

2012



ČVUT v Praze
Fakulta dopravní

SÉRIE DYNAMICKÝCH ZKOUŠEK STŘETU OSOBNÍHO AUTOMOBILU S DĚTSKÝM CHODCEM

Závěrečná zpráva 2012

Ústav soudního znalectví v dopravě, k622
Horská 3, 128 03 Praha 2
Prosinec 2012



Obsah

Obsah	2
1 Úvod	4
2 Experiment - popis.....	4
2.1 Lokace/počáteční podmínky.....	4
2.2 Količní partneři	5
2.2.1 Figurína P6	5
2.2.2 Automobil kategorie M1.....	6
2.2.3 Obrazový záznam.....	9
3 Průběh testů.....	11
3.1 Primární náraz	11
3.1.1 Střetová/nárazová rychlost	11
3.1.2 Obrazová sekvence primárního nárazu	12
3.1.3 Časový průběh primárního nárazu – popis.....	13
3.1.4 Konfigurace střetu - porovnání.....	16
3.2 Sekundární náraz	19
3.2.1 Sekundární náraz – popis.....	19
3.2.2 Konečná poloha objektů po kolizi.....	20
3.3 Poškození.....	22
4 Naměřené hodnoty.....	23
4.1 Figurína P6	23
4.1.1 HLAVA	23
4.1.2 HRUDNÍK.....	26
4.1.3 PÁNEV	28
4.1.4 DOLNÍ KONČETINY	32
4.2 Automobil	35
4.2.1 Nárazník	35
4.2.2 Zámek kapoty	39
4.2.3 Výztuha nárazníku	43
4.2.4 Plastový kryt nárazníku a výztuha	46
5 Diskuze výsledků	50
6 Závěr	52

Příloha 1 – Graf průběhu zrychlení na figuríně – test 11_00854_201	54
Příloha 2 – Biomechanická kritéria – přehledové tabulky.....	55
Příloha 3 – Škála hodnocení závažnosti poranění - Abbreviated Injury Scale (AIS).....	57

1 Úvod

Fakulta dopravní ČVUT v Praze navázala na dosavadní provedené testy v oblasti dynamických zkoušek pasivní bezpečnosti dětského chodce při střetu s osobním vozidlem kategorie M1. V letech 2009 až 2011 byly provedeny celkem tři série testů střetu dětského chodce s osobními automobily reprezentujícími různé třídy (Škoda Roomster, Škoda Octavia II a Škoda Yeti). V letošním roce (2012) se testy zaměřily zejména na opakovatelnost testů s úplnou figurínou a tedy na možnost porovnatelnosti výsledků naměřených při testech tohoto typu. Pro testy bylo využito shodného typu automobilu, jako pro testy provedené v roce 2011 – tedy osobní automobil Škoda Yeti.

Byly provedeny tři testy o shodných počátečních podmínkách při kolizní rychlosti 20 km/h (nominální rychlost). Kromě figuríny chodce bylo za účelem podrobnější deskripce děje vybaveno snímací technikou i vozidlo. Technika pro instrumentaci vozidla byla vypůjčena od Škoda Auto a.s. Výsledky testů budou sloužit mimo jiné i pro validaci počítačového modelu a pro znaleckou činnost.

2 Experiment - popis

2.1 Lokace/počáteční podmínky

Formulace počátečních podmínek je totožná s podmínkami předcházejících experimentů:

- kolize automobilu kategorie M1,
- figurína P6, (šestileté dítě; 1,17 m; 22 kg),
- pozice figuríny čelem ke kolidujícímu vozidlu – stoj spatný v prodloužení podélné osy vozidla (viz Obr. 1),
- nominální rychlost nárazu 20 km/h (3 testy),
- vozidlo brzděno s počátkem v okamžiku nárazu.



Obr. 1 – počáteční pozice figuríny čelem k přijíždějícímu vozidlu.

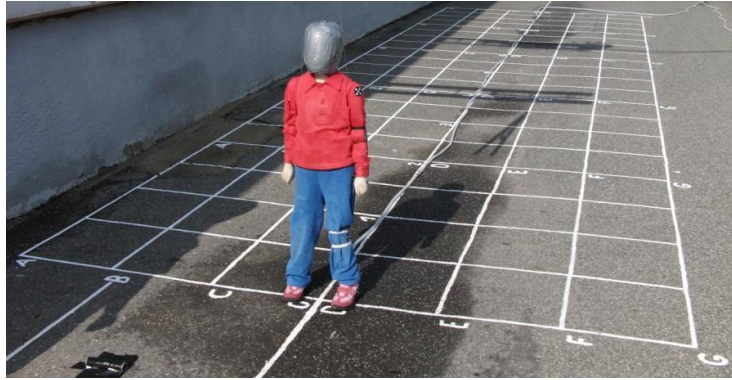
Lokace

Experiment proveden dne 7. 7. 2012 a 8. 7. 2012 v areálu A.L.C.Z. a.s., Mezi úvozy 2000/3, 19300 Praha 9.

- účelová komunikace areálu A.L.C.Z. a.s., asfaltový povrch,
- rastr na vozovce po 0,5 m (viz Obr. 2).

Klimatické podmínky

- teplota: 22 °C
- vítr: 0 – 5 m/s



Obr. 2 – rastr na vozovce, ustavení figuríny.

2.2 Kolizní partneři

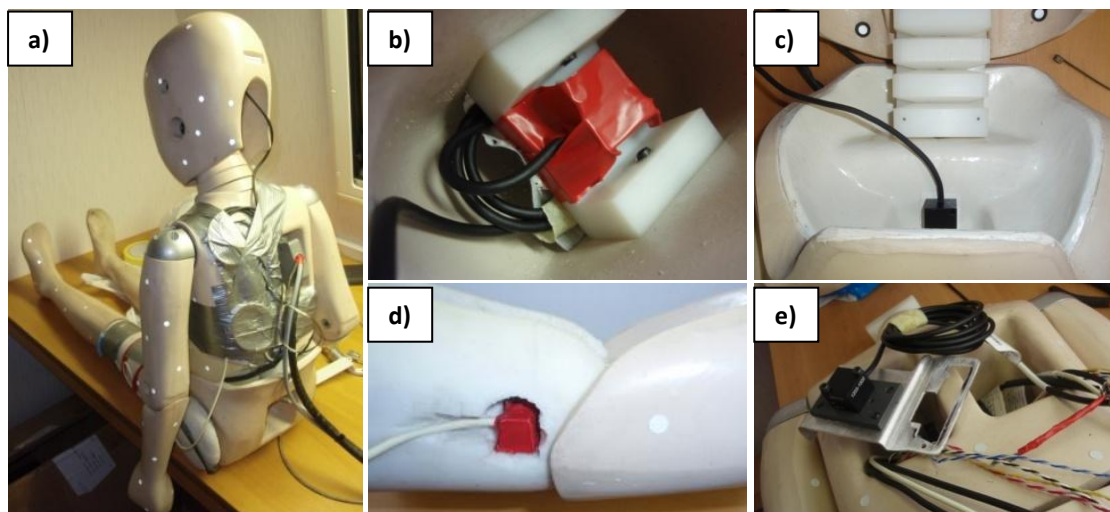
2.2.1 Figurína P6

- hmotnost: 22 kg
- výška: 1,17 m
- poloha: stojící, natočena čelem k vozidlu
- 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. 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 + 1 trigger.



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).

2.2.2 Automobil kategorie M1**Škoda Yeti, 1.8 TSI 118 kW 6-stup. mech. 4x4, modelový rok 2010 (Obr. 6)**

- 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. 7) – vyznačena zóna pro testování impaktorem dětské hlavy.



Obr. 6 – automobil kategorie M1 – Škoda Yeti.

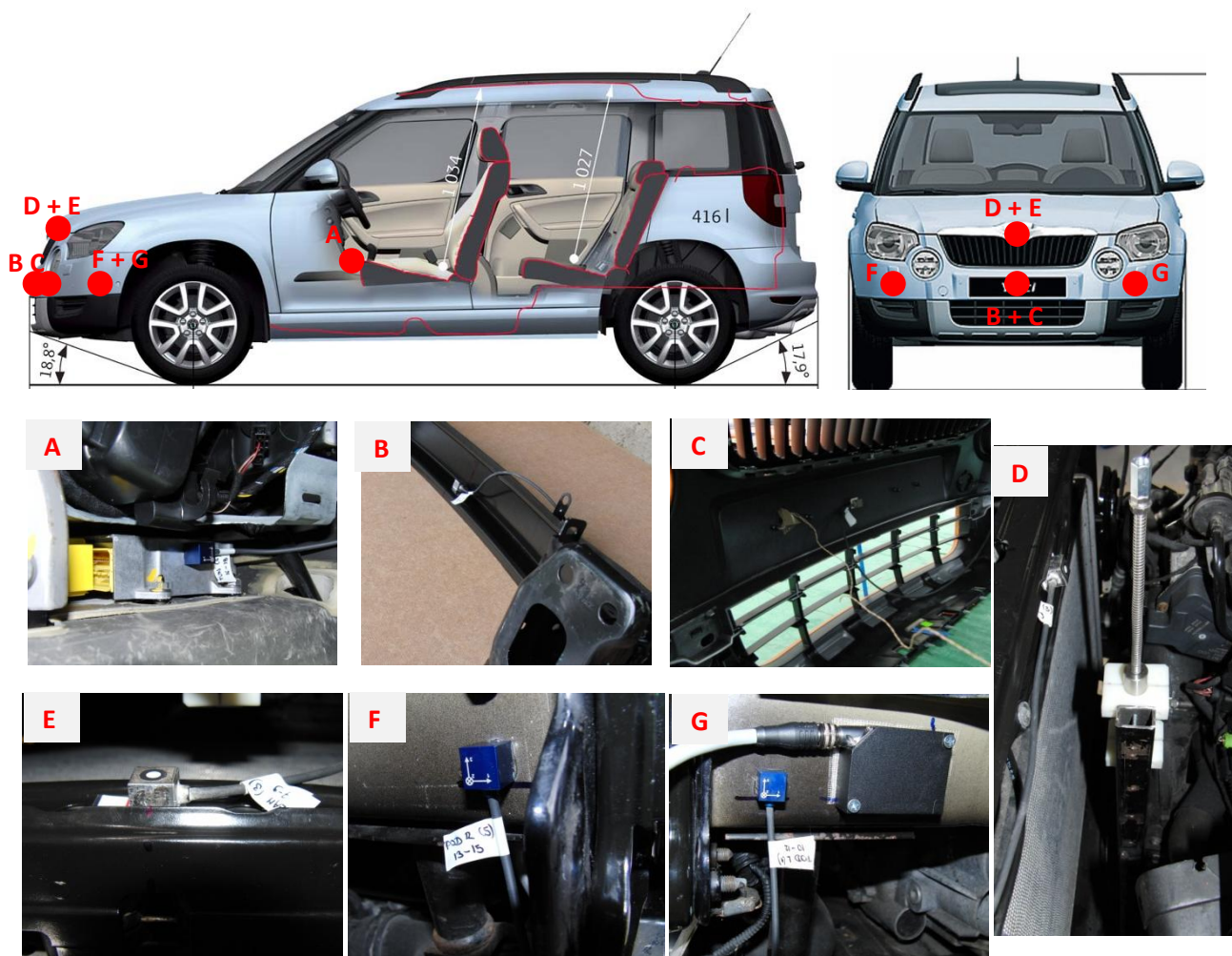


Obr. 7 - zóny na předí automobilu dle testovacího protokolu EuroNCAP pro testování impaktorem dětské hlavy (modře shora: referenční linie náběžné hrany kapoty, horní referenční linie nárazníku, vertikálně osa y, na obr. vpravo boční referenční linie; černě horizontálně: WAD¹1000 a WAD1500; bíle horizontálně: WAD1250, černě a žlutě vertikálně: rozdělení vzniklých zón do dvanácti ekvivalentních testovacích polí), na obr. vpravo modře boční referenční linie.

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.

Instrumentace automobilu

Automobil byl vybaven měřicí technikou pro sledování působících sil resp. zrychlení ve vybraných lokalitách (viz Obr. 8). Vybavení pro instrumentaci automobilu bylo vypůjčeno od Škoda Auto a.s.



Obr. 8 – Umístění snímačů na automobilu.

Automobil byl osazen šesti akcelerometry a jedním snímačem posunu (LVDT). Akcelerometry byly umístěny tak, jak je patrné z detailů na Obr. 8, tedy na krytu nárazníku (C) a na výztuze nárazníku (B) v ose y automobilu, na levém a pravém podélníku (F a G), u zámku kapoty v ose automobilu (E) a na řídicí jednotce airbagu (A). Snímač posunu (D) byl umístěn tak, aby mohl být sledován průhyb kapoty v místě nárazu. Na vozidle bylo měřeno celkem 18 kanálů zrychlení, 1 kanál průhybu kapoty a 3 digitální kanály pro určení okamžiku prvního kontaktu figuríny s přídílí automobilu resp. okamžiku sešlápnutí brzdového pedálu řidičem.

Snímače + vybavení automobilu:

- 3 osé **akcelerometry** Kistler, piezorezistivní, 6x rozsah 1000 g,
- lineární snímač posunu – **Omega LD320-50**,
- **digitální kanály** pro určení prvního kontaktu nárazníku automobilu s figurínou, určení okamžiku sešlápnutí pedálu brzdy řidičem a prvního kontaktu s kapotou automobilu na úrovni referenční linie náběžné hrany kapoty.



Obr. 9 – MINIDAU (32 kanálů)

- záznamová jednotka **Kayser-Threde (Kistler) MINIDAU** (32 kanálů) + baterie + HW rozhraní pro digitální kanály (obr. 9).
- přístroj **Etanu 2.0** – měření průběhu rychlosti a zrychlení vozidla v ose x, y, videozáznam, GPS poloha; umístěno na čelním skle automobilu,
- měření úhlu klopení automobilu – optosnímač **optoNCDT 1402-600**, rozsah 600 mm, umístěn na levém podélníku,
- cyklo-tachometr (Obr. 10 vpravo).



Obr. 10 – umístění optosnímače optoNCDT, cyklo-tachometr (vpravo).

2.3 Obrazový záznam

Vysokorychlostní záznam

- pět vysokorychlostních kamer 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 – dvě kamery ve stereo režimu; 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 na trigger,
- fotoaparát Casio EX F1 Exilim Super zoom, snímání až 1 200 snímků/s, reálná rychlost 600/s, záběr ze střechy automobilu.



Obr. 11 – vysokorychlostní kamery Redlake (vlevo), fotoaparát Casio, záběr ze střechy automobilu (vpravo).

Postřetová dokumentace

- dokumentace poškození kapoty a dokumentace postřetové polohy objektů – 3D scanner – **Faro Focus3D** (Obr. 12 vlevo), výsledky 3D skenování jsou komentovány v kapitole xx.
- konečná poloha objektů, význačné body – totální stanice **Topcon 3007i** (Obr. 12 vpravo),
- fotodokumentace konečné polohy objektů, poškození aj.



Obr. 12 – vlevo 3D scanner Faro Focus3D, vpravo totální stanice Topcon 3007i.

Další

- kamera pro navádění automobilu do místa střetu (Obr. 13).



Obr. 13 – kamera pro navádění do místa střetu.

3 Průběh testů

Byly provedeny tři testy střetu osobního automobilu Škoda Yeti s dětskou figurínou P6, v nominální nárazové rychlosti 20 km/h (testy 12_00905_201 až 12_00905_203). Testy byly prováděny zejména z důvodu možnosti vzájemného porovnání výsledků a zhodnocení opakovatelnosti zkoušek prováděných s kompletní figurínou. Jak již bylo řečeno v úvodu, výsledky poslouží pro validaci výpočetního modelu. Tam, kde je to účelné, byly pro porovnání vzaty i výsledky z testů provedených v roce 2011, jmenovitě test č. 11_00854_201, tedy test shodných parametrů, jako testy provedené v roce 2012.

3.1 Primární náraz

3.1.1 Střetová/nárazová rychlost

Reálná rychlost v okamžiku nárazu se v jednotlivých testech lišila, skutečné hodnoty rychlosti jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 – Skutečná rychlost nárazu v jednotlivých testech.

zkouška č.	střetová rychlost
	[km/h]
12_00905_201	18.0
12_00905_202	17.0
12_00905_203	17.2
11_00854_201	20.0

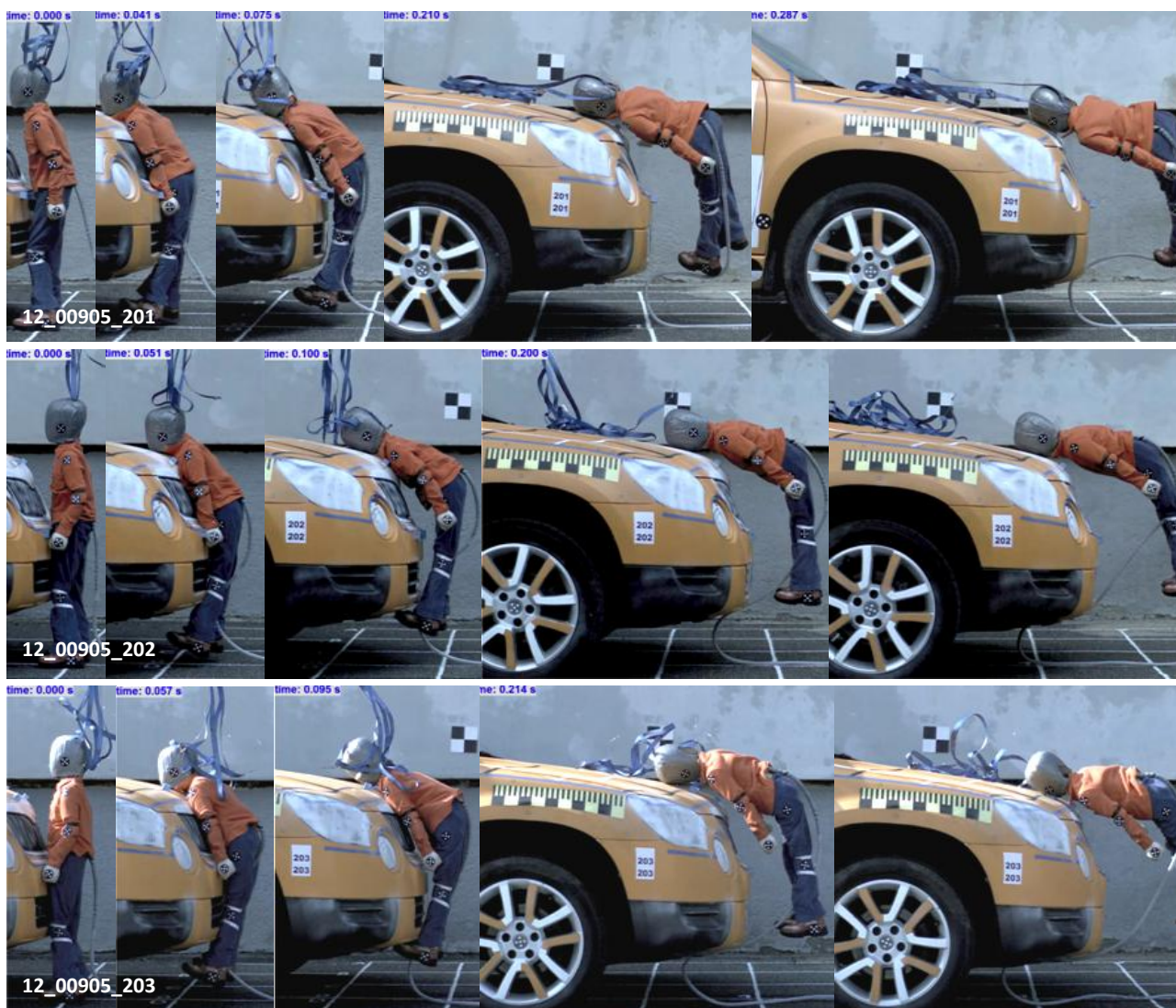
Variace rychlosti

Tab. 2 – Střetová rychlost a její variace.

zkouška č.	střetová rychlost	kinetická energie v okamžiku nárazu	rychlost/odchylka od průměru
	[km/h]	[kJ]	[km/h]
12_00905_201	18.0	18.75	0.6
12_00905_202	17.0	16.72	-0.4
12_00905_203	17.2	17.12	-0.2
11_00854_201	20.0	23.15	2.6

Průměrná střetová rychlost pro zkoušky provedené v roce 2012 byla 17,4 km/h. Odchylka rychlosti jednotlivých zkoušek od rychlosti průměrné (za rok 2012) je uvedena v Tab. 2. Zkoušku 202 a 203 lze považovat, z hlediska rychlosti, za nejvíce podobné (vzájemná odchylka 0,2 km/h).

3.1.2 Obrazová sekvence primárního nárazu



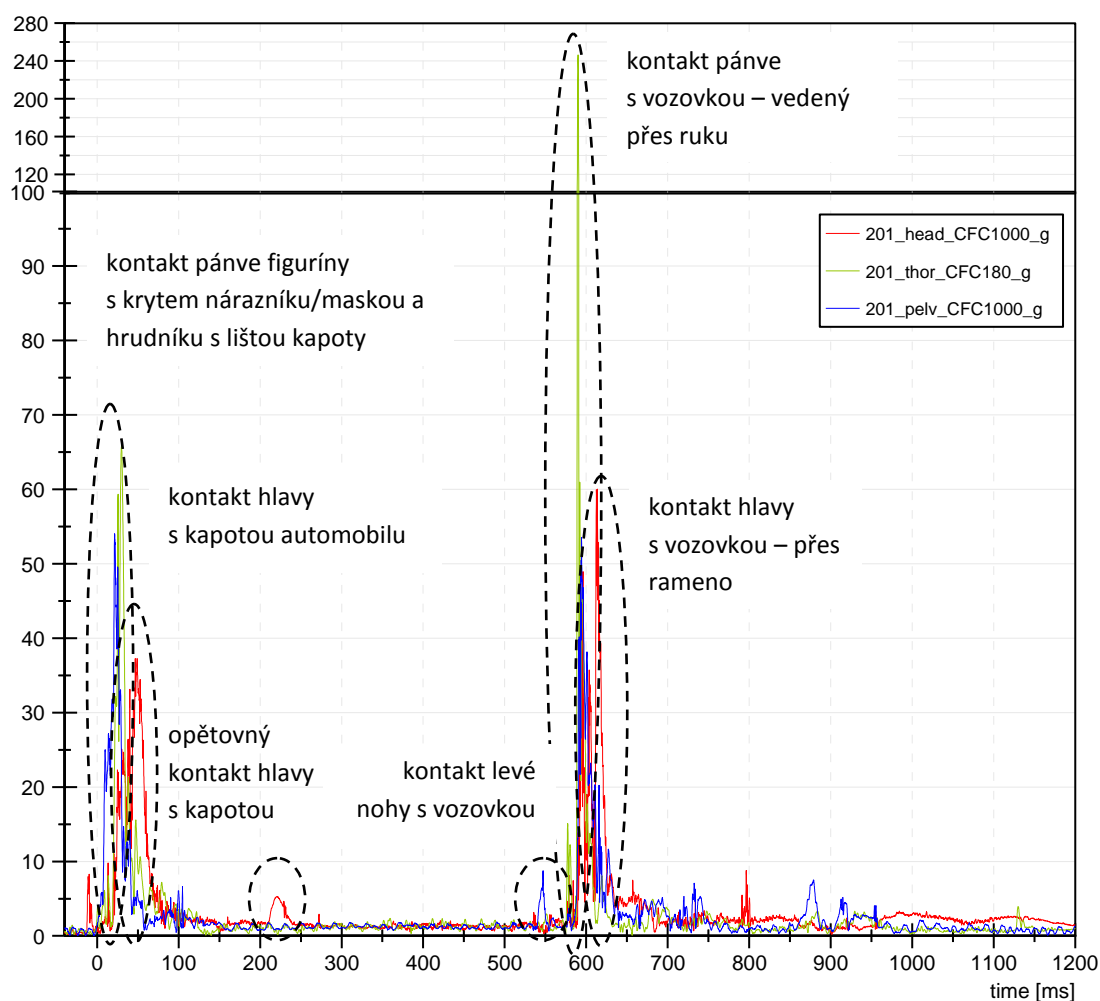
Obr. 14 - obrazové sekvence střetu pro testy č. 12_00905_201 až 12_00905_203.

3.1.3 Časový průběh primárního nárazu – popis

Test 12_00905_201, střetová rychlost 18,0 km/h

Tab. 3 – Zkouška 201 – primární náraz, popis děje.

zkouška 12_00905_201	
ms	popis děje
-4	kontakt pravé ruky s krytem nárazníku v místě registrační značky
1	kontakt levého kolene se spodní hranou spodní mřížky nárazníku
8	kontakt pávne s krytem nárazníku
13	kontakt figuríny (oblast břicha/pávne) s maskou (mřížka chladiče), deformace masky
18-19	kontakt hrudníku s lištou kapoty
25	kontakt levé ruky s krytem nárazníku
27	poslední kontakt podrážek bot s vozovkou
40-41	první kontakt hlavy (brady) s kapotou automobilu
42-58	odvalování hlavy po kapotě
77	poslední kontakt hlavy s kapotou
213	opětovný náraz hlavy na kapotu

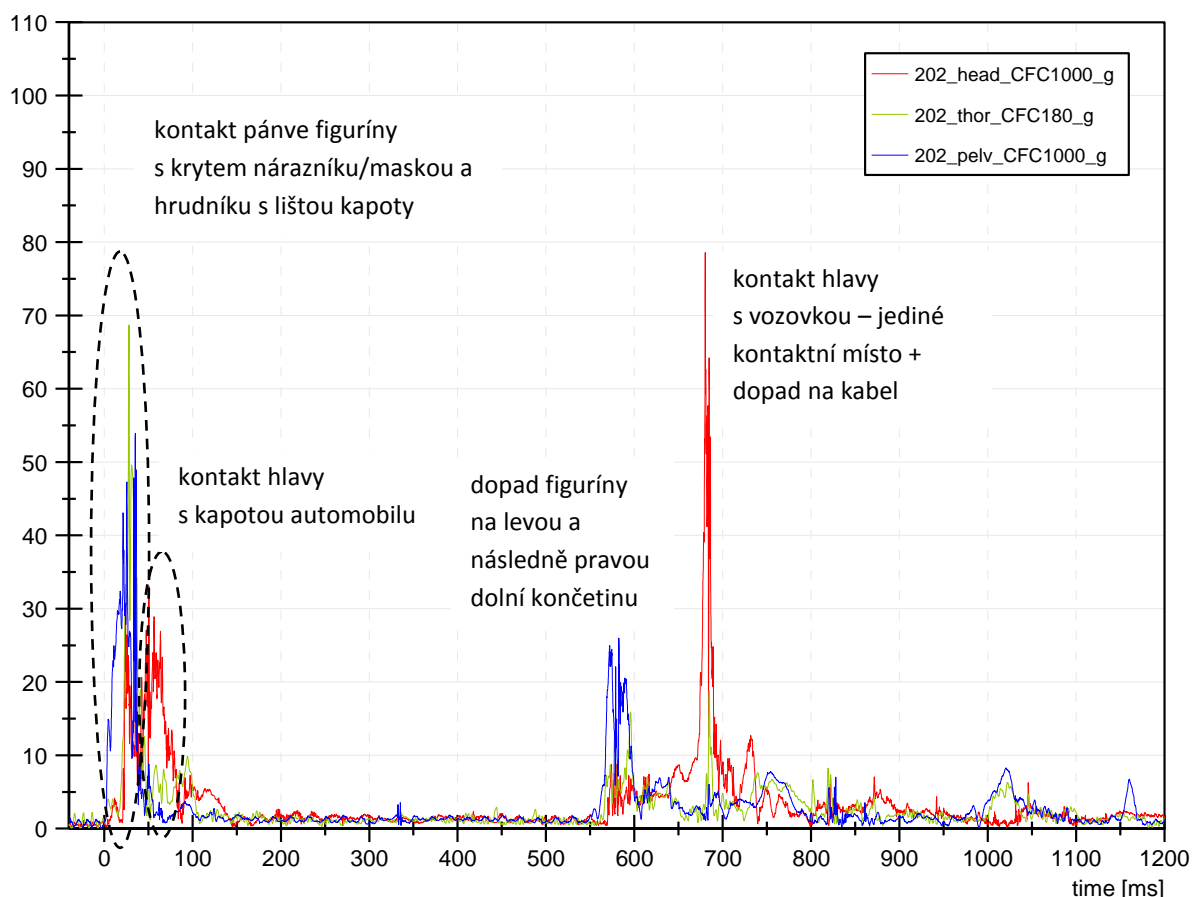


Obr. 15 – Časový průběh zrychlení působícího na figurínu při zkoušce 201.

Test 12_00905_202, střetová rychlost 17,0 km/h

Tab. 4 - Zkouška 202 – primární náraz, popis děje.

zkouška 12_00905_202	
ms	popis děje
0	kontakt stehenní oblasti s nárazníkem
1	kontakt levého kolene se spodní hranou spodní mřížky chladiče
2-3	kontakt pánevní oblasti s krytem nárazníku
3	kontakt levé ruky s krytem nárazníku
10	kontakt pánve/břicha s maskou (mřížka chladiče), deformace masky
19	kontakt hrudníku s lištou kapoty
29	poslední kontakt podrážek bot s vozovkou
50-51	první kontakt hlavy (brada) s kapotou
cca 80	konec "přítlačné" fáze odvalování
88	odlehčení hlavy od kapoty
	pohyb trupu vzhůru s hlavou "položenou" na kapotě
cca 280	počátek sunutí hlavy po kapotě ve směru osy x
cca 375	úplná ztráta kontaktu hlavy s kapotou

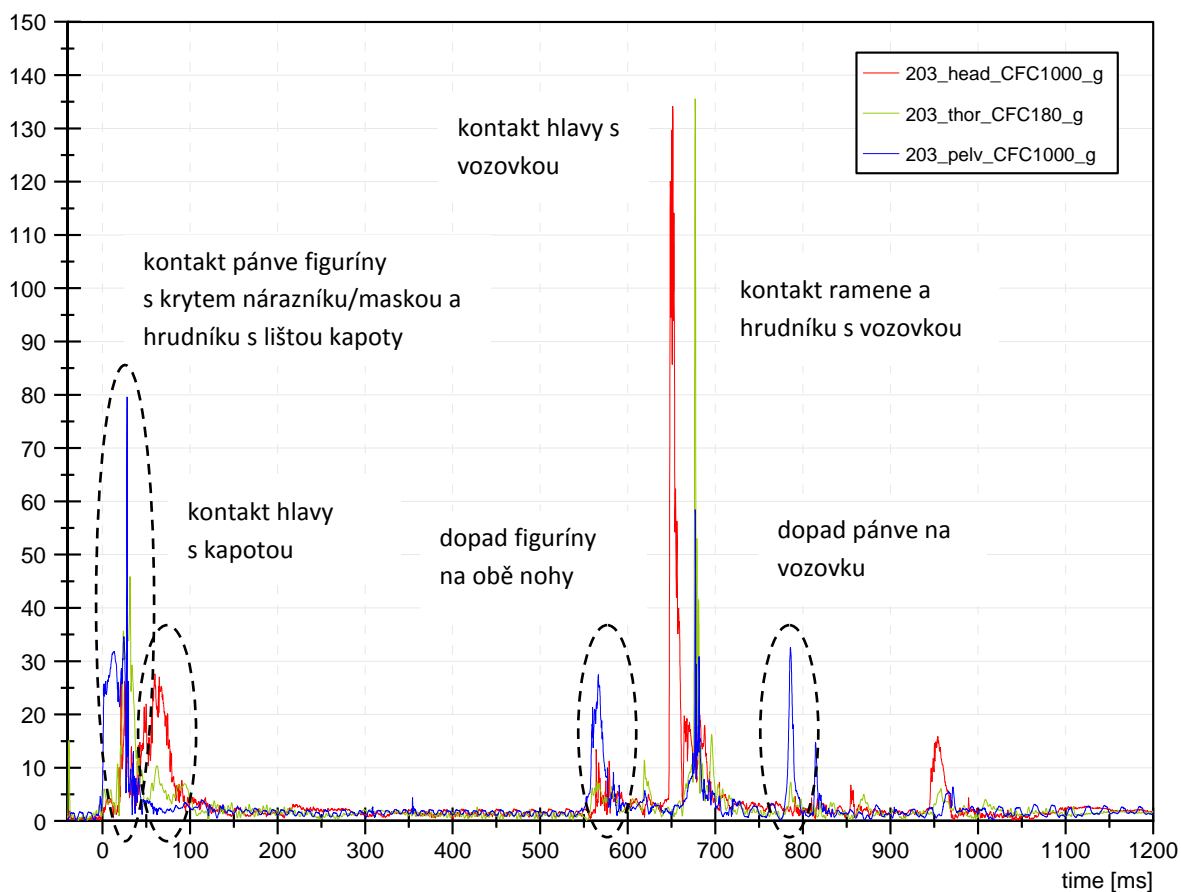


Obr. 16 – Časový průběh zrychlení působícího na figurínu při zkoušce 202.

Test 12_00905_203, střetová rychlost 17,2 km/h

Tab. 5 – Zkouška 203 – primární náraz, popis děje.

zkouška 12_00905_203	
ms	popis děje
-8	kontakt levé ruky s krytem nárazníku
0	kontakt pánve a stehna s krytem nárazníku
2	kontakt levého kolena se spodní hranou spodní mřížky chladiče
4	kontak pánve (břicha) s maskou (mřížkou chladiče), deformace masky
20	první kontakt hrudníku s lištou kapoty
27	poslední kontakt podrážek bot s vozovkou
39	maximální deformace v uložení kapoty po kontaktu s hrudníkem figuríny
58	kontakt hlavy s kapotou (přes bradu)
cca 86	odpoutání hlavy od kapoty sunutí torza vzhůru
221	opětovný kontakt hlavy s kapotou - sekundární část
cca 351	konečná fáze kontaktu hlavy s kapotou automobilu/ztráta kontaktu



Obr. 17 - Časový průběh zrychlení působícího na figurínu při zkoušce 203.

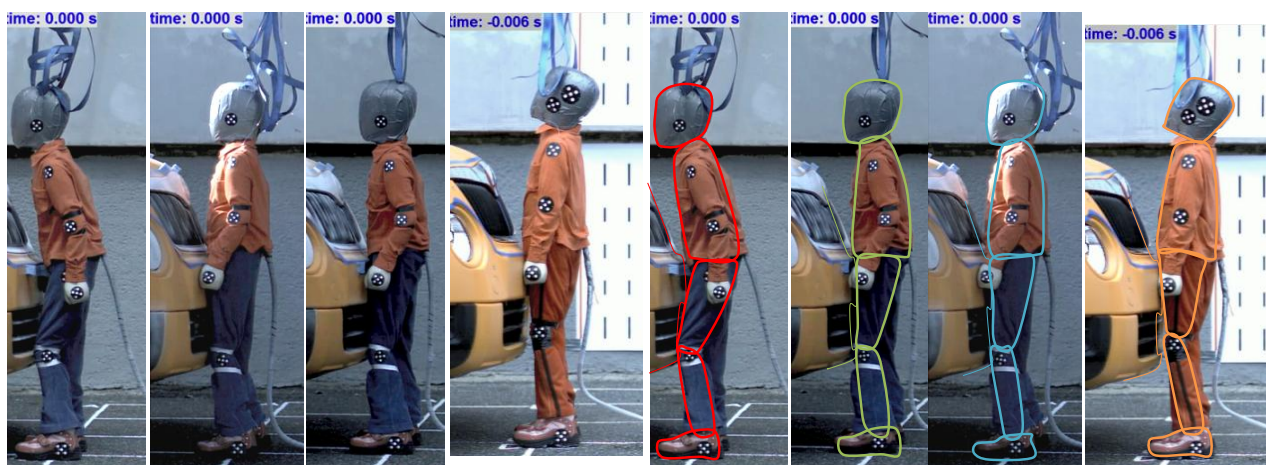
Tab. 6 – Porovnání časového průběhu primárního nárazu u jednotlivých zkoušek (z videozáznamu).

popis děje	201 [ms]	202 [ms]	303 [ms]
levé koleno vs. spodní hrana mřížky chladiče	1	1	2
stehno vs. kryt nárazníku	6-7	1	0
pánev vs. kryt nárazníku	8	3	0 + 6
pánev/břicho vs. maska chladiče	13	10	4
hrudník vs. lišta kapoty	18-19	19	20
poslední kontakt podrážek bot s vozovkou	27	29	27
hlava vs. kapota první kontakt	40-41	50-51	58
hlava vs. kapota odlehčení/odpoutání	77	(88)	cca 86
hlava vs. kapota opětovný náraz	213	-	221
hlava vs. kapota úplná ztráta kontaktu	cca 260	375	cca 351
kontakt levé ruky s krytem nárazníku	25	3	-8
kontakt pravé ruky s krytem nárazníku	-4	N/A	-10

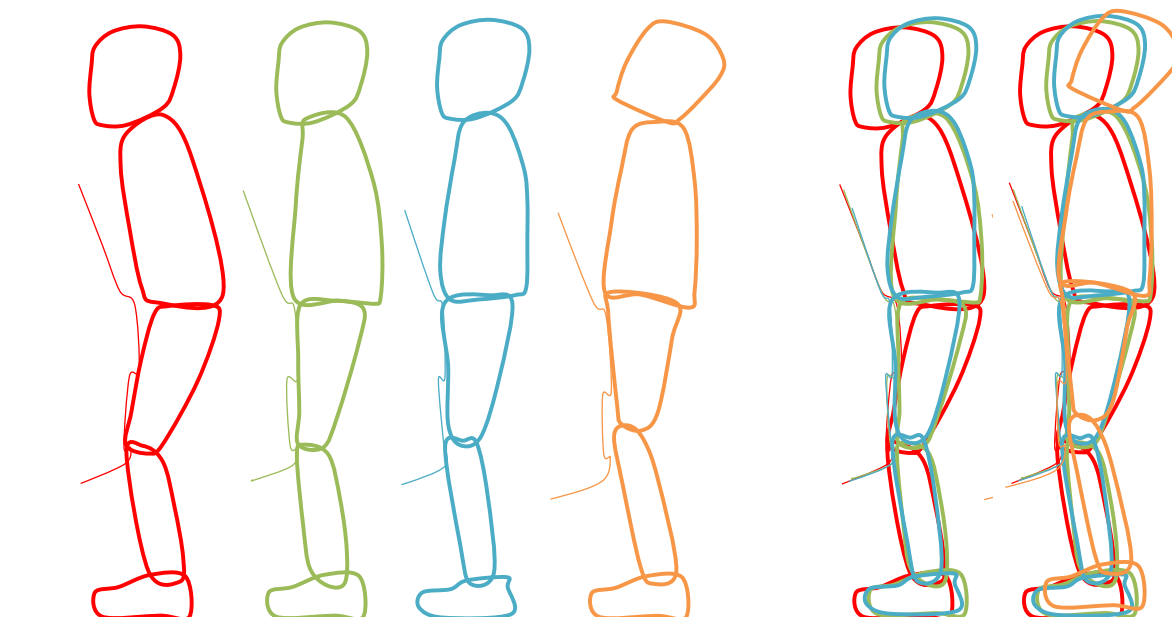
U zkoušek 201 a 203 došlo k prvnímu kontaktu s figurínou přes ruku (levá/pravá ruka). Hlava kontaktovala kapotu ve 40 – 58 ms po prvním nárazu. Hrudník kontaktoval s maskou/lištou kapoty v ms 18 – 20.

3.1.4 Konfigurace střetu - porovnání

Ustavení figuríny v podélné rovině xz



Obr. 18 – Ustavení figuríny v jednotlivých testech – zleva 12_00905: 201, 202, 203 a 11_00854_201.



Obr. 19 – porovnání postavení figuríny při jednotlivých testech (červená, zelená, modrá – 2012 a oranžová 2011).

Ustavení figuríny v ose y – přesnost nárazu

U zkoušek 201 a 203 došlo k odchýlení osy nárazu (automobilu) od středu (podélné osy) figuríny – k odchylce došlo vždy na pravou stranu. Náraz při zkoušce č. 202 lze považovat za centrický.

Tab. 7 – Odchylka osy automobilu od osy figuríny při střetu.

zkouška č.	201	202	203
odchylka od y_0 [mm]	60 vpravo	0	45 vpravo



Obr. 20 – odchylka ve směru osy y – zkouška 203.

Matice počátečních podmínek vztažených k optimu

Počáteční podmínky konfigurace střetu byly vztaženy k optimální poloze. Za optimální polohu je považován stoj vzpřímený, kdy poloha horních a dolních končetin vzájemně odpovídá. Konkrétní optimální poloha je uvedena ke každému sledovanému kritériu zvlášť. V Tab. 8 je znázorněno splnění/nesplnění daného kritéria.

Tab. 8 – Matice počátečních podmínek vztažených k optimální poloze.

	optimum					
	trig	ruce	kol.	xz	y0	v
12_00905_201	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
12_00905_202	OK	OK	NOK	OK	OK	OK
12_00905_203	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK

Vysvětlivky:

- **trig** – spuštění triggeru – optimum: figurína je v okamžiku nárazu volná, neovlivněna stabilizačními popruhy,
- **ruce** – poloha rukou (sledována levá i pravá paže) – optimální poloha ruky nepřesahuje přes obrys stehna/pánve, ruka není prvním kontaktním místem,
- **kol.** – poloha kolen – optimální poloha kolena pravého koresponduje s polohou kolena levého (obě leží v rovině yz),
- **xz** – poloha figuríny v rovině xz – jedná se o celkové ustavení figuríny z pohledu z boku, optimální poloha figuríny bez vysazené pánve,
- **y0** – poloha figuríny v rovině xy – ustavení figuríny vůči ose automobilu v okamžiku nárazu – udává přesnost nárazu, optimum: střed automobilu koliduje se středovou osou figuríny,
- **v** – rychlost – uvažována z pohledu možnosti následné komparace – brána odchylka od průměru (průměrná rychlost je rovna 17,4 km/h).

Na základě provedeného rozboru lze konstatovat, že zkouška s označením 202 se ve svých počátečních podmínkách nejvíce přibližovala optimálnímu postavení figuríny. Se zkouškou 202 nejlépe koreluje zkouška pod označením 203, a to jak po stránce ustavení, tak rychlosti. Odlišnost je v přesnosti nárazu, kdy při zkoušce 203 došlo k mírně excentrickému střetu (excentricita cca 45 mm). Druhou odlišností lze pozorovat v umístění rukou, kdy levá ruka figuríny při zkoušce 203 kontaktuje nárazník automobilu ještě před kontaktem torza/dolních končetin.

Poznámka k poloze dolních končetin v oblasti kolen: z matice vyplývá, že u žádné ze zkoušek nebyla zcela optimální poloha obou dolních končetin, u zkoušky 201 bylo levé koleno vysunuté dopředu oproti pravému, stejně tak u zkoušky 202, ale s menší diferencí. U zkoušky 203 bylo mírně vpředu pravé koleno (tedy kolidovalo s nárazníkem automobilu jako první), toto nebylo osazeno snímači. Rozdíly v naměřených hodnotách jsou rozebrány v odstavci 4.1.3 (u naměřených hodnot na pánvi a v koleni).

Matice podobnosti počátečních podmínek

Matice udává hrubý orientační přehled, které zkoušky spolu ve vybraných kritériích korelují, a proto je lze vzájemně porovnat, resp. ve kterém z kritérií lze očekávat podobné výsledky. Pole OK s hvězdičkou (OK*) označuje případ, kdy lze očekávat výsledky podobné, ale obě zkoušky, které jsou v daném případě porovnávány, nesplnily podmínky optima – např. u obou zkoušek nebyla dodržena osa nárazu – nicméně výsledky bylo možno porovnat, protože u obou zkoušek došlo k vychýlení na shodnou stranu - vpravo. Žlutě je označena diference rychlosti 1 km/h.

Tab. 9 – Matice podobnosti počátečních podmínek.

	12_00905_202						12_00905_203					
	trig	ruce	kol.	xz	y0	v	trig	ruce	kol.	xz	y0	v
12_00905_201	OK	NOK	OK*	NOK	NOK	NOK	OK	OK*	NOK	NOK	OK*	NOK
12_00905_202							OK	NOK	NOK	OK	NOK	OK

3.2 Sekundární náraz

3.2.1 Sekundární náraz – popis

Zkouška 201



Obr. 21 – Obrazový záznam sekundárního nárazu – zkouška 201.

Tab. 10 – Časový popis sekundárního nárazu u zkoušky 201.

ms	popis děje
540	první kontakt s vozovkou veden přes levou dolní končetinu
580	pád na bok přes ruku
620	kontakt hlavy s vozovkou, rotace hlavy
1580	po fázi sedu dochází k opětovnému kontaktu hlavy s vozovkou
pozn.	rotace figuríny kolem podélné osy, možnost ovlivnění kabeláží, která se ve fázi letu dostala za levou dolní končetinu, kabeláž neovlivněna pohybem automobilu

Zkouška 202



Obr. 22 – Obrazový záznam sekundárního nárazu – zkouška 202.

Tab. 11 – Časový popis sekundárního nárazu u zkoušky 202.

ms	popis děje
550	dopad na levou dolní končetinu - kontakt s vozovkou
563	dopad na pravou dolní končetinu
680	figurína v předklonu kontaktuje hlavou vozovku, hlava je v tom okamžiku jediným kontaktním místem
720	trup figuríny dopadá přes hlavu na vozovku - silné zalomení v oblasti krční páteře
1010	kontakt pánve/boku figuríny s vozovkou
pozn.	pohyb bez extrémní rotace kolem podélné osy figuríny, kabeláž prochází mezi nohama figuríny, smyčka se dostává pod před automobilem - v žádném místě nedochází k jejímu viditelnému zaseknutí, ale je možné ovlivnění pohybu figuríny - ve smyslu "stažení" směrem dolů

Zkouška 203



Obr. 23 - Obrazový záznam sekundárního nárazu – zkouška 203.

Tab. 12 - Časový popis sekundárního nárazu u zkoušky 203.

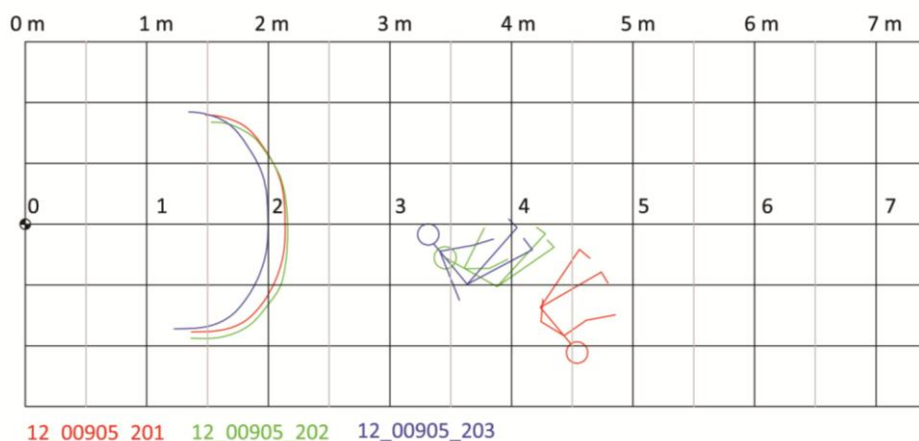
ms	popis děje
550	figurína dopadá na obě dolní končetiny současně
620	kontakt levé horní končetiny s vozovkou, figurína v mírné rotaci kolem podélné osy
650	figurína hlavou dopadá na vozovku, dochází k zalomení v oblasti krční páteře
775	kontakt pánve/boku figuríny s vozovkou
pozn.	kabeláž prochází mezi nohama figuríny, smyčka se dostává pod před automobilem - v žádném místě nedochází k jejímu viditelnému zaseknutí, ale je možné ovlivnění pohybu figuríny - ve smyslu "stažení" směrem dolů

Pozn. k sekundárnímu střetu – nejčastější vlivy na sekundární střet:

- **excentricita nárazu** – excentricita nárazu ovlivňuje nejzřetelněji postřetový pohyb figuríny – figuríně je udělena rotace kolem její podélné osy z,
- **ovlivnění kabeláží** – stočení figuríny (udělení rotace) v případě kolize s končetinou, dále možnost ovlivnění postřetového pohybu „pohlčením“ smyčky kabelu před automobilem,
- **zadržení nohou** – např. u zkoušky 203 došlo k zadržení/zaseknutí špiček nohou o spodní hranu nárazníku.

3.2.2 Konečná poloha objektů po kolizi

Na Obr. 24 je znázorněna dopadová vzdálenost figuríny P6 po střetu s osobním automobilem Škoda Yeti. Místo střetu je označeno šachovnicovým terčem na hranici 0 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. 13.



12_00905_201 12_00905_202 12_00905_203

Obr. 24 - Dopadová vzdálenost figuríny P6 po střetu s osobním automobilem Škoda Yeti, nominální rychlost 20 km/h – graf.

Tab. 13 – Dopadová vzdálenost figuríny P6 po střetu s osobním automobilem Škoda Yeti.

zkouška	rychlost [km/h]	dopadová vzdálenost [m]
12_00905_201	18.0	4.2
12_00905_202	17.0	3.9
12_00905_203	17.2	3.6

Vzájemnou konečnou polohu/postavení figuríny a automobilu dokumentují fotografie na Obr. 25.



Obr. 25 – Konečné polohy figuríny a automobilu.

Diference v dopadové vzdálenosti u zkoušky 201 je zapříčiněna odlišným postřetovým pohybem figuríny. Po dopadu figuríny na vozovku došlo k elevaci trupu do sedu a jeho přetočení na „odvrácenou“ stranu. Zároveň u této zkoušky byla prodloužena doba sunutí – u ostatních zkoušek došlo při kontaktu dolních končetin s vozovkou k jejich „zaseknutí“ a zkrácení fáze sunutí.

3.3 Poškození

Tab. 14 – Poškození automobilu a figuríny.

test č.	poškození		pozn.
	automobil	figurína	
12_00905_201	bez viditelného poškození, bez trvalých deformací, odloupený lak na spodní části plastového krytu nárazníku	bez poškození, prodřená levá ruka od smýkání na vozovce, otěr barvy automobilu na koleni, poškozen oděv (rukáv)	mírný excentrický ráz - náraz veden od osy vpravo
12_00905_202	bez viditelného poškození, bez trvalých deformací	bez poškození	centrický ráz
12_00905_203	bez viditelného poškození, bez trvalých deformací	bez poškození	mírný excentrický ráz - náraz veden od osy vpravo
11_00854_201	bez viditelného poškození, bez trvalých deformací	bez poškození, oděv: prodřen od sekundárního nárazu	

4 Naměřené hodnoty

4.1 Figurína P6

Na testovací figuríně bylo měřeno 12 datových kanálů dle popisu v kapitole 2.2.1. Vzorkovací frekvence měření na figuríně: 10 kHz. Hodnocení dle vypočtených hodnot biomechanických kritérií a další srovnání dle průběhu působícího zrychlení/sil.

Pozn.: kompletní tabulky biomechanických kritérií, včetně příslušných limitů a časového úseku, pro který bylo příslušné kritérium spočítáno, jsou souhrnně uvedeny v příloze 2.

4.1.1 HLAVA

Kritérium poranění hlavy HPC

Zrychlení hlavy 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. 15.

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

Tab. 15 – hodnoty kritéria poranění hlavy HPC.

zkouška č. 12_00905	Primární náraz		Sekundární náraz		zkouška č. 12_00905	Primární náraz		
	HPC_{15}		HPC_{15}			HPC_{15}		
	[-]	limit	[-]	limit		[-]	t_1 [ms]	t_2 [ms]
12_00905_201	74.5	1000/700	98.6	1000/700	12_00905_201	74.5	43.0	58.0
12_00905_202	30.4	1000/700	145.4	1000/700	12_00905_202	30.4	50.3	65.3
12_00905_203	38.1	1000/700	647.8	1000/700	12_00905_203	38.1	57.1	72.1

Kritérium poranění 3 ms

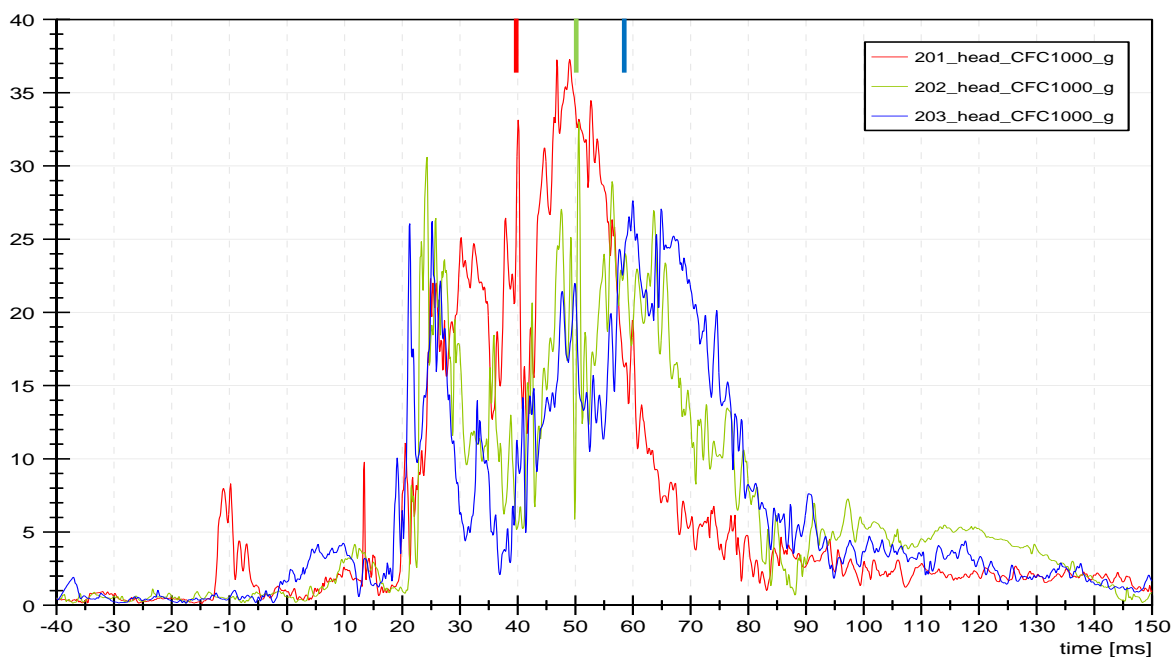
Toto kritérium je aplikovatelné nejen na poranění hlavy. Udává toleranci pro vznik závažného poranění. Limitní hodnota pro hlavu je 80 g. Interpretace kritéria: zrychlení vyšší než 80 g nesmí působit po dobu delší než 3 ms.

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

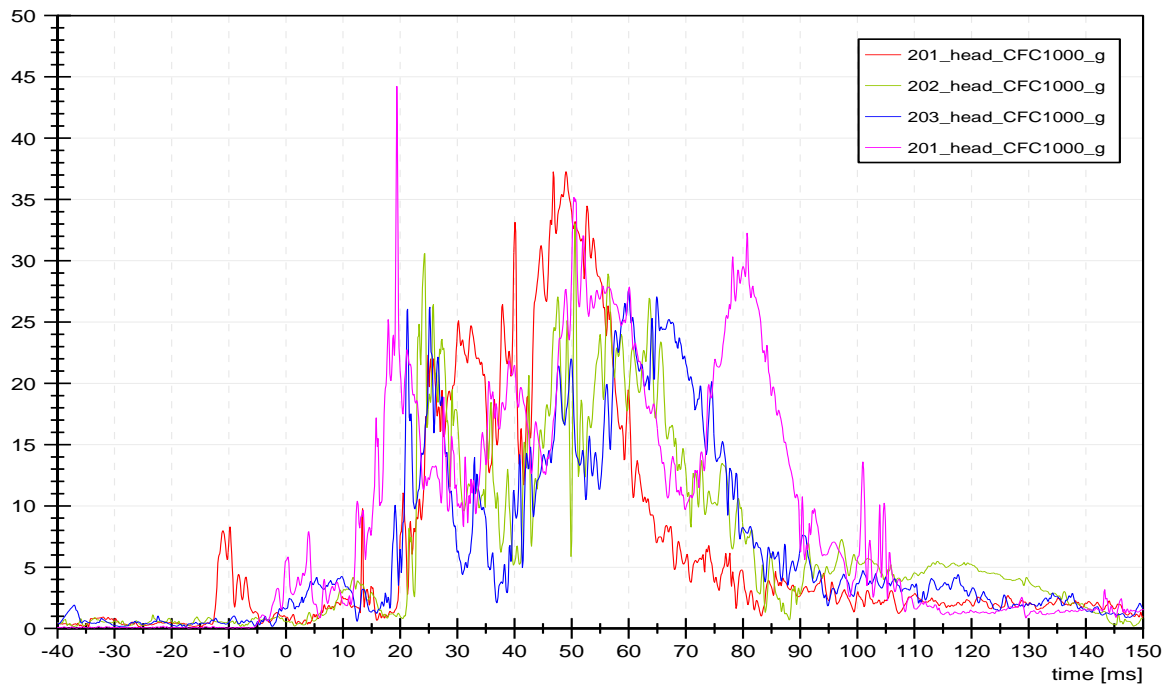
Tab. 16 - hodnoty kritéria poranění 3ms pro hlavu.

zkouška č. 12_00905	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a3ms		a3ms	
	[g]	limit	[g]	limit
12_00905_201	32.6	80/60	45.1	80/60
12_00905_202	20.5	80/60	41.5	80/60
12_00905_203	24.3	80/60	85.7	80/60

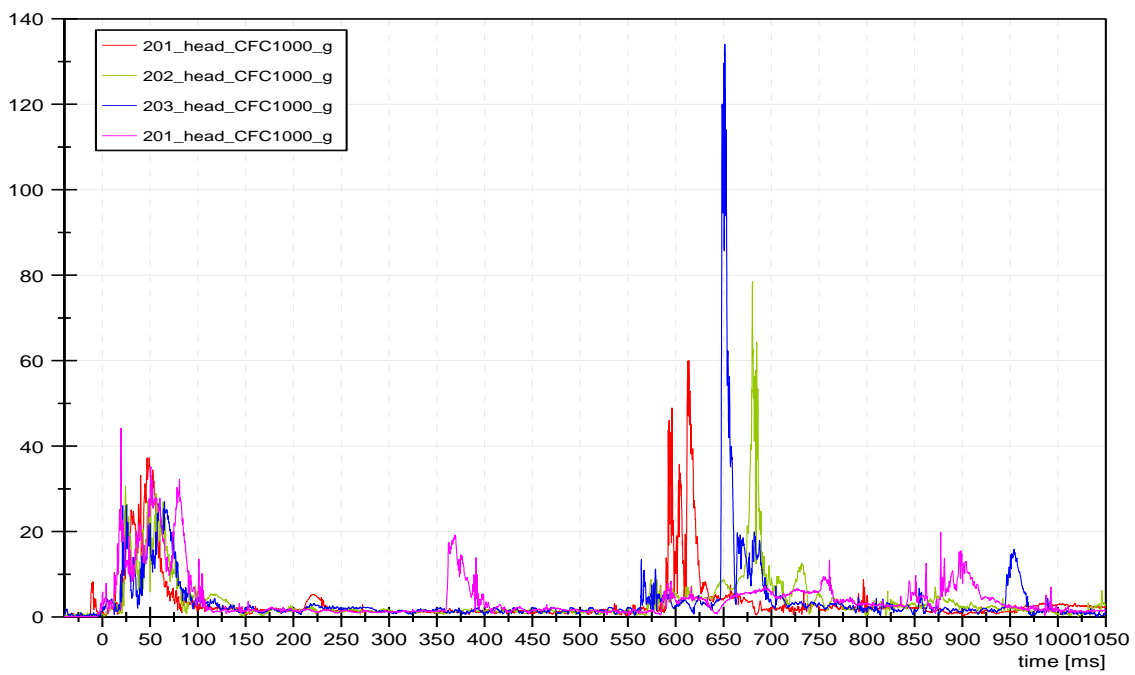
Při žádné z provedených zkoušek nedošlo při primárním nárazu k překročení limitní hodnoty biomechanických kritérií poranění hlavy – kritérium HPC_{15} a 3ms. Náraz hlavy do kapoty byl veden do oblasti za úrovní linie WAD1000. V grafu na Obr. 26 je krátkými svislými čarami označen okamžik nárazu hlavy na kapotu automobilu (barva čáry odpovídá barvě křivky grafu). Graf průběhu zrychlení pro zkoušky 202 a 203 vykazuje shodnou tendenci. Průběh zrychlení na hlavě pro zkoušku 201 se mírně liší. To je s největší pravděpodobností zapříčiněno mírně odlišným postavením figuríny v první zkoušce a variací rychlosti. Hlava dopadá na kapotu v časovém rozpětí 40 – 58 ms po prvním kontaktu nárazníku s figurínou (konkrétně se jedná o 40. ms, resp. 50. ms resp. 58. ms v pořadí provedených zkoušek). U zkoušek 202 a 203 se výsledky naměřených resp. vypočtených kritérií poranění hlavy vzájemně přibližují.



Obr. 26 – Naměřené zrychlení na hlavě, výslednice, primární náraz.



Obr. 27 – Naměřené zrychlení na hlavě, výslednice, primární náraz, fialově zkouška 201 z roku 2011.



Obr. 28 – Průběh zrychlení na hlavě pro všechny zkoušky – primární i sekundární náraz.

4.1.2 HRUDNÍK

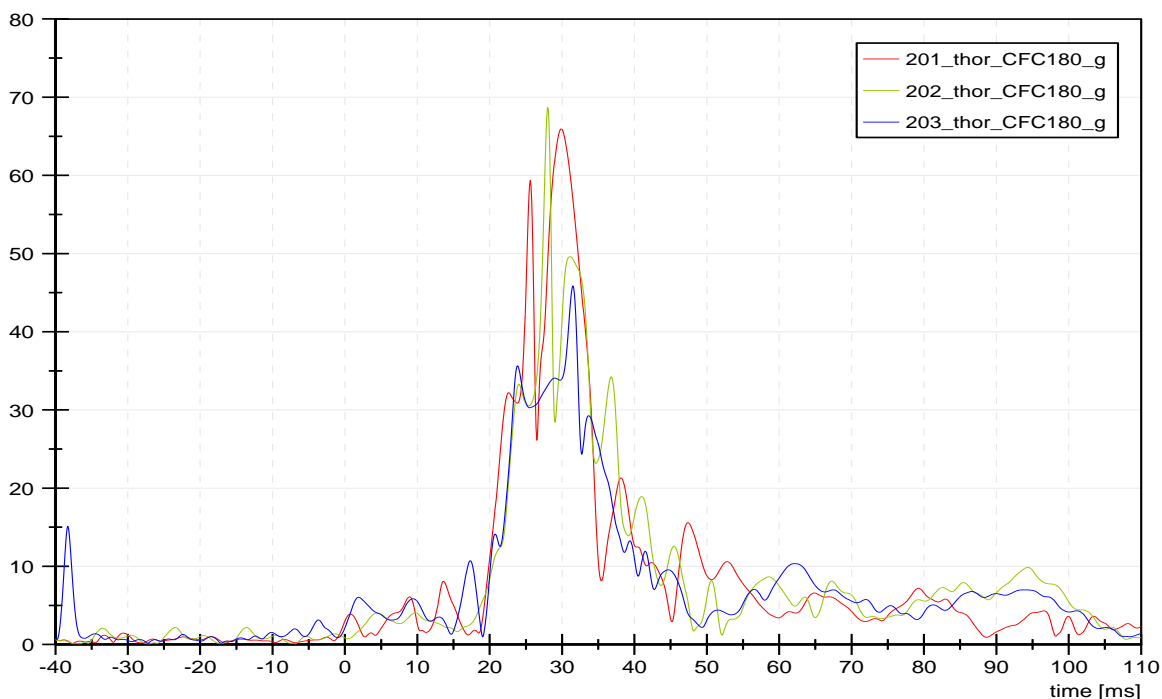
Kritérium poranění 3 ms

Limitní hodnota tohoto kritéria v případě poranění hrudníku je 60 g (55 g pro šestileté dítě dle EHK 44). Naměřené hodnoty kritéria pro provedené zkoušky jsou uvedeny v Tab. 17. Průběh výsledného zrychlení působícího na hrudník je v grafu na Obr. 29.

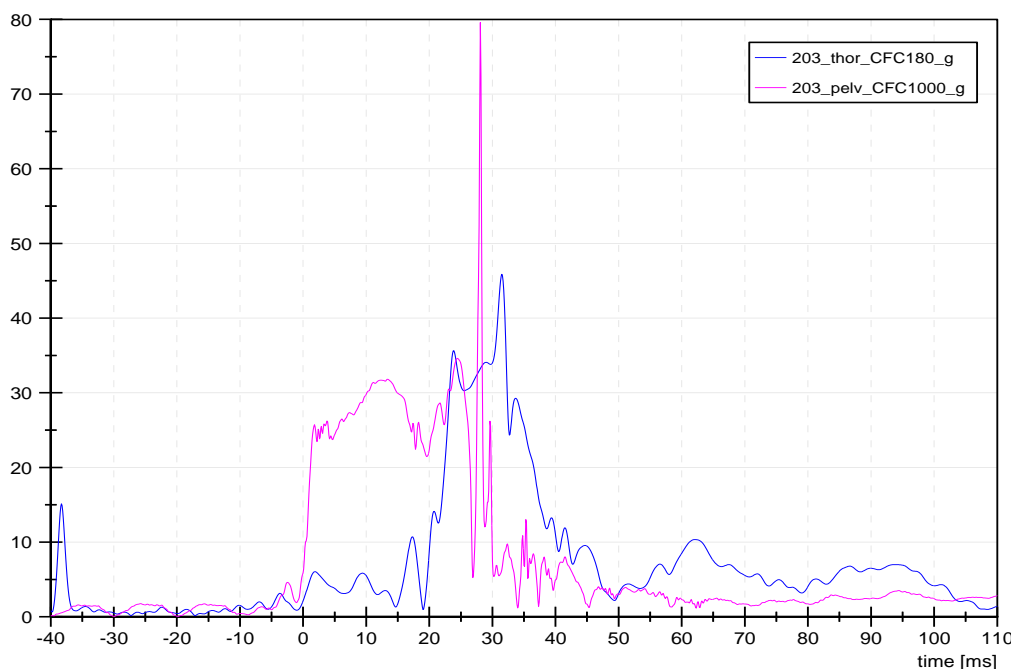
Tab. 17 - hodnoty kritéria poranění 3ms pro hrudník.

zkouška č. 12_00905	Primární náraz		Sekundární náraz		zkouška č. 12_00905	Primární náraz		
	a3ms		a3ms			a3ms		
	[g]	limit	[g]	limit		[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]
12_00905_201	56.9	60/55	34.9	60/55	12_00905_201	56,9	28,5	31,5
12_00905_202	43.6	60/55	10.7	60/55	12_00905_202	43,6	30,1	33,1
12_00905_203	33.8	60/55	18.1	60/55	12_00905_203	33,8	28,5	32,2

Hodnota kritéria poranění pro jednotlivé zkoušky značně kolísá, náběh a šířka signálu jsou pro jednotlivé zkoušky podobné, největší odlišnost jak v průběhu zrychlení, tak v lokálním naměřeném maximu, je u zkoušky 203, oproti ostatním zkouškám jsou v tomto případě naměřené hodnoty nižší. Důvod tohoto poklesu je zřejmý z Obr. 30 – v okamžiku očekávaného maxima zrychlení na hrudníku je patrné maximální zatížení pánevní oblasti (peak cca ve 28. ms – s náběhem v ms 27). Jedná se o okamžik, kdy dolní končetiny figuríny ztratily kontakt s vozovkou – figurína byla zcela nadzvednuta, hlavní působiště síly v tomto případě bylo v pánevní oblasti – s největší pravděpodobností na hraně krytu nárazníku pod mřížkou masky – viz vložený výřez z videa.

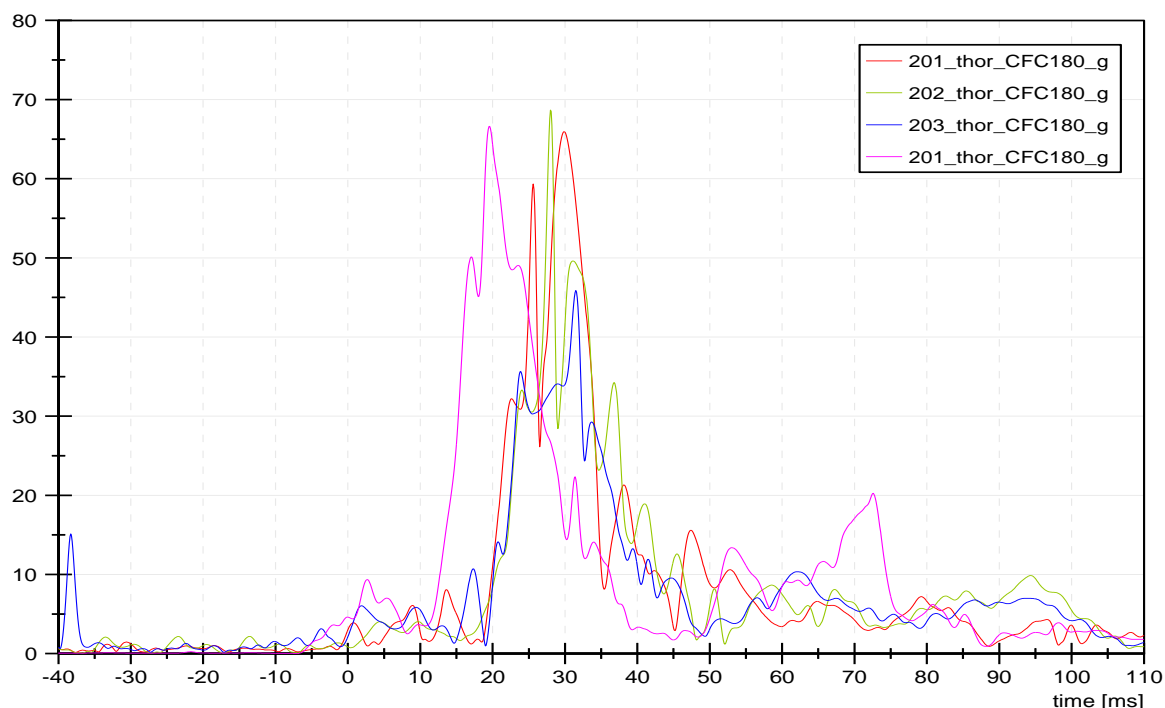


Obr. 29 – Výslednice zrychlení působící na hrudník figuríny.



Obr. 30 – Výslednice zrychlení působící na hrudník a pánev figuríny při zkoušce 203. Maximum zrychlení v ms 28 je dáno okamžikem ztráty kontaktu figuríny s vozovkou – vpravo výřez z videa, ms 28.

Limitní hodnota kritéria a_{3ms} (hodnota limitu: 55 g – šestileté dítě) byla těsně překročena u zkoušky 201. Důvodem tohoto jevu je samotný průběh střetu – figurína byla mírně předkloněna (pozitivní úhel v pánevní oblasti), po ztrátě kontaktu chodidel s vozovkou se (hlavním) místem kontaktu stala právě oblast hrudníku – viz předchozí odstavce ve srovnání se zkouškou 203. Kriteriační hodnota byla překročena v intervalu 28,5 ms až 31,5 ms – což odpovídá okamžiku ztráty kontaktu chodidel figuríny s vozovkou, ke kterému došlo ve 27. až ve 28. ms.



Obr. 31 – Výslednice zrychlení působícího na hrudník figuríny – fialově zobrazena zkouška 201 z roku 2011.

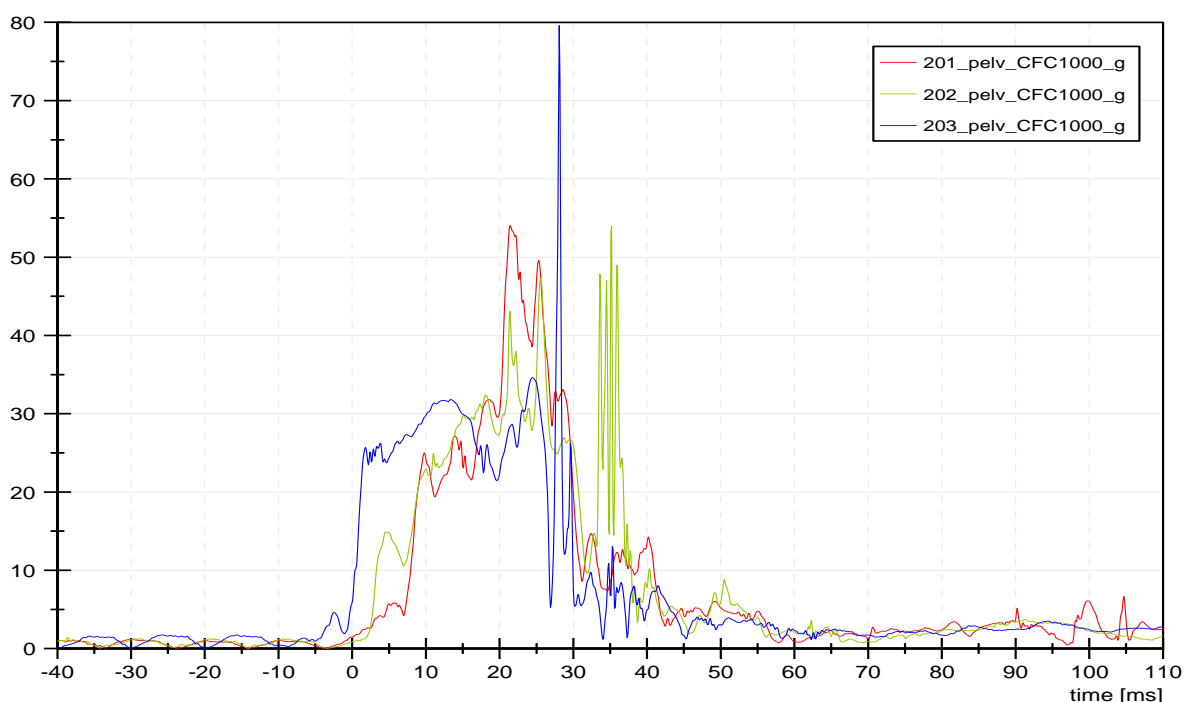
4.1.3 PÁNEV

Kritérium poranění a_{\max}

Maximální hodnota zrychlení nesmí přesáhnout 130 g. Naměřené hodnoty maximálního výsledného zrychlení působícího na pánev jsou uvedeny v Tab. 18.

Tab. 18 – hodnoty maximálního zrychlení a kritérium poranění pro pánev.

zkouška č. 12_00905	Primární náraz		Sekundární náraz	
	a_{\max}		a_{\max}	
	[g]	limit	[g]	limit
12_00905_201	54.1	130	53.5	130
12_00905_202	53.9	130	26.0	130
12_00905_203	79.6	130	58.4	130

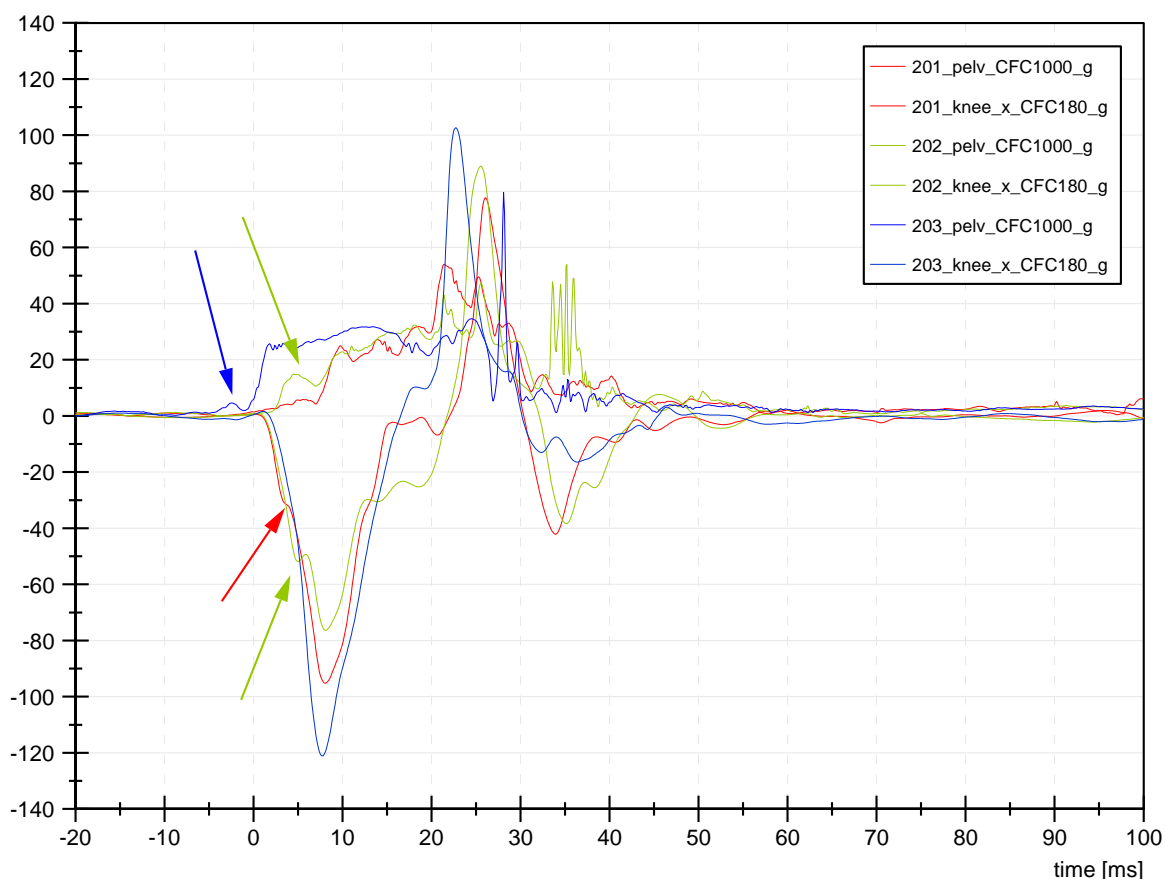


Obr. 32 – Graf působícího zrychlení na pánev, výslednice.

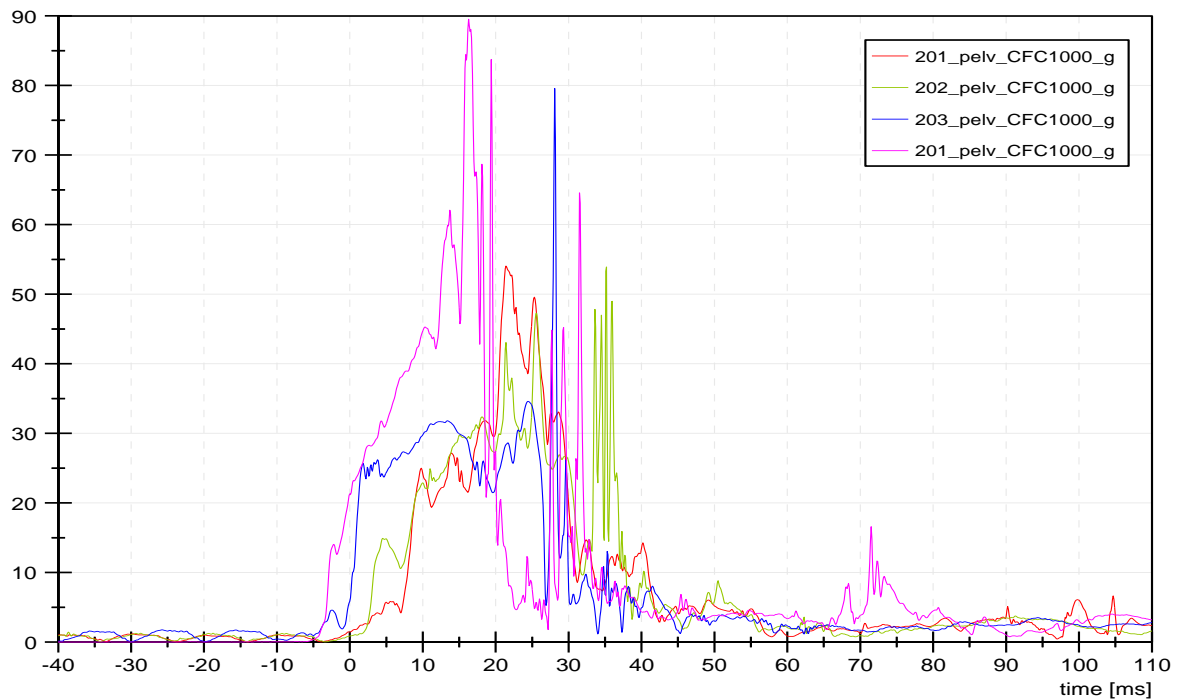
Kritériální hodnota pro poranění pánve je definována jako maximální naměřená hodnota výslednice zrychlení – ačkoli je průběh naměřeného zrychlení v čase v jednotlivých zkouškách podobný (náběh zrychlení), právě maximální hodnota vykazuje značný rozdíl. Nejvíce je toto patrné u zkoušky 203 – v porovnání s ostatními zkouškami. U zkoušky 203 došlo k rychlému nárůstu zrychlení na pánvi v důsledku ztráty kontaktu dolních končetin figuríny s vozovkou v ms 27. U zkoušky 202 je tento jev možné pozorovat s náběhem v ms 32, ačkoli ke ztrátě kontaktu mezi figurínou a zemí dochází již v ms 29 – důvodem je, že u této zkoušky byl ihned po ztrátě kontaktu více zatížen hrudník figuríny, poté se zatížení přesunulo (elevačním pohybem figuríny) více do oblasti pánve.

Co se týče prvotního kontaktu nárazníku a masky automobilu s pánví figuríny – strmost křivky náběhu je u zkoušky 201 a 203 téměř shodná, zkouška 202 vykazuje mírnou odlišnost, která je s největší pravděpodobností způsobena postavením dolních končetin - viz následující odstavec.

Při bližším rozboru se projevuje vliv postavení dolních končetin. U zkoušky 201 bylo levé, tedy instrumentované, koleno pokrčené více než pravé a bylo vysunuto mírně dopředu, tedy kontaktovalo s nárazníkem vozidla jako první. U zkoušky 202 bylo opět levé koleno posunuto mírně dopředu oproti pravému. U zkoušky 203 byla kolena v jedné rovině, maximálně mírně dopředu posunutá koleno pravé (velmi málo). Tyto, na první pohled malé difference, spolu s postavením pánve, mají vliv na následný průběh zrychlení – a to tím, v jakém pořadí přicházejí do kontaktu. Šípkami v Obr. 33 jsou vyznačeny okamžiky, kdy došlo ke kontaktu s jinou částí těla figuríny a tím k ovlivnění naměřeného signálu. Zelené šípky označují kontakt pravého kolene u zkoušky 202 – ke kontaktu došlo během kontaktu s levou dolní končetinou – projevuje se jako skok v naměřeném zrychlení na levém kolenu. Shodně jako v případě zkoušky 202, červená šípka u zkoušky 201 určuje okamžik kontaktu pravé dolní končetiny s krytem nárazníku. U zkoušky 203 se tento jev projevuje méně zřetelně, resp. vliv různého postavení segmentů není tak zřetelný jako v předchozích případech – kontakt veden zpočátku přes pánev, následně se „přidávají“ dolní končetiny. První „peak“ (modrá šípka) může být způsoben úderem posouvající se ruky do pánve. Difference může být dále způsobena neaxiálním působením sil. Koleno bylo instrumentováno pouze pro měření zrychlení v jednom směru (ve směru nárazu) – pro komplexní výsledky nutno koleno instrumentovat snímačem tříosým.

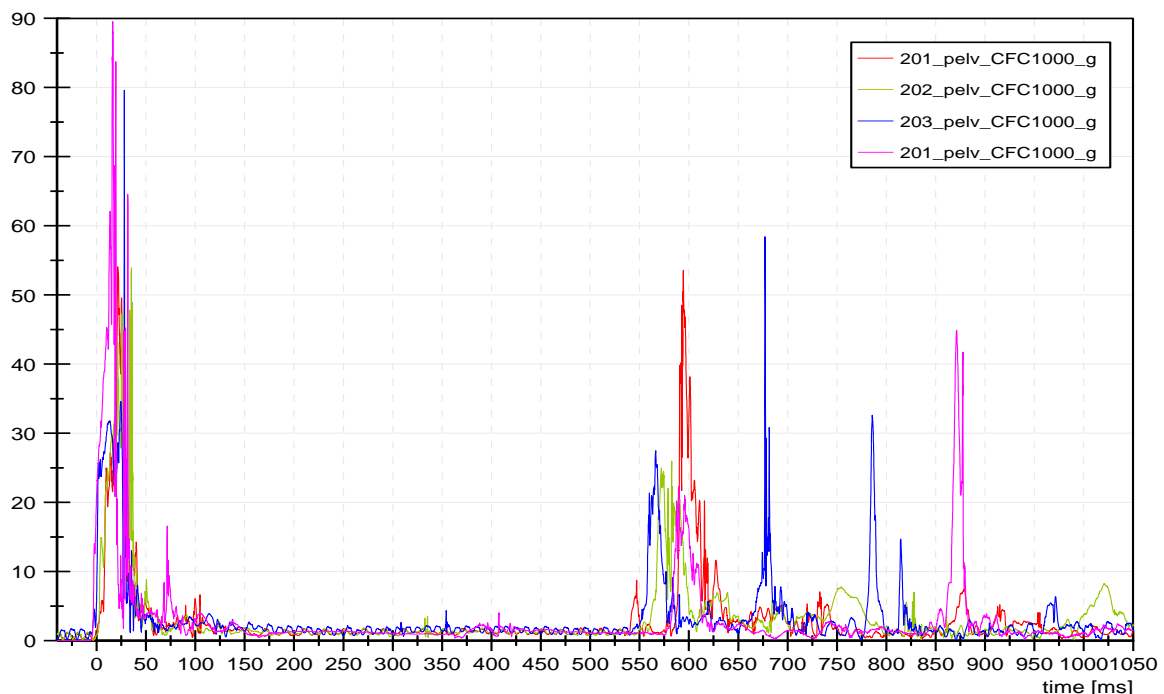


Obr. 33 – Graf působícího zrychlení na koleno a pánev figuríny – šípkami vyznačen vliv kontaktu s jinou částí těla figuríny – pravým neměřeným kolenem (zkoušky 202 a 203) či kombinace kontaktu pánev + koleno (201).



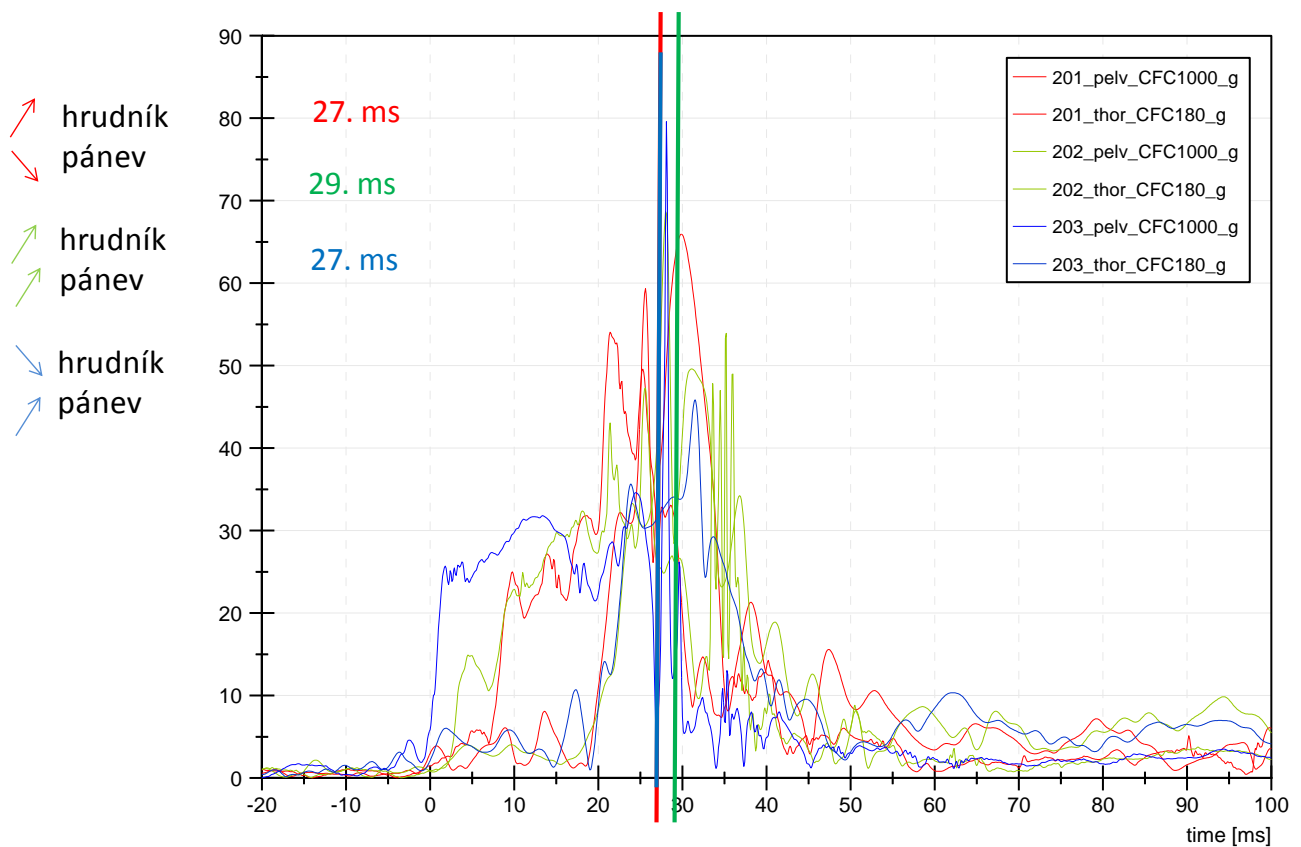
Obr. 34 – Graf působícího zrychlení na pánev, fialově hodnoty naměřené při zkoušce 201 v roce 2011.

Při porovnání se zkouškou z roku 2011 je zřejmá odlišnost v náběhu i velikosti působícího zrychlení – to je dáno s největší pravděpodobností diferencí v kolizních rychlostech, ta byla v roce 2011 20,0 km/h, tedy o 3 km/h více, než ve zkoušce 202.



Obr. 35 – Průběh působícího zrychlení na pánev – primární i sekundární náraz.

Následující graf na Obr. 36 reprezentuje odezvu segmentů na ztrátu kontaktu dolních končetin figuríny se zemí. U tří zkoušek nastaly 3 různé kombinace zatížení. U zkoušky 201, po ztrátě kontaktu figuríny se zemí v ms 27, byl nejvíce zatížen hrudník figuríny. U zkoušky 202 byl nejprve zatížen hrudník a následně, spolu s elevačním pohybem figuríny, došlo k přesunu největšího zatížení do oblasti pánve (ke ztrátě kontaktu figuríny se zemí došlo v ms 29). U zkoušky 203 byla po ztrátě kontaktu se zemí nejvíce zatížena pánev figuríny (náběh v ms 27).



Obr. 36 – Průběh naměřeného zrychlení na figuríně – hrudník, pánev – vyznačeny okamžiky ztráty kontaktu figuríny s vozovkou.

4.1.4 DOLNÍ KONČETINY

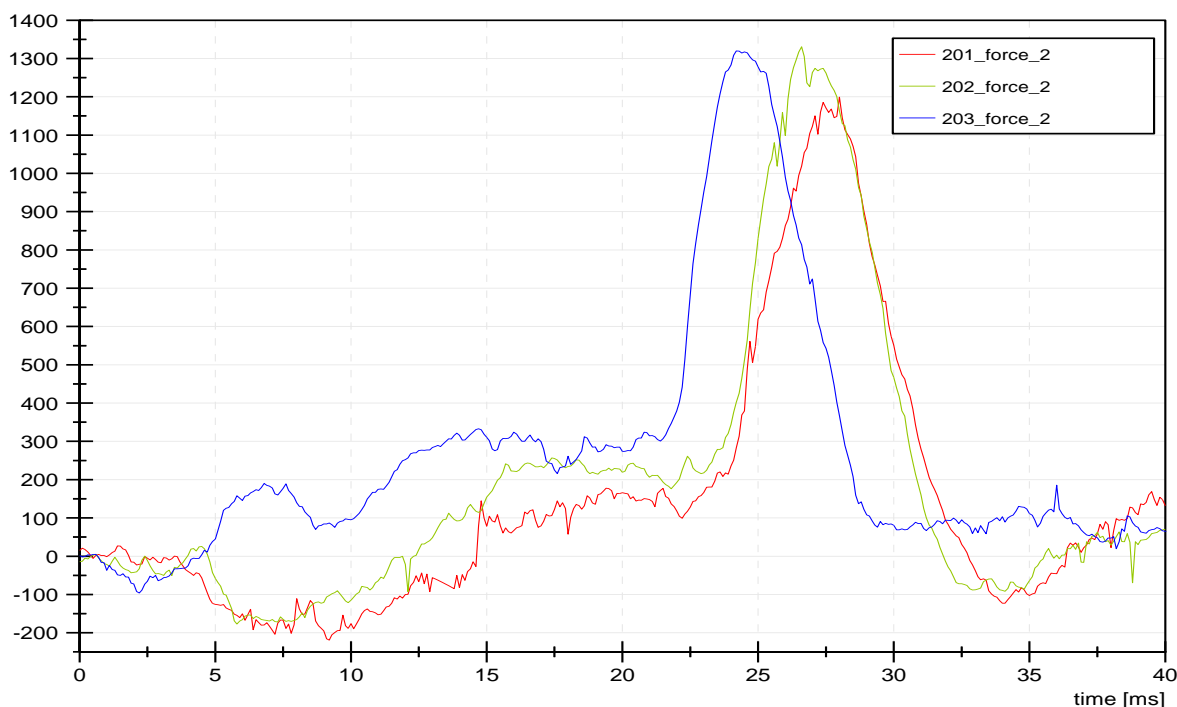
Kriterium poranění stehenní kosti – síla působící na ohyb

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 mm² a ohybové tuhosti 21,2 kg/mm². 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.

Tab. 19 – Tabulka maximální působící síly na stehenní kost – síla působící na ohyb.

zkouška č. 12_00905	Průběh síly	
	Primární náraz	
	F _{max}	
	[N]	t [ms]
12_00905_201	1200	28.0
12_00905_202	1330	26.6
12_00905_203	1320	24.2

Naměřené hodnoty maximální síly působící na ohyb na stehenní kost jsou pro jednotlivé zkoušky vyrovnané.



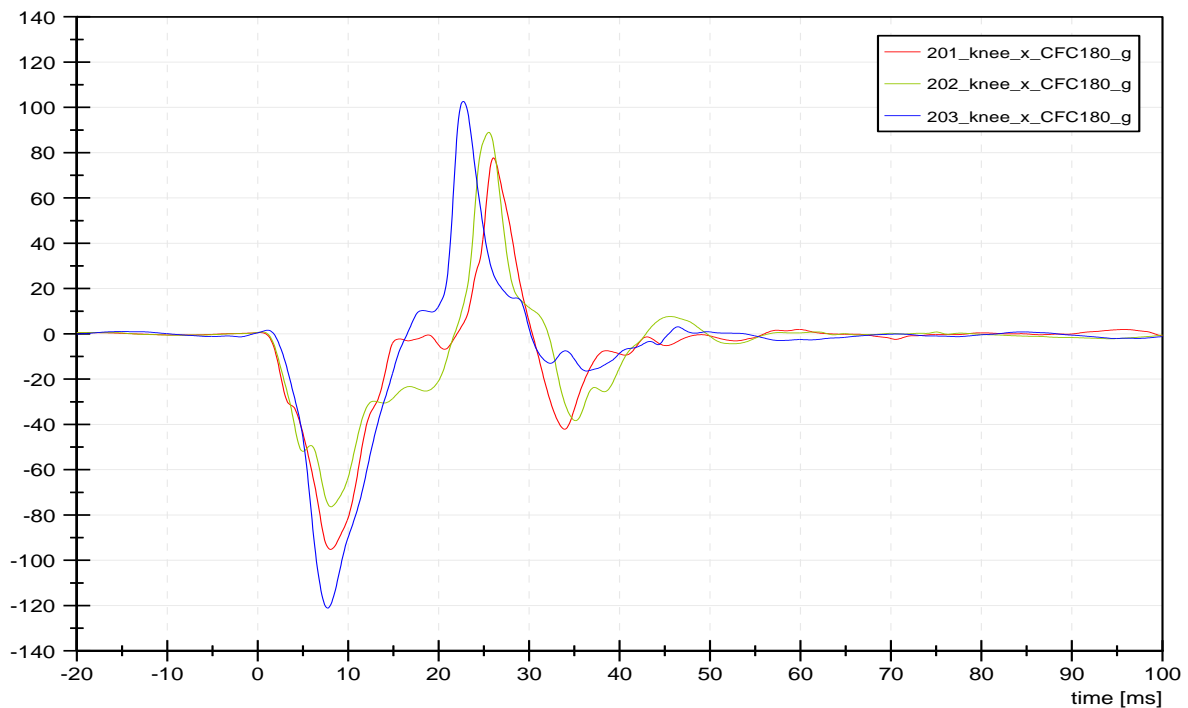
Obr. 37 – Síla působící na ohyb na stehenní segment – stehenní kost.

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. K překročení biomechanických limitů zrychlení v koleni při žádné zkoušce nedošlo.

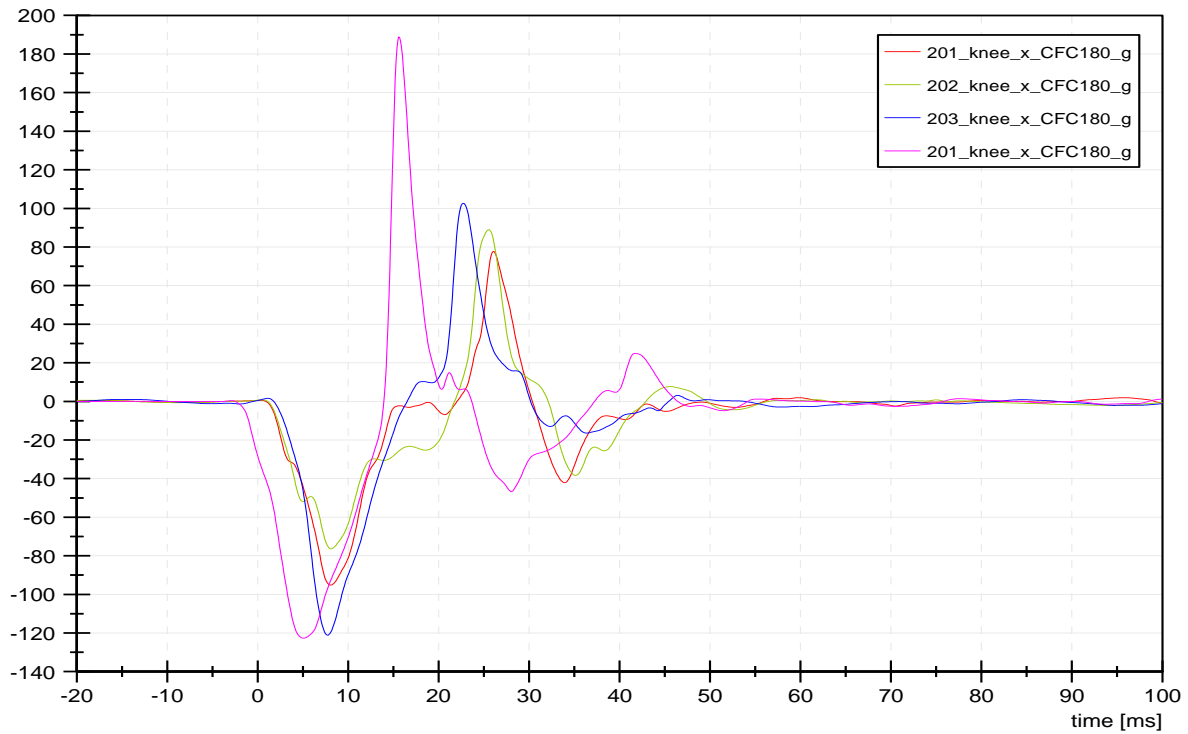
Tab. 20 – Hodnoty maximálního zrychlení kolenního kloubu – měřeno v ose x.

zkouška č. 12_00905	KOLENO	
	Primární náraz	
	a_{max}	
	[g]	limit
12_00905_201	95.2	170
12_00905_202	88.9	170
12_00905_203	121.1	170

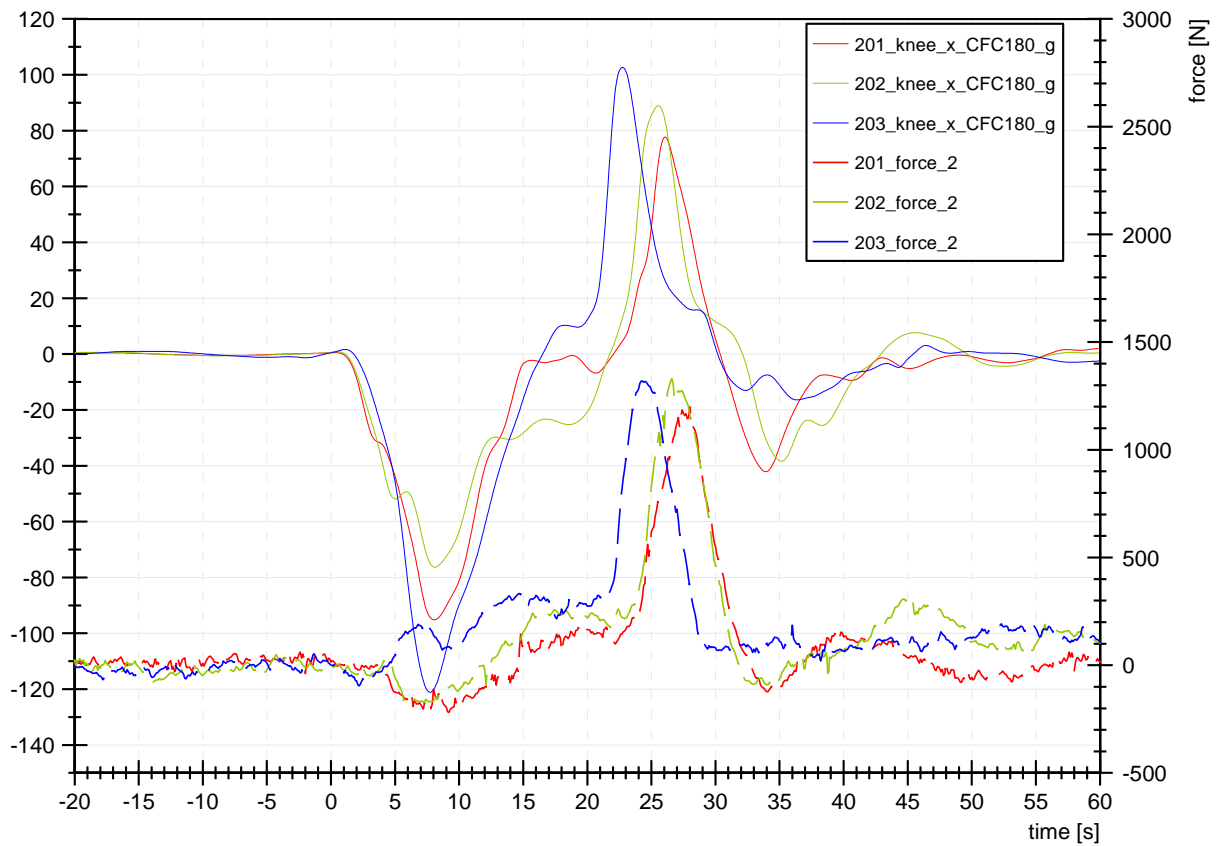


Obr. 38 – Průběh působícího zrychlení na kolenní kloub.

Průběh zrychlení působící na koleno je podrobněji popsán 4.1.3 – v kombinaci s působením na pánevní oblast.



Obr. 39 – Průběh působícího zrychlení na kolenní kloub, fialově zkouška 201 z roku 2011.



Obr. 40 – Průběh síly působící na stehenní kost v souvislosti s naměřeným zrychlením v kolenní oblasti.

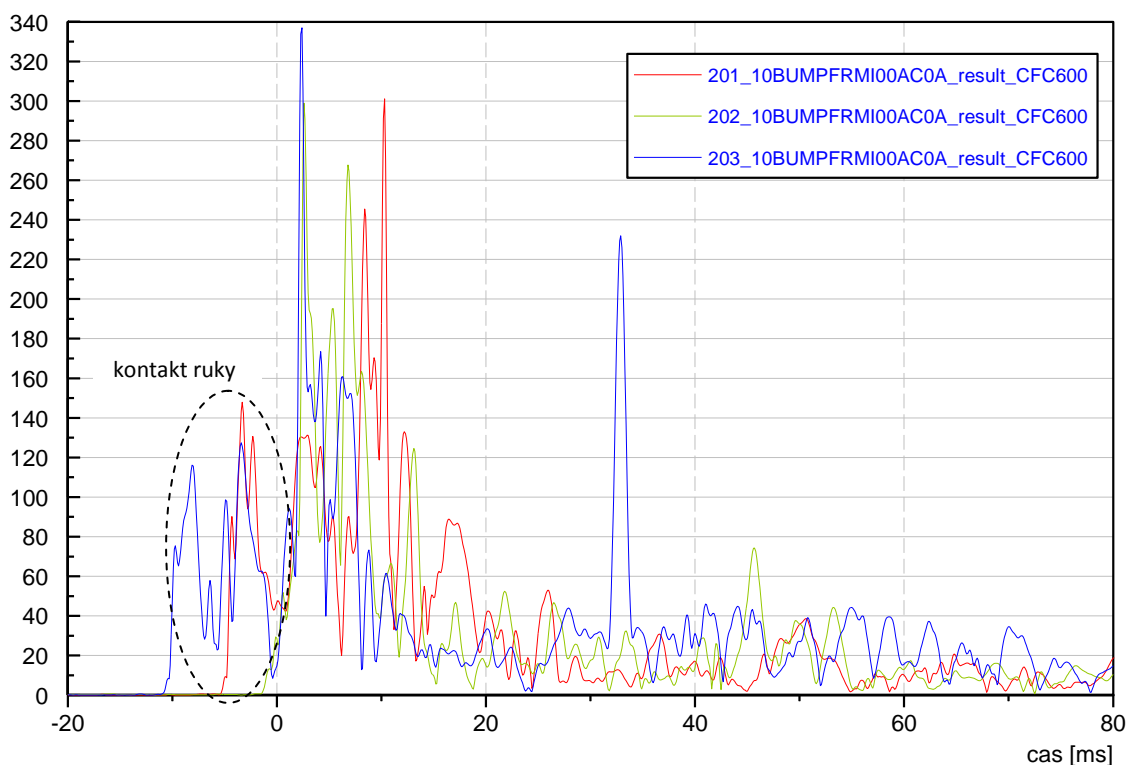
4.2 Automobil

Automobil byl instrumentován dle dokumentace na Obr. 8. Vzorkovací frekvence měření: 10 kHz. Filtrace naměřených signálů na vozidle byla provedena s ohledem na úzus měření (viz např. Vehicle Crash Mechanics [1]). Tedy naměřené signály byly filtrovány CFC600 resp. CFC60 (vozidlové části resp. karoserie). Pozn.: ISO kódy kanálů jsou platné mimo posledního znaku – druh filtrace označen v popisku zvlášť.

Snímače umístěné u řídicí jednotky airbagu a na podélnících nebyly pro závěrečné vyhodnocování zkoušek použity. Signál na těchto místech (dílech, součástech) již nevykazoval dostatečnou odezvu na střetový děj.

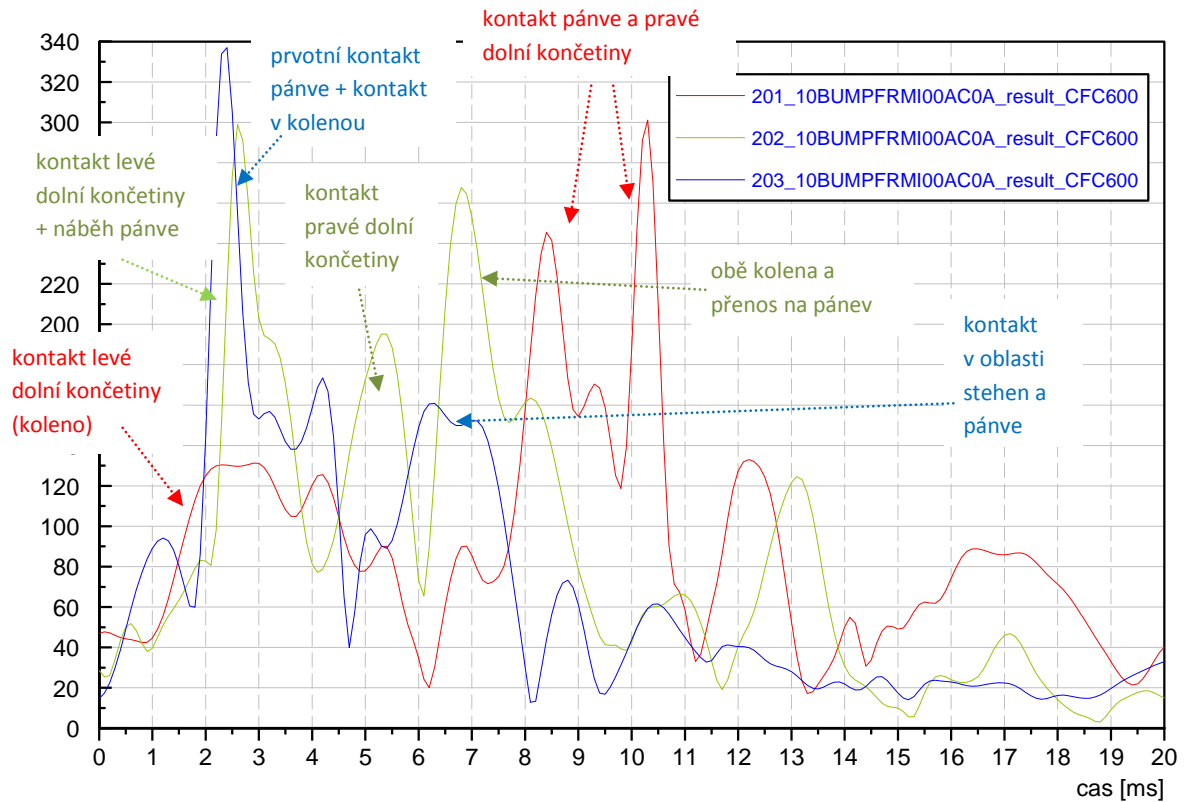
4.2.1 Nárazník

V datech z průběhu zrychlení, které bylo naměřené na plastovém krytu nárazníku v ose automobilu y0, je zřetelně rozeznatelný vliv ustavení figuríny – v grafu na Obr. 41 je elipsou vyznačena odezva na kontakt nárazníku s rukou figuríny. K předčasnému kontaktu rukou došlo u zkoušky 201 a 203. Kontakt s torzem nastává u všech zkoušek v okamžiku 0.



Obr. 41 – Naměřené hodnoty zrychlení na plastovém krytu nárazníku v ose y0.

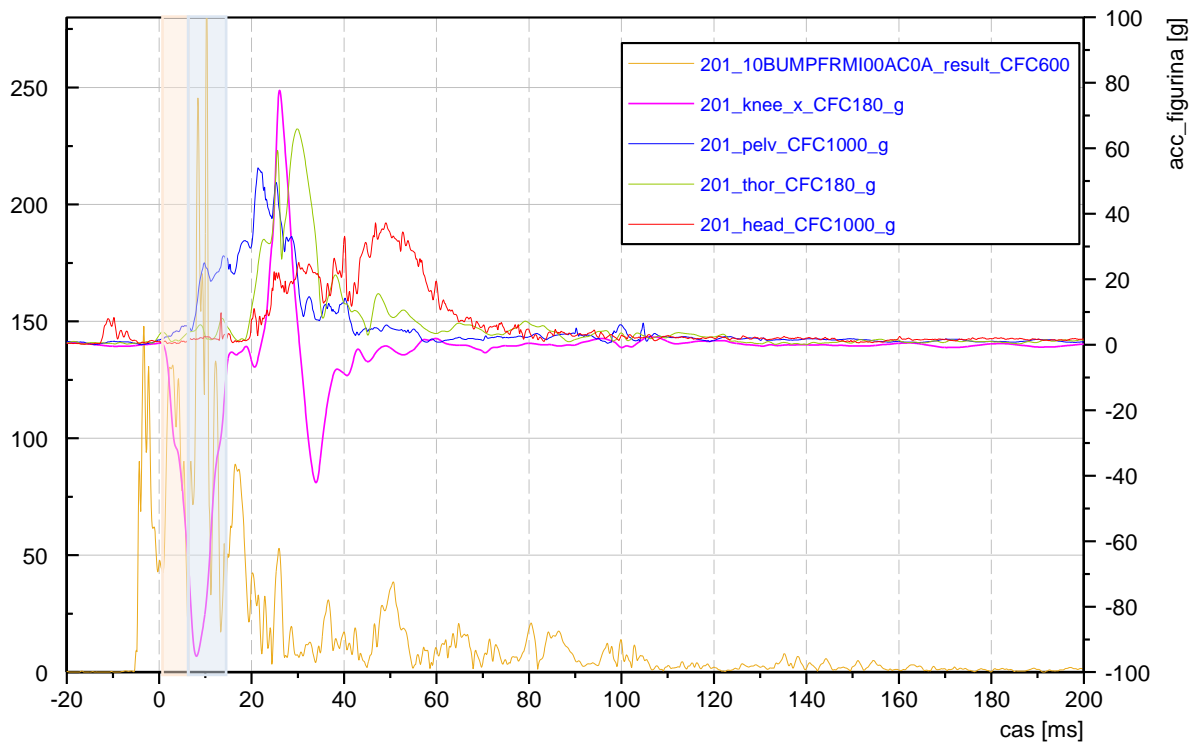
Samotný průběh zrychlení a odezva na jednotlivé fáze kontaktu s figurínou v prvních 20 ms po nárazu, jsou popsány v grafu na Obr. 42. U zkoušky 201 je zřetelně rozlišitelný kontakt levé dolní končetiny a následně pánve a pravé dolní končetiny. U zkoušky 202 je v první fázi zřetelný kontakt levé dolní končetiny, spolu s náběhem kontaktu pánve, následně kontakt pravé dolní končetiny, dále přenos zatížení na obě kolena/stehna a pánve. U zkoušky 203 je na nárazníku první rozeznatelný kontakt pánve a kontakt v obou kolenou, následně kontakt v oblasti stehna a přenos zatížení na pánve. Popis tohoto děje koreluje s popisem a naměřenými hodnotami na figuríně.



Obr. 42 – Výslednice zrychlení na plastovém nárazníku v ose y0, jednotlivé signály jsou přiřazeny fázi kontaktu s figurínou.

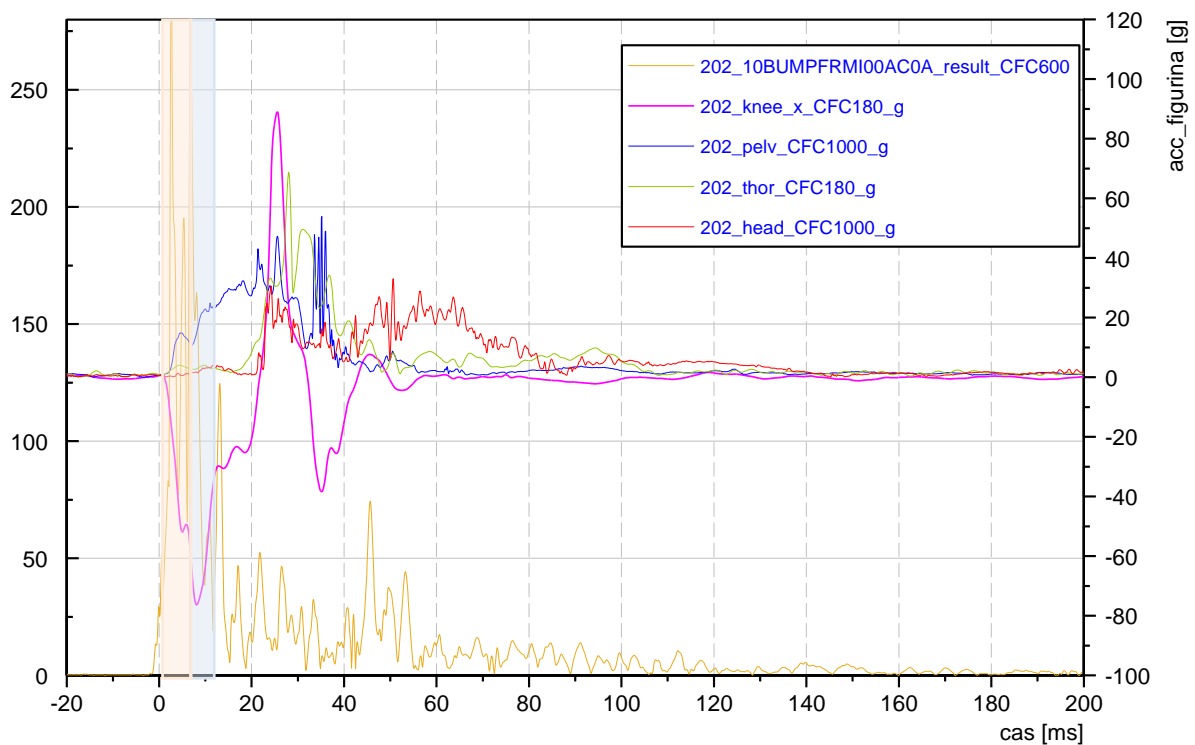
Na následujících grafech je znázorněno naměřené zrychlení na figuríně ve spojitosti s naměřenou výslednicí zrychlení na plastovém krytu nárazníku. Barevné sloupce představují hlavní oblast kontaktu na figuríně v daném okamžiku (resp. intervalu). Červená pro koleno, modrá pro pánev.

Zkouška 201



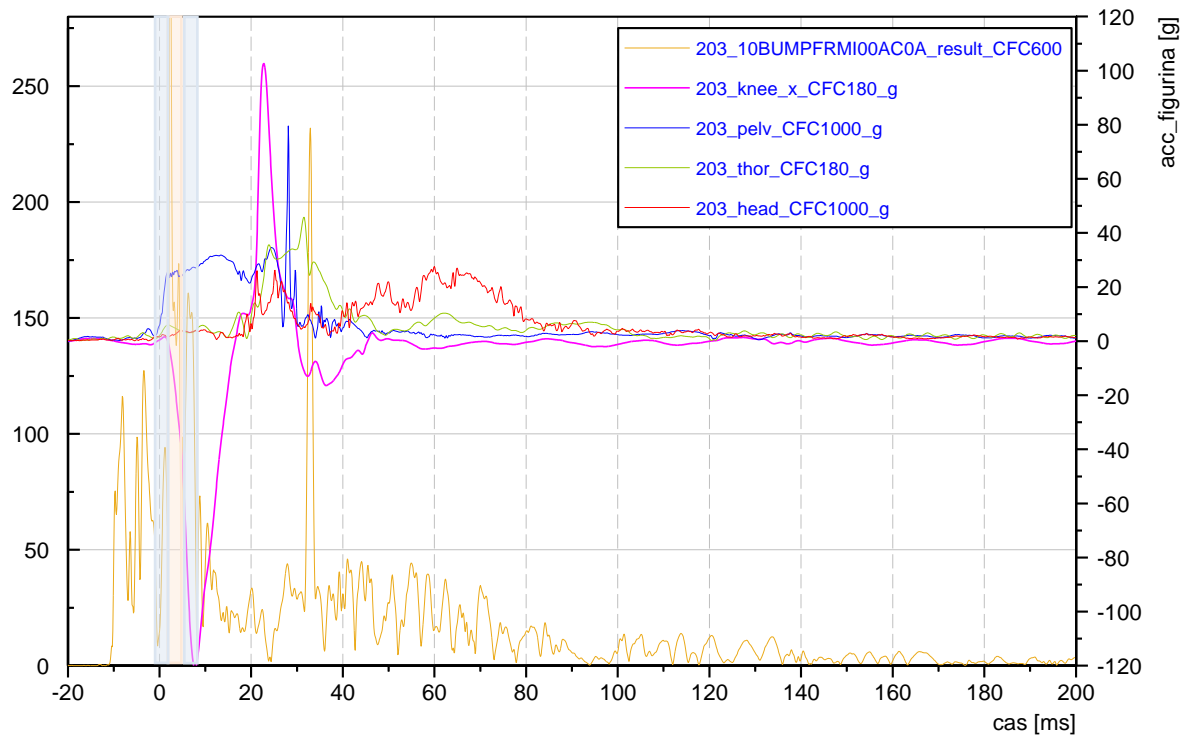
Obr. 43 – Výslednice zrychlení na plastovém nárazníku automobilu v porovnání s naměřenými výslednicemi na figuríně – 201.

Zkouška 202



Obr. 44 - Výslednice zrychlení na plastovém nárazníku automobilu v porovnání s naměřenými výslednicemi na figuríně – 202.

Zkouška 203

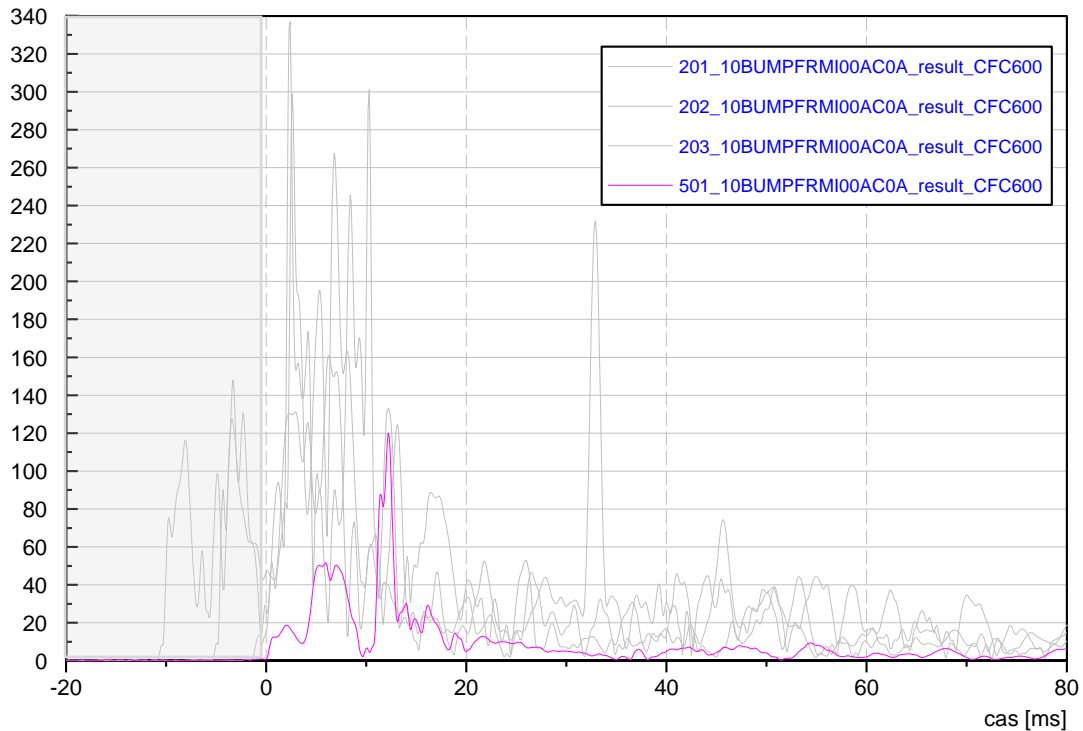


Obr. 45 - Výslednice zrychlení na plastovém nárazníku automobilu v porovnání s naměřenými výslednicemi na figuríně – 203.

Z grafů je patrná vzájemná závislost jednotlivých signálů naměřených na figuríně a na plastovém krytu nárazníku.

Zkouška 501

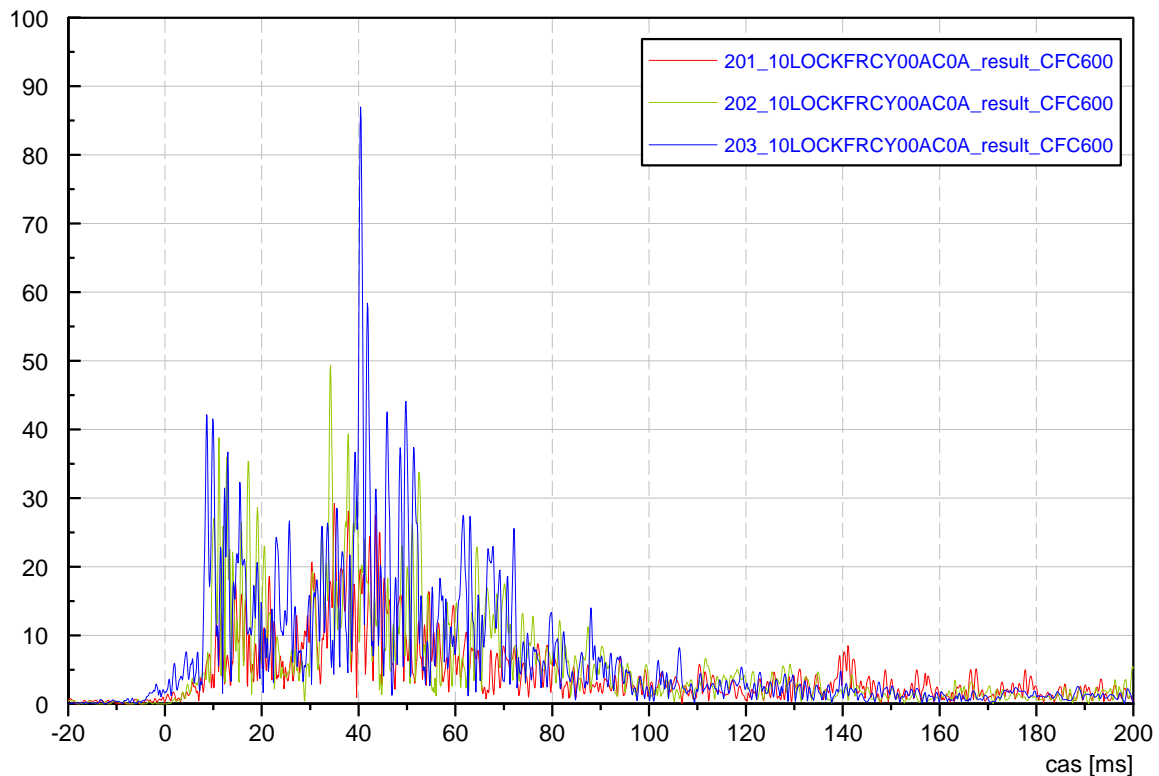
Zkouška s označením 501 byla zkouškou zvláště provedenou za účelem srovnání výstupů senzoriky umístěné v automobilu. Kolizním partnerem pro tuto zkoušku proto nebyla testovací figurína jako v předchozích případech, ale balík slámy o rozměrech 0,7 x 0,6 x 0,4 m a hmotnosti 7,62 kg. Nárazová rychlost 20 km/h.



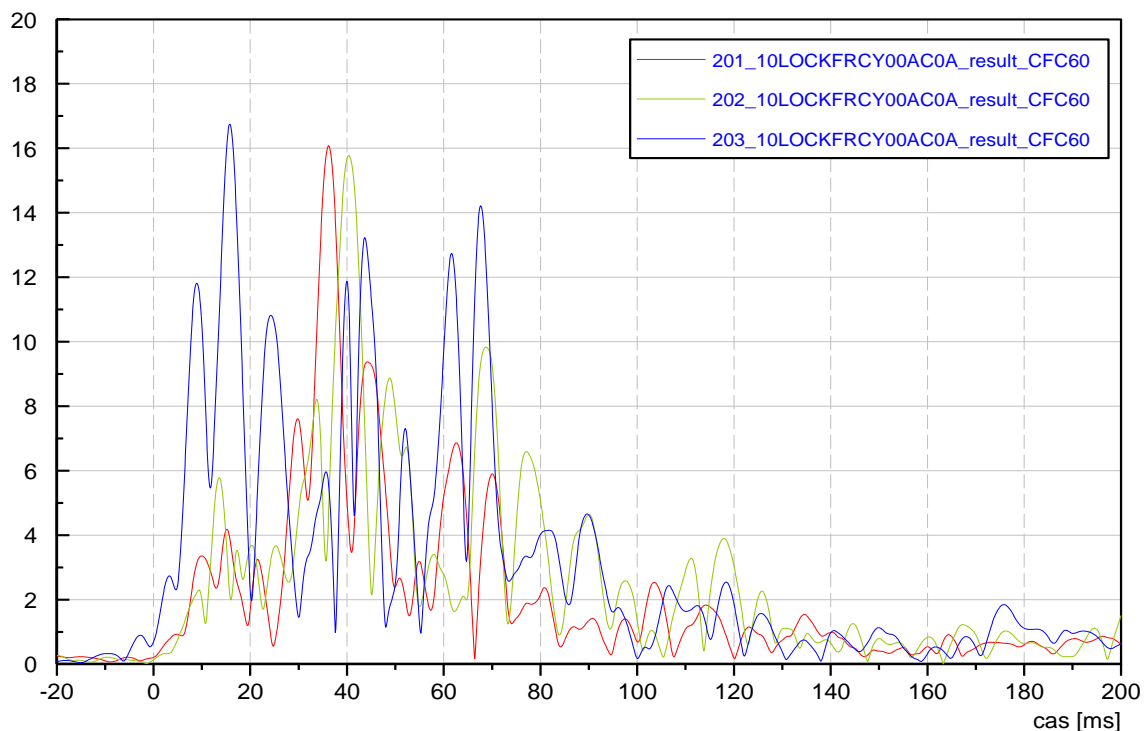
Obr. 46 – Naměřené výslednice zrychlení na plastovém nárazníku – šedě odezva na kontakt s figurínou, fialově odezva na kontakt s balíkem slámy.

4.2.2 Zámek kapoty

Snímač zrychlení byl umístěn na výztuze u zámku kapoty – Obr. 8. Průběhy naměřeného zrychlení jsou uvedeny na následujících grafech. Z důvodu zatížení šumem filtrováno CFC60. Absolutní maxima se pro jednotlivé zkoušky téměř shodují.



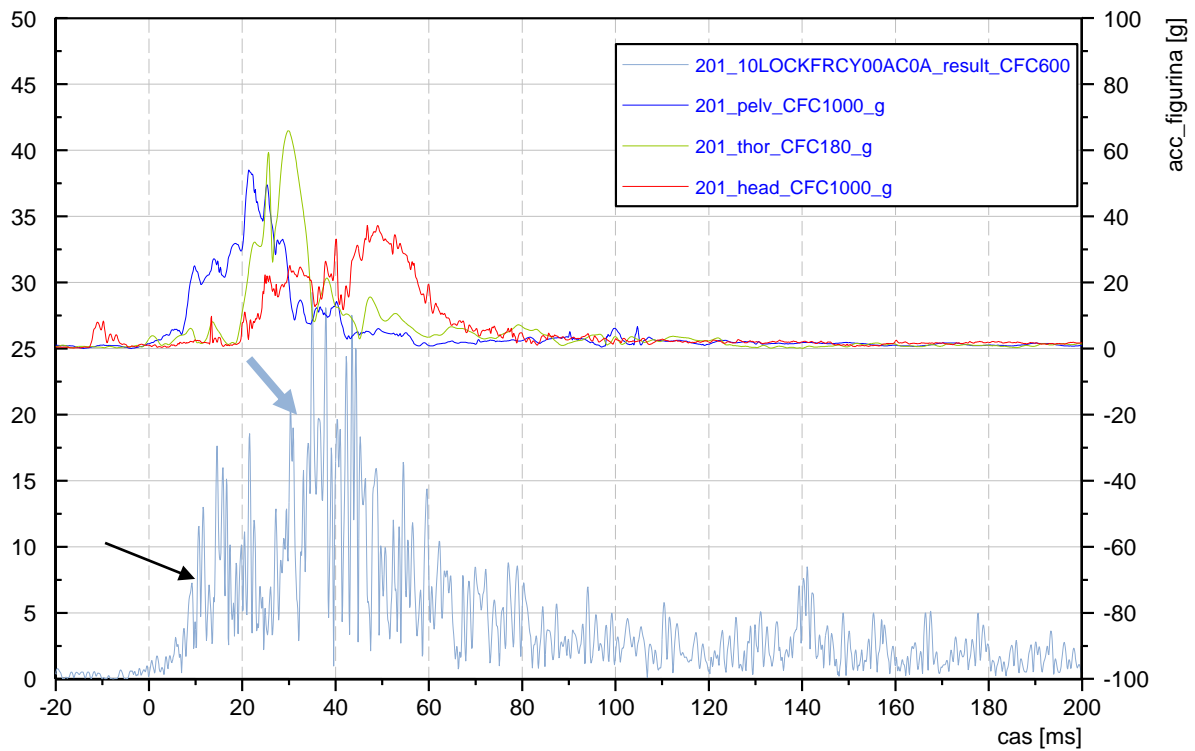
Obr. 47 – Zrychlení naměřené v místě zámku kapoty – odezva na kontakt s figurínou, CFC600.



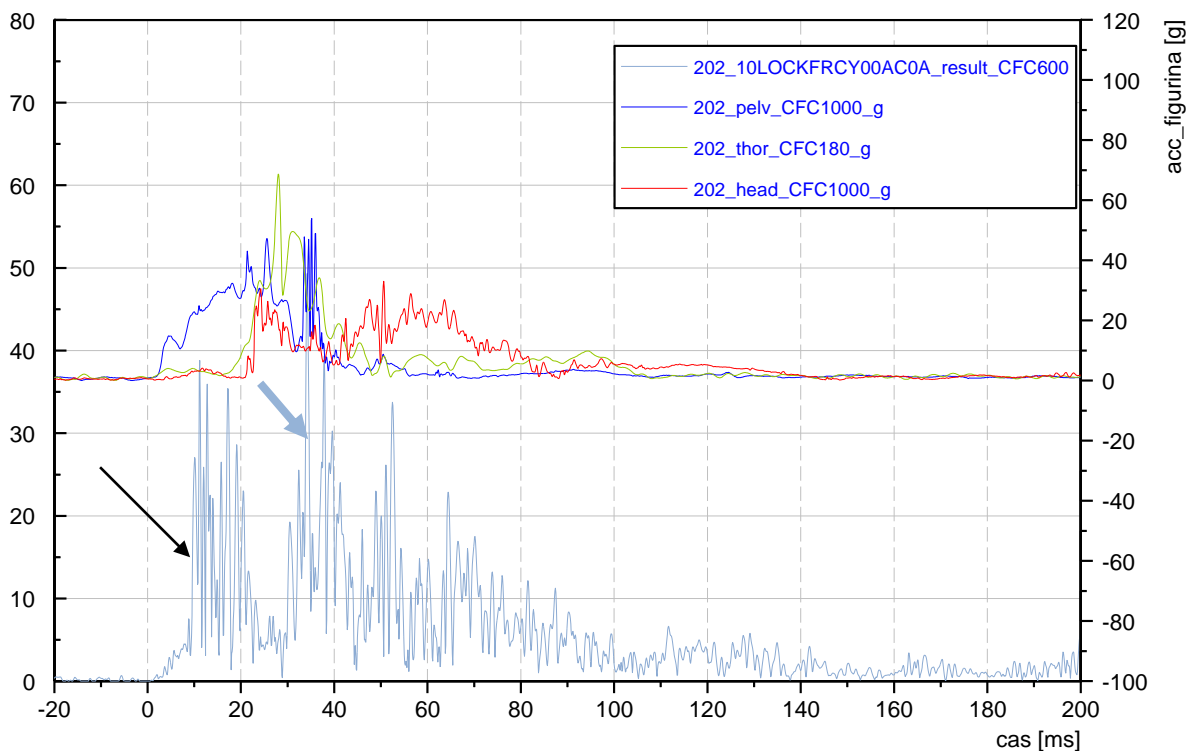
Obr. 48 – Zrychlení v zámku kapoty – CFC60.

Na následujících grafech je znázorněn průběh výslednic zrychlení naměřených na zámku kapoty a na jednotlivých segmentech figuríny. Černými šipkami je vyznačena odezva v místě zámku kapoty na posun/elastickou deformaci mřížky chladiče umístěné v masce automobilu, modrými šipkami odezva na

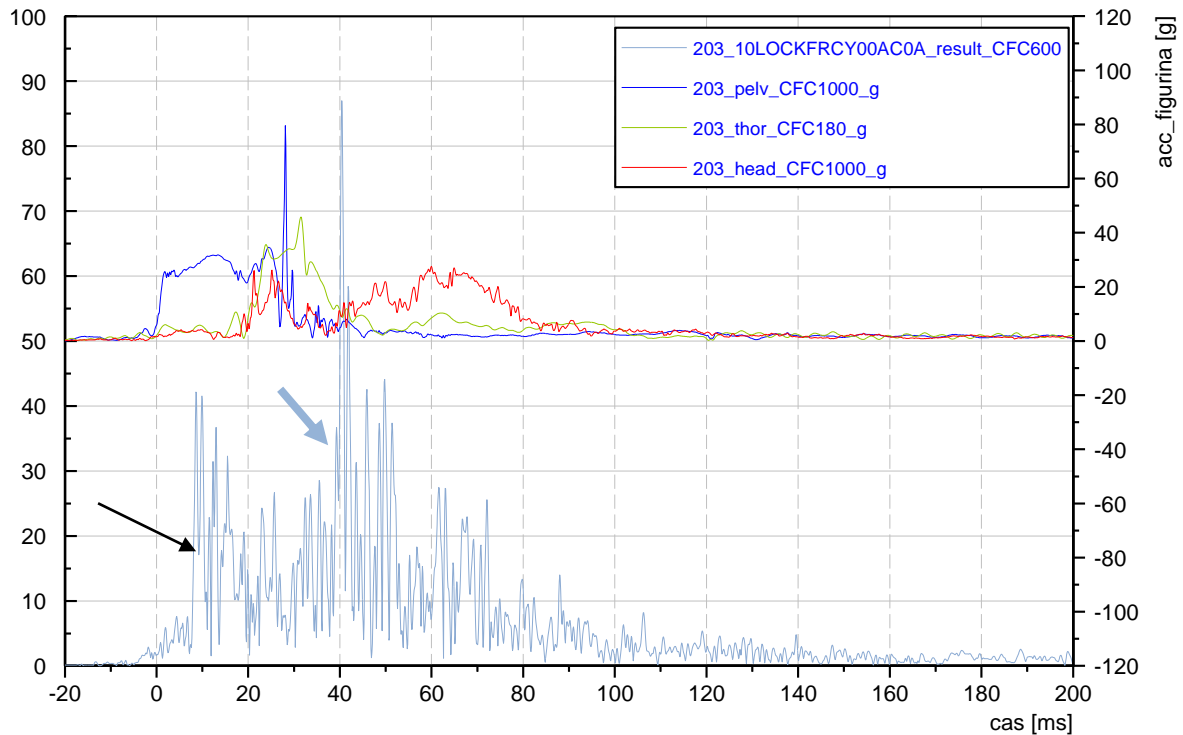
vymezení vůle a deformaci kapoty automobilu v místě ozdobné lišty se znakem po kontaktu hrudníku figuríny.



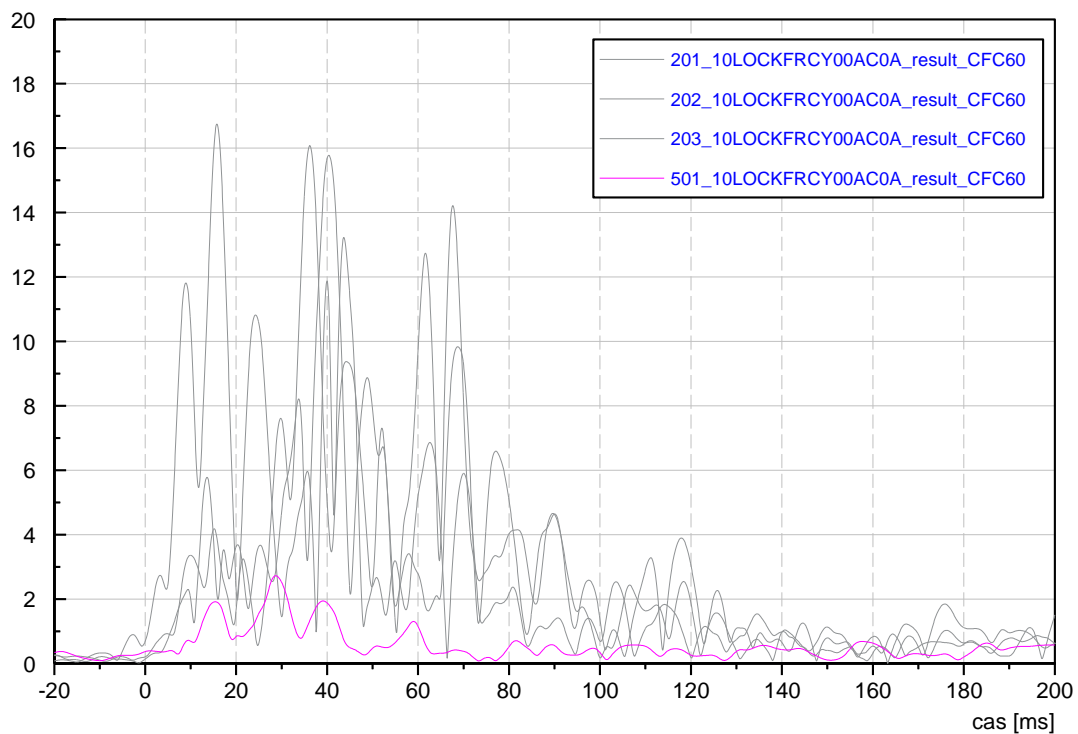
Obr. 49 – výslednice zrychlení na výztuze u zámku kapoty vs. zrychlení na figuríně – zkouška 201.



Obr. 50 – výslednice zrychlení na výztuze u zámku kapoty vs. zrychlení na figuríně – zkouška 202.

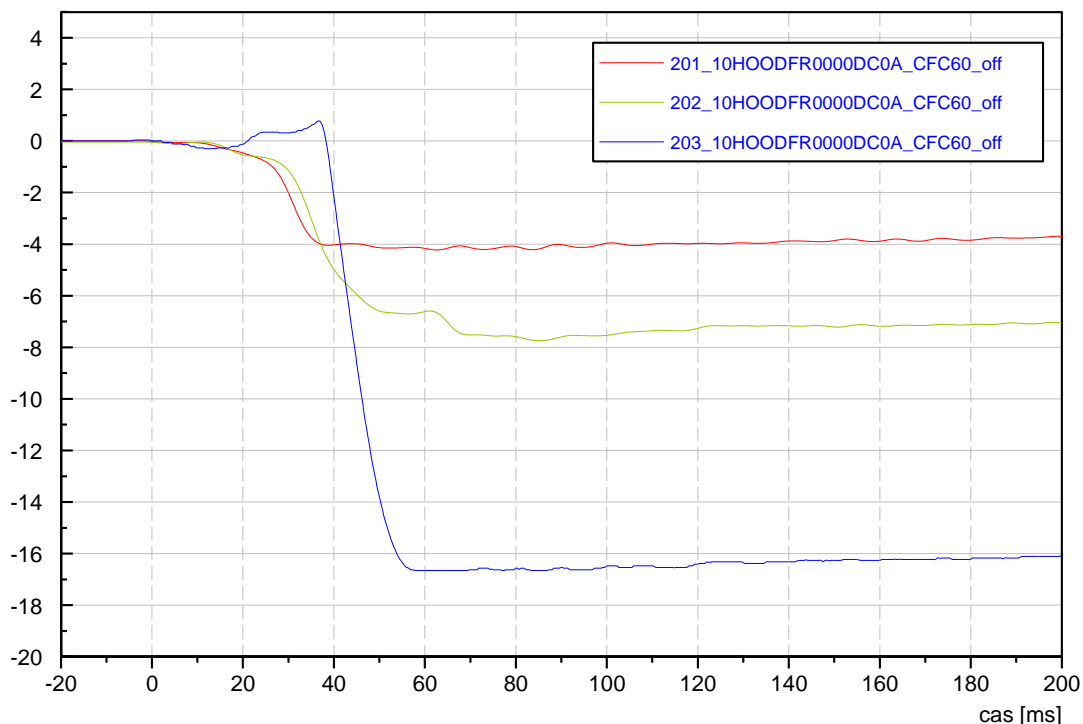


Obr. 51 - výslednice zrychlení na výztuze u zámku kapoty vs. zrychlení na figuríně – zkouška 203.



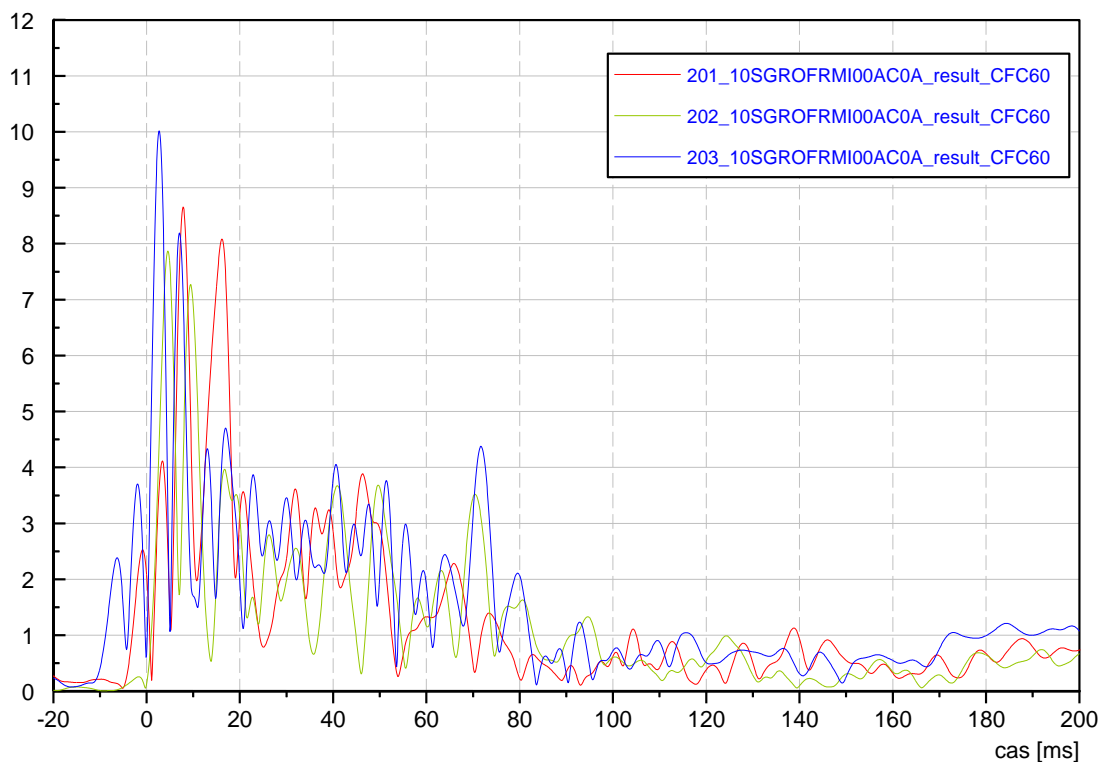
Obr. 52 - výslednice zrychlení na výztuze u zámku kapoty – porovnání zkoušek s figurínou a zkoušky s jiným objektem – balíkem.

Graf na Obr. 52 představuje opět porovnání odezvy na kolizi s figurínou a s objektem o jiné struktuře, hmotnosti a tuhosti – s balíkem. Absolutní hodnoty naměřeného zrychlení, jako odezva na kontakt s figurínou, jsou cca 6x větší než pro případ kontaktu s referenčním objektem.

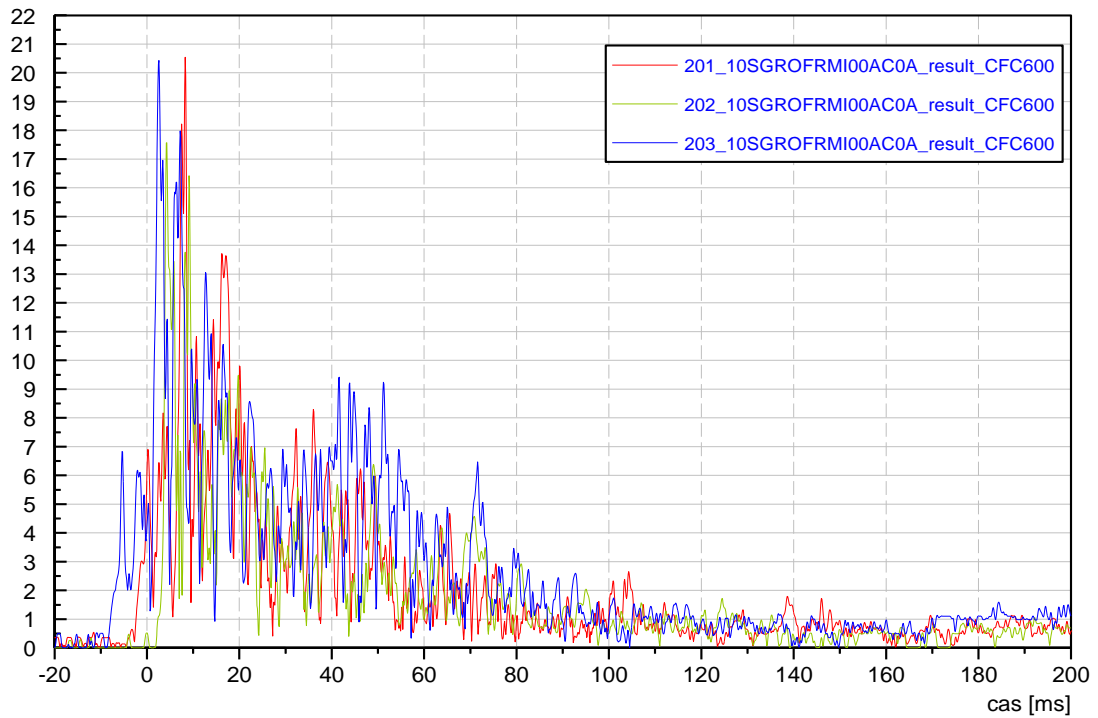


4.2.3 Výztuha nárazníku

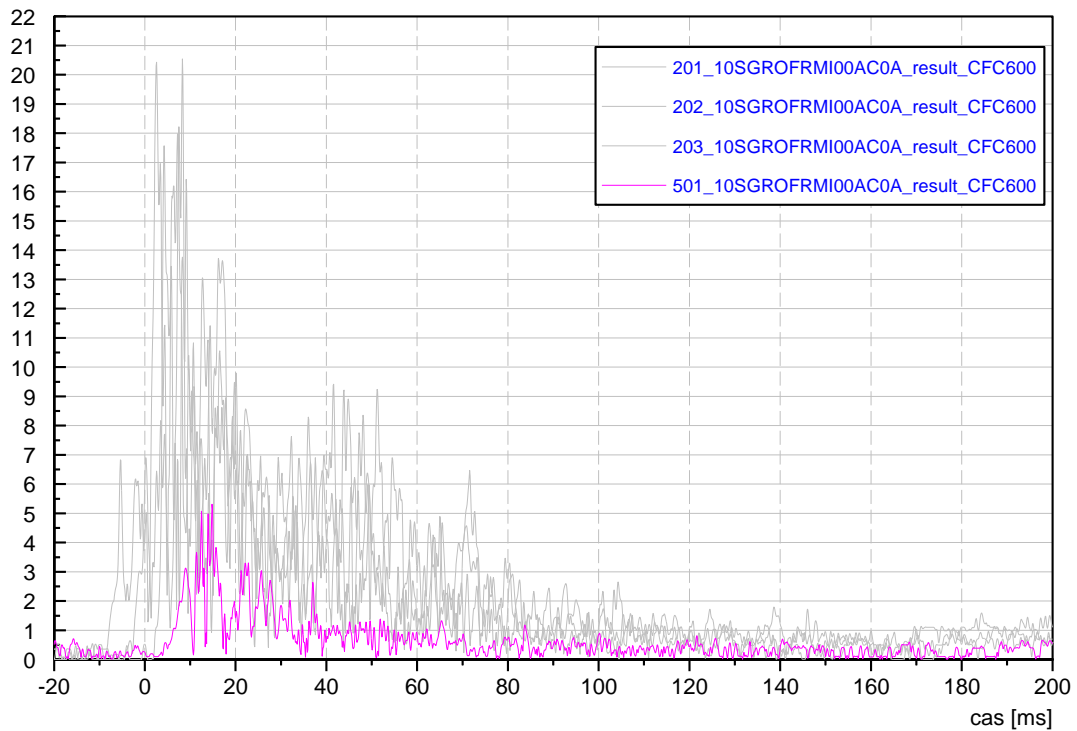
Signál naměřený na výztuze nárazníku byl porovnáván zejména s odezvou naměřenou na plastovém krytu nárazníku (viz kapitola 4.2.4). Porovnávány byly zejména výsledky po filtraci CFC60 – především z důvodu přehlednosti. Následující grafy na Obr. 53 až Obr. 55 představují samotné naměřené zrychlení na výztuze pro jednotlivé zkoušky - grafy jsou zařazeny pro úplnost, komentář zařazen v sekci nárazník/výztuha.



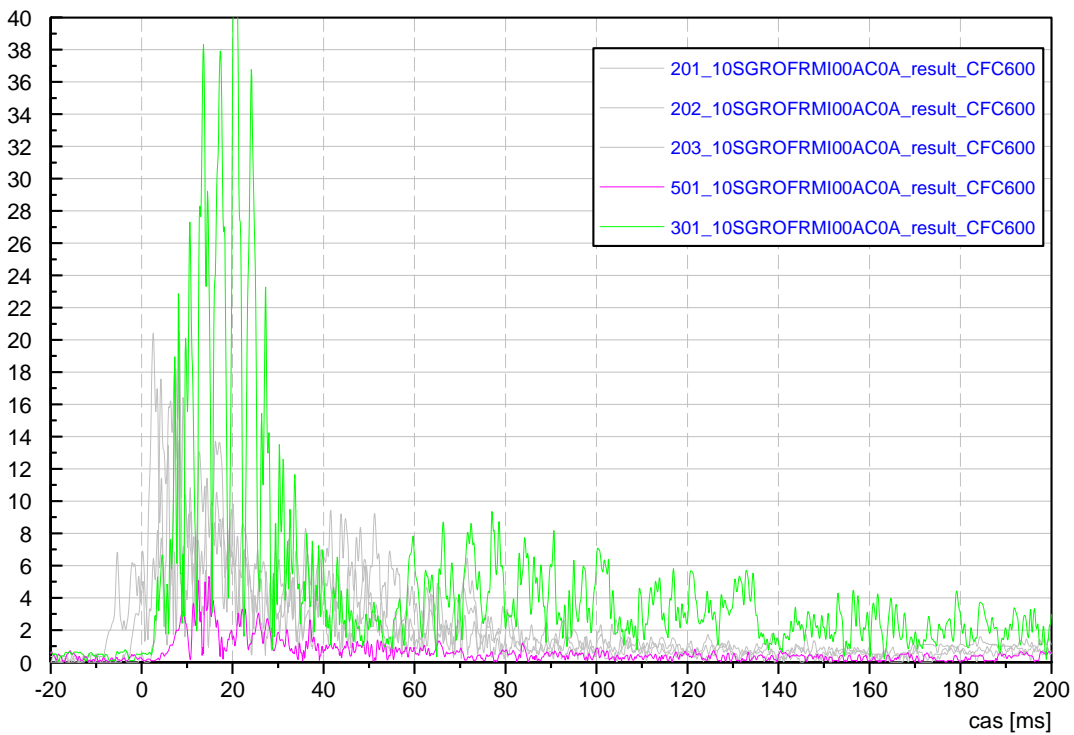
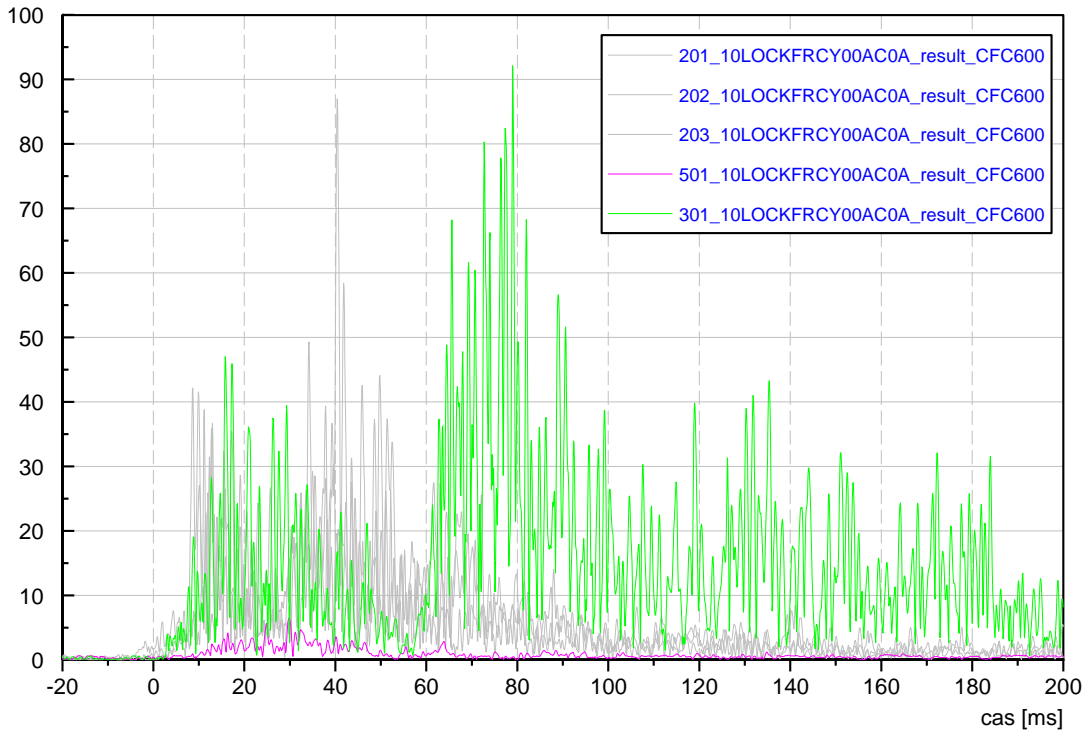
Obr. 53 – výslednice zrychlení na výztuze nárazníku pro zkoušky 201 až 203.

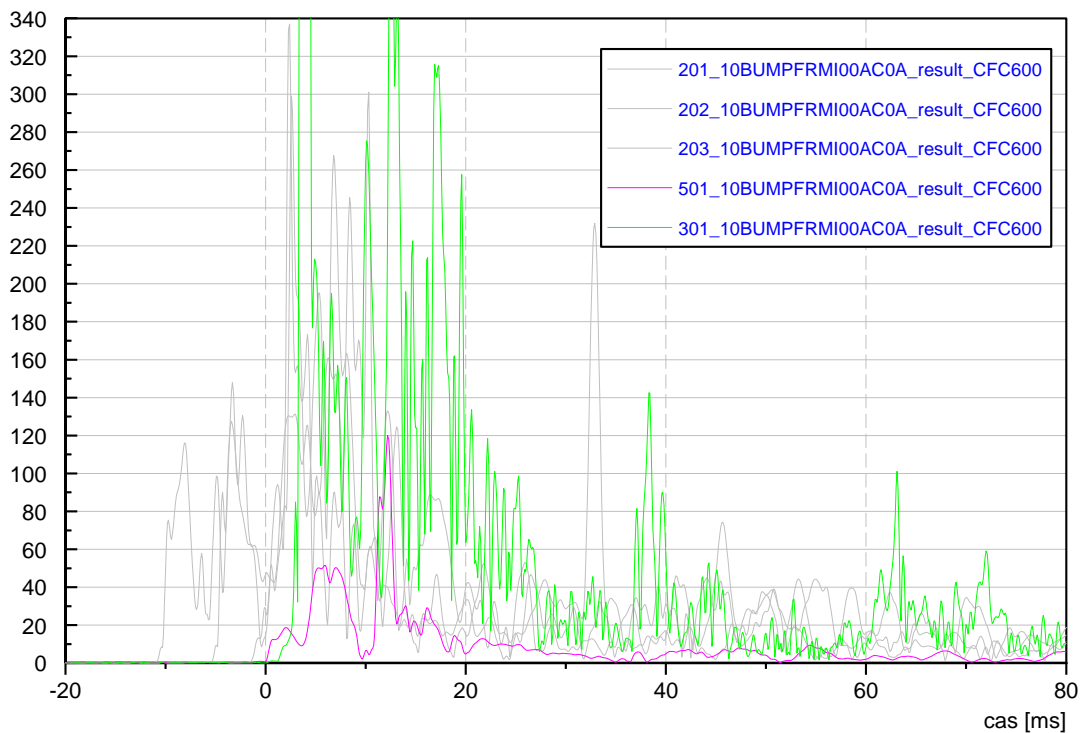
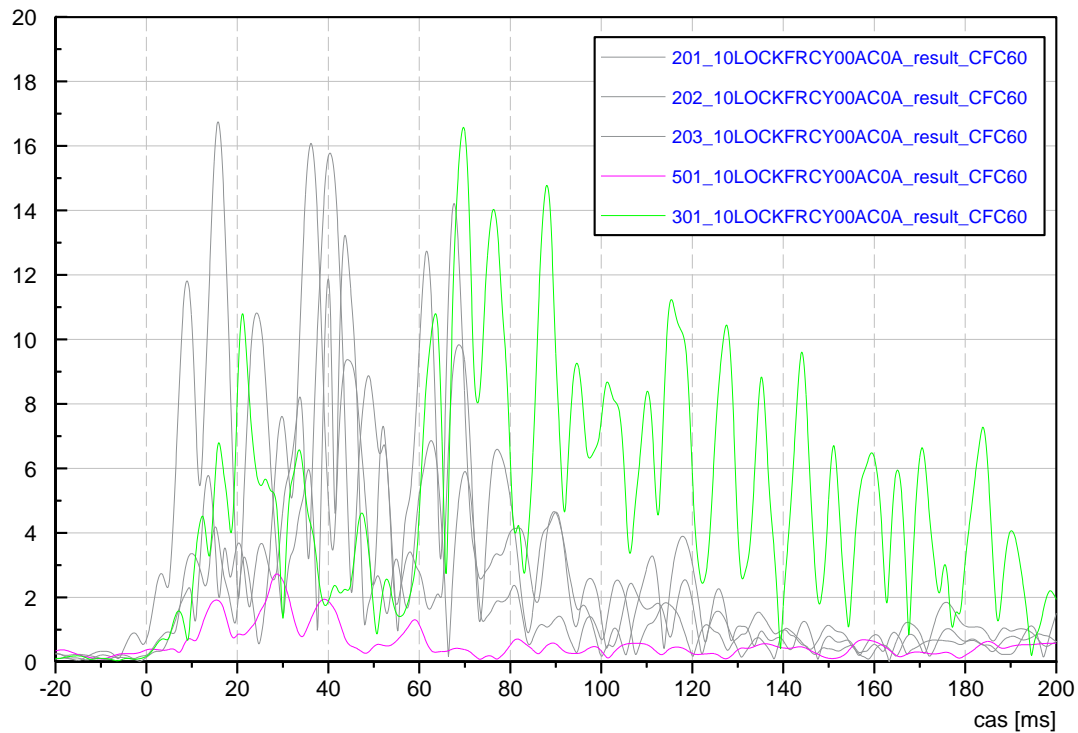


Obr. 54 – výslednice zrychlení na výztuze nárazníku pro zkoušky 201 až 203.



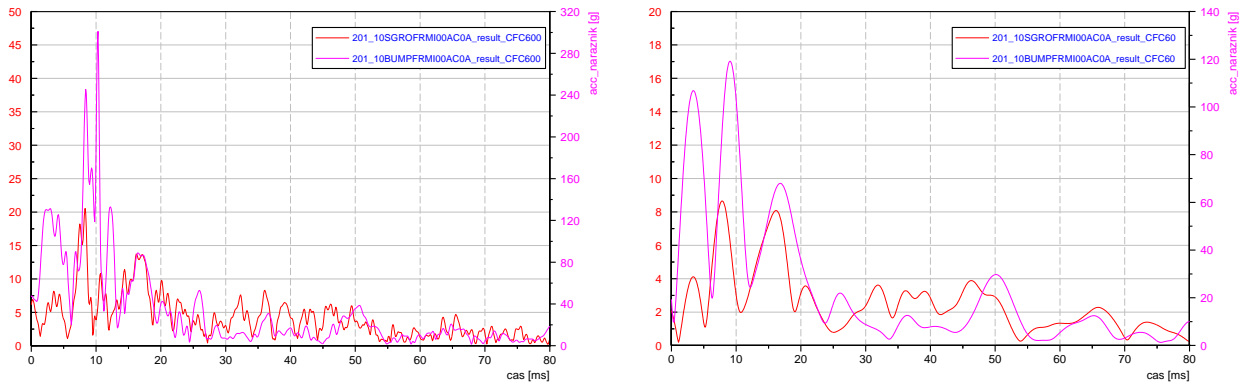
Obr. 55 - výslednice zrychlení na výztuze nárazníku – porovnání odezvy na kontakt s figurínou a na kontakt s balíkem slámy.



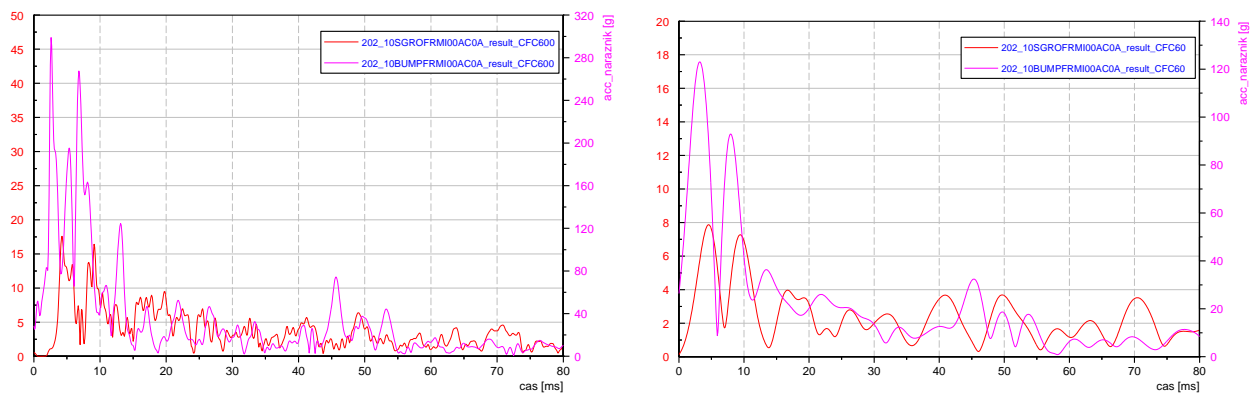


4.2.4 Plastový kryt nárazníku a výztuha

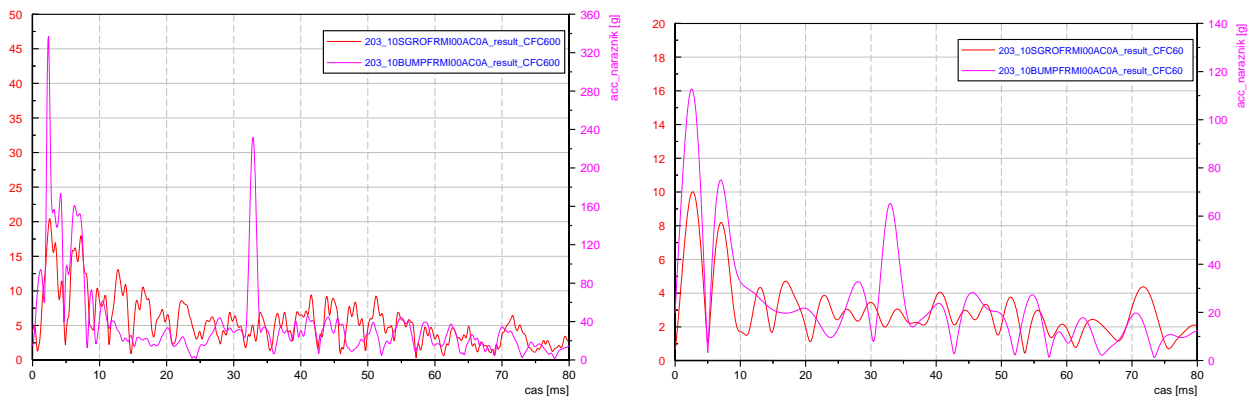
Naměřené hodnoty zrychlení na plastovém nárazníku v porovnání s hodnotami zaznamenanými na výztuze nárazníku (pozn. vlevo data filtrována CFC600, vpravo CFC60). Z důvodu snazšího srovnání má každá křivka v jednom grafu samostatné měřítko – ve skutečnosti zrychlení naměřená na plastovém dílu nárazníku vykazují cca 15x vyšší hodnoty.



Obr. 56 – zkouška 201 – porovnání výslednic zrychlení na výztuze nárazníku a na plastovém krytu nárazníku.



Obr. 57 - zkouška 202 – porovnání výslednic zrychlení na výztuze nárazníku a na plastovém krytu nárazníku.



Obr. 58 - zkouška 203 – porovnání výslednic zrychlení na výztuze nárazníku a na plastovém krytu nárazníku.

Vzájemná korelace naměřených hodnot zrychlení je zřejmá zejména v počátečních 10 ms po primárním nárazu. U zkoušky 203 je peak v cca 33. až 34. ms s největší pravděpodobností způsoben počátkem vymezování vůle mezi kapotou a frontendem – spolu s „naléháním“ figuríny na před.

5 3D skenování

Postřetová dokumentace byla provedena pomocí 3D skeneru FARO Focus3D. Byly zaznamenány konečné polohy objektů a poškození. Skenování bylo prováděno nejen po provedené zkoušce, ale i před zkouškou samotnou – z důvodu možnosti vzájemného porovnání měření a kvantifikace poškození vozidla.

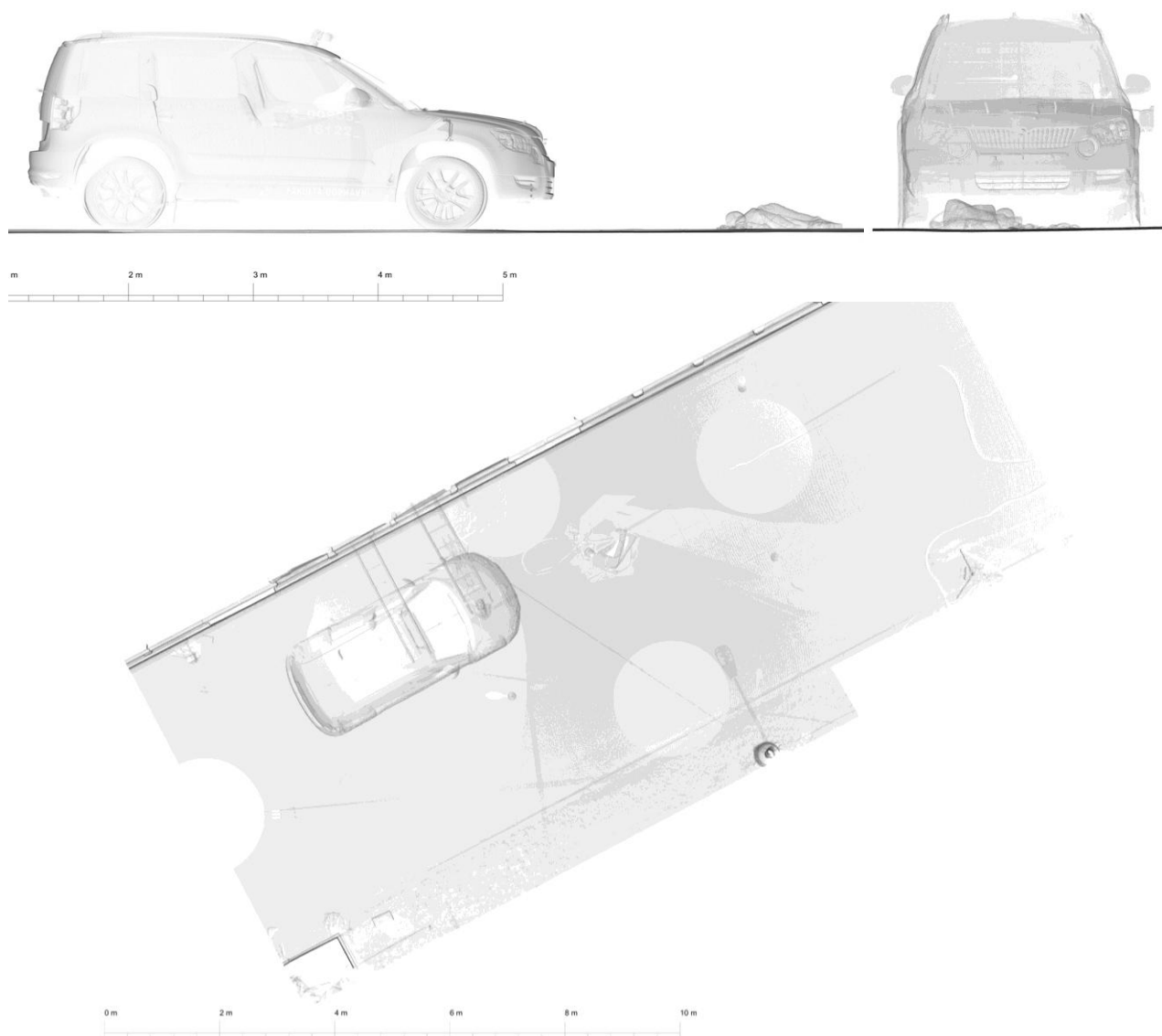


Obr. 59 – Skener FARO Focus3D a jeden z kulových referenčních objektů.



Obr. 60 – Automobil během skenování před zkouškou.

Příklad výstupu ze skenování konečné polohy – zkouška 203



Obr. 61 – Mračno bodů po skenování – zkouška 12_00905_203.

6 Diskuze výsledků

SHRNUTÍ VÝLEDKŮ zkoušek 12_00905 – osobní automobil Škoda Yeti vs. dětský chodec (figurína P6):

Naměřené výsledky zkoušek při jmenovité nárazové rychlosti 20 km/h obecně nevykazují překročení biomechanických limitů poranění při primárním, ani při sekundárním nárazu. Výjimku tvoří sekundární náraz u zkoušky 203, kdy bylo překročeno kritérium 3ms vypočtené z naměřeného zrychlení na hlavě figuríny. Těsně nadlimitní hodnota kritéria poranění hrudníku byla dále zaznamenána při zkoušce 201 během primárního nárazu. Tato diference, v porovnání s naměřenými hodnotami na hrudníku při ostatních zkouškách, byla s největší pravděpodobností způsobena postavením figuríny v okamžiku nárazu – vliv podsazení pánve (viz kapitola 4.1.2).

Nicméně provedené zkoušky jednoznačně potvrdily nezbytnou nutnost přesného stanovení a dodržení počátečních podmínek ustavení figuríny před nárazem. Z provedených zkoušek vyplývají následující obecné závěry pro testování s „full scale“ figurínou v pozici chodce.

OBECNÉ ZÁVĚRY

Opakovatelnost:

- pro možnost vzájemné komparace výsledků a pro jednoznačnost následné interpretace měření nutno dodržovat přesně stanovené počáteční podmínky měření – zejména přesnost ustavení figuríny – v podélné i příčné rovině.
- v rovině podélné se jedná zejména o polohu horních i dolních končetin (ohyb v kolenu, ohyb v lokti), dále podsazení pánve, poloha hlavy figuríny.
- v rovině příčné se jedná zejména o polohu figuríny vůči ose automobilu – centrický/excentrický střet.

Porovnatelnost: tím, jak jsou jednotlivé segmenty těla vzájemně provázány, vzájemně se ovlivňují i naměřené signály v jednotlivých segmentech.

- **primární střet**
 - výslednice zrychlení jsou ovlivněny zejména okamžikem, kdy dojde ke ztrátě kontaktu chodidel s vozovkou – hlavní kontaktní místo je následně nejvíce zatíženo – opět souvisí s počátečními podmínkami střetu – zejména s ustavením figuríny.
- **sekundární střet**
 - **excentrický střet**
 - **ovlivnění kabeláží** – stočení figuríny (udělení rotace) v případě kolize s končetinou, dále možnost ovlivnění postřetového pohybu „pohlcním“ smyčky kabelu přídí automobilu (tento vliv však při žádné zkoušce nebyl prokázán). Samotný primární střet není umístěním kabeláže ovlivněn.
 - **zadržení nohou** – může k němu dojít během postřetového pohybu vlivem sunutí figuríny vzhůru po přídí vozidla – tato situace nastala např. u zkoušky 203, kdy došlo k zadržení/zaseknutí špiček nohou o spodní hranu nárazníku.

- **měření na automobilu**
 - měření na automobilu (především na plastovém krytu nárazníku) koreluje s naměřenými hodnotami na figuríně. Zrychlení naměřená na ostatních částech karoserie, v závislosti na vzdálenosti od prvotního místa kontaktu, následně ztrácejí interpretační schopnost.
 - míra ovlivnění signálu např. různým postavením horních končetin je nejlépe patrná z naměřeného zrychlení na plastovém krytu nárazníku automobilu – odezva na kontakt s horními končetinami není zanedbatelná (viz např. Obr. 41) a celkový průběh naměřeného zrychlení značně ovlivňuje.
- **měření na figuríně**
 - měření na figuríně je možné dále doplnit např. o instrumentaci obou dolních končetin (tak, aby bylo naměřené zatížení kolena/stehna možno považovat za zcela objektivní). Dále je pro komplexnost výsledků vhodné doplnit instrumentaci kolena tříosým snímačem zrychlení tak, aby bylo možné sledovat možný kontakt i během sunutí figuríny vzhůru po kapotě automobilu během primárního nárazu.

ZÁVĚRY – DALŠÍ APLIKACE

- je nutné zaměřit se na eliminaci rozptylu počátečních podmínek, zejména na ohyb v kloubech (vymezení maximálního přípustného rozptylu ohybu kloubů, resp. na stanovení úhlů mezi jednotlivými segmenty) - tento požadavek zpravidla naráží na požadavek zachování co možná nejvyššího stupně biomechanické věrnosti chování figuríny jako celku.
- možnost řešení ustavování figuríny pomocí šablony, „formy“.
- impaktorová metodika nepostihuje nejvíce zatížená místa střetu dětského chodce s osobním automobilem.
- vzájemný přenos mezi jednotlivými segmenty figuríny.

7 Závěr

Fakulta dopravní ČVUT v Praze provedla v pořadí čtvrtou sérii dynamických zkoušek střetu osobního automobilu M1 s dětskou figurínou P6. Kolizním partnerem bylo vozidlo Škoda Yeti. Testy byly zaměřeny zejména na problematiku opakovatelnosti testů provedených s celou figurínou v postavení chodce.

Z provedených zkoušek a z jejich vyhodnocení jednoznačně vyplývá silná závislost výsledků na rozptylu počátečních podmínek testu – zejména na přesnosti ustavení figuríny. Potvrdila se nízká závislost, nízká míra korelace, mezi zrychlením naměřeným na hlavě v průběhu primárního a v průběhu sekundárního nárazu. To je způsobeno zejména tím, že sekundární náraz je do značné míry jevem náhodným, jevem s vysokým stupněm volnosti a je ovlivňován mnoha faktory. Pro zvýšení míry objektivity deskripce poranění by bylo nutné doplnit figurínu o snímač sil a momentů působících na krční páteř.

Dalším cílem provedených zkoušek bylo porovnat ponárazovou kinematiku a průběh střetu a postřetovou polohu z pohledu soudně znalecké praxe. Naměřená data budou, kromě jiného, sloužit pro tvorbu matematického modelu a validaci softwaru v oblasti analýzy dopravních nehod.

Použitá literatura

- [1] Huang, M.: Vehicle Crash Mechanics, CRC Press, Boca Raton, Florida 2002
[2] ISO 6487:2002: Road Vehicles – Measurement techniques in impact tests – Instrumentation, Ženeva 2002

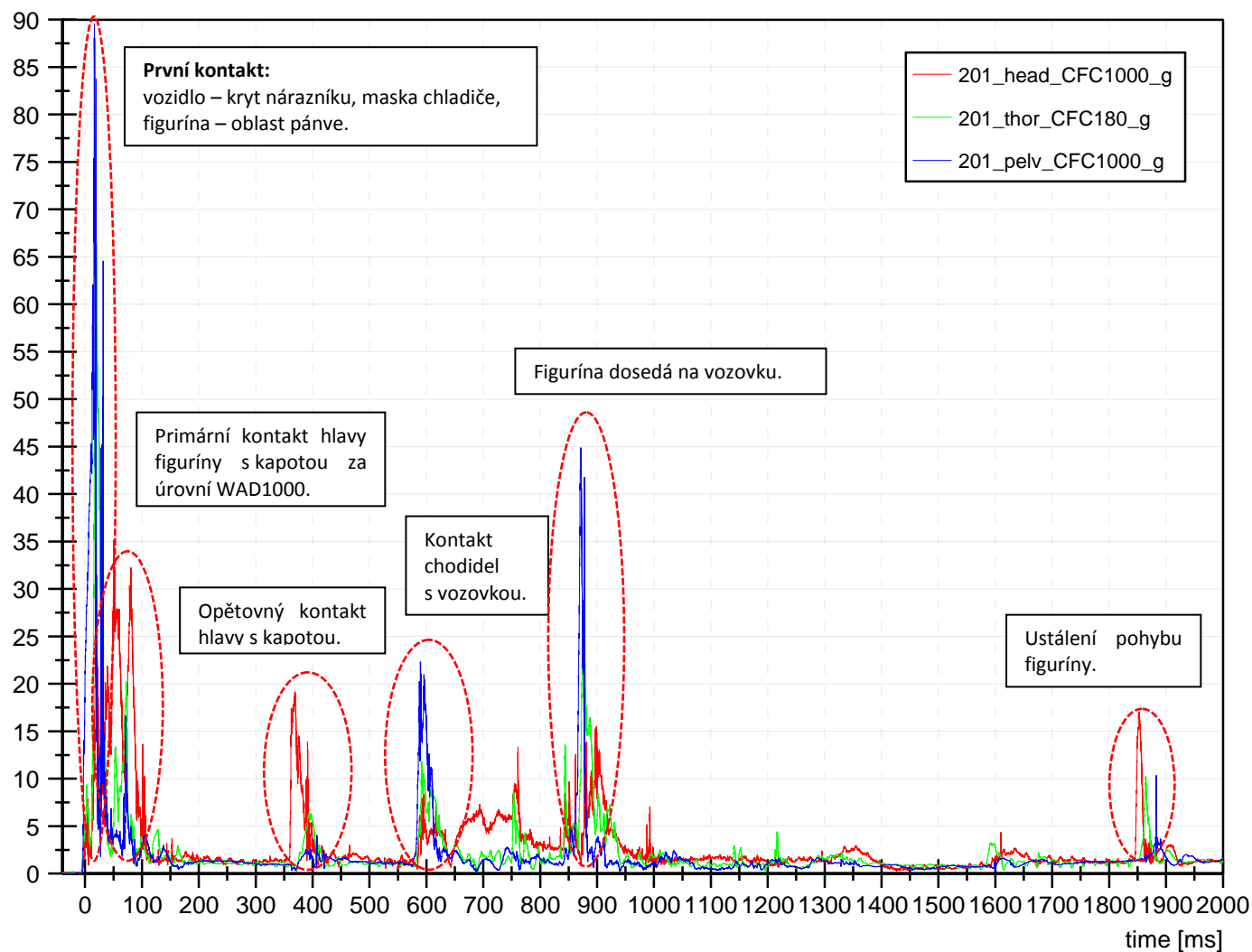
Partneři zkoušky

ŠKODA



Příloha 1 – Graf průběhu zrychlení na figuríně – test 11_00854_201

Zkouška č. 11_00854_201



Příloha 2 – Biomechanická kritéria – přehledové tabulky

Hlava

zkouška č. 12_00905	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]
12_00905_201	74.5	43.0	58.0	37.3	49.0	32.6	47.4	50.9	98.6	611.5	620.1	60.0	613.8	45.1	611.9	615.4
12_00905_202	30.4	50.3	65.3	33.0	50.6	20.5	55.8	59.3	145.4	677.2	686.8	78.6	680.3	41.5	679.2	682.2
12_00905_203	38.1	57.1	72.1	27.6	60.0	24.3	64.7	68.0	647.8	647.9	653.7	134.1	651.4	85.7	648.1	653.3

zkouška č. 12_00905	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
12_00905_201	74.5	1000	37.3	-	32.6	80/60	98.6	1000	60.0	-	45.1	80/60
12_00905_202	30.4	1000	33.0	-	20.5	80/60	145.4	1000	78.6	-	41.5	80/60
12_00905_203	38.1	1000	27.6	-	24.3	80/60	647.8	1000	134.1	-	85.7	80/60

Hrudník

zkouška č. 12_00905	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]
12_00905_201	66.0	29.9	56.9	28.5	31.5	246.4	590.0	34.9	594.0	597.0
12_00905_202	68.7	28.0	43.6	30.1	33.1	18.5	684.9	10.7	594.0	597.0
12_00905_203	45.9	31.5	33.8	28.5	32.2	135.5	677.0	18.1	675.5	679.8

zkouška č. 12_00905	HRUDNÍK							
	Primární náraz				Sekundární náraz			
	a _{max}		a _{3ms}		a _{max}		a _{3ms}	
	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit
12_00905_201	66.0	-	56.9	60/55	246.4	-	34.9	60/55
12_00905_202	68.7	-	43.6	60/55	18.5	-	10.7	60/55
12_00905_203	45.9	-	33.8	60/55	135.5	-	18.1	60/55

Pánev

zkouška č. 12_00905	PÁNEV									
	Primární náraz					Sekundární náraz				
	a _{max}		a3ms			a _{max}		a3ms		
	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]	[g]	t [ms]	[g]	t ₁ [ms]	t ₂ [ms]
12_00905_201	54.1	21.4	41.5	20.6	23.6	53.5	594.3	42.0	593.8	596.8
12_00905_202	53.9	35.2	29.4	20.3	23.3	26.0	582.5	22.1	571.0	574.9
12_00905_203	79.6	28.1	31.3	11.0	14.1	58.4	677.1	24.1	784.5	787.5

zkouška č. 12_00905	PÁNEV							
	Primární náraz				Sekundární náraz			
	a _{max}		a3ms		a _{max}		a3ms	
	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit	[g]	limit
12_00905_201	54.1	130	41.5	-	53.5	130	42.0	-
12_00905_202	53.9	130	29.4	-	26.0	130	22.1	-
12_00905_203	79.6	130	31.3	-	58.4	130	24.1	-

Koleno

zkouška č. 12_00905	KOLENO		zkouška č. 12_00905	KOLENO	
	Primární náraz			Primární náraz	
	a _{max}			a _{max}	
	[g]	t [ms]		[g]	limit
12_00905_201	95.2	8.1	12_00905_201	95.2	170
12_00905_202	88.9	25.6	12_00905_202	88.9	170
12_00905_203	121.1	7.7	12_00905_203	121.1	170

Zatížení stehenní kosti – síla působící na ohyb

zkouška č. 12_00905	Průběh síly	
	Primární náraz	
	F _{max}	
	[N]	t [ms]
12_00905_201	1200	28.0
12_00905_202	1330	26.6
12_00905_203	1320	24.2

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 natržení Obličej: zlomenina nosu
2	Kůže: částečná skalpace Zlomenina klenby lební: prasklina Zlomenina čelisti: otevřená, dislokovaná Zlomenina lícní kosti: LeFort I a II
3	Zlomenina baze lební Zlomenina lícní kosti: LeFort III Totální skalpace Zhmoždění mozečku
4	Zlomenina klenby lební: 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 plic, lehké zhmoždění srdce
4	Zhmoždění plic, částečné natržení aorty, zhmoždění srdce
5	Natržení aorty, roztržení plic s přetlakovým pneumothoraxem
6	Roztržení aorty s masivním krvácením do osrdečníku

Poranění páteře AAAM 2004

AIS	Popis poranění
1	Kůže, svaly: odřeni, 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	-
