % a omezila ergonomické problémy o 90 %.
- Skladové operace – využití virtuální reality ve skladovém hospodářství výrazně zvyšuje přesnost a rychlost plnění objednávek. Využívá se i rozšířené reality pro efektivnější značkování, kódování a správu dodávek.

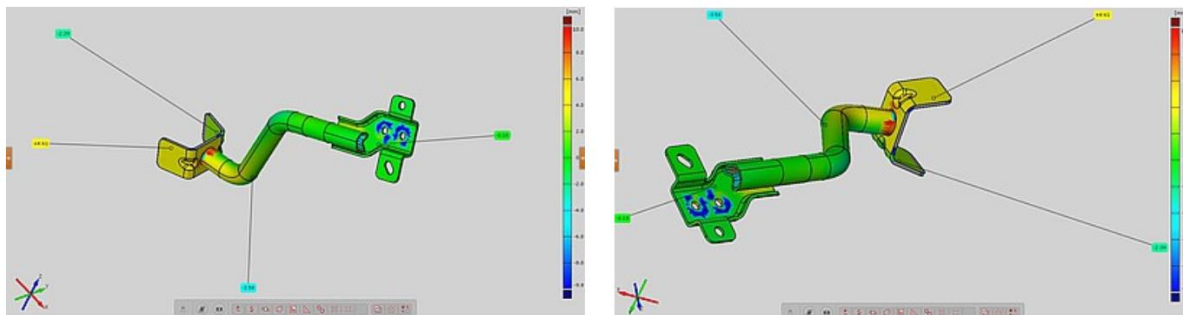
2.4.2 3D skenování

Technologie 3D laserového skenování bodových mračen lze využít i v rámci konkurenčního boje, tedy technologie laserového skenování umožňuje organizacím realizovat návrhy a technické vylepšení prostřednictvím skenování produktů konkurenta. Tohoto se aktivně využívá i v automobilovém průmyslu, kde tato praxe slouží pro tvorbu přidané hodnoty, snížení fyzické potřeby prototypů, dále pro snížení nákladů a času, zlepšení procesu vývoje nových produktů [73].

3D skenování v průmyslu patří mezi pokročilé metody pro měření komplexních a tvarově složitých objektů, pro které by měření v jednotlivých bodech nebylo vhodné, či vůbec možné bez vyvinutí samostatné metodiky. Využití 3D skenování v automobilovém průmyslu lze například představit na příkladu reklamace palivové nádrže motocyklu. Odběratel reklamoval vzorek palivové nádrže s tím, že po namontování nedoléhá buď jeden, nebo druhý vstupní otvor nádrže. Dodavatel provedl proměření v specifikovaných bodech, což ovšem neukázalo žádnou odchylku mimo toleranci. Proto se dodavatel rozhodl využít 3D skener RangeVision Advanced. Prostřednictvím naskenování bylo zjištěno, že v obloucích, které přiléhají na zadní stěnu nádrže, došlo k deformaci a vystoupení materiálu směrem k otvoru pro palivové čerpadlo (viz následující obrázek číslo sedm a osm – oranžová barva). Přitom stěna kolem otvoru propadla (viz modrá barva na obrázku). Na základě těchto zjištění došlo k odstranění závady [25].



Obrázek 7 Příklad využití 3D skenování při reklamaci, zdroj: [25]



Obrázek 8 Příklad využití 3D skenování při reklamaci II, zdroj: [25]

Tato práce se věnovala obecnému využití virtuální reality a 3D laserového skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu. V praxi se však vyskytují desítky případů, kdy došlo k využití těchto technologií, a tedy některé příklady z praxe lze nyní představit.

2.5 Příklady z praxe v automotive

Dle analýzy společnosti Deloitte se virtuální realita v oblasti automotive využívá zejména v rámci designu a vývoje, kde usnadňuje vizualizaci modelů, realizaci změn a výrazně přispívá ke zkrácení času dodání na trh, včetně snižování nákladů souvisejících s vývojem. Dále se využívá pro trénink ve výrobě či servisních zaměstnanců, protože umožňuje simulaci reálných situací. Virtuální realita umožňuje v rané fázi vývoje vizualizovat produkt a optimalizovat jeho vlastnosti, takže se nemusí reálně vyrábět a následně testovat. Vše může probíhat ve virtuálním prostředí [26].

Progresivní nahrazování tradičních výrobních metod vysoce technologickými (složitými) inteligentními systémy je jedním z nejdůležitějších aspektů vývoje výrobních procesů ve všech průmyslových oborech [74]. Virtuální realita a 3D modely také umožňují rekonstruovat či modelovat pohyby automobilů v různém prostředí, které přitom odpovídá reálnému prostředí [75].

Virtuální modely jsou nákladově výhodným prostředkem pro vyhodnocování různých návrhů produktů či bezpečnostních systémů v dynamicky se vyvíjejících organizacích a systémech. Vývojáři mají v dnešní době dostatek příležitostí, jak prostřednictvím moderních informačních a komunikačních technologií popsat různé objekty a využít tento popis pro modelování různých situací [27]. V určitých segmentech automobilového trhu (zejména v prémiových) je nejpodstatnějším prodejním faktorem design automobilu, resp. jeho exteriér. Využití virtuální reality a 3D modelů výrazně usnadňuje vývoj karoserií, které budou v souladu s požadavky zákazníků. Využití virtuální reality vede ke zkrácení cyklu vývoje (v rámci designu), ke snížení nákladů a ke zlepšení integrace s dalšími navazujícími procesy. Design v automobilovém průmyslu se stává virtuální záležitostí. Virtuální realita pak umožňuje vytvářet specifické virtuální prostředí, ve kterém si mohou uživatelé provádět relevantní výběr nejhodnějších variant pro budoucí vývoj v reálném světě [28].

V designu automobilů se virtuální realita využívá už v rané fázi vývoje, kdy se načrtnuté kresby převádí do podoby 3D modelů automobilů [76]. Automobilový průmysl je jedním z nejdůležitějších průmyslových odvětví na světě, takže je zde snaha o dosažení, co nejvyšší efektivity velmi důležitá. Výroba, výrobní systémy, metody a techniky řízení, či zajišťování

kvality zde velmi výrazně ovlivňují náklady automobilek. Jsou to právě technologie 3D laserového skenování bodových mračen, které umožňují plnění zmíněné ambice [77].

Od konce devadesátých let začínají využívat automobilky různé technologie virtuální reality a rozšířené reality za účelem získání konkurenční výhody a posílení konkurenceschopnosti. K průkopníkům v tomto ohledu patří automobilky Ford, Audi, Volkswagen, či PSA [29].

Automobilový průmysl už plnohodnotně vstoupil do digitální éry. Dnes většina pracovníků pracuje s využitím nejnovějších technologií, a právě 3D technologie v tomto nejsou výjimkou. Zatímco, ještě před čtyřiceti lety návrh automobilu vyžadoval dlouhý kreslicí stůl, aby mohlo dojít k náčrtu kompletního auta (vše bylo realizováno ručně, s využitím papíru, pravítka, kompasu, bez možnosti úpravy rychlé úpravy obrázku), tak v dnešní době stačí v podstatě obrazovka počítače k plnohodnotnému návrhu. S tímto návrhem prototypu lze navíc libovolně pracovat v prostředí virtuální reality, testovat jeho funkčnost, provádět jeho rychlé úpravy. Virtuální realita se stala v posledních letech klíčovým hlediskem vývojové fáze automobilů [30].

Vyšší kvality a efektivity v automobilovém průmyslu lze ovšem dosáhnout spíše s využitím různých nástrojů kvality, než s využitím jednoho konkrétního nástroje. Využití širší škály kvalitních nástrojů může být například užitečné ke snížení prostojů ve výrobě apod. [78]

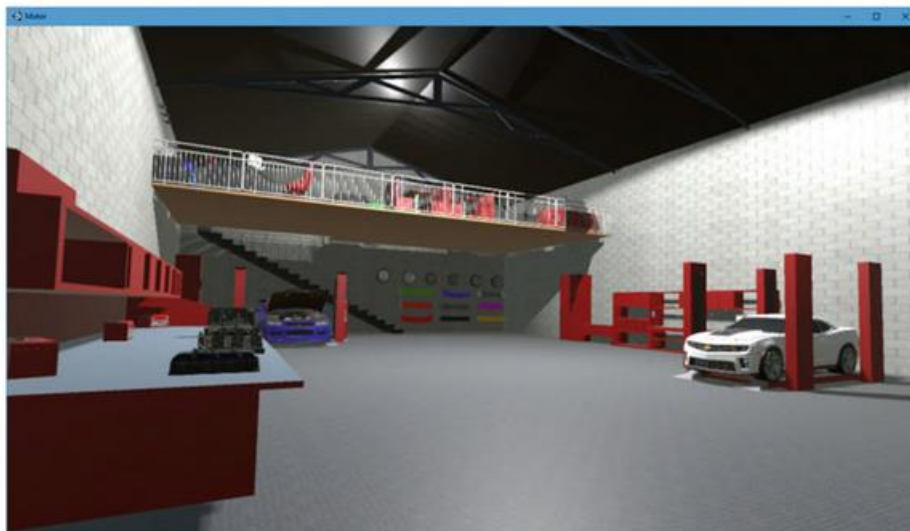
V automobilovém průmyslu se při 3D skenování vozidel využívá zejména technologie 3D LiDAR, která poskytuje vysoce přesné soubory dat, jenž lze využít například pro specifická měření a tvorbu 3D modelů, ověření přesnosti stávajících 3D modelů, určení poškození vozidel, či pro tvorbu technických nákresů a animací. Při skenování vozidel se využívá větší množství 3D skenerů. Konečná kvalita skenování je závislá na materiálu a vzdálenosti skeneru, kdy například platí, že vysoce reflexní, refrakční a lesklé černé materiály mohou produkovat méně přesné výsledky skenování. Při využití kalibrace však vykazují 3D technologie skenování LiDAR vysokou míru přesnosti a v automobilovém průmyslu patří jejich využití ke standardním metodám pro 3D dokumentaci [31].

V automobilovém průmyslu se 3D skenování využívá za účelem reverzního inženýrství (3D skenovací systémy lze využít k získání geometrických dat tam, kde nejsou k dispozici technické výkresy, či nejsou k dispozici dostatečná data), dále se tohoto využívá pro realizaci kontroly kvality a dalších typů kontroly. Prostřednictvím 3D skenování se v automobilovém průmyslu také minimalizuje výrobní čas [32].

V automobilce Škoda Auto se začala virtuální realita využívat v letech 1998 až 1999 prostřednictvím projekční 3D stěny Powerwall, následně byla implementována i technologie Cave (tj. místnost se čtyřmi projektory pro prezentaci interiéru a posouzení z pohledu řidiče, vlastní software či brýle) [26].

Virtuální realita sehrává svoji podstatnou úlohu i při edukaci pracovníků v automobilovém průmyslu. Následující obrázky například seznamují s tím, jak využívá virtuální realitu automobilka Suzuki pro výuku svých pracovníků [28].

Vizualizaci tohoto případu zprostředkovávají obrázky č. 9 a 10



Obrázek 9 Virtuální autoservis, zdroj: [28]



Obrázek 10 Virtuální oprava automobilu, zdroj: [28]

Využití virtuální reality také mění strukturu pracovníků automobilek z hlediska jejich vzdělání. Například automobilka SEAT zaměstnávala v roce 1975 celkem 211 inženýrů v oddělení vývoje, ale v roce 2005 se jednalo o více než 1 000 inženýrů [30].

Tréninkové a školicí programy využívající simulaci ve virtuální realitě zprostředkovávají novým zaměstnancům možnost učit se složité procesy, když jsou ponořeni do animované trojrozměrné repliky reálného prostředí (například továrny). Pracovník si touto metodou učení zapamatuje více informací a zachová se po delší dobu, než při využití jiných „klasických“ metod vzdělávání (typu přednášek či čtení). Například v jedné ropné společnosti bylo využito v rámci školení pilotů vrtulníků simulace virtuální reality za účelem výuky bezpečnějšího přistávání na

ropných plošinách. Toto vedlo k úspoře nákladů ve výši 2 milionů dolarů a zaměstnanci si uchovali 75 % informací získaných během školícího programu [24].

V oblasti vzdělávání zaměstnanců poskytuje virtuální realita interaktivní a atraktivní možnost pro zobrazení edukačního prostředí s vysokou podobností fyzické reality. Zaměstnanci zde získávají nové znalosti prostřednictvím pokusů a selhání v dynamickém a interaktivním prostředí, které odpovídá skutečnosti [79].

Výzkum autorů Borsci a kol. komparoval účinnost vzdělávání pracovníků s využitím virtuálního 3D prostředí, s využitím videa a s využitím praktického tréninku (metodou pokus a omyl). Z výsledků vyplývá, že si potom v praxi vedla nejlépe skupina zaměstnanců školená prostřednictvím virtuální reality. Zaměstnanci, kteří zažili 3D prostředí, si vedli lépe, než zaměstnanci, kteří absolvovali jiný druh školení [80].

2.5.1 Reverzní inženýrství

Dále lze technologii 3D skenování v automobilovém průmyslu využívat pro tzv. reverzní inženýrství (jak již bylo zmíněno v předcházející části práce). V takovém případě existuje hotový výrobek, či jeho forma bez technické dokumentace nebo 3D modelu. Organizace vytváří technickou dokumentaci v důsledku potřeby modifikace výrobku, či přenesení jeho výroby na jiné místo. Objekt se naskenuje a potom se naměřená data transformují do polygonálního modelu, který je potom v CAD software transformován do plošného nebo parametrického modelu. Reverzní inženýrství založené na skenovaných datech oproti měření v bodech umožňuje přesnější proměření celého povrchu objektu a přináší i značnou časovou úsporu. Dle některých zdrojů urychluje 3D skenování proces reverzního inženýrství až pětkrát [25].

Reverzní inženýrství hraje velmi významnou roli i v automobilovém průmyslu, protože umožňuje velmi pokročilé zpracování a získávání dat, které lze využít pro neustálé zlepšování [81].

Reverzní inženýrství je využitelné zejména v rámci vývoje a konstrukce produktů a digitalizace manuálně vytvořených modelů jako například prototypů automobilů. Využívá se k přenášení manuálně vytvořených změn do CAD modelů. Zejména v rámci vývoje produktů potom měřená data zdokonalují simulační výpočty, protože zajišťují, že tvar skutečného modelu odpovídá tvaru počítačového modelu, který je v rámci simulace využíván [5].

Proces digitalizace dílů a vytvoření CAD modelu z 3D skenování je časově méně náročné a poskytuje vyšší přesnost než ruční měření součástí a návrh „od nuly“. Řadu přínosů generuje využití této technologie i v automobilovém průmyslu [32].

Postup 3D laserového skenování u reverzního inženýrství má podobu [14]:

- Nasnímání součástek s využitím 3D laserového skeneru.
- Využití softwarového programu pro filtraci bodového mračka.
- Proložení bodového mračka do sítě trojúhelníků.
- Načtení dat do CAD programu.
- Transformace do CAM systému a zpracování dráhy obráběcích nástrojů.
- Tvorba součástky ve výrobním procesu.

Například v automobilce Seat se využívá virtuální reality pro optimalizaci výrobních procesů a precizní vizualizaci produktu, který bude vyráběn. Prostřednictvím této technologie

se potom zkracuje doba výroby prototypů ve fázi před uvedením modelu na trh, a to o 30 %. Zatímco dříve musela automobilka využívat pro tuto činnost desetimetrové stoly, konstrukční výkresy, dlouhé seznamy automobilových dílů a provádět analýzy dlouhé měsíce, tak nyní stačí využít jeden počítač pro vizualizaci kompletního vozidla. To vedlo ke snížení počtu prototypů, vyráběných před uvedením modelu na trh, na polovinu. Například u modelu Seat Ateca bylo prostřednictvím virtuální reality realizováno přes 800 vylepšení [33].

V automobilce BMW se virtuální realita využívala už v roce 2008 pro testování prototypů, testování ergonomických vlastností vozů, či pro vývoj produktů [82].

V automobilce Volvo se využívá 3D laserové skenování u řady různých procesů. Například 3D laserové skenování urychluje a zlepšuje geometrickou kontrolu automobilových dílů a hotových vozidel. Oproti konvenčnímu přístupu generuje 3D skenování významné provozní výhody [83].

Většina automobilek využívá 3D laserové skenování k ověřování kvality výrobků, kdy se jednotlivé části vozu 3D skenují, až následně se komparují s navrženým modelem prostřednictvím speciálního software. Prostřednictvím této komparace lze velmi rychle zasahovat do výrobního procesu, identifikovat příčinu defektů, a tuto odstraňovat [84].

Proces digitalizace automobilových součástek s využitím 3D bodových mračen vede k časovým úsporám a poskytuje větší přesnost, než klasické ruční měření. Z tohoto důvodu se tato technologie stává velmi rozšířenou v automobilovém průmyslu, kde se využívá pro kontrolu, či pro vývoj produktů. To se prokázalo i ve studii autora Kus [85].

Virtuální realita se například využívá pro testování kolizí, aby došlo k co nejvyššímu zajištění bezpečnosti vozidel. Například v automobilce SEAT se při návrhu vozidla využívá až 95 000 simulací ve virtuální realitě, aby došlo k návrhu, co nejbezpečnějšího vozidla. Virtuální realita ve spolupráci s dalšími technologiemi umožňuje analyzovat až 3 miliony prvků na automobilu, aby došlo k naplnění zmíněné ambice [30].

2.5.2 3D inspekce

Dále lze 3D technologie skenování využít pro inspekci a zajišťování kvality dílů a součástek, a to například plechových výlisků, nástrojů a forem, prototypů apod. 3D skenery například skenují celý povrch součástek bezkontaktně a následně prostřednictvím miliónů měřených bodů automaticky počítají 3D souřadnice ve formě bodového mračka ve vysokém rozlišení. Prostřednictvím polygonální sítě dochází k popisu nepravidelných povrchů a geometrie, kterou lze komparovat s výkresy nebo přímo s CAD daty a tímto realizovat analýzu tvarů a rozměrů. Softwarová řešení umožňují komparovat povrchy, řezy či body s CAD daty, realizovat inspekci založenou na křivkách, například v podobě analýzy spár a přesahů karosářských dílců, odpružení plechového výlisku či charakteristických designerských křivek. Pro analýzu identicky vyráběných dílů lze využít dodatečný modul trendů, který umožní v sériové výrobě identifikovat odchylky mezi součástkami [5].

Před vstupem na trh musí každý automobil (či model automobilu) projít sérií složitých testů, a to včetně testů v extrémních podmínkách. Zatímco, v minulosti bylo nutné vozidlo testovat například na poušti, nebo v extrémních podmínkách u polárního kruhu, tak v dnešní době je opět zcela dostačující využití virtuální reality. Přínos virtuální reality v testování je i v tom, že se počet testů výrazně zvýšil, protože v dnešní době se do automobilů přidává daleko více různých druhů elektroniky a systémů na podporu řidičů [30].

Běžné postupy kontroly nemusí vždy přinášet relevantní výsledky. Například detekce deformací na karosériích automobilů je účinnější při využití 3D skenování a bodových mračen [34].

2.5.3 Zrychlení výroby

Technologie 3D skenování a 3D tisku v integraci s výrobními procesy umožňují konstruovat a realizovat geometrie součástek prostřednictvím prostředků, které v minulosti nebyly k dispozici (s využitím běžných výrobních metod). Data lze dále zpracovávat a reprodukovat, upravovat či měnit [5].

2.5.4 Testování automobilů

Testování automobilů a jejich funkcí v reálném prostředí (tj. například na testovací trati) vyžaduje vysoké nároky na čas, lidské zdroje, což se samozřejmě projeví na celkových nákladech. Virtuální realita přitom nabízí možnost realizace těchto testů v relativně krátkém čase a při menším využití pracovních sil. Řadu chyb lze tímto odhalit už v prvotní fázi vývoje, ve které reálný vůz ještě není vůbec připraven. Pro otestování běžných jízdních scénářů je naprosto dostačující využít virtuální model vozidla. Objem simulace a testování vozidel ve virtuální realitě by měl v budoucnosti ještě více růst a stát se více automatizovaným, protože přináší řadu výhod. Zároveň však platí, že pravděpodobně nikdy nedojde k jeho plnému nahrazení v testování v reálném prostředí [35].

Následující tabulka číslo jedna například popisuje, jak lze využít jeden z 3D skenerů, který je na trhu aktuálně k dispozici. Z obsahu tabulky vyplývá, že je jeho využití široké. Konkrétněji to znamená, že se využívá v oblasti odlévání a kování, vstřikování plastů, lopatek, výroby nástrojů a forem, konstrukcí, lisování plechů. V oblasti odlévání a kování zkracuje skener dobu nutnou pro měření a kontrolu při odlévání do pískové formy, talkovém a přesném lití, a také v kovárenském průmyslu. V rámci oblasti vstřikování plastů je přínosem pro rychlejší čas celého procesu, protože urychluje vstřikování a vyfukování plastů, výrobu termoplastů. V oblasti lopatek pomáhá výrobcům a dodavatelům turbínových lopatek vytvářet součástky připravené pro sériovou výrobu. V oblasti výroby nástrojů a forem lze prostřednictvím 3D skenerů implementovat korekce těchto nástrojů a forem. V oblasti konstrukcí se využívá pro rychlé a přesné skenování geometrie modelů, takže naměřená data vytváří základ pro reverzní inženýrství. V oblasti lisování plechů je 3D skener nástrojem pro měření a kontrolu plechových výlisků [5].

Tabulka 1 Využití 3D skeneru ATOS Core

Jak využít 3D skener		
3D inspekce	Reverzní inženýrství	Rychlá výroba
Přesné měření 3D souřadnic umožňuje analýzu tvarů a rozměrů, GD&T, statistické řízení procesů (SPC).	Využití dat z měření 3D skenerem pro CAD modelování, tvorbu povrchů a simulace.	Polygonální sítě (STL) ve vysokém rozlišení pro 3D tisk, obrábění, aditivní výrobu a ověřování rozměrů.
Oblasti uplatnění 3D skenerů		
Odlévání a kování	Vstřikování plastů	Lopatky
ATOS Core zkracuje dobu nutnou pro měření a kontrolu při odlévání do pískové formy, tlakovém a přesném lití a také v kovárenském průmyslu.	ATOS Core zrychluje téměř všechny oblasti ve výrobním procesu vstřikování a vyfukování plastů a výroby termoplastů.	ATOS Core pomáhá výrobcům a dodavatelům turbínových lopatek vytvářet součástky připravené pro sériovou výrobu.
Výroba nástrojů a forem	Konstrukce	Lisování plechů
Na základě naměřených dat z celého povrchu součástky skenerem ATOS lze rychle a spolehlivě implementovat korekce nástrojů.	ATOS se využívá k rychlému a přesnému skenování geometrie modelů. Naměřená data tvoří základ pro reverzní inženýrství.	ATOS představuje zavedený nástroj pro měření a kontrolu plechových výlisků.

Zdroj: [5]

Ve druhé polovině dvacátého století došlo v rámci konstrukce automobilu k realizaci zásadního technologického pokroku. Zejména v poslední čtvrtině minulého století došlo k růstu požadavků na automobily z hlediska jejich ekonomických, ekologických a bezpečnostních požadavků. To vedlo k růstu nákladů a snaze o hledání možností úspory nákladů [86].

Velmi často docházelo i ke změně konstrukce automobilů či ke změnám výrobních technologií, které potom posouvaly úroveň využití moderních technologií na vyšší úroveň [87].

2.5.5 Vstřikování plastů

Využití 3D skenerů v rámci vstřikování plastů zrychlují téměř všechny oblasti výroby v rámci procesu vstřikování a vyfukování plastů a výroby termoplastů – od konstrukce nástrojů a vyhodnocení výchozích vzorků až po analýzu virtuálních sestav. Přínosem jsou zvláště v oblasti kontroly výchozích vzorků vyráběných dílů, kdy výsledky měření umožňují komplexní analýzu tvarů a rozměrů. Tímto lze rychle identifikovat smršťování a zkroucení dílů. V rámci realizace sériového měření a analýzy trendu lze měření i celou analýzu zautomatizovat. Při montáži plastových dílů je potom možné využít data ke kontrole spár a přesahů, či při analýze virtuálních sestav. Prostřednictvím 3D skeneru lze kompletně měřit nejen plastové díly, ale

také prototypy, elektrody či nástroje, kontrolovat doléhání jednotlivých částí forem, jader a vložek, tímto optimalizovat několik dutin [5].

2.5.6 Výroba nástrojů a forem

Ve výrobní praxi často nastává situace, že i přes pokročilé výpočty a simulace nástroje a formy po provedení první kontroly málokdy splňují požadavky výkresů. To je dáno i tím, že parametry procesu a faktory, které ovlivňují odchylky, jsou příliš komplexní. Než dojde ke schválení nástroje, tak je často potřeba několik korekcí. Prostřednictvím technologie 3D skenování lze omezit časovou a finanční náročnost tohoto procesu. Případné úpravy parametrů součástí lze rychle zhodnotit dle dat z celoplošného měření a přehledné prezentace výsledků ve formě barevných odchylek při komparaci s aktuálními daty s CAD modelem. Při vizualizaci součástí jsou potom jasně patrná místa zkroucení a smrštění, odpružení, ořezu, prasklin. Vysoká hustota dat ještě umožňuje flexibilní využití různých metod ustavení na souřadný systém, což je důležité v případech, kdy nelze součástky vyrobit v požadované kvalitě, ani když dojde k úpravě parametrů stroje. V rámci korekce nástrojů musí mít výrobce rychle k dispozici korektní naměřená data. Přesnost korekce pak závisí na tom, jestli je možné identifikovat takové ustavení naměřených dat s CAD daty, které vyžadují pouze minimální úpravy nástroje [5].

2.5.7 Využití koncepce digitální továrny a ergonomické analýzy v Škoda Auto

V automobilce Škoda Auto je implementace prvků digitální továrny zajišťována specializovaným útvarem – digitální továrna, která zajišťuje implementaci a nasazení nových plánovacích systémů v jednotlivých oblastech výroby. K základním úkolům tohoto útvaru patří [6]:

- Tvorba metodiky a koncepce k využití digitálních plánovacích nástrojů.
- Realizace dlouhodobých plánů a stanovení cílů v rámci projektu „Digitale Fabrik“.
- Spolupráce při plánování projektů a optimalizace vývoje produktu.
- Realizace ergonomických simulací s Motion Capture systémy.
- Komunikace s vedením organizace, dodržování a zpracování koncernových norem.
- Zlepšení interního stavu informací o tomto tématu.

Automobilka Škoda Auto využívá virtuální realitu více než dvacet let a každému zaměstnanci, který má zájem o práci s touto technologií, se snaží vyhovět. Pro řadu zaměstnanců v této automobilce je už v dnešní době práce ve virtuální realitě nutností. Například pro řidiče, kteří odvázejí nově vyrobené vozy z výrobních linek, protože podstupují speciální školení ve virtuální realitě, takže mají zkušenosti s různými typy vozů ještě předtím, než do nich poprvé nastoupí [26].

2.5.8 Plánování výroby

Využití různých nástrojů umožňuje zefektivnit plánování výroby. Identifikace nedostatků až po zahájení výroby vede k časově náročným a nákladným změnám. Pro zamezení tohoto stavu lze využít různé nástroje, které se věnují plánování, ověřování a optimalizaci výrobních procesů. Jejich podstata umožňuje analyzovat a ověřovat plánovaný koncept výroby prostřednictvím počítačových modelů či virtuální simulace, tedy ještě před stavbou reálného zařízení. Každý z pracovníků, který se zabývá touto oblastí, si potom může vizualizovat budoucí

proces a identifikovat případná rizika a nedostatky, tedy navrhnout zlepšení. Tímto se eliminuje riziko chybných či zbytečných kroků, jejichž důsledky by se jinak projeví až v pozdějších fázích vývoje [6].

2.5.9 Analýza ergonomie manuálních operací

V rámci výrobního procesu automobilu se objevuje několik rizikových faktorů, které mohou zaměstnancům způsobit zdravotní potíže. Z tohoto důvodu je nutné věnovat zvýšenou pozornost problematice ergonomie na pracovišti. Mezi rizikové faktory patří nepřírozené polohy těla, daleké dosahy při montáži dílů, vysoká opakovatelnost (repetitivnost) pracovního cyklu (často méně než 1 minuta) a vysoké síly při instalaci komponentů. Montáž dílů do vozidla a přenášení velkých, často neskladných břemen také vede k přetěžování zaměstnanců. Dle platné legislativy musí zaměstnavatel dbát na kontinuální vyhodnocování ergonomických rizik a ochranu zdraví a bezpečnosti pracovníků. Optimalizovaná ergonomie dopadá na zlepšení komfortu práce a zdraví pracovníků, dále na produktivitu a kvalitu výrobního procesu [6].

Škoda Auto využívá proaktivního přístupu k ergonomii, tj. aktivně předcházet problémům, než je následně řešit po jejich vzniku. Využívá se například snímání pohybu pracovníků a jeho vyhodnocení, tj. nástrojů pro ergonomické simulace, které umožňují snímat jejich pohyb a přenášet jej do softwaru. Analýza se zaměřuje na posouzení proveditelnosti a přijatelnosti pracovní operace, a to s ohledem na různě velké pracovníky v populaci. Při tomto se nepracuje pouze s výsledky anonymních analýz poskytovaných softwarem, ale také s existujícím standardem, který Škoda Auto aktivně využívá. To vede k tomu, že výsledky jsou daleko lépe akceptované a snáze se hledají nápravná opatření. Vyhodnocení pracovních procesů v ergonomické laboratoři následně probíhá v úzké spolupráci s odborníky z útvaru ochrany zdraví [6].

2.5.10 Využití Motion Capture obleku

Ve Škoda Auto se využívá inerciální Motion Capture oblek firmy Animazoo, který se zakládá na snímání pohybů lidského těla prostřednictvím malých senzorů. Sensory se nachází na elastickém obleku a umožňují pomocí měření zrychlení, intenzity magnetického pole a orientace v prostoru zachytit polohu a orientaci jednotlivých částí lidského těla. Výhodou tohoto systému je možnost simulace pohybu v reálném čase, minimální potřeba postprocesingu snímaných pohybů a jednoduchost využití. Pohyb pracovníka je v reálném čase přenášen do 3D modelu vyvíjeného výrobního zařízení a produktu. Následně dochází k vyhodnocení pohybu a zjištění, jestli je pracovní operace proveditelná a poloha pracovníka přijatelná z hlediska požadavků interní ergonomické směrnice a zákona. Důraz je kladen na analýzu toho, kam se různě velcí pracovníci dosáhnou, co uvidí, a tedy analyzuje se nebezpečí poranění z biomechanického přetížení pomocí řady ergonomických metod [6].

V automobilce Škoda Auto provádějí testování automobilů před zahájením výroby i respondenti z řad veřejnosti. Automobilka využívá široké škály zástupců veřejnosti, kteří se potom podílejí na testování v prostředí virtuální reality. Toto testování umožňuje průběžně vylepšovat vlastnosti vozu. Ještě v rané fázi vývoje lze například posoudit, jestli při nakládání kufru příliš nepřekáží tzv. nákladová hrana, jestli řidiči nevadí odlesky od sloupku vozu či jestli není nějaké z tlačítek příliš daleko na jednoduché ovládání. Zkušenosti potenciálních zákazníků se tedy díky virtuální realitě promítají do vývoje automobilu ještě předtím, než je vůbec vyroben [26].

2.5.11 Studio virtuální reality ve Škoda Auto

Ve Škoda Auto je zřízené studio virtuální reality, která má za úkol kontinuálně zlepšovat ergonomii a bezpečnost pracovišť a výrobních procesů, dále minimalizovat riziko zranění a vzniku nemoci z povolání, snižovat časové prostoje, eliminovat dodatečné náklady na opravy či úpravy způsobené špatnou ergonomií, dále snižovat čas záběhu výroby, zvyšovat kvalitu prostředí a procesů, či maximalizovat komfort a spokojenost pracovníků. Studio se tedy primárně zabývá problematikou ergonomie. K očekávaným cílům činnosti studia pak patří [6]:

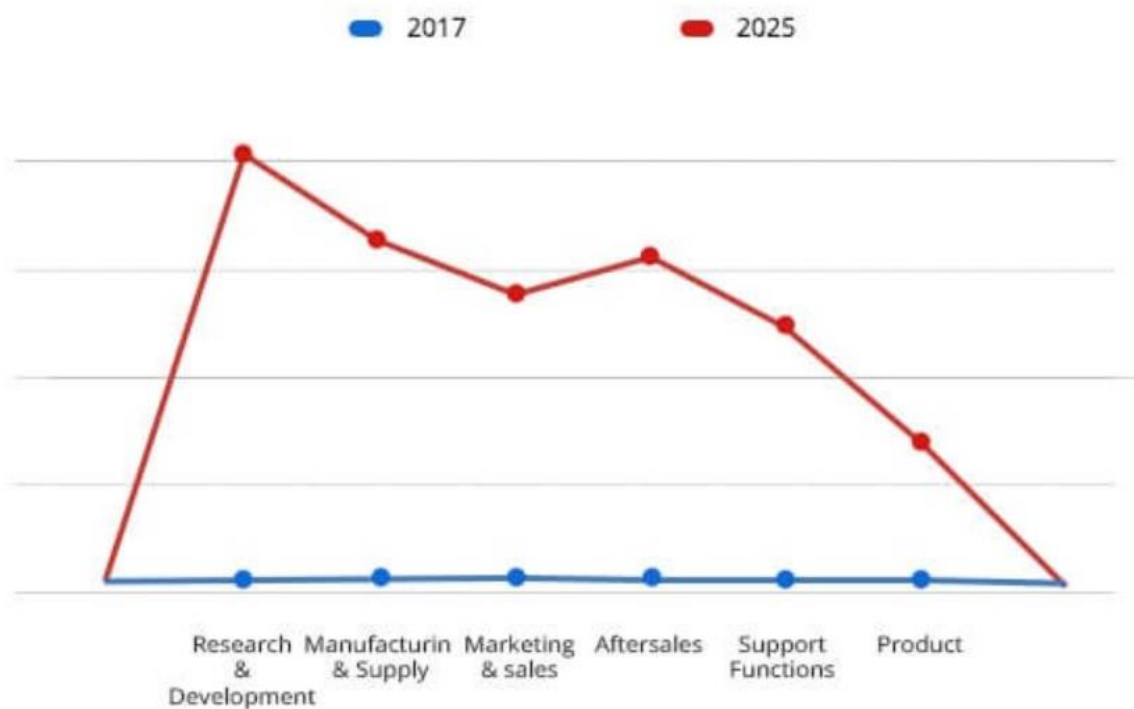
- Zlepšení pracovních podmínek zaměstnanců.
- Snižování počtu nemocí z povolání a nákladů (s tímto souvisejících).
- Řešení ergonomie již v předvýrobní fázi.
- Podpora aktivit odborných útvarů.
- Digitální ověření proveditelnosti montážních operací v souladu s ergonomickými standardy a legislativou.

Odhad organizace Markets and Markets hovoří o tom, že trh rozšířené a virtuální reality dosáhne do roku 2018 celkové hodnoty 1,06 mld. dolarů. To znamená, že má do budoucna virtuální realita velký potenciál a měla by například vést ke zlepšování komunikace, médií, k zábavě či edukaci. Je však nutné zajistit inovace technologií virtuální reality, které eliminují současné nedostatky typu zpoždění obrazu, nedostatečného rozlišení displejů apod. [36]

„Pro efektivní fungování virtuální a rozšířené reality však existuje požadavek na nepřetržitě připojení k internetu. Především v rozvojových zemích ale není rychlost internetu natolik dostatečná, aby tyto technologie mohly bez problémů fungovat. Tyto virtuální technologie navíc u citlivějších lidí způsobují oční napětí, bolesti hlavy a někdy i nevolnost, která brání rozšíření virtuální a rozšířené reality naplno [37].“

Globální výdaje na virtuální a rozšířenou realitu v automobilovém průmyslu vzrostou v roce 2025 na 673,60 mld. dolarů, jak vyplývá ze studie výzkumné společnosti Allied Market Research. To znamená, že dojde k velmi výraznému růstu tohoto typu výdajů. Růst výdajů má být podpořen technologickým pokrokem v oblasti konektivity, technologií 5G, rychlostí pokrytí 4G v globálním prostředí. Ve stále větší míře bude využití virtuální a rozšířené reality pomáhat designérům při vizualizaci struktury karoserie vozidla, a to za účelem zvýšení účinnosti, bezpečnosti a trvanlivosti automobilu [37].

Výstupy ze zmíněné výzkumné studie shrnuje následující obrázek č. 11, který definuje jednotlivé oblasti, ve kterých by mělo dojít k růstu nákladů v souvislosti s využitím virtuální a rozšířené reality, a které se vztahují k automobilovému průmyslu. Nejvýrazněji se virtuální realita bude reflektovat v oblasti výzkumu a vývoje (tj. Research and Development), ve výrobě (Manufacturing and Supply), v prodeji (Aftersales), v marketingu (Marketing and Sales), v podpoře procesů a v rámci produktové politiky.



Obrázek 11 Odhad vývoje nákladů na virtuální a rozšířenou realitu v automobilovém průmyslu, zdroj: [37]

Budoucnost virtuální a rozšířené reality se zdá být neomezenou, a v mnoha ohledech skutečně neomezená je. Virtuální realita může umožnit zážitky, které byly dříve nepředstavitelné, ale přitom stále existují její bariéry a hranice. Současné zkušenosti a využití se dotýká pouze povrchu toho, co je ve skutečnosti možné s virtuální a rozšířenou realitou provádět. Z tohoto důvodu se v příštích několika letech očekává velký pokrok v této oblasti [88].

Uvedené informace potvrzují, že je 3D laserové skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu velmi využívané. Vzhledem k tomu, že se vlastní výzkum v rámci této práce, věnuje 3D laserovému skenování autosedaček, tak lze tuto problematiku blíže představit i prostřednictvím literární rešerše (v rámci následující kapitoly).

2.6 3D laserové skenování bodových mračen u autosedaček

Správná ergonomie autosedačky nabízí uživatelům řadu přínosů. Například je prevencí proti únavě řidiče, zabraňuje poškození páteře či dalším zdravotním problémům (pokud souvisí s nevhodným sezením) a celkově zvyšuje vhodná ergonomie komfort pro uživatele. Sedačka automobilu je navíc v nepřetržitém kontaktu s uživatelem automobilu, tedy stává se i z tohoto důvodu nejdůležitějším faktorem designu automobilu, ale zároveň předurčuje i vnímání funkčnosti automobilu, protože podoba autosedačky výrazně ovlivňuje pocit komfortu při ovládní vozidla [38].

Vhodné ergonomické nastavení autosedačky je nutné pro zajištění bezpečné a pohodlné jízdy autem, ale stále ještě není tato problematika předmětem precizních průzkumů a výzkumů [89].

Znalost ergonomicky správné podoby autosedačky a opěrky hlavy může eliminovat i zdravotnická rizika, která souvisí s dopravními nehodami. Poranění krční páteře patří mezi velmi častá zranění při autonehodách a v konečném důsledku vedou i k vysokým finančním ztrátám (pro pojišťovny, či sektor zdravotnictví), a to samozřejmě nemluvě o škodách na zdraví jedinců. Správné umístění opěrky hlavy přitom může snížit riziko poškození krční páteře, a tedy při vývoji autosedaček je vhodné používat i postupy, které tomuto riziku zamezí [90].

Při vývoji automobilu je bezpečnost klíčovým požadavkem. Desítky komponentů a autodílů dnešních vozů má přímou či nepřímou vazbu na požadavek zajištění bezpečnosti vozidla a bezpečnosti posádky. I prvky typu ostřikovačů, stěračů, zpětných zrcátek apod. se vztahují k zajištění bezpečnosti [91]. Zajištění bezpečného transportu je důležité zejména u kojenců a dětí, kterým se musí autosedačky správně ergonomicky přizpůsobit [92].

Bezpečnost autosedačky znamená, že sedadlo nejen účinně předchází riziku autonehody, ale také minimalizuje riziko zranění řidiče či cestujících v případě autonehody. V řadě zemí světa jsou zavedené legislativní pravidla, která definují, jak má být zajištěna bezpečnost autosedačky. Nicméně, automobilky dobrovolně implementují stále více bezpečnostních prvků do svých produktů, což zasahuje i vývoj autosedaček, resp. jejich konstrukční řešení. Při tomto procesu automobilky aktivně využívají možností, které jim nabízí virtuální realita a další moderní technologie. Při návrhu autosedačky je nutné brát v úvahu řadu prvků, ať už pevnost rámu sedadla, pevnost opěradla, skluzy a umístění bezpečnostních pásů a airbagů, příslušenství a spojení mezi jednotlivými prvky. To vše je nutné integrovat do jednoho celku, který v konečném důsledku zajistí pohodlí a bezpečnost uživatelů [39].

Autosedačka jako taková se skládá z celé řady prvků, ať už jde o opěrku hlavy, rámy, konstrukci, mechanismus či pěnu apod. Prostřednictvím 3D laserového skenování lze získávat různé informace o těchto parametrech a využívat dané informace pro další zlepšování [40].

Každá autosedačka se zpravidla skládá ze tří základních částí. To je kovový rám, pěna a textilní struktury (tkaniny), která pokrývá pěnu a armaturu. Každá autosedačka váží přibližně 5 až 15 kilogramů. Potah autosedačky může být složen z různých vrstev a z různých materiálů. Obvykle jde o polyesterovou tkaninu (popř. kůži či syntetickou kůži), dále laminované polyuretanové pěny. Každá část autosedačky má různé vlastnosti, které v konečném důsledku ovlivňují jejich trvanlivost, pohodlí pro uživatele, bezpečnost. Trendem ve vývoji autosedaček je potom zkoumání jejich vlastností, aby bylo zajištěno, co největší pohodlí pro uživatele, tedy fyziologické pohodlí pro řidiče. Z různých výzkumů a praktických postupů vyplývá, že zejména vhodná volba pěny ovlivňuje fyziologický komfort pro uživatele [41].

Optimalizace pocitu pohodlí uživatele autosedačky patří mezi trendy v současném vývoji autosedaček. Vývoj a konstrukce autosedaček se proto v poslední době zaměřuje i na toto kritérium (samozřejmě vedle bezpečnosti). Do popředí zájmů se dostávají mechanické vlastnosti materiálů, z kterých se autosedačky vyrábějí, a vhodné nastavení jejich vlastností. Dané vlastnosti se pak měří a zkoumají různými způsoby, a to včetně 3D laserového skenování nebo simulací virtuální reality. Získávání výsledků je však v praxi zpravidla velmi časově a finančně náročné [93].

Realizace designu autosedačky je jedním z prvních kroků v rámci designu celého automobilu. Vzhledem k řadě různých faktorů, které musí být při návrhu autosedačky zvažované, pak vývoj celé autosedačky trvá i déle než 2 roky. Návrh designu musí zvážit například polohu, tvar, nastavitelný úhel sedadla, přístup k vybavení automobilu (zejména u

řidiče), ergonomické prvky lidského těla apod. Sedadla patří k nejpoužívanějším částem automobilu, a tedy musí být navržena s důrazem na komfort, bezpečnost, trvanlivost. Konstrukce sedadel vyžaduje řadu zkušeností, které vycházejí i z dostatečné datové a informační základny. V současnosti se stává standardem využití laboratorního zázemí pro vývoj autosedaček. Zkrácení konstrukčního cyklu lze v dnešní době dosáhnout právě prostřednictvím virtuální reality a 3D laserového skenování (tj. získání 3D dat). Navíc se jedná o rychlý a efektivní způsob pro účinný návrh podoby autosedačky. Využití těchto technologií je prospěšné, protože automobilky potřebují v krátkém čase získat dostatečné množství relevantních dat o autosedačkách, ať mohou navrhnout a zlepšit strukturu autosedačky. 3D laserové skenování a využití bodových mračen přispívá k přesnému a spolehlivému designu autosedaček, zkracuje dobu zpětného modelování automobilu a generuje tím podstatnou výhodu pro automobilový průmysl [42].

Využití 3D laserového skenování v praxi automobilového průmyslu lze představit na příkladu organizace Lear Corporation, Sunderland, která ročně vyprodukuje přes 600 000 autosedačkových pěn (zejména pro automobilku Nissan). Tato organizace aktivně využívá 3D laserového skenování pro kontrolu kvality produkce autosedaček, ale také pro jejich design. Výstupy ze skenování se v automobilce využívají pro zajištění parametrů v podobě pohodlí, bezpečnosti, trvanlivosti, estetiky. Výstupy ze skenování v podobě bodového mračen poskytují přesná data o významných charakteristikách autosedačky. Konkrétní hodnoty autosedačky se potom komparují se žádaným stavem, což vede k získání rychlé a relevantní zpětné vazby o kvalitě autosedačky. Prostřednictvím tohoto postupu se daří zmíněné organizaci zajišťovat téměř nulovou chybovost svých produktů (tj. autosedaček) [43].

Výzkum autorů Subramaniyam a Lee využil 3D laserové skenování bodových mračen pro vyhodnocení vnímaného pohodlí uživatelů autosedaček. Nejprve bylo realizováno 3D skenování osob užívajících autosedačku. Následně bylo realizováno dotazníkové šetření mezi těmito osobami. Prostřednictvím 3D laserového skenování bodových mračen došlo ke zjištění významných rozdílů mezi rozložením tlaku na levé a pravé straně autosedačky (v oblasti sedadla a opěradla), ale osoby z dotazníkového šetření vyplývá, že osoby byly spokojené s celkovým pohodlím, i když 3D skenování objevilo faktory vykazující nepohodlí. Z výsledků vyplývá, že výrobci autosedaček musí při návrhu nových produktů zvažovat i preferovanou polohu při řízení [94].

Tato kapitola shrnuje základní teoretická východiska o aktuálním stavu poznání v rámci řešené problematiky. Literární rešerše v tomto případě potvrdila, že je virtuální realita nastupujícím technologickým trendem a výrazně proměňuje dnešní tvář průmyslu, včetně automobilového průmyslu, kde má řadu různých využití. Nezbytnou součástí využití virtuální reality je potom 3D laserové skenování bodových mračen, které zdokonaluje možnosti aplikace a využití zkoumaných technologií.

V rámci další kapitoly se zaměří pozornost na shrnutí cílů disertační práce a pracovní hypotézy.

3 Cíle disertační práce, teze a hypotézy

Cíle disertační práce, pracovní hypotézy a teze jsou nejprve odvozené od definice výzkumného problému.

3.1 Výzkumný problém a cíl disertační práce

Využití 3D laserového skenování a vizualizace bodových mračen je v podmínkách automobilového průmyslu stále častější, což potvrzuje, že jde o velmi efektivní činnost (pokud by nešlo o efektivní činnost, tak není v takové míře využívána, a také neexistují zmínky o její efektivitě). Na druhou stranu nelze automaticky předpokládat, že současná úroveň využití 3D skenování bodových mračen, nemůže být zlepšena. Prostor pro zlepšení existuje vždy, a tedy nabízí se předpoklad, že i současná úroveň využití může být zlepšena. Tato práce řeší problém, kdy automobilový dodavatel sice využívá zkoumání bodových mračen při skenování autosedaček, ale toto je velmi časově a finančně nákladné – musí docházet ke skenování jednotlivých autosedaček, což ovlivňuje dobu trvání celého výrobního cyklu. Problémem je tedy skutečnost, že probíhá 3D laserové skenování a zpracování bodových mračen ve stovkách případů, což způsobuje časové prostoje a samozřejmě generuje i zvýšené náklady na lidské zdroje či mzdové náležitosti a samotné vyhodnocení bodového mračen nepřináší dostatečný užitek a nemá vypovídající hodnotu a kvalitu dodávané sestavy a jednotlivých dílů.

Motivací ke zpracování práce bylo nejen profesní zaměření autora, jeho dlouhodobý zájem o výzkum v tomto oboru, ale také snaha o vytvoření nového metodického řešení, které bude mít reálné a pozitivní dopady na podnikatelskou praxi firmy dodávající automobilové díly.

Primárním cílem práce je prostřednictvím virtuální reality a 3D skenování bodových mračen vytvořit metodiku pro vývoj a kontrolu zadních autosedaček osobních automobilů, kdy tato metodika povede k úspoře časových a finančních nákladů.

Splnění primárního cíle je spojeno s nutností naplnění těchto dílčích cílů:

- Definovat nové způsoby využití virtuální reality v podnikatelské praxi automobilek či průmyslových podniků.
- Definovat nové výhody využití bodových mračen a způsoby pro získání bodových mračen, pomocí realizování vlastního výzkumu skenování zadních autosedaček osobních automobilů.
- Ověřit prostřednictvím primárního sběru dat a provedením metodiky na příkladu z praxe, zda výstupy z výzkumné činnosti povedou ke snížení časových a finančních nákladů na vývoj dílů pro automobilový průmysl a tím ověřit výsledky přínosů.

Definici cíle doplníme o definici hypotéz a tezí.

3.2 Teze

Následující teze dizertační práce se zabývají problematikou využití virtuální reality a 3D skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu, vycházejících ze zkušenosti při výrobě zadních sedaček osobních automobilů. V současných průmyslových podmínkách je nutné klást důraz na využití moderních informačních a komunikačních technologií, které přinášejí úsporu nákladů, ať už finančních, časových či personálních. Zejména v automobilovém průmyslu jako ve vysoce konkurenčním prostředí platí, že musí organizace

neustále investovat do vývoje tak, aby se jim podařilo dosáhnout konkurenční výhody a uspokojit přání a potřeby svých zákazníků.

V rámci vývoje automobilů existují ověřené způsoby, pravidla či procesy, které se uplatňují řadu desetiletí, ale zároveň nelze ignorovat postupné pronikání nových technologií do automobilového průmyslu, které mění paradigmatu v tomto oboru a vyžadují respektování a pochopení. Ve výrazně konkurenčním prostředí přestávají tradiční metody stačit a nevedou k posilování konkurenceschopnosti či zajištění stability.

Literární rešerše popisuje základní metody využití virtuální reality a 3D skenování bodových mračen, ať už obecně, či konkrétně v automobilovém průmyslu. Informace se soustředí na zdůraznění výhod, které přináší využití těchto technologií, ale často se opomíná, že má každá automobilka specifické prostředí a specifické možnosti, jak implementovat dané metody do svého interního prostředí. To může způsobovat problémy s jejich využitím a vést k nedostatečnému výkonu. Ambicí této práce je proto navrhnout metodiku pro využití 3D skenování bodových mračen v rámci vývoje komponentů v automobilovém průmyslu. Metodika by měla být prospěšná pro jakoukoliv společnost vyvíjející díly pro automobily, která bude provádět vývoj za pomoci skenování bodových mračen.

V rámci zpracování práce, na základě rešerše, došlo k definici těchto tezí:

T₁: Neexistuje jednotná metodika, jak virtuální realitu a 3D skenování bodových mračen využívat v automobilovém průmyslu, protože jsou způsoby a možnosti využití různorodé, tak nemohlo dojít k tvorbě jednotné metodiky.

T₂: Většina softwarových produktů pro podporu 3D laserového skenování a skenování bodových mračen se od sebe nějakým způsobem odlišuje, protože softwarové produkty vyrábí různé organizace, které mají různé zákazníky s odlišnými požadavky a potřebami, a tedy těmto přizpůsobují konečnou podobu softwarového produktu. To pak vytváří širší nabídku na trhu.

T₃: Rozdíly v metodikách a softwarové podpoře znamenají i rozdíly ve využití efektivního metodického postupu, resp. jeho nalezení, protože není standardizován systém využití 3D laserového skenování bodových mračen, což vede k rozdílům ve využití efektivního metodického postupu.

T₄: Pro nalezení vhodné metodiky vývoje a kontroly pěn autosedaček lze využít 3D laserového skenování bodových mračen, protože lze provádět skenování autosedaček a vyhodnocovat jejich vlastnosti s využitím bodových mračen, tedy lze hledat rozdíly.

3.3 Hypotézy

H₁: Metodiku 3D laserového skenování bodových mračen automobilů (a autodílů) lze využít v jakékoliv organizaci dodávající automobilkám díly. Metodika poskytuje reálné informace o kvalitě a funkčnosti. Tato hypotéza předpokládá, že je využití 3D laserového skenování bodových mračen natolik univerzální, že může být využito prakticky kdekoli při vývoji komponentů.

H₂: 3D laserové skenování bodových mračen autosedaček generuje různé výsledky u různých komponentů. Tato hypotéza předpokládá, že každá autosedačka (resp. verze autosedačky) se do jisté míry odlišuje, tedy jsou generované i odlišné výsledky z 3D laserového skenování.

H₃: Využitím nové metodiky dojde ke snížení počtu nutných skenování komponentů. Tato hypotéza předpokládá, že nová metodika umožní zkrátit počet nutných skenování komponentů, aby mohlo dojít ke zrychlení celého procesu výroby, vývoje, kontroly apod.

H₄: Využitím metodiky dojde k úspoře mzdových nákladů automobilky (či dodavatele automobilky – výrobce komponentů). Tato hypotéza předpokládá, že v důsledku úspory času vznikne i prostor pro úsporu finančních nákladů (tj. mzdových nákladů). Pokud pracovník využije novou metodiku, tak již nebude potřeba práce v časovém rozsahu, jako před zavedením metodiky.

H₅: Využitím metodiky dojde ke zkrácení času pracovní operace na pracovišti. Tato hypotéza předpokládá, že nová metodika povede ke zkrácení času na pracovní operace na daném pracovišti.

Za účelem splnění cíle práce, potvrzení či vyvrácení hypotéz, je nutné využít relevantní metodický postup. Jeho shrnutí je předmětem následující kapitoly.

4 Vědecké metody zkoumání

Za účelem zpracování práce došlo k využití metod v podobě literární rešerše, skenování a testování, analýzy, syntézy, primárnímu sběru údajů (dotazníkovému šetření) a vyhodnocení veškerých výsledků.

- Literární rešerše

Cílem literární rešerše v rámci této práce je charakteristika současného stavu poznání v oblasti využití virtuální reality v automobilovém průmyslu, a to s důrazem na využití bodových mračen. K jejímu vytvoření bylo využito širokého spektra různých zdrojů, a to od odborných publikací a článků, až po případové studie z praxe průmyslových organizací (zejména automobilek). Literární rešerše svým obsahem navázala na téma práce a cíle práce, tedy bylo nutné pracovat se zdroji, které potom umožní, aby došlo k naplnění cíle práce. Pro vyhledání zdrojů bylo využito databází odborných článků (tj. ProQuest, Ebsco), či katalogů knihoven.

- Skenování a testování

Pro 3D laserové skenování bylo využito 3D laserového skeneru FaroArm. Skenování proběhlo v prostorách společnosti Lear corporation.

3D laserový skener FaroArm (viz obrázek č. 12) je spojován s nejvyšší výkonností a schopností naplnění i těch nejnáročnějších tolerancí. Systém 3D skenování vytváří nejlepší výkon v rámci svojí třídy, ať už pro dotykové snímání, či pro skenování. V kombinaci s novými technologiemi umožňuje až 5krát rychlejší skenování než předcházející generace a umožňuje mimořádně bezkontaktní měření, které nabízí vysokorychlostní zachycení bodového mračka, vynikající rozlišení a vysokou přesnost v kompaktním a snadno využitelném systému. Velmi vhodně se skener uplatní v automobilovém průmyslu, protože je přizpůsoben pro využití ve výrobě. 3D laserový skener této značky obsahuje funkci inteligentní kinematické sondy, která umožňuje výměnu sondy bez nutnosti kalibrace, dále skener využívá vysokorychlostní připojení Wi-Fi, tedy má možnost bezdrátové funkčnosti. Výrobce skeneru garantuje dodržení nejvyšších standardů kvality a bezpečnostních tolerancí. Momentálně 3D laserový skener využívají největší světové automobilky pro posilování kvality produkce a důvěry zákazníků [44].



Obrázek 12 Skener FaroArm, zdroj: [44]

3D laserový skener FARO umožňuje generovat bodová mračna, a také se využívá pro účely akademických výzkumů – například na Univerzitě Žilina v Žilině, na Fakultě strojní, Katedře designu a mechanických prvků [95].

Průběh skenování měl tento postup (proběhlo několik skenování a tento postup se nelišil):

- Autosedačka byla připevněna k upínacímu zařízení a nastavena do neutrální polohy.
- Autosedačka byla naskenována.
- Výsledné hodnoty ze skenování se zaznamenaly do reportu, který byl vyexportován do formátu PDF, včetně obrázků náhledu bodového mračna.

Výstupem ze skenování bylo nasnímané bodové mračno. S tímto bodovým mračnem bylo dále pracováno v rámci jeho analýzy. Pozornost se soustředila na hodnoty naměřené v souvislosti s tvrdostí a hustotou sedačkové pěny. Tato forma skenování měla neselektivní charakter, a tedy platí, že jsou body rozmístěny neselektivně v pravidelném rastru, nejsou obecně měřené charakteristické body, takže je nutné využít modelování pro jejich získání. Výstupem z toho je potom právě bodové mračno.

- Primární sběr údajů – dotazníkové šetření

Primární sběr údajů byl realizován prostřednictvím dotazníkového šetření. Elektronické dotazníkové šetření se uskutečnilo od 1.10.2018 do 15.2.2019.

Výběr respondentů byl záměrný, kdy bylo nutné, aby dotazník vyplnili pracovníci dodavatelské firmy automobilek, který odpovídá či spoluodpovídá za využití technologie virtuální reality pro svůj projekt, či má přehled o tomto využití v rámci projektu. Byli kontaktováni ředitelé jednotlivých divizí, vyvíjející autosedačky pro různé zákazníky s žádostí o kontakt na takového pracovníka. Následně došlo k oslovení tohoto pracovníka s žádostí o vyplnění elektronického dotazníku. Elektronický dotazník obsahoval průvodní dopis, včetně výsledků výzkumu z této práce, aby mohl respondent zvážit jeho přínos v daném projektu na základě vlastních praktických zkušeností.

Došlo k oslovení 18 náhodně vybraných pracovníků vyvíjejících autosedačky, tj. inženýrů pracujících na projektech pro různé zákazníky, kteří se podílejí na tvorbě globálního

automobilového trhu. V období realizace dotazníkového šetření vyplnilo dotazník 15 pracovníků z různých automobilek, tedy návratnost byla na úrovni 83,34 %.

Výsledky jsou shrnuté formou tabulek s absolutními a relativními četnostmi odpovědí, včetně slovního komentáře výsledků.

- Analýza

Analýza se zaměřila na výsledky a výstupy, které se podařilo získat prostřednictvím jednotlivých metod v rámci zpracování práce.

- Syntéza

Syntéza potom shrnula veškeré informace do komplexního celku, čímž umožnila vytvořit relevantní závěry z realizované práce, tedy vyhodnotit veškeré výsledky.

Po představení metodického postupu lze věnovat pozornost vlastnímu výzkumu, který byl realizován v rámci této práce, tj. zejména ve formě představení vlastního výzkumu v rámci doktorandského studia.

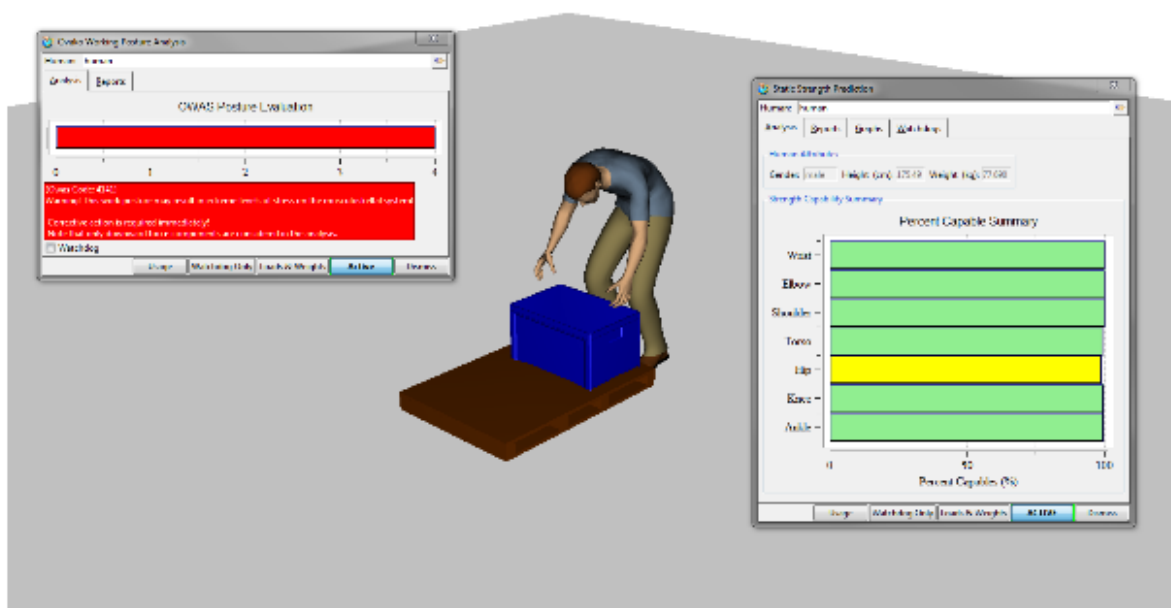
5 Vlastní výzkum problematiky virtuální reality bodových mračen

Efektivní využití výstupů z 3D skenování v podobě bodových mračen vyžaduje nejen pokročilé technické vybavení, ale zejména dostatečné znalosti a zkušenosti s touto metodikou. Takovéto zkušenosti a znalosti zprostředkovává například účast na předcházející výzkumné činnosti, která byla realizována v rámci studijní činnosti autora. To znamená, že ještě před představením výsledků vlastního výzkumu v rámci disertační práce, je pozornost věnována představení výstupů z předcházejících výzkumů autora.

5.1 Předchozí výzkum

K získání odborných znalostí pro výzkum bodových mračen u komponentů automobilového průmyslu významně přispěl předcházející výzkum, který byl realizován na katedře Průmyslového inženýrství a managementu Západočeské university v Plzni. Stejně jako celé studium této problematiky (tj. od druhého ročníku bakalářského studia). Na předcházejícím výzkumu se dále podílel tým Ing. Petra Hořejšího, Ph.D., Ing. Jiřího Polcara a Doc. Ing. Pavla Kopečka, CSc.

Výzkum se zaměřil na metody snímání lidského pohybu, prostorové snímání a virtuální analyzování dat v softwarových programech, které jsou pro toto určené. To zejména s ohledem na možnosti realizace ergonomické analýzy. Předmětem výzkumu byla komparace času potřebného pro realizaci jednoduché ergonomické analýzy s využitím virtuálního prostředí, kdy byla situace nejdříve vymodelována, až následně došlo k animaci pohybu pracovníků, a následně byla realizována ergonomická analýza. Výsledný čas této aktivity byl 12 hodin. Při využití MoCap technologie pro snímání pohybu zabraly úkony pro stejnou analýzu čas v hodnotě 5,5 hodin [45]. Následující obrázek č. 13 zobrazuje výsledek.



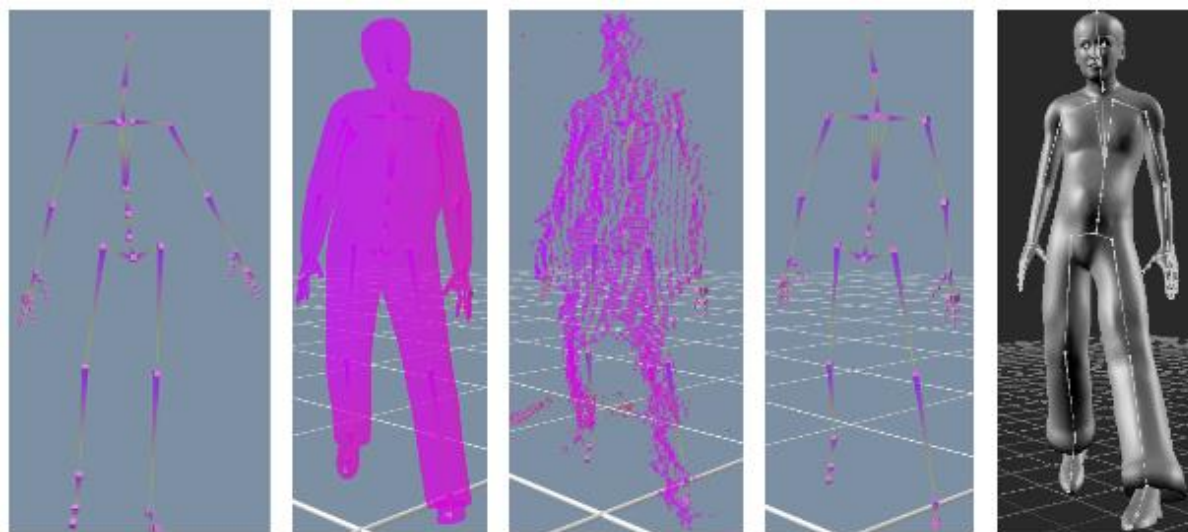
Obrázek 13 Realizace ergonomické analýzy v programu Technomatic Jack, zdroj: [45]

Tento předcházející výzkum se zaměřil na využití nízkonákladových technologií pro účely snímání lidského pohybu. Jako nízkonákladová technologie byla vybrána technologie Microsoft Kinect první generace, což bylo inspirováno výzkumem Regazzoniho a kol. [46] Výstup ze snímání je zobrazen na následujícím obrázku č. 14. Jako problematické při využití této technologie se ukázalo, že je nedostatkem nedostatečné osvětlení, přsvícení i odrazových ploch, které ovlivňují využití senzorů – viz obrázek číslo čtrnáct [45].



Obrázek 14 Snímání pohybu prostřednictvím Microsoft Kinect v programu IPi soft, zdroj: [45].

Dále bylo v rámci výzkumu přistoupeno k optimalizačnímu filtru šumu v posuvech, což mělo vyhladit animaci do podoby hladkých pohybů. Bylo využito softwarového programu Autodesk MotionBuilder. Následně došlo k aplikaci programu na virtuální postavu, tj. objekt, který antropometrickými hodnotami odpovídal zkoumanému pracovníku, který realizoval pracovní činnost. Výstup je zobrazen na následujícím obrázku č. 15.



Obrázek 15 Data získání z Motion Capture, zdroj: [45].

Použití dvou technologií Microsoft Kinect přináší řešení některých problémů a nedostatků, které souvisí s nevhodným natočením postavy, nebo směřováním pohybu proti senzoru. Využití dvou přístrojů najednou dané nevýhody eliminuje, ale zároveň vytváří nadstandardní požadavky na složitější zpracování a výpočet pohybů. V rámci předcházejícího výzkumu by však nebylo možné využít pouze jeden snímací senzor, protože by nedošlo k získání potřebných a úsek s nejkritičtějším úsekem by bylo nutné doanimovat ručně, takže by se ztratila výhody využití Motion Capture technologie – nebylo by navíc pracováno s reálnými daty. Tato výzkumná zkušenost významně přispěla k získání vědomostí o Motion Capture, problematice zpracování pohybu a specifických potřebách zpracování dat pro využití v ergonometrii.

V rámci další předcházející výzkumné činnosti bylo pracováno s virtuálním prostředím, jeho ovládáním a specifiky zobrazení. Účelem bylo vytvoření virtuálního prostředí, ve kterém bude uživatel aktivně pracovat se zobrazeným strojem, pohybovat s tímto strojem, posouvat jej, otáčet, zvětšovat či jej upravovat. Každý z uživatelů potom vyplnil dotazník, kde komparoval virtuální prostředí vizualizované prostřednictvím různých nástrojů – jeskyně – CAVE, 3D monitoru, náhlavního displeje Oculus Rift, či brýlí pro rozšířenou realitu AR Vuzix. Z realizovaného dotazníkového šetření vyplynulo, že nejlépe bylo vnímáno virtuální zařízení HMD Oculus rift, které uživatelům poskytlo nejvyšší míru realističnosti a nabídlo nejvyšší míru funkčnosti z nabízených virtuálních nástrojů pro živou úpravu virtuálního prostředí – viz obrázek č. 16 [47].



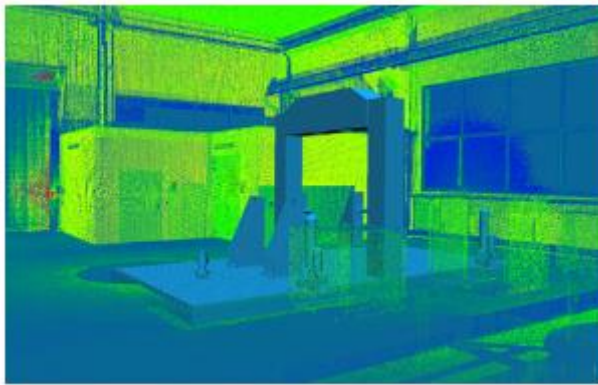
Obrázek 16 Zobrazení virtuálního prostředí v CAVE, zdroj: [47].

Prostřednictvím výzkumu se podařilo identifikovat informace o tom, jak uživatelé vnímají jednotlivé nástroje virtuální reality, jakým způsobem je vhodné realizovat zpracování a vizualizaci prostředí ve virtuální realitě, či co ovlivňuje běžné uživatele těchto zařízení.

Dále bylo v rámci předcházející výzkumné činnosti vytvořeno (modelováno) virtuální prostředí, kdy došlo i k využití nástroje reverzního inženýrství. Při tomto došlo ke 3D laserovému skenování výrobní haly prostřednictvím prostorového skeneru Leica ScanStation.

Výstupem 3D laserového skenování bylo bodové mračno, tedy několik bodových mračen, protože bylo využito více skenovacích pozic. To bylo dáno konstrukcí haly, kdy v hale nebylo žádné místo, z kterého by bylo možné vidět všechny potřebné konstrukční a strojní detaily. Bylo nutné využít několika skenů tak, aby došlo k získání dostatečně kvalitních dat pro další zpracování. Z tohoto důvodu bylo nutné propojit jednotlivá bodová mračna do souvislého a jednotného bodového mračna. Toto bylo zajištěno prostřednictvím markerů, které byly

detailně nasnímány v každém místě skenování, čímž zaručují přesné napojení mračen. V hale o délce 55 metrů pak byla konečná pracovní nepřesnost v řádu milimetrů. Softwarový nástroj Unity umožnil vložení ovládacích funkcí virtuálních zařízení a stroje s možností ovládní – viz následující obrázek č. 17. To zároveň znamená, že se podařilo zpracované bodové mračno očistit nepotřebné šumy a ruchy, které vznikly při skenování a domodelování chybějící části haly [48].

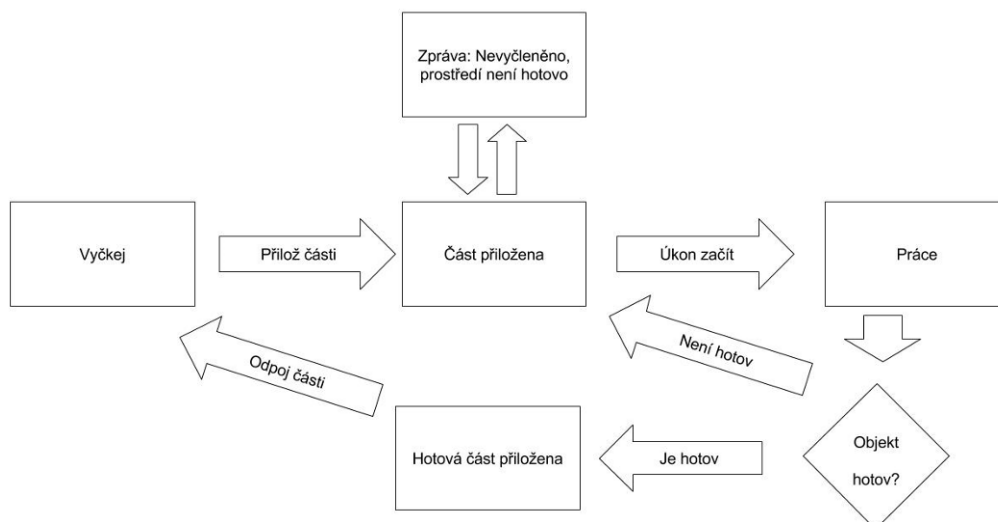


Obrázek 17 Bodové mračno s umístěným modelem, zdroj: [48]

Účast na tomto výzkumu byla přínosná v získání zkušenosti s prací s bodovými mračny, a to zejména v případě, kdy je nutné realizovat více skenů a následně bodová mračna spojit do integrovaného celku. Zároveň se potvrdilo, že prostřednictvím bodových mračen může dojít k nahrazení ručního modelování pracovního prostředí. To je důležité například v rámci ergonomické analýzy pracoviště, kdy lze získané informace o pracovním prostoru kombinovat s daty o pohybu pracovníka, čímž vznikne prostor pro identifikaci příčin vzniku nevhodných ergonomických poloh pracovníků. V prostředí virtuální reality je potom možné pracoviště přemodelovat, aby lépe odpovídalo požadavkům na ergonomii. Animace následně vykazuje vysokou vypovídací hodnotu s vysokou mírou srozumitelnosti pro širokou veřejnost, tedy klesají zde požadavky na odborné znalosti osoby, která bude s výstupy virtuální reality pracovat.

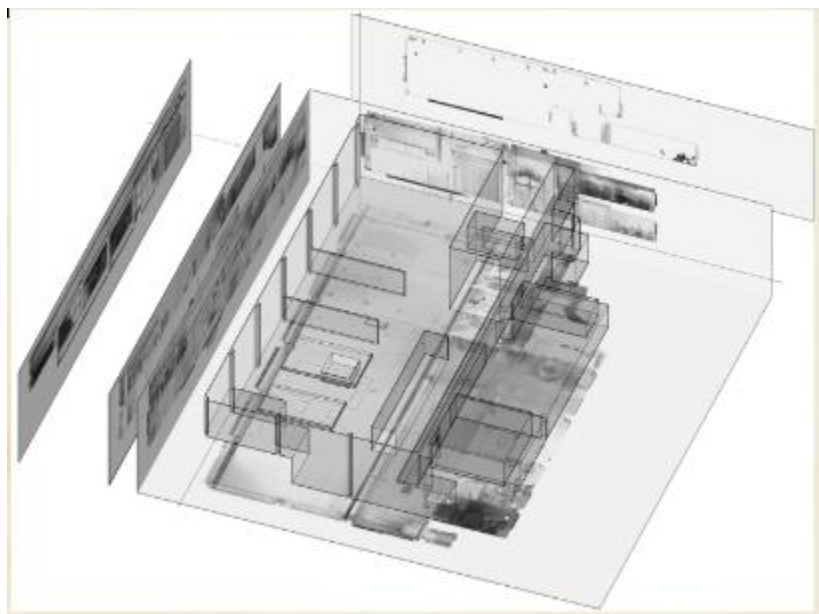
V rámci navazujícího výzkumu byla vytvořena univerzální metodika tvorby virtuálních prostředí, která popisovala jejich specifika, problémy a rizika. To vše bylo na základě výše popsaných virtuálních prostředí a několika dalších edukativních a postupových aplikací.

V tomto výzkumu došlo k tvorbě virtuálního prostředí, které mělo sloužit pro vizualizaci ve virtuálních nástrojích, kde bylo možné s těmito i dále pracovat, ovládat je. Společně s vývojem programů pro tvorbu virtuálních prostředí a s vývojem ovladačů a zobrazovacích zařízení došlo ke kladení požadavků a očekávání na samotná virtuální prostředí, u kterých byla vyžadována, co nejrealističtější podoba, ale také intuitivnost ovládní a funkčnost strojů, přístrojů, aplikací, které jsou zde zobrazené. Metodický postup popisuje blíže následující obrázek č. 18 [49].



Obrázek 18 Metodický postup tvorby virtuálního prostředí, zdroj: [49]

V rámci dalšího předcházejícího výzkumu bylo pracováno s různými možnostmi zpracování bodového mračna. Jako například jeho rozdělení do vrstev a následného automatického vyhodnocení a komparace informací obsažených v jednotlivých řezech. Tímto lze rozložit zkoumaný objekt na jednotlivé obrazce – viz následující obrázek č. 19. [50]



Obrázek 19 Zpracování bodového mračna do vrstev, zdroj: [50]

Předmětem dalšího výzkumu (předcházejícím) bylo vytvoření nástroje virtuální reality, který bude schopen realizovat ergonomickou analýzu. Bylo využito postupu v podobě

nasnímaní měřené osoby prostřednictvím senzorů, transformací na fyzikální (výpočetní) model, zpracování v softwarovém programu, přidání virtuálních modelů a prostřednictvím komunikátoru mezi softwarem a ergonomickou analýzou došlo k přípravě a následné realizaci analýzy. Výstup z analýzy byl zpracován a předložen zpět pro virtuální model v rámci virtuálního prostředí. Vyhodnocení pro měřeného účastníka bylo srozumitelné. Tento postup byl doplněn o informaci o stavu systému, tj. zpětnou vazbu z výpočtu ergonomické analýzy.

Virtuálním nástrojem je znalostní báze postupující podle vytvořené metodiky, sestavené dle několika zkoumaných testovacích pracovišť. Metodika popisovala doporučení a postup snímání prostřednictvím senzoru založeného na LiDar snímcích. Prostřednictvím vytvořeného programového balíku došlo k realizaci ergonomické analýzy RULA, a také ke zpětné vazbě o výsledku ergonomické analýzy pro pracovníka. RULA ergonomická analýza byla realizována dle dat z Motion Capture systému s využitím nově naprogramovaného nástroje dle pravidel analýzy RULA. Konkrétně vyhodnocovala rizikovost polohy pracovníka a informovala jej o výsledku analýzy.

Výstupem ve virtuální realitě bylo virtuální prostředí snímané prostřednictvím prostorového skeneru. Tento poskytl data pro sestavení bodového mračna, dle kterého bylo možné naanimovat virtuální prostředí s animacemi a pracovními úkoly, do kterého byla vložena data získaná Motion Capture analýzou. Virtuální prostředí pak bylo možné pozorovat prostřednictvím tří dimenzí.

V reálném pracovním prostředí pak došlo k navržení optimalizace pro zlepšení ergonomie na pracovišti. Tato změna byla vizualizovaná pro pozorující osobu ve virtuálním prostředí s důrazem na komparaci výsledku ergonomické analýzy v nově navrženém prostředí vůči současnému stavu. Tento výstup bylo možné využít jako prezentační nástroj pro potřeby vnitropodnikových analýz. V tomto prezentačním nástroji je zobrazeno 3D pracovní prostředí (aktuální stav), současné problémy a nově navržené změny, včetně vlivu na ergonomii. Prostřednictvím 3D vizualizace lze změny prezentovat i osobám, které nemají znalosti pro čtení technické dokumentace apod.

Metodiku a postupy z předcházejících výzkumů lze dále využít pro vlastní (nový) výzkum, který je zpracován v rámci této práce. Předcházející výzkumná činnost výrazně přispěla k získání znalostní báze, identifikaci předpokladů a poznatků pro další tvorbu virtuálního prostředí, jeho modifikaci a přizpůsobení pro využití koncovým uživatelem tak, že získá realistický a funkční zážitek (s důrazem na prvek ovladatelnosti). V tomto ohledu byla důležitá zejména práce s bodovými mračny, která vyžadovala komplexní přístup k problematice a specializované řešení problémů, které jsou spjaté se zpracováním bodových mračen z většího počtu skenování. Realizace výzkumů byla navíc podmíněna i efektivní schopností práce s odbornými zdroji, které podávají informace o možnostech přístupu k vlastní výzkumné činnosti.

Nyní lze pozornost zaměřit na vlastní výzkum v rámci zpracování práce, představení jeho výstupů a souvislostí.

5.2 Dotazníkové šetření – primární sběr dat

Dotazníkové šetření bylo realizováno prostřednictvím elektronického dotazování. Toto dotazování bylo provedeno u 15 pracovníků vyvíjejících autosedačky pro 9 různých automobilek v Evropě. Dotazníkovým šetřením je zkoumáno vnímání virtuální reality u expertů

na problematiku autosedaček a pro získání jejich hodnocení metodiky prezentované v této práci. Metodický postup zpracování je popsán v rámci příslušné kapitoly.

1) Využíváte virtuální realitu v rámci činnosti projektu?

Ano

Ne (nepokračuje v šetření)

Nevím (nepokračuje v šetření)

V rámci první otázky respondent odpovídal na to, zda se setkává s využitím virtuální reality. Virtuální realitu v rámci činnosti podniku využívá každý z oslovených respondentů, tedy všech 100 % pracovníků. To znamená, že v dotazníkovém šetření mohl pokračovat každý z respondentů.

Tabulka 2 Vyhodnocení otázky 1

1) Využíváte virtuální realitu v rámci činnosti podniku?	Suma	Podíl
Ano	15	100,00%
Ne (nepokračuje v šetření)	0	0,00%
Nevím (nepokračuje v šetření)	0	0,00%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

2) Využíváte technologii 3D skenování bodových mračen?

Určitě ano

Spíše ano

Neutrální stanovisko

Spíše ne

Určitě ne

V rámci druhé otázky pak bylo zkoumáno, jestli je využíváno i technologie 3D skenování bodových mračen. I tato technologie je využívána ve 100 % případů.

Tabulka 3 Vyhodnocení otázky 2

2) Využíváte technologii 3D skenování bodových mračen?	Suma	Podíl
Určitě ano	15	100,00%
Spíše ano	0	0,00%
Neutrální stanovisko	0	0,00%
Spíše ne	0	0,00%
Určitě ne	0	0,00%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

3) V jaké oblasti využíváte virtuální realitu (označte všechny)?

Edukace pracovníků

Výzkum ergonomie pracoviště

Výzkum ergonomie produktů

Kontrola kvality

Výzkum a vývoj

Design produktů

Simulace a kontrola obtížně opakovatelných situací

Ověření konstrukce nových prototypů

Rozložení pracoviště

Kontrola bezpečnosti

Reverzní inženýrství

Jiné faktory

V rámci třetí otázky respondent označoval, v jaké oblasti využívá virtuální realitu. Ve 100 % případů je virtuální realita využívána pro reverzní inženýrství - kontrolu kvality. Velmi rozšířené je využití virtuální reality (tj. v 93,33 % variant) pro výzkum ergonomie produktů, design produktů. Třetím nejčastějším případem je výzkum a vývoj či kontrola bezpečnosti (tj. v 80 % případů). Dále se virtuální realita využívá pro edukaci pracovníků a ověření konstrukce nových prototypů, a to v 60,00 % případů. Menší počet respondentů využívá virtuální realitu pro vývoj ergonomie pracoviště, rozložení pracoviště, či jiné faktory (tj. v 26,67 % případů). Nejméně je potom virtuální realita využívána pro simulaci a kontrolu obtížně opakovatelných situací, tj. v 20,00 % případů.

Tabulka 4 Vyhodnocení otázky 3

3) V jaké oblasti využíváte virtuální realitu (označte všechny)?	Suma	Podíl
Edukace pracovníků	9	60,00%
Vývoj ergonomie pracoviště	4	26,67%
Vývoj ergonomie produktů	14	93,33%
Kontrola kvality	15	100,00%
Výzkum a vývoj	12	80,00%
Design produktů	14	93,33%
Simulace a kontrola obtížně opakovatelných situací	3	20,00%
Ověření konstrukce nových prototypů	9	60,00%
Rozložení pracoviště	4	26,67%
Kontrola bezpečnosti	12	80,00%
Reverzní inženýrství	15	100,00%
Jiné faktory	4	26,67%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

4) V jaké oblasti využíváte 3D skenování bodových mračen?

Edukace pracovníků

Vývoj ergonomie pracoviště

Vývoj ergonomie produktů

Kontrola kvality

Výzkum a vývoj

Design produktů

Simulace a kontrola obtížně opakovatelných situací

Ověření konstrukce nových prototypů

Rozložení pracoviště

Kontrola bezpečnosti

Reverzní inženýrství

Jiné faktory

Ve čtvrté otázce byla pozornost zaměřena na oblast využití bodových mračen v pracovníkově pracovní náplni. Ve 100 % případů se využívá pro vývoj ergonomie produktů, dále pro nastavení ergonomie na pracovišti nebo ověření konstrukce nových prototypů, tj. v 93,33 % variant. Rozsáhlé je i využití 3D skenování bodových mračen pro kontrolu kvality, což provádí 86,67 % pracovníků. K reverznímu inženýrství je bodových mračen využíváno v 80,00 % případů. Dále se využívá bodových mračen pro výzkum a vývoj, tj. v 73,33 % případů, či pro kontrolu bezpečnosti. Simulace a kontrola obtížně opakovatelných situací je realizována v 53,33 %. Dále potom se využívá bodových mračen pro rozložení pracoviště v 33,33 % případech, či pro jiné účely ve stejném množství variant. Pro edukaci pracovníků se používá bodových mračen v nejmenším počtu případů, a to v 13,33 %.

Tabulka 5 Vyhodnocení otázky 4

4) V jaké oblasti využíváte 3D skenování bodových mračen?	Suma	Podíl
Edukace pracovníků	2	13,33%
Vývoj ergonomie pracoviště	14	93,33%
Vývoj ergonomie produktů	15	100,00%
Kontrola kvality	13	86,67%
Výzkum a vývoj	11	73,33%
Design produktů	12	80,00%
Simulace a kontrola obtížně opakovatelných situací	8	53,33%
Ověření konstrukce nových prototypů	14	93,33%
Rozložení pracoviště	5	33,33%
Kontrola bezpečnosti	11	73,33%
Reverzní inženýrství	12	80,00%
Jiné faktory	5	33,33%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

5) Jaké prvky pro vizualizaci využíváte (označte všechny)?

CAVE

3D monitor

Náhlavní displej

Brýle

Jiné

V rámci další otázky respondent označoval, jaké prvky pro vizualizaci využívá. Ve všech případech je využíváno monitoru pro vizualizaci virtuální reality. Dále patří mezi velmi využívané 3D brýle, s kterým při vizualizaci pracuje 93,33 % dotazovaných. Náhlavní displej používá 73,33 % respondentů a jen jeden pracovník využívá technologii CAVE tj. 6,67 % dotazovaných.

Tabulka 6 Vyhodnocení otázky 5

5) Jaké prvky pro vizualizaci využíváte (označte všechny)?	Suma	Podíl
CAVE	1	6,67%
3D brýle	14	93,33%
Náhlavní displej	11	73,33%
Monitor	15	100,00%
Jiné	0	0,00%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

6) Označte svoji spokojenost/nespokojenost s těmito prvky (v rámci reálnosti):

CAVE

3D monitor

Náhlavní displej

Brýle

Jiné

Šestá otázka se zabývala reálností využívaných nástrojů. Tato by měla být v žádoucím případě na, co nejvyšší úrovni. S reálností technologie CAVE je velmi spokojeno 100 % respondentů. U 3D brýlí je míra reálnosti na horší úrovni, kdy je velmi spokojeno pouze 7,14 % dotazovaných a spíše spokojeno 28,57 % respondentů, tedy objevuje se i nespokojenost, což u dalších prvků není pravidlem. Spíše nespokojeno je 28,57 % dotazovaných a velmi nespokojeno bylo 14,29 % respondentů. Neutrální hodnocení uvedlo 21,43 % respondentů. S funkcí náhlavního displeje je velmi spokojeno 54,55 % dotazovaných a spíše spokojenost uvedlo 36,36 % respondentů. Neutrálně se k tomuto vyjádřilo 9,09 % respondentů. S monitorem vykázala vysokou míru spokojenosti vzhledem k jejich reálnosti celkem 73,33 % dotazovaných. Spíše spokojeno bylo 20,00 % respondentů a neutrální variantu zvolilo 6,67 % respondentů.

Tabulka 7 Vyhodnocení otázky 6

6) Označte svoji spokojenost/nespokojenost s těmito prvky (v rámci reálnosti):	Velmi spokojen	Spíše spokojen	Neutrál ně	Spíše nespokoj en	Velmi nespokoj en
CAVE	100%	0%	0,00%	0,00 %	0,00 %
3D brýle	7,14 %	28,57 %	21,43%	28,57 %	14,29 %
Náhlavní displej	54,55 %	36,36 %	9,09%	0,00 %	0,00 %
Monitor	73,33 %	20,00 %	6,67%	0,00 %	0,00 %

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

7) Označte svoji spokojenost/nespokojenost s těmito prvky (v rámci funkčnosti):

CAVE

3D monitor

Náhlavní displej

Brýle

Jiné

V rámci sedmé otázky byla pozornost zaměřena na hodnocení funkčnosti. S funkčností technologie CAVE bylo velmi spokojeno 100 % dotazovaných. Dále byla hodnocena technologie 3D brýlí, s kterou vykázalo velkou spokojenost 35,71 % respondentů a spíše spokojenost zde uvedlo 42,86 % dotazovaných. Neutrální variantu uvedlo 14,29 % respondentů a spíše nespokojenost vykázalo 7,14 % respondentů.

U náhlavního displeje byla zaznamenána velmi vysoká spokojenost z hlediska funkčnosti u 45,45 % respondentů a spíše spokojenost panovala u 27,27 % respondentů. Neutrální stanovisko zde uvedlo 18,18 % dotazovaných. Spíše nespokojenost deklarovalo 9,09 % respondentů. Velmi dobře byla hodnocena funkčnost u monitoru, což uvedlo 53,33 % respondentů ve variantě velmi spokojen. Spíše spokojeno bylo 26,67 % respondentů.

Neutrální hodnocení uvedlo 6,67 %, což je stejně jako u variant spíše nespokojen a velmi nespokojen.

Tabulka 8 Vyhodnocení otázky 7

7) Označte svoji spokojenost/nespokojenost s těmito prvky (v rámci funkčnosti):	Velmi spokojen	Spíše spokojen	Neutrálně	Spíše nespokojen	Velmi nespokojen
CAVE	100%	0%	0%	0,00%	0,00%
3D brýle	35,71%	42,86%	14,29%	7,14%	0,00%
Náhlavní displej	45,45%	27,27%	18,18%	9,09%	0,00%
Monitor	53,33%	26,67%	6,67%	6,67%	6,67%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

8) Využíváte skenování bodových mračen v rámci výroby či kontroly autosedaček?

Určitě ano

Spíše ano

Neutrální stanovisko

Spíše ne

Určitě ne

V osmé otázce se pozornost zaměřila na využití skenování bodových mračen u autosedaček, což úzce souvisí s realizací vlastního výzkumu v rámci zpracování této práce. Skenování bodových mračen využívají všichni dotazovaní pracovníci, ale míra využití je odlišná. Většina respondentů (tj. 73,33 %) však využívá skenování bodových mračen ve velké míře.

Tabulka 9 Vyhodnocení otázky 8

8) Využíváte skenování bodových mračen v rámci výroby či kontroly autosedaček?	Suma	Podíl
Určitě ano	11	73,33%
Spíše ano	4	26,67%
Neutrální stanovisko	0	0,00%
Spíše ne	0	0,00%
Určitě ne	0	0,00%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

9) Poznatky z výzkumu realizovaného v rámci práce hodnotíte jako:

Velmi přínosné

Spíše přínosné

Neutrálně

Spíše bez přínosu

Určitě bez přínosu

Tento výzkum byl realizován až po vytvoření následně popsané metodiky, dotazníkové šetření je v této práci uvedeno zde, jelikož bude pracováno s daty z tohoto šetření. V rámci deváté otázky došlo k hodnocení poznatků z výzkumu realizovaného v rámci práce. Každý respondent obdržel shrnutí výsledků prováděného šetření, aby mohl na tuto otázku relevantně odpovědět. Většina respondentů (tj. 80,00 %) uvedla, že jsou výsledky velmi přínosné. Dalších 20,00 % hovoří o tom, že jsou výsledky spíše přínosné.

Tabulka 10 Vyhodnocení otázky 9

9) Poznatky z výzkumu realizovaného v rámci práce hodnotíte jako:	Suma	Podíl
Velmi přínosné	12	80,00%
Spíše přínosné	3	20,00%
Neutrálně	0	0,00%
Spíše bez přínosu	0	0,00%
Určitě bez přínosu	0	0,00%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

10) Patříte do kategorie:

Vývojový pracovník autosedaček

Výrobní pracovník autosedaček

V rámci poslední otázky respondent uváděl, do které kategorie patří, tedy jestli jde o vývojového pracovníka autosedaček, či výrobního pracovníka autosedaček. Z výsledků je zřejmé, že v 73,33 % případů došlo k oslovení konkrétních vývojářů. V 26,67 % případů se jednalo o pracovníky z výroby.

Tabulka 11 Vyhodnocení otázky 10

10) Patříte do kategorie:	Suma	Podíl
Vývojový pracovník autosedaček	11	73,33%
Výrobní pracovník autosedaček	4	26,67%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků dotazníkového šetření

5.3 Shrnutí výsledků dotazníkového šetření

Účelem dotazníkového šetření bylo prozkoumat, do jaké míry se využívá v organizace automobilového sektoru virtuální reality a bodových mračen v rámci svojí činnosti, a také v jakých konkrétních oblastech. Dalším z cílů dotazníkového šetření bylo získat zpětnou vazbu od reálných pracovníků na to, jestli jsou výsledky vlastního výzkumu této práce v jejich praxi využitelné.

Z výsledků šetření je zřejmé, že je virtuální realita a technologie 3D skenování bodových mračen, běžnou součástí organizačních procesů u daného dodavatele automobilových sedaček.

Virtuální realita a 3D skenování bodových mračen se využívá v široké řadě různých případů, což koresponduje s informacemi, které jsou získané prostřednictvím literární rešerše. Je však zřejmé, že některé aktivity jsou častější, než jiné aktivity. To může být dáno různými faktory, jako například aktuální potřebou dané organizace, přístupem k využití virtuální reality, lidskými zdroji, které vytváří interní procesy apod.

Z hlediska prvků pro vizualizaci je nejrozšířenějším využitím monitoru pro virtuální realitu, kdy zároveň platí, že monitor dosahuje nejlepšího hodnocení u reálnosti a funkčnosti (zde jsou na druhém místě, ale hodnotil je větší počet respondentů). Ostatní technologie v tomto případě nevykazují takové rozšíření, či takovou spokojenost s jejich reálností či funkčností.

Vzhledem k vlastnímu výzkumu realizovanému v rámci práce lze velmi pozitivně hodnotit zjištění, že u dodavatele různých automobilek využívají skenování bodových mračen při výrobě či kontrole autosedaček, tedy jedná se o jev, který se v praxi běžně objevuje, a jehož zkoumání a zdokonalování je vysoce žádoucí. Právě z důvodu vysoké míry využití této technologie.

Dalším pozitivním zjištěním je skutečnost, že nadpoloviční většina respondentů hodnotí výsledky vlastního výzkumu jako velmi přínosné. To znamená, že tento vlastní výzkum generuje zjištění, která se uplatní i v praxi, tedy existuje reálný přínos výsledků výzkumu.

Dotazníkové šetření tímto přineslo kvalitní poznatky o tom, do jaké míry je využíváno 3D skenování a virtuální reality, a také o tom, jak hodnotí výsledky výzkumu potenciální uživatelé.

V rámci vědeckého zkoumání problematiky však v minulosti došlo ještě k realizaci dalších výzkumů, které se zabývají řešenou problematikou, a z kterých je možné čerpat inspiraci pro vlastní návrh metodiky. Na základě tohoto nyní dojde k představení sekundárních výzkumů a jejich metodik skenování autodílů či automobilů.

5.4 Sekundární výzkumy a metodiky skenování autodílů

V následující kapitole se nachází návrh vlastní metodiky pro skenování bodových mračen u autosedaček a využití výstupů z tohoto skenování. Před návrhem vlastní metodiky je ještě vhodné identifikovat, jaká byla metodika skenování ve výzkumech na podobné téma, tj. zkoumání vzorků autodílů prostřednictvím bodových mračen, způsoby řešení podobných problémů. V závěru vlastního návrhu metodiky lze potom komparovat navrhovaný postup s řešením, které bylo realizováno v rámci těchto sekundárních šetření.

Výzkum autorů Berga a Vance mezi organizacemi využívajícími virtuální realitu potvrdil, že jde o vysoce užitečnou a efektivní technologii v různých průmyslových odvětvích. Z výsledků vyplývá, že jde o technologii zralou, stabilní a použitelnou. V řadě průmyslových oborů se využívá na podporu rozhodování a umožnění inovací [96].

Výzkum autorů Baek, Cho, Bang využil 3D laserové skenování bodových mračen pro zefektivnění procesu vyrovnávání kol automobilů, tedy skenoval bodová mračna kol, aby navrhl jednoduchou a nenákladnou metodu využívající hlubokou detekční kameru, která využívá bodová mračna pro získání geometrických informací o kole a realizaci postupů pro vyrovnání [97]. Výzkum autora Zhou prokázal, že lze 3D laserové skenování bodových mračen velmi efektivně využívat při reverzním inženýrství u automobilů. Využití těchto technologií může zlepšit účinnost rekonstrukce modelů autodílů a vygenerovat jeden standardizovaný způsob rekonstrukce těchto autodílů s komplexním povrchem [98].

Výzkum autorů Hagedorn-Hansena, Bezuidenhouta, Dimitrova a Oosthuizeny se zaměřil na možnosti zlepšení vývoje a výroby složitých geometrických součástek v leteckém, lékařském a automobilovém průmyslu. Jejich vývoj a výroba se často spojuje s vysokými náklady, dlouhou dobou výroby a problémy s jejich integritou vůči výrobnímu procesu. Výzkum autorů využil různé strategie laserového skenování, aby zaznamenal odchylky těchto částí. Využitá metodika vedla k tomu, že nově vyvinutá strategie laserového skenování snížila míru deformace, více než současné komerční řešení [99].

Autor Doshi a kolektiv realizoval vlastní výzkum využití virtuální reality v automobilce General Motors. Výzkum se zaměřil na možnost využití virtuální reality pro zlepšení výrobních postupů a technik, které mají zlepšit ověření přesnosti bodových svárů. Prostřednictvím navržené metodiky virtuální a rozšířené reality došlo ke snížení standardní odchylky ručního umístění bodového sváru, a to o 52 % [100].

5.4.1 Approach to evaluation of car seats fabrics performance

Výzkum Glombikové a kolektivu autorů se zaměřil na komplexní hodnocení tkanin autosedaček z hlediska jejich kompresního chování, změny tloušťky při dynamickém zatížení, tepelné vlastnosti, odolnost vůči vodní páře, řízení vlhkosti, a také na propustnost vzduchu. Každá z tkanin autosedačky byla zkoumána v rámci [41]:

- Fyziologické vlastnosti – tj. například odolnost vůči tepelným a vodním parám, vzdušnost a dynamické vlastnosti transportů kapalin vzorků.
- Tlakové charakteristiky – kolísání tloušťky pod tlakem, dynamické zatížení a relaxační chování testovaných vzorků.
- Analýzu 3D obrazu – za účelem poznání vnitřní struktury autosedačky, k čemuž byl využit tomografický systém.

Výsledky z těchto metod potom byly porovnány a diskutovány za účelem pochopení vlastností testovaných materiálů. Pro analýzu 3D obrazu byl v tomto případě využit počítačový tomograf Skyscan 1272. Tento pracuje na jiném principu než 3D laserový skener, a tedy realizovaná metodika se odlišuje ve využití jiného nástroje pro získání relevantních dat o vnitřní struktuře autosedaček. Tomograf využívá rentgenového záření, nikoliv laseru.

Ve vlastním výzkumu došlo k využití laserového 3D skeneru, protože s tímto má autor zkušenosti, ale také z toho důvodu, že je využití laserového 3D skeneru v automobilovém průmyslu obvyklejší (jak například dokládají výsledky z dotazníkového šetření). Návrh metodiky s využitím laserového skeneru, tedy odpovídá potřebám automobilek a vybavení, které nejvíce využívají.

Z výsledků výzkumu Glombikové a kol. nevyplývá, že existují nějaké významné rozdíly v tkaninách, které se využívají pro potahy autosedaček, a to s ohledem na jejich konektivitu. Nicméně, s ohledem na komfort sezení jsou mezi jednotlivými typy potahů viditelné rozdíly. Některé z tkanin mají vhodnější propustnost vzduchu a vodních par, či mechanickou odolnost. Toto se podařilo potvrdit právě využitím 3D technologie. [41]

Využití metodiky z tohoto výzkumu kolektivu autorů tedy není problematické a může vést k relevantním zjištěním, ale nemůže dojít k úplné inspiraci, protože nedošlo k využití stejné technologie pro získání relevantních dat, tj. zejména s ohledem na skenování prostřednictvím laserového zařízení. Pro účely vlastního výzkumu je důležité zjištění, že mezi jednotlivými typy autosedaček existují různé rozdíly, které jsou ovlivněné tím, jaký mají potah, či jakou pěnou jsou vyplněné. Z tohoto důvodu se jako žádoucí jeví realizace vlastního výzkumu a prozkoumání různých typů autosedaček prostřednictvím 3D laserového skenování a bodových mračen.

5.4.2 Modeling vehicle collision angle in traffic crashes based on three-dimensional laser scanning data

Výzkum autorů Lyu a kol. využil 3D laserové skenování automobilů pro 3D rekonstrukci automobilových nehod. Analýza kolizního úhlu vozidla hraje klíčovou roli při určování příčiny dopravní nehody, ale v řadě faktorů chybí dostatečné fyzické důkazy o těchto úhlech. Výzkum se proto zaměřil na tvorbu metodiky, s jejíž pomocí lze identifikovat právě vztah mezi kolizním úhlem a deformací. Správnost navrhovaného modelu byla ověřena právě prostřednictvím 3D laserového skenování části automobilu (v zóně kolizní deformace). 3D laserové skenování zde bylo využito jak v laboratorních podmínkách (při řízené nárazové zkoušce), tak v praxi (při

zkoumání reálné dopravní nehody). 3D laserové skenování proběhlo před nárazem a po nárazu (v rámci laboratorního testu). V rámci reálné nehody pak proběhlo až po nárazu. Prostřednictvím speciálního software pak byla kalkulována hodnota deformace a byl identifikován kolizní úhel vozidel [51].

Tento metodický postup je pro zpracování vlastního metodického postupu důležitý v tom, že se potvrdilo, že 3D skenování osobních automobilů (či jejich částí) přináší výsledky, které lze využít v praxi pro zlepšení či pro dosažení jiných cílů. Výzkum poskytuje nový pohled na to, jakým způsobem využívat 3D laserové skenování automobilů při řešení dopravních nehod, ale zároveň je inspirací pro jiné výzkumy, ve kterých hraje významnou roli, také problematika 3D skenování osobních automobilů.

5.4.3 Car seat backrest static strength experiment and simulation

Výzkum Xu a kolektiv zkoumal vlastnosti konstrukce autosedaček a rozložení zatížení autosedačky, aby mohl vytvořit model statické pevnosti automobilu. Tento model dle autorů (resp. výstupu výzkumu) povede ke snížení nákladů na výrobu autosedaček, včetně časových nákladů na jejich navrhování, protože modeluje a simuluje jejich „chování“. V rámci výzkumu kolektiv autorů aktivně využíval 3D laserové skenování, bodová mračna či simulaci v rámci virtuální reality [39].

Výstup z tohoto výzkumu (resp. odborný článek) ovšem podrobnějším způsobem nepopisuje metodiku, kterou autoři využívají. To znamená, že pro účely vlastního výzkumu je podstatné zjištění, že se podařilo prostřednictvím využití 3D laserového skenování dosáhnout konkrétních přínosů pro reálné automobilky, což potvrdilo, že má tato technologie v rámci automobilového průmyslu vysoký potenciál a je vhodné tuto využívat v rámci výzkumné činnosti. 3D laserové skenování a virtuální realita mohou dle výsledků tohoto výzkumu přinést skutečně pozitivní efekty.

5.4.4 Comfort analysis of automobile seats based on 3D human models in SolidWorks

Výzkum autorů Zhang a kol. se zaměřil na využití softwarového nástroje SolidWorks pro testování komfortu a ergonomických charakteristik automobilových autosedaček. Studie těchto autorů umožnila zhodnotit dopady různého designu autosedaček na ergonomii uživatele autosedačky, a to tím, že bylo využito 3D modelu lidského těla (resp. různých 3D modelů lidských těl). Na základě vzájemné interakce v 3D prostředí pak autoři navrhuji doporučení pro zlepšení pozitivních ergonomických vlastností automobilových sedaček. Metodika výzkumu modelovala lidské tělo a autosedačku ve vzájemné interakci, takže výzkumník byl schopen zkoumat různé polohy těla při řízení automobilu, či při využití automobilu. K tomuto bylo využito speciálního software [38].

Pro účely práce (resp. vlastního výzkumu v rámci práce) je podstatné, že výzkum těchto autorů prokázal, že lze prostřednictvím vhodného softwaru, virtuální reality a modelování v software nalézt opatření ke zlepšení funkčnosti autosedaček, designu autosedaček, kdy mají tato opatření reálné a pozitivní vlivy na uživatele. Zároveň se potvrdilo, že není nutné provádět nákladná testování s reálnými modely lidských těl, ale stačí využít počítačové (resp. virtuální) simulace prostřednictvím specializovaného software. Pro vlastní výzkum je takové zjištění žádoucí, protože potvrzuje, že prostřednictvím vhodné metodiky a prostřednictvím vhodného softwaru lze dosáhnout pozitivní výsledků v rámci celého snažení.

5.4.5 Simulation LIDAR point cloud for autonomous driving using real-world scenes and traffic flows

Ve výzkumu autorů Fang a kol. došlo k využití 3D laserového skenování bodových mračen automobilů za účelem zlepšení dopravní situace. To znamená, že laserový skener zachycoval scény reálného prostředí, u kterých potom proběhlo vyhodnocení v reálném prostředí. Prostřednictvím 3D laserového skenování se podařilo zachytit bodové mračno reálného provozu, a tedy identifikovat možnosti zlepšení dopravní situace, protože zároveň došlo k detekci a klasifikaci základních překážek (a to prostřednictvím simulace) [52].

Pro účely práce je metodika tohoto výzkumu podstatná v tom, že potvrdila, že lze prostřednictvím 3D skenování automobilů identifikovat prostor pro budoucí zlepšení, a tedy, že je využití 3D laserového skenování a bodových mračen prospěšné. Zároveň z výzkumu plyne, že virtuální realita a modelování prostřednictvím virtuální reality vede ke zdokonalení.

Předcházející kapitoly obsahují ucelené informace o řešené problematice, ať už sekundárního či primárního charakteru. Z pohledu autora se jedná o dostačující podklady pro vlastní návrh výzkumného rámce a řešerše poslouží jako základ metodiky skenování bodových mračen u komponentů.

5.5 Výzkum v rámci zpracování práce

V rámci výzkumné činnosti v rámci zpracování práce byla pozornost soustředěna na 3D laserové skenování zadních autosedaček. Příprava vzorku ke skenování v rámci výzkumu je zobrazena na obrázku č. 20.



Obrázek 20 Usazení autosedačky do držáku, zdroj: vlastní skenování

Přímým výstupem z realizovaného laserového 3D skenování je mračno bodů, tedy miliony bodů, které zaznamenávají odrazy laserových paprsků. S těmito výstupy lze nyní ještě dále pracovat. Výstup má v tomto případě vizualizovanou formu v podobě obrázku bodového mračna. Obrázek znázorňuje porovnání bodového mračna vůči 3D CAD modelu s vizualizací, pomocí barevné škály, vzdálenosti jednotlivých bodů od samotného modelu v rámci koordinačního systému automobilu (x , y , z) při příslušném měření. Souřadný systém (x , y , z) vychází z souřadného systému automobilu. Tento byl pro každé měření nastaven stejně. Osa x je vedena od loga na kapotě vozu směrem dozadu. Osa y je vedena od středu auta ke dveřím

doleva a doprava. Osa z je vedena od podlahy směrem vzhůru. Prostřednictvím souřadného systému má každý použitý díl svoje vlastní souřadnice (hodnoty polohy x, y, z) v rámci automobilu. Při skenování je tímto získáváno právě bodové mračno, tj. reálná poloha vyrobených dílů, která je následně komparována s 3D daty – informacemi o ideální/navržené poloze dílu v rámci automobilu.

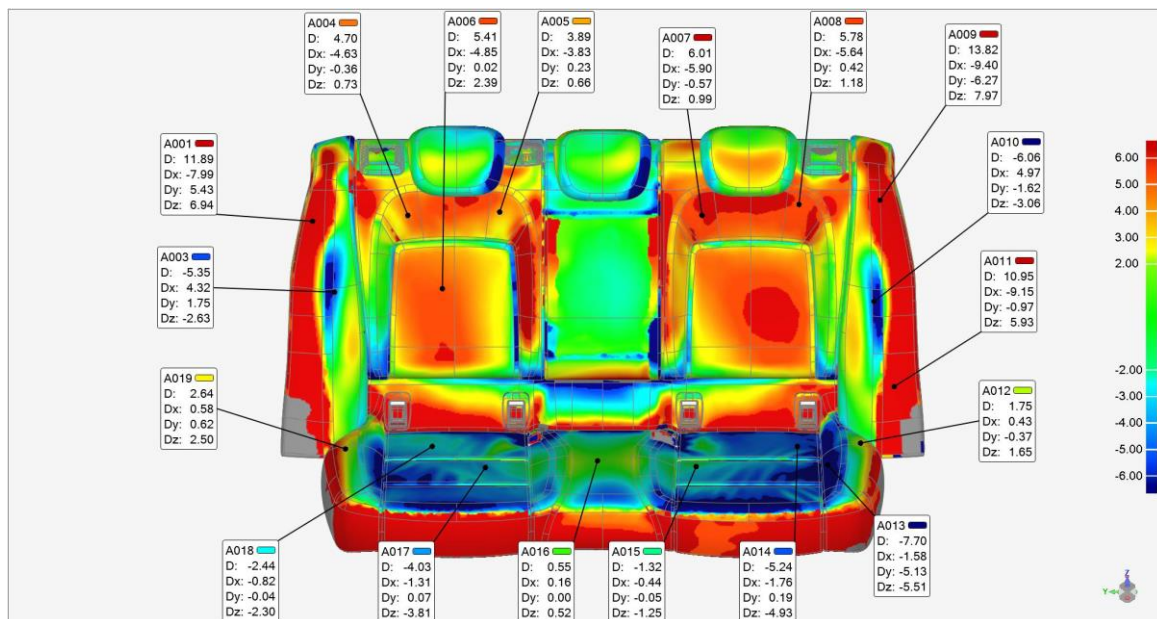
Hodnota D (displacement) je hodnotou naměřené odchylky zkoumaného bodu v rámci jednotlivých os a v rámci souřadného systému. Dále je na následujících obrázcích graficky znázorněna i barva každého bodu naměřeného bodového mračna, což značí tvarovou odchylku od původního 3D modelu, který zde reprezentuje ideální stav sedačkového systému. Pro konkrétní zkoumaný sedačkový systém, je dle celkových technických požadavků automobilky na sedačkový systém, zvoleno toleranční pásmo maximální odchylky tvaru o hodnotě $\pm 6\text{mm}$. Nasnímané části autosedaček pak mají ještě kódové označení (dle aktuálního měření) za účelem přehlednějšího zpracování výsledků.

5.5.1 Skenování vzorků

Samotný sběr dat u 525 zkoumaných vzorků probíhal v období od března 2016 do února 2017. Níže jsou zobrazeny jednotlivé výsledky měření reprezentující každou z měřených verzí, které se liší materiálem potahu automobilové sedačky, charakteristické pro různé výbavové stupně automobilu. Zobrazené výsledky zkoumání jsou reprezentativními výsledky měření ve společnosti Lear Corporation a pocházejí z vývojové fáze automobilové sedačky. Pro názvy jednotlivých druhů materiálů a specifikací není použito komerčních, chráněných názvů, které jsou duševním vlastnictvím automobilky, pro kterou byly tyto autosedačky vyvíjeny, proto je přistoupeno k pracovnímu označování materiálů, které výstižně reprezentují jednotlivé zkoumané varianty.

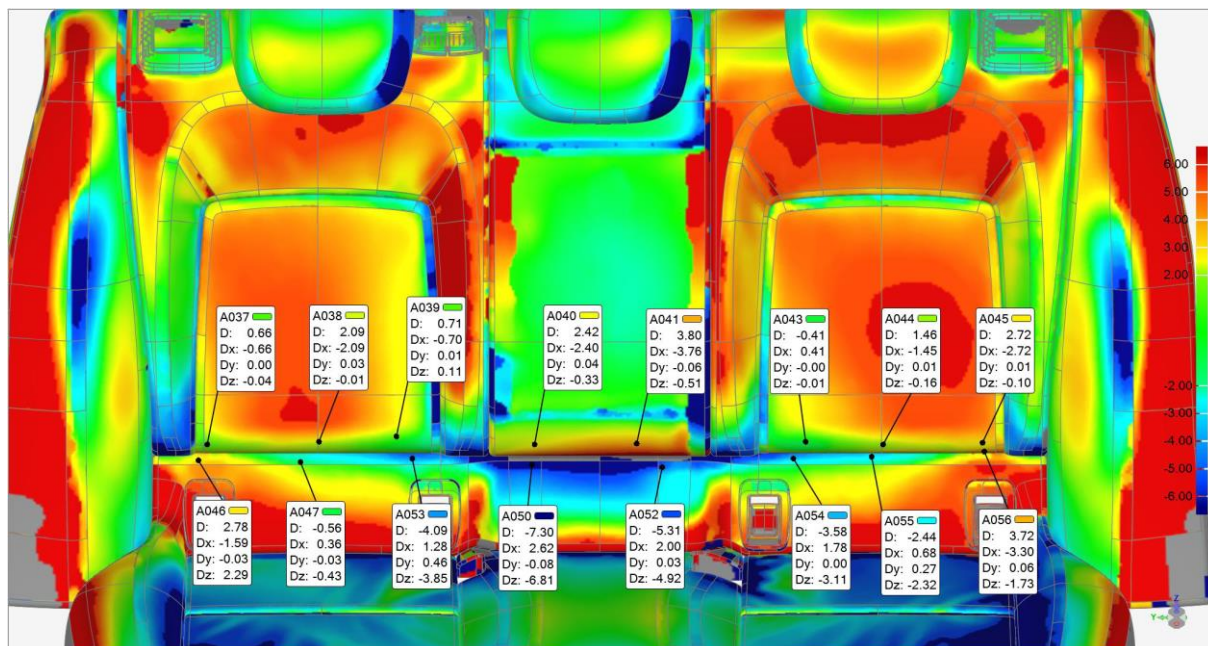
- Skenování I verze s koženým potahem (dne 29. května 2016)

Dne 29. května 2016 proběhlo skenování autosedačky s koženým potahem. Výstup skenování je graficky zobrazen na následujících obrázcích č. 21 a 22. Tvarová odchylka bodového mračna je v tomto případě nejvyšší v oblasti A009, kde dosahuje hodnoty 13,82mm. Naopak, největší záporná odchylka (propad mračna proti ideálnímu tvaru) se dosahuje v oblasti A013, kdy se jedná o $-7,70\text{mm}$. Obě hodnoty výrazně překračují maximální limit odchylky od ideálního tvaru, který má hodnotu 6mm.



Obrázek 21 Skenování I kožený potah, zdroj: vlastní skenování

Obrázek číslo 22 se soustředí na detailní zobrazení hodnot tvarové nepřesnosti v oblasti přechodu mezi sedákem a opěradli autosedačky s koženým potahem. Z výsledků plyne, že nejintenzivnější bodové mračno bylo v oblasti A056 s hodnotou 3,72mm. Nejmenší hodnota pak byla zaznamenána v oblasti A050, tj. -7,30mm. Tímto měřením lze u tohoto zkoumaného vzorku vyvrátit teorii možného ovlivnění negativních naměřených hodnot sedáku sedačky jejím zmáčknutím od opěradel.

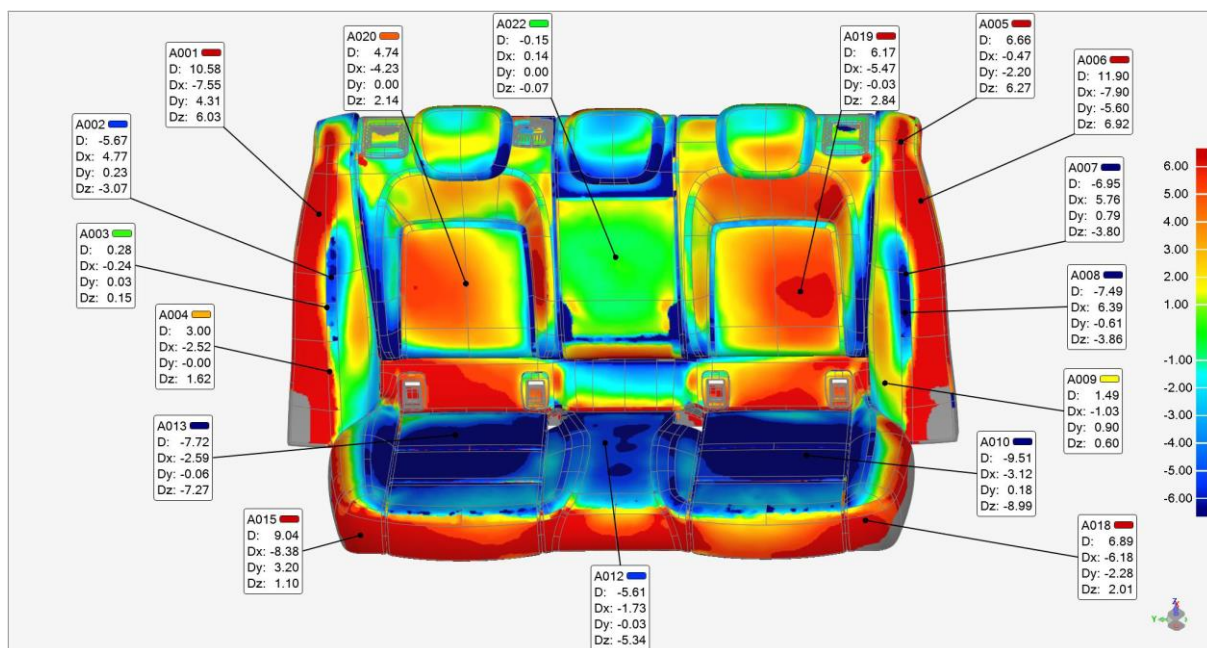


Obrázek 22, Skenování I kožený potah II, zdroj: vlastní skenování

- Skenování II prémiová verze koženého potahu s hladkou kůží (dne 7. října 2016)

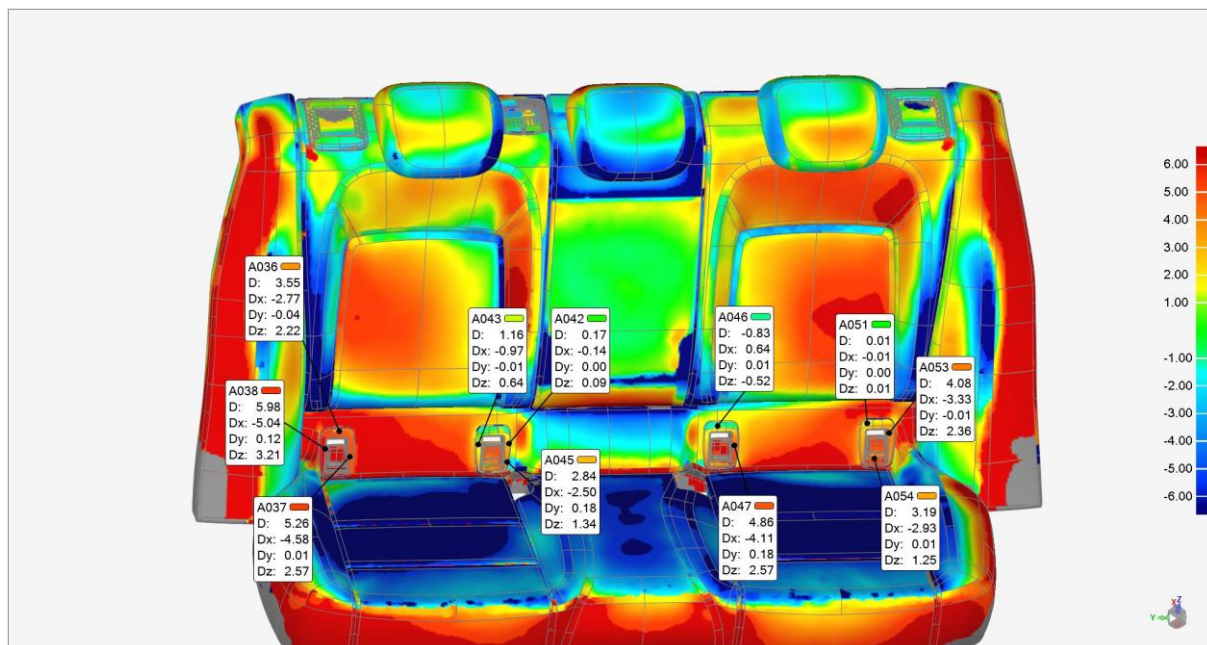
Dne 7. října 2016 bylo provedeno další skenování autosedaček, a to prémiové verze koženého potahu – hladké kůže.

Z tohoto skenování vyplývá, že došlo ke generování podobných výsledků, jako u předchozího skenování I. Nejvíce tvarově odchylený bod bodového mračka se nachází v oblasti A006, tj. s hodnotou 11,90mm. Bod s největší negativní tvarovou odchylkou se nachází v oblasti A010, tj. hodnota -9,51mm. To znamená, že z hlediska oblastí se jedná o podobné oblasti, ale naměřené hodnoty se neshodují (viz obrázek č.23 a 24).



Obrázek 23, Skenování II kožený potah prémiová verze, zdroj: vlastní skenování

Detail skenování II na obrázku 24 se zabývá možným ovlivněním tvaru sedačkové pěny od promáčknutí plastovými krytkami, které slouží k definování polohy upínacích drátů pro upevnění dětské autosedačky (Isofix). Bod s nejvyšší odchylkou v tomto měření je A038 s hodnotou 5,98 mm. Největší tvarový propad se nachází v oblasti A046 s hodnotou -0,83mm. V tomto případě došlo ke zjištění, že ani plastové krytky nezpůsobují ovlivnění tvarové nepřesnosti autosedačky.

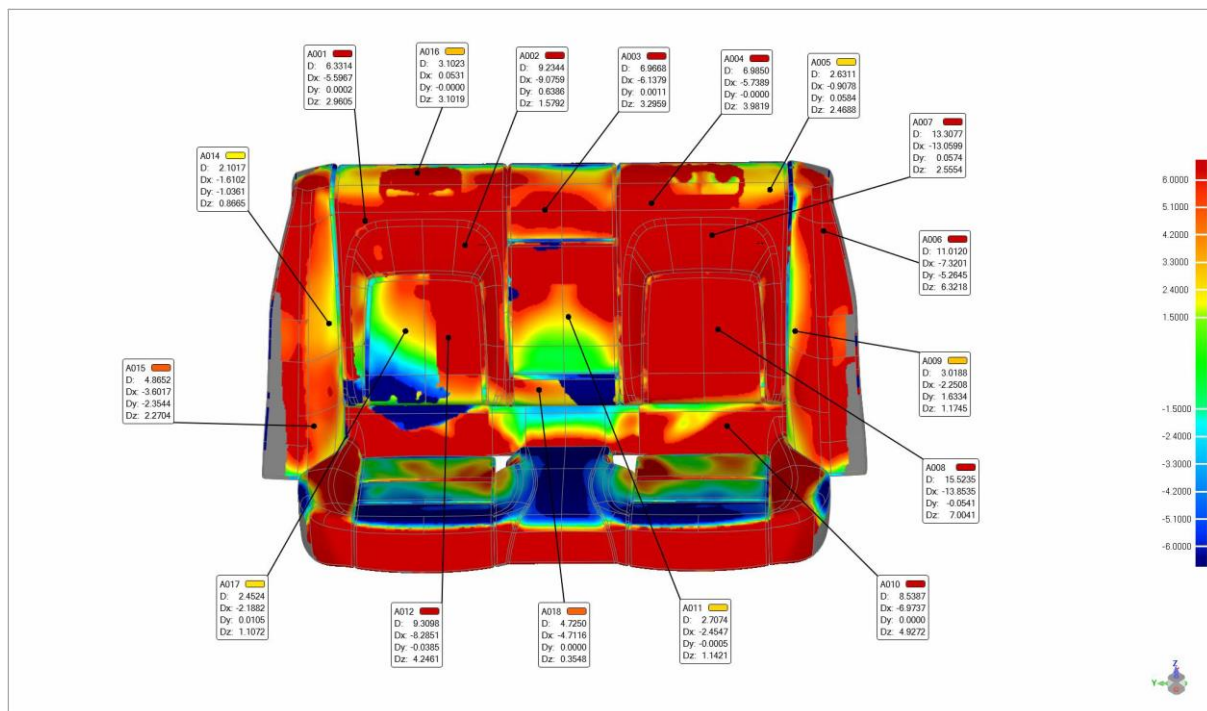


Obrázek 24, Skenování II kožený potah prémiová verze II, zdroj: vlastní skenování

- Skenování III speciální verze kůže u koženého potahu (dne 28. ledna 2017)

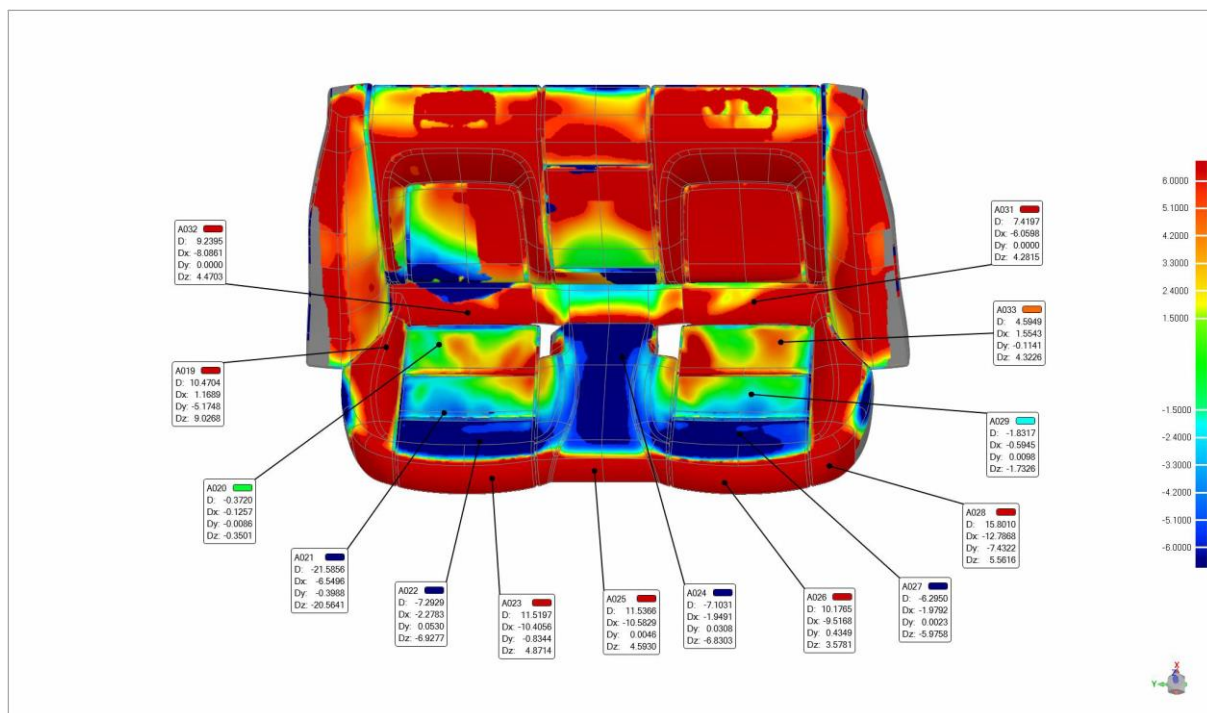
Dne 28. ledna 2017 proběhlo skenování kožené varianty autosedačky, a to se speciální verzí kůže. Výstupy jsou uvedené na následujících obrázcích č.25 a 26.

Na obrázku č. 25 je znázorněno, že bodové mračno v oblasti zadního opěradla je výrazně odchyleno směrem dopředu od ideálního tvaru sedačky. Největší odchylka potom dosahuje oblast A008 o hodnotě 15,52mm.



Obrázek 25, Skenování III kožený potah speciální verze kůže, zdroj: vlastní skenování

Na obrázku č. 26 jsou zobrazeny hodnoty tvarové nepřesnosti pro díl automobilového sedáku speciální kožené verze. Obdobně, jako v předcházejících případech skenování z těchto výsledků vyplývá, že největší tvarový přesah se nachází v oblasti A028 s hodnotou 15,80mm. Největší tvarový propad je zaznamenán v oblasti A021 s hodnotou -21,58mm. Při porovnání s předcházejícími skenováními autosedaček je zřejmé, že se jedná o výsledky, které jsou rozdílné z hlediska oblastí či dosažených hodnot tvarové nepřesnosti (v rámci minima a maxima).

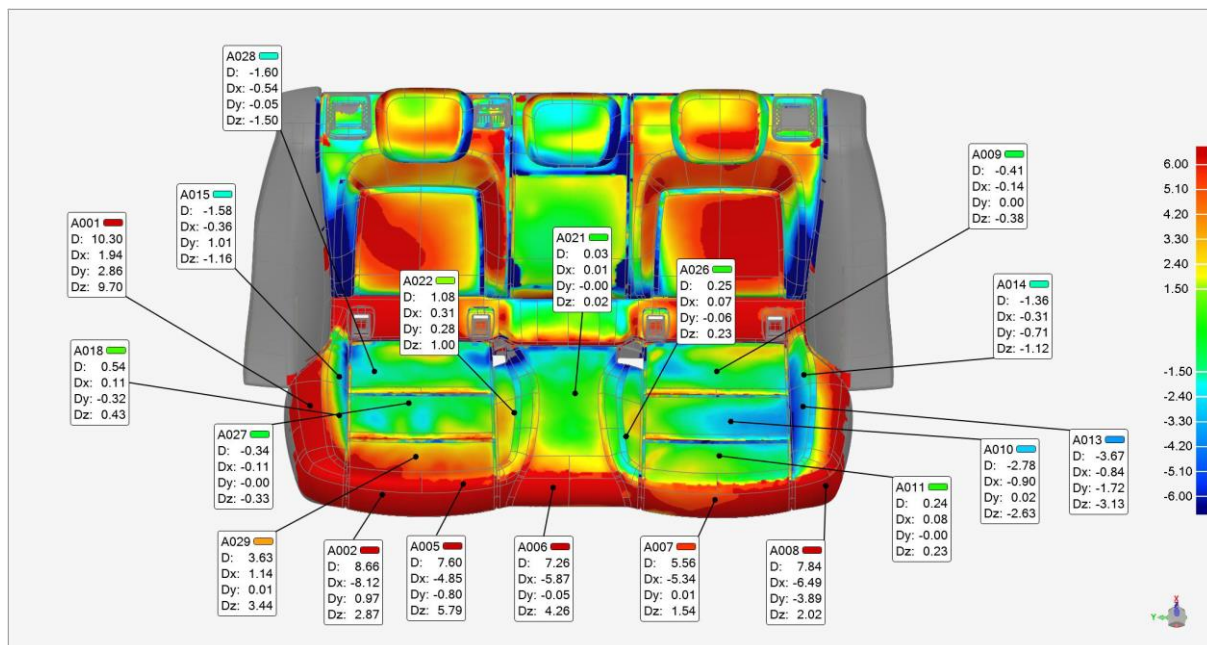


Obrázek 26 Skenování III kožený potah speciální verze kůže II, zdroj: vlastní skenování

- Skenování IV (dne 30. října 2016)

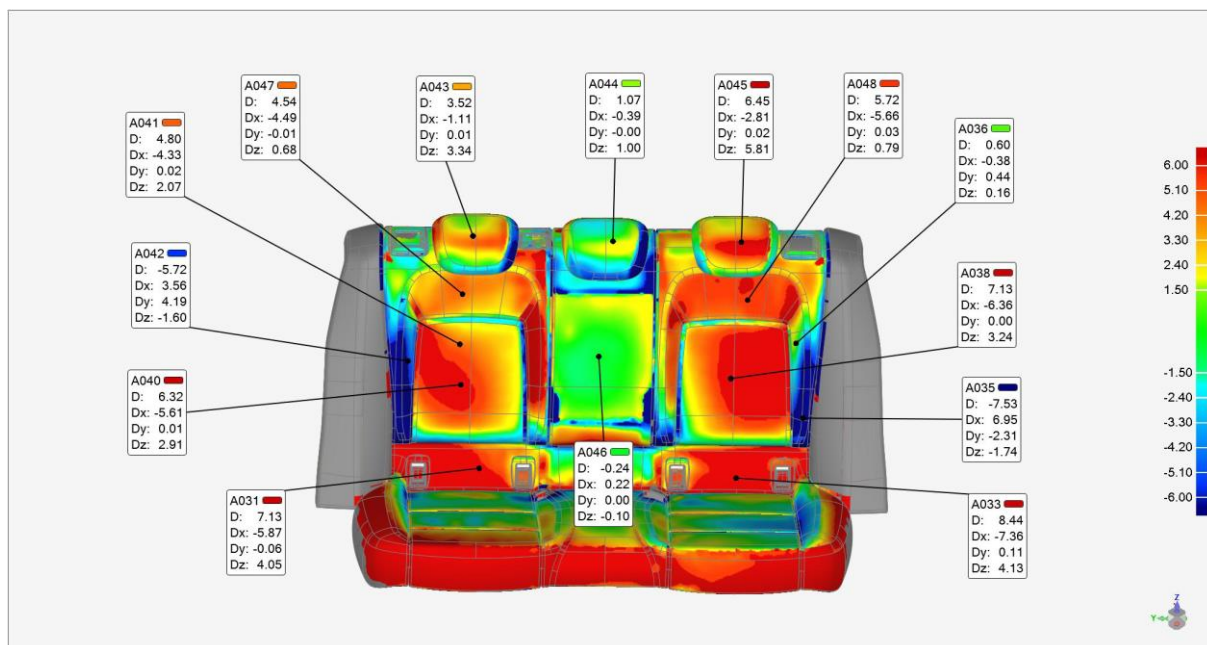
Dne 30. října 2016 proběhlo skenování vinylového typu autosedačky – viz obrázky č. 27 a 28.

Na obrázku z tohoto 3D laserového skenování je zobrazeno, že největší tvarová odchylka na obrázku č. 26, který se zabývá zkoumáním sedáku sedačky, byla identifikovaná v oblasti A001 s hodnotou 10,30mm. Zatímco, největší propad dosahuje oblast A013 s hodnotou -3,67mm.



Obrázek 27 Skenování IV vinylový potah zdroj: vlastní skenování

Obrázek č. 28 definuje výsledky skenování opěradel autosedačky s vinylovým potahem. Z těchto výsledků vyplývá, že oblastí s největší tvarovou nepřesností je A033 s hodnotou 8,44mm. Největší propad je identifikován v oblasti A035 s hodnotou -7,53mm.

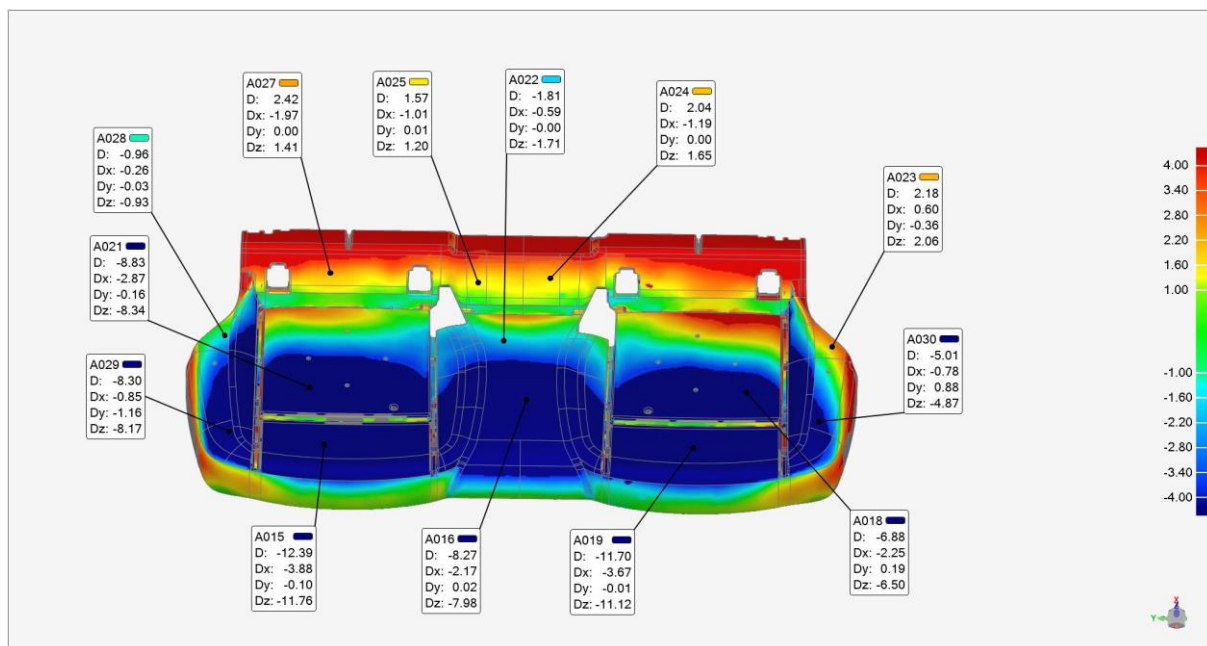


Obrázek 28 Skenování IV II zdroj: vlastní skenování

- Skenování V verze s látkovým potahem (dne 27. února 2017)

Dne 27. února 2017 proběhlo skenování samostatného sedáku s látkovým potahem. Toto přineslo následující výsledky (viz obrázek č. 29).

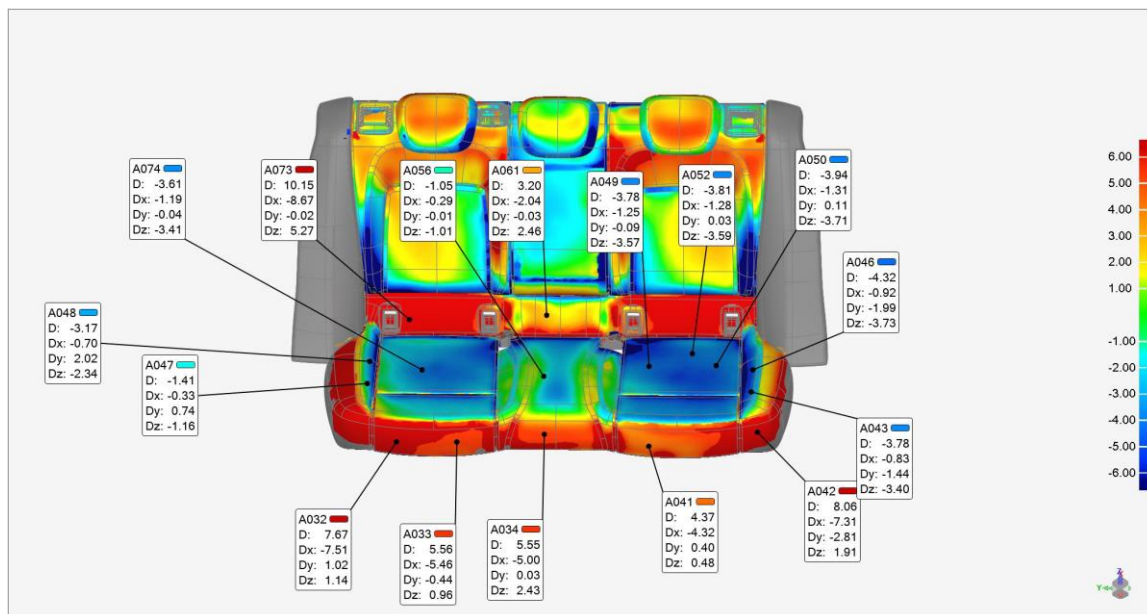
Největší tvarová nepřesnost byla zaznamenána v oblasti A019 o hodnotě -11,70mm. Tímto skenováním bez uchycení sedačky v držáku, bez plastových krytek a bez ovlivnění tvaru od tlaku zadního opěradla bylo zjištěno, že žádný z výše zmíněných potenciálních problémů se nepodílí na tvarové nepřesnosti tohoto dílu.



Obrázek 29 Skenování V látkový potah, zdroj: vlastní skenování

- Skenování VI verze s látkovým potahem (dne 29. října 2016)

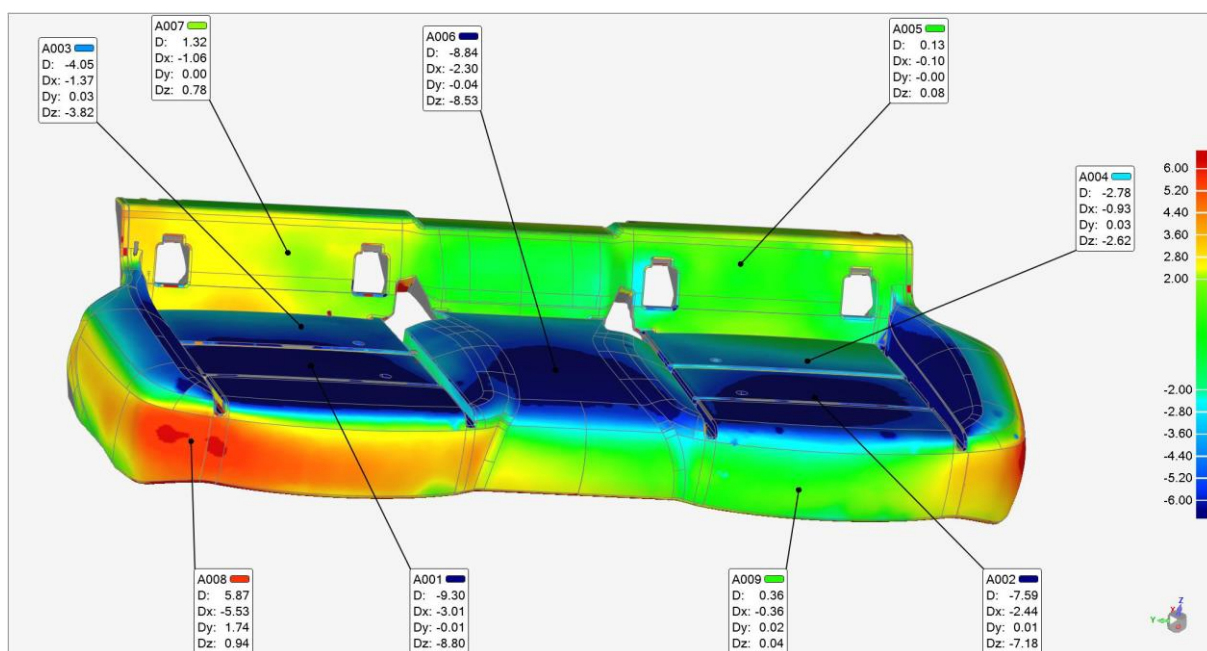
Dne 29. října 2016 bylo realizováno skenování verze autosedačky s látkovým potahem. V tomto případě byla nejvyšší tvarová nepřesnost v oblasti A073, a to v hodnotě 10,15mm. Největší propad se nachází v oblasti A046 o hodnotě -4,32mm. Dle poloh jednotlivých nepřesností zobrazených na obrázku č. 30 bylo určeno, že i přes neprokázání vlivu dílů namontovaných v okolí sedáku z měření V, dochází ke změně jmenovitých hodnot tvarových nepřesností sedáku, a proto bylo přistoupeno ke skenování samotné polyuretanové pěny v dalším měření.



Obrázek 30 Skenování VI látkový potah, zdroj: vlastní skenování

- Skenování VII samotné pěny (dne 28. února 2017)

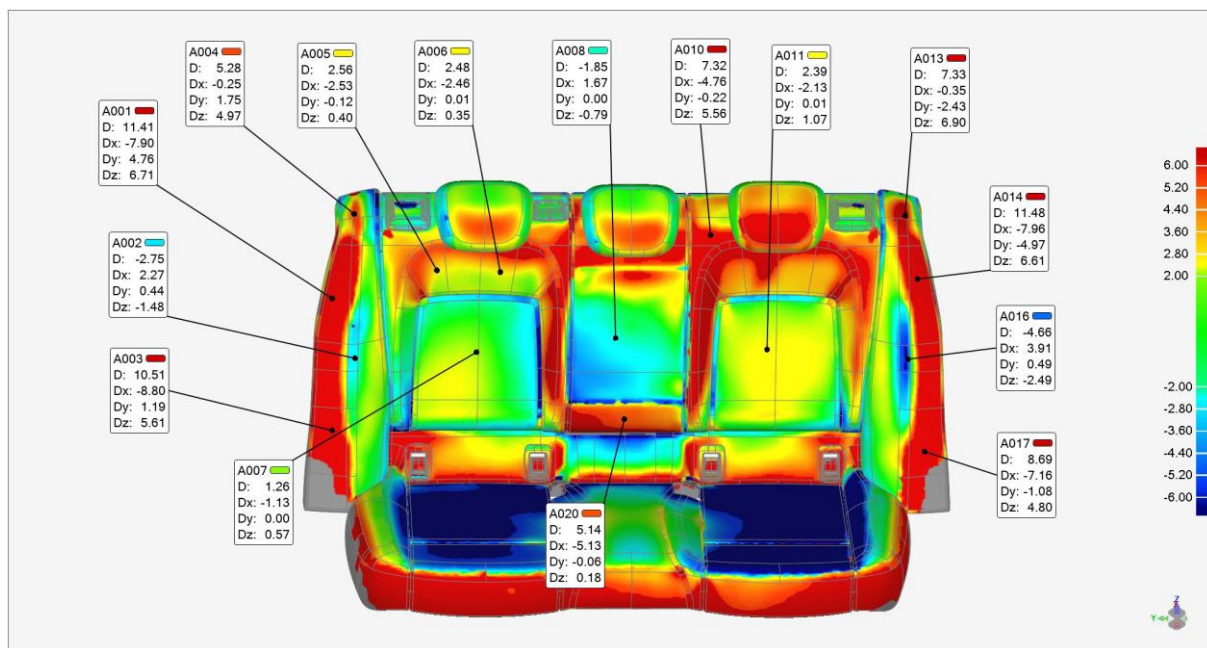
Dne 28. února 2017 proběhlo skenování samotné pěny (viz obrázek č. 31), která byla upnuta do držáku sedačkové sestavy. Z tohoto skenování vyplývá, že největší tvarová odchylka samotné pěny se nachází v oblasti A008 o hodnotě 5,87mm. Největší propad tvaru byl zjištěn v oblasti A001 v hodnotě -9,30mm. Toto lze považovat za klíčové zjištění, jelikož samotný pěnový díl, když nebyl umístěn v držáku sedaček, odpovídal výrobním tolerancím dílu s maximální odchylkou ± 4 mm.



Obrázek 31 Skenování VII samotné pěny, zdroj: vlastní skenování

- Skenování VIII látkový potah a PVC na okrajích (dne 15. prosince 2016)

Posledním ze zobrazených zkoumání je skenování VII verze s látkovým potahem a PVC na okrajích – což může ovlivnit rozměr (dne 15. prosince 2016) - viz obrázek č. 32. Největší tvarové nepřesnosti bylo zaznamenáno v oblasti A014 o hodnotě 11,48mm. Největší záporné tvarové nepřesnosti bylo zjištěno v oblasti A016 s hodnotou -4,66mm.



Obrázek 32 Skenování VII látkový potah, zdroj: vlastní skenování

Uvedené informace seznamují čtenáře se základními výstupy z 3D laserového skenování. Veškeré poznatky z tohoto lze nyní shrnout v rámci výsledků výzkumu.

5.5.2 Výsledky výzkumu

3D laserové skenování bylo využito pro získání bodových mračen. Právě pro účely zpracování práce a splnění cíle práce bylo nutné generovat tento výstup. V opačném případě by nebylo možné získat relevantní podklady.

Pro realizaci 3D laserového skenování bylo využito prostorového skeneru FaroArm. Výstupem ze skenování každé autosedačky bylo bodové mračno, které zachytilo konstrukční detaily jednotlivých autosedaček. Následně došlo ke zpracování bodových mračen v rámci vyčištění dat o nepotřebné šумы a ruchy související se skenováním. Ke zpracování bylo využito softwarového programu Catia V5.

Z realizovaného skenování bylo zjištěno, že dochází ke generování různých výsledků u různých verzí autosedaček – v tomto případě byl rozdíl mezi autosedačkami zejména v rámci využitého potahu, ale zároveň platí, že každá autosedačka měla specifické výsledky maximální tvarové odchylky v různých oblastech. Tyto výsledky jsou zobrazeny v tabulce č. 15. Na obrázku č. 33 jsou zobrazeny potahy jednotlivých zkoumaných verzí.

Tabulka 12 Vyhodnocení skenování

Skenování	Verze	Zjištěná tvarové odchylky	Zastoupení verze v portfoliu
I - 29. května 2016	Kožený potah	13,82mm	7%
II - 7. října 2016	Kožený potah premium	11,90mm	3%
III – 28. ledna 2017	Kožený potah special	15,52mm	2%
IV - 30. října 2016	Vinylový potah	10,30mm	23%
V - 27. února 2017	Látkový sedák	-11,70mm	20%
VI - 29. října 2016	Látkový potah	10,15mm	20%
VII - 28. února 2017	Pěna sedáku	-9,30mm	
VIII - 15. prosince 2016	Látkový potah s PVC na okrajích	11,48mm	45%

Zdroj: vlastní zpracování dle výsledků skenování



Obrázek 33 Zobrazení verzí potahu, zleva látkový potah, látkový potah s PVC na okrajích, vinylový potah, kožený potah, kožený potah premium, kožený potah special, zdroj: vlastní výzkum

V rámci výzkumu bylo zjištěno, že existují nevyhovující rozměrové hodnoty sedačky zjištěné skenováním, tedy je nutné prozkoumat, zda:

- Bylo skenování realizováno správně?
- Je držák sedačky správně uzpůsoben řádnému měření?
- Měřený použitý díl sedák/pěna sedáku, opěradlo/pěna opěradla má správné rozměry (je vyroben v tolerančním pásmu), dále je vyroben ze správného materiálu a jeho mechanické vlastnosti odpovídají kritériím - má správnou tvrdost?

- Zda má použitý potah kůže/látka správné rozměry, tloušťku, správný materiál a správnou tvrdost?
- Zda má použitý rám opěradla správné rozměry (v rámci tolerancí)? Lze na něj správně uchytit pěnu a potah? Má správný materiál a správnou tuhost?
- Byla montáž realizována správně? Byly díly správně transportovány a skladovány?
- Jaké bylo datum výroby jednotlivých dílů z důvodu degradace?

Nyní se lze zaměřit na zodpovězení těchto otázek:

- Bylo skenování realizováno správně?

Každé jednotlivé skenování probíhalo z hlediska vybavení a kalibrace 3D laserového skeneru za stejných podmínek. To znamená, že skenování neproběhlo v odlišných podmínkách, ale při stejných laboratorních podmínkách. Z tohoto pohledu lze konstatovat, že bylo skenování realizováno správně. To navíc podporuje skutečnost, že 3D laserové skenování prováděla osoba, která má dostatečné zkušenosti s využitím této technologie, spolupodílela se na realizaci několika různých výzkumů, při kterých bylo podobných technologií využito, a tedy disponuje dostatečnými znalostmi pro správnou realizaci 3D laserového skenování.

- Je držák sedačky správně uzpůsoben řádnému měření?

K zajištění sedačky bylo využito držáku, který je navržen pro konkrétní verzi autosedačky pro tento typ měření, a tedy v této oblasti by neměl vzniknout žádný problém. Lze konstatovat, že byl držák sedačky správně uzpůsoben pro řádné výsledky měření. Pro výše uvedené měření VII samotné pěny uchycené v držáku bylo prokázáno, že zjištěné hodnoty nejsou ovlivněny samotným držákem, jelikož bylo provedeno skenování vlastního držáku sedaček a byla prokázána přesnost výroby s odchylkou $\pm 0,2\text{mm}$, z čehož plyne, že výrobní tolerance vlastního držáku nemá vliv na několikamilimetrové odchylky polohy pěny a sedaček.

- Měřený použitý díl sedák/pěna, opěradlo/pěna má správné rozměry (je vyroben v tolerančním pásmu), dále jestli má správný materiál a správnou tvrdost?

Z vlastní analýzy pěnových dílů sedáku a opěradla vyplývá, že není prokazatelný problém s rozměry, materiálem ani tvrdostí dílů. Tento závěr je možné provést na základě dodaných měřicích reportů jednotlivých dodávaných dílů použitých k sestavení autosedaček, tak z vlastního měření provedeného skenováním samotné pěny bez upnutí v držáku, vlastním laboratorním měřením vlastností materiálu a měřením tvrdosti sedačkových pěn. Hodnoty dodávaných dílů splňovali hodnoty definované ve výrobních výkresech a tím byla potvrzena správnost výroby, v definovaném tolerančním pásmu.

- Zda má použitý potah kůže/látka správné rozměry, tloušťku, správný materiál a správnou tvrdost?

Vlastní analýza jednotlivých potahů neprokázala výrobní nedodržení rozměru, tloušťky, materiálu či jeho tvrdost. Vlastní výzkum neprokázal ani zjevný vliv jednotlivé verze potahu na ovlivnění výsledků měření, kdy by došlo k výrazné odchylce naměřených dat u jedné z verzí materiálu. A nelze tedy hodnotit, že by jednotlivé materiály měli zásadnější vliv na nedostatky zjištěné při měření.

- Zda má použitý rám opěradla správné rozměry (v rámci tolerancí)? Lze na něj správně uchytit pěnu a potah? Má správný materiál a správnou tuhost?

V tomto ohledu nebyl nalezen nedostatek, bylo provedeno skenování vlastního rámu opěradla umístěného v držáku sedaček a nebyla nalezena rozměrová odchylka od tolerančního pásma rámu. V rámci montáže nebyly shledány nedostatky s možností upevnění dalších dílů ani nebylo shledáno další možné pochybení v rámci montáže či po montáži, kdy nebylo zjištěna interakce mezi jednotlivými díly, která by ovlivnila celkovou tvarovou odchylku autosedačky

- Byla montáž realizována správně? Byly díly správně transportovány a skladovány?

V tomto případě se neobjevil problém v rámci montáže, transportu či skladování autosedaček. Montáž a nakládání s díly bylo realizováno proškoleným personálem a při kontrole procesu nebyly shledány nedostatky. Logistika a skladování materiálu bylo realizováno standardními postupy u kterých také nebyl shledán vliv na zjištěný výsledný tvar autosedačky.

- Jaké bylo datum výroby jednotlivých dílů z důvodu degradace?

Jednalo se o autosedačky vyrobené v letech 2016 až 2017 a stáří použitých dílů se pohybovalo od 5 dnů po maximálně 3 měsíce, nelze předpokládat, že byla jejich degradace na výrazné úrovni. Nebyl prokázán vliv od opotřebení.

Z jednotlivých měření vyplývá, že bodová mračna v jednotlivých měřeních vykazují různé hodnoty a polohy maximálních tvarových odchylek sedaček, a tedy nejsou generovány homogenní výsledky. Výsledky se liší. Na základě výsledků výzkumu je zřejmé, že bylo nutné prozkoumat problém, proč hodnoty získané ze skenování neodpovídají požadavkům zákazníka a čím je to způsobeno. V tomto pohledu nelze jako příčinu identifikovat vlastní zkoumané díly nebo metodu zkoumání, což bylo vyvráceno předchozím výzkumem. Zkoumací metoda i vyrobené díly odpovídají tvarovým i technologickým specifikacím. Doložené výsledky měření znázorňují problém přesahu maximální tvarové odchylky až o 15 milimetrů v oblasti opěry a naopak propadu tvaru vůči modelu až o 22 milimetrů v oblasti sedáku.

Zkoumáním bylo dokázáno, že samotné díly jsou vyrobeny rozměrově přesně – v rámci vlastního tolerančního pole a vykazují nesplnění tvaru až po umístění do držáku, který simuluje reálné uchycení sedačkového systému ve voze. Dalším zkoumáním byly analyzovány hodnoty hustoty a tvrdosti pěnových dílů. Byla prokázána souvislost mezi tvrdostí pěny – díl vyrobený na horní hranici definovaného tolerančního pole v souvislosti s výsledkem překročení tvarové odchylky sedadlových opěradel až o 15 milimetrů. Zároveň byla prokázána souvislost u sedáku, jež byl vyroben na spodní přípustné hranici povoleného tolerančního pole a naměřenou tvarovou odchylkou až 22 milimetrů. U ostatních zkoumaných vzorků bylo obdobně zjištěno vyrobení dílů s mezními hodnotami tvrdosti, případně vyšší místní hustoty, které však splňovali odchylky kladené na díl a nijak neovlivňovali rozměry samotného pěnového dílu. Tímto byla prokázána souvislost mezi hodnotou hustoty a tvrdosti pěn a tvarovou odchylkou sedačkového systému.

Jelikož nelze jednoduše, aritmeticky nebo odhadem určit vztah mezi výše popsány souvislostmi, je třeba provést zkoumání na reálných vzorcích vyrobených s přesně definovanými technickými vlastnosti pro zjištění přesné hodnoty tvarové odchylky, pro kterou jako jedinou je zákazníkem (automobilkou) přesně stanovený cíl - hodnota odchylky. Hodnotu

tvrdosti a hustoty pěny je tedy na základě výše popsaného postupu definovat pomocí korelace jednotlivých vzorků a výsledků měření metodou bodových mračen. Samotné toleranční pásmo tvrdosti pěnových dílů nelze jednoduše omezit zmenšením s ohledem na vyrobiteľnosť dílu a náklady na výrobu jednotlivých pěnových dílů.

V rámci budoucího skenování už tedy nebude nutné realizovat vysoké množství skenování (v analyzovaném případě šlo o 525 skenování a jejich zkoumání), ale bude dostačující vyrobit jen 2 vzorky pěn s limitními hodnotami tvrdosti – na mezi tolerancí – sedačkové pěny s limitně nejnižší přípustnou tvrdostí a naopak vzorky pěn s nejvyšší přípustnou tvrdostí.

To znamená provést skenování těchto dvou variant, porovnat je s modelem a upravit toleranční pásmo hodnot hustoty a tvrdosti (korelovat) do stavu, kdy je sedačka v přípustné maximální tvarové odchylce od modelu a tyto hodnoty tolerančního pole hustoty a tvrdosti zpětně definovat výrobcí pěn jako krajní výrobní hodnoty.

Od této doby není nutné realizovat nákladné skenování každé sedačky, ale pouze levně ověřit hodnotu tvrdosti a hustoty dodané pěny a při správné hodnotě má výrobce sedaček jistotu, že tvar sedačky bude odpovídat požadavku zákazníka. Nový navržený postup – metodika je aplikovatelná na jakýkoliv další projekt vývoje autosedaček a sníží čas a náklad na vývoj tvaru sedačky odpovídajících požadavku tvarové odchylky.

5.5.3 Zhodnocení výzkumu

Získaná bodová mračna byla porovnáována s modelem a ve všech zkoumaných případech neodpovídal výsledek rozměrovým požadavkům, takže bylo nutné přikročit k vlastnímu šetření s využitím zkoumání bodových mračen autosedaček. Jak se prokázalo, tak snímání bodových mračen bylo stěžejní aktivitou tohoto výzkumu a bez jeho realizace by nebylo možné dosáhnout daných zjištění a výstupů.

Výzkum v rámci disertační práce vytvořil dostatečnou znalostní bázi, předpoklady či základní poznatky pro tvorbu metodiky skenování bodových mračen komponentů. Prostřednictvím virtuální reality lze potom výstupy z měření zpracovat a analyzovat.

Výsledkem výzkumu je zjištění, že neodpovídající hodnota tvarové odchylky autosedaček zjištěná skenováním je ovlivněna pouze hustotou a tvrdostí sedačkové pěny, tedy nepřímé technické vlastnosti komponentu, která není definována v požadavcích zákazníka na produkt. Přínosem výzkumu je nalezení řešení pro budoucí skenování, kdy není nutné realizovat 525 skenování a zkoumat je, ale pouze vyrobit 2 vzorky pěny s limitními hodnotami tvrdosti – na mezi tolerancí – sedačkové pěny s limitně nejnižší a nejvyšší přípustnou tvrdostí a komparovat s modelem a upravit toleranční pásmo hodnoty hustoty a tvrdosti (korelovat) do stavu, kde je sedačka v přípustné odchylce od modelu a tyto hodnoty tolerančního pásma hustoty a tvrdosti zpětně definovat výrobcí pěn jako limitní výrobní parametry.

To znamená, že od této doby není nutné realizovat nákladné skenování každé sedačky, ale pouze ověřit hodnotu tvrdosti a hustoty dodané pěny, což je levnější variantou. Při správné hodnotě má potom výrobce sedaček jistotu, že tvar bude odpovídat požadavku zákazníka.

V dostupných zdrojích nebyl nalezen žádný relevantní a podobný výzkum, tedy výzkum, který by se zabýval využitím bodových mračen pro inovaci vývojových postupů zadních autosedaček osobních automobilů. Tato práce tedy přináší nové informace o tom, jak lze prostřednictvím bodových mračen zlepšit proces vývoje a kontroly autosedaček.

- Finanční kalkulace (model)

Získané výsledky potvrzují, že lze prostřednictvím využití této metodiky výrazně zkrátit čas, který je věnován skenování 3D bodových mračen u zadních autosedaček automobilů. Následující model představuje konkrétní přínosy nové metodiky, tj. kvantifikuje úsporu nákladů na modelovém příkladu.

- Mzdová úspora (mzda pracovníka)

V rámci této disertační práce není možné aplikovat reálná data ceny skenování a mzdových nákladů na skenování jedné autosedačky s ohledem na citlivost dat v rámci automobilového průmyslu. Při uvažované úspoře 100 hodin práce pracovníka obsluhujícího skener a s hodinovou sazbou pracoviště skenování se v roce 2020 jedná o úsporu 88 000 Kč.

- Čas potřebný k tvorbě podkladů práce

V rámci tvorby podkladů bylo nutné skenovat 525 autosedaček, u standardního projektu lze předpokládat provedení minimálně 50 skenování, po pužití metodiky lze potřebný počet skenování snížit na 4 až maximálně 12 opakování v rámci projektu. Jedno skenování a zpracování reportu zabere 2,5 hodiny práce vyškoleného pracovníka.

Nová metodika je tedy výrazným přínosem pro dodavatele autosedaček, kteří realizují 3D laserové skenování bodových mračen u zadních autosedaček automobilů. Rozdíly v novém stavu oproti předcházejícímu definuje následující tabulka číslo dva, která shrnuje změnu v počtu skenování a změnu v celkových časových nákladech.

Tabulka 13 Porovnání znalostních bází 3D skenování zadních autosedaček

	Standardní počet skenování	Stav při aplikaci vyvinuté metodiky
Počet skenování (ks)	50	12
Časové náklady (h)	125	30

Zdroj: vlastní zpracování dle výzkumu

Z tohoto vyplývá, že navrhované řešení generuje konkrétní přínosy, ale pro účely splnění cíle je ještě vhodné získat zpětnou vazbu na výsledky šetření, ověřit správnost a použitelnost (a využití virtuální reality a bodových mračen). Na základě tohoto výzkumu byla vypracována metodika skenování bodových mračen, která je popsána v následující kapitole.

6 Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj dílů v automobilovém průmyslu

Metodiku pro skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj dílů v automobilovém průmyslu lze rozdělit na tři základní fáze, a to fázi přípravnou, fázi výzkumnou a fázi hodnotící. Jak vyplývá z názvu metodiky, tak tento postup by měl být obecně uplatnitelný u všech dílů pro automobilový průmysl. Literární zdroje zmiňují, že lze často ještě zefektivnit využití 3D laserové skenování bodových mračen, když dojde k využití obecné metodiky, která je upravena pro potřeby konkrétní organizace. Jde o řešení, které je rychlejší a efektivnější, než kdyby si v každém jednotlivém případě musela automobilka vytvářet vlastní metodiku a řešení. Cílem metodiky skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj dílů v automobilovém průmyslu je vytvořit obecně využitelný návrh, který zároveň umožní variabilní přizpůsobení se podmínkám určité automobilky.

Tato metodika se také opírá o metodiku, která byla využita v dalších výzkumech zkoumajících autodíly, resp. provádějící skenování různých autodílů.

Jedná se například o studii autorů Peta, Patalas a Žurek – Non-destructive testing of automotive heat exchangers [102].

Metodika je definována na základě cílů definovaných v příslušné kapitole této práce. Návrh zároveň integruje veškeré teoretické i praktické poznatky shromážděné v rámci jejího zpracování. Metodika je přímo určena pro použití v automobilkách, či v organizacích, které automobilkám dodávají autodíly. Metodika je nastavena takovým způsobem, aby mohla být využita pro 3D laserové skenování téměř každého autodílu. Tento rozsah zároveň vede k tomu, že může být vnímána jako velmi obecná. Z tohoto důvodu je potom ještě ověřena na konkrétním autodíle – autosedačce, aby došlo k jejímu ověření v praxi. Obecnější podoba metodiky však zároveň poskytuje automobilkám prostor pro její flexibilní úpravu dle vlastních požadavků.

Vytváření nových aplikací virtuální reality bez metodologického postupu je z časového hlediska delší a méně efektivní. V některých případech lze využívat obecná pravidla dostupných metodik za účelem zefektivnění těchto procesů.[103]

- Fáze přípravná

Cílem přípravné fáze je výběr skeneru a analýza, zda je možné daný díl skenovat. V rámci výběru skeneru je nutné zodpovědět různé klíčové otázky, ale také zohlednit nastavené interní procesy v automobilce, aby mohlo být užití 3D laserového skeneru snadno implementováno. Přípravnou fázi lze rozčlenit na kroky v podobě:

- 1) Použití dat – rozhodnutí o tom, pro jaký účel budou daná data využita. Tento bod je do metodiky zařazen, protože z rešerše zdrojů (například [15]) a vlastních (předcházejících) výzkumů (například [45]; [46]; [47]; [48]; [49]) vyplývá, že lze výstupy z 3D laserového skenování generovat v různých formátech. Nevhodná volba může znehodnotit celou metodiku.
- 2) Velikost skenovaného objektu – určení maximální velikosti objektu, který bude předmětem skenování. Tento bod je součástí metodiky, protože automobilové díly mají různou velikost, a tedy lze využít různě velké 3D laserové skenery pro získání optimálních výsledků. Jeden typ skeneru nemusí být užitečný pro všechny případy.

- 3) Bude skenování probíhat s texturou či bez textury – určení, jestli bude 3D laserové skenování probíhat s texturou či bez textury. Jak vyplývá z literární rešerše (například [10]), tak je nutné zohlednit, jestli má být skenováno s texturou či bez textury, protože některé 3D laserové skenery nemusí být schopné zaznamenat texturu objektu [13].
- 4) Prostory skenování – definice prostorů, ve kterých bude skenování probíhat. Princip 3D laserového skenování je sice stejný, ale kvalitu skenování v konečném důsledku ovlivňuje rozhodnutí o tom, zda bude skenování probíhat ve vnitřních prostorech, laboratoři, venkovních prostorech apod. – viz [15]. Je nutné výběr prostorů přizpůsobit požadavkům na konečné výstupy, a proto je součástí metodiky i toto rozhodnutí.
- 5) Časová dotace na skenování jednoho dílu – určení maximální doby trvání skenování, která bude přijatelná pro automobilku. Prostřednictvím určení časové dotace lze lépe kalkulovat náklady na skenování, či sledovat zlepšení. Toto rozhodnutí doporučuje do metodického postupu začlenit i odborná literatura – viz [15].
- 6) Software pro zpracování dat – definice požadavků na software, který má být využit pro zpracování dat. Vzhledem k tomu, že nabídka softwarových produktů pro zpracování dat, je různorodá (viz například [15]), tak je nutné zařadit do metodiky krok, který se zaměří na výběr nejvhodnějšího software, a to vůči výstupům, které mají být generované a možnostem jejich zpracování.
- 7) Rozpočtové možnosti – určení maximálních rozpočtových možností pro 3D laserové skenování a pořízení 3D laserového skeneru. Podobně jako u časové dotace pak je prostřednictvím rozpočtu možné lépe sledovat vývoj nákladů a řídit nákladovost procesu, a definovat případně generované úspory.
- 8) Analýza a konzultace tržní nabídky - analýza, zda je možné daný díl skenovat, je v podstatě spíše formalitou. Dnešní skenery nabízí různá řešení, kterými lze skenovat různě velké díly, a tedy pokud automobilka vybere vhodný skener, tak se nemusí touto otázkou dopodrobna zabývat, protože většina 3D laserových skenerů umožňuje skenovat autodíly. Stačí tedy pouze provést ověření, jestli jsou vlastnosti vybraného 3D laserového skeneru dostatečné pro skenování autodílů. Z tohoto důvodu je tento bod do metodiky zařazen. Po tomto je možné přejít k výběru konkrétního 3D laserového skeneru.

Jednotlivé kroky v rámci přípravné fáze povedou k přesnějšímu vymezení požadavků na 3D laserový skener, a tedy k zajištění jeho správného výběru. V závěrečném kroku přípravné fáze, tedy dochází k následujícímu:

- 9) Konečný výběr vhodného 3D laserového skeneru. Tento bod je v metodice zařazen jako základní podmínka pro postup do další fáze.

Proč jsou uvedené body důležité a zařazené do metodiky? Každý z těchto bodů se věnuje některé z dílčích oblastí, která je významná a důležitá pro bezproblémový průběh přípravné fáze. Pokud je cílem přípravné fáze výběr skeneru a analýza, tak je nutné uvedené body do metodiky zařadit. Vynechání některého z těchto bodů by mohlo narušit efektivitu metodiky (zejména v rámci dalších fází). Po těchto krocích lze přikročit k výzkumné fázi.

- Fáze výzkumná

Cílem výzkumné fáze je definování vhodných metod a technik, tvorba a zpracování bodového mračna.

Vhodná metoda a technika 3D laserového skenování je výrazně ovlivněna velikostí a tvarem objektu. Zde tedy záleží na tom, co má být předmětem skenování. Na základě konkrétního dílu se nastavuje souřadný systém x, y, z . Automobilkám lze doporučit, ať vytvoří jednotný postup nastavení těchto souřadnic pro všechny díly, které budou předmětem skenování, aby se zamezilo nesprávnému (odlišnému) nastavení při dvou a více různých skenování komponentů.

Autodíl je také vhodné upevnit do speciálního zádržného zařízení, které zajistí, že budou generované komparabilní výsledky. Tvorba a zpracování bodového mračka je výstupem z 3D laserového skenování, tedy z předcházejících kroků. Je tedy významně ovlivněna 3D laserovým skenerem, a také nastavením souřadnic (x, y, z).

V rámci výzkumné fáze se navrhuje realizovat následující dílčí kroky (navazující na předcházející přípravnou fázi):

- 10) Určení limitních hodnot daného autodílu – na základě konkrétního autodílu, který má být skenován dojde k určení limitních hodnot. Právě 3D laserové skenování pak bude ověřovat, jestli jsou limitní hodnoty splněné, či nikoliv.
- 11) Výroba vzorků autodílu s limitními hodnotami – dojde k výrobě konkrétních dílů, jejichž vlastnosti budou právě na mezi povolených výrobních tolerancí.
- 12) Nastavení souřadného systému dílu – tj. nastavení souřadnic x, y, z , a to dle velikosti a tvaru objektu. Efektivní nastavení souřadnic je klíčové například pro realizaci 3D inspekce, a tedy jde o činnost, kterou je nutné realizovat i v rámci navrhované metodiky [5].
- 13) Ukotvení autodílu na jednom místě, aby nedošlo k jeho samovolnému či nechtěnému pohybu. Nutnost zdůraznění tohoto bodu vychází z požadavku na zachování stejných podmínek při různých skenováních. Jinak by mohlo dojít ke zkreslení výsledků.
- 14) Úprava povrchu skenovaného objektu, pokud může lesklý, reflexní či transparentní povrch ovlivnit výsledky 3D laserového skenování. Tento bod je do metodiky zařazen, protože neakceptování specifického povrchu může vést ke snížení vypovídací schopnosti skenování, a tedy ke zkreslení výsledků. Různé autodíly mají různé povrchy, a tedy je nutné tento bod do metodiky zařadit.
- 15) Kalibrace 3D laserového skeneru (zejména při opakovaném skenování). Kalibrace je podmínkou pro získání vysoké míry přesných výsledků [31], a tedy jde o krok, který musí být realizován v rámci metodického postupu.
- 16) Vlastní skenování autodílu. Vlastní výzkum v rámci práce či předcházející výzkumná činnost prokázala, že vlastním skenováním lze získat relevantní data, ale zároveň je nutné realizovat všechny předcházející kroky tak, jak je uvádí tato metodika, aby došlo k získání relevantních výsledků.
- 17) Zpracování bodového mračka.

Proč jsou uvedené body důležité a zařazené do metodiky? Uvedené body vycházejí z realizace předcházejících výzkumů, z literární rešerše, a také z realizace vlastního výzkumu v rámci práce. Jde o aktivity, které na sebe plynule navazují a vedou k pozitivnímu výsledku (viz ověření navrhnuté metodiky v praxi a podrobnější popis výzkumu).

- Fáze hodnotící

Cílem hodnotící fáze je vizualizace výsledku a generování přínosu pro vývoj dílu v automobilovém průmyslu.

Vizualizace výsledků je zajištěna prostřednictvím specializovaného software pro zpracování bodových mračen. S těmito výsledky pak musí pracovat kvalifikovaný pracovník, který zhodnotí jejich přínos, resp. navrhne na jejich základě návrhy pro zlepšení. Právě tímto zlepšením zároveň dojde ke generování přínosu pro vývoj daného autodílu v automobilovém průmyslu.

Do tohoto procesu zlepšování lze samozřejmě zapojit i více zájmových skupin, včetně externích odborníků či akademických pracovníků. S využitím virtuální reality pak lze například hodnotit význam a přínos navrhované změny. Hodnotící fáze lze rozdělit na dílčí kroky v podobě (opět navazující na výzkumnou fázi):

- 18) Vizualizace bodového mračka dle potřeby. Tento bod je do metodiky zařazen, protože na základě vizualizovaného bodového mračka lze lepším způsobem dojít k žádoucím výsledkům. Vizualizace umožňuje přehlednější výstupy.
- 19) Komparace bodového mračka s modelem autodílu, tj. verze s minimální a maximální odchylkou od požadovaného tvaru. S využitím komparace lze identifikovat případné nedostatky, a tedy z tohoto důvodu je nutné tento bod do metodiky zařadit. To se potvrdilo i v rámci vlastního výzkumu, kdy byl zároveň navrhnout postup pro řešení případných problémů.
- 20) Definice žádoucích hodnot u skenovaného autodílu. Tento bod je do metodiky zařazen na základě vlastního výzkumu, který vedl ke zjištění, že právě prostřednictvím definice žádoucích hodnot u skenovaného autodílu lze celý proces zjednodušit, zrychlit a garantovat dodržení požadovaného tvaru v definovaných tolerancích. Z tohoto důvodu nelze tento bod opomenout.
- 21) Získání zpětné vazby a závěrečné zhodnocení. Tento bod je do metodiky zařazen, aby došlo k zapojení dalších zainteresovaných skupin do celého procesu. Jak se prokázalo v jednom z předcházejících výzkumů (například [43]), tak zpětná vazba umožňuje získat náměty pro zlepšení a zlepšuje kontrolu kvality.
- 22) Opakování procesu. Tento krok se do metodiky navrhuje zařadit, aby mohlo dojít k neustálému zlepšování, což by mělo být zajištěno opakovaným využitím celé metodiky pro hledání dalších prostorů pro zlepšení u různých autodílů.

Proč jsou uvedené body důležité a zařazené do metodiky? Uvedené body opět vycházejí z vlastního výzkumu a skenování, které bylo realizováno v rámci zpracování práce. Tento postup vedl k získání žádoucích výsledků a splnění cílů této práce.

6.1 Komparace metodiky s různými výzkumy

Ověření navrhnuté metodiky bylo realizováno na příkladu automobilové sedačky. Prostřednictvím metodiky se podařilo identifikovat nedostatky v současné praxi a definovat návrhy na zlepšení, které v praxi významně přispějí ke zkrácení a zkvalitnění celého procesu.

Z komparace navrhnuté metodiky s jinými metodikami vyplývá, že v některých případech existují body shody, ať už v rámci použitých technologií, či v rámci jiných fází a kroků výzkumu. V dalších bodech pak existují rozdíly, přičemž, nelze konstatovat, že některý z metodických postupů je zcela nevhodný nebo špatný, protože každý výzkum měl svůj specifický účel a probíhal ve specifických podmínkách.

Výzkum Glombikové a kol. byl inspirací v tom, že využil 3D technologie pro zkoumání autosedaček, a tedy potvrdil, že jde o vhodnou metodu pro jejich zkoumání [41]. Výzkum měl

však jiný účel a cíl, a tedy nebylo možné se jeho metodikou přesně inspirovat při návrhu vlastní metodiky.

Výzkum autorů Lyu a kol. [51] potvrdil, že lze využít 3D laserové skenování celých automobilů či jejich částí pro získání relevantních informací. Pro návrh vlastní metodiky je podstatné zjištění, že lze prostřednictvím 3D laserového skenování bodových mračen hodnotit a zkoumat různé části automobilů.

Výzkum autorů Xu a kol. [39] využil 3D laserového skenování pro zkoumání vlastností autosedaček a rozložení zatížení autosedaček. Metodika tohoto výzkumu ovšem v daném článku nebyla podrobně popsána, nicméně se opět potvrdilo, že lze 3D laserové skenování autosedaček využívat pro získání relevantních výsledků a budoucí zlepšování. Právě na toto se navrhovaná vlastní metodika nejvíce orientuje.

Výzkum autorů Zhang a kol. [38] opět využíval 3D laserového skenování a jeho metodika modelovala lidské tělo a autosedačku ve vzájemné interakci. Využitá metodika dokázala vhodně skloubit samotné skenování a výstupy pro práci se softwarem. Navrhovaná vlastní metodika i z tohoto důvodu klade důraz na volbu vhodného 3D laserového skeneru a kompatibilního softwarového vybavení pro zpracování výstupů

Výzkum autorů Fang a kol. [52] probíhal v podmínkách reálného provozu, kdy využíval naskenovaná bodová mračna. Prostřednictvím prozkoumání metodiky byl získán základní přehled o tom, jak lze s bodovými mračky pracovat, což bylo přínosem při návrhu vlastní metodiky v rámci této práce.

Ve vlastní metodice se nachází několik rozdílů oproti těmto výzkumům a jejich metodikám, což je dáno požadavky na individuální přizpůsobení konkrétním požadavkům automobilek. Každá z představených metodik měla svůj konkrétní účel (resp. předmět skenování). Navrhovaná metodika má však obecnější využití, a tedy bylo nutné uvést spíše obecná doporučení. Dále rozdíly vycházejí z vlastního výzkumu, který byl v rámci práce realizován. Z tohoto důvodu je například výzkumná a hodnotící fáze odlišnější od metodik zmíněných výzkumů. Naopak, u fáze přípravné lze hovořit o tom, že se neodlišuje od ostatních metodik, protože i v jejich případech muselo dojít k výběru vhodného 3D laserového skeneru, a to dle konkrétních podmínek realizovaného výzkumu.

Pro návrh a tvorbu metodiky však měla význam i předcházející výzkumná činnost, která umožnila, aby se autor seznámil s postupy a procesy využití 3D laserového skenování, dále měla podstatný přínos vlastní výzkumná činnost v rámci této práce.

Proč by měla právě navrhnutá metodika v praxi fungovat? Důvody vycházejí zejména z realizovaného bádání, tedy z jednotlivých provedených výzkumů a rešerší. Navrhovaná metodika se inspirovuje v nejpodstatnějších a nejpřínosnějších bodech z podobných výzkumů, ale zároveň vytváří i vlastní přidanou hodnotu. Tato přidaná hodnota je generována prostřednictvím vlastní výzkumné činnosti a potenciálním vznikem synergického efektu zmíněného bádání. V závěru pak dochází k ověření metodiky, čímž se potvrzuje její přínos a význam.

Ověření metodiky proběhlo ve stejné společnosti jako předchozí výzkum za stejných podmínek. Ověření v jiných společnostech není možné jelikož v automobilovém průmyslu by se jednalo o společnosti přímo si konkurující, u kterých není umožněno člověku, který

spolupracuje s jedním dodavatelem autosedaček, aby vstoupil do prostor konkurenční společnosti, která vyrábí obdobné produkty.

6.2 Závěr z tvorby metodiky

Oproti předcházejícím výzkumům či sekundárním výzkumům lze hovořit o tom, že je navrhovaná metodika vhodnější. Zároveň však platí, že každá z metodik byla implementována v odlišných podmínkách, a tedy nelze generalizovat. Jednotlivé výzkumy jsou zaměřené různorodým způsobem a přímo svoji činnost nezaměřují na to, aby došlo k docílení tvarové správnosti při výrobě zadních autosedaček. Metodika zmíněných výzkumů pouze potvrzuje, že je využití 3D skenování bodových mračen velmi prospěšné, ale pro konkrétní výzkum může být pouze částečnou inspirací. To zároveň znamená, že automobilky, které chtějí provádět precizní 3D laserové skenování zadních automobilových sedaček pro dosažení požadovaného tvaru dílů, potřebují komplexnější metodiku. Tuto jim právě nabízí výstupy z této práce, oproti podobným výzkumům.

Z tohoto pohledu lze tedy konstatovat, že jsou podobné výzkumy prospěšné, ale zároveň nenabízí komplexní řešení. Toto řešení nabízí právě až vlastní navrhovaná metodika pro skenování autodílů.

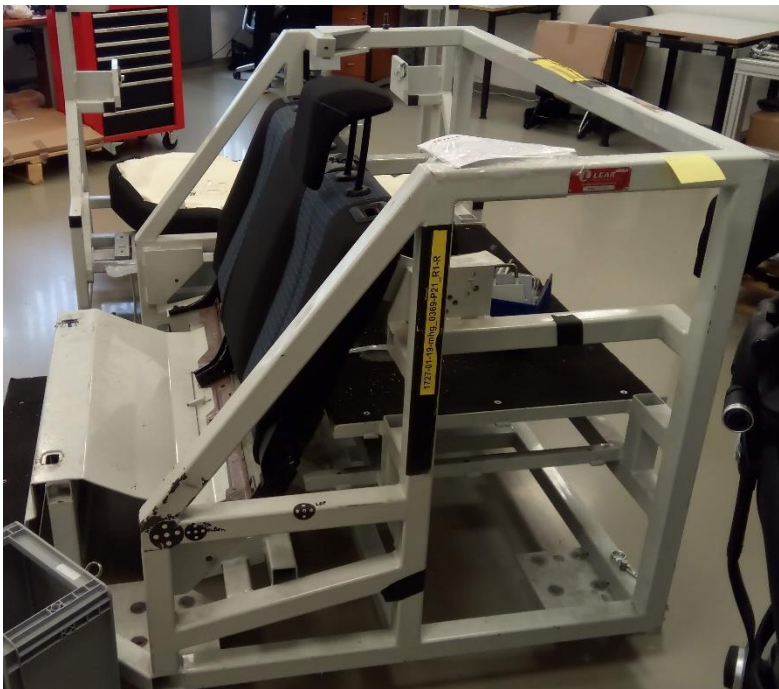
Žádný z původních výzkumů se přímo nezaměřil na stejnou problematiku jako realizovaný vlastní výzkum, což je dalším argumentem pro to, aby vznikla vlastní a specializovaná metodika. Z jednotlivých výzkumů se lze inspirovat v tom, že přinášejí základní poznatek v té podobě, že lze využít 3D laserové skenování a bodová mračna pro tvorbu inovací v automobilovém průmyslu, a to prostřednictvím 3D laserového skenování automobilů či částí automobilů. Jednoznačně se potvrdil přínos, který přináší tato technologie automobilovému průmyslu.

Z dalších sekundárních výzkumů dále vyplývá, že se v rámci jejich realizace využívá různých 3D laserových skenerů či různých softwarových řešení pro zpracování bodových mračen. To potvrzuje, že by mělo docházet k individuálnímu výběru 3D laserového skeneru a softwarového řešení, a to dle individuálních podmínek a cílů daného výzkumu. Metodika proto pouze doporučuje využití konkrétního 3D laserového skeneru a software, ale konkrétní výběr je ponechán na daném uživateli, resp. jsou zde obsažené informace pro realizaci správného výběru.

7 Ověření metodiky na skenování automobilové sedačky

Tato kapitola se zabývá ověřením metodiky na konkrétním příkladu 3D laserového skenování bodových mračen druhé řady automobilové sedačky vlastním provedením metodiky samotné.

Níže popsané zkoumání vychází z metodiky definované v předchozí kapitole. Tento konkrétní postup bude možné uplatnit v případě skenování zadních autosedaček či jiných pěnových automobilových dílů z kategorie soft-trim, včetně následného postupu analýzy a zpracování získaných dat. Navrhovaná metodika by měla přispět ke zlepšení výkonnosti dané automobilky či dodavatele dané automobilky. Na obrázku č. 34 je zobrazena upnutá sedačka použitá k ověření metodiky



Obrázek 34 Zobrazení upnuté sedačky v rámci ověření metodiky, zdroj: vlastní výzkum

Postup skenování provází uživatele celým procesem skenování, včetně vyhodnocení výsledků a jejich využití v rámci praxe.

Postup sestává z těchto kroků:

- 1) **Výběr 3D skeneru**
- 2) **Výběr software pro bodová mračna**
- 3) **Výroba 2 vzorků dílů s limitními hodnotami**
- 4) **Provedení 3D laserového skenování vzorků**
- 5) **Zpracování bodového mračna**
- 6) **Komparace obou variant s modelem, korelace**
- 7) **Definice technických parametrů výrobku**
- 8) **Získání zpětné vazby a zhodnocení výsledku**

1) Výběr 3D skeneru

V dnešní době existují na trhu desítky různých skenerů, z kterých lze vybírat nejvhodnější model pro účely realizace 3D laserového skenování. Požadavky na 3D laserový skener jsou výrazně ovlivněné tím, jaký předmět (resp. autodíl) bude skenován, protože využití některých skenerů může být při skenování částí automobilu zcela nevhodné (z hlediska časových nákladů). Je tedy nutné zvážit zejména tento faktor v rámci výběru 3D laserového skeneru.

V rámci tohoto vlastního výzkumu bylo využito 3D laserového skeneru Faro Arm. Tento skener se využívá v automobilovém průmyslu a v rámci realizovaného výzkumu se ukázal jako vhodný a dostačující (z hlediska funkčnosti a kvality přesnosti získaných dat). Lze tedy doporučit využití tohoto skeneru, či skeneru, který má podobné (nebo lepší) vlastnosti.

Pro úplnost metodického postupu výběru 3D skeneru lze doporučit, aby si potenciální uživatel zodpověděl následující otázky, které jsou definované na základě literární rešerše:

- K čemu mají naskenovaná data sloužit? Půjde o data pro: kontrolu 3D modelu, reverzní inženýrství, 3D tisk, podklady pro další modelování designu apod.? V případě realizovaného vlastního výzkumu slouží naskenovaná data pro tvorbu bodového mračna, které slouží k realizaci kontroly a návrhu na zlepšení.
- Jak velké objekty budou skenované? V rámci realizovaného vlastního výzkumu došlo ke skenování autosedaček, které představují skenovanou oblast v rozsahu dvou metrů krychlových, čemuž odpovídá rozsah a dosah ramena skeneru.
- Bude docházet ke skenování s texturou nebo bez textury? Z hlediska požadavku na porovnání bodového mračna s modelem bylo nutné vybrat skener, který umožní zaznamenání textury povrchu (které je nutné zpracovat v softwarovém nástroji).
- Kde bude probíhat skenování? V dílně, v laboratoři, v exteriéru, v místnostech? Skenování v rámci vlastního realizovaného výzkumu bylo uskutečněno v laboratorních podmínkách, tedy bylo možné vybrat 3D laserový skener, který je vhodný pro takové prostředí.
- Kolik času lze věnovat na skenování jednoho dílu? V rámci realizovaného vlastního výzkumu tento parametr neměl relevanci, protože výzkumná činnost byla provedena na datech generovaných na prototypových vzorcích. Samozřejmě platí, že čím rychlejší skener bude, tím vhodnější bude jeho využití v rámci vlastního výzkumu.
- V čem budou získaná data zpracovávána (v jakém software)? Výběr 3D skeneru byl v souladu s dostupným softwarem pro další zpracování výstupů, tedy Catia V5.
- Dalším faktorem pro zvážení je samozřejmě cena, ale zde je nutné připomenout, že pořízení 3D laserového skeneru znamená zejména investici, která bude v delším časovém období návratná.

Výběr 3D laserového skeneru je prvním krokem v rámci navržené metodiky, ale zároveň krokem nejpodstatnějším, protože velmi výrazně ovlivňuje dosažené výsledky a výstupy výzkumné činnosti.

2) Výběr software pro bodová mračna

Využití software je jednou ze základních podmínek pro dosažení úspěchu v dnešním konkurenčním prostředí, protože softwarová řešení jsou podstatnou součástí koncepce

digitální továrny a digitální výroby. Z tohoto důvodu je nutné věnovat pozornost výběru software, který přinese dostatečné možnosti zpracování dat. V navrhované metodice se jedná o výběr software pro zpracování bodových mračen, tedy využití výstupů z 3D laserového skenování. To zároveň znamená, že primární důraz musí být kladen na kompatibilitu software s 3D laserovým skenem. Software musí být schopen zpracovat výstupy z 3D laserového skenování. Dále by mělo být možné v rámci software s bodovými mračny dále pracovat - například odstranit body, které do bodového mračna nepatří, spojit jednotlivá bodová mračna do jednoho celku (v případě většího počtu skenování), vektorizovat bodová mračna, filtrovat, či klasifikovat data apod. Důležitá je samozřejmě i rychlost, s jakou bude bodové mračno vypracováno či rychlost jeho úprav. Výběr konkrétního software tedy závisí na požadavcích uživatelů, resp. očekávanému přínosu 3D laserového skenování. Pro účely 3D laserového skenování automobilů, či autodílů lze v rámci navrhované metodiky doporučit využití stejného software, ve kterém jsou vytvářeny modely, který je definován jednotlivými automobilkami, v případě realizovaného vlastního výzkumu, tedy šlo o dostupný CAD software – Catia V5. Využití tohoto software v praxi prokázalo, že v konečném důsledku umožňuje výrobcům automobilů snižovat náklady - viz přínosy disertační práce a vlastní kalkulace úspor.

I z tohoto pohledu lze proces výběru software považovat za klíčový, aby mohlo dojít k efektivní realizaci následujících kroků.

3) Výroba 2 vzorků dílů s limitními hodnotami

V rámci dalšího metodického kroku se navrhuje zadání výroby dvou vzorků pěn s limitními hodnotami tvrdosti, tj. jeden set sedačkových pěn vyrobený na spodní mezi tolerančního pásma tvrdosti a druhý vzorek s tvrdostí pěn na horní hranici definovaného tolerančního pásma. Daný požadavek na limitní hodnoty tvrdosti dílů, v tomto případě polyuretanových pěn, vychází z 3D laserového skenování a z rozboru bodových mračen v rámci vlastního výzkumu. Limitní hodnoty vyráběných dílů jsou definované při vývoji jednotlivých komponentů, kdy je hlavním měřítkem vyrobitelnost dílu a nikoliv finální stav sestavy, který je hlavním parametrem vlastní výzkumné činnosti. Daný dodavatel polyuretanových dílů však musí disponovat možnostmi výroby patřičných vzorků pěn s limitními hodnotami tvrdosti, aby bylo možné pokračovat v realizaci dalších měření. Z výsledků vlastního výzkumu je zřejmé, že postačuje vyrobřit pouze dva vzorky pěn s limitními hodnotami, tj. na horní a spodní mezi tolerančního pásma. Nedostupnost těchto vzorků neumožňuje pokračovat v dalším zkoumání, v další realizaci navrhovaného procesu.

V rámci tohoto kroku dojde k výrobě 2 vzorků pěn s limitními hodnotami tvrdosti. Těmito limitními hodnotami jsou meze tolerancí, tedy v případě první pěny bude vyrobena sedačka s limitně nejnižší přípustnou hodnotou tvrdosti, která je definovaná ve výrobním výkrese jednotlivých dílů a zároveň v souhrnném požadavku automobilky na vlastnosti sedaček - lastenheft. Ve druhém případě půjde o sedačku s vzorkem pěny, který bude mít nejvyšší přípustnou tvrdost.

Vzorek pěn by měl být vyroben v nástroji spolu s pěnovými díly do dalších prototypových vzorků úpravou chemické směsi polyuretanu, nebo vyroben frézováním z bloků přesně definované tvrdosti do tvaru požadované pěny. Zde opět záleží zejména na individuálních možnostech daného dodavatele komponentů, čili konkrétního výrobce nelze přímo doporučit.

Pokud disponujeme požadovanými vzorky dílů, lze přejít k jejich skenování jako k dalšímu podstatnému kroku realizace této metodiky.

4) Provedení 3D laserového skenování vzorků

Realizaci (provedení) 3D laserového skenování velmi výrazně ovlivňuje tvar objektu a jeho velikost, což úzce souvisí i s nastavením koordinačního systému dílu - x , y , z .

Výzkum autorů Gerbino a kol. prokázal, že je však pro relevantní výsledky nutné, aby byl 3D laserový skener optimálně nastaven, protože právě nastavení (tj. zejména relativní orientace skeneru k objektu, pozice v zorném poli měření) ovlivňují přesnost celého procesu měření, a tedy i výsledky [101].

Při skenování musí být předmět pevně ukotven na jednom místě, tedy nesmí hrozit, že bude s předmětem v průběhu skenování pohybováno. Při skenování autosedaček je nutné využít speciální zádržného zařízení, které tomuto riziku zamezí. Z rozměrového hlediska jsou autosedačky poměrně velké (v komparaci s dalšími autodíly), tedy je nutné zajistit, že dojde k pevnému upevnění tohoto objektu prostřednictvím úchytného systému, který bude simulovat stejné podmínky, v jakých bude díl upevněn v samotném automobilu, ideálně umístěn v kotvících bodech, tvořených samotnými reálnými částmi automobilu. Tohoto bylo využito i v rámci realizovaného 3D skenování autosedaček za použití tzv. seatingbuck.

Při 3D skenování je dále nutné zohlednit, že v některých případech může dojít ke zkreslení výsledků, a to v případě, kdy má objekt lesklý povrch, reflexní či transparentní povrch (např. prototypové verze plastových krytek). Při realizaci 3D skenování je nutné těmto vlivům zamezit, což lze prostřednictvím různých způsobů. V případě realizace skenování bodových mračen autosedaček nebylo nutné tento krok provádět, protože tento povrch se na konkrétních autosedačkách nenachází. Při skenování některých jiných autodílů je však nutné tento faktor zohledňovat například použitím zmatňujícího spreje na skenovaný povrch.

Pokud je skenováno větší množství předmětů než jeden, tak je nutné klást velký důraz na nastavení souřadnic, tj. dodržení souřadného systému. V každém případě musí být toto nastavení stejné, aby docházelo k získávání relevantních výsledků. Toto velmi úzce souvisí s požadavkem na kvalitní kalibraci 3D skeneru a procesu 3D skenování. Realizace kalibrace je výrazně ovlivněna konkrétním typem 3D laserového skeneru a držáku sedačkového systému, protože platí, že každý ze skenerů má vlastní proces kalibrace. V ideálním případě se souřadný systém kalibruje pomocí naskenování úchytných bodů držáku sedaček, pokud to není možné, stejně jako v našem případě, je nutné využít skenovacích rysek tj. markerů, které se nacházejí na základní desce držáku.

Po kalibraci následuje vlastní skenování autosedačky, které se řídí postupem, jenž vyplývá z předcházejícího textu. Autosedačka je uchycena úchytným systémem, aby nedošlo k jejím pohybům. 3D skener musí být řádně zkalibrován a upraven tak, aby každé skenování probíhalo ve stejných podmínkách.

5) Zpracování bodového mračna

Výstupem 3D laserového skenování bylo v případě realizovaného výzkumu bodové mračno. V rámci navrhované metodiky lze doporučit, aby bylo vždy pracováno právě s tímto výstupem, protože nejlépe umožňuje dosažení cíle celého metodického postupu.

Bodové mračno uživatelům definuje reálnou polohu měřeného dílu pomocí neorganizovaných a nepravidelných bodů, které se vyskytují na povrchu skenované autosedačky. Poloha bodů je určena právě prostřednictvím souřadnic (x , y , z).

Bodové mračno lze zpracovat například prostřednictvím jeho rozdělení do vrstev a navazujícího automatického vyhodnocení a komparace informací, které jsou obsažené v jednotlivých řezech navzájem mezi sebou, nebo s modelem. Touto metodou lze rozložit zkoumaný objekt na jednotlivé obrazce. Přínosem je i možnost barevného zobrazení bodového mračna s využitím barevné škály, pro znázornění vzdálenosti od modelu, ideálního – požadovaného tvaru autosedačky. Na základě jednotlivých výsledků skenování, tj. bodových mračen porovnaných s modelem lze dále zkoumat autosedačky.

Prostřednictvím zpracování bodových mračen dvou naskenovaných vzorků získáme dostatek informací pro definování rozsahu vyráběného pole autosedaček – verze s minimální a maximální odchylkou od požadovaného tvaru.

6) Komparace obou variant s modelem, korelace

V tomto případě za model považujeme CAD data tvaru dílů, ze kterých se skládá sedačka, které tvoří žádoucí stav autosedačky, a tedy tomuto by se měla přiblížit každá ze skenovaných variant spolu s požadovanou odchylkou – tolerancí maximální tvarové nepřesnosti akceptovatelné automobilkou. Pokud je zjištěno překročení maximální přípustné odchylky, tak se v rámci metodického postupu, doporučuje přejít k úpravě tolerančního pásma technických parametrů dílů, tj. v našem případě limitních hodnot hustoty a tvrdosti pěny do stavu, kdy je sedačka v přípustné maximální odchylce od modelu.

Při identifikaci nesplnění požadavku zákazníka na maximální tvarovou nepřesnost dílu, je nutné vytvořit nové dva vzorky s posunutím tolerančního pásma dílu, v případě pěnových dílů doporučuji o 5% směrem k jmenovité hodnotě tvrdosti pěny pro variantu s překročenou hodnotou. Při nedodržení celkového tvaru autosedačky jen jedním z mezních vzorků, lze celé toleranční pole tvrdosti pěn posunout o 5% směrem od překročené hodnoty. V případě nedodržení tvaru autosedačky oběma limitními vzorky, je nutné přikročit ke zmenšení tolerančního pásma o 5% z obou stran, tj. zmenšením tolerančního pole tvrdosti celkově o 10%, což může ovlivnit výrobní možnosti dodavatele na dodržení kvality výrobního procesu pěnových dílů, což může způsobit ovlivnění ceny jednotlivých pěnových dílů. Po definici nových limitních hodnot zkoumaných dílů je třeba zopakovat měření a vrátit se k bodu 3 této metodiky a provádět měření korelováním hodnot až do splnění podmínky požadavku maximální přípustné odchylky tvaru autosedačky.

Pokud proběhla komparace obou variant s modelem bez identifikace nedostatků, tak lze doporučit přechod ke kroku číslo osm, tedy potvrzení správné hodnoty hustoty a tvrdosti dílu výrobcí pěny jako mezní hodnoty tolerančního pásma výrobku.

7) Definice technických parametrů výrobku

Na základě předcházejících kroků dochází k identifikaci žádoucí hodnoty tvrdosti a jejího tolerančního pole, případně hustoty pěnových dílů, které budou definovány výrobcí pěny jako mezní výrobní hodnoty, bude zanesena do výrobních výkresů pěnových dílů, pro kterou bude schválena výjimka od zákazníka (automobilky) a pro kterou bude odsouhlasena výjimka z technických požadavků na sedačkový systém - lastenheftu. Navržené toleranční pole výrobku tímto splní svůj účel, protože tento postup umožní omezení vysokých nákladů na mnohačetné 3D laserové skenování a zpracování bodových mračen všech vyrobených sedaček pro potřeby ověření splnění požadovaného tvaru. Celý postup se výrazně zjednodušuje, zrychluje a garantuje dodržení požadovaného tvaru všemi následně vyrobenými sedačkami při splnění předchozích bodů metodiky.

8) Získání zpětné vazby a zhodnocení výsledku

V posledním kroku navrhované metodiky je důraz kladen na získání zpětné vazby a zhodnocení výsledků, které má realizace této metodiky. Zpětnou vazbu je nutné získat, aby se potvrdil či vyvrátil dlouhodobý přínos realizace metodiky, aby mohlo dále docházet ke zlepšování v rámci realizace metodiky. V tomto kroku lze zpětnou vazbu získávat různými kroky a způsoby. Například připravit dotazník pro zúčastněné osoby, realizovat osobní kontakt s výrobcem pěny, nebo naplánovat náhodné budoucí ověření tvaru sedačky metodou skenování a jednorázově ověřit přínos metodiky. Konkrétní formu by si měl zvolit každý výrobce samostatně dle vlastních možností a vlastního uvážení.

Tento metodický postup přináší základní informace o tom, jakým způsobem byl realizován metodický postup skenování bodových mračen autosedaček, aby došlo k ověření metodiky s cílem dosažení sériové výroby dílů, které budou splňovat požadovaný tvar autosedačky v souladu s kritérii daných zákazníkem.

8 Naplnění cílů disertační práce a další řešení

Na vývojových pracovištích, která jsou moderní, tzn. využívají nové informační a komunikační technologie, se stále častěji využívá technologií virtuální reality k reverznímu inženýrství tzv. bodových mračen k reprezentaci výsledků z 3D skenování pro porovnání s plánovaným tvarem výrobku. Tato práce potvrdila, že se jedná o velmi přínosnou metodu, která v konečném důsledku vede k úspoře finančních nákladů, úspoře časových nákladů, ke zvyšování kvality produktů (to pak dopadá i na vyšší spokojenost zákazníků a zainteresovaných stran organizace), dále technologie umožňuje zlepšit podmínky na pracovišti a zvýšit jejich spokojenost.

Klíčovým přínosem disertační práce je vytvořená metodika, ověřená na příkladu skenování autosedaček. Přínosem bádání je nalezení řešení pro budoucí skenování autosedaček, kdy není nutné provádět 50 skenování a jejich zkoumání, ale pouze vyrobít 2 vzorky pěn s limitními hodnotami tvrdosti – na mezi tolerancí – sedačkové pěny s limitně nejnižší přípustnou tvrdostí a naopak vzorky pěn s nejvyšší přípustnou tvrdostí. To znamená provést skenování těchto dvou variant, porovnat je s modelem a upravit toleranční limity hodnoty tvrdosti a hustoty (korelovat) do stavu, kdy je sedačka v přípustné odchylce od modelu a tyto hodnoty tolerančního pole hustoty a tvrdosti zpětně definovat výrobcí pěn jako krajní výrobní hodnoty. S případnou korelací výsledku se maximální množství potřebných skenování snižuje na 8.

Od této doby není nutné realizovat nákladné skenování každé sedačky, ale pouze levně ověřit hodnotu tvrdosti a hustoty dodané pěny a při splnění požadovaných parametrů výrobku dodavatelem má výrobce sedaček jistotu, že tvar sedačky bude odpovídat požadavku zákazníka. Nově navržený postup – metodika, je aplikovatelná na jakýkoliv další projekt vývoje autodílu a sníží čas a náklad na ověření tvaru dle požadavku automobilky.

Automobilkám a dodavatelům automobilového průmyslu prostřednictvím využití metodiky vzniká příležitost k získání úspory nákladů. V konečném důsledku může tato úspora vytvářet posilovat celkovou konkurenceschopnost, a to v rámci celého dodavatelsko-odběratelského řetězce.

Do budoucna se mohou automobilky či jejich dodavatelé pokusit aplikovat metodiku i na další díly a snažit se nalézt pozitivní využití této metodiky při vývoji dalších dílů, systémů či prvků. V současném vysoce konkurenčním prostředí je využívání moderních technologií za účelem tvorby inovací klíčovým úkolem každého podnikatelského subjektu, a v prostředí automobilového průmyslu to samozřejmě také platí. Výsledky této práce dosažení této ambice velmi výrazně napomáhají.

Nově navržený postup – metodika je aplikovatelná na jakýkoliv další projekt v rámci vývoje pěnových dílů v automobilovém průmyslu a snižuje čas a náklady na vývoj požadovaného tvaru dílu, který má odpovídat požadavkům automobilky, resp. zákazníků.

V automobilovém průmyslu neustále dochází ke změnám, ale zároveň platí, že jsou to změny velmi rychlé a dynamické. Každá inovace, která dokáže zkrátit proces výroby, vývoje, či kontroly, je vysoce přínosná, protože poskytuje prostor pro vznik konkurenční výhody. Výstupy z vlastního výzkumu (resp. přínosy této práce) vytvářejí právě prostor pro vznik takové konkurenční výhody, protože dosažení této ambice umožňují. Automobilky musí neustále inovovat svoje produkty, ať splňují neustále se měnící požadavky zákazníků na globálním trhu.

Efektivní možnosti implementace těchto inovací, jejich testování, umožňují právě technologie v podobě virtuální reality a 3D laserového skenování.

Přínosy disertační práce lze shrnout do bodů v podobě:

- 1) Potvrzení významu a využitelnosti virtuální reality a 3D skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu.
- 2) Shrnutí dobrých příkladů z praxe o využití virtuální reality a 3D skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu.
- 3) Navržení metodiky skenování bodových mračen a ověření na příkladu skenování autosedaček pro automobilky, kdy toto vytvoří významné úspory a zvýší efektivitu.
- 4) Identifikace směrů pro další výzkum, a tedy další zlepšování a inovování.

Tato práce jednoznačně potvrdila, že je virtuální realita v současnosti nezbytná v prostředí automobilového průmyslu. Její využití generuje významné úspory, ať už časové či finanční. Žádná z automobilek se nemůže spoléhat na „zastaralé metody“, protože takovéto přinášejí vysoké náklady, a navíc je jejich konkurence nevyužívá, tedy tímto nemůže dojít k získání konkurenční výhody. Široké využití pak v rámci tohoto nalézá 3D laserové skenování bodových mračen. Do budoucna se očekává ještě další růst zájmu a využití virtuální reality, a to prakticky ve všech oblastech, ve kterých se dnes nevyužívá.

Shrnutí dobrých příkladů z praxe o využití virtuální reality a 3D skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu potvrzuje, že je skutečně tato technologie využitelná v praxi a generuje klíčové přínosy pro automobilky, čímž se potvrdila relevantnost realizovaného vlastního výzkumu a jeho zaměření.

Navržení metodiky skenování bodových mračen dílů pro automobily lze pokládat za klíčový přínos, protože kvantifikace možné úspory jednoznačně potvrdila, že nová metodika povede ke zdokonalení procesů při ověřování tvaru dílu. Zpracování práce přineslo zcela nové informace o tom, jakým způsobem zlepšit využití 3D laserového skenování bodových mračen autosedaček, což se pozitivně projeví v rámci jejich výroby a kontroly. Konkrétní úspory jsou potom pro každou automobilku na poměrně výrazné úrovni, tedy mělo by dojít k zavedení této metodiky do praxe u každého dodavatele.

Identifikace směrů pro další výzkum pak vytvořila inspiraci pro další výzkumnou činnost, která může mít stejné či větší dopady na efektivitu. Prostřednictvím navrhované metodiky lze například zkoumat další části automobilů a vytvářet podobně inovativní postupy, které povedou k výraznému zlepšení.

V rámci zhodnocení přínosů disertační práce je potřeba se věnovat i vyhodnocení hypotéz.

8.1 Vyhodnocení hypotéz

V rámci zhodnocení přínosů lze vyhodnotit i jednotlivé hypotézy, resp. provést jejich vyvrácení či potvrzení.

H₁: Obecnou metodiku 3D laserového skenování bodových mračen automobilů (a autodílů) lze využít v jakékoliv organizaci dodávající automobilkám díly. Metodika poskytuje reálné informace o kvalitě a funkčnosti. Tato hypotéza byla potvrzena. Metodika 3D laserového skenování (z obecného hlediska) se využívá při výzkumech automobilů a autodílů, popř. při testování jejich kvality a funkčnosti (zejména bezpečnosti). To potvrzuje výzkum Fang

a kol., Zhang a kol., Xu a kol., Lyu a kol., Glombíkové a kol. Praxe automobilek Volkswagen, Škoda, Nissan, General Motors. Výzkumy či příklady z praxe popisují různé způsoby využití 3D laserového skenování bodových mračen, a tedy se tímto potvrzuje právě různá využitelnost tohoto procesu.

H₂: 3D laserové skenování bodových mračen autosedaček generuje různé výsledky u různých autosedaček. Tato hypotéza byla potvrzena. Z realizace 3D laserového skenování v rámci zpracování práce je zřejmé, že dochází ke generování různých výsledků u různých autosedaček. Rozdíly vykazují autosedačky s různým potahem, ale také v souvislosti s výsledky maximální tvarové odchylky v různých oblastech.

H₃: Využitím nové metodiky dojde ke snížení počtu nutných skenování komponentů. Tato hypotéza byla potvrzena. V rámci původního stavu bylo nutné realizovat minimálně 50 skenování autosedaček. Nový stav snižuje tento počet na čtvrtinu, tedy je dostačující 4 - 8 skenování. Prostřednictvím vlastního skenování a výzkumu se podařilo zjistit, že je dostačující vyrobít pouze 4 - 8 vzorků pěny s limitními hodnotami tvrdosti – na mezi tolerancí – sedačkové pěny s limitně nejnižší a nejvyšší přípustnou tvrdostí a komparovat s modelem a upravit toleranční pásmo hodnoty hustoty a tvrdosti (korelovat) do stavu, kde je sedačka v přípustné odchylce od modelu a tyto hodnoty tolerančního pásma hustoty a tvrdosti zpětně definovat výrobcí pěn jako limitní výrobní parametry.

H₄: Využitím metodiky dojde k úspoře mzdových nákladů automobilky (či dodavatele automobilky – výrobce autosedaček). Tato hypotéza byla potvrzena. Tím, že byl počet potřebných skenování snížen na čtvrtinu původního stavu, tato úspora generuje úsporu mzdových nákladů pracovníka provádějícího skenování a další úspora souvisí se zkrácením času pracovníka analyzujícího výsledky měření. U jednoho projektu autosedaček se jedná o úsporu 100 hodin, což při uvažování sazby pracovníka a skenovacího zařízení (pro ČR v roce 2020) činí úsporu 88 000 Kč.

H₅: Využitím metodiky dojde ke zkrácení času pracovní operace na pracovišti (v podobě skenování autosedačky). Tato hypotéza nebyla zcela potvrzena. Navrhovaná metodika jednoznačně snižuje počet potřebných skenování, ale nijak nezkracuje čas pracovních operací samotného skenování na pracovišti.

V závěru této kapitoly lze konstatovat, že využití virtuální reality a zejména 3D laserového skenování bodových mračen výrazně pomáhá ke zkrácení doby vývoje automobilových sedaček. Realizace vlastního výzkumu v rámci zpracování práce navíc přinesla nové řešení, které ještě více zkracuje celý proces a velmi výrazně šetří i finanční náklady automobilkám.

Do budoucnosti se nabízí několik dalších alternativ výzkumné činnosti. Těmito alternativami se zabývá další část práce.

8.2 Doporučení pro další postup v bádání

Z informací, které jsou v rámci této práce uvedené lze odvodit, že technologie 3D laserového skenování bodových mračen bude využívána i v budoucnosti, a tedy je žádoucí navrhnout další možné doporučení pro budoucí bádání, a to včetně zhodnocení limitů, které měla tato práce, protože další výzkum může identifikované limity překračovat.

3D laserové skenery umožňují získat vysoce relevantní data, která lze využívat pro řadu různých účelů. Stále však platí, že je plnohodnotné využití 3D laserového skeneru (a zejména

vyhodnocení jeho výstupů) podmíněna určitou kvalifikací pracovníků, kteří se touto činností zabývají. Navíc neustále dochází k vývoji těchto technologií, což vytváří požadavky na neustálé prohlubování znalostí mezi těmito pracovníky. Z tohoto důvodu se může budoucí bádání více zaměřit na tvorbu systému, ve kterém bude docházet k neustálé edukaci zaměstnanců o tom, jak se zdokonalovat ve využití 3D laserového skeneru. Za tímto účelem může také vzniknout metodika, která zaměstnancům zprostředkuje základní možnosti, jak odstraňovat tuto překážku.

Navrhovaná metodika (jako výstup vlastního výzkumu) V budoucnosti lze provést kvalitativní šetření, které konkrétně odhalí, proč 20,00 % respondentů hovoří o výsledcích realizovaného výzkumu jako spíše přínosných, a tedy nikoliv jako o velmi přínosných. To znamená, že u tohoto typu respondentů nepanuje úplné přesvědčení o přínosech. Z tohoto důvodu je žádoucí zjistit konkrétní důvody, proč tomu takto je.

V rámci praktické realizace zpracování práce, zabývající se získáním dat pro tvorbu metodiky, bylo naskenováno 525 setů zadních automobilových sedaček v rámci vývojové fáze automobilu. Definovaná bodová mračna pak byla komparována s modelem a ve většině případů bylo zjištěno, že neodpovídají tvarovým kritériím automobilky. V budoucnosti lze podobnou metodou zkoumat i další části automobilu a získávat další informace, které povedou k úspoře finančních nákladů a času, zefektivní stanovení tolerančního pole dílů a urychlí kontrolu.

Dále se lze v budoucnosti zaměřit na hledání možností, jak ještě více integrovat poznatky získané 3D laserovým skenováním s virtuální realitou.

8.3 Limity výzkumu

Realizace výzkumu v rámci zpracování práce byla spojena i několika limity výzkumné činnosti.

Pro výzkum bylo využito pouze vybavení dostupné ve společnosti Lear corporation. Je možné, že jiné vybavení může generovat odlišné a relevantnější výsledky, i když je tato varianta spíše nepravděpodobná.

Dále z hlediska výsledků platí, že pro některé subjekty může být problematické, že je využití 3D laserového skenování spojeno s vyššími náklady na pořízení relevantní technologie, či s vyššími požadavky na kvalifikaci personálu. Finančně stabilní organizace by však neměla mít problém s pořízením takové technologie, která navíc může v konečném důsledku zajistit generování vyšších výnosů, či alespoň vytvořit nákladové úspory.

Dalším limitem v rámci vlastního výzkumu byl počet skenování různých typů autosedaček. Na trhu se nachází vyšší počet automobilek, pro které jsou vyvíjeny autosedačky, než počet, pro který bylo provedeno dotazníkové šetření, což může vést k omezení v rámci využití výsledků výzkumu v praxi. Většina vývojových pracovníků však hovoří o tom, že jsou výsledky přínosné – viz dotazníkové šetření, tedy tento limit není příliš velkou překážkou.

Závěr

Tato předložená práce se zabývala problematikou skenování bodových mračen, jejich zpracováním a zejména jejich využitím v automobilovém průmyslu.

Úspěch v dnešním podnikatelském prostředí je podmíněn neustálou inovací a schopností rychlé a flexibilní reakce na změny, které neustále ovlivňují podniky, ať už přímo nebo nepřímo. Pro velké a nadnárodní korporace se jako stěžejní v tomto směru jeví využití moderních komunikačních a informačních technologií. Toto tvrzení se potvrzuje na významu 3D laserového skenování v rámci dosahování konkurenční výhody, a tedy i dosahování konkurenceschopnosti.

Úspěšnost skenování bodových mračen je podmíněna širokou řadou faktorů, ať už se jedná o vhodné nastavení laboratorních podmínek, či nutnost pochopení fungování technologie 3D skenování apod.

Tato práce potvrdila, že je škála využití výsledků z 3D laserového skenování velmi široká. Do budoucna lze navíc předpokládat, že se bude tato technologie uplatňovat ve stále větší míře a bude docházet k dalšímu rozvoji oblastí, ve kterých lze 3D laserové skenování provádět. Pro podnikatelské organizace je tedy žádoucí její využití, protože do budoucna se tomuto pravděpodobně nevyhnou.

Práce dále potvrdila, že v rámci řešení různých situací v životě organizace, nelze provádět efektivní rozhodování při využití běžných konvenčních metod, což se vztahuje zejména k problematice měření objektů se složitou strukturou povrchu či s nepravidelnými tvary. Právě 3D technologie laserového skenování se v těchto případech jeví jako velmi vhodná, a to v kombinaci s využitím bodových mračen pro zpracování výstupu.

3D skenování je oborem, který bude v následujících letech zažívat další rozvoj a vývoj, přístupy a technologie 3D skenování se budou neustále zdokonalovat a rozšiřovat. Lze předpokládat, že se znalost 3D skenování stane zásadním předpokladem pro udržení konkurenceschopnosti v některých průmyslových oborech. Návrh metodiky skenování se proto jeví jako přínos pro podniky či zaměstnance, kteří se chtějí v této oblasti neustále zdokonalovat a zlepšovat.

Primárním cílem práce je prostřednictvím virtuální reality a 3D skenování bodových mračen vytvořit metodiku pro vývoj komponent v automobilovém průmyslu, demonstrována příkladem kontroly zadních sedaček osobních automobilů, kdy tato metodika vede k úspoře časových a finančních nákladů při vývoji dílů tím, že zefektivní proces stanovení tolerančního pole dílů.

V rámci výzkumu, bylo při praktické realizaci naskenováno 525 setů zadních automobilových sedaček v rámci vývojové fáze automobilu. Definovaná bodová mračna pak byla komparována s modelem a ve většině případů bylo zjištěno, že neodpovídají rozměrovým požadavkům. To je však možné efektivně vyřešit novým metodickým postupem, který je právě předmětem navržené metodiky této práce. Konkrétnější rozbor jednotlivých kroků v rámci metodiky se nachází v příslušné části práce. Stěžejní informace a doporučení se opírají o zjištění z vlastního výzkumu, který byl v rámci této práce realizován, ale také z dalších informací, ať už primárního či sekundárního charakteru. Prostřednictvím zpracování výzkumu a realizace primárního šetření mezi vývojovými pracovníky pracujícími na projektech globálního automobilového průmyslu, se potvrdilo, že navrhovaná metodika povede k úspoře

časových a finančních nákladů, protože výrazně snižuje nutnost realizace 3D laserových skenování bodových mračen, resp. výrazně eliminuje počet měření, které je nutné realizovat pro získání relevantních výstupů. Metodika poskytuje návod, jak celý proces výrazně zkrátit a zjednodušit, ale také, jakým prvkům a jevům v daném procesu, přikládat výraznou pozornost. Metodika byla ověřena na příkladu skenování zadní autosedačky, kde klíčovou roli v celém metodickém postupu hraje 3D laserové skenování a práce s bodovými mračky, která má vést k identifikaci žádoucí míry hustoty a tvrdosti dané pěny jako mezní hodnoty tolerančního pásma dílů. V rámci metodiky není opomenuta ani nutnost získávání zpětné vazby za účelem neustálého zlepšování.

Splnění primárního cíle bylo spojeno s nutností naplnění těchto dílčích cílů:

- Definovat způsoby využití virtuální reality v podnikatelské praxi automobilek či průmyslových podniků.
- Definovat výhody využití bodových mračen a způsoby pro získání bodových mračen.
- Realizovat vlastní skenování zadních autosedaček osobních automobilů.
- Ověřit prostřednictvím primárního sběru dat a vlastním ověřením metodiky, zda výstupy z výzkumné činnosti povedou ke snížení časových a finančních nákladů.

Virtuální realita v automobilovém průmyslu se využívá pro širokou škálu různých činností a aktivit, které zpravidla vedou k zajištění a dosažení vyšší efektivity interních procesů či produktů. Význam virtuální reality navíc bude i nadále růst, tedy bude se jednat o stále využívanější techniku, která výrazně přispěje k rozvoji v celém segmentu automobilového průmyslu. Tato práce identifikovala řadu konkrétních přínosů z praxe různých automobilek. Virtuální realita pomáhá při navrhování automobilů, při designu automobilů, zlepšuje ergonomické podmínky na pracovišti, umožňuje efektivnější edukaci zaměstnanců a v celé řadě případů snižuje náklady na různé činnosti. Vzhledem k primárnímu cíli práce se tímto potvrdilo, že má technologie virtuální reality svůj potenciál a může být využita ke zlepšení vývoje a kontroly zadních autosedaček. Virtuální realita a práce s bodovými mračky je podstatnou a nyní již obvyklou součástí práce různých společností vyvíjejících díly pro automobilky.

Z tohoto pohledu bylo velmi podstatné definovat výhody využití bodových mračen a způsoby pro získání bodových mračen. Identifikované způsoby jsou navíc přímo součástí navrhované metodiky. Získání bodových mračen probíhá nejčastěji prostřednictvím 3D laserového skenování a postupy využití v rámci této práce, se od tohoto poznatku neodchylují. Základní výhodou bodových mračen je potom možnost neinvazivního prozkoumání určitého objektu, tedy lze provést podrobné zkoumání určitého objektu, aniž by došlo k jeho narušení. Bodová mračka poskytuje informace o shluku bodů, čímž poskytují prostor pro definici různých výstupů.

Realizace vlastního skenování autosedaček proběhla v několika různých fázích, kdy bylo skenováno několik různých variant autosedaček. Tato variantnost byla zvolena z toho důvodu, že automobilky vyrábějí autosedačky v různých komfortních a materiálových stupních, a tedy skenování pouze jedné varianty nemusí přinést dostatečně relevantní a objektivní výsledky. Právě prostřednictvím vlastního skenování se podařilo získat podstatné znalosti pro návrh vlastní metodiky, která by měla automobilkám ušetřit náklady. Z primárního sběru dat potom vyplynulo, že nadpoloviční většina pracovníků vyvíjejících díly automobilkám skutečně

pozitivně hodnotí výstupy z vlastního realizovaného výzkumu, tedy závěry jsou relevantní a využitelné v praxi automobilového průmyslu.

Disertační práce tedy pro praxi ve využití 3D laserového skenování bodových mračen vygenerovala čtyři základní přínosy. Za prvé, jednoznačně potvrdila význam a využitelnost virtuální reality a 3D skenování bodových mračen v automobilovém průmyslu, čímž potvrdila aktuálnost a relevantnost řešené problematiky. Za druhé, prostřednictvím shrnutí dobrých příkladů z praxe identifikovala disertační práce základní oblasti, ve kterých lze zkoumané technologie aktivně využívat, tedy vytvořila základní povědomí o tom, kterými směry může být vlastní výzkum směřován. Za třetí, došlo k návrhu vlastní metodiky skenování bodových mračen autodílů, a následným ověřením metodiky na příkladu skenování zadní autosedačky byl vytvořen postup, který se efektivně uplatní v praxi automobilového průmyslu, přinese úspory a vyšší efektivitu. Za čtvrté, došlo k identifikaci směrů pro další výzkum, které mohou způsobit, že opět dojde k nalezení metodiky, která povede ke zlepšování a úsporám.

Citovaná literatura

[1] VEBER, Jaromír. *Management inovací*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-423-3.

[2] PILNÝ, Ivan. *Digitální ekonomika: žít nebo přežít*. Brno: BizBooks, 2016. ISBN 978-80-265-0481-8.

[3] KOPŘIVA, Lukáš. POSOUZENÍ VYUŽITÍ NÍZKO NÁKLADOVÉHO 3D SKENOVÁNÍ. *Mladá Veda* [online]. 2017, vol. 5, no. 5, s. 43-47.

[4] CAD. 3D skenování. *Www.cad.cz/* [online]. 2019 [cit. 2019-06-23]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2851-3d-skenovani.html>

[5] MATALOVÁ, Helena. Jak uplatnit 3D skener a získat konkurenční výhodu. *Www.cad.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/8604-jak-uplatnit-3d-skener-a-ziskat-konkurencni-vyhodu.html>

[6] BAUMRUK, Martin. Digitální továrna a ergonomické analýzy v automobilovém průmyslu. *Www.mmspektrum.com* [online]. 2012 [cit. 2019-06-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/digitalni-tovarna-a-ergonomicke-analyzy-v-automobilovem-prumyslu.html>

[7] HUBINKOVÁ, Zuzana. *Psychologie a sociologie ekonomického chování*. 3., aktualiz., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 277 s. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1593-3.

[8] KOPŘIVA, Lukáš a Daniel KUČERKA. VIRTUÁLNÍ REALITA: TECHNOLOGIE, POUŽITÍ. *Mladá Veda* [online]. 2017, vol. 5, no. 7, s. 39-44.

[9] BURDEA, G. a P. COIFFET. *Virtual Reality Technology*. USA: John Wiley, 2017. ISBN 9781119485728.

[10] HOŘEJŠÍ, Petr. Optimalizace výrobních procesů pomocí virtuální reality. *M.systemonline.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/optimalizace-vyrobnich-procesu-pomoci-virtualni-reality.htm>

[11] SKŘEHOT, Petr. Praktické aspekty ergonomie pracovišť. *Www.bozpinfo.cz* [online]. 2013 [cit. 2019-06-23]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/prakticke-aspekty-ergonomie-pracovist>

[12] DEY, Tamal K., et al. Automatic posing of a meshed human model using point clouds. *Computers & Graphics*, 2015, 46: 14-24.

[13] ŠVEHLA, Jiří. 3D skenery aneb tvorba objektů do virtuálního světa. *Metodický portál: Články* [online]. 16. 10. 2014, [cit. 2019-06-13]. Dostupný z WWW:

<<https://spomocnik.rvp.cz/clanek/19153/3D-SKENERY-ANEK-TVORBA-OBJEKTU-DO-VIRTUALNIHO-SVETA.html>>. ISSN 1802-4785.

[14] SLÁMA, Lukáš. Měření laserovým 3D skenerem. *Stc.fs.cvut.cz/* [online]. 2011 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://stc.fs.cvut.cz/history/2011/sbornik/papers/pdf/1100079-1.pdf>

[15] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.

[16] CHENG, Liang. Registration of Laser Scanning Point Clouds: A Review. *Www.ncbi.nlm.nih.gov* [online]. 2018 [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5981425/>

[17] Technologie laserového skenování při přesné dokumentaci tvarově složitých objektů. *Www.cad.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/gis/80-gis/1915-technologie-laseroveho-skenovani-pri-presne-dokumentaci-tvarove-slozitych-objektu.html>

[18] ACHLIOPTAS, Panos, et al. Learning representations and generative models for 3d point clouds. *arXiv preprint arXiv:1707.02392*, 2017.

[19] RETHAGE, Dario, et al. Fully-convolutional point networks for large-scale point clouds. In: *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*. 2018. p. 596-611.

[20] THEINER, M. 3D laserové skenování. *Www.theinergk.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: <http://www.theinergk.cz/3DLaserScanning.html>

[21] BOBÁL, Peter, Marek FRAŠTIA a Marek IVAŇÁK. MRAČNO BODOV AKO ZDROJ DÁT PRE TVORBU DMR. *Gisak.vsb.cz* [online]. 2015 [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2015/sbornik/papers/gis2015541c0dd120f55.pdf

[22] DUFFY, V. *Digital Human Modeling*. USA: Springer, 2015. ISBN 9783319210704.

[23] SINGER, Zachary. Understanding Machine Learning on Point Clouds through PointNet++. *Towardsdatascience.com* [onlineerwtfgdfsg]. 2019 [cit. 2019-06-23]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/understanding-machine-learning-on-point-clouds-through-pointnet-f8f3f2d53cc3>

[24] RAMKUMAR. Sedm přínosů využití rozšířené a virtuální reality. *Www.controlengcesko.com* [online]. 2018 [cit. 2019-06-23]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/sedm-prinosu-vyuziti-rozsirene-a-virtualni-reality/>

[25] ABBAS. Využití 3D skenování v průmyslu. *Www.skenovani3d.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <http://www.skenovani3d.cz/aktuality/vyuziti-3d-skenovani-v-prumyslu/>

[26] KRISTEN, Vojtěch. REPORTÁŽ: 20 let virtuální reality ve Škoda Auto. „VR brýle jsou u nás běžné jako počítačová myš“. *Www.info.cz/* [online]. 2018 [cit. 2019-06-23].

Dostupné z: <https://www.info.cz/cesko/reportaz-20-let-virtualni-reality-ve-skoda-auto-vr-bryle-jsou-u-nas-bezne-jako-pocitacova-mys-35904.html>

[27] GAYZIK, F. S. et al. Development of a Full Body CAD Dataset for Computational Modeling: A Multi-modality Approach. *Annals of Biomedical Engineering* [online]. 2011, vol. 39, no. 10, s. 2568-83. ISSN 00906964.

[28] BARBIC, J. et al. *Virtual Reality and Augmented Reality*. USA: Springer, 2017. ISBN 9783319723235.

[29] BARFIELD, W. *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. USA: CRC Press, 2015. ISBN 9781482243512.

[30] SEAT. *SEAT: Car development then & now* [online]. New Delhi: Athena Information Solutions Pvt. Ltd, 2018. Copyright - Copyright 2017 Contify.com; Poslední aktualizace - 2018-06-08.

[31] VEHICLE SCANS. Vehicle scans. *Www.vehiclescans.com* [online]. 2015 [cit. 2019-06-23]. Dostupné z: <https://www.vehiclescans.com/resources>

[32] KUŞ, Abdil. Implementation of 3D optical scanning technology for automotive applications. *Sensors*, 2009, 9.3: 1967-1979.

[33] HYBRID.CZ. Virtuální realita zkracuje dobu výroby prototypů aut o třetinu. *Www.hybrid.cz/* [online]. 2016 [cit. 2019-06-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/virtualni-realita-zkracuje-dobu-vyroby-prototypu-aut-o-tretinu>

[34] YOGESWARAN, Arjun; PAYEUR, Pierre. Features extraction from point clouds for automated detection of deformations on automotive body parts. In: *2009 IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments*. IEEE, 2009. p. 122-127.

[35] PARÁČKOVÁ, Markéta. Virtuálně-reálné automobily: Jak funguje testování ve virtuální realitě?. *Www.studenta.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-07-03]. Dostupné z: <https://www.studenta.cz/poweredbyexperts/virtualne-realne-automobily-jak-funguje-testovani-ve-virtual/r~0dda95bc26a111e8a79a0cc47ab5f122/>

[36] Virtuální realita na dosah ruky aneb jak vzniká 3D. *Www.mediaguru.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: <https://www.mediaguru.cz/clanky/2014/06/virtualni-realita-na-dosah-ruky-aneb-jak-vznika-3d/>

[37] ALLIED MARKET RESEARCH. Výdaje na rozšířenou a virtuální realitu v autoprůmyslu vzrostou do roku 2025 o 175 %. *Www.digibiz.cz/* [online]. 2019 [cit. 2019-07-03]. Dostupné z: <https://www.digibiz.cz/clanek/vydaje-na-rozsirenou-virtualni-realitu-v-automobilovem-prumyslu-vyrazne-vzrostou/>

[38] ZHAN, Ping et al. *Proceedings of the 21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014*. USA: Springer, 2015. ISBN 9789462391024.

- [39] XU, Zhi Wei et al. Car Seat Backrest Static Strength Experiment and Simulation. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2009, vol. 16-19, s. 178. ISSN 16609336.
- [40] FARO. Metrology Automotive Seating. *Dewyseng.com/* [online]. 2013 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://dewyseng.com/wp-content/uploads/2017/01/FARO-ARM-Laser-Scan-Case-Study.pdf>
- [41] GLOMBIKOVA, Viera et al. Approach to evaluation of car seats fabrics performance. *Industria Textila* [online]. 2018, vol. 69, no. 2, s. 96-103. ISSN 12225347.
- [42] HANGZHOU SCANTECH CO. How to solve the problem of car seat design with 3D scanning?. *Www.3d-scantech.com* [online]. 2019 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.3d-scantech.com/how-to-solve-the-problem-of-car-seat-design-with-3d-scanning/>
- [43] QMT MOBILE. Scanning sits comfortably with Lear. *Www.qmtmag.com/* [online]. 2019 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://www.qmtmag.com/mobile/mobilepage.cfm?inc=page&edno=7485939>
- [44] PRIMA BILAVČÍK. FARO® QuantumS FaroArm®. *Www.merici-pristroje.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/merici-rameno/>
- [45] Gregor, M., Hořejší, P., Šimon, M., Case study: Motion capture for ergonomics, Proceedings of The 25th International Business Information Management Association Conference, pp. 468-476, 2015.
- [46] Regazzoni D, Vecchi G, Rizzi C., RGB cams vs RGB-D sensors: Low cost motion capture technologies performances and limitations, *Journal of Manufacturing, Systems*, Elsevier, Volume 33, Issue 4, 2014, pp. 719-728, ISSN: 02786125
- [47] Gregor, M., Polcar J., Hořejší, P., Šimon, M., Factory Virtual Environment Development for Augmented and Virtual Reality, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 108, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, ICALIP Penang, Malaysia, 2015, 9(12), 2219 - 2223.
- [48] Gregor, M., Polcar, J., Hořejší P., Kopeček, P., Comparative study for visualization of factory layout elements using augmented reality and point cloud, Proceedings of The 26th International Business Information Management Association Conference, 132-143, ISBN: 978-0-9860419-5-2.

[49] Polcar, J., Gregor, M., Hořejší, P., Kopeček, P., Methodology for designing virtual reality applications, 26th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM, 2015.

[50] Polcar, J., Gregor, M., Hořejší, P., Kopeček, P., Projection of LiDAR Point Cloud Slices to Raster Images as 3D Modelling Underlays, Proceedings of The 26th International Business Information Management Association Conference, 2220-2225, ISBN: 978-0-9860419-5-2.

[51] LYU, Nengchao et al. Modeling Vehicle Collision Angle in Traffic Crashes Based on Three-Dimensional Laser Scanning Data. *Sensors* [online]. 2017, vol. 17, no. 3, s. 482.

[52] FANG, Jin, et al. Simulating LiDAR point cloud for autonomous driving using real-world scenes and traffic flows. *arXiv preprint arXiv:1811.07112*, 2018.

[53] HORVÁTHOVÁ, Miroslava, Roman LACKO a Zuzana HAJDUOVÁ. Using Industry 4.0 Concept - Digital Twin - to Improve the Efficiency of Leather Cutting in Automotive Industry. *Quality Innovation Prosperity / Kvalita Inovácia Prosperita* [online]. 2019, **23**(2), 1-12 [cit. 2019-08-27]. DOI: 10.12776/QIP.V23I2.1211. ISSN 13351745.

[54] KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Začínáme s 3D tiskem*. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.

[55] PUTTONEN, Eetu et al. Improved Sampling for Terrestrial and Mobile Laser Scanner Point Cloud Data. *Remote Sensing* [online]. 2013, vol. 5, no. 4, s. 1754-1773.

[56] CLARK, Jim. Implementing non-contact digitisation techniques within the mechanical design process. *Sensor Review* [online]. 2000, vol. 20, no. 3, s. 195-201. ISSN 02602288.

[57] DE-LIANG, Chen a Lu YAN-YAN. *3D road surface reconstruction based on point clouds data assimilation algorithm* [online]. Les Ulis: EDP Sciences, 2017.

[58] GIAMMANCO, Ian M. et al. Using 3D Laser Scanning Technology to Create Digital Models of Hailstones. *Bulletin of the American Meteorological Society* [online]. 2017, vol. 98, no. 7, s. 1341-1347. ISSN 00030007.

[59] NAYAK, Rajkishore a Rajiv PADHYE. The use of laser in garment manufacturing: an overview. *Fashion and Textiles* [online]. 2016, vol. 3, no. 1, s. 1-16.

[60] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

[61] SMITH, Susan. 3D Scanning Is Flying High. *CADalyst* [online]. 2011, vol. 28, no. 1, s. 12-18. ISSN 08205450.

[62]STRAUB, Jeremy et al. Characterization of a Large, Low-Cost 3D Scanner. *Technologies* [online]. 2015, vol. 3, no. 1, s. 19-36.

[63]HOVAD, Jan. Návrh akcelerace časově náročných operací při tvorbě 3D modelu povrchu z lidarových dat za pomoci distribuovaných výpočtů. *Scientific Papers of the University of Pardubice. Series D. Faculty of Economics and Administration* [online]. 2014, no. 32, s. 18-27. ISSN 1211555X.

[64]TEH, Peh Chiong et al. LiDAR Point Cloud 3D attribute extraction and development of PCL based visualization interface. *I-Manager's Journal on Cloud Computing* [online]. 2017, vol. 4, no. 2, s. 15-22. ISSN 23496835.

[65]TITUS, Karen. Laser Scans Point Clouds. *Quality* [online]. 2003, vol. 42, no. 13, s. 22-23. ISSN 03609936.

[66]HAN, Chao. VRMesh for LiDAR Point Clouds: 3D Point Cloud and Mesh Processing Software. *GeoInformatics* [online]. 2014, vol. 17, no. 7, s. 49. ISSN 13870858.

[67]MIKULECKÁ, Kristýna. POSOUZENÍ TECHNOEKONOMICKÉHO VYUŽITÍ NÍZKONÁKLADOVÉ 3D TISKÁRNY. *Mladá Věda* [online]. 2017, vol. 5, no. 5, s. 60-66.

[68]SHENG, Buyun et al. A Lightweight Surface Reconstruction Method for Online 3D Scanning Point Cloud Data Oriented toward 3D Printing. *Mathematical Problems in Engineering* [online]. 2018, vol. 2018, s. 16. ISSN 1024123X.

[68]SHENG, Buyun et al. A Lightweight Surface Reconstruction Method for Online 3D Scanning Point Cloud Data Oriented toward 3D Printing. *Mathematical Problems in Engineering* [online]. 2018, vol. 2018, s. 16. ISSN 1024123X.

[69]LECKLIDER, Tom. 3D printing drives automotive innovation. *EE: Evaluation Engineering* [online]. 2017, **56**(1), 16-19 [cit. 2019-08-27]. ISSN 01490370.

[70]MUFTOOH, U. R. Siddiqi et al. Low cost three-dimensional virtual model construction for remanufacturing industry. *Journal of Remanufacturing* [online]. 2019, vol. 9, no. 2, s. 129-139. ISSN 2210464X.

[71]FERREIRA, Marcos, António Paulo MOREIRA a Pedro NETO. A low-cost laser scanning solution for flexible robotic cells: spray coating. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2012, vol. 58, no. 9-12, s. 1031-1041. ISSN 02683768.

[72]MENDRICKÝ, Radomír. Using Contactless Scanning for Quality Control of Automotive Parts. *Materials Science Forum* [online]. 2016, vol. 862, s. 324-333. ISSN 02555476.

[73]KIRACI, Ercihan, Alex ATTRIDGE a Mark A. WILLIAMS. The Use of Laser Scanning Technology to Improve the Design Process. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2011, vol. 110-116, s. 4118. ISSN 16609336.

[74]VOICU, Adrian-Catalin a Gheorghe I. GHEORGHE. 3D DIGITIZATION TECHNOLOGY - A NEW MECHATRONIC METHOD OF INTELLIGENT INTEGRATED DIMENSIONAL CONTROL OF COMPLEX COMPONENTS FROM AUTO INDUSTRY. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering* [online]. 2016, vol. 9, no. 4, s. 57-62.

[75]JEDELMAN, Gerda a Jurrien BIJHOLD. Tracking people and cars using 3D modeling and CCTV. *Forensic Science International (Online)* [online]. 2010, vol. 202, no. 1, s. 26-35.

[76]WALTER, Kenny. *Using virtual reality, automotive designers can step into their creations* [online]. Highlands Ranch: Advantage Business Media, 2019. Název - D Magazine; Ford Motor Co; Copyright - Copyright Advantage Business Media Feb 13, 2019; Poslední aktualizace - 2019-07-02.

[77]VOICU, Adrian-Catalin a Gheorghe I. GHEORGHE. HIGH-TECH MECHATRONIC EQUIPMENT FOR 3D INTEGRATED CONTROL OF COMPLEX COMPONENTS FROM AUTOMOTIVE INDUSTRY BY LASER SCANNING. *Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics* [online]. 2014, no. 45, s. 103-108. ISSN 15845982.

[78]WOLNIAK, Radosław. Downtime in the Automotive Industry Production Process - Cause Analysis. *Quality Innovation Prosperity / Kvalita Inovácia Prosperita* [online]. 2019, **23**(2), 101-118 [cit. 2019-08-27]. DOI: 10.12776/QIP.V23I2.1259. ISSN 13351745.

[79]DÁVIDEKOVÁ, Monika, Michal MJARTAN a Michal GREGUŠ. IMPLEMENTING VIRTUAL REALITY INTO EMPLOYEE EDUCATION IN PRODUCTION SECTOR OF AUTOMOTIVE INDUSTRY: CREATING WORKER TRAINING FOR ASSEMBLING CAR DASHBOARD IN VIRTUAL REALITY. *Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research* [online]. 2017, **7**(1), 185-190 [cit. 2019-08-27]. ISSN 18047890.

[80]BORSCI, Simone et al. When simulated environments make the difference: the effectiveness of different types of training of car service procedures. *Virtual Reality* [online]. 2016, vol. 20, no. 2, s. 83-99. ISSN 13594338.

[81]AMEEN, Wadea, Abdulrahman AL-AHMARI a Hammad Mian SYED. Evaluation of Handheld Scanners for Automotive Applications. *Applied Sciences* [online]. 2018, vol. 8, no. 2, s. 217.

[82]ASSMANN, Ernst. The use of virtuality in car development. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society ...Annual Meeting* [online]. 2000, vol. 6, s. 828. ISSN 10711813.

- [83]BOGUE, Robert. Car manufacturer uses novel laser scanner to reduce time to production. *Assembly Automation* [online]. 2008, vol. 28, no. 2, s. 113-114. ISSN 01445154.
- [84]VOICU, Adrian Catalin et al. 3D Measuring of Complex Automotive Parts by Multiple Laser Scanning. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2013, vol. 371, s. 519. ISSN 16609336.
- [85]KUS, Abdil. Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications. *Sensors* [online]. 2009, vol. 9, no. 3, s. 1967-1979.
- [86]REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [87]PAUER, Václav. *Vývoj konstrukce závodních vozů: vše podstatné z historie techniky formulových vozů*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3015-8.
- [88]POPE, Hannah. Chapter 5. The Future of Virtual and Augmented Reality. *Library Technology Reports* [online]. 2018, vol. 54, no. 6, s. 21-25. ISSN 00242586.
- [89]FOJTLÍN, Miloš et al. Determination of car seat contact area for personalised thermal sensation modelling. *PLoS One* [online]. 2018, vol. 13, no. 12.
- [90]TAYLOR, John a. m., Jeanmarie BURKE, John GAVENCAK a Pervinder PANWAR. Knowledge and application of correct car seat head restraint usage among chiropractic college interns: a cross-sectional study. *Journal of the Canadian Chiropractic Association* [online]. 2005, **49**(1), 32-39 [cit. 2019-08-27]. ISSN 00083194.
- [91]SCHWARZ, Jiří a Jiří WOHLMUTH. *Automobily Škoda Superb: konstrukce, technické hodnoty, údržba*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0879-5.
- [92]HAUPT-HARRINGTON, Rachael I. The Post-Discharge Car Seat Challenge: An Investigation of Utilization and Feasibility. *Pediatric Nursing* [online]. 2018, **44**(2), 61-68 [cit. 2019-08-27]. ISSN 00979805.
- [93]PETRŮ, Michal a Jan PETŘÍK. SYSTEMS TO OPTIMIZE COMFORT AND DEVELOPMENTS OF CAR SEAT. *Acta Technica Corvinensis - Bulletin of Engineering* [online]. 2018, **11**(4), 55-60 [cit. 2019-08-27]. ISSN 20673809.
- [94]SUBRAMANIYAM, Murali a Heeran LEE. Driving Posture Measurement using 3D Scanning Measuring Technique. *SAE International Journal of Passenger Cars: Mechanical Systems* [online]. 2015, **8**(2), 600-605 [cit. 2019-08-27]. DOI: 10.4271/2015-01-1392. ISSN 19463995.

[95]HRIVNÁK, Radovan a Ivan KURIC. THE OBJECT'S DIGITIZING - THE REVERSE ENGINEERING PROCESS. *Scientific Bulletin Series C : Fascicle Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology* [online]. 2007, vol. 21, s. 279-284. ISSN 12243264.

[96]BERG, Leif P. a Judy M. VANCE. Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual Reality* [online]. 2017, vol. 21, no. 1, s. 1-17. ISSN 13594338.

[97]BAEK, Dongyoub, Sungmin CHO a Hyunwoo BANG. Wheel alignment inspection by 3D point cloud monitoring. *Journal of Mechanical Science and Technology* [online]. 2014, vol. 28, no. 4, s. 1465-1471. ISSN 1738494X.

[98]ZHOU, Yu Qing. Reverse Modeling of Auto Part Reconstruction Based on CATIA. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2012, vol. 159, s. 253. ISSN 16609336.

[99]HAGEDORN-HANSEN, D., M. b. BEZUIDENHOUT, D. m. DIMITROV a G. a. OOSTHUIZEN. THE EFFECTS OF SELECTIVE LASER MELTING SCAN STRATEGIES ON DEVIATION OF HYBRID PARTS. *South African Journal of Industrial Engineering* [online]. 2017, **28**(3), 200-212 [cit. 2019-08-30]. DOI: 10.7166/28-3-1862. ISSN 1012277X.

[100]DOSHI, Ashish et al. Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2017, vol. 89, no. 5-8, s. 1279-1293. ISSN 02683768.

[101]GERBINO, Salvatore et al. On the influence of scanning factors on the laser scanner-based 3D inspection process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2016, vol. 84, no. 9-12, s. 1787-1799. ISSN 02683768.

[102]PETA, Katarzyna; ŻUREK, Jan; PATALAS, Adam. Non-destructive testing of automotive heat exchangers. In: *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 03007.

[103] GÓRSKI, Filip. Building Virtual Reality Applications for Engineering with Knowledge-Based Approach. *Management and Production Engineering Review* [online]. 2017, vol. 8, no. 4, s. 64-73. ISSN 20808208.

