

2010



ČVUT v Praze
Fakulta dopravní

SÉRIE DYNAMICKÝCH ZKOUŠEK STŘETU OSOBNÍHO AUTOMOBILU S DĚTSKÝM CHODCEM

Závěrečná zpráva 2010

Ústav soudního znelectví v dopravě, k622
Horská 3, 128 03 Praha 2
Listopad 2010



1 Obsah

1	Obsah.....	2
2	Úvod	4
3	Experiment.....	4
3.1	Podmínky experimentu	4
3.1.1	Počáteční podmínky experimentu.....	4
3.1.2	Lokální podmínky experimentu	5
3.2	Kolizní partneři	5
3.2.1	Figurína P6	5
3.2.2	Automobil kategorie M1.....	7
3.3	Další snímané veličiny a přístrojové vybavení	8
3.3.1	Reálná rychlost vozidla, průběh zrychlení na vozidle	8
3.3.2	Obrazový záznam.....	9
3.3.3	Postřetová dokumentace	10
3.4	Průběh experimentu.....	11
3.4.1	Test 10_00403_101, střetová rychlost 12,2 km/h.....	11
3.4.2	Test 10_00403_201, střetová rychlost 22,4 km/h.....	13
3.4.3	Test 10_00403_301, střetová rychlost 30,6 km/h.....	15
4	Výsledky.....	17
4.1	Hodnoty biomechanických kritérií.....	17
4.1.1	Kritérium poranění hlavy HPC	17
4.1.2	Kritérium poranění 3ms – hlava	17
4.1.3	Kritérium poranění 3ms – hrudník	18
4.1.4	Kritérium poranění a_{max} – pánev.....	19
4.1.5	Kritérium poranění stehenní kosti – síla působící na ohyb	20
4.1.6	Kritérium zrychlení kolena.....	21
5	Porovnání jednotlivých zkoušek	22
5.1	Okamžik kontaktu hlavy s kapotou automobilu a jejich vzájemná poloha	22
5.2	Konečná poloha objektů.....	23
5.3	Síla působící na stehenní kost vs. zrychlení působící na koleno.....	24
6	Diskuze výsledků zkoušek 10_00403.....	24
6.1	Poranění hlavy	24
6.2	Poranění hrudníku	25

6.3	Poranění v pánevní oblasti	25
6.4	Poranění kolena.....	25
6.5	Síla působící na stehenní kost.....	25
6.6	Sekundární náraz - komentář	25
7	Porovnání sérií testů (rok 2009 vs. 2010)	26
7.1	Vstupní podmínky.....	26
7.2	Porovnání konfigurace střetu	26
7.3	Grafické porovnání průběhu zrychlení	27
7.4	Průběh síly působící na stehenní skelet.....	30
7.5	Srovnání postřetových poloh – dopadové vzdálenosti	32
7.5.1	Série zkoušek 09_00924_xxx	32
7.5.2	Série zkoušek 10_00403_xxx.....	32
7.6	Srovnání úhlu kontaktu mezi kapotou a hlavou figuríny.....	33
8	Prostorová digitalizace poškození – zkoušky 10_00403	33
8.1	Úvod do problematiky 3D skenování	33
8.2	Skenování při crash testu	35
8.3	Vyhodnocení – Postprocessing.....	36
8.4	Výsledky měření	38
9	Závěr.....	40

2 Úvod

Bezpečnost chodců je v současné době jedním z významných kritérií pro hodnocení bezpečnosti vozidel. Homologační předpisy jsou založeny na testování přídílí těchto vozidel nárazovými maketami, které reprezentují části těla dospělého chodce, riziko pro dětského chodce je vyjádřeno testem impaktorem dětské hlavy.

Fakulta dopravní ČVUT v Praze provedla v rámci základního výzkumu v pořadí již druhou sérii dynamických zkoušek pasivní bezpečnosti dětského chodce při střetu s osobním vozidlem kategorie M1 při různých kolizních rychlostech (10, 20 resp. 30 km/h).

V rámci testů byly sledovány kontaktní zóny na přídílí vozidla včetně poškození – využito technologie 3D-skenování (viz kapitola 8). Na upravené dětské figuríně typu P6 byla sledována, obdobně jako v předcházející sérii testů v roce 2009, výsledná zrychlení hlavy, hrudníku, pánve a zrychlení kolenního kloubu v sagitální rovině. Měření zrychlení bylo provedeno novým přístrojovým vybavením, bez nutnosti výpůjčky od externích partnerů (konkrétně viz kapitola 3). Dále bylo provedeno tenzometrické měření kontaktní síly působící na stehenní skelet.

Cílem této experimentální činnosti je dlouhodobě kromě podrobné deskripce kinematiky dětského chodce i porovnání závažnosti primární a sekundární kolize simulace potenciální reálné nehodové situace pomocí tzv. full-scale testu (testu s úplnou figurínou) a dále poskytnutí údajů pro tvorbu matematického modelu.

(Schejbalová Z.: Biomechanické aspekty kolize chodec-vozidlo se zaměřením na dětskou populaci. Dizertační práce. ČVUT, Praha 2010)

3 Experiment

3.1 Podmínky experimentu

3.1.1 Počáteční podmínky experimentu

S ohledem na získané poznatky o problematice a na technické možnosti, byly formulovány následující počáteční podmínky – formulace počátečních podmínek je z důvodu možnosti komparace totožná s podmínkami experimentu, který byl proveden v roce 2009:

- a) kolize automobilu kategorie M1 homologovaného z hlediska ochrany při srážce s chodcem podle směrnice 2003/102ES,
- b) figurína P6, (šestileté dítě; 1,17m; 22kg),
Pozn.: V současné době neexistuje dětská figurína, která by byla určena pro provádění full-scale testů vozidlo – chodec jako je tomu u dospělé figuríny typu Polar. Figurína typu P6 je určena pro testování dětských zádržných systémů dle EHK 44.
- c) pozice figuríny čelem ke kolidujícímu vozidlu, stoj spatný v prodloužení podélné osy vozidla (viz Obr. 1)
- d) rychlosti nárazu 10, 20, 30 km/h,
- e) vozidlo brzděno s počátkem v okamžiku nárazu.



Obr. 1 - Pozice figuríny vzhledem ke kolidujícímu vozidlu.

3.1.2 Lokální podmínky experimentu

Experiment proveden dne 5. 9. 2010 v areálu A.L.C.Z. a.s., Mezi úvozy 2000/3, 19300 Praha 9.

Lokální podmínky

- účelová komunikace areálu A.L.C.Z. a.s., asfaltový povrch,
- rastr na vozovce po 0,5 m (viz Obr. 2 vlevo),
- projekční rastr po 0,5 m resp. 0,1 m na pozadí děje (viz Obr. 2 vpravo).

Klimatické podmínky

- teplota: 16°C
- vítr: 0 – 5 m/s
- sucho (relativní vlhkost nezjištěna),
- světelné podmínky neměřeny.



Obr. 2 – Rastr na vozovce (vlevo), projekční rastr na pozadí děje (vpravo).

3.2 Kolizní partneři

3.2.1 Figurína P6

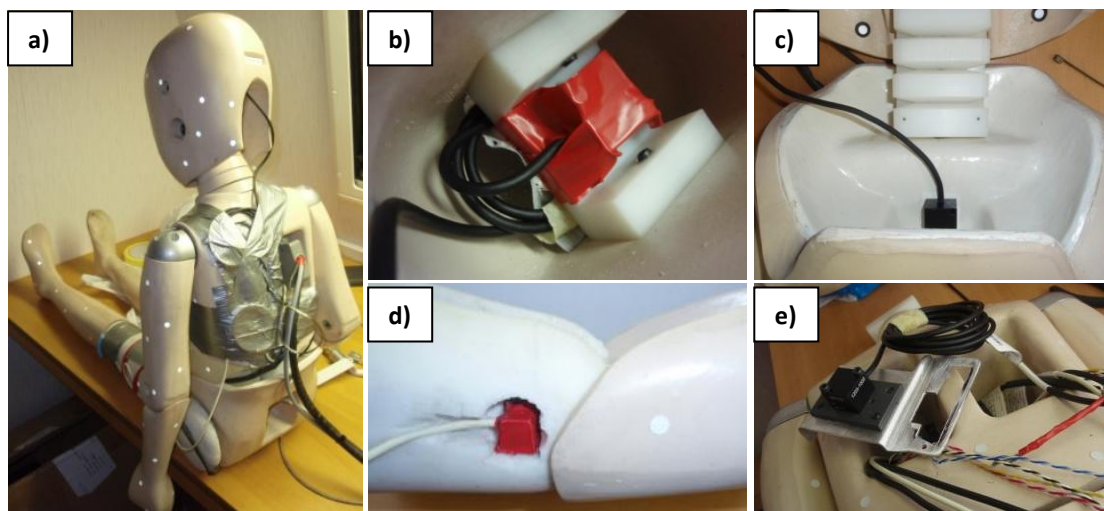
- hmotnost: 22 kg
- výška: 1,17 m
- poloha: stojící, natočena čelem k vozidlu
- adhezní podmínky obuv/vozovka neměřeny,
- ochranné pomůcky a oděv: obuv kotníková s pryžovou podešví, tepláky, mikina, hlava obalena ochrannou adhezní páskou,
- figurína kalibrována před každou zkouškou dle přiloženého manuálu.

Instrumentace figuríny (Obr. 3)

- **hlava:** 3-osý akcelerometr (směr x, y, z), rozsah 1000 g,
- **hrudník:** 3-osý akcelerometr (směr x, y, z), rozsah 1000 g,

- **oblast pánve:** 3-osý akcelerometr (směr x, y, z), rozsah 500 g,
- **kolenní kloub:** 1-osý akcelerometr (směr x), rozsah 500 g,
- **stehenní kost:** vytvořena náhrada stehenního segmentu, jejíž skelet byl osazen tenzometry a měřena jednoosá napjatost.

Pozn.: směry x, y, z odpovídají třírozměrné referenční soustavě pro vozidla podle ISO 4130-78 (x – směr kolize, y – kolmo na směr kolize, z – svisle).



Obr. 3 - Instrumentace figuríny P6, umístění akcelerometrů v jednotlivých segmentech: a) sedící figurína P6; b) hlava; c) pánev; d) koleno; e) hrudník.

Snímače (Obr. 4)

- tříosý akcelerometr – Measurement Specialities, modelové č. 1203, piezorezistivní, 1x rozsah 500 g, 2x rozsah 1000 g,
- jednoosý akcelerometr – Measurement Specialities, modelové č. 1201, piezorezistivní, 1x rozsah 500 g,
- tenzometry – 4x odporové tenzometry Mikrotechna 8JP120A, jmenovitý odpor 120 Ω , zapojeny do dvou půlmůstků.

Měřicí systém (Obr. 5)

- ústředna National-Instruments NI 9172, USB rozhraní, pro až 8 D-Sub modulů,
- 4x modul NI 9237: 4 kanálový, 24-bitový, analogový modul půlmůstek-můstek, kanál připojen přes konektor RJ50, napájení 10 V,
- kabeláž,
- celkem měřeno 12 kanálů.



Obr. 4 - Snímače zrychlení a kabeláž (zleva): tříosý akcelerometr 1203, jednoosý akcelerometr 1201, kabeláž s konektory RJ50, konektor DD50 v hrudníku figuríny.



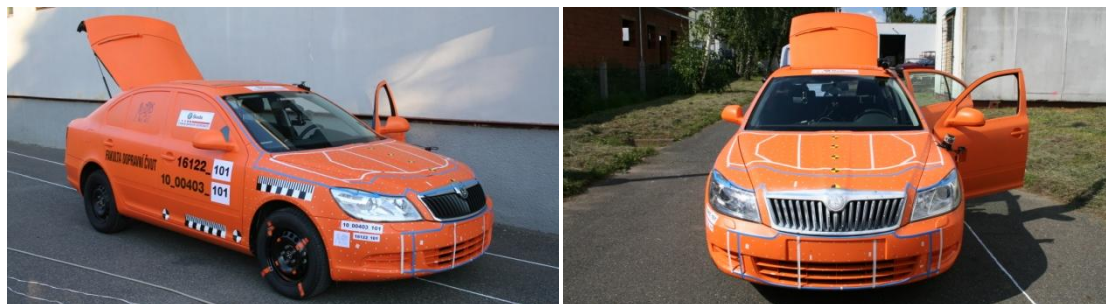
Obr. 5 – Modul National-Instruments NI 9237 (vlevo) a ústředna NI 9172 (vpravo).

3.2.2 Automobil kategorie M1

Škoda Octavia II, 1.4 MPI, rok výroby 2009 (Obr. 6)

- max. výkon: 59 kW
- max. točivý moment: 132 Nm/3800 min⁻¹
- objem motoru: 1390 cm³
- pohotovostní hmotnost s řidičem: 1255 kg
- max. rychlost: 173 km/h

Vozidlo opatřeno antireflexním nátěrem. Na přední vozidla vyznačeny zóny v souladu se směrnicí 2003/102/ES o ochraně chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu před střetem a v případě střetu s motorovým vozidlem (viz Obr. 7)



Obr. 6 – Automobil kategorie M1 – Škoda Octavia II.



Obr. 7 - Zóny na přední automobilu dle předpisu 2003/102/ES (modře referenční linie náběžné hrany kapoty a její offset 165 mm, bíle WAD 1000 a prostor vzniklý odstupem od boční vztážené čáry resp. referenční linie náběžné hrany kapoty)

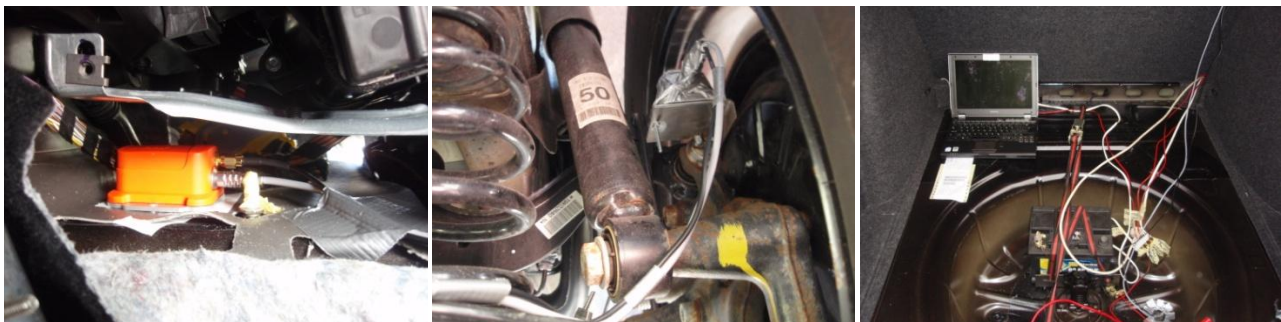
3.3 Další snímané veličiny a přístrojové vybavení

3.3.1 Reálná rychlost vozidla, průběh zrychlení na vozidle

- přístroj Etanu 2.0 – měření průběhu rychlosti a zrychlení vozidla v ose x , y , videozáznam, GPS poloha; umístěno na čelním skle automobilu (Obr. 8 vlevo),
- 2x sdružený snímač Xsens MTi-G, měření průběhu zrychlení vozidla v ose x , y , z , měření úhlu klonění, klopení a stáčení vozidla, GPS poloha; umístění měřidel: středový panel automobilu – odpružená hmota, uložení pravého zadního kola – neodpružená hmota; sběr dat zajištěn pomocí PC umístěného v zavazadlovém prostoru automobilu (Obr. 9)
- optická závora – elektronické stopky se spouštěním fotoelektrickým hradlem (Obr. 8 vpravo),
- cyklo-tachometr (Obr. 10 vpravo),
- tachometr vozidla.



Obr. 8 – Přístroj Etanu 2.0 (vlevo), optická závora (vpravo).



Obr. 9 – Umístění snímače Xsens MTi-G na odpružené hmotě (vlevo), na neodpružené hmotě (uprostřed), sběr dat (vpravo).

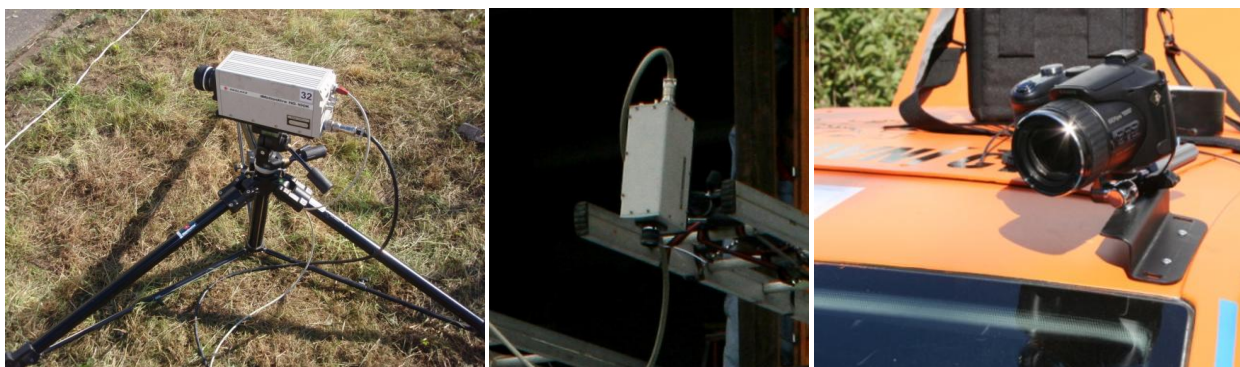


Obr. 10 – Umístění antén GPS (vlevo), cyklo-tachometr (vpravo).

3.3.2 Obrazový záznam

Vysokorychlostní záznam

- dvě vysokorychlostní kamery Redlake MotionXtra® HG-100K kapacita snímání do 100 tis. obr/s, reálná rychlost snímání 1000 obr/s, celkový záběr a detailní záběr dolní končetiny (Obr. 11 vlevo); ve spolupráci s firmou TÜV SÜD Czech s.r.o.,
- vysokorychlostní kamera Kodak Ektapro HG 2000, snímání až 2 000 snímků/s, reálná rychlost 1000 snímků/s, záběr shora (Obr. 11 uprostřed),
- dva fotoaparáty Casio EX F1 Exilim Super zoom, snímání až 1 200 snímků/s, reálná rychlost 600/s, záběr ze střechy automobilu, záběr z úhlu 45° na místo střetu (Obr. 11 vpravo).



Obr. 11 – Vysokorychlostní kamera Redlake, celkový záběr (vlevo); vysokorychlostní kamera Kodak, záběr shora (uprostřed); fotoaparát Casio, záběr ze střechy automobilu (vpravo).

Standardní videozáznam

- minikamera GoPro, rychlost snímání 29 snímků/s, záběr na místo střetu z kapoty automobilu (Obr. 12 vlevo),
- další záznamová zařízení.

Speciální/specializované

- termokamera Fluke TiR32 (Obr. 12 uprostřed a vpravo),
- kamera Panasonic SDR 20 pro navádění automobilu do místa střetu (Obr. 12 vlevo).



Obr. 12 – Minikamera GoPro a kamera Panasonic SDR 20 pro navádění do místa střetu (vlevo), termokamera Fluke (uprostřed a vpravo).

3.3.3 Postřetová dokumentace

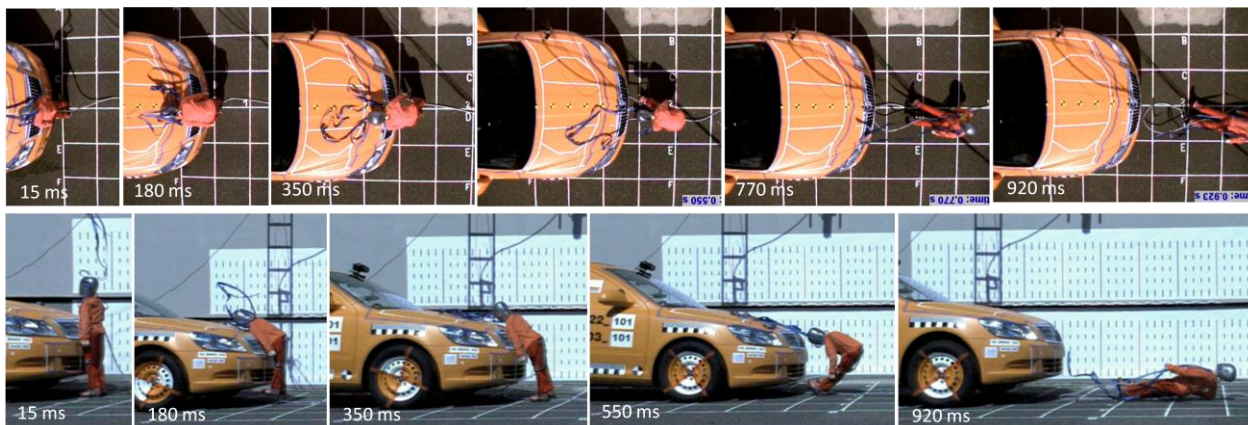
- konečná poloha objektů – totální stanice Topcon 3007i (Obr. 13),
- dokumentace kontaktních zón a poškození automobilu – využito technologie 3D skenování, systém od výrobce CreaForm, HandyScan typ MaxScan (Obr. 13 vpravo); ve spolupráci s firmou SolidVision s.r.o. – problematice skenování je věnována samostatná kapitola 8,
- fotodokumentace konečné polohy objektů, poškození aj.



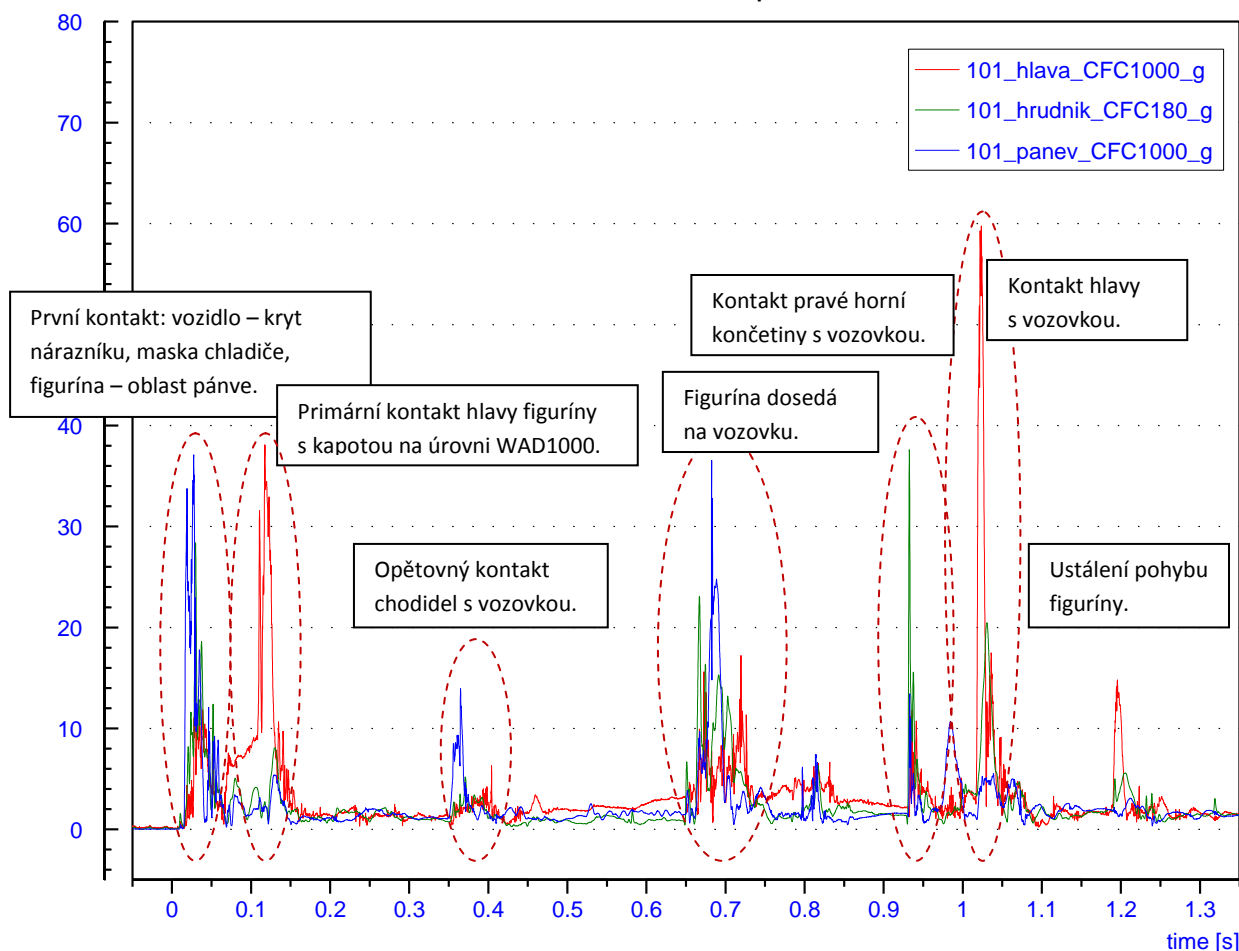
Obr. 13 – Totální stanice Topcon 3007i (vlevo), 3D Handy-scanner (uprostřed a vpravo).

3.4 Průběh experimentu

3.4.1 Test 10_00403_101, střetová rychlost 12,2 km/h



Obr. 14 - Obrazová sekvence střetu pro test č. 101.



Obr. 15 - Graf naměřených výslednic zrychlení na figuríně – popis děje pro test č. 101.

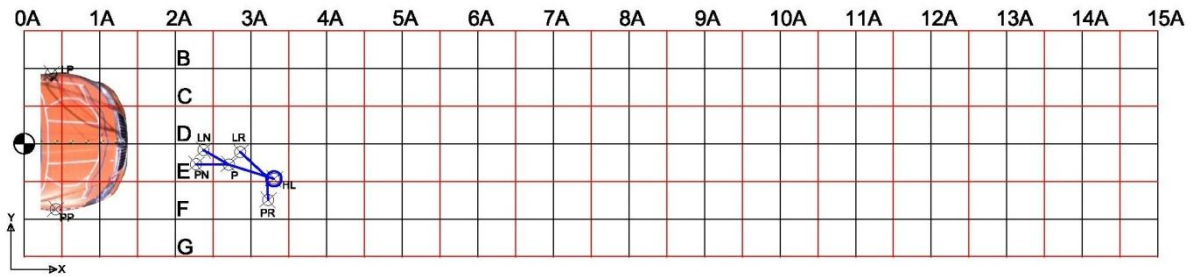
Na Obr. 14 je zachycena obrazová sekvence střetu osobního automobilu Škoda Octavia II s figurínou P6 pro test č. 101, nárazová rychlost 12,2 km/h; naměřené hodnoty zrychlení na jednotlivých lokalitách figuríny a popis celého střetového a postřetového děje představuje Obr. 15. Okamžik střetu: $t_{s101} = 15 \text{ ms}$.¹

¹ z důvodu synchronizace naměřených hodnot s obrazovým záznamem není okamžik střetu definován časem $t = 0$, ale tento je posunut o časový úsek, který je v textu označen jako t_{sXXX} , kde XXX označuje číslo zkoušky.

Konečná poloha objektů po kolizi

místo střetu: X= 0.0000 Y= 0.0000
 poloha levého předního kola: X= 0.4169 Y= 0.9269
 poloha pravého předního kola: X= 0.4169 Y= -0.8705
 poloha levé nohy: X= 2.3723 Y= -0.0851
 poloha pravé nohy: X= 2.2720 Y= -0.2728

poloha páneve: X= 2.7083 Y= -0.2781
 poloha levé ruky: X= 2.8575 Y= -0.1104
 poloha pravé ruky: X= 3.2266 Y= -0.7471
 poloha hlavy: X= 3.3080 Y= -0.4882



Obr. 16 - Konečná poloha objektů po kolizi - test č. 101 - schéma.



Obr. 17 - Konečná poloha objektů po kolizi - test č. 101 - fotodokumentace.

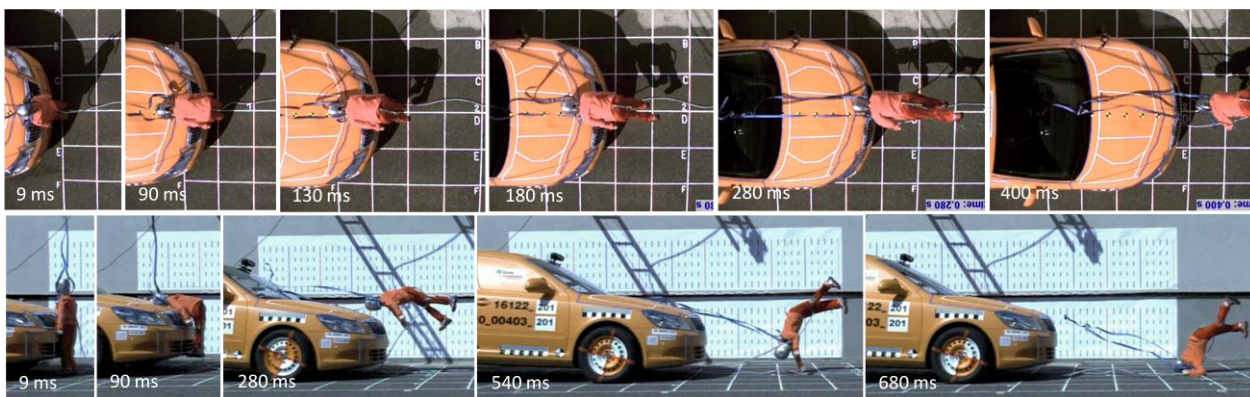
Popis poškození

- **automobil:** deformace kapoty v místě nárazu (dle Obr. 18), maska bez poškození, nárazník bez poškození, na hraně spoileru a horní hraně nárazníku stopy (vlákna) od oděvu chodce, lišta kapoty bez poškození.
- **figurína:** bez poškození, oděv nese známky otěru od sekundárního nárazu.

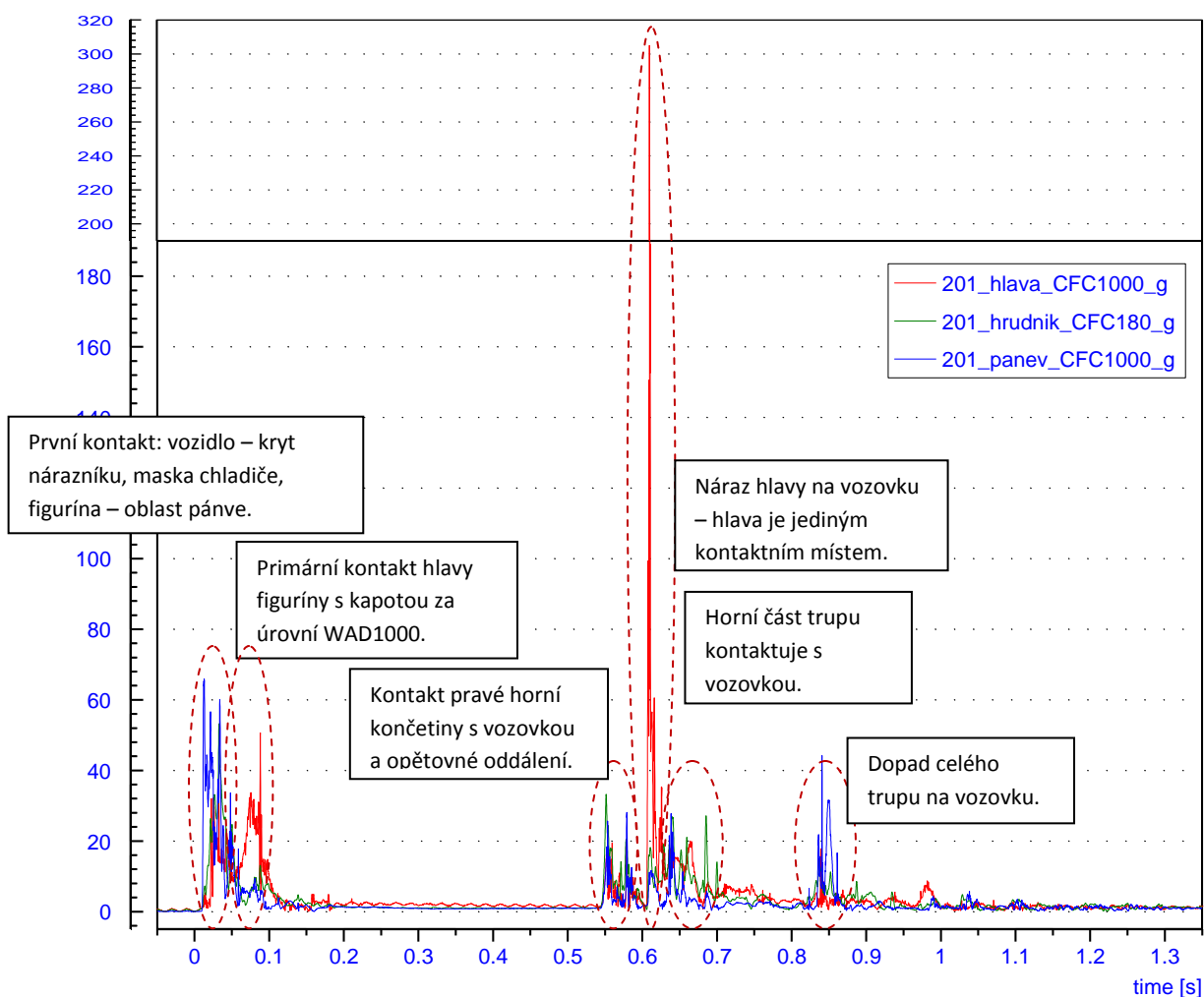


Obr. 18 – Poškození automobilu po kolizi – test č. 101.

3.4.2 Test 10_00403_201, střetová rychlost 22,4 km/h



Obr. 19 - Obrazová sekvence střetu pro test č. 201.



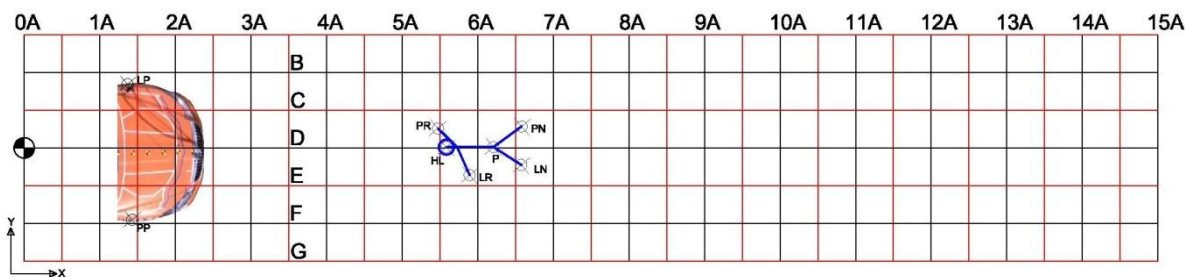
Obr. 20 - Graf naměřených zrychlení na figuríně – popis děje pro test č. 201.

Na Obr. 19 Obr. 14 je zachycena obrazová sekvence střetu osobního automobilu Škoda Octavia II s figurínou P6 pro test č. 201, nárazová rychlost 22,4 km/h, naměřené hodnoty zrychlení na jednotlivých lokalitách figuríny a popis celého střetového a postřetového děje představuje Obr. 20. Okamžik střetu: $t_{s201} = 9 \text{ ms}$.

Konečná poloha objektů po kolizi

místo střetu: X= 0.0000 Y= 0.0000
 poloha levého předního kola: X= 1.4278 Y= 0.8440
 poloha pravého předního kola: X= 1.4278 Y= -0.9534
 poloha levé nohy: X= 6.5771 Y= -0.2264
 poloha pravé nohy: X= 6.5824 Y= 0.2842

poloha páneve: X= 6.2077 Y= 0.0114
 poloha levé ruky: X= 5.8936 Y= -0.3809
 poloha pravé ruky: X= 5.4745 Y= 0.2587
 poloha hlavy: X= 5.5856 Y= 0.0104



Obr. 21 - Konečná poloha objektů po kolizi -test č. 201 - schéma.



Obr. 22 - Konečná poloha objektů po kolizi -test č. 201 - fotodokumentace.

Poškození

- **automobil:** deformace kapoty v místě nárazu (dle Obr. 23), plastový nárazník bez viditelného poškození, deformovány držáky (oka) pro uchycení plastového dílu nárazníku na výztuhu nárazníku (dle Obr. 24), na hraně spoileru a horní hraně nárazníku jsou stopy (vlákna) od oděvu chodce, lišta kapoty bez poškození
- **figurína:** bez poškození, oděv nese známky otěru od sekundárního nárazu.

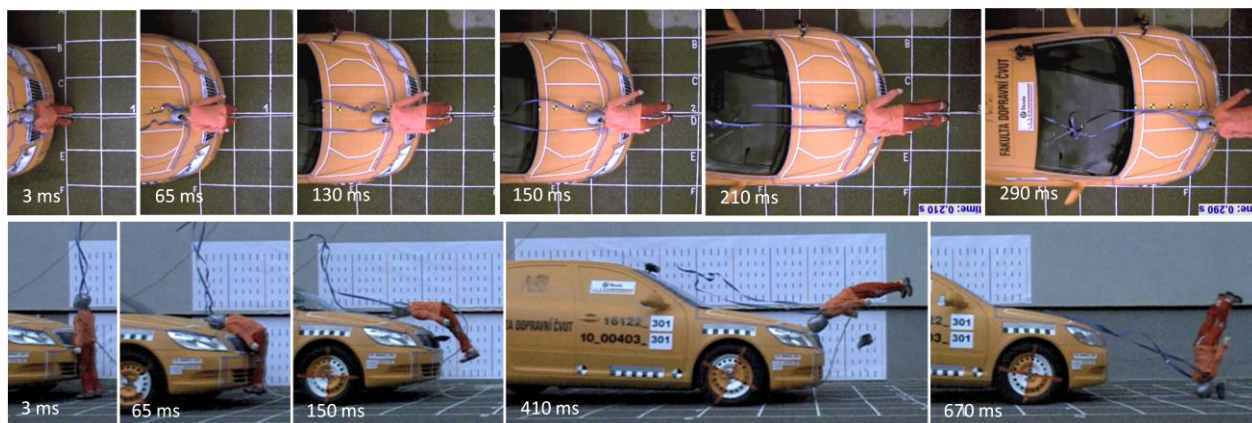


Obr. 23 – Poškození automobilu po kolizi – test č. 201.

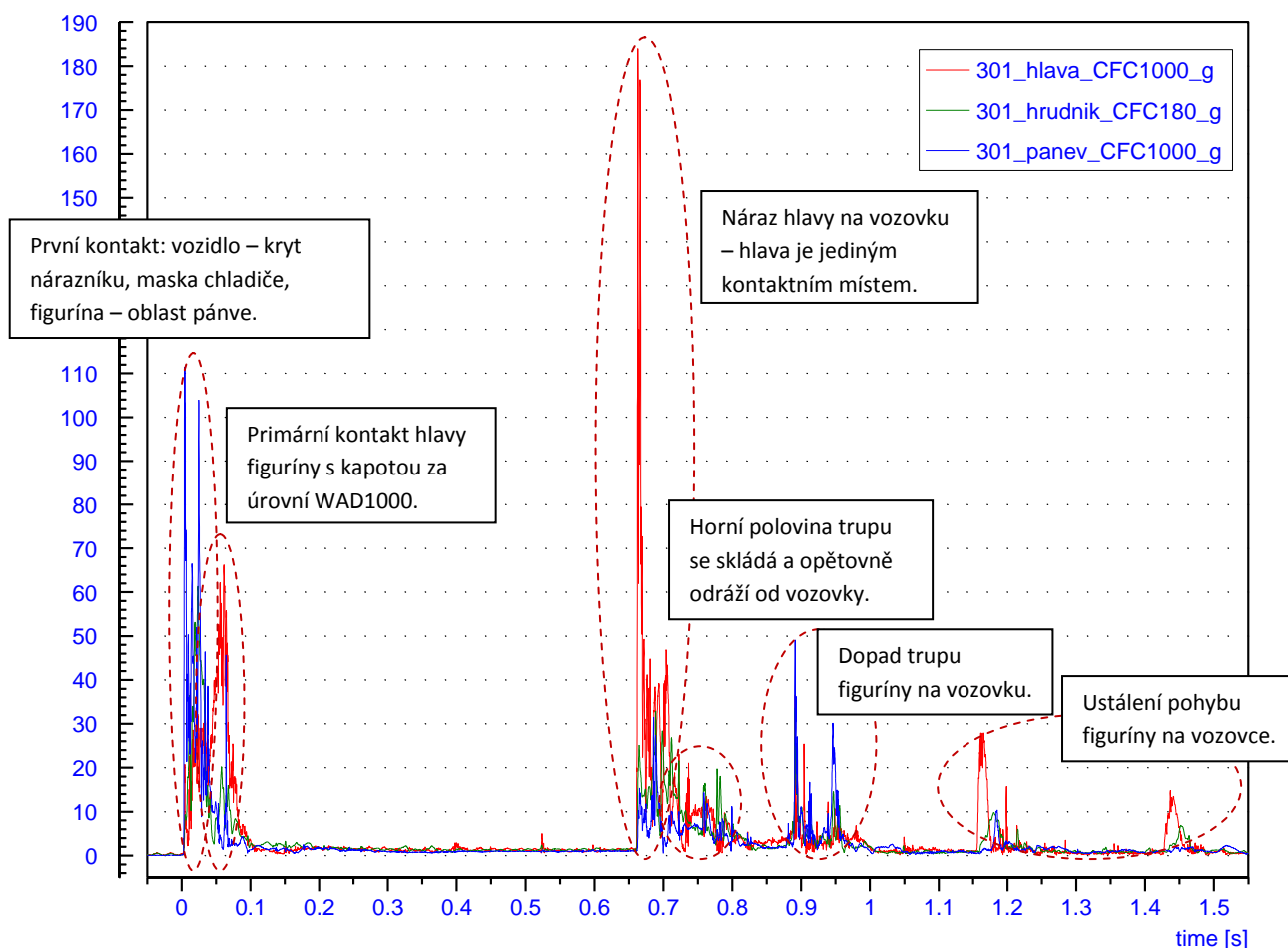


Obr. 24 – Poškození automobilu po kolizi – test č. 201 – po odstrojení.

3.4.3 Test 10_00403_301, střetová rychlost 30,6 km/h



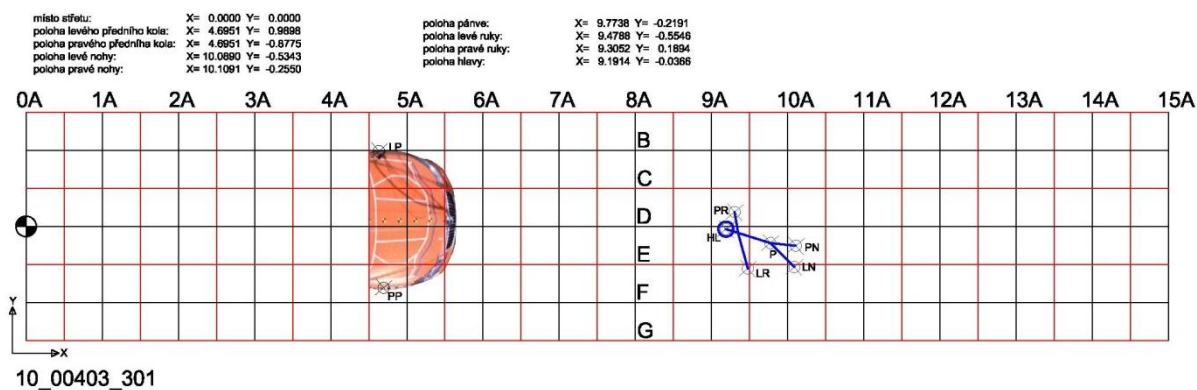
Obr. 25 - Obrazová sekvence střetu pro test č. 301.



Obr. 26 - Graf naměřených zrychlení na figuríně – popis děje pro test č. 301.

Na Obr. 25Obr. 14 je zachycena obrazová sekvence střetu osobního automobilu Škoda Octavia II s figurínou P6 pro test č. 301, nárazová rychlost 30,6 km/h, naměřené hodnoty zrychlení na jednotlivých lokalitách figuríny a popis celého střetového a postřetového děje představuje Obr. 26. Okamžik střetu: $t_{s301} = 3 \text{ ms}$.

Konečná poloha objektů po kolizi



Obr. 27 - Konečná poloha objektů po testu č. 301 - schéma.



Obr. 28 - Konečná poloha objektů po testu č. 301 - fotodokumentace.

Poškození

- **automobil:** deformace kapoty v místě nárazu (dle Obr. 29), vylomena část mřížky chladiče v masce – 3 až 4 žebra, plastový nárazník bez viditelného poškození, deformováni držáky (oka) pro uchycení plastového dílu nárazníku na výztuhu nárazníku (dle Obr. 30), na hraně spoileru a horní hraně nárazníku jsou stopy (vlákna) od oděvu chodce, lišta kapoty bez poškození,
- **figurína:** bez poškození, oděv nese známky otěru od sekundárního nárazu, prodřena adhezivní páska chránící hlavu.



Obr. 29 - Poškození automobilu po kolizi – test č. 301.



Obr. 30 – Poškození automobilu po kolizi – test č. 301 – po odstojení, vpravo odlétnuvší úlomek mřížky chladiče.

4 Výsledky

4.1 Hodnoty biomechanických kritérií

Pozn.: kompletní tabulky biomechanických kritérií, včetně příslušných limitů a časového úseku, pro který bylo příslušné kritérium spočítáno, jsou souhrnně uvedeny v příloze 1.

Komentář všech uvedených výsledků je součástí následné diskuze v kapitole 6.

4.1.1 Kritérium poranění hlavy HPC

Zrychlení je vyhodnoceno jako jedna z kritériálních hodnot zranění pomocí vztahu:

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

kde, a = výsledné zrychlení [g], t_1 a t_2 = časové okamžiky v průběhu nárazu, určující počátek a konec intervalu, pro nějž je hodnota HPC nejvyšší. Pro „tvrdý“ náraz se pro výpočet max. hodnoty uvažuje časový interval 15 ms (HPC_{15}). Limitní hodnota kritéria HPC je 1000 – limit udává 50% pravděpodobnost vzniku závažného poranění hlavy. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1.

Pozn.: Dle amerického standardu FMVSS 208 „Occupant crash protection“ je limitní hodnota kritéria HPC_{15} pro šestileté dítě 700.

Tab. 1 – Hodnoty kritéria poranění hlavy HPC.

zkouška č.	rychlost [km/h]	Primární náraz				Sekundární náraz	
		HPC		HPC_{15}		HPC_{15}	
		[-]	limit	[-]	limit	[-]	limit
101	12,2	61,9	1000	58,2	1000	135,6	1000
201	22,4	108,5	1000	58,3	1000	554,8	1000
301	30,6	346,4	1000	251,3	1000	862,7	1000

4.1.2 Kritérium poranění 3ms – hlava

Toto kritérium je aplikovatelné nejen na poranění hlavy. Udává toleranci pro vznik závažného poranění. Limitní hodnota pro hlavu je 80 g. Interpretace kritéria: zrychlení vyšší než 80 g nesmí působit po dobu delší než 3 ms. Naměřené hodnoty ze všech provedených zkoušek jsou uvedeny v Tab. 2.

Pozn.: Dle amerického standardu FMVSS 208 „Occupant crash protection“ je limitní hodnota kritéria 3ms pro hlavu šestiletého dítěte 60 g.

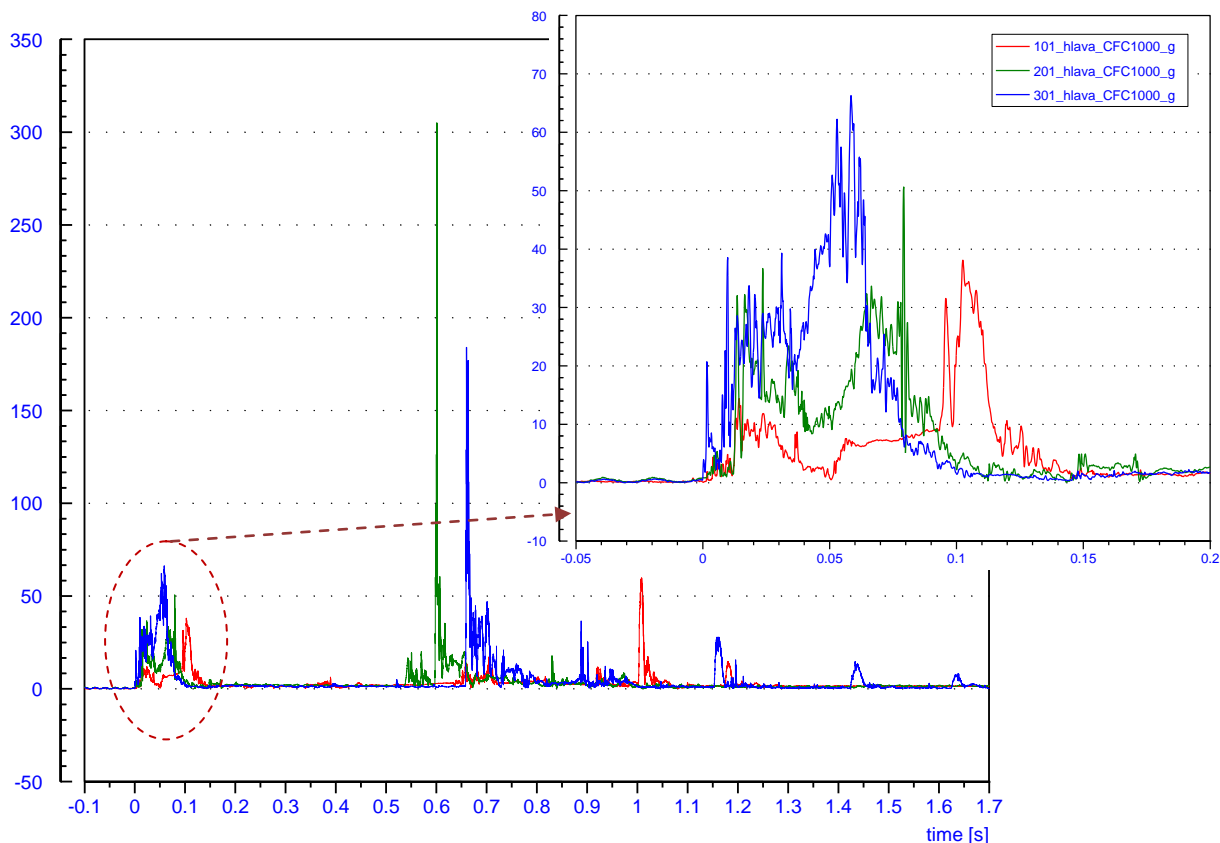
Tab. 2 – Hodnoty kritéria poranění 3ms pro hlavu.

zkouška č.	rychlost [km/h]	Primární náraz		Sekundární náraz	
		a3ms		a3ms	
		[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	33,7	80/60	52,8	80/60
201	22,4	26,1	80/60	49,7	80/60
301	30,6	46,6	80/60	88,7	80/60

Na Obr. 31 je graficky znázorněno výsledné zrychlení působící na hlavu – ve výřezu je zvětšen primární náraz – kontakt hlavy s kapotou automobilu. Zřetelný je logický časový posun náběhu a maximální hodnoty

zrychlení primárního nárazu. Limitní hodnota kritéria HPC ani kritéria 3ms nebyla pro primární náraz u žádné z provedených zkoušek překročena.

Sekundární náraz: z grafického porovnání na Obr. 31, a z porovnání výsledků Tab. 1 a Tab. 2 je patrné, že maximálního zrychlení na hlavě bylo dosaženo u zkoušky č. 201, ale limitní hodnota HPC₁₅ ani limit pro kritérium 3ms nebyl u této zkoušky překročen. Jediná nadlimitní hodnota byla zaznamenána u zkoušky č. 301 a to u kritéria a3ms.



Obr. 31 – Naměřené hodnoty výsledného zrychlení na hlavě (červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301), ve výřezu primární náraz.

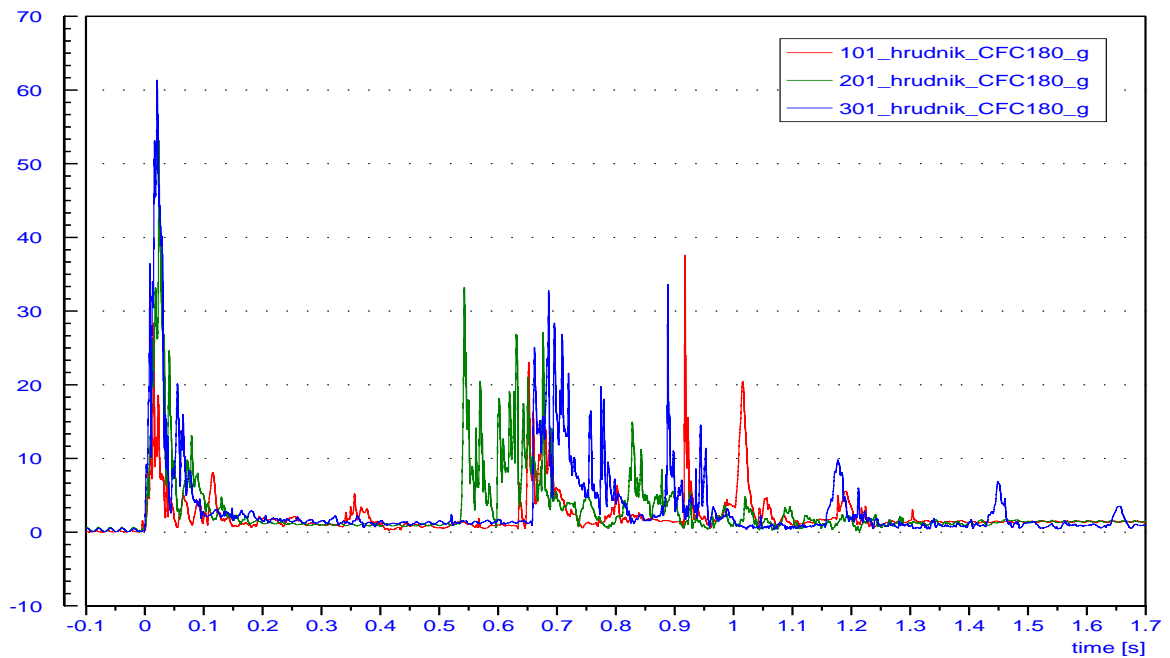
4.1.3 Kriterium poranění 3ms – hrudník

Limitní hodnota tohoto kritéria v případě poranění hrudníku je 60 g. Naměřené hodnoty kritéria pro provedené zkoušky jsou uvedeny v Tab. 3. Průběh výsledného zrychlení působícího na hrudník je v grafu na Obr. 32.

Pozn.: Dle předpisu EHK 44 „Dětské zádržné systémy“ je limitní hodnota kritéria 3ms pro hrudník šestiletého dítěte 55 g.

Tab. 3 – Hodnoty kritéria poranění 3ms pro hrudník.

zkouška č.	rychlost [km/h]	Primární náraz		Sekundární náraz	
		a3ms		a3ms	
		[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	13,6	60/55	19,3	60/55
201	22,4	38,9	60/55	21,7	60/55
301	30,6	50,9	60/55	22,9	60/55



Obr. 32 – Naměřené hodnoty výsledného zrychlení působícího na hrudník (červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301).

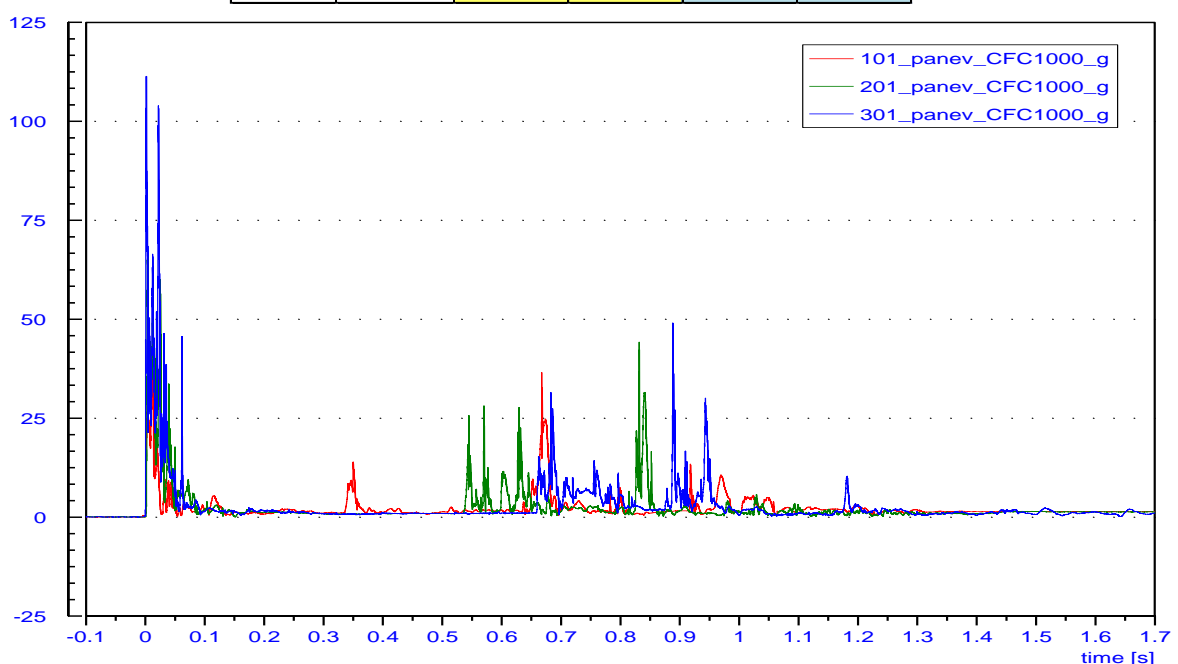
4.1.4 Kriterium poranění a_{max} – pánev

Maximální hodnota zrychlení nesmí přesáhnout 130 g. Naměřené hodnoty maximálního výsledného zrychlení působícího na zrychlení působícího na pánev jsou uvedeny v Tab. 4. Průběh výsledného zrychlení je v grafu na

Obr. 33.

Tab. 4 – Hodnoty maximálního zrychlení a kritérium poranění pro pánev.

zkouška č.	rychlost [km/h]	Primární náraz		Sekundární náraz	
		a_{max}		a_{max}	
		[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	37,1	130	36,6	130
201	22,4	65,9	130	44,2	130
301	30,6	111,4	130	39,1	130



Obr. 33 – Srovnání křivek výsledného zrychlení působícího na pánev (červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301).

4.1.5 Kriterium poranění stehenní kosti – síla působící na ohyb

Ohybová tolerance femuru není přesně stanovena. V případě dospělé stehenní kosti jsou nejčastěji uváděny hodnoty v rozpětí od 1,5 do 4 kN. Autor Levine (2002) uvádí limitní hodnoty ohybové rezistence vůči fraktuře 3,92 kN u mužů a 2,58 kN u žen. Yamada (1970) uvádí maximální hodnoty ohybového namáhání do porušení vzorku v závislosti na věkové skupině dárce vzorku. U skupiny 20-39 let je tento limit cca 2,8 kN při plošném průřezu kortikální části femuru 260 mm^2 a ohybové tuhosti $21,2 \text{ kg/mm}^2$. U dítěte okolo šesti let je dle tohoto autora ohybová tuhost stejná, kost je ale více plastická a je schopna absorbovat více energie do porušení, plošný průřez kortikální kostí je však menší.



Obr. 34 – Průběh kontaktní síly působící na stehenní kost.

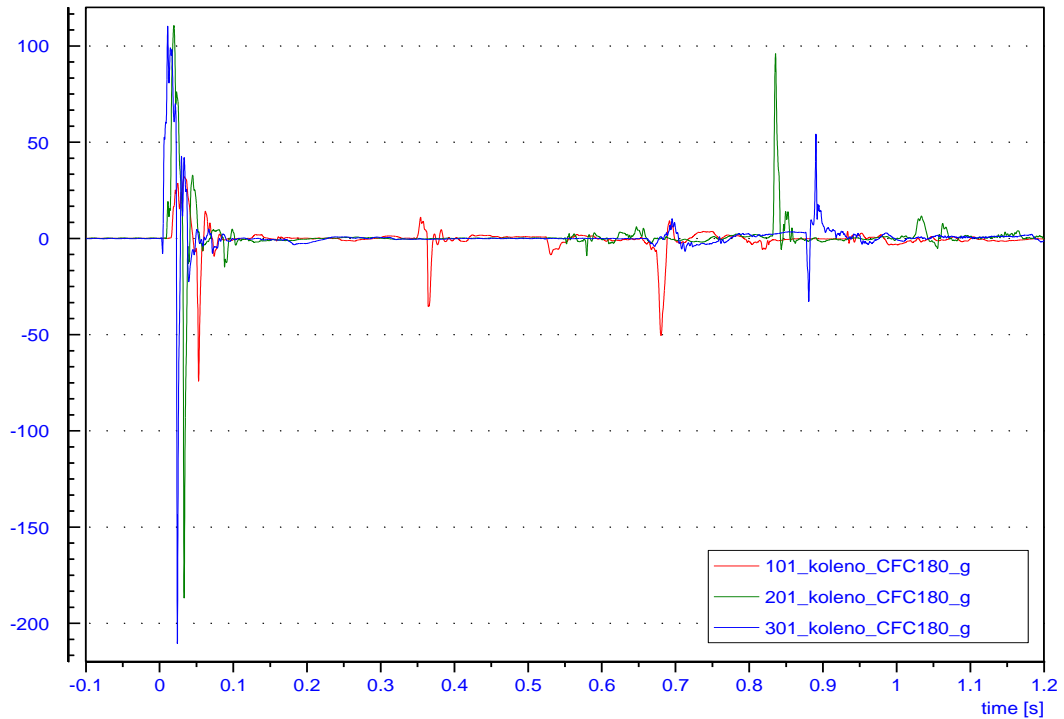
Tab. 5 – Maximální hodnoty kontaktní síly.

zkouška č.	Průběh síly	
	Primární náraz	
	F_{\max}	
	[N]	t [ms]
101	877	55,0
201	2497	35,5
301	3418	26,2

V grafu na Obr. 34 je zobrazen časový průběh naměřených hodnot kontaktní síly působící na stehenní kost v okamžiku nárazu – primární náraz. V Tab. 5 jsou uvedeny maximální naměřené hodnoty kontaktní síly pro jednotlivé zkoušky a časová poloha maxim. Hodnota maximální kontaktní síly nebyla pro sekundární náraz sledována.

4.1.6 Kriterium zrychlení kolena

Maximální hodnota výsledného zrychlení nesmí přesáhnout 170 g. Průběh působícího zrychlení v ose x (ose nárazu) je graficky znázorněn v grafu na Obr. 35. Maximální hodnoty zrychlení jsou uvedeny v Tab. 6.



Obr. 35 – Graf průběhu zrychlení ve směru osy x působící na koleno.

Tab. 6 – Hodnoty maximálního zrychlení kolena – kritérium poranění.

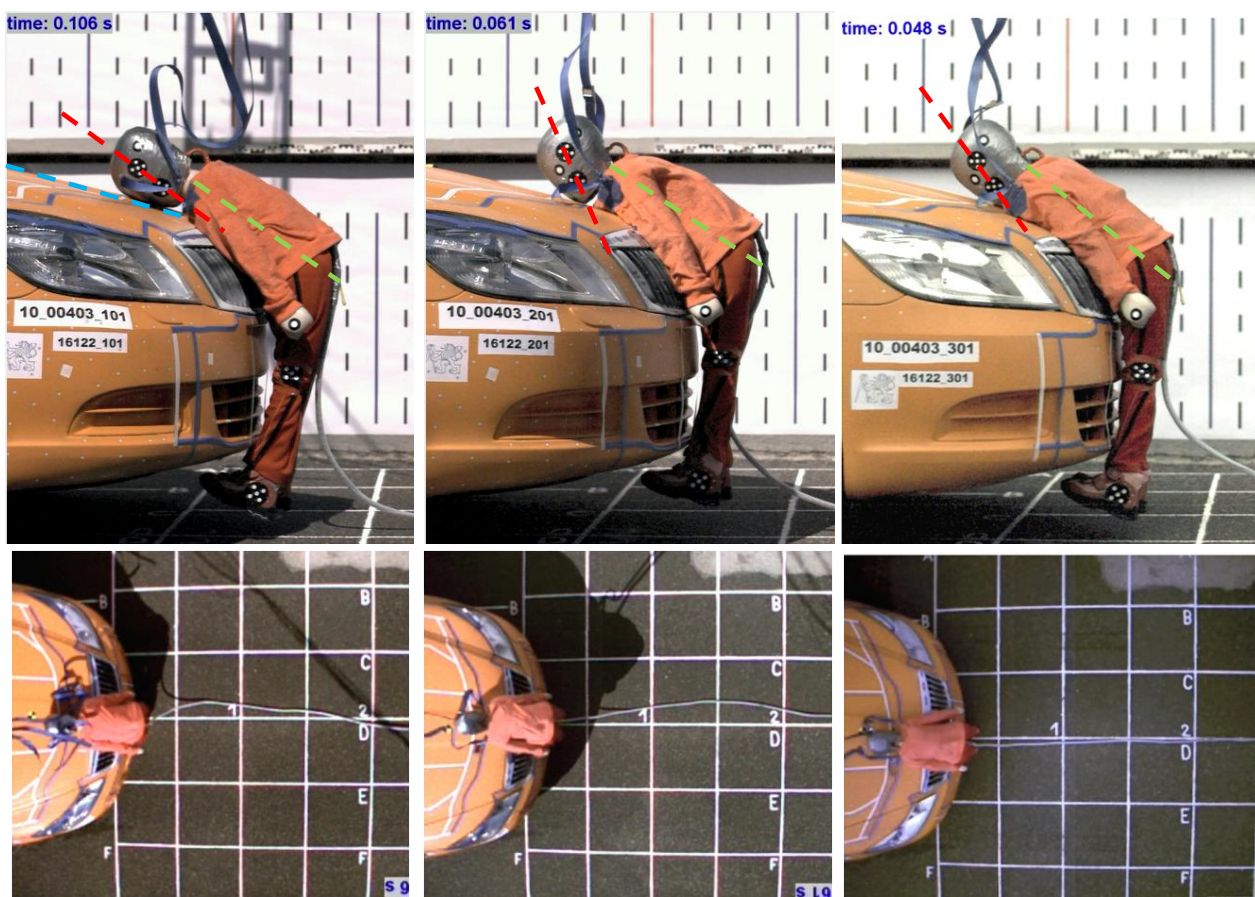
zkouška č.	KOLENO			
	Primární náraz		Sekundár. náraz	
	a_{max}		a_{max}	
	[g]	limit	[g]	limit
101	74,6	170	50,5	170
201	186,8	170	96,0	170
301	210,4	170	54,2	170

5 Porovnání jednotlivých zkoušek

5.1 Okamžik kontaktu hlavy s kapotou automobilu a jejich vzájemná poloha

Při testech byl sledován prvotní kontakt hlavy s kapotou automobilu a jejich vzájemná poloha v tomto okamžiku. V okamžiku. V

Tab. 7 jsou uvedeny časy a doba trvání od prvotního kontaktu figurína-automobil, do nárazu hlavy na kapotu automobilu. Na Obr. 36 jsou barevně znázorněny přímky vymezující sledované úhly.



Obr. 36 – Kontakt hlavy s kapotou automobilu.

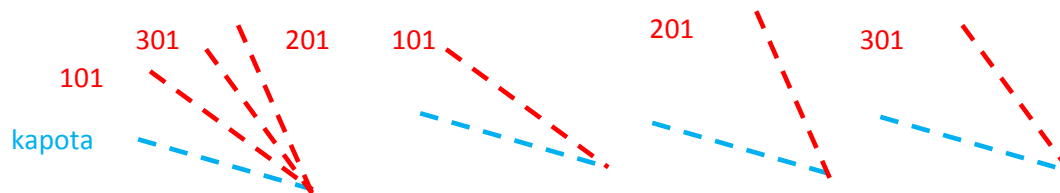
Tab. 7 – Okamžik kontaktu hlavy s kapotou automobilu, délka trvání od okamžiku nárazu do kontaktu hlavy.

zkouška č.	rychlost	první kontakt	kontakt hlavy s kapotou	mezičas
	[km/h]	[ms]	[ms]	[ms]
101	12,2	15	106	91
201	22,4	9	61	52
301	30,6	3	48	45

Poloha hlavy vůči trupu figuríny v okamžiku kontaktu s kapotou automobilu

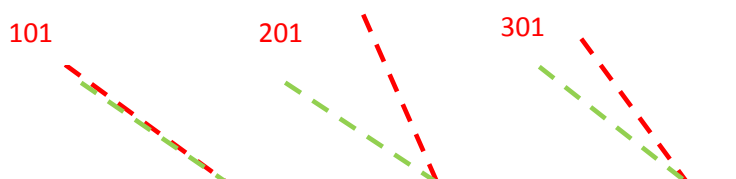
Bylo provedeno grafické porovnání úhlu hlavy figuríny v okamžiku kontaktu s kapotou automobilu a sledován stupeň hyperextenze hlavy v oblasti krku. Modře znázorněna kapota automobilu, červeně přímka proložená hlavou figuríny, zeleně přímka proložená trupem figuríny. Grafické porovnání představuje Obrázek 37 resp. Obrázek 38.

Úhel mezi hlavou figuríny a kapotou automobilu v okamžiku kontaktu



Obrázek 37 – Znáznornění úhlu mezi hlavou figuríny (červeně) a kapotou automobilu (modře) v okamžiku kontaktu s vozidlem.

Hyperextenční postavení hlavy v okamžiku kontaktu s kapotou

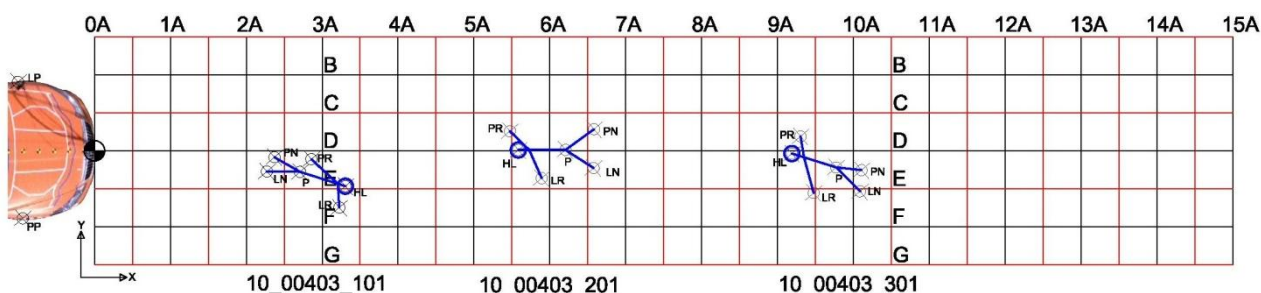


Obrázek 38 – Znáznornění hyperextenčního postavení hlavy v okamžiku nárazu hlavy na kapotu automobilu.

Zatímco u rychlosti okolo 10 km/h dopadá hlava téměř v prodloužení trupu, nad touto rychlostí je již znatelné její hyperextenční postavení. Grafy jsou pouze ilustrativní, a to z důvodu omezené přesnosti vycházející z fotodokumentace, kdy nelze vzájemné úhly přesněji měřit, a také z důvodu, že celkový průběh děje (a tedy i sledované hodnoty) je silně závislý na biomechanické věrnosti krční páteře figuríny.

5.2 Konečná poloha objektů

Na Obr. 39 je znázorněna dopadová vzdálenost figuríny po střetu s osobním automobilem. Místo střetu je označeno šachovnicovým terčem na hranici 0A v ose x automobilu. Dopadová vzdálenost (konečná poloha) figuríny je měřena k jejímu předpokládanému těžišti, hodnoty jsou zaokrouhleny na desetinu metru a jsou uvedeny v Tab. 8.



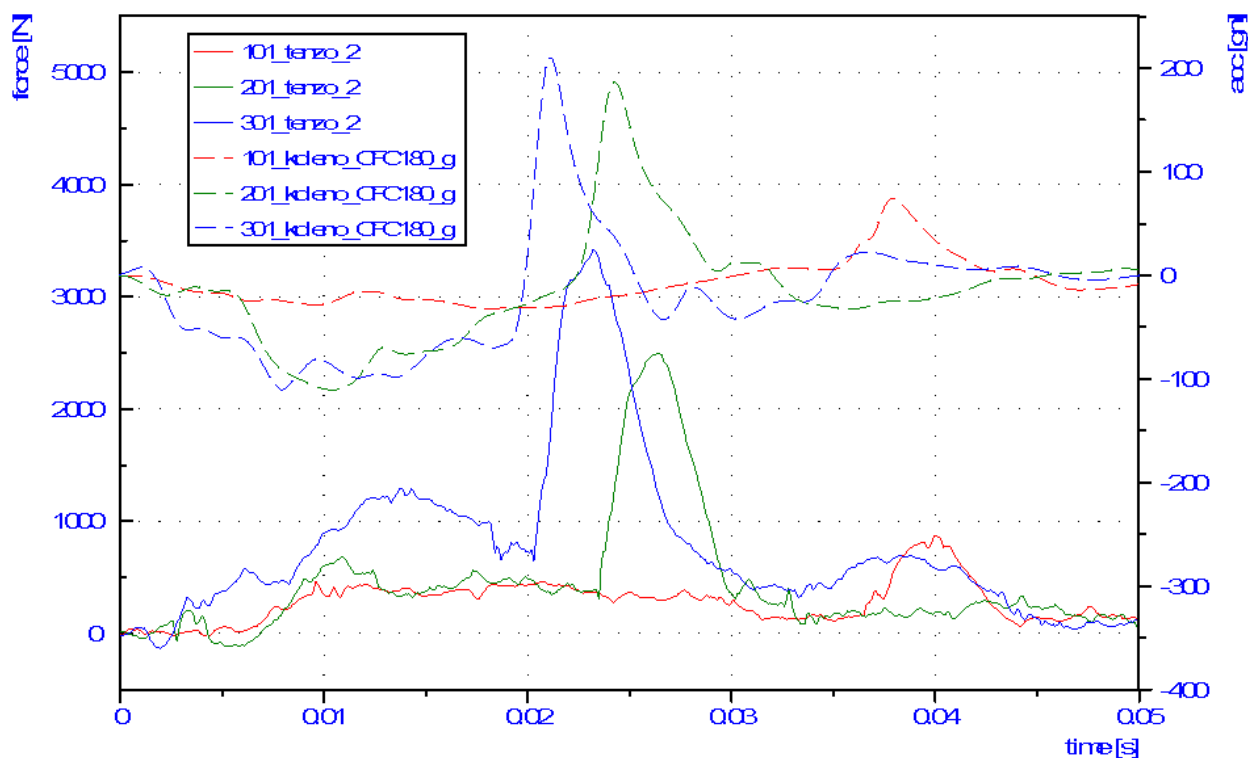
Obr. 39 – Dopadová vzdálenost figuríny po střetu s osobním automobilem. Místo střetu: hranice 0A, označeno bodem.

Tab. 8 – Dopadová vzdálenost figuríny po střetu s osobním automobilem.

Dopadová vzdálenost		
zkouška č.	rychlost	vzdálenost
	[km/h]	[m]
101	12,2	2,8
201	22,4	6,1
301	30,6	9,7

5.3 Síla působící na stehenní kost vs. zrychlení působící na koleno

Pro přesnější porovnání všech zkoušek byl zaveden čas t_0 kde 0 = okamžik prvního kontaktu vozidla a figuríny. Tedy zkoušky jsou z časového hlediska vzájemně porovnatelné. Na Obr. 40 jsou vzájemně porovnány časové průběhy zrychlení působícího na kolenní kloub (čárkovaně) spolu s průběhem kontaktní síly naměřené na stehenním skeletu figuríny (plně).



Obr. 40 – Křivky zrychlení působící na koleno (čárkovaně) vs. síla působící na stehenní skelet (plně). Červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301.

Náběh síly působící na stehenní kost je posunut v čase o hodnotu 1,8 ms resp. 1,4 ms resp. 1,2 ms od náběhu zrychlení na koleno (pro jednotlivé zkoušky vzestupně dle nárazové rychlosti).

6 Diskuze výsledků zkoušek 10_00403

Shrnutí výsledků zkoušek 10_00403 – osobní automobil Škoda Octavia II vs. dětský chodec (modifikovaná figurína P6):

6.1 Poranění hlavy

Při žádné z provedených zkoušek nedošlo při primárním nárazu k překročení limitní hodnoty u žádného z biomechanických kritérií – kritérium poranění hlavy HPC₁₅, kritérium 3ms. Ve všech případech hlava kontaktovala kapotu za úrovní linie WAD1000.

Hodnoty kritéria poranění u sekundárního nárazu několikanásobně překračují hodnoty u nárazu primárního. Limitní hodnota u sekundárního nárazu však byla překročena pouze u zkoušky č. 301

(30,6 km/h) a to u kriteria 3ms o cca 10 %. Dle amerických standardů (FMVSS 208 "Occupant crash protection") by došlo (u shodného testu) k překročení limitní hodnoty také u kriteria HPC₁₅ pro šestileté dítě – limitní hodnota 700 byla překročena o více než 20 %.

Ze záznamu nehodového děje a analýzy průběhu kontaktu s vozovkou (sekundárního nárazu) je zřejmé, že hodnota HPC, ani kritérium 3ms, nevystihuje zcela přesně závažnost kontaktu figuríny s vozovkou. Důvodem je pravděpodobně převažující flexně extenční mechanismus pohybu krční páteře a smýkání hlavy po vozovce – z čehož lze usuzovat na vznik závažného poranění krční páteře. Tyto výsledky se shodují i s předchozími experimenty, které byly provedeny v roce 2009.

6.2 Poranění hrudníku

Limitní hodnota kriteria 3ms pro poranění šestiletého dítěte (55 g dle EHK 44) nebyla ani u jedné zkoušky při primárním nárazu překročena. U zkoušky 301 je tato hodnota těsně podlimitní. U sekundárního nárazu nebyl limit rovněž překročen, to má příčinu zejména v kinematice chodce, kdy kontakt s vozovkou byl veden převážně přes oblast hlavy a krku, po dopadu figuríny došlo k jejímu sunutí, smýkání po vozovce.

6.3 Poranění v pánevní oblasti

Limit maximálního zrychlení a_{max} 130 g nebyl překročen při žádné z provedených zkoušek při primárním, ani při sekundárním nárazu. Z grafů časového průběhu zrychlení pro jednotlivé zkoušky a z videozáznamu děje je patrné, že pánevní oblast je místem prvotního kontaktu s přídílí automobilu a spolu s kolenem je nejvíce exponovanou částí skeletu. U primárního nárazu zde byly naměřeny nejvyšší hodnoty zrychlení. Lze předpokládat vznik kontuze orgánů dutiny břišní, hrozí riziko zlomeniny pánve (ve sponě stydké).

6.4 Poranění kolena

Limit maximálního zrychlení pro koleno a_{max} 170 g byl překročen při primárním nárazu u zkoušek 201 a 301. Lze tedy očekávat poranění „měkkého“ kolena, popř. zlomeninu bérce v oblasti epifýzy či metafýzy. Jak již bylo řečeno, spolu s pánevní oblastí je koleno při primárním nárazu nejvíce zatíženou částí těla.

6.5 Síla působící na stehenní kost

Limitní hodnota síly působící na stehenní skelet není přesně definována. Na základě uvedených výzkumů lze konstatovat, že průměrná biomechanická tolerance kosti vůči namáhání na ohyb byla překročena u zkoušky č. 301, lze tedy predikovat frakturu femuru. Působící síla byla odvozena z jednoosé napjatosti zjištěné tenzometrickým měřením na základě znalosti materiálových vlastností struktury figuríny.

6.6 Sekundární náraz - komentář

Ukazatelem závažnosti sekundárního nárazu se jeví HPC, kdy ve všech testovaných případech dosahovalo větších hodnot, než u nárazu primárního. Zajímavým poznatkem je i to, že u ostatních tělesných lokalit se toto pravidlo nepotvrdilo a v naprosté většině případů bylo vyšších hodnot biomechanických kritérií dosaženo při kontaktu s přídílí vozidla, kdy byly jednotlivé lokality chodce vystaveny přímé interakci s impaktorem v podobě dynamického rázu.

Z hlediska závažnosti predikovaných polytraumat je zřejmé, že sekundární náraz se dá za reálné situace považovat za významnější. Je závislý na mnoha faktorech, zejména na kinematice chodce po střetu, struktuře a vlastnostech okolního prostředí.

7 Porovnání sérií testů (rok 2009 vs. 2010)

7.1 Vstupní podmínky

Kolizní partneři:

- rok 2009, zk. č. 09_00924: Škoda Roomster vs. dětský chodec – figurína P6,
- rok 2010, zk. č. 10_00403: Škoda Octavia II vs. dětský chodec – figurína P6.

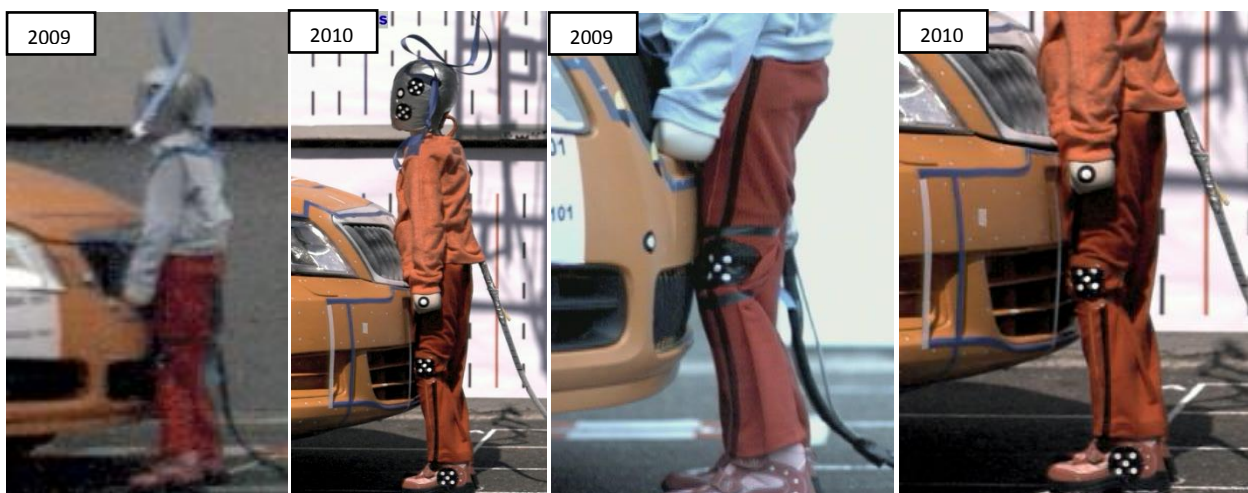
Vstupní podmínky jsou u obou sérií shodné, čímž je vzájemná komparace umožněna – zachována pozice figuríny čelem ke kolidujícímu vozidlu, stoj spatný, rychlosti nárazu 10, 20 resp. 30 km/h. Shodné adhezni a klimatické podmínky.

V roce 2010 bylo využito nového přístrojového vybavení, bez nutnosti výpůjčky od partnerů zkoušky – jedná se o piezorezistivní akcelerometry Measurement Specialities a ústřednu National-Instruments. Umístění akcelerometrů a celková instrumentace figuríny je shodná jako u zkoušek 09_00924, umístění svazku kabeláže shodné, odlišnost může být pouze v průměru a pružnosti kabelů, což může ovlivnit postřetovou kinematiku pohybu figuríny a tím ovlivnit sekundární kontakt s vozovkou – i tento vliv je považován za minoritní. Díky shodné instrumentaci se další zaznamatelný vliv nepředpokládá.

Rozdíl v provozních hmotnostech u obou automobilů je minimální – Škoda Roomster 1200 kg, Škoda Octavia II 1255 kg.

Pozn.: v roce 2009 byly provedeny dvě zkoušky rychlostí 30 km/h (301 resp. 302), při porovnávání s výsledky z roku 2010 byly použity výsledky obou zkoušek – dvojnásobné množství dat.

7.2 Porovnání konfigurace střetu



Obr. 41 – Konfigurace střetu v okamžiku prvního kontaktu a následný průběh střetu v prvních milisekundách od nárazu.

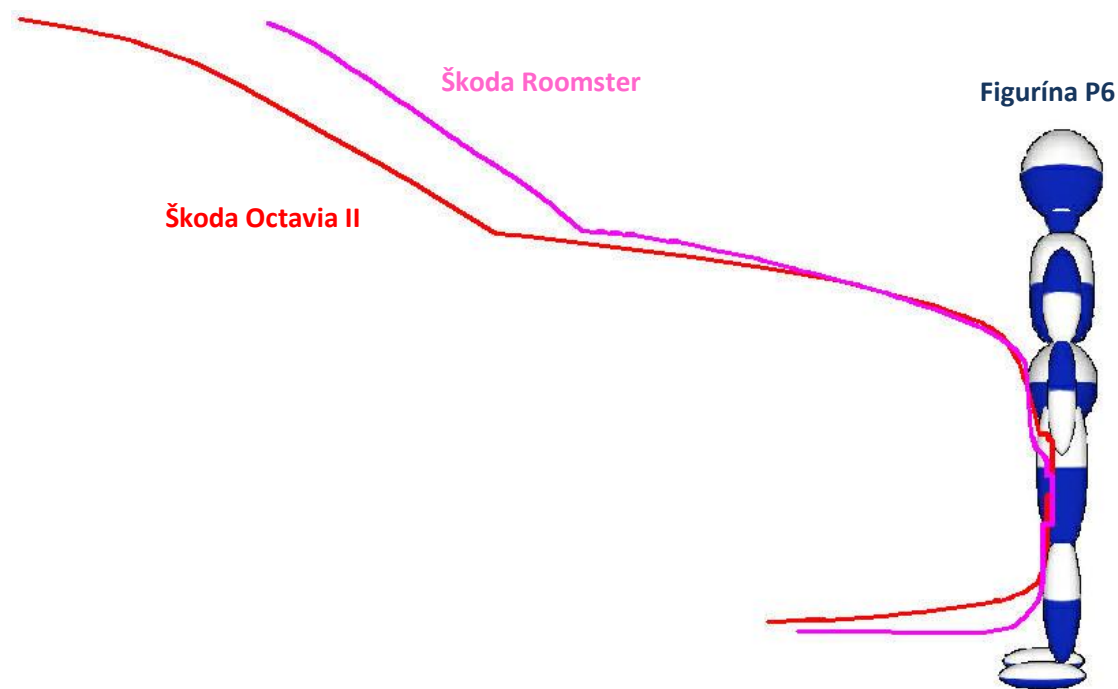
Analýzou videozáznamu byl proveden rozbor průběhu střetu v okamžiku prvního nárazu – určeno místo prvního kontaktu a další následný průběh.

Fáze prvního kontaktu Škoda Roomster (2009):

- kontakt v nadkolenní oblasti vs. nárazník v místě registrační značky,
- koleno vs. spodní mřížka chladiče resp. její horní hrana – rozhraní mezi nárazníkem a mřížkou,
- pánevní oblast vs. maska s mřížkou chladiče, lišta,
- sunutí vzhůru.

Fáze prvního kontaktu Škoda Octavia II (2010):

- kontakt v oblasti pánve vs. maska automobilu s mřížkou chladiče – integrována v kapotě (víku motoru) - nejprve je vyčerpána vůle v uložení kapoty, následuje deformace masky,
- stehno vs. nárazník v místě registrační značky,
- koleno vs. spodní mřížka chladiče v nárazníku.



Obr. 42 – Vzájemné porovnání konfigurace střetu vozidel Škoda Roomster, Škoda Octavia II vs. figurína P6.

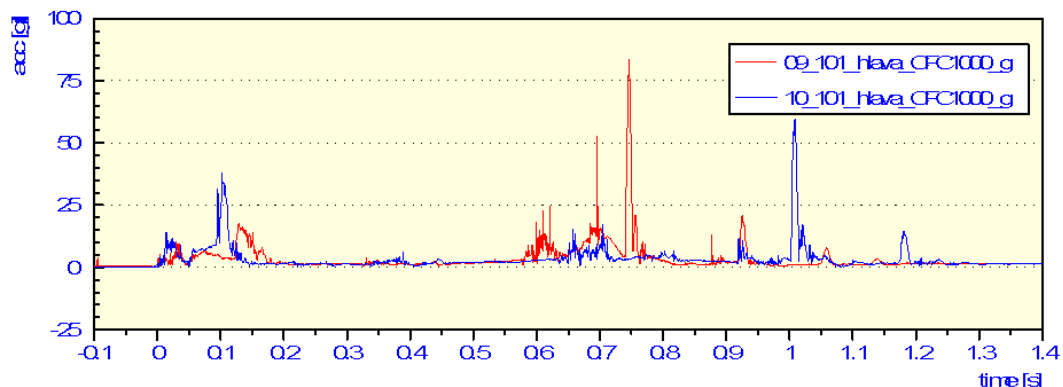
Schéma na Obr. 42 znázorňuje rozdíly ve tvaru předě obou automobilů. Růžový obrys představuje vozidlo Škoda Roomster (testy 2009), červený je obrysem Škoda Octavia II. Z obrysů je patrný i odlišný průběh prvního kontaktu mezi předě vozidla a figurínou P6, který byl popsán výše. Pro Škoda Roomster je prvotní kontakt v nadkolenní oblasti, v případě Škoda Octavia II se jedná prvotně o oblast pánevní.

7.3 Grafické porovnání průběhu zrychlení

Z důvodu přehlednosti jsou všechny srovnávací grafy zařazeny v samostatné příloze – příloha 2. V této kapitole je, jako reprezentativní část, uvedeno pouze grafické srovnání pro zrychlení působící na hlavu figuríny. Výsledky jsou následně komentovány jako celek.

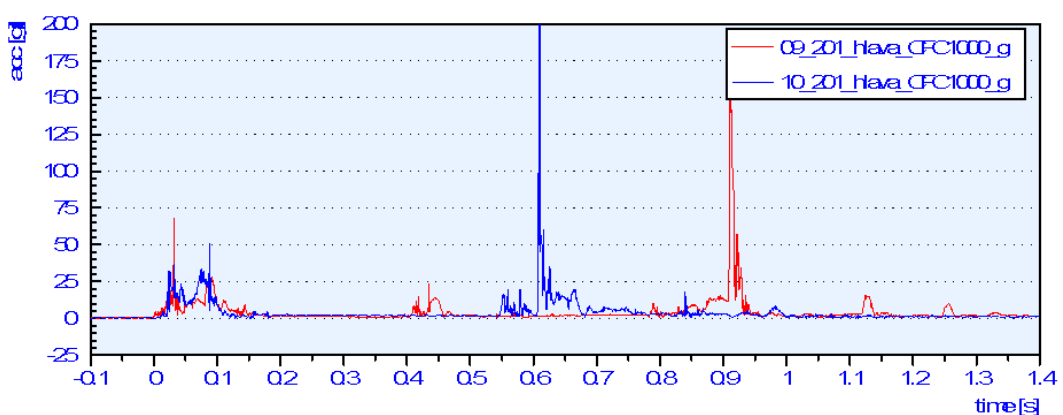
Červená barva v grafickém porovnání odpovídá naměřeným hodnotám z roku 2009 (Škoda Roomster), modrá barva platí pro rok 2010 (Škoda Octavia II).

Zkouška 09_00924_101 (10,6 km/h) vs. 10_00403_101 (12,2 km/h)



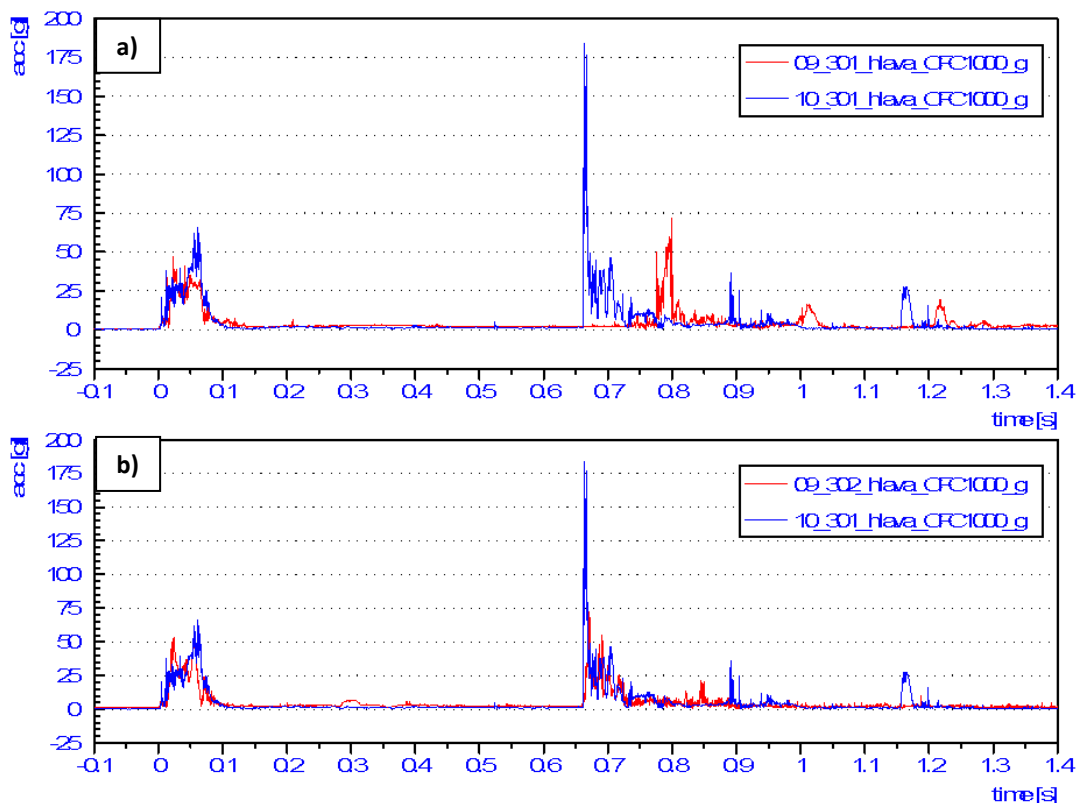
Obr. 43 – Zkoušky 101, rychlost cca 10 km/h, zrychlení na hlavě, komparace dat.

Zkouška 09_00924_201 (17,3 km/h) vs. 10_00403_201 (22,4 km/h)



Obr. 44 – Zkoušky 201, rychlost cca 20 km/h, zrychlení na hlavě, komparace dat.

Zkouška 09_00924_301 (28,7 km/h) resp. 09_00924_302 (31,9 km/h) vs. 10_00403_301 (30,6 km/h)

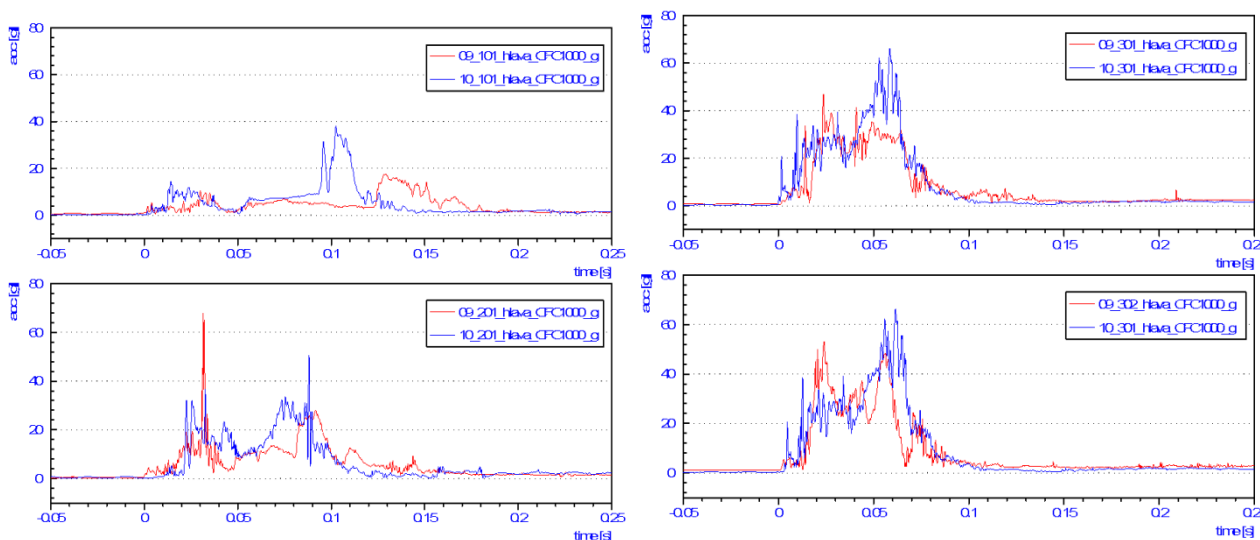


Obr. 45 – Zkoušky a) 301 a b) 302, rychlost cca 30 km/h, zrychlení na hlavě, komparace dat.

Grafy na Obr. 43 až Obr. 45 představují porovnání výsledného zrychlení působícího na hlavu pro jednotlivé zkoušky. Na zvětšenině naměřených hodnot primárního nárazu (viz Obr. 46) je viditelný jemný rozdíl v průběhu zrychlení hlavy při kontaktu s oběma porovnávanými příděmi. Možné odlišnosti z hlediska biomechanického jsou patrné z následující Tab. 9. Pro primární náraz jsou naměřené hodnoty biomechanických kritérií pro hlavu obecně mírně nižší u vozidla Škoda Roomster.

Tab. 9 – Porovnání hodnot naměřených kritérií pro hlavu pro zkoušky z roku 2009 a 2010.

zkouška č.	Primární náraz				Sekundární náraz			
	HPC ₁₅		3ms		HPC ₁₅		3ms	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
	[-]	[-]	[g]	[g]	[-]	[-]	[g]	[g]
101	13,6	58,2	16,1	33,7	251	135,6	71,3	52,8
201	39,0	58,3	26,4	26,1	1107,8	554,8	128,1	49,7
301	75,4	251,3	35,8	46,6	175,7	862,7	53,4	88,7
302	115,2		46,1		84,2		48,5	



Obr. 46 - Porovnání primárního nárazu hlavy pro jednotlivé série zkoušek.

V následující Tab. 10 jsou porovnány hodnoty biomechanických kritérií pro hrudník. Lze konstatovat, že hodnoty biomechanického kritéria a_{3ms} pro primární náraz nebyly překročeny u žádné z provedených zkoušek, zároveň pro nižší kolizní rychlosti je hodnota kritéria mírně nižší pro Škoda Roomster. Křivky porovnávací výslednice zrychlení pro hrudník jsou součástí přílohy 2.

Tab. 10 – Porovnání hodnot naměřených kritérií pro hrudník.

zkouška č.	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a _{3ms}		a _{3ms}	
	2009	2010	2009	2010
	[g]	[g]	[g]	[g]
101	9,5	13,6	22,0	19,3
201	22,2	38,9	35,6	21,7
301	52,0	50,9	71,9	22,9
302	57,1		58,1	

V Tab. 11 jsou porovnány hodnoty maximálního zrychlení působícího na oblast pánve. Kritérium 130 g nebylo v žádné z provedených zkoušek při primárním ani sekundárním nárazu překročeno. Maximální

hodnoty zrychlení jsou při primárním nárazu vyšší u vozidla Škoda Octavia II, to je dáno zejména tím, že pánevní oblast byla u těchto zkoušek v počáteční fázi střetu prvním a jediným místem kontaktu mezi figurínou a přední vozidla. Související průběh zrychlení a jejich porovnání je součástí přílohy 2.

Tab. 11 – Porovnání hodnot naměřených kritérií pro pánev.

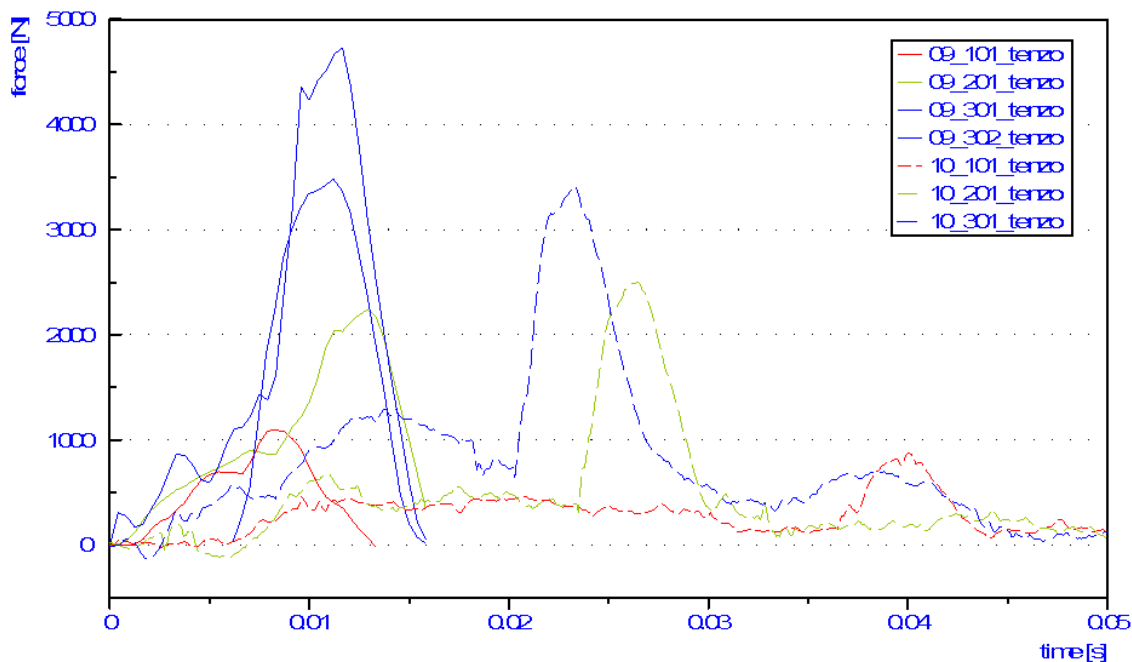
zkouška č.	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a_{max}		a_{max}	
	2009	2010	2009	2010
	[g]	[g]	[g]	[g]
101	38,4	37,1	48,8	36,6
201	41,6	65,9	43,1	44,2
301	57,0	111,4	59,1	39,1
302	81,5		81,5	

Při primárním nárazu nebyla v žádném z provedených testů, v žádném ze sledovaných biomechanických kritérií, překročena jeho limitní hodnota.

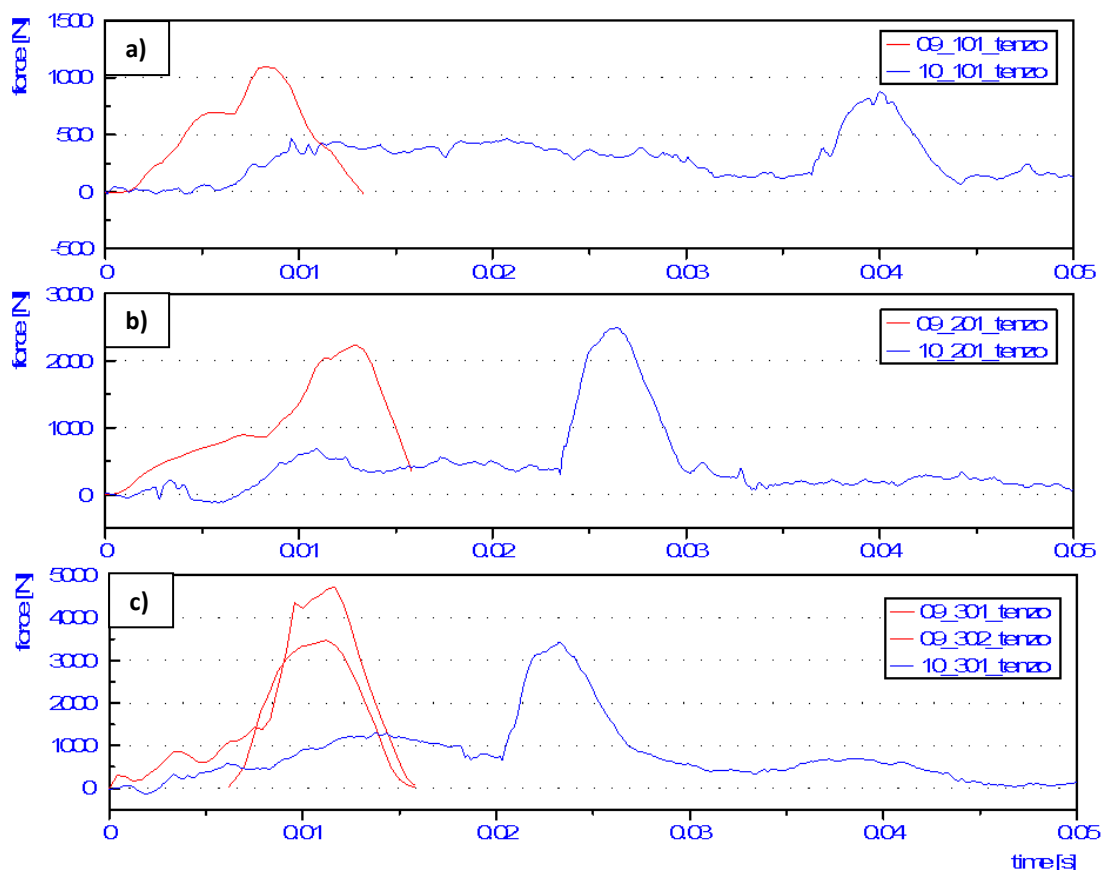
Shrnutí hlavních odlišností:

- **hlava:** obecně hladší průběh zrychlení primárního nárazu u vozidla Škoda Roomster – zejména pro nižší rychlosti, menší hodnoty kritéria HPC i a_{3ms} ,
- **hrudník:** pro nižší kolizní rychlosti příznivější průběh u střetu s vozidlem Škoda Roomster – nižší hodnoty zrychlení,
- **pánev:** zejména pro vyšší kolizní rychlosti je hodnota maximálního zrychlení působícího na pánev při primárním nárazu vyšší pro vozidlo Škoda Octavia II – to je dáno zejména kinematikou nárazu a vzájemným postavením kolizních partnerů.

7.4 Průběh síly působící na stehenní skelet



Obr. 47 – Průběh síly působící na stehenní skelet – porovnání všech provedených zkoušek. Plně Škoda Roomster, čárkovaně Škoda Octavia II. Červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301 resp. 302.



Obr. 48 – Síla působící na stehenní skelet – vzájemné porovnání zkoušek odpovídajících rychlostí: a) zk. 101, b) zk. 201, c) zk. 301 resp. 302.

Tab. 12 – Maximální hodnota síly zatěžující stehenní kost.

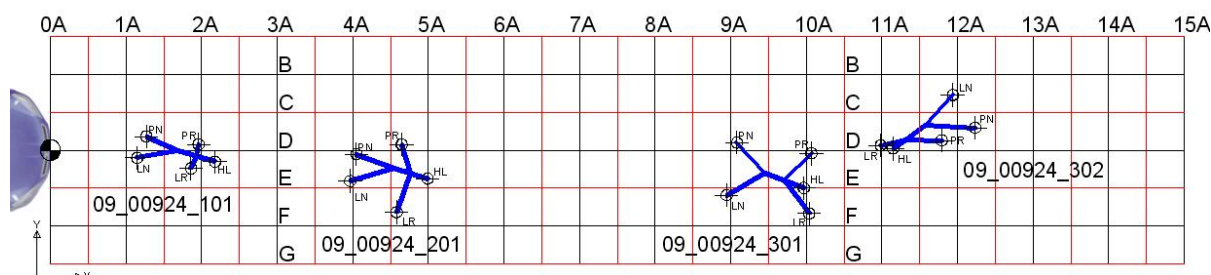
Síla působící na stehenní kost				
zkouška č.	2009		2010	
	rychlost	F_{\max}	rychlost	F_{\max}
	[km/h]	[N]	[km/h]	[N]
101	10,6	1100	12,2	877
201	17,3	2250	22,4	2497
301	28,7	3500	30,6	3418
302	31,9	4750		

Vyšší hodnoty síly působící na stehenní kost vychází převážně pro sérii zkoušek 09_00924 s vozidlem Škoda Roomster. Výsledek lze vysvětlit tím, že stehenní oblast společně s kolenním kloubem, byla v tomto případě místem prvního kontaktu automobilu s figurínou – dětským chodcem. V případě Škody Octavia II byla místem prvního kontaktu oblast pánevní (viz kapitola 7.2 a 7.3).

Z grafů na Obr. 47 a Obr. 48 je patrné fázové posunutí působení zatěžující síly u obou sérií porovnávaných zkoušek, toto je dáno jednak již zmíněným rozdílem kinematiky nárazu obou automobilů, jednak zkouška 09_00924 je zatížena systematickou chybou, která vznikla při synchronizaci signálů z nezávislých měřících zařízení. Tento zdroj chyby byl při měření v roce 2010 odstraněn použitím nových snímačů, závislých na jediné základně a jednotné nule měření.

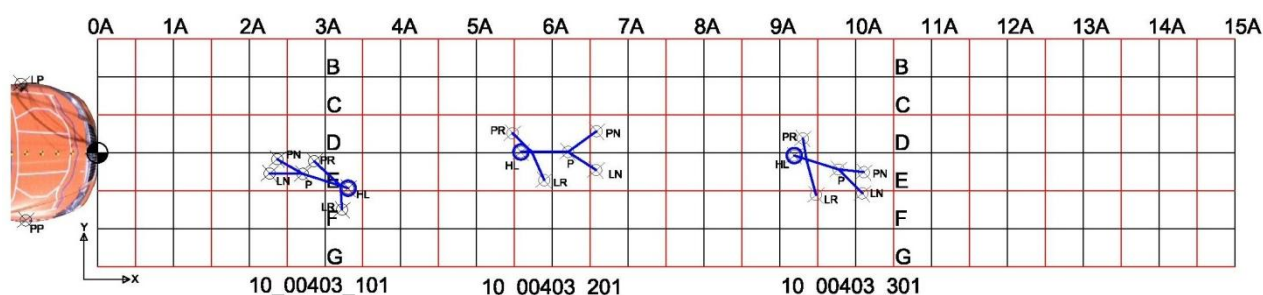
7.5 Srovnání postřetových poloh – dopadové vzdálenosti

7.5.1 Série zkoušek 09_00924_xxx



Obr. 49 – Dopadové vzdálenosti pro sérii zkoušek 09_00924, rok 2009, Škoda Roomster.

7.5.2 Série zkoušek 10_00403_xxx



Obr. 50 - Dopadové vzdálenosti pro sérii zkoušek 10_00403, rok 2010, Škoda Octavia II.

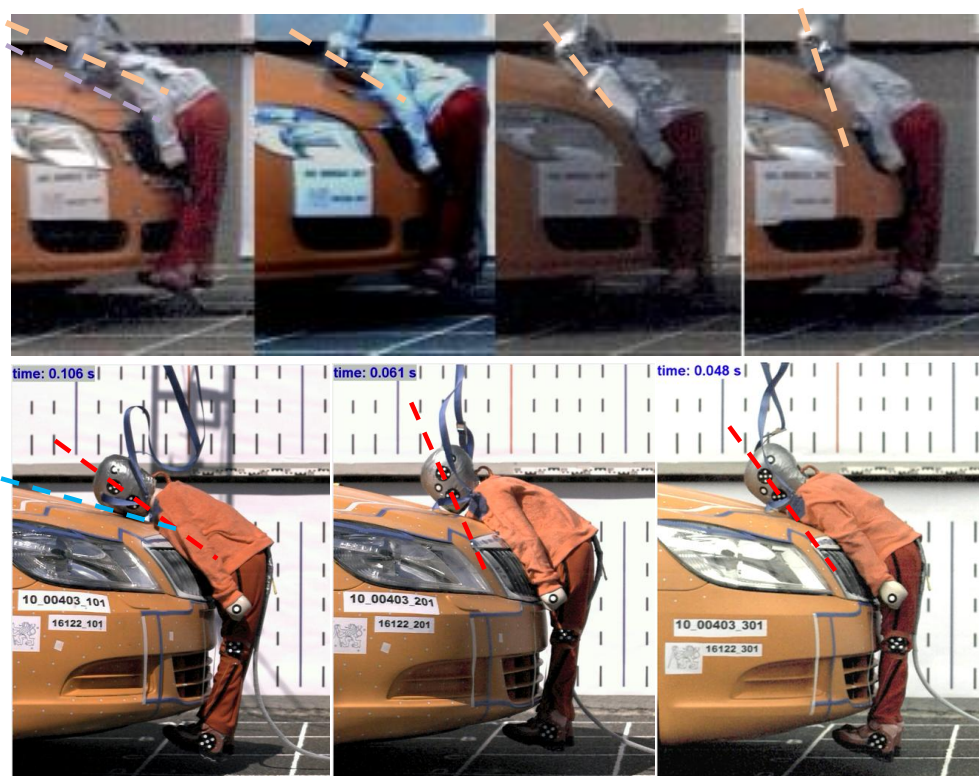
Tab. 13 – Dopadové vzdálenosti pro jednotlivé zkoušky.

zkouška č.	Dopadová vzdálenost			
	2009		2010	
	rychlost [km/h]	vzdálenost [m]	rychlost [km/h]	vzdálenost [m]
101	10,6	1,7	12,2	2,8
201	17,3	4,5	22,4	6,1
301	28,7	9,5	30,6	9,7
302	31,9	11,6		

Postřetová poloha resp. postřetová kinematika figuríny se odvíjí od konfigurace střetu, nárazové rychlosti, tvaru přídě automobilu, biomechanických vlastností figuríny, hodnoty koeficientu tření při následném sunutí po podložce aj. V případě zkoušek z roku 2009 došlo po nárazu při rychlosti okolo 30 km/h k úplnému přetočení figuríny kolem osy y a následně ke kontaktu s vozovkou v oblasti hlavy (sekundární náraz). U zkoušek z roku 2010 se po střetu dostaly nohy nad úroveň ramen a hlavy již v rychlosti okolo 20 km/h. K úplnému přetočení však nedošlo a to ani při rychlosti vyšší – okolo 30 km/h. I v těchto případech však došlo při následném sekundárním nárazu nejprve ke kontaktu hlavy s vozovkou.

Shodně jako v kapitole 5.2 jsou dopadové vzdálenosti měřeny k předpokládanému těžišti figuríny, hodnoty jsou zaokrouhleny na desetinu metru. Porovnání je možné z Obr. 49, Obr. 50 a Tab. 13.

7.6 Srovnání úhlu kontaktu mezi kapotou a hlavou figuríny



Obr. 51 – Srovnání úhlu kontaktu mezi vozidly a dětskou figurínou P6.

Figurína není primárně určena pro zkoušky v poloze vzpřímené, krční páteř není instrumentována, kalibrace hlavy je shodná jako pro zkoušky dětských zadržných systémů. Z těchto důvodů se dá usuzovat pouze na hlavní tendence, nikoli na konkrétní závěry. Poloha kontaktu hlavy s kapotou (za dané konfigurace střetu) je závislá především na rychlosti automobilu, na tvaru přídě, momentu setrvačnosti figuríny a biomechanické věrnosti krční páteře – resp. tuhosti upevnění (předpokladem je správná kalibrace figuríny u všech zkoušek). Pro vyšší rychlosti je hyperextenze krční páteře vyšší, roste zrychlení v ose z – figurína dopadá „na bradu“. Srovnání viz Obr. 51.

8 Prostorová digitalizace poškození – zkoušky 10_00403

8.1 Úvod do problematiky 3D skenování

Prostorové skenování je proces digitalizace směřující k matematickému, virtuálnímu a přesnému vyjádření reality. Jedná se o digitalizační metodu, která dokáže efektivně zaznamenat objemové těleso nebo prostor. Získaná data lze upravovat a zpracovávat dle požadavků aplikace. Historicky se tato metoda zrodila z metody pozemní blízké fotogrammetrie a digitálního zpracování obrazu. Dnes se této metody používá nejvíce pro inspekci, rekonstrukci 3D z fyzického předmětu či virtuálně, povrchovou kontrolu nebo pro rychlou výrobu prototypů. Nejvíce se používá pro získání přesných dat, rozměrů objektů a ke kontrole v automatizovaných provozech.

Obory využívající 3D skenery seřazené dle četnosti použití jsou: strojírenství, stavebnictví, design, archeologie a historie, lékařství, kriminalistika a další.

Prostorová digitalizace je založena na zařízení (3D skeneru) a programovém vybavení (softwaru). Výsledkem prostorové digitalizace je „mračno bodů“, kdy každý z mnoha bodů (v řádech miliónů) je odměřen od stanoviště, pozice 3D skeneru. Způsobem odměření (dotykem, lineárně, triangulací, pruhovou projekcí apod.) se dělí prostorové skenery do jednotlivých kategorií. Dále se dělí dle toho, jakou metodu využívají k získání již zmiňovaných bodů. Existuje mnoho přístupů a každý výrobce preferuje jiný způsob. Obecně lze rozdělit 3D skenery na destruktivní a nedestruktivní, dotykové či bezdotykové. Další dělení může být na skenery stacionární či mobilní, dle toho, zda se digitalizovaný objekt musí transportovat ke skeneru či naopak.

V přípravné fázi samotného cash testu se vycházelo ze zkušeností, které byly získány při předchozím testu s automobilem Škoda Roomster. Při testu v roce 2009 však byly zaznamenány destruované části pouze fotograficky. Chyběla tedy přesná informace například o hloubce a velikosti destrukce a nebyly odhaleny změny částí, dílů automobilu, jako například posun, pootočení kapoty. Prostorovým skenerem, který byl použit jako digitalizační prostředek, se tyto změny projeví a staly se viditelnými. Nároky kladené na prostorový skener byly:

- mobilita a velikost zařízení,
- rychlost skenování (max. 15 minut na jedno skenování po testu),
- přesnost skenování (v setinách milimetru),
- spolehlivost zařízení a kvalita získaných dat,
- nemožnost nebo jen částečná možnost dotyku s testovaným automobilem (vysoká pružnost dílů - při dotyku by mohlo dojít k narovnání destruované části do původní polohy dílu),
- použití venku i za snížených světelných podmínek,
- možnost přerušování skenování, změna pozice automobilu (například kvůli dešti) a pokračování skenování v jiných podmínkách,
- jednoduchost a nižší nároky na proces skenování a registraci skenů vzájemně na sebe,
- relativní jednoduchost při zpracování dat,
- okamžitá vizualizace výsledku (3D skenu) na místě skenování (kvůli kontrole),
- další faktory.

Vzhledem k těmto faktorům byl vybrán systém od výrobce CreaForm, řada samopolohovacích 3D skenerů HandyScan typ MAXScan. Toto zařízení zapůjčil autorizovaný distributor tohoto výrobce pro Českou a Slovenskou republiku, společnost SolidVision s.r.o. Jedná se o nedestruktivní, bezdotykový, samopolohovací, kombinovaný laserový a optický 3D skener, který je určen pro skenování velkých dílů s přesností 20 μm + 25 $\mu\text{m}/\text{m}$. MAXscan™ je laserový skener určený pro reverzní inženýrství, návrh designu a 3D kontrolu velkých modelů. Samopolohovací laserový skener nabízí kombinaci laserového snímání a fotogrammetrie.

HandyScan 3D jsou laserové skenery, které umožňují vzájemný pohyb skeneru a tělesa během snímání. S testovaným automobilem mohlo být tedy v průběhu skenování manipulováno (otevírání dveří, příprava snímačů atd.). Skener identifikuje poziční značky na tělese a pomocí dvou kamer snímá laserový kříž, který na těleso promítá. Na počítači se v reálném čase zobrazuje obraz snímání, těleso, laserový kříž a automaticky se generuje polygonová síť. Skener dokáže pracovat v rozdílných světelných podmínkách, nepotřebuje zakrývat objekt jako optické skenery a je také mnohem přesnější, neboť generovaná polygonová síť se vytváří na základě křivosti zobrazovaného laserového kříže v průběhu skenování, nikoliv

na základě kontrastu černá-bílá a optickým digitálním zpracováním obrazu po skenování, jako u optických skenerů.

8.2 Skenování při crash testu

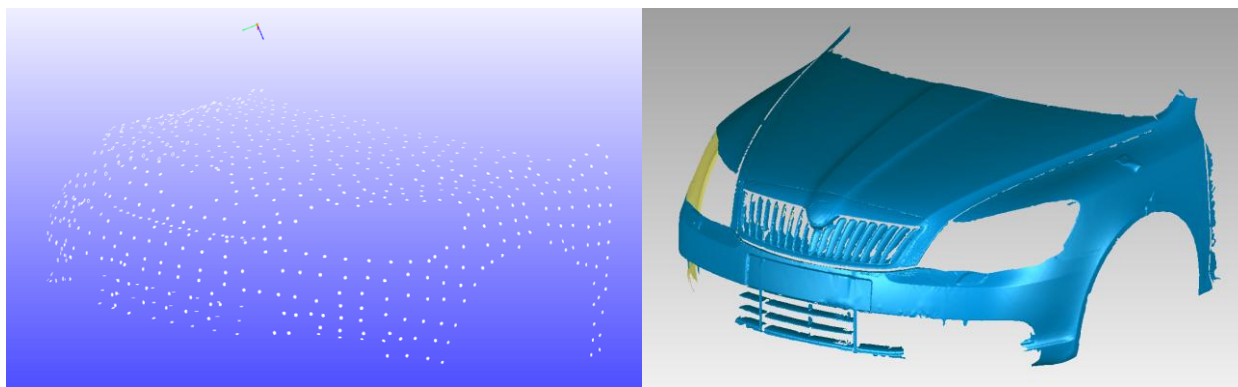
Samotná příprava pro skenování systémem HandyScan MAXScan spočívala v nanesení sítě reflexních bodů na všechny díly, u kterých se předpokládalo, že budou v kontaktu s biomechanickou figurínou a budou se měnit v průběhu testu (viz Obr. 52). Jednalo se především o kapotu, masku a přední nárazník. Dále byly nanесeny reflexní body na oba přední boky, blatníky. Tyto body byly využity k přesnému pozicování náhradních dílů vůči neměnné karosérii auta, ze kterých se vždy při pozicování vycházelo.

Prvotním skenováním bylo zjištěno, že díly volně ložené, umístěné mimo svou polohu na autě, vykazují značnou odchylku, deformaci, nebylo tedy možné si připravit dopředu jejich skeny bez deformace. Umístěním dílů a jejich polohováním na karosérii auta došlo nejen k jejich výraznému zpevnění, ale také změně tvarových dispozic. Byl tedy zvolen scénář skenovat díly umístěné na automobilu těsně před crash testem a ihned po něm, a vyloučit tak možné deformace mající jinou příčinu, než kontakt s biomechanickou figurínou.



Obr. 52 – Vlevo: plastový nárazník s reflexními pozičními značkami, vpravo: automobil se sítí pozičních reflexních značek a s magnetickými kódovanými fotogrammetrickými terčíky. Dále jsou použity kódované výtyčky a souřadnicový poziční kříž.

Zvolený systém HandyScan MaxScan umožnil díky způsobu skenování vždy začínat na známých bodech – reflexních referenčních značkách na bocích a poté skenovat neznámou oblast. Vzhledem k tomu, že skener na základě značek získává svou přesnou polohu, je snímání značek přesné. K reflexním značkám se přidají fotogrammetrické kódované značky, terče, na základě kterých při automatickém zpracování systém dokáže určit pozici skeneru a umí vypočítat fotogrammetricky polohu reflexních bodů nalepených na objektu. Oproti samotnému skenování bodů se fotogrammetricky získává mnohem více bodů ve zkráceném čase, což má za následek také vyšší přesnost zaznamenání těchto reflexních značek (Obr. 53).



Obr. 53 – Vlevo: fotogrammetricky zaznamenané a vytvořené reflexní značky v prostoru, vpravo: prostorový sken přední části automobilu před testem – polygonová síť.

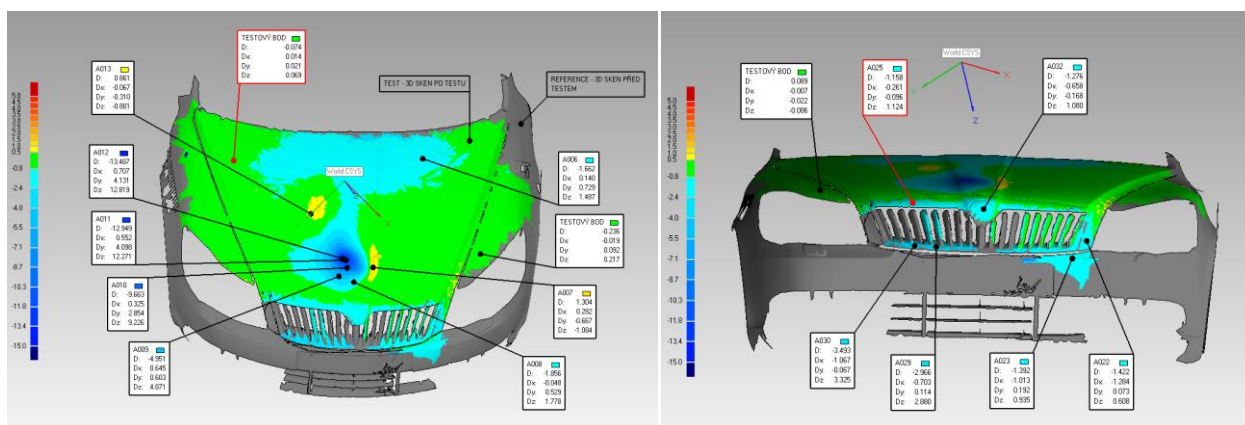
8.3 Vyhodnocení – Postprocessing

Vyhodnocení prostorových dat bylo prováděno v programech VXScan a VXElements, Geomagic Studio 12 a Geomagic Qualify 12, Rapidform XOR3 a produktech společnosti Autodesk. Některé z těchto programů zapůjčila společnost SolidVision s.r.o.

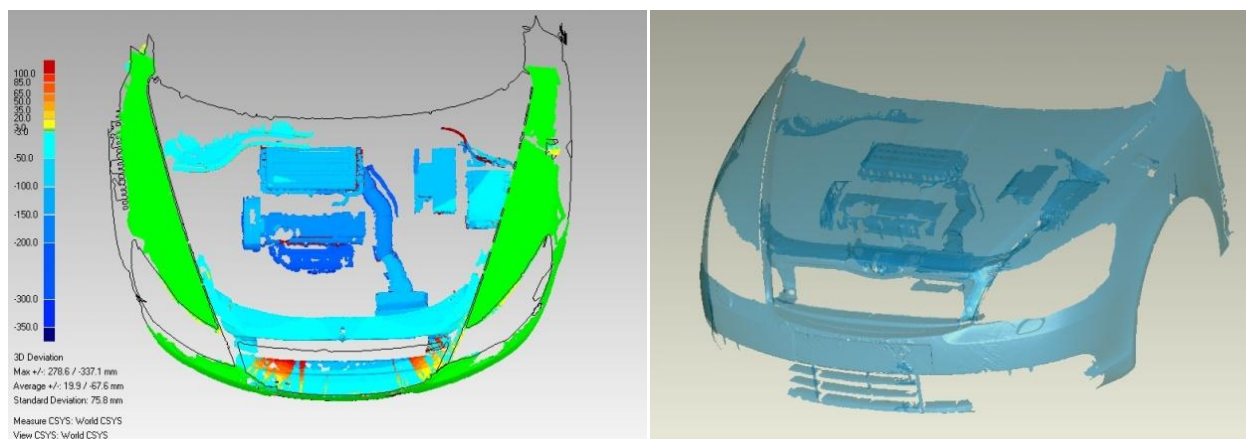
Vzhledem ke zvolené metodice, skenování jednoho dílu před testem a po testu se stejnými reflexními značkami, bylo usnadněno a zkvalitněno porovnávání. Díly se na sebe nemusely pozicovat. Obvykle vzniká tento problém u jiných systémů a vnáší se do výsledku značná odchylka.

3D analýza spočívá v komparaci povrchů. Nastavením referenčního objektu, v tomto případě to byl vždy sken získaný před každou zkouškou, a testovacího objektu (v tomto případě se jednalo vždy o prostorový sken po testu = s deformací), lze jednoduše komparovat. Vyhodnocovací program na každém z objektů zvolí stejné množství bodů a tyto pak porovnává. Výstupem je barevná mapa odchylek na modelu v prostoru. Tyto mapy byly exportovány do 3D PDF.

V rámci vyhodnocení byly vytvořeny anotace a 2D řezy protínající oblast deformace. Na anotacích je viditelná celková odchylka D , která je dána prostorovými odchylkami D_x , D_y , D_z . Anotace je nastavena tak, aby na svém počátku průměrovala hodnoty v oblasti s poloměrem 0,5 mm (viz Obr. 54).

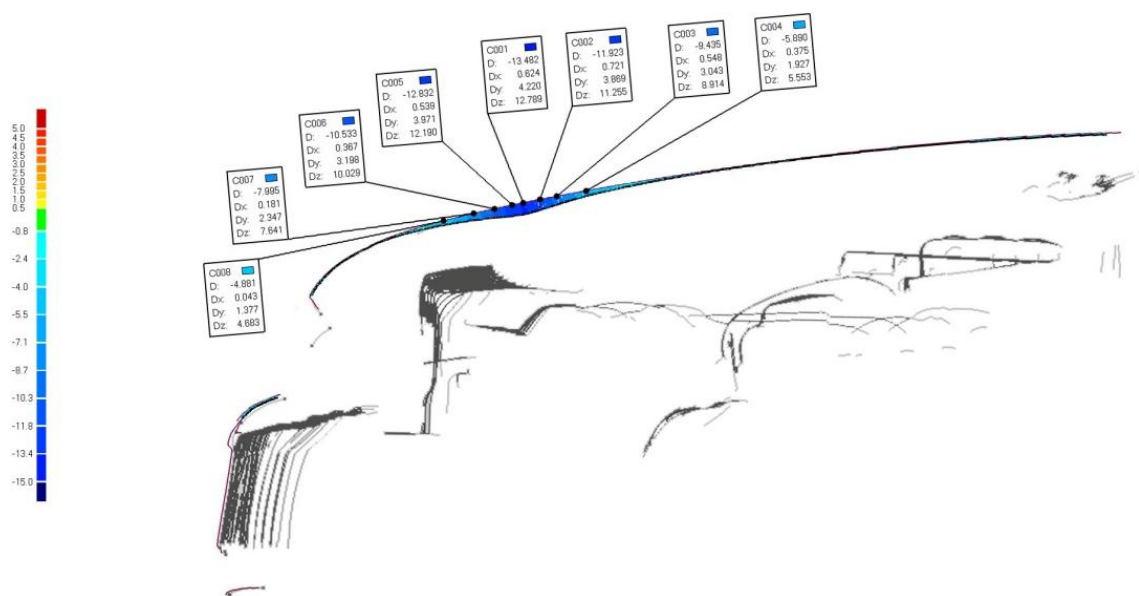


Obr. 54 – Deformační mapa s anotacemi – vrchní a čelní pohled na kapotu automobilu po zkoušce 101 (12,2 km/h).

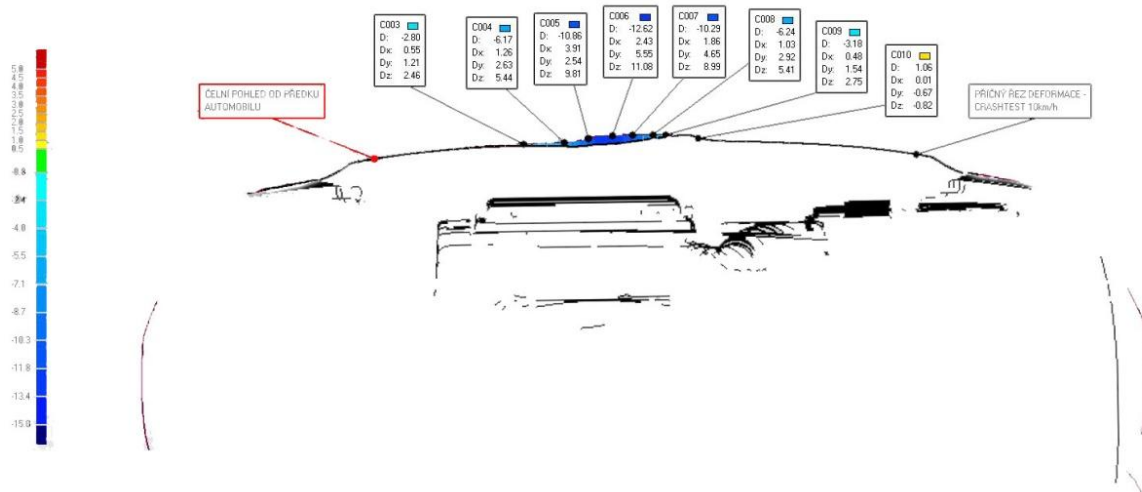


Obr. 55 - Naskenovaná motorová část a sjednocení skenů motorové části a skenů kapoty bez poškození.

Z důvodu zjištění velikosti volného prostoru pod kapotou a tedy možnosti kontaktu s částí motoru při extrémní deformaci, byl naskenován také samotný motorový prostor (Obr. 55). Při pozicování se opět vycházelo ze známých (stálých) reflexních bodů na boku automobilu. Pozn.: v řezu na Obr. 56 a Obr. 57 je srovnána pouze povrchová linie kapoty a povrchové linie částí motorového prostoru (pro větší přehlednost bylo provedeno více řezů motorového prostoru). Viditelný prostor mezi kapotou a motorovým prostorem je ve skutečnosti zmenšen o tloušťku plechu kapoty a tloušťku profilovaných výztuh kapoty.



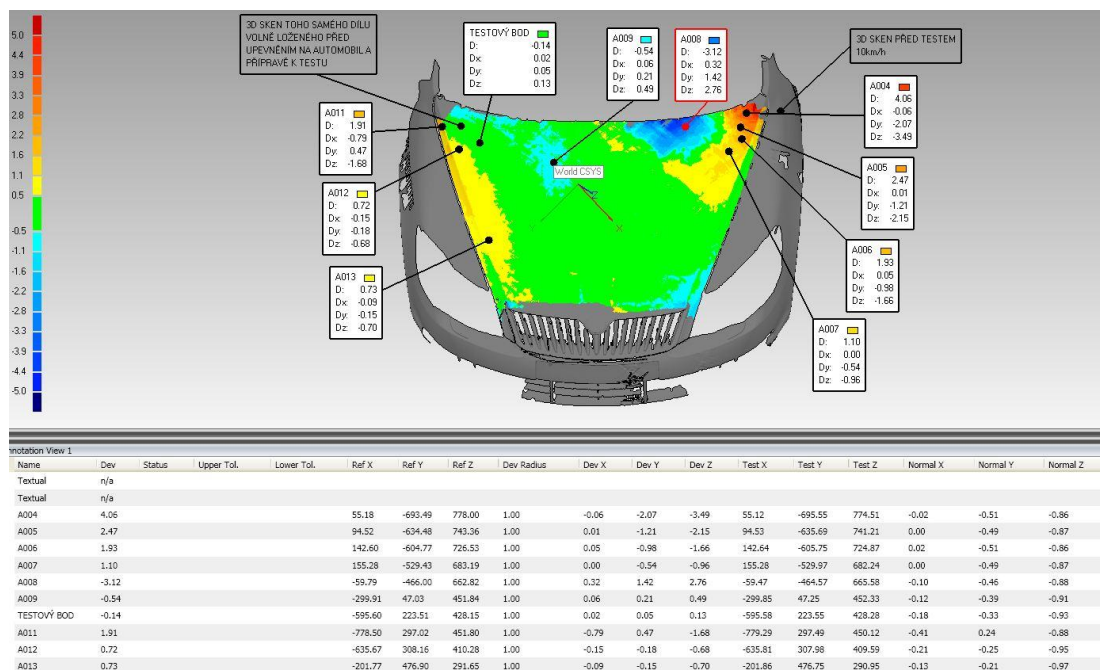
Obr. 56 – Řez kapotou automobilu a motorovým prostorem – boční pohled. Zkouška 101 (12,2 km/h).



Obr. 57 - Řez kapotou automobilu a motorovým prostorem – čelní pohled. Zkouška 101 (12,2 km/h).

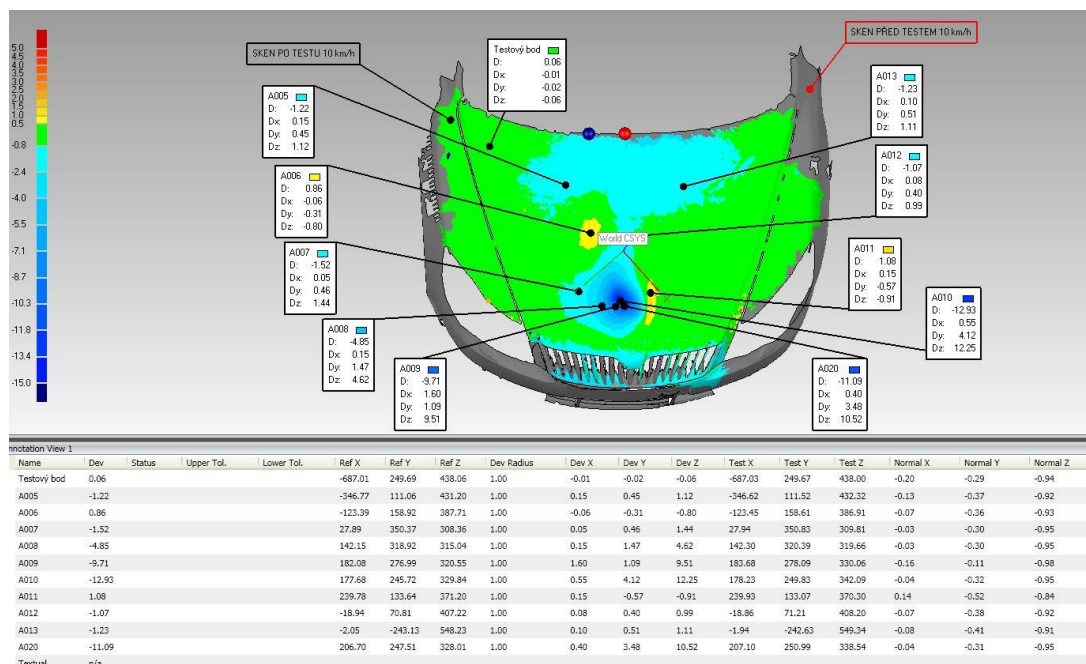
8.4 Výsledky měření

Na Obr. 58 je komparován volně ložený a řádně upevněný díl kapoty automobilu. Z důvodu přesnosti měření a zachycení pouze těch deformací, které vznikly vlivem kontaktu s figurínou, bylo nutno provést před každou zkouškou sken každého dílu v řádně upevněném stavu zvlášť a měření opakovat po provedené zkoušce.



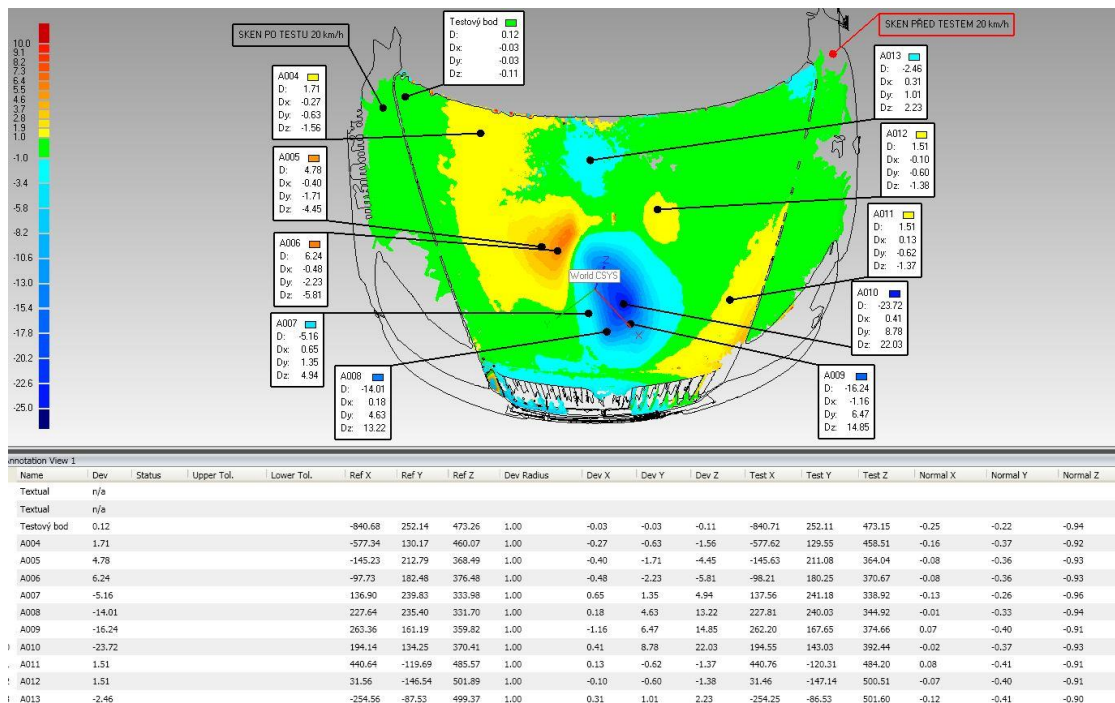
Obr. 58 – Komparace volně loženého dílu kapoty a dílu řádně upevněného. Mapa vyznačující polohové rozdíly.

Po komparaci a vyhodnocení skenů z testu 101 (12,2 km/h) bylo zjištěno, že nárazem biomechanické figuríny došlo v místě kontaktu hlavy s kapotou k plastické deformaci kapoty o 13,2 mm (průhyb), zadní centrální část kapoty se podél osy x automobilu prohnula průměrně o 1,5 mm. Místo kontaktu hlavy figuríny představuje tmavě modré místo na deformační mapě (Obr. 59).



Obr. 59 - Prostorová analýza a deformační mapa pro zkoušku 101, 12,2 km/h.

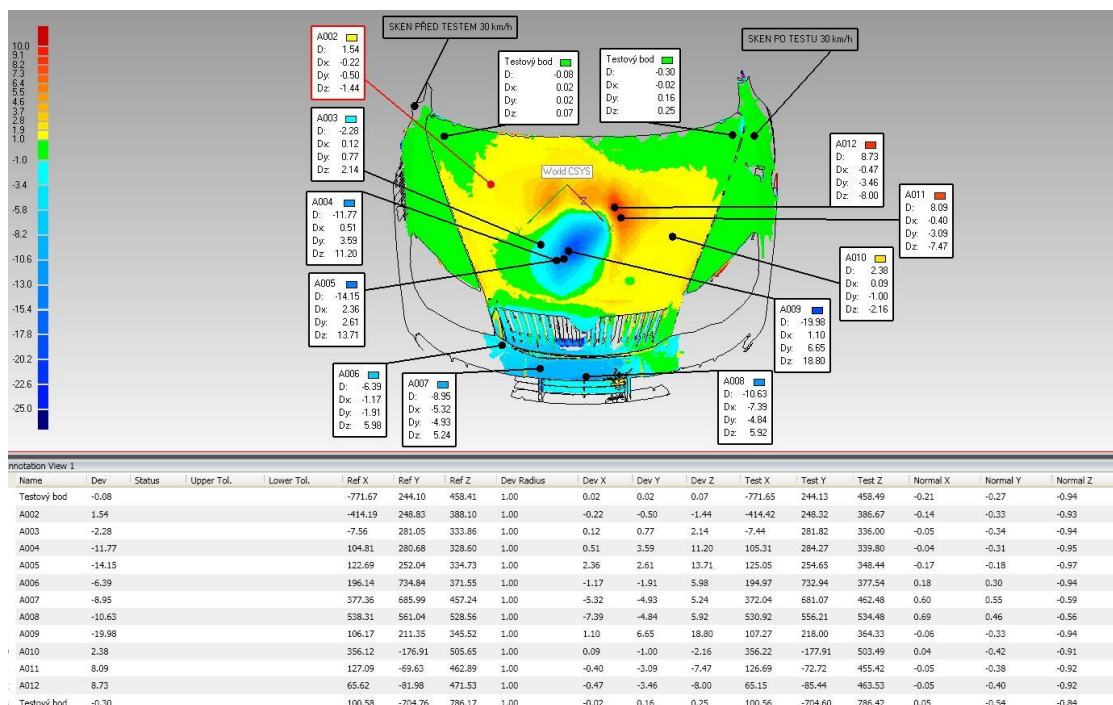
Po komparaci a vyhodnocení skenů z testu 201 (22,4 km/h) bylo zjištěno, že nárazem biomechanické figuríny došlo v místě kontaktu hlavy s kapotou k plastické deformaci (průhybu) kapoty o 23,7 mm a zároveň ke zdvihu části kapoty o 6,7 mm, vznik vlny. Místo kontaktu hlavy figuríny představuje tmavě modré místo na deformační mapě, červeně znázorněna vypuklá část (Obr. 60).



Obr. 60 - Prostorová analýza a deformační mapa pro zkoušku 201, 22,4 km/h.

Po komparaci a vyhodnocení skenů z testu 301 (30,6 km/h) bylo zjištěno, že nárazem biomechanické figuríny došlo v místě kontaktu hlavy s kapotou k plastické deformaci (průhybu) kapoty o 20 mm a zároveň

došlo ke zdvihu části kapoty o +8,8 mm, vznik výrazné vlny. Na deformační mapě je zřetelně viditelné místo kontaktu hlavy figuríny i vektor působící síly. Červeně výrazná vypuklá část (Obr. 61).



Obr. 61 - Prostorová analýza a deformační mapa pro zkoušku 301, 30,6 km/h.

9 Závěr

Fakulta dopravní ČVUT v Praze provedla v pořadí již druhou sérii dynamických zkoušek střetu osobního automobilu M1 s dětskou figurínou P6. Kolizním partnerem bylo vozidlo Škoda Octavia II. Obsahem této zprávy je jednak shrnutí a vyhodnocení výsledků provedených měření z roku 2010 (kapitola 3 až 6 a kapitola 8), a dále srovnání provedených zkoušek z roku 2009 (automobil Škoda Roomster) se zkouškami z roku 2010 (automobil Škoda Octavia II) – kapitola 7. Konkrétní závěry a hodnocení jsou uvedeny v příslušných kapitolách.

Z výsledků zkoušek vyplývá, kromě nutnosti zaměřen se na silové působení na dolní končetiny, i nutnost sledovat momenty a zrychlení působící na krční páteř chodce – zejména z důvodů analýzy závažnosti sekundárního nárazu. Jedná se o komplexní problematiku, která si žádá dalšího zkoumání.

Partneři zkoušky



(MSM6840770043)



Czech



Příloha 1 - Biomechanická kritéria – přehledové tabulky

Hlava

		HLAVA																	
zkouška č.	Primární náraz										Sekundární náraz								
	HPC ₁₅			HPC			a _{max}		a _{3ms}		HPC ₁₅			a _{max}		a _{3ms}			
	[-]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[-]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[-]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]
101	58,2	110,3	125,3	61,9	109,9	127,2	38,1	117,5	33,7	117,0	120,1	135,6	1018,7	1027,1	59,7	1023,5	52,8	1021,6	1025,0
201	58,3	73,5	88,5	108,5	21,8	99,2	50,7	88,2	26,1	75,0	78,0	554,8	609,0	610,8	305,0	609,9	49,7	607,0	611,1
301	251,3	62,0	77,0	346,4	25,5	79,3	66,3	71,4	46,6	65,0	68,0	862,7	662,1	668,1	184,0	663,0	88,7	664,2	667,2

		HLAVA													
zkouška č.	rychlost	Primární náraz								Sekundární náraz					
		HPC ₁₅		HPC		a _{max}		a _{3ms}		HPC ₁₅		a _{max}		a _{3ms}	
		[km/h]	[-]	limit	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[-]	limit	[g]	limit	[g]
101	12,2	58,2	1000	61,9	1000	38,1	-	33,7	80	135,6	1000	59,7	-	52,8	80
201	22,4	58,3	1000	108,5	1000	50,7	-	26,1	80	554,8	1000	305,0	-	49,7	80
301	30,6	251,3	1000	346,4	1000	66,3	-	46,6	80	862,7	1000	184,0	-	88,7	80

Hrudník

		HRUDNÍK									
zkouška č.	Primární náraz					Sekundární náraz					
	a _{max}		a _{3ms}			a _{max}		a _{3ms}			
	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	
101	28,4	29,8	13,6	28,3	31,3	37,6	932,5	19,3	1029,0	1032,0	
201	53,2	32,7	38,9	32,0	35,0	33,3	551,5	21,7	638,9	641,9	
301	61,4	23,7	50,9	32,2	35,2	33,6	891,2	22,9	685,8	689,7	

		HRUDNÍK							
zkouška č.	rychlost	Primární náraz				Sekundární náraz			
		a _{max}		a _{3ms}		a _{max}		a _{3ms}	
		[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	28,4	-	13,6	60/55	37,6	-	19,3	60/55
201	22,4	53,2	-	38,9	60/55	33,3	-	21,7	60/55
301	30,6	61,4	-	50,9	60/55	33,6	-	22,9	60/55

Pánev

		PÁNEV								
zkouška č.	Primární náraz					Sekundární náraz				
	a _{max}		a _{3ms}			a _{max}		a _{3ms}		
	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]
101	37,1	27,5	26,9	25,6	28,6	36,6	682,4	23,9	686,2	690,0
201	65,9	13,0	39,4	20,2	24,3	44,2	840,7	29,1	848,1	851,1
301	111,4	4,7	65,2	3,7	6,7	39,1	891,2	20,8	945,0	949,4

		PÁNEV							
zkouška č.	rychlost [km/h]	Primární náraz				Sekundární náraz			
		a _{max}		a _{3ms}		a _{max}		a _{3ms}	
		[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	37,1	130	26,9	-	36,6	130	23,9	-
201	22,4	65,9	130	39,4	-	44,2	130	29,1	-
301	30,6	111,4	130	65,2	-	39,1	130	20,8	-

Koleno

		KOLENO						KOLENO			
zkouška č.	Primární náraz		Sekundár. náraz		zkouška č.	Primární náraz		Sekundár. náraz			
	a _{max}		a _{max}			a _{max}		a _{max}			
	[g]	t [ms]	[g]	t [ms]		[g]	limit	[g]	limit		
101	74,6	52,9	50,5	680,0	101	74,6	170	50,5	170		
201	186,8	33,3	96,0	835,7	201	186,8	170	96,0	170		
301	210,4	24,1	54,2	890,6	301	210,4	170	54,2	170		

Zatížení stehenní kosti – síla působící na ohyb

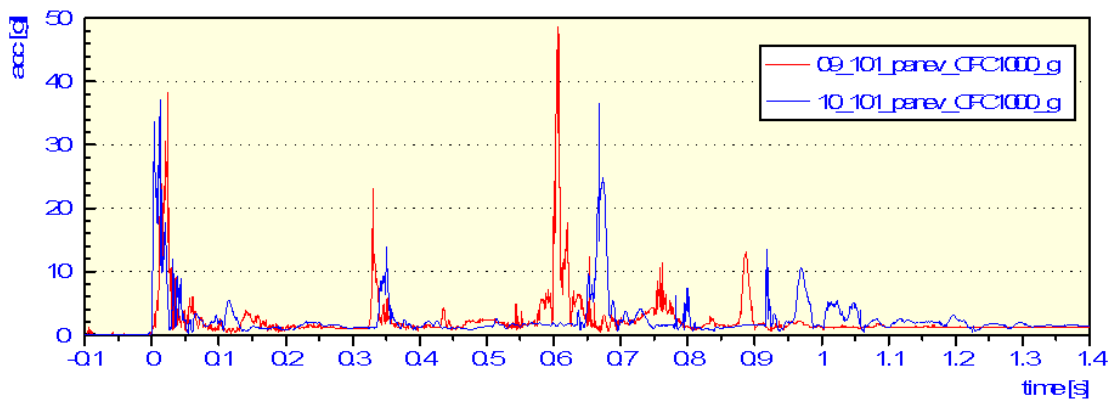
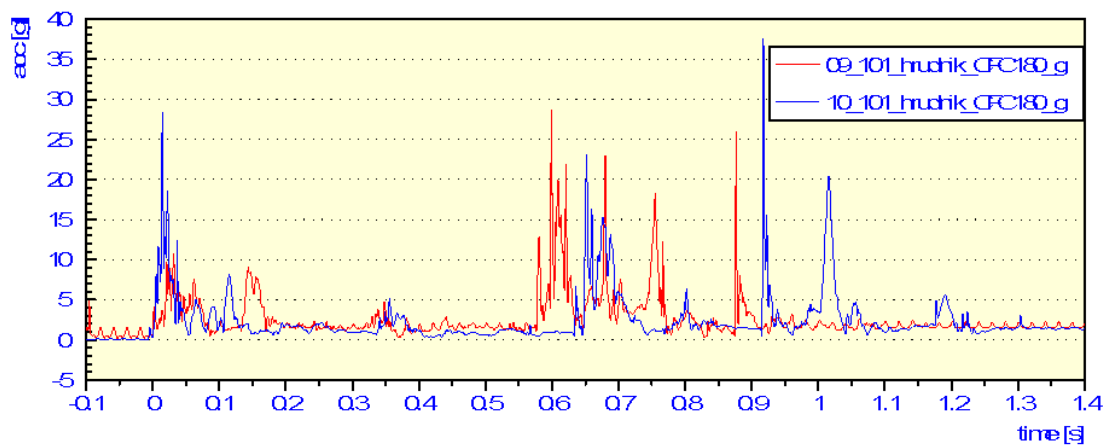
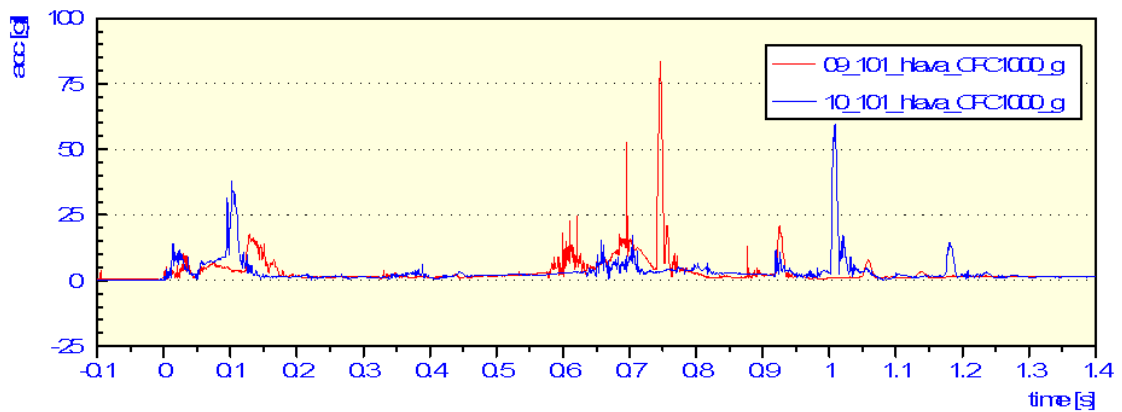
		Průběh síly	
zkouška č.	Primární náraz		
	a _{max}		
	[N]	t [ms]	
101	877	55,0	
201	2497	35,5	
301	3418	26,2	

Příloha 2 – Porovnání sérií testů

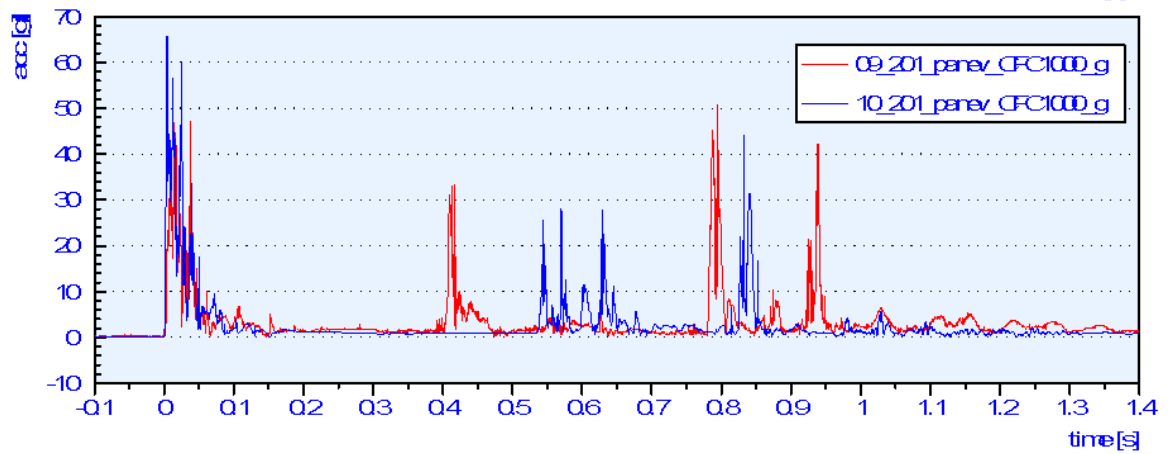
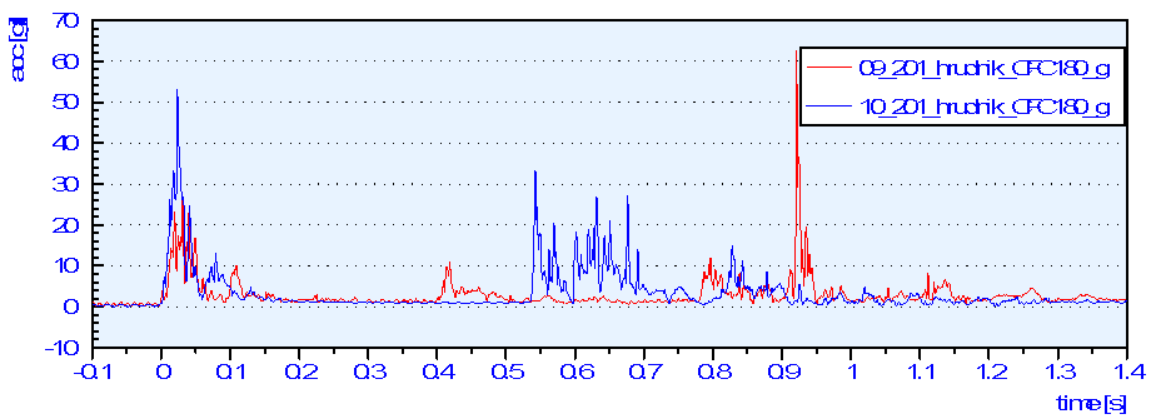
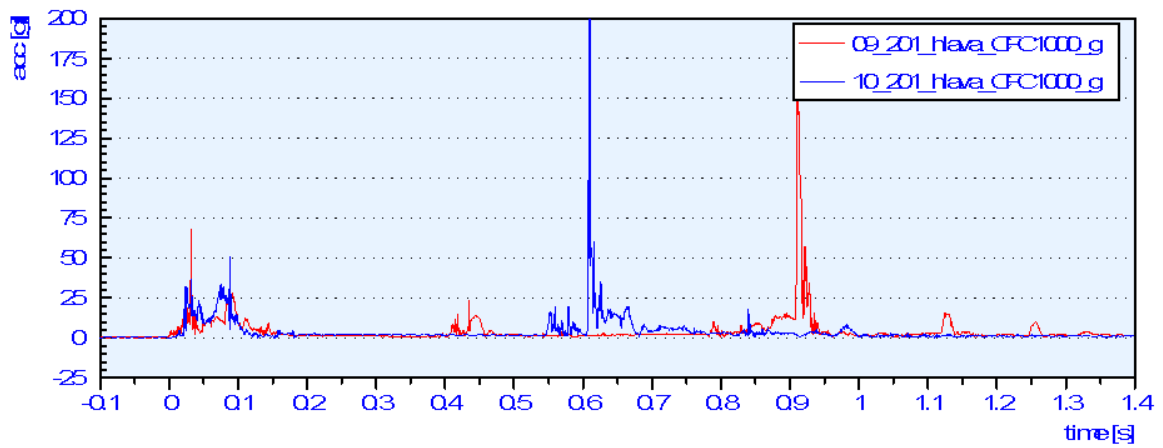
Grafy pro jednotlivé zkoušky znázorněny v pořadí:

- zrychlení na hlavě figuríny,
- zrychlení na hrudníku
- zrychlení v oblasti pánve.

Zkouška 09_00924_101 (10,6 km/h) vs. 10_00403_101 (12,2 km/h)



Zkouška 09_00924_201 (17,3 km/h) vs. 10_00403_201 (22,4 km/h)



Zkouška 09_00924_301 (28,7 km/h) resp. 09_00924_302 (31,9 km/h) vs. 10_00403_301 (30,6 km/h)

