

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA DOPRAVNÍ
Ústav soudního znalectví v dopravě

Bc. Martin Matějček

HISTORIE, SOUČASNÉ TRENDY A VIZE VE
VÝVOJI DEFORMAČNÍCH ZÓN OSOBNÍCH
AUTOMOBILŮ

Diplomová práce

2016



K622 Ústav soudního znalectví v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Martin Matějčík

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Současné trendy a vize ve vývoji deformačních zón osobní automobilů**

Název tématu (anglicky): Current Trends and Visions in the Development of Car Deformation Zones

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:


- historický vývoj konstrukce deformačních zón osobních automobilů
- současná konstrukce deformačních zón pro potřeby soudního znalectví
- členění karoserie automobilu
- zkoušky deformačních zón
- trend ve vývoji deformačních zón osobních automobilů
- praktická část ověření navrženého experimentu z teoretické části
- shrnutí poznatků a výsledků z měření


- Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Kovanda J., Šatochin V.: Pasivní bezpečnost vozidel, Vydavatelství ČVUT Praha 2000
Vlk F.: Karoserie motorových vozidel: ergonomika, biomechanika, struktura, pasivní bezpečnost, kolize, materiály, Nakladatelství a vydavatelství VLK 2000
příslušné homologační předpisy


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **10. srpna 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **1. června 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D. prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
vedoucí děkan fakulty
Ústavu soudního znalectví v dopravě





Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Martin Matějček
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....10. srpna 2015

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu doc. Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Michalu Frydrýnovi, Ph.D. a Ing. Zdeňkovi Svatému z Ústavu soudního znalectví za vysvětlení a pomoc v problematice 3D skenování a umožnění přístupu k mnoha užitečným informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne..... 2016

.....

podpis

Anotace diplomové práce

Název práce: Historie, současné trendy a vize ve vývoji deformačních zón osobní automobilů

Autor: Bc. Martin Matějčíček

Typ práce: Diplomová práce

Rok obhajoby: 2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Ústav soudního znalectví v dopravě K622

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Abstrakt: Předmětem diplomové práce „Historie, současné trendy a vize ve vývoji deformačních zón osobní automobilů“ je představení historický milníků ve vývoji a současnost deformačních zón. Následuje rozbor karosérie a jednotlivých zón osobních automobilů z hlediska pasivní bezpečnosti a používaných materiálů. V neposlední řadě jsou naznačeny budoucích trendy v této problematice. Dále se práce zaměřuje na díl vozidel zvaný kapota, jsou zde uvedeny parametry, které musí kapoty splňovat a jak tyto parametry měřit. V praktické části je nejdříve zkoumána kvalita a vlastnosti těchto originálních a neoriginálních dílů před deformací, v druhé potom jejich deformační parametry.

Klíčová slova: pasivní bezpečnost, deformační zóna, karoserie, kapota, originální, neoriginální díly, ochrana chodců

Abstract Master's thesis

Title: History, current trends and visions in the development of crumple zones

Author: Bc. Martin Matějčíček

Document type: Master thesis

Year of presentation: 2016

Supervisor: doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Department of Forensic Experts in Transportation

Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Abstract: The purpose of the thesis "History, current trends and visions in the development of crumple zones" is a presentation of historic milestones in the development and present crumple zones. Following analysis of the bodywork and the different zones of passenger cars in terms of passive safety and used materials. Last but not least, an indication of future trends in the issue of passive safety. The thesis focuses on parts of automobiles called bonnet. Then there are the written parameters which the bonnet have to fulfill. In the practical part is firstly examined the quality and characteristics of the original and non-original parts before deformation, in the second part are then examined their deformation parameters.

Key words: passive safety, crumple zones, bodywork, bonnet, original, non-original parts, pedestrian protection

Obsah

1. ÚVOD	10
2. HISTORIE A VÝVOJ BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ	12
2.1 Vývoj deformačních zón v Mercedesu	14
2.1.1 Velký křídílák	15
2.2 Bezpečnostní prvky od značky Volvo	16
3. SOUČASNOST DEFORMAČNÍCH ZÓN	17
4. KAROSERIE VOZIDEL SOUČASNOSTI	18
4.1 Klíčové části karoserie	20
4.2 Požadavky na karoserie, bezpečnost	20
5. DEFORMAČNÍ ZÓNY KAROSERIE	22
5.1 Deformační zóna 1 - defoelementy	24
5.2 Deformační zóna 2	25
5.3 Bezpečnostní zóna 3	26
5.4 Deformační zóny z hlediska směru nárazu	27
5.4.1 Čelní deformační zóna	27
5.4.2 Boční deformační zóna	27
5.4.3 Vnější deformační zóny	28
5.5 Zkoušky deformační zóny	29
5.6 Kapota jako součást vnější deformační zóny	29
5.7 Nově plánovaná metodika testů Euro NCAP	32
6. PASIVNÍ BEZPEČNOST A PŘEDPISY K ZAJIŠTĚNÍ OCHRANY	32
6.1 Předpisy Evropské hospodářské komise	34
6.2 EHK č. 127 – Jednotná ustanovení pro schválení motorových vozidel z hlediska bezpečnosti chodců	36
6.2.1 Významné měřené geometrické polohy	36
Zkušební oblast nárazu makety hlavy dospělého r	36
6.2.2 Kritérium poranění hlavy (HIC)	41
6.2.3 Požadavky zkoušky nárazem makety hlavy dítěte a dospělého	41
6.2.4 Postupy zkoušek nárazem makety hlavy dítěte a makety hlavy dospělého	41
6.2.5 Rozdělení zkušebních oblastí makety hlavy	42
7. PŘED-DEFORMAČNÍ MĚŘENÍ A ZKOUŠKY	43
7.1 Vizuální kontrola – popis jednotlivých dílů z hlediska bezpečnosti práce a manipulace s dílem	43
7.1.1 Prohlídka jednotlivých dílů včetně popisu poškození	43
7.1.2 Prohlídka balení jednotlivých dílů	43
7.1.3 Bezpečnost práce	45

7.2 3D tvarová analýza celých dílů	46
7.2.1 Cíle měření	46
7.2.2 Popis průběhu tvarové analýzy a použitého zařízení	46
7.2.3 Závěr tvarové analýzy	51
7.3 Mechanické zkoušky vlastností kapot	57
7.3.1 Určení ohybové a torzní tuhosti kapot	57
7.3.2 Stanovení mechanických vlastností plechu na základě tahové zkoušky	57
7.3.3 Zkoušky hlubokotažnosti dle Erichsena	57
7.3.4 Porovnání povrchové úpravy – stanovení tloušťky laku	58
7.3.5 Určení korozní odolnosti dílů – Zrychlený korozní test	58
<u>8. DEFORMAČNÍ ZKOUŠKY A PO-DEFORMAČNÍ ANALÝZA</u>	<u>59</u>
8.1 Měření deformačních charakteristik – zkušebna ŠA	59
8.1.1 Cíle měření	59
8.1.2 Popis průběhu měření a použitého zařízení	59
8.1.3 Porovnání originálních a neoriginálních dílů	60
8.1.4 Závěr z měření deformačních charakteristik	61
8.2 3D tvarová analýza po deformaci	62
8.2.1 Cíle měření	62
8.2.2 Popis průběhu tvarové analýzy a použitého zařízení	62
8.2.3 Porovnání deformačních parametrů originálních a neoriginálních kapot	66
8.2.4 Závěr z 3D po-deformační tvarové analýzy	69
8.3 Porovnání výsledků deformačních zkoušek a po-deformační tvarové analýzy	69
<u>9. ZÁVĚR</u>	<u>71</u>
<u>10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</u>	<u>74</u>
<u>13. REJSTRÍK OBRÁZKŮ</u>	<u>76</u>
<u>14. SEZNAM TABULEK</u>	<u>77</u>
<u>15. SEZNAM PŘÍLOH</u>	<u>77</u>
<u>PŘÍLOHA 1 – PRŮBĚHY ZRYCHLENÍ PRO OSTATNÍ ZKUŠEBNÍ POLOHY ORIGINÁLNÍCH A NEORIGINÁLNÍCH KAPOT</u>	<u>78</u>
<u>PŘÍLOHA 2 – GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PO-DEFORMAČNÍCH TVAROVÝCH ODCHYLEK</u>	<u>80</u>

Seznam použitých zkratk

EHK	Evropská hospodářská komise
EHS	Evropská hospodářské společenství
ES	Evropská směrnice
NHTSA	Národní úřad bezpečnosti dálničního provozu v USA
IIHS	Pojišťovací institut bezpečnosti dálničního provozu v USA
ADAC	Generální německý automotoklub
ŠA	výrobce dílu Škoda Auto
TY	výrobce dílu Tong – Yang
SW	software – programové vybavení
OBJ	formát dat definující model a jeho vlastnosti
NZKVP	měřená poloha nad závěsem kapoty vpravo
NZKVL	měřená poloha nad závěsem kapoty vlevo
VSK	měřená poloha ve středu kapoty
NNCHLK	měřená poloha nad nádobkou chladič kapaliny
HIC	kritérium poranění hlavy (head injury criterion)
WAD	opsaná vzdálenost (wrap around distance)

Seznam použitých veličin

Veličina a její značka	Jednotka	Rozměr
Čas t	s	[s]
Dráha s	m	[m]
Plocha S	m^2	[m^2]
Perioda T	s	[s]
Zrychlení a	$m \cdot s^{-2}$	[$m \cdot s^{-2}$]
Hmotnost m	kg	[kg]

Obrázky a tabulky, u kterých není uveden zdroj, jsou dílem autora.

1. Úvod

Silniční doprava je jedním z největších a nejrychleji se vyvíjejících odvětví dopravy. Denně se po pozemních komunikacích pohybuje velké množství vozidel za účelem přepravy osob, či nákladu. Nedílnou součástí tohoto rostoucího trendu silniční dopravy je však i poměrně se zvyšující četnost a závažnost dopravních nehod. Problematika nehodovosti a z toho plynoucí požadavky na vysokou bezpečnost silničních vozidel, především těch osobních, jsou již dlouhou řadu let velkým oříškem pro konstruktéry všech osobních automobilů. Člověk je tvor omylný a nepozorný, a proto je zapotřebí, aby mu celá řada bezpečnostních prvků a asistentů napomohla nehodě se vyhnout, případně největší možnou měrou snížit její následky.

Silniční motorová vozidla (dále už jen vozidla) posuzujeme z dvou rozlišných hledisek a to aktivní a pasivní bezpečnosti. Pod prvky aktivní bezpečnosti si představme výkon motoru, účinnost brzd, úroveň konstrukční kvality podvozku, výkon osvětlení vozidla, výhled z vozidla atd., zkrátka vše, čím můžeme aktivně ovlivnit chování vozidla a nehodě zabránit (např. zrychlení průjezdu kritickým místem, včasné zastavit před překážkou, nebo nevyjet z komunikace. Do aktivní bezpečnosti lze však zařadit i vše co snižuje únavu a zvyšuje soustředění řidiče, jako dobré odhlučnění, dobrá ergonomie ovládacích prvků v interiéru vozidla, atd. Do oblasti pasivní bezpečnosti náleží veškeré prvky, které snižují, případně zcela eliminují zranění nebo úmrtí osob při nehodě. Jedná se např. o pevnost a vlastnosti karoserie, velikost deformačních zón, bezpečnostní pásy, atd.

Hlavní tématikou dopravních prostředků je však oblast pasivní bezpečnosti, které se budeme ještě dále detailněji věnovat. Požadavky na pasivní bezpečnost karoserie jsou formulovány v řadě předpisů Evropské hospodářské komise OSN. Pro zvýšení bezpečnosti je důležitá analýza dopravních nehod a biomechanický výzkum. Teoretické a experimentální vyšetřování mechaniky nárazů a srážek vozidel je nezbytné z hlediska vytvoření deformačních oblastí vozidla a dodržení biomechanických limitů pro přežití v případě nehody. Dále je vysvětlena problematika kompatibility vozidel a prostředky pro ochranu cestujících a chodců v případě nehody.

Už na základě předpokladu tvaru vozidla a fyzikálních zákonech nelze však bohužel vyrobit takové vozidlo, které by bylo stoprocentně bezpečně, a v kterém by bylo zaručeno stoprocentní přežití každé nehody. Současnost je taková, že výrobci produkují vozidla, která vyhoví požadavkům zákazníků (cena, výkon motoru, líbivý design, spotřeba, kvalita podvozku, modelové bezpečnostní testy) a různým občanským sdružením, která svými nezávislými testy mohou udělat slušnou reklamu. Ve skutečnosti

však vozidla nemusí (při atypické srážce či při vyhýbacím manévru) vykazovat tak vysokou míru bezpečnosti, jak výrobce garantuje.

Přestože karoserie představuje vedle pohonu nejdůležitější konstrukční skupinu automobilu, je o jejím vzniku – od modelování až po sériovou výrobu – i v technické veřejnosti poměrně málo známo. Místo toho jsou široce rozšířeny nejasné představy o umělecké práci, popř. o intuitivní činnosti, jejímž výsledkem je líbivý automobil. Především je málo známo, že vývoj karoserie je pravým inženýrským problémem, technickou a organizační úlohou. Moderní vývoj karoserie vyžaduje úzkou spolupráci technologa, průmyslového designéra a inženýra s lékařskými znalostmi.

V diplomové práci si nejprve představíme základní historické milníky ve vývoji pasivní bezpečnosti a automobilky, které se právě o vývoj v této problematice zasloužili zásadní měrou. Dále se práce zabývá současnými požadavky na deformační zóny a karoserií osobních vozidel, kde dochází k významnému uplatňování ergonomických kritérií. V neposlední řadě jsou naznačeny budoucí trendy vývoje karoserie v problematice pasivní bezpečnosti. Poté se práce zaměřuje na díl vozidla zvaný kapota, jeho vlastnosti a požadavky na bezpečnost chodců dle metodiky Euro NCAP. Dále se budeme zabývat požadavky, které musí kapoty dle EHK č. 127 splňovat a jakým způsobem zkoušky provádět.

V praktické části je potom porovnávána kvalita originálních a neoriginálních náhradních kapot na vůz Škoda Fabia II a to především z toho důvodu, že jsem byl součástí řešitelského týmu, zabývající se právě rozdílovou analýzou těchto dílů v rámci výzkumu pro Škoda Auto, a.s. Díly budou zkoumány z mnoha hledisek. První kapitoly praktické části se zabývají zkoumáním vlastností kapot před deformací, tedy z hlediska vizuálního, 3D tvarové analýzy a zkouškami mechanických vlastností. Zbývající část práce řeší kapoty při deformaci z hlediska bezpečnosti chodců, kdy jsou zkoumána přetížení působící na hlavu chodce a následně opět s pomocí 3D analýzy zhodnocuje deformační parametry.

2. Historie a vývoj bezpečnostních prvků osobních automobilů

Na samém počátku se vozidla konstruovala jako dopravní prostředky, od kterých se očekávala možnost rychlejší přepravy osob či nákladu, než by byla dosud používaná standartní přeprava koňským povoz nebo vlakem. Nejprve se jednalo hlavně o přepravní funkci. Teprve později se zaměřila pozornost ve větší míře také na komfort cestování, do vozidel přibylo topení a více se odhlučňovala. V této době byl počet vozidel na silnicích relativně malý, dosahované rychlosti ještě menší a stav vozovek s nezpevněným povrchem, by větší rychlost stejně neumožňoval. Nehod bylo v této době mnohem méně jak v absolutních číslech, tak v přepočtu na ujeté kilometry a to z několika prostých důvodů. Jedním z hlavních důvodů bylo, že malé procento populace si mohl dovolit vlastnit automobil. Lidé z majetnějších vrstev nechtěli sami řídit a tak si najímali zkušené řidiče, kteří řídili zároveň velmi obezřetně, aby nepřišli o místo a díky dobré technice ovládnutí vozidla docházelo k minimu nehod. V případě, kdy k nehodě došlo, se jednalo o tak nízké rychlosti, že kolize končili bez vážnějších následků a bylo to přičítáno riziku jízdy vozidlem (podobně jako u pádu z koně.) Statisticky docházelo více ke zranění osob mimo kabinu vozidla a tak nikdo nesměřoval pozornost na bezpečí posádky uvnitř vozu. Otázky bezpečnosti se z těchto důvodů příliš neřešili a pro nízkou technickou úroveň tehdejších vozidel výrobci chtěli zákazníka oslovit jiným způsobem, např. technickými novinkami zlepšujícími výkon vozidla a komfort jízdy. V této době se bezpečnost vozidel zkrátka moc neřešila. [2]

Pasivní bezpečnost se začala řešit ve Spojených státech až v padesátých letech minulého století, kdy byla vyráběna vozidla z hlediska ochrany posádky velmi nebezpečná, dokonce některé typy svou konstrukcí následky nehody zhoršovaly. Při nehodách se vozidla často doslova rozpadla a docházelo k velmi velkým průnikům řídicí hřídele do prostoru pro posádku. Těmto nedostatkům v této době nikdo nevěnoval zvláštní pozornost a tak zvyšující se četnost úmrtí byla brána jako daň se stále zvyšujícím se počtem vozidel a s tím i zvyšující se hustotou provozu. Změna přišla v době, kdy se objevil prof. Larry Patrick, kterému tento neblahý trend nehodovosti nebyl lhostejný a tak začal s výzkumem. Shromáždil veškeré údaje o nehodách, což v té době nebylo zrovna populární. Zápis o nehodě byl velmi jednoduchý: zaznamenalo se, že k nehodě došlo, kdo jí zavinil a počet zraněných/mrtvých. Na základě těchto dat byl schopný vyhodnotit chyby v konstrukci tehdejších vozidel a stanovil základní kritéria pro ochranu posádky, kterými se řídíme i v současné době. Aby mohl doložit svá tvrzení, zkonstruoval několik přístrojů, které

měřily odolnost lidského organismu. Vše testoval sám na sobě, protože nechtěl riskovat zdraví případných dobrovolníků. Takto vznikly první výsledky odolnosti jednotlivých orgánů lidského těla. Na základě zkoušek navrhl první úpravy konstrukcí osobních vozidel. Jeho práce byla doplněna také o poznatky Johna Paula Stappa, který se podílel na zakázce pro vzdušné síly USA, a řešil vliv decelerace na lidský organizmus. [2]

Z výsledků testů na vlastní osobě prof. Patrick vyvodil následující pravidla:

- posádka vozidla musí mít dostatečný prostor pro přežití, a to i při převrácení vozidla a jízdě po střeše
- do tohoto prostoru nesmí nadměrně proniknout žádná část vozidla, která tam nepatří (hlavně hřídel řízení)
- v tomto prostoru nesmí být žádné části, které by mohly přispět ke zranění posádky, tedy odstranění ostrých výstupků a hran (nyní platí minimální rádius hran 2,5 mm)
- vnitřní část tohoto prostoru by měla být vyložena materiály tlumící náraz a případné plochy, které mohou přijít do styku s lidským tělem, musí být co největší (např. střed volantu)
- prostor pro posádku musí být co nejtužší, aby se při havárii co nejméně deformoval a umožnil otevření aspoň jedné dveří bez pomoci nástrojů, kabina musí zůstat celistvá
- sedačky musí být upevněny tak pevně, aby zůstaly v případě nárazu na svém místě
- posádka musí být fixována na sedadlech speciálním zařízením, které zachytí energii nárazu a nedovolí kontakt těla s pevnými částmi kabiny
- dveře vozidla se nesmí při nárazu samovolně otevřít, posádka nesmí z auta vypadnout (hrozí až 5x větší riziko úmrtí), bylo nutné změnit konstrukci zámků
- přední a zadní část vozidla musí pohltit energii nárazu a rozprostřít ji na určitý minimální čas, aby zpoždění kabiny a tedy posádky při nárazu nepřekročilo kritické hodnoty
- okna ve vozidlech musí být takové konstrukce, aby při rozbití nezpůsobily řezné poranění posádky
- při havárii nesmí dojít k požáru vozidla a úniku paliva z nádrže
- materiály používané v interiéru vozidla by měly být nehořlavé, nebo aspoň s omezenou hořlavostí

Díky těmto požadavkům a výsledkům byly tvořeny nové předpisy, které přesně stanovovaly, co musí která část vozidla splňovat. První předpis byl z dnešního pohledu

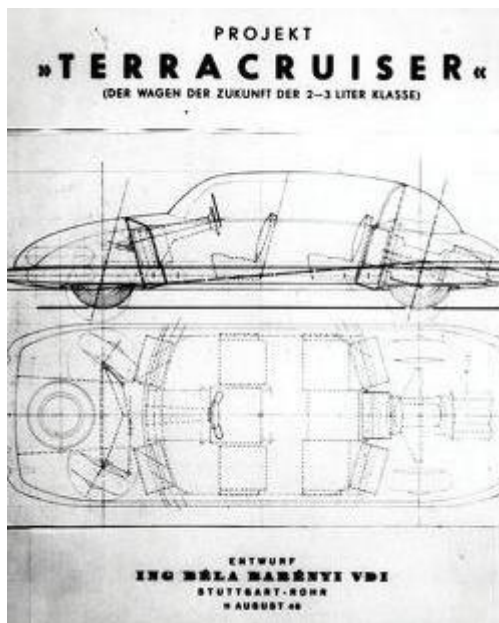
příliš benevolentní a neúplný (lobbying výrobců vozidel byl značný), ale ve srovnání s tehdejší stavem vozového parku byl skutečně velkým přínosem. [2]

Jakmile byly zveřejněny výsledky výzkumu, nastal s výrobci automobilů v USA boj. Všemocní výrobci by museli přiznat, že vyrábí vozidla nedokonalá, po bezpečnostní stránce „zcela“ nevyhovující. Tušili, že by to mohlo způsobit sérii žalob a zvýšení nákladů na výrobu a vývoj. Změny v chápání pojmu bezpečnosti vozidel se nakonec podařilo prosadit. Přesto u Americké populace narazili na neschopnost přizpůsobit se těmto změnám (užití bezpečnostních pásů či opěrek hlavy). V každém případě došlo k velkému pokroku, který se postupně rozšířil i do Evropy a zbytku světa. Na základě velké četnosti tragických případů při silničních nehodách se podařilo v USA uzákonit omezení rychlosti na 55 mil/h (88 km/h) mimo obec. Toto opatření se projevilo ve změnách konstrukce vozidel. Předpis stanovoval, že vozidlo s velmi tuhou kabinou bylo zbaveno veškerých výčnělků a vybaveno dostatečně dlouhými zónami pro pohlcení energie nárazu. Vzhledem k malému počtu bočních nárazů se v této době na tento typ střetu a ochranu posádky při něm nebral takový zřetel. Pro přežití posádky byla původně stanovená hranice 30 mil/h (cca 48 km/h) a ta přetrvávala dlouhou dobu. Postupně se zvýšila na 56 km/h (alespoň na území Evropy). Tato rychlost se zdá relativně velmi nízká, ale na základě konstrukčních možností a cenově dostupným materiálům to ani jinak nešlo. Tato rychlost zaručuje přežití posádky vozidla s 85% pravděpodobností nebo jen s méně závažným zraněním posádky. Překročení hranice této rychlosti nárazu má za následek velké přetížení a z toho plynoucí těžší poranění posádky vozidla. [2]

2.1 Vývoj deformačních zón v Mercedesu

Zlom v bezpečnosti automobilů přišel zhruba před 66 lety, přesněji v roce 1950. V té době si jistý maďarský inženýr Béla Barényi pracující pro Mercedes uvědomil, že pokud by se podařilo absorbovat kinetickou energii nárazu, výrazně by se tím zvýšila bezpečnost pro posádku vozidla. Přišel proto s nápadem tzv. deformačních zón, jež byly konstrukčně přizpůsobeny právě k tomu, aby svou deformací ubránili prostor pro posádku. Rozděлил tedy karoserii vozu na tři části, uprostřed pevná bezpečnostní buňka s prostorem pro cestující, obklopená vpředu a vzadu měkkými deformačními zónami. Jeho snahou bylo vytvořit takové vozidlo, které by bylo schopno ochránit posádku při nárazu do rychlosti 65 km/h zepředu a 50 km/h zezadu. Výsledkem těchto požadavků však bylo velice neestetické vozidlo s obrovskými převisy z obou stran a podstatně vyšší hmotností. Tento projekt moderního bezpečného vozidla nazval Terracruiser. Sedadlo pro řidiče bylo umístěno ve voze uprostřed a vozidlo bylo vybaveno bočními výztuhami,

kvůli snížení rizik při bočním nárazu. Při sérii crash testů se také přišlo na to, že na první pohled nevinně vypadající části interiéru se mohou v případě havárie proměnit ve smrtící zbraň. Byly proto opatřeny měkčným povrchem. Postupem času se však ukázalo, že takto rozměrné vozidlo není správnou cestou a tím experiment skončil. Zůstalo se u předpokladu, že nárazy v takto velkých rychlostech jsou ojedinělé, protože vozidlo obvykle před kolizí brzdí a tím rychlost podstatně sníží. Tento projekt nakonec skončil pouze ve fázi výkresů, ale Barényiho poznatky a vynálezy uplatnění později našly. [3]



Obr. 1 – Skica projektu bezpečného vozidla Terracruiser [11]

Řadu těchto řešení a konstrukčních novinek si firma Daimler-Benz nechala patentovat. Příslušná registrace, o kterou bylo zažádáno roku 1951, se týkala motorových vozidel pro přepravu cestujících a součástí spisu bylo také právě projednání o deformačních zónách. Během zhruba 50 let se ukázalo, že tento patent, jenž úřad schválil v roce 1952, byl základním kamenem v revoluci automobilového průmyslu, který dnes nazýváme pasivní bezpečnost. [3]

2.1.1 Velký křídílák

Pravou revolucí se stal rok 1959, kdy byla spuštěna sériová výroba Mercedesu W111, což byl předchůdce dnešního modelu S, ale hlavně první sériově vyráběný vůz na světě vybavený deformačními zónami karoserie. V tomto modelu se prvně objevuje i tuhá bezpečnostní buňka, která měla interiér navržený tak, aby minimalizoval riziko poranění cestujících při nehodě. Změn se událo ale podstatně více, řízení se přemístilo co nejvíce dozadu, prostor pod kapotou byl upraven tak aby se mohl snáze deformovat, vnitřní kliky dveří byly zapuštěny, úpravami prošly i kliky stahování oken či sluneční

clony. Na středu volantu pak bylo použito měkké čalounění, které minimalizovalo riziko zranění hlavy řidiče. Polstrována byla i přístrojová deska, přibyl bezpečnostní sloupek řízení, opět dle Barényiho návrhu. A konečně - tyto vozy byly vybaveny zámky předních dveří s kolíčky. Tato opatření poskytovala posádce prostor pro přežití a znemožňovala její vypadnutí z vozu při havárii. [3]

Automobilová bezpečnost získávala na významu. Vývoj a testy začali brzy přinášet kýmžené výsledky. Další inovací byla například deformovatelná řídicí tyč. O pár let později se v modelu W111 objevili i standartní třibodové pásy. Ruku v ruce s bezpečnostními prvky v konstrukci se začali zkoušet novinky v oblasti prvních bezpečnostních systémů. [3]



Obr. 2 – Mercedes-Benz W111 s charakteristickými ploutvemi („Velký křídla“) [3]

2.2 Bezpečnostní prvky od značky Volvo

Přesto, že tehdejší Daimler-Benz přišel s opravdu velkým množstvím inovací v oblasti bezpečnosti, nesmíme v historii bezpečnosti opomenout ani druhou velice významnou automobilku.

V roce 1972 přišla švédská automobilka s revolučním konceptem s označením VESC. Jednalo se o také o přelomový model v oblasti bezpečnosti. Později na základě odzkoušení různých bezpečnostních prvků v tomto konceptu, byly některé prvky aplikovány i do sériové výroby. Prvním takto vybaveným sériově vyrobeným vozem byl model V240. Díky dobrým bezpečnostním výsledkům, které tento model vykazoval, se tehdy stal referenčním vozem pro Americkou správu pro bezpečnost silničního provozu NHTSA.



Obr. 3 - Volvo V240 [12]

Mezi stěžejní průlomové prvky v oblasti bezpečnosti, které byly v konceptu představeny, se řadí např. vyztužení střechy a integrovaná klec pro snížení deformace a zachování prostoru pro přežití v případě převrácení. Zlepšena byla také ochrana při bočním nárazu vyztužením boků trubkovými profily a výrazné nárazníky poskytující ochranu do mezní hodnoty nárazové rychlosti 16 km/h. Motor dostal moderní konstrukci uchycení, která měla v případě nárazu eliminovat vniknutí do prostoru cestujících. Dále také bezpečnostní sloupek volantu a sedačky s opěrkami. Revoluční byla myšlenka airbagů na předních i zadních sedadlech, bezpečnostní pásy polo-pasivního typu. Prvně se v osobním voze objevili brzdy s antiblokovacím systémem, automatická regulace světlé výšky, či odpojení přívodu paliva. Projekt VESC zkrátka předběhl svojí dobu.

3. Současnost deformačních zón

Protože i odolnost lidského organismu má své limity, je tak patrné, že nelze vyrobit takové vozidlo, které můžeme prohlásit za absolutně bezpečné za jakýchkoliv okolností. V případě nárazu vozidla do pevné překážky dochází k přetížení působící na organismus posádky, a pokud toto přetížení překročí jisté kritické meze pro jednotlivé orgány, povede to k jejich poškození. Hmotnost osob ve vozidle, se při působícím přetížení několikanásobně zvyšuje (v případě průměrného dospělého člověka až na hmotnost 2 t). Částí těla s největší odolností je hlava, která je schopna odolat přetížení až 33 g. Pro ostatní orgány je limitní hodnota přetížení podstatně nižší, a proto právě i konstrukce bezpečnostních prvků musí být navržena na nejméně odolné orgány lidského těla. Obecně platí, že čím kratší dobu přetížení působí, tím vyšší hodnoty orgány snesou. U hlavy je to až $80 \text{ gmax}/0,003\text{s}$ ($98\text{gmax}/0,001\text{s}$). Konstrukce vozidel současnosti mají za cíl zabezpečit přetížení tak, aby nepřesáhlo 12 g, protože právě tato hodnota je pro mnoho orgánů limitní. [2]

Tyto „lidské limity“ měli za následek překonstruování celého vozidla. Klíčovou vlastností byla vysoká tuhost kabiny, došlo tedy k jejímu vyztužení (především podlahy, střechy a úpravě zámků). Také si přihlíželo na zamezení vniku různých dílů do prostoru kabiny vozidla. „ V první řadě to byly tyto prvky: zavedení kloubových hřídelů volantu, poté ve změně konstrukce pedálů a způsobu uchycení motoru, který se v případě nárazu zasouvá pod vozidlo. Také bylo stanoveno, že celá přední část vozidla musí absorbovat energii nárazu, což vyžaduje při uvedené rychlosti deformační zónu asi 600 mm dlouhou (ovšem k tomu je nutné připočítat účinek protažení bezpečnostních pásů, takže tělo má k dispozici asi 750 mm). Je patrné, že deformovat se může pouze měkký díl, tedy různé plechy – blatníky vnitřní i vnější, kapota, chladič, přední maska a částečně i nárazník. Tuhý motor je spíše noční můrou konstruktérů, než prvkem napomáhající příznivému rozložení hodnot zpoždění. Motor je tedy velmi omezujícím činitelem pro vytvoření správné deformační zóny. Z tohoto pohledu jsou na tom nejlépe vozidla s motorem uloženými před zadní nápravou, nebo vzadu. Přední část vozu není ničím nepoddajným omezována a lze ji tedy řešit optimálněji. Není důležité, jak moc je při nárazu deformační část vozidla zdeformovaná, důležité je dosažení nízkých hodnot přetížení v kabině a neporušenost prostoru pro posádku. Dříve často vyzdvihovaná odolnost vozidla proti poškození při nárazu je tedy špatným znamením o úrovni pasivní bezpečnosti. Velkou roli při střetu sehrává také hmotnost obou vozidel. Pochopitelně pak velká hmotnost a dlouhá deformační zóna vozidla zaručovali nižší hodnoty zpomalení. [2]

Dále byla přemístěna palivová nádrž pod zadní sedadla, což je z hlediska bezpečnosti a statistiky nehod místo nejméně poškozené a ohrožené. Důležité je samotné i umístění akumulátoru dál od předě vozidla a jeho celkové zakrytování v případě zkratu, jiskření nebo zvýšení teploty, což by mohlo způsobit požár. Stejně jako přední část, musí být i zadní část vozidla schopna zachytit energii při nárazu zezadu, ale mírnější legislativní nároky nezahrnují tento druh nárazu do bezpečnostních testů. [2]

„Některá vozidla mají jako součást deformační zóny rezervní kolo. Důležité tedy je, aby bylo vždy na svém místě. Nutno podotknout, že od deformační zóny splňující platné předpisy v době uvedení do provozu o dekádu zpátky nemůžeme očekávat, že se svou úrovní vyrovná dnešním moderním vozidlům.“ [2]

4. Karoserie vozidel současnosti

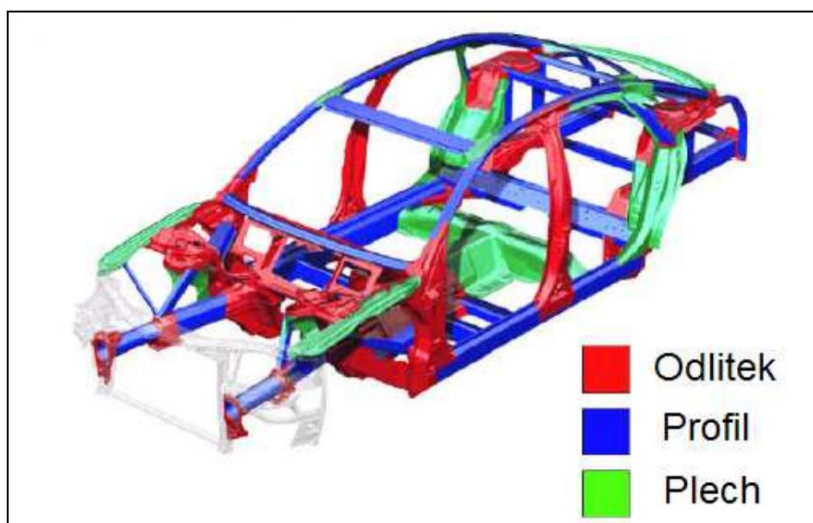
Základem každého automobilu je vhodný tvar karoserie. Do toho spadá nosná konstrukce vozidla, dále také dveře, střecha, kapota či zadní dveře (víko kufru). Dříve se

pro výrobu konstrukce používaly nízko-pevnostní oceli. Postupem času se zvyšovali požadavky na celkovou hmotnost vozu a také vyšší bezpečnost při crash testech. Tyto požadavky přiměly výrobce používat lehčí a pevnější materiály jako je například vysoko-pevnostní ocel zpracovanou různými netradičními metodami (hydroforming, tailored blanks). To umožnilo radikálně snížit hmotnost karoserie vozidla a současně zlepšit tuhost a její deformační charakteristiky. [3]

Při výrobě karoserií vozidel se začaly používat plasty, např. pro blatníky, kapotu, víko zavazadlového prostoru, atd. Důvodem těchto změn byla především tolik žádaná úspora hmotnosti a nákladů na výrobu (v porovnání s klasickou ocelí). Tyto plastové díly se používaly pouze na těch částech vozidla, kde neměly zásadní vliv na celkovou tuhost karoserie a z toho plynoucí bezpečnost posádky. [3]

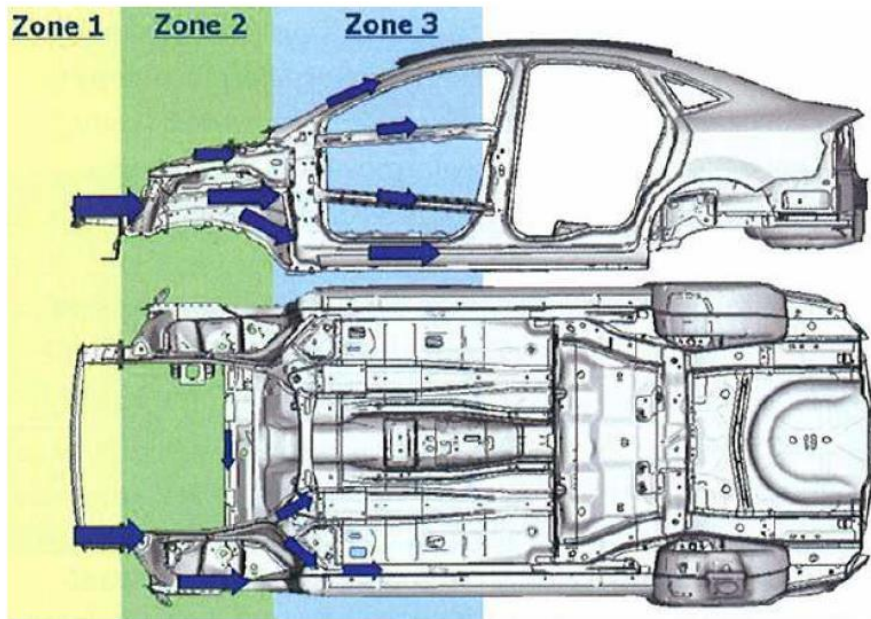
Zvláštním typem karoserií jsou celohliníkové rámy karoserie. V době těžkých ocelových konstrukcí přišla s touto přelomovou technologií do sériově vyráběných vozů firma Audi s modelem A8 (1994). Vzhledem k nízkým hmotnostem získal tento materiál na oblibě, především u delších segmentů karoserie, jako jsou výše zmíněné (kapota, blatníky, víko, přední čelo a výztuha nárazníku)

Na následujícím obrázku je patrná odlišnost ve struktuře jednotlivých částí karoserie automobilu s různými vlastnostmi podle různých druhů výroby.



Obr. 4 - Struktura hliníkové karoserie Audi A8 (Audi Space Frame - ASF) [5]

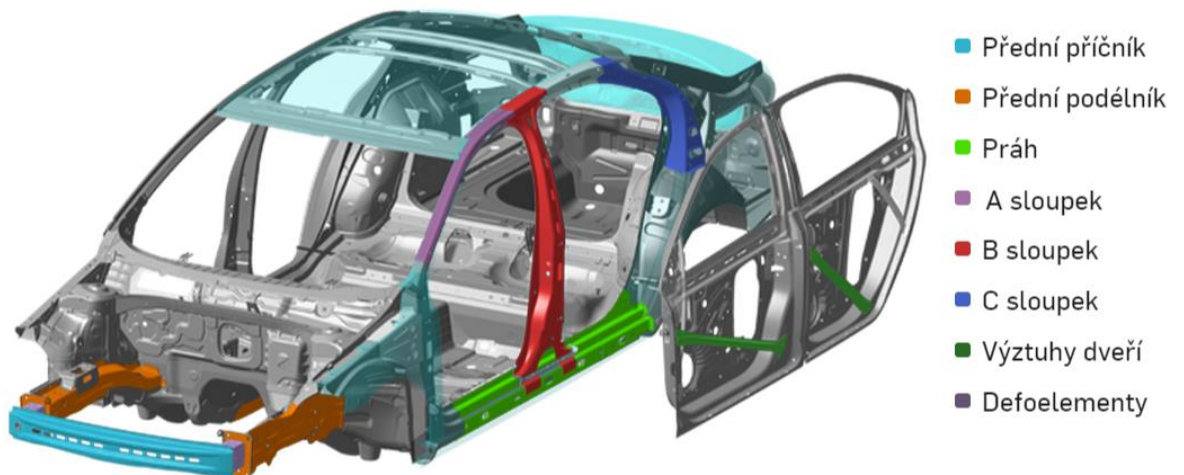
Karoserie automobilu je tedy základním a nejdůležitějším prvkem ochrany posádky. Skládá se ze stovek dílů dle typu vozidla a je funkčně rozdělena do tří částí:



Obr. 5 - Deformační zóny [2]

4.1 Klíčové části karoserie

Karoserie, jak bylo výše uvedeno, je důmyslně složena z různých materiálů, které mají odlišné deformační vlastnosti tak, aby se při nehodě co nejlépe rozložily působící síly a uchránila posádku vozidla. [4]

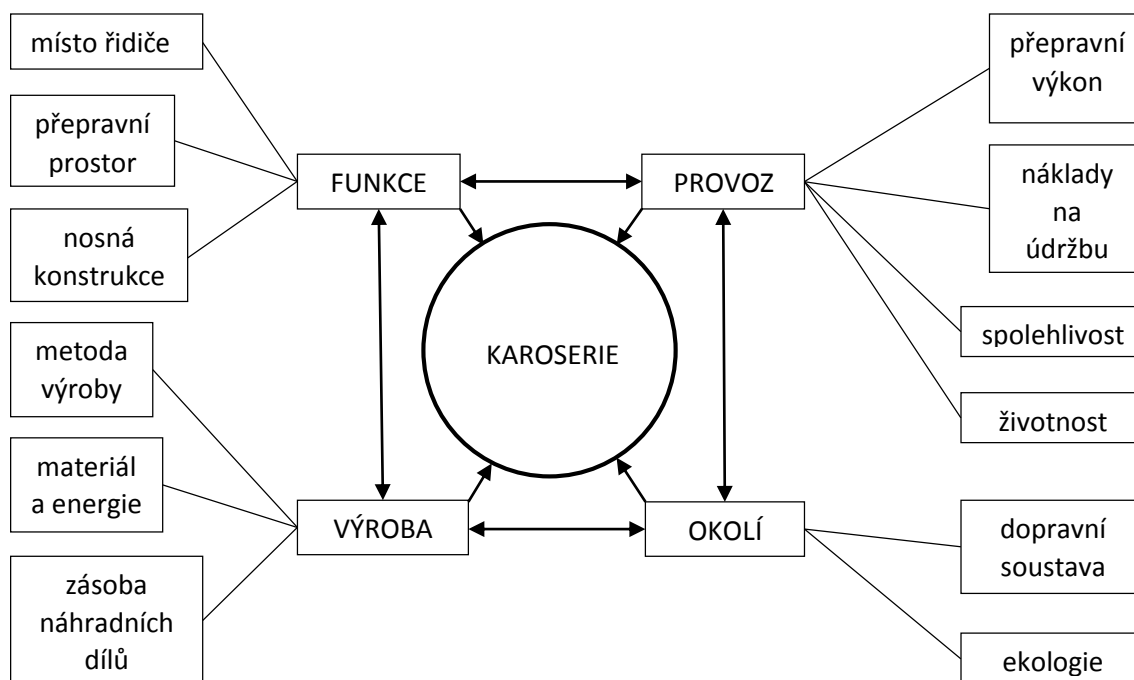


Obr. 6 - Klíčové komponenty karoserie [4]

4.2 Požadavky na karoserie, bezpečnost

Na karoserie nejsou kladeny jen funkční požadavky, ale také požadavky vztahující se k provozu, k výrobě a k okolí. (viz Obr. 7).

Funkční požadavky kladené na karoserie úzce souvisí s bezpečností silničního provozu.



Obr. 7 - Požadavky na karoserii [1]

Základní požadavky na karoserie je možno stručně shrnout následovně:

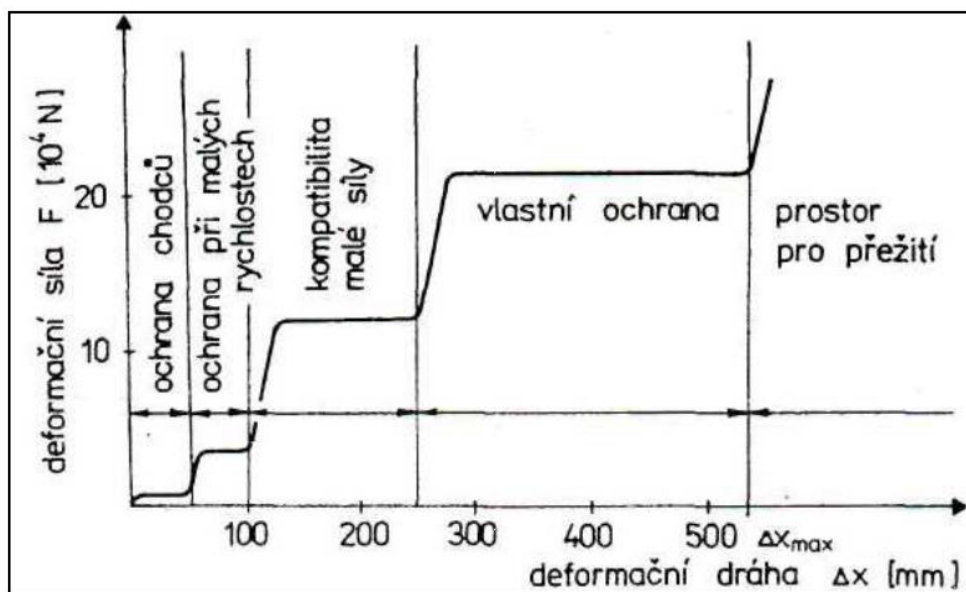
- ochrana řidiče a cestujících i nákladu před povětrnostními vlivy
- přehlednost všech kontrolních orgánů a zařízení
- bezpečný výhled z vozidla do všech směrů
- účelnost tvaru a provedení karoserie
- příznivé teplotní podmínky pro řidiče a přepravované osoby
- omezení hluku, vnitřního pro ochranu posádky, vnějšího pro ochranu osob mimo vozidlo
- omezení vibrací
- správné tvarování sedadel a jejich prodyšnost
- dosažitelnost všech ovládacích prvků z místa řidiče
- estetika interiéru
- uspořádání a tvarové řešení přístrojů a zařízení, proti zranění posádky
- **omezení následků nehody** (tuhý skelet s deformovatelnou přední a zadní, zadržovací systémy, bezpečností skla, bezpečností řídicího ústrojí, zadržné systémy,...)
- aerodynamická stabilita

- vysoká životnost a spolehlivost
- estetika vnějšího tvaru karoserie [1]

5. Deformační zóny karoserie

Deformační zóny jsou části karoserie nebo nosné struktury vozidla. U moderních automobilů je díky přední a zadní části vozu, která je progresivně deformovatelná, zajištěn optimální průběh deformace k co největší eliminaci a pohlcení vzniklé energie při nárazu. Vhodnou konstrukcí přední a zadní části vozidla tak lze dosáhnout podstatně lepší ochrany prostoru pro cestující. Jak bylo již v historii zmíněno, starší vozy měly špatné deformační zóny a docházelo tak k extrémně rychlému zpomalení při nárazu. Na cestující se tak při nárazu vyvíjely obrovské síly. Deformační charakteristika přední části vozidla by měla mít stupňovitý progresivní průběh složený z pěti stupňů:

- Ochrana při nízkých rychlostech (parkovací manévry)
- Kompatibilita (ochrana spoluúčastníka nehody)
- Vlastní ochrana (musí se dodržet biomechanická kritéria)
- Prostor pro přežití
- Ochrana chodců [1]



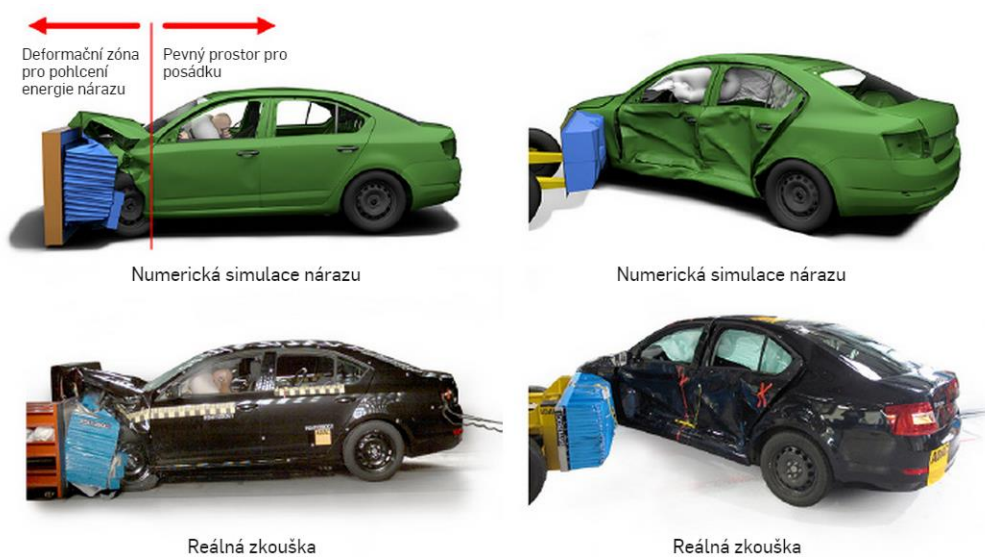
Obr. 8 - Progresivní deformační charakteristika předě vozidla [1]

V případě kabiny je naopak snaha o co největší tuhost aby tak zachovala stálý prostor pro přežití posádky. Z toho důvodu se zejména pro tyto části karoserie používají vysoko-pevnostní materiály, především pro dosažení dostatečné míry tuhosti karoserie. Proto je vyžadována robustní konstrukce prahů a sloupků. Při nárazech v malých rychlostech (do cca 15 km/h) kinetickou energii absorbují tzv. defoelementy, které mají snadnou

demontáž a náhradu novými. Zbytek karoserie tak zůstává víceméně nepoškozen, což značně snižuje servisní náklady. [4]

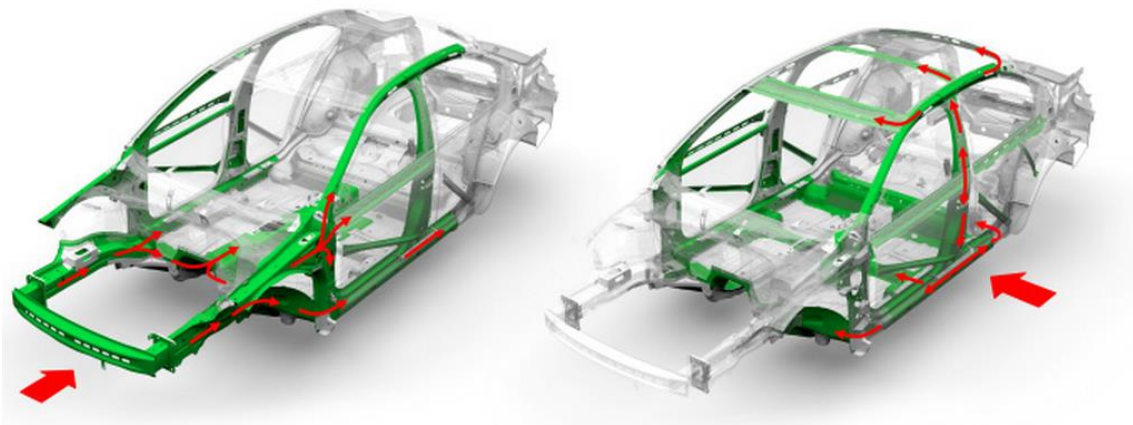
Pohlčení deformační energie lze dosáhnout elasto-plastickou deformací, vnitřním třením v kapalně nebo plynné látce nebo vnějším třením tuhých těles. Podle těchto kritérií je možné použít ke snížení kinetické energie těchto prvků – deformovatelné plechové struktury – hydraulický tlumič – pneumatický tlumič – konstrukční díly z plastů, nebo vyztužených plastů (kompozity) – vhodnou kombinací uvedených (např. hydropneumatický tlumič) Výhodou deformovatelných plechů, případně kompozitních konstrukčních prvků může být ta, že mohou sloužit jednak jako absorbéry energie ve všech směrech a jednak jako nosné části. Téměř všechny ostatní prvky jsou účinné pouze v jednom směru. Jejich výhoda tak může být pouze ve snadné vyměnitelnosti, případně ceně. [6]

Aby se předešlo vniknutí motoru do prostoru pro posádku, je nutné použití speciální konstrukce uložení motoru. V případě nárazu vozidla je tak motor směřován pod tento prostor. Vhodné tvarování jednotlivých prvků v deformační zóně tedy výrazně zvyšuje jejich účinnost. Počítačové metody, které se v současnosti používají pro návrhy jednotlivých profilů, umožňují simulovat jejich deformaci při působení vnějších sil nárazu. Díky těmto možnostem je tak při konstrukci vozidla možné vytvořit řadu různých scénářů ještě před samotným vyrobením vozidla, u kterého se pak tyto výpočty zjištěné pomocí simulace ověřují při nárazových zkouškách. [5]



Obr. 9 Čelní a boční náraz dle metodiky Euro NCAP [4]

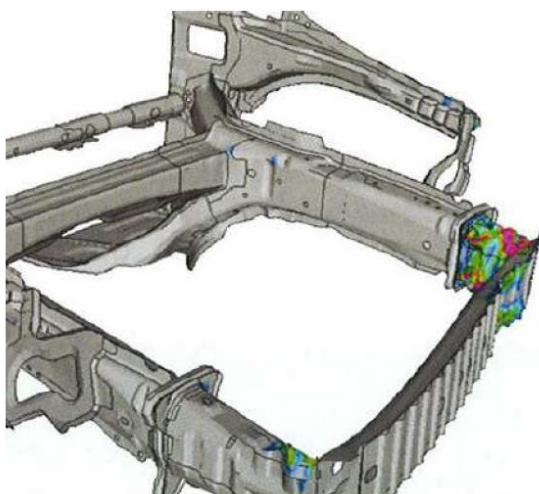
„Moderní automobily využívají deformační zóny prakticky po všech stranách vozidla. Prostor pro cestující je tak doslova obklopen deformačními zónami, aby byla posádka dostatečně chráněna nejen při nárazech zepředu, nebo zezadu, což jsou nejčastější situace, ale také při nárazu z boku, nebo při převrácení automobilu. Vzhledem k tomu, že nejčastější srážkou jsou čelní nárazy, je také deformační zóna přídě vozu považována za nejvýznamnější a také z hlediska konstrukce vozidel je této partii věnována pozornost nejdélejší dobu.“ [5]



Obr. 10 Rozložení sil působících na karoserii vozidla při čelním a bočním nárazu [4]

5.1 Deformační zóna 1 - defoelementy

Tato zóna zachycuje síly odpovídající nárazu v rychlosti 15 km/h do tuhé překážky, zprostředkovává řídící jednotce první informace o průběhu negativního přetížení, brání nadbytečnému poškození druhé deformační zóny a pohonné jednotky. Přední deformační členy se mají za úkol programově zdeformovat do sebe tak, aby nepřeneseš na hlavní podélníky zóny 2 vyšší sílu, než jakou vydrží bez trvalých deformací. Jde o sílu v intervalu 100 – 150 kN v závislosti na velikosti a konstrukci vozu. [3]

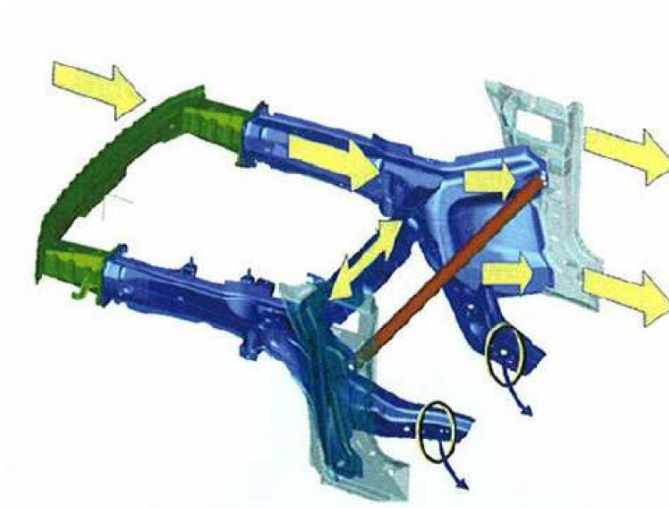


Obr. 11 - Deformace zóny 1

5.2 Deformační zóna 2

Zóna, která má za úkol co nejlépe chránit posádku vozu. Zajišťuje nejpriznivější průběh negativního přetížení, které v průběhu nárazu působí na cestující ve voze. Průběh sil při zkouškovém přesazeném nárazu při rychlosti 64 km/h, podle Euro NCAP, je znázorněn na obr. 12 (zóna 2 je vybarvena modrou barvou). V této zóně probíhají 3 nejdůležitější skutečnosti, které ovlivňují bezpečnost osob ve vozidle.

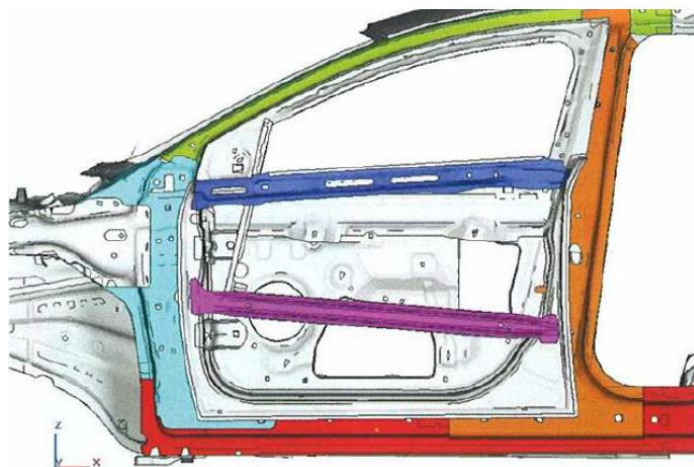
- Řízená deformace hlavních podélníků. Deformace by měla být co nejplynulejší, bez výskytu velkých přechodových rázů, které by se přenesly na posádku vozidla.
- Průběh negativního přetížení. Na začátku deformace hlavních podélníků dostává řídicí jednotka informace, na jejich základě aktivuje předepínače bezpečnostních pásů a airbagy.
- Přenos sil do 3. zóny (obr. 12). Tato zóna splní svůj úkol spolehlivě jen tehdy, zdeformují-li se 1. a 2. zóna tak, jak je předepsáno. Pokud se tak nestane, hrozí nebezpečí, že se na konstrukci této zóny přenesou větší síly, než na kterou je navrhována. [3]



Obr. 12 - Průběh rozložení sil v zóně 2

5.3 Bezpečnostní zóna 3

Tato zóna musí při nárazu odolat bez větších trvalých deformací. Není tudíž zónou deformační, ale bezpečnostní. Tuhost této zóny a zejména B sloupku hraje důležitou roli při bočním nárazu, kdy na posádku působí nebezpečné boční zrychlení. Při tomto nárazu by měla konstrukce absorbovat co nejvíce energie, při co nejmenší deformaci. Zejména pro A a B sloupky se používají vysoko-pevnostní materiály, které jsou vyrobeny tvářením za tepla a vynikají složením materiálu. [3]



Obr. 13 - Zóna 3

5.4 Deformační zóny z hlediska směru nárazu

5.4.1 Čelní deformační zóna

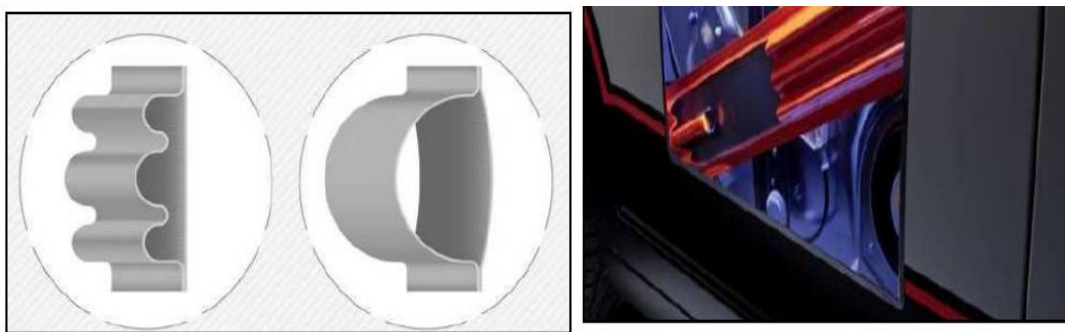
Nárazníky vozidel musí být dostatečně tuhé a pevné, protože mají za úkol zachytit a rozložit náraz na celou přední část vozidla. Původně se vyráběly z pochromované oceli, dnes jsou pouhým výliskem z ocelového plechu, který překrývá plastový kryt, zlepšující aerodynamiku. Současný tvar nárazníků je ve většině případů proveden aerodynamicky a esteticky, ale z důvodu použití neodolných plastů, navíc lakovaných ve stejné barvě vozu, potom stačí i drobný náraz a drahý plastový kryt je zničen. Je dané, že každé vozidlo, které projde homologací, má nárazník vpředu a vzadu. Z důvodů častých srážek, převážně v městském provozu, se usilovalo o sjednocení výšky z důvodu omezení deformací při srážkách a následných škod. Tento návrh nebyl uskutečněn a ke sjednocení nedošlo. Při brzděném manévru se přední část vozidla nakloní dolů a zadní část se pochopitelně nadzvedne (v případě, že vozidlo před vámi prudce deceleruje a vy nestihnete před ním zastavit, vždy se zasunete pod jeho zád), z toho plyne, že pro správnou funkci by měl být přední nárazník podstatně výše, než nárazník zadní, což by nepříznivě ovlivňovalo aerodynamiku a estetické ztvárnění vozidel.

Jeden ze základních a obecných požadavků kladené na nárazníky vozidel je, že musí zabránit poškození vozidla do rychlosti 4 km/h (takový náraz musí vozidlo přestat bez jakéhokoliv poškození), v USA je tato hodnota o něco vyšší 5 mil/h (cca 8 km/h), proto jsou zde nárazníky výrazně odlišné od evropských. V minulosti byl záměr o vytvoření deformační zóny za pomoci nárazníku, opřené o pružiny. Pružina náraz pouze zpomalila, ale hned se vrátila do své původní polohy a tím ještě podstatně zvyšovala hodnoty přetížení. Z toho vyplývá, že tento návrh neuspěl. Dalším návrhem bylo doplnit pružinu o hydraulický tlumič, který se ve finále velmi osvědčil a je do dnes v USA používán jako tzv. „pětimílový“ nárazník. [5]

5.4.2 Boční deformační zóna

Vzhledem ke stávajícím šířkovým možnostem veřejných komunikací a např. parkovacích ploch nelze vytvořit stejně hodnotnou boční deformační zónu, jakou má třeba přední část vozu, protože by se nepřipustně zvýšila šířka. Oproti přední či zadní části vozidla, kde je dostatečná délka pro vytvoření deformačních zón, mají boční části vozu minimální prostor pro absorpci deformační energie. Náraz do vozidla z boku je pro posádku nejnebezpečnější, protože je většina vozidel z boku velmi zranitelná, malé vozy dokonce

žádnou boční ochranu ani nemají. Vybavenější vozidla tuto deformační zónu mají, ale je velmi malá a jedná se spíše o vyztužení boku proti nadměrné deformaci za účelem zachování prostoru pro přežití posádky. Proto se na tyto oblasti používá největší množství vysoko-pevnostních materiálů, které jsou schopny pohltit značné množství energie při bočním nárazu. Novinkou na trhu v oblasti bezpečnostních prvků deformačních zón je tzv. Pre-Safe structure. Jsou to vlastně speciální kovové profily, uloženy ve výztuhách karoserie. V případě, kdy senzory řídicí jednotky vozu zaznamenají a vyhodnotí náraz jako kritický stav, je aktivován generátor plynu a výztuhy se nafouknou. Toto trvá pouze několik milisekund. Tlak v těchto výztuhách dosahuje 1 – 2 MPa. Výztuhy dokáží udržet 100 kg zátěž. Jejich funkce se dá připodobnit k funkci airbagu, avšak s tím rozdílem, že jsou z kovového materiálu a výztuhy se nevyfukují, což se může v důsledku jevit i jako nevýhoda viz obr. 14. [5]



Obr. 14 vpravo - výztuha Pre-Safe v normálním a nafouknutém stavu, vlevo - umístění aktivních prvků systému Pre-Safe Structure [3]

5.4.3 Vnější deformační zóny

Kromě pasivní ochrany posádky uvnitř vozu se posuzuje chování vozidla při střetu s chodcem. V průběhu 70. let postupně mizely z vozidel všechny ostré výčnělky jako vystouplé kliky a jiné ozdoby, které by mohly při střetu zvýšit riziko zranění chodce. V současnosti se klade důraz i na tuhost kapoty v místě, kde většinou naráží hlava chodce při přímém střetu s vozidlem. Dále by v karoserii neměla být žádná místa, kde se může zaklínit končetina chodce a způsobit těžké zranění až amputaci. Proto by na vozech neměli z toho pohledu být žádné spoilery, které mají mřížky s velkými otvory nebo dokonce dutá uzavřená zadní křídla, neodpovídající těmto požadavkům. Je tedy celkem záhadou, že jsou takováto vozidla schvalována do provozu (např. čelní symbol automobilek Jaguar, Mercedes a Rolls-Royce). Výsledky testů ukazují, že střety vozidel s chodci nepatří zrovna k silným stránkám většiny vozů. Zatím tato stránka pasivní bezpečnosti nepřitahuje tak pozornost odborníků a široké veřejnosti a není na toto kladem tak velký důraz, jak by si tato problematika zasloužila. Střet vozidla s chodcem

nepatří mezi statisticky výrazné veličiny, ačkoli následky bývají většinou velmi vážné. Úrazy vzniklé tímto způsobem jsou označovány jako druhotné, ke zranění většinou dochází až po nárazu těla odhozeného vozidlem na pevnou překážku, nebo jeho přejetím. [5]

5.5 Zkoušky deformační zóny

Přední deformační zóna a její účinnost se již řadu let testuje pomocí tzv. bariérové zkoušky. Skutečná nehoda se simuluje nárazem vozu do betonového bloku při rychlosti 50 km/h. Nárazem se deformuje čelní část vozidla a sleduje se přetížení působící na posádku, zda posádka uvnitř má dostatek prostoru pro přežití a neohrožují-li ji další konstrukční části. Například hřídel volantu nesmí proniknout do interiéru o předem daný rozměr, dveře musí jít otevřít bez použití nástrojů, sleduje se oblast ovládacích pedálů vozu, zda neohrožují řidiče vozidla apod. [5]

Další zkouškou je simulace vzájemného čelního nárazu dvou vozidel. Vzhledem k tomu, že v běžném provozu se automobily častěji než přímo čistou čelní srážkou střetnou pouze částí vozidla vpředu, používá se simulace nárazu tzv. s přesazením. V tomto případě deformační síly působí mimo podélnou osu vozidla. Každopádně i zde jsou požadavky na účinnost deformační zóny stejné. Prostor pro cestující musí zůstat co nejméně poškozený, aby v případě havárie měla posádka vozu šanci na to, aby vyvázla s co nejmenšími následky. [5]

5.6 Kapota jako součást vnější deformační zóny

Vzhledem k právě probíhajícím experimentům na Fakultě dopravní ČVUT, ve spolupráci se Škoda Auto s možností poskytnutí dat z měření a také s využitím výše zmíněných poznatků se tato práce bude nadále zabývat konkrétně částí karoserie automobilu zvanou kapota.

Kapota je tedy součástí karoserie automobilu, umístěna v přední části vozu mezi čelním sklem a předním nárazníkem. Nejčastěji nalezneme pod kapotou motor, v některých případech také zavazadlový prostor. Některé vozy mají otevírání proti směru jízdy, případně v bočním směru (např. stará Škoda 105/120), aby se neotevřela během jízdy vlivem proudícího vzduchu. U naprosté většiny vozů je však otevírána zepředu kvůli snadnější manipulaci a lepšímu přístupu k motoru nebo k zavazadlovému prostoru. Kapota je součástí přední deformační zóny.

Rostoucí požadavky na ochranu chodců především u testů Euro NCAP donutili výrobce přijít s řešením, které by snížilo poranění při stále častějších střetech vozidel s chodci.

To zapříčinilo vzniku nového prvku v oblasti pasivní bezpečnosti při ochraně chodců, aktivní kapotě. Princip činnosti aktivní kapoty spočívá v jejím zvednutí u paty čelního skla, těsně před okamžikem kontaktu s chodcem. Tím se podstatně zvětší prostor pro deformaci a je tak umožněno pohltit daleko větší množství nárazové energie, zároveň se snižuje riziko nárazu do tvrdých nepoddajných částí. Účinnost aktivní kapoty ještě zvyšuje airbag pod kapotou, který po nafouknutí zakrývá obvykle spodní část čelního skla. [7]

Dle statistiky společnosti Euro NCAP je asi 14 % všech úmrtí na silnicích v Evropě přičítáno chodcům, s dětmi a starším lidem, protože tyto účastníci jsou vystaveni největšímu riziku. Chodci tvoří jednu z hlavních kategorií zranitelných účastníků silničního provozu, které z toho hlediska zahrnují i cyklisty a motocyklisty. [8]

K většině nehod s chodci dochází v městských oblastech, kde jsou nízké rychlosti. Hlava, spodní část těla a nohy patří mezi nejčastěji zraněné části těla. Pro odhad potenciálního rizika poranění hlavy v případě vozidla stojícího dospělého nebo dítěte se provádí série nárazových zkoušek při rychlosti 40 km/h použitím makety ve tvaru hlavy dospělého nebo dítěte. Plochy dopadu a vzniklá přetížení v impaktoru hlavy jsou pak vyhodnoceny a poskytovaná ochrana je hodnocena jako dobrá, dostačující, marginální, slabá nebo špatná. [8]

Vhodné tvarování předělu vozidla a především kapoty je jedním z klíčových faktorů ochrany zranitelných účastníků dopravy. Když ale začneme podrobněji zkoumat výsledky hodnocení bezpečnosti chodců pro jednotlivé typy karoserií zkoušených vozidel, nacházíme pro tyto typy určitou podobnost. Pro demonstraci byly vybrány vždy nejlepší vozy v dané třídě vozidel. Při pohledu na výsledky hodnocení znázorněné na následujících obrázcích je patrné, že velká vozidla (kat. velké off-roady) poskytují obvykle dobrou ochranu nohou chodce v oblasti nárazníku a hlavy i podél čelního skla, především kvůli použitým vnějším airbagům u tohoto modelu. Největší slabinou těchto vozů je ale oblast předního příčnicku, kde dochází ke střetu s chodcovou páneví, zde jsou výsledky často špatné. Za takovou ochranu chodců si model XC90 vysloužil v testech průměrných 72%.



Obr. 15 – Volvo XC90 Grafické znázornění bezpečnosti chodců při střetu [8]

Když tuto kategorii vozidel srovnáme s třídou malých rodinných vozů, dostáváme se k překvapivě lepším výsledkům celkového hodnocení ochrany chodců. Na dalším obrázku je grafické znázornění pro Infinity Q30. Tento model si dosahuje dobrých výsledků především kvůli své aktivní kapotě. Ochrana nohou a pánve chodce je v celém rozsahu přídě vozidla dobrá. Obdobně je na tom i ochrana hlavy chodce. Špatné výsledky byly zaznamenány pouze u předního skla. V ochraně chodců dosahuje tento model hodnocení 91%.



Obr. 16 - Infinity Q30 Grafické znázornění bezpečnosti chodců při střetu [8]

Z tohoto srovnání je patrné, že i přes vysoké hodnocení celkové bezpečnosti vozidla, nemusí toto vozidlo zákonitě vykazovat i dobré výsledky při ochraně chodců. Většina velkých SUV má pod líbivým šasi schovaný velký nedeformovatelný přední příčník a přídě vozu stoupá kolmo nahoru. To má poté při střetu s chodcem fatální následky pro chodcovu oblast pánve. Menší vozidla typu malých rodinných aut, s předním příčníkem stejně jako SUV, mají obvykle oblou přídě a v kombinaci s měkkými plasty vykazují podstatně lepší vlastnosti. Z těchto poznatků lze prohlásit, že mezi tvarem a materiály v přídě vozidla a ochranou chodců existuje jistá závislost.

5.7 Nově plánovaná metodika testů Euro NCAP

Vzhledem ke kritice ze strany odborné i laické veřejnosti, která zpochybňuje objektivnost hodnocení bezpečnosti vozidel Euro NCAP a je vyvolána prapodivnou metodikou posuzování, kde se u některých výrobců přidává na základě posouzení zkušební komise procentuální ohodnocení za prvky, jako jsou např. vyjetí z pruhů, adaptivní brždění, aktivní kapoty apod. a u druhých se do celkového hodnocení nepočítá, protože např. není pro cílovou skupinu cenově dostupné a komise tak usuzuje, že ve většině případů nebude hojně využíváno.

Tato metodika by se měla údajně sjednotit dle IIHS (Insurance Institute for Highway Safety) do konce roku 2018. Toto rozhodnutí přišlo poté co v nezávislém testu dle ADAC těžce propadly favoriti v původním hodnocení jako např. Audi A4, Mercedes-Benz C, Lexus IS a další, které podle tohoto testu byly označeny za nebezpečné vozy.

Zůstává tedy otázkou, jak moc se změna dotkne hodnocení bezpečnosti chodců a zda by vozidla, která jsou v předchozí kapitole uvedena jako nejlepší ve své třídě, zůstala stále na vrcholu.

6. Pasivní bezpečnost a předpisy k zajištění ochrany

Oblast pasivní bezpečnosti nezahrnuje jen vnitřní bezpečnost, tzn. ochranu vlastních cestujících, ale také ochranu ostatních účastníků silniční dopravy (viz obr. 15). Ochrana cestujících je určována vnitřní a vnější kompatibilitou. [1]

K vnitřní kompatibilitě patří např. sladění zadržovacích systémů s průběhem zpoždění kabiny k dodržení biomechanických mezních hodnot, zachování neporušeného prostoru pro cestující (až na dovolené vniknutí) s pevnými úchyty pro bezpečnostní pásy a také vytvoření prostoru při zvláštním zřeteli na možné oblasti nárazu.

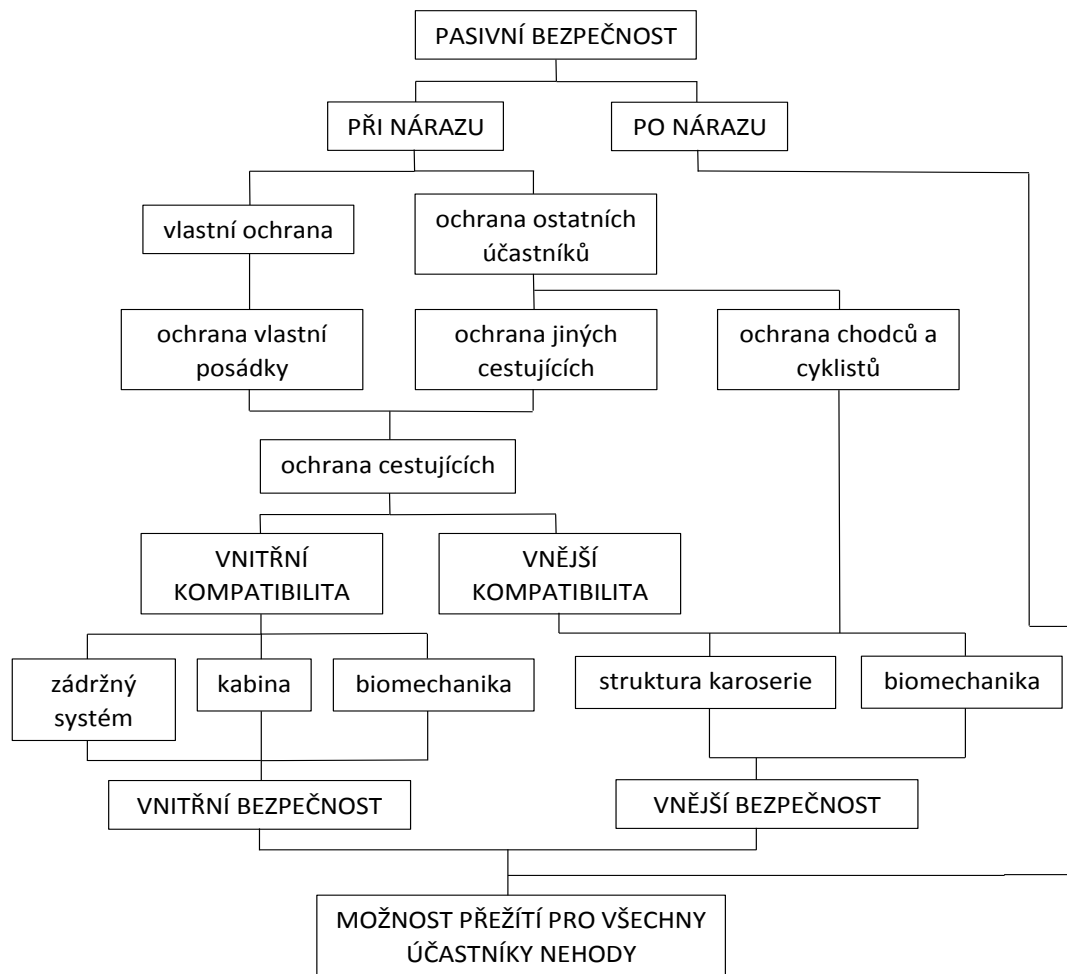
Vnější kompatibilitou rozumíme sladění deformačních sil a deformačních drah se zřetelem na rozdělení nárazové (absorbované) energie všech účastníků nehody k dodržení biomechanických mezních hodnot a zachování prostoru pro přežití.

Opatření k zajištění vnitřní a vnější bezpečnosti slouží k tomu, aby všem účastníkům silniční dopravy byla v případě nehody zajištěna co největší naděje na přežití a riziko poranění bylo co nejmenší.

Pro zvýšení pasivní bezpečnosti automobilů je nezbytné soustavně analyzovat dopravní nehody a provádět systematický biomechanický výzkum.

Z hlediska zákonodárství jsou požadavky na pasivní bezpečnost stanoveny v ČR zákonem č. 38/1995 Sb. a vyhláškou „O technických podmínkách provozu silničních

vozidel na pozemních komunikacích“ a vyhláškou č. 102/1995 Sb. „O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích“ a homologační předpisy Evropské hospodářské komise EHK (ECE). V zemích EU navíc platí směrnice Evropské společnosti (ES), od roku 1993 směrnice Evropské hospodářské společnosti EHS (EEC). Důležité jsou také předpisy a normy USA (FMVSS = Federal Motor Vehicle Safety Standard), které v některých případech daly impuls k vypracování předpisů EHK. [1]



Obr. 17 - Pasivní bezpečnost [1]

Pasivní bezpečnost rozumíme souhrn všech konstrukčních a výrobních opatření, jejichž posláním je omezení možnosti poranění a ztrát na lidských životech, popř. i snížení hmotných ztrát, dojde-li k nehodě, ať již zaviněné lidským činitelem, vozovkou, či technickým stavem vozidla.

Dojde-li k nehodě, potom o přežití a minimálním ohrožení rozhodují tato základní kritéria:

- maximální vzniklé přetížení organismu a jeho trvání

- zbytkový prostor přežití
- možnost poranění o řídicí a ovládací ústrojí vozidla, resp. o povrch vnitřního prostoru
- možnost včas vozidlo opustit
- riziko vzniku požáru

Pasivní bezpečnost vozidla plní své poslání jednak při nárazu – tehdy rozeznáváme její vnější funkci (tj. míru agresivnosti vůči ostatním účastníkům silničního provozu), vnitřní funkci (schopnost ochrany posádky) a jednak po nárazu, kdy na ní závisí možnost vyproštění posádky i míra snížení rizika požáru.

Mezinárodní předpisy EHK – OSN obsahují řadu předpisů z této oblasti, jejichž požadavky musí vozidla splnit, aby mohla být v rámci smluvních stran Ženevské dohody „*O přijetí jednotných podmínek pro homologaci (tj. ověřování shodnosti) a o vzájemném uznávání homologace výstroje a součástí motorových vozidel*“ – 1985) připuštěna do silničního provozu. Tyto homologační předpisy nespecifikují přímo konstrukční řešení, ale požadují předepsané účinky a vlastnosti.

V současné době je řada požadavků kladených na karoserie stanovena homologačními předpisy Evropské hospodářské komise (EHK) – OSN, a to zejména z hlediska pasivní bezpečnosti.

V České republice platí zákon č. 38/1995 Sb. „*O technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích*“. Podrobné požadavky na motorová vozidla uvádí vyhláška č. 102/1995 sb. „*O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích*“.

Řada požadavků na karoserie je stanovena také v českých normách ČSN.

6.1 Předpisy Evropské hospodářské komise

Určité členské státy EHK OSN (ECE) uzavřely „*Dohodu o přijetí jednotných podmínek pro homologaci a o vzájemném uznávání homologace výstroje a součástí motorových vozidel*“ (Ženeva, 1958). Tato dohoda stanoví rámcové podmínky. Konkrétní technická témata jsou řešena jednotlivými Předpisy, které jsou formálně přílohami k Dohodě. V průběhu platnosti Dohody k ní přistupovaly postupně další členské státy až do nynějšího počtu signatářů 56.

V České republice je stanovena povinnost plnit Předpisy, jejichž užívání náš stát notifikoval, vyhláškou Ministerstva dopravy „*O schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích*“

č. 102/1995 Sb., kde jsou všechny tyto předpisy konkrétně uvedeny. Homologujícím orgánem v České republice je Ministerstvo dopravy ČR. Protože účelem Dohody je co nejvíce sjednotit evropské zákonodárství pro konstrukci a schvalování silničních vozidel, notifikovaly téměř všechny členské státy, které jsou smluvními stranami, velkou většinu vydaných Předpisů. [1]

Jednotná ustanovení pro homologaci se týkají podle povahy věci buď jednotlivých konstrukčních skupin, které se zkoušejí samostatně a mohou se montovat na různá vozidla (homologační zkouška se provádí přímo na součásti vozidla) nebo se týkají vozidel jako celku (homologační značka je pak vyznačena na homologačním štítku vozu). Příslušné předpisy EHK – OSN jsou číslovány chronologicky. Obsahují kromě formálních ustanovení pro schvalování zejména životnostní a funkční technické specifikace a podrobnou zkušební metodiku, která zahrnuje zejména statické či dynamické destrukční zkoušky za předepsaných podmínek a na předepsaném zkušebním zařízení. Splnění homologačních předpisů se úředně ověřuje v autorizovaných zkušebnách kterékoli z členských států, které se svým dobrovolným přistoupením k předpisu zavázaly, že jsou ochotny připustit do provozu jen vozidla, která získala tzv. evropskou homologační značku (obr. 18) v některé z autorizovaných zkušeben.



Obr. 18 - Homologační znak EHK na motorovém vozidle [1]

V České republice jsou tyto mezinárodní homologační zkušebny:

- Ústav pro výzkum motorových vozidel – Consulting a.s. Praha (ÚVMV)
- Ústav silniční a motorové dopravy, a.s., Praha (ÚSMD)
- Institut gumárenské technologie a testování a.s., Zlín (IGTT)
- Státní zkušebna zemědělských, potravinářských a lesnických strojů (SZZPLS)
- Elektrotechnický zkušební ústav, Praha (EZÚ)

Velká část předpisů EHK – OSN je zaměřena na zajištění vnitřní pasivní bezpečnosti posádky. To tkví ve skutečnosti, že v této oblasti byly zatím nejnaléhavější problémy, a že odpovídajícími bezpečnostními opatřeními je možno nejrychleji zlepšit bilanci nehod.

6.2 EHK č. 127 – Jednotná ustanovení pro schválení motorových vozidel z hlediska bezpečnosti chodců

Tento předpis se vztahuje na motorová vozidla kategorie M1 do 2,5 t a N1, mimo ta vozidla kde je místo řidiče buď před přední nápravou, nebo v podélném směru dozadu od její příčné osy maximálně o 1100 mm [10]

Měření předpokládá vozidlo v normální jízdní poloze a má-li vozidlo připevněný znak, figurku nebo jinou součástku, která by se ohnula dozadu nebo se zatlačila při tlaku nejvýše 100 N, pak tato zatížení musí být aplikovány před nebo prováděna během těchto měření. [10]

Každá konstrukční část vozidla, která by mohla změnit tvar nebo polohu, s výjimkou dílů odpružení nebo aktivních zařízení pro ochranu chodců, musí být nastavena do sklopené polohy.

V následujících odstavcích jsou vybrány termíny a ustanovení, která se z hlediska bezpečnosti chodců přímo týkají kapot.

6.2.1 Významné měřené geometrické polohy

Předpis přesně definuje několik geometrických poloh na přední vozidla, které jsou typické pro kontakt hlavy dítěte a dospělého.

Zkušební oblast nárazu makety hlavy dospělého rozumíme jako oblast na vnějším čelním povrchu. Oblast je ohraničena:

- a) vpředu opsanou délkou (WAD) 1 700 mm nebo čárou, která je vzdálena o 82,5 mm směrem dozadu od vztažené čáry náběžné hrany kapoty, podle toho, co je nevíce vzadu při dané postranní poloze;
- b) vzadu opsanou délkou (WAD) 2 100 mm nebo čárou, která je vzdálena o 82,5 mm směrem dopředu od zadní vztažené čáry kapoty, podle toho, co je nejvíce vpředu při dané postranní poloze;
- c) na každém boku čárou, která je o 82,5 mm směrem dovnitř od boční vztažené čáry.

Vzdálenost 82,5 mm se určí ohebným páskem držným v napjatém stavu podle vnějšího povrchu vozidla. [10]

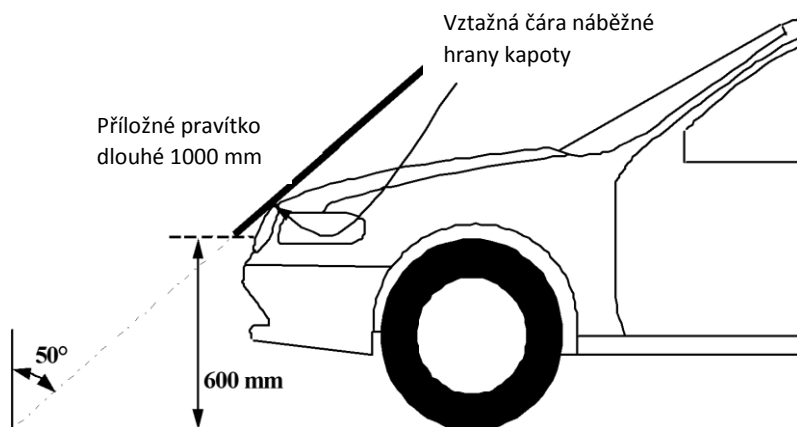
Náběžná hrana kapoty znamená hranu přední horní vnější části karoserie vozidla, zahrnující kapotu a blatníky, horní a boční členy krytu světlometu obklopuje a všechny

další doplňky. Vztažná čára určující polohu náběžné hrany kapoty je definována svou výškou nad vztažnou rovinou země a vodorovnou vzdáleností, která i odděluje od nárazníku (přesahem nárazníku). [10]

Výška náběžné hrany kapoty znamená, v kterémkoliv bodě náběžné hrany kapoty, svislou vzdálenost mezi vztažnou rovinou země a vztažnou čárou náběžné hrany kapoty v tomto bodě. [10]

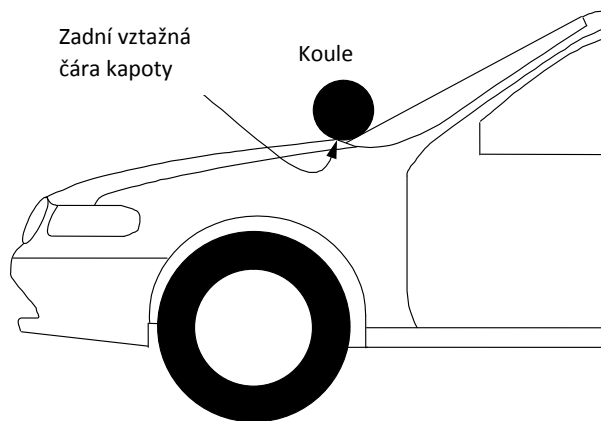
Vztažná čára náběžné hrany kapoty znamená geometrické místo bodů dotyku 1 000 mm dlouhého přiloženého pravítka a předním povrchem kapoty, když se příložným pravítkem udržovaným v poloze rovnoběžné se svislou podélnou rovinou vozidla, skloněným dozadu v úhlu 50° od svislice a s dolním koncem 600 mm nad zemí pohybuje příčně podél náběžné hrany kapoty tak, že se jí stále dotýká (viz obrázek 19). [10]

Horní hrana nárazníku se rovněž považuje za náběžnou hranu kapoty pro účely tohoto předpisu, jestliže se příložné pravítko v průběhu tohoto postupu dotkne horní hrany nárazníku.



Obr. 19 -Vztažná čára náběžné hrany kapoty [5]

Zadní vztažná čára kapoty znamená geometrickou stopu nejvíce vzadu se nalézajících bodů dotyku koule o průměru 165 mm s přední částí karoserie, když se koulí pohybuje napříč přes přední horní povrch tak, že se stále dotýká čelního skla (viz obrázek 20). Při tomto postupu jsou odmontovány lišty a ramínka stíračů. [10]



Obr. 20 - Zadní vztažná čára kapoty [10]

Horní povrch kapoty je plocha ohraničena podle bodů takto:

- a) vztažnou čarou náběžné hrany kapoty;
- b) zadní vztažnou čarou kapoty;
- c) bočními vztažnými čarami kapoty. [10]

Zkušební oblast horního povrchu kapoty se skládá z oblasti pro zkoušku makety hlavy dítěte a z oblasti pro zkoušku nárazem makety dospělého. [10]

Zkušební oblast nárazu makety hlavy dítěte je oblast na vnějším povrchu přední části karoserie. Tato oblast je ohraničena:

- a) vpředu opsanou délkou (WAD) 1 000 mm nebo čarou, která je vzdálena o 82,5 mm směrem dozadu od vztažené čáry náběžné hrany kapoty, podle toho, co je nevíce vzadu při dané postranní poloze;
- b) vzadu opsanou délkou (WAD) 1 700 mm nebo čarou, která je vzdálena o 82,5 mm směrem dopředu od zadní vztažné čáry kapoty, podle toho, co je nejvíce vpředu při dané postranní poloze;
- c) na každém boku čarou, která je o 82,5 mm směrem dovnitř od boční vztažné čáry.

Vzdálenost 82,5mm se určí ohebným páskem drženým v napjatém stavu podle vnějšího povrchu vozidla. [10]

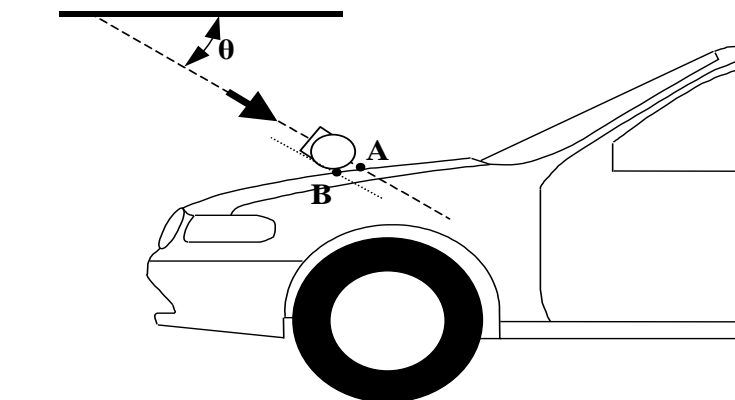
Přední vztažná čára pro maketu hlavy dítěte znamená geometrické místo vytýčené na konstrukci přední části vozidla s použitím čáry WAD 1000. U vozidel, kde opsaná délka k vztažné čáře náběžné hrany kapoty je v kterémkoliv bodě větší než 1000 mm, použije

se vztažná čára náběžné hrany kapoty jako přední vztažná čára pro maketu hlavy dítěte v tomto bodě. [10]

Přední část konstrukce vozidla znamená všechny vnější části konstrukce vozidla, s výjimkou čelního skla, příčného nosníku nad předním, sloupků A a konstrukcí za nimi. To zahrnuje, ale není na ně omezeno, nárazník, kapotu, blatníky, masku chladiče, hřídele stěračů a dolní rám čelního skla. [10]

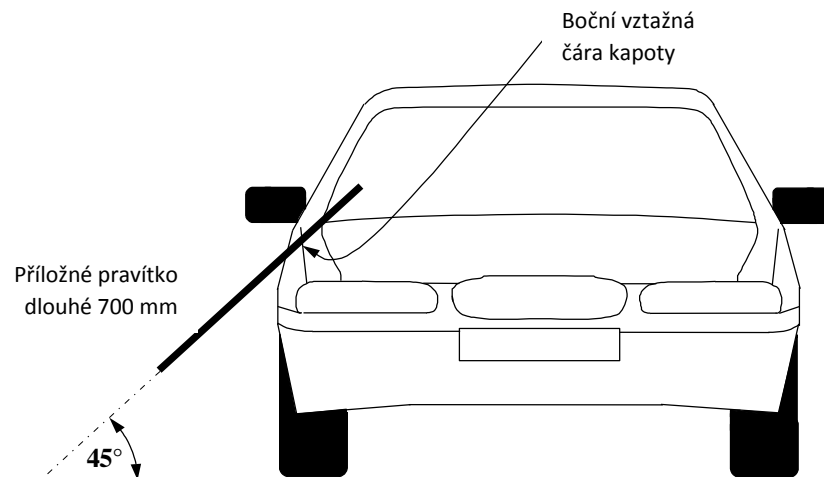
Měřicí bod může být také uváděn jako „zkušební bod“ nebo „bod nárazu“. Ve všech případech se výsledek zkoušky vztáhne k tomuto bodu, bez ohledu na to, kde dojde k prvnímu styku. [10]

Pro zkoušku maketou hlavy znamená bod na vnějším povrchu vozidla, který byl vybrán pro hodnocení. Měřicí bod je místo, v kterém se profil makety hlavy dotkne průřezu vnějšího povrchu vozidla ve svislé podélné rovině procházející těžištěm makety hlavy (viz obrázek 21). [10]



Obr. 21 - Měřicí bod ve svislé podélné rovině procházející těžištěm nárazové makety hlavy (A – referenční bod, B – bod skutečného kontaktu, θ - úhel nárazu)[10]

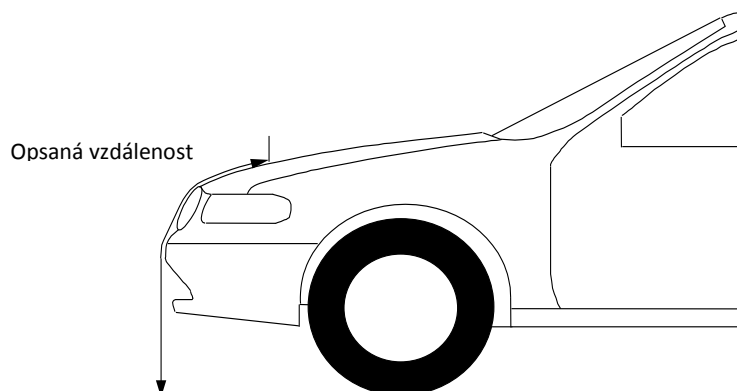
Boční vztažná čára znamená geometrické místo nejvyšších bodů dotyku mezi příložným pravítkem 700 mm dlouhým s boky vozidla, když se příložným pravítkem udržovaným v poloze rovnoběžné se svislou příčnou rovinou vozidla a skloněným v úhlu 45°, směrem dovnitř pohybuje podél boku tak, že se stále dotýká boků přední části konstrukce (viz obrázek 22). [10]



Obr. 22 - Boční vztažná čára [10]

Opsaná vzdálenost (WAD) znamená geometrické místo bodů opsané na předním horním povrchu, jedním koncem ohebné pásky udržované ve svislé podélné rovině vozidla a posouvané napříč přední části konstrukce vozidla. Páska je po celou dobu měření napjatá, přičemž jeden konec se dotýká vztažné roviny země, svisle pod předním čelem nárazníku, a druhý se dotýká přední části konstrukce (viz obrázek 20). Vozidlo je v normální jízdní poloze. [10]

Tento postup se použije s alternativními páskami odpovídajících délek ke zjištění opsaných vzdáleností 1 000 mm (WAD1000), 1 700 mm (WAD1700) a 2 100 mm (WAD2100). [10]



Obr. 23 - Měření opsané vzdálenosti [10]

6.2.2 Kritérium poranění hlavy (HIC)

Toto kritérium znamená vypočítaný výsledek časového průběhu údajů akcelerometrů podle následujícího vzorce:

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2,5} (t_2 - t_1)$$

kde:

„a“ je výsledné zrychlení měřené v jednotkách gravitace "g" (1 g = 9,81 m/s²);

„t₁“ a „t₂“ jsou dva časové okamžiky (vyjádřené v sekundách) v průběhu nárazu určující interval mezi počátkem a koncem doby záznamu, v kterém je hodnota HIC maximum (t₂ – t₁ ≤ 15 ms). [10]

6.2.3 Požadavky zkoušky nárazem makety hlavy dítěte a dospělého

Při zkoušení podle výše uvedených odstavců nesmí zaznamenaná hodnota HIC přesáhnout hodnotu 1 000 na dvou třetinách oblasti zkoušky horního povrchu kapoty. Ve zbývajících oblastech nesmí HIC přesáhnout hodnotu 1 700 u obou druhů makety hlavy. [10]

V případě zkušební oblasti pouze pro maketu hlavy dítěte nesmí zaznamenaná hodnota HIC přesáhnout 1 000 na dvou třetinách zkušební oblasti. Ve zbývajících oblastech nesmí HIC přesáhnout hodnotu 1 700. [10]

6.2.4 Postupy zkoušek nárazem makety hlavy dítěte a makety hlavy dospělého

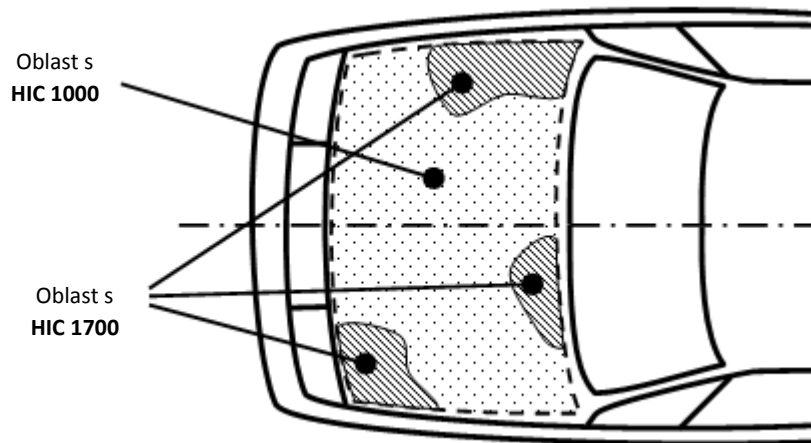
Nárazové makety hlavy musí být v okamžiku nárazu ve stavu "volném letu", a mít požadovanou nárazovou rychlost ± 40 km/h. Nárazová tělesa se uvolní do stavu "volného letu" v takové vzdálenosti od vozidla, aby výsledky zkoušky nebyly ovlivněny dotykem nárazového tělesa s hnacím systémem při odrazu nárazového tělesa. [10]

Rychlost nárazového tělesa se měří v některém z bodů během volného letu před nárazem v souladu s metodou uvedenou v normě ISO 3784:1976. Naměřená rychlost se upraví s ohledem na veškeré faktory, které mohou mít vliv na nárazové těleso mezi bodem měření a bodem nárazu, aby byla stanovena rychlost nárazového tělesa v okamžiku nárazu. Úhel vektoru rychlosti v okamžiku nárazu se vypočte nebo změří. [10]

Zaznamená se časový průběh zrychlení a vypočte se hodnota HIC. Zaznamená se první měřící bod na přední části konstrukce vozidla. Záznamy výsledků zkoušek se provádějí v souladu s normou ISO 6487:2002. [10]

6.2.5 Rozdělení zkušebních oblastí makety hlavy

Výrobce určí zóny na horním zkušební ploše kapoty oblasti, kde nesmí hodnota kritéria zranění hlavy HIC překročit hodnotu 1 000 (oblast HIC1 000) nebo 1 700 (oblast HIC 1700) (viz obrázek 24). [10]



Obr. 24 - Příklad značení oblasti s HIC 1000 a oblasti s HIC 1700 [10]

Vyznačení „oblasti zkoušky horního povrchu kapoty“, právě tak jako „oblastí s HIC 1000“ a „HIC 1700“ se provede podle výkresu dodaného výrobcem, při pohledu z vodorovné roviny nad vozidlem, která je rovnoběžná s vodorovnou nulovou rovinou vozidla. Výrobce udá dostatečný počet souřadnic X a Y k vyznačení oblastí na skutečném vozidle, při uvažování vnějšího obrysu vozidla ve směru osy Z. [10]

Oblasti s HIC 1000 a HIC 1700 se mohou skládat z několika částí, jejichž počet není omezen. Určení nárazové oblasti je dáno měřícím bodem. [10]

Výpočet plochy oblasti zkoušky horního povrchu kapoty, tak jako ploch nárazových oblastí „HIC 1000“ a „HIC 1700“ se provede na svislém průmětu kapoty z vodorovné roviny nad vozidlem, která je rovnoběžná s vodorovnou nulovou rovinou vozidla, na základě údajů z výkresu dodaného výrobcem. [10]

7. Před-deformační měření a zkoušky

Zkoumané originální a neoriginální náhradní kapoty na určené pro vozidlo Škoda Fabia II byly v průběhu zkoumání podrobeny mnoha měřením a zkouškám, od vizuální kontroly, přes zkoušky mechanických vlastností až po deformační zkoušky prováděné ve spolupráci se Škoda Auto, a.s.

V následujících odstavcích budou popsány jednotlivé úkony a postupy prováděné v rámci výše zmíněných testů a zkoušek.

7.1 Vizuální kontrola – popis jednotlivých dílů z hlediska bezpečnosti práce a manipulace s dílem

7.1.1 Prohlídka jednotlivých dílů včetně popisu poškození

Před započítím samotných zkoušek byla v první řadě vizuálně zkoumaná kvalita doručených náhradních kapot ale i kvalita balení od výrobce.

Při vizuální kontrole originálních kapot nebyly nalezeny žádné odlišnosti mezi oběma kapotami ani mezi jejich obaly. Díly byly čisté a ošetřené podkladním lakem zelenošedé barvy. Na dílech byly nalezeny drobné oděrky laku.

V případě 8 kusů neoriginálních kapot výrobce Tong Yang dodané od jednoho dodavatele nebyly nalezeny žádné výrazné vzájemné odlišnosti. U naprosté většiny případů se na dílech nacházely nedostatky typu ostrých hran a nedokonalosti laku v prostoru budoucího umístění masky chladiče. Jedna z kapot měla znečištěnu vnitřní stranu pojící hmotou. U další kapoty byla zjištěna vada na laku umístěná uprostřed vrchní částí v blízkosti umístění loga automobilky. Díly byly ošetřeny podkladním lakem černé barvy.

Dle těchto poznatků a vizuálních kontrol, které byly provedeny a jsou v předchozích odstavcích, byly nalezeny pouze vady kosmetického rázu, které však nemají vliv žádný vliv na funkčnost jednotlivých kapot, ale přesto ovlivňují antikorozi ochranu dílu.

7.1.2 Prohlídka balení jednotlivých dílů

Firma Škoda Auto, a.s., dodává originální díly v pevném kartonovém balení, které je uzavíratelné. Balení má tvar kvádru, složeného z vnitřního a vnějšího kartonového dílu, pro lepší manipulaci a skladování. Na balení se nachází identifikační potisk výrobce, potisk směru postavení balení a potisk s návodem otevření balení. Je důležité dodržovat směr postavení balení, aby byl díl v obalu správně fixován a nedošlo k jeho případnému poškození. Balení vzhledem ke své dostatečné konstrukci neobsahuje dodatečné polstrování.

Neoriginální díl o taiwanského výrobce Tong Yang má pevné kartonové balení, které je možné uzavírat pomocí přiložených provázků. Tento obal kopíruje tvar samotné kapoty, což sice snižuje prostorové požadavky na skladování, ale je nutné kapotu krýt další ochrannou vrstvou ve formě bublinkové fólie, aby se snížilo riziko při manipulaci. Ta však nechrání celou kapotu, pouze část hran. Dále balení obsahuje měkčené ochranné prvky umístěné na rozích kapoty. Na obalu se nachází potisk s označením výrobce Tong Yang a jeho identifikační číslo. Není tam však vyznačen směr postavení obalu ačkoliv je obal evidentně navržen pro stání pouze na jedné straně.

Na následujících obrázcích jsou pohledy na balení obou typů balení jak pro originální, tak pro neoriginální kapotu.



Obr. 25 - Balení originální kapoty



Obr. 26 - Balení originální kapoty - rozbaleno



Obr. 27 - Balení neoriginální kapoty



Obr. 28 - Balení neoriginální kapoty - rozbaleno

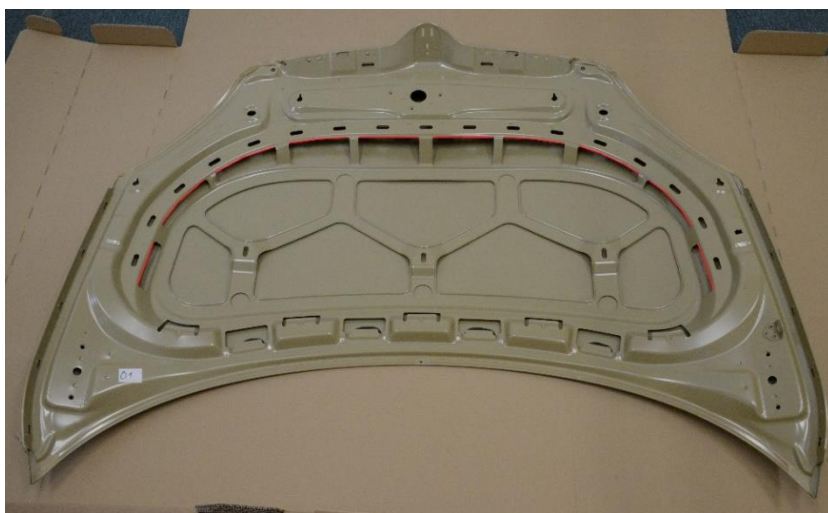
Obal neoriginální dílu sice kopíruje tvar kapoty, ta ale není vůči obalu pevně fixována proti případnému pohybu a dochází tak, i při běžné manipulaci k poškození obalu. Materiál obalu je sice kvalitní, nicméně jeho celkové zpracování nezaručuje, že se při manipulaci nepoškodí.

7.1.3 Bezpečnost práce

Oba dva druhy kapot byly prozkoumány ve smyslu hodnocení bezpečnosti s další manipulací, tedy identifikaci případných ostrých hran a výčnělků. Tato ostrá místa jsou vyznačena na následujících obrázcích.

Na originálním dílu se nacházely ostré hrany pouze ve vnitřní části, tj. mimo běžné místo ruční manipulace.

Oproti tomu u neoriginálního dílu byly kromě oblasti ve vnitřní části zajištěny i další ostré oblasti v místech běžné manipulace a to na přední části v oblasti připevnění loga výrobce vozu a masky chladiče a v místech čtyř rohů kapoty. Tyto rohy byly v balení kryty plastovými krytkami.



Obr. 29 - Originální díl - vyznačení ostrých hran



Obr. 30 - Neoriginální díl - vyznačení ostrých hran a rohů

7.2 3D tvarová analýza celých dílů

7.2.1 Cíle měření

Cílem této části byla prostorová analýza za účelem odhalení tvarových odchylek neoriginálních dílů vůči originálním. Zkoumané tvarové odchylky se týkaly nejen celých dílů kapot, ale také geometrie úchytů pantů a zámkového oka. Podklady pro provedené analýzy byly získány v obou případech kombinací laserového skenování a fotogrammetrického měření. 3D tvarová analýza celých dílů je provedena na výstupech z laserového skenování, které bylo verifikováno na základě modelů získaných fotogrammetrickým měřením, které je svým charakterem pro bodové měření vhodnější, a verifikace dosažených hodnot byla provedena oproti modelům získaných laserovým skenováním.

7.2.2 Popis průběhu tvarové analýzy a použitého zařízení

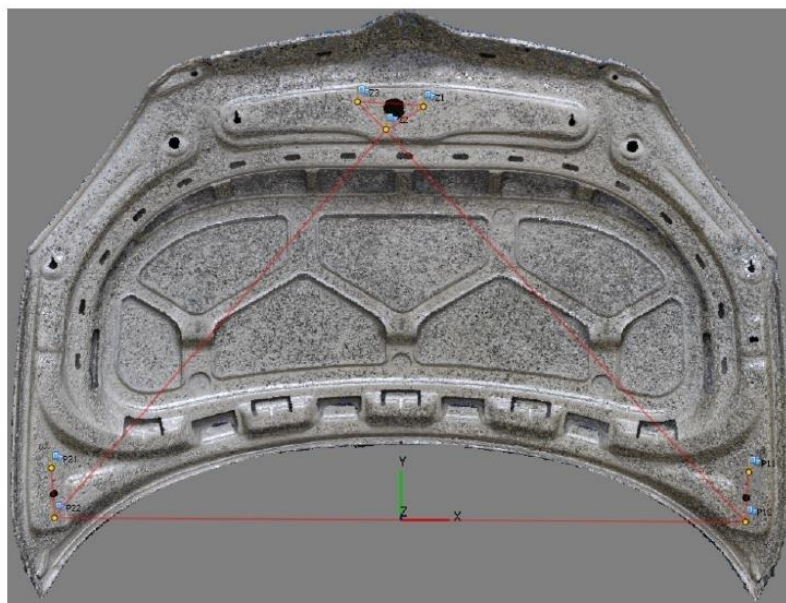
7.2.2.1 Laserové skenování

Pro digitalizaci tvaru objektů existuje celá řada různých typů 3D skenerů a jejich volba je spíše závislá na velikosti, tvaru a především materiálových vlastnostech skenovaného objektu společně s požadavky na dosahovanou přesnost, rozlišení a rychlost skenování. Pro tvarovou analýzu kapot byl využit terestrický skener FARO FOCUS 3D, který využívá měření na principu prostorové polární metody. Systém je určen především ke skenování větších vnitřních a vnějších prostor. Pro naskenování bodů objektu využívá principu rozmítání laserového svazku, a s jeho pomocí jsou měřeny body na povrchu objektu ve zvolené hustotě. Výsledkem takového měření je výpočet 3D souřadnic měřeného bodu objektu v souřadnicovém systému skeneru, který je umístěn a orientován obecně. Tyto body reprezentují tzv. mračno bodů, které je tvořené zaměřenými/naskenovanými body a charakterizuje povrch měřeného předmětu. Přesnost, které je při měření dosahováno, se pohybuje v rozmezí 0,3 – 0,5 mm, což je pro účely prováděné tvarové analýzy naprosto dostačující.



Obr. 31 - Skener Faro FOCUS 3D; Závěs kapot pro potřeby měření

Pro potřeby skenování byl v prostorách ústavu vytvořen speciální závěs na kapoty. Díky velké četnosti různých otvorů (např. otvory v oblasti úchytů pantů) z vnitřní strany kapoty bylo tak možné kapoty zavěsit. Účel závěsu spočíval zejména v minimalizaci možných deformací kapoty v průběhu měření a zároveň umožňoval přístup ke všem částem kapot v průběhu tvarového skenování povrchu kapoty. Pro účely analýzy geometrie úchytů pantů a zámkového oka byly vyhodnoceny jako nejzásadnější polohy střetů jednotlivých otvorů závitů upevňovacích šroubů a jejich vzájemné relativní vzdálenosti. Z toho důvodu bylo definováno sedm bodů, jejichž polohy byly následně na kapotách měřeny. Jednalo se celkem o dva body uchycení kapoty na každé straně (body P11, P12 a P21, P22) a tři body uchycení zámkového oka (Z1, Z2, Z3), viz následující obr. Dále bylo určeno 8 spojnic (P12-P22; P12-Z2; P22-Z2; P11-P12; P21-P22; Z1-Z2; Z1-Z3; Z2-Z3), jimiž jsou vyjádřeny relativní polohy vůči sobě.

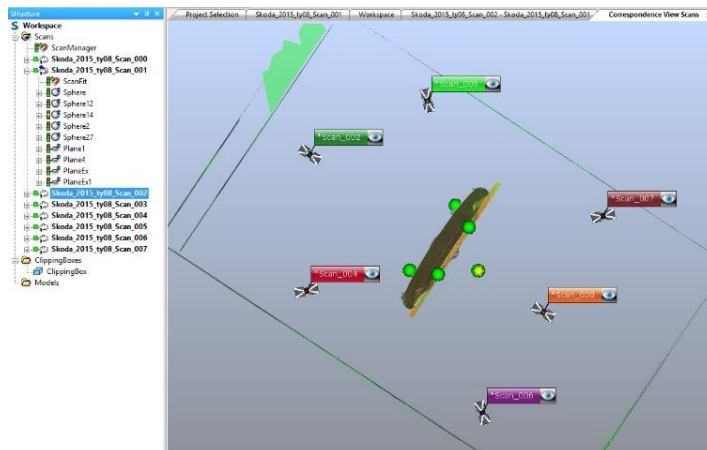


Obr. 32 - Měřené polohy otvorů závitů upevňovacích šroubů a porovnávané spojnice

Vzhledem k tvaru kapoty bylo přistoupeno tvarové analýze před deformací ke třem způsobům skenování:

1. skenování celého dílu,
2. podrobné skenování vnější části kapoty,
3. podrobné skenování vnitřní části kapoty.

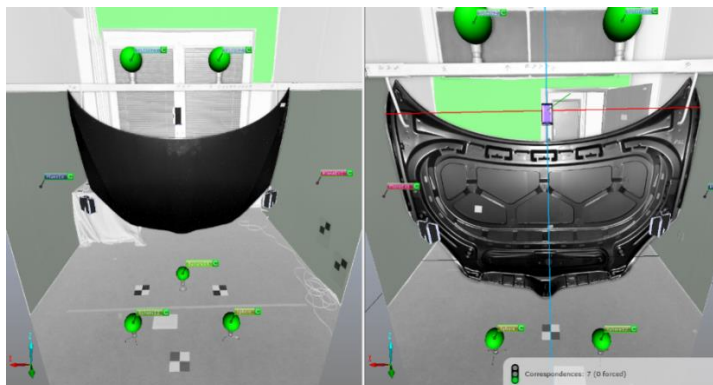
V průběhu skenování bylo pro každou kapoty pořízeno celkem 14 dílčích skenů, které byly následně propojovány do výsledných modelů. Jednalo se o 6 dílčích skenů celého dílu, 4 skeny vnější části a 4 vnitřní části kapoty. Prostorové uspořádání skenů bylo voleno tak, aby se navzájem doplňovaly a výsledný model pak zachycoval celý tvarový průběh měřené kapoty. Prostorové uspořádání dílčích skenů celého dílu kapoty je naznačeno na následujícím obrázku. Celkem bylo tedy pořízeno 140 dílčích skenů, které byly dále zpracovány a využívány.



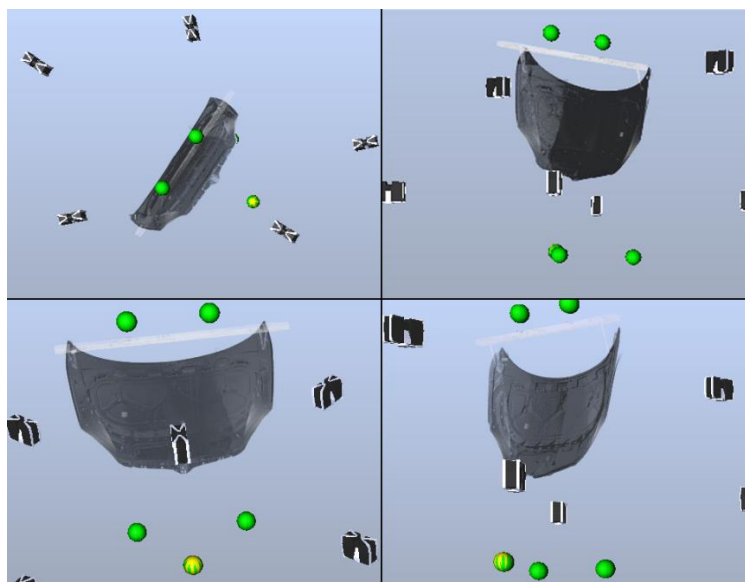
Obr. 33 - Prostorové uspořádání dílčích skenů kapoty

V průběhu skenování byl skener umístěn ve vzdálenosti zhruba 1,5 m od snímaného povrchu. Profil skenování byl nastaven na získávání bodů ve vzájemné vzdálenosti 6,136 mm/10 m. Tato hodnota po přepočtu vedla k průměrnému rozestupu bodů na povrchu ve vzdálenosti cca 0,9 mm. U výsledného modelu vzniklého kombinací jednotlivých dílčích skenů se hodnota pohybovala do 0,5 mm. Generovaná dílčí bodová mračna v průměru více jak 3,5 milionu bodů, které ovšem zachycovaly i části okolního prostředí. Aby mohly být jednotlivé dílčí skeny propojeny do jednoho výsledného modelu, bylo využito referenčních koulí a terčů dodávaných výrobcem. Tyto vztažné body následně tvořily vazební prvky pro skládání výsledných modelů kapot. Po propojení jednotlivých bodových mračen byly výsledné modely oříznuty, očištěny od šumu a využity pro tvarovou analýzu. Důvodem vzniku šumu byly v tomto případě zejména povrchové a materiálové vlastnosti měřených předmětů. Na obr. 35

a obr. 36 je ukázán příklad vzájemného propojení dílčích skenů, jednotlivé referenční prvky, polohy skeneru při měření a výsledný model kapoty.



Obr. 34 - Dílčí skeny kapoty TY8 s referenčními prvky



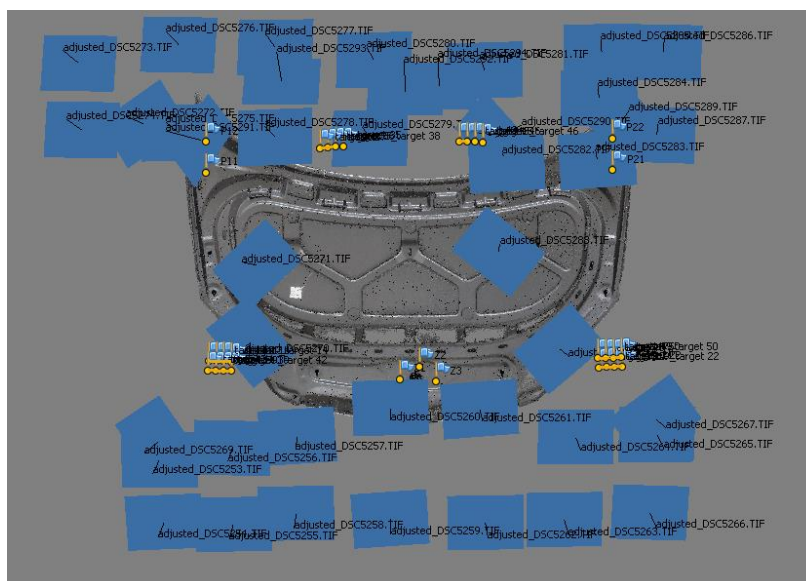
Obr. 35 - Výsledný prostorový model kapoty TY8

7.2.2.2 Fotogrammetrie

Druhou formou měření, která byla využita pro 3D tvarovou analýzu povrchu, byla fotogrammetrie. Fotogrammetrií v nejširším slova smyslu rozumíme měřičskou metodu určení tvaru, velikosti či polohy měřeného předmětu v prostoru z jednoho či více obrazových, nejčastěji fotografických záznamů. Primárním úkolem fotogrammetrického měření je získání třírozměrné rekonstrukce objektu v digitální podobě (souřadnic, odvozených geometrických parametrů a prostorových modelů) či grafické formy (obrazů, plánů, map). V tomto případě bylo využito digitální blízké fotogrammetrie snímků pořízených za pomoci neměřické digitální komory. Pro vyhodnocení byl následně využit digitální optický korelační systém, ve kterém byla také provedena veškerá bodová měření. Termínem digitální obrazová korelace je označován automatický proces, kdy

dochází k hledání a párování společných bodů mezi dvěma a více snímky s co nejmenší možnou chybou. Digitální snímek si lze představit jako obrazovou matici, která obsahuje hodnoty jednotlivých pixelů fotografie. Metoda je pak založena na principu vyhledávání maxima korelační funkce pro bod a jeho blízké unikátní okolí. Pro každý identifikovaný bod je vypočten korelační koeficient, který je hodnotou vypočtená korelační funkce a udává výslednou míru shody. Algoritmů pro hledání a vzájemné porovnání podobnosti jednotlivých bodů je celá řada, ale ve většině případů se hledají extrémní či charakteristické body na snímcích.

Pro snímání byl využit fotoaparát Nikon D600 s fixním objektivem AF Nikkor 50mm f/1.4D. Před vlastním snímáním byly do okolí kapoty umístěny 12-bitové kódované terče, které sloužily pro definici souřadného systému a následnou verifikaci dosažených výsledků. Pro každou stranu kapoty bylo postupně pořízeno 40 snímků z předem definovaných poloh, které zajistily dostatečný překryv a zachycovaly detailně celý povrch kapoty. Výsledná snímková konfigurace je znázorněna na následujícím obrázku. Snímky byly pořizovány ve formátu RAW s fixním nastavením clony a citlivosti. Následně byla provedena prostorová rekonstrukce, při které byly získány nejen modely vnitřních částí kapot, ale také přesné polohy jednotlivých závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka. Fotogrammetrie je z tohoto hlediska mnohem vhodnější metodou z důvodu možnosti přesného označení jednotlivých poloh přímo na pořízených snímcích. Výsledné fotogrammetrické modely dosahovaly rozlišení 0,15 mm na pixel a dosahovaná střední kvadratická odchylka určených bodů se pohybovala v rozmezí 0,5 pixelu.



Obr. 36 - Využitá snímková konfigurace (modře jsou jednotlivé snímky), žlutě označené body s vlajkou jsou 12-bitové terče a polohy měřených bodů úchytů pantů a zámkové oka

7.2.3 Závěr tvarové analýzy

Jako první byla provedena analýza geometrie úchytů pantů a zámkového oka. Z důvodu přehlednosti byly získané hodnoty polohy jednotlivých závitových otvorů převedeny do nově definovaného souřadného systému, jehož počátek leží v polovině spojnice úchytů pantů P12 a P22. Směřování osy X je kladné ve směru bodu P12 a rovina XY je natočena tak, aby procházela bodem Z2. Jednotlivé spojnice úchytů společně s počátkem souřadného systému jsou znázorněny na obrázku 33. Polohy jednotlivých bodů byly určovány fotogrammetricky s následnou verifikací na modelech získaných laserovým skenováním. Důvodem byla vhodnost fotogrammetrie pro bodová měření.

Prostorová tvarová analýza celých dílů pro určení tvarových odchylek neoriginálních dílů oproti originálu probíhala v několika fázích. Byla provedena nejen rozdílová analýza originálních dílů vůči neoriginálním, ale i mezi výrobky od stejného výrobce. Cílem bylo dosáhnout nejen tvarové analýzy dvou rozdílných dílů, ale také zhodnotit výrobní variabilitu měřených vzorků. Rozdílová analýza byla doplněna výškovou analýzou jednotlivých vzorků. Poslední sledovanou hodnotou bylo statistické zastoupení bodů s odchylkou, které je zobrazeno pomocí histogramu vzájemných vzdáleností porovnávaných modelů. Jako hraniční hodnota byla zvolena hodnota 1,5 mm, kterou u originálních dílů splňuje více než 95% naměřených bodů. V případech rozdílové analýzy byla maximální sledovaná odchylka limitována hodnotou 10 mm, která při zachování věrnosti výsledků vede ke snížení možného ovlivnění výsledků případným šumem. Z důvodu výskytu relativně vysoké míry zašumění způsobené povrchovými a tvarovými vlastnostmi kapot, je nutno k výsledkům této část tvarové analýzy přistupovat zejména jako k ukazateli tendencí tvarových rozdílů.

Faktorem, který měl vliv na porovnání originálních dílů, bylo množství porovnaných kapot. Jelikož byly k dispozici pouze dva originální díly oproti osmi neoriginálním, mají z nich odvozené statistické závěry nižší vypovídající hodnotu.

7.2.3.1 Originální díly

V následujících tabulkách se nacházejí průměrné hodnoty měřených parametrů na kapotách ŠA1 a ŠA2. Oby zkoumané vzorky vykazují jen velmi malé hodnoty rozptylu jednotlivých hodnot. I přes fakt, že byly k dispozici pouze dvě originální kapoty, lze konstatovat, že díly vykazují vysokou míru shody, a že jsou z hlediska geometrie úchytů pantů a zámkového oka homogenní. Odchytky pozorované mezi kapotami ŠA1 a ŠA2 vzhledem k vůlím na jednotlivých upevňovacích prvcích neomezují možnost připevnění dílu na karoserii automobilu a jeho plnohodnotné využívání.

Tabulka 1 - Průměrné polohy středů závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka kapot ŠA

Průměrné hodnoty souřadnic – kapoty ŠA (počet změřených kusů = 2)							
označení		zaměřené hodnoty			rozptyl zam. hodnot		
Kód bodu	Typ bodu	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	var (X)	var (Y)	var (Z)
P11	otvor - závit	641,7	97,2	11,9	0,0625	0,0225	0,9025
P12	otvor - závit	642,4	0,0	0,0	0,0225	0,0000	0,0000
P21	otvor - závit	-642,7	97,5	11,6	0,0000	0,0025	0,0100
P22	otvor - závit	-642,4	0,0	0,0	0,0225	0,0000	0,0000
Z1	otvor - závit	31,9	757,6	3,0	0,0025	0,0225	0,4225
Z2	otvor - závit	-33,5	718,0	0,0	0,0025	0,0225	0,0000
Z3	otvor - závit	-84,9	765,0	3,9	0,0025	0,0400	0,2500

Tabulka 2 - Rozptyl délky spojnic vybraných bodů kapot ŠA

Průměrné rozměry kapot ŠA (počet změřených kusů = 2)		
označení	rozměr	
kód spojnice	průměrná délka [mm]	Rozptyl z 2 rozměrů SA
P12-P22	1 284,7	0,09000
P12-Z2	986,0	0,06067
P22-Z2	941,4	0,03207
P11-P12	97,9	0,00110
P21-P22	98,2	0,00384
Z1-Z2	76,5	0,00063
Z2-Z3	69,8	0,00003
Z3-Z1	116,9	0,00002

Při znázornění rozdílové analýzy vnějších a vnitřních částí kapot ŠA1 a ŠA2 se ukazuje, že přes 95 % bodů na vnitřní a vnější straně kapoty vykazuje vzájemnou odchylku nižší než 1,5 mm. Tato hodnota potvrzuje předchozí zjištění a vypovídá o vysoké tvarové homogenitě testovaných originálních dílů.

7.2.3.2 Neoriginální díly

V následujících tabulkách se nacházejí průměrné hodnoty měřených parametrů na kapotách TY. Výsledné hodnoty rozptylu poloh zaměřených bodů se pohybují řádově výše, než u originálních dílů. Na základě pozorovaných odchylek se dá usuzovat vyšší výrobní variabilita neoriginálních dílů.

Tabulka 3 - Průměrné polohy středů závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka kapot TY

Průměrné hodnoty souřadnic – kapoty TY (počet změřených kusů = 8)							
označení		zaměřené hodnoty			rozptyl zam. hodnot		
Kód bodu	Typ bodu	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	var (X)	var (Y)	var (Z)
P11	otvor - závit	642,0	96,8	11,9	9,7569	0,0973	0,5948
P12	otvor - závit	640,0	0,0	0,0	0,1894	0,0000	0,0000
P21	otvor - závit	-641,0	97,7	11,7	0,1200	0,0369	0,6925
P22	otvor - závit	-640,0	0,0	0,0	0,1894	0,0000	0,0000
Z1	otvor - závit	32,7	759,0	4,5	0,2700	0,4975	0,2725
Z2	otvor - závit	-32,8	719,3	0,0	0,1569	0,5719	0,0000
Z3	otvor - závit	-84,0	766,8	3,9	0,1598	0,5150	0,1248

Tabulka 4 - Rozptyl délky spojnic vybraných bodů kapot TY

Průměrné rozměry kapot TY (počet změřených kusů = 8)		
označení	rozměr	
Kód spojnice	průměrná délka [mm]	rozptyl z 2 rozměrů SA
P12-P22	1 280,0	0,75750
P12-Z2	984,9	0,55188
P22-Z2	941,3	0,35500
P11-P12	97,7	0,09750
P21-P22	98,4	0,01938
Z1-Z2	76,7	0,01109
Z2-Z3	69,9	0,02937
Z3-Z1	116,9	0,03984

Při znázornění rozdílové analýzy vnějších a vnitřních částí kapot TY se ukazuje, že 85 % bodů na vnější a 93% bodů na vnitřní straně kapoty vykazuje odchylku do 1,5 mm. Dosahované hodnoty potvrzují závěry z analýzy geometrie závitových otvorů o nižší výrobní homogenitě měřených neoriginálních dílů.

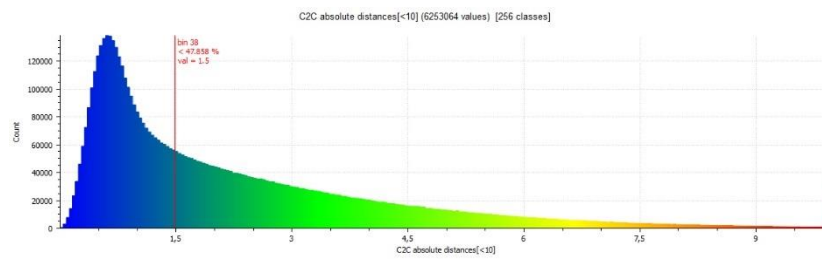
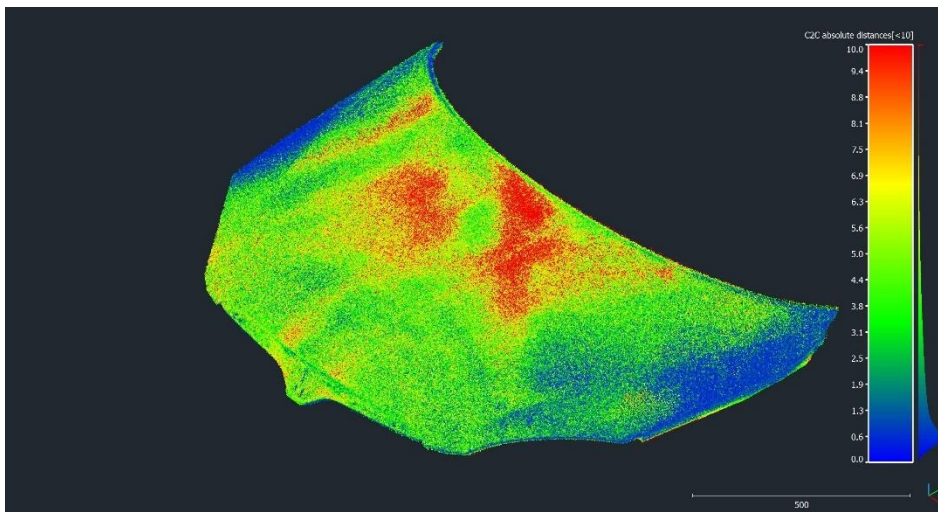
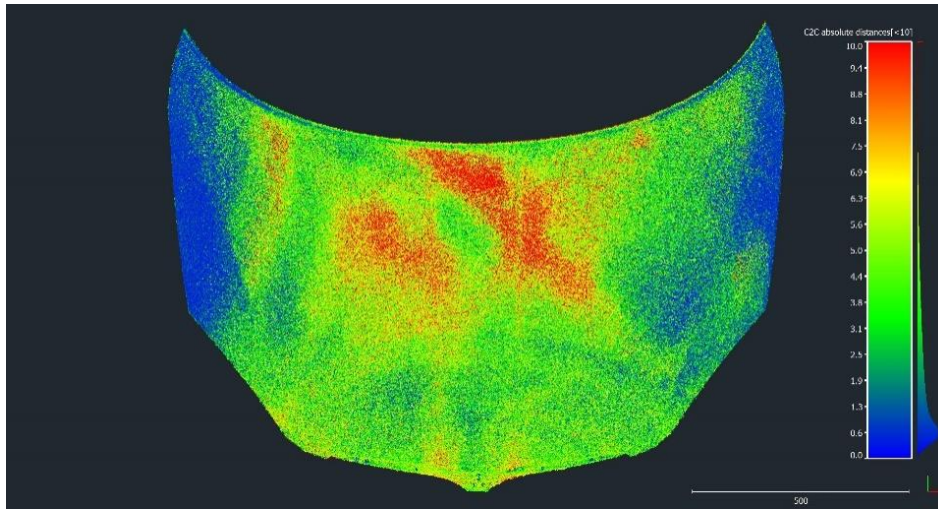
7.2.3.3 Porovnání originálních dílů s neoriginálními

V následujících tabulkách se nacházejí odchylky naměřených průměrných hodnot sledovaných parametrů na kapotách ŠA a TY. Při vlastním porovnání průměrných naměřených hodnot originálních a neoriginálních kapot, je zřejmé, že využívaný výrobní vzor neoriginálních kapot je velmi podobný, avšak ne stejný. I přes vyšší rozptyl hodnot druhovýroby a nižší tvarovou homogenitou těchto dílů, lze konstatovat, že naměřené průměrné hodnoty vzhledem k vůlím na jednotlivých upevňovacích prvcích neomezují možnost připevnění dílu na karoserii automobilu a jeho plnohodnotné využívání.

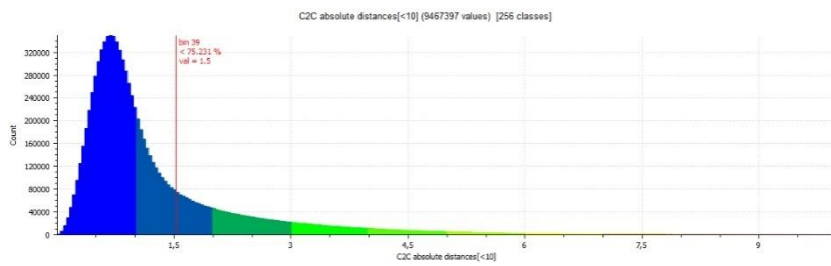
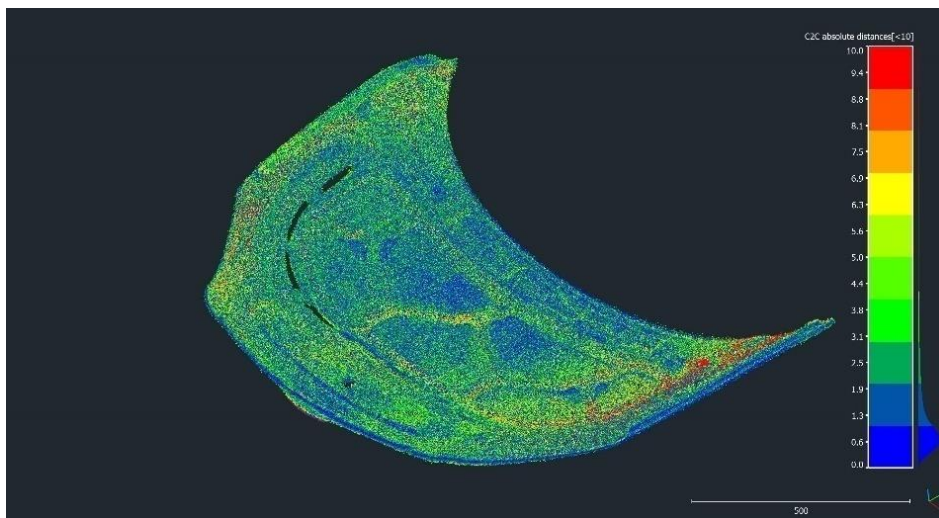
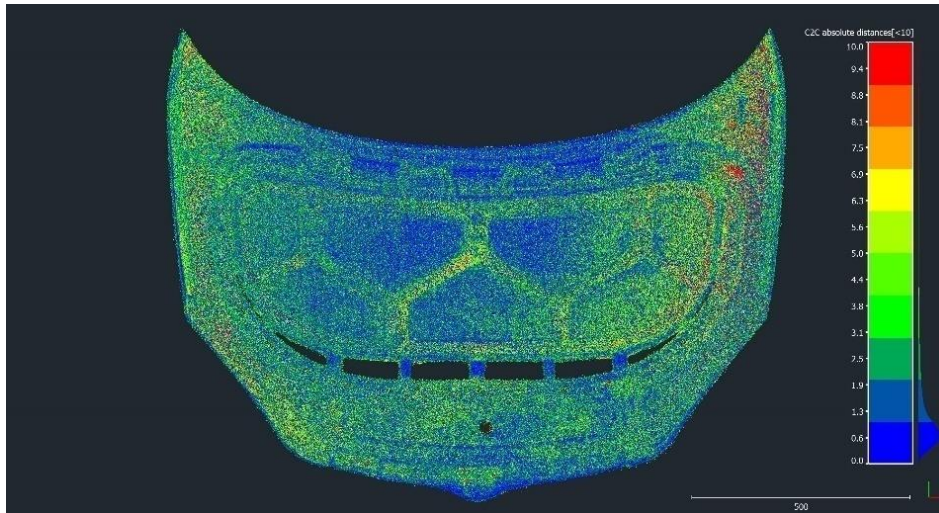
Tabulka 5 - Odchylky průměrovaných poloh středů závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka kapot ŠA a TY

Odchylka průměrovaných souřadnic ŠA - TY				
označení		odchylka		
Kód bodu	Typ bodu	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
P11	otvor - závit	-0,4	0,3	-0,1
P12	otvor - závit	2,4	0,0	0,0
P21	otvor - závit	-1,7	-0,3	0,0
P22	otvor - závit	-2,4	0,0	0,0
Z1	otvor - závit	-0,9	-1,5	-1,5
Z2	otvor - závit	-0,7	-1,3	0,0
Z3	otvor - závit	-0,9	-1,7	0,0

Při znázornění rozdílové analýzy vnějších a vnitřních částí modelů kapot SA a TY se potvrzuje fakt, který pozorován i při rozdílové analýze jednotlivých kapot. Průměrný model neoriginálního dílu vykazuje známku většího zaoblení kapoty v okolí její střední části a celkové zúžení po jejích stranách. Ze statistického rozboru se ukazuje, že 47 % bodů na vnější a 75 % bodů na vnitřní části modelu kapoty vykazuje odchylku do 1,5 mm. Dosahované hodnoty svědčí o rozdílném tvarovém uspořádání neoriginálních a originálních kapot.



Obr. 37 - Rozdílová analýza vnější části originálních a neoriginálních kapot - Kolmý pohled; Jihovýchodní izometrický pohled; Histogram vzájemných odchylek bodů průměrů kapot ŠA a TY



Obr. 38 - Rozdílová analýza vnější části originálních a neoriginálních kapot - Kolmý pohled; Jihovýchodní izometrický pohled; Histogram vzájemných odchylek bodů průměrů kapot ŠA a TY

7.3 Mechanické zkoušky vlastností kapot

V následujících odstavcích jsou poznatky, které byly změřeny Ústavem mechaniky a materiálů – K 618. Tyto informace jsem využil pouze pro lepší prokázání odlišných vlastností mezi originálními a neoriginálními kapotami. Chtěl bych tímto poděkovat, za možnost je použít.

7.3.1 Určení ohybové a torzní tuhosti kapot

V rámci ohybového testování kapot bylo provedeno stanovení ohybové tuhosti dílců ve třech různých zatěžovacích módech.

Rozdíly v tuhosti dílců v elastické oblasti jsou významné a lze tak s určitostí tvrdit, že výsledné deformační chování celé přední části karoserie vozidla je montáží neoriginálního dílu ovlivněno. Z výsledků tuhostních experimentů a tenzometrických měření navíc jednoznačně vyplývá, že neoriginální díly mají velmi odlišné deformační chování, které v žádném případě neodpovídá dílům originálním. Velmi závažné závěry lze potom vyvozovat na základě výsledků tuhostních experimentů při současném zhodnocení výsledků následně prováděných destruktivních zkoušek (rozřezání dílů a následná tahová zkouška), při nichž byly identifikovány významné rozdíly v základních mechanických vlastnostech použité oceli (zejména mez kluzu a mez pevnosti). Na základě analýzy všech těchto závěrů lze s jistotou tvrdit, že hlavní rozdíly v konstrukci originálního a neoriginálního dílu by se naplno projevily při destruktivním zatížení dílce za mez kluzu (při nehodě vozidla), kdy by rozdíl v deformačním chování originálního a neoriginálního dílce mohl mít až fatální následky. [9]

7.3.2 Stanovení mechanických vlastností plechu na základě tahové zkoušky

Celkově bylo v rámci tahových zkoušek plechů změřeno a vyhodnoceno 50 tahových vzorků. Z provedených tahových zkoušek jednoznačně vyplývá, že materiál použitý na konstrukci originálních a neoriginálních dílů má rozdílné mechanické vlastnosti. Tažnost materiálu neoriginálních dílů byla výrazně vyšší než tažnost materiálu dílů originálních. Obecně lze tvrdit, že tažnost přispívá k lepší schopnosti materiálu pohlcovat deformační energii, avšak vyhodnocené hodnoty meze kluzu a meze pevnosti byly u neoriginálních dílů výrazně nižší. Schopnost materiálu neoriginálních dílů se více plasticky deformovat tak nepřináší žádný efekt, neboť klíčovými parametry jsou hodnoty meze kluzu a meze pevnosti, jakožto základních návrhových parametrů.

7.3.3 Zkoušky hlubokotažnosti dle Erichsena

Zkouška hloubením dle Erichsena se používá k technologickému určení vhodnosti tenkých plechů k hlubokému tažení. Zkouška prokázala odlišné chování plechů při plastické deformaci a rozdílné chování laku na deformovaném plechu. Hodnota

hlubokotažnosti u vzorků ŠA byla o 17,6 % nižší než u vzorků TY, což ukazuje na vyšší míru deformačního zpevnění. Rozdílné chování laku (trhání laku na malé vločky na vzorcích TY v celé ploše) ukazuje vyšší soudržnost rozhraní laku a plechu u vzorků SA. [9]

7.3.4 Porovnání povrchové úpravy – stanovení tloušťky laku

Měřením bylo zjištěno, že tloušťka laku u neoriginálních dílů je značně nerovnoměrná, na rozdíl od originálních dílů dosahuje vysokých hodnot směrodatných odchylek (až $\pm 3,8 \mu\text{m}$ u vzorku TY5 v porovnání s $\pm 2,5 \mu\text{m}$ u originálního dílu). Navíc bylo na základě prvkové analýzy zjištěno, že u originálního ŠA dílu je na povrchu zinková vrstva. U žádného z plechů TY nebyla pozinková vrstva pozorována. Důležitým závěrem je rovněž to, že průměrná tloušťka vrstvy laku byla u originálního dílu o více než 20 % větší než u neoriginálních vzorků TY. [9]

7.3.5 Určení korozní odolnosti dílů – Zrychlený korozní test

V rámci korozního testování kapot bylo provedeno stanovení korozní odolnosti materiálu plechů kapot a odolnosti použitých laků vůči uvažovanému koroznímu prostředí. V kyselém korozním prostředí byly při zvýšené teplotě 45°C po dobu 24 h testovány vzorky. Z výsledků korozních experimentů tedy jednoznačně vyplývá, že neoriginální díly vykazují potencionálně nebezpečné korozní chování v podobě úbytku materiálu samotného plechu, což dále znemožňuje nebo alespoň významně znesnadňuje jakékoliv možnosti oprav, zatímco odezva originálních dílů na vystavení danému koroznímu prostředí spočívá pouze v poměrně snadno opravitelné degradaci laku. [9]

8. Deformační zkoušky a po-deformační analýza

8.1 Měření deformačních charakteristik

8.1.1 Cíle měření

Cílem měření deformačních charakteristik bylo zjištění hodnot HIC (kritérium poranění hlavy), které se považuje z hlediska bezpečnosti a ochrany chodců za vypovídající.

8.2.2 Popis průběhu měření a použitého zařízení

Po podrobném zkoumání tvaru kapot a provedení testů k získání materiálových vlastností byly kapoty převezeny do zkušebny AZOS Chrastava, kde byla zkoumána přetížení působící na hlavu chodce při případné nehodě. Byla provedena smyčka zkoušek ochrany chodců dle metodiky EHK impaktorem hlavy dítěte a malého dospělého (maketa kulovitého tvaru). Zkoušky byly provedeny dle nařízení ES č. 78/2009 Phase I. Získaná data byla dále upravena v programu DIAdem od National Instruments a sloužila pro vyhodnocení mezních limitů HIC přetížení působících na hlavu při kontaktu s kapotou v rychlosti 40 km/h (kritérium poranění hlavy).

Při zkoumání přetížení jsou dle předpisů EHK stanoveny oblasti kontaktu, tzv. zkušební pozice. Pro účely měření byly vybrány z hlediska deformace 4 klíčová místa kapoty:

- NZKVP – nad závěsem kapoty vpravo
- NZKVL – nad závěsem kapoty vlevo
- NNCHLK – nad nádobkou chladicí kapaliny
- VSK – ve středu kapoty („WAD 1000“)



Obr. 39 - Znázornění jednotlivých zkoušených poloh [11]

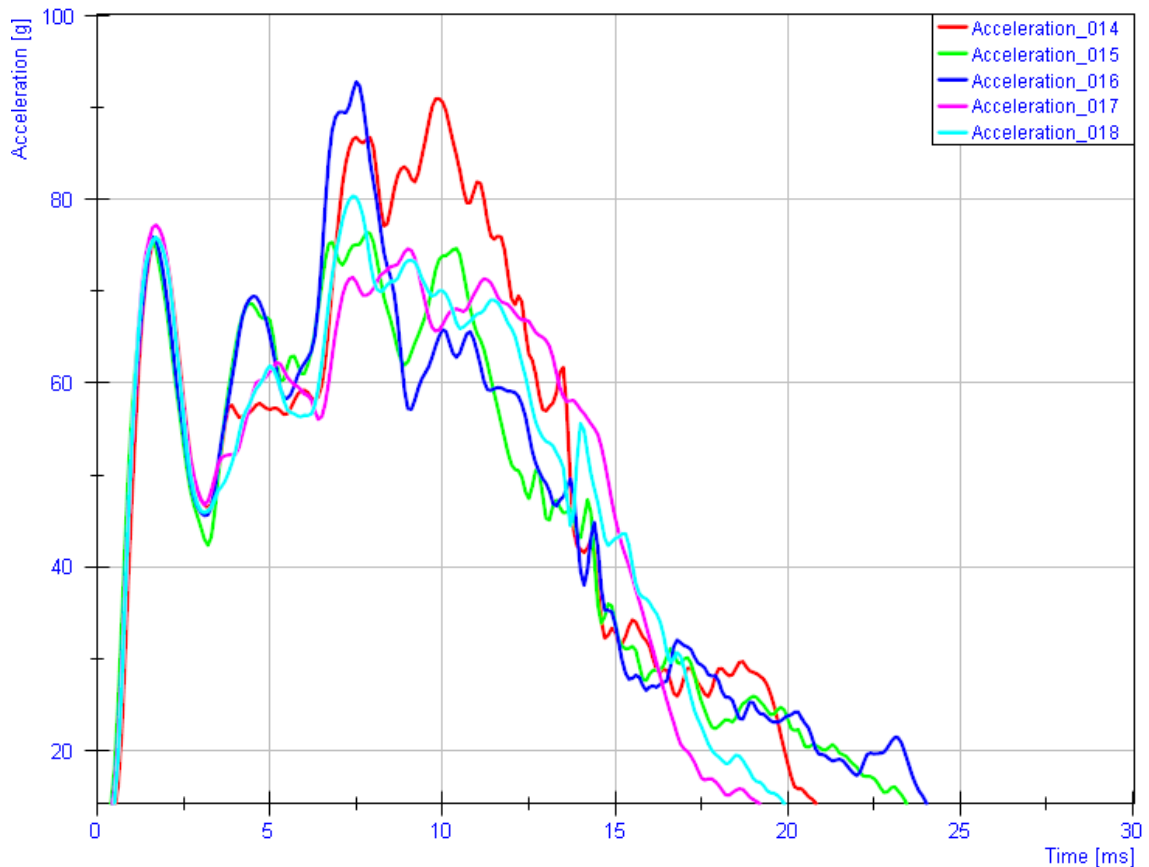
8.1.3 Porovnání originálních a neoriginálních dílů

Získané hodnoty jsou sepsány v následujících tabulkách. Testovací polohy NZKVP a NZKVL se nacházejí v oblasti s limitní hodnotou HIC 1700. Polohy VSK a NNCHLK potom v oblasti s přípustnými hodnotami do HIC 1000.

Tabulka 6 - zrychlení působící na impaktor hlavy při kontaktu s kapotou

Zrychlení a výsledné hodnoty HIC kapot ŠA a TY (počet poloh = 15)						
Označení bodu	Typ kapoty	Testovací bod	HIC (15)	T1 [ms]	T2 [ms]	Průměrné zrychlení [g]
010	originální ŠA1	NZKVP	1461,82	0,90	9,60	123,81
011	neoriginální TY3	NZKVP	1319,47	1,10	10,50	115,19
012	originální ŠA2	NZKVP	1351,29	0,90	9,60	119,99
013	neoriginální TY2	NZKVP	1399,95	1,20	10,40	119,00
014	neoriginální TY2	VSK	503,87	1,30	14,80	67,63
015	originální ŠA2	VSK	405,73	0,70	14,50	61,46
016	originální ŠA1	VSK	424,32	0,80	14,60	62,60
017	neoriginální TY3	VSK	453,39	0,80	15,60	62,48
018	neoriginální TY4	VSK	432,51	0,80	15,80	60,98
019	originální ŠA3	NZKVL	1446,18	0,50	10,40	116,92
020	neoriginální TY1	NZKVL	1552,24	1,90	10,70	126,27
021	neoriginální TY1	NNCHK	589,10	0,80	15,80	69,05
022	originální ŠA3	NNCHK	631,90	0,80	15,80	71,05
023	originální ŠA2	NZKVL	1428,77	0,50	10,90	114,03
024	neoriginální TY3	NZKVL	1487,88	2,00	11,30	121,32

Následující graf reprezentuje zrychlení, kterých bylo dosahováno při kontaktu impaktoru hlavy s kapotou ve zkušební poloze VSK, tedy ve středu kapoty. Celkově bylo na tuto polohu testováno 5 kapot, z toho 2 originální. Při pohledu na průběhy 015 a 016 pozorujeme dobrou shodu kromě třetího peaku. Pro ostatní průběhy patřící neoriginálním kapotám jsou průběhy kromě třetího peaku také velmi podobné. Shoda ve výsledném HIC je pro oba druhy kapot dobrá. Průběhy zrychlení pro ostatní zkušební pozice viz Příloha 1.



Obr. 40 - Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze VSK

8.1.4 Závěr z měření deformačních charakteristik

Z výsledných hodnot deformací vyhodnocených v DIADemu je patrné, že kromě výjimky v poloze NZKVP (nad závěsem kapoty vpravo) dosahují originální kapoty v průměru obecně lepších výsledků. Pro jednotlivé polohy jsou potom hodnoty následující:

NZKVP: HIC (ŠA) = 1408,78; HIC (TY) = 1361,70

VSK: HIC (ŠA) = 415,05; HIC (TY) = 442,20

NNCHLK: HIC (ŠA) = 1436,10; HIC (TY) = 1521,05

NZKVL: HIC (ŠA) = 588,70; HIC (TY) = 633,00

Výsledné hodnoty kritéria poranění hlavy HIC, získané sérii měření vypovídají o tom, že jak originální tak neoriginální kapoty bezpečně splňují požadované limity Phase I s 20% rezervou.

8.2 3D tvarová analýza po deformaci

8.2.1 Cíle měření

Cílem této části byla prostorová analýza za účelem odhalení deformačních odchylek neoriginálních dílů vůči originálním. Zkoumané tvarové odchylky se týkaly nejen hloubky deformací kapot, ale také dalších deformačních parametrů, jak např. ploch jednotlivých deformací každé kapoty v předem stanovených referenčních bodech. Podklady pro provedenou analýzu byly získány za pomoci laserového skenování. 3D tvarová analýza deformovaných částí dílů je provedena na výstupech z laserového skenování, které bylo porovnáno s modely získanými skenováním před deformací těchto dílů.

8.2.2 Popis průběhu tvarové analýzy a použitého zařízení

Tak jako v kapitole 7.2 byl i v tomto případě použit pro prostorové snímání deformovaných objektů laserový 3D skener. Vzhledem k požadavkům na přesnost a rychlost skenování byl zde použit pro tvarovou analýzu kapot ruční skener Creaform VIUscan, který využívá měření na principu kamerového snímání pozičních značek osvětlených laserovým křížem.



Obr. 41 - Originální a neoriginální kapoty polepené pozičními terči

System je určen především ke skenování menších objektů. Pro naskenování bodů objektu vytváří ruční laserové skenery 3D obraz pomocí mechanismu triangulace. Laserová tečka nebo kříž tvořený dvěma linkami je promítán ze skeneru na objekt a za pomoci čidel (typicky CCD jednotka, či optické poziční sensory OPS) měří vzdálenost k povrchu snímaného objektu. Skener stanoví svojí polohu, ke které jsou vztahována a shromažďována měřená data. Poloha může být určena za použití referenčních prvků na povrchu skenovaného objektu (obvykle samolepící poziční terče) nebo pomocí metody externího trackování. Výsledkem takového měření je výpočet 3D souřadnic měřených bodů objektu ve zvolené hustotě v souřadnicovém systému skeneru, který je umístěn a orientován obecně. Tyto body reprezentují tzv. mračno bodů, které je tvořené zaměřenými/naskenovanými body a charakterizuje povrch měřeného předmětu. Přesnost, které je při měření dosahováno, se pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,5 mm, což je pro účely prováděné tvarové analýzy naprosto dostačující.

Pro potřeby skenování byl v prostorách ústavu vytvořen speciální závěs na kapoty. Díky velké četnosti různých otvorů (např. otvory v oblasti úchytů pantů) z vnitřní strany kapoty bylo tak možné kapoty zavěsit. Účel závěsu spočíval zejména v minimalizaci možných deformací kapoty v průběhu měření a zároveň umožňoval přístup ke všem částem kapot v průběhu tvarového skenování povrchu kapoty.

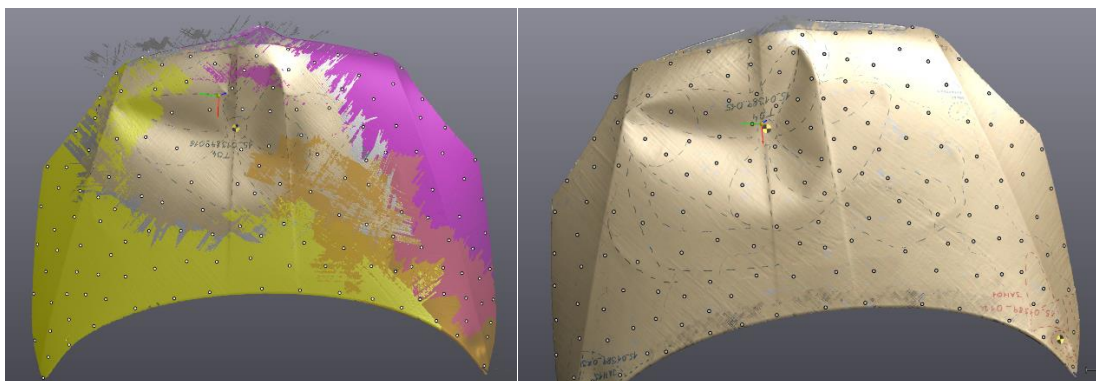


Obr. 42 - Skener Creaform VIUscan Handyscan; Závěs kapot pro potřeby měření

Před samotným měřením je nutné skenovaný objekt patřičně připravit. V případě, že povrch objektu nevykazoval dostatečně dobrou odrazivost laserového záření, jako u neoriginálních kapot TY černý lesklý povrch bylo nutné dostatečně "zmatnit", protože při skenování s takovýmto povrchem neposkytuje skener dostatečně kvalitní model v únosném objemu dat. V případě tohoto měření byl na kapotu TY 3 použit křídový sprej a na kapotu TY4 nátěr světle béžovou barvou (viz Příloha 2). Originální kapoty ŠA jsou lakovány v základu světlejší a tím i vhodnější barvou pro skenování, takže jejich povrch

nebylo třeba nijak dodatečně upravovat. Po přípravě se přístroj kalibroval podle prostředí zaměřování. Skenovaný objekt se označil pozičními terči, které poté sloužili pro určení základního tvaru objektu jakožto vztažné body. V nastavení SW prostředí skeneru VX Elements se nastavil odpovídající použitý typ pozičních terčů. Pro účely měření byly použity dva druhy těchto bodů, tzv. regular points a black contour points. Dalším krokem bylo určení souřadného systému a skenování sítě těchto pozičních terčů. Následně proběhla kontrola úplnosti těchto bodů a v případě chybně zaměřených bodů, je bylo nutné odstranit, protože v dalších krocích zanášeli chybu vyrovnání. Poté se nastavila přesnost skenování (pro účely měření přesnost 1 mm), odstraňování izolovaných bodů a další požadavky modelu. Před skenováním plochy objektu bylo však ještě nutné správně nakonfigurovat snímač a laser skeneru. Dále bylo vždy při změně mezi povrchy kapot ŠA a TY provedeno několik pokusných skenů, aby bylo dosaženo co nejlepšího nastavení kvality snímání. Vzhledem k poměrně velkému celkovému povrchu skenovaných kapot a dostupné výpočetní technice bylo nutné celou plochu skenovat po částech.

V průběhu skenování bylo potřeba skener udržovat v určitých vzdálenostních mezích pro získání optimální kvality modelu, tato vzdálenost činila zhruba 0,2 - 0,5 m od snímaného povrchu. Skener snímá s přesností 0,2 mm, profil skenování byl však nastaven na získávání bodů ve s přesností 1,0 mm. U výsledného modelu vzniklého kombinací jednotlivých dílčích skenů se hodnota pohybovala opět do hodnoty 1,0 mm. Z dílčích modelů (částí kapoty) byly po doskenování nejdříve odstraněny chyby plošných segmentů v podobě děr či izolovaných bodů. Posledním krokem při tvorbě modelu byla finální úprava a spojení jednotlivých částí kapot do jednoho společného modelu, který sloužil pro vyhodnocení deformačních parametrů originálních a neoriginálních kapot. Aby mohly být jednotlivé dílčí skeny propojeny do jednoho výsledného modelu, bylo využito pozičních terčů. Tyto poziční terče jakožto vztažné body následně tvořily vazební prvky pro skládání výsledných modelů kapot. Průměrná hodnota u modelů celých kapot se pohybovala okolo 2 milionů bodů. Důvodem vzniku šumu byly v tomto případě zejména zhoršené povrchové a materiálové vlastnosti měřených předmětů nebo jiné předměty v okolí snímaného objektu, jako např. závěs kapoty. Na obr. 43 je ukázán příklad vzájemného propojení dílčích skenů, jednotlivé referenční prvky, polohy skeneru při měření a výsledný model kapoty.



Obr. 43 - skládání dílčích modelů a výsledný model kapoty ŠA01 ve VXElems

Takto zpracované modely byly exportovány do formátu OBJ a následně vyhodnoceny v dalším programu. Pro tyto účely byla zvolena veřejně dostupná verze programu CloudCompare 2.7. Jedná se o software sloužící pro zpracování a vyhodnocení 3D bodových mračen. Obsahuje řadu základních nástrojů pro ruční editaci a rendrování 3D modelů. Vyexportované modely byly v tomto programu nejdříve ořezány o deformované oblasti, aby zbyla jen ta část kapoty, která je nedeformovaná. Dále byl vždy vložen model nedeformované originální nebo neoriginální kapoty (podle porovnávání deformované), reprezentovaný bodovým mračnem, získaný z měření při před-deformační tvarové analýze. Tento model byl příkazem align srovnán s oříznutou nedeformovanou částí kapoty. Tento algoritmus porovnává jednotlivé body obou bodových mračen a vypočítává jejich nejlepší schodu. Na základě toho jsme získali nalícované modely nedeformovaného dílu, oříznutého deformovaného a transformační matici. Díky tomu jsme mohli téměř dokonale nalícovat nově vloženou celou deformovanou kapotu na nedeformovanou. Deformovanou kapotu bylo poté potřeba převést na bodové mračno (stejně jako nedeformované) a vypočítat vzdálenostní rozdíly jednotlivých bodů vůči nedeformované kapotě. To se provádí příkazem cloud-to-cloud distance, který nejdříve počítá přibližné vzdálenosti mezi jednotlivými body a poté nastavením optimální hodnoty „octree level“ vypočítá skutečné vzdálenosti. Tím dostáváme výslednou barevnou mapu vzdálenostních odchylek deformované kapoty vůči nedeformované. Z toho jsme byli schopni určit hloubky jednotlivých míst kontaktu. Následně byly přes filtraci těchto hodnot určeny i plochy jednotlivých deformací a odchylky největší deformace vůči referenčním bodům dotyku.

Pro účely analýzy deformačních parametrů byly vyhodnoceny jako nejzásadnější následující veličiny: hloubka největší deformace, plochy jednotlivých deformací a vzdálenost mezi referenčními body nárazu a největší deformací, neboli odchýlení nárazu impaktoru od předpokládaného bodu nárazu pro každou jednotlivou polohu každé kapoty.

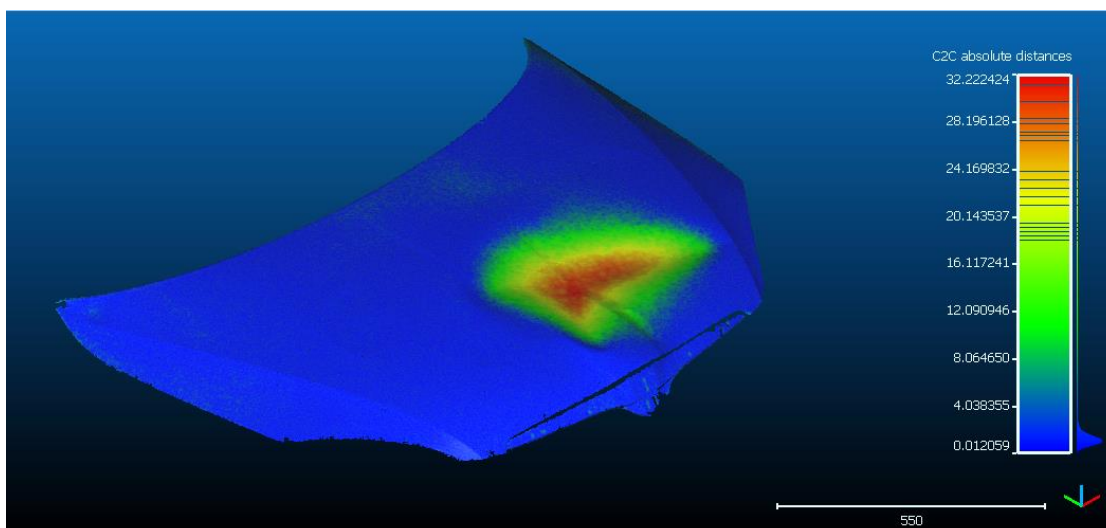
8.2.3 Porovnání deformačních parametrů originálních a neoriginálních kapot

V následujících tabulkách se nacházejí vypočtené a změřené hodnoty parametrů jednotlivých kapot. Tyto hodnoty byly získány ze SW Cloud Compare.

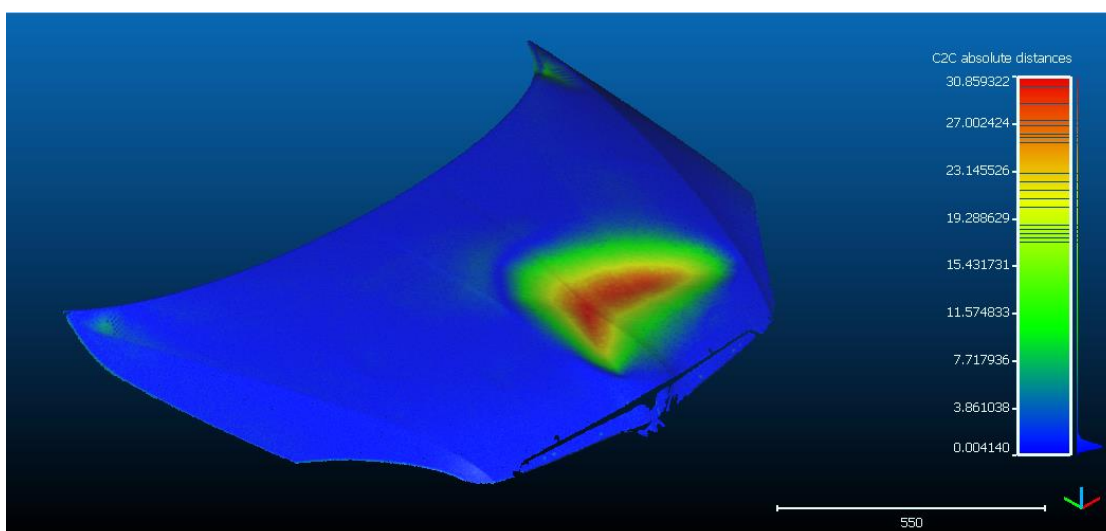
Tabulka 7 - Parametry deformací originálních dílů

Parametry deformací kapot ŠA (počet kusů = 3) měřených ručním 3D skenerem					
Označení bodu	Typ kapoty	Testovací bod	Hloubka deformace [mm]	Plocha deformace [m ²]	Vzd. ref. bodu od místa kontaktu [mm]
010	originální ŠA1	NZKVP	4,163	0,018825	10,2579
012	originální ŠA2	NZKVP	6,380	0,032633	21,608
015	originální ŠA2	VSK	30,882	0,178527	3,315
016	originální ŠA1	VSK	32,222	0,195454	12,031
019	originální ŠA3	NZKVL	6,434	0,02125	10,0728
022	originální ŠA3	NNCHLK	21,452	0,113785	42,464
023	originální ŠA2	NZKVL	10,783	0,02156	14,9464

Na 3 kusech originálních kapot bylo zkoumáno celkem 7 zkušebních poloh. Největší hloubky deformace a tomu odpovídající největší ploše deformace bylo dosahováno v bodech VSK, tedy uprostřed kapoty. Tento výsledek byl očekávatelný, protože v této poloze je v oblasti motoru pod kapotou největší prostor pro deformaci kapoty. Maximální hodnota hloubky deformace byla dosažena v bodě 016 na dílu ŠA1 a to hloubky 32,222 mm a tomu odpovídající plocha deformace 0,195454 m². Naopak nejmenších deformací bylo dosahováno v bodech NZKVP, tedy „nejtvrdších polohách kapot“ konkrétně v bodě 010 je hloubka deformace pouze 4,163 mm s plochou 0,018825 m².



Obr. 44 – Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty ŠA1 vůči nedeformovanému dílu



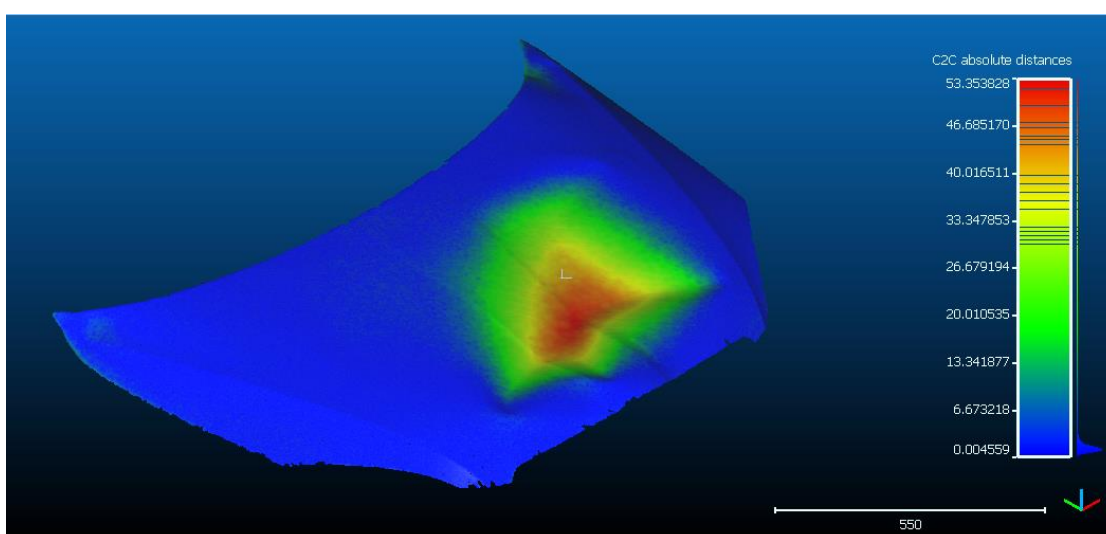
Obr. 45 - Grafické znázornění vzdálenostních odchylek kapoty ŠA2 vůči nedeformovanému dílu

Tabulka 8 - Parametry deformací neoriginálních dílů

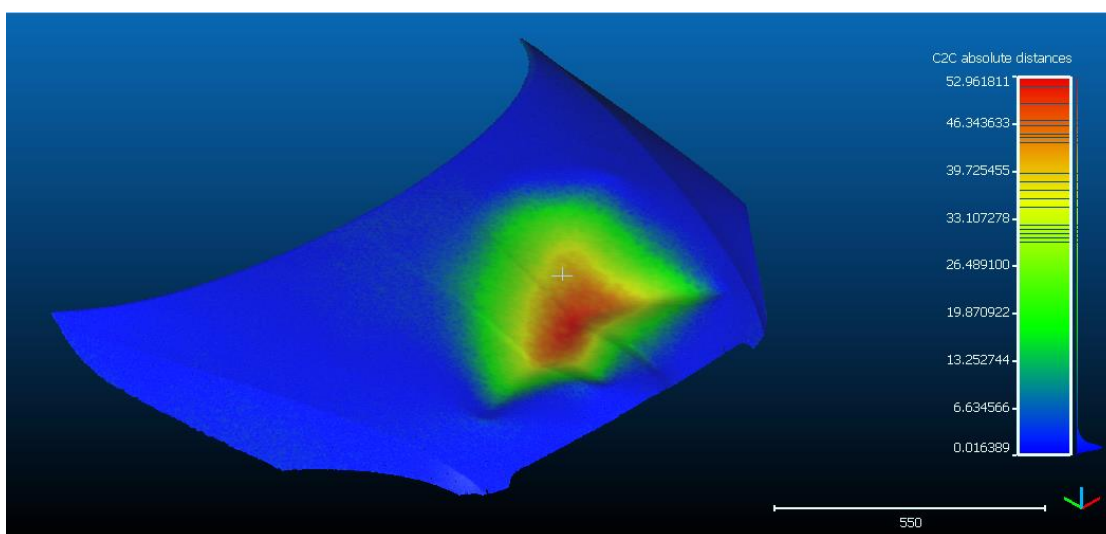
Parametry deformací kapot TY (počet kusů = 4) měřených ručním 3D skenerem					
Označení bodu	Typ kapoty	Testovací bod	Hloubka deformace [mm]	Plocha deformace [m ²]	Vzd. ref. bodu od místa kontaktu [mm]
011	neoriginální TY3	NZKVP	6,184	0,255792	7,294
013	neoriginální TY2	NZKVP	5,748	0,199826	12,66
014	neoriginální TY2	VSK	40,752	0,203505	41,0138
017	neoriginální TY3	VSK	53,354	0,331304	21,5206
018	neoriginální TY4	VSK	52,962	0,203132	25,357

020	neoriginální TY1	NZKVL	10,475	0,05429	17,6465
021	neoriginální TY1	NNCHLK	34,170	0,231831	26,3643
024	neoriginální TY3	NZKVL	11,345	0,60587	19,418

V případě neoriginálních kapot byly zkoumány 4 kusy s celkově 8 zkušebními polohami. Největší deformace byly opět dle předpokladu v poloze VSK. Nejvyšší hodnota byla změřena v bodě 017 u kapoty TY3, a to 53,354 mm s plochou 0,331304 m². Stejně jako u originálních kapot bylo i v případě druhovýroby dosahováno nejmenších deformací v poloze NZKVP. Nejmenší deformaci vykazuje bod 013 s hloubkou deformace 5,748 mm a plochou 0,199826 m².



Obr. 46 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY3 vůči nedeformovanému dílu



Obr. 47 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY4 vůči nedeformovanému dílu

8.2.4 Závěr z 3D po-deformační tvarové analýzy

Při porovnání hodnot originálních a neoriginálních dílů, lze s určitou jistotou konstatovat, že díly stejného původu vykazují obdobné hodnoty, avšak neoriginální kapoty vůči originálním jisté rozdílly hodnot všech pozorovaných parametrů vykazují.

Originální díly ve srovnání s neoriginálními dosahují při deformaci ve většině zkoušených poloh menší hloubky a plochy deformace. Zároveň je ale možné pozorovat větší vzdálenosti skutečného kontaktu od referenčního bodu dotyku. To lze přisuzovat nižší plasticitě plechu originálních dílů (viz mechanické zkoušky). Rozdíly v hloubkách deformací mezi jednotlivými druhy kapot nejsou (s výjimkou polohy VSK) velké. Při porovnání ploch deformací všech zkoušených poloh se však začínají projevovat rozdílné vlastnosti materiálu neoriginálních dílů, kde byly změřeny několikanásobně větší plochy.

8.3 Porovnání výsledků deformačních zkoušek a po-deformační tvarové analýzy

Při porovnání těchto dvou měření z kapitol 8.1 a 8.2 dostáváme výsledky sepsané v následující tabulce.

*Tabulka 9 - Porovnání výsledků deformačních zkoušek a 3D tvarové podeformační analýzy
(počet zkoušených poloh = 15)*

Porovnání deformačních zkoušek a tvarové analýzy				
Typ kapoty	Typ bodu	Hloubka deformace [mm]	HIC (15)	Plocha deformace [m ²]
originální ŠA1	NZKVP	4,163	1461,82	0,018825
neoriginální TY3	NZKVP	6,184	1319,47	0,255792
originální ŠA2	NZKVP	6,380	1351,29	0,032633
neoriginální TY2	NZKVP	5,748	1399,95	0,199826
neoriginální TY2	VSK	40,752	503,87	0,203505
originální ŠA2	VSK	30,882	405,73	0,178527
originální ŠA1	VSK	32,222	424,32	0,195454
neoriginální TY3	VSK	53,354	453,39	0,331304
neoriginální TY4	VSK	52,962	432,51	0,203132
originální ŠA3	NZKVL	6,434	1446,18	0,02125
neoriginální TY1	NZKVL	10,475	1552,24	0,05429
neoriginální TY1	NNCHLK	34,170	589,10	0,231831
originální ŠA3	NNCHLK	21,452	631,90	0,113785
originální ŠA2	NZKVL	10,783	1428,77	0,02156
neoriginální TY3	NZKVL	11,345	1487,88	0,60587

Ve zkušební poloze NZKVP dosahují originální díly průměrné hodnoty HIC 1406,56 s průměrnou hloubkou deformace 5,2715 mm a plochou deformace 0,0257 m². Pro díly druhovýroby je průměrná hodnota HIC v této poloze 1359,71, hloubka deformace 5,9660 mm a plocha deformace 0,2278 m². Neoriginální díly vykazují v této poloze větší hloubku deformace, podstatně větší plochu deformace a tím i nižší hodnotu zpomalení a HIC.

V poloze NZKVL dosahují originální díly HIC 1437,48 s průměrnou hloubkou deformace 8,6085 mm a deformovanou plochou 0,021 m². Pro neoriginální díly jsou průměrné hodnoty HIC 1520,06, hloubka deformace 10,9100 mm a plocha 0,330 m². Originální díly v této poloze poskytují nižší hodnoty HIC za současně menší hloubky a plochy deformace.

V poloze VSK mají originální díly průměrné hodnoty HIC 415,25, hloubku deformace 31,552 mm a plochu deformace 0,184 m². V případě neoriginálních kapot je průměrná hodnota HIC 463,26, hloubka deformace 49,0227 mm a plocha 0,246 m². Originální díly vykazují pro tuto polohu nižší hodnoty HIC a to i přes fakt, že je hloubka i plocha deformace menší než u neoriginálních dílů.

Poslední měřenou polohou je NNCHLK, která byla zkoušena jen jednou pro každý typ kapot. Pro originální kapoty je hodnota HIC v této poloze 631,90, odpovídající hloubkou deformace 21,4520 mm a deformovanou plochou 0,114 m². Pro neoriginální kapoty jsou hodnoty HIC 589,10 s hloubkou deformace 34,1700 mm a plochou 0,232 m². Měřením v této poloze dostáváme nižší hodnoty HIC pro neoriginální kapoty, pro ostatní sledované parametry jako je hloubka či plocha deformace však dostáváme téměř dvojnásobné hodnoty.

V polohách NZKVP a NNCHLK získáváme nižší hodnoty kritéria HIC u neoriginálních kapot. Důležitým faktem ovšem je, že tyto díly druhovýroby i přes poměrně zanedbatelný rozdíl v hodnotách HIC vůči originálním, vykazují podstatně větší a rozsáhlejší deformace nežli právě kapoty originální. Tyto díly vykazují ve všech zkoušených polohách menší hloubky deformací a obecně nižší hodnoty HIC, nicméně oba typy kapot s rezervou splňují předepsané limity.

9. Závěr

Tato práce pojednává o deformačních zónách jakožto nedílné součásti pasivní bezpečnosti osobních automobilů.

Teoretická část práce se nejprve zabývala historickými milníky ve vývoji pasivní bezpečnosti a automobilovými výrobci, kteří se právě o vývoj v této problematice zásadně zasloužili. Dále se práce zabývala současnými požadavky na deformační zóny a karoserie osobních vozidel, kde docházelo k významnému uplatňování ergonomických kritérií. V neposlední řadě byly naznačeny budoucí trendy vývoje karoserie v problematice pasivní bezpečnosti. Poté se práce zaměřila na díl vozidla kapota, jeho vlastnosti a další požadavky na bezpečnost chodců dle metodiky Euro NCAP. Poté práce rozebírá předpis řešící bezpečnost chodců a limity přetížení, které musí kapoty dle EHK č. 127 splňovat a jakým způsobem zkoušky na kapotách provádět.

Před provedením praktické části bylo zapotřebí se naučit pracovat s ručním 3D skenerem v softwarovém prostředí VX Elements a dále zpracovat a vyhodnocovat modely tvořené mračny bodů v programu Cloud Compare.

V praktické části byla potom porovnávána kvalita originálních a neoriginálních náhradních kapot na vůz Škoda Fabia. Díly byly zkoumány z mnoha hledisek.

Oba dva druhy kapot byly prozkoumány ve smyslu hodnocení bezpečnosti s další manipulací, tedy identifikaci případných ostrých hran a výčnělků. Na originálním dílu se nacházely ostré hrany pouze ve vnitřní části, tj. mimo běžné místo ruční manipulace. Oproti tomu u neoriginálního dílu byly kromě oblasti ve vnitřní části zjištěny i další ostré oblasti v místech běžné manipulace a to na přední části v oblasti připevnění loga výrobce vozu a masky chladiče a v místech čtyř rohů kapoty. Tyto rohy byly v balení kryty plastovými krytkami.

Při vlastním porovnání průměrných naměřených hodnot z před-deformační 3D tvarové analýzy originálních a neoriginálních kapot, je zřejmé, že využívaný výrobní vzor neoriginálních kapot je velmi podobný, avšak ne stejný. I přes vyšší rozptyl hodnot druhovýroby a nižší tvarovou homogenitou těchto dílů, lze konstatovat, že naměřené průměrné hodnoty vzhledem k vůlím na jednotlivých upevňovacích prvcích neomezují možnost připevnění dílu na karoserii automobilu a jeho plnohodnotné využívání. Průměrný model neoriginálního dílu vykazuje známku většího zaoblení kapoty v okolí její střední části a celkové zúžení po jejích stranách. Ze statistického rozboru se ukazuje, že 47 % bodů na vnější a 75 % bodů na vnitřní části modelu kapoty vykazuje odchylku

do 1,5 mm. Dosahované hodnoty svědčí o rozdílném tvarovém uspořádání neoriginálních a originálních kapot.

Z výsledných hodnot přetížení získaných ze zkušebny AZOS Chrastava a následně vyhodnocených v DIADemu je patrné, že kromě výjimky v poloze NZKVP (nad závěsem kapoty vpravo) dosahují originální kapoty v průměru obecně lepších výsledků. Výsledné hodnoty kritéria poranění hlavy HIC, získané sérií měření vypovídají o tom, že jak originální tak neoriginální kapoty bezpečně splňují požadované limity Phase I s 20% rezervou.

Zkoumáním hodnot originálních a neoriginálních dílů z 3D tvarové po-deformační analýzy, lze s určitou jistotou konstatovat, že díly stejného původu vykazují obdobné hodnoty, avšak neoriginální kapoty vůči originálním jisté rozdíly hodnot všech pozorovaných parametrů vykazují. Originální díly ve srovnání s neoriginálními dosahují při deformaci ve většině zkoušených poloh menší hloubky a plochy deformace. Zároveň je ale možné pozorovat větší vzdálenosti skutečného kontaktu od referenčního bodu dotyku. To lze přisuzovat nižší plasticitě plechu originálních dílů (viz mechanické zkoušky). Rozdíly v hloubkách deformací mezi jednotlivými druhy kapot nejsou (s výjimkou polohy VSK) velké. Při porovnání ploch deformací všech zkoušených poloh se však začínají projevovat rozdílné vlastnosti materiálu neoriginálních dílů, kde byly změřeny několikanásobně větší plochy.

Při porovnání výsledků nárazových testů ze zkušebny v Chrastavě a hodnot z 3D tvarové po-deformační analýzy získáváme následující poznatky. V polohách NZKVP a NNCHLK získáváme nižší hodnoty kritéria HIC u neoriginálních kapot. Důležitým faktem ovšem je, že tyto díly druhovýroby i přes poměrně zanedbatelný rozdíl v hodnotách HIC vůči originálním, vykazují podstatně větší a rozsáhlejší deformace nežli právě kapoty originální. Tyto kapoty vykazují ve všech zkoušených polohách menší hloubky deformací a obecně nižší hodnoty HIC, nicméně oba typy kapot s rezervou splňují předepsané limity.

Prvky pasivní bezpečnosti nejsou mnohdy vizuálně patrné pro odborníka, natož pro laickou veřejnost. A přesně zde tkví problém kopírovaných dílů. Osobní vozidla prochází řadou homologačních zkoušek např. z hlediska brzd, světel, zádržných systémů atd. Nicméně nejsou stanoveny žádné požadavky, které by měli splňovat ostatní náhradní karosářské díly. V případě neoriginálních dílů tak zákazník často kupuje neprověřený díl, který může mít velmi odlišné vlastnosti. Na kopírovaných a neoriginálních dílech najdeme při porovnání s originály spoustu drobných rozdílů. Současné podmínky požadují pouze po originálně montovaných dílech splnění limitů přetížení při zkouškách.

Při dlouhodobém užívání neoriginálního dílu se však mohou projevit určité nežádoucí vlastnosti a rychlejší degradace materiálu a díl tak může vykazovat rozdílné vlastnosti, nežli tomu bylo po výrobě nebo v horších případech může být jeho další užívání nebezpečné (viz zkoušky mechanických vlastností).

Cílem a předmětem práce bylo tedy nejenom shrnutí teoretických a praktických poznatků z rozdílové analýzy originálních a neoriginálních dílů, ale především poukázat a upozornit na problematiku kopírovaných dílů a legislativní mezery týkající se náhradních karosářských dílů.

10. Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. Karosérie motorových vozidel: ergonomika : biomechanika : pasivní bezpečnost : kolize : struktura : materiály. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9.
- [2] ČECH, Jan. Pasivní bezpečnost [online]. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/jiricech/jiricech.php?clanek=12>
- [3] DRAGON, Aleš. Mercedes-Benz slaví 50 let deformačních zón ve svých vozech [online]. [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/mercedes-benz-crumple-zone-4341>
- [4] Pasivní prvky bezpečnosti karoserie [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://www.bezpecneesty.cz/cz/temata/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti/karoserie>
- [5] Deformační zóna vozu a její zkoušky [online]. [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: <http://auto.ihned.cz/c1-17237000-deformacni-zona-vozu-a-jeji-zkousky>
- [6] NEDĚLKA, Bc. Pavel. DEFORMAČNÍ A NAPJATOSTNÍ ANALÝZA NÁRAZNÍKOVÉ ČÁSTI AUTOMOBILU PŘI RÁZOVÉM ZATĚŽOVÁNÍ [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39553. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. RNDr. Ing. Jan Vrbka, Dr.Sc., dr.h.c.
- [7] OLIVÍK, Pavel. Aktivní kapota: měkčí dopad pro chodce [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/aktivni-kapota-mekci-dopad-pro-chodce_1
- [8] Euro NCAP: The best in class of 2015 [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.euroncap.com/en/ratings-rewards/best-in-class-cars/2015/>
- [9] MIČUNEK, Tomáš a JIROUŠEK, Ondřej. Testování originálních a neoriginálních náhradních dílů kapot Fabia II: Zpráva pro Škoda Auto, a.s. Praha, 2015. Fakulta dopravní, ČVUT.
- [10] Předpis č. 127 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN). [online]. [cit. 2016-03-20] Dostupné z: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/updates/R127r1e.pdf>

[11] Projekt Terracruiser. [online]. [cit. 2016-4-15]. Dostupné z: <http://cdn-motor1.com/p/static/img/mglr/100000/160000/164000/164100/164118/s9/2009-176352-mercedes-benz-terracruiser-concept-2.jpg>

[12] Volvo V240. [online]. [cit. 2016-4-18]. Dostupné z: http://images.blog.autoshopper.com/1990_Volvo_240_Coupe_1975.jpg

13. Rejstřík obrázků

Obr. 1 – Skica projektu bezpečného vozidla Terracruiser [11].....	15
Obr. 2 – Mercedess-Benz W111 s charakteristickými ploutvemi („Velký křídlaček“) [3] ..	16
Obr. 3 - Volvo V240 [12].....	17
Obr. 4 - Struktura hliníkové karoserie Audi A8 (Audi Space Frame - ASF) [5]	19
Obr. 5 - Deformační zóny [2]	20
Obr. 6 - Klíčové komponenty karoserie [4].....	20
Obr. 7 - Požadavky na karoserii [1]	21
Obr. 8 - Progresivní deformační charakteristika předě vozidla [1].....	22
Obr. 9 Čelní a boční náraz dle metodiky EuroNCAP [4]	23
Obr. 10 Rozložení sil působících na karoserii vozidla při čelním a bočním nárazu [4] ..	24
Obr. 11 - Deformace zóny 1	25
Obr. 12 - Průběh rozložení sil v zóně 2.....	26
Obr. 13 - Zóna 3.....	26
Obr. 14 - umístění aktivních prvků systému Pre-Safe Structure [3].....	28
Obr. 15 – Volvo XC90 Grafické znázornění bezpečnosti chodců při střetu [8]	31
Obr. 16 - Infinity Q30 Grafické znázornění bezpečnosti chodců při střetu [8].....	31
Obr. 17 - Pasivní bezpečnost [1]	33
Obr. 18 - Homologační znak EHK na motorovém vozidle [1].....	35
Obr. 19 -Vztažná čára náběžné hrany kapoty [5].....	37
Obr. 20 - Zadní vztažná čára kapoty [10].....	38
Obr. 22 - Měřící bod ve svislé podélné rovině[10].....	39
Obr. 23 - Boční vztažná čára [10].....	40
Obr. 24 - Měření opsané vzdálenosti [10].....	40
Obr. 25 - Příklad značení oblasti s HIC 1000 a oblasti s HIC 1700 [10]	42
Obr. 26 – Balení originální kapoty	42
Obr. 27 - Balení originální kapoty - rozbaleno.....	44
Obr. 28 - Balení neoriginální kapoty.....	42
Obr. 29 - Balení neoriginální kapoty - rozbaleno.....	44
Obr. 30 - Originální díl - vyznačení ostrých hran.....	45
Obr. 31 - Neoriginální díl - vyznačení ostrých hran.....	45
Obr. 32 - Skener Faro FOCUS 3D; Závěs kapot pro potřeby měření.....	47
Obr. 33 - Měřené polohy otvorů závitů upevňovacích šroubů a porovnávané spojnice	47
Obr. 34 - Prostorové uspořádání dílčích skenů kapoty	48
Obr. 35 - Dílčí skeny kapoty TY8 s referenčními prvky	49
Obr. 36 - Výsledný prostorový model kapoty TY8.....	49
Obr. 37 - Využitá snímková konfigurace	50
Obr. 38 - Rozdílová analýza vnější části originálních a neoriginálních kapot	55
Obr. 39 - Rozdílová analýza vnější části originálních a neoriginálních kapot	56
Obr. 40 - Znázornění jednotlivých zkoušených poloh [11].....	59
Obr. 41 - Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze VSK.....	61
Obr. 42 - Originální a neoriginální kapoty polepené pozičními terči	62
Obr. 43 - Skener Creaform VIUScan Handyscan; Závěs kapot pro potřeby měření	63
Obr. 44 - skládání dílčích modelů a výsledný model kapoty ŠA01 ve VXElements.....	65
Obr. 45 – Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty ŠA1.....	67
Obr. 46 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty ŠA2	67
Obr. 47 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY3	68
Obr. 48 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY4	68
Obr. 49 – Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze NZKVP	78
Obr. 50 – Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze NZKVL.....	78

Obr. 51 – Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze NNCHLK.....	79
Obr. 52 - ošetření povrchu neoriginálních kapot	80
Obr. 53 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty ŠA3	80
Obr. 54 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY1	81
Obr. 55 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY2	81

14. Seznam tabulek

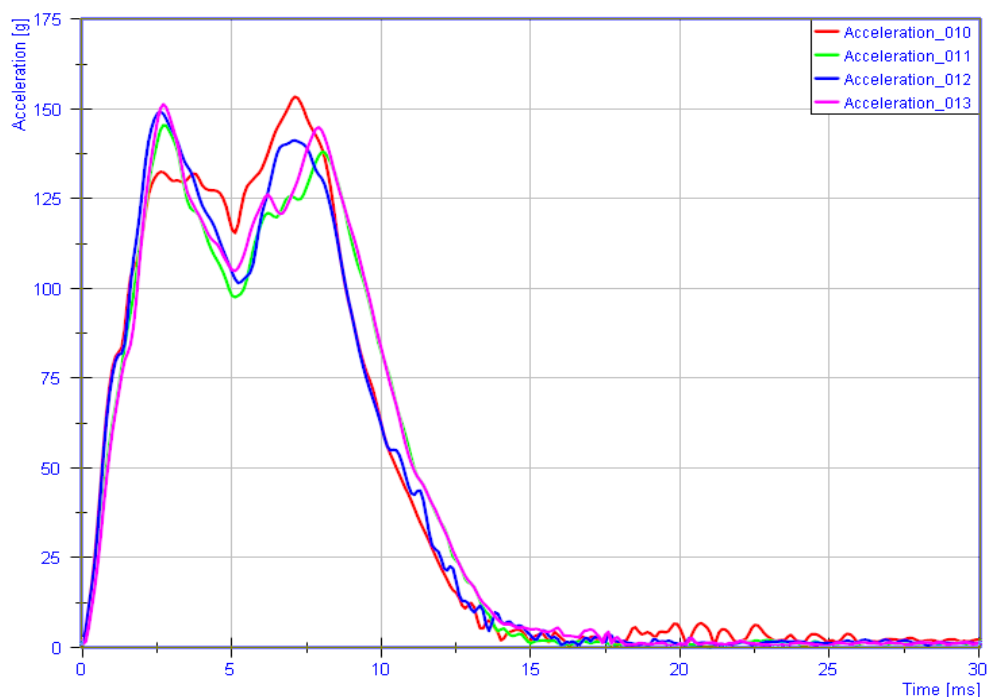
Tabulka 1 - Průměrné polohy středů závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka kapot ŠA	52
Tabulka 2 - Rozptyl délky spojnic vybraných bodů kapot SA.....	52
Tabulka 3 - Průměrné polohy středů závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka kapot TY.....	53
Tabulka 4 - Rozptyl délky spojnic vybraných bodů kapot TY	53
Tabulka 5 - Odchytky průměrovaných poloh středů závitových otvorů úchytů pantů a zámkového oka kapot ŠA a TY	54
Tabulka 6 - zrychlení působící na impaktor hlavy při kontaktu s kapotou	60
Tabulka 7 - Parametry deformací originálních dílů	66
Tabulka 8 - Parametry deformací neoriginálních dílů	67
Tabulka 9 - Porovnání výsledků deformačních zkoušek a 3D tvarové podeformační analýzy (počet zkoušených poloh = 15)	69

15. Seznam příloh

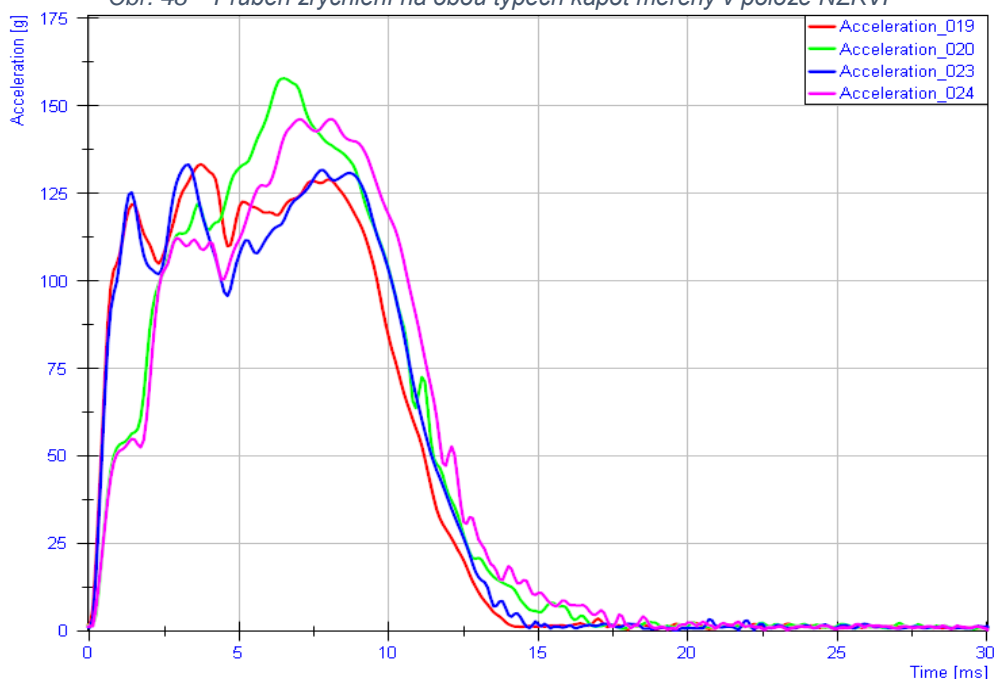
Příloha 1 – Průběhy zrychlení pro ostatní zkušební polohy orig. a neorig. kapot.....	76
Příloha 2 – Grafické znázornění po-deformačních tvarových odchylek.....	78

Příloha 1 – Průběhy zrychlení pro ostatní zkušební polohy originálních a neoriginálních kapot

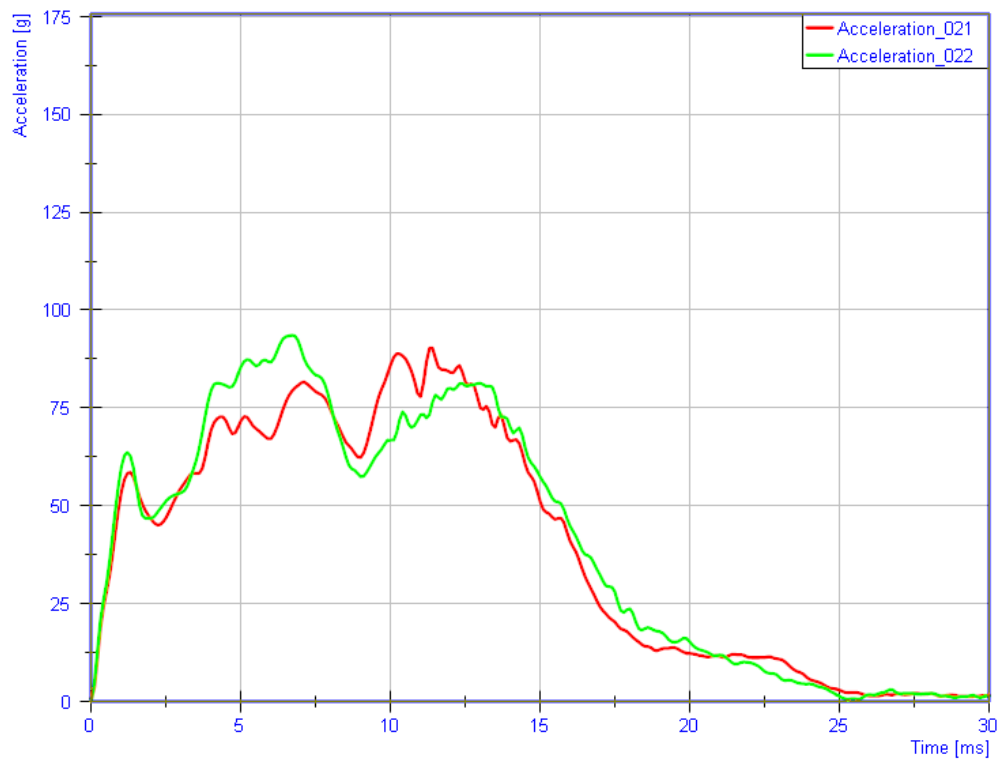
Následující grafy znázorňují průběh zrychlení působící na impaktor hlavy při střetu s kapotou.



Obr. 48 – Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze NZKVP



Obr. 49 – Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze NZKVL



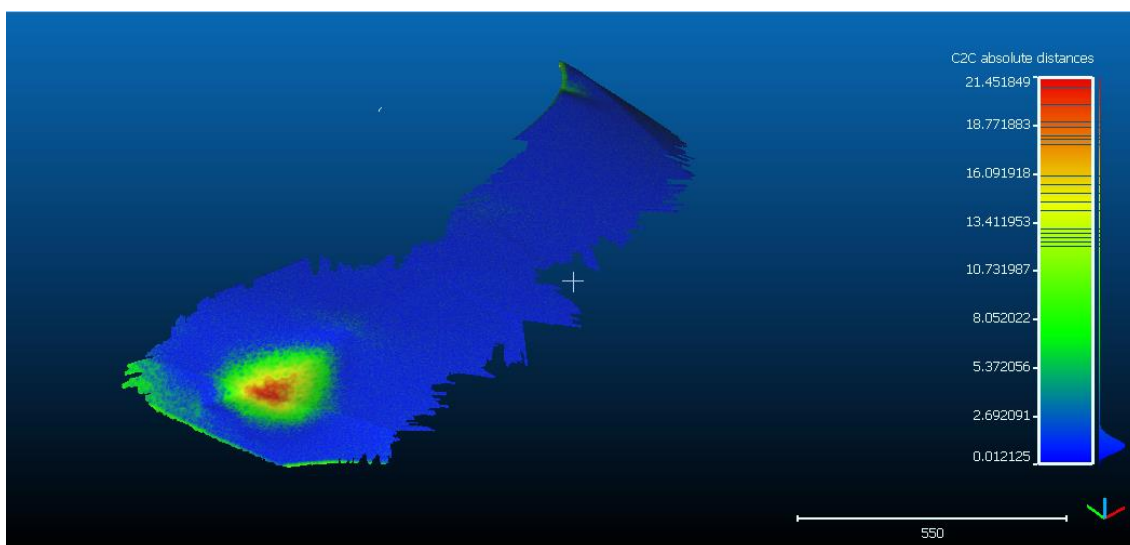
Obr. 50 – Průběh zrychlení na obou typech kapot měřený v poloze NNCHLK

Příloha 2 – Grafické znázornění po-deformačních tvarových odchylek

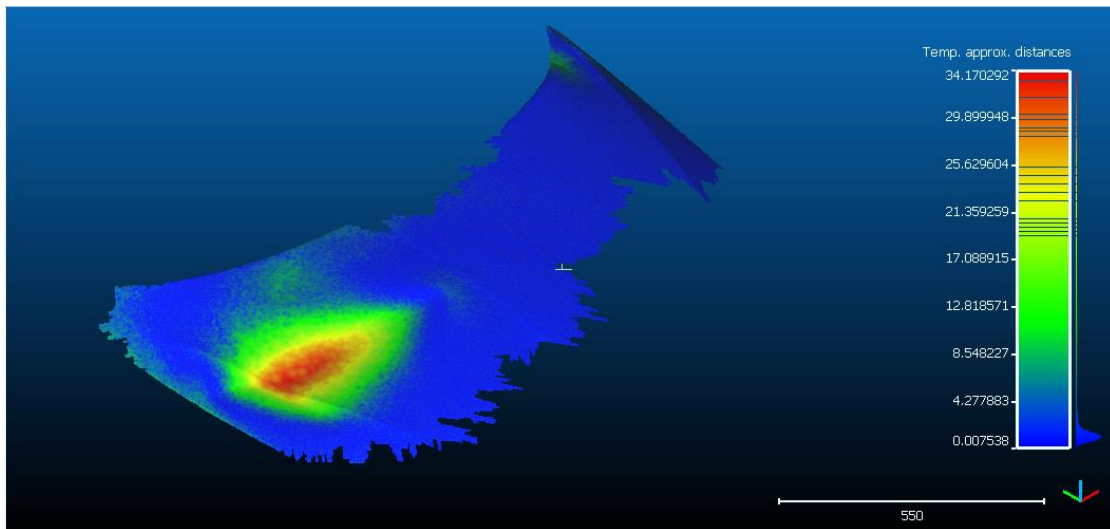
Na následujících obrázcích jsou znázorněny úpravy povrchu kapot pro dosažení lepších skenovacích vlastností, na dalších obrázcích jsou potom hloubky deformací pro ostatní měřené kapoty z kapitoly 3D tvarová po-deformační analýza.



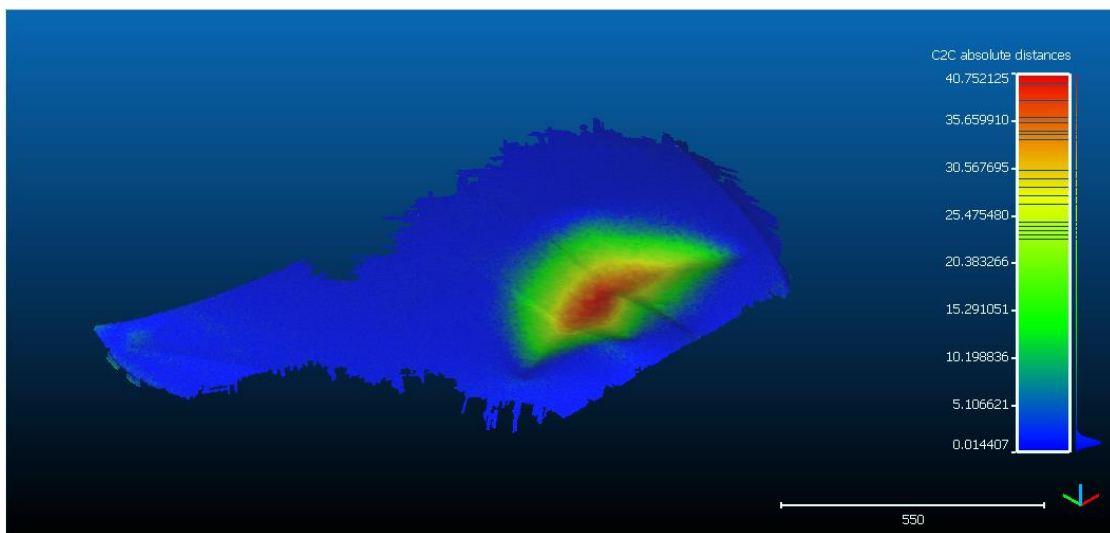
Obr. 51 - ošetření povrchu neoriginálních kapot, křídovým sprejem vpravo; béžovou barvou vlevo



Obr. 52 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty ŠA3 vůči nedeformovanému dílu



Obr. 53 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY1 vůči nedeformovanému dílu



Obr. 54 - Grafické znázornění tvarových odchylek kapoty TY2 vůči nedeformovanému dílu