



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Kateřina Šulcová

**VLIV CHYBNÉ MANIPULACE S DĚTSKÝMI
ZÁDRŽNÝMI SYSTÉMY NA NÁSLEDKY DOPRAVNÍ
NEHODY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018



K622..... Ústav soudního znalectví v dopravě

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Kateřina Šulcová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Vliv chybné manipulace s dětskými zádržnými systémy**

Název tématu (anglicky): Influence of Incorrect Manipulation with Child Restraint Systems

Zásady pro vypracování

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

- Úvod do problematiky dětských zádržných systémů
- Shrnutí možností chybné manipulace a zhodnocení současného stavu
- Provedení dynamické zkoušky dětského zádržného systému
- Vyhodnocení naměřených dat
- Shrnutí výsledků a poznatků
- Aplikace získaných dat v rámci osvěty

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: YOGANANDAN, Narayan. Accidental Injury, Biomechanics and Prevention. New York: 2014. ISBN 14-9391-731-5.

KOVANDA, Jan. Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků. Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05893-0

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

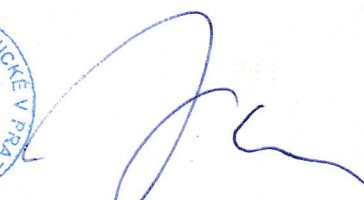
Datum zadání diplomové práce: **20. července 2017**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2018**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
vedoucí
Ústavu soudního znalectví v dopravě



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Kateřina Šulcová
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 15. května 2018

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podporu, vybavení a podklady pro vypracování diplomové práce. Především děkuji Ing. Vítu Bursíkovi, TÜV SÜD Czech s.r.o., ŠKODA AUTO a.s. a DEKRA a.s., za poskytnutí dětských zádržných systémů, realizaci dynamických zkoušek a cenné rady z oblasti zkušebnictví. Mé poděkování rovněž patří Ing. Jakubu Machutovi a Ing. Martinu Hykšovi z Kistler Eastern Europe s.r.o za zapůjčení důležité techniky k provedení crash testu. Děkuji týmu Besip MD za poskytnutí dětských zádržných systémů a zázemí pro realizaci průzkumu. Děkuji prof. MUDr. Petru Havránkovi, CSc. a Prof. MUDr. Ivanu Dylevskému, DrSc., za odborné konzultace v oblasti medicíny a anatomie. Děkuji doc. Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce.

Mé vřelé poděkování patří rovněž mé rodině a přátelům, za neobyčejnou trpělivost a podporu, kterých se mi dostávalo po celou dobu mého studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 5. září 2018

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

VLIV CHYBNÉ MANIPULACE S DĚTSKÝMI ZÁDRŽNÝMI SYSTÉMY NA NÁSLEDKY DOPRAVNÍ NEHODY

Diplomová práce

září 2018

Bc. Kateřina Šulcová

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce jsou rizika spojená s používáním dětských zádržných systémů. Teoretická část je věnována úvodu do problematiky z hlediska legislativy a statistik dopravních nehod s účastí dětí. Dále je navázáno na výčet jednotlivých druhů systémů s popisem možností chybné manipulace a rovněž jsou rozebrána rizika spojená s konstrukcí dětských zádržných systémů s bezpečnostním pultem. Výskyt problémů popsanych v teoretické části je ověřen provedením průzkumu četnosti, jemuž je vyčleněna samostatná kapitola. Výsledky průzkumu jsou aplikovány v návrhu nedestruktivních dynamických zkoušek, při kterých jsou simulovány pozorované chyby. Dále je provedena reálná nárazová zkouška v rámci, které je zkoumáno působení bezpečnostního pultu na tělo dítěte během dopravní nehody. Tato část práce je věnována rovněž biomechanickým kritériím a pravděpodobnostním funkcím rizika poranění na jejichž základě jsou vyhodnocovány všechny dynamické zkoušky. Poznatky získané při zpracování práce jsou aplikovány v rámci osvěty.

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis are risks joined with the use of child restraint systems. The theoretical part is dedicated to the introduction of problematics of legislation and statistics of accidents where children are involved. After that a summary of different types of child restraint systems is provided and risks joined with the construction of the shield systems are explained. The occurrence of the problems described in the theoretical part is verified by carrying out a frequency survey, to which a separate chapter is dedicated. Results of the survey are applied in the design of nondestructive dynamic tests during which the most common mistakes are simulated. Furthermore, a real crash test is performed, where the influence of shield systems on the body of a child during an accident is investigated. This part is also dedicated to biomechanical criterions and injury risk curves on the basis of which all dynamic tests are assessed. Findings gained during the processing of the work are applied in the context of education of the public.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

**VLIV CHYBNÉ MANIPULACE S DĚTSKÝMI ZÁDRŽNÝMI SYSTÉMY
NA NÁSLEDKY DOPRAVNÍ NEHODY**

Diplomová práce

Září 2018

Bc. Kateřina Šulcová

KLÍČOVÁ SLOVA

Dětské zádržné systémy, dopravní nehoda, poranění, dynamické zkoušky, crash test, biomechanická kritéria

KEYWORDS

Child restraint systems, accident, injury, dynamic tests, crash test, biomechanical criterions

OBSAH

0	Úvod	10
1	Problematika dětských zádržných systémů	12
1.1	Legislativa	12
1.2	Statistiky dopravních nehod s účastí dětí.....	14
1.3	Rozdělení dětských zádržných systémů	16
1.3.1	Dělení dle legislativy	16
1.3.2	Druhy systémů vyskytující se na trhu.....	17
2	Rizika a chybná manipulace s DZS.....	19
2.1	Rizika instalace integrálních DZS	19
2.1.1	Instalace protisměrných DZS.....	20
2.1.2	Vliv směru instalace.....	21
2.2	ISOFIX	23
2.3	Poutání dítěte do DZS.....	24
2.3.1	Integrální DZS	24
2.3.2	Neintegrální DZS.....	25
2.4	DZS s bezpečnostním pultem	27
2.5	Následky dopravních nehod u dětí.....	29
3	Průzkum četnosti výskytu chybné manipulace	31
3.1	Metodika průzkumu	31
3.1.1	Skupina 0	32
3.1.2	Skupina I	33
3.1.3	Skupina II	34
3.1.4	Skupina III	36
3.1.5	Celkové vyhodnocení	38
4	Dynamické zkoušky DZS	40
4.1	Testování nezávislými organizacemi	40
4.2	Dětské figuríny	41
4.2.1	Figuríny série P	42
4.2.2	Figuríny série Q.....	43
4.3	Biomechanická kritéria.....	45
4.3.1	Kritéria poranění hlavy	45
4.3.2	Kritéria poranění krku	46

4.3.3	Kritéria poranění hrudníku	47
4.3.4	Kritéria poranění břicha	48
4.3.5	Posouzení závažnosti mechanického nárazu	49
5	Nedestruktivní dynamické zkoušky	51
5.1	Série experimentů v laboratoři DEKRA a.s.	51
5.1.1	Zkušební zařízení	51
5.1.2	Experiment 1	53
5.1.3	Experiment 2	63
5.1.4	Experiment 3	73
5.2	Dynamická zkouška v laboratoři TÜV SÜD	80
5.2.1	Zkušební zařízení	80
5.2.2	Experiment 4	81
5.3	Zhodnocení metodiky.....	89
6	Crash test.....	91
6.1	Zkušební zařízení	91
6.2	Experiment č. 5.....	92
6.2.1	Vyhodnocení experimentu	94
6.2.2	Porovnání DZS s pultem a integrovanými pásy	100
6.2.3	Shrnutí výsledků experimentu	101
7	Aplikace výsledků v rámci osvěty	103
7.1	Informační video	103
7.2	Informační brožura.....	104
8	Závěr.....	105
9	Seznam použitý zdrojů	107
10	Seznam obrázků	110
11	Seznam tabulek	113
12	Seznam příloh.....	115

Seznam použitých zkratek

a.s.	Akciová společnost
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AIS	Abbreviated Injury Scale
APTS	Abdomen pressure twin sensor
CTI	Combined thoracic index
ČR	Česká Republika
DZS	Dětský zádržný systém
EEVC	European Enhanced Vehicle-Safety Committee
EHK OSN	Evropská hospodářská komise Organizace spojených národů
EHS	Evropské hospodářské společenství
EU	Evropská unie
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
GRSP	Global Road Safety Partnership
HIC	Head injury criterion
IR-TRACC	Infrared Telescope Rod for Assessment of Chest Compression
NIJ	Normalized neck injury criterion
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
ODB	Offset deformable barrier
PČR	Policie České Republiky
SIMDB	Side impact mobile deformable barrier
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
UN ECE	United Nations Economic Commission for Europe
USA	United States of America

Seznam použitých symbolů

a	[$m \cdot s^{-2}$]	zrychlení
A_{int}	[$m \cdot s^{-2}$]	kritická hodnota 3ms kritéria hrudníku
A_{max}	[$m \cdot s^{-2}$]	3ms kritérium hrudníku
CTI	[-]	index zatížení hrudníku
D_{int}	[mm]	kritická hodnota deformace hrudníku
D_{max}	[mm]	maximální měřená deformace hrudníku
D_x/D_y	[mm]	deformace hrudníku
F_{int}	[kN]	kritická hodnota axiální síly
F_z	[kN]	axiální síla v ose z
g	[$m \cdot s^{-2}$]	gravitační zrychlení $g=9,81 m \cdot s^{-2}$
HIC	[-]	index zatížení hlavy
m	[kg]	hmotnost
M_{int}	[Nm]	kritická hodnota ohybového momentu
M_y	[Nm]	ohybový moment
N_{ij}	[-]	index zatížení krku
p	[bar]	tlak
P	[kW]	výkon
t	[ms]	čas
v	[$km \cdot h^{-1}$]	rychlost
V	[l]	objem

0 Úvod

Ochrana dětí v dopravě je ve vyspělých zemích takřka samozřejmostí. Ať už na děti nahlížíme jako na chodce, cyklisty nebo spolujezdce v osobním automobilu, jedná se o jednu z nejvíce zranitelných skupin společnosti. Tento fakt nás spolu s narůstajícím počtem dopravních nehod v posledních letech vede ke stálé potřebě zvyšovat úroveň dětské bezpečnosti. Ačkoliv je vyvíjeno značné úsilí k zamezení samotného vzniku dopravní nehody, není vždy možné ji zcela odvrátit. Pokud je v takovém případě přepravováno dítě uvnitř vozidla, jeho bezpečí je možné zajistit pouze pomocí prvků pasivní bezpečnosti, jednotně nazývaných dětské zádržné systémy (DZS).

Dnes jsou tyto systémy schopny poskytnout relativně vysokou míru ochrany. I přesto dle statistik Policie České Republiky dochází každoročně při dopravních nehodách v osobním automobilu k úmrtí nebo závažnému poranění průměrně 20 dětí a k lehkým zraněním dalších 500. Poranění způsobená v dětském věku mohou způsobit následky, které si sebou dítě ponese celý život, ať už v podobě mentálních nebo pohybových deficitů. Právě proto jsou zádržné systémy, tak podstatnou součástí přepravy. Jejich výběr a způsob použití je však leckdy nesnadný. V dnešní době trh nabízí širokou škálu výrobků různé kvality a cenových relací, jejichž bezpečnostní aspekty jsou výrobcem často nadnesené. Tyto komplikace jsou důvodem proč nezávislé organizace každoročně testují vybrané DZS, ověřují bezpečnostní i uživatelské vlastnosti a snaží se usnadnit jejich výběr. Ani testování však není stoprocentní zárukou bezpečnosti výrobků, a především nezamezí používání zádržných systémů, které neodpovídají fyzickým parametrům dítěte.

Problémem není pouze výběr DZS, ale také dodržování zásad pro jeho používání. Nezřídká dochází v důsledku nedbalosti nebo v touze po vyšším komfortu k řadě chyb jak při instalaci, tak poutání dítěte. Tyto předpoklady vycházejí mimo jiné ze závěrů bakalářské práce na téma „Dětské zádržné systémy v osobním automobilu“, v rámci které, byl proveden průzkum četnosti výskytu jednotlivých problémů. Každé pochybení však může ovlivnit průběh dopravní nehody a co je podstatné, její následky.

Hlavním cílem této práce je určit míru dopadu konkrétních chyb, které se nejvíce vyskytují v reálném provozu. Výskyt chyb však není jediným problémem v této oblasti. Již v bakalářské práci byla naznačena problematika konkrétního typu DZS, které jsou vybaveny bezpečnostním pultem. Proto je rovněž záměrem práce stanovit vliv bezpečnostního pultu na tělo dítěte a ověřit tvrzení o vyšším účinku tohoto systému v porovnání s pětibodovými pásy.

Metodou získání potřebných dat je pro oba dílčí cíle provedení dynamických nárazových zkoušek. Chyby instalace a připoutání dítěte budou simulovány prostřednictvím

nedestruktivních testů, naopak pro zkoumání vlivu bezpečnostního pultu je navržena reálná nárazová zkouška (crash test). Pro jednoznačné stanovení míry dopadu jednotlivých problémů budou výsledky vyhodnocovány pomocí biomechanických kritérií, na jejichž základě lze stanovit pravděpodobnost vzniku závažných poranění.

Informace získané v průběhu práce mohou být přínosem především osobám, které přepravují děti pomocí osobního automobilu a samotným dětem. Proto je dílčím cílem mimo jiné aplikování poznatků z nárazových zkoušek v rámci osvěty.

1 Problematika dětských zádržných systémů

Dětské zádržné systémy jsou v automobilech běžným příslušenstvím, jejich používání však samo o sobě nezaručí stoprocentní ochranu dětských pasažérů. Při pohledu na statistická data uvedená v kapitole 1.2 je tento fakt evidentní. Děti, které jsou při dopravních nehodách v automobilu usmrceny, či zraněny jsou v drtivé většině případů usazeny v DZS. Parametry každého dítěte jsou odlišné a je proto důležité vybrat zádržný systém, který jim bude odpovídat a uzpůsobit jeho nastavení, tak, aby dítě skutečně ochránil. Základem pro výběr DZS je určení správné kategorie. Tyto kategorie jsou stanoveny legislativou EU, která rovněž určuje podmínky pro uvedení zádržného systému na trh. Povinnost a podmínky použití si však stanovují jednotlivé země zvlášť.

1.1 Legislativa

Základním předpisem týkajícím se DZS je **EHK č.44** - „*Jednotná ustanovení pro schvalování typu zádržných zařízení pro děti cestující v motorových vozidlech*“. Tento předpis vyšel v platnost v roce 1981 a udává postup homologace a způsob označení homologovaného výrobku. Dle předpisu je pro schválení třeba systém podrobit zkoušce odolnosti proti korozi, zkoušce převrácením a nárazové zkoušce. Nárazové zkoušky jsou prováděny na zkušebním sedadle, které je usazeno na zkušebním vozíku (DZS kategorie určité vozidlo jsou testovány na každém modelu vozidla, pro něž jsou určeny) čelním nárazem (52 km/h + 0/-2 km/h) a nárazem zezadu (32 km/h + 0/-2 km/h). Každý DZS je v rámci homologace testován s největší a nejmenší figurínou řady P pro níž je určen. Je dáno, že zpomalení hrudníku nesmí překročit 55 g a povolená hodnota svislé složky 30 g. Rovněž nesmí při zkoušce dojít k průniku žádného zařízení do modelovací hmoty břicha. Pro zkoušky s figurínou novorozence není možné tyto parametry vyhodnotit, jelikož není vybavena potřebnými proprietami. Předpis také uvádí, že figurína nesmí během zkoušky přesáhnout linie znázorňující interiér. [7]

V roce 2013 byl zaveden předpis **EHK č. 129** – „*Jednotná ustanovení pro schvalování typu zdokonalených dětských zádržných systémů (ECRS) používaných v motorových vozidlech*“. Platnost toho předpisu je rozdělena na tři části, z čehož jsou zatím realizovány první dvě. První fáze je zaměřená na systémy pro převoz dětí do 15 měsíců a stanovuje povinnost DZS určený této kategorii uzpůsobit pouze pro přepravu proti směru jízdy. Rovněž musí být takový DZS vybaven systémem ISOFIX. Od roku 2017 navíc čistě ISOFIX systémy nesmějí být homologovány dle normy EHK č.44. Norma č. 129 stanovuje pro všechny systémy povinnost provést nárazovou zkoušku čelní, zezadu i boční, a to s figurínami řady Q na nichž je vyhodnocováno biomechanické kritérium hlavy HPC, 3ms kritérium zrychlení hlavy a zrychlení hrudníku. Od roku 2018 je realizována fáze 2, čímž je tento předpis platný i pro neintegrační

DZS. Nově jsou zádržné systémy členěny nikoliv podle hmotnosti (EHK č.44), ale podle výšky (nejsou uvedeny přesné výškové kategorie). Normy EHK č.44 a č.129 však stále platí současně a je tak možné vybrat, podle které bude DZS homologován. [8]

Dětskými zádržnými systémy se zabývají i další evropské normy **EHK č.16**, pod níž spadají zkoušky instalace do vozidla a **EHK č.14** pojednávající o kotevních úchytech pásů. Velmi podstatou součástí evropské legislativy jsou také směrnice. Především směrnice **91/671/EHS** stanovující povinnost používání dětských zádržných systémů ve vozidlech do 3,5 tuny. Směrnice je dále upravena směrnicemi **2003/20/ES** a **2014/37/EU**, které mimo jiné uvádí povinnost převážet děti do 150 cm výšky ve vozidlech kategorií M1, N1, N2 a N3 pouze v DZS a použít takový typ zádržného systému, který je vhodný pro fyzickou konstituci dítěte. [19]

Česká republika je od roku 2004 členem EU a je tedy vázána dodržovat její právní předpisy. Veškeré schvalování technické způsobilosti a technické podmínky provozu vozidel na pozemních komunikacích v ČR tudíž podléhají legislativě EU. Seznam platných směrnic a norem je uveden v příloze předpisu **č. 341/2014**, který odkazuje na všechny výše uvedené předpisy.

Povinnosti řidiče při přepravě dítěte v motorovém vozidle stanovuje v EU každý členský stát samostatně v rámci vlastní legislativy. V ČR jsou tyto povinnosti dány zákonem **č. 361/2000 sb.** o provozu na pozemních komunikacích (zákon o silničním provozu) §6, který nabyl účinnosti v roce 2001 a byl novelizován 37 dalšími zákony. Zákon na rozdíl od legislativy EU zohledňuje jak výšku tak váhu dítěte a udává, že řidič motorového vozidla je povinen *„přepřavovat ve vozidle kategorie M1, N1, N2 nebo N3, které je vybaveno zádržným bezpečnostním systémem dítě, jehož tělesná hmotnost nepřevyšuje 36 kg a tělesná výška nepřevyšuje 150 cm, pouze za použití dětské autosedačky, při této přepravě dítě musí být umístěno v dětské autosedačce, která odpovídá jeho hmotnosti a tělesným rozměrům [5].“* Dále zákon udává povinnost uvést mimo činnost airbag na sedadle, na němž je umístěno dítě proti směru jízdy vozidla. Za porušení těchto bodů zákona může být řidiči udělena pokuta ve výši až 2500 Kč. Zákon však povoluje výjimky. Jsou-li ve vozidle kategorie M1 a N1 přepřavovány 3 děti, na zadním sedadle jsou již umístěny 2 dětské sedačky a pro nedostatek prostoru není možné umístit třetí, je možné třetí dítě starší 3 let (menší než 150 cm) přepřavovat pouze za použití bezpečnostního pásu. Další výjimky ze zákona pak platí pro bezpečnostní sbory, policii, jednotky požární ochrany, horské služby a zdravotnické záchranné služby při plnění povinností.

1.2 Statistiky dopravních nehod s účastí dětí

Statistická data přinášejí v oblasti dopravních nehod důležité poznatky. Prezентují současnou situaci, poukazují na problémy a jsou také jistým ukazatelem účinnosti použitých opatření. V ČR jsou statistiky dopravní nehodovosti zpracovávány především policií ČR, která každoročně vydává statistickou ročenku s přehledem nehodovosti na celém území. Ročenka obsahuje informace jak o počtu dopravních nehod tak o jejich následcích, hlavních příčinách zavinění, druhu a místu nehody. Zaznamenávají jsou i informace o věku a pohlaví účastníků, místě usazení, míře poranění a použití zádržných systémů. [22]

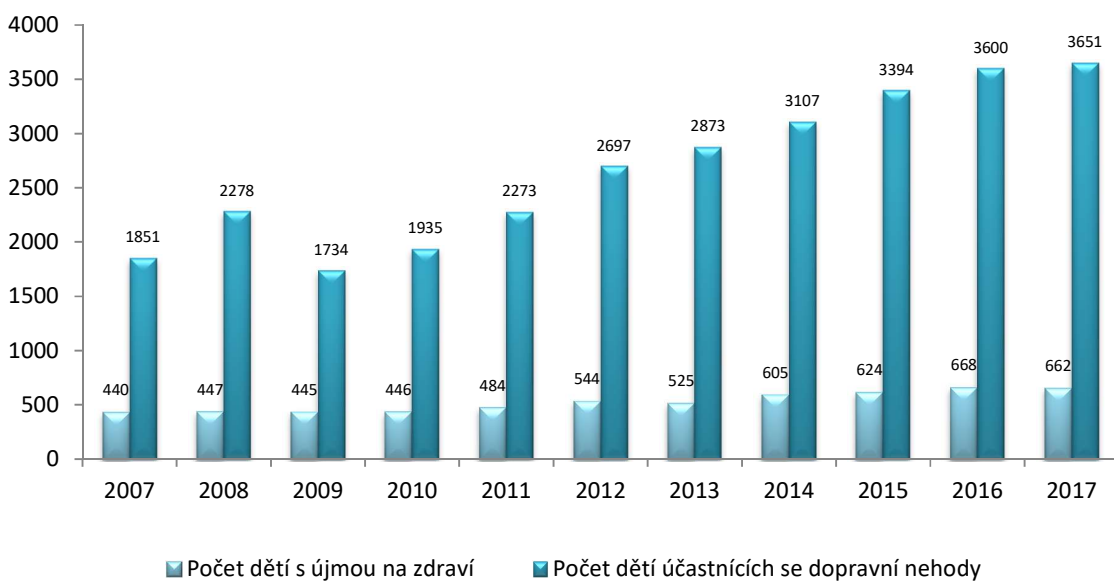
Děti jsou ve statistikách dopravních nehod uváděny ve vlastní kategorii. Nehody jsou členěny s ohledem na to, zda se jednalo o chodce, cyklistu, nebo bylo dítě v roli spolujezdce. Pod pojmem děti jsou vždy souhrnně uváděny osoby mladší 15 let, pokud se však jedná o spolujezdce, je možné odlišit jedince vyžadující použití DZS a děti, které této povinnosti již nepodléhají (v následujícím textu jsou pod pojmem děti souhrnně uváděny osoby vyžadující přepravu v DZS). V tabulce 1 je uveden počet dětí usmrcených při dopravních nehodách v ČR za uplynulých 10 let. Z dat, která jsou uvedena je zřejmé, že nejčastěji k těmto úmrtím dochází přímo ve vozidle a téměř polovina těchto spolujezdců byla usmrcena v DZS.

Tab. 1. Přehled počtu usmrcených dětí v silniční dopravě [22]

Rok	Celkem	Spolujezdci	Spolujezdci vyžadující		Chodci	Cyklisté
			DZS			
			V DZS	Bez DZS		
2007	24	16	4	1	4	4
2008	17	7	4	0	7	2
2009	14	8	3	0	5	1
2010	17	10	5	1	6	0
2011	12	6	2	0	4	1
2012	14	8	5	0	6	0
2013	8	2	1	0	3	3
2014	14	4	2	0	7	3
2015	17	12	5	0	5	0
2016	13	10	8	0	2	1
2017	9	4	1	1	5	0
Celkem	159	87	40	3	54	15

Počet usmrcených v DZS se v průměru pohybuje kolem 4 dětí ročně. Výrazný pokles dětských úmrtí byl zaznamenán pouze v roce 2013 a 2017, kdy došlo k celkovému úbytku usmrcených osob. Ovšem ani v roce 2013, ani 2017 nebylo zaznamenáno snížení počtu dopravních nehod. K výrazným změnám došlo pouze v roce 2009, kdy se celkový počet snížil o 53 %, ovšem od roku 2010 opět postupně narůstá.

Rovněž vzrůstá i počet dětí-spolujezdců, které se stali účastníky dopravní nehody i dětí, které jsou při ní zraněny (viz obr. 1). Za posledních 10 let došlo k nárůstu počtu dětí účastnících se dopravní nehody o 49 %. Přičemž nárůst zraněných, či usmrcených činí 34 %. Ve valné většině případů se jedná o lehká poranění. Navzdory výraznému zvýšení počtu dětí účastnících se nehod, množství těžce zraněných dětí zůstává relativně stabilní a pohybuje se v průměru kolem 18 dětí ročně. Nutno podotknout, že statistiky uvádějí pouze následky do 24 hodin, dojde-li tedy po této lhůtě u dítěte s vážnými následky k úmrtí, nebude tento fakt zaznamenán ve statistice PČR zaznamenán.



Obr. 1: Vývoj dopravní nehodovosti s účastí dětí vyžadujících DZS v roli spolujezdce (zdroj dat: Policie ČR)

Ze statistik vyplývá, že více než 70 % nehod s dětskou účastí bylo zaznamenáno v intravilánu. Z této informace lze usoudit, že jedním z důvodů celkového nárůstu může být suburbanizace a s tím související narůstající mobilita. Tento fakt souvisí i se vzrůstající životní úrovní, která se mimo jiné projevuje vyšším počtem registrovaných vozidel (v ČR bylo v roce 2017 zaznamenáno 485 vozidel na 100 obyvatel) i změnou návyků. Díky tomu narůstá i počet dětí, které jsou v automobilu přepravovány. Především dochází častěji k přepravě na krátké vzdálenosti za účelem zábavy nebo dopravy do škol.

1.3 Rozdělení dětských zádržných systémů

Dělení DZS vyplívá z legislativy, která udává především parametry výrobcům, ale je komerčně využíváno. Samotné legislativní dělení však nevystihuje nabídku všech DZS, které jsou k dispozici. Na trhu se nachází široká škála výrobků, které mají svá specifika a je třeba uvést je samostatně.

1.3.1 Dělení dle legislativy

Dle legislativy EU jsou DZS děleny na hmotnostní skupiny, kategorie a třídy [7].

Hmotnostní skupiny

- skupina 0 - děti s hmotností menší než 10 kg
- skupina 0+ - děti s hmotností menší než 13 kg
- skupina I - děti s hmotností od 9 kg do 18 kg
- skupina II - děti s hmotností od 15 kg do 25 kg
- skupina III - děti s hmotností od 22 kg do 36 kg

Kategorie

- Univerzální – Zádržný systém určený k použití ve všech vozidlech, na většině míst k sezení.
- Omezené – Zádržný systém určený k použití na konkrétních místech ve vozidle, které jsou určeny buď výrobcem autosedačky, nebo vozidla.
- Polo-univerzální – Zádržný systém určený pouze pro vybrané typy vozidel. Seznam těchto vozidel je dán výrobcem DZS.
- Určité vozidlo – Zádržný systém určený a zkonstruovaný pro konkrétní typ vozidel, nebo se jedná o zabudovaný zádržný systém. Systém je možné usadit na všech sedadlech, včetně zavazadlového prostoru, je-li připevněn dle pokynů výrobce.

Třídy

- Integrální – Zádržný systém disponuje vlastními bezpečnostními pásy, dítě je poutáno bez závislosti na použití bezpečnostních pásů vozidla.
- Neintegrální – Zádržný systém nedisponuje vlastními bezpečnostními pásy, dítě je poutáno bezpečnostním pásem vozidla.

1.3.2 Druhy systémů vyskytující se na trhu

Skupiny 0/0+

Obě hmotnostní skupiny jsou určeny pro kojence a jsou instalovány zásadně proti směru jízdy vozidla. Rozdíl je v hmotnostním limitu, který je pro skupinu 0 stanoven na 10 kg (přibližně 12 měsíců) a pro skupinu 0+ na 13 kg (přibližně 18 měsíců). DZS jsou koncipovány ve tvaru skořepiny tak, aby bylo dítě přepravováno v pololeže a poutáno pětibodovým bezpečnostním pásem (viz obr. 2). Je-li dítě přepravováno na předním sedadle, je nezbytné deaktivovat airbag spolujezdce.

Skupina I

Skupina I je určena dětem s hmotností 9-18 kg (přibližně 1-4 roky), které jsou schopny samy sedět. Sedačky jsou vybaveny pětibodovým pásem, nebo bezpečnostním pultem. Ačkoliv je DZS skupiny I možné převážet po i proti směru jízdy (dle výrobce), při převozu po směru hrozí dětem zvýšené riziko poranění krční páteře (viz kapitola 2.1.2).

DZS s bezpečnostním pultem

Tyto systémy spadají do hmotnostní skupiny I, avšak funkce integrovaných pásů je nahrazena bezpečnostním pultem. Tyto systémy umožňují větší pohyblivost v horní polovině těla, jelikož ramena dítěte nejsou nijak fixována jako u systému 5 bodového pásu (viz kapitola 2.4).

Skupiny II a III

Zádržné systémy těchto skupin již nedisponují integrovanými pásy a dítě je poutáno třibodovým pásem vozidla. Právě proto musí být vybaveny úchyty pro jeho správné vedení. Rozdíl mezi skupinou II a III je v hmotnostním limitu. Skupina II je určena dětem s hmotností 15-25 kg (přibližně 4-6 let) a skupina III dětem s hmotností 25-36 kg (přibližně 6-11 let), respektive do výšky 150 cm. Do této skupiny patří i DZS skupiny III bez zádové opěrky (dále jen podsedák).



Obr. 2: Příklady DZS zleva: skupina 0+, skupina I, skupina I s bezpečnostním pultem, skupina II/III [40,41]

Kombinované hmotnostní skupiny

Velmi často jsou využívány nastavitelné autosedačky DZS zahrnující více hmotnostních skupin. Nejčastěji se jedná o skupiny 0/I od narození do 18 kg, nebo I/II/III od 9 kg do 36 kg a II/III od 15 kg do 36 kg. Skupina 0/I je nezřídka vybavena základnou ISOFIX, na níž je možné sedačku otočit, aby při dosažení parametrů daných výrobcem mohlo být dítě přepravováno ve směru jízdy. Stejně tak v případě instalace pomocí bezpečnostního pásu je nutné ověřit výrobcem stanovené hmotnostní limity pro přepravu proti směru jízdy. Skupiny I/II/III jsou naopak opatřeny vložkou s integrovanými bezpečnostními pásy (nebo pultem), která je při dosažení patřičných parametrů dítěte vyjmuta a dítě je dále poutáno bezpečnostním pásem vozidla.

DZS pro více pasažérů - Multimac

Jedná se o 3 nebo 4 DZS (kombinace skupin) spojené v jeden objekt, který je do vozidla instalován namísto zadních sedadel. Celý systém je do automobilu instalován pomocí dvou popruhů, které jsou připojeny k montážním bodům zámků bezpečnostních pásů pod polstrování sedadla. Jednotlivá sedadla jsou vybavena 5 bodovými bezpečnostními pásy, které je možné přizpůsobit dle výšky a váhy dítěte. Protože po instalaci celá konstrukce překrývá i zámků pásů vozidla a není možné je využít, jsou 5 bodové pásy systému určeny až do 12 let (u většiny DZS jsou vyráběny do 18 kg, tedy cca 4-6 let). Multimac však disponuje možností instalovat na vnější sedadla přídatné zámků pro bezpečnostní pás. Sedadla jsou tak využitelná pro dospělé či starší děti. Systém nabízí i sedadlo skupiny 0+, konstrukci je tudíž možné využít již od narození dítěte.

Integrované zádržné systémy

DZS zabudované přímo v interiéru vozidla jsou obvykle určeny pro skupiny II/III a jedná se obvykle o podsedačky. Dítě je v takovém případě poutáno 3bodovým pásem vozidla. Integrované podsedačky však nebývají vybaveny úchytem pro správné vedení pásu a využití je tak omezené pro určitou výškovou skupinu. Na trhu se vyskytují i vozidla s integrovanými DZS, které jsou určeny pro skupinu I-III. Takové systémy jsou vybaveny vložkou s 5 bodovým pásem, nebo bezpečnostním pultem a jsou určeny dětem od 2 let. Po odstranění přídatných potřeb, plní sedadlo funkci podsedačku.

2 Rizika a chybná manipulace s DZS

V průběhu života jsou děti přepravovány v různých zádržných systémech. Každý z těchto systémů má svá specifika a liší se jak ve způsobu instalace do vozidla, tak v upoutání pasažéra. Ačkoliv existuje více způsobů instalace jako například systém ISOFIX, nejčastěji je používán tříbodový bezpečnostní pás vozidla. Poutání pasažéra se liší podle kategorie DZS i podle výrobce. Dítě může být zabezpečeno pomocí pětibodového pásu, pultu, nebo tříbodového pásu vozidla, přičemž každý z těchto způsobů představuje jisté bezpečnostní riziko. Zásadní rozdíl mezi DZS je ale především v tom, je-li bezpečnostní pás využit pouze k instalaci zádržného systému (integrální DZS), nebo zároveň k upoutání dítěte (neintegrální DZS). Integrální DZS jsou vzhledem k manipulaci s více prvky, mnohem náchylnější k chybné instalaci. Oproti tomu problematika neintegrálních DZS je spjata spíše s poutáním dítěte do DZS a je shrnuta v kapitole 2.3.

2.1 Rizika instalace integrálních DZS

Mezi integrální zádržné systémy patří skupiny 0,0+ a I. Pokud jsou tyto autosedačky poutány pásy automobilu, je z hlediska bezpečnosti zásadní, aby pásy vedly skrze patřičné kotevní úchyty. Kotevní úchyty jsou u různých typů autosedaček velmi individuální. Všechny však musejí být schváleny dle předpisu EHK č.14 a při splnění metodiky výrobce zajistit stabilní instalaci [16].

Pro bezpečnostní funkci je velmi podstatné i dostatečné utažení pásu. Dle doporučení nesmí být po připoutání možné s DZS téměř hýbat [27]. Přestože předepínače bezpečnostních pásů v případě potřeby pás zajistí, pokud je DZS instalován volně, během dopravní nehody bude jeho dráha delší. To by mohlo při zpětném pohybu vést k silnějšímu nárazu DZS do sedadla vozidla a tím vyššímu zatížení pasažéra [42]. Nutno také podotknout, že zadní sedadla bývají nezdídkou vybavena pouze pevnými pásy bez předepínače a omezovače síly, které by vliv případného nedotažení systému zmírnily.

V některých případech volné pásy umožňují rotaci systému, který se tak stává nestabilní. Volným pohybem systému vzniká riziko kontaktu dítěte s interiérem vozidla, nebo DZS s ostatními pasažéry. U některých systémů vedou bezpečnostní pásy skrz kotevní úchyty, které jsou součástí základny, a skořepina zádržného systému pás uzamkne v požadované poloze. Není-li pás před uzamčením dotažen, ani tento systém nezaručí, že DZS bude v automobilu dostatečně stabilní.

Problémem bezpečnostních pásů je také náchylnost k překroucení. Je běžné, že bezpečnostní pás vede přes DZS s jedním či více přehnutími. Při dopravní nehodě by však překroucení pásu

vnášelo do soustavy nežádoucí moment síly, který by negativně ovlivňoval pohyb systému po nárazu (především v kombinaci s nedotaženými pásy). Dále by mohlo dojít k zadrhnutí pásu o část autosedačky. U některých vozidel také hrozí, že přes kotevní bod DZS povede zámek bezpečnostního pásu, který by byl při nehodě v takovém případě namáhán na ohyb. V takovém případě by mohlo dojít k destrukci nebo rozpojení.

2.1.1 Instalace protisměrných DZS

Instalace proti směru jízdy je nejbezpečnějším způsobem přepravy kojenců a batolat, nicméně zahrnuje specifická rizika. Tento směr instalace je spjatý především s DZS skupiny 0/0+, ale rovněž je využíván pro některé systémy skupiny I.

2.1.1.1 Skupina 0,0+

Nejzávažnější chybou v přepravě kojenců je chybná instalace DZS čelem po směru jízdy. Pětibodový pás automobilu při nárazu zadrží trup dítěte, ale jeho hlava pokračuje ve směru jízdy. Vzhledem k tělesným proporcím kojence¹, není možné, aby ji krční páteř při nárazu udržela, a je pravděpodobné, že i při důkladném připoutání, jak DZS tak i dítěte, dojde při nárazu nebo prudkém brzdění k natažení nebo přerušení míchy [1]. Pokud dítě v automobilu cestuje čelem proti směru jízdy, je v těchto případech podepřeno a energie nárazu je ve velké míře absorbována konstrukcí autosedačky. Riziko poranění krční páteře je tak značně sníženo. Právě z toho důvodu je ze zákona dána povinnost instalovat DZS skupiny 0,0+ pouze proti směru jízdy.

Protisměrné zádržné systémy jsou více náchylné na chybné vedení bezpečnostního pásu. Pás vozidla je nutné vést tak, aby jeho bederní část byla tažena přes nohy dítěte a diagonální část přes skořepinu, přičemž obě musí být vedeny přes kotevní úchyty DZS. V případě, že by skořepina byla poutána bederní částí pásu, nebyl by systém instalován stabilně. Již při malém nárazu by byla umožněna rotace DZS [27].

Autosedačky pro kojence jsou také většinou vybaveny madlem, které slouží pro manipulaci se zádržným systémem, ale plní i bezpečnostní funkci. Ačkoliv je možné polohu madla nastavit, při samotném převozu dítěte je důležité, aby zůstalo v cestovní poloze, tj. nesklopené. Při nárazu se DZS setrvačností pohybuje ve směru jízdy, ovšem následně je vrženo zpět. Je-li v takovém případě madlo sklopené, hrozí riziko nárazu dítěte do sedadla.

¹ Hlava novorozence tvoří cca 25 % celkové tělesné hmotnosti. U dospělého se jedná zhruba o 12,5 %. Rozdíl ovlivňuje výslednou polohu těžiště, které je u kojence relativně vysoko a zvyšuje riziko poranění.

2.1.1.2 Skupina I a kombinované DZS

Zákonná povinnost přepravovat DZS proti směru jízdy je stanovena pouze skupinám 0 a 0+. Stále častěji se však na trhu vyskytují autosedačky skupiny I, nebo kombinované 0-I, které rovněž umožňují tento způsob instalace. Zadržné systémy obvykle nedisponují madlem a zpětnému nárazu do sedadla je třeba zabránit jinou součástí konstrukce, například pomocí základny se systémem ISOFIX. U některých DZS je pak tento problém řešen upevněním top tether popruhů ke kolejnici předních sedadel, nebo nastavením sklonu skořepiny do konkrétní pozice dle pokynů výrobce. V takovém případě je nárazu zabráněno zapřením konstrukce.

Konstrukce a způsoby poutání těchto DZS jsou velmi odlišné, ale princip vedení pásu zůstává stejný jako u skupiny 0 s madlem. Bederní část pásu je vedena přes zachytné body v oblasti nohou a diagonální přes skořepinu.

2.1.1.3 Bezpečnostní deaktivace airbagu

Pokud je dítě převáženo na sedadle, které je vybaveno airbagem čelem proti směru jízdy, je z hlediska bezpečnosti velmi podstatné, aby byl airbag deaktivován. Naplnění airbagů probíhá velice rychle, airbag spolujezdce s objemem 70-150 l je naplněn během 40-50 ms [23]. Zůstane-li při přepravě čelem proti směru jízdy aktivní, dojde k prudkému nárazu do skořepiny DZS a způsobí až smrtelná poranění hlavy a krční páteře dítěte [1]. V takovýchto případech je zdraví dítěte ohroženo i při nízkých rychlostech, jelikož airbag je aktivní již při 30 km/h. Zákon o silničním provozu jasně udává, že *„na sedadle, které je vybaveno airbagem, který nebyl uveden mimo činnost, nebo pokud byl uveden mimo činnost automaticky, nesmí být dítě v dětské autosedačce přepravováno čelem proti směru jízdy.“* [5]

2.1.2 Vliv směru instalace

Instalaci proti směru jízdy je doporučeno aplikovat i po odstavení DZS skupiny 0+. Dle studie provedené ANEC je vhodné tento způsob převozu uplatnit na děti až do 4 let [31]. I přestože na trhu (včetně ČR) jsou dostupné DZS umožňující tento způsob přepravy, jsou stále jen zřídka využívány. Nejen v ČR je obvyklé začít přepravovat dítě po směru jízdy, jakmile již není fyzicky možné jej usadit do DZS skupiny 0/0+. Tento přelom nastává zhruba kolem 12 měsíců stáří dítěte. Je však prokázáno, že u dětí v rozmezí 12-23 měsíců je riziko poranění při přepravě čelem po směru jízdy 5,23krát vyšší než při instalaci proti směru jízdy [4]. Porovnání působení nárazu protisměrného DZS a DZS orientovaného po směru jízdy je zobrazeno na obrázku 3.



Obr. 3: Ohyb dětské páteře při nárazu v protisměrném DZS skupiny I (vlevo) a při přepravě po směru jízdy (vpravo) [43]

Největším rizikem smrtelného poranění je stejně jako u kojenců, poranění hlavy a krční páteře. U figuríny simulující dítě s váhou 18 kg, EEVC² uvádí limitní sílu, kterou je schopna unést jeho krční páteř bez vážných poranění na 1350 N. U DZS poutaných čelem po směru jízdy může však v případě nehody na krční páteř dítěte působit síla více než 2500 N. Hodnocení zátěže krční páteře však není součástí testování v rámci homologace a nebývá ani běžnou součástí vyhodnocení testů nezávislých organizací. Ve výsledcích nezávislého testování tak může DZS uspět v oblasti bezpečnosti s nejlepším hodnocením, ačkoliv by při dopravní nehodě mohlo dítě utrpět až smrtelná zranění [6].

Míra ochrany dítěte v protisměrném DZS je závislá na úhlu sklopení skořepiny. Je-li úhel větší než 45° schopnost systému zadržet přepravovaného jedince se snižuje, jelikož síly působící na dítě ve směru nárazu jsou větší než síla, kterou působí skořepina na bedra dítěte. Proto DZS skupiny I instalované protisměrně poskytují největší míru ochrany ve více svislých polohách. Kojence je však vzhledem k jejich tělesným specifikům nutné přepravovat ve vodorovných polohách. Je tedy nutné zvolit míru sklopení tak, aby bylo možné zajistit dostatečnou ochranu a zároveň aby bylo dítě přepravováno co nejbližší ideální vodorovné poloze. [1]

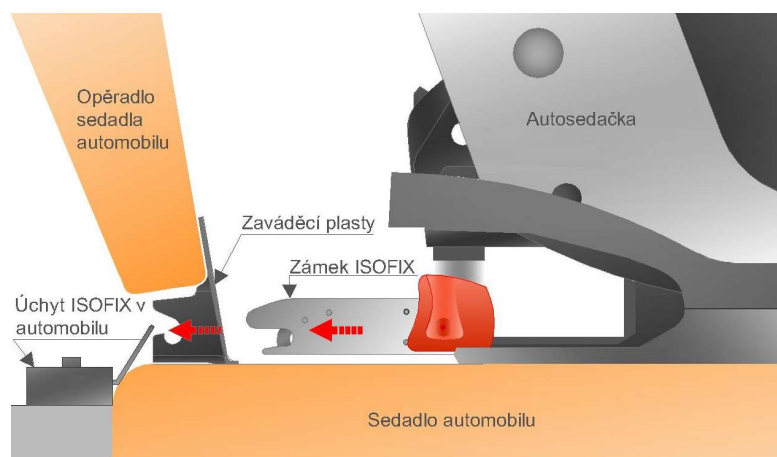
² European Enhanced Vehicle-Safety Committee – Nezávislá organizace zabývající se bezpečností vozidel. Sdružuje experty do pracovních skupin zaměřených na konkrétní problematiku jako např. WG 12 – biomechanika a WG 18 – dětská bezpečnost.

2.2 ISOFIX

Instalace pomocí bezpečnostního pásu poskytuje velký prostor pro chybnou manipulaci, což bylo podnětem pro konstrukci ISOFIX. Tento systém umožňuje upevnění DZS bez použití pásu, a tím eliminuje možnost chybné instalace.

Systém ISOFIX je název pro standardizované kotevní úchyty DZS. V roce 1999 byla mezinárodní organizací pro normalizaci vydána první část normy ISO 13216, která stanoví rozměry a obecné i statické požadavky na pevnost tuhých úchytů pro ukotvení DZS ve vozidle. Druhá část této normy je zaměřena na polohu a horní kotvící bod (Top Tether), který je užíván jako prostředek proti rotaci okolo vlastní osy. ISOFIX „je založen na dvou kotevních úchytech ve vozidle a dvou odpovídajících úchytech na dětském zádržném systému ve spojení s prostředkem omezujícím rotaci dětského zádržného systému kolem vlastní osy“ [7]. Kotevní úchyty ve vozidle jsou pevnou součástí karoserie umístěné za polstrováním sedadel. Od roku 2006 musí být každý nově vyrobený vůz těmito úchyty vybaven. U starších vozů je možné, aby byly úchyty dodatečně přimontovány, takové opatření však není ze zákona povinné.

Cílem tohoto systému je zabránit chybám, které vznikají při instalaci DZS pomocí bezpečnostních pásů. Instalace ISOFIX spočívá v zapadnutí háků na dětské autosedačce do kotevních úchytů v automobilu (viz obr. 4). Sedadla i bezpečnostní pásy se v různých vozidlech liší, což přispívá k vyšší pravděpodobnosti, že DZS nebude nainstalován zcela pevně a stabilně. ISOFIX je navržen tak, aby byla instalace rychlá, snadná a DZS byl v automobilu stabilně fixován. Tím, že jsou kotevní úchyty spjaty s nosnou konstrukcí vozidla, má při kolizi DZS lepší dynamické vlastnosti. Velkou nevýhodou je však jeho vysoká pořizovací cena a absence kotevních úchytů u starších vozidel. Z toho důvodu je v ČR stále nejvíce využívaným způsobem instalace bezpečnostní pás vozidla.



Obr. 4: Schéma systému ISOFIX

2.3 Poutání dítěte do DZS

Další problémovou oblastí je kompatibilita DZS s tělesnými proporcemi dítěte. Je ze zákona dáno, že *“ dítě musí být umístěno v dětské autosedačce, která odpovídá jeho hmotnosti a tělesným rozměrům ”* [5]. Je-li dítě přepravováno v zádržném systému, který neodpovídá jeho proporcím, dopouští se odpovědná osoba nejen přestupku, ale především ohrožuje zdraví dítěte. DZS je vhodný jen tehdy, nepřesahuje-li hlava dítěte opěrku zádržného systému a jsou-li bezpečnostní pásy dimenzovány na váhu odpovídající konkrétnímu pasažérovi. Riziko také představuje předčasně pořízený DZS vyšší kategorie. V těchto případech vedou pásy nevhodně přes tělo dítěte, nebo je při maximálním dotažení prostor mezi pásy a tělem nadměrný. Pásy tak mohou být při nárazu příčinou poranění. K těmto následkům může dojít i v případě chybné manipulace.

2.3.1 Integrovaní DZS

U systémů s integrovanými pětibodovými pásy je jedním z problémů nastavení ramenních popruhů. V případě korektního připoutání vedou pásy přes ramena kolmo. U dětí, jimž DZS proporčně neodpovídá, jsou ramenní popruhy umístěny příliš vysoko, nebo naopak začínají pod rameny. Vedou-li pásy příliš nízko, bude při nárazu vyvíjen velký tlak na klíční kost a ramenní svalstvo, které u dítěte není dostatečně vyvinuté. Pokud jsou navíc pásy správně utažené, bude tento tlak vyvíjen při každém upoutání. Jsou-li naopak pásy nastaveny příliš vysoko, je dítě poutáno volně a při nehodě je umožněn jeho pohyb ve svislé rovině. Tento pohyb je opět rizikem vážnějších poranění v oblasti ramen. Při bočním nárazu pak mohou pásy způsobit poranění krku.

V případě přepravy dítěte v příliš velkém DZS není možné dosáhnout doporučené míry dotažení bezpečnostních pásů. Během dopravní nehody se bezpečnostní pásy stanou překážkou, do níž dítě narazí a dochází k vyššímu zatížení jednotlivých oblastí těla. Tento problém se však nevyskytuje jen u nekompatibilních DZS. Je velmi časté, že děti jsou poutány do sedačky úmyslně volně. Rodiče tak často jednájí kvůli komfortu dítěte. Pro bezpečnostní funkci pásů by měla být vůle mezi pásem a tělem pasažéra minimální. Doporučen je prostor maximálně pro dlaň [27], někdy je však uváděn prostor maximálně pro články prstů [37, 38]. Pro eliminaci tohoto problému jsou některé DZS vybaveny indikátorem správného připoutání, které barevně či zvukově signalizují, zda je pás dostatečně dotažený. V současné době jím v ČR disponuje jen malé množství DZS.

Problémem systému bezpečnostních pásů je mimo jiné náchylnost k překroucení. Tento problém se týká nejen pásů vozidla, ale i integrovaných pásů DZS. Je-li dítě připoutáno překroucenými pásy, představují v případě nehody určité bezpečnostní riziko. V případě, že

pás vede přes tělo celou svou plochou, zatížení je na ní rovnoměrně rozloženo. Pokud však dojde k překroucení, bude tlak soustředěn v tomto místě. Dítě je tak vystaveno mnohem většímu riziku poranění.

2.3.2 Neintegrální DZS

Nejvíce problematickou oblastí DZS, v nichž je dítě poutáno bezpečnostním pásem automobilu (skupiny II a III), je špatné vedení pásu přes tělo dítěte. Bezpečnostní pás musí vést přes klíční kost a oblast pánve, aby bylo zatížení při nehodě rozloženo do kosterního skeletu. Je-li dítě vůči DZS příliš malé, pás povede v oblasti krku a dutiny břišní. Tento problém rovněž vzniká v důsledku uvolnění těla dítěte během přepravy (např. při spánku). Při dopravní nehodě dochází působením tlaku pásu k poranění měkkých tkání a orgánů. V nejhorším případě by mohlo být následkem i uškrcení dítěte. Rovněž by mohlo dojít k vyklouznutí dítěte a opuštění DZS. Stejná rizika hrozí i v případě, že je DZS příliš brzy odebrán a dítě je dále poutáno pouze bezpečnostním pásem.

Vedení pásu přes krk, způsobené nekompatibilitou, chybným nastavením nebo absencí DZS způsobuje během přepravy diskomfort. Děti v takových případech řeší situaci vedením bezpečnostního pásu v podpaží. V takovém případě však dochází k transformaci třibodového bezpečnostního pásu na obdobu dvoubodového systému. Veškeré zatížení je při nárazu přeneseno do oblasti pánve a dutiny břišní, což způsobí zařiznutí pásu a vážná poranění, jak měkkých tkání a orgánů tak kosterního skeletu. Nezajištěný trup bude vržen vpřed, stejně jako hlava, která narazí do končetin, případně interiéru.

Problém chybně vedených bezpečnostních pásů významně souvisí s používáním podsedáků. Díky zvýšenému sedadlu by mělo, stejně jako u autosedačky, dojít ke správnému vedení pásu přes oblast pánve. Podsedák má však tento efekt pouze za předpokladu, že je vybaven úchyty pro bezpečnostní pás, které u velkého množství těchto výrobků chybí. V důsledku absence úchytů není DZS v případě nárazu zajištěn a setrvačným pohybem dochází k jeho posunutí vůči tělu pasažéra. Tím je dítě vychýleno z bezpečné pozice. U zvýšeného sedadla rovněž není zajištěno správné vedení pásu přes klíční kost, který je často umístěn v těsné blízkosti krku. Ačkoliv podsedák plní literu zákona, při dopravní nehodě není jeho funkce srovnatelná s plnohodnotným DZS skupiny III. Neposkytuje žádnou ochranu proti bočnímu nárazu ani oporu páteře. Ta je důležitá především během spánku, kdy se dítě často dostává do nevhodné pozice.

Špatné vedení pásu však není způsobováno pouze nevhodnou autosedačkou, nebo snahou o zvýšení komfortu při jízdě. Výjimkou nejsou ani případy, v nichž DZS zcela odpovídá proporcím pasažéra, ale bezpečnostní pás je vůči tělu přesto veden chybně. K takové situaci

dochází, pokud bezpečnostní pásy nevedou přes bederní kotevní úchyty, ale nad nimi. Tato chyba obvykle vzniká nejčastěji vlivem nepozornosti u dětí, které se do DZS poutají bez dozoru rodičů. Stejně tak se vyskytuje i překroucení pásu, které má u starších pasažérů stejné následky, jaké jsou uvedeny v předchozí kapitole.

Ačkoliv je dostatečné dotažení pásů vnímáno spíše jako problematika integrálních DZS, volné připoutání není výjimkou ani u vyšších kategorií. Bezpečnostní pás je sám o sobě uzpůsoben tak, aby přilnul k tělu pasažéra, u dětských sedaček je však nejprve protažen kotevními úchyty. Právě tyto úchyty umožňují, aby pás zůstal nedotažený nebo byl záměrně povolen³. Viníkem je v těchto případech často samo dítě, které má tendenci s bezpečnostním pásem manipulovat pro dosažení vyššího komfortu. Následky jsou v těchto případech stejné jako u integrálních systémů, při dopravní nehodě se pás stane překážkou, do níž dítě narazí. U neintegrálních DZS hrozí vyšší pravděpodobnost zatížení hrudníku a především měkkých tkání v oblasti břicha. Riziko poranění v tomto případě závisí na míře povolení bezpečnostního pásu.

U neintegrálních DZS je také jedním z problémů fakt, že systémy instalované bezpečnostním pásem, nejsou ve vozidle ničím fixovány. Tím, že pás zajišťuje nejen pasažéra, ale i autosedačku, může být dítě během dopravní nehody zatíženo samotným zádržným systémem, což by ve výše uvedených případech mohlo mít vliv na závažnost následků (v závislosti na hmotnosti DZS).

³ Stejný problém může způsobit i spona bezpečnostního pásu.

2.4 DZS s bezpečnostním pultem

DZS s bezpečnostním pultem jsou speciální kategorií systémů skupiny I. Ačkoliv zádržný systém není vybaven integrovanými pásy, jedná se o integrální zádržné systémy. Dítě je poutáno pomocí bezpečnostního pultu, který je fixován bezpečnostním pásem vozidla. Způsoby chybné manipulace jsou u těchto DZS do určité míry omezené. Autosedačky jsou instalovány pomocí systému isofix a vliv případného překroucení pásu je minimální. Jedním z potenciálních problémů je však chybné vedení pásu. Pro správné upevnění pultu je nutné, aby bederní i diagonální část pásu byla tažena vedením v pultu (viz obr. 5). Případné umístění diagonální části přes tělo dítěte (viz obr. 6) by mu vzhledem k možnostem vedení pravděpodobně způsobilo poranění v oblasti krku a žeber.



Obr. 5: DZS s bezpečnostním pultem Cybex Juno 2- fix (zdroj: fotodokumentace laboratoře ŠKODA AUTO)



Obr. 6: Příklad chybného vedení diagonální části bezpečnostního pásu (zdroj: fotodokumentace laboratoře ŠKODA AUTO)

Potenciální problém by mohl nastat rovněž v případě nedotažení/povolení bezpečnostního pásu jelikož pult, který slouží jako zádržný systém, by nebyl dostatečně zajištěn. Ovšem riziko těchto zádržných systémů tkví především v samotné konstrukci. Oproti DZS s integrovanými pásy umožňuje pult více pohybu v horní polovině těla, jelikož ramena dítěte nejsou fixována jako u 5 bodového pásu. Vyšší pohyblivost v DZS však může během kolize způsobit náraz hlavy do pultu, nebo vypadnutí dítěte ze zádržného systému [9], a to především při čelním nárazu (viz obr.7 a 8). Při tomto mechanismu dopravní nehody dojde po nárazu přední části vozidla k vymrštění zadní nápravy vzhůru a vpřed. Při zpětném rázu je tělo dítěte vrženo vzhůru, a jelikož v tomto směru není zajištěno, dojde následkem pohybu k opuštění zádržného systému (případně k následnému úderu hlavy o interiér vozidla). Během testování za účelem získání homologace či nezávislého testování DZS, je zkušební vzorek připevněn na kolejkách,

k problematickému pohybu nedochází a při testování čelního nárazu zůstane figurína v zádržném systému.



Obr. 7: Vypadnutí figuríny Q1 a Q3 z DZS během nárazové čelní zkoušky [9]



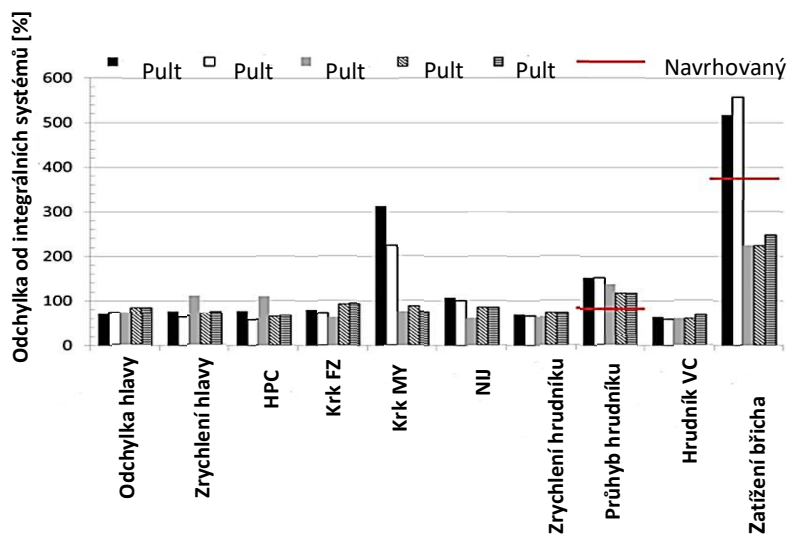
Obr. 8: Porovnání následků čelního nárazu mezi integrálním DZS a DZS s pultem [9]

V rámci studie UN ECE GRSP⁴ [9], bylo provedeno srovnání DZS s 5 bodovými bezpečnostními pásy a DZS s bezpečnostními pulty. Podnětem ke vzniku této studie bylo zejména opakované vysoké hodnocení DZS s pulty ve spotřebitelských testech a silné veřejné mínění o těchto zádržných systémech v Evropě. K testování v rámci studie byly použity reálné vozy, které získaly nejlepší hodnocení EuroNCAP (viz kapitola 4.2.), a DZS s pultem, jež získaly velmi dobré hodnocení ve spotřebitelském testu Stiftung Warentest. Při testování v rámci studie došlo opakovaně k vyklouznutí figuríny ze zádržného systému a následnému nárazu hlavy o interiér vozidla.

Dalším rizikem bezpečnostních pultů je zvýšená náchylnost k poranění v oblasti břicha a hrudníku. 5 bodové bezpečnostní pásy a bezpečnostní pulty mají velmi odlišnou interakci s tělem dítěte. Bezpečnostní pásy jsou flexibilní, přizpůsobí se tvaru těla a jsou vedeny přes klíční kost, hrudník a pánev. Lze tedy předpokládat, že zatížení bude přenášeno především do kosterního skeletu a v oblastech měkkých tkání bude omezené. Bezpečnostní pulty se na tvar těla dítěte neadaptují, nepodepírají ramena, a zatížení je tak soustředěno zejména v oblasti břicha a hrudníku. Limit tlaku působícího na břišní dutinu figuríny prezentující 3leté dítě byl stanoven na 1,13 baru, ale během testování DZS s pultem byl naměřen tlak až 2,7 baru. K přesažení nejvyšších přípustných hodnot dochází i při stlačení hrudníku, kdy byly na figuríně Q3 naměřeny až dvojnásobné hodnoty. V rámci výše uvedené studie byly také analyzovány následky reálných dopravních nehod, z jejichž závěrů (viz obr. 16) je rovněž patrné, že u DZS

⁴ Pracovní skupina pro pasivní bezpečnost – pomocný orgán Světového fóra pro harmonizaci předpisů o vozidlech (WP.29), který připravuje regulační návrhy týkající se pasivní bezpečnosti.

s pultem dohází k vážnějším poraněním břicha a hrudníku, než u 5 bodových bezpečnostních pásů [6].



Obr. 9: Porovnání výsledků testování DZS s bezpečnostním pultem a DZS s integrovanými bezpečnostními pásy [6]

2.5 Následky dopravních nehod u dětí

Poranění způsobená v důsledku dopravní nehody mohou mít u dětí mnohem závažnější následky než u dospělých jedinců. Děti jsou vzhledem k anatomickým a fyziologickým rozdílům mnohem náchylnější k poraněním, především v oblasti hlavy a krční páteře.

V oblasti hlavy se dle organizace NHTSA u dětí nejčastěji vyskytuje zhmoždění, či lacerace mozku (natržení mozkové tkáně), dále pak otřesy (především u dětí mladších jednoho roku) a zlomeniny baze lební (nejčastěji u dětí starších jednoho roku). V důsledku prudké decelerace může rovněž dojít k poranění žilních splavů, které vede k závažnému nitrolebnímu krvácení. Dětská lebka je v porovnání s dospělým jedincem pružnější a více deformovatelná proto je riziko vážných poranění mnohem vyšší i bez indikace zlomenin. Dojde-li v důsledku traumatických poranění ke zničení mozkové tkáně, dochází k následným neuropsychologickým problémům, které se mohou projevit jako těžká pohybová a intelektová postižení (např. zpožděný vývoj, snížená inteligence, méně koordinovaná pohyblivost). U dětí se neurologické deficity mohou projevit až o několik let později, kdy dochází k rozvoji dané části mozku. [25].

Jednou z nejčastějších příčin těžkých a smrtelných zranění dětí při dopravních nehodách je zatížení krční páteře. Je to dáno tím, že děti mají kromě nedovyvinutých krčních obratlů také slabé svalstvo, vazy a v poměru k tělu velkou hlavu. Obratle jsou z velké části spojeny chrupavkou a zcela osifikují až mezi 3-6 rokem. Proto pro míchu, která je mezi nimi uložena, nejsou dostatečnou ochranou jako u dospělého člověka. V důsledku zatížení axiálními silami

nebo ohybovými momenty tak snadno dochází ke zhmoždění či přerušení míchy. Následkem těchto poranění dochází k ochrnutí, v nehorším případě k úmrtí. U dětí v rozmezí 2-7 let je nejčastější příčinou poranění krční páteře právě dopravní nehoda. [25, 31]

Nedovyvinutí svalstva a kostry se projevuje i při vzniku poranění v dalších oblastech těla. Svalová hmota slouží dospělému člověku mimo jiné jako ochranná vrstva. Tím, že je tato vrstva u dětí minimální, je energie při nárazu více přenášena do kosterního skeletu a orgánů. Kosterní systém dítěte však není zcela osifikovaný, díky čemuž jsou kosti pružnější a náchylné k deformaci. Rychlý růst kostí především v kojeneckém věku a dospívání může způsobit, že deformace budou mít z dlouhodobého hlediska vážnější následky. Především epifyzální zlomeniny (zlomeniny konců dlouhých kostí), které mohou narušit samotný růst kosti [2].

Poranění hrudníku a břicha jsou nejčastěji způsobena samotným zádržným systémem (v případě bezpečnostního pásu tzv. Seat Belt Syndrome) [32]. V oblasti hrudníku mají následky dopravních nehod obvykle charakter poranění tupým předmětem. Stlačení a tupý náraz má pravidelně za následek zlomeniny žeber, klíčních kostí, hematomy stěn hrudního koše a s ním spojené otoky plic. Zlomeniny žeber mohou následně způsobovat poranění plic, cév, sleziny, nebo jater. V důsledku tupého nárazu také dochází k nepřímému poranění srdce, přičemž může dojít k zástavě nebo zhmoždění srdce. Dále pak také k fibrilaci komor, natržení stěny srdeční nebo chlopně, což může vést k selhání oběhu a šoku [1,2].

V oblasti dutiny břišní se v důsledku dopravní nehody nejčastěji vyskytuje ruptura sleziny a jater. V obou případech se jedná o traumatické porušení integrity orgánu, které je často spojené s dalšími zraněními. K ruptuře sleziny dochází při nárazu zezadu v levé části hrudníku. Trhliny mohou způsobit vznik hematomu, který vyvolává nekrózu pouzdra sleziny s následným roztržením. K poranění jater v silničním provozu nejčastěji dochází při nárazu na pravou dolní oblast žeber. Dopravní nehody jsou rovněž příčinou poranění ledvin, které se projevují vznikem vnitřních hematomů, trhlinami pouzdra a tkáně nebo rupturami cév. Pouřazové hojení tohoto orgánu může být u dětí komplikované a následně vést k problémům s imunitním systémem. Z hlediska trvalých následků je rovněž nebezpečné poranění slinivky břišní, kde zajizvení tkáně během hojení může vést ke vzniku chronické pankreatitidy. Následkem poranění může dojít až k hypofunkci orgánu, v jejímž důsledku vzniká diabetes I. typu. [1,2,24,25]

K poraněním v oblasti břicha dochází často proniknutím bederního popruhu pásu. To má obvykle za následek nejen poškození měkkých tkání, vnitřních orgánů a masivní krvácení, ale může rovněž způsobit poranění páteře. Především u dětí s nižší hmotností, které jsou poutány dvoubodovým pásem (podobný efekt má umístění diagonální části pásu do podpaží), dochází ke kompresivním zlomeninám a hyperflexi páteře. [1,32]

3 Průzkum četnosti výskytu chybné manipulace

V rámci diplomové práce byl ve spolupráci s oddělení BESIP ministerstva dopravy uskutečněn průzkum v oblasti výskytu chybné manipulace s DZS. Cílem bylo především získání informací o četnosti předpokládaných chyb uvedených v kapitole 2 a četnosti používání systému ISOFIX a DZS s bezpečnostním pultem. Tento průzkum byl proveden již v průběhu zpracování bakalářské práce [19] v rozsahu 60 respondentů. Během magisterského studia byl počet respondentů rozšířen a rovněž byla upravena metodika průzkumu.

3.1 Metodika průzkumu

Průzkum byl proveden v rámci veřejných akcí v Pardubicích, Praze, Liberci, Plzni a Hradci Králové. Účastníci, kteří byli v doprovodu dětí, byli tázáni, zda jsou ochotni v rámci průzkumu demonstrovat, jakým způsobem jsou jejich děti poutány ve vozidle. K tomuto účelu bylo oddělením BESIP poskytnuto několik DZS (Chicco skupiny 0-I, I, I-III a podsedák viz obr. 10 a 11) a vůz ŠKODA Octavia II. Dospělý byl po souhlasu s účastí vyzván, aby z dostupných zádržných systémů vybral ten, který nejlépe odpovídá autosedačce, v níž je dítě za normálních okolností přepravováno a dítě usadil do vozidla způsobem odpovídajícím běžné situaci. Následně byla provedena kontrola instalace a připoutání dítěte a výsledky byly zapsány do záznamového .xls souboru (viz příloha 1). Zaznamenán byl dále věk a tělesné parametry (váha, výška), pro získání širších souvislostí. Tímto způsobem bylo v průběhu května a června roku 2017 získáno 200 respondentů. Respondenti byli vybíráni tak, aby byl celkový vzorek vyvážený, proto každá skupina obsahuje 50 dětí. Získaná data byla rozdělena do čtyř skupin v závislosti na způsobu poutání samotného systému a dítěte:

- Skupina 0 - Děti usazené v DZS skupiny 0 nebo skupiny 0+
- Skupina I - Děti usazené v DZS skupiny I s integrovanými bezpečnostními pásy
- Skupina II - Děti usazené v plnohodnotném DZS váhové skupiny I-III/ II-III poutané bezpečnostním pásem vozidla
- Skupina III - Děti usazené na podsedáku poutané bezpečnostním pásem vozidla



Obr. 10: DZS skupiny 0-I (vlevo) a DZS skupiny I (vpravo) použité v rámci průzkumu [46]

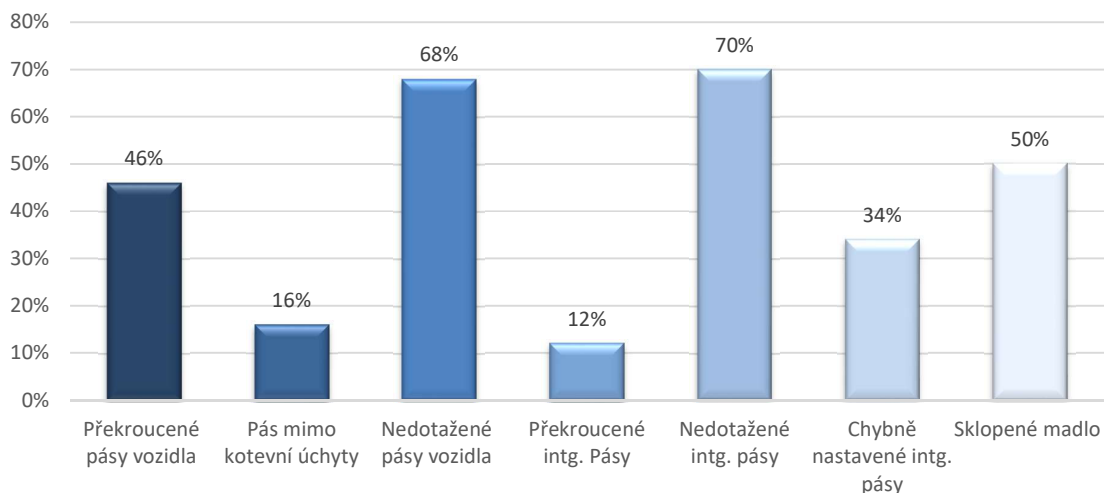


Obr. 11: DZS skupiny I-III (vlevo) a podsedák (vpravo) použité v rámci průzkumu [46]

3.1.1 Skupina 0

Ve skupině 0 byly zkoumány děti ve věkovém rozmezí 3 týdny až 13 měsíců. S ohledem na stáří dětí spadajících do této skupiny byly zkoumané atributy pozorovány na vlastních DZS respondentů (DZS skupiny 0/0+ často slouží k přenosu dítěte mimo vozidlo).

V této kategorii byly zaznamenány pouze 4 případy bezchybné instalace DZS a zároveň správného upoutání dítěte. U 80 % dětí byla zaznamenána více než jedna chyba. V 70 % všech případů byla pozorována chyba nejen v instalaci autosedačky, ale rovněž v upoutání dítěte. Nejčastějším problémem u těchto DZS byly nedotažené integrované pásy, nedotažené pásy vozidla a sklopené madlo DZS (viz obr. 12). Celkem 35 dětí (70%) bylo připoutáno tak, že mezi pásy a tělem dítěte byl prostor více než na dlaň. Z toho v 31 případech byly zároveň nedotažené pásy vozidla a DZS nebyl dostatečně stabilní. Celkově byly nedotažené pásy vozidla pozorované v 34 případech (68 %). Přesně v polovině případů bylo u zádržného systému sklopené madlo (nebylo uvedeno do cestovní polohy).



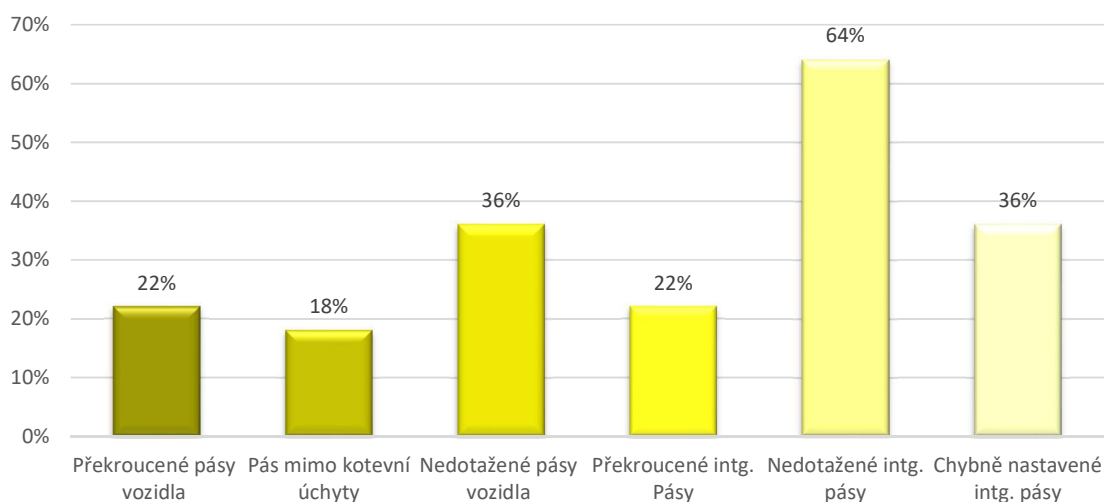
Obr. 12: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny 0

Dále byly častým problémem překroucené pásy vozidla (46 % případů), přičemž se vždy jednalo o jednorázové nebo dvoufázové přehnutí pásu. Jako nejméně častý problém v oblasti instalace bylo vyhodnoceno vedení pásu přes kotevní úchyty DZS. Tato chyba instalace byla zaznamenána v 8 případech (16 %). Nejméně častým problémem v poutání kojence byly překroucené integrované pásy, které byly pozorovány v 6 případech (12 %). Častěji se však vyskytovalo chybné výškové nastavení integrovaných pásů. U 17 dětí (34 %) byly ramenní popruhy vedeny vysoko nebo naopak příliš nízko. V každém z těchto případů byly pásy rovněž nedotažené. Tato souvislost poukazuje na fakt, že jedním z důvodů nedotažení pásů by mohlo být nastavení neodpovídající tělesným atributům dítěte. Dále byly častým argumentem pro nedotažení pásů drobné tělesné parametry, proto byla zkoumána jejich souvislost. Vzorek dětí, u nichž byly pozorovány nedotažené pásy, vykazoval v průměru srovnatelnou výšku i váhu jako děti, u nichž byly pásy dotažené dle doporučení. Z toho důvodu byla tato souvislost vyloučena.

Protože k průzkumu u této kategorie byly použity DZS respondentů, mohla být posuzována kompatibilita zádržného systému s tělesnými parametry dítěte. Žádný DZS však nebyl vyhodnocen jako nevhodný, jelikož u žádného dítěte hlava nepřesahovala skořepinu. Rovněž žádný z těchto systémů nebyl instalován po směru jízdy.

3.1.2 Skupina I

Vzorek skupiny I zahrnoval děti ve věkovém rozmezí 9 měsíců až 5 let. Děti byly v rámci průzkumu usazovány do DZS skupiny 0-I a I poskytnutých oddělením BESIP. Z důvodu manipulace se zapůjčeným systémem nebyla posuzována kompatibilita DZS s tělesnými proporcemi dítěte.



Obr. 13: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny I

V této kategorii bylo zaznamenáno 10 případů, v nichž byl DZS bezchybně instalován a současně byl pasažér správně připoután. U 58 % dětí byla zaznamenána více než jedna chyba. Celkem ve 38 % případů byla pozorována chyba jak v instalaci autosedačky tak v upoutání dítěte. Nejčastěji se vyskytujícím problémem bylo jednoznačně nedostatečné dotažení integrovaných pásů DZS (viz obr. 13) pozorované u 32 dětí (64 %). Chybná instalace samotného zádržného systému u této skupiny byla menším problémem než u skupiny 0 a to i přesto, že respondenti nepracovali s vlastní autosedačkou. Nedotažené pásy vozidla byly zaznamenány u 18 dětí (36%), tedy téměř o polovinu méně, než u skupiny 0. Podobný úbytek byl pozorován u překroucených pásů vozidla. Tato chyba se vyskytla v 11 případech (22 %). Naopak četnost této chyby u integrovaných pásů DZS se zvýšila téměř o polovinu, byla zaznamenána u 11 dětí (22 %). V 9 případech (18 %) pak byly pozorovány pásy vedené mimo kotevní úchyty DZS tedy téměř shodně jako u skupiny 0. Chybně nastavené integrované pásy pak byly pozorovány téměř ve stejné míře jako u skupiny 0 a to u 18 dětí (36 %).

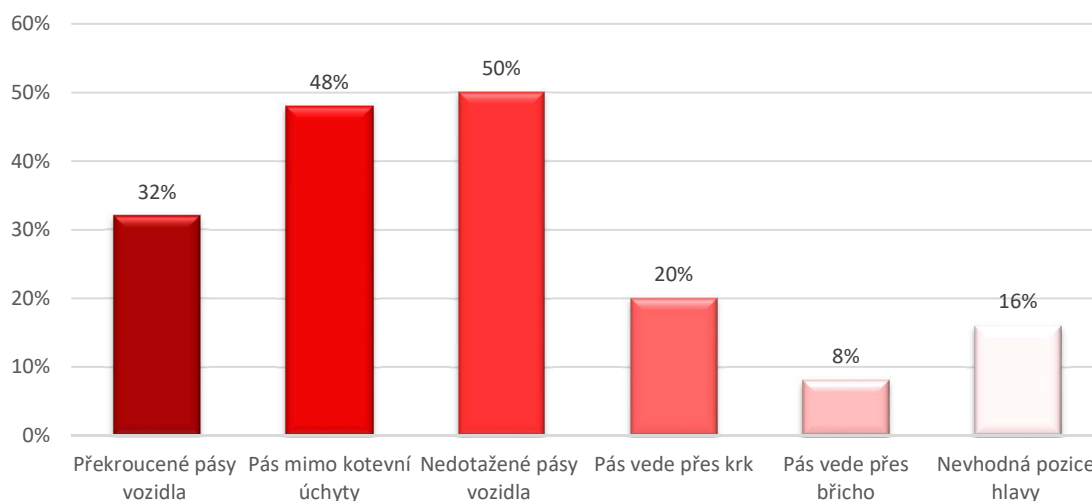
Stejně jako u skupiny 0 byla v tomto vzorku zkoumána souvislost mezi chybně nastavenými a nedotaženými integrovanými pásy. Ve skupině I byla tato souvislost zaznamenána u 14 dětí tedy v 78 % případů chybně nastavených pásů. Ačkoliv tedy souvislost není stoprocentní lze konstatovat, že chybné nastavení ovlivňuje možnost pásy dotáhnout. Rovněž byla stejně jako u skupiny 0 zkoumána souvislost mezi tělesnými proporcemi dětí a nedotaženými pásy. Rozdíly průměrných hodnot váhy a výšky však byly nepatrné a tato souvislost nebyla potvrzena ani u této skupiny.

3.1.3 Skupina II

V této skupině byly vyhodnocovány děti ve věkovém rozmezí 3-11 let, které byly usazovány do DZS skupiny I-III poskytnutého oddělením BESIP. Přesto, že respondenti neměli k dispozici vlastní zádržný systém byla u této skupiny vyhodnocována kompatibilita DZS a dítěte. U kombinovaných skupin DZS je možné výškově nastavit opěrku hlavy/zad. Z toho důvodu byli respondenti instruováni, aby zádržný systém uzpůsobili tak, aby odpovídal nastavení autosedačky při obvyklé přepravě dítěte. Ve všech případech bylo odsouhlaseno, že výškové nastavení opěrky hlavy odpovídá reálné situaci při převozu. Bylo tedy možné vyhodnotit vhodnou pozici hlavy dítěte vůči DZS.

Ve skupině II bylo zaznamenáno 9 případů zcela správného připoutání. Více než jedna chyba byla zaznamenána u 58 % dětí. Nejčastěji se vyskytujícím problémem této skupiny byl nedotažený bezpečnostní pás, který byl pozorován přesně u poloviny dětí. Téměř stejná četnost byla zaznamenána u vedení pásu mimo kotevní úchyty (24 dětí, 48 % viz obr.14). Ačkoliv volné bezpečnostní pásy u této skupiny mohou být důsledkem vedení přes kotevní

body, ve 13 případech byla tato chyba pozorována současně s chybným vedením pásu mimo úchyty (52 % případů nedotažených pásů). Nicméně tyto typy DZS mají celkem tři kotevní místa a chyba „mimo kotevní úchyt“ byla zaznamenána v případě, že pás nebyl veden přes všechny současně. K nedotažení pásů mohlo dojít uvíznutím pásu pouze v jednom nebo ve dvou kotevních bodech. Další častou zaznamenávanou chybou byly překroucené pásy. Celkem se tento problém vyskytl u 16 dětí, přičemž se obvykle jednalo o jednorázové nebo dvoufázové přehnutí ke kterému obvykle došlo při vedení pásu přes některý z kotevních úchytů.



Obr. 14: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny II

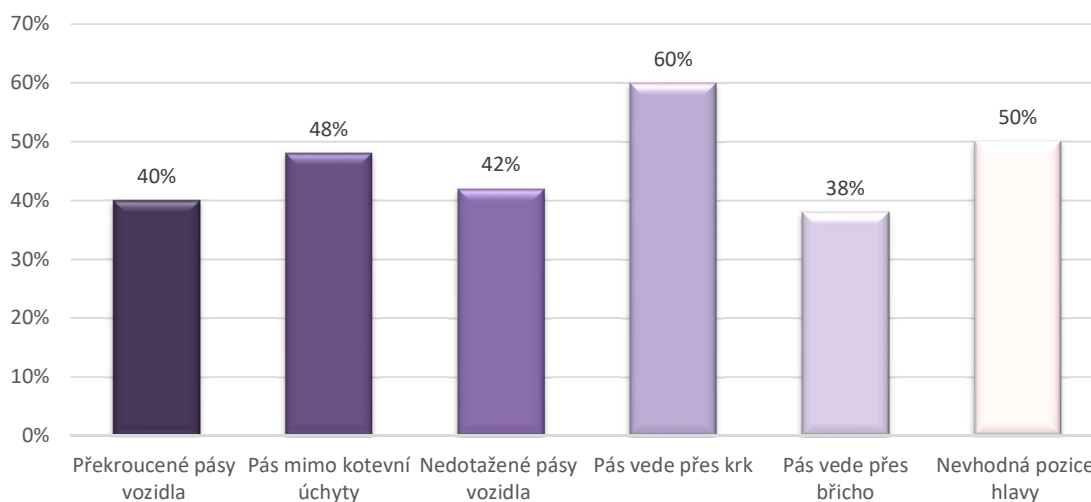
Méně časté byly chyby vedení pásu a pozice hlavy. Problémem s nejnižší četností bylo vedení pásu přes břicho dítěte, který byl pozorován u 4 dětí (8 %). U dvou z těchto dětí byla chyba způsobena vedením pásu mimo kotevní úchyty. Další respondent byl v zádržném systému usazen způsobem vedoucím k nevhodné poloze pánve vůči DZS (respondent uvedl, že se jedná o obvyklou situaci). V posledním případě byl DZS vyhodnocen pro daného respondenta jako nevhodný (3leté dítě s nejmenšími tělesnými proporcemi v této kategorii). Vedení pásu přes krk dítěte bylo pozorováno u 10 dětí (20 %). V těchto případech byl problém ve špatném nastavení zádržného systému vůči tělesným parametrům jedince. Většina respondentů uvedla, že při reálné přepravě výškové nastavení DZS neupravují pokud hlava dítěte nepřevyšuje opěrku a výškové umístění kotevního úchytu pásu je zanedbáváno. V důsledku toho může být i přes vhodnou pozici hlavy vůči opěrce pás veden v blízkosti krku. Ve třech případech bylo zaznamenáno nevhodné nastavení DZS vedoucí nejen k chybnému vedení pásu, ale rovněž umístění hlavy mimo bočnice. Celkově byla nevhodná pozice hlavy vůči opěrce zaznamenána u 8 dětí (16 %). V 5 případech hlava opěrku převyšovala, dítě by tedy při nehodě narazilo temenem na hranu. Výškové nastavení DZS nebylo v krajní pozici a bylo možné jej uzpůsobit tak, aby dítěti odpovídalo. Celkově byla pouze v jednom případě tato

kategorie zádržného systému pro dítě vyhodnocena jako nevhodná. Při nastavení do krajních poloh DZS neodpovídal tělesným parametrům dítěte (respondent uvedl, že nastavení DZS odpovídá reální situaci). V tomto případě byl dítěti příliš brzy odebrán integrální DZS

Kromě výše uvedených chyb bylo zaznamenáváno, zda je dítě poutáno do DZS za asistence dospělé osoby nebo vlastním úsilím. Následně bylo vyhodnocováno, zda má tento fakt vliv na četnost výskytu chyb při manipulaci s bezpečnostním pásem (nastavení zádržného systému v tomto případě bylo zanedbáno). V této skupině bylo 60 % dětí poutáno za asistence rodiče. Z celkového počtu 9 správně připoutaných dětí byly pouze 2 poutány ve vozidle vlastním úsilím. Tento fakt naznačuje, že pravděpodobnost bezchybného připoutání se zvýší v případě asistence dospělé osoby. Dále byl v této souvislosti zkoumán průměrný počet chyb. Ovšem rozdíl mezi výskytem počtu chyb způsobených rodičem a dítětem byl vyhodnocen jako nepatrný.

3.1.4 Skupina III

V této kategorii byly vyhodnocovány děti ve věkovém rozmezí 4-10 let usazené na podsedáku poskytnutým oddělením BESIP. Jelikož tento typ zádržných systémů nemá vlastní zádovou opěrku, opěrku hlavy ani kotevní úchyt na diagonální část pásu, není možné posuzovat vhodnost zádržného systému vůči dítěti jako u předchozí skupiny. Tento parametr byl vyhodnocován na základě vedení pásu přes krk dítěte a možnosti nastavení opěrky sedadla do vhodné pozice.



Obr. 15: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny III

Ve skupině III byly zaznamenány pouze 2 případy, v nichž nebyla evidována žádná chyba. Celkově byl v 82 % případů zaznamenán více než jeden problém. Nejčastěji se vyskytovalo vedení pásu přes krk dítěte, které bylo zaznamenáno u 30 dětí (60 % viz obr. 15). Na základě

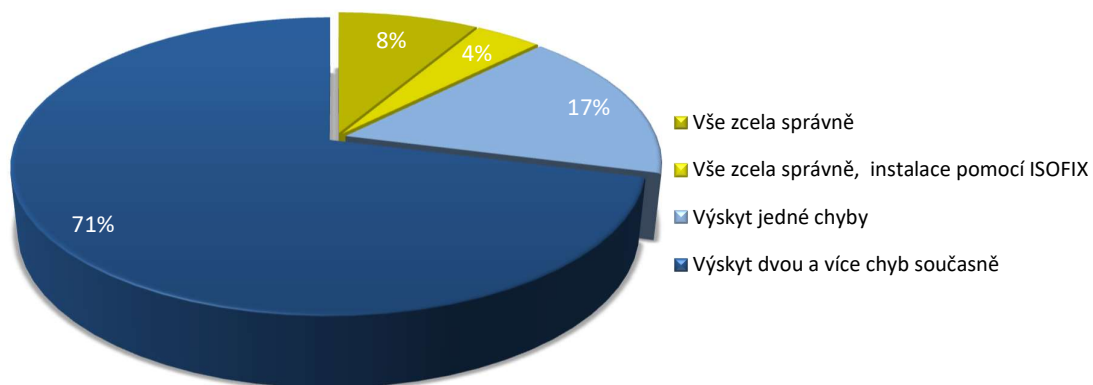
těchto dat lze konstatovat, že minimálně pro 60 % dětí je podsedák nevhodným zádržným systémem, jelikož nelze zajistit správné vedení pásu přes klíční kost. Druhým nejvíce zaznamenávaným problémem byla nevhodná pozice hlavy vůči opěrce sedadla, která se vyskytla přesně v polovině případů. V 84 % těchto případů se problém vyskytoval společně s vedením pásu přes krk. Lze tedy konstatovat, že v těchto případech nebyl vzhledem k tělesným parametrům dítěte podsedák vhodným zádržným systémem. Nicméně nejčastěji byla nevhodná pozice hlavy způsobena zanedbáním nastavení hlavové opěrky sedadla (ve všech případech bylo potvrzeno, že se jedná o běžnou situaci).

Vedení pásu mimo kotevní úchyty bylo zaznamenáno se stejnou četností jako u předchozí skupiny, tedy u 24 dětí (48 %). Naopak četnost pozorování nedotažených pásů byla oproti skupině II o něco nižší. U podsedáků byla tato chyba zaznamenána v 21 případech (42 %). Tento pokles je pravděpodobně způsoben tím, že podsedáky mají o jeden kotevní úchyt méně a jsou méně náchylné k zadržení pásu. Naopak zvýšená četnost oproti předchozí kategorii byla zaznamenána u překroucení bezpečnostního pásu. Tato chyba byla pozorována u 20 % dětí (40 %). Stejně tak se narostla četnost výskytu vedení pásu přes břicho dítěte, které bylo zaznamenáno u 19 dětí (38 %). Ve 13 případech tato chyba souvisela s chybným vedením pásu (mimo kotevní úchyty). U zbytku dětí byla tato chyba pozorována společně s vedením pásu přes krk tedy v případech, kdy byl DZS pro dítě vyhodnocen jako nevhodný.

Stejně jako u předchozí skupiny bylo zaznamenáváno, zda je dítě do DZS poutáno za asistence dospělé osoby, nebo je poutáno vlastním úsilím. Na rozdíl od skupiny II byla většina dětí této kategorie poutána ve vozidle vlastním úsilím (88 %) včetně obou případů bezchybného připoutání. Rovněž byl zkoumán průměrný počet chyb u dospělých osob a dětí, avšak i u této skupiny se rozdíl projevil jako nepatrný.

3.1.5 Celkové vyhodnocení

Z celkového počtu 200 respondentů bylo pouze 25 připoutáno zcela správně (12,5 %). Téměř v 88 % všech případů byla zaznamenána chyba v instalaci DZS nebo připoutání dítěte, přičemž 71 % případů obsahovalo více než jeden problém (viz obr. 16).



Obr. 16: Celkové procentuální zhodnocení chybovosti

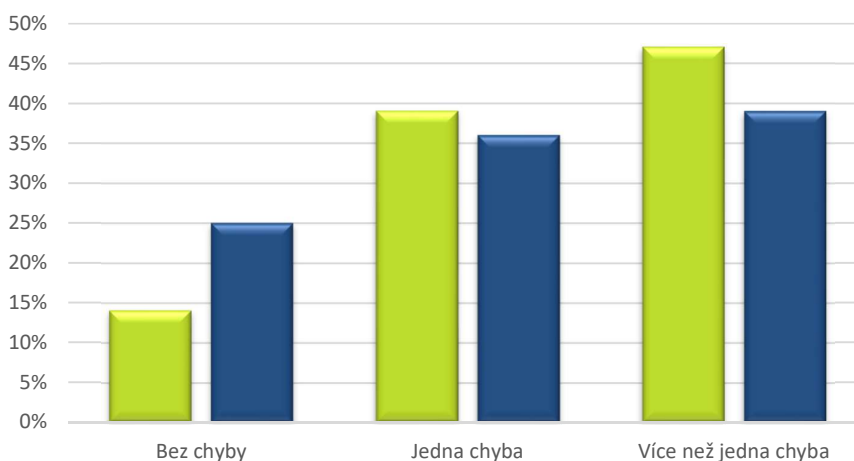
U integrálních zádržných systémů (skupina 0 a I) byla mimo jiné porovnávána chybovost v případě manipulace s bezpečnostními pásy vozidla a integrovanými pásy DZS. Ačkoliv se u skupiny 0 vyskytovalo nepatrně více chyb v manipulaci s bezpečnostními pásy vozidla, celkově byla jako více rizikový faktor vyhodnocena manipulace s integrovanými pětibodovými pásy. Nejčastěji bylo v této oblasti zaznamenáno nedostatečné dotažení pásů nebo záměrné povolení pro dosažení vyššího komfortu dítěte. Tento problém byl zaznamenán u 67 % dětí. Pro skupinu 0 byla vzhledem ke způsobu instalace manipulace s bezpečnostními pásy vozidla vyhodnocena jako více náročná. Přesto jen 5 % respondentů skupiny 0 uvedlo, že instalují DZS pomocí ISOFIX.

Celkově byl ISOFIX zaznamenán u 13 respondentů (7 %), z toho v 8 případech nebyla pozorována žádná chyba v poutání dítěte (8 z celkově 25 správně připoutaných). Nejčastěji byl tento systém použit u skupiny I a to v 7 případech, ve 3 případech byl zaznamenán u skupiny 0 a stejně tak u skupiny III. (U integrálních DZS nebyly případy s ISOFIX započítávány k porovnání chybovosti mezi integrálními pásy a pásy vozidla).

U neintegrálních zádržných systémů bylo nejvíce zaznamenávaným problémem vedení pásů mimo kotevní úchyty. Tato chyba byla pozorována celkem ve 47 % případů a u 15 % vedla k chybnému vedení přes břicho dítěte. Téměř stejně častým problémem bylo nedotažení nebo záměrné povolení bezpečnostního pásu. Třetí nejvíce se vyskytující chybou bylo vedení pásu přes krk dítěte a to ve 40 % případů, přičemž častěji se tato chyba vyskytovala u dětí

usazených na podsedáku. U těchto případů bylo rovněž zaznamenáno, že dítě často záměrně uvede diagonální část pásu do podpaží pro dosažení vyššího komfortu.

U starších dětí bylo rovněž zkoumáno, zda je chybovost ovlivněna faktem, že je dítě poutáno vlastním úsilím bez asistence dospělé osoby. Průměrný počet chyb v manipulaci s bezpečnostním pásem neprokázal téměř žádný rozdíl. Proto byla na základě počtu případů bezchybné manipulace s bezpečnostním pásem spočtena pravděpodobnost chyby v případě upoutání dospělou osobou a dítětem. Tyto hodnoty byly vyhodnoceny jako více vypovídající. Jako chyba v manipulaci bylo bráno v úvahu, překroucení, nedotažení/povolení a vedení mimo kotevní úchyty. Ze všech dětí, které byly poutány vlastním úsilím byla v 86 % případů zaznamenána některá z výše uvedených chyb (viz obr. 17). Při poutání rodičem se chyby vyskytly v 75 % případů. Lze tedy říci, že pravděpodobnost, že bude dítě správně připoutáno je o 11 % vyšší v případě, že je poutáno za asistence dospělé osoby.



Obr. 17: Porovnání chybovosti mezi případy, kdy bylo dítě poutáno vlastním úsilím a případy, kdy bylo poutáno za asistence rodiče

V rámci průzkumu byla dále zaznamenávána četnost výskytu DZS s bezpečnostním pultem. Jelikož tato kategorie DZS nebyla během průzkumu k dispozici, bylo vyhodnocení chybovosti provedeno osobním dotazem. Respondent byl tázán, jakým způsobem je bezpečnostní pás veden a zda je po připoutání dítěte dotažen. Případů DZS s pultem bylo zaznamenáno pouze 6, přičemž v jednom případě bylo zaznamenáno chybné vedení pásů. V tomto případě respondent uvedl, že diagonální část pásu je vedena přes tělo dítěte nikoliv přes pult. Ve všech 6 případech bylo uvedeno, že je pás po připoutání dotahován.

4 Dynamické zkoušky DZS

Bezpečnostní vlastnosti DZS jsou testovány při dynamických nárazových zkouškách. Ty je možné realizovat jako nedestruktivní saňové zkoušky, kdy je komponent (DZS) testován na zkušebním vzorku⁵ nebo crash test celého vozidla. Saňové zkoušky jsou nejčastěji prováděny před uvedením výrobku na trh v rámci homologačního procesu (viz kapitola 1.1), nebo při testování nezávislými organizacemi pro porovnání výkonnosti jednotlivých výrobků. Crash testu jsou pak zádržné systémy podrobeny především v rámci nezávislého testování vozidel EuroNCAP. Oba způsoby jsou rovněž využívány během vývojových zkoušek automobilů, při nichž výrobce vybírá vhodné DZS pro konkrétní modely.

Pro testování jsou používány speciální dětské figuríny, které jsou osazeny měřicí technikou. Z naměřených dat jsou následně počítána biomechanická kritéria, která vypovídají o zatížení jednotlivých částí figuríny a na jejichž základě je hodnocena bezpečnost zádržného systému.

4.1 Testování nezávislými organizacemi

Povinné homologační zkoušky DZS stanovují technologickou způsobilost výrobku k provozu, čímž je deklarováno splnění nejnižších bezpečnostních podmínek pro uvedení na trh. Testování nezávislými organizacemi klade na výrobky v mnoha ohledech vyšší nároky. Řada nezávislých testů rovněž zohledňuje riziko chybné instalace. Celkové hodnocení však není obvykle založeno pouze na bezpečnosti. Často jsou zohledněny i další parametry jako například komfort při instalaci nebo možnost výměny potahu.

Jednou z nejstarších nezávislých motoristických institucí je ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club), jejíž výsledky patří ve světě k nejvíce uznávaným. DZS jsou každoročně testovány v pěti kategoriích: bezpečnost (50%), obsluha (40%), ergonomie (10%), nebezpečné látky, zpracování/čistění. Bezpečnostní vlastnosti jsou testovány při nedestruktivní saňové zkoušce, při níž je DZS instalován na zadních sedadlech karoserie Volkswagen Golf VI. V rámci testování jsou provedeny dvě zkoušky, a to čelním nárazem při rychlosti 64 km/h⁶) a bočním nárazem v rychlosti 55 km/h. Výsledky jsou každoročně zveřejněny časopisu ADAC Motorwelt a na webových stránkách, kde je možné jednotlivé zádržné systémy porovnat. [28]

EuroNCAP je evropský program pro hodnocení bezpečnosti vozidel, provádějící nárazové zkoušky nových výrobků s cílem motivovat výrobce ke zlepšení bezpečnostních prvků. Každý

⁵ zkušební lavice/pancéřová karoserie vozidla

⁶ Rychlost simuluje srážku dvou vozidel jedoucích rychlostí 50 km/h, statisticky právě při této rychlosti vzniká vysoké procento vážných a smrtelných poranění.

výrobek je posuzován na základě provedení několika nárazových zkoušek, při kterých je hodnocena míra ochrany dospělých osob, chodců a dětí a také bezpečnostní asistenční systémy. Testování probíhá dle protokolů, které stanovují jak přesné podmínky provedení jednotlivých zkoušek tak kritéria a bodové stupnice pro jejich vyhodnocení. Na základě počtu získaných bodů je vozidlu udělen odpovídající počet hvězdiček prezentující míru bezpečnosti výrobku.

Dětská bezpečnost je hodnocena dle protokolu o ochraně dětí během zkoušek čelního a bočního nárazu, kdy jsou figuríny⁷ usazovány do DZS, které výrobce doporučuje pro daný model vozidla. Posuzováno je posunutí hlavy, výsledné zpomalení hlavy, zatížení krční páteře (axiálními silami a ohybovými momenty), zpomalení a stlačení hrudníku. Zkouška čelním nárazem (viz obr. 18) probíhá (dle protokolu EuroNCAP ODB) při rychlosti 64 km/h nárazem do deformovatelné bariéry s přesahem 40 %, která reprezentuje nejčastější mechanismus střetu dvou vozidel. Boční náraz (viz obr. 19) je proveden (dle protokolu EuroNCAP SIMDB) v rychlosti 50 km/h nárazem vozíku opatřeného deformovatelnou bariérou do stojícího vozidla do oblasti R bodu⁸. Kromě kladných výsledků při nárazových zkouškách jsou vozy odměňovány za přítomnost ukotvení ISOFIX, označení „i-size“ a deaktivací spínač pro airbag na předním sedadle s jasnými instrukcemi. Během instalace jsou mezi hodnocenými faktory také stabilita DZS nebo riziko chybné instalace. [33,34]



Obr. 18: Schéma zkoušky čelním nárazem

Obr. 19: Schéma zkoušky bočním nárazem

4.2 Dětské figuríny

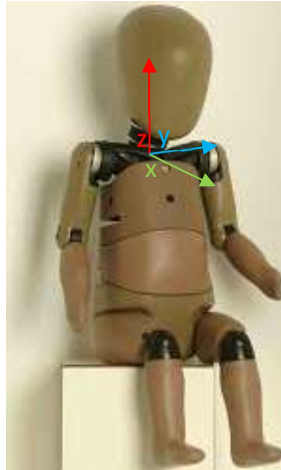
Pro testování DZS existuje několik typů dětských figurín vyráběných společnostmi Humanetics. V ČR jsou však využívány dva hlavní typy a to figuríny série P a série Q. Série P byla navržena především pro věrnou simulaci velikosti a rozložení váhy dítěte. Oproti tomu novější figuríny

⁷ Od roku 2012 probíhá testování za použití figurín série Q prezentující 6 a 10leté děti.

⁸ Místo, kde má 95 % mužské populace kyčelní oblast.

série Q jsou konstruovány tak, aby jejich celkové vlastnosti odpovídaly chování dětského těla při nárazu. Rozměry a hmotnosti figurín obou typů odpovídají antropometrii 50. percentilu dětí, jež daná figurína simuluje.

Pro potřeby dynamických zkoušek mají figuríny definovaný souřadný systém. V následujícím textu je používán kartézský souřadný systém, jehož kladné osy jsou zobrazeny na obrázku 20.



Obr. 20: Schéma souřadného systému figuríny Q 1/5 [10]

4.2.1 Figuríny série P

Figuríny série P byly vyvinuty jako jedny z prvních dětských testovacích figurín a dnes jsou využívány především při zkouškách DZS dle předpisu EHK č. 44. Série zahrnuje šest velikostí: P 0 (novorozenec), P $\frac{3}{4}$ (9 měsíců), P $1\frac{1}{2}$ (18 měsíců), P 3 (3 roky), P 6 (6 let) a P 10 (10 let).

Figurína novorozence je tvořena dvěma částmi. Trup, horní a dolní končetiny jsou vyrobeny jako jednodolný výlisek ze sorbothanu, který je vyztužen ocelovou páteří a k němuž je trvale připevněna hlava z polyuretanové pěny. Obě tyto části jsou potažené PVC simulující kůží.

Figuríny simulující děti ve věku 9 měsíců, 3, 6 a 10 let mají stejné charakteristiky. Všechny tyto figuríny jsou složeny z odlitků jednotlivých částí těla, vyrobených z polyuretanu. Hlava je vyztužena kovovými pásy a její konstrukce umožňuje vložení měřicího zařízení do jejího těžiště. Součástí kostry je také 5 krčních a 5 bederních obratlů. Bederní obratle a atlas jsou vyrobeny jako celistvé polyamidové bloky. Zbytek krční obratle tvoří soustava polyuretanových prstenců s polyamidovým jádrem. Kostra hrudníku je tvořena ocelovými trubkami, k nimž jsou připojeny ramenní klouby a stejně jako konstrukce hlavy umožňuje vložení měřicí techniky. Celá páteř je jako zbytek kostry potažena polyuretanem a její tuhost je zajištěna pomocí ocelového lana. Pánevní představuje celistvý blok z polyesteru, který je vyztužen skleněnými vlákny. Do prostoru mezi pánevní a hrudníkem je vloženo břicho tvořené deformovatelnou

měkkou pěnou. Za tuto část je na obratle páteře uložena modelovací hmota, která slouží k identifikaci průniku bezpečnostního pásu do měkkých tkání břicha. Na spodní části pánve jsou umístěny kyčelní klouby, na něž jsou připojeny polyuretanové dolní končetiny vyztužené kovovými čtyřhrannými trubkami, pásy a deskami. Stejným způsobem jsou vyrobeny i horní končetiny figuríny.

Figurína P 1 ½ byla vyvinuta jako poslední a její konstrukce je oproti ostatním figurínám tvořena menším počtem kovových prvků. Rozdíly jsou rovněž patrné v oblasti trupu a pánve, jejichž části jsou konstruovány tak, aby simulovaly svalstvo a pokožku. Trup je navíc vyztužován pěnou, aby došlo ke správné simulaci tuhosti hrudníku. Odlišná je i konstrukce krku a bederní páteře, které jsou tvořeny tuhým pryžovým sloupcem. [29]

4.2.2 Figuríny série Q

Série Q je modernější verzí dětských figurín a od série P se výrazně liší. Q figuríny mají mnohem věrnější biomechanické i antropometrické charakteristiky a byly vyvinuty, jak pro testování čelního tak bočního nárazu. Jedná se o první dětské figuríny, které je možné využít pro testování ve více směrech nárazu. Tato série figurín je využívána při testování nezávislými organizacemi a také při testování DZS dle předpisu EHK č. 129. Figuríny série Q jsou vyráběny v šesti velikostech: Q0 (novorozenec), Q1 (12 měsíců), Q 1,5 (18 měsíců), Q 3 (3 roky), Q 6 (6 let) a Q 10 (10,5 roku).

Figuríny jsou tvořeny pěnovými díly potaženými PVC (pro simulaci kůže) a vyztuženy kostrou z kovových a umělohmotných prvků. Hlava, vyrobená ze syntetických materiálů, je opatřena dutinou umožňující zavedení měřící techniky (akcelerometry a senzory úhlové rychlosti). Krk umožňuje namáhání stříhem a ohybem ve všech osách a je vyroben z jednotlivých segmentů, aby bylo dosaženo věrohodného rotačního chování. Také je vybaven nízko průtažnou krční strunou pro zabránění nadměrného natažení a jako pojistka při selhání gumových prvků. Na styčnou plochu mezi krkem a hlavou je možné u všech figurín umístit šesti-kanálový snímač pro záznam axiálních sil a ohybových momentů. U figurín Q3, Q6 a Q10 je možné tento snímač umístit i na styčnou plochu mezi krkem a trupem. Figurína má samostatný hrudní koš, na němž může být měřena deformace lankovým potenciometrem (Q1 a Q1,5), nebo čidly IR-TRACC (Q3, Q6 a Q10). Snímače pro měření zrychlení hrudníku jsou instalovány v příslušném otvoru v páteři. Břicho figurín je vyrobeno z pěny a pokryto umělou kůží, tak aby co nejlépe odpovídalo pevnosti břicha reálného dítěte. V této oblasti je možnost instalace senzoru tlaku břicha APTS. Bederní páteř je vyrobena z kaučuku a stejně jako páteř krční umožňuje stříh a ohyb ve všech směrech. Rovněž na ni může být instalován šesti-kanálový snímač zatížení.

Pánev figuríny je kvůli simulaci vnějších obrysů potažena materiálem simulujícím svalovinu a umožňuje montáž snímačů.

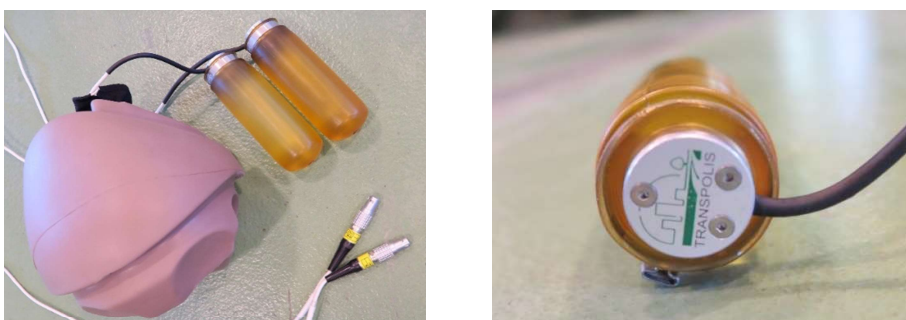
Stejně jako u figurín série P, je figurína Q0 simulující novorozeně oproti ostatním značně zjednodušená. Břicho, hrudník a pánev jsou spojeny do celistvého pěnového dílu, který představuje celý trup. Stejně tak jsou zjednodušeny i končetiny, které jsou tvořeny jednoduchým pěnovým dílem se zafixovaným úhlem jak v kolenní tak v loketní. Figuríny Q0 také nedisponují možností namontování snímače zatížení na bederní páteři a stejně jako Q1 a Q1,5 není možné nainstalovat ani snímač zrychlení mezi krk a trup. [10,30]

IR – TRACC (Infrared Telescope Rod for Assessment of Chest Compression) je zařízení navržené k měření průhybu hrudníku. Obecně je možné jej ve figurínách série Q instalovat pro měření ve směru osy x pro čelní náraz (Dx) nebo ve směru osy y pro boční náraz (Dy). Snímač je umístěn v dutině hrudní páteře přímo pod dutinou, v níž je umístěn akcelerometr (viz obr. 21).



Obr. 21: Hrudní koš figuríny Q3 osazený snímačem IR-TRACC (zdroj: fotodokumentace laboratoře ŠKODA AUTO)

APTS (Abdomen Pressure Twin Sensors) jsou dva válcové elastomerové měchýře (viz obr. 22) s hliníkovými uzávěry naplněné netoxickou kapalinou (parafínový olej) sloužící k měření tlaku v oblasti břicha. Tlak je u těchto senzorů měřen tlakovou komorou implantovanou do hliníkového uzávěru. Oba válce jsou uloženy ve speciálně upraveném břichu se dvěma otvory. Aby bylo zamezeno nežádoucímu pohybu válců, jsou zasunuty do tkaniny z LYCRY, která je ze spodní strany opatřena suchým zipem. Válce jsou uloženy tak, aby tlakový uzávěr byl na dně otvoru, kde se nachází průchod pro kabel s konektory.



Obr. 22: Břicho figuríny Q3 se snímačem APTS (vlevo), detail elastomerového měchýře (vpravo) (zdroj: fotodokumentace laboratoře ŠKODA AUTO)

4.3 Biomechanická kritéria

Informace o mechanické odolnosti lidského těla jsou nezbytnou součástí vyhodnocování následků simulovaných dopravních nehod prováděných pomocí dynamických zkoušek. Z dat snímačů, kterými je figurína osazena, je možné pro jednotlivé části těla vyhodnotit biomechanická kritéria. Tato kritéria poskytují informace o tom, do jaké míry je daná část figuríny zatěžována. Pro posouzení, zda je dané zatížení přípustné, je nutné znát limitní hodnoty těchto kritérií.

Základní limity pro dospělé figuríny byly odvozeny na základě série experimentů s postmortálními subjekty a jinými lidskými náhradami (dobrovolníci, zvířata), na nichž byly pozorovány jak měřitelné technické parametry (např. zpomalení, axiální síly) tak i následky zatížení v podobě poranění. Byly tak získány nejvýznamnější vztahy mezi silami, pohybem a následnými zraněními. Podobné experimenty byly provedeny i pro stanovení limitů u dětí, tato data jsou však velmi omezená. Proto jsou u dětí používány dva hlavní alternativní přístupy: 1. rekonstrukce nehod za použití dětských figurín a 2. přepočítání na základě limitů pro dospělé jedince. V některých případech však tyto přístupy dochází k rozdílným hodnotám. To je dáno jak samotným provedením (způsob studie/přepočtu) tak i rozdílným určením přípustné míry poranění. (Všechny níže uvedené limitní hodnoty byly stanoveny pro čelní náraz) [1,20]

4.3.1 Kritéria poranění hlavy

Existují dvě hlavní kritéria, která jsou používána k posouzení závažnosti zatížení hlavy. Kritérium HIC a "3ms překročení" výsledného zrychlení (v těžišti hlavy figuríny).

Při testování je nejčastěji jako kritérium posouzení poranění hlavy používán index zatížení **HIC** (Head Injury Criterium) [-]. Jako vstupní hodnoty slouží zrychlení měřená pomocí akcelerometrů umístěných v těžišti hlavy figuríny. Kritérium je určeno z intervalu, v němž proběhlo celkové zrychlení dle vztahu 4.1:

$$HIC = \max \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} \right\} \quad (4.1)$$

Kde $a(t)$ je výsledné zpoždění hlavy v násobcích gravitačního zrychlení g [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$] a t_1, t_2 [s] určují časové rozmezí, v němž HIC dosahuje nejvyšších hodnot. V praxi je kritérium vyhodnocováno pro časový interval 15 a 36ms. V případě, že dojde během dynamické zkoušky ke kontaktu hlavy s částí interiéru (DZS), je HIC_{15} zahrnuto jako kritérium posuzování DZS pro EHK 129 i při testování EuroNCAP (není-li v intervalu HIC zaznamenán kontakt je zatížení hlavy posuzováno dle 3ms kritéria).

Jako limitní hodnota je u figuríny reprezentující 50 % muže stanoveno $HIC_{36}=1000$ [24]. U dětí jsou hodnoty vzhledem k biomechanickým rozdílům nižší a liší se podle věku, časového intervalu a způsobu stanovení (přepočet z dat dospělých jedinců, výzkum na dětských figurínách). Hodnoty HIC stanovené pro děti jsou uvedeny v tabulce 2. Rozdíly v hodnotách uváděných jednotlivými zdroji pro konkrétní věk jsou dány především odlišnými metodami stanovení (Hodnoty NHTSA a EEVC byly stanoveny pomocí odlišných typů figurín). Rovněž se liší dle hodnoty pravděpodobnosti vzniku vážných poranění ($AIS \geq 3$). [1,17,20]

Tab. 2: Stanovené limitní hodnoty kritéria HIC [20,12,33]

		0 měs.	12 měs.	18 měs.	3 roky	6 let
EEVC (HIC_{36})	EHK 94 (přepočet)	477	447	526	710	986
EHK 129 (HIC_{15})		600	600	600	800	800
EEVC (HIC_{15})	$AIS \geq 3$ 20 % LR	523	491	578	780	1083
	$AIS \geq 3$ 50 % LR	671	629	741	1000	1389
NHTSA (HIC_{15})		-	390	-	570	700
EURONCAP (HIC_{15})		-	-	-	-	800

Další hodnota určená pro posouzení zatížení na hlavě je **3ms** kritérium. Jedná se o nejjednodušší kritérium, které je počítáno z výsledného zrychlení hlavy. Kritérium je definováno jako úroveň zrychlení působící na hlavu objektu (v těžišti) po dobu 3ms (kratší doba působení má na mozek malý vliv) [20,35]. Limitní hodnoty pro děti jsou uvedeny v tabulce 3 (hodnoty uváděny v g). Kritérium 3ms je posuzováno v rámci EHK 129 a při testování EuroNCAP.

Tab. 3: Stanovené limitní hodnoty 3ms kritéria hlavy [20,33]

		0 měs.	12 měs.	18 měs.	3 roky	6 let
EHK 129		75	75	75	80	80
EEVC	EHK 94 (přepočet)	79	67	70	75	82
EEVC	$AIS \geq 3$ 20 % LR	85	72	76	81	89
	$AIS \geq 3$ 50 % LR	97	88	86	99	109
EURONCAP		-	-	72	87	80

4.3.2 Kritéria poranění krku

Stanovení jednotného kritéria posouzení poškození krční páteře je velmi komplikované, což vyplývá především z množství variací poranění a směru působení nárazu. Závažnost zatížení krku je nejčastěji vyhodnocována na základě axiálního zatížení (tah/tlak) a ohybových

momentů (flexe/extenze) v horní části krku. Na těchto dvou hodnotách je postaveno kritérium N_{ij} , které je dáno vztahem 4.2:

$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{int}} + \frac{M_y}{M_{int}} \quad (4.2.)$$

kde F_z je axiální síla, F_{INT} je kritická hodnota pro daný způsob zatížení, M_y je ohybový moment a M_{INT} je kritická hodnota pro daný ohybový moment. Protože je N_{ij} normalizováno, hodnota 1 představuje 22 % riziko AIS3+ bez ohledu na věk pasažéra. Limitní hodnoty jednotlivých axiálních zatížení a momentů jsou stanoveny pro každou kategorii zvlášť. [2,12]

Zatížení krku u dětí je v praxi obvykle posuzováno pouze podle jednotlivých hodnot axiální síly v tahu a ohybového momentu flexe. Tyto hodnoty jsou sledovány v rámci testování EuroNCAP, ale nejsou zahrnuty v žádném legislativním předpise. Maximální zatížení stanovená pro děti jsou uvedena v tabulce 4. [20, 33]

Tab. 4: Stanovené limitní hodnoty axiální síly v tahu a ohybového momentu flexe [20,12,33]

		0 měs.		12 měs.		18 měs.		3 roky		6 let	
		F _z [kN]	M _y [Nm]	F _z [kN]	M _y [Nm]	F _z [kN]	M _y [Nm]	F _z [kN]	M _y [Nm]	F _z [kN]	M _y [Nm]
EEVC	EHK 94	0,43	13	0,95	42	1,08	48	1,35	63	1,82	94
EEVC	AIS≥3 20%	0,49	17	1,09	53	1,24	61	1,55	79	2,10	118
	AIS≥3 50%	0,54	20	1,20	64	1,36	74	1,70	96	2,30	143
NHTSA		-	-	1,46	43	-	-	2,12	68	2,80	93
EURONCAP		-	-	-	-	1,9	-	1,9	-	2,62	36

4.3.3 Kritéria poranění hrudníku

Pro posouzení poranění hrudníku je k dispozici šest kritérií. Dvě z těchto kritérií jsou aplikovány pouze v případě bočního nárazu a to TTI (Thoracic Trauma Index) a ThPC (Thorax Performance Criterion) a jsou založena hlavně na měření deformací jednotlivých žeber. Pro čelní nárazy je nejčastěji využíváno 3ms kritérium (viz 4.3.1) a kritérium stlačení hrudníku ThCC (Thoracic Compression Criterion). [24,3]

Kritérium **3ms** se stalo základní predikcí pro vznik vážných poranění v oblasti hrudníku. Stejně jako u hlavy je definováno jako úroveň výsledného zrychlení působící na hrudník objektu po dobu 3ms. U dětí je limitní hodnota stanovena jednotně na 55 g a na jejím základě jsou posuzovány zádržné systémy dle EHK 44 i EHK 129. Toto kritérium poskytuje obecnou indikaci toho, do jaké míry je zabráněno dítěti v posunu vzhledem k DZS a jak moc je zádržný systém schopen absorbovat kolizní síly, aby nedocházelo ke zraněním. Při nevhodném návrhu

konstrukce DZS však není možné pomocí tohoto kritéria rozpoznat koncentrované zatížení. [20,18]

ThCC kritérium je založeno na měření stlačení mezi hrudní kostí a páteří a stanovuje se na základě okamžité hodnoty komprese hrudníku. Toto kritérium je dobrým ukazatelem vzniku zlomenin žeber a u dospělých má dobrou vypovídající hodnotu. U dětí je však vyšší riziko vzniku vážných poranění i bez zlomenin. Jak je vidět z tabulky 5 limitní hodnoty průhybu hrudníku klesají s rostoucím věkem. Mladší děti nemají plně osifikované kosti, jsou tedy pružnější a ke zlomeninám nedochází tak snadno jako u starších dětí. Z tohoto důvodu není samotný průhyb u dětí nejlépe vypovídajícím kritériem poranění hrudníku. [20,15]

Tab. 5: Stanovené limitní hodnoty komprese hrudníku [20,12,33]

		0 měs.	12 měs.	18 měs.	3 roky	6 let
EEVC	EHK 94 (přepočten)	-	52	49	46,5	42
EEVC	AIS \geq 3 20 % LR	-	40	38	36	33
	AIS \geq 3 50 % LR	-	59	56	53	49
NHTSA		-	30	-	34	40
EURONCAP		-	-	-	-	42

CTI (Combined Thoracic Index) spojuje obě výše uvedená kritéria a je definován vztahem 4.3:

$$CTI = \frac{A_{max}}{A_{int}} + \frac{D_{max}}{D_{int}} \quad (4.3.)$$

kde A_{max} je 3ms kritérium hrudníku, A_{int} je kritická hodnota 3ms kritéria pro danou figurínu, D_{max} je naměřený průhyb hrudníku a D_{int} kritická hodnota průhybu hrudníku pro danou figurínu. Jelikož kritérium zahrnuje oba způsoby hodnocení poranění projevuje ve srovnání s ostatními kritérii dobrou prediktivní schopnost. Navzdory tomu není zahrnuto v současných předpisech a v praxi není běžně využíváno. [2]

Poranění hrudníku je někdy posuzováno na základě kritéria měkkých tkání. Tzv. Viskózní kritérium nebo **V * C** se počítá jako součin poměrné rychlosti hrudní stěny k páteři a relativního posunu nebo stlačení hrudní stěny k páteři při čelním i bočním nárazu. [3]

4.3.4 Kritéria poranění břicha

Posouzení možných poranění v oblasti dutiny břišní je velmi komplikované. Velký počet vnitřních orgánů, rozdíly v jejich struktuře a v síle mezi pevnými a dutými orgány činí studie o toleranci poměrně obtížné. Významným faktorem je v oblasti poranění břicha také vliv obezity a různá onemocnění (např. cirhóza jater) [24,11]. Na oblast břicha bylo navrženo několik kritérií

založených na měření působící síly a poměrného stlačení. Většina z nich byla aplikována buď na jednotlivé převážně pevné orgány nebo na horní část břicha, která byla zařazena do kritérií poranění hrudníku. Řada figurín využívaných při dynamických zkouškách navíc nedisponuje potřebnými snímači. Výjimku tvoří figuríny pro boční nárazy a dětské figuríny série Q.

Ačkoliv je možné u dětských figurín měřit tlak působící na břicho (viz 4.2.2), limitní hodnoty pro posouzení naměřených hodnot byly zatím stanoveny pouze pro figurínu Q3 a Q6. V rámci výzkumu CASPER byly odvozeny křivky rizika poranění pro tlak působící na břicho. Na tomto základě byly navrženy prahové hodnoty pro 50 % riziko poranění AIS \geq 3 a to 1,09 baru pro Q6 a 1,32 pro Q3. Limit navrhovaný pro Q3 je 1,13 baru. Pro ostatní figuríny je navržen limit ve fázi vývoje, což je jedním z důvodů, proč zatím měření tlaku na dutinu břišní není zahrnuto v žádném předpise (pouze pro potřeby monitorování). [11,13,20]

4.3.5 Posouzení závažnosti mechanického nárazu

Stanovené biomechanické limity určují spodní hranici únosnosti v konkrétní posuzované oblasti. Podle biomechanických kritérií je však možné stanovit riziko vzniku traumatického poranění pomocí rizikové funkce. Tyto funkce definují vztah mezi hodnotami kritéria vycházejících z naměřených mechanických vlastností a pravděpodobností vzniku poranění jednotlivých stupňů závažnosti. Ty jsou nejčastěji stanoveny na základě stupnice AIS (Abbreviated Injury Scale), která je standardizovaným systémem pro definování závažnosti úrazů v celém těle vycházející z lékařských diagnóz. Stupnice je dána tabulkou 6, která klasifikuje každé zranění v každé oblasti těla přidělením indexu [2,24]. Při stanovení pravděpodobnosti vzniku poranění na základě biomechanických kritérií jsou jednotlivé stupně opatřeny znaménkem plus. Tato formulace znamená, že s danou pravděpodobností dojde minimálně k poranění daného stupně závažnosti ⁹. Příklady poranění v jednotlivých oblastech těla jsou uvedeny v příloze 2.

Tab. 6. Stupnice AIS [24]

Index	Kategorie míry závažnosti
0	Bez zranění
1	Malá
2	Mírná
3	Vážná (není životu nebezpečné)
4	Těžká (životu nebezpečné)
5	Těžká (přežití nejisté)
6	Maximální (smrtelné úrazy)

⁹ Např. 20 % AIS 3+ = s 20 % pravděpodobností dojde minimálně k vážným poraněním stupně 3

Rizikové funkce (křivky) jsou konstruovány vždy pro konkrétní biomechanická kritéria a pro figuríny prezentující určitou část populace. Pro určení pravděpodobnosti jednotlivých stupňů poranění u dětí byly stanoveny převodní funkce například při výzkumu limitů Národním úřadem pro bezpečnost silničního provozu (NHTSA) pro figuríny prezentující 6leté, 3leté a 12měsíční dítě. Každá z těchto křivek je popsána vzorcem. Dosazením konkrétní hodnoty kritéria, pro něž je křivka konstruována, je možné pomocí těchto vzorců dopočítat hodnotu pravděpodobnosti konkrétního stupně poranění. Křivky pro $HIC_{15,3ms}$ kritérium hrudníku a průhyb hrudníku jsou stanoveny pro každou figurínu zvlášť. Pouze křivky kritéria N_{ij} jsou totožné bez ohledu na figurínu, jelikož hodnoty N_{ij} jsou normalizovaná čísla upravená tak, aby byla zachována konzistence vzhledem k výsledku poranění krku [12]. Křivky navržené NHTSA jsou uvedeny v příloze 3.

Rovněž byly vytvořeny funkce pro nové figuríny série Q v rámci řady výzkumů (projekty CHILD, CASPER, EPOCH) orientovaných na jejich využití a stanovení biomechanických limitů. Data jsou veřejně dostupná jen v omezené míře bez vzorců popisujících konkrétní pravděpodobnostní křivky. Hodnoty pravděpodobnosti je tak možné stanovit pouze odečtením z příslušného grafu. V příloze 5 jsou uvedeny pravděpodobnostní křivky odpovídající $HIC_{15,3ms}$ kritériu hlavy, průhybu hrudníku a tlaku na dutinu břišní pro figurínu Q3.

5 Nedestruktivní dynamické zkoušky

Pro ověření předpokládaného vlivu chyb uvedených v kapitole 2 bylo provedeno několik testů na dvou zařízeních určených pro nedestruktivní saňové zkoušky. První série experimentů byla provedena ve zkušební laboratoři DEKRA a.s. v Klíčanech vybavené rozjezdovou dráhou a deceleračním zařízením pro simulaci nárazu. Poslední experiment byl uskutečněn v laboratoři TÜV SÜD Czech s.r.o. v Bezděčíně, kde je náraz vozidla simulován pomocí katapultu.

Chyby testované při saňových zkouškách byly vybírány dle četnosti výskytu během průzkumu a předpokládané míry rizika, které by mohly představovat v případě reálné dopravní nehody. Při výběru bylo rovněž zohledněno, zda je při podmínkách testování a možnostech instrumentace figuríny reálné získat relevantní informace o dopadu dané chyby. Případy, kdy by předpokládaný vliv¹⁰ nebyl prokazatelný pomocí dostupné techniky, nebyly do experimentů zahrnuty.

5.1 Série experimentů v laboratoři DEKRA a.s.

Ve zkušební laboratoři DEKRA byly provedeny celkem tři experimenty, při nichž byly testované chyby simulovány pomocí figurín série P (P3, P6) a DZS skupiny I, II-III a podsedačku.

5.1.1 Zkušební zařízení

Pro experimenty bylo použito zkušební zařízení laboratoře sestávající z rozjezdové dráhy, zkušebního vozíku/saně, roztažného zařízení a ocelové konstrukce pro náraz. Pro potřeby zkoušení DZS bylo na vozík připevněno zkušební sedadlo, na kterém byly všechny zádržné systémy instalovány pomocí normalizovaného třibodového bezpečnostního pásu¹¹. Dále byl na vozík umístěn rám vymežující roviny dané předpisem EHK 44, které hlava figuríny nesmí během dynamické zkoušky přesáhnout (viz obr.23).

Simulace nehodového děje probíhá na principu decelerace. Vozík je na rozjezdové dráze roztahován pomocí gumolan umístěných mezi kolejnicemi do takové vzdálenosti, aby byl náraz uskutečněn v požadované rychlosti. Ta je spolu s hmotností vzorku (včetně saně) zadávána do výpočetního softwaru, který na základě energie gumolan a zadaných parametrů vypočítá potřebnou vzdálenost pro rozjezd. Vzdálenost zkušebního vozíku je zaznamenávána indukčními snímači umístěnými v rozjezdové dráze a po dosažení požadované vzdálenosti dochází k akceleraci. V přední části je vozík osazen dvěma širokými ocelovými trubkami, do

¹⁰ Především poranění měkkých tkání: tržné rány v oblasti krku, hrudníku a ramen, ke kterým by mohlo dojít při chybném vedení pásů přes krk, nebo břicho, chybném nastavení integrovaných pásů a překroucení pásů.

¹¹ Zkušební sedadlo i bezpečnostní pás odpovídají požadavkům předpisu EHK 44.

nichž jsou před každou zkouškou vloženy polyuretanové výplně. Konec rozjezdové dráhy je opatřen dvojicí ocelových tyčí o shodné rozteči, které jsou zakončeny speciálně tvarovanými koncovkami. K simulaci nehodového děje dochází v důsledku zasunutí tyčí do polyuretanových výplní ve vozíku, čímž je způsobeno prudké zpomalení. Průběh zpomalení je možné ovlivnit kombinací druhů polyuretanových výplní a ocelových oliv. Pro experimenty byl použit pulz odpovídající požadavkům předpisu EHK 44 s odpovídající nárazovou rychlostí 50 km/h \pm 2 km/h. Za daných podmínek by nárazová zkouška měla odpovídat simulaci čelního nárazu vozidla do plné zdi. Výslednou nárazovou rychlost je možné ověřit integrací signálu zrychlení, které je měřeno pomocí akcelerometru umístěného na středovém nosníku v zadní části vozíku.



Obr. 23: Zkušební zařízení laboratoře: zkušební vozík osazený rámem vymežujícím roviny EHK 44 a zkušebním sedadlem (vlevo), ocelová konstrukce pro náraz s polyuretanovými výplněmi (vpravo)

Pro experimenty byla použita měřící technika uvedená v příloze 6.

Experimenty byly vyhodnoceny na základě videozáznamů z vysokorychlostní kamery a dat naměřených systémy KISTLER a MIRCH, která byla následně zpracována v softwaru DIAdem. Naměřená data byla filtrována v souladu s požadavky předpisu SAE J211 [36]. Frekvenční třídy pro měřené kanály jsou uvedeny v příloze 5. Závažnost zatížení jednotlivých částí figuríny byla posuzována na základě biomechanických kritérií a odpovídajících křivek rizika poranění, které jsou uvedeny v příloze 3. Z výsledného zrychlení hlavy byly spočítány hodnoty kritérií HIC_{15} , HIC_{36} , 3ms a z výsledného zrychlení hrudníku kritérium 3ms. Křivky rizika poranění pro testované figuríny jsou konstruovány pouze pro hodnoty HIC_{15} a 3ms kritérium hrudníku, proto byla pravděpodobnost poranění určena na základě těchto dvou kritérií. Další dvě kritéria byla zaznamenávána za účelem porovnání výsledných hodnot mezi jednotlivými testy. Výsledné hodnoty kritérií byly rovněž srovnávány s dostupnými stanovenými limity EHK 44 (3ms kritérium hrudníku), NHTSA (HIC_{15}) a $EEVC_{EHK\ 94}$ přepočet

(HIC_{36,3ms} kritérium hlavy¹²) (viz 4.3.). Hodnoty překračující limit jsou v následujících tabulkách vyznačeny červeně. Videozáznamy jsou uloženy v příloze 15.

5.1.2 Experiment 1

V rámci prvního experimentu byly provedeny tři dynamické zkoušky zaměřené na integrální zádržné systémy skupiny I. V této skupině bylo nejčastěji pozorovaným problémem nedotažení integrovaných pásů DZS a jejich nevhodné výškové nastavení. Při samotné instalaci systému pak nejčastěji docházelo k nedotažení a překroucení pásů vozidla. Protože ve většině případů docházelo k více chybám současně, byla zkoumána kombinace volných integrovaných pásů DZS a nedotažených bezpečnostních pásů vozidla. Míra nedotažení/povolení byla zvolena tak, aby konfigurace testů co nejvíce odpovídala případům pozorovaným při průzkumu. Chyby byly simulovány při prvních dvou testech, třetí test byl proveden jako referenční pro porovnání následků v případě chybného a bezchybného připoutání. Pro experiment byla použita figurína a zádržný systém uvedené v tabulce 7.

Tab. 7: Konfigurace experimentu 1

Figurína P3		Dětský zádržný systém	
Hmotnost	15 kg	Leaman Japan LYJ - 211	
Výška	98 cm	Hmotnostní skupina	0-18 kg
Instrumentace		Kategorie	univerzální
Hlava	3osý akcelerometr	Třída	integrální
Hrudník	3osý akcelerometr	Směr instalace	Ve směru jízdy

DZS byl ve všech případech instalován na testovací lavici pomocí tříbodového bezpečnostního pásu dle návodu tak, aby byl pás veden správně přes kotevní úchyty a zajištěn pojistkami. V případě zcela správné instalace je pás před zajištěním pojistek maximálně dotažen. Pro simulaci chybné instalace byl při prvních dvou testech tento krok vynechán, dotažení bylo provedeno pouze při třetím referenčním testu. Povolení integrovaných pásů bylo u jednotlivých testů odlišné. Dle doporučení jsou pětibodové pásy správně dotaženy v případě, že je mezi tělem a pásy prostor těsně na dlaň [27]. Míra povolení pásů byla tedy hodnocena na základě tohoto měřítka. Doplnující fotodokumentace a grafy jsou uvedeny v příloze 7.

¹² Hodnoty udávané EEVC pro HIC₁₅ nebyly v tomto případě reflektovány, jelikož byly stanoveny pro figuríny série Q

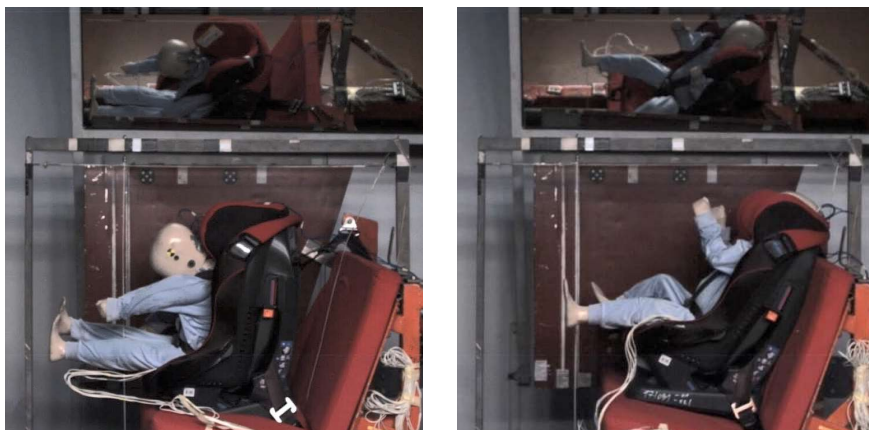
5.1.2.1 Test 1

Při prvním testu byly simulovány případy, kdy bylo dítě poutáno výrazně volně. Bezpečnostní pás byl povolen do takové míry, aby mezi ním a tělem figuríny vznikl prostor pro pěst (cca 7-8 cm viz obr. 24).



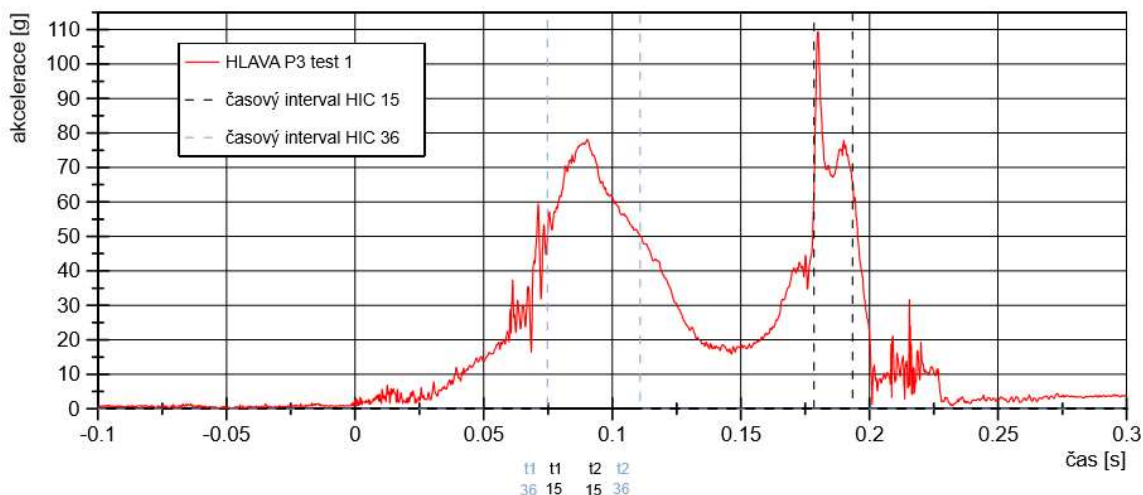
Obr. 24: Míra povolení integrovaných pásů – test 1

Ve výsledném grafu zpomalení hlavy jsou zřetelné dva extrémy (viz obr. 26). První byl způsoben primárním nárazem torza figuríny do pětibodového bezpečnostního pásu, přičemž došlo na hlavě k prudkému zpomalení. Během decelerace byla naměřena maximální hodnota 78 g, přičemž hodnota 3ms kritéria je rovna 76,57 g a překračuje limit pro 3leté dítě stanovený na 75 g. HIC_{15} bylo stanoveno na 682, což odpovídá 71 % pravděpodobnosti vzniku závažných poranění (viz tab. 8). Druhý extrém byl naměřen při zpětném pohybu figuríny, kdy došlo k sekundárnímu nárazu hlavy do opěrky DZS. Při sekundárním nárazu bylo naměřeno maximální výsledné zpomalení 109 g, přičemž hodnota 3ms je rovna 78,72 g. Hodnota HIC_{15} byla při nárazu do DZS stanovena na 760. Tato hodnota u tříletého dítěte odpovídá 81 % pravděpodobnosti poranění závažnosti AIS 3+. K případnému vzniku vážných poranění hlavy by došlo zapříčiněním primárního i sekundárního nárazu. V obou případech došlo k překročení



Obr. 25: Pohyb figuríny během nárazu - test 1

limitních hodnot všech vyhodnocených kritérií. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 25.

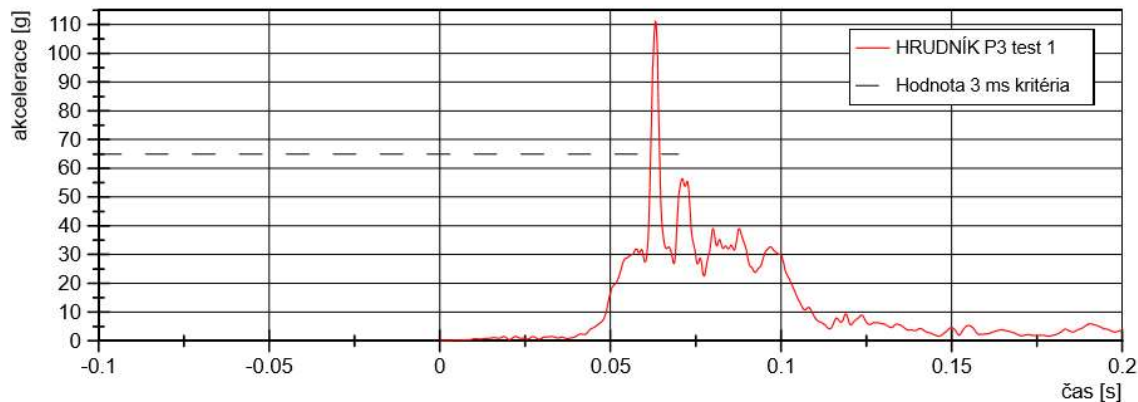


Obr. 26: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 – test 1

Tab. 8: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5 test 1

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	76,57 g	-	-	-	78,72 g	-	-	-
HIC ₁₅	682	71 %	30 %	5 %	760	81 %	41 %	10 %
HIC ₃₆	1178	-	-	-	831	-	-	-

Graf zpomalení hrudníku vykazuje pouze jeden výrazný extrém (viz obr. 27). Ten byl způsoben v důsledku nárazu torza figuríny do pětibodového pásu, čímž došlo na hrudníku k prudké deceleraci. Při nárazu bylo naměřeno maximální výsledné zpomalení 142 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 65 g. Tato hodnota překračuje limit EHK 44 o 10 g a odpovídá 79 % pravděpodobnosti poranění závažnosti AIS 3+, přičemž z 53 % se jedná o pravděpodobnost život ohrožujících poranění (viz tab.9). Při nárazu figuríny do zádové opěrky



Obr. 27: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 – test 1

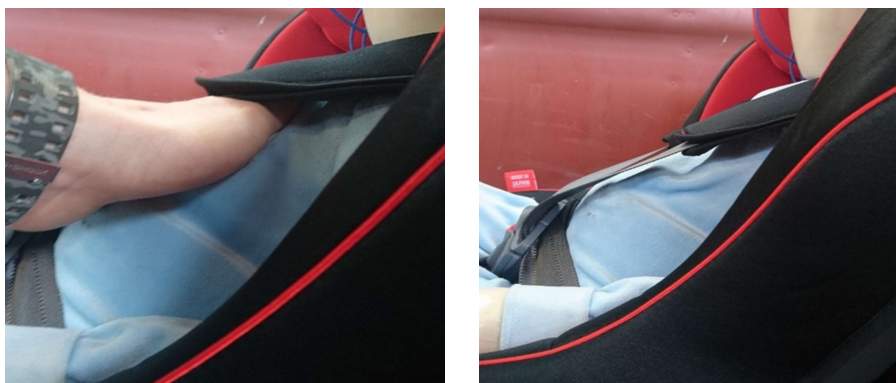
DZS nebylo v grafu zaznamenáno výrazné zpomalení. Vážná poranění hrudníku by byla v případě vzniku způsobena prudkým nárazem do bezpečnostních pásů.

Tab. 9: Stanovená hodnota 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	65 g	79 %	53 %	2 %	-			

5.1.2.2 Test 2

Při druhém testu byly pásy dotaženy tak, aby prostor kolem vložené dlaně zůstal mírně volný (cca 4-5 cm viz obr. 28), čímž byly simulovány případy, kdy míra dotažení pásů neodpovídala doporučením.

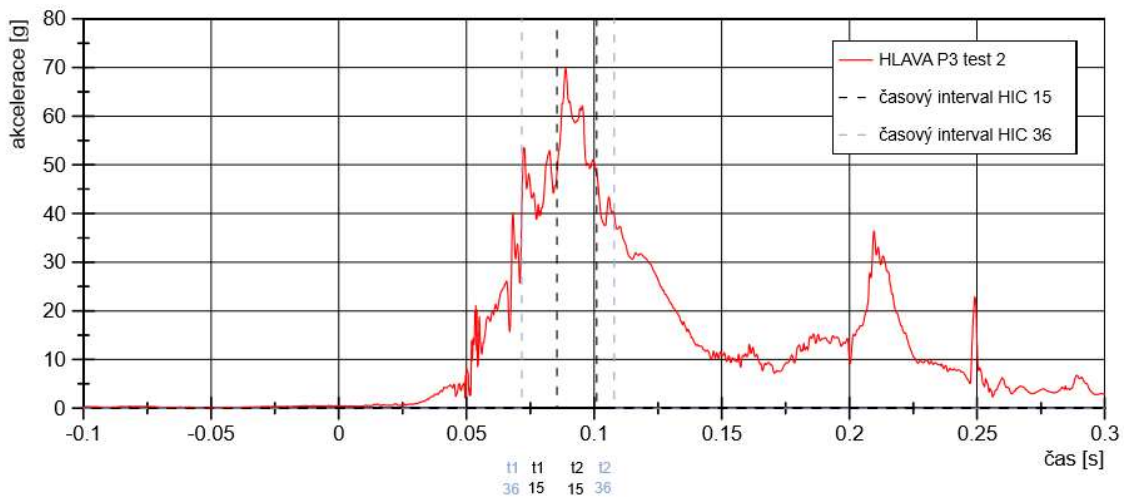


Obr. 28: Míra nedotažení integrovaných pásů – test 2

Stejně jako u prvního testu jsou v grafu výsledného zpomalení hlavy patrné dva extrémy. Při druhém testování došlo k největšímu zatížení hlavy při primárním nárazu torza figuríny do bezpečnostních pásů. Při tomto ději bylo naměřeno maximální výsledné zpomalení 70 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 62,6 g (viz tab. 10). Hodnota kritéria HIC₁₅ odpovídající primárnímu nárazu byla stanovena na 380, což odpovídá 23 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+, pravděpodobnost vzniku život ohrožujících poranění je velmi malá. Na obrázku 30 je rovněž patrný sekundární náraz hlavy figuríny do DZS. V tomto případě nedošlo při zpětném pohybu k silnému zatížení, maximální zpomalení naměřené při sekundárním nárazu bylo 36 g. Podle stanovené hodnoty HIC₁₅ odpovídající sekundárnímu nárazu by jen s minimální pravděpodobností došlo k vážným poraněním. V tomto případě nedošlo u žádného z vyhodnocených kritérií k překročení limitních hodnot. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 29.



Obr. 29: Pohyb figuríny během nárazu – test 2

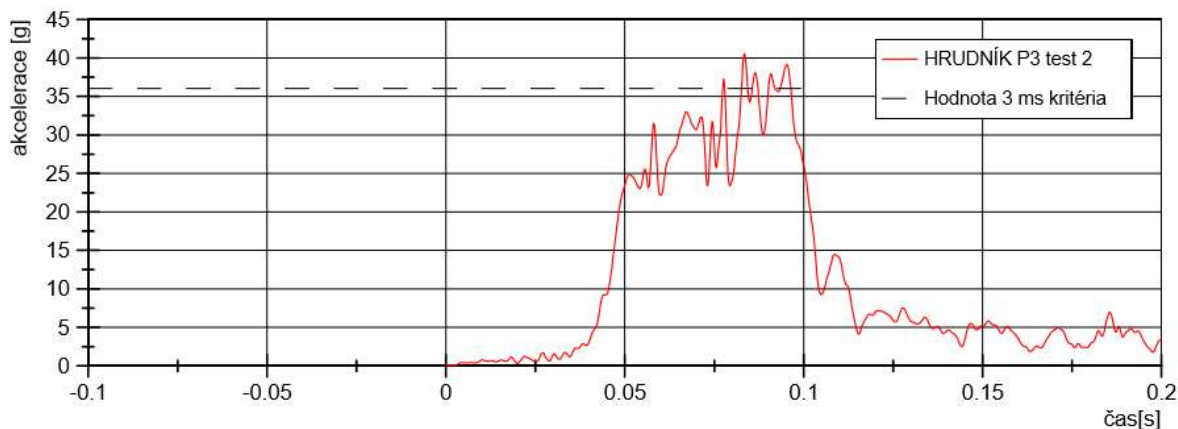


Obr. 30: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 – test 2

Tab.10: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2

	Primární náraz			Sekundární náraz				
	Hodnota	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	Hodnota	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3 ms	62,6 g	-	-	-	30,32 g	-	-	-
HIC15	380	23%	5%	1%	51	1%	0%	0%
HIC36	632	-	-	-	58	-	-	-

Graf výsledného zpomalení hrudníku vykazuje stejně jako u předchozího testu jen jeden výrazný extrém (viz obr. 31). V tomto případě však nedošlo k tak prudkému nárazu figuríny do bezpečnostních pásů a zatížení hrudníku je zřetelně nižší. Maximální hodnota zatížení byla naměřena 41 g, přičemž hodnota 3ms kritéria je rovna 36 g. Povolený limit EHK 44 nebyl překročen. Dle křivky rizika však 36 g odpovídá 35 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ (viz tab. 11).



Obr. 31: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 – test 2

Tab. 11: Stanovená hodnota 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	36 g	35 %	14 %	0 %	-	-	-	-

5.1.2.3 Test 3

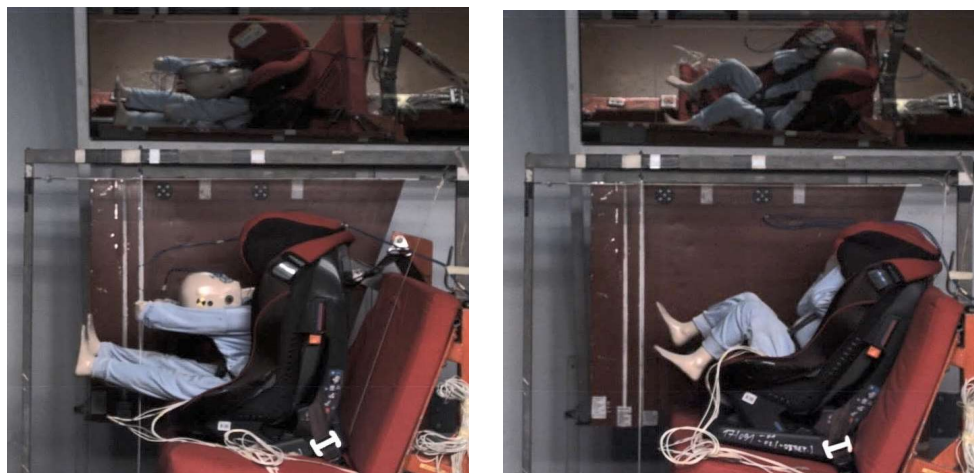
Třetí test byl navržen jako referenční, proto byla instalace DZS i připoutání dětské figuríny (viz obr. 32) provedena dle návodu. Test odpovídal parametrům zkoušky dle EHK 44.



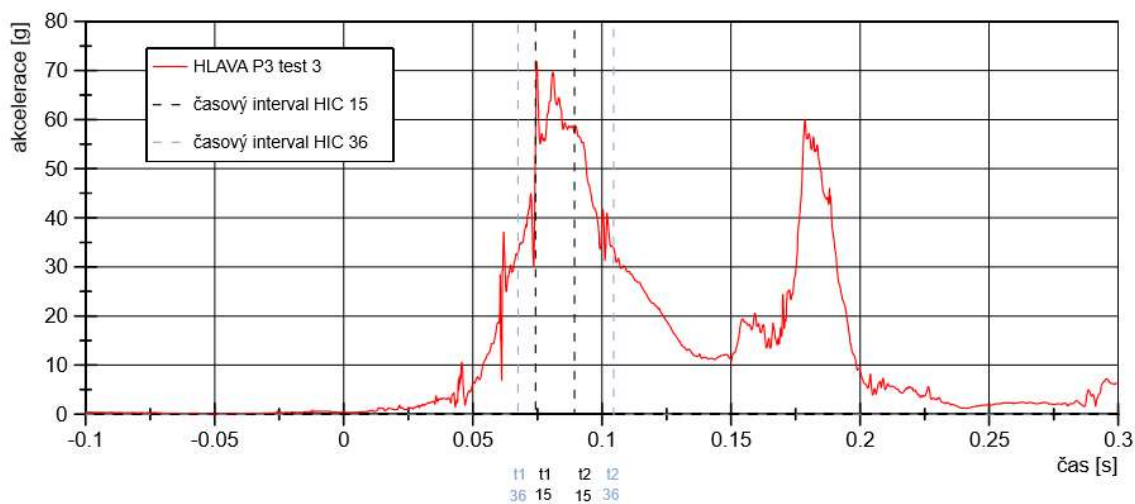
Obr. 32: Míra dotažení integrovaných pásů – test 3

Při referenčním testování byly opět v grafu zpomalení hlavy zaznamenány dva výrazné extrémy (viz obr. 34). Stejně jako u druhého testu došlo k největšímu zatížení již při primárním nárazu figuríny do pásů. Maximální naměřená hodnota byla 71 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 63,03 g. Ačkoliv byly naměřeny podobné maximální hodnoty zpomalení jako při druhém testu, v tomto případě působilo vyšší zatížení po delší dobu. Hodnota HIC_{15} je

tedy vyšší než v předchozím případě (viz tab.12) a odpovídá 31 % pravděpodobnosti vzniku poranění AIS 3+. Při sekundárním nárazu hlavy do DZS byla naměřena maximální hodnota zpomalení 60 g a stanovena hodnota 3ms kritéria 54,3 g. Na rozdíl od předchozího testu, tedy došlo k podobnému maximálnímu zpomalení jako při primárním nárazu. Hodnota HIC₁₅ odpovídající sekundárnímu nárazu byla stanovena na 240, což je výrazně nižší výsledek než při primárním nárazu a vypovídá o menším zatížení hlavy. Ke vzniku závažných poranění by došlo s 9 % pravděpodobností. Stejně jako u předchozího testu nedošlo k překročení limitních hodnot kritérií. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 33.



Obr. 33: Pohyb figuríny během nárazu – test 3

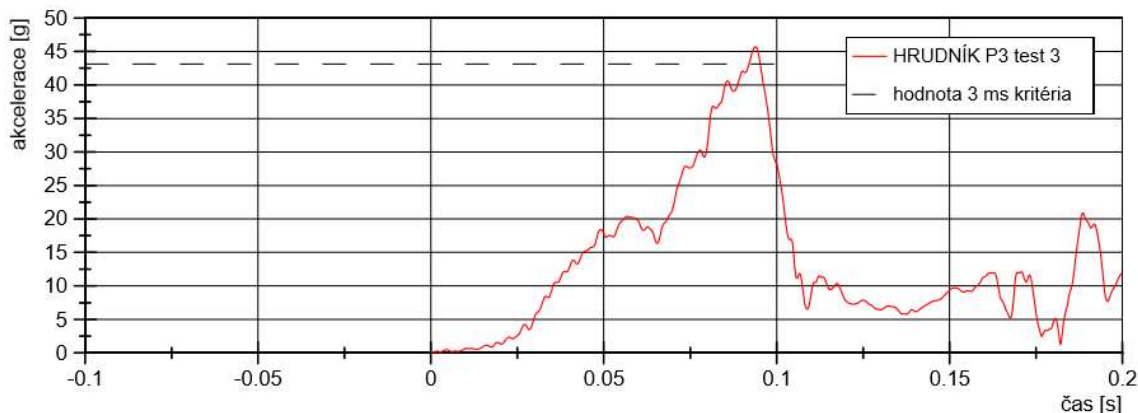


Obr. 34: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 – test 3

Tab. 12: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	63,03 g	-	-	-	54,30 g	-	-	-
HIC ₁₅	436	31 %	8 %	1 %	240	9 %	2 %	0 %
HIC ₃₆	652	-	-	-	242	-	-	-

K největšímu zatížení hrudníku došlo stejně jako u obou předchozích testů při nárazu do pětibodového pásu. Byla naměřena maximální hodnota 45 g a stanovena hodnota 3ms 43 g (viz tab. 13). Tato hodnota nepřekračuje limit EHK 44, nicméně odpovídá 46 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+. V grafu zpomalení (viz obr.35) hrudníku jsou na rozdíl od předchozích zkoušek patrné dva extrémy. V tomto případě tedy došlo i k zaznamenání sekundárního nárazu, při kterém bylo naměřeno maximální zpomalení 21 g a stanovena hodnota 3ms 19 g. Sekundární náraz by v oblasti hrudníku způsobil závažná poranění s pravděpodobností 14 %.



Obr. 35: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 – test 3

Tab.13: Stanovená hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test3

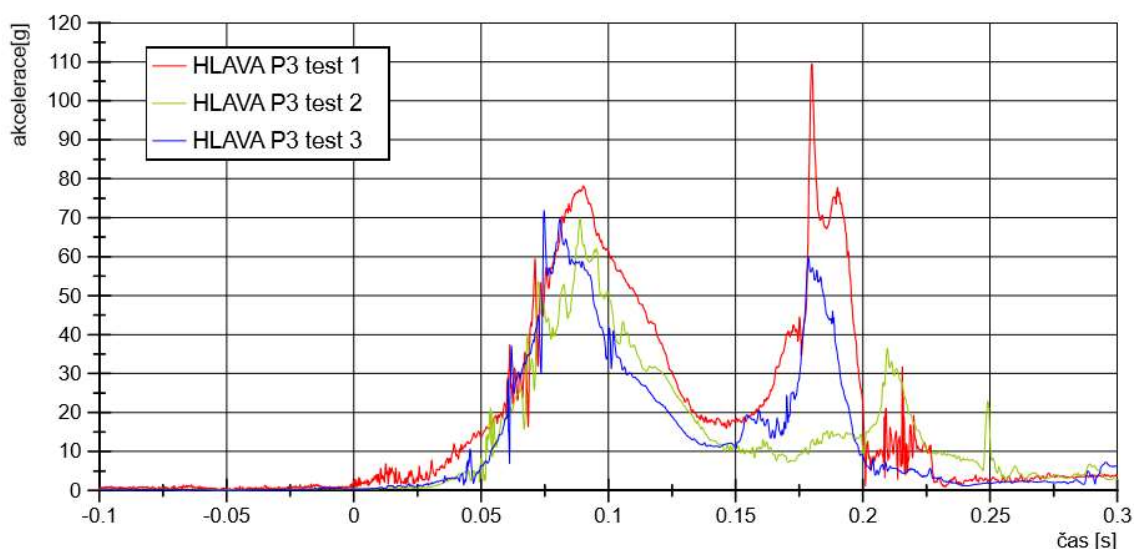
KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	43 g	46 %	20 %	0 %	19 g	14 %	5 %	0 %

5.1.2.4 Shrnutí výsledků experimentu

Nejrizikovější hodnoty HIC₁₅ byly zaznamenány při prvním testování tedy v případě, kdy byl DZS instalován bez dotažení a zároveň byl pětibodový pás DZS výrazně povolen. Naopak nejpříznivější výsledky vykazuje druhý test, kdy byl DZS připoután stejným způsobem, ale pětibodové pásy byly jen mírně povolené. Ačkoliv tedy připoutání neodpovídalo doporučení, výsledky testu ukazují hodnoty odpovídající nižší pravděpodobnosti závažných poranění než při třetím testu, kdy byla instalace DZS i připoutání figuríny provedeno dle návodu (viz tab. 14).

Na obrázku 36 je zřetelné, že při prvním testu byl náběh zpomalení hlavy nejmírnější, což je způsobeno prodlevou v působení integrovaných pásů, k níž došlo v důsledku povolení. Zároveň zatížení při primárním nárazu působilo v delším časovém intervalu než u druhých dvou testů. Dále dochází v důsledku průběhu primárního zatížení k výrazně silnějšímu sekundárnímu nárazu, který je rovněž příčinou vysoké pravděpodobnosti vážných poranění.

Při dalším testování byl náběh zpomalení rychlejší, ale celkový průběh u druhého testu je z hlediska zatížení hlavy příznivější, jelikož vysoké hodnoty působí v kratším časovém intervalu. Na rozdíl od druhých dvou testů je velká část energie nárazu vyčerpána při primárním zatížení, následně tedy dochází jen k mírnému sekundárnímu nárazu s minimální pravděpodobností vážných poranění. V rámci experimentu byla vyhodnocována nejzazší dosažená vzdálenost hlavy ve směru osy x. Při žádném z testů však nedošlo k přesažení maximálního povoleného limitu EHK 44.



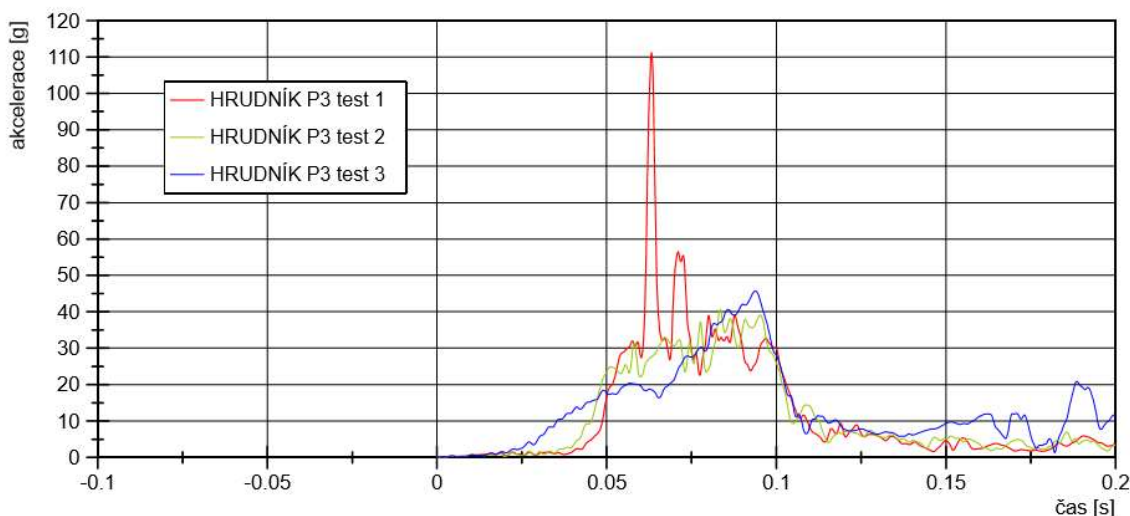
Obr. 36: Porovnání výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 mezi jednotlivými testy

Tab. 14: Porovnání hodnot biomechanických kritérií HIC a 3ms a pravděpodobností vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ		
	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 1	TEST 2	TEST 3
3ms	76,57 g	62,6 g	63,03 g	78,72 g	30,32 g	54,30
HIC ₁₅	682	380	436	760	51	240
HIC ₃₆	1178	632	652	831	58	242
AIS 3+	71 %	23 %	31 %	81 %	1 %	9 %

Zatížení hrudníku vykazuje nejrizikovější hodnoty rovněž u prvního testu (viz obr.37). Při nárazu dochází díky volnému prostoru mezi torzem a pásy k delšímu volnému setrvačnému pohybu figuríny, čímž narůstá rozdíl rychlosti mezi DZS a figurínou. V důsledku toho dochází při nárazu do bezpečnostních pásů k prudké deceleraci s vysokou pravděpodobností vážných poranění. Volný prostor pro pohyb figuríny byl u druhých dvou testů menší, což se projevilo na hodnotách zatížení. Nejpříznivější výsledky v oblasti hrudníku byly zjištěny u druhého testu. Stejně jako v prvním případě nebylo zaznamenáno sekundární zatížení, nicméně hodnoty naměřené při primárním nárazu byly v porovnání s druhými dvěma testy výrazně nižší (viz tab.15). Sekundární náraz byl zaznamenán pouze při třetím testu. Při dotážení pásů dle

návodu, byl volný pohyb figuríny zamezen ve velmi krátkém časovém intervalu. V průběhu primárního nárazu nedošlo k vyčerpání energie, což vedlo ke vzniku sekundárního zatížení. Po každém testu byla kontrolována možnost průniku integrovaných pásů do modelovací hmoty umístěné za molitanovou výplň břicha. Žádný patrný otisk pro indikaci průniku do měkkých tkání nebyl v při testech zaznamenán.



Obr. 37: Porovnání průběhů výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 mezi jednotlivými testy

Tab. 15: Porovnání hodnot biomechanického kritéria 3ms a pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ		
	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 1	TEST 2	TEST 3
3ms	65 g	36 g	43 g	-	-	19 g
AIS 3+	79 %	35 %	46 %	-	-	14 %

Vliv simulovaných chyb lze prokázat v obou případech. Při prvním testování by v důsledku kombinace povolených/nedotažených pásů došlo s vysokou pravděpodobností k životu ohrožujícím poraněním v oblasti hlavy i hrudníku. Riziko poranění této závažnosti je u druhých dvou testů výrazně nižší. V případě nárazu tedy uvedené chyby vedou ke zvýšení míry zdravotních následků.

U druhého testu je naopak při porovnání s referenční zkouškou výsledek pozitivní. Ačkoliv stále existuje pravděpodobnost vzniku závažných poranění hlavy i hrudníku, jejich riziko je výrazně nižší než v případě doporučeného provedení instalace/připoutání. Především dochází k výrazně menšímu zatížení v případě sekundárního nárazu. Pravděpodobnost vzniku života ohrožujících poranění je u obou případů v porovnání s prvním testem nízká. Simulované chyby by však v tomto případě vedly během nárazu ke snížení míry zdravotních následků. Konkrétní příklady poranění odpovídající jednotlivým stupňům AIS jsou uvedeny v příloze 2.

5.1.3 Experiment 2

V rámci druhého experimentu byly provedeny tři dynamické zkoušky zaměřené na neintegrální zádržné systémy skupiny II-III. Nejčastěji pozorovanou chybou v rámci průzkumu bylo u této skupiny povolení bederní části bezpečnostního pásu, které bylo simulováno při prvním testu. Rovněž bylo u starších dětí pozorováno vedení diagonální části pásu v podpaží. Ačkoliv nedošlo k zaznamenání této chyby ve vysokém počtu případů, byla vyhodnocena jako vysoce riziková, a proto byla aplikována při druhém testu. Stejně jako u předchozího experimentu byl proveden třetí referenční test pro porovnání chybného a bezchybného připoutání. Pro experiment byla použita figurína a zádržný systém uvedené v tabulce 16.

Tab. 16: Konfigurace experimentu 2

Figurína P6		Dětský zádržný systém	
Hmotnost	22 kg	Recaro Monza Nova Evo SF	
Výška	117 cm	Hmotnostní skupina	15-36 kg
Instrumentace		Kategorie	univerzální
Hlava	3osý akcelerometr	Třída	neintegrální
Hrudník	3osý akcelerometr	Směr instalace	Ve směru jízdy

Použitý DZS je vybavený systémem ISOFIX. V rámci průzkumu bylo použití tohoto systému pro skupinu II-III minimální, z toho důvodu byla autosedačka při testování instalována za pomoci bezpečnostního pásu bez použití ISOFIX. DZS disponuje výškově nastavitelnou opěrkou zad a hlavy, která byla ve všech případech nastavena tak, aby dle návodu odpovídala velikosti použité figuríny. Doplnující fotodokumentace a grafy jsou uvedeny v příloze 8.

5.1.3.1 Test 1

Při první testu byl bezpečnostní pás veden přes úchyty DZS dle návodu. Bederní část pásu byla povolena tak, aby mezi pásem a tělem figuríny vznikl volný prostor cca 5 cm (viz obr. 38). Míra povolení pásu byla zvolena na základě případů pozorovaných při průzkumu a simuluje situace, kdy byl pás pasažérem záměrně povolen pro získání vyššího komfortu.

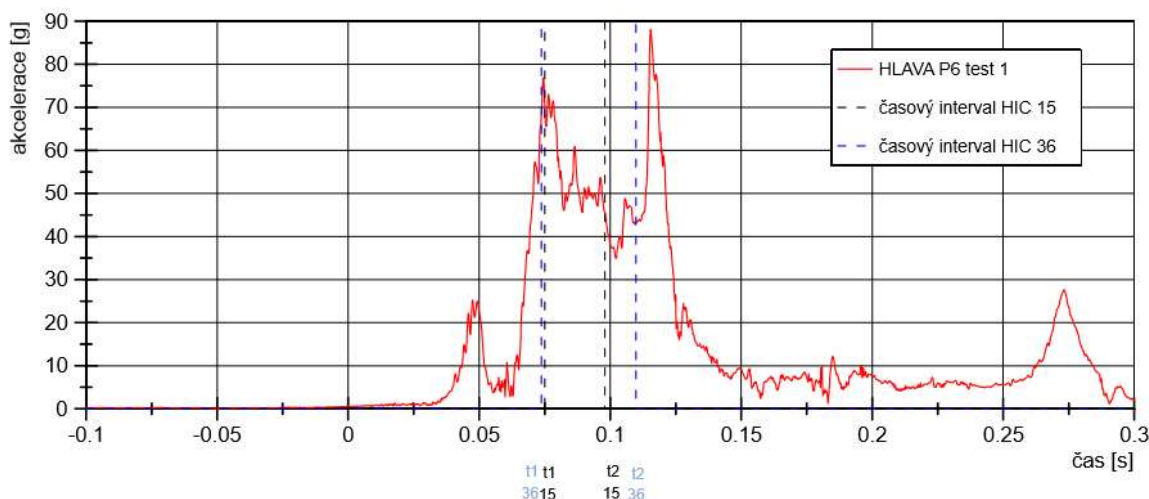


Obr. 38: Míra povolení bederní části bezpečnostního pásu

Z grafu výsledného zpomalení hlavy je patrné členění primárního nárazu figuríny do bezpečnostního pásu (viz obr.40). Po nárazu torza do diagonální části dochází díky povolené bederní části k prokluzu ve sponě pásu a tím k poklesu výsledného zpomalení. Následně je figurína zadržena oběma částmi pásu, přičemž dochází k největší deceleraci. Při primárním nárazu byla naměřena maximální hodnota zpomalení hlavy 87 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 76,26 g (viz tab. 17). Hodnota kritéria HIC_{15} odpovídající primárnímu nárazu byla spočtena na 423, což u šestiletého dítěte odpovídá 19 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+. Pravděpodobnost vzniku života ohrožujících poranění je minimální. Během primárního nárazu došlo v důsledku povolení bederního pásu v 98. ms k přesažení maximální povolené vzdálenosti hlavy ve směru osy x dle EHK 44 o 7 mm. Sekundární náraz hlavy do DZS nezpůsobil výrazné zatížení a nebyl by příčinou vzniku žádných vážných poranění. U žádného z kritérií nedošlo k překročení stanovených limitů. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 39.



Obr. 39: Pohyb figuríny během nárazu – test 1

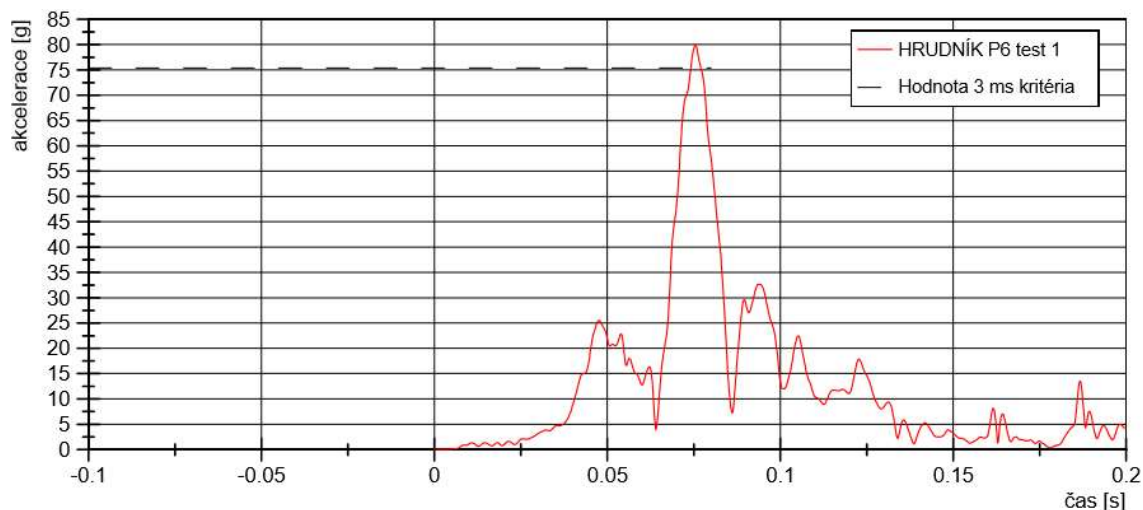


Obr. 40: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 1

Tab.17: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	76,26 g	-	-	-	24,69 g	-	-	-
HIC ₁₅	423	19 %	4 %	0 %	27	0 %	0 %	0 %
HIC ₃₆	705	-	-	-	27	-	-	-

Z grafu zpomalení hrudníku je rovněž patrné dvojí působení pásu (viz obr. 41). Pokles zpomalení při prokluzu se však projevuje pouze minimálně. Při nárazu torza do obou částí pásu bylo naměřeno maximální zpomalení 79,93 g a hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 75,4 g (viz tab. 18). Tato hodnota přesahuje limit EHK 44 o 20,5 g a odpovídá 83 % pravděpodobnosti vzniku závažných poranění, přičemž z 60 % se jedná o poranění ohrožující život. Rovněž byl zaznamenán sekundární náraz do DZS, kdy byla naměřena maximální hodnota zpomalení 13,68 g a stanovena hodnota 3ms kritéria na 4,99 g. Zatížení při sekundárním nárazu by bylo příčinou vážných poranění jen s minimální pravděpodobností. Rovněž nebyl zaznamenán žádný patrný otisk pásu v modelovací hmotě umístěné za výplň břicha pro indikaci průniku do měkkých tkání.



Obr. 41: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 1

Tab. 18: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	75,4 g	83 %	60 %	2 %	4,99 g	5 %	2 %	0 %

5.1.3.2 Test 2

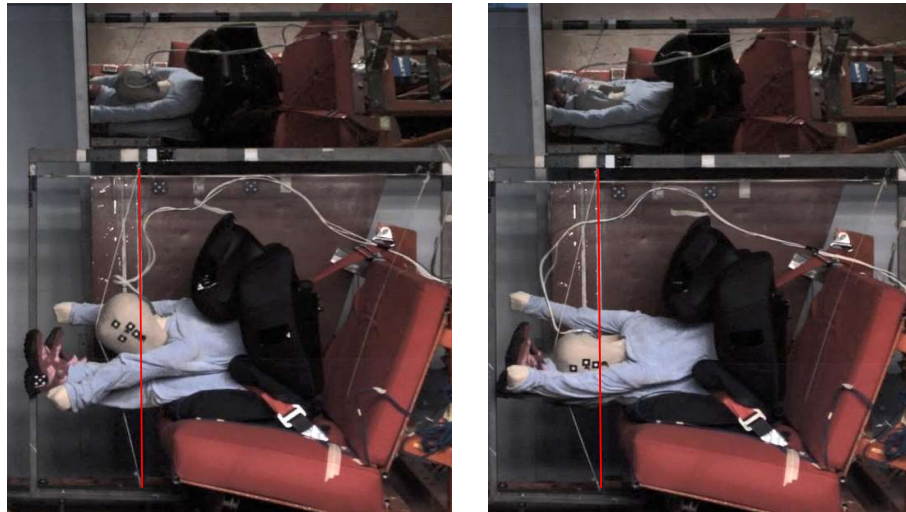
Při druhém testu bylo simulováno chybné vedení diagonální části pásu mimo kotevní úchyt v podpaží figuríny (viz obr. 42). Bederní část pásu byla vedena kotevními místy dle návodu.



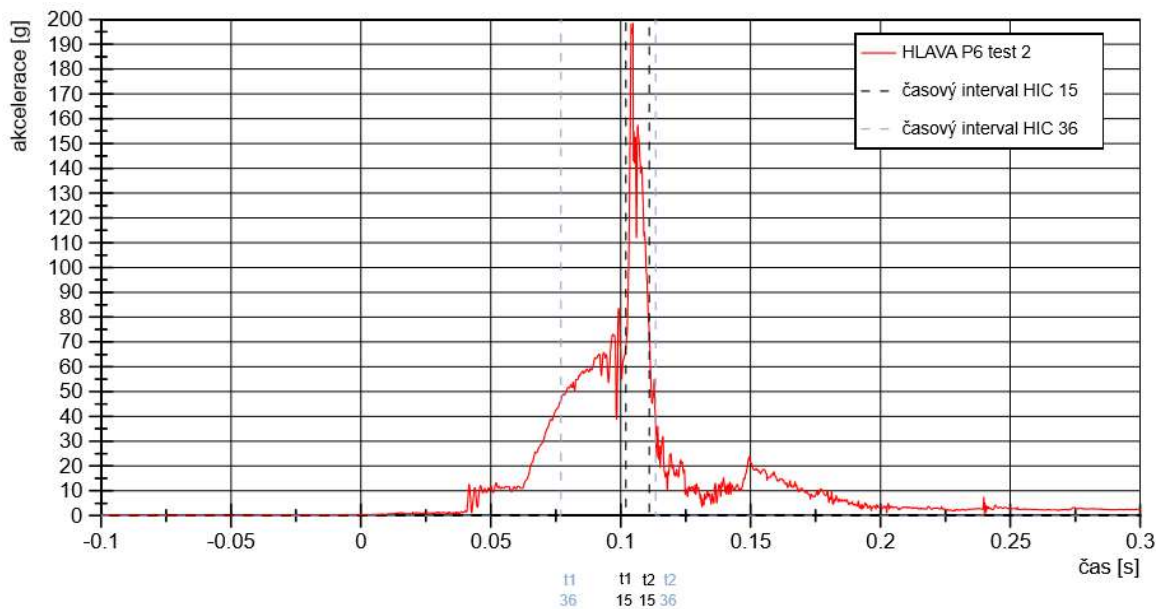
Obr. 42: Chybné vedení bezpečnostního pásu – test 2

V tomto případě byl zaznamenán pouze primární náraz (viz obr. 44). Díky chybnému vedení diagonální části pásu byla figurína zadržena pouze v oblasti spodních žebér, pánve a břicha. Přes vyšší působení v oblasti molitanové výplně břicha nebyl zaznamenán viditelný otisk pásu v modelovací hmotě indukující průnik do měkkých tkání. Díky absenci působení diagonální části pásu v horní polovině trupu, došlo při setrvačném pohybu během testu k nárazu hlavy do

tibie, přičemž bylo naměřeno maximální zpomalení téměř 200 g (viz tab. 19). Následně byla stanovena hodnota 3ms kritéria 112 g a výsledná hodnota kritéria HIC₁₅ 1714. V důsledku tak silného nárazu by s 93 % došlo k života ohrožujícím poraněním, která by na 83 % vedla k úmrtí. Rovněž bylo v 101 ms zaznamenáno výrazné přesažení maximální povolené vzdálenosti hlavy ve směru osy x dle EHK 44, a to o 126 mm. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 43.



Obr. 43: Pohyb figuríny během nárazu – test 2

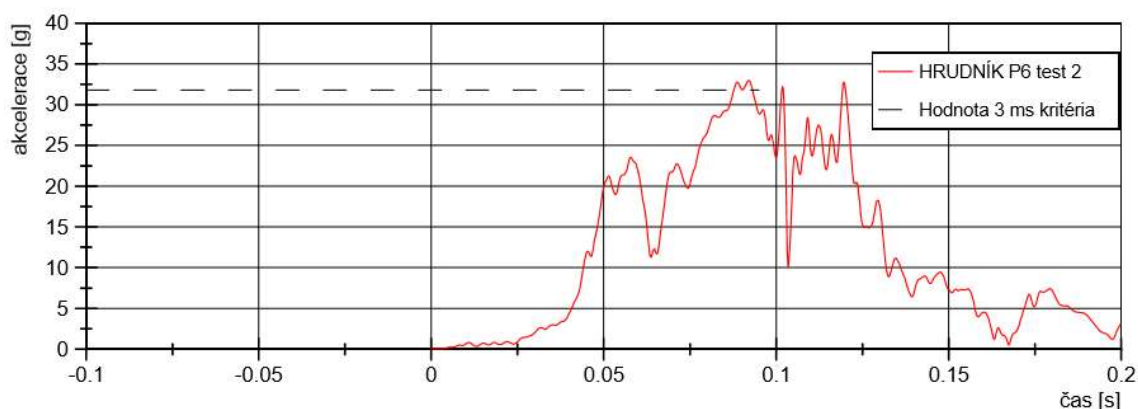


Obr. 44: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 2

Tab. 19: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-6, test 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ					SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	AIS 6	-			
3ms	112 g	-	-	-	-	-	-	-	-
HIC ₁₅	1714	100 %	97 %	93 %	83 %	-	-	-	-
HIC ₃₆	1832	-	-	-	-	-	-	-	-

Zatížení hrudníku v místě instrumentace nebylo díky absenci působení diagonální části pásu tak výrazné jako u prvního testu. Během nárazu došlo k většímu působení této části pásu v oblasti molitanové výplně břicha, nicméně v oblasti hrudníku bylo rovněž zaznamenáno zřetelné zpomalení (viz obr. 45). Maximální hodnota však byla naměřena až při nárazu torza do femuru, a to 33 g. Výsledná hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 31,8 g, což by s 25 % pravděpodobností mělo za následek vznik poranění závažnosti AIS 3+ (viz tab. 20). Během testu nedošlo ke zpětnému pohybu figuríny, tudíž nebyl zaznamenán sekundární náraz ani v jedné ze zkoumaných oblastí



Obr. 45: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 2

Tab. 20: Stanovená hodnota 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	31,8 g	25 %	9 %	0 %	-			

5.1.3.3 Test 3

Třetí test byl uskutečněn jako referenční k porovnání případů chybného a bezchybného připoutání dítěte v DZS. Vedení a dotažení bezpečnostního pásu bylo provedeno dle návodu (viz obr. 46).

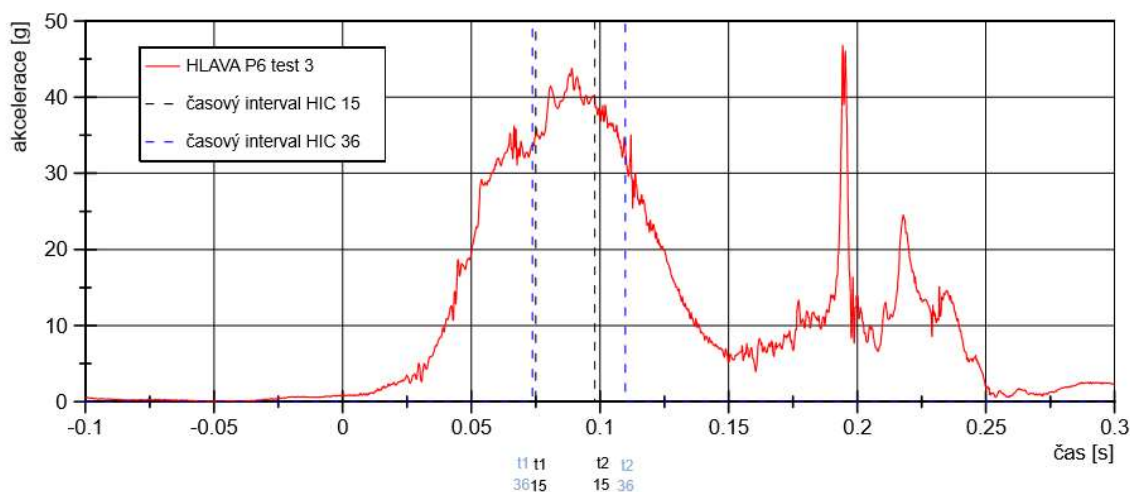


Obr. 46: Připoutání figuríny P6 – test 3

Při tomto testu byl zaznamenán jak primární tak sekundární náraz figuríny (viz obr. 48). Během primárního nárazu torza do bezpečnostního pásu bylo naměřeno maximální zpomalení hlavy 43 g. Hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 40,9 g a hodnota HIC_{15} na 158. Při dosažení této hodnoty HIC_{15} je pravděpodobnost vzniku závažných poranění hlavy minimální. Při sekundárním nárazu hlavy do DZS bylo zatížení méně výrazné. Ačkoliv maximální naměřená hodnota zpomalení byla vyšší, hodnota 3ms kritéria je v porovnání s primárním nárazem nízká (viz tab. 21). Stejně tak hodnota HIC_{15} , podle které by sekundární náraz nebyl příčinou vzniku žádných závažných poranění. Na rozdíl od předchozích dvou testů nedošlo v tomto případě k přesažení maximální povolené vzdálenosti hlavy ve směru osy x. V nejvzdálenějším bodě se hlava nacházela 150 mm od limitu. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 47.



Obr. 47: Pohyb figuríny během nárazu – test 3

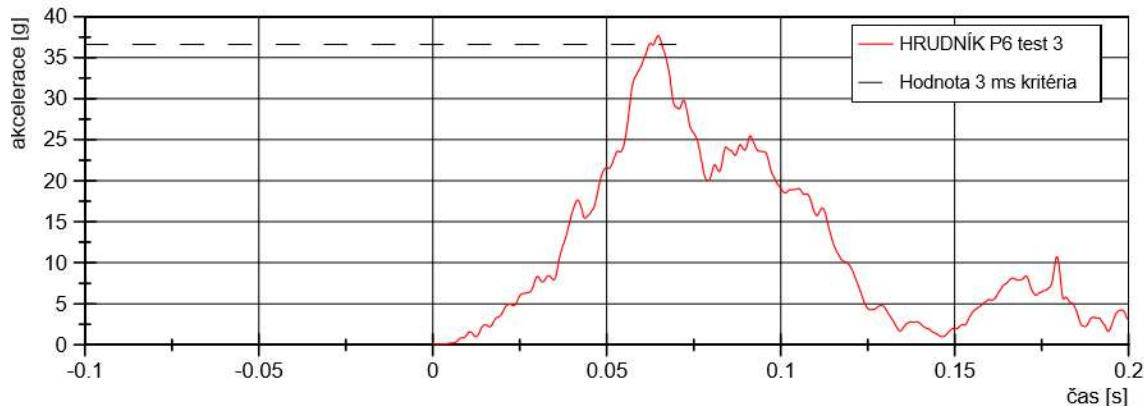


Obr. 48: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 3

Tab. 21: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	40,9 g	-	-	-	26,78 g	-	-	-
HIC ₁₅	158	3 %	0 %	0 %	29	0 %	0 %	0 %
HIC ₃₆	325	-	-	-	35	-	-	-

Z grafu zpomalení hrudníku jsou rovněž patrné dva extrémy, přičemž první je způsoben v důsledku primárního nárazu torza do bezpečnostního pásu (viz obr. 49). V hrudníku byla naměřena maximální hodnota zpomalení 37,6 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 36,6 g. Tato hodnota nepřekračuje limit EHK 44, nicméně by s 30 % pravděpodobností byla příčinou vzniku poranění závažnosti AIS 3+. Rovněž je zde patrný slabší sekundární náraz, při němž byla naměřena maximální hodnota 10,8 g a stanovena hodnota 3ms kritéria 7,8 g (viz tab. 22).



Obr. 49: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 3

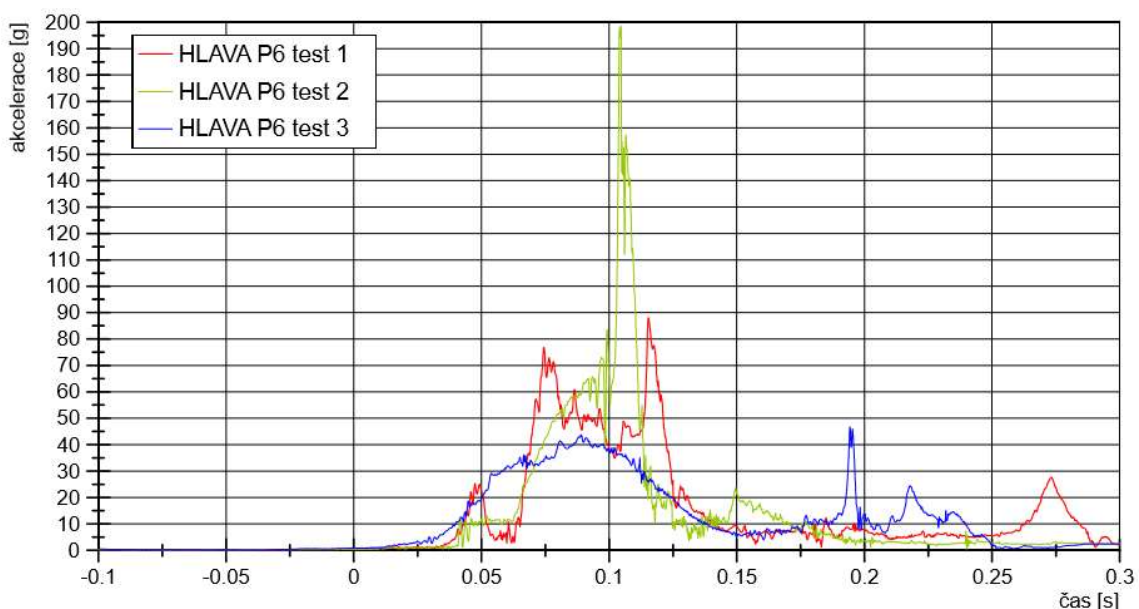
Tab.22: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	36,6 g	30 %	12 %	0 %	7,8 g	7 %	2 %	0 %

5.1.3.4 Shrnutí výsledků experimentu

Při prvním testu, kdy byly zkoumány následky povolení bederní části bezpečnostního pásu, byla v porovnání s bezchybným připoutáním zjištěna téměř trojnásobná hodnota HIC_{15} . Vlivem této chyby by došlo k 16 % nárůstu pravděpodobnosti vzniku závažných poranění. Porovnání průběhu zpomalení hlavy je zobrazeno na obrázku 50. Nejrizikovější hodnota HIC_{15} byla stanovena v případě druhého testu tedy při vedení diagonální části pásu v podpaží figuríny. Náraz hlavy do tibie byl příčinou zatížení odpovídajícím 83 % pravděpodobnosti úmrtí. Zatížení bylo v tomto případě dle hodnoty HIC_{15} téměř 11 x vyšší než při třetím testu, kdy byla figurína připoutána bezchybně a pravděpodobnost závažných poranění hlavy byla minimální (viz tab. 23).

Ve všech případech byly nejvyšší hodnoty zatížení hlavy zaznamenány při nárazu torza figuríny do bezpečnostního pásu. Sekundární náraz hlavy do DZS byl zaznamenán pouze při prvním a třetím testu, v obou případech bylo však zatížení minimální a nevedlo by k závažným poraněním. V obou případech, kdy byla simulována chyba došlo k přesažení maximální povolené vzdálenosti hlavy ve směru osy x, které by v reálném vozidle mohlo vést ke kontaktu hlavy s částí interiéru [6] a vážnějším zdravotním následkům.

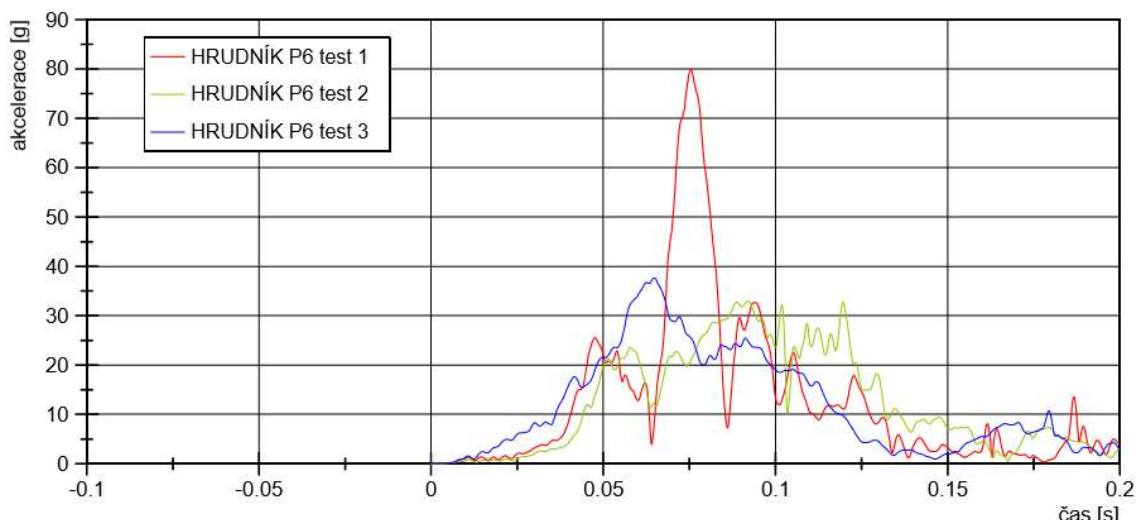


Obr. 50: Porovnání výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 mezi jednotlivými testy experimentu 2

Tab. 23: Porovnání hodnot biomechanických kritérií HIC a 3ms a pravděpodobností vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ		
	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 1	TEST 2	TEST 3
3ms	76,26 g	112 g	40,9 g	24,69 g	-	26,78 g
HIC ₁₅	423	1714	158	27	-	29
HIC ₃₆	705	1832	325	27	-	35
AIS 3+	19 %	100 %	3 %	0 %	-	0 %

V oblasti hrudníku byly nejrizikovější hodnoty naměřeny při prvním testu (viz obr. 51). Dle stanovených hodnot 3ms kritéria (viz tab. 24) bylo zatížení při povolení bederní části pásu dvakrát vyšší než v případě bezchybného připoutání. Rozdíl v pravděpodobnostech vzniku poranění ohrožujících život by byl v tomto případě 48 %. Při druhém testu bylo naopak zatížení hrudníku dle tohoto kritéria nižší. Rozdíl je způsoben přenesením působení diagonální částí pásu do molitanové výplně břicha. V oblasti hrudníku bylo jeho působení minimální a k naměření nejvyšších hodnot došlo až při nárazu torza do femuru.



Obr. 51: Porovnání výsledného zpomalení hrudníku P6 mezi jednotlivými testy experimentu 2

Tab. 24: Porovnání hodnot biomechanického kritéria 3ms a pravděpodobností vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ		
	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 1	TEST 2	TEST 3
3ms	75,4 g	32,5 g	36,6 g	-	-	-
AIS 3+	83 %	25 %	30 %	-	-	-

Během tohoto experimentu bylo prokázáno, že obě simulované chyby v případě nárazu výrazně zvyšují míru zdravotních následků. V důsledku povolení bederní části pásu vzniká oproti bezchybnému připoutání výrazné navýšení rizika života ohrožujících poranění v oblasti

hrudníku. Druhá simulovaná chyba byla naopak příčinou silného zatížení hlavy, které by v tomto případě vedlo s vysokou pravděpodobností k úmrtí. Při referenčním testu je v oblasti hlavy riziko vzniku vážných poranění minimální a život ohrožujících poranění nulové. Ačkoliv při druhém testu došlo k naměření nejpříznivější hodnoty zatížení v oblasti hrudníku, vzhledem k hodnotám kritérií v oblasti hlavy je tento fakt irelevantní.

Ačkoliv je z videozáznamů patrné velké působení bezpečnostního pásu v oblasti měkkých tkání u všech tří testů, v žádném případě nebyl zaznamenán otisk pásu v modelování hmotě za výplně břicha. Tento fakt je pravděpodobně způsoben konstrukcí pánevní oblasti a hrudníku figuríny v kombinaci s nepříznivým umístěním modelovací hmoty. I v případě výrazného působení pásu v oblasti výplně břicha, dojde k zapření o tuhé části konstrukce figuríny, čímž je zamezeno otisku do modelovací hmoty. Proto systém indikace možných poranění v této oblasti dle parametrů předpisu EHK 44 nevykazuje dobrou prediktivní schopnost.

5.1.4 Experiment 3

V rámci třetího experimentu byly zkoumány neintegrální DZS skupiny II-III bez zádové opěrky – podsedačky. Nejčastějším problémem těchto zádržných systémů bylo dle průzkumu vedení diagonální části pásu přes krk pasažéra a špatné nastavení hlavové opěrky sedadla. V daných laboratorních podmínkách však není možné vliv těchto chyb ověřit. Zkušební sedadlo není vybaveno hlavovou opěrkou a instrumentace figuríny neumožňuje prokázat míru zatížení měkkých tkání krku v případě chybného vedení diagonální části pásu. Proto byla testována třetí nejčastěji pozorovaná chyba: vedení bederní části pásu mimo kotevní úchyty DZS. Rovněž tak bylo simulováno použití tohoto typu DZS, který kotevními úchyty není opatřen. V rámci experimentu byla stejně jako v předchozích případech provedena referenční zkouška pro porovnání chybného a bezchybného připoutání. Pro experiment byla použita figurína a zádržný systém uvedené v tabulce 25. Doplnující fotodokumentace a grafy jsou uvedeny v příloze 9.

Tab. 25: Konfigurace experimentu 3

Figurína P6		Dětský zádržný systém	
Hmotnost	22 kg	Leaman Japan LGD - 711	
Výška	117 cm	Hmotnostní skupina	15-36 kg
Instrumentace figuríny		Kategorie	univerzální
Hlava	3osý akcelerometr	Třída	neintegrální
Hrudník	3osý akcelerometr	Směr instalace	Ve směru jízdy

5.1.4.1 Test 1

Během prvního testu byla bederní část bezpečnostního pásu vedena nad kotevními úchyty. V důsledku toho byla jeho bederní část v kontaktu s figurínou v oblasti břicha nikoliv v oblasti pánevní kosti. To rovněž způsobilo změnu pozice spony pásu, což ovlivnilo vedení diagonální části, která byla přes klíční kost vedena dle doporučení, ale nevhodně v oblasti žeber (viz obr. 52).

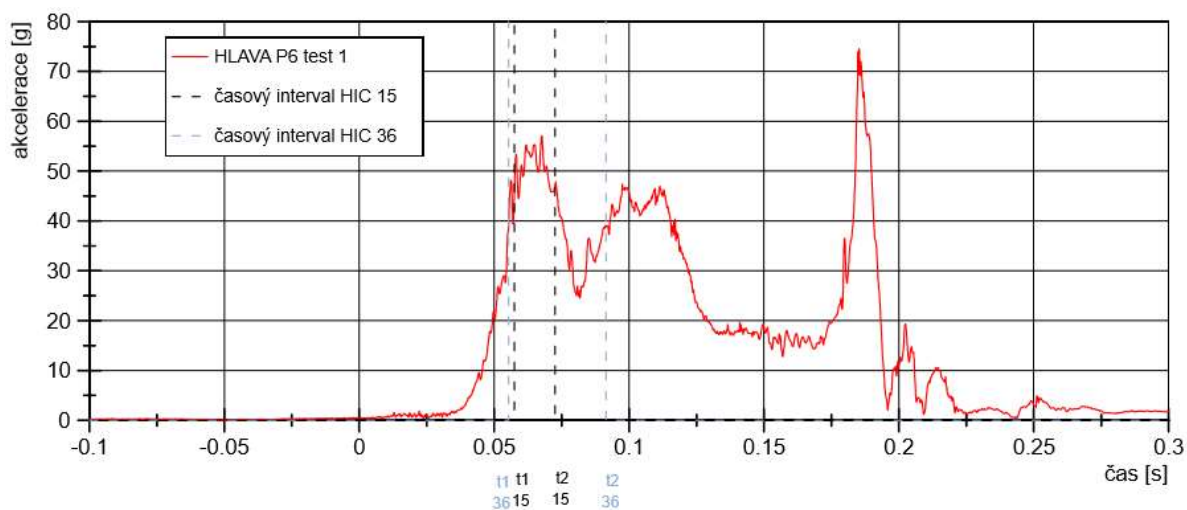


Obr. 52: Chybné vedení bezpečnostního pásu – test 1

Z grafu výsledného zpomalení hlavy je patrné členění primárního zatížení (viz obr. 54). Při nárazu torza figuríny do bezpečnostního pásu byla naměřena maximální hodnota zpomalení 56,7 g, přičemž byla stanovena hodnota 3ms kritéria na 52,7 g. Výsledná hodnota HIC_{15} byla spočtena na 277, což představuje 8 % pravděpodobnost vzniku poranění závažnosti AIS 3+. Během primárního děje však došlo k prokluzu podsedačky, což mělo za následek pohyb figuríny ve směru osy z a opětovné zatížení hlavy. Hodnota HIC_{15} stanovená při tomto ději byla 195, což vypovídá o 4 % pravděpodobnosti vzniku vážných poranění. V důsledku prokluzu podsedačky došlo rovněž k odrazu figuríny a sekundárnímu nárazu hlavy do zkušebního sedadla. Při tomto ději byla naměřena maximální hodnota zpomalení 75,6 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 61,5 g a vypovídá o vyšším zatížení hlavy než při primárním nárazu. Naopak dle hodnot HIC_{15} je celkové zatížení hlavy při sekundárním nárazu menší a stejně tak pravděpodobnost vzniku závažných poranění. Žádné kritérium nepřesahuje stanovené limitní hodnoty. Během testu nebylo zaznamenáno přesažení maximální povolené vzdálenosti hlavy ve směru osy x. V nejvzdálenějším bodě se hlava nacházela 212 mm od limitu. Pohyb figuríny během dynamické zkoušky je znázorněn na obrázku 53.



Obr. 53: Pohyb figuríny během nárazu – test 1



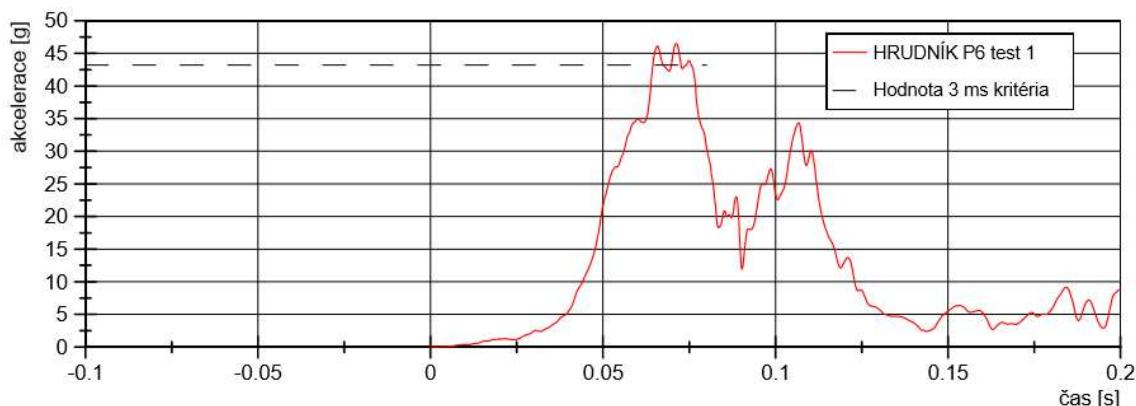
Obr. 54: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 1

Tab. 26: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	52,7 g	-	-	-	61,5 g	-	-	-
HIC ₁₅	277	8 %	2 %	0 %	211	5 %	1 %	0 %
HIC ₃₆	401	-	-	-	211	-	-	-

V oblasti hrudníku je během primárního nárazu opět patrné dvojí zatížení (viz obr. 55). K naměření nejvyšší hodnoty zpomalení 46,5 g došlo při nárazu torza figuríny do bezpečnostního pásu, přičemž byla stanovena hodnota 3ms kritéria 45,5 g (viz tab. 27). Tato hodnota nepřesahuje limit EHK 44, nicméně odpovídá 43 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+. Při prokluzu podsedáku bylo podobně jako u hlavy zatížení hrudníku nižší. Při tomto ději bylo naměřeno maximální zpomalení 34,3 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 31,3 g. V případě druhého zatížení odpovídá hodnota kritéria 7 % pravděpodobnosti AIS 3+. V oblasti hrudníku byl zaznamenán jen mírný sekundární náraz

(viz tab. 27). Rovněž nedošlo k zaznamenání viditelného otisku pásu v modelovací hmotě indukující průnik do měkkých tkání.



Obr. 55: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 1

Tab. 27: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	45,5 g	43 %	19 %	0 %	8 g	7 %	2 %	0 %

5.1.4.2 Test 2

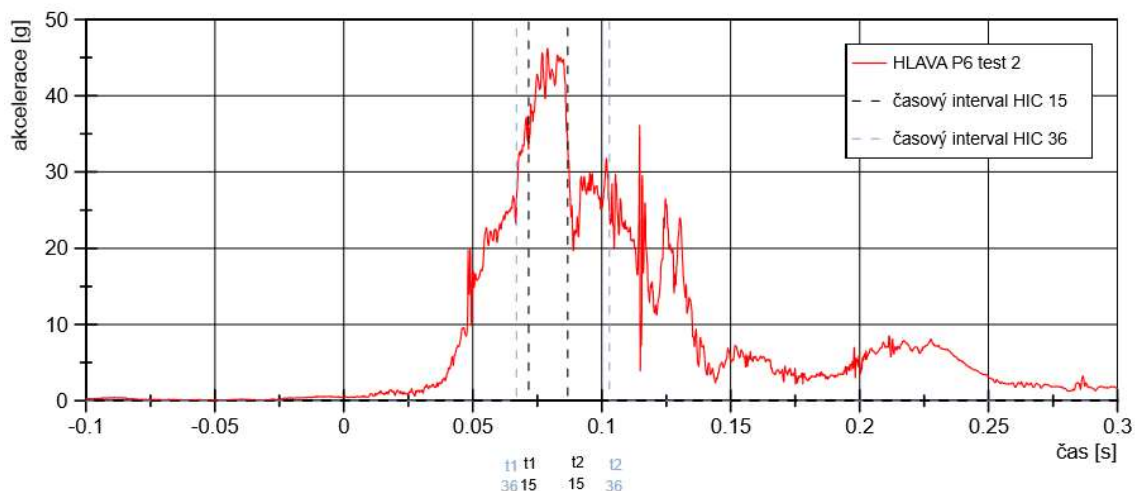
Druhý test byl proveden jako referenční k porovnání chybného a bezchybného připoutání. Figurína byla usazena dle doporučení uvedených v návodu (viz obr. 56).



Obr. 56: Usazení figuríny P6 – test 2

V průběhu testu byl v grafu zpomalení hlavy zaznamenán pouze primární náraz (viz obr 57). Nejvyšší hodnota zpomalení 46,2 g byla naměřena při nárazu torza figuríny do bezpečnostního pásu, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 43,67 g (viz tab. 28). Hodnota kritéria HIC₁₅ byla spočtena na 169, což odpovídá jen minimální pravděpodobnosti vzniku vážných

poranění. Stejně jako u předchozího testu nedošlo k přesažení maximální vzdálenosti hlavy ve směru osy x. V nejvzdálenějším bodě se hlava nacházela 129 mm od limitu.

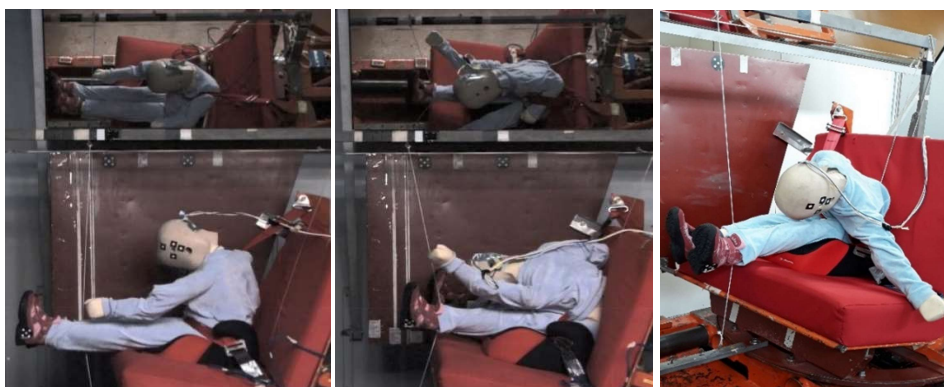


Obr. 57: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 2

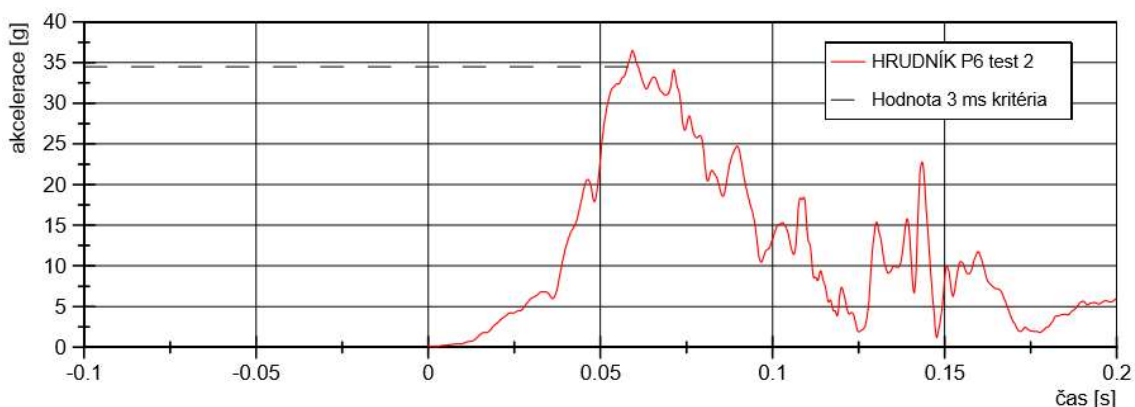
Tab. 28: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	43,67 g	-	-	-	-	-	-	-
HIC ₁₅	169	3 %	1 %	0 %	-	-	-	-
HIC ₃₆	242	-	-	-	-	-	-	-

V oblasti hrudníku je rovněž patrný pouze primární náraz (viz obr. 59). Nejvyšší hodnota zpomalení 36,5 g byla stejně jako v předchozím případě naměřena při nárazu torza do bezpečnostního pásu. Hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 34,7 g, což odpovídá 28 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ (viz tab.29). Na rozdíl od předchozího testu došlo v důsledku primárního nárazu ke skluzu diagonální části pásu z požadované pozice a většímu působení v oblasti břicha (viz obr. 58). Viditelný otisk pásu v modelovací hmotě indikující průnik do měkkých tkání však nebyl zaznamenán ani v tomto případě.



Obr. 58: Pohyb figuríny během nárazu (vlevo) a konečná pozice figuríny po testu (vpravo)



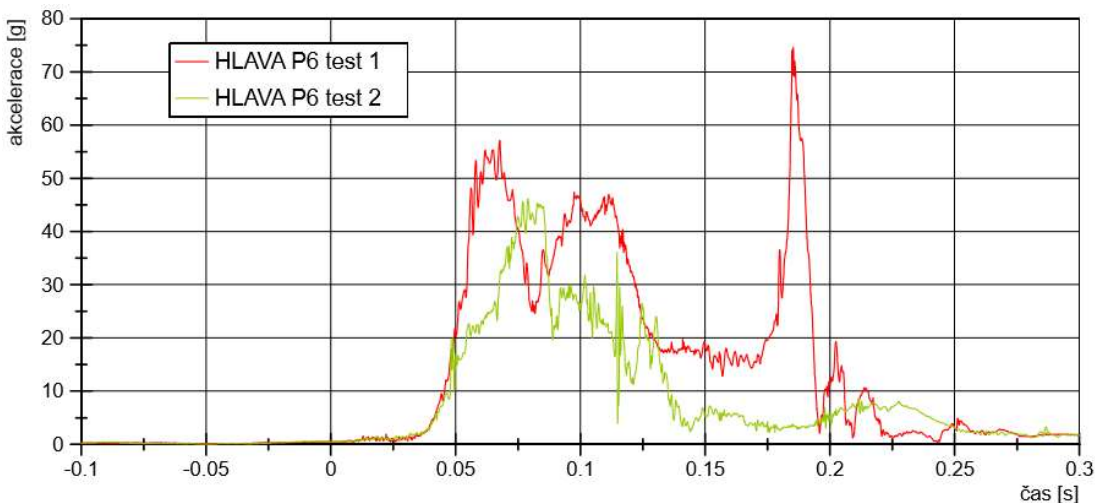
Obr. 59: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 2

Tab. 29: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	34,7 g	28 %	10 %	0 %	-	-	-	-

5.1.4.3 Shrnutí výsledků experimentu

Při třetím experimentu nebyly v oblasti hlavy naměřeny hodnoty zpomalení indikující vysokou pravděpodobnost života ohrožujících poranění. Rozdíl v zatížení hlavy při chybném a bezchybném připoutání je však patrný (viz obr. 60). Při prvním testu dochází k bodovému zatížení ve třech po sobě jdoucích intervalech, přičemž byly stanoveny velmi podobné hodnoty biomechanických kritérií (viz tab.30). Průběh zpomalení hlavy při druhém testu je stabilnější. Patrné je jen jedno bodové zatížení, při kterém byla stanovena hodnota HIC_{15} 1,6 x nižší než při prvním testu. Chyba simulovaná při prvním testu byla navíc příčinou sekundárního nárazu hlavy do zkušebního sedadla, k němuž v případě správného připoutání nedošlo.

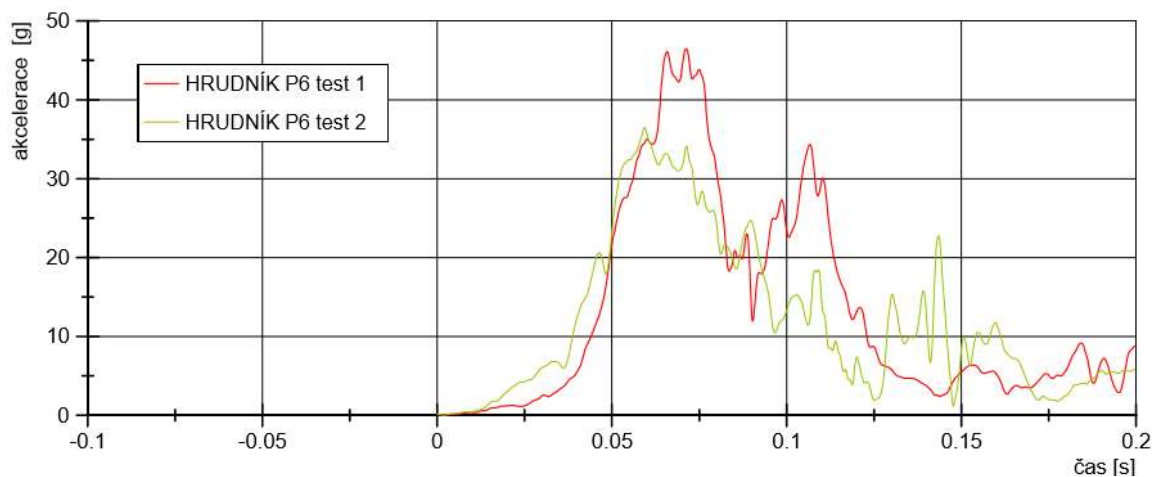


Obr. 60: Porovnání výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 mezi jednotlivými testy experimentu 3

Tab. 30: Porovnání hodnot biomechanických kritérií HIC a 3ms a pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 3

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ	
	TEST 1		TEST 2	TEST 1	TEST 2
	1. zatížení	2. zatížení			
3ms	52,7 g	44,9 g	43,67 g	61,5 g	-
HIC ₁₅	277	195	169	211	-
HIC ₃₆	401	383	242	211	-
AIS 3+	8 %	4 %	3 %	5 %	-

V oblasti hrudníku rovněž dochází k rozdílnému průběhu zpomalení (viz obr. 61). V případě prvního testu je stejně jako u hlavy zřetelné působení dvojího bodového zatížení při primárním nárazu, které je způsobené prokluzem podsedačky. Při bezchybném připoutání je průběh zatížení hrudníku opět stabilnější a je patrný jen jeden extrém. Během experimentu nebyly zaznamenány nadlimitní hodnoty 3ms kritéria. V případě chybného připoutání však pravděpodobnost vážných poranění narůstá o 15 % a pravděpodobnost života ohrožujících poranění o 9 % (viz tab. 31).



Obr. 61: Porovnání výsledného zpomalení hrudníku P6 mezi jednotlivými testy experimentu 3

Tab. 31: Porovnání hodnot biomechanického kritéria 3ms a pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 3

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ	
	TEST 1		TEST 2	TEST 1	TEST 2
	1. zatížení	2. zatížení			
3ms	43,2 g	31,3 g	34,5 g	-	-
AIS 3+	43 %	24 %	28 %	-	-

Z výsledků experimentu je zřejmé, že simulovaná chyba negativně ovlivňuje míru zatížení obou zkoumaných oblastí. Výrazné rozdíly mezi jednotlivými testy lze pozorovat především u hrudníku, kde dochází ke znatelnému nárůstu pravděpodobnosti závažných poranění. Zatížení hlavy nebylo dle hodnot HIC kritické, ale k jejich zaznamenání došlo v případě chybného vedení pásu opakovaně. Ačkoliv je tedy riziko při dílčích zatíženích

relativně nízké, s počtem opakování narůstá. Přestože při tomto experimentu nebyly překročeny žádné limity, pravděpodobnost závažných poranění je při chybném vedení bezpečnostního pásu vyšší a lze prokázat negativní vliv na zdravotní následky.

5.2 Dynamická zkouška v laboratoři TÜV SÜD

Ve zkušební laboratoři TÜV SÜD byla simulována chybná manipulace se zádržnými systémy skupiny 0+ a II-III za použití figurín P3/4 a P3. Testování proběhlo v rámci jedné dynamické zkoušky, kdy byly oba zádržné systémy instalovány na zadních sedadlech pancéřované karoserie ŠKODA Octavia 3. generace. Dynamická zkouška byla koncipována jako simulace čelního nárazu do deformovatelné bariéry s přesahem.

5.2.1 Zkušební zařízení

Dynamická zkouška byla provedena pomocí katapultu CSA Advanced společnosti INSTRON (viz obr. 62). Tento systém je založen na principu akcelerace, kdy je simulace nehodového děje provedena pomocí nárazu hydraulického pístu do pohyblivých saní. Dětský zádržný systém je v tomto případě instalován uvnitř zkušební vzorku, který je v podobě pancéřové karoserie s interiérem upevněn na saních. V případě simulace čelního nárazu do deformovatelné bariéry je celý vzorek natočen o několik stupňů kolem svislé osy, čímž je napodobeno chování vozidla při reálném provedení zkoušky tohoto mechanismu. Mezi samotným katapultem a saněmi je připojen tzv. pusher sled, který umožní přenos energie z hydraulického pístu do konstrukce. Píst je poháněn systémem pěti pneumatických akumulátorů s membránami, které jsou pod vysokým tlakem (max. 290 barů) naplněny olejem. Po dosažení nominální tlaku je kapalina vypuštěna skrz ventil s proměnlivým průtokem, který je regulován právě tímto systémem, čímž dochází k ovlivnění průběhu pulzu. Požadovaný pulz je zadáván do výpočtového softwaru, který je schopen při stanovení hmotnosti vzorku během několika iterací určit potřebnou sekvenci pohybů ventilu pro jeho dosažení. Simulace nehodového děje probíhá pouze po dobu kontaktu hydraulického pístu a pusher sledu. Ve zbylém čase je aktivován hydraulický brzdový systém.



Obr. 62: Katapult CSA Advanced (zdroj: fotodokumentace laboratoře TÜV SÜD)

5.2.2 Experiment 4

U obou zádržných systémů byla simulována kombinace nevhodného nastavení a chybného připoutání figuríny. V případě skupiny 0+ byly testovány nedotažené integrované pásy a sklopené madlo zádržného systému. U DZS skupiny II-III byl zkoumán vliv chybného nastavení hlavové opěrky a rovněž nedotažený bezpečnostní pás. Všechny simulované chyby byly v rámci dané skupiny DZS pozorovány minimálně v 50 % případů. Konfigurace experimentu je uvedena v tabulce 32. Doplňující fotodokumentace a grafy jsou uvedeny v příloze 11.

Tab. 32: Konfigurace experimentu 4

Simulace čelního nárazu do deformovatelné bariéry s přesahem, 56 km/h			
ZKUŠEBNÍ VZOREK			
Typ	Pancéřová karoserie ŠKODA Octavia 3. generace		
Zkušební hmotnost	2031 kg		
Natočení karoserie	8°		
Zádržné systémy	3- bodový bezpečnostní pás bez předepínače		
	POZICE 04¹³	POZICE 06¹⁴	
	DĚTSKÝ ZÁDRŽNÝ SYSTÉM		
Výrobce	Britax Römer	Britax Römer	
Typ	Kidfix XP	Baby Safe Plus	
Hmotnostní skupina	15-36 kg	0-13 kg	
Kategorie	Univerzální	Univerzální	
Třída	Neintegrální	Integrální	
Směr instalace	Ve směru jízdy	Proti směru jízdy	
ISOFIX	NE	NE	
	FIGURÍNA		
Typ	P3	P3/4	
Hmotnost	15 kg	8 kg	
Výška	98 cm	71 cm	
Instrumentace	Hlava	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)
	Hrudník	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)

¹³ Zadní sedadlo za sedadlem řidiče

¹⁴ Zadní sedadlo za sedadlem spolujezdce

Oba použité zádržné systémy jsou vybaveny systémem ISOFIX. V rámci průzkumu bylo použití tohoto systému u obou hmotnostních skupin minimální, z toho důvodu nebyl pro instalaci použit.

Experiment byl vyhodnocen na základě videozáznamů z vysokorychlostních kamer (viz příloha 15) a naměřených dat, která byla následně zpracována v softwaru DIAdem (filtrace dle předpisu SAE J211 [36], frekvenční třídy viz příloha 5). Závažnost zatížení jednotlivých částí figuríny byla stejně jako u předchozích experimentů posuzována na základě biomechanických kritérií a odpovídajících křivek rizika poranění uvedených v příloze 4. Pro figurínu P3/4 neexistují křivky rizika poranění a rovněž nebyly stanoveny limity biomechanických kritérií. Vyhodnocení následků bylo tedy provedeno na základě dostupných křivek a limitů pro figurínu reprezentující 12měsíčního kojence. Tato figurína není v ČR k dispozici, z toho důvodu byl DZS skupiny 0+ testován za použití figuríny s nejvíce podobnými parametry. Pro experiment byla použita měřicí technika uvedená v příloze 10.

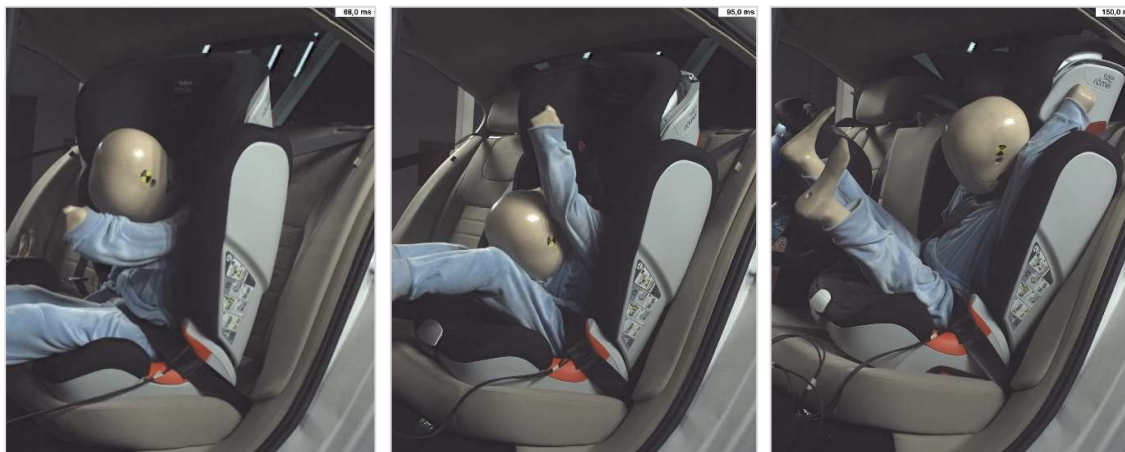
5.2.2.1 Test pozice 04

Na pozici 04 bylo simulováno usazení tříletého dítěte v nekompatibilním zádržném systému. DZS skupiny II-III je vybaven výškově nastavitelnou opěrkou hlavy. V případě správného připoutání je mezi opěrkou a rameny figuríny prostor na dva prsty. Chyba byla simulována záměrným nastavením opěrky do pozice odpovídající vyššímu jedinci (viz obr. 63). Bezpečnostní pás byl veden skrze kotevní úchyty, přičemž vedení diagonální části přes torzo figuríny bylo ovlivněno výškovým nastavením hlavové opěrky, což zároveň působí na míru volnosti pásu. Dále byl vynechán krok dotažení bezpečnostního pásu a mezi bederní částí a figurínou zůstal prostor cca 3 cm.



Obr. 63: Usazení figuríny P3 (zdroj: fotodokumentace laboratoře TÜV SÜD)

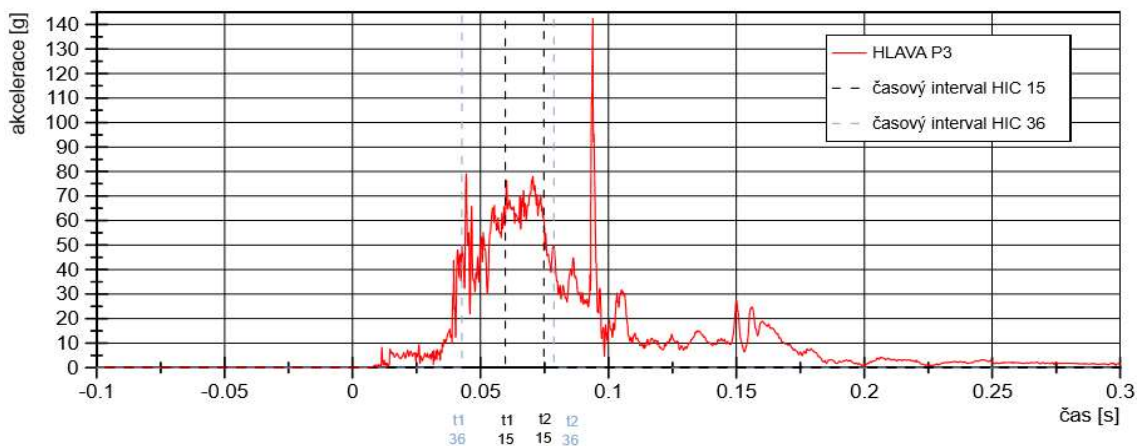
Jelikož pro tuto zkoušku nebylo možné získat referenční data pro porovnání chybného a bezchybného připoutání, byl dopad simulovaných chyb posuzován podle míry zatížení v konkrétních úsecích nárazového děje. Vliv nedotažení bezpečnostního pásu byl předpokládán při primárním nárazu, jelikož v důsledku volného prostoru dochází k větší volnosti pohybu figuríny a bylo očekáváno vysoké zatížení v obou zkoumaných oblastech. Naopak chybné nastavení hlavové opěrky by se mělo projevit při sekundárním nárazu nežádoucím kontaktem hlavy s bočnicemi (viz obr.64).



Obr. 64: Pohyb figuríny P3 během nárazu

Během testu došlo k největšímu zatížení hlavy při primárním nárazu torza figuríny do bezpečnostních pásů (viz obr. 65). Během tohoto děje bylo naměřeno maximální zrychlení hlavy 78,15 g a hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 66,4 g. Výsledná hodnota HIC₁₅ byla spočtena na 534, což odpovídá 49 % pravděpodobnosti vážných poranění hlavy, přičemž pravděpodobnost života ohrožujících poranění je 15 %. Během primárního nárazu došlo v 95. ms k nárazu hlavy do femuru, což zapříčinilo nárůst hodnot zpomalení na 142 g. Vysoké zatížení však působilo pod limit 3ms a na následky v oblasti hlavy by tudíž nemělo významný vliv. Hodnoty kritérií 3ms ani HIC₁₅ nepřesahují stanovené limity, překročení však bylo zaznamenáno u HIC₃₆. Dále byl pozorován sekundární náraz způsobený kontaktem hlavy s levou bočnicí zádržného systému. V důsledku tohoto děje však došlo jen k malému zatížení a podle stanovené hodnoty HIC₁₅ by tento náraz nebyl příčinou závažných poranění hlavy (viz tab. 33). Rovněž bylo z videozáznamu vyhodnocováno přesažení maximální vzdálenosti hlavy ve směru osy x, která byla stanovena na 450 mm od H-bodu¹⁵ 5 % figuríny. Onboard kamera snímající dětskou figurínu byla instalována, tak aby ohnisko objektivu odpovídalo požadované vzdálenosti. Tento limit nebyl během testu překročen.

¹⁵ Vztažený bod kyčelního kloubu, podle kterého jsou měřeny v prostředí vozidla kritické rozměry pro potřeby dynamických zkoušek.

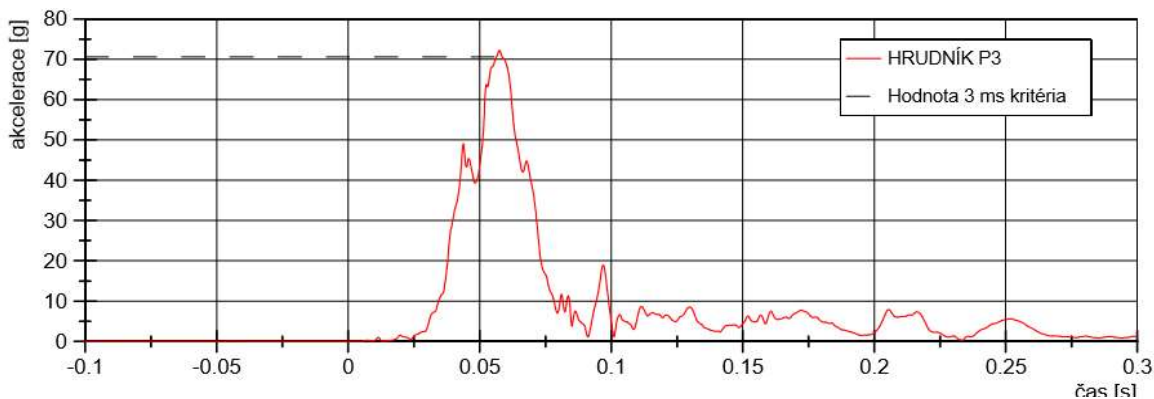


Obr. 65: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3

Tab. 33: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 04

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	66,4 g	-	-	-	16,8 g	-	-	-
HIC ₁₅	534	49 %	15 %	2 %	17	0 %	0 %	0 %
HIC ₃₆	870	-	-	-	26	-	-	-

Z grafu zpomalení hrudníku je patrné, že k největšímu zatížení došlo stejně jako u hlavy při nárazu figuríny do bezpečnostních pásů (viz obr. 66). Při tomto ději byla naměřená maximální hodnota zpomalení 72,1 g a stanovená hodnota 3ms kritéria 70,25 g. Tak vysoké zatížení by u tříletého dítěte bylo s 62 % pravděpodobností příčinou života ohrožujících poranění (viz tab. 34). V grafu zpomalení hrudníku je rovněž zřetelný náraz torza do femuru. Zatížení bylo však v tomto případě minimální a nebylo by příčinou vážných následků. Sekundární náraz hrudníku není patrný. Rovněž nebyl zaznamenán otisk bezpečnostního pásu v modelovací hmotě za molitanovou výplň břicha. V tomto případě nebyl očekáván výrazný průnik do oblasti měkkých tkání, jelikož bederní část pásu byla vedena dle doporučení a k jejímu působení došlo v oblasti pánve.



Obr. 66: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3

Tab. 34: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 04

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	70,25 g	84 %	62 %	2 %	-			

Během primárního nárazu bylo potvrzeno vysoké zatížení jak v oblasti hlavy tak hrudníku, které by s vysokou pravděpodobností způsobilo závažná poranění. K těmto následkům by mohlo dojít v důsledku simulovaných chyb, bez referenčních dat však nelze s jistotou potvrdit, že se jednalo o jedinou příčinu nadměrného zatížení. Dopad na výsledky testu může mít druh bezpečnostního pásu, který byl v tomto případě vybaven pouze omezovačem síly. Při použití předepínače by mohlo být výsledné zatížení v obou oblastech nižší, jelikož by při nárazu došlo k dotažení bezpečnostního pásu.

Vliv simulovaných chyb lze prokázat v případě druhotných nárazů. Míra volnosti pohybu figuríny byla příčinou nárazu hlavy a hrudníku do femuru a chybné nastavení hlavové opěrky vedlo k úderu hlavy o bočnici. Žádný z těchto jevů by při nárazu nevedl k závažným poraněním, nicméně při správné manipulaci s DZS by k jejich vzniku nedošlo.

5.2.2.2 Test pozice 06

Na pozici 06 bylo testováno usazení 9měsíčního kojence v DZS skupiny 0+. Instalace byla provedena pomocí tříbodového bezpečnostního pásu, který byl veden kotevními úchyty dle návodu. Použitý zádržný systém disponuje madlem, které je v případě správné manipulace nastaveno do cestovní (vzpřímené) polohy. Během testu bylo toto madlo záměrně sklopeno. Dále by zkoumán vliv nedotažení integrovaných bezpečnostních pásů DZS. Míra povolení byla zvolena na základě případů pozorovaných při průzkumu tak, aby mezi pásy a torzem figuríny vznikl prostor více než na dlaň cca 5,5 cm (viz obr. 67).



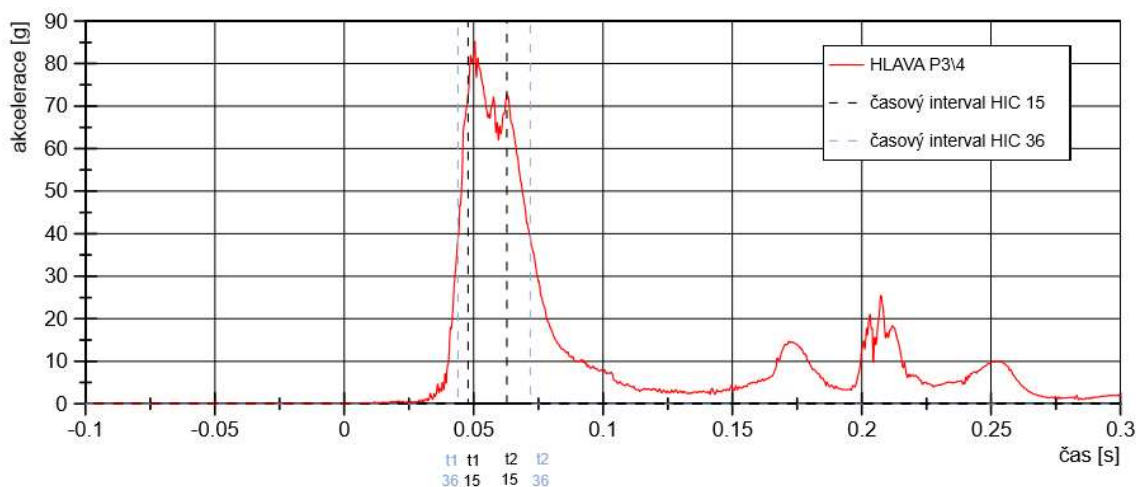
Obr. 67: Usazení figuríny P3/4 (zdroj: fotodokumentace laboratoře TÜV SÜD)

Na rozdíl od předchozích testů nebyl dopad simulovaných chyb očekáván již při primárním ději, kdy je DZS zadržen bezpečnostními pásy vozidla. Při instalaci proti směru jízdy plní madlo a integrované pásy svou funkci až při zpětném pohybu systému. Při tomto ději byl předpokládán náraz figuríny do sedadla v důsledku absence působení madla a náraz figuríny do integrovaných bezpečnostních pásů.

Z grafu zpomalení hlavy jsou patrné dva extrémy odpovídající primárnímu a sekundárnímu nárazu (viz obr. 69). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny při primárním nárazu, kdy došlo k podepření figuríny skořepinou DZS, která byla zadržena bezpečnostními pásy vozidla. Důsledkem interakce všech tří prvků bylo působení maximálního zpomalení 85,2 g. Výsledná hodnota HIC_{15} byla spočtena na 671. Tak vysoké hodnoty by u 12měsíčního kojence s vysokou pravděpodobností způsobily život ohrožující poranění (viz tab. 35). Sekundární náraz hlavy byl způsobený v důsledku zpětného pohybu, který vedl k rotaci DZS. Díky absenci působení madla byl zádržný systém otočen o více než 90° a došlo k úderu hlavy do opěradla a loketní opěry. Při tomto ději došlo k naměření maximálního zpomalení 25,3 g, přičemž stanovená hodnota 3ms kritéria odpovídá 16,7 g. Dle hodnoty HIC_{15} 18 by však sekundární náraz nebyl příčinou vzniku žádných závažných poranění. Pohyb figuríny během nárazové zkoušky je zobrazen na obrázku 68.



Obr. 68: Pohyb figuríny P3/4 během nárazu

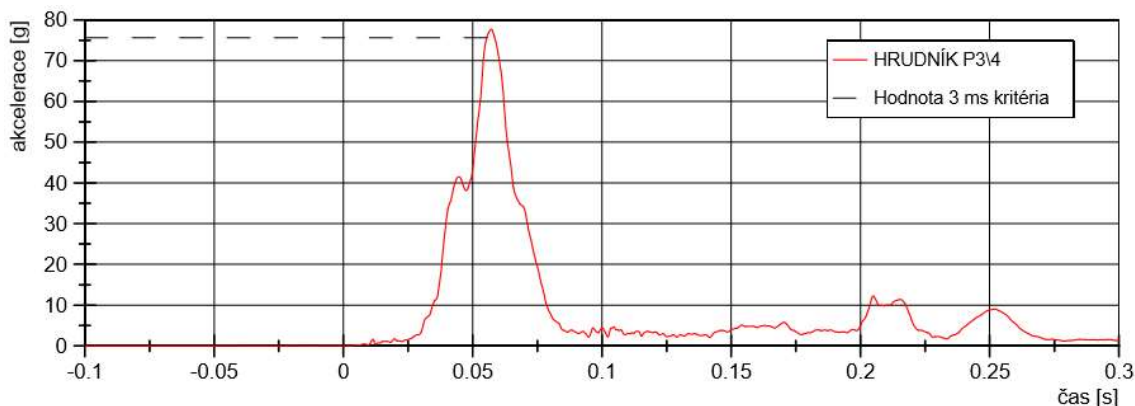


Obr. 69: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3/4

Tab. 35: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 06

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ			SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ				
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	76,8	-	-	-	16,7 g	-	-	-
HIC ₁₅	671	95 %	74 %	36 %	18	0 %	0 %	0 %
HIC ₃₆	955	-	-	-	19	-	-	-

Z grafu zpomalení hrudníku je zřejmé, že k největšímu zatížení došlo rovněž při primárním nárazu (viz obr. 70). Při tomto ději byla naměřena maximální hodnota zpomalení 77,4 g a stanovena hodnota 3ms kritéria 75,67 g. Takové zatížení v oblasti hrudníku by pro 12měsíčního kojence znamenalo 80 % pravděpodobnost vzniku poranění ohrožujících života (viz tab. 36). Rovněž je patrné i sekundární zpomalení hrudníku k němuž došlo při rotaci DZS v důsledku nárazu torza do integrovaných bezpečnostních pásů. Při tomto ději došlo k naměření maximálního zpomalení 12,5 g a stanovení hodnoty 3ms kritéria 11,4 g. Tyto hodnoty odpovídají 9 % pravděpodobnosti vážných poranění.



Obr. 70: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3/4

Tab.36: Stanovené hodnoty biomechanického kritéria 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 06

KRITÉRIUM	PRIMÁRNÍ NÁRAZ				SEKUNDÁRNÍ NÁRAZ			
	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+	HODNOTA	AIS 3+	AIS 4+	AIS 5+
3ms	75,67 g	93 %	80 %	6 %	11,4 g	9 %	3 %	0 %

Významné zatížení způsobené v oblasti hlavy i hrudníku by v tomto případě vedlo s vysokou pravděpodobností k život ohrožujícím poraněním. Následky při primárním nárazu však nejsou způsobeny v důsledku simulovaných chyb. Vliv má v tomto případě typ použitého DZS, způsob jeho instalace a druh zádržného systému vozidla. Bez provedení referenčního testu však nelze s jistotou určit jednoznačný důvod negativního výsledku.

Stejně jako u předchozího testu lze prokázat vliv simulovaných chyb na průběh nehodového děje u druhotných nárazů. Z grafů výsledného zpomalení hlavy a hrudníku je patrné, že během rotace DZS při zpětném pohybu došlo k nárazu torza do integrovaných pásů a dvojímu úderu hlavy o opěradlo a loketní opěru. Sekundární náraz hlavy by na zdravotní následky přepravovaného dítěte neměl dle křivek rizika poranění žádný vliv. V oblasti hrudníku je sekundární zatížení v porovnání s primárním nárazem výrazně menší, přesto však není riziko vážných poranění nulové. Významněji by se simulované chyby mohly projevit v případě jiného mechanismu dopravní nehody.

5.2.2.3 Shrnutí výsledků experimentu

Během testu zádržného systému skupiny II-III došlo k potvrzení předpokladu vzniku nežádoucích jevů v důsledku simulovaných chyb. Kontakt hlavy s bočnicí hlavové opěrky DZS ani náraz do femuru by ovšem nebyl příčinou závažných poranění. V oblasti hlavy tudíž nebyl prokázán vliv chyb na zdravotní následky. V oblasti hrudníku došlo dle předpokladů k zatížení, které by s vysokou pravděpodobností bylo příčinou vzniku závažných poranění. Tyto následky mohou být zapříčiněny povolením bederní části pásu, ale zároveň mohou být ovlivněny použitým druhem zádržného systému vozidla. K jednoznačnému prokázání vlivu simulovaných chyb by bylo zapotřebí referenčních dat, které v rámci experimentu nebylo možné získat. Naměřené hodnoty bylo možné porovnat pouze s daty podobného testu DZS s integrovanými pásy, při kterém bylo naměřeno o 28 g nižší zatížení hrudníku figuríny P3. V případě správného použití DZS s integrovanými pásy by oproti tomuto testu u tříletého dítěte klesla pravděpodobnost vzniku život ohrožujících poranění o 40 %.

Při testování DZS skupiny 0+ rovněž došlo ke vzniku nežádoucího zatížení v důsledku simulovaných chyb. Dle předpokladu byl při zpětném pohybu systému zaznamenán jak kontakt hlavy se sedadlem vozidla, tak náraz hrudníku do integrovaných pásů. Hodnoty

biomechanických kritérií však ukazují, že žádná z testovaných chyb nepředstavovala vysoké riziko vzniku závažných následků. Vysoká pravděpodobnost života ohrožujících poranění byla naopak zaznamenána během primárního nárazu, a to v oblasti hlavy i hrudníku. Vysoké zatížení však není způsobeno v důsledku simulovaných chyb, jelikož v tomto časovém intervalu nedochází k působení integrovaných pásů ani madla. Naměřené hodnoty bylo možné porovnat s testem, kdy byl totožný DZS instalován pomocí systému ISOFIX. Zatížení je v tomto případě o 35 g nižší v oblasti hlavy a o 40 g nižší v oblasti hrudníku, čímž klesá v obou oblastech pravděpodobnost závažných poranění o více než 50 %. Z těchto dat vyplývá, že vysoké hodnoty zatížení jsou ovlivněny právě způsobem instalace DZS.

5.3 Zhodnocení metodiky

Figuríny a instrumentace, které byly použity pro nedestruktivní dynamické zkoušky byly vyhodnoceny jako dostatečné, jelikož během jednotlivých testů se působení chyb výrazně projevilo vždy nejméně v jedné z měřených oblastí. Při prvních třech experimentech bylo možné prokázat vliv simulovaných chyb díky porovnání s referenčními zkouškami. Referenční zkouška byla velmi podstatnou součástí především prvního experimentu, kdy bylo zkoumáno působení povolených integrovaných pásů. Výsledky v tomto případě poukazují na potřebu dalšího testování, jelikož u jedné simulované chyby došlo k menšímu zatížení než u testu s doporučenou mírou dotažení. S ohledem na možnost závažných poranění v případě příliš volných bezpečnostních pásů, není vhodné navrhopvat úpravu stávajících doporučení bez dalšího zkoumání.

U čtvrtého experimentu nebylo možné metodu referenční zkoušky využít, z toho důvodu byly vybrány chyby, u nichž bylo očekáváno působení v konkrétních úsecích dynamického děje. V případě prvního testu se však absence referenčních dat prokázala jako rozhodující a vliv chyby nebyl stanoven s uspokojivou přesností. Pro druhý test byla zvolená metoda dostačující. Během tohoto testu se vliv simulovaných chyb projevil, ale nebyl vyhodnocen jako výrazné riziko vzniku závažných poranění. Chyby byly testovány jen při simulaci čelního nárazu, proto bez zkoumání dalších mechanismů dopravní nehody není úprava stávajících doporučení vhodná.

Během experimentů byla zaznamenána další potenciální rizika simulovaných chyb. Z videozáznamů je patrné, že u řady testů došlo k vysokému zatížení břicha a krční páteře, které však nebylo možné na použitých figurínách měřit. Způsob indikace průniku pásu do oblasti břicha u figurín série P neprojevil dobrou prediktivní schopnost. Proto by bylo zapotřebí pro zkoumání dalšího vlivu chyb použití figurín série Q, na nichž je možné měřit tlak působící

na dutinu břišní, zatížení krční páteře a pro které jsou stanoveny příslušné biomechanické limity.

Tato potřeba se projevila především při třetím experimentu, kdy nedošlo k naměření extrémně rizikových hodnot ve zkoumaných oblastech, přesto je z videozáznamu patrné riziko vážných následků. Především výrazný tlak pásu v oblasti břicha a zřetelné zatížení krční páteře při sekundárním nárazu hlavy do zkušebního sedadla při prvním testu. Působení chyb v oblasti krční páteře by se pravděpodobně projevilo během všech experimentů. Rozhodující vliv by případná zjištění mohla mít u testování DZS skupiny 0+, kde ve výsledku došlo k překlopení figuríny do svislé pozice. Jelikož figurína prezentuje 9měsíčního kojence, není vzhledem k anatomickým a fyziologickým specifikům tohoto věku možné, aby jeho krční páteř v této pozici udržela dané zatížení. Proto by simulované chyby bylo vhodné dále zkoumat za použití figurín Q0 a Q1, které disponují možností instrumentace v horní části krku a jsou pro ně stanovené biomechanické limity. Pro testování v rámci diplomové práce nebyly figuríny série Q využity z důvodu vysokých nákladů a špatné dostupnosti.

6 Crash test

Rizika dětských zádržných systémů lze ve velkém množství odhalit při nedestruktivních saňových zkouškách. Výhoda tohoto způsobu testování spočívá především v opakovatelnosti a nižších nákladech na jednotlivé testy, má však omezené možnosti napodobení skutečné dopravní nehody. Tomuto ději se lze nejlépe přiblížit při provedení reálné destruktivní nárazové zkoušky – crash testu.

V průběhu zpracování bakalářské práce byla upozorována možná rizika DZS skupiny I s bezpečnostním pultem. Tyto zádržné systémy byly schváleny dle předpisu EHK 44 a rovněž testovány v rámci spotřebitelských testů (např. ADAC, Stiftung warentest), kde byly hodnoceny jako velmi bezpečné [28]. Důvod k tak dobrému hodnocení může spočívat právě ve způsobu testování, které je prováděno při saňových zkouškách a zároveň je zkoumáno jen omezené množství biomechanických kritérií. Jedním z předpokládaných problémů těchto systémů je vyklouznutí dítěte z DZS v důsledku vyvrstvení zadní nápravy vozidla (tzv. pitching). U nedestruktivních saňových zkoušek k tomuto jevu nedochází a je možné pozorovat jej jen při reálném nárazu. Dalším předpokládaným problémem je velké stlačení hrudníku a břicha, které nebývá běžnou součástí hodnocení. Pro ověření těchto rizik byl proveden crash test v laboratoři ŠKODA Auto a.s. v Úhelnici.

6.1 Zkušební zařízení

Dynamická zkouška byla provedena dle předpisu EuroNCAP ODB – přesazený čelní náraz do deformovatelné bariéry s přesahem 40 % šířky vozidla. Pohon a směrové vedení zkušební vzorku bylo realizováno pomocí elektrické pohonné jednotky a lanového pohonu se systémem Messring Microtrack. Zařízení je poháněno střídavým třífázovým asynchronním elektromotorem o výkonu 132 kW a při 738 ot/min. Pro plynulý rozjezd a přesné dosažení požadované nárazové rychlosti vzorku je elektromotor napájen frekvenčním měničem, který umožňuje plynulou změnou frekvence a amplitudy napětí napájet budící vinutí, a tím ovládat otáčky motoru. Měnič je programován algoritmem řídicího softwaru, po zadání požadované nárazové rychlosti, zrychlení a dráhy, čímž je ovládán rozjezd vozidla v reálném čase. Celková rozjezdová dráha činí 80 m, přičemž je vozidlo urychlováno průměrným zrychlením 0,35 g prvních 72 m až na požadovanou rychlost 64 km/h. Posledních 8 m rozjezdové dráhy pokračuje vozidlo již konstantní rychlostí. Rychlost v okamžiku nárazu je měřena elektronickými stopkami s odrazovým infračerveným čidlem.

Směrové vedení vozidla je zajištěno pomocí tažného vozíku, ke kterému je zkušební vzorek symetricky připojen pomocí dvou ocelových přípravek připevněných k nápravnici (viz obr. 71).

Vozík je vybaven odpojovacím modulem a je veden v drážce v podlaze ve tvaru profilu T v níž je unášen pomocí lana v nekonečné smyčce. Nežádoucím vychýlení vozidla během rozjezdu je zamezeno uvedením lana do tahu, čímž je zajištěna přesnost nárazu. V momentě nárazu je však nutné, aby vozidlo narazilo vlastní energií bez vedení vnějších vlivů, k čemuž slouží zmíněný odpojovací modul. V místě odpojení je drážka opatřena ocelovým klínem se speciálním profilem, který v danou chvíli stlačí vačku přijíždějícího tažného vozíku. Tím dochází k uvolnění čepů, ke kterým jsou připojeny ocelové přípravky a vozidlo vlastní energií naráží do bariéry.

Deformační bariéra (viz obr. 72) je koncipována jako hliníkový voštinový blok s přesně definovanými parametry, který je umístěn na tuhý železobetonový blok ve vzdálenosti představující 10 % šířky vozidla od podélné osy drážky. Tím je zajištěn náraz s přesahem 40 % šířky vozidla. Přesnost nárazu je ovlivněna mnoha parametry včetně nastavení geometrie náprav zkušební vzorku, proto předpis umožňuje toleranci ± 20 mm v horizontální rovině a ± 25 mm v rovině vertikální. Konstrukce bariéry s voštinovým jádrem se vyznačuje velkou pevností v ose stlačení a celkovou konstantní tuhostí jednotlivých segmentů přípravku. Řízená deformace bloku je tak zajištěna skladbou elementů různé pevnosti, aby byly splněny všechny požadované parametry.



Obr. 71: Elektrická pohonná jednotka s lanovým pohonem se systémem Messring Microtrack [44]



Obr. 72: Deformovatelná bariéra (zdroj: fotodokumentace laboratoře ŠKODA AUTO)

6.2 Experiment č. 5

Na rozdíl od předchozích experimentů nebyly při testu zkoumány žádné chyby instalace ani připoutání, ale byl navržen pouze pro ověření rizik zádržných systémů s bezpečnostním pultem. DZS i zkušební figurína byly ve vozidle upoutány dle návodu výrobce [40] (viz obr. 73). Konfigurace testu je uvedena v tabulce 37.

Tab. 37: Konfigurace experimentu 5

Čelní náraz do deformovatelné bariéry s přesahem 40 %, 64 km/h EuroNCAP¹⁶		
ZKUŠEBNÍ VZOREK		
Typ	ŠKODA Octavia Combi 1,6 TDI Ambition	
Převodovka	6 stupňová manuál	
Zkušební zatížení	Přední náprava	870 kg
	Zadní náprava	643 kg
	Celkem	1513 kg
Zadržné systémy	3- bodový bezpečnostní pás bez předepínače	
Instrumentace	Tunel	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)
DĚTSKÝ ZÁDRŽNÝ SYSTÉM		
Výrobce	Cybex	
Typ	Juno 2-FIX	
Rok výroby	2017	
Hmotnostní skupina	9-18 kg	
Kategorie	Polo – univerzální	
Třída	Neintegrální	
Směr instalace	Ve směru jízdy	
ISOFIX	ANO	
FIGURÍNA		
Typ	Q3	
Hmotnost	14, 59 kg	
Výška	98,5 cm	
Instrumentace	Hlava	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)
	Krk	6kanálový snímač zatížení v horní části krku: 3 x síla (Fx, Fy, Fz), 3 x moment (Mx, My, Mz)
	Hrudník	3osý akcelerometr (Ax, Ay, Az)
		Senzor měření deformace hrudníku IR-TRACC (Dx)
Břicho	Dvoukomorový senzor tlaku APTS (P)	
Usazení	EuroNCAP	

¹⁶ Náraz představuje nejčastější mechanismus dopravní nehody, který vede k vážným, nebo smrtelným úrazům.



Obr. 73: Usazení figuríny Q3 (zdroj: fotodokumentace laboratoře ŠKODA AUTO)

Jelikož jedním z předpokladů bylo působení velkého tlaku v oblasti břicha a stlačení hrudníku způsobné pultem, bylo nezbytné použití figuríny série Q. Senzor tlaku v břiše APTS (viz 4.2.2) není běžnou instrumentací ani u figurín této série a musel být pro účely testování zapůjčen včetně speciálního břicha společností Kistler z laboratoře BAST Federal Highway Research Institute v Kolíně nad Rýnem.

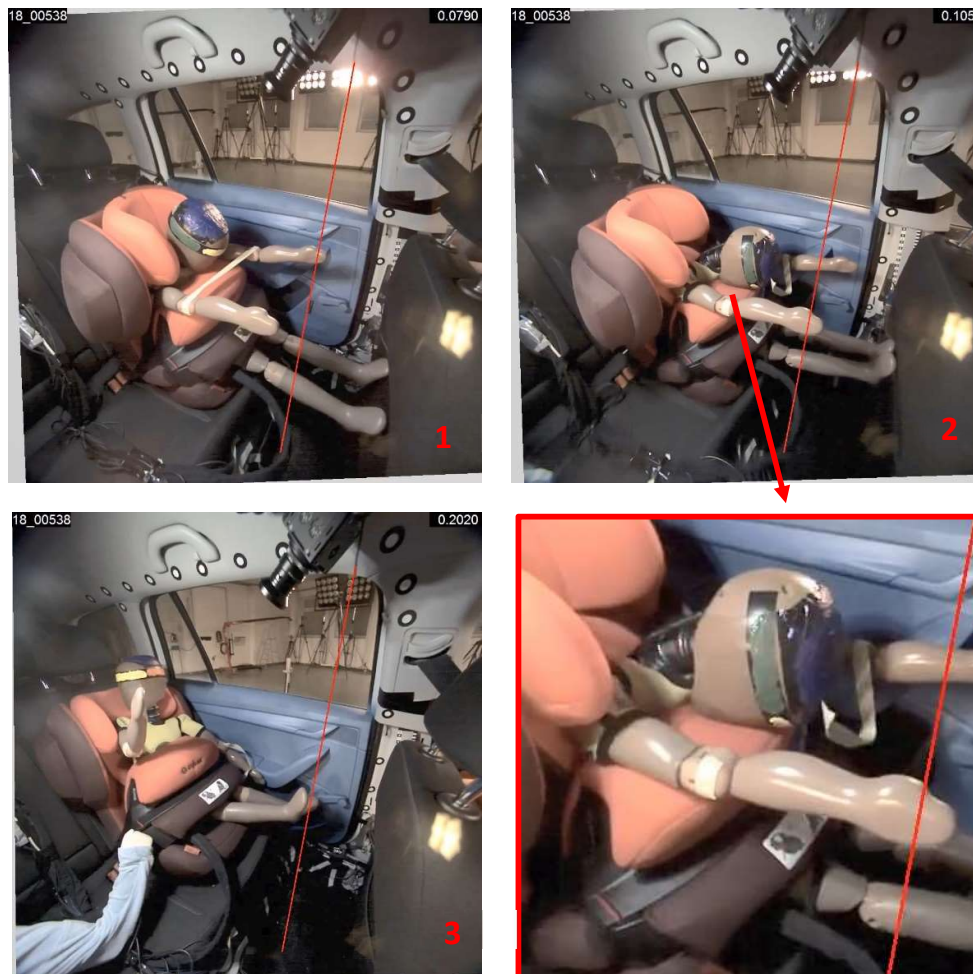
Pro vyhodnocení experimentu byly použity videozáznamy z vysokorychlostních kamer a data naměřená systémem KISTLER, která byla následně zpracovaná pomocí softwaru DIAdem. (filtrace dle [36], frekvenční třídy viz příloha 3). Z dat byla spočítána biomechanická kritéria pro jednotlivé části figuríny: hlavu, krk, hrudník a břicho. Posouzení závažnosti výsledných hodnot bylo provedeno na základě porovnání s limity stanovenými pro figurínu Q3 uváděnými EEVC (viz kapitola 4.3.). Pro zpomalení hlavy, stlačení hrudníku a tlak na dutinu břišní byla stanovena pravděpodobnost vzniku závažných poranění dle dostupných křivek rizika poranění pro figurínu Q3, které jsou uvedené v příloze 4. Pravděpodobnost poranění v oblasti krku byla určena dle křivek rizika pro kritérium Nij uvedené v příloze 5¹⁷. Dále bylo v rámci experimentu provedeno porovnání systému pultu se systémem integrovaných pásů. Hodnoty překračující limit jsou v následujících tabulkách vyznačeny červeně.

6.2.1 Vyhodnocení experimentu

Kamerový záznam ukázal, že po celou dobu nárazu setrvala dětská figurína Q3 v DZS a předpoklad vyklouznutí při zpětném rázu nebyl potvrzen (viz obr. 74). Rovněž bylo z videozáznamu vyhodnocováno přesažení maximální vzdálenosti hlavy ve směru osy x, která byla stanovena na 450 mm od H-bodu 5 % figuríny. Onboard kamera snímající dětskou

¹⁷ Křivky rizika poranění dle NHTSA uvedené v příloze 4 nebyly aplikovány z důvodu rozdílů mezi použitými figurínami. Výjimkou jsou křivky stanovené pro kritérium Nij jehož hodnoty jsou normalizovaná čísla upravená tak, aby byla zachována konzistence vzhledem k výsledku poranění krku, proto jsou křivky Nij stejné bez ohledu na parametry figuríny.

figurínu byla instalována, tak aby ohnisko objektivu odpovídalo požadované vzdálenosti. Do záznamu byla následně softwarově vložena linie, která tuto vzdálenost představuje. Během nárazu nebylo překročení limitu zaznamenáno, nicméně došlo k úderu hlavy o bezpečnostního pult.

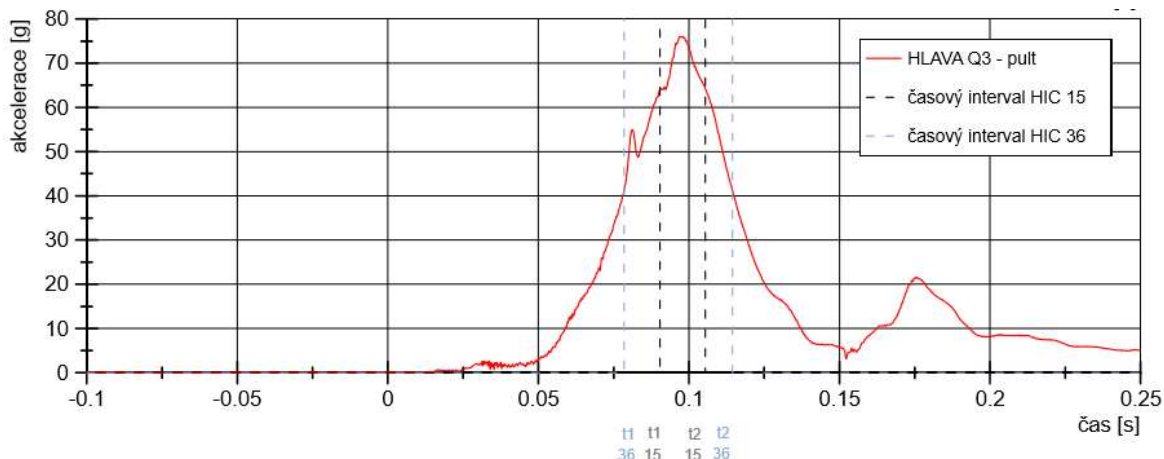


Obr. 74: Pohyb figuríny Q3 během nárazu

Závažnost zatížení hlavy byla stejně jako u předchozích experimentů posuzována podle výsledného zpomalení působícího v jejím těžišti. Z grafu na obrázku 75 jsou patrné dva extrémy. Největší zatížení hlavy bylo zaznamenáno již při primárním nárazu, kdy byla naměřena maximální hodnota zpomalení 77,8 g, přičemž hodnota 3ms kritéria byla stanovena na 74,87 g. Limit pro figurínu Q3, stanovený v rámci projektu CASPER, je dán na 75 g. Dle CASPER tato hodnota odpovídá 20 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+. Ačkoliv dosažená hodnota kritéria limit nepřekračuje, rozdíl činí pouze 0,13 g a dle křivky rizika je pravděpodobnost vzniku závažných poranění hlavy velmi blízká 20 %.

Kritérium HIC bylo stanoveno jak pro interval 15ms tak pro interval 36ms (viz tab. 38). Výsledná hodnota HIC_{15} je rovna 613, přičemž limit pro figurínu Q3 odpovídající 20 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+, je stanoven na 780. Tento výsledek poukazuje na menší zatížení, čemuž odpovídá i pravděpodobnost vzniku závažných poranění, která by dle křivky rizika tohoto kritéria nedosahovala hranice 10 %. Avšak výsledná hodnota kritéria HIC_{36} značně převyšuje stanovený limit, čímž poukazuje naopak na vyšší riziko vážných následků. Pro limitní hodnotu HIC_{36} není stanovena konkrétní pravděpodobnost. Nicméně s ohledem na náchylnost dítěte k vážným poraněním mozku v důsledku prudké decelerace, je výrazné překročení limitní hodnoty v delším vyhodnocovaném intervalu lépe vypovídajícím parametrem.

Nejvyšší hodnoty zatížení byly naměřeny v intervalu 85-131 ms, kdy došlo ke zřetelnému kontaktu hlavy s bezpečnostním pultem. Případná závažná poranění hlavy by v tomto případě byla způsobena částí zadržného systému.



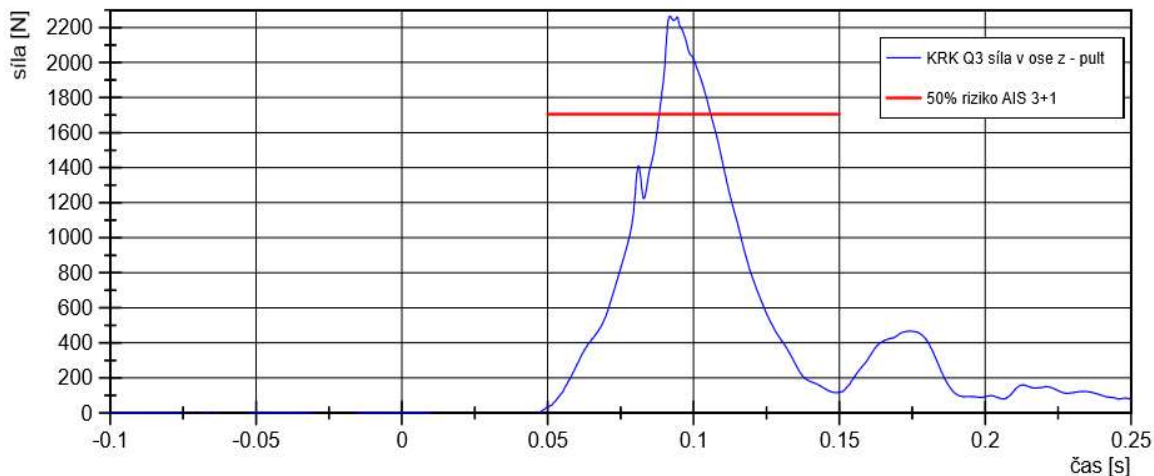
Obr. 75: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny Q3

Tab. 38: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající limitní hodnoty

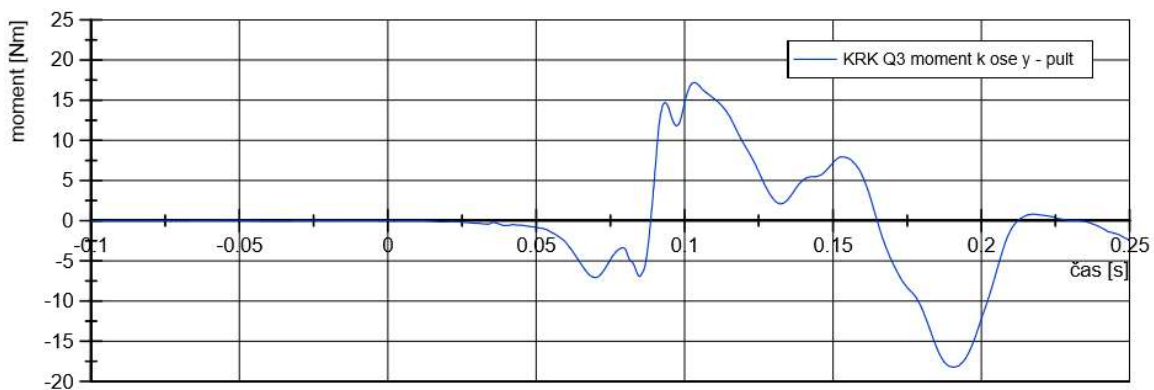
KRITÉRIUM	HODNOTA	LIMIT		
		HODNOTA	AIS	ZDROJ
HIC_{15}	613	780	AIS \geq 3 20%	EEVC
HIC_{36}	1025	710	UN 94 přepočet	EEVC
3ms	74, 87 g	75 g	AIS \geq 3 20%	CASPER

V oblasti horní krční páteře byla figurína osazena snímačem pro měření axiálních sil a ohybových momentů v osách x, y a z. Během nárazu došlo k největšímu zatížení krční páteře tahem ve směru osy z a to silou 2264 N (viz obr. 76). Limitní hodnota axiální síly v ose z působící na krk Q3 je stanovena na 1705 N a odpovídá 50 % pravděpodobnosti AIS 3+. Zatížení krční páteře na ohyb bylo značně menší. Nejvyšší ohybový moment byl naměřen

kolem osy y a to 17, 19 Nm (viz obr. 77), přičemž limitní hodnota odpovídající 50 % AIS 3 je stanovena na 96 Nm. Závažnost zatížení krční páteře byla posuzována dle kritéria Nij (viz 4.3), které zohledňuje působení obou způsobů zatížení současně. Jako kritické hodnoty pro výpočet kritéria byly zvoleny uvedené limity EEVC. Výsledná maximální hodnota kritéria je rovna 1,5 (viz tab. 39). Takové zatížení krku odpovídá 12 % pravděpodobnosti úmrtí nebo poraněním závažnosti AIS 5 a 29 % pravděpodobnosti poranění závažnosti AIS 4+.



Obr. 76: Průběh síly působící na krk figuríny Q3 ve směru osy z



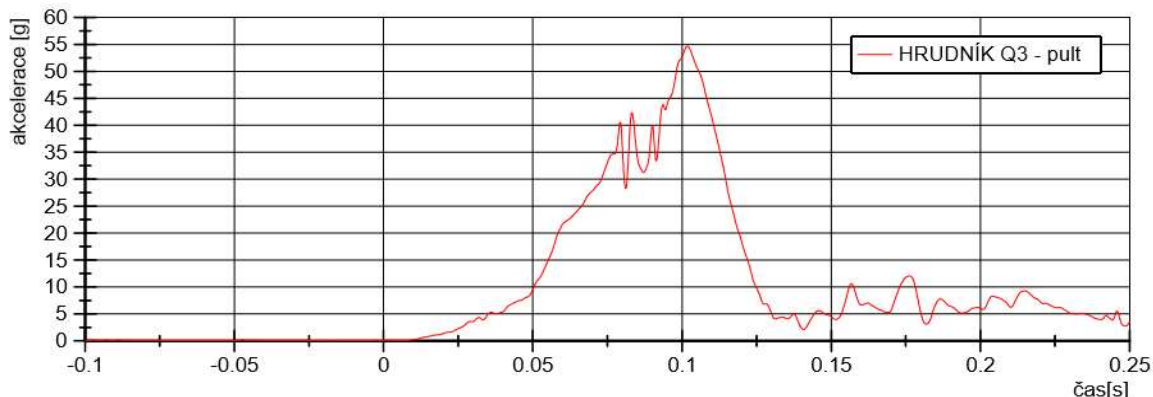
Obr. 77: Průběh ohybového momentu kolem osy y působícího na krk figuríny Q3

Tab. 39: Hodnoty měřené v horní oblasti krku, stanovená hodnota biomechanického kritéria Nij a odpovídající limitní hodnoty

KRITÉRIUM	HODNOTA	LIMIT		
		HODNOTA	AIS	ZDROJ
Fz	2264 N	1705 N	AIS≥3 50%	EEVC
My	17,19 Nm	95	AIS≥3 50%	EEVC
NIJ	1,5	1	AIS≥3 22%	NHTSA

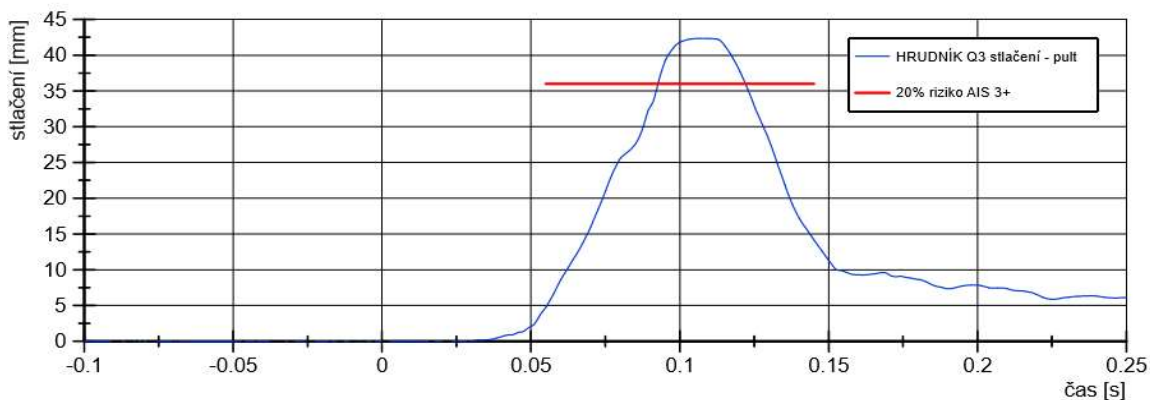
Hrudník Q3 byl instrumentován dvěma snímači, tříosým akcelerometrem v horní části hrudní páteře a senzorem měření deformace IR-TRACC, umístěným v dutině hrudního koše pod otvorem pro akcelerometr. Z naměřených hodnot zpomalení byla vytvořena výslednice, jejíž

maximum je 54,9 g (viz obr. 78), přičemž hodnota 3ms kritéria je rovna 53,14 g. Pro jednotlivé figuríny série Q nebyl stanoven limit tohoto kritéria a je uplatňována hodnota 55 g navržená jako jednotné kritérium pro všechny dětské figuríny. Limitní hodnota v tomto případě nebyla překročena.



Obr. 78: Průběh výsledného zpomalení hrudníku Q3

Bezpečnostní pult působí na velkou plochu hrudníku, čímž zvyšuje riziko jeho nadměrného stlačení. Z důvodu tohoto předpokladu byl senzor měření deformace velmi důležitou součástí instrumentace. Závažnost zatížení hrudníku způsobené kompresí bylo posuzováno na základě křivky rizika poranění zkonstruované pro figurínu Q3. Při nárazu byla naměřena maximální hodnota stlačení hrudníku 42 mm (viz obr.79). Tato hodnota dle rizikové křivky odpovídá přibližně 35 % pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+, což koresponduje s překročením limitu 20 % rizika, který je stanoven na 36 mm.



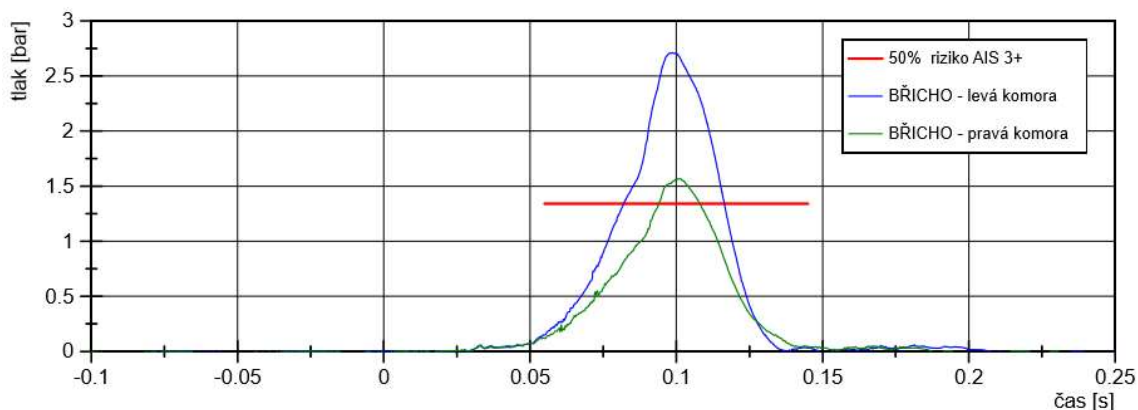
Obr. 79: Průběh stlačení hrudníku Q3

Tab. 40: Hodnoty biomechanických kritérií v oblasti hrudníku a odpovídající limitní hodnoty

KRITÉRIUM	HODNOTA	LIMIT		
		HODNOTA	AIS	ZDROJ
3ms	53,14 g	55	N/A	EHK 44
D _x	42 mm	36 mm	AIS≥3 20%	EEVC

Největší koncentrace zatížení byla předpokládána v oblasti břicha, kde bezpečnostní pult působí největší částí své plochy. Tato část těla je tvořena převážně měkkými tkáněmi, jejichž zatížení je posuzováno na základě působícího tlaku. Proto bylo břicho figuríny Q3 instrumentováno dvoukomorovým tlakovým senzorem APTS. Závažnost zatížení byla hodnocena na základě křivky pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ zkonstruované pro figurínu Q3 a porovnává se stanovenými limity. Doporučená limitní hodnota tlaku působící na břicho tříletého dítěte byla stanovena v rámci projektu CASPER a to na 1,13 baru. CASPER dále udává hodnotu 0,9 baru pro 20 % pravděpodobnost AIS3+ a hodnotu 1,3 baru pro 50 % pravděpodobnost AIS 3+.

Při nárazu figuríny na bezpečnostní pult byl v pravé komoře senzoru naměřen maximální tlak 1,56 baru a v levé komoře senzoru tlak 2,7 baru. Maximální hodnota tedy doporučený limit přesahuje více než dvojnásobně (viz obr. 80). Dle křivky rizika poranění by tlak 2,7 baru způsobil v oblasti břicha poranění závažnosti AIS 3+ s pravděpodobností 100 %. Křivky pro určení pravděpodobnosti poranění vyšších stupňů závažnosti zatím nejsou dostupné.



Obr. 80: Průběh tlaku v komorách snímače APTS

Tab. 41: Naměřené maximální hodnoty tlaku v komorách snímače APTS a odpovídající limitní hodnoty

KRITÉRIUM	HODNOTA	LIMIT			
		AIS≥3 20 %	DOPORUČENO	AIS≥3 50 %	ZDROJ
Tlak – L komora	2,7 bar	0,9 bar	1,13 bar	1,3 bar	CASPER
Tlak – P komora	1,56 bar				

6.2.2 Porovnání DZS s pultem a integrovanými pásy

Pro porovnání byly společností ŠKODA Auto poskytnuty výsledky crash testu DZS skupiny I s integrovanými pásy Britax Duo plus. Parametry obou testů (vozidlo, zádržné systémy vozidla, figurína, pozice ve vozidle, mechanismus nárazu) byly totožné a je tedy možné na základě jejich srovnání posoudit účinnost použitých bezpečnostních systémů. V tabulce 42 jsou uvedeny hodnoty biomechanických kritérií získané v rámci experimentu č. 5, hodnoty poskytnuté pro potřeby porovnání a limitní hodnoty kritérií pro figurínu Q3.

Tab. 42: Porovnání hodnot biomechanických kritérií získaných v rámci experimentu č.5 a hodnot totožné dynamické zkoušky provedené se systémem integrovaných pásů

KRITÉRIUM	PULT	INTEGROVANÉ PÁSY	LIMIT		
			HODNOTA	ZDROJ	
Hlava	3ms	74, 87 g	63,28 g	75 g	CASPER AIS _{≥3} 20%
	HIC ₁₅	613	425	780	EEVC AIS _{≥3} 20%
	HIC ₃₆	1025	849	710	EEVC UN R94 scaled
Krk	Fz	2264 N	2220 N	1705 N	EEVC AIS _{≥3} 50%
	My	17,19 Nm	35,55 Nm	95 Nm	EEVC AIS _{≥3} 50%
	Nij	1,5	1,56	1	NHTSA AIS _{≥3} 22%
Hrudník	3ms	53,14 g	48,75 g	55	ECE 44
	D _x	42 mm	24 mm	36 mm	EEVC AIS _{≥3} 20%

Při testu DZS s integrovanými pásy byla dvě zkoumaná kritéria v oblasti hlavy výrazně pod úrovní stanovených limitů. Zatížení dle hodnot 3ms kritéria a HIC₁₅ nedosahuje k 20 % hranici pravděpodobnosti vzniku závažných poranění. V případě experimentu č. 5 bylo zatížení v důsledku nárazu hlavy do pevné plochy pultu vyšší. Hodnota 3ms kritéria byla stanovena těsně pod hranicí limitu a HIC₃₆ limit výrazně přesahuje. V obou stanovených intervalech HIC dochází v porovnání s integrovanými pásy k výrazným rozdílům. Ani při jednom z testů nedošlo k překročení maximální vzdálenosti hlavy.

Zatížení krku dle Nij je u obou testů srovnatelné. Ačkoliv je hodnota kritéria v případě pultu nižší, dle křivky rizika poranění nastává rozdíl pouze v pravděpodobnosti AIS 3, který činí pouze 2 %. Pravděpodobnost života ohrožujících poranění nebo úmrtí je při dosažení obou hodnot totožná. Vyšší hodnota Nij je v případě integrovaných pásů způsobena vyšší hodnotou

ohybového momentu M_y . Ta je způsobena zadržením torza figuríny v oblasti ramen, čímž dochází k vyššímu zatížení krku v důsledku flexe. Bezpečnostní pult umožňuje vyšší pohyblivost vrchní části torza díky, které dochází k menšímu zatížení na ohyb, ale naopak způsobuje nárůst axiální síly. U obou DZS jsou však naměřené hodnoty F_z nadlimitní a rozdíl mezi nimi není výrazný.

V oblasti hrudníku byly hodnoty 3ms kritéria u obou zkoumaných systému pod stanoveným limitem EHK 44. V případě integrovaných pásů je však výsledná hodnota o necelých 5 g nižší než u systému s pultem. Výraznější rozdíl lze pozorovat u stlačení hrudníku, kde došlo v případě bezpečnostního pultu k překročení limitu odpovídajícího 20 % pravděpodobnosti AIS 3+. Dosažená hodnota odpovídá přibližně 35 % riziku vzniku závažných poranění. U systém integrovaných pásů byl průhyb hrudníku o 18 mm menší a pravděpodobnost závažných poranění nedosahuje 5 % hranice.

Grafy porovnání zatížení jednotlivých oblastí jsou uvedeny v příloze 14.

6.2.3 Shrnutí výsledků experimentu

Během experimentu nedošlo k potvrzení předpokladu o vyklouznutí figuríny ze zádržného systému, nicméně byly zaznamenány nadlimitní hodnoty biomechanických kritérií ve všech zkoumaných oblastech. V důsledku působení bezpečnostního pultu došlo především k nadlimitnímu stlačení hrudníku a působení nadměrného tlaku v oblasti břicha, který přesahuje stanovený limit více než dvojnásobně.

V porovnání s integrovanými pásy vykazuje systém pultu ve dvou ze tří oblastí vyšší pravděpodobnost závažných poranění, přičemž v oblasti hrudníku je rozdíl více než 20 %. V oblasti krku je riziko obou systémů srovnatelné a odpovídá 30 % pravděpodobnosti života ohrožujících poranění, přičemž ze 12 % se jedná o pravděpodobnost úmrtí. Jelikož byly oba zádržné systémy instalovány ve směru jízdy, výsledek potvrzuje riziko vysokého zatížení v oblasti krku v případě nárazu při tomto způsobu přepravy. Rovněž koresponduje se studiemi, které doporučují přepravu dětí do 4 let věku proti směru jízdy.

Celkové hodnocení systému pultu je v rozporu s tvrzením výrobce použitého DZS, který uvádí, že ve všech zkoumaných oblastech dochází oproti pásům k menšímu zatížení [45]. Především pak v oblasti krku, k jehož ochraně by mělo dojít v důsledku volnosti pohybu v horní části trupu. Nižší hodnoty zatížení krku byly zaznamenány pouze v případě působení ohybového momentu, nicméně tento rozdíl neovlivnil celkovou míru rizika vážných poranění krku.

Rovněž má systém pultu poskytovat ochranu v oblasti břicha a měkkých tkání. Výsledky experimentu však vypovídají o tom, že náraz břicha do bezpečnostního pultu by způsobil při

nejmenším závažná poranění (100 % riziko AIS 3+). Během testu DZS s integrovanými pásy nebyla dětská figurína instrumentována senzorem tlaku v břiše, hodnoty tudíž nebylo možné porovnat.

7 Aplikace výsledků v rámci osvěty

Výsledky dynamických zkoušek ve většině případů prokazují určitou míru vlivu simulovaných chyb na možné následky dopravní nehody. Zároveň z průzkumu četnosti vyplývá, že ve všech kategoriích dochází k více než jedné chybě, a to jak při instalaci nebo nastavení tak při poutání dítě do DZS. Jednou z možností, jak současnou situaci ovlivnit, je předat poznatky získané při zpracování předchozích částí práce cílové skupině: rodičům, osobám přepravujícím děti v osobním automobilu a dětem samotným. Z toho důvodu byly vytvořeny dva produkty sloužící k osvětě. Informační video cílené na dospělé osoby a brožura zaměřená na jedince přepravované v zádržných systémech skupin II a III.

7.1 Informační video

Video je zaměřeno na popis chyb a možných následků vyskytujících se u všech hmotnostních skupin. Informační produkt je koncipován jako průvodce od narození dítěte po zákonem stanovenou hranici nutnosti použití DZS a je rozdělen na dvě části.

První část v délce tří minut provádí divák manipulací s DZS skupiny 0/0+ a I. Pro skupinu 0/0+ je zdůrazněna problematika chybně nastavených pětibodových pásů a jejich nedotažení. Dále je upozorněno na rizika spojená s instalací systému do vozidla pomocí bezpečnostních pásů. Především je jmenována nutnost vedení bezpečnostních pásů přes kotevní úchyty, stabilita instalace v podobě jejich dotažení a rovněž je upozorněno na správnou pozici madla. Použití DZS skupiny I je spojeno s informacemi o možnosti přepravovat dítě proti směru jízdy přibližně do 4 let. Tvzení je podepřeno vysvětlením rozdílů mezi působením nárazu na krční páteř dítěte při přepravě po a proti směru jízdy. Dále jsou stručně shrnuty nejčastější chyby instalace této skupiny s důrazem na nutnost dodržování instrukcí v návodu výrobku. V neposlední řadě jsou vyjmenována rizika poutání dítěte do DZS. Během popisu jednotlivých problémů jsou předávány rovněž stručné informace o možných následcích v případě dopravní nehody.

Druhá část v délce dvě a půl minuty shrnuje používání neintegrovatelných DZS, přičemž problematika je představena na skupině II-III. První úsek je věnován popisu správného nastavení systému především hlavové opěrky a divák je upozorněn na význam správné pozice hlavy vůči DZS. Následují informace o vedení bezpečnostního pásu v oblasti klíční kosti a pánve. Rovněž jsou popsány možné následky v případě chybného vedení přes břicho a oblast krku. Dále je upozorněno na problémy způsobené samotnými dětmi v průběhu jízdy, a to záměrné povolování bederní části bezpečnostního pásu a vedení diagonální části v podpaží. Také jsou připomenuty možné následky v případě, že se pod bezpečnostním pásem nacházejí tvrdé předměty. Tato část videa je věnována i výběru zádržného systému, kdy je upozorněno

na rozdíly mezi podsedákem a plnohodnotným DZS skupiny III. Především jsou zdůrazněny výhody v podobě vyšší ochrany při bočním nárazu.

Video bylo vytvořeno ve spolupráci s internetovým magazínem www.zenavaute.cz v rámci Autoshow 2017, dostupné na adrese: <https://www.zenavaute.cz/spravne-poutani-autosedacky/>.

7.2 Informační brožura

Brožura je tvořena v grafickém softwaru Corel Draw X3 a koncipována jako informační prostředek pro děti přepravované v DZS skupin II, III. Tato cílová skupina byla vybrána na základě výsledků dynamických zkoušek, během kterých se nejvyšší rizikovitost chyb prokázala právě při testování odpovídajících DZS. Vzhledem k průměrnému věku cílové skupiny, jsou informace předávány prostřednictvím hry se zaměřením na vizuální podněty. Brožura obsahuje sedm schémat dětí cestujících v DZS¹⁸ opatřené nadpisem „Najdi, 8 chyb“. V šesti případech schéma zobrazuje nesprávně připoutané dítě s informací o počtu chyb, které má čtenář nalézt. V sedmém případě je dítě připoutáno bezchybně. Aby byl zdůrazněn rozdíl mezi chybným a bezchybným připoutáním je bezpečnostní pás vyznačen barevně (zelená = správně, červená = chybně). Další části schémat jsou vytvořeny černobíle a slouží jako omalovánka pro děti. Tato koncepce byla zvolena pro vyšší zaujetí cílové skupiny s předpokladem lepšího zapamatování v případě déle stráveného času nad jednotlivými problémy.

Vyobrazené chyby budou vyhledávány na základě informací obsažených v seznamu „Desatero bezpečné cesty“. Desatero obsahuje nejčastěji se vyskytující chyby této skupiny a rovněž informaci o limitu použití DZS. Body 7 a 5 jsou zdůrazněny, jelikož upozorňují na chyby testované v rámci dynamických zkoušek, při kterých byla potvrzena vysoká pravděpodobnost života ohrožujících poranění. Jednotlivé body desatera jsou psány ich formou, aby u dítěte došlo k sugesci a lepšímu zapamatování. Textová část brožury dále obsahuje krátký popis rozdílů mezi podsedákem a plnohodnotným DZS skupiny II/III. Informace jsou psány formou oslovení konkrétního dítěte s předpokladem, že k použití brožury dojde za přítomnosti a asistence dospělé osoby, které budou touto formou předány. Brožura rozměrově odpovídá formátu A4, který je složen na třetiny.

Informační produkt bude distribuován do pediatrických ordinací a bude použit v rámci grantu DOV-18-020-SPP „Poučení z nehody – autem do (ne)pohody“.

¹⁸ Jako předloha zádržného systému pro schéma byla použita autosedačka Britax Römer Kidfix

8 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na rizika spojená s používáním dětských zádržných systémů. Hlavním cílem bylo metodou dynamických zkoušek určit vliv chybné manipulace s těmito systémy na následky dopravní nehody. Návrhy jednotlivých zkoušek byly zpracovány na základě průzkumu četnosti výskytu chyb, který byl oproti bakalářské práci rozšířen na 200 respondentů. Celkem byly navrženy 4 experimenty, během kterých byly při čelním nárazu testovány nejčastěji se vyskytující problémy u všech hmotnostních skupin DZS.

Výsledky prvních tří experimentů vedly k jednoznačnému prokázání vlivu simulovaných chyb na zdravotní následky. Při testování DZS skupiny I, byla zkoumána míra volnosti bezpečnostních pásů, přičemž byly stanoveny dva závěry. V případě výrazné míry volnosti integrovaných pásů dochází ke zvýšení rizika vzniku závažných poranění v oblasti hlavy i hrudníku. Především v oblasti hlavy je výrazné povolení pásů příčinou silného sekundárnímu nárazu do konstrukce DZS. Oproti tomu během simulace chyby v podobě mírného nedotažení bezpečnostních pásů bylo v porovnání s doporučeným způsobem připoutání riziko závažných poranění znatelně nižší. K přehodnocení dosavadních doporučení by však bylo vhodné rozšíření experimentu o testy při dalších mechanismech nárazu.

Během experimentu s DZS skupiny II/III byly zkoumány dva problémy. V prvním případě se jednalo o simulaci nejčastěji pozorované chyby v podobě záměrného povolení bederní části bezpečnostního pásu. Pro druhý test byla vybrána chyba, která byla vyhodnocena jako nejvíce riziková, a to vedení diagonální části pásu v podpaží. V obou případech bylo potvrzeno vysoké riziko vzniku života ohrožujících poranění, přičemž v případě druhého testu by s vysokou pravděpodobností došlo k úmrtí. Vliv zkoumané chyby byl zaznamenán i při třetím experimentu, který byl orientován na skupinu III bez zádové opěrky, tzv. podsedačky. V tomto případě bylo simulováno chybné vedení bezpečnostního pásu, v jehož důsledku došlo ke zvýšení rizika vzniku vážných poranění v obou zkoumaných oblastech.

Během čtvrtého experimentu byly testovány dva zádržné systémy: DZS skupiny 0+ a DZS skupiny II/III. Ačkoliv v obou případech byl potvrzen vznik předpokládaných nežádoucích jevů, v případě DZS skupiny 0+ nebyl pozorován významný vliv na zdravotní následky. Závažnější projev simulovaných chyb by mohl být pozorován při jiném mechanismu dopravní nehody, nebo při možnosti použití technicky dokonalejší figuríny. V případě DZS skupiny II/III nebylo možné stanovit míru vlivu s uspokojivou přesností. Aby při zkoumání vlivu chybné manipulace mohlo být dosaženo jednoznačných závěrů, bylo by zapotřebí referenční zkoušky, kterou nebylo možné v rámci práce realizovat.

Část výsledků dynamických zkoušek byla zpracována do podoby informačních produktů a aplikována v rámci osvěty. V prvním případě bylo vytvořeno video obsahující upozornění na nejčastěji se vyskytující chyby všech skupin DZS a možné následky, které je veřejně dostupné na internetových stránkách. Druhým produktem byla brožura orientovaná na informovanost dětí přepravovaných v DZS skupin II/III, která bude distribuována do pediatrických ordinací a využita v rámci grantu DOV-18-020-SPP.

Dílním cílem práce bylo rovněž stanovení vlivu bezpečnostního pultu na tělo pasažéra. Za tímto účelem byla provedena reálná nárazová zkouška a hodnoty porovnány s výsledky totožného testu, kdy byla figurína usazena v DZS s pětibodovými pásy. Z výsledků experimentu vyplývá, že systém pultu představuje v případě nehody pro přepravovaného jedince jisté bezpečnostní riziko. Vliv tohoto systému byl zkoumán ve čtyřech oblastech: hlava, krk, hrudník a břicho, přičemž v každé došlo k překročení biomechanických limitů. V oblasti hlavy bylo zaznamenáno vysoké zatížení v důsledku úderu o bezpečnostní pult. Tento systém byl rovněž příčinou nadlimitního stlačení hrudníku a působení tlaku na dutinu břišní, kde byl limit překročen více než trojnásobně. Systém integrovaných pásů vykazuje v oblasti hlavy i hrudníku výrazně nižší hodnoty. Proto bylo na základě porovnání výsledků obou testů vyvráceno tvrzení o vyšším bezpečnostním účinku systému pultu. V oblasti krku byly následky obou systémů srovnatelné, což koresponduje s informacemi o vysokém zatížení krční páteře v případě převozu tříletých dětí po směru jízdy.

Výsledky diplomové práce poukazují na potřebu hlubšího výzkumu. Nejen v rámci technologických inovací zádržných systémů, ale také v oblasti dětské biomechaniky, v níž existuje stále jen omezené množství informací. S ohledem na vysoké riziko vzniku vážných poranění během testů, kdy byla figurína poutána v homologovaném DZS dle doporučení výrobce, poukazuje práce rovněž na nezbytnou úpravu legislativních předpisů. Za stávajících podmínek je umožněna produkce potenciálně nebezpečných produktů na trh, které jsou spotřebiteli s důvěrou používány k ochraně dětí. Je zřejmé, že tento obor stále poskytuje velký prostor v oblasti osvěty, která je s ohledem na výsledky průzkumu, a především dynamických zkoušek, více než žádoucí. Právě tyto podněty jsou mou motivací pro pokračování v dané oblasti i po dokončení studia.

9 Seznam použitý zdrojů

- [1] YOGANANDAN, N., *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention*. 3. vydání, New York: Springer, 2015, 851 s. ISBN 978-1-4939-1732-7
- [2] BANGASH, M.Y.H., *Trauma--an engineering analysis: with medical case studies investigation*, Berlin; New York: Springer, 2007, 843 s. ISBN 978-3-540-36305-7
- [3] KOVANDA, J., *Bezpečnostní aspekty návrhu dopravních prostředků*. Praha: ČVUT, 2016, 242 s. ISBN 978-80-01-05893-0
- [4] BULL, M.J., Rear-Facing Car Safety Seats: Getting the Message Right. *Pediatrics*. 01.03. 2008: 619-620, Sv. 121 č.3, ISSN: 0031-4005
- [5] KUČEROVÁ, Helena. Zákon o silničním provozu s komentářem a judikaturou a předpisy související. Praha: Leges,s.r.o, 2008, 512 s. ISBN 978-80-87212-03-5.
- [6] JOHANNSEN, H., Analysis of the performance of different architectures of forward facing CRS with integral restraint system [online]. 2013 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/23/files/Session%205%20Oral.pdf>
- [7] Předpis EHK OSN č. 44 - Jednotná ustanovení pro schvalování typu zádržných zařízení pro děti cestující v motorových vozidlech („dětské zádržné systémy“) [online]. Úřední věstník evropské unie 2011 [cit. 2018-07-24]. Dostupné z: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1471481270802&uri=CELEX:42011X0909\(02\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1471481270802&uri=CELEX:42011X0909(02))
- [8] Předpis EHK OSN č. 129 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu zdokonalených dětských zádržných systémů (ECRS) používaných v motorových vozidlech [online]. 2014. [cit. 2018-07-26]. Dostupné z: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1471481331198&uri=CELEX:42014X0329\(02\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1471481331198&uri=CELEX:42014X0329(02))
- [9] UN ECE Working Party on Passive Safety GRSP. A study on shield systems, GRSP-55-39 [online]. 2013 [cit. 2018-07-14]. Dostupné z: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grsp/GRSP-55-39e.pdf>
- [10] EEVC, Q-dummies Report, Advanced Child Dummies and Injury Criteria for Frontal Impact, Working Group 12 and 18 Report, Document No. 514 [online]. 2008 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: http://www.eevec.net/fileuploads/server/php/?file=EEVC_WG12%2618_DOC514_Q-dummies_%26_Criteria-April_2008.pdf&download=1
- [11] IRCOBI Conference 2012. Estimating Q-Dummy Injury Criteria Using the CASPER Project Results and Scaling Adult Reference Values, IRC-12-66 [online]. 2012 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc12/pdf_files/66.pdf
- [12] Revisions to FMVSS 213, Child Restraint Systems,49 CFR Part 571, Docket No. NHTSA-02-11707 [online]. 2002 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: https://one.nhtsa.gov/cars/rules/rulings/CPSUpgrade/CPSRevise/PRE/chapter3.html#N_3_
- [13] EEVC, The use of thoracic deflection criteria balanced with abdomen pressure criteria for the Q-Series in frontal impacts [online]. 2016 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: <http://www.eevec.org/?site=52>
- [14] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Techniques for developing child dummy protection reference values [online]. 1996 [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Biomechanics%20&%20Trauma/kid.pdf>

- [15] NHTSA, Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems [online]. 1999 [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: https://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crashworthiness/Air%20Bags/rev_criteria.pdf
- [16] Předpis EHK OSN č. 14 – Jednotná ustanovení týkající se schvalování typu vozidel týkající se kotevních úchytů bezpečnostních pásů, systémů kotevních úchytů ISOFIX, kotevních úchytů horního upínání ISOFIX a míst k sezení i-Size [online]. 2015. [cit. 2018-07-09] Dostupné z: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1471481395779&uri=CELEX:42015X0819\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1471481395779&uri=CELEX:42015X0819(01))
- [17] DALONG, G., Head injury criterion, *Robotics & Automation Magazine*, 16.04.2009: 71-74. ©2009 Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISSN: 1070-9932
- [18] BEILAS, P., Assessment of abdominal loading by shield CRS in frontal impact: comparison between direct loading in isolated tests and sleds, Munich, Germany. 12th International Conference on Protection of children in cars (VD-TUV), 2014. hal-01720995
- [19] ŠULCOVÁ, K., *Dětské zádržné systémy v osobním automobilu*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT. Fakulta dopravní. Ústav soudního znaleství v dopravě.
- [20] VISVIKIS, C. New UN regulation on child restraint systems - assessment of amendments to the new regulation, front and side impact procedures and Q-Series dummy family injury criteria, TRL report [online]. 2013 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/6660/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>
- [21] WATSON, E. A., Advise use of rear facing child car seats for children under 4 years old, *Practise*, 11.06.2009: 338
- [22] Policie České Republiky, *Statistiky dopravní nehodovosti* [online]. ©2018 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>
- [23] VLK, F., *Automobilová elektronika 2 – Systémy řízení podvozku a komfortní systémy v konstrukci*, 1. vydání, Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství: Brno 2006, ISBN 80-239-7062-3
- [24] KOVANDA, J. a V. ŠATOCHIN. *Pasivní bezpečnost vozidel*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8.
- [25] U.S. Department of Transportation, NHTSA. Children Injured in Motor Vehicle Traffic Crashes [online]. 2010 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811325>
- [26] DEATWATER, S., Correct vs. Incorrect Child Car Seat Installation [online video] 2011 [cit. 2018-07-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ptpeCYljPik>
- [27] Bezpečné cesty. Chyby při připoutání dětské autosedačky do jednoho roku [online video]. 2014 [cit. 2018-07-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=en0ClzuEefA>
- [28] ADAC, *Dětské autosedačky*. ADAC EV. Adac [online]. ©2018 [cit. 2018-07-17]. Dostupné z: <https://www.adac.de/infotestrat/tests/kindersicherung/kindersitz-test/default.aspx>
- [29] HUMANETICS, P-Series Infant to Child, Humanetics Innovative Solutions [online]. ©2017, [cit. 2018-07-18]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/children/p-series>
- [30] HUMANETICS, Q-Series Infant to Child, Humanetics Innovative Solutions [online]. ©2017, [cit. 2018-07-18]. Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/children/q-series>

- [31] GLOYNS, P., Vehicle Safety Consultancy, *An accident study of the performance of restraints used by children aged three years and under*, [online]. 2008, [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <http://www.anec.eu/attachments/ANEC-R&T-2008-TRAF-003.pdf>
- [32] INTAS, G., Seat belt syndrome: a global issue, *Health Science Journal*, [online]. 2010, [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: <http://www.hsj.gr/medicine/seat-belt-syndrome-a-global-issue.php?aid=3573>
- [33] EuroNCAP, *Assessment protocol-Child occupant protection*, verze 7.2.1, Listopad 2017
- [34] EuroNCAP, *Offset deformable barrier frontal impact testing protocol*, verze 7.1.2, Listopad 2017
- [35] BOURNE, M., *Head Injury Criterion (HIC) pt 1: Severity Index*, Interactive mathematics, [online]. ©2017, [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: <https://www.intmath.com/applications-integration/hic-head-injury-criterion.php>
- [36] SEA International, *Instrumentation for Impact Test - Part 1 - Electronic Instrumentation J211/1_201403*. 4.5.2017
- [37] *Tipy pro bezpečné používání autosedaček, Maxi-Cosi*, [online]. ©2014, [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: <http://www.maxi-cosi.com/cz-cs/autosedacky/bezpecne-pouzivani-autosedacek/odbornici-na-autosedacky.aspx>
- [38] *Bezpečnost dětí v autech, DTest*, [online]. 26.2.2015 [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-4196/bezpecnost-deti-v-autech>
- [39] CYBEX GmbH, *User guide Cybex JUNO 2-FIX* [online][cit. 2018-08-18]. Dostupné z: http://cybex-online.com/media/carseats/juno-2-fix/manuals/JUNO2FIX_DE_UK_IT_FR_NL_PL_HU_CZ_SK_ES_PT.pdf
- [40] *Autosedačky. BRITAX RÖMER. Römer* [online]. 2017 [cit. 2018-08-27]. Dostupné z: <https://www.britax-roemer.cz/autosedacky>
- [41] *PALLAS M-FIX SL. Cybex-online. Cybex* [online]. 2017 [cit. 2018-08-27]. Dostupné z: <http://cybex-online.com/cz/carseats/pallasmfixsl.html>
- [42] Steve Dearwater. *Correct vs. Incorrect Child Car Seat Installation* [online video] 2011[cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ptpeCYljPik>
- [43] Buckle Up With Brutus. *Rear-facing vs. Forward facing* [online video]. 2016 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tuZFPv3Rpk>
- [44] TESÁREK, R., *Historie testování pasivní bezpečnosti v ČR. Přednáška ŠKODA Muzeum 22.11.2017*
- [45] *Cybex bezpečnostní pult. Cybex-online. Cybex* [online]. 2017 [cit. 2018-08-28]. Dostupné z: <http://cybex-online.com/cz/safetycenter/cybex-bezpecnostni-pult.html>
- [46] CHICCO. *Autosedačky* [online]. 2018 [cit. 2018-08-28]. Dostupné z: <http://www.chicco-cz.cz/autosedacky>

10 Seznam obrázků

- Obr. 1: Vývoj dopravní nehodovosti s účastí dětí vyžadujících DZS v roli spolujezdce
- Obr. 2: Příklady DZS zleva: skupina 0+, skupina I, skupina I s bezpečnostním pultem, skupina II/III
- Obr. 3: Ohyb dětské páteře při nárazu v protisměrném DZS skupiny I (vlevo) a při přepravě po směru jízdy (vpravo)
- Obr. 4: Schéma systému ISOFIX
- Obr. 5: DZS s bezpečnostním pultem Cybex Juno 2- fix
- Obr. 6: Příklad chybného vedení diagonální části bezpečnostního pásu
- Obr. 7: Vypadnutí figuríny Q1 a Q3 z DZS během nárazové čelní zkoušky
- Obr. 8: Porovnání následků čelního nárazu mezi integrálním DZS a DZS s pultem
- Obr. 9: Porovnání výsledků testování DZS s bezpečnostním pultem a DZS s integrovanými bezpečnostními pásy
- Obr. 10: DZS skupiny 0-I (vlevo) a DZS skupiny I (vpravo) použité v rámci průzkumu
- Obr. 11: DZS skupiny I-III (vlevo) a podsedák (vpravo) použité v rámci průzkumu
- Obr. 12: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny 0
- Obr. 13: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny I
- Obr. 14: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny II
- Obr. 15: Procentuální zhodnocení chybovosti skupiny III
- Obr. 16: Celkové procentuální zhodnocení chybovosti
- Obr. 17: Porovnání chybovosti mezi případy, kdy bylo dítě poutáno vlastním úsilím a případy, kdy bylo poutáno za asistence rodiče
- Obr. 18: Schéma zkoušky čelním nárazem
- Obr. 19: Schéma zkoušky bočním nárazem
- Obr. 20: Schéma souřadného systému figuríny Q 1/5
- Obr. 21: Hrudní koš figuríny Q3 osazený snímačem IR-TRACC
- Obr. 22: Břicho figuríny Q3 se snímačem APTS (vlevo), detail elastomerového měchýře (vpravo)
- Obr. 23: Zkušební zařízení laboratoře: zkušební vozík osazený rámem vymežujícím roviny EHK 44 a zkušebním sedadlem (vlevo), ocelová konstrukce pro náraz s polyuretanovými výplněmi (vpravo)
- Obr. 24: Míra povolení integrovaných pásů – test 1
- Obr. 25: Pohyb figuríny během nárazu - test 1
- Obr. 26: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 – test 1
- Obr. 27: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 – test 1
- Obr. 28: Míra nedotažení integrovaných pásů – test 2
- Obr. 29: Pohyb figuríny během nárazu – test 2
- Obr. 30: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 – test 2
- Obr. 31: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 – test 2

- Obr. 32: Míra dotažení integrovaných pásů – test 3
- Obr. 33: Pohyb figuríny během nárazu – test 3
- Obr. 34: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 – test 3
- Obr. 35: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 – test 3
- Obr. 36: Porovnání výsledného zpomalení hlavy figuríny P3 mezi jednotlivými testy
- Obr. 37: Porovnání průběhů výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3 mezi jednotlivými testy
- Obr. 38: Míra povolení bederní části bezpečnostního pásu
- Obr. 39: Pohyb figuríny během nárazu – test 1
- Obr. 40: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 1
- Obr. 41: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 1
- Obr. 42: Chybné vedení bezpečnostního pásu – test 2
- Obr. 43: Pohyb figuríny během nárazu – test 2
- Obr. 44: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 2
- Obr. 45: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 2
- Obr. 46: Připoutání figuríny P6 – test 3
- Obr. 47: Pohyb figuríny během nárazu – test 3
- Obr. 48: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 3
- Obr. 49: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 3
- Obr. 50: Porovnání výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 mezi jednotlivými testy experimentu 2
- Obr. 51: Porovnání výsledného zpomalení hrudníku P6 mezi jednotlivými testy experimentu 2
- Obr. 52: Chybné vedení bezpečnostního pásu – test 1
- Obr. 53: Pohyb figuríny během nárazu – test 1
- Obr. 54: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 1
- Obr. 55: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 1
- Obr. 56: Usazení figuríny P6 – test 2
- Obr. 57: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 – test 2
- Obr. 58: Pohyb figuríny během nárazu (vlevo) a konečná pozice figuríny po testu (vpravo)
- Obr. 59: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P6 – test 2
- Obr. 60: Porovnání výsledného zpomalení hlavy figuríny P6 mezi jednotlivými testy experimentu 3
- Obr. 61: Porovnání výsledného zpomalení hrudníku P6 mezi jednotlivými testy experimentu 3
- Obr. 62: Katapult CSA Advanced
- Obr. 63: Usazení figuríny P3
- Obr. 64: Pohyb figuríny P3 během nárazu

- Obr. 65: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3
- Obr. 66: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3
- Obr. 67: Usazení figuríny P3/4
- Obr. 68: Pohyb figuríny P3/4 během nárazu
- Obr. 69: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny P3/4
- Obr. 70: Průběh výsledného zpomalení hrudníku figuríny P3/4
- Obr. 71: Elektrická pohonná jednotka s lanovým pohonem se systémem Messring Microtrack
- Obr. 72: Deformovatelná bariéra dle parametrů EuroNCAP ODB
- Obr. 73: Usazení figuríny Q3
- Obr. 74: Pohyb figuríny Q3 během nárazu
- Obr. 75: Průběh výsledného zpomalení hlavy figuríny Q3
- Obr. 76: Průběh síly působící na krk figuríny Q3 ve směru osy z
- Obr. 77: Průběh ohybového momentu k ose y působícího na krk figuríny Q3
- Obr. 78: Průběh výsledného zpomalení hrudníku Q3
- Obr. 79: Průběh stlačení hrudníku Q3
- Obr. 80: Průběh tlaku v komorách snímače APTS

11 Seznam tabulek

Tab. 1.	Přehled počtu usmrcených dětí v silniční dopravě
Tab. 2:	Stanovené limitní hodnoty kritéria HIC
Tab. 3:	Stanovené limitní hodnoty 3ms kritéria hlavy
Tab. 4:	Stanovené limitní hodnoty axiální síly v tahu a ohybového momentu flexe
Tab. 5:	Stanovené limitní hodnoty komprese hrudníku
Tab. 6.	Stupnice AIS
Tab. 7:	Konfigurace experimentu 1
Tab. 8:	Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1
Tab. 9:	Stanovená hodnota 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1
Tab.10:	Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2
Tab.11:	Stanovená hodnota 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2
Tab.12:	Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3
Tab.13:	Stanovená hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3
Tab. 14:	Porovnání hodnot biomechanických kritérií HIC a 3ms a pravděpodobností vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy
Tab. 15:	Porovnání hodnot biomechanického kritéria 3ms a pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy
Tab. 16:	Konfigurace experimentu 2
Tab. 17:	Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1
Tab.18:	Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1
Tab. 19:	Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-6, test 2
Tab. 20:	Stanovená hodnota 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2
Tab. 21:	Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3
Tab.22:	Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 3
Tab. 23:	Porovnání hodnot biomechanických kritérií HIC a 3ms a pravděpodobností vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 2
Tab. 24:	Porovnání hodnot biomechanického kritéria 3ms a pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 2

- Tab. 25: Konfigurace experimentu 3
- Tab. 26: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1
- Tab. 27: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 1
- Tab. 28: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2
- Tab. 29: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test 2
- Tab. 30: Porovnání hodnot biomechanických kritérií HIC a 3ms a pravděpodobností vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 3
- Tab. 31: Porovnání hodnot biomechanického kritéria 3ms a pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3+ mezi jednotlivými testy experimentu 3
- Tab. 32: Konfigurace experimentu 4
- Tab. 33: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 04
- Tab. 34: Stanovené hodnoty 3ms kritéria a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 04
- Tab. 35: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 06
- Tab. 36: Stanovené hodnoty biomechanického kritéria 3ms a odpovídající pravděpodobnosti vzniku poranění závažnosti AIS 3-5, test pozice 06
- Tab. 37: Konfigurace experimentu 5
- Tab. 38: Stanovené hodnoty biomechanických kritérií HIC a 3ms a odpovídající limitní hodnoty
- Tab. 39: Hodnoty měřené v horní oblasti krku, stanovená hodnota biomechanického kritéria N_{ij} a odpovídající limitní hodnoty
- Tab. 40: Hodnoty biomechanických kritérií v oblasti hrudníku a odpovídající limitní hodnoty
- Tab. 41: Naměřené maximální hodnoty tlaku v komorách snímače APTS a odpovídající limitní hodnoty
- Tab. 42: Porovnání hodnot biomechanických kritérií získaných v rámci experimentu č.5 a hodnot totožné dynamické zkoušky provedené se systémem integrovaných pásů

12 Seznam příloh

Příloha 1	Zaznamenaná data z průzkumu
Příloha 2	Stupnice AIS s příklady poranění v jednotlivých oblastech
Příloha 3	Křivky rizika poranění dle NTHSA
Příloha 4	Křivky rizika poranění pro figurínu Q3
Příloha 5	Filtrační třídy měřených kanálů
Příloha 6	Měřicí technika pro experimenty 1-3
Příloha 7	Dodatečná data experiment 1
Příloha 8	Dodatečná data experiment 2
Příloha 9	Dodatečná data experiment 3
Příloha 10	Měřicí technika pro experiment 4
Příloha 11	Dodatečná data experiment 4
Příloha 12	Měřicí technika pro experiment 5
Příloha 13	Dodatečná data experiment 5
Příloha 14	Porovnání systému bezpečnostního pultu a systému integrovaných pásů
Příloha 15	CD
Příloha 16	Informační brožura

Příloha 1 – Zaznamenaná data z průzkumu

SKUPINA 0												
Č.	Věk [měsíce]	Hmotnost [kg]	Výška [cm]	Skupina DZS	ISOFIX	Bezpečnostní pásy vozidla			Integrované pásy DZS			Madlo v cestovní poloze
						Nepřekroucený	Veden přes záchytné body	Dotážený	Nepřekroucené	Dotážené	Správně nastavené	
1	8	9	70	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
2	8	9	74	0-18 kg	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
3	6	7,5	68	0-13 kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
4	1,5	4	51	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO
5	3	4,6	58	0-13 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
6	12	12,5	78	0-13 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
7	4	6,7	50	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
8	4	9	68	0-13 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	NE
9	3 (týdny)	3	50	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO
10	5	6	64	0-10 kg	-	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
11	3	5,7	59	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
12	5	8,5	80	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
13	8	7	75	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	NE	NE	ANO	NE
14	7	6	63	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
15	9	8,5	75	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
16	13	9	75	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
17	3	5	60	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO
18	7	8,3	68	0-10 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
19	12,5	13	80	0-13 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
20	6	7,5	68	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
21	6	8,5	80	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO
22	7	6,5	62	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
23	8	7	73	0-10 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE

24	12	13	75	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO	NE
25	4	6	53	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
26	4	7	68	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO
27	3	4,5	59	0-10 kg	-	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
28	2	4,5	51	0-13 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
29	3	46	58	0-10 kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
30	12	11,5	70	0-10 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
31	5	6,5	55	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	NE
32	4	5	68	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
33	6 (týdnů)	3,5	50	0-13 kg	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
34	5	6	64	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
35	6	5,5	60	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO
36	7	6,5	60	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO
37	10	9	70	0-13 kg	-	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
38	4	7	65	0-13 kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
39	8	7,8	72	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
40	8	8	75	0-10 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
41	6	7	68	0-10 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE
42	7	8	65	0-13 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
43	4	5,5	67	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
44	3	4	58	0-10 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
45	5	5,3	60	0-13 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
46	5	4,5	50	0-10 kg	-	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO	NE
47	13	13	82	0-13 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO
48	2	3,5	50	0-10 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE
49	11	10	77	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	NE
50	9	9	75	0-13 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO

SKUPINA I											
Č.	Věk [roky]	Hmotnost [kg]	Výška [cm]	Skupina DZS	ISOFIX	Bezpečnostní pás vozidla			Integrované pásy DZS		
						Nepřekroucený	Veden přes záchytné body	Dotážený	Nepřekroucené	Dotážené	Správně nastavené
1	3	15	98	9-18 kg	-	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO
2	3	17	110	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE	ANO
3	4	18	100	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	NE	NE	ANO
4	3	12	100	9-18 kg	-	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO
5	3	18	100	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
6	1,5	12	84	9-18 kg	-	ANO	NE	NE	ANO	NE	ANO
7	3	13	99	9-18 kg	-	ANO	NE	NE	ANO	NE	ANO
8	2,5	15	89	9-18 kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	NE
9	3	12	94	9-18 kg	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE
10	1,5	12	86	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
11	3	15	98	9-18 kg	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE
12	2	13	95	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
13	4	15	108	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
14	3	15	105	9-18 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
15	5	16	105	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
16	4	15	100	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
17	4,5	18	100	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
18	2	14	95	9-18 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE
19	2	13	98	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
20	2,5	14	98	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
21	3	17	96	9-18 kg	-	NE	NE	ANO	ANO	NE	ANO
22	1,5	11	80	9-18 kg	-	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO
23	2	10	80	9-18 kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO
24	2	14	92	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
25	3	14	100	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO

26	2	13	93	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
27	2,5	14	95	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
28	2	12	96	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
29	1,5	10	85	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
30	1,5	11	80	0-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
31	1,5	10	77	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
32	1,5	9	75	9-18 kg	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
33	1,5	10	77	9-18 kg	-	ANO	ANO	NE	NE	NE	NE
34	2,5	13	90	9-18 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE
35	3	14,5	90	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
36	2	10	86	9-18 kg	-	NE	ANO	ANO	ANO	NE	NE
37	3	13	100	9-18 kg	-	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
38	2,5	14	95	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE
39	1	9	75	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE
40	3	16	97	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
41	5	16	110	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE
42	2	13	90	9-18 kg	-	NE	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
43	4	16	102	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	NE	NE	NE
44	4	16,5	95	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
45	3	13	94	9-18 kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
46	13 (měsíců)	12	80	9-18 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE
47	9 (měsíců)	9	72	9-18 kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	NE	NE
48	5	15	105	9-18 kg	-	ANO	ANO	NE	NE	NE	NE
49	5	15	110	9-18 kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE
50	2	11	92	9-18 kg	-	NE	NE	NE	NE	ANO	NE

SKUPINA II												
č.	Věk [roky]	Hmotnost [kg]	Výška [cm]	Skupina DZS	ISOFIX	Bezpečnostní pásy vozidla					Chybná pozice hlavy	Dítě se poutá samo
						Nepřekroucený	Veden přes záchytné body	Dotážený	Vede přes krk	Vede přes břicho		
1	8	29	137	15-36kg	-	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO
2	4	18	100	15-36kg	-	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE
3	5	17	110	15-36kg	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE
4	8	26	130	15-36kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
5	5	16	106	15-36kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
6	7	20	130	15-36kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	NE	ANO
7	7	23	115	15-36kg	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	NE	ANO
8	8	26	130	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
9	5	20	123	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
10	5	21	116	15-36kg	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
11	4,5	20	110	15-36kg	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE
12	3	16	95	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE	NE
13	5	23	119	15-36kg	-	NE	NE	ANO	NE	ANO	ANO	NE
14	4	21	120	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE
15	5	18	108	15-36kg	-	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
16	6	18	120	15-36kg	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
17	6	20	116	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	NE
18	4	17	107	15-36kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
19	6	25	120	15-36kg	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE
20	6	18	110	15-36kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
21	4	17	100	15-36kg	-	NE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	NE
22	5	18	112	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
23	5,5	18	112	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
24	7,5	29	128	15-36kg	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	NE

25	9	23	126	15-36kg	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	NE	ANO
26	6	20	124	15-36kg	-	NE	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
27	5	18	117	15-36kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE
28	4	19	110	15-36kg	-	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
29	3,5	16	105	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
30	5,5	23	122	15-36kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
31	4	18	110	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
32	6	21	120	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
33	6	17	114	15-36kg	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE
34	5,5	20	105	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
35	7	19	124	15-36kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
36	4	17	104	15-36kg	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
37	7	25	123	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
38	7,5	20	129	15-36kg	-	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
39	5	20	115	15-36kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	NE
40	4	15	102	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
41	6	23	128	15-36kg	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
42	8	30	120	15-36kg	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO	NE
43	5	20	112	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	NE	ANO	NE
44	4	15	108	15-36kg	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO	NE
45	6	22	135	15-36kg	-	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
46	6	18	122	15-36kg	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
47	7,5	25	130	15-36kg	-	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
48	6	18	122	15-36kg	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
49	11	26	143	15-36kg	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
50	7	25	127	15-36kg	-	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO

SKUPINA III												
Č.	Věk [roky]	Hmotnost [kg]	Výška [cm]	ISOFIX	Bezpečnostní pásy vozidla					Chybná pozice hlavy	Dítě se poutá samo	
					Nepřekroucený	Vede přes záchytné body	Dotážený	Vede přes krk	Vede přes břicho			
1	10	20	125	-	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO	
2	4	18	100	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO	
3	6	29	128	-	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	
4	10	30	149	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	
5	9	30	130	-	ANO	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	
6	10	38	145	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	
7	8	47	147	-	ANO	NE	NE	ANO	NE	ANO	ANO	
8	9	36	148	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	
9	4	16	114	-	ANO	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE	
10	7,5	28	134	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	
11	9	31	140	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	
12	8	27	134	-	NE	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO	
13	7	26	132	-	ANO	NE	ANO	ANO	NE	NE	ANO	
14	7	29	122	-	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO	
15	8	30	140	-	NE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	
16	7	22	120	-	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	
17	7	20	125	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO	
18	9	25	130	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO	
19	8	40	140	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	
20	7	27	125	-	ANO	NE	ANO	ANO	NE	NE	NE	
21	10	29	135	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	
22	7	24	120	-	NE	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO	
23	4	17	105	-	NE	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	
24	9	35	142	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	

25	8	26	130	-	ANO	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO
26	7	23	128	-	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
27	10	32	140	-	NE	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
28	4,5	18	115	-	ANO	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO
29	11	25	130	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO
30	6	17	105	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO
31	8,5	30	134	-	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO
32	9	35	140	-	ANO	NE	NE	ANO	NE	ANO	ANO
33	5	16	105	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
34	4	15	105	-	NE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
35	11	33	140	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
36	8	27	133	-	NE	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO
37	7	19	120	-	NE	NE	ANO	NE	NE	NE	NE
38	7	24	127	-	NE	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO
39	6	20	125	-	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
40	9,5	30	133	-	ANO	NE	ANO	ANO	NE	NE	NE
41	6	20	120	-	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
42	4	15	100	-	ANO	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE
43	5	18	120	-	ANO	NE	ANO	NE	ANO	NE	ANO
44	10,5	26	130	-	ANO	NE	ANO	ANO	NE	NE	ANO
45	11	30	145	-	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
46	5	20	110	-	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	ANO
47	8	35	138	-	ANO	NE	NE	ANO	NE	ANO	ANO
48	6	22	127	-	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
49	7	30	137	-	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	NE	ANO
50	6	24	115	-	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO

Příloha 2 – Stupnice AIS s příklady poranění v jednotlivých oblastech

Index	Kategorie míry zatížení	Příklady poranění				
		Hlava	Krk	Hrudník	Břicho	Obecné
1	Drobná	Tržné rány obličeje, Fraktury nosu	Oděrky, mírné lacerace, kontuze svalů	Fraktura jednoho žebra, Kontuze průdušek		Odřeniny, otláčení, natržení kůže, popáleniny 1. stupně až 70 %, popáleniny 2. stupně až 10 %, bez ztráty vědomí
2	Mírná	Velká avulze (vyražení zubu, odstranění kůže) Jednoduché fraktury klenby, Fraktury dolní čelisti, Mírné fraktury horní čelisti	Dislokace páteře bez fraktur	Fraktura 2-3 žeber, Fraktura hrudní kosti, Vyhřeznutí ploténky, Částečná lacerace průdušky	Lehké kontuze jater/sleziny/ledvin	Velkoplošné odřeniny, rozsáhlá porušení slabin, popáleniny 2. stupně do 20 %, Krátkodobá ztráta vědomí
3	Vážná (neohrožující život)	Fraktury baze lebni – bez vnitřních zranění, Vážné fraktury horní čelisti, Kontuze mozku/mozečku	Mnohočetná lacerace nervových kořenů	Fraktura 4 a více žeber na jedné straně, 2-3 fraktury s hemo//pneumothoraxem Kontuze plic, Mírná kontuze srdce	Otevřené rány s poškozením nervů a cév, Kontuze, menší lacerace orgánů	Popáleniny 2. stupně 30 %, Ztráta vědomí 5 až 10 min
4	Vážná (ohrožující život)	Komplexní zlomeniny klenby lebeční (otevřené/tržné), Malé epidurální a subdurální hematomy, Poranění mozku s neurologickými příznaky	Neúplná kontuze míchy	Zhroucení hrudníku – 4 a více fraktur na obou stranách, 4 a více fraktur s hemo//pneumothoraxem, Bilaterální plicní lacerace, Menší lacerace aorty, Závažná kontuze srdce	Rány s nebezpečným krvácením, ruptury orgánů	Popáleniny 2. stupně 40 %, popáleniny 3. stupně 10 % ztráta vědomí 10 až 30 min
5	Kritické (přežití nejisté)	Velká penetrující poranění, Komprese mozku /vážné poškození, Velké epidurální a subdurální hematomy, Rozptýlená poranění buněčné struktury nervů	Lacerace míchy bez fraktur, Fraktury krční páteře	Bilaterální zhroucení hrudníku, Závažná lacerace aorty, Lacerace plic s pneumothoraxem	Velké ruptury sleziny/ jater/ ledvin s aktivním krvácením	popáleniny 3. stupně až 50 % bezvědomí 30 min až 1 h
6	Neléčitelné	Masivní destrukce lebky/mozku	Lacerace míchy u 3. krčního obratle (a výš) s frakturami	Lacerace aorty s krvácením do mediastina	Roztříštění jater/sleziny/ledvin	Smrtelná poranění

Avulze – odstranění velké anatomické vrstvy/násilná změna pozice orgánu; Bilaterální – oboustranný; Dislokace – posunutí kosti z původní pozice; Epidurální – mezi tvrdou plenou mozkovou a lebkou; Fraktura – zlomenina; Hemothorax – krev v pohrudniční štěrbíně; Kontuze – pohmoždění; Lacerace – roztržení; Mediastinum – prostor mezi plicemi s uložením srdce; Penetrující – pronikající; Pneumothorax – vzduch v pohrudniční štěrbíně; Ruptura – roztržení; Subdurální – mezi tvrdou plenou mozkovou a mozkiem;

Příloha 3 – Křivky rizika poranění dle NTHSA

Tab. 6: Křivky pravděpodobnosti poranění dle HIC₁₅ pro figurínu prezentující šestileté dítě

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(2.49 + 140/HIC - 0.00690 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(3.39 + 140/HIC - 0.00531 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(4.90 + 140/HIC - 0.00501 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(7.82 + 140/HIC - 0.00613 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	$= [1 / (1 + \exp^{(12.14 + 140/HIC - 0.00807 \cdot HIC)})] \times 100 \%$

Tab. 7: Křivky pravděpodobnosti poranění dle HIC₁₅ pro figurínu prezentující tříleté dítě

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(2.49 + 114/HIC - 0.00847 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(3.39 + 114/HIC - 0.00653 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(4.90 + 114/HIC - 0.00616 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(7.82 + 114/HIC - 0.00753 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	$= [1 / (1 + \exp^{(12.24 + 114/HIC - 0.00991 \cdot HIC)})] \times 100 \%$

Tab. 8: Křivky pravděpodobnosti poranění dle HIC₁₅ pro figurínu CRABI reprezentující 12 měsíční dítě

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(2.49 + 78/HIC - 0.01238 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(3.39 + 78/HIC - 0.00954 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(4.90 + 78/HIC - 0.00900 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(7.82 + 78/HIC - 0.011000 \cdot HIC)})] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	$= [1 / (1 + \exp^{(12.24 + 78/HIC - 0.01449 \cdot HIC)})] \times 100 \%$

Tab. 9: Křivky pravděpodobnosti poranění dle Nij

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(2.0536 - 1.1955 \cdot Nij)})] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(3.227 - 1.969 \cdot Nij)})] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(2.693 - 1.196 \cdot Nij)})] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp^{(3.817 - 1.196 \cdot Nij)})] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	

Tab. 10: Křivky pravděpodobnosti poranění dle 3 ms kritéria hrudníku pro figurínu prezentující šestileté dítě

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (1.2324 - 0.05760 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (3.1493 - 0.06300 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (4.3425 - 0.06300 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (8.7652 - 0.06590 \cdot g))] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	

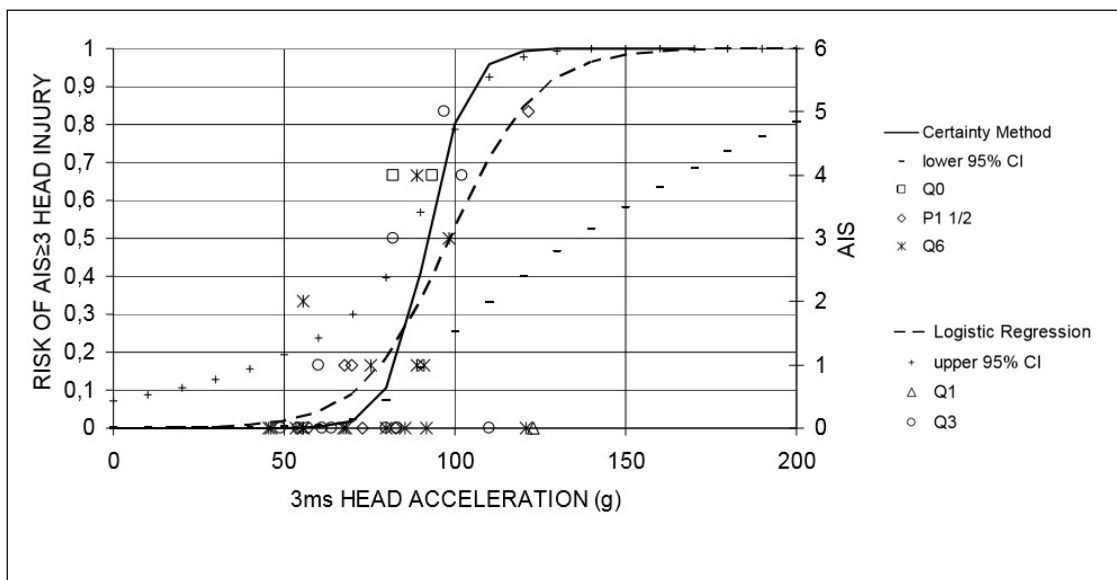
Tab. 11: Křivky pravděpodobnosti poranění dle 3 ms kritéria hrudníku pro figurínu prezentující tříleté dítě

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (1.2324 - 0.06284 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (3.1493 - 0.06873 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (4.3425 - 0.06873 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (8.7652 - 0.07189 \cdot g))] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	

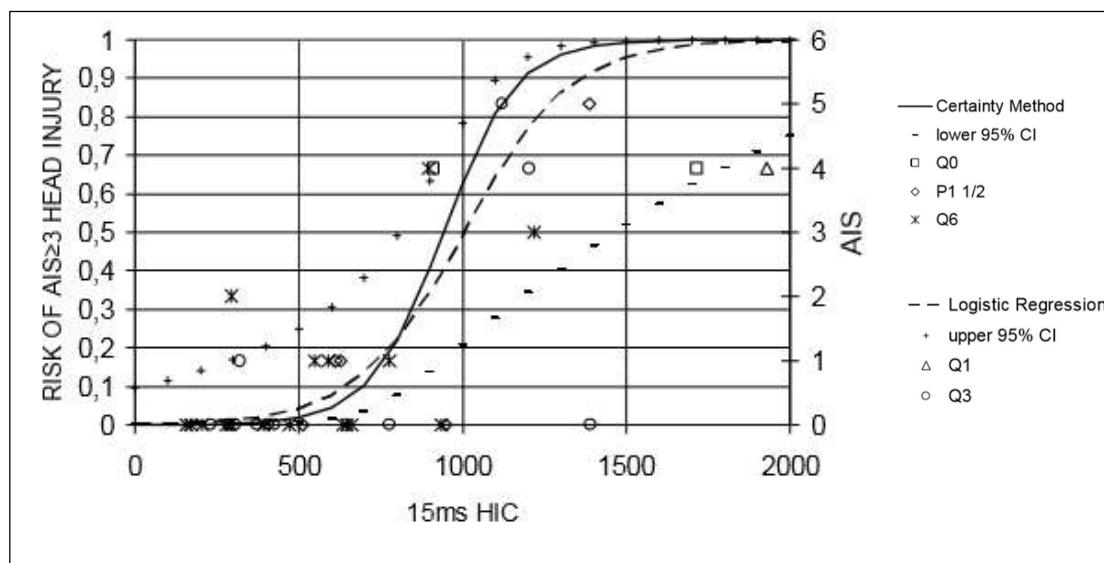
Tab. 12: Křivky pravděpodobnosti poranění dle 3 ms kritéria hrudníku pro figurínu CRABI reprezentující 12měsíční dítě

AIS 2+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (1.2324 - 0.06912 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 3+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (3.1493 - 0.07560 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 4+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (4.3425 - 0.07560 \cdot g))] \times 100 \%$
AIS 5+ pravděpodobnost poranění	$= [1 / (1 + \exp (8.7652 - 0.07908 \cdot g))] \times 100 \%$
Pravděpodobnost úmrtí	

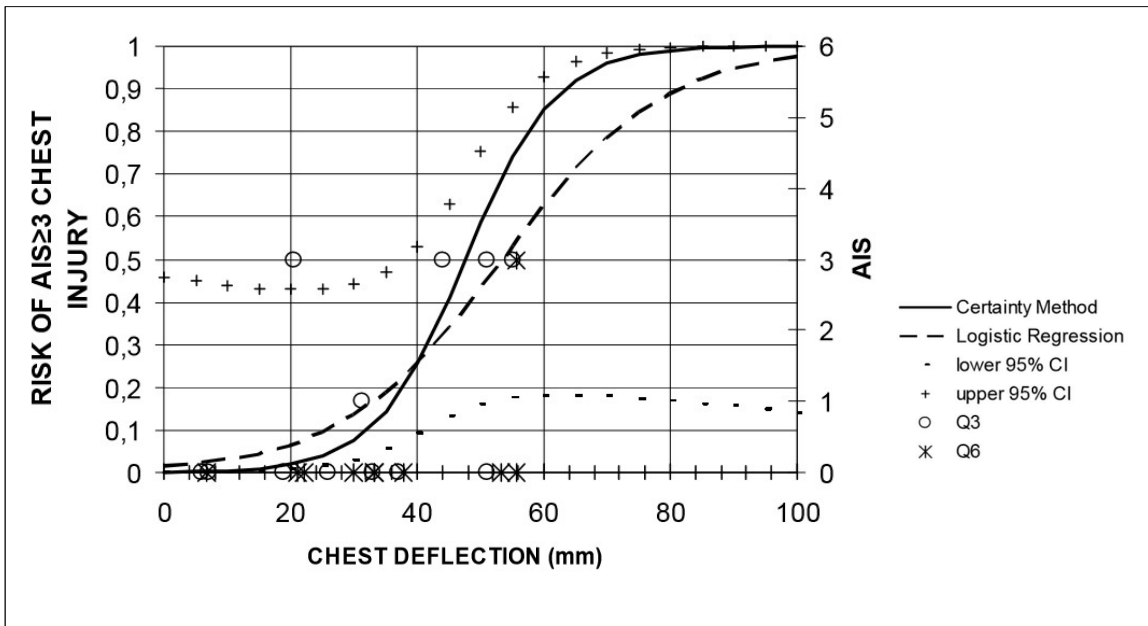
Příloha 4 – Křivky rizika poranění pro figurínu Q3



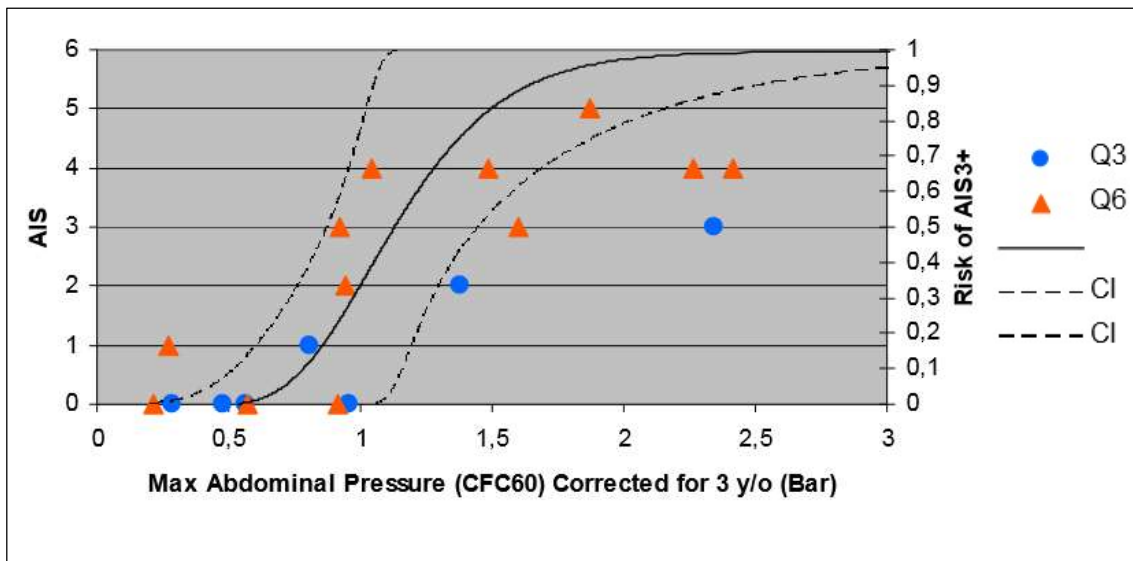
Obr. 3: Křivky pravděpodobnosti poranění AIS 3+ dle 3ms kritéria hlavy pro figurínu prezentující tříleté dítě (Q3)



Obr. 4: Křivky pravděpodobnosti poranění AIS 3+ dle HIC15 pro figurínu prezentující tříleté dítě (Q3)



Obr. 5: Křivky pravděpodobnosti poranění AIS3+ dle stlačení hrudníku pro figurínu prezentující tříleté dítě (Q3)



Obr. 6: Křivky pravděpodobnosti poranění AIS3+ dle tlaku břicha pro figurínu prezentující tříleté dítě (Q3)

Příloha 5 – Filtrační třídy měřených kanálů

MĚŘENÉ VELIČINY	CFC
Akcelerace saní	60
Akcelerace vzorku/vozidla	60
Akcelerace hlavy	1000
Axiální síly krku	1000
Ohybové momenty krku	600
Akcelerace hrudníku	180
Deformace hrudníku	600

Příloha 6 – Měřicí technika pro experimenty 1-3

Snímače					
Druh	Pozice	Výrobce	Model	Rozsah	Citlivost
Akcelerometr (Ax)	Saně	HBM	B12/1000	2000 g	0,01425 [mV/g/V]
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Hlava	MEANS	64C-2000-360	2000 g	0,01382 - 0,01471 [mV/g/V]
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Hrudník	KISTLER	M0064C00-2000	240 g	0,0514 - 0,05574 [mV/g/V]
Siloměr	Bederní	KISTLER	MESSRING	6,0 kN	0,275 mV/kN/V
Siloměr	Diagonální	KISTLER	MESSRING	6,0 kN	0,275 mV/kN/V

Kamery						
Druh	Pozice	Pohled	Výrobce	Model	Rozlišení	Objektiv
Vysokorychlostní	Statická	zprava celek	DEL Imaging	MotionXtra HG-100K	1024x1024	Nikkor 1"35 mm

Sběrnice dat				
Druh	Typ	Výrobce	Model	Napájení
Sběrnice pro snímač MEANS	KIDAU Basic	KISTLER	NXT 32 -K3882B	5 V
Sběrnice pro snímače HBM/KISTLER	MIRSH	MIRSH	-	5 V

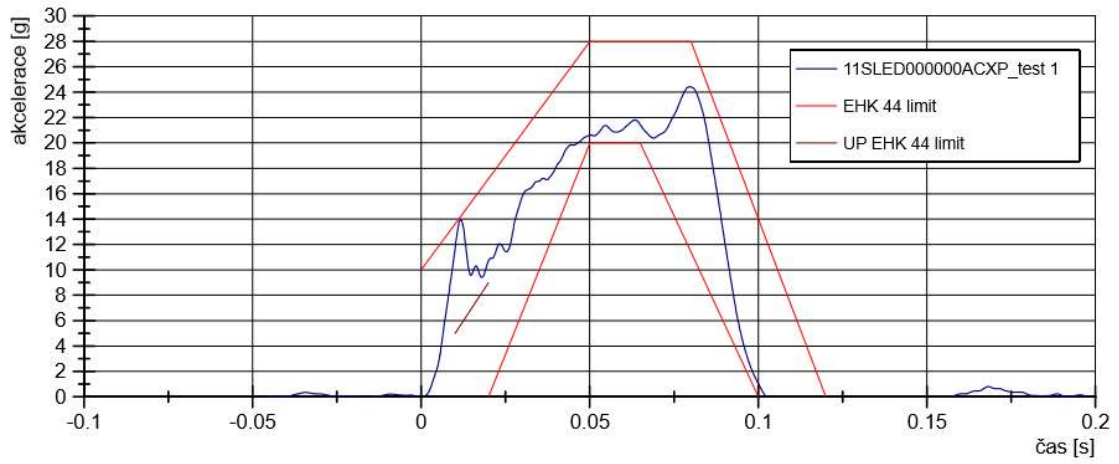
Příloha 7 – Dodatečná data experiment 1



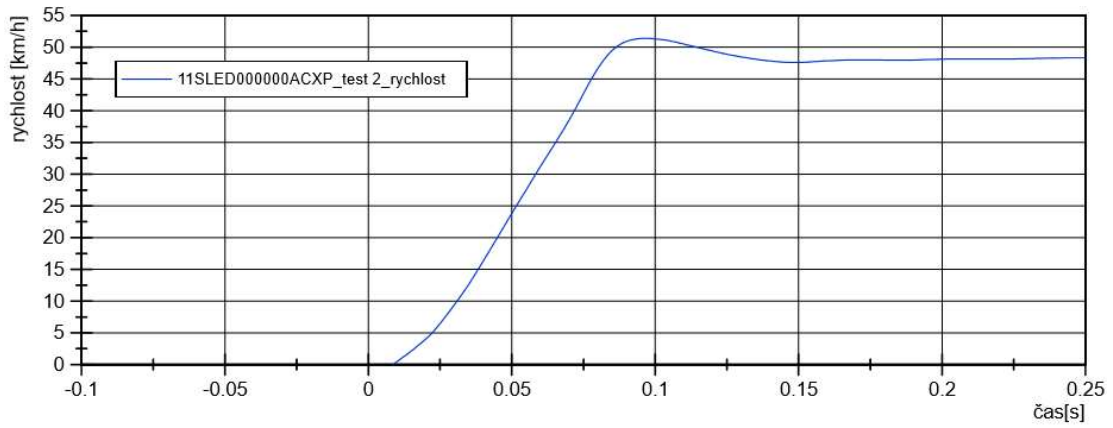
Obr. 1: Fotodokumentace před zkouškou test 1



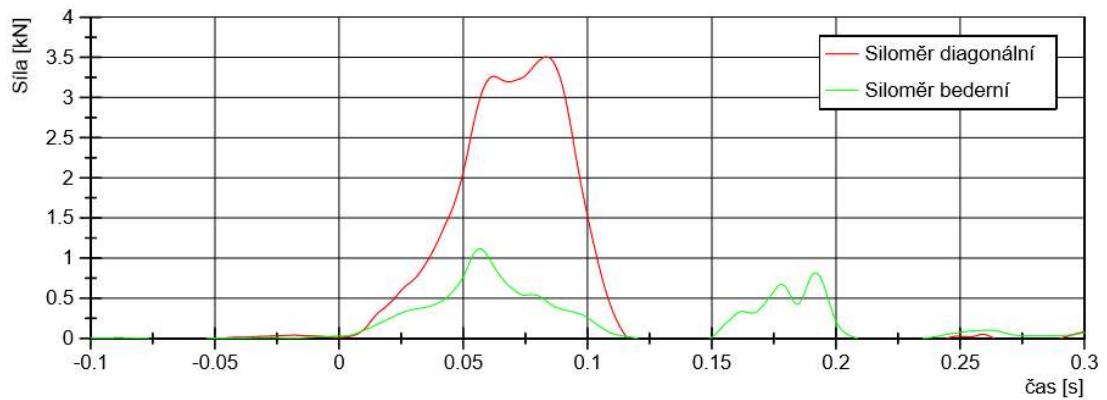
Obr. 2: Fotodokumentace po zkoušce test 1



Obr.3: Akcelerace saní test 1



Obr. 4: Rychlost saní test 1



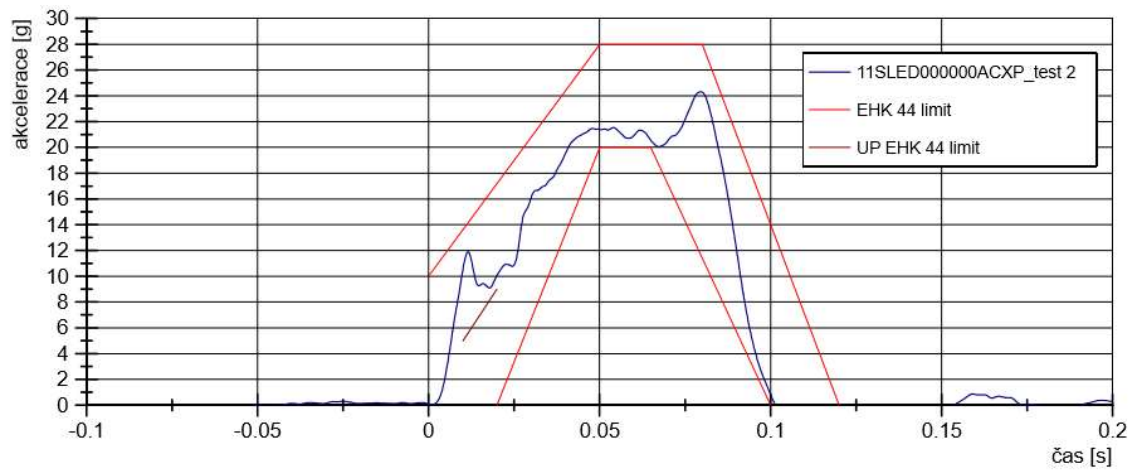
Obr.5: Síla pásu test 1



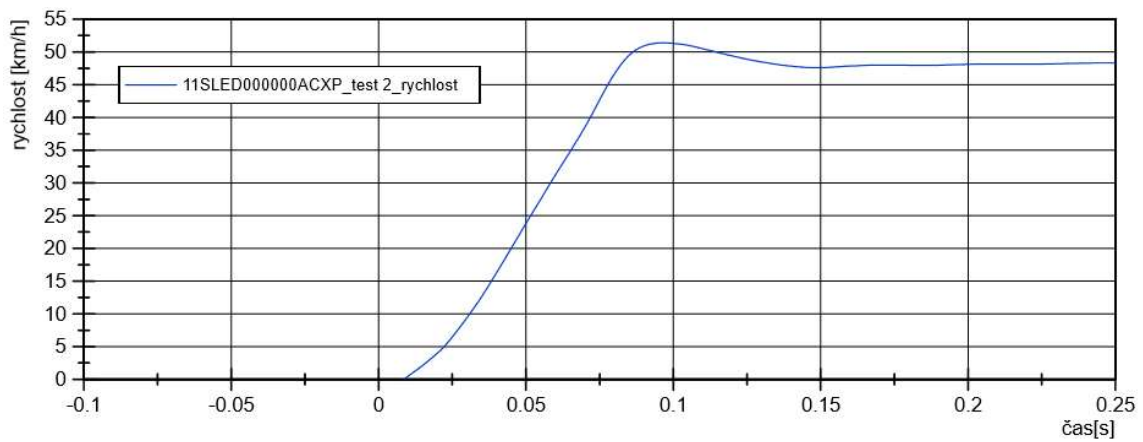
Obr. 6: Fotodokumentace před zkouškou test 2



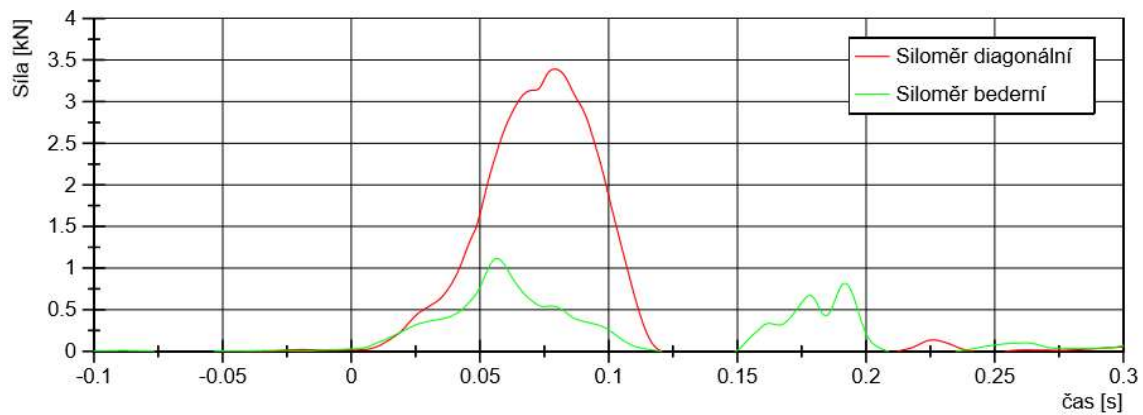
Obr. 7: Fotodokumentace po zkoušce test 2



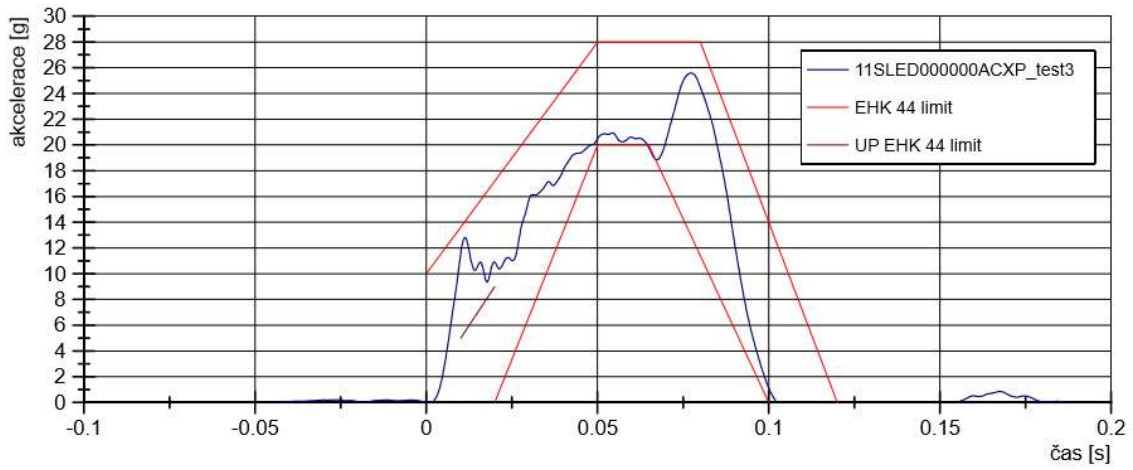
Obr. 8: Akcelerace saní test 2



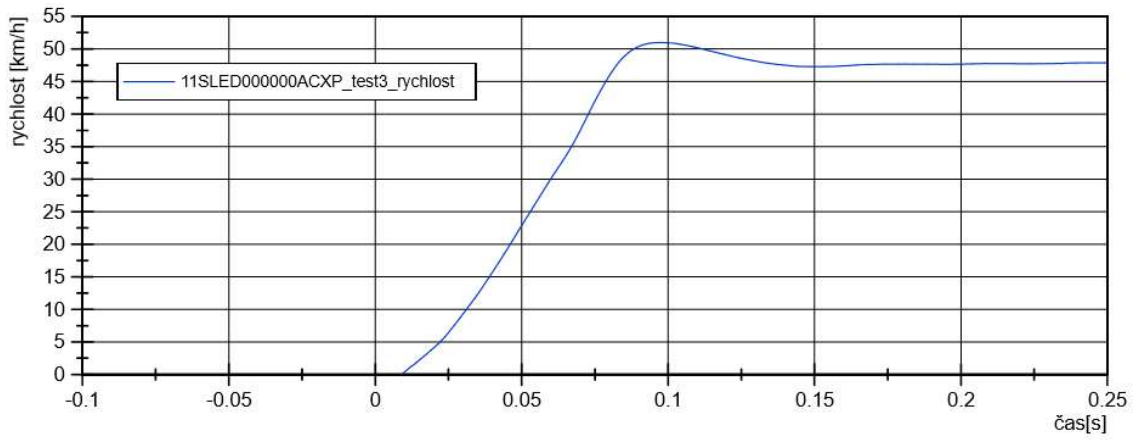
Obr. 9: Rychlost saní test 2



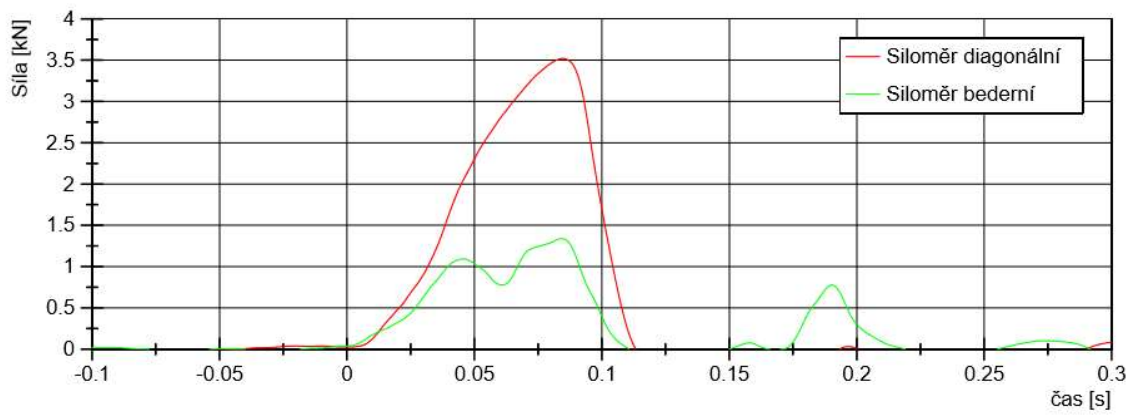
Obr. 10: Síla pásu test 2



Obr. 11: Akcelerace saní test 3



Obr. 12: Rychlost saní test 3

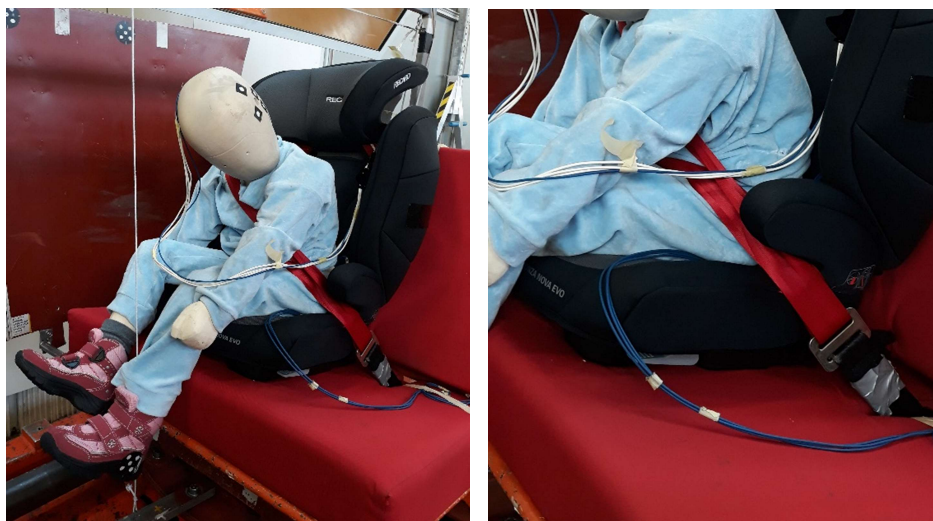


Obr. 13: Síla pásu test 3

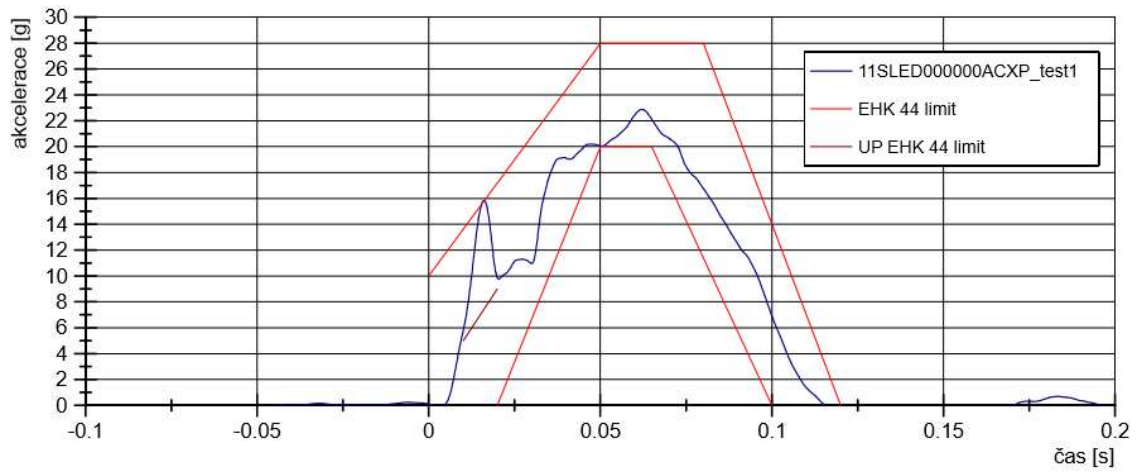
Příloha 8 - Dodatečná data experiment 2



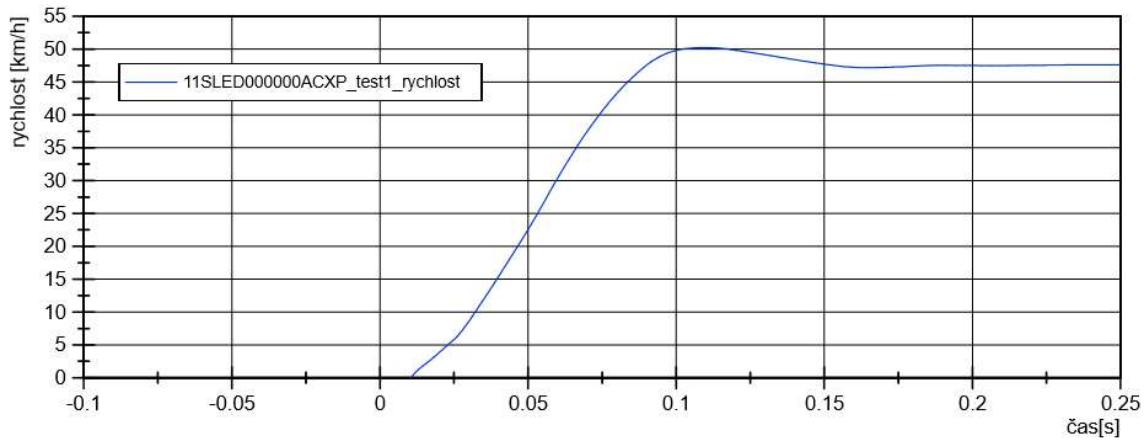
Obr. 1: Fotodokumentace před zkouškou test 1



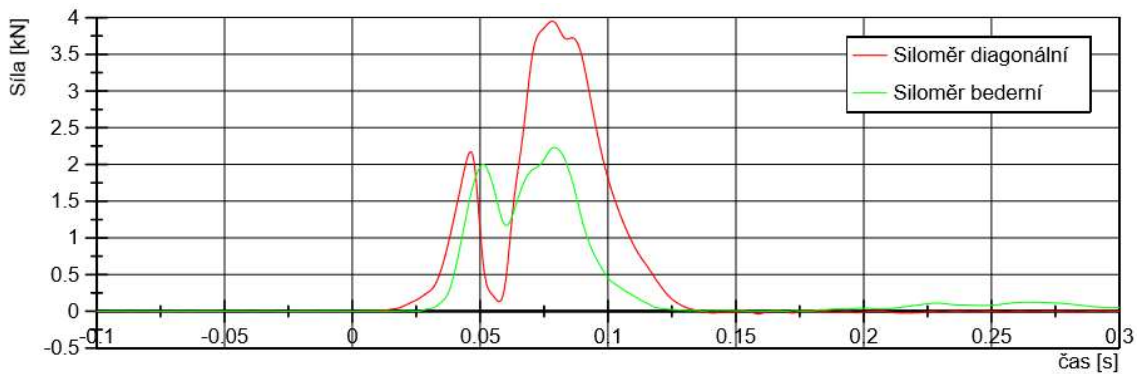
Obr. 7: Fotodokumentace po zkoušce test 1



Obr.3: Akcelerace saní test 1



Obr. 4: Rychlost saní test 1



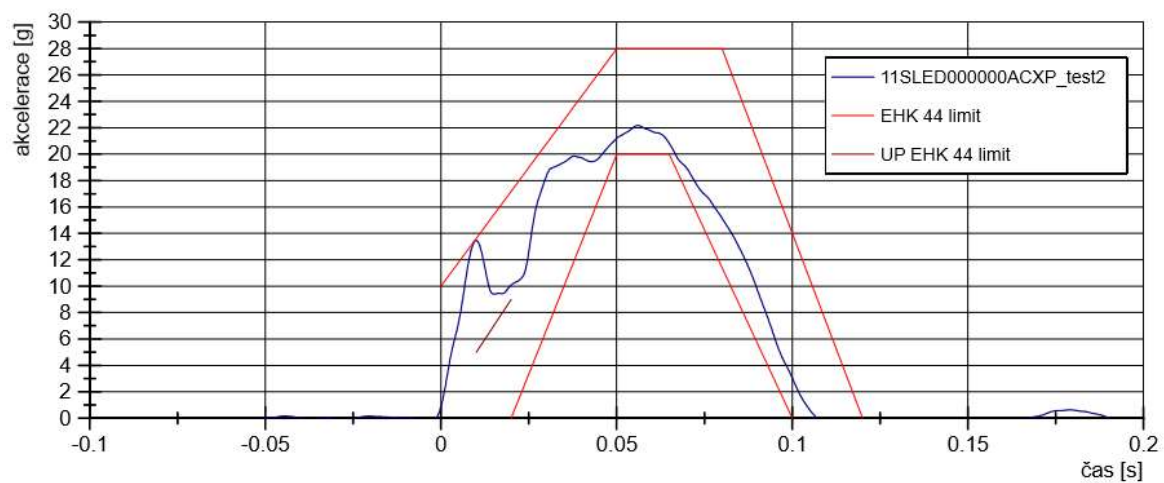
Obr.5: Síla pásu test 1



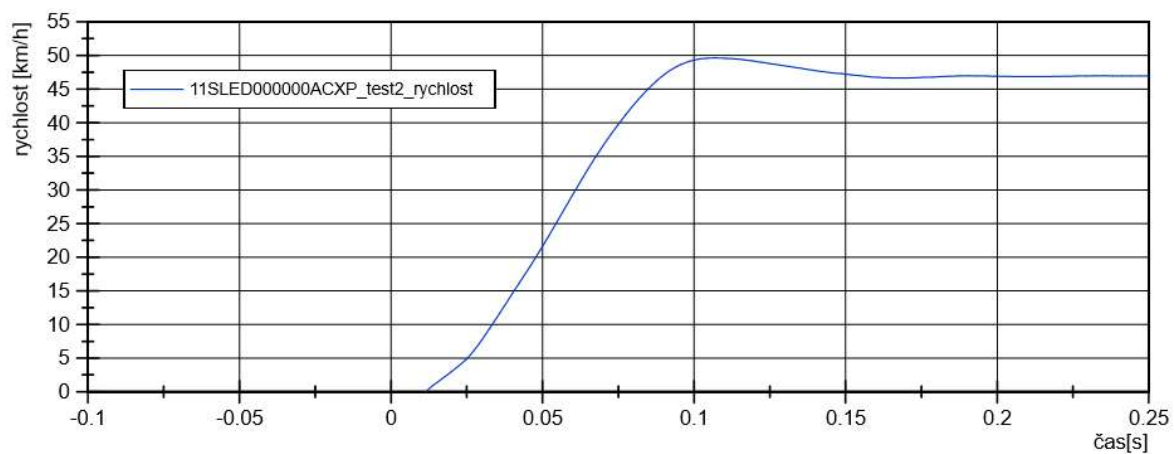
Obr. 6: Fotodokumentace před zkouškou test 2



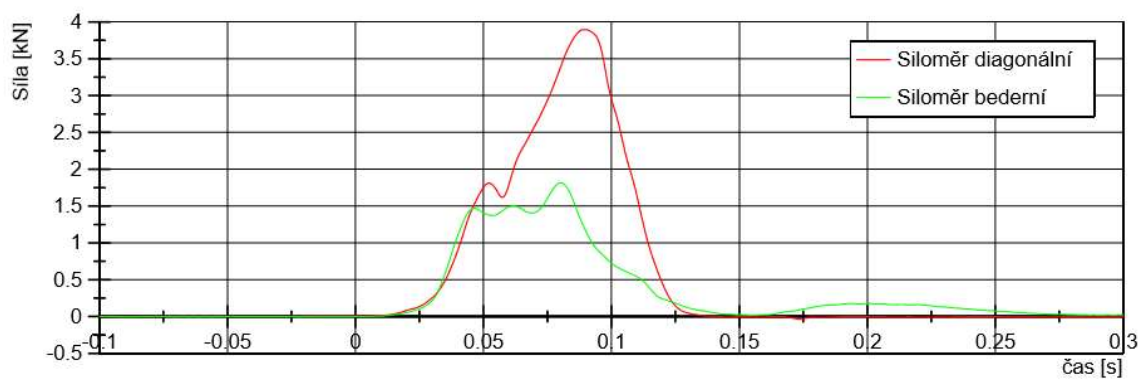
Obr. 7: Fotodokumentace po zkoušce test 2



Obr. 8: Akcelerace saní test 2



Obr. 9: Síla pásu test 2



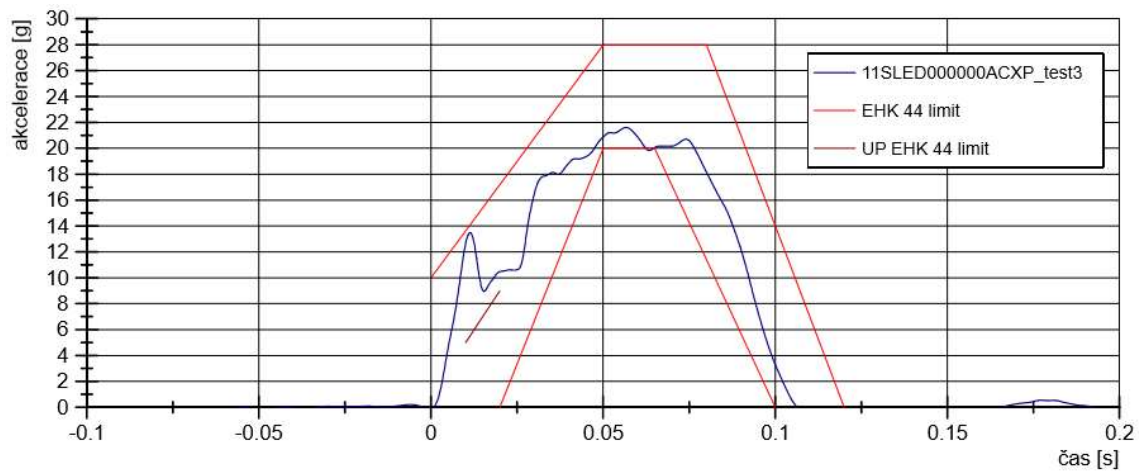
Obr. 10: Síla pásu test 2



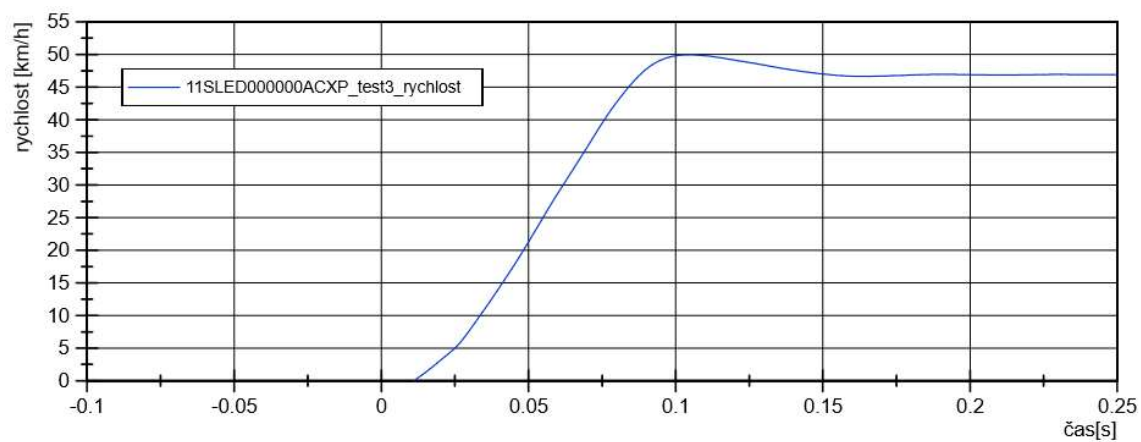
Obr. 11: Fotodokumentace před zkouškou test 3



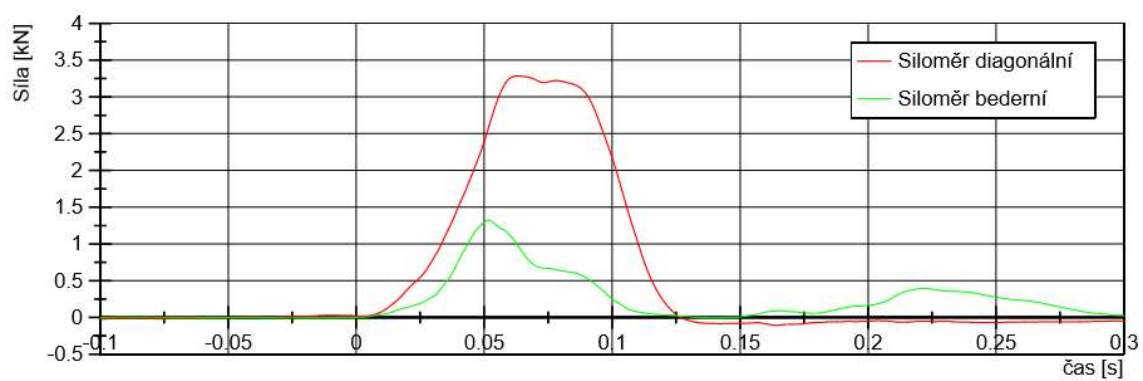
Obr. 12: Fotodokumentace po zkoušce test 3



Obr. 13: Akcelerace saní test 3



Obr. 14: Rychlost saní test 3



Obr. 15: Síla pásu test 3

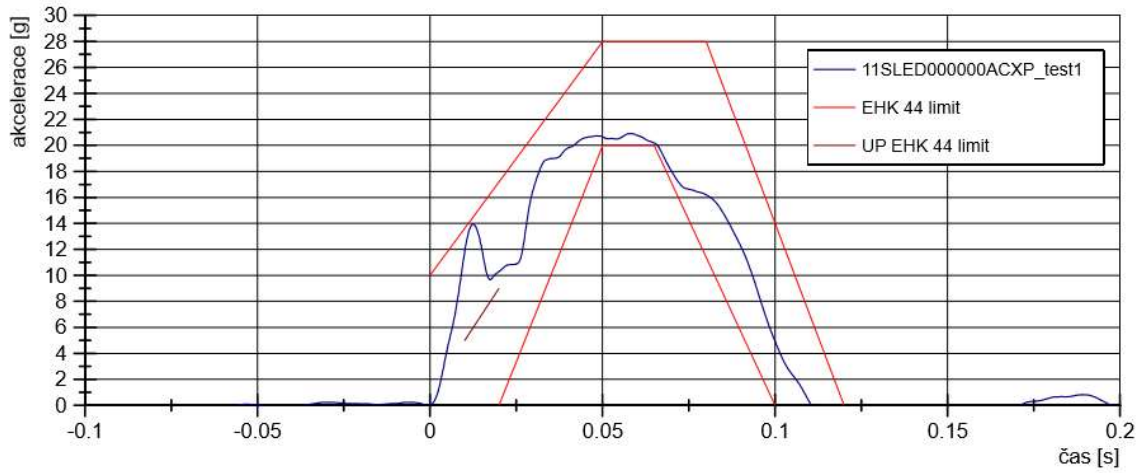
Příloha 9 – Fotodokumentace experiment 3



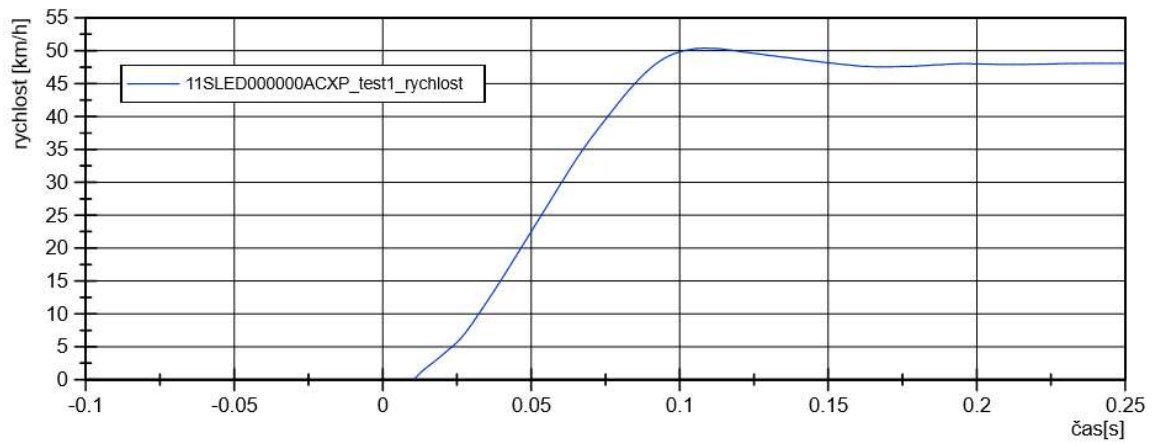
Obr. 1: Fotodokumentace před zkouškou test 1



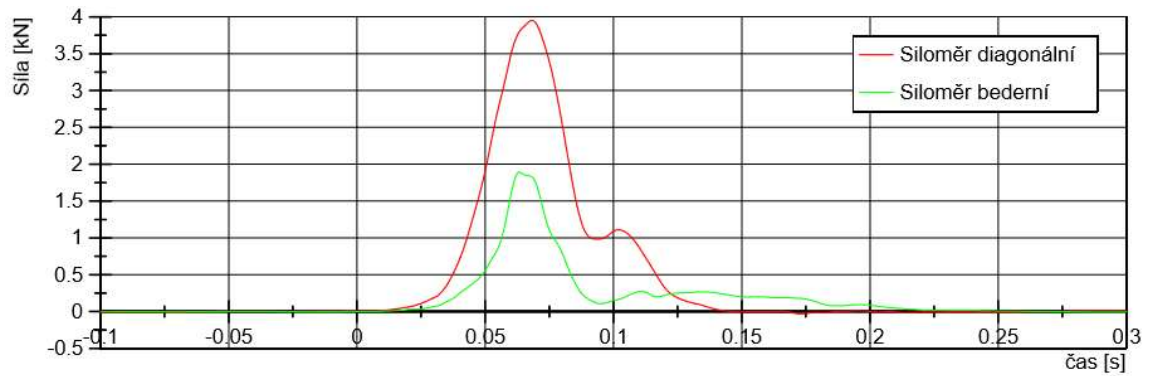
Obr. 2: Fotodokumentace po zkoušce test 1



Obr.3: Akcelerace saní test 1



Obr. 4: Rychlost saní test 1



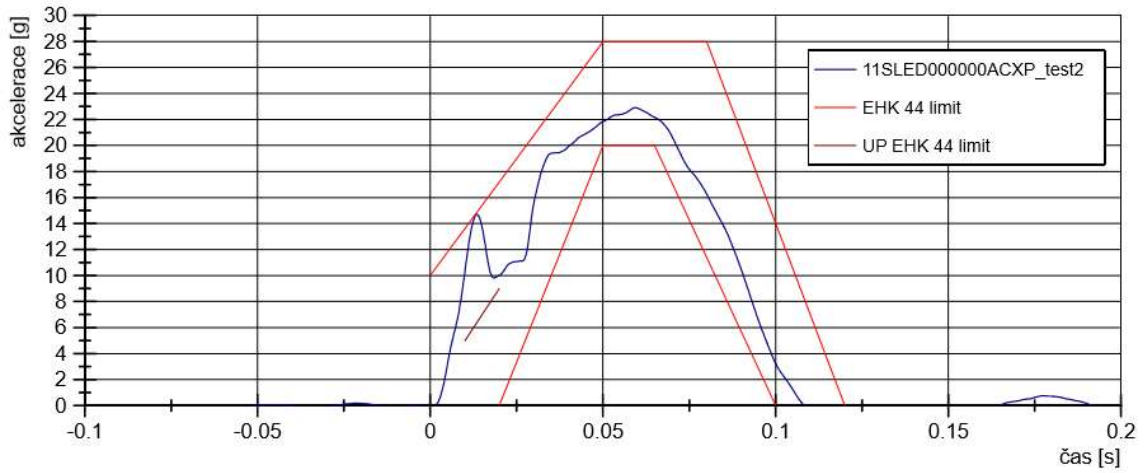
Obr.5: Síla pásu test 1



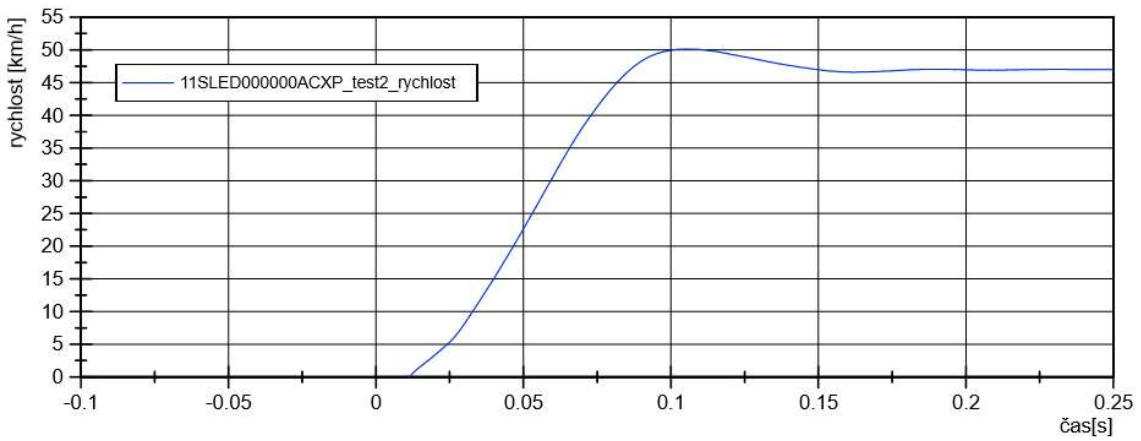
Obr. 6: Fotodokumentace před zkouškou test 2



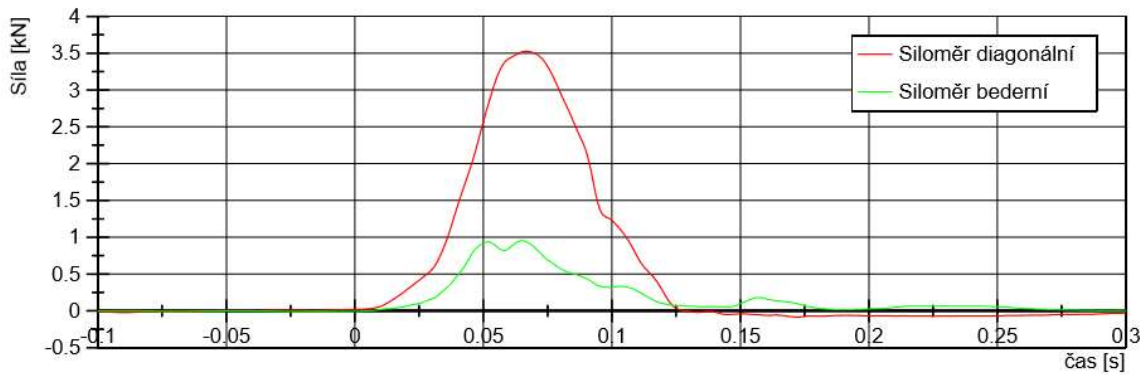
Obr. 7: Fotodokumentace po zkoušce test 2



Obr. 8: Akcelerace saní test 2



Obr. 9: Rychlost saní test 3



Obr. 10: Síla pásu test 2

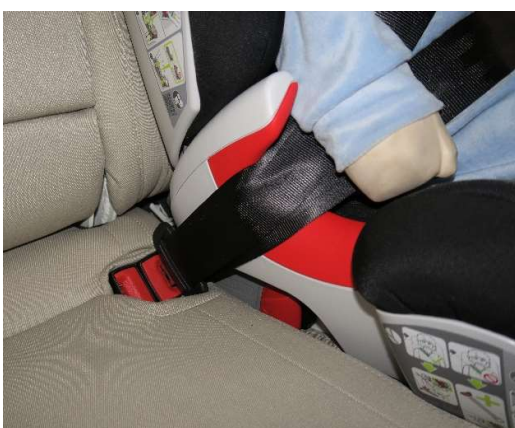
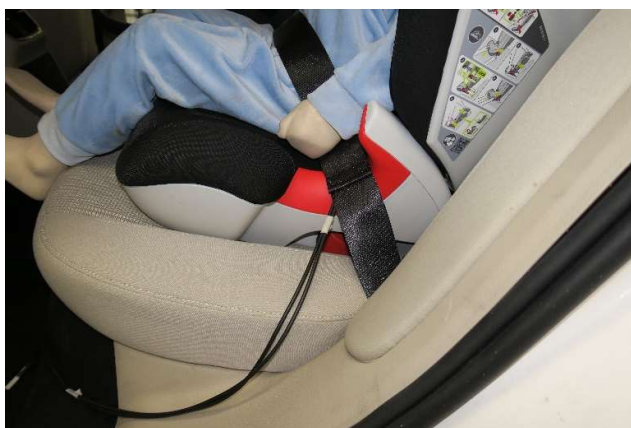
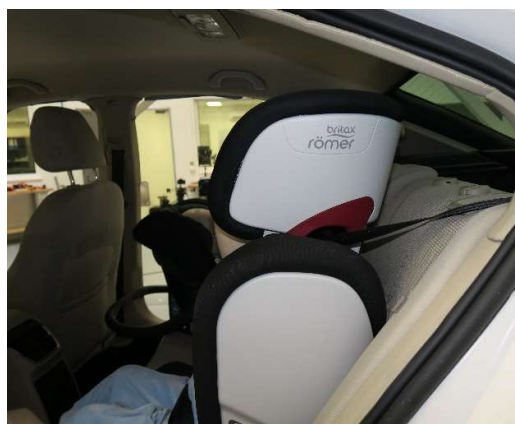
Příloha 10 – Měřicí technika pro experiment 4

Snímače						
Druh	Pozice	Výrobce	Model	Identifikační číslo	Rozsah [g]	Citlivost [mV/V/g]
Akcelerometr (Ax)	Saně	KISTLER	M53A-2000	A194311	100	0,01376
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Hlava P3	KISTLER	M53A-2000	A194308	500	0,01287 - 0,01423
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Hrudník P3	KISTLER	M53A-500	A147352	500	0,0514 - 0,05574
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Hlava P3/4	KISTLER	M53A-500	A147353	500	0,05526 - 0,0594
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Hrudník P3/4	KISTLER	M53A-2000	A220851	500	0,01436 - 0,01475

Kamery						
Druh	Pozice	Pohled	Výrobce	Model	Rozlišení	Objektiv
Vysokorychlostní	OnBoard	zleva detail P3	HS Vision	MegaVis mini HD +	1920x1440	Kowa 1“12 mm
Vysokorychlostní	OnBoard	zprava detail P3/4	HS Vision	MegaVis mini HD +	1920x1440	Kowa 1“12 mm
Vysokorychlostní	Statická	zprava celek	HS Vision	MegaVis mini HD +	1920x1440	Distagon 1“35 mm

Sběrnice dat				
Druh	Typ	Výrobce	Model	Napájení
Sběrnice pro kamery	Linkbox	HS Vision	IES 47314	24 V
Sběrnice pro snímače	KiDAU classic	KISTLER	NXT 32 - K3881C	10 V

Příloha 11- Dodatečná data experiment 4



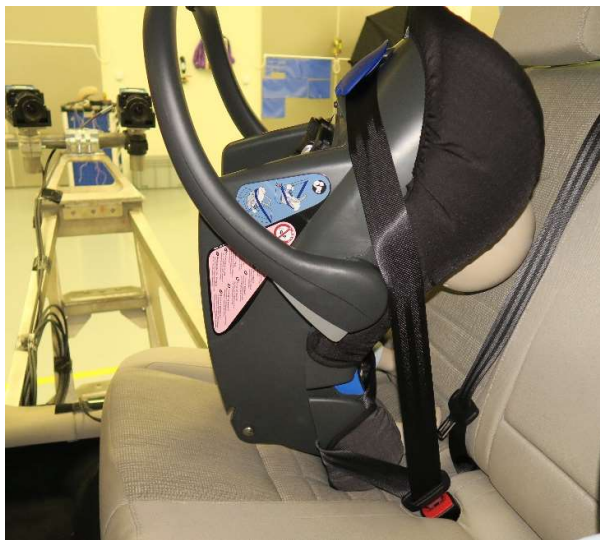
Obr. 8: Fotodokumentace před zkouškou test 1



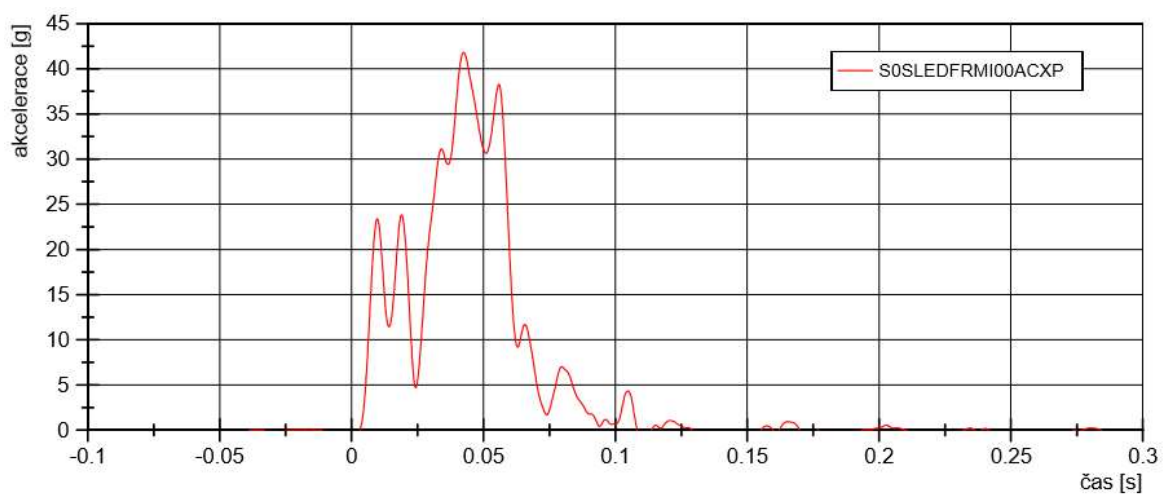
Obr. 2: Fotodokumentace laboratoře po zkoušce test 1



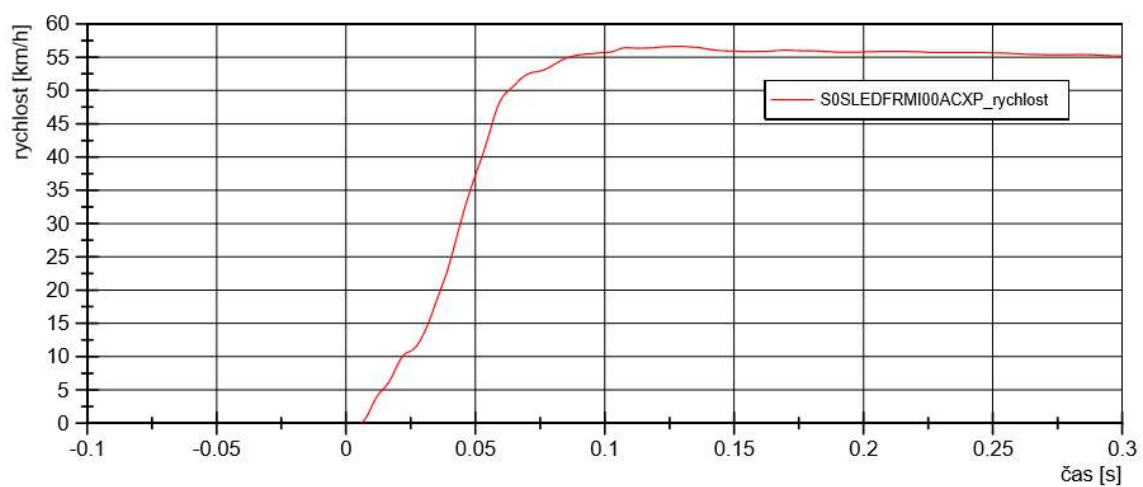
Obr. 3: Fotodokumentace laboratoře před zkouškou test 2



Obr. 4: Fotodokumentace laboratoře po zkoušce test 2



Obr. 5: Akcelerace saní experiment 4



Obr. 6: Rychlost saní experiment 4

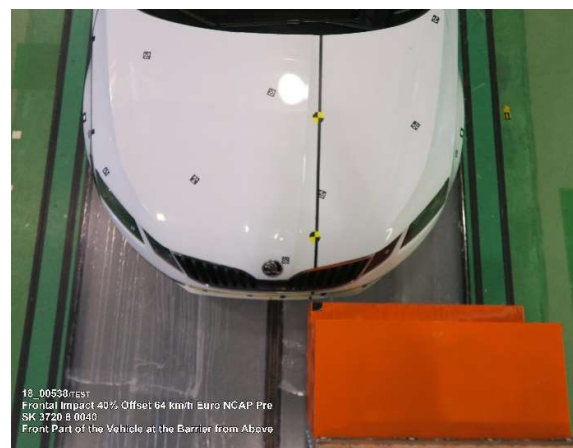
Příloha 12 – Měřící technika pro experiment 5

Snímače						
Druh	Pozice	Výrobce	Model	Identifikační číslo	Rozsah	Citlivost
Akcelerometr (Ax,Ay,Az)	Tunel	Kistler	M53A-2000-360	A20456	1000 g	0,01476-0,01518 mV/g/V
Akcelerometr (Ax)	Hlava Q3	Endevco	7264C-1	P72996	250 g	0,01892 mV/g/V
Akcelerometr (Ay)	Hlava Q3	Endevco	7264C-1	P73351	250 g	0,02097 mV/g/V
Akcelerometr (Az)	Hlava Q3	Endevco	7264C-1	P72997	250 g	0,01878 mV/g/V
Akcelerometr (Ax)	Hrudník Q3	Endevco	7264C-1	P76264	250 g	0,021043 mV/g/V
Akcelerometr (Ay)	Hrudník Q3	Endevco	7264C-1	P74022	250 g	0,019351 mV/g/V
Akcelerometr (Az)	Hrudník Q3	Endevco	7264C-1	P73356	250 g	0,020243 mV/g/V
Snímač síly (Fx, Fy, Fz)	Krk Q3	Endevco	GEN_20381710	DK7297S	5-6 kN	0,19875-0,40145 mV/kN/V
Snímač momentu (Mx, My, Mz)	Krk Q3	Endevco	GEN_20381711	DK7297S	80-150 Nm	0,14673-0,02865mV/Nm/V
IR-TRACC (Dx)	Hrudník Q3	FTSS	IF-362-R2-DS1	DQ7458	75 mm	29,924 mV/mm/V
APTS - Levá komora	Břicho Q3	Transpolis	V40	X16276_PR	20 bar	0,7827 mV/bar/V
APTS - Pravá komora	Břicho Q3	Transpolis	V40	X16277_PR	20 bar	0,6083 mV/bar/V
Síloměř	Bederní	Kistler	M51111ANM	000110	16 kN	0,19844 mV/kN/V
Síloměř	Diagonální	ENTRAN	EL20	Y98226	16 kN	0,15251 mV/kN/V

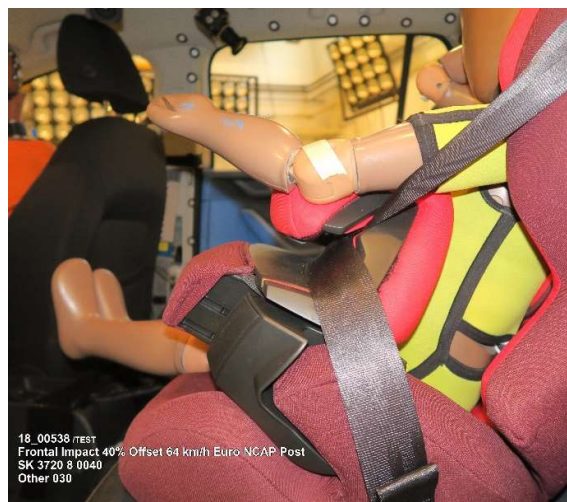
Kamery						
Druh	Pozice	Pohled	Výrobce	Model	Rozlišení	Objektiv
Vysokorychlostní	OnBoard	zleva detail Q3	REDLAKE	MotionXtra NX4-S2	1024x1024	Kowa x 1"6 mm
Vysokorychlostní	OnBoard	zepředu detail Q3	REDLAKE	MotionXtra NX4-S2	1024x1024	Kowa x 1"8 mm
Vysokorychlostní	Statická	zprava celek	REDLAKE	MotionXtra HG-100K	1024x1024	Sigma 1"28 mm

Sběrnice dat				
Druh	Typ	Výrobce	Model	Napájení
Sběrnice pro kamery	ISN-HUB	IMAGING SOLUTION	ISN4-HUB	24 V
Sběrnice pro snímače	KiDAU Basic	KISTLER	NXT 32 -K3882B	5 V

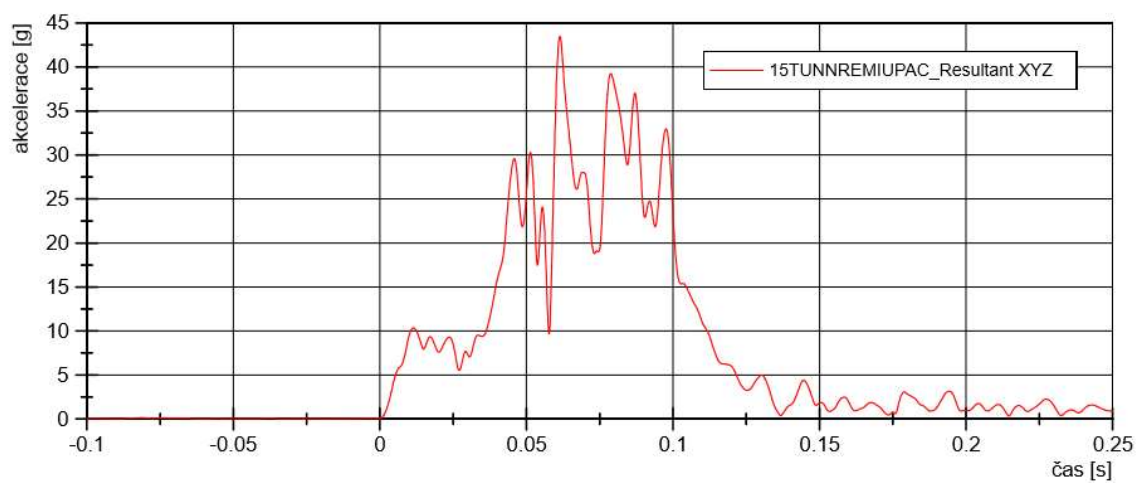
Příloha 13 – fotodokumentace experiment 5



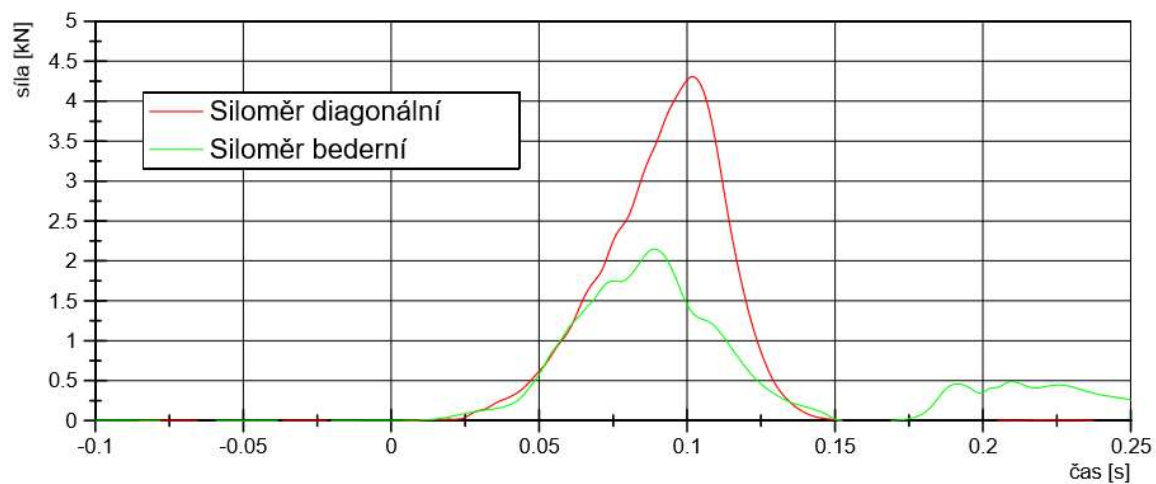
Obr. 9: Fotodokumentace laboratoře před zkouškou



Obr. 2: Fotodokumentace laboratoře po zkoušce

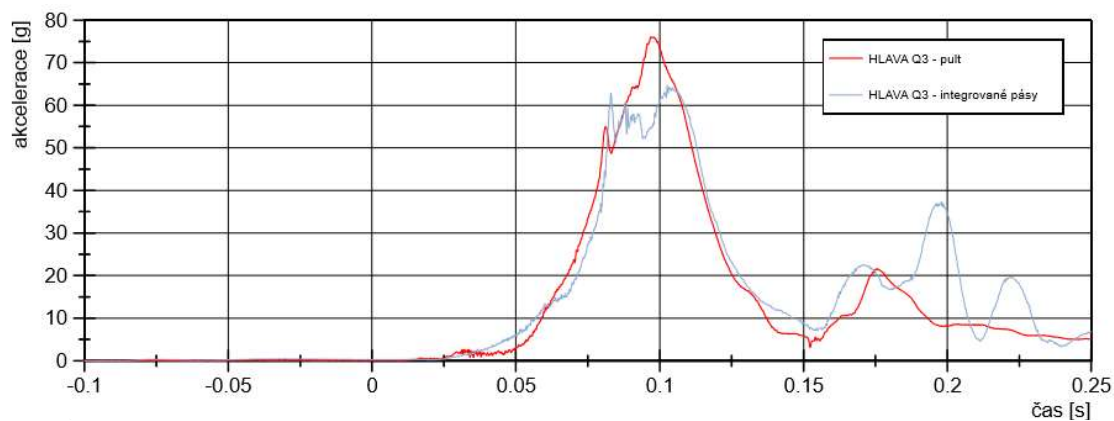


Obr. 3: Výsledné zpomalení vozidla měřené na středovém tunelu

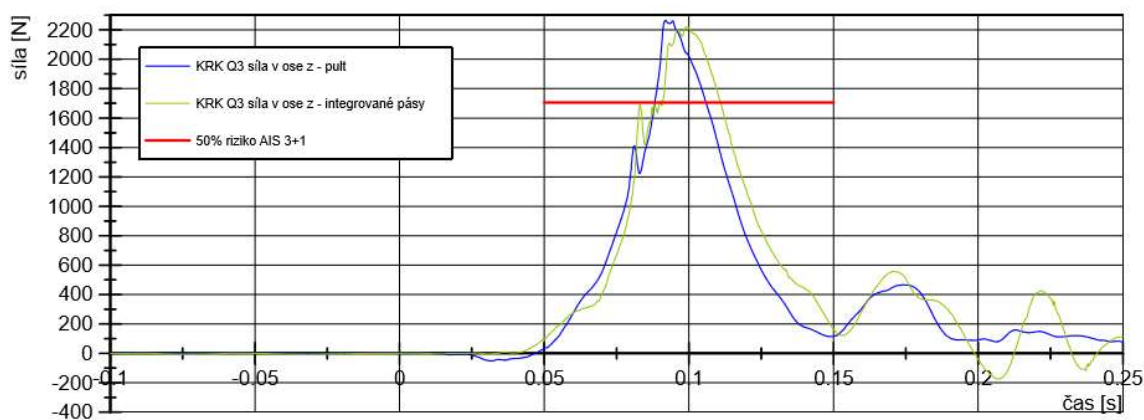


Obr. 4: Síla pásu experiment 5

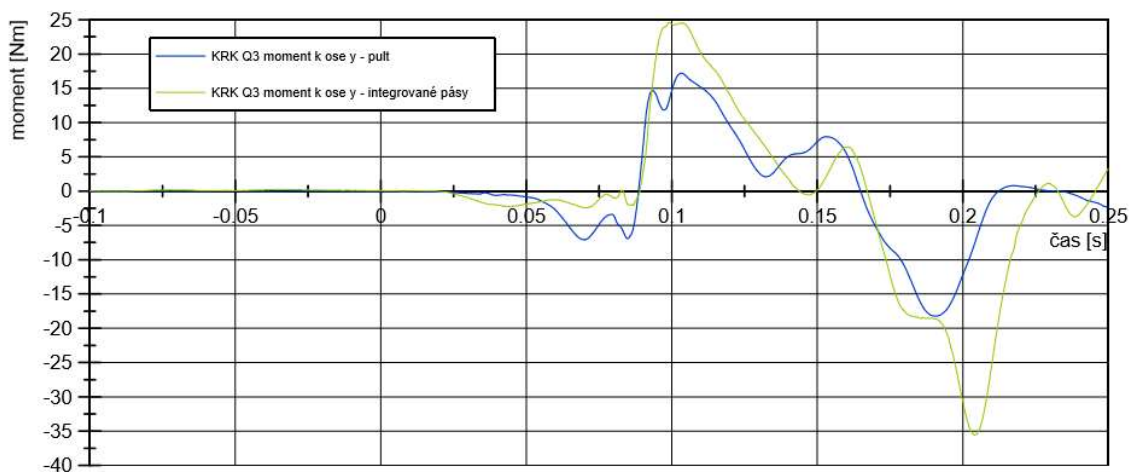
Příloha 14 - Porovnání systému bezpečnostního pultu a systému integrovaných pásů



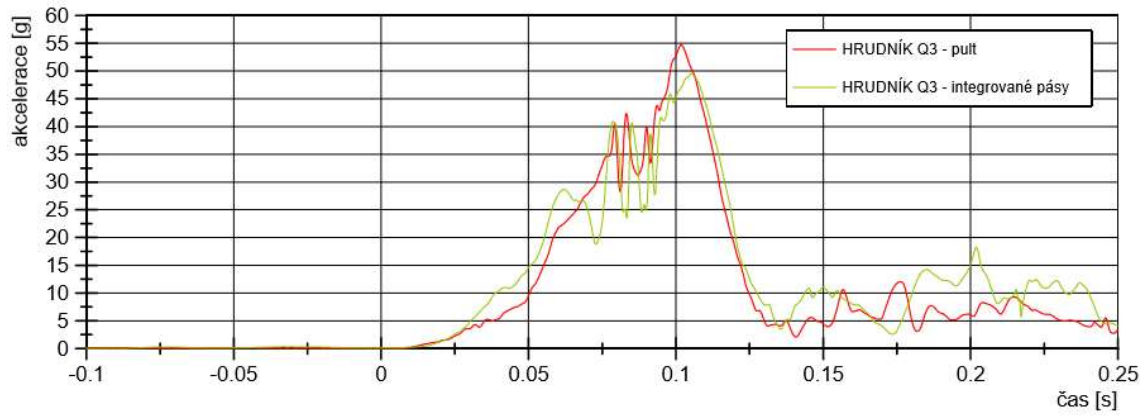
Obr. 10: Průběh výsledného zpomalení hlavy Q3



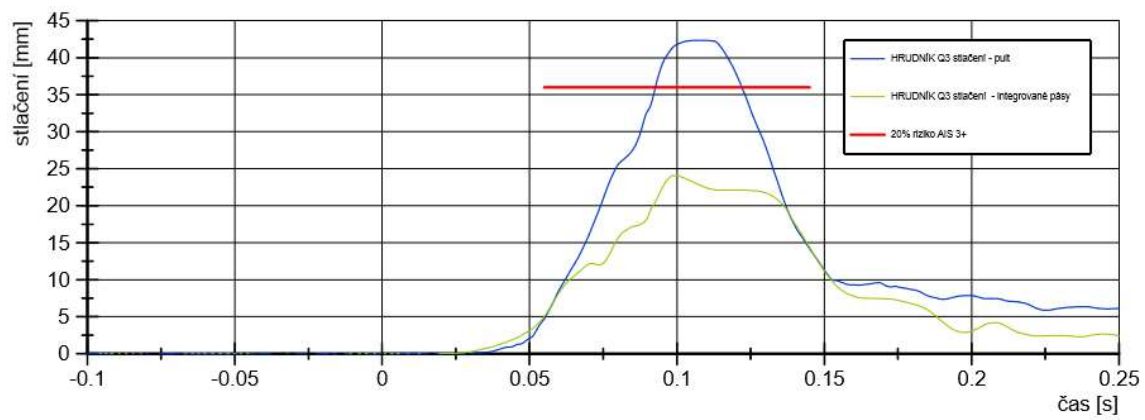
Obr. 11: Průběh síly působící na krk Q3 v ose z



Obr. 12: Průběh ohybového momentu Q3 k ose y



Obr. 4: Průběh výsledného zrychlení hrudníku Q3



Obr. 5: Průběh deformace hrudníku Q3