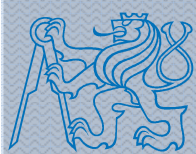


2011

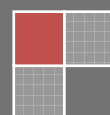


ČVUT v Praze
Fakulta dopravní

SÉRIE DYNAMICKÝCH ZKOUŠEK STŘETU OSOBNÍHO AUTOMOBILU S DĚTSKÝM CHODCEM

Závěrečná zpráva 2011

Ústav soudního znelectví v dopravě, k622
Horská 3, 128 03 Praha 2
Listopad 2011



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	6
3.2.1	Figurína P6	6
3.2.2	Automobil kategorie M1.....	7
3.3	Další snímané veličiny a přístrojové vybavení	8
3.3.1	Reálná rychlost vozidla, dynamika vozidla	8
3.3.2	Obrazový záznam.....	8
3.3.3	Postřetová dokumentace	9
3.4	Průběh experimentu.....	10
3.4.1	Test 11_00854_101, střetová rychlost 10,1 km/h.....	10
3.4.2	Test 11_00854_201, střetová rychlost 20,0 km/h.....	13
3.4.3	Test 11_00854_301, střetová rychlost 28,8 km/h.....	16
4	Výsledky.....	19
4.1	Hodnoty biomechanických kritérií.....	19
4.1.1	Kritérium poranění hlavy HPC	19
4.1.2	Kritérium poranění 3ms – hlava	19
4.1.3	Kritérium poranění 3ms – hrudník	21
4.1.4	Kritérium poranění a_{max} – pánev.....	22
4.1.5	Kritérium poranění stehenní kosti – síla působící na ohyb	23
4.1.6	Kritérium zrychlení kolena.....	25
5	Porovnání jednotlivých zkoušek	26
5.1	Konečná poloha objektů.....	26
5.2	Síla působící na stehenní kost vs. zrychlení působící na koleno.....	26
6	Diskuze výsledků zkoušek 11_00854.....	27
6.1	Poranění hlavy	27
6.2	Poranění hrudníku	28
6.3	Poranění pánevní oblasti	28

6.4	Poranění kolena.....	28
6.5	Síla působící na stehenní kost.....	28
6.6	Shrnutí	28
7	Porovnání sérií testů (rok 2009 až 2011)	29
7.1	Vstupní podmínky.....	29
7.2	Porovnání konfigurace střetu	29
7.3	Grafické porovnání průběhu zrychlení	31
7.4	Průběh síly působící na stehenní skelet.....	35
7.5	Srovnání postřetových poloh – dopadové vzdálenosti	37
7.5.1	Série zkoušek 09_00924_xxx	37
7.5.2	Série zkoušek 10_00403_xxx	37
7.5.3	Série zkoušek 11_00854_xxx	37
8	Závěr.....	38
	Příloha 1 - Biomechanická kritéria – přehledové tabulky	40
	Příloha 2 – Porovnání sérií testů	42
	Příloha 3 - Škála hodnocení závažnosti poranění - Abbreviated Injury Scale (AIS)	45

2 Úvod

Bezpečnost chodců je v současné době jedním z významných kritérií pro hodnocení bezpečnosti vozidel. Homologační předpisy jsou založeny na testování přídi 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 třetí 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 přídi vozidla včetně poškození. Na upravené dětské figuríně typu P6 byla sledována, obdobně jako v předcházejících sériích testů v roce 2009 a 2010, výsledná zrychlení hlavy, hrudníku, pánve a zrychlení kolenního kloubu v sagitální rovině. 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 předcházejících experimentů:

- a) kolize automobilu kategorie M1,
- 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 a Obr. 2),
- d) nominální rychlosti nárazu 10, 20, 30 km/h,
- e) vozidlo brzděno s počátkem v okamžiku nárazu.



Obr. 1 – počáteční pozice figuríny čelem k přijíždějícímu vozidlu



Obr. 2 – figurína P6 a automobil Škoda Yeti – porovnání střetové konfigurace při postupném nastrojení automobilu.

3.1.2 Lokální podmínky experimentu

Experiment proveden dne 5. 7. 2011 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. 3),
- projekční rastr po 0,5 m resp. 0,1 m na pozadí děje (viz Obr. 3).

Klimatické podmínky

- teplota: 19°C
- vítr: 0 – 5 m/s
- sucho (relativní vlhkost nezjištěna),
- světelné podmínky neměřeny.



Obr. 3 – rastr na vozovce a projekční rastr na pozadí děje.

3.2 Kolizní partneři

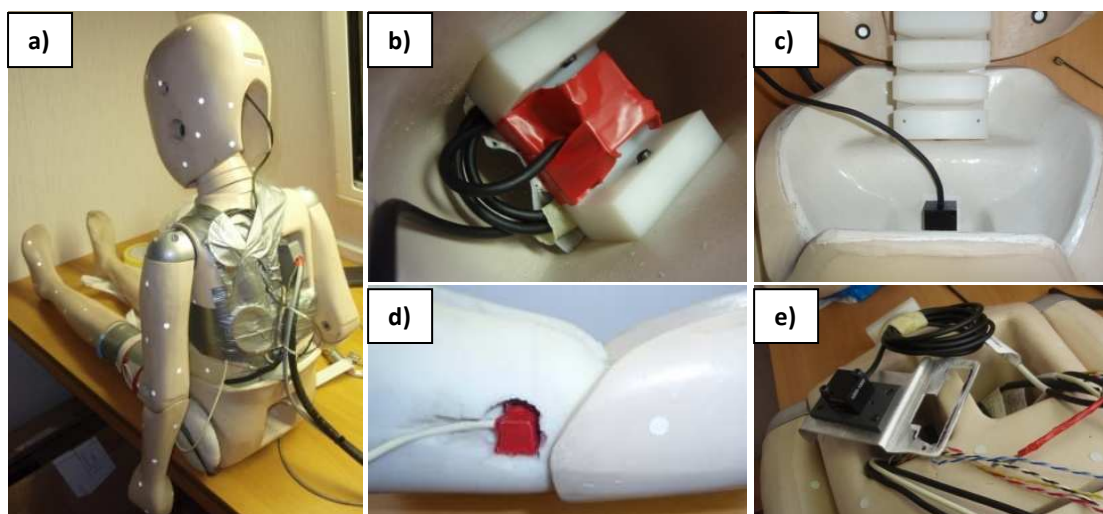
3.2.1 Figurína P6

- 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, triko s dlouhým rukávem, hlava obalena ochrannou adhezní páskou,
- figurína kalibrována před každou zkouškou dle manuálu.

Instrumentace figuríny (Obr. 4)

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

Snímače (Obr. 5)

- 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. 6)

- 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 + 1 triggerovací kanál.



Obr. 5 - snímače zrychlení a kabeláž (zleva): tříosý akcelerometr 1203, jednoosý akcelerometr 1201, kabeláž s konektory RJ50, konektor DD50 v hrudníku figuríny.



Obr. 6 – modul National-Instruments NI 9237 (vlevo) a ústředna NI 9172 (vpravo).

3.2.2 Automobil kategorie M1

Škoda Yeti, 1.8 TSI 118 kW 6-stup. mech. 4x4, modelový rok 2010 (Obr. 7)

- max. výkon: 118 kW
- max. točivý moment: 250 Nm/1500-4500 min⁻¹
- objem motoru: 1798 cm³
- pohotovostní hmotnost s řidičem: 1505 kg
- max. rychlost: 200 km/h

Vozidlo opatřeno antireflexním nátěrem. Na přední vozidla vyznačeny zóny v souladu s testovacím protokolem EuroNCAP (v 5.3), pro zkoušky ochrany chodců (viz Obr. 8) – vyznačena zóna pro testování impaktorem dětské hlavy.



Obr. 7 – automobil kategorie M1 – Škoda Yeti.



Obr. 8 - zóny na přední automobilu dle testovacího protokolu EuroNCAP pro testování impaktorem dětské hlavy (modře shora: referenční linie náběžné hrany kapoty, horní referenční linie nárazníku, vertikálně osa y, na obr. vpravo boční referenční linie; černě horizontálně: WAD¹ 1000 a WAD 1500; bíle horizontálně: WAD 1250, černě a žlutě vertikálně: rozdělení vzniklých zón do dvanácti ekvivalentních testovacích polí), na obr. vpravo modře boční referenční linie.

3.3 Další snímané veličiny a přístrojové vybavení

3.3.1 Reálná rychlost vozidla, dynamika vozidla

- přístroj Etanu 2.0 – měření průběhu rychlosti a zrychlení vozidla v ose x, y, videozáznam, GPS poloha; umístěno na čelním skle automobilu,
- sdružený snímač Xsens MTi-G, měření průběhu zrychlení vozidla v ose x, y, z, měření úhlu klonění, klopení a stáčení vozidla, GPS poloha; umístění měřidla ve výztuze předního nárazníku, sběr dat zajištěn pomocí PC umístěného v zavazadlovém prostoru automobilu,
- měření úhlu klopení automobilu – optosnímač optoNCDT 1402-600, rozsah 600 mm,
- cyklo-tachometr (Obr. 9 vpravo).



Obr. 9 – Umístění antény GPS snímače Xsens (vlevo), cyklo-tachometr (vpravo).

3.3.2 Obrazový záznam

Vysokorychlostní záznam

- čtyři vysokorychlostní kamery Redlake MotionXtra® HG-100K kapacita snímání do 100 tis. obr/s, reálná rychlost snímání 1000 obr/s, celkový záběr, detailní záběr primárního nárazu, pohled shora, pohled na místo sekundárního nárazu; ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s.,
- vysokorychlostní kamera Kodak Ektapro HG 2000, snímání až 2 000 snímků/s, reálná rychlost 1000 snímků/s, záběr střetu v ose vozidla,

¹ WAD (wrap around distance) - „dosah ovinutí“ - geometrické místo bodů opsané na předním horním povrchu jedním koncem ohebné pásky udržované ve svislé podélné rovině vozidla a posouvané příčně podél předku kapoty a nárazníku. Páska je po celou dobu měření napjatá, přičemž se jeden konec dotýká vozovky svisle pod přední stranou nárazníku a druhý se dotýká předního horního povrchu.

- 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. 10).



Obr. 10 – vysokorychlostní kamera Redlake (vlevo), fotoaparát Casio, záběr ze střechy automobilu (vpravo).

Speciální/specializované

- kamera pro navádění automobilu do místa střetu (Obr. 11).



Obr. 11 – kamera pro navádění do místa střetu.

3.3.3 Postřetová dokumentace

- konečná poloha objektů – totální stanice Topcon 3007i (Obr. 12),
- fotodokumentace konečné polohy objektů, poškození aj.



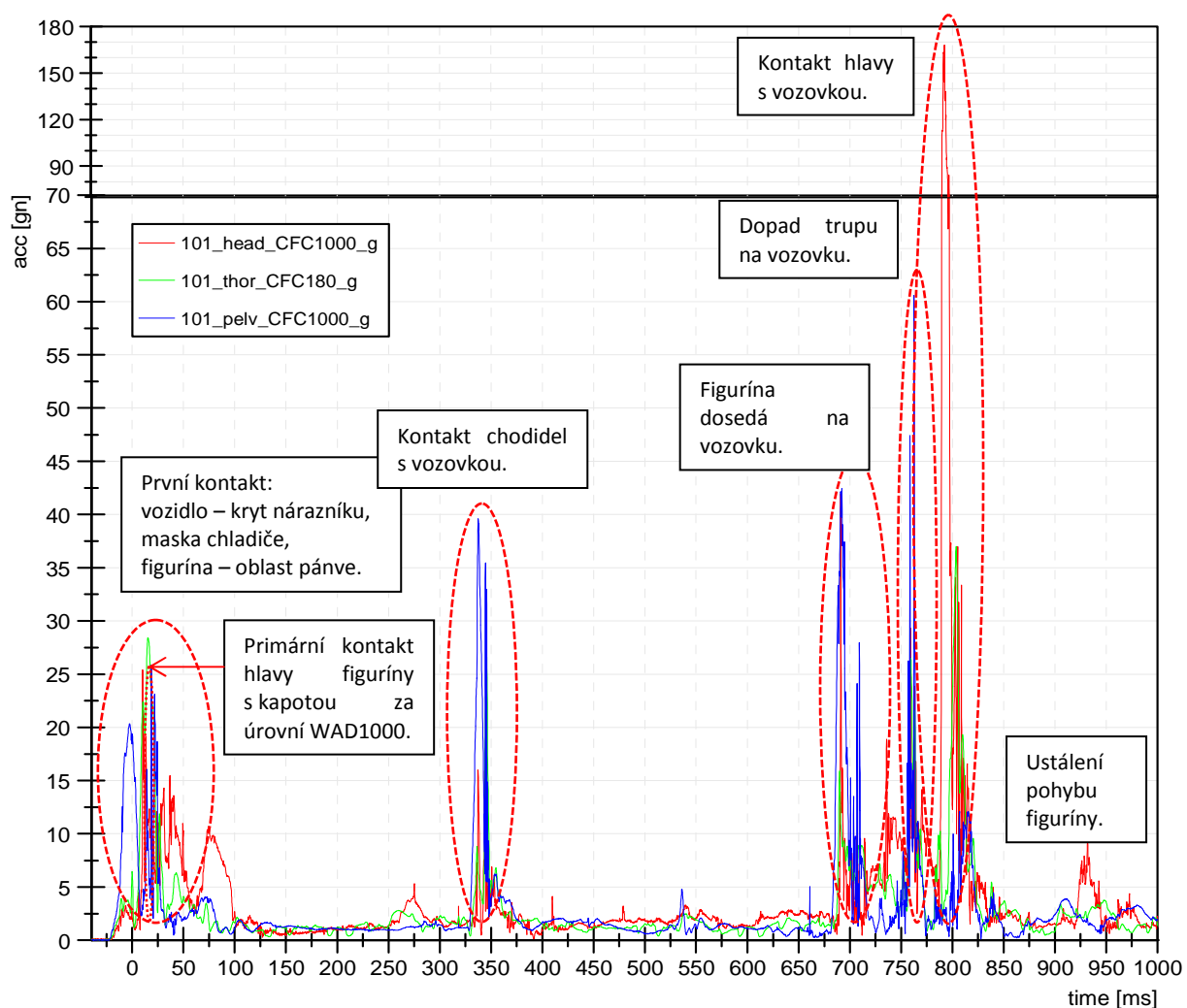
Obr. 12 – totální stanice Topcon 3007i.

3.4 Průběh experimentu

3.4.1 Test 11_00854_101, střetová rychlost 10,1 km/h



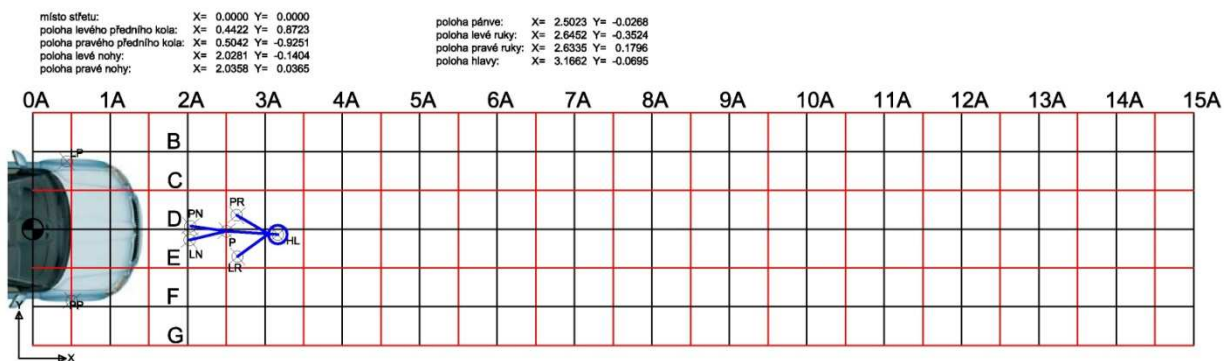
Obr. 13 - Obrazová sekvence střetu pro test č. 101.



Obr. 14 - graf naměřených výslednic zrychlení na figuríně – popis děje pro test č. 101.

Na Obr. 13 je zachycena obrazová sekvence střetu osobního automobilu Škoda Yeti s figurínou P6 pro test č. 101, nárazová rychlost 10,1 km/h; naměřené hodnoty zrychlení na jednotlivých lokalitách figuríny a popis celého střetového a postřetového děje představuje Obr. 14. Okamžik střetu: $t_{s101} = -23 \text{ ms.}^2$

Konečná poloha objektů po kolizi



Obr. 15 - konečná poloha objektů po kolizi - test č. 101 - schéma.

² 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.



Obr. 16 - konečná poloha objektů po kolizi - test č. 101 - fotodokumentace.

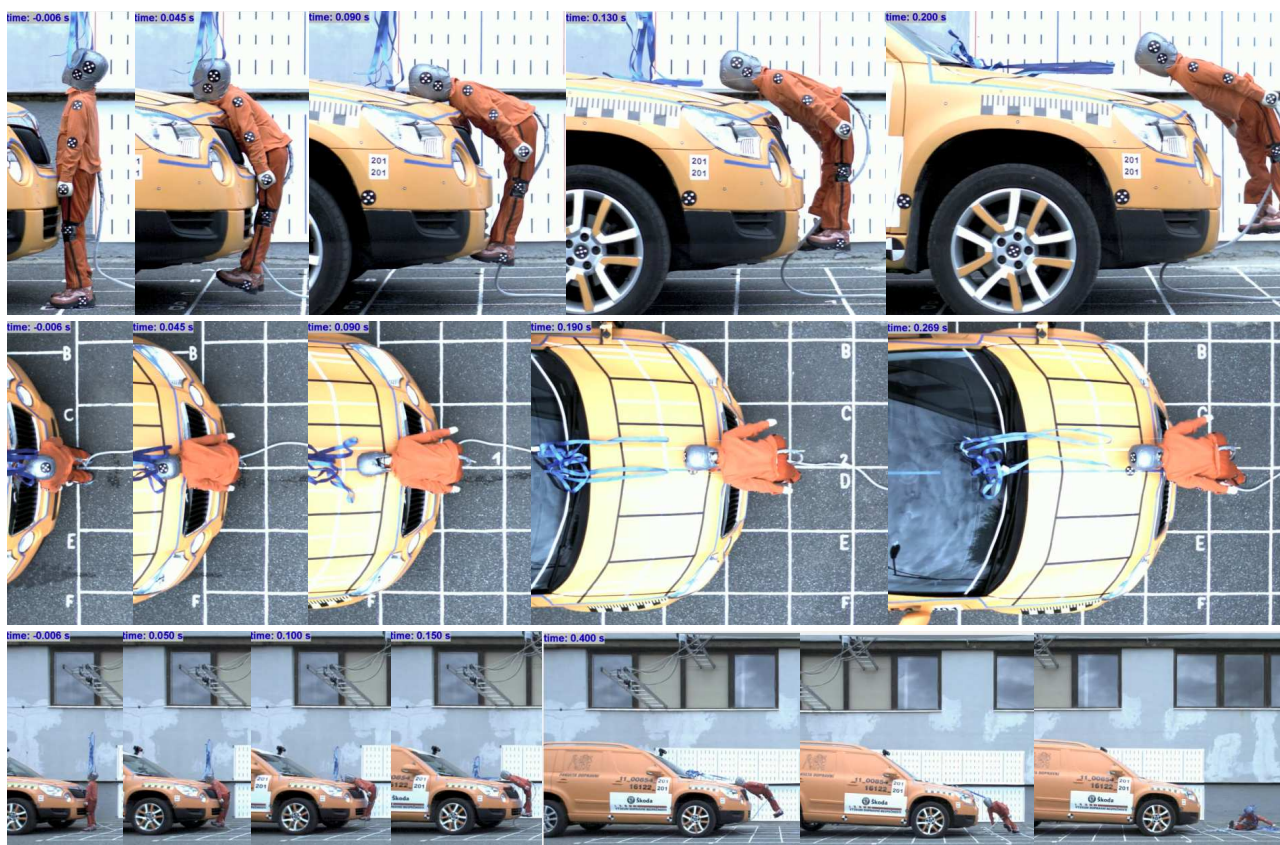
Popis poškození

- **automobil:** kapota bez deformací (Obr. 17), maska bez poškození, nárazník bez poškození, lišta kapoty bez poškození.
- **figurína:** bez poškození, oděv nese známky otěru od sekundárního nárazu.

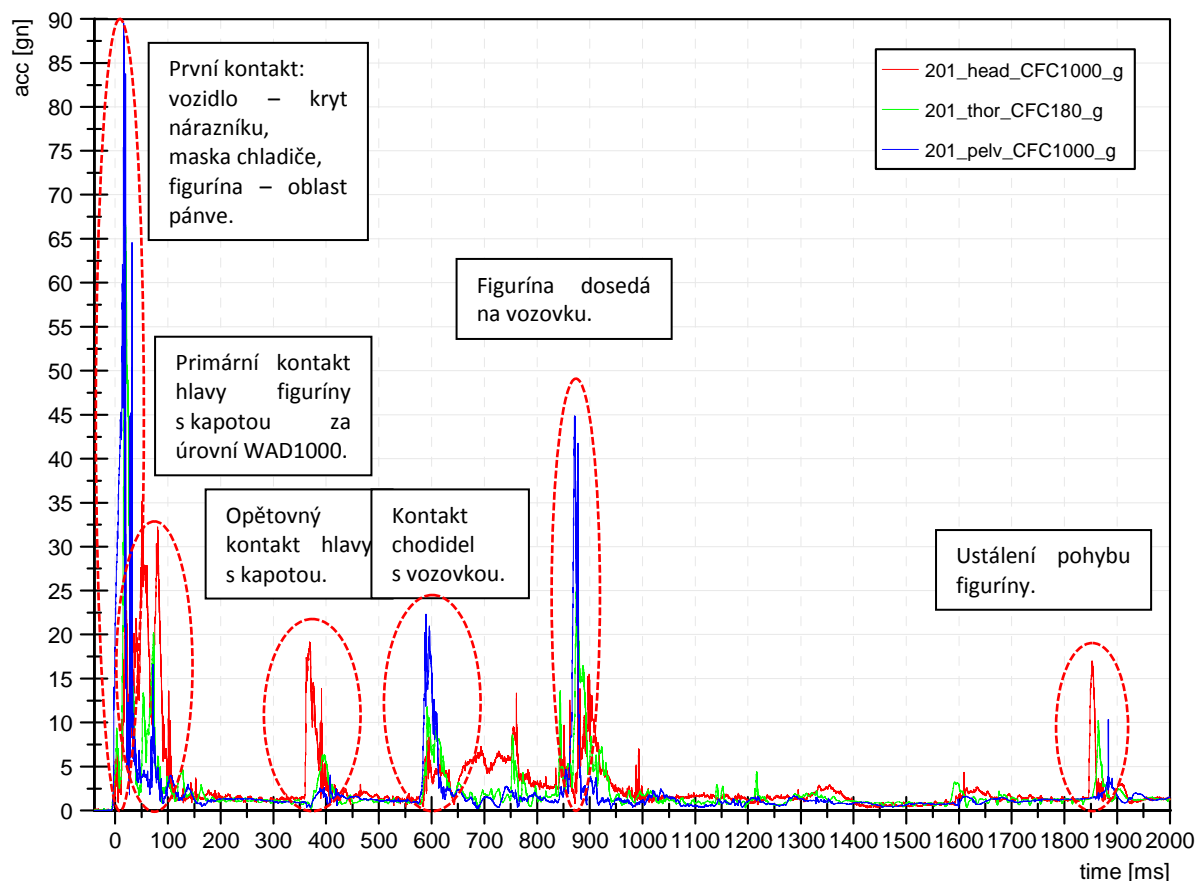


Obr. 17 – automobil po kolizi – test č. 101.

3.4.2 Test 11_00854_201, střetová rychlost 20,0 km/h



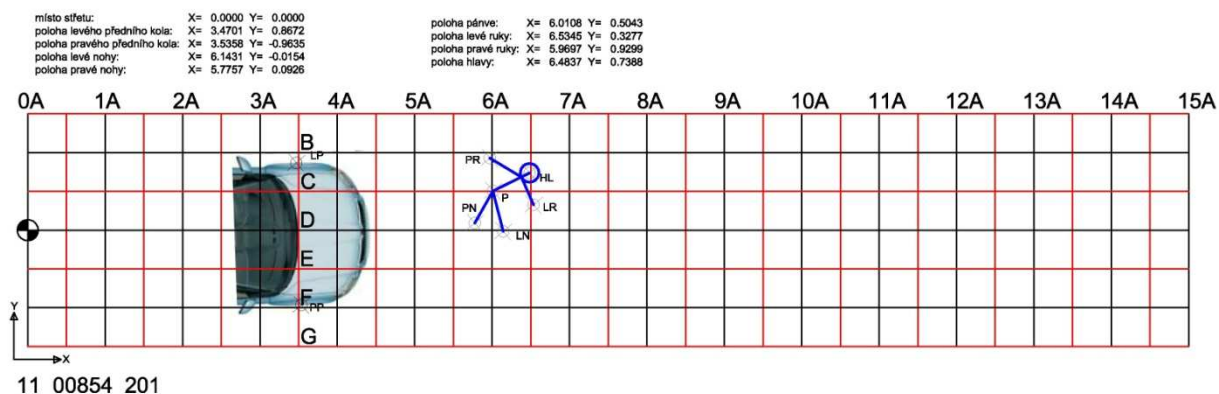
Obr. 18 - obrazová sekvence střetu pro test č. 201.



Obr. 19 - graf naměřených zrychlení na figuríně – popis děje pro test č. 201.

Na Obr. 18 je zachycena obrazová sekvence střetu osobního automobilu Škoda Yeti s figurínou P6 pro test č. 201, nárazová rychlost 20,0 km/h, naměřené hodnoty zrychlení na jednotlivých lokalitách figuríny a popis celého střetového a postřetového děje představuje Obr. 19. Okamžik střetu: $t_{s201} = -6$ ms.

Konečná poloha objektů po kolizi



Obr. 20 - konečná poloha objektů po kolizi -test č. 201 - schéma.



Obr. 21 - konečná poloha objektů po kolizi -test č. 201 - fotodokumentace.

Poškození

- **automobil:** kapota bez trvalých deformací (Obr. 22), lišta kapoty bez poškození, plastový nárazník a výztuha nárazníku bez viditelného poškození.
- **figurína:** bez poškození, oděv nese známky otěru od sekundárního nárazu.

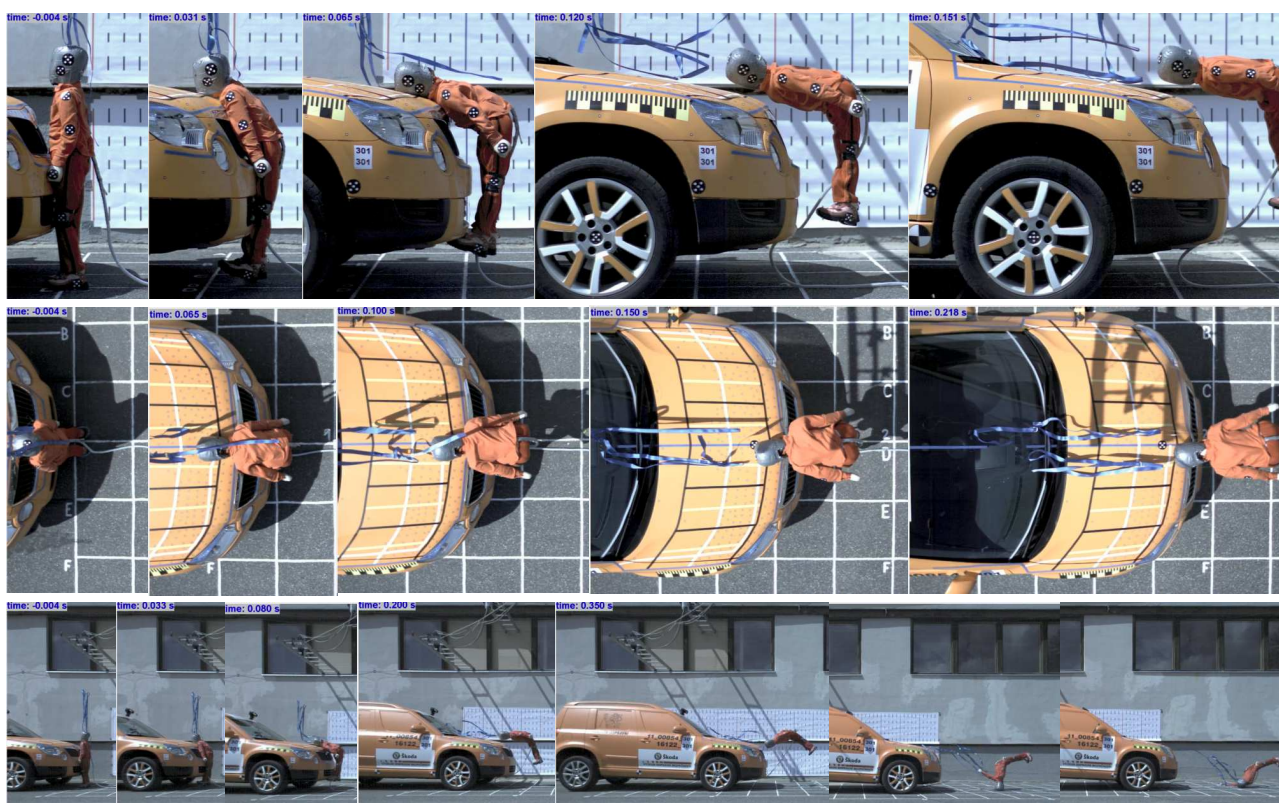


Obr. 22 – poškození automobilu po kolizi – test č. 201.

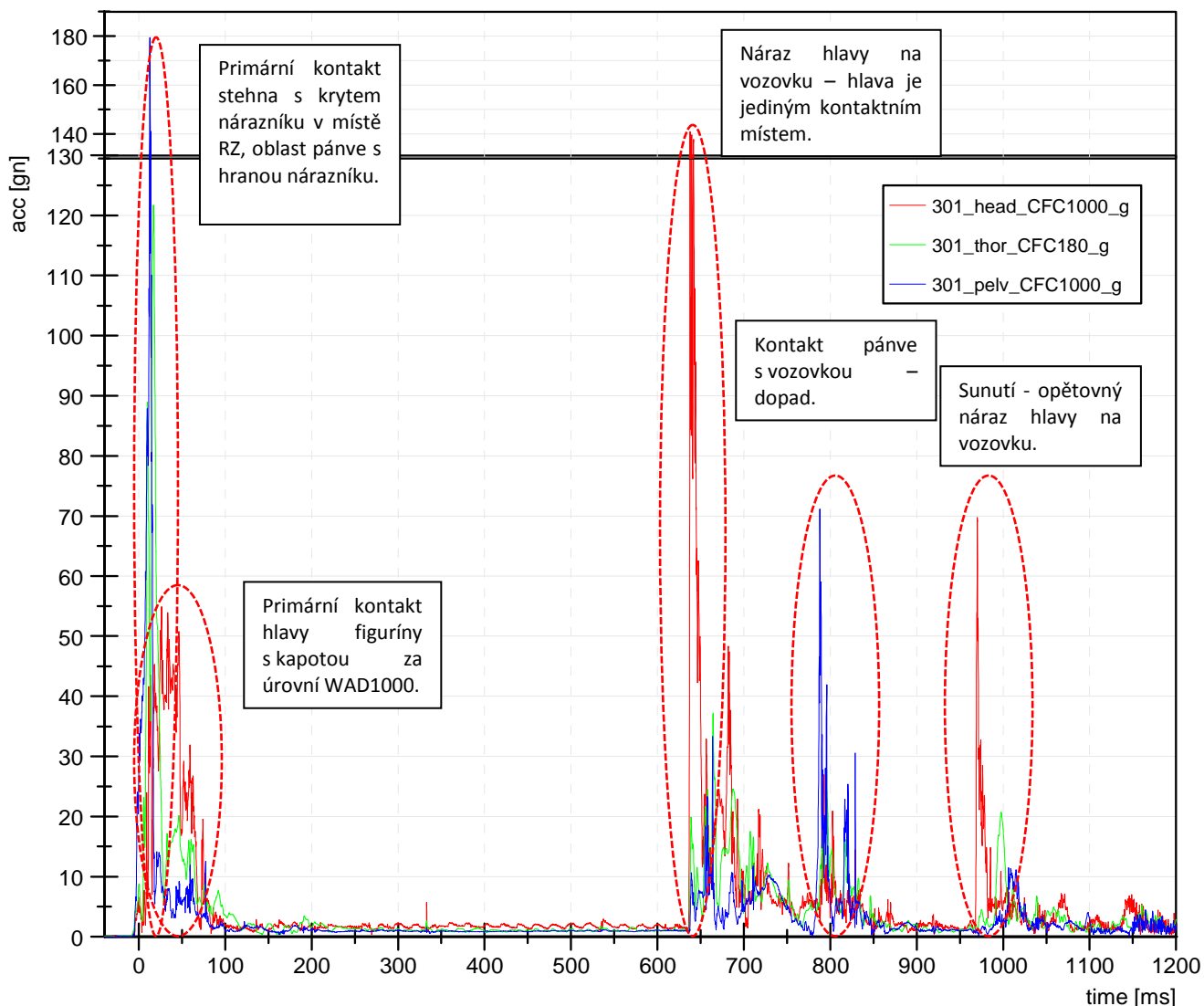


Obr. 23 – poškození automobilu po kolizi – test č. 201 – po odstrojení.

3.4.3 Test 11_00854_301, střetová rychlost 28,8 km/h



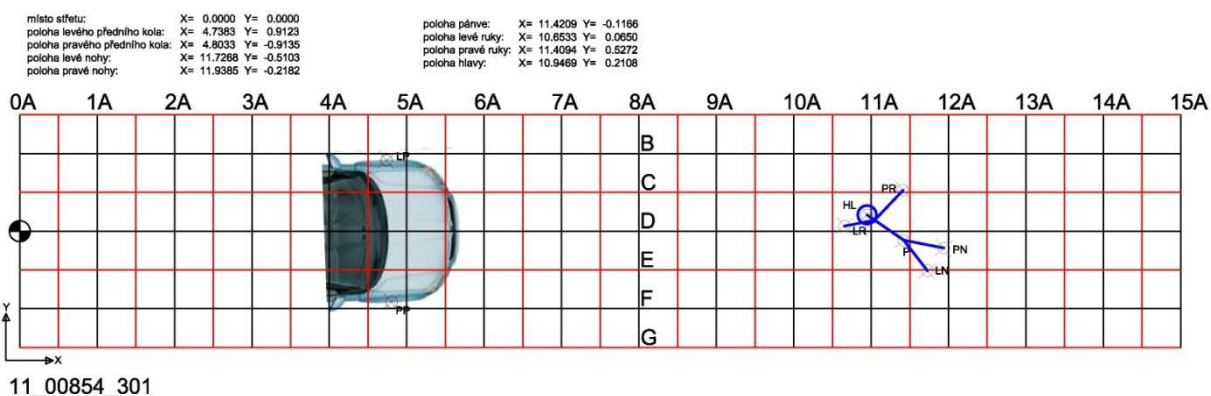
Obr. 24 - obrazová sekvence střetu pro test č. 301.



Obr. 25 - graf naměřených zrychlení na figuríně – popis děje pro test č. 301.

Na Obr. 24 je zachycena obrazová sekvence střetu osobního automobilu Škoda Yeti 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. 25. Okamžik střetu: $t_{s301} = -3,5$ ms.

Konečná poloha objektů po kolizi



Obr. 26 - konečná poloha objektů po testu č. 301 - schéma.



Obr. 27 - konečná poloha objektů po testu č. 301 - fotodokumentace.

Poškození

- **automobil:** deformace kapoty v místě nárazu (dle Obr. 28), plastový nárazník i výztuha bez viditelného poškození (Obr. 29), lišta kapoty bez poškození.
- **figurína:** bez poškození, oděv nese známky otěru od sekundárního nárazu, prodřena adhezní páska chránící hlavu.



Obr. 28 - poškození automobilu po kolizi – test č. 301.



Obr. 29 – poškození automobilu po kolizi – test č. 301 – po odstrojení.

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.	Primární náraz		Sekundární náraz	
	HPC ₁₅		HPC ₁₅	
	[-]	limit	[-]	limit
101	6.4	1000/700	993.8	1000/700
201	54.2	1000/700	7.4	1000/700
301	189.4	1000/700	847.9	1000/700

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.

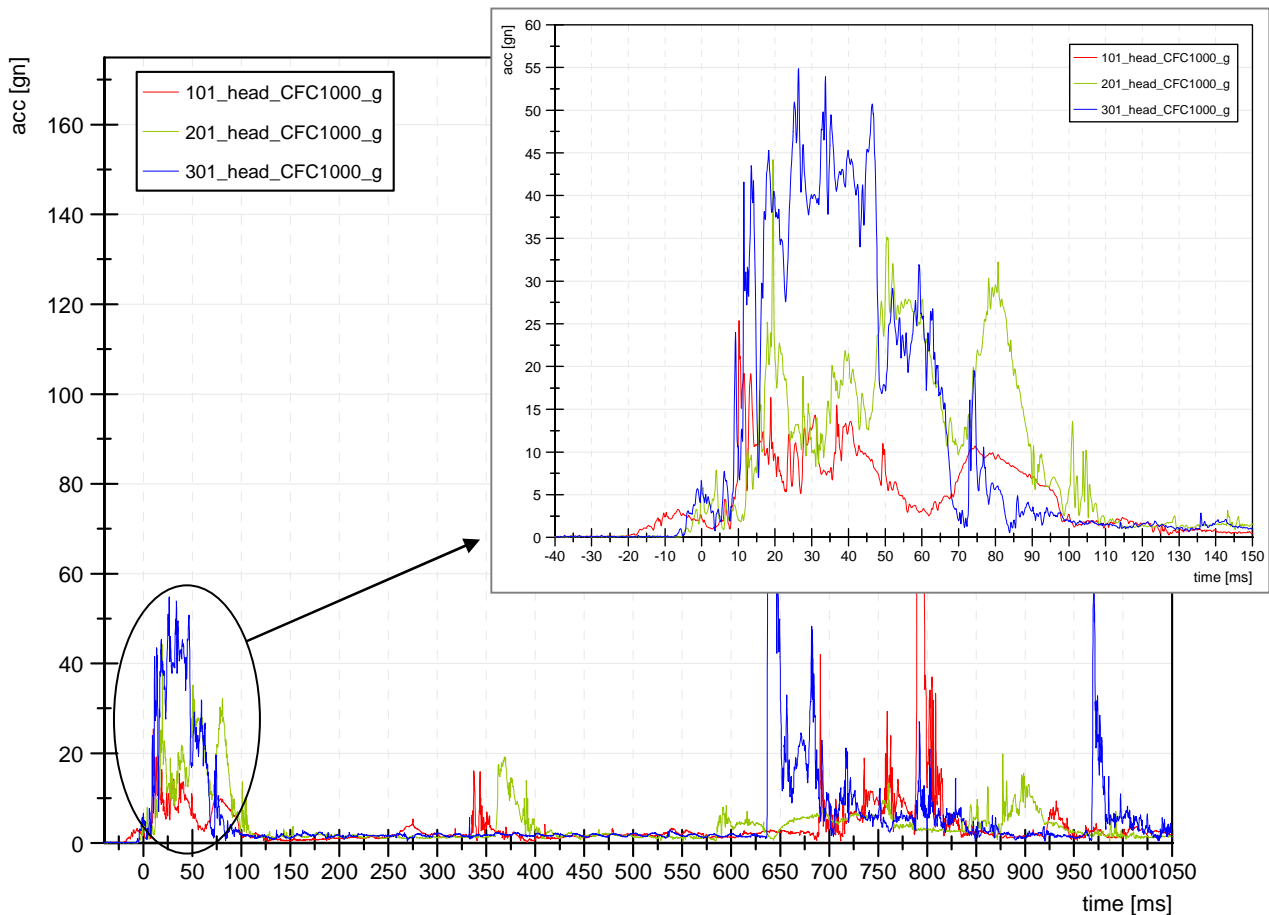
Tab. 2 – hodnoty kritéria poranění 3ms pro hlavu.

zkouška č.	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a _{3ms}		a _{3ms}	
	[g]	limit	[g]	limit
101	11.5	80/60	119.8	80/60
201	27.0	80/60	15.7	80/60
301	41.0	80/60	83.4	80/60

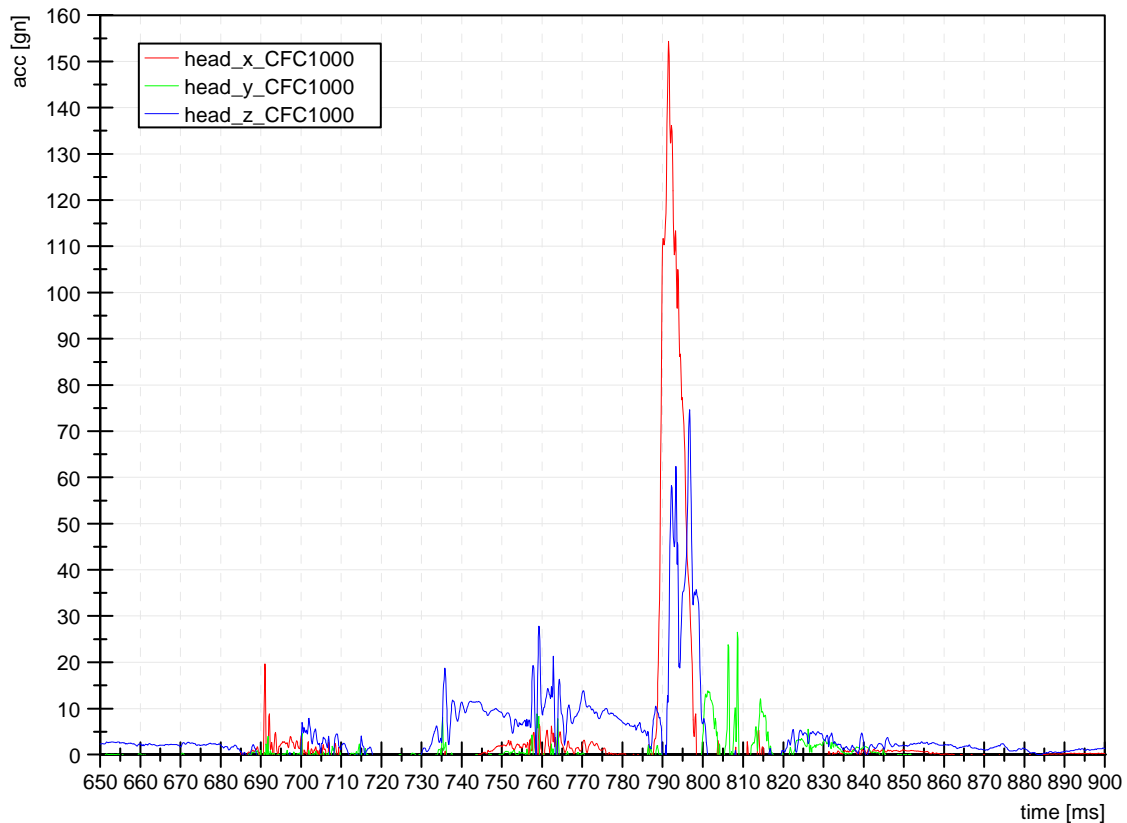
Na Obr. 30 je graficky znázorněno výsledné zrychlení působící na hlavu – ve výřezu je zvětšen primární náraz – kontakt hlavy s kapotou automobilu. Zřetelný je logický časový posun náběhu a maximální hodnoty

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

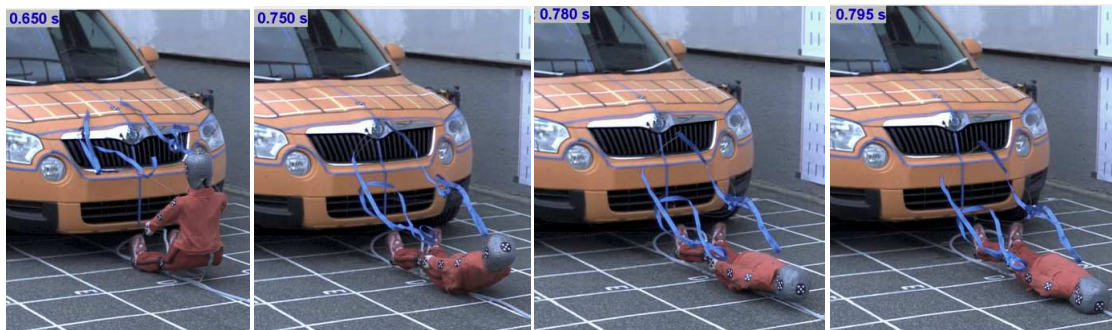
Sekundární náraz: z porovnání výsledků Tab. 1 a Tab. 2 je patrné, že maximálního zrychlení na hlavě bylo poměrně překvapivě dosaženo u zkoušky č. 101, tedy v důsledku odhození chodce po nárazu s nejnižší střetovou rychlostí. Důvodem je přímý náraz hlavy na povrch vozovky ve směru osy x viz graf na Obr. 31 a obrazová sekvence nárazu na Obr. 32. Limitní hodnoty HPC₁₅ nebylo jen těsně dosaženo, limit pro kritérium 3ms byl překročen u zkoušky č.101 a 301.



Obr. 30 – naměřené hodnoty výsledného zrychlení na hlavě (červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301), ve výřezu primární náraz.



Obr. 31 – graf působícího zrychlení na hlavu při sekundárním nárazu pro zkoušku 101 pro jednotlivé osy x, y a z. Jednoznačně převládá působení zrychlení v ose x.



Obr. 32 – sekvence dopadu figuríny na vozovku (sekundární náraz) pro zkoušku 101.

4.1.3 Kriterium poranění 3ms – hrudník

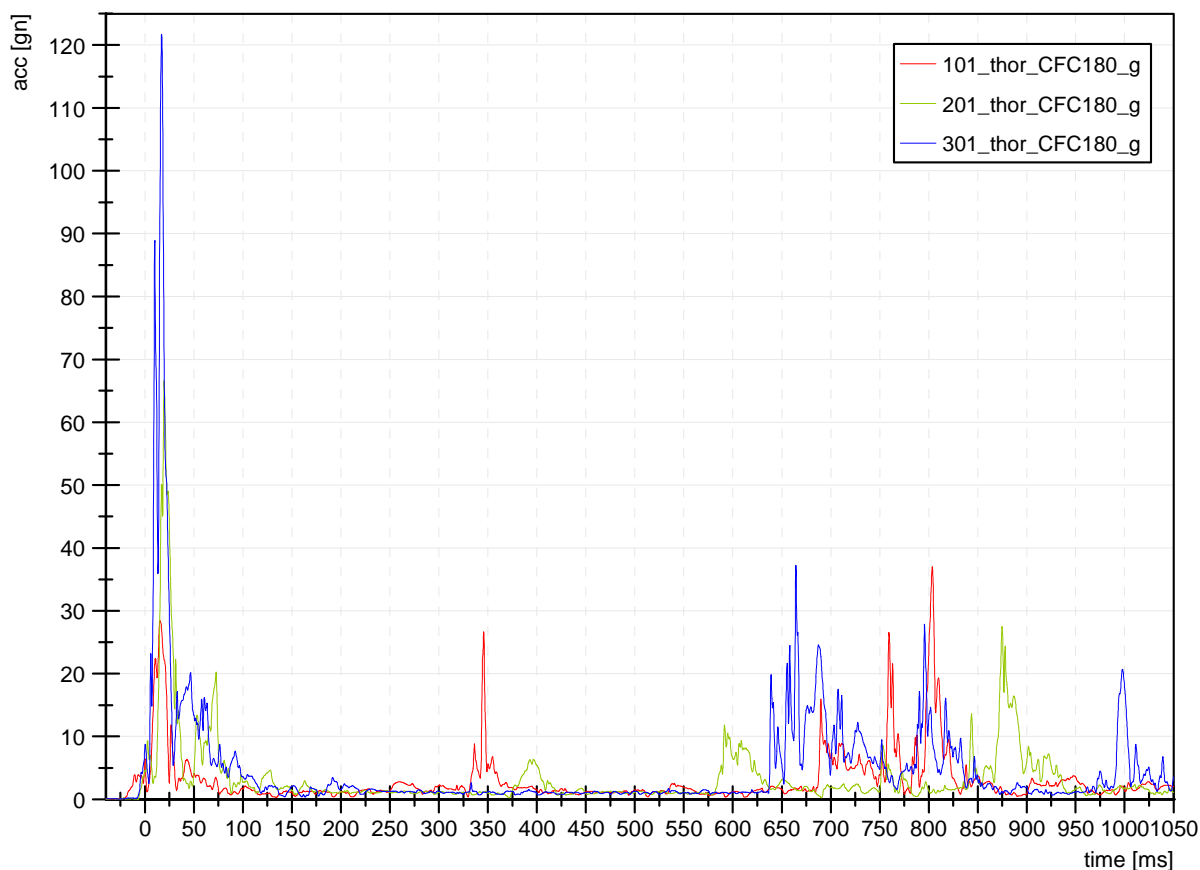
Limitní hodnota tohoto kritéria v případě poranění hrudníku je 60 g. Naměřené hodnoty kritéria pro provedené zkoušky jsou uvedeny v Tab. 3. Průběh výsledného zrychlení působícího na hrudník je v grafu na Obr. 33.

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

Limitní hodnota kritéria byla překročena pouze při primárním nárazu u zkoušky č. 301.

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

zkouška č.	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a3ms		a3ms	
	[g]	limit	[g]	limit
101	26.3	60/55	30.6	60/55
201	52.5	60/55	20.1	60/55
301	99.3	60/55	25.9	60/55



Obr. 33 – naměřené hodnoty výsledného zrychlení působícího na hrudník (červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301).

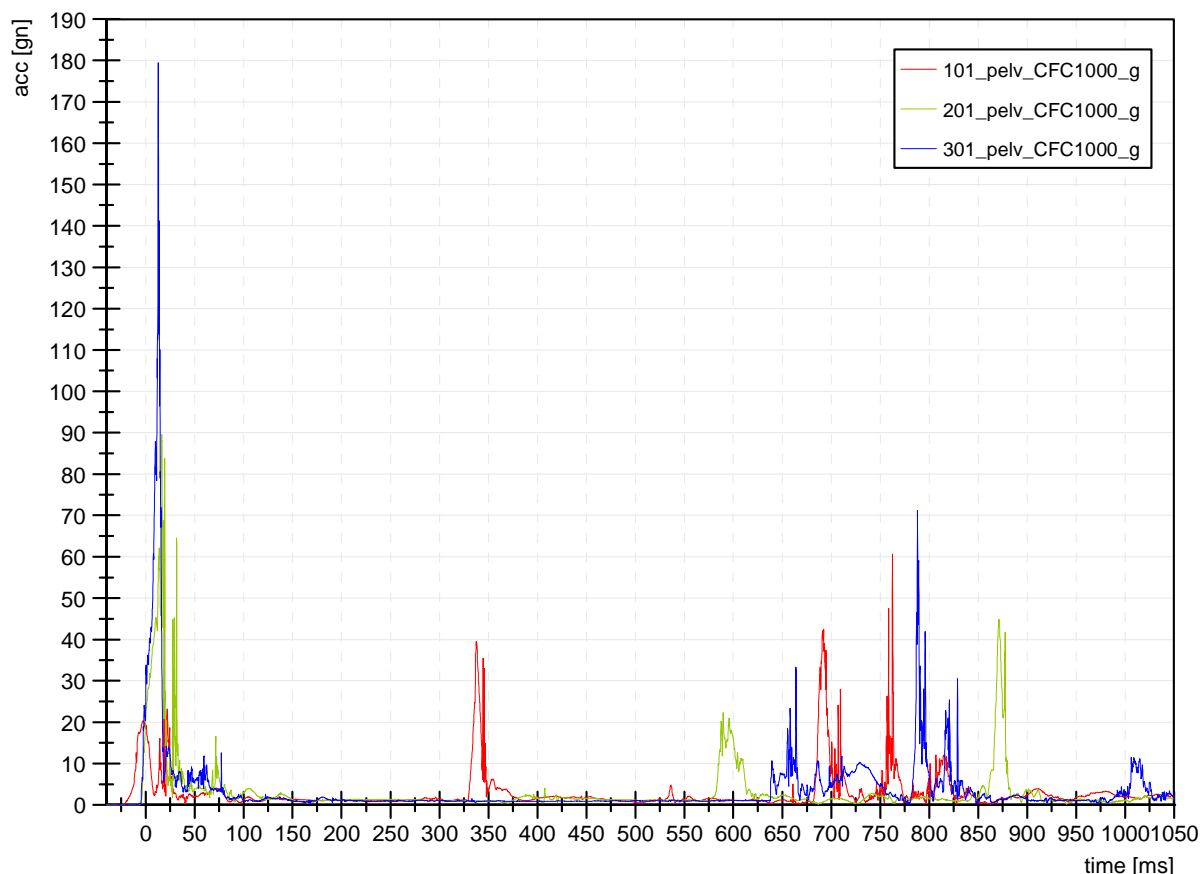
4.1.4 Kriterium poranění a_{max} – pánev

Maximální hodnota zrychlení nesmí přesáhnout 130 g. Naměřené hodnoty maximálního výsledného zrychlení působícího na pánev jsou uvedeny v Tab. 4. K překročení limitní hodnoty kritéria došlo pouze při primárním nárazu u zkoušky č. 301.

Průběh výsledného zrychlení je v grafu na Obr. 34.

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

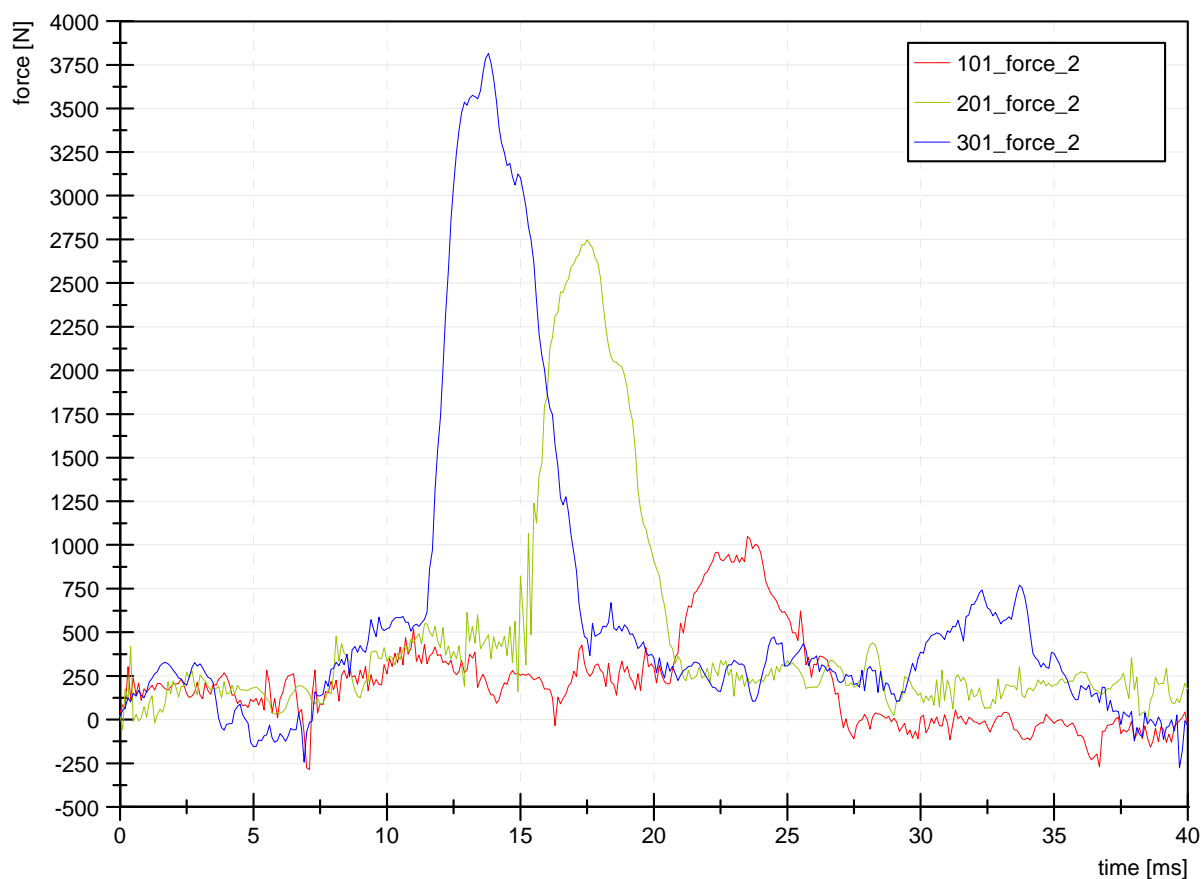
zkouška č.	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a_{max}		a_{max}	
	[g]	limit	[g]	limit
101	25.8	130	60.6	130
201	89.5	130	44.9	130
301	179.5	130	71.1	130



Obr. 34 – 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. 35 – průběh kontaktní síly působící na stehenní kost.

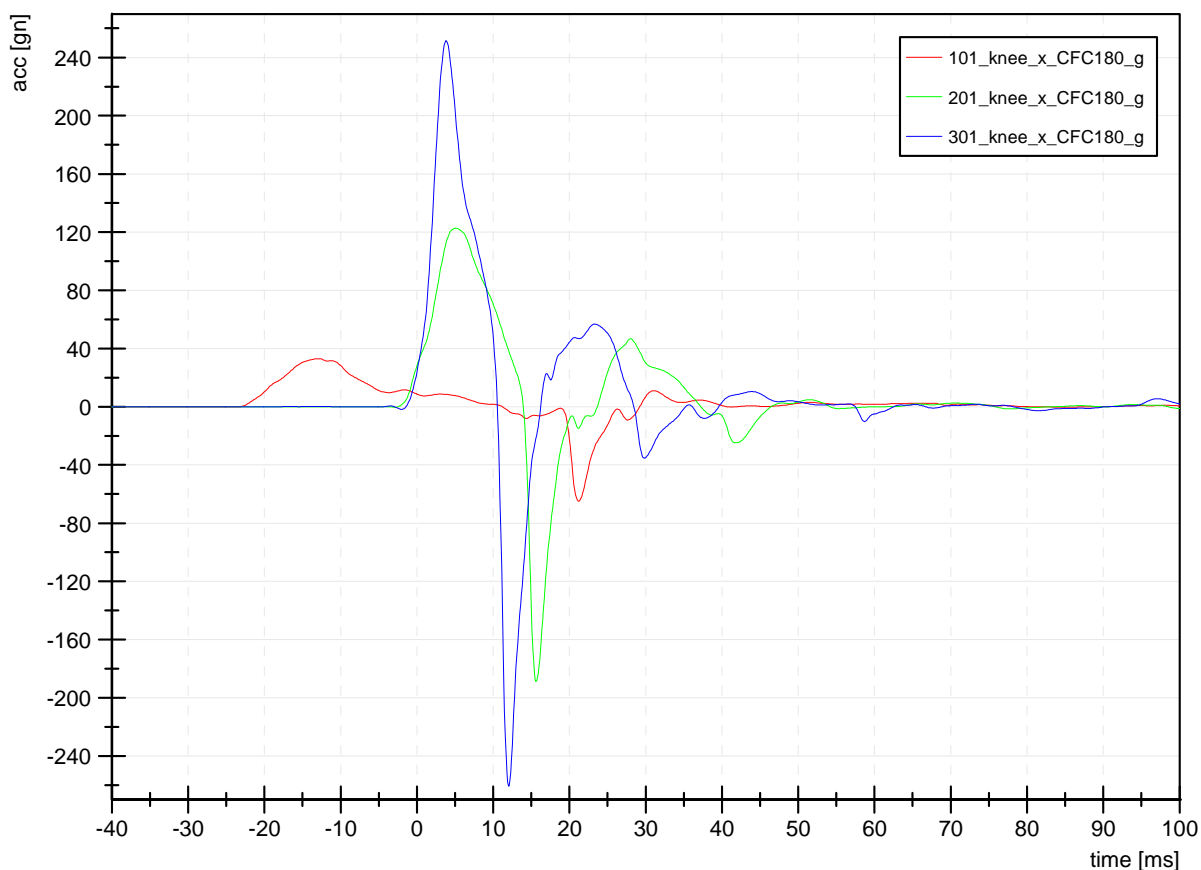
Tab. 5 – maximální hodnoty kontaktní síly.

zkouška č.	Primární náraz	
	F_{max}	
	[N]	t [ms]
101	1049	23.5
201	2749	17.5
301	3816	13.8

V grafu na Obr. 35 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) pro primární náraz je graficky znázorněn v grafu na Obr. 36. Maximální hodnoty zrychlení jsou uvedeny v Tab. 6., limitní hodnoty byly překročeny u testů č. 201 a 301.



Obr. 36 – graf průběhu zrychlení ve směru osy x působící na koleno.

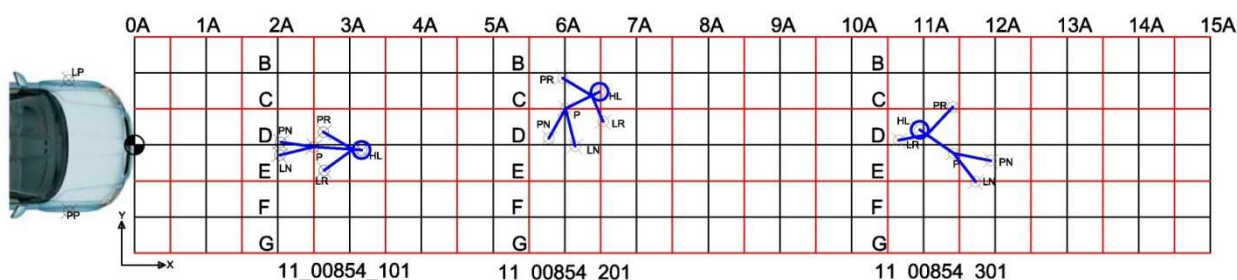
Tab. 6 – hodnoty maximálního zrychlení kolena – kriterium poranění.

zkouška č.	KOLENO	
	Primární náraz	
	a_{\max}	
	[g]	limit
101	65.0	170
201	188.9	170
301	260.7	170

5 Porovnání jednotlivých zkoušek

5.1 Konečná poloha objektů

Na Obr. 37 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. 7.



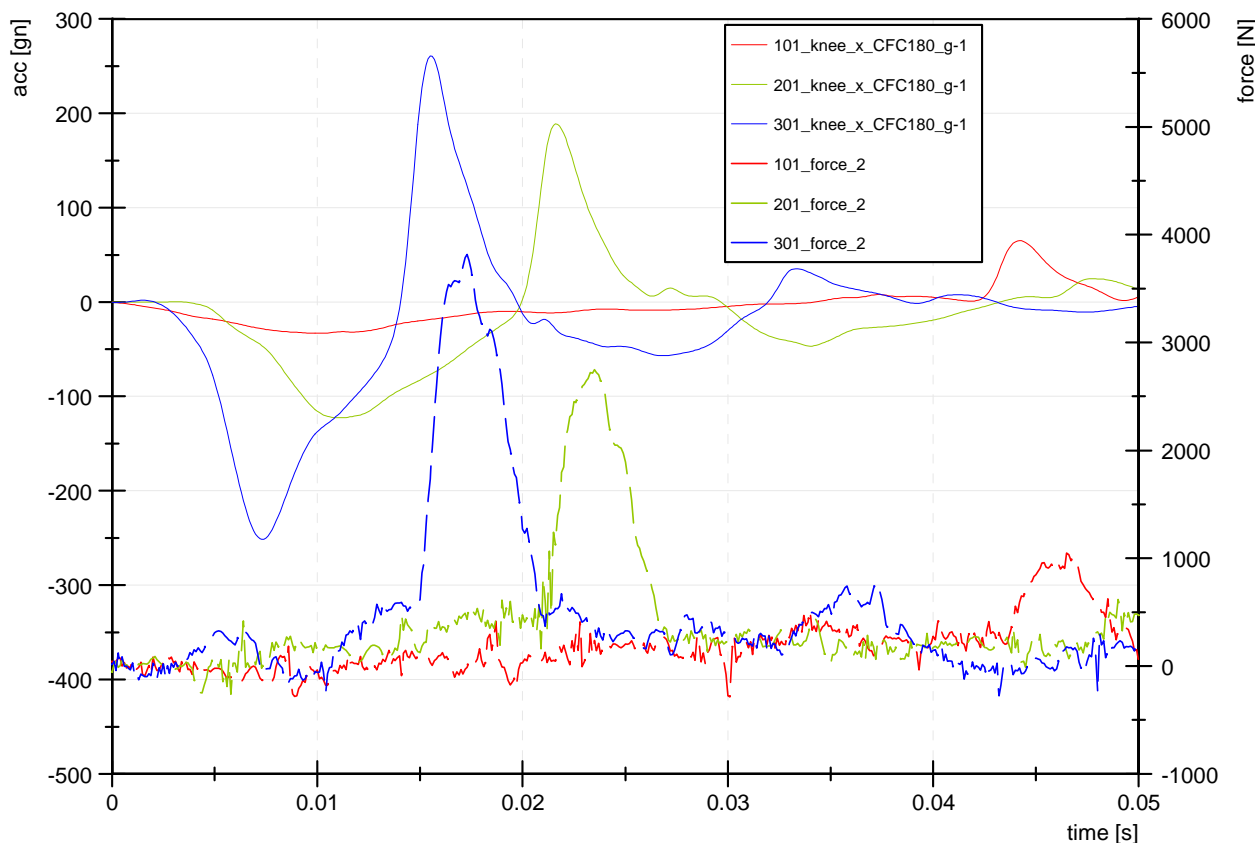
Obr. 37 – dopadová vzdálenost figuríny po střetu s osobním automobilem. Místo střetu: hranice 0A, označeno bodem.

Tab. 7 – dopadová vzdálenost figuríny po střetu s osobním automobilem.

zkouška č.	2011	
	rychlost	vzdálenost
	[km/h]	[m]
101	10.1	2.6
201	20.0	6.1
301	28.8	11.3

5.2 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. 38 jsou vzájemně porovnány časové průběhy zrychlení působícího na kolenní kloub (čárkovaně) spolu s průběhem kontaktní síly naměřené na stehenním skeletu figuríny (plně).



Obr. 38 – křivky zrychlení působící na koleno (čárkovaně) vs. síla působící na stehenní skelet (plně). Červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301.

6 Diskuze výsledků zkoušek 11_00854

Shrnutí výsledků zkoušek 11_00854 – osobní automobil Škoda Yeti vs. dětský chodec (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 HPC_{15} , kritérium 3ms. Náraz hlavy do kapoty byl veden do oblasti za úrovní linie WAD1000.

Hodnoty kritéria poranění u sekundárního nárazu nevykazují přímou závislost na střetové rychlosti, u testu č. 101 a 301 několikanásobně překračují hodnoty vypočtené pro náraz primární. Následky sekundárního nárazu pro střetovou rychlost 10 km/h by z 90 % znamenaly poranění hlavy na úrovni AIS 2 a vyšší (55% pravděpodobnost AIS3+, 17% pravděpodobnost AIS 4+). Dynamika, resp. kinematika nárazu hlavy je zachycena v grafu na Obr. 31 a na Obr. 32, dominuje zrychlení v ose x. V případě testu č. 301 by k poranění hlavy závažnosti AIS 2+ došlo s pravděpodobností 80 %. Naopak hodnota HPC_{15} při sekundárním nárazu testu č. 201 byla extrémně nízká, což koresponduje s objektivním průběhem postřetové kinematiky figuríny, kdy ke kontaktu hlavy s vozovkou díky „pokládání“ a sunutí figuríny po vozovce téměř nedošlo.

6.2 Poranění hrudníku

Limitní hodnota kritéria 3ms pro poranění šestiletého dítěte (55 g dle EHK 44) byla u zkoušky č. 301 při primárním nárazu překročena. U zkoušky 201 je tato hodnota těsně podlimitní. U sekundárního nárazu limit překročen nebyl, to má příčinu zejména v kinematice chodce, kdy kontakt s vozovkou byl veden převážně přes oblast hlavy a krku (test č. 101, 201), po dopadu figuríny došlo k jejímu sunutí, smýkání po vozovce (test č. 301). Lze říci, že primárním nárazem by již v rychlosti 20 km/h došlo ke zhmoždění hrudníku, resp. zasažení jednotlivých orgánů v dutině hrudníku (s pravděpodobností 55 % AIS3+, což znamená výskyt poranění typu kontuze plic, popř. srdce s hemothoraxem či pneumothoraxem, v případě vyšší střetové rychlosti cca 30 km/h hrozí i natržení aorty a ruptura plic (85% AIS 4+, 10% AIS 5+).

6.3 Poranění pánevní oblasti

Limit maximálního zrychlení a_{\max} 130 g byl překročen při zkoušce č.301 při primárním nárazu. Z grafů časového průběhu zrychlení pro jednotlivé zkoušky a z videozáznamu děje je patrné, že pánevní oblast je spolu s kolenem nejexponovanějším místem při kontaktu s přídílí automobilu. Lze předpokládat vznik kontuze, popř. lacerace orgánů dutiny břišní, vysoké je i riziko zlomeniny pánve (zejména ve sponě stydké, open-book).

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 epifyzy či metafifyzy. 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 Shrnutí

Provedená série testů poukázala na negativní vliv vyšší příděl u vozidel kategorie SUV na následky primárního kontaktu s dětským chodcem. Přídíl vozidel této kategorie se dostává do kontaktu během velmi malého časového intervalu jak s oblastí stehna a pánve, tak i s hrudníkem dětského chodce, na nějž působí značně agresivně již při rychlostech okolo 20km/h. Hlava je výrazněji ohrožena až v rámci kolize sekundární, kdy test č. 201 ozřejmil, jak významně mohou být následky ovlivněny interakcí s ostatními částmi těla chodce při dopadu. Rovněž tato série zkoušek prokázala, že sekundární kolize je jevem s vysokým stupněm volnosti vzhledem k počátečním podmínkám a nepotvrdila se ani přímá závislost její závažnosti na střetové rychlosti.

Z hlediska závažnosti predikovaných polytraumat je tedy 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 až 2011)

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,
- rok 2011, zk. č. 11_00854: Škoda Yeti vs. dětský chodec – figurína P6.

Vstupní podmínky u všech sérií byly shodné, čímž je umožněna vzájemná komparace – byla zachována pozice figuríny čelem ke kolidujícímu vozidlu, stoj spatný, nominální rychlosti nárazu 10, 20 resp. 30 km/h. Lze konstatovat shodné adhezní a klimatické podmínky.

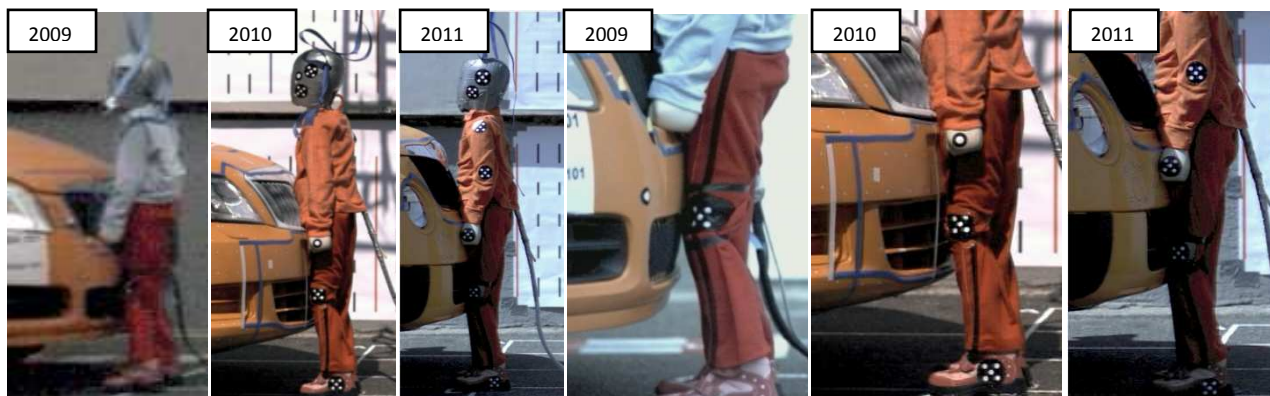
Od zkoušek provedených v roce 2010 bylo využito nového přístrojového vybavení – jedná se o piezorezistivní akcelerometry Measurement Specialities a ústřednu National-Instruments. Pozice akcelerometrů a celková instrumentace figuríny je u všech sérií shodná, shodné zůstává i umístění svazku kabeláže.

Pohotovostní hmotnosti automobilů:

- Škoda Roomster: 1200 kg,
- Škoda Octavia II: 1255 kg,
- Škoda Yeti: 1505 kg.

Pozn.: v roce 2009 byly provedeny dvě zkoušky s nominální rychlostí 30 km/h (zk. č. 301 resp. 302), při porovnávání s ostatními byly použity výsledky obou zkoušek.

7.2 Porovnání konfigurace střetu



Obr. 39 – konfigurace střetu v okamžiku prvního kontaktu.

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):

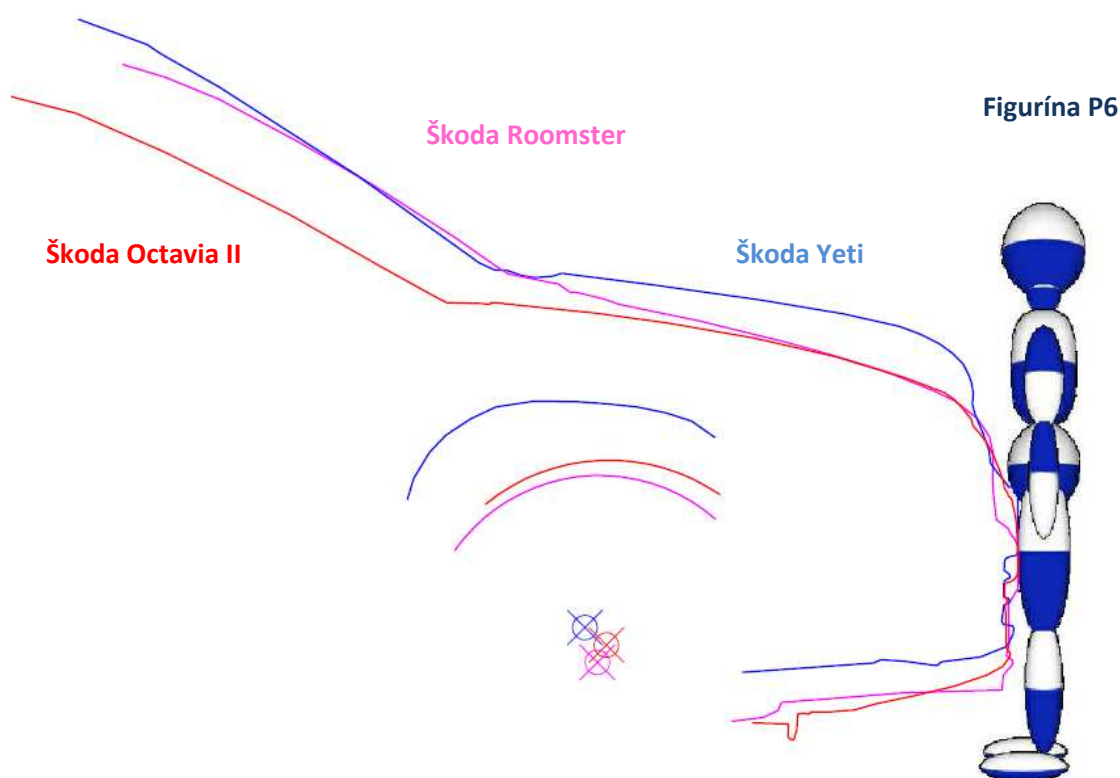
- kontakt v nadkolenní oblasti vs. nárazník v místě registrační značky,
- koleno vs. spodní mřížka chladiče resp. její horní hrana – rozhraní mezi nárazníkem a mřížkou,
- pánevní oblast vs. maska s mřížkou chladiče, lišta,
- sunutí vzhůru.

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.

Fáze prvního kontaktu Škoda Yeti (2011):

- kontakt v oblasti pánve s horní hranou nárazníku, stehno kontaktuje s nárazníkem v místě registrační značky,
- koleno kontaktuje se spodní mřížkou chladiče, podkolenní oblast vs. spodní hrana nárazníku s podražedlem,
- oblast břicha vs. maska s mřížkou chladiče, hrudník naráží na ozdobnou lištu kapoty.



Obr. 40 – vzájemné porovnání konfigurace střetu vozidel Škoda Roomster, Škoda Octavia II, Škoda Yeti vs. figurína P6.

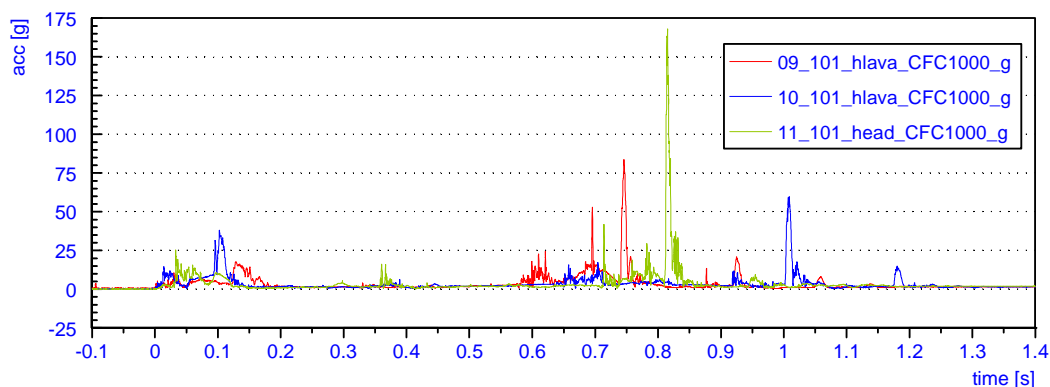
Schéma na Obr. 40 znázorňuje rozdíly ve tvaru předě předmětných automobilů. Fialový obrys představuje vozidlo Škoda Roomster (testy 2009), červený je obrysem Škoda Octavia II (2010), modrý představuje automobil Škoda Yeti (2011). Z obrysů je dále patrný odlišný průběh prvního kontaktu mezi předě vozidla a figurínou P6, který byl popsán výše. Pro Škoda Roomster je prvotní kontakt v nadkolenní oblasti s nárazníkem, v případě Škoda Octavia II se jedná prvotně o oblast pánevní a horní část stehna s maskou automobilu, u Škoda Yeti se jedná o pánevní oblast s horní hranou nárazníku.

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.

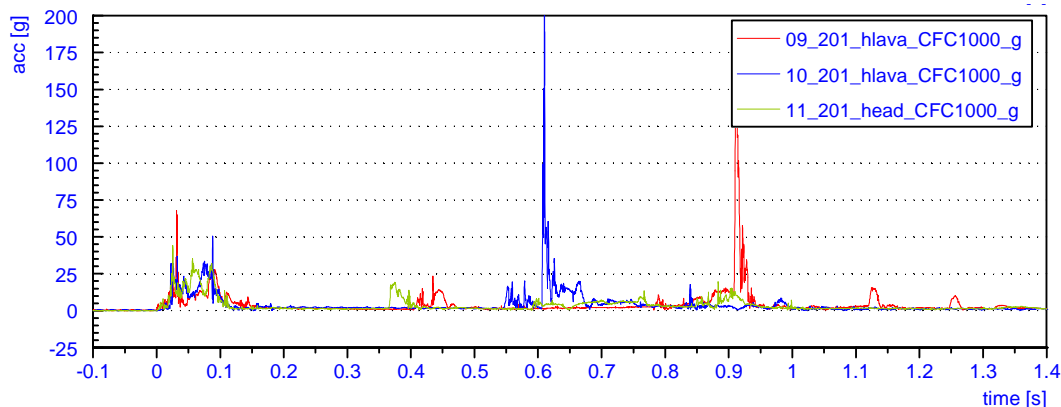
Červená barva v grafickém porovnání odpovídá naměřeným hodnotám z roku 2009 (Škoda Roomster), modrá barva platí pro rok 2010 (Škoda Octavia II), zelená barva pro rok 2011 (Škoda Yeti).

Zkouška 09_101 (10,6 km/h), 10_101 (12,2 km/h) a 11_101 (10,1 km/h)



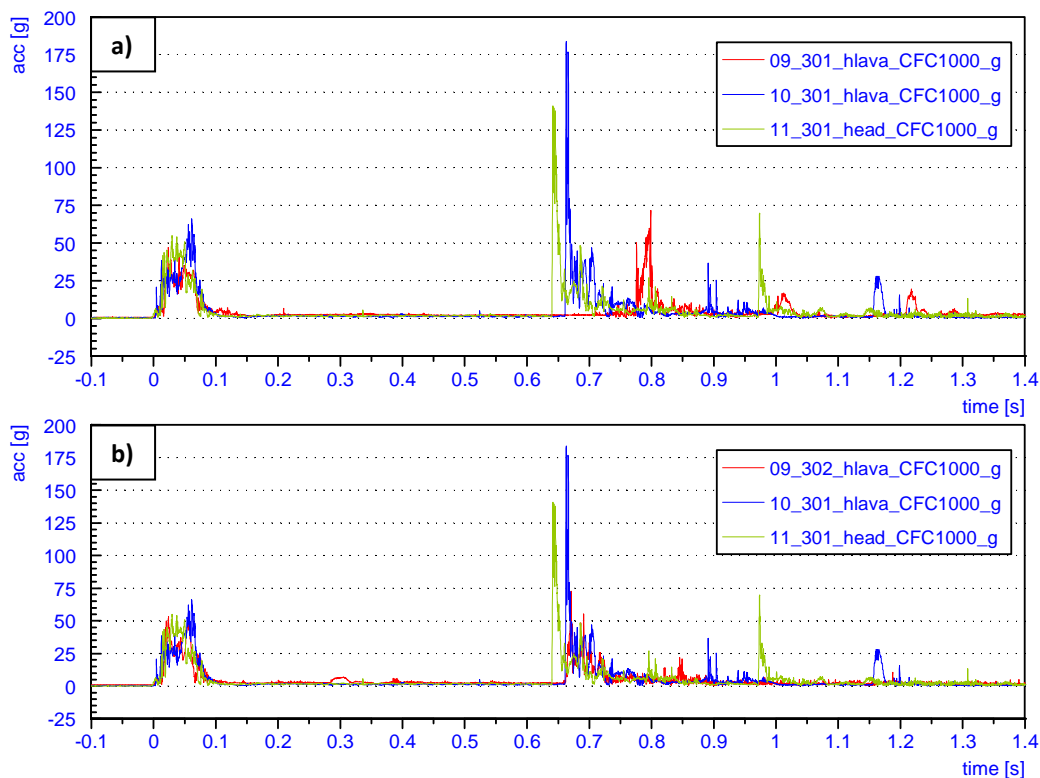
Obr. 41 – zkoušky 101, rychlost cca 10 km/h, zrychlení na hlavě, komparace dat.

Zkouška 09_201 (17,3 km/h) vs. 10_201 (22,4 km/h) a 11_201 (20,0 km/h)



Obr. 42 – zkoušky 201, rychlost cca 20 km/h, zrychlení na hlavě, komparace dat.

Zkouška 09_301 (28,7 km/h) resp. 09_302 (31,9 km/h), 10_301 (30,6 km/h) a 11_301 (28,8 km/h)

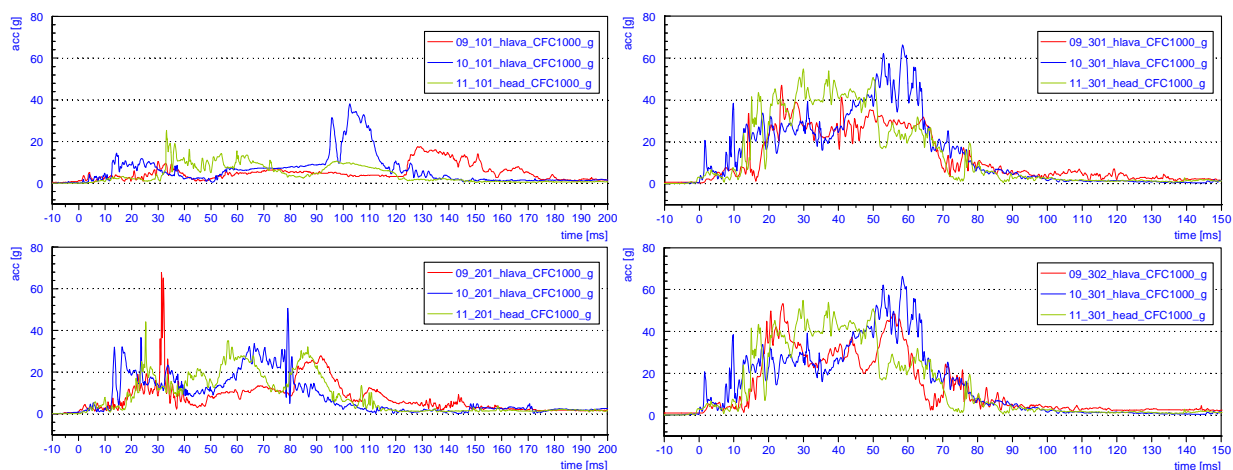


Obr. 43 – zkoušky a) 301 a b) 302, rychlost cca 30 km/h, zrychlení na hlavě, komparace dat.

Grafy na Obr. 41 až Obr. 43 představují porovnání hodnot biomechanických kritérií vypočtených z výsledného zrychlení působícího na hlavu pro jednotlivé zkoušky. Možné odlišnosti z hlediska biomechanického jsou patrné z následující Tab. 8. Pro primární náraz jsou naměřené hodnoty biomechanických kritérií pro hlavu obecně mírně nižší u vozidla Škoda Roomster.

Tab. 8 – porovnání hodnot naměřených kritérií pro hlavu pro zkoušky z roku 2009, 2010 a 2011.

zkouška č.	Primární náraz						Sekundární náraz					
	HPC ₁₅			3ms			HPC ₁₅			3ms		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
	[-]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[-]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]
101	13.6	58.2	6.4	16.1	33.7	11.5	251.0	135.6	993.8	71.3	52.8	119.8
201	39.0	58.3	54.2	26.4	26.1	27.0	1107.8	554.8	7.4	128.1	49.7	15.7
301	75.4	251.3	189.4	35.8	46.6	41.0	175.7	862.7	847.9	53.4	88.7	83.4
302	115.2			46.1			84.2			48.5		



Obr. 44 - porovnání primárního nárazu hlavy pro jednotlivé série zkoušek.

V následující Tab. 9 jsou porovnány hodnoty biomechanických kritérií pro hrudník. Lze konstatovat, že hodnoty biomechanického kritéria a_{3ms} pro primární náraz byly překročeny pouze u jedné z provedených zkoušek, a to s vozidlem Škoda Yeti, zároveň pro nižší kolizní rychlosti je hodnota kritéria mírně nižší pro Škodu Roomster. Křivky porovnávající výslednice zrychlení pro hrudník jsou součástí přílohy 2.

Tab. 9 – porovnání hodnot naměřených kritérií pro hrudník.

zkouška č.	Primární náraz			Sekundární náraz		
	a_{3ms}			a_{3ms}		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
101	9.5	13.6	26.3	22.0	19.3	30.6
201	22.2	38.9	52.5	35.6	21.7	20.1
301	52.0	50.9	99.3	71.9	22.9	25.9
302	57.1			58.1		

V Tab. 10 jsou porovnány hodnoty maximálního zrychlení působícího na oblast pánve. Kritérium 130 g bylo překročeno, stejně jako v případě hrudníku u testu č. 301 s vozidlem Škoda Yeti při primárním nárazu. Sekundární náraz nebyl ani v jednom z testů shledán kritickým vzhledem k riziku vzniku závažného poranění. Maximální hodnoty zrychlení jsou při primárním nárazu vyšší u vozidla Škoda Yeti, 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. 10 – porovnání hodnot naměřených kritérií pro pánev.

zkouška č.	Primární náraz			Sekundární náraz		
	a_{max}			a_{max}		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
101	38.4	37.1	25.8	48.8	36.6	60.6
201	41.6	65.9	89.5	43.1	44.2	44.9
301	57.0	111.4	179.5	59.1	39.1	71.1
302	81.5			81.5		

Tab. 11 srovnává hodnoty maximálních zrychlení měřeného levého kolena figuríny, zde se ovšem nepotvrzuje přímá závislost velikosti síly na místě prvotního kontaktu (geometrii předě) a uplatňuje se vliv

dalších faktorů, jako je sled kontaktních míst na figuríně ovlivněný např. úhlem flexe v koleni při počátečních podmínkách, zatížení levé končetiny apod.

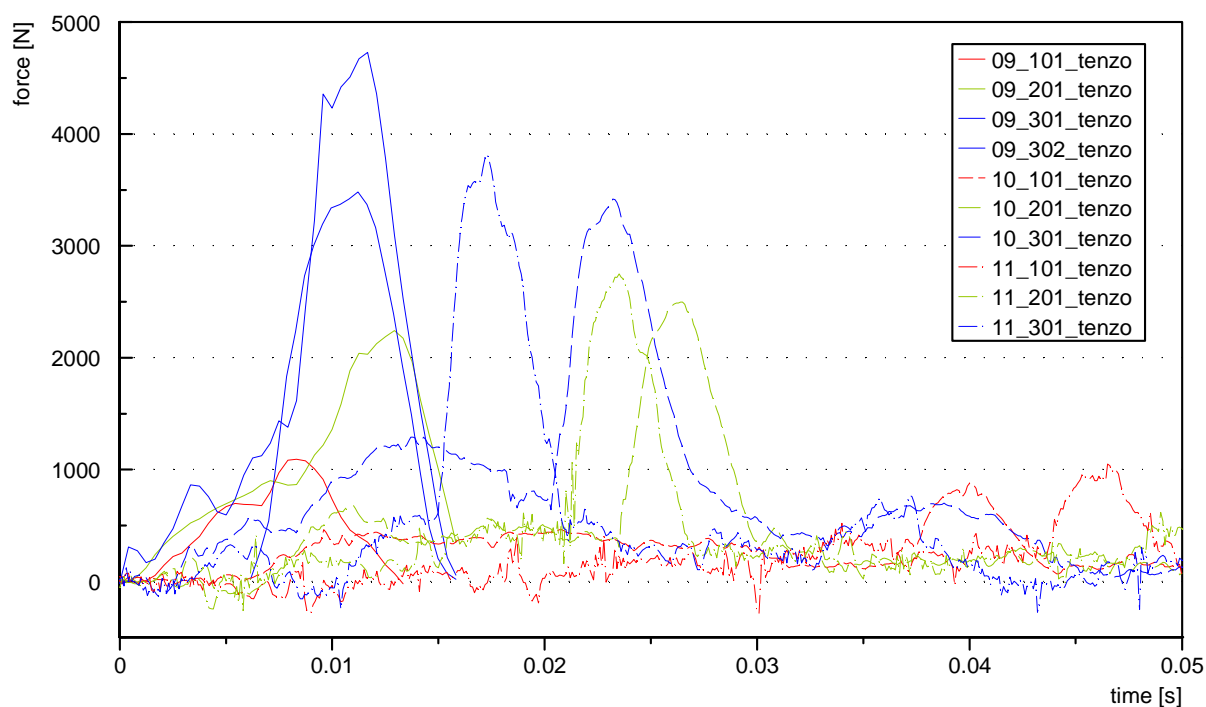
Tab. 11 – porovnání naměřených hodnot maximálního zrychlení pro koleno – měřeno v jedné ose (x).

zkouška č.	Primární náraz		
	a_{\max}		
	2009	2010	2011
	[g]	[g]	[g]
101	62	74.6	65.0
201	113	186.8	188.9
301	-	210.4	260.7
302	200		

Shrnutí hlavních markantů primárního nárazu:

- **hlava:** nejnižší hodnoty kritéria HPC i a 3ms při testu s vozidlem Škoda Roomster, nejrychlejší náběh zrychlení i nejvyšší hodnoty biomechanických kritérií zjištěny při testech s vozidlem Škoda Octavia II. Nutno dodat, že se jedná o dosažení podlimitních hodnot, které by v případě reálné kolize znamenaly ohrožení hlavy dětského chodce zhruba z 35 % lehkým poraněním (odřeniny, pohmožděniny), ze 14 % středně těžkým (např. zlomenina čelisti) a ve 45 % případů by ke zranění nedošlo.
- **hrudník:** se vzrůstající BLEH (výška náběžné hrany kapoty) potvrzeno zvyšující se zatížení hrudníku při primárním nárazu (příznivější průběh u střetu s vozidlem Škoda Roomster, nejméně příznivý byl střet s vozidlem Škoda Yeti). U testů při kolizních rychlostech okolo 30 km/h byly u Škody Yeti zjištěny cca dvojnásobné hodnoty kritéria 3ms ve srovnání s ostatními testovanými vozidly. Což by znamenalo cca v 85 % zhmoždění plic, srdce, popř. i natržení aorty, zatímco u testů z let 2009 a 2010 je toto riziko jen cca 25 %.
- **pánev:** zejména pro vyšší kolizní rychlosti (nad 20 km/h) se hodnota maximálního zrychlení působícího na pánev při primárním nárazu zvyšuje s ohledem na rostoucí výšku prvotního kontaktu – to je dáno zejména geometrií předě vozidla.

7.4 Průběh síly působící na stehenní skelet

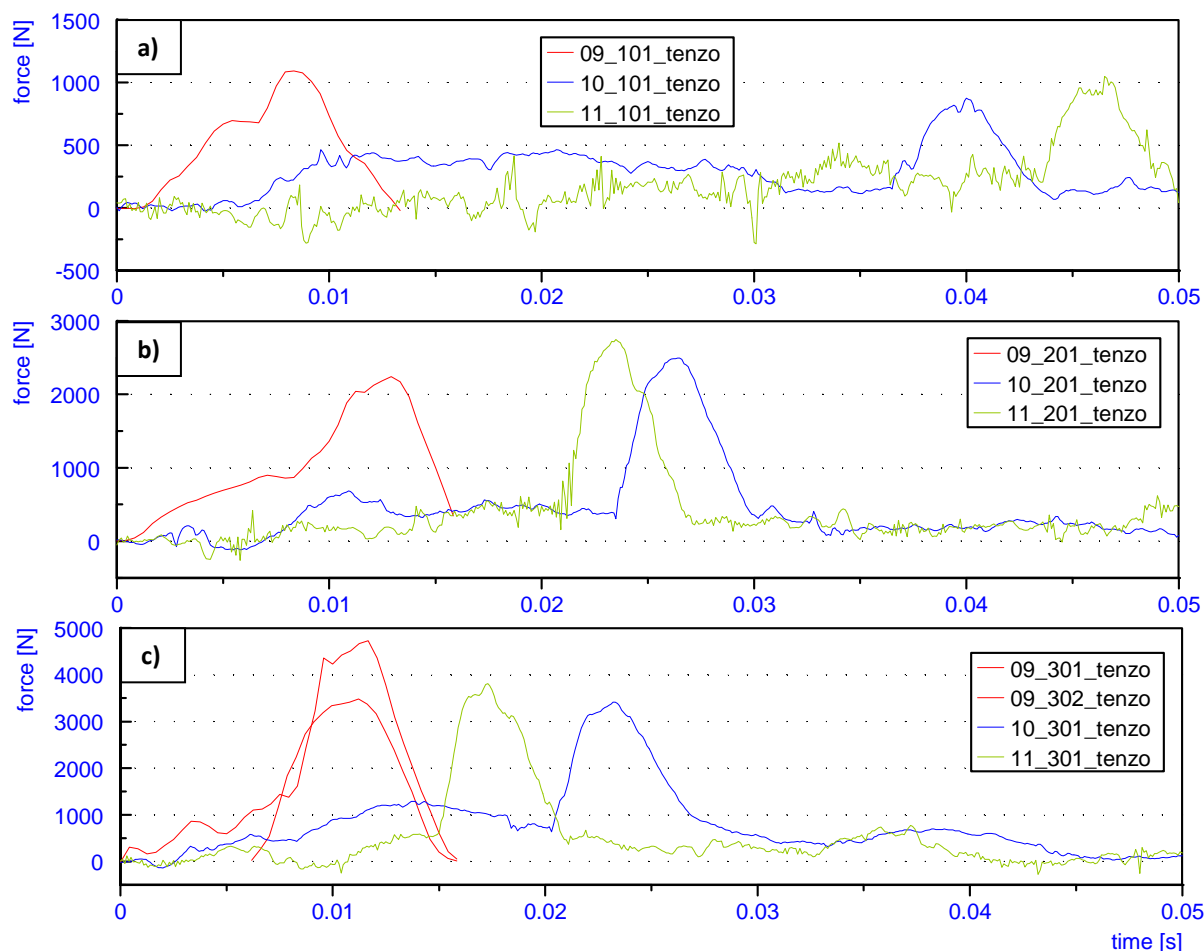


Obr. 45 – průběh síly působící na stehenní skelet – porovnání všech provedených zkoušek. Plně Škoda Roomster, čárkovaně Škoda Octavia II., čerchovaně Škoda Yeti. Červeně zk. 101, zeleně zk. 201, modře zk. 301 resp. 302.

V rámci primární kolize je možné porovnat průběhy maximální síly působící ohyb stehenního skeletu figuríny – viz graf na Obr. 45 a Tab. 12.

Tab. 12 – Maximální hodnota síly zatěžující stehenní kost.

zkouška č.	Primární náraz		
	F_{max}		
	2009	2010	2011
	[N]	[N]	[N]
101	1100	877	1049
201	2250	2497	2749
301	3500	3418	3816
302	4750		



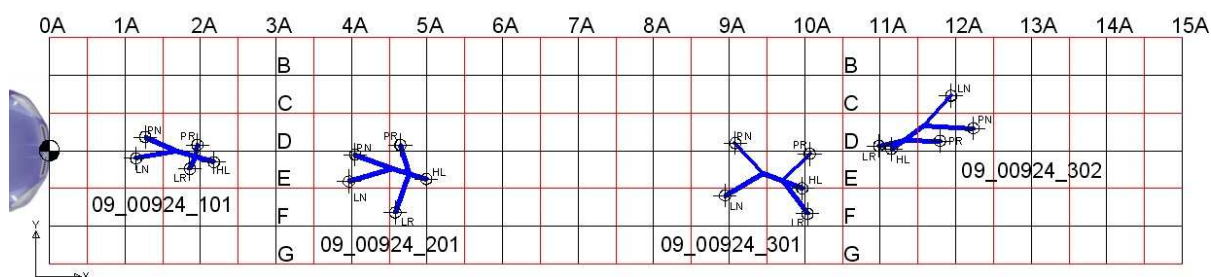
Obr. 46 – síla působící na stehenní skelet – vzájemné porovnání zkoušek odpovídajících rychlostí: a) zk. 101, b) zk. 201, c) zk. 301 resp. 302.

Hodnoty průběhu kontaktní síly na „stehenní kosti“ figuríny byly u všech sérií testů srovnatelné. Nižší hodnoty síly působící na stehenní kost cca o 10 % vychází převážně pro sérii zkoušek 10_00403 s vozidlem Škoda Octavia II. V případě Škody Octavia II byla místem prvního kontaktu oblast pánevní (viz kapitola 7.2 a 7.3). U vozidla Škoda Yeti byla pánev i stehno kontaktováno krytem nárazníku téměř současně.

Z grafů na Obr. 45 a Obr. 46 je patrné fázové posunutí působení zatěžující síly sérií porovnávaných zkoušek, toto je dáno jednak převážně faktem, že zkouška 09_00924 je zatížena systematickou chybou, která vznikla při synchronizaci signálů z nezávislých měřících zařízení. Tento zdroj chyby byl již při měření v roce 2010 odstraněn použitím nových snímačů, závislých na jediné základně a jednotné nule měření.

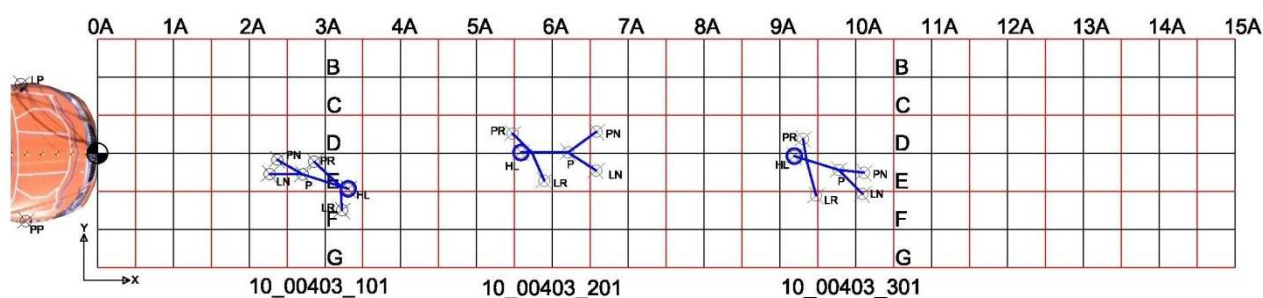
7.5 Srovnání postřetových poloh – dopadové vzdálenosti

7.5.1 Série zkoušek 09_00924_xxx



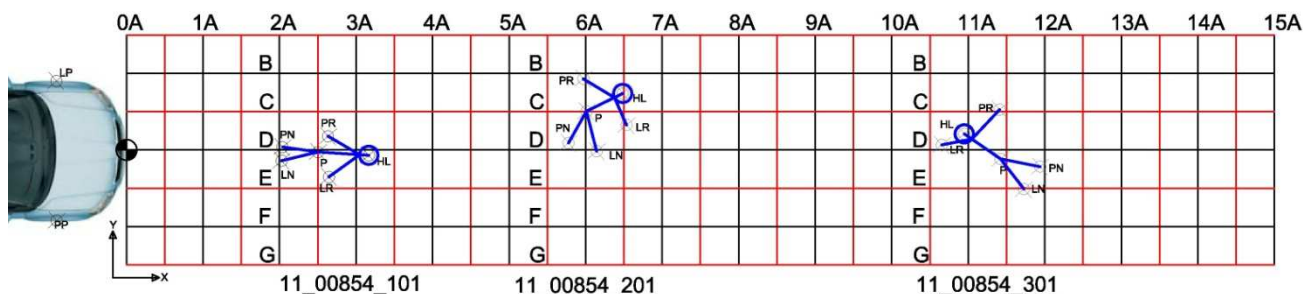
Obr. 47 – dopadové vzdálenosti pro sérii zkoušek 09_00924, rok 2009, Škoda Roomster.

7.5.2 Série zkoušek 10_00403_xxx



Obr. 48 – dopadové vzdálenosti pro sérii zkoušek 10_00403, rok 2010, Škoda Octavia II.

7.5.3 Série zkoušek 11_00854_xxx



Tab. 13 – dopadové vzdálenosti pro sérii zkoušek 11_00854, rok 2011, Škoda Yeti.

Tab. 13 – dopadové vzdálenosti pro jednotlivé zkoušky.

zkouška č.	2009		2010		2011	
	rychlost	vzdálenost	rychlost	vzdálenost	rychlost	vzdálenost
	[km/h]	[m]	[km/h]	[m]	[km/h]	[m]
101	10.6	1.7	12.2	2.8	10.1	2.6
201	17.3	4.5	22.4	6.1	20.0	6.1
301	28.7	9.5	30.6	9.7	28.8	11.3
302	31.9	11.6				

Postřetová poloha resp. postřetová kinematika figuríny se odvíjí od konfigurace střetu, nárazové rychlosti, tvaru předě 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. V případě série testů provedených v roce 2011 došlo k přetočení figuríny při testu č. 301 v rychlosti 28,8 km/h, v nižších rychlostech se dostávala figurína do konečné polohy na vozovce přes fázi sedu.

Shodně jako v kapitole 5.1, jsou dopadové vzdálenosti měřeny k předpokládanému těžišti figuríny, hodnoty jsou zaokrouhleny na desetinu metru. Porovnání je možné z Obr. 47, Obr. 48 a Tab. 13.

8 Závěr

Fakulta dopravní ČVUT v Praze provedla v pořadí již třetí sérii dynamických zkoušek střetu osobního automobilu M1 s dětskou figurínou P6. Kolizním partnerem bylo vozidlo Škoda Yeti. Obsahem této zprávy je jednak shrnutí a vyhodnocení výsledků provedených měření z roku 2011 (kapitola 3 až 6), a dále srovnání provedené série testů se zkouškami z let 2010 a 2009 (automobil Škoda Octavia II, a Škoda Roomster) – kapitola 7. Konkrétní závěry a hodnocení jsou uvedeny v příslušných kapitolách.

Počátečním předpokladem pro realizaci tří sérií dynamických testů bylo při maximální unifikaci počátečních podmínek porovnat získané výsledky a formulovat závěry, které se při analýze jednotlivých dějů prokázaly. Cílem bylo rovněž formulovat a prověřit jednotnou metodiku provádění tohoto typu testů (příprava a instrumentace jednotlivých objektů s možným využitím různých typů měřících a dokumentačních zařízení). Dalším z cílů bylo porovnat ponárazovou kinematiku a zjistit, zda existují konkrétní relace mezi primárním a sekundárním nárazem.

Výsledky provedených testů potvrdily souvislost úrovně biomechanické zátěže figuríny při primárním nárazu s geometrií přídě. Jako hlavní geometrické ukazatele se jeví výška náběžné hrany kapoty a horní hrana krytu nárazníku viz obr. 40. Tyto parametry výrazněji ovlivnily velikost biomechanické zátěže hrudníku, pánve a kolena (nejnižší hodnoty u vozidla Škoda Roomster, nejvyšší u Škody Yeti), přičemž přímý vliv na velikost HPC_{15} pozorován nebyl.

Relace závažnosti sekundárního nárazu a střetové rychlosti se neprokázala, sekundární náraz je dějem s vysokým stupněm neurčitosti a závažnost jeho následků lze přirovnat k náhodnému jevu. Z provedených sérií testů lze odvodit určité kinematické zákonitosti, které ovlivňují průběh sekundárního kontaktu v důsledku velikosti střetové rychlosti, ale i přesto dochází k výraznému ovlivnění hodnot biomechanické zátěže jednotlivými částmi figuríny (např. pokládání se na vozovku pouze ze sedu do lehu na zádech, či pokládání se ze sedu na bok, kdy může být kontakt hlavy s vozovkou odstíněn.)

Partneři zkoušky



Příloha 1 – Biomechanická kritéria – přehledové tabulky

Hlava

zkouška č.	HLAVA															
	Primární náraz									Sekundární náraz						
	HPC ₁₅			a _{max}			a _{3ms}			HPC ₁₅			a _{max}		a _{3ms}	
	[-]	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	6.4	9.8	24.4	25.4	10.2	11.5	38.3	41.3	993.8	789.5	797.0	168.1	792.0	119.8	790.7	793.8
201	54.2	47.5	62.5	44.2	19.4	27.0	78.8	82.2	7.4	1847.9	1858.8	19.8	877.3	15.7	1851.3	1854.5
301	189.4	24.1	39.1	54.9	26.4	41.0	36.9	41.7	847.9	637.2	645.7	140.9	638.0	83.4	637.3	640.7

zkouška č.	HLAVA											
	Primární náraz						Sekundární náraz					
	HPC ₁₅		a _{max}		a _{3ms}		HPC ₁₅		a _{max}		a _{3ms}	
	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit
101	6.4	1000	25.4	-	11.5	80/60	993.8	1000	168.1	-	119.8	80/60
201	54.2	1000	44.2	-	27.0	80/60	7.4	1000	19.8	-	15.7	80/60
301	189.4	1000	54.9	-	41.0	80/60	847.9	1000	140.9	-	83.4	80/60

Hrudník

zkouška č.	HRUDNÍK									
	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	15.3	26.3	14.3	17.3	37.0	804.0	30.6	801.9	804.9
201	66.6	19.6	52.5	18.6	21.6	27.5	875.0	20.1	873.2	876.2
301	121.7	17.0	99.3	15.5	18.5	37.2	664.0	25.9	663.7	666.7

HRUDNÍK								
zkouška č.	Primární náraz				Sekundární náraz			
	a _{max}		a _{3ms}		a _{max}		a _{3ms}	
	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit
101	28.4	-	26.3	60/55	37.0	-	30.6	60/55
201	66.6	-	52.5	60/55	27.5	-	20.1	60/55
301	121.7	-	99.3	60/55	37.2	-	25.9	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	25.8	18.7	19.4	-4.1	-1.1	60.6	762.0	35.3	690.2	693.2
201	89.5	16.3	45.8	12.2	17.8	44.9	871.2	37.5	869.7	872.7
301	179.5	12.8	92.9	11.6	14.6	71.1	788.0	35.0	786.8	789.8

PÁNEV								
zkouška č.	Primární náraz				Sekundární náraz			
	a _{max}		a _{3ms}		a _{max}		a _{3ms}	
	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit
101	25.8	130	19.4	-	60.6	130	35.3	-
201	89.5	130	45.8	-	44.9	130	37.5	-
301	179.5	130	92.9	-	71.1	130	35.0	-

Koleno

KOLENO		KOLENO			
zkouška č.	Primární náraz		zkouška č.	Primární náraz	
	a _{max}			a _{max}	
	[g]	t [ms]		[g]	limit
101	65.0	21.2	101	65.0	170
201	188.9	15.6	201	188.9	170
301	260.7	12.0	301	260.7	170

Zatížení stehenní kosti – síla působící na ohyb

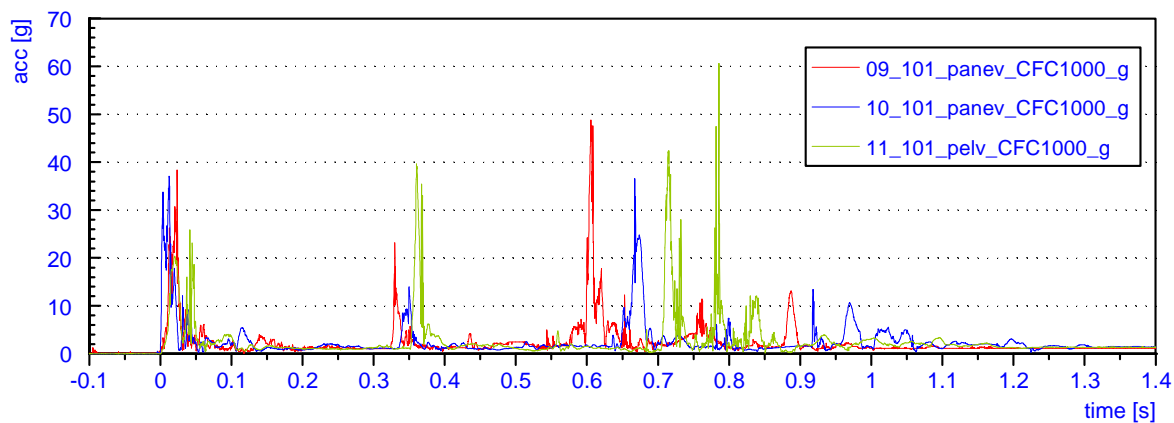
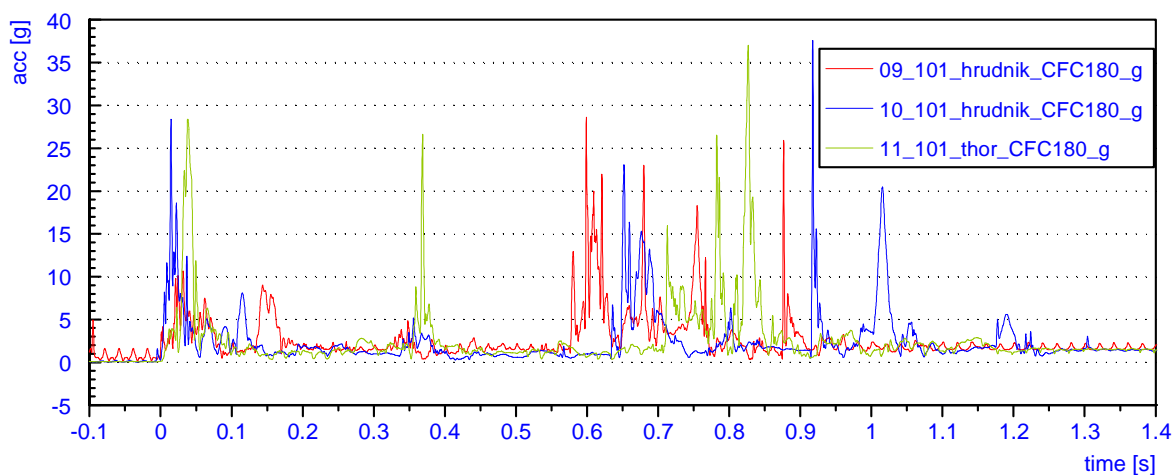
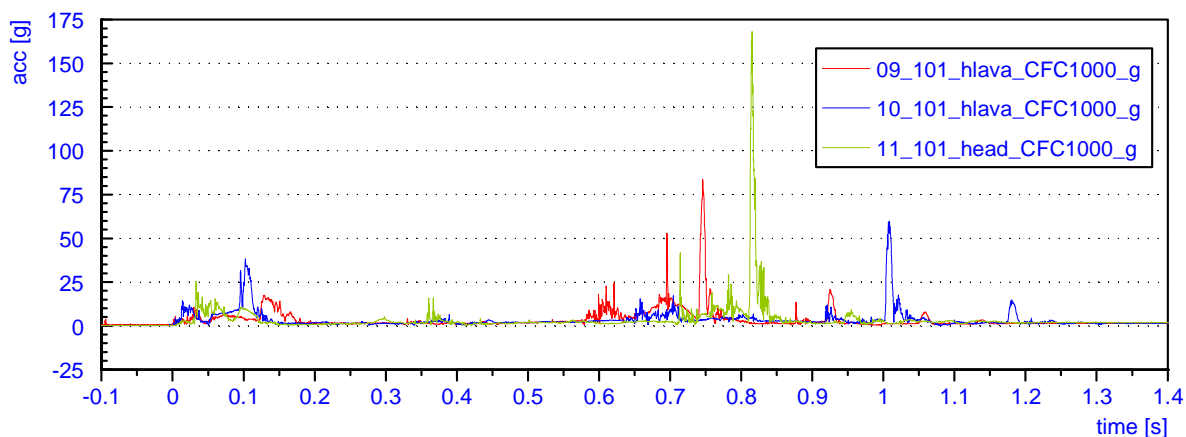
Průběh síly		
zkouška č.	Primární náraz	
	F _{max}	
	[N]	t [ms]
101	1049	23.5
201	2749	17.5
301	3816	13.8

Příloha 2 – Porovnání sérií testů

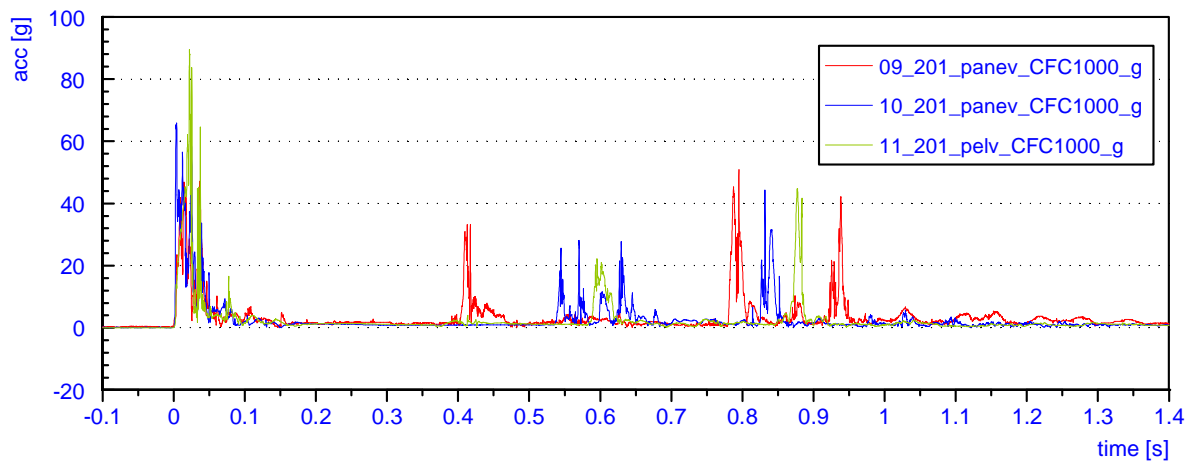
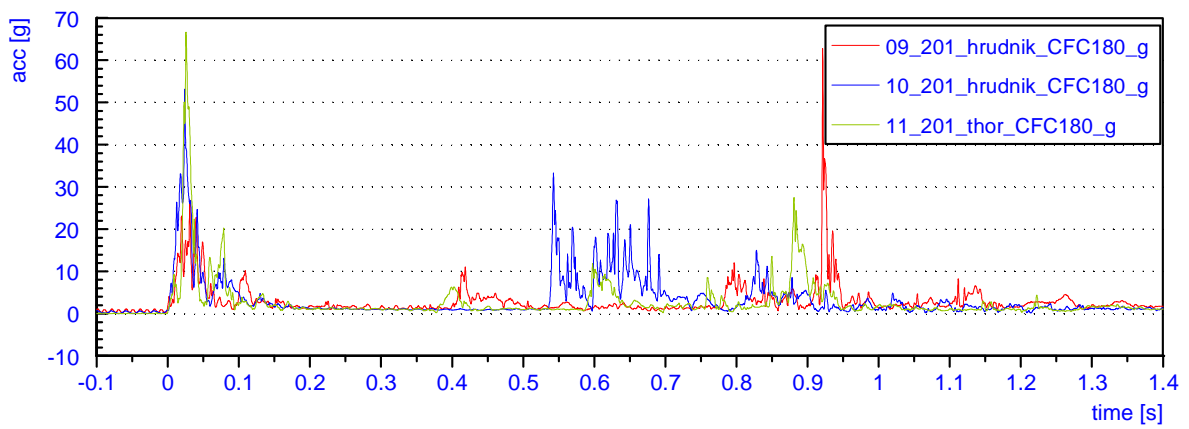
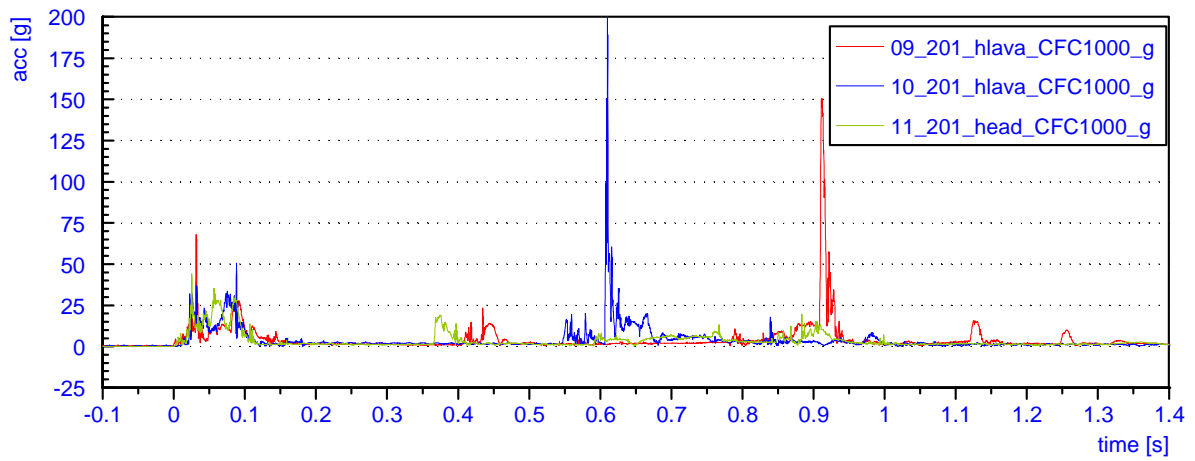
Grafy pro jednotlivé zkoušky znázorněny v pořadí:

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

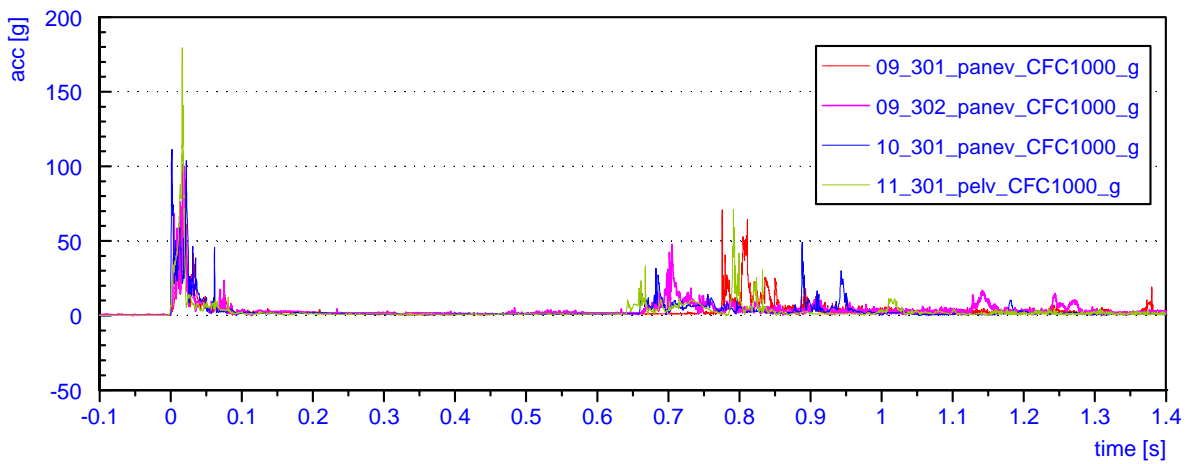
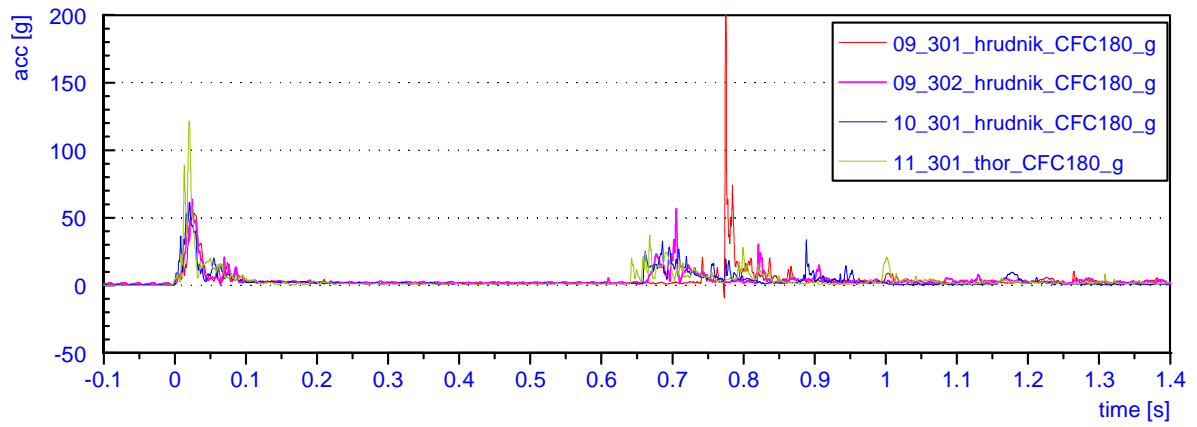
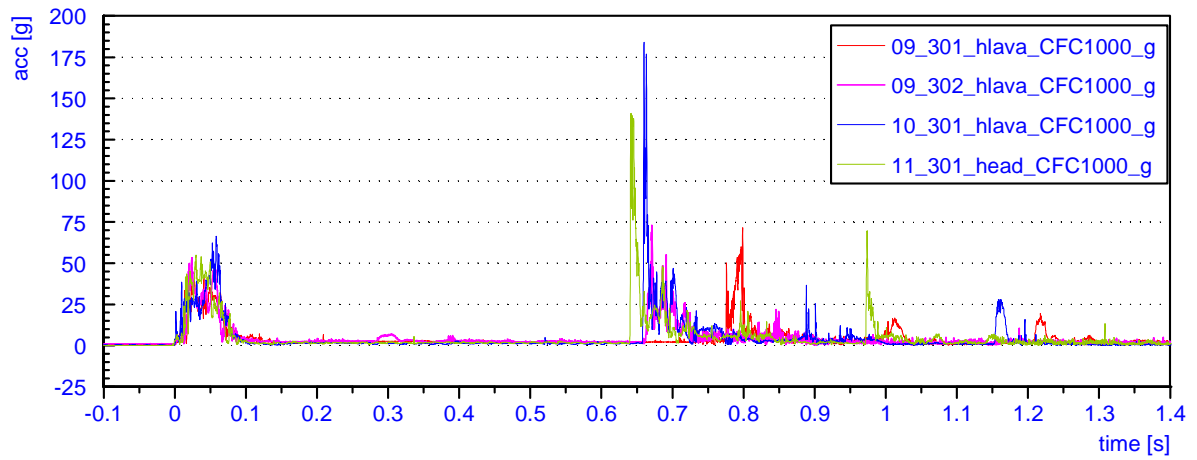
Zkouška 09_00924_101 (10,6 km/h), 10_00403_101 (12,2 km/h) a 11_00854_101 (10,1 km/h)



Zkouška 09_00924_201 (17,3 km/h), 10_00403_201 (22,4 km/h) a 11_00854_201 (20,0 km/h)



Zkouška 09_00924_301 (28,7 km/h) resp. 09_00924_302 (31,9 km/h), 10_00403_301 (30,6 km/h) a 11_00854_301 (28,8 km/h)



Příloha 3 – Škála hodnocení závažnosti poranění - Abbreviated Injury Scale (AIS)

Poranění hlavy AAAM 2004 (Association for the Advancement of Automotive Medicine 2004)

AIS	Popis poranění
1	Kůže, svaly: odřeni, povrchové natrženi Obličej: zlomenina nosu
2	Kůže: částečná skalpace Zlomenina klenby lebni: prasklina Zlomenina čelisti: otevřená, dislokovaná Zlomenina lícní kosti: LeFort I a II
3	Zlomenina baze lebni Zlomenina lícní kosti: LeFort III Totální skalpace Zhmoždění mozečku
4	Zlomenina klenby lebni: otevřená s úlomky, odhalení nebo ztráta mozkové tkáně Malý subdurální nebo epidurální hematom
5	Pronikající poranění > 2 cm s útlakem mozku, Rozsáhlé epidurální nebo subdurální krvácení Difúzní poranění mozku
6	Masivní destrukční poranění lebky a mozku

Poranění hrudníku – poranění skeletu AAAM 2004

AIS	Popis poranění
1	Zlomenina jednoho žebra
2	Zlomenina 2-3 žeber, zlomenina hrudní kosti
3	Zlomenina 4 a více žeber na jedné straně, zlomenina 2-3 žeber s hemothoraxem nebo pneumothoraxem
4	Zlomenina 4 a více žeber na každé z obou stran, zlomenina 4 a více žeber s hemothoraxem nebo pneumotoraxem, nestabilní hrudník
5	Oboustranně nestabilní hrudník
6	-

Poranění hrudníku – měkké tkáně AAAM 2004

AIS	Popis poranění
1	Zhmoždění průdušky
2	Částečné odtržení stěny průdušky
3	Zhmoždění plíce, lehké zhmoždění srdce
4	Zhmoždění plic, částečné natrženi aorty, zhmoždění srdce
5	Natrženi aorty, roztržení plic s přetlakovým pneumothoraxem
6	Roztržení aorty s masivním krvácením do osrdečníku

Poranění páteře AAAM 2004

AIS	Popis poranění
1	Kůže, svaly: odření, zhmoždění, lehké natržení
2	Páteřní tepna: malé natržení Křční/hrudní páteř: dislokace bez zlomeniny Hrudní/bederní páteř: roztržení disku
3	Páteřní tepna: odtržení Křční/hrudní páteř: natržení více nervových kořenů
4	Křční/hrudní páteř: zhmoždění míchy
5	Křční/hrudní páteř: roztržení míchy bez zlomenin
6	Křční páteř: roztržení míchy v oblasti C3 a vyšší se zlomeninou

Poranění břicha AAAM 2004

AIS	Popis poranění
1	Kůže, svaly: zhmoždění (hematom)
2	Slezina, játra: zhmoždění (< 50% povrchu)
3	Zhmoždění ledvin Slezina: roztržení
4	Břišní aorta: lehké natržení Ledviny/játra: roztržení
5	Ledviny: totální destrukce orgánu i jeho cévního zásobení
6	Totální separace cévního zásobení

Dolní končetiny AAAM 2004

AIS	Popis poranění
1	Kotník, kyčel: vymknutí, zhmoždění
2	Češka, kost holenní, lýtková, patní kost, nárt: zlomenina Pánev: zavřená nedislokovaná zlomenina Prst: amputace, rozdrčení Kyčel, koleno: dislokace Svaly, vazy: natržení
3	Stehenní kost: zlomenina Pánev: zlomenina (otevřená, dislokovaná) Traumatická amputace DK pod kolenem
4	Pánev: zlomenina tzv. otevřená kniha Traumatická amputace DK nad kolenem
5	Pánev: výrazná deformace s narušením pánevní dutiny s masivním krvácením >20% objemu
6	-