



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Diplomová práce

Bc. Martin Handl

OCHRANA CHODCE PŘI SEKUNDÁRNÍM NÁRAZU

2011

Poděkování:

Na této stránce bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali nejen na zpracování této práce, ale i v průběhu celého studia. Zvláštní poděkování především patří vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. za odbornou spolupráci při psaní této práce a cenné rady i připomínky, ze kterých jsem čerpal po celou dobu. Rád bych vyjádřil své poděkování Ing. Alžbětě Kvášové za pomoc při organizaci experimentů a celému ústavu K622. Poděkování také patří panu MUDr. Tomáši Vojtíškoví, Ph.D. za poskytnuté materiály. V neposlední řadě patří velké poděkování rodičům za morální a hmotnou podporu během celého studia.

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní. Pro grafické účely byly využity programy dostupné na počítačích v učebnách Fakulty dopravní.

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

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

Podpis

Abstrakt

Autor: Bc. Martin Handl

Název diplomová práce: Ochrana Chodce při Sekundárním Nárazu

Škola: České Vysoké Učení Technické v Praze, Fakulta Dopravní

Rok vydání: Praha 2011

Počet stran: 74

Počet příloh: 4

Klíčové pojmy: bezpečnost, chodci, přechod pro chodce, biomechanika, statistika.

Má diplomová práce se zabývá ochranou a poraněním chodců při sekundárním nárazu na překážku nebo na povrch komunikace. Vstupními podklady pro zpracování zadaného úkolu byly statistiky nehod s chodci, data související s nejpoužívanějším vozidlem v ČR a dále průměrné rychlosti, za kterých se podobné nehody stávají. Ke zpracování těchto dat jsem využil počítačový program Virtual Crash. Tímto softwarem jsem provedl simulace znázorňující dopadové zóny. Jednotlivé simulace zahrnují analýzu nebezpečných překážek v blízkosti přechodů. Na základě výsledků s testovanou figurínou a impaktorem hlavy uvádím rizikové povrchy vozovek a nebezpečné překážky v dopadové zóně chodců. Veškeré návrhy na přeměnu prostoru vycházejí z požadavku na zvýšení bezpečnosti chodců na přechodech.

Abstract

Author: Bc. Martin Handl

Name of thesis: Pedestrian Protection Within Secondary Collision

University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Year of issue: Prague 2011

Number of pages: 74

Number of attachments: 4

Key terms: safety, pedestrians, crosswalk, biomechanics, statistics.

This master's thesis deals with the pedestrian injury during the secondary collision after the car accident. The input data for the processing of this thesis were the pedestrian accident statistics, statistics of the vehicles in the Czech Republic and the average velocities of the vehicles during the pedestrian collisions. The computer program Virtual Crash was used for the simulation that demonstrates the impact zones. Each simulation involves the analysis of the dangerous hindrances near the pedestrian crossing. The risk road surfaces and hindrances in the impact zones were evaluated with the experiments using the child dummy and head impactor. All the suggestions for the change of the crosswalk area are based on the increasing of the pedestrian safety.

Zkratky:

AIS	abbreviated injury scale – zkrácené měřítko zranění
ČR	Česká republika
DN	dopravní nehoda
JDVM	jednotková vektorová mapa
MK	místní komunikace
OA	osobní automobil
PČR	policie České republiky
TSK	technická správa komunikací

Veličina	jednotka	rozměr
Gravitační zrychlení	g	[$1g=9,81m.s^{-2}$]
Metr	m	[m]
Milimetr	mm	[$1mm=10^{-3}m$]
Newton	N	[$kg.m.s^{-2}$]
Rychlost	km.h ⁻¹	[$m.s^{-1}$]

Seznam pojmů:

Dopravní nehoda - událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu. Dopravní nehody jsou kvalifikovány jako přešůpek v silniční dopravě podle §22 odst. 1, písm. c) zákona č. 200/1990 Sb., o přešůpcích, ve znění pozdějších přešůpisů nebo jako nedbalostní trestné činy ublížení na zdraví podle §223 nebo obecné ohrožení podle zákona č. 40/2009 Sb. §272TrZ.

Dělicí ostrůvek (definice podle ČSN 73 6100) - dopravní ostrůvek, jehož účelem je místní oddělení dopravních nebo protisměrných jízdních proudů.

City bloky - prvky vodící stěny (betonové, plastové, ocelové apod.) tvaru obdenného „New Jersey" a „City blok“, výšky 0,4 - 0,8 m, které slouží k oddělení automobilové dopravy od chodníků, cyklistických stezek, autobusových a tramvajových zastávek apod

OBSAH:

1. ÚVOD.....	9
2. STATISTIKA NEHODOVOSTI.....	11
2.1. NEHODOVOST CHODCŮ V ČR	11
2.2. NEHODOVOST CHODCŮ NA PŘECHODECH V ČR.....	11
2.3. NEHODY CHODCŮ V PRAZE	12
2.4. ROZDĚLENÍ NEHOD CHODCŮ V PRAZE.....	12
3. STATISTIKY PORANĚNÍ CHODCE	13
3.1. ZPŮSOB STŘETU CHODCE S VOZIDLEM	13
3.2. PORANĚNÍ V ZÁVISLOSTI NA STŘETU.....	14
3.3. PŘÍČINY ÚMRTÍ CHODCE.....	14
3.4. ČETNOST PORANĚNÍ CHODCE	15
4. BIOMECHANIKA ČLOVĚKA	16
4.1. STRUKTURA TĚLA	16
4.1.1. Epitelová tkáň.....	16
4.1.2. Vazivová tkáň.....	17
4.1.3. Chrupavka.....	17
4.1.4. Kostí	18
4.1.5. Svalová tkáň	18
4.2. ČÁSTI LIDSKÉHO TĚLA	19
4.2.1. Hlava člověka	19
4.2.2. Hrudník a břicho.....	20
4.2.3. Kostra horní končetiny člověka.....	21
4.2.4. Kostra dolní končetiny člověka	21
5. ZÁVAŽNOST PORANĚNÍ CHODCE A KRITÉRIA.....	22
5.1. KRITÉRIUM PORANĚNÍ HLAVY.....	23
5.2. HODNOTY PRO PORANĚNÍ HRUDNÍKU TTI.....	25
5.3. KRITÉRIUM PRO PORANĚNÍ PÁNVE	25
5.4. KRITÉRIUM PRO STEHENNÍ KOST	26
5.5. KRITÉRIUM PRO KOLENO.....	26
5.6. SHRNUTÍ KAPITOLY	27
6. TYPY POVRCHŮ Z POHLEDU SEKUNDÁRNÍHO NÁRAZU	27
6.1. ŠTĚRKOVÉ VOZOVKY, HLINĚNÉ CESTY	28
6.2. TRAVNATÝ POVRCH.....	28
6.3. ŽIVIČNÉ VOZOVKY	28
6.3.1. Druhy živičných krytin.....	29
6.4. CEMENTOVÝ BETON.....	29
6.5. DLÁŽDĚNÉ VOZOVKY.....	30
6.6. ZÁMKOVÁ DLAŽBA	31
7. TYPY PŘEKÁŽEK V OKOLÍ KOMUNIKACE PŘI SEKUNDÁRNÍM NÁRAZU.....	32
8. EXPERIMENT – DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ PŘI SEKUNDÁRNÍM NÁRAZU	33
8.1. ROZDĚLENÍ DOPADU PODLE POVRCHŮ	34
8.1.1. Dopad figuríny na asfaltový povrch	34
8.1.2. Dopad figuríny na chodníkovou dlažbu.....	35

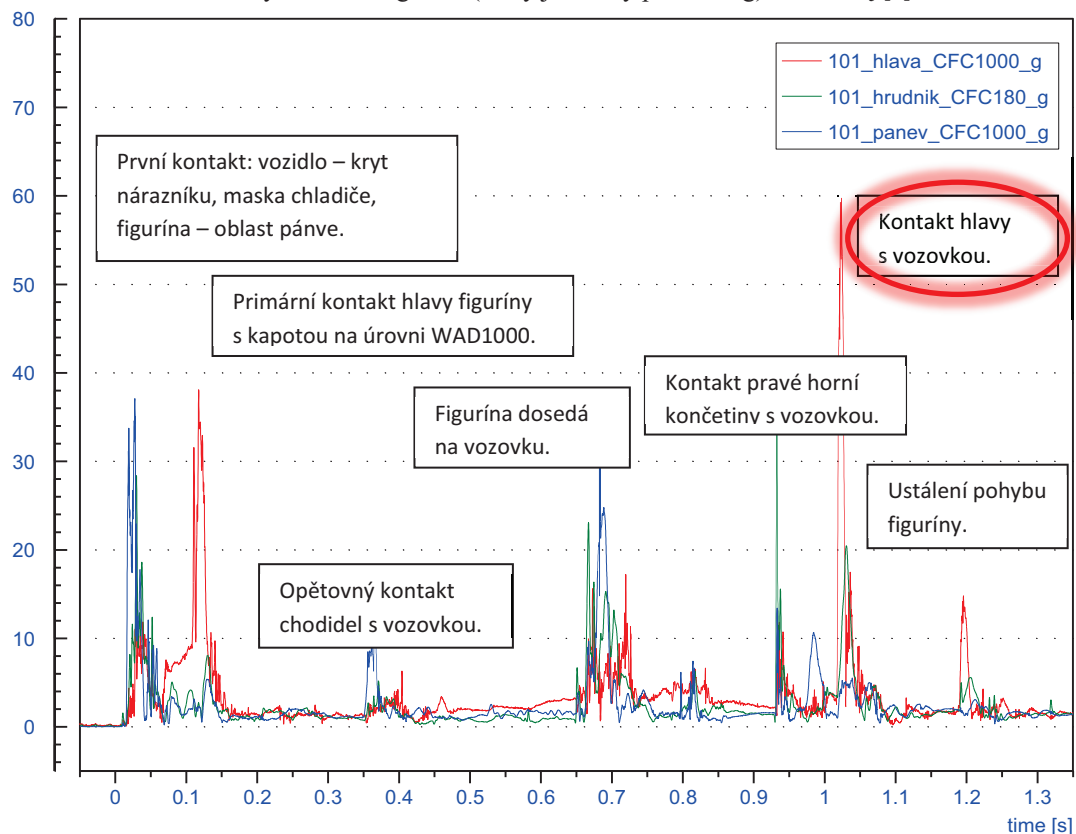
8.1.3.	Dopad figuríny na zámkovou dlažbu.....	36
8.1.4.	Dopad figuríny na travnatý povrch.....	37
8.1.5.	Dopad figuríny na BKV panel.....	38
8.1.6.	Shrnutí povrchů	39
8.2.	PŘEKÁŽKY NA KOMUNIKACI.....	40
8.2.1.	Dopad figuríny na tramvajovou kolej.....	40
8.2.2.	Dopad figuríny na spáru mezi BKV panely.....	41
8.2.3.	Dopad figuríny na hranu obrubníku.....	42
8.2.4.	Dopad figuríny na city blok.....	43
8.2.5.	Shrnutí překážek.....	44
8.3.	EXPERIMENT S IMPAKTOREM HLAVY.....	44
8.3.1.	Test povrchů pomocí impaktoru.....	45
8.3.2.	Test překážek pomocí impaktoru.....	46
9.	VÝBĚR VOZIDLA PRO SIMULACI.....	48
10.	VÝBĚR NEHODOVÉHO MÍSTA.....	50
10.1.	JANA ŽELIVSKÉHO.....	50
10.1.1.	Nehodovost na přechodu Jana Želivského.....	51
10.1.2.	Charakteristika přechodu.....	53
10.1.3.	Prvky nacházející se v blízkosti přechodu a povrch vozovky.....	55
10.1.4.	Virtual Crash - Jana Želivského.....	55
10.2.	KORUNNÍ ULICE.....	60
10.2.1.	Nehodovost na přechodu v Korunní ulici.....	60
10.2.2.	Charakteristika přechodu.....	61
10.2.3.	Prvky nacházející se v blízkosti přechodu a povrch vozovky.....	63
10.2.4.	Virtual Crash Korunní.....	63
10.3.	SHRUTÍ KAPITOLY VIRTUAL CRASH.....	67
11.	ZÁVĚR.....	68
12.	SEZNAM LITERATURY.....	70
13.	SEZNAM GRAFŮ.....	72
14.	SEZNAM TABULEK.....	72
15.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	73
16.	SEZNAM PŘÍLOH.....	74

1. ÚVOD

Doprava je cílevědomá činnost uskutečňující přesun osob a věcí po definované cestě určeným dopravním prostředkem. V této práci se budu zabývat motorovými vozidly jako dopravními prostředky a pozemními komunikacemi, které reprezentují dopravní cestu. Činnost dopravy je v neustálém rozvoji a tudíž technologicky se nejrychleji rozvíjí v 20. a 21. století. S rozvojem automobilizmu jsou vozidla stále výkonnější, dosahují vyšších rychlostí a mají různé tvary karosérií. Ze společenského hlediska všechny automobilky musí zvyšovat bezpečnost řidiče a posádky dopravního prostředku. Komfort a bezpečnost posádky ve vozidle je v dnešní době na vysoké úrovni. Před uvedením do provozu je na prototypch zkoušeno přežití posádky při čelním či bočním nárazu. Dále je ve vozidle nainstalováno mnoho aktivních bezpečnostních prvků (např. ABS, ESP, posilovač brzd, brzdový asistent, posilovač řízení atd.), které se snaží zabránit nehodě a pokud k ní dojde, nastupují prvky pasivní bezpečnosti. Ty mají za úkol ochránit posádku i v případě zdeformování celého vozidla (jedná se například o bezpečnostní pásy, airbagy, deformační zóny přejímající velké procento energie po nárazu, zachování celistvosti čelního skla a vytvoření neostrých střepeň z bočních skel). Nesmíme ale zapomenout na bezpečnost osob mimo vozidlo, tedy chodců. Diplomová práce se bude zabývat srážkou chodců s vozidly v intravilánu (městské zástavbě). Chodec není chráněn žádnou konstrukcí jako posádka vozu. Při srážce je pravděpodobnost zranění chodce mnohonásobně větší než u posádky vozu. Cílem je konstruovat vozidla, která mají „přívětivý“ tvar karosérie a obsahují ochranné prvky s ohledem na bezpečnost chodce. Některá nová vozidla již tyto ochranné prvky mají. Jedná se o elastické nárazníky pro zmírnění primárního kontaktu s dolní končetinou, vystřelovací přední kapoty pro zmírnění nárazu člověka a rozložení síly na větší plochu, karosérie bez vnějších výčnělků. Avšak osobních automobilů s bezpečnostními prvky, které nejsou přímo zakotveny v legislativě, příliš mnoho není. U vozů se starší koncepcí, kterých je převážná většina, nebylo uvažováno o zmírnění zranění chodce a při nárazu následoval scénář: nárazník podrazil chodci nohy a uvedl ho do rotace, podle rychlosti vozidla se člověk udeřil nejčastěji hlavou do kapoty nebo čelního skla a přelétl vozidlo (všechny kontakty s vozidlem patří do primárního nárazu), po dopadu na zem se určitou dobu sunul po vozovce, než se zastavil v konečné pozici (sekundární náraz).

Jedná-li se o srážku chodce s jakýmkoli typem vozidla, chodec vždy dopadá na zem (na komunikaci nebo přilehlé prostory). Prozatím je určení místa dopadu chodce při sekundárním nárazu nepříliš prozkoumané. Nebudu se zabývat bezpečnostním opatřením, které by mělo být obsaženo na vozidle pro zmírnění srážky (koncept bezpečnostních opatření pro chodce je kvalitně zpracován automobilkami a zbývá ho jen prakticky aplikovat). Moje téma se zabývá sekundárním nárazem, což je dopad chodce na vozovku. Zde vidím velké nebezpečí pro způsobení smrtelného zranění. Dle statistik MUDr. Tomáše Vojtíška z Ústavu soudního lékařství LF MU v Brně, který vybral a zpracoval soubor 431 usmrcených chodců, umírá z tohoto souboru na místě 47% osob, po transportu do nemocnice do 24 hodin 26% a přežívší delší dobu než 24 hodin po sražení 27%. Je potřeba určit místo dopadu sraženého chodce na vozovku a zmírnit jeho pád, prozkoumat a následně upravit nebezpečné prvky v místě dopadu pokud ovlivnili nebo navýšili míru poranění (hrany obrubníků, sloupky, sloupky, ostré předměty, atd.). Pro názornost uvádím graf z průběhu testu sražení dětského chodce při 30 kilometrové rychlosti. Pozorujeme, že největší náraz není při primárním kontaktu s vozidlem, nýbrž u sekundárního, kdy hlava přichází do kontaktu s vozovkou a je jediným kontaktním místem. Více v kapitole 5.

Graf 1 Zrychlení na figuríně (osa y jednotky přetížení g) Zdroj [7]



2. STATISTIKA NEHODOVOSTI

V této kapitole se budu snažit stručně zobrazit statistiku srážky vozidla s chodcem v různých parametrech v časovém období 2003-2009 v ČR.

2.1. Nehodovost chodců v ČR

	Tabulka 1 Nehody s chodci celkem v ČR				Zdroj: PČR		
	Zaviněné nehody chodcem v ČR	Zaviněno muži	Zaviněno ženy	Zaviněno děti	Celkem úmrtnost chodců v ČR	Nehody s vlivem alkoholu	Úmrtnost chodců v ČR v obcích
2003	1937	787	387	711	256	296	155
2004	1911	802	375	681	243	215	153
2005	1639	659	355	579	244	169	162
2006	1507	624	309	532	173	171	108
2007	1576	639	353	509	198	196	125
2008	1477	588	309	502	210	203	142
2009	1304	507	296	451	157	203	104

Z tabulky vidíme, že v ČR trend snižování dopravních nehod s chodci klesá (rozdíl roku 2009 od 2003 je o 694 DN méně). Počet usmrcených chodců v roce 2009 je nejnižší od roku 2003 „pouze“ 157 úmrtí. I s těmito čísly je naše republika stále v popředí tabulky v porovnání s ostatními evropskými státy v poměru na počet obyvatel.[1,2]

2.2. Nehodovost chodců na přechodech v ČR

	Tabulka 2 Nehody s chodci na přechodech v ČR				Zdroj: PČR	
	Počet nehod na přechodu	Usmrceno chodců	Těžce zraněno	Lehce zraněno	nezraněno	Náhlé vstoupení do vozovky úmrtí
2003	758	19	182	592	14	23
2004	869	20	210	677	17	17
2005	846	21	192	651	23	17
2006	816	16	197	639	17	18
2007	952	14	188	748	51	16
2008	959	22	235	727	41	14
2009	949	16	219	734	35	16
2010	862	23	174	666	51	15

Počet usmrcených chodců na přechodech se pohybuje průměrně kolem hodnoty 20 za rok.

2.3. Nehody chodců v Praze

Nehody chodců v Praze se také snižují. Za rok 2009 bylo celkem usmrceno v Praze 40 lidí a z toho 5 chodců. Hmotná škoda dosáhla 2,6 milionu korun. [1,2]

Tabulka 3 Nehody s chodci v Praze Zdroj: TSK, PČR

	Nehody s chodci	Úmrtí chodců	Těžce zranění	Lehké zranění
2003	454	11	100	345
2004	384	12	91	301
2005	352	17	76	254
2006	328	12	63	237
2007	311	13	62	197
2008	326	9	44	226
2009	304	5	45	229

V tabulce 4 rozdělím DN s chodci podle zavinění na muže, ženy a děti a počet usmrcených. Kategorie skupiny dětí a jiné skupiny neuvádíme, protože nás zajímají především jednotlivci.

2.4. Rozdělení nehod chodců v Praze

Tabulka 4 Kategorie chodců při DN v Praze Zdroj: TSK, PČR

	Počet nehod v Praze	Zaviněno muži	Zaviněno ženy	Zaviněno děti	Úmrtí muži	Úmrtí ženy	Úmrtí děti
2003	454	236	114	99	Celkem	11	Úmrtí
2004	384	198	104	67	Celkem	12	Úmrtí
2005	352	177	107	60	10	4	1
2006	328	178	98	43	5	4	0
2007	311	166	84	41	6	4	0
2008	326	144	89	53	4	2	0
2009	304	151	95	39	1	4	0

Ve statistice sledujeme, že každý rok se celkový počet dopravních nehod s chodci snižuje. Počet usmrcených chodců za rok 2009 je 157. Počet nehod na přechodech pro chodce se naopak za posledních 7 let nepatrně zvýšil. Tyto informace mě vedou k zamyšlení nad tím, jak snižovat počet DN. Metody vedoucí k snižování DN

jsou prostřednictvím osvěty, kvalitní dopravní infrastrukturou, bezpečnostními prvky. Já se budu snažit zvýšit bezpečnost kolem komunikací.

3. STATISTIKY PORANĚNÍ CHODCE

Abych dokázal tvrzení, že smrtelné zranění je způsobeno ve většině případů nárazem chodce na vozovku, použiji podklady od Policie ČR a Ústavu soudního lékařství LF MU v Brně. Z práce *Úmrtí chodců po dopravních nehodách se střetem s osobními automobily* od doktora MUDr. Tomáše Vojtíška jsem převzal informace o zraněných chodcích, které použiji jako druhou část po statistikách od Policie ČR. Jde o usmrcené chodce při střetu s osobním automobilem v letech 1995-2005. Byl vybrán soubor 431 chodců, kteří zemřeli následkem dopravní nehody, jejichž pitvy byly provedeny na Lékařské fakultě Masarykovy university v Brně. Nejčastěji umírali chodci ve věku 71-80 let (80 DN z 431 DN), druhou nejčastější skupinou jsou chodci ve věku 51-60 let (62 DN ze souboru 431 DN). S přibývajícím věkem chodců roste počet DN. Pod vlivem alkoholu při DN byli více muži než ženy. Dle zprávy 37 % mužů a 10% žen bylo sraženo v těžké opilosti především v nočních hodinách mezi 18 a 24 hodinou. [3]

3.1. Způsob střetu chodce s vozidlem

Statistiku typu střetu chodce s vozidlem rozdělím na front-frontální střet (FF) – chodec je čelem k přijíždějícímu OA, příd' OA je nasměrována k čelní poloze chodce. Dalším typem je front-laterální střet (FL) – čelo OA je nasměrováno k boční straně chodce a třetím typem střetu je front-dorzální (FD) – čelo OA naráží do stejnosměrně jdoucího chodce. Ostatními příklady jsou přejetí ležící osoby, sražení při couvání atd. V následující tabulce jsou uvedeny typy střetu z 365 případů.

Typ střetu	Muži	Ženy	Celkem	Procenta
FL	155	95	250	68%
FD	41	14	55	15%
FF	26	6	32	9%
Ostatní	20	8	28	8%

Z uvedené tabulky je patrné, že nečastější střet chodce s vozidlem je fronto-laterální (náraz do boku chodce) s 250 případy, což je více jak dvě třetiny všech případů. Z 80% DN s chodcem se stává v intravilánu, což vystihuje vysokou poptávku

na křížení komunikace, a tudíž je chodec sražen při přecházení (z boku, FL). Způsobené zranění vzniklé srážkou opět rozdělím podle typu střetu chodce s vozidlem a uvedeme nejčastější zranění. [3]

3.2. Poranění v závislosti na střetu

Tabulka 6 Četnost poranění v závislosti s typem střetu Zdroj [3]

Poranění	FL%	FD%	FF%
Krvácení do mozkových obalů	87,6	98,2	87,5
Poranění mozku	73,2	83,6	65,5
Poranění plic	70,0	72,7	93,8
Zlomení žeber	80,4	72,7	87,5
Hemotorax	54,6	65,5	75,0
Zlomeniny pánve	54,0	50,9	43,8

Pro různé typy střetů jsou relativně rozdílné druhy zranění sraženého chodce. V tabulce jsem zvýraznil nejpravděpodobnější zranění, která mohou vzniknout. Zranění mohou vzniknout na celém těle, ale vybral jsem šest nejčtetnějších a zároveň nejzávažnějších poranění. Pro fronto-laterální a fronto-dorzální střet je skoro jisté že dojde ke krvácení do mozkových obalů a mozek bude poraněn. Nejpravděpodobnější u střetu fronto - frontálního, je poranění plic s následným krvácením do mozku a hemotoraxem (přítomnost krve v hrudním koši, množství nad 1500 ml krve je masivní hemotorax a bezprostředně ohrožuje život). [3,4]

3.3. Příčiny úmrtí chodce

Sražený chodec je z 47% usmrcen na místě nehody. Příčiny úmrtí jsou různé, ale nejčastěji spadá do kategorie polytraumatu (46% ze 431 zkoumaných případů). V ČR to je nejčastější příčina úmrtí při dopravních nehodách. Polytrauma je postižení nejméně dvou orgánových systémů, z nichž alespoň jeden ohrožuje život člověka. Zranění se týká šedesáti až osmdesáti lidí na sto tisíc obyvatel a v celkovém pořadí je pátou nejčastější příčinou smrti v ČR. Na druhém místě v příčinách úmrtí je nitrolebeční poranění (30,2%, poranění mozku a krvácení do mozkových obalů) a třetím místě bronchopneumonie (plicní sklípky se zalévají zánětlivou tekutinou a stávají se nevzdušnými, člověk se dusí). Pro vysvětlení uvedu embolii a trombembolii (2,8%). Embolie je ucpaní cév a nedokrevnosti mozku, těla, končetin atd. Trombembolie – krev v srdci stagnuje a vytváří se tromby, kvůli kterým vznikne embolie. [3,4]

Tabulka 7 Příčina smrti

Zdroj [3]

Příčina smrti	Počet případů	%
Polytrauma	199	46,2
Nitrolební poranění	130	30,2
Bronchopneumonie	25	5,8
Jiné chorobné	21	4,9
Hemoragický šok	16	3,7
Jiné úrazové	16	3,7
Poranění krční páteře a míchy	12	2,8
Embolie, trombembolie	12	2,8

3.4. Četnost poranění chodce

Četnosti jednotlivých poranění bez vlivu směru nárazu do chodce je nejčastější krvácení do mozkových obalů, následuje zlomeniny žeber, poranění mozku, poranění plic a zlomení kostí neurokrania (lebky). Ostatní zranění jsou pod 50%, tudíž je neberu za nejčastější. Tabulka uvádí pravděpodobnost poranění při srážce, které ne vždy musí vést k příčině úmrtí chodce. [3,4]

Tabulka 8 četnost jednotlivých poranění

Zdroj [3]

Poranění	Počet případů	%
Krvácení do mozkových obalů	378	87,7
Zlomeniny žeber	328	76,1
Poranění mozku	306	71,0
Poranění plic	298	69,1
Zlomení kostí neurokrania	250	58,0
Hemotorax	247	57,3
Ostatní zranění		

Z celkového poranění vidíme, že nejzávažnější a nejčastější poranění se stávají právě na hlavě. V další části práce se budu věnovat především poranění hlavy a mozku. Při experimentech s figurínou a impaktorem budu sledovat prioritně zrychlení hlavy a potom dalších částí těla.

4. BIOMECHANIKA ČLOVĚKA

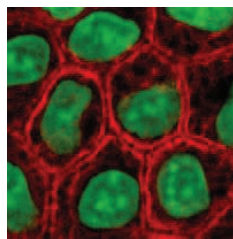
Biomechanika se zabývá mechanickou strukturou a vlastnostmi živých organismů (v našem případě lidského těla). Biomechanika také zahrnuje měření a analýzu pohybů a sil, které vznikají při pohybu. Na lidské tělo při nárazu s vozidlem působí vnější síly a tlaky, které by neměly překročit danou hranici. Při přesáhnutí těchto hodnot je již velká pravděpodobnost poranění života nebezpečných. Každý jedinec má hranici trochu odlišnou. Hodnoty počítají s průměrným člověkem a měří pro každý orgán nebo část těla zvlášť.

4.1. Struktura těla

Abychom mohli měření provést, měli bychom znát alespoň základní strukturu lidského těla.

4.1.1. Epitelová tkáň

Je krycí tkáň tvořená buňkami, které jsou mezi sebou těsně spojeny. Epitely pokrývají vnitřní i vnější povrch organismu. Obecně mají velmi dobrou regenerační schopnost a dobře se hojí. Slouží jako primární ochrana při pádu na vozovku. Dělíme epitely podle funkce na krycí, žláznový, respirační, smyslový, pigmentový a další tři druhy. Krycí epitel vrstevnatý, již podle názvu pokrývá vnější povrch organismu – tvoří pokožku. Buňky se neustále obnovují a obsahují tonofilamenta, který zvyšuje mechanickou odolnost buňky - pokožky.



Obrázek 1 Krycí epitelová tkáň Zdroj [5]

Žláznový epitel má sekreční funkci. Žlázy mohou vylučovat sekret na povrch těla nebo do těla. Respirační epitel umožňuje výměnu plynů. Smyslový epitel umí přijímat podněty z vnějšího prostředí a ve formě podráždění předávat do mozku. Pigmentový epitel má funkci ochrany pokožky před slunečním zářením. [5]

4.1.2. Vazivová tkáň

Jedná se o pojivovou tkáň, kterou tvoří vazivové buňky fibroblasty, kolagenní a elastická vlákna vyplněná amorfní mezibuněčnou hmotou. Fibroblasty produkují primární kolagen a mezibuněčnou hmotu. Kolagen tvoří základ všech šlach, kostí, chrupavek atd. – nazývá se nosný strukturální kolagen. Mezibuněčná hmota je rosolovitý roztok, který vyplňuje prostory mezi buňkami a vlákny. Stabilizuje celou strukturu vaziva. Další buňky vaziva jsou kolagenní, elastické, retikulární, tukové.

Kolagenní vazivo rozdělujeme na řídké a tuhé. Řídkého vaziva je lidském těle obsaženo více než tuhé. Vyplňuje prostory mezi svalovými vlákny kosterních svalů. Mechanická odolnost je malá s dobrou pružností. Svazky kolagenních vláken tvoří šlachy - systém sekundárních mechanických efektorů, tj. představují pasivní pohyblivý a nosný systém. Vlákna jsou schopna přenést zatížení až 50 N/mm^2 a prodlouží se maximálně o 10% své délky. Vlákna vaziva jsou velmi ohebná a odolná na tah s menší pružností a tvoří základ pro šlachy a vazy. Mez pevnosti šlach je hodnota, která je závislá na věku, na konkrétní anatomii šlachy, typu cévního zásobení a na lokálních anatomických podmínkách, které pevnost buď zvyšují, nebo snižují. Např. Achillova šlacha má v dětství mez pevnosti asi 53 MPa, ale v sedmdesáti letech jen 45 MPa, tj. asi o 15 % méně. Podobně tomu je i s protažením šlachy, kdy u dítěte je možno šlachu prodloužit o 18%, u dospělého už jen o 10%. [5]

Elastické vazivo je zastoupeno v lidském těle jen na vybraných místech. Mechanické vlastnosti, zvláště u mladších jedinců jsou velmi plastické a snadno se přizpůsobí tahu a tlaku. Retikulární vazivo má funkci ochranou v kostní dřeni, mízních uzlinách a slezině. [5]

Tukové vazivo tvoří zásobárnu energie v lidském těle, tepelnou izolaci a mechanickou ochranu některých orgánů. Průměrně tvoří 15% až 20% z hmotnosti člověka. Tukové vazivo se dělí na bílé a hnědé. Bílé tvoří podkožní tuk, obaly orgánů. Hnědé patří k termoregulačnímu systému těla. [5]

4.1.3. Chrupavka

Chrupavky dělíme na hyalinní (klouby), elastické (ušní boltce) a vazivové (spojení mezi obratli). Kloubní spojení kostí přenáší tlakové zatížení a tlumí rázy. Při zatížení v tlaku mění chrupavky svůj objem. V první fázi zatížení se uplatňují výrazné viskózní vlastnosti, následně dochází k vlastnímu zatížení vláknité matrice. Chrupavka

obsahuje synoviální tekutinu, která je složena z krevní plazmy a vystylá kloubní pouzdro. [6]

4.1.4. Kostí

Jedná se o tvrdou strukturu sloužící jako mechanická ochrana vnitřních orgánů (hrudní koš), opora těla (kostra) na kterou jsou upnuty šlachy a svaly.

Kostní tkáň patří mezi pojiva, ale je specifická časovou mineralizací mezibuněčné hmoty. Minerální pevná složka tvoří až 65% hmotnosti kosti. Uprostřed kosti se nachází kostní dřeň, v níž probíhá tvorba krve. Kostí vznikají a rostou procesem osifikací. Na povrchu kostí se tvoří vnitřní a vnější lamely. Povrch kostí je pokryt vazivovou blánou neboli okosticí. Na tuto blánu se upínají svaly a šlachy, a také umožňuje srůstání zlomenin. [5]

Dělení kostí podle tvaru:

Dlouhá kost (kostí končetin) má protáhlý tvar a vysokou odolnost vůči tahu a tlaku.

Krátká kost (obratle, kopytní kost) se stavebně neliší od dlouhé kostí.

Plochá kost (lopatka, žebra) v níž se zachová tvorba krve po celou dobu života.

4.1.5. Svalová tkáň

Svaly společně s kostrou tvoří pohybovou soustavu. Svaly představují asi 40% z celkové tělesné hmotnosti. Lidské tělo obsahuje přibližně 600 svalů. Svaly rozdělujeme na čtyři typy podle svalových vláken: pomalá červená vlákna, rychlá bílá vlákna, rychlá červená vlákna, přechodná vlákna. Při porovnání svalstva u mužů a žen byly shledány drobné rozdíly. U mužů je více zastoupen druhý typ svalů s větší kapacitou enzymů s rychlou kontrakcí ovšem rychlejší únavou. Při věku nad čtyřicet let dochází u svalstva k únavě již při malé zátěži. Ve věku 25 let má člověk nejvíce vyvinuty svaly a od této doby se svaly pomalu přeměňují na první typ (pomalá červená vlákna). [6]

Tabulka 9 Typy svalstva

Zdroj [6]

Typ vlákna	Anatomická charakteristika	Funkční charakteristika
typ I., SO	velmi tenká bohatě kapilarizovaná	statické, pomalé pohyby; polohové funkce
typ II. A, FOG	středně silná a kapilarizovaná	rychlý a silový pohyb
typ II. B, FG	velmi silná a málo kapilarizovaná	maximální silový ohyb
typ III.	nediferencovaná vlákna	

Lidské tělo tvoří kosti, které jsou spojeny chrupavkami. Svalové tkáně jsou provázány vazivovými tkáněmi, které se také mohou vyskytovat samostatně (např. šlachy, vazy). Svaly jsou uchyceny na kosti. Celé lidské tělo je pokryto krycím epitelem (kůží) s různými vlastnostmi.

4.2. Části lidského těla

4.2.1. Hlava člověka

Hlava je jedna z nejdůležitějších a nejzranitelnějších částí lidského těla. V hlavě pod lebkou je uloženo centrum nervové soustavy – mozek. Také je zde umístěna většina smyslů: zrak, sluch, chuť, čich a jemné hmatové receptory okolo úst. Lebka je tvořena z 28 samostatných plochých kostí a chrání mozek. Na obličejí je více jak 30 svalů pro mimiku obličejí. Hmotnost hlavy průměrného člověka činí 4,6 kg a může se okolo osy (páteře) otáčet o úhel 150°. Vlasy, které rostou na horní části hlavy, slouží jako termoregulace. [7]

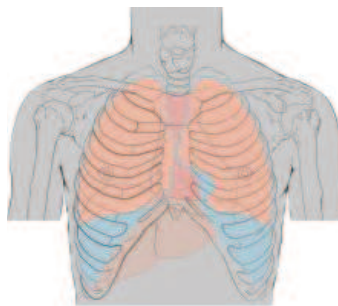
Zranění hlavy může být s poraněním nebo bez poranění mozku. Poranění měkkých tkání může být: kontuze (pohmoždění kůže, svalů, drobné vnější krvácení), podkožní hematom (podlitina), subgaleální hematom, subperiostální hematom. Zlomeniny vznikají přímým nebo nepřímým mechanismem. Přímým nárazem na plochu se lebka postupně deformuje a vznikají lineární zlomeniny. Druhy zlomeniny lebeční kosti dělíme na diastázi švu (traumatickému rozestoupení švů), kominutivní zlomenina (více úlomků, může být otevřená i zavřená „rána kladívkem“), impresivní zlomenina, zlomenina baze lební. Zlomenina klenby lební se projeví deformací v místě zlomeniny. Zlomenina lebeční spodiny se buď neprojeví vůbec, nebo se může projevit krvácením z úst, nosu, nebo ucha. Otřes mozku se většinou projeví přechodnými příznaky a v naprosté většině případů nezanechává trvalé následky. Pohmoždění mozku je způsobeno určitým poškozením mozkové tkáně (možné trvalé poruchy). Roztržení mozkové tkáně bývá zpravidla spojeno se zlomeninami lebky. Vzhledem k tomu, že mozková tkáň obsahuje značné množství cév, je zpravidla vždy spojeno s krvácením do mozkové tkáně. [26,27]



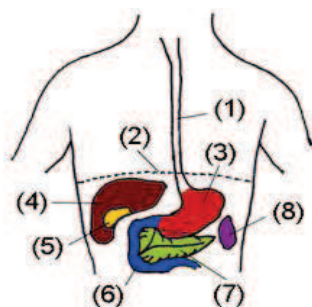
Obrázek 2 Lidská hlava bez kůže Zdroj Wikipedie

4.2.2. Hrudník a břicho

Též latinsky nazývaný jako thorax je horní část trupu člověka. Je tvořen žebry (hrudní koš) tvořícími ochrannou strukturu pro vnitřní orgány a svaly. Svaly se dělí na dva druhy: vnější (prsni svaly), vnitřní (bránice).



Obrázek 3 Hrudník člověka Zdroj Wikipedie



Obrázek 4 Břicho člověka Zdroj Wikipedie

1.jícen, 2.hranice hrudníku a břicha (bránice), 3.žaludek, 4.játra, 5.žlučník, 6.tlusté střevo, 7.tenké střevo, 8.slinivka břišní

Hrudník obsahuje sedm párů pravých žeber (připojení chrupavkou na hrudní kost), tři páry nepravých žeber (napojeny na 7. obratel) a dva páry volných žeber. Orgány v hrudním koši jsou srdce, plíce. Krevní oběh je zajištěn prostřednictvím cév, plicnicemi, žílymi a zdrojem soustavy je srdce. Hlavní nerv prochází páteří a nazývá se mícha. [7,8]

Poranění hrudníku rozdělujeme na zavřená (krytá, tupá) a otevřená (penetrující). Zavřená poranění vedou ke zhmoždění měkkých tkání, ke zlomeninám jednoho nebo více žeber nebo hrudní kosti a při pokračujícím náporu k poranění nitrohrudních orgánů. Poranění nitrohrudních orgánů – poranění plic s porušením bronchu dochází ke vnikání vzduchu do pohrudniční dutiny, ve které je normálně negativní tlak, a plíce kolabují. Každým vdechem přibývající vzduch přetlačuje mediastinum (prostor mezi levou a pravou plící) na zdravou stranu a vzniká tenzní pneumothorax (průnik vzduchu do hrudní dutiny). Poranění srdce - při poranění otřesem nebo tlakem nedochází k patrnému porušení tkání, vznikají pouze arytmie. Poranění velkých cév je roztržení hrudní aorty, roztržení horní či dolní duté žíly. Otevření pohrudniční dutiny je nejčastěji po bodné ráně.[28]

4.2.3. Kostra horní končetiny člověka

Kostra končetiny je upevněna k trupu pletencem. Pletenec je složen z lopatky a klíční kosti. Lopatka je připevněna k trupu svaly a klíční kost kloubem. Kostí volné končetiny, paže jsou spojeny s lopatkou pomocí ramenního kloubu a s kostí vřetení a loketní v loketním kloubu. Předloktí je tvořena dvěma kostmi a to vřetení a loketní. Vřetení kost je na palcové straně (blíže k tělu) a loketní na straně malíčku. Ruka se skládá ze zápěstí, které má 8 kostí (např. kost loďkovitá, trojhranná), záprstní kosti celkem 5 kostí (tvoří dlaň) a prsty 14 kostí. Celkem tedy 27 kostí. [5,7,8]

4.2.4. Kostra dolní končetiny člověka

Člověk je řazen mezi ploskochodce, protože při chůzi se podložky dotýká celá noha a nese celou váhu těla. V dolních končetinách jsou dva druhy kostí. První je pánevní kost (pletenec) a je tvořena jen jednou kostí srostlou ze sedací, kyčelní a stydké kosti. Pánev je připojena nepohyblivým tuhým kloubem s křížovou kostí. Muži mají vyšší a užší pánev, ženy nižší a širší. Volnou končetinu tvoří stehenní kost, česka,

lýtková a holenní kost. Stehenní kost se nazývá femur a je největší v lidském těle. Podle velikosti stehenní kosti se dá určit velikost člověka. Kostra bérce je tvořena holenní kostí (na straně vnitřní) a lýtkovou (na vnější straně). Kostí nohy jsou složeny z kotníku, zánártní (7 kostí), nártní (5 kostí), články prstů (14 kostí). Celkem má noha 26 kostí. Celá dolní končetina je složena z 30 kostí. [5,7,8]

Zlomenina pánve se projeví bolestí v postižené oblasti. Rychle se rozvíjející otok s krvácením do podkoží v oblasti pánve jsou známkou mnohočetných zlomenin v oblasti pánve, které mohou být spojeny s velkou krevní ztrátou, a tím mohou být příčinou se rozvíjejícího šoku. Zlomenina stehenní kosti se projeví jako každá zlomenina bolestí i při sebemenším pokusu o pohyb dolní končetinou. Častá je deformace končetiny, její zkrácení nebo nepřírozená rotace. Při zlomenině bérce dolní končetina bývá nepřírozeně ohnuta, otočena, zkrácena apod. Často bývá porušen kožní kryt a vzniká otevřená zlomenina. Např. u kosti holenní, jež je uložena těsně pod kůží. [29]

Lidské tělo se skládá z hlavy, trupu, horních a dolních končetin. V lebce je uložen mozek, který řídí životně důležité procesy a vyhodnocuje podmínky. Hrudník obsahuje dýchací soustavu, srdce zajišťuje krevní oběh. V břichu je umístěna mimo jiné trávicí soustava. Horní končetiny jsou připevněny k hrudníku pomocí svalů a ramenních kloubů. Dolní končetiny, které nesou celou postavu, jsou spojeny s trupem kyčelním kloubem.

5. ZÁVAŽNOST PORANĚNÍ CHODCE A KRITÉRIA

Policie ČR dělí zranění účastníků nehody do tří stupňů [9,10]:

1. Lehké zranění se přiřazuje člověku, který následkem nehody utrpěl poranění tělesné nebo duševní avšak následně není v pracovní neschopnosti,
2. Těžká zranění (těžká újma na zdraví) je vážná porucha zdraví nebo vážné onemocnění, přičemž se přihlédne k vyjádření lékaře,
3. Úmrtí člověka může být na místě dopravní nehody, při převozu nebo nejpozději do 24 hodin od nehody; zemře-li osoba do 30 dnů po nehodě, provede se změna ve statistikách z vážného zranění na úmrtí.

Poranění AIS – hodnocení závažnosti poranění

Jestliže dojde ke střetu vozidla s chodcem, klasifikuje se zranění chodce do 7 stupňů závažnosti dle tabulky AIS (Abbreviated Injury Scale). [11]

Tabulka 10 Stupeň poranění		Zdroj [11]
Index	Kategorie závažnosti	Druh zranění - příklad
0	Bez zranění	
1	Malá	Odřeny , otláčeniny, natržení kůže, obražení hlavy, popáleniny 1.st až 70 %, popáleniny 2.st do 10%
2	Mírná	Velkoplošné odřeny a obraženiny, rozsáhlé porušení slabin, poranění hlavy, popáleniny 2.st. do 20%, krátká ztráta vědomí
3	Těžká zranění s pravděpodobností přežití	otevřené rány s poškozením nervů a cév, poranění lebky bez vnitřního zranění, popáleniny 2.st do 30%, ztráta vědomí na 5 až 10 min
4	Těžká zranění s nejistým přežitím, ale pravděpodobným	Rány s nebezpečným krvácením, vícenásobné zlomeniny s poškozením orgánů, poranění mozku s neurologickými příznaky, popálení 2.st do 40%, popálení 3.st do 10%, ztráta vědomí na 10 až 30 min
5	Těžká s nejistým přežitím	Ruptury (roztržení) orgánů, zlomení krční páteře, poškození mozku, popálení 3.st do 50%, ztráta vědomí na 30 až 60 min
6	Maximální (smrtné úrazy)	

Při zkouškách s figurínou se používají následující kritéria, podle nichž určujeme, zda by v reálných podmínkách člověk přežil. Jedná se o kritéria pro hlavu, hrudník, pánev, stehenní kost a koleno.

5.1. Kritérium poranění hlavy

Závažnost zranění člověka je ze 70 procent určeno hlavou a jejím zrychlením při nárazu. Je vypočteno pro daný časový průběh – HPC je hodnota vypočtená z intervalu zrychlení (36 nebo 15 ms) působícího na hlavu během nárazu. Vypočítáme velikost plochy pod křivkou dle vzorce [12,15]:

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

Kde „a“ je výsledné zrychlení v těžišti hlavy v násobcích g (pro ČR je 1 g = 9,81 m.s⁻²) zaznamenané v závislosti na čase a filtrované frekvenci 1000 Hz (v programu DIAdem filtrem CFC1000). Intervaly t₁ a t₂ jsou dva časové údaje určující počátek a konec působení maximálního zrychlení. Hodnoty HPC se standardně počítají pro interval 36 ms a pokud jde o náraz velmi rychlý, pak počítáme s 15 ms, což označujeme jako HPC₁₅. Limitní hodnota faktoru HPC i HPC₁₅ je 1000.

Pro porovnání uvádím hodnoty naměřené z testu sražení dětské šestileté figuríny P6 automobilem typu M1, Škoda Octavia II, 1,4 MPI, který prováděl Ústav soudního znaleství v dopravě Fakulty dopravní, ČVUT v Praze v roce 2010. Testy se prováděly při rychlosti 10, 20 a 30 km.h⁻¹ a tabulka uvádí hodnoty HPC při prvním kontaktu hlavy s automobilem a následně kontakt hlavy s vozovkou (sekundární náraz). HPC₁₅ je hodnota vypočtená z intervalu zrychlení o délce 15ms. Všimněme si, že největší hodnoty HPC se vyskytují u sekundárního nárazu. Ačkoliv nepřesahují limitní hodnotu, při rychlosti 30km.h⁻¹ se k ní blíží. [14]

Tabulka 11 Hodnoty HPC působící na hlavu figuríny

Zdroj [14]

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

Druhým kritériem poranění hlavy je kritérium a_{3ms}, ve kterém nesmí přesáhnout zrychlení hlavy 80 g po dobu 3 ms. Druhá limitová hodnota 60 g je převzata z amerického standardu (pro šestileté dítě). Zde při rychlosti 30 km.h⁻¹ byl u sekundárního nárazu limit 80 g překročen o 8,7 g. [13,14]

Tabulka 12 Velikost zrychlení hlavy po dobu 3ms

Zdroj [14]

zkouška č.	rychlost	Primární náraz		Sekundární náraz	
		a _{3ms}		a _{3ms}	
	[km/h]	[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	33,7	80/60	52,8	80/60
201	22,4	26,1	80/60	49,7	80/60
301	30,6	46,6	80/60	88,7	80/60

5.2. Hodnoty pro poranění hrudníku TTI

Jedná se o zrychlení po dobu prvního kontaktu s figurínou až k znehybněné figuríně. Zrychlení je měřeno ve směru tří os x,y,z. Vztah pro poranění hrudníku u člověka je následující a počítá se pro jednu kritickou hodnotu [11,15] :

$$TTI=1,4AGE+0,5(RIBY+T12Y).(MASS/M_{st})$$

Pro výpočet poranění hrudníku u figuríny se vztah zjednodušuje (odpadá věk):

$$TTI=0,5(RIBY+T12Y)$$

TTI – Thoracis Trauma Index

RIBY – maximální zrychlení v oblasti 4-8 žebra v jednotkách g

T12Y – maximální zrychlení na 12. hrudním obratli v jednotkách g

Velikost zrychlení má limitní hodnotu 85 g a používá se především pro boční náraz. [11]

Velikost zrychlení hrudníku po dobu 3ms nesmí přesáhnout 60 g. Předpis EHK 44 o dětském zádržném systému uvádí limitní hodnotu 55 g pro šestileté dítě. Uvádím tabulku zrychlení hrudníku figuríny, která u sekundárního nárazu dosahuje jedné třetiny limitní hodnoty i pro rychlost 30 km/h. Nejedná se o nejzávažnější zranění při sekundárním nárazu.

Tabulka 13 Velikost zrychlení hrudníku po dobu 3ms

Zdroj [14]

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

5.3. Kritérium pro poranění pánve

V průběhu testu nesmí přesáhnout maximální okamžité zrychlení 130 g. Po překročení limitní hodnoty dochází k poranění pánve.

Tabulka 14 maximální zrychlení pánve Zdroj [14]

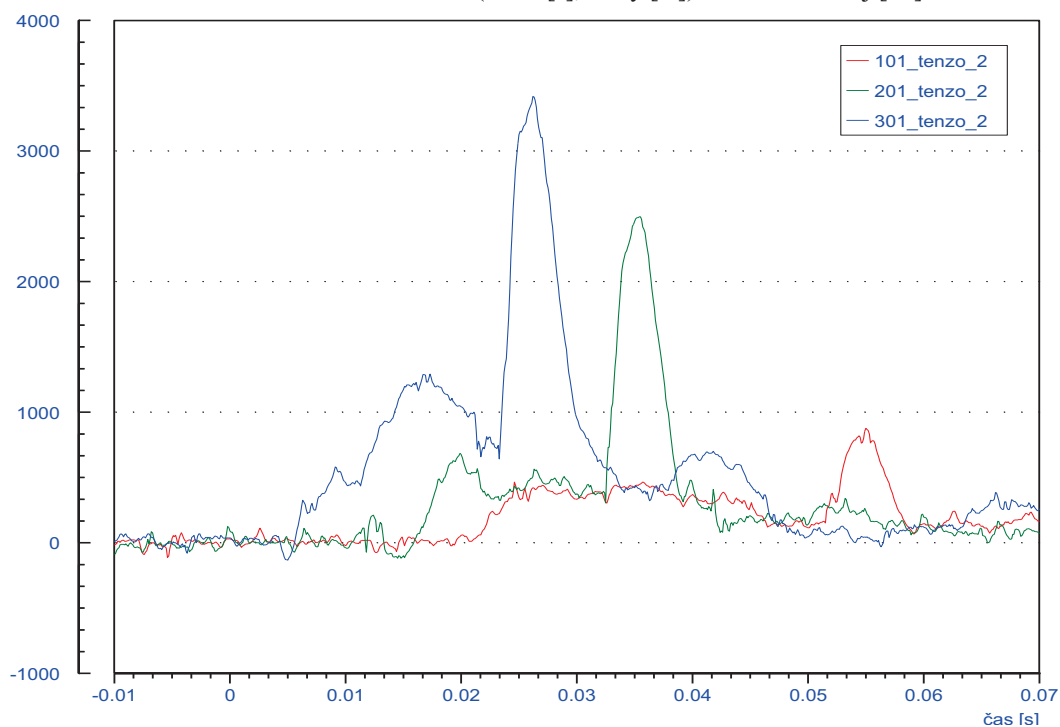
zkouška č.	rychlost [km/h]	Primární náraz		Sekundární náraz	
		a_{max}		a_{max}	
		[g]	limit	[g]	limit
101	12,2	37,1	130	36,6	130
201	22,4	65,9	130	44,2	130
301	30,6	111,4	130	39,1	130

5.4. Kritérium pro stehenní kost

Není definovaná přesná hodnota maximálního přetížení femuru (záleží na mnoha faktorech). Nejčastěji uváděné hodnoty zátěže v literatuře jsou od 1,5 – 4 kN. Záleží na pohlaví, věkové skupině např. u skupiny 20 - 39 let je limit přibližně 2,8 kN (autor Yamada 1970). Místo tabulky uvedeme grafický průběh zatížení stehenní kosti při rychlostech 10, 20 a 30 km.h⁻¹. V rychlosti 20 km.h⁻¹ je hodnota síly na femur 2,497 kN. Pro největší rychlost 30 km.h⁻¹ se zátěž dostane k hodnotě cca 3,418 kN ovšem podle časové osy došlo k zatížení při primárním kontaktu vozidla s figurínou. U třetí zkoušky byl překročen limit zatížení stehenní kosti. [14]

Graf 2 Průběh zatížení femuru (osa x [s], osa y [N])

Zdroj [14]



5.5. Kritérium pro koleno

U kolena nesmí největší zrychlení přesáhnout hodnotu 170 g. U sekundárního nárazu je největší hodnota 96,0 g, která má do hodnoty 170 g značnou rezervu.

Tabulka 15 Maximální zrychlení kolena Zdroj [14]

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

5.6. Shrnutí kapitoly

Vzorci a kritéria jsou definovány v předpisech nebo v odborné literatuře. Naměřené hodnoty z testované figuríny jsem přiřadil k jednotlivým kritériím poranění. Hodnota HPC_{15} nebyla překročena ani u jedné rychlosti ovšem u rychlosti vyšší než 30 km/h pravděpodobně hodnota přesáhne limit 1000. U zrychlení hlavy byla překročena hodnota kritéria 3 ms o 8,7g při nárazu na vozovku. U testů zaměřených na hrudník, pánev, stehenní kost a koleno nebylo zrychlení u sekundárního nárazu překročeno. Jediné měření, kdy zrychlení u kolene překročilo limit, je u primárního nárazu při rychlosti 20 a 30 km.h⁻¹. Z analýzy sekundárního nárazu figuríny na vozovku při zpracovávaných crash testech, vyplývá, že dochází k nepřírozenému stočení hlavy vůči trupu, které by mělo za následek poranění krční páteře. Z tohoto důvodu by měla být měřena a vyhodnocována i kritéria pro krční páteř.

6. TYPY POVRCHŮ Z POHLEDU SEKUNDÁRNÍHO NÁRAZU

Pro potřebu experimentu jsem v předchozí části naznačil strukturu lidského těla a kritéria poranění. Experimentem budu zkoumat velikost poranění figuríny při pádu na zem. Simulaci pádu budu provádět na různých površích. Testované povrchy v této kapitole rozdělím a krátce definuji.

Kryt vozovky je svrchní vrstva komunikace přímo vystavená dopravnímu namáhání. Kola vozidel přenáší ve svislém směru tíhu vozidla a ve vodorovném směru síly při rozjíždění a brzdění. Dynamickými účinky kol se kryt obušuje, drolí, trhá a následně rozšiřuje. K dalšímu znehodnocení vozovky dochází vlivem počasí (děšť, mráz) a posypovým materiálem (technická sůl atd.). Podle určení dopravní intenzity a zátěže navrhujeme vozovky jednovrstvé pro menší zátěž a vícevrstvé s vysokým zatížením (dálnice, sběrné komunikace). Technicky požadujeme od krytu, aby měl dostatečnou nosnost, dlouhodobě dobré adhesní vlastnosti, byl rovný po danou dobu,

nehlučný, v noci dobře viditelný, odolný proti klimatickým vlivům a agresivnímu prostředí.

Druhy povrchu komunikace, na které může dopadnout chodec při srážce:

6.1. Štěrkové vozovky, hliněné cesty

Kryt se skládá ze ztuhlé vrstvy jemného štěrku smíchaný s hlinitopísčítým tmelem, který se na cestu dostal při deštích. Některé cesty jsou pouze hliněné bez štěrkového podkladu. Hliněné udusané cesty splňují účel na polích a v lesích. Jsou nejméně odolné automobilové dopravě a povětrnostním vlivům. Cesty velmi namáhané se doplňují o betonový nebo živičný kryt. V intravilánu se nejčastěji hliněné cesty vyskytují spontánně podle potřeb lidí (např. v parku nebo i poblíž komunikace). Za sucha jsou cesty prašné a za mokra blátivé. Tvrdost hliněné cesty závisí na počasí a ročním období. I na těchto plochách může chodec v intravilánu dopadnout a zranit se.

6.2. Travnatý povrch

Porost vyplňující místa podél komunikace, kde není chodník nebo jiná stavba. Při pádu chodce na trávník předpokládáme, že se jedná s ohledem na počasí a roční období o nejpříjemnější podklad v porovnání s ostatními testovanými povrchy.



Obrázek 5 travnatý povrch s testovací figurínou Zdroj: autor

6.3. Živičné vozovky

Mají velmi dobré vlastnosti a u nás se nejčastěji používají. Tloušťka krytu je odstupňována podle dopravního zatížení. Kryt nesmí kopírovat menší nerovnosti podkladu tzn. musí být rovný, dále nepropouštět vodu do podkladu, být nehlučný (bez

spár), snadno opravitelný. Nový kryt lze položit i na původní jiný druh krytu např. betonový. Nevýhodou je malá drsnost vozovky, špatná viditelnost v noci a zrcadlení při slunci.[16,17]



Obrázek 6 Živičná vozovka

Zdroj: autor

6.3.1. Druhy živičných krytin

živičný nátěr - nejjednodušší lehký kryt. Rozdělujeme podle účelu na základní, udržovací, zdrsnění vozovky (v poslední době protismykové úpravy asfaltových a betonových krytů, rocbinda). [16]

živičné koberce - kladou se na vozovku z obalové směsi finišerem v předepsané tloušťce a šířce. Finišerem se směs částečně zhutní a upraví hladkými válci. [16]

asfaltový beton – jsou nejkvalitnější vícevrstvé živičné těžké kryty (určené pro největší dopravní namáhání). Složení asfaltového betonu je kamenná drť, písek, kamenná moučka (filer) a asfalt. Na vozovku se kladou finišerem jako živičné koberce. [16]

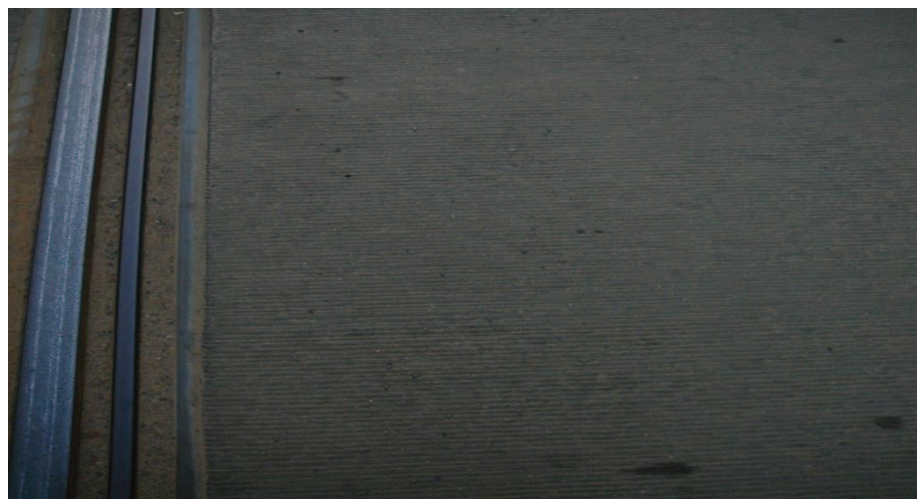
litý asfalt – určený pro těžké dopravní namáhání, ale také pro chodníky, nástupiště městské hromadné dopravy, parkoviště. Tloušťka asfaltu se pohybuje mezi 20 – 40 mm. Směs je vyráběna a přepravována za tepla z kamenné moučky a asfaltu. Připravenou směs rozprostře finišer na vozovku a ručně pomocí hladítka se vyhladí, posype jemnou kamenitou drtí a uválcuje. Přebytečné kamení se smete. Je nejpoužívanějším krytem v městské zástavbě.

6.4. Cementový beton

Vyznačuje se mnohými výhodami - velmi dlouhá životnost, bezprašný a drsný povrch, vysoká odolnost proti deformacím z dopravy, dobře viditelný v noci. Mezi nevýhody patří obtížné opravy a nutnost tvořit spáry, aby beton mohl reagovat na změny teplot a objemu. Z hlediska řidiče se spáry na vozovce mohou zdát jako nevýhoda, ovšem spáry také slouží pro odvod vody z komunikace a snížení rychlosti při přejezdu betonového bloku (psychologická slyšitelná brzda). Kryt se klade na komunikaci finišerem o tloušťce 20 - 40mm. Hladký povrch betonu se zdršňuje

ocelovými nebo silikonovými kartáči nebo po zatvrdnutí rýhováním. Zdrsněním se zlepší přilnavost pneumatiky k vozovce, snížení rizika smyku, ale podklad se stane hlučnějším. Spáry v betonových krytech dělíme na pracovní (procházejí celou tloušťkou betonové desky), příčné (vznikají při ukončení práce finišeru), podélné (podle šířky finišeru), jalové spáry se dělají speciálním diamantovým kotoučem, který oslabí beton a vznikne řízená trhlinka. [17]

Panely BKV jsou železobetonové desky o tloušťce 180 mm a délce do šesti metrů. V panelu jsou dva žlábkové zpevnění ocelí, do kterých se vkládají tramvajové koleje B1. Jejich největší výhodou je rychlá výstavba. Nevýhodou je větší hlučnost a za mokra kluzkost. Pro zvýšení adheze se dříve na betonové panely pokládala slabá vrstva živice, ovšem časem se odlupovala. Nyní se panely zpravidla zdrsňují příčnými vroubkami. [17]



Obrázek 7 Betonový panel BKV

Zdroj:autor

6.5. Dlážděné vozovky

Kryt je tvořen z kostek přírodního nebo umělého kamene. Dlážděné vozovky řadíme mezi nejstarší druh komunikací a v dnešní době jsou používány na velmi namáhané úseky městských komunikací (zastávky MHD – brždění a rozjíždění), komunikace s velkým podélným sklonem, historická centra měst. Dlažba vykazuje vysokou trvanlivost, odolnost proti povětrnostním vlivům, dostatečnou drsnost a rozebíratelnost. Na druhé straně je dlažba velmi hlučná, vyskytuje se u ní značná prašnost. Spáry se někdy zalévají litym asfaltem. [16]

Rozdělení podle velikosti

velké = krychle nebo kvádry 160 x 160 mm až 160 x 300 mm – městské komunikace

drobné = krychle 80 x 120 mm – silnice a městské komunikace

mozaikové = krychle 40 x 60 mm – pro dlažbu chodníků



Obrázek 8 Chodníková dlažba mozaika

Zdroj: autor

Velké a drobné kamenné krychle jsou nejčastěji přírodní, s dobrou vlastností štípání, vysokou houževnatostí, malou obrusností horniny (jemnozrnná žula).

Mozaiková dlažba se dělá z tvrdých vápenců, mramorů různých barev. [16]

6.6. Zámková dlažba

Zámková dlažba je nejčastěji vyráběna z betonu s velkou tvrdostí. Dlažba je odolná vůči povrchovému působení, vodě, chemickým posypům obroušení. Je vhodná na stavbu parkovacích míst, u skladů a také přístupových cest. Předpokládaná životnost je odhadnuta minimálně na 30 let. Název zámková dlažba je odvozena z tvaru dlaždice, která se podobá „zámku“, jímž jednotlivé dlaždice do sebe zapadají.[18]



Obrázek 9 Zámková dlažba s testovací figurínou

Zdroj: autor

Všechny výše uvedené povrchy budu považovat za tuhé kryty kromě šterkové cesty, hliněné cesty a trávníku. V další části práce povrchy otestuji a pokusím se stanovit, který povrch je pro dopad chodce nejpříjemnější.

7. TYPY PŘEKÁŽEK V OKOLÍ KOMUNIKACE PŘI SEKUNDÁRNÍM NÁRAZU

Sražený chodec, který je odhozen od vozidla, může kromě sekundárního dopadu na vozovku dopadnout i na překážku, která je v okolí místa nehody. To může chodci způsobit větší zranění, protože může dopadnout na ostrou hranu nebo na malou plochu, na níž se celá dopadová síla člověka soustředí. Můžeme rozdělit překážky na přemístitelné nebo na stále umístěné „na pevně“, dále podle velikosti, tuhosti, vzdálenosti od vozovky, kombinace překážek.

Možné překážky na komunikaci: zaparkovaná vozidla, obrubníky, kanálové vpusti a kryty, city bloky, tramvajové koleje, železniční přejezd, příčné prahy a pásy, vysazená chodníková plocha, překážku může tvořit i porucha vozovky (výmol) nebo vylitý beton při transportu, vyjeté koleje v asfaltu.

Možné překážky u komunikace: stromy, keře, sloupky dopravního značení, přechodné dopravní značení, sloupky veřejného osvětlení, reklamní poutače, popelnice, kontejnery, koše na odpady, zábradlí, informační stojan s jízdním řádem MHD.

Objekty, které budu testovat, jsem vybral ze souboru stálých překážek. Jedná se o objekty, které jsou umístěné na komunikaci, tudíž se mohou vyskytnout v dráze odhozeného člověka s větší pravděpodobností než objekty, které jsou u od komunikace například jeden metr. Jedná se o žlábkovou tramvajovou kolej NT1 - 3 a B1, spáru mezi betonovými BKV panely a tramvajovou kolejí, hrana obrubníku a city blok (255 kg/běžný metr s výškou 0,5 m).

Na základě simulace v programu Virtual Crash zjistím oblast, do které chodec může dopadnout. Použiji druh vozidla, které je v našich podmínkách nejběžnější. Rychlosti vozidla stanovím na 20, 30, 40 a 50 km.h⁻¹ (uvažuji maximální rychlost v intravilánu). Náráz při simulaci bude frontální – laterální FL na pravý, levý roh

karosérie automobilu a na střed. Na základě simulace určím nebezpečné překážky u vybraných nehodových míst.

8. EXPERIMENT – DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ PŘI SEKUNDÁRNÍM NÁRAZU

Budu testovat náraz hlavy figuríny na povrchy různé tuhosti - travnatý povrch, litý asfalt, chodníková dlažba, zámková dlažba a betonové desky BKV. Pro testování překážek na komunikaci jsem zvolil: tramvajové koleje, spára mezi panely BKV, hrana obrubníku a city blok. Jednalo se o figurínu šestiletého dítěte P6 s hmotností 22 kg a výškou 1,17 m. Za úspěšný test považuji, pokud nejdříve dopadne na povrch nebo překážku hlava a až poté celé tělo. Test se uskutečnil tak, že figurína byla postavena ve vzpřímené poloze a přidržována pro zajištění stability. Na pokyn byla figurína puštěna a dopadla obličejovou částí na měřený povrch. Figurína byla vybavena třiosými akcelometry v hlavě (rozsah 1000 g), hrudníku (rozsah 1000 g) a pánvi (rozsah 500 g). Jednoosý akcelometr byl umístěn v koleni a působení síly na stehno se měřilo tenzometricky. Použité ochranné pomůcky figuríny byly kotníkové boty s pryžovou podešví, tepláky, mikina, hlava obalena ochrannou adhezivní páskou. Na základě měření jsem zjistil velikost sil, které působí při nárazu a podle těchto poznatků určili, zda byly překročeny limity kritérií. Test se prováděl za ideálních podmínek (polojasno s teplotou okolo 20 stupňů Celsia, sucho). Čas a datum testu 6. dubna 2011 mezi 11 a 13 hodinou. Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu DIAdem Evaluation Version. Grafické přílohy jsou taktéž výstupem DIAdemu. Snímky z rozfázovaného pádu figuríny i impaktoru hlavy byly zaznamenány fotoaparátem Casio EX F1 Exilim Super zoom s reálnou rychlostí snímání 600 snímků/s.

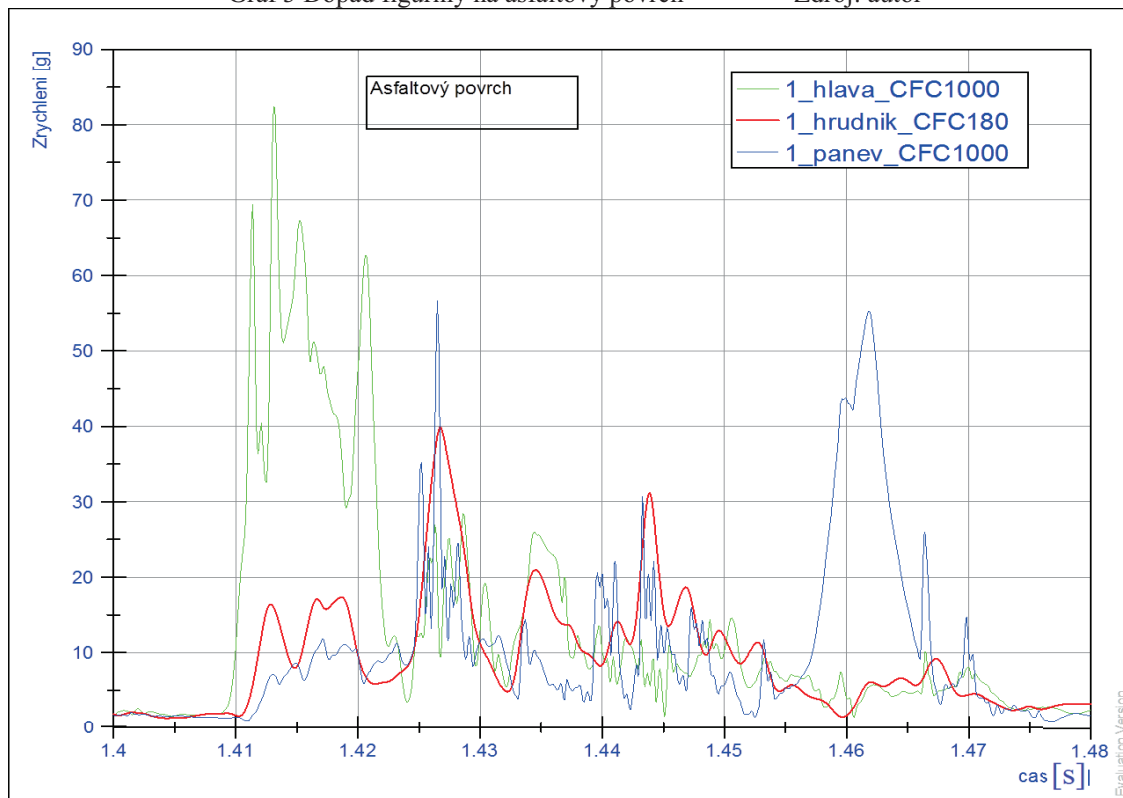
Rozdělení dopadu podle povrchů

8.1.1. Dopad figuríny na asfaltový povrch

Časové rozdělení dopadu na povrch

Graf 3 Dopad figuríny na asfaltový povrch

Zdroj: autor



Obrázek 10 Sekvence pádu na asfaltový povrch

Zdroj: autor

Figurína byla postavena ve vzpřímené poloze a bez dodání vnější energie dopadla na asfaltový povrch. Test se vydařil, protože nejdříve figurína dopadla hlavou, jak je vidět v grafu a na prvním obrázku, což bylo cílem. Největší zrychlení hlavy bylo v intervalu 1,410 s až 1,425 s.

Tabulka 16 Hodnoty kritérií u asfaltového povrchu

Zdroj: autor

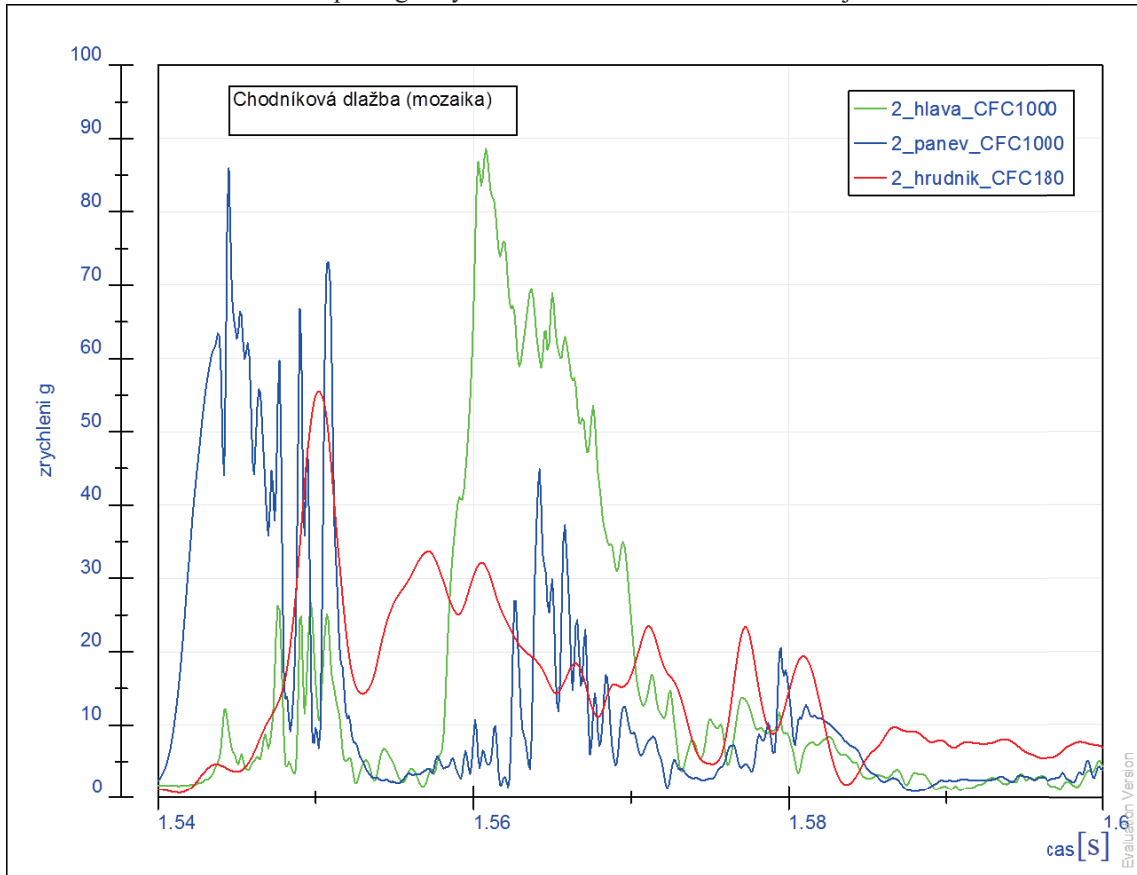
zkouška	asfaltový povrch		
		[g]	limit
Hlava	a _{3ms}	51,09	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	185,23	1000
Hrudník	a _{3ms}	24,89	60/55
Pánev	a _{max}	56,7	130
Koleno	a _{max}	12,22	170

zkouška	asfaltový povrch	
	a _{max} [g]	limit
Hlava	82,39	-
Hrudník	39,82	-
Pánev	56,7	-
Koleno	12,22	-

8.1.2. Dopad figuríny na chodníkovou dlažbu

Graf 4 Dopad figuríny na chodníkovou dlažbu

Zdroj: autor



Obrázek 11 Sekvence pádu na chodníkovou dlažbu

Zdroj: autor

První kontakt figuríny s dlažbou nebyl veden přes hlavu, nýbrž první kontaktní část byla pánev. I přes tuto skutečnost je zrychlení hlavy poměrně vysoké, když beru v úvahu, že figurína padala přepadem dopředu. Zrychlení hlavy bylo ovlivněno prvotním dopadem na pánev.

Tabulka 17 Hodnoty kritérií u chodníkové dlažby

Zdroj: autor

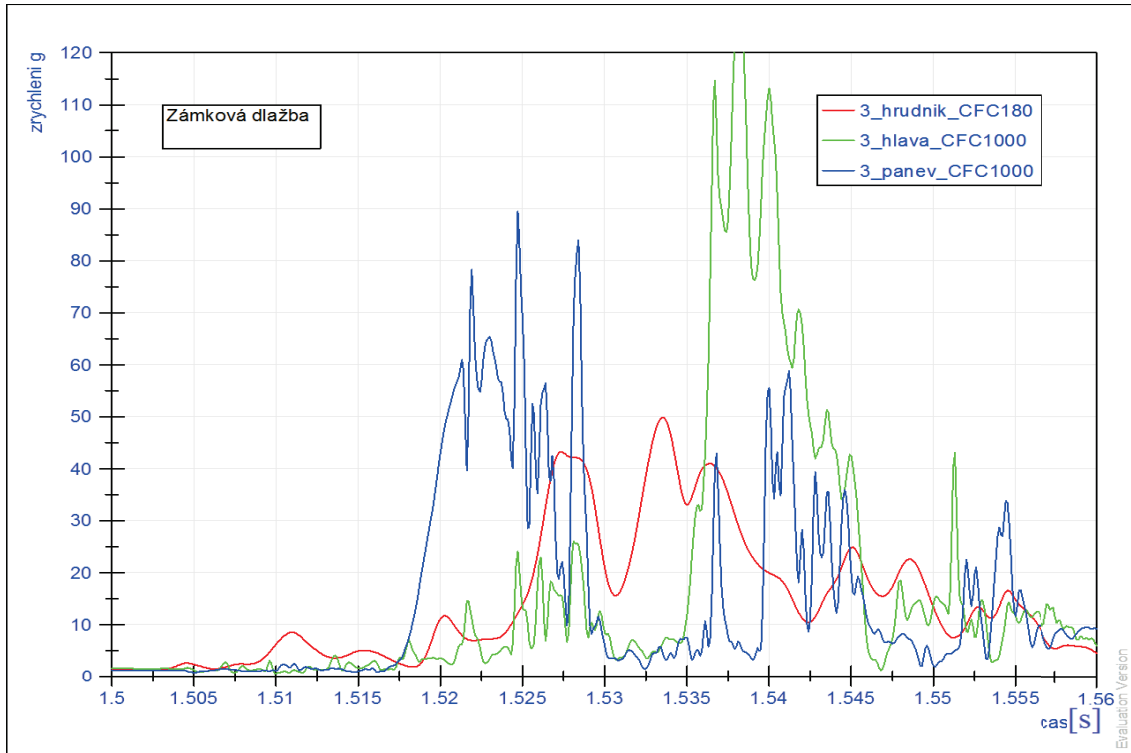
zkouška	chodníková dlažba		
		[g]	limit
Hlava	a _{3ms}	58,97	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	288,56	1000
Hrudník	a _{3ms}	28,02	60/55
Pánev	a _{max}	85,97	130
Koleno	a _{max}	9,18	170

zkouška	chodníková dlažba	
	a _{max} [g]	limit
Hlava	88,6	-
Hrudník	55,54	-
Pánev	85,97	-
Koleno	9,18	-

8.1.3. Dopad figuríny na zámkovou dlažbu

Graf 5 Dopad figuríny na zámkovou dlažbu

Zdroj: autor



Obrázek 12 Sekvence pádu na zámkovou dlažbu

Zdroj: autor

Experiment na zámkové dlažbě se prováděl dvakrát. Ani v jednom experimentu se nám nepodařilo, aby figurína dopadla nejdříve na hlavu. Zrychlení hlavy bylo ovlivněno prvotním kontaktem přes pánev a hrudník. Přesto vidíme, že zrychlení hlavy má poměrně vysoké HPC_{15} s hodnotu 462,8. Podle rozfázovaného videa konstatují, že nejdříve dopadá figurína na hrudník s pánví a až po 0,02 s po prvním kontaktu následuje hlava. Poté následuje odraz a posun figuríny o 0,15 m dopředu.

Tabulka 18 Hodnoty kritérií u zámkové dlažby

Zdroj: autor

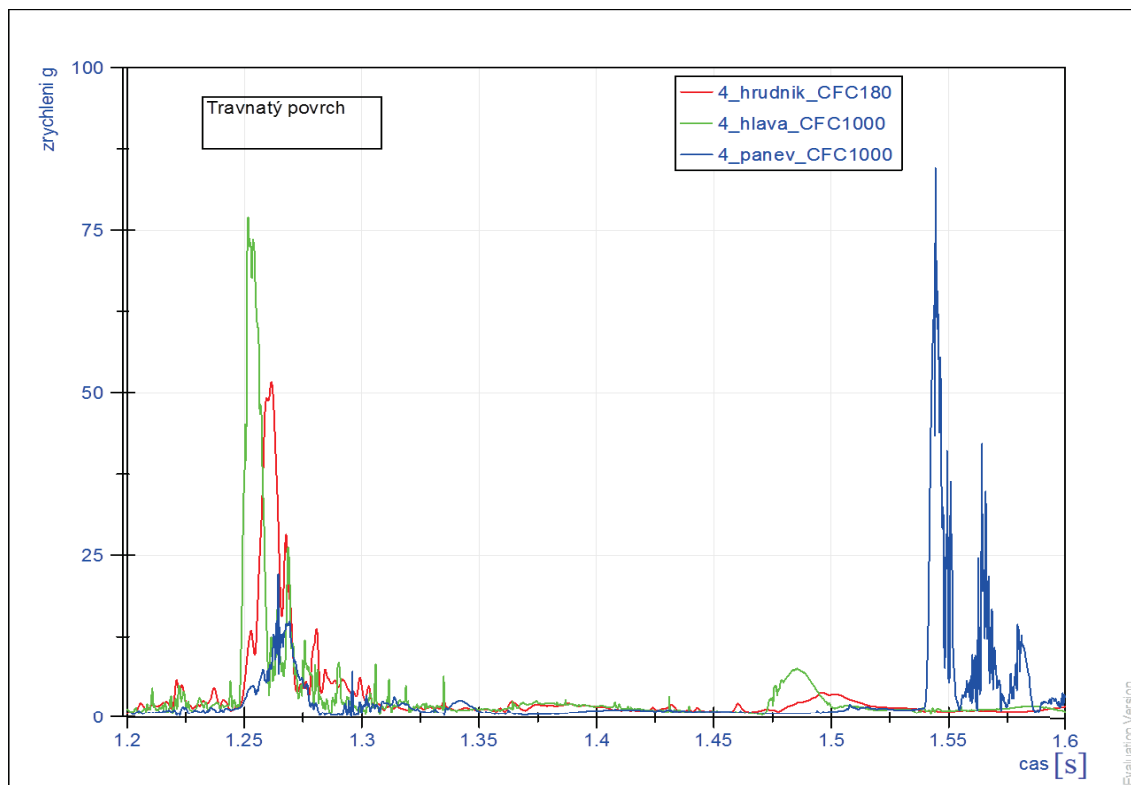
zkouška	zámková dlažba		
		[g]	limit
Hlava	a3ms	76,2	80/60
Hlava	HPC_{15} [-]	462,8	1000
Hrudník	a3ms	33,09	60/55
Pánev	a_{max}	89,46	130
Koleno	a_{max}	13,37	170

zkouška	zámková dlažba	
	a_{max}	limit
Hlava	133,36	-
Hrudník	49,86	-
Pánev	89,46	-
Koleno	13,37	-

8.1.4. Dopad figuríny na travnatý povrch

Graf 6 Dopad figuríny na travnatý povrch

Zdroj: autor



Obrázek 13 Sekvence pádu na travnatý povrch

Zdroj: autor

Travnatá plocha je v mírném svahu, což výrazně neovlivňuje test. Hlava dopadá na trávu jako první v čase 1,249 s od spuštění měřicího zařízení a hrudník přichází do kontaktu s povrchem ihned po hlavě 1,255 s. Následuje dlouhá časová mezera, než dopadne pánev (1,530 s) na trávu. Zrychlení hlavy je poměrně vysoké, avšak velmi krátké. Trvání zrychlení hlavy je 0,001 s. Tráva tlumí dopad s minimální dobou trvání zrychlení, ovšem nejví se jako nejměkčí povrch podle a_{3ms} a HPC_{15} .

Tabulka 19 Hodnoty kritérií u travnatého povrchu

zkouška	travnatý povrch		
		[g]	limit
Hlava	a_{3ms}	67,64	80/60
Hlava	HPC_{15} [-]	223,94	1000
Hrudník	a_{3ms}	48,79	60/55
Pánev	a_{max}	84,54	130
Koleno	a_{max}	15,01	170

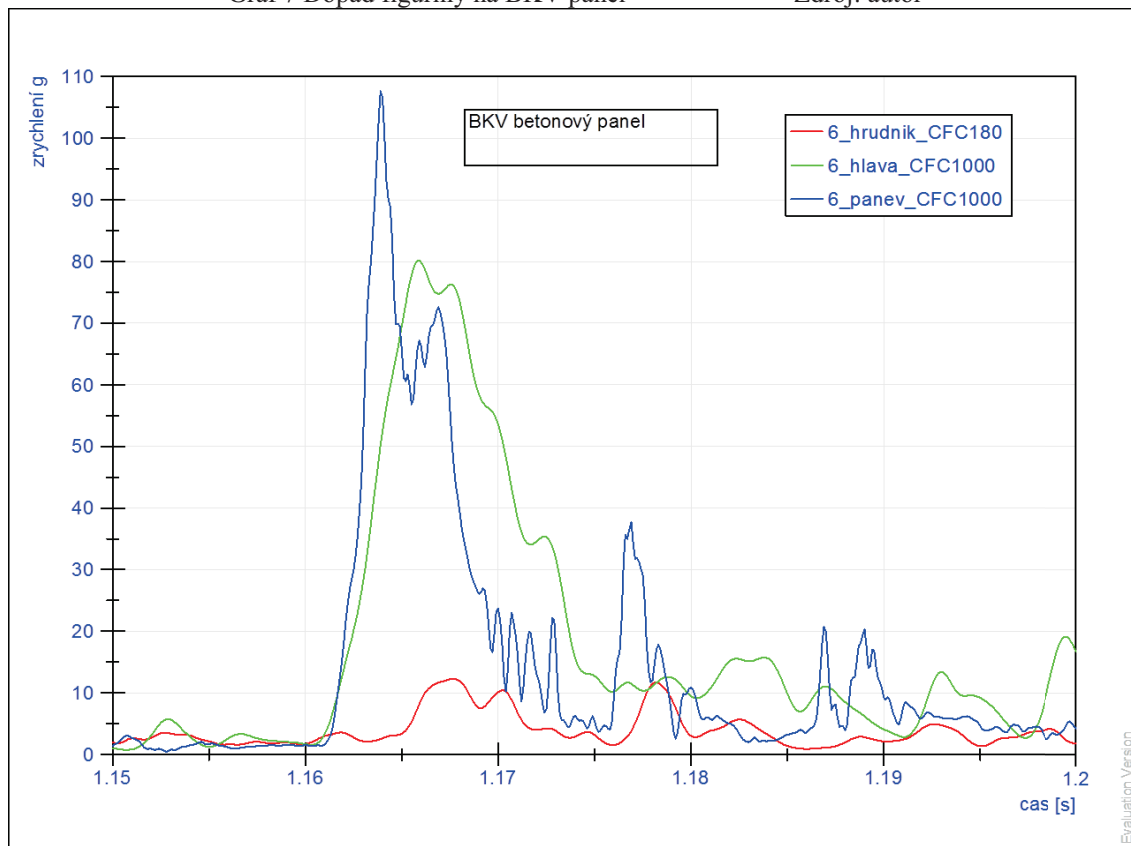
Zdroj: autor

zkouška	travnatý povrch	
	a_{max}	limit
Hlava	77,01	-
Hrudník	55,54	-
Pánev	84,54	-
Koleno	15,01	-

8.1.5. Dopad figuríny na BKV panel

Graf 7 Dopad figuríny na BKV panel

Zdroj: autor



Obrázek 14 Sekvence pádu na BKV panel

Zdroj: autor

Hlava se dostává do kontaktu s BKV panelem současně s pánví. Zrychlení hlavy není přímo ovlivněno pánví jako u předchozích případů. Hrudník se dostává do kontaktu s BKV až po uplynutí značné doby. Po dopadu má figurína tendenci opět se odrazit a posunout se o 10 cm dopředu.

Tabulka 20 Hodnoty kritérií u BKV panelu

Zdroj: autor

zkouška	BKV panely		
		[g]	limit
Hlava	a _{3ms}	71,79	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	247,5	1000
Hrudník	a _{3ms}	25,12	60/55
Pánev	a _{max}	107,64	130
Koleno	a _{max}	11,39	170

zkouška	BKV panely	
	a _{max} [g]	limit
Hlava	80,05	-
Hrudník	51,56	-
Pánev	107,64	-
Koleno	11,39	-

8.1.5. Shrnutí povrchů

Tabulka 21 Hodnoty kritérií hlavy pro všechny povrchy Zdroj: autor

zkouška	HPC ₁₅		a3ms		a _{max}	
	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit
	Asfaltový povrch	185,23	1000	51,09	80/60	82,39
Chodníková dlažba	288,56	1000	58,97	80/60	88,6	-
Zámková dlažba	462,80	1000	76,2	80/60	133,36	-
Travnatý povrch	223,94	1000	67,64	80/60	77,01	-
BKV panely	247,50	1000	71,79	80/60	80,05	-

Ani jedna hodnota jak u HPC₁₅, tak kritéria a3ms nepřekročila stanovenou hranici kritériálních hodnot. Stejně tomu je i pro další části těla, kde také nebyly překročeny limitní hodnoty. Způsobené je to především tím, že figurína padala vlastní vahou pouze za přispění gravitační síly. Pokud se zaměříme na hlavu, tak padala k zemi z výšky 1,17 m. Při sražení chodce vozidlem je ještě přenesena velká část energie na tělo z pohybujícího se vozidla, tudíž výsledné hodnoty kritérií by byly vyšší. To je dokázáno v kapitole 5., kde definuji kritéria poranění a uvádím výsledky testu sražení figuríny vozidlem Škoda Octavia II.

Z celkového testu povrchů vyšel přes kritérium HPC₁₅ jako nejpříjemnější povrch asfalt, druhá nejmenší hodnota je u travnatého povrchu. Podle kritéria a3ms je nejlepší povrch ze zámkové dlažby. Hodnota a3ms je počítána přes jednu největší špičku zrychlení. Z pohledu maximálního zrychlení a_{max} vyšla nejmenší hodnota 77,01g trvající „pouze“ 0,001s pro travnatý povrch. Pro všechny ostatní povrchy je doba intervalu zrychlení hlavy průměrně 0,012 s. Hliněné podloží travnatého povrchu bylo tvrdé bez předchozího změkčení vlivem počasí (deště). Zrychlení a_{max} není pro hlavu bráno za posuzovací kritérium, hodnoty uvádím jen pro srovnání. Za hlavní posuzovací kritérium poranění hlavy uvažuji HPC₁₅.

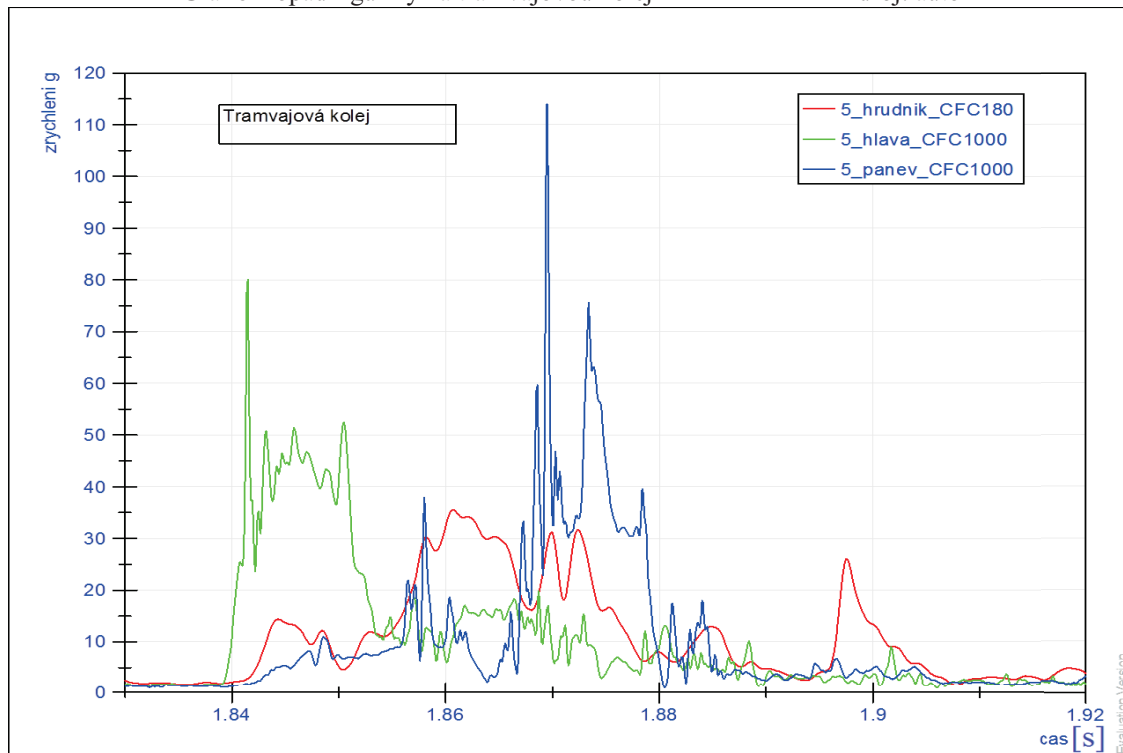
8.2. Překážky na komunikaci

8.2.1. Dopad figuríny na tramvajovou kolej

Časové rozdělení dopadu figuríny na překážku.

Graf 8 Dopad figuríny na tramvajovou kolej

Zdroj: autor



Obrázek 15 Sekvence pádu na tramvajovou kolej

Zdroj: autor

Jak je vidět z grafu i obrázků, které jdou chronologicky za sebou, hlava naráží ideálně na tramvajovou kolej. Poté následuje dopad hrudníku a pánve. Nejvyšší špička zrychlení hlavy je 80 g, ale převážnou dobu se zrychlení hlavy pohybuje na úrovni 48 g. Časová délka zrychlení hlavy je 0,014s.

Tabulka 22 Hodnoty kritérií u tramvajové koleje

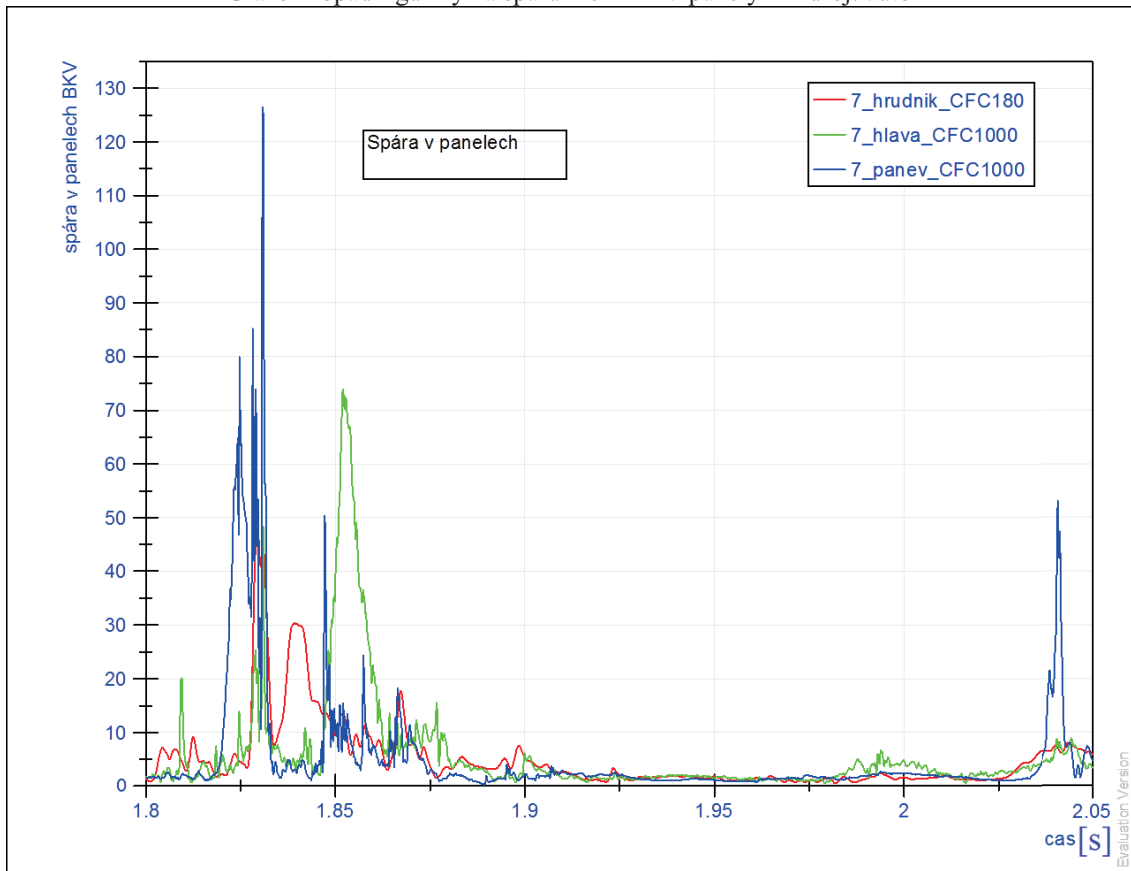
zkouška	tramvajová kolej		
		[g]	limit
Hlava	a3ms	44,08	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	126,43	1000
Hrudník	a3ms	32,62	60/55
Pánev	a _{max}	113,97	130
Koleno	a _{max}	15,07	170

Zdroj: autor

zkouška	tramvajová kolej	
	a _{max}	
	[g]	limit
Hlava	80,09	-
Hrudník	35,46	-
Pánev	113,97	-
Koleno	15,07	-

8.2.2. Dopad figuríny na spáru mezi BKV panely

Graf 9 Dopad figuríny na spáru mezi BKV panely Zdroj: autor



Obrázek 16 Sekvence pádu na spáru mezi BKV panely

Zdroj: autor

Prvně figurína dopadá na mezeru mezi BKV panely a tramvajovou kolejí pánví, hrudníkem a naposledy hlavou. Zrychlení hlavy bylo ovlivněno prvním kontaktem pánve se spárou. Po dopadu byla tendence figuríny bez odrazu se sunout po spáře přibližně 11 cm.

Tabulka 23 Hodnoty kritérií u spáry mezi BKV panely

Zdroj: autor

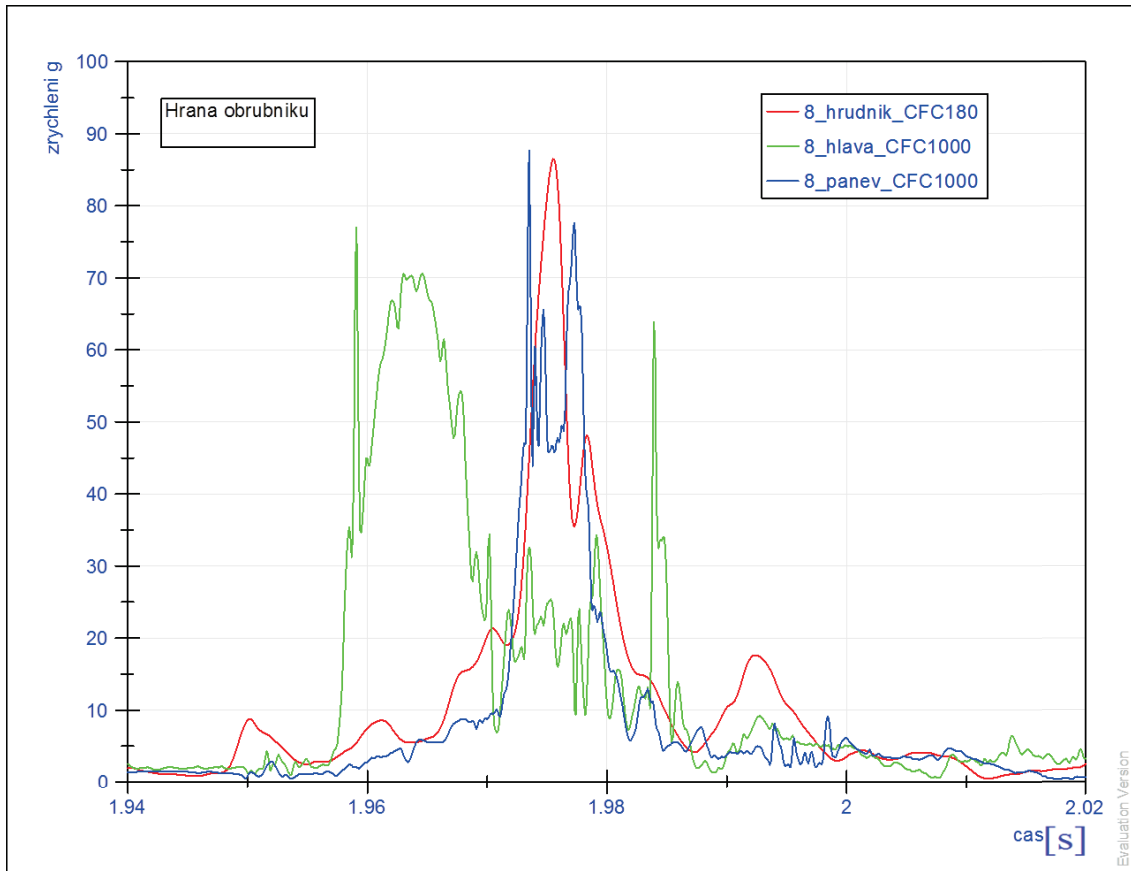
zkouška	spára mezi BKV panely		
		[g]	limit
Hlava	a _{3ms}	58,5	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	165,67	1000
Hrudník	a _{3ms}	37,21	60/55
Pánev	a _{max}	126,47	130
Koleno	a _{max}	40,36	170

zkouška	spára mezi BKV panely	
	a _{max}	limit
Hlava	73,92	-
Hrudník	48,86	-
Pánev	126,47	-
Koleno	40,36	-

8.2.3. Dopad figuríny na hranu obrubníku

Graf 10 Dopad figuríny na hranu obrubníku

Zdroj: autor



Obrázek 17 Sekvence pádu na hranu obrubníku

Zdroj: autor

Hlava figuríny naráží na hranu obrubníku v ideální pozici. Hrudník a pánev následují po hlavě ve stejný okamžik. Hlava se po kontaktu s hranou má tendenci ještě jednou odrazit.

Tabulka 24 Hodnoty kritérií u hrany obrubníku

Zdroj: autor

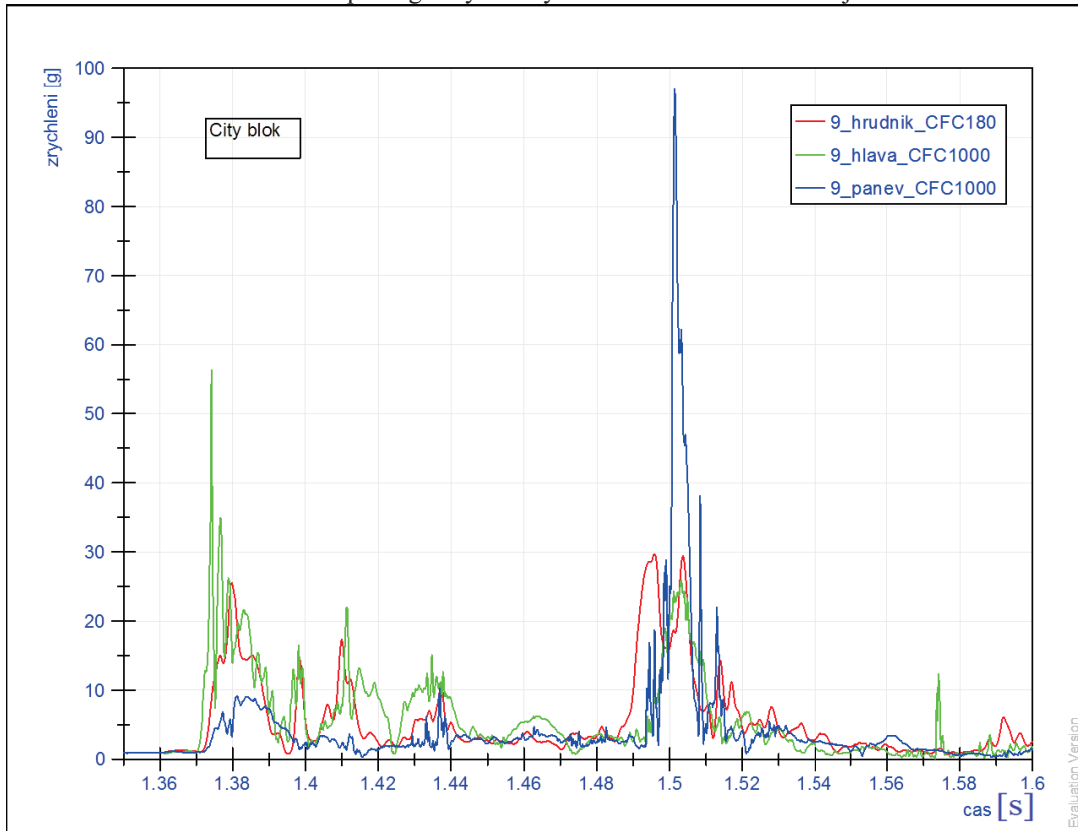
zkouška	hrana obrubníku		
		[g]	limit
Hlava	a _{3ms}	64,14	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	255,35	1000
Hrudník	a _{3ms}	49,95	60/55
Pánev	a _{max}	87,68	130
Koleno	a _{max}	44,4	170

zkouška	hrana obrubníku	
	a _{max}	limit
Hlava	77,03	-
Hrudník	86,51	-
Pánev	87,68	-
Koleno	44,4	-

8.2.4. Dopad figuríny na city blok

Graf 11 Dopad figuríny na city blok

Zdroj: autor



Obrázek 18 Sekvence pádu na city blok

Zdroj: autor

Kontakt hlavy s betonovou deskou, která nahrazuje city blok před přechodem, byl substituční pro naše testování. První kontakt na hlavě byl temenem a plynule přecházel při posunu po betonové desce na obličejovou část, na které i figurína skončila. Zrychlení hlavy je malé, ale nastává extrémní záklon hlavy s pravděpodobným poraněním krční páteře.

Tabulka 25 Hodnoty kritérií u city bloku

zkouška	city blok		
		[g]	limit
Hlava	a _{3ms}	22,72	80/60
Hlava	HPC ₁₅ [-]	27,37	1000
Hrudník	a _{3ms}	27,73	60/55
Pánev	a _{max}	96,98	130
Koleno	a _{max}	9,56	170

Zdroj: autor

zkouška	city blok	
	a _{max}	limit
Hlava	56,53	-
Hrudník	50,42	-
Pánev	96,98	-
Koleno	9,56	-

8.2.5. Shrnutí překážek

Tabulka 26 Hodnoty kritérií hlavy pro všechny překážky

Zdroj: autor

zkouška	HPC ₁₅		a _{3ms}		a _{max}	
	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit
	tramvajové koleje	126,43	1000	44,08	80/60	80,09
spára mezi BKV panely	165,67	1000	58,5	80/60	73,92	-
hrana obrubníku	255,35	1000	64,14	80/60	77,03	-
city blok	27,37	1000	22,72	80/60	56,53	-

Ani v jednom kritériu nebyla překročena limitní hranice. Tabulka slouží k porovnání, která překážka může způsobit největší zranění. Z pohledu HPC₁₅ vykazuje nejvyšší hodnoty překážka hrana obrubníku. Podle kritéria a_{3ms} dosahuje největších hodnot také hrana obrubníku a nejnižších city blok. Také pro maximální zrychlení hlavy v jediném okamžiku a_{max} je nejmenší hodnota city bloku. Podmínky pro testování city bloku byly upraveny pro jeho výšku. Ovšem ten představuje velké nebezpečí poranění krční páteře. Zrychlení a_{max} není pro hlavu bráno za posuzovací kritérium, hodnoty uvádím jen pro srovnání. Za hlavní posuzovací kritérium poranění hlavy uvažujeme HPC₁₅.

8.3. Experiment s impaktorem hlavy

Při testování s figurínou jsem se snažil, aby dopadla prvotně hlavou na povrch nebo překážku. Ne vždy se to povedlo, jako tomu bylo u zámkové a chodníkové dlažby, částečně u BKV panelu, kdy figurína se dostala do prvního kontaktu jinou částí než hlavou. Jednalo se především o část pánve a hrudníku. U překážek byl experiment neúspěšný pouze v jednom případě a to u spáry mezi BKV panely. To, že figurína dopadla nejdříve hrudníkem nebo pánví, bylo ovlivněno zrychlení hlavy. Abych provedl zcela nezávislý test bez ovlivnění jinou částí těla, testuji zvolené povrchy a překážky impaktorem hlavy. Jedná se o hlavu šestiletého dítěte, která byla odmontována z původní testované figuríny. Hlava váží přibližně 2,5 kg. Do hlavy byl namontován tříosý akcelometr ve směru x, y, z a rozsahem snímání do 1000g. Impaktor byl chráněn adhezní páskou. Impaktor byl pouštěn na povrch z takové výška jako je vysoká figurína, což je 1,17 m.



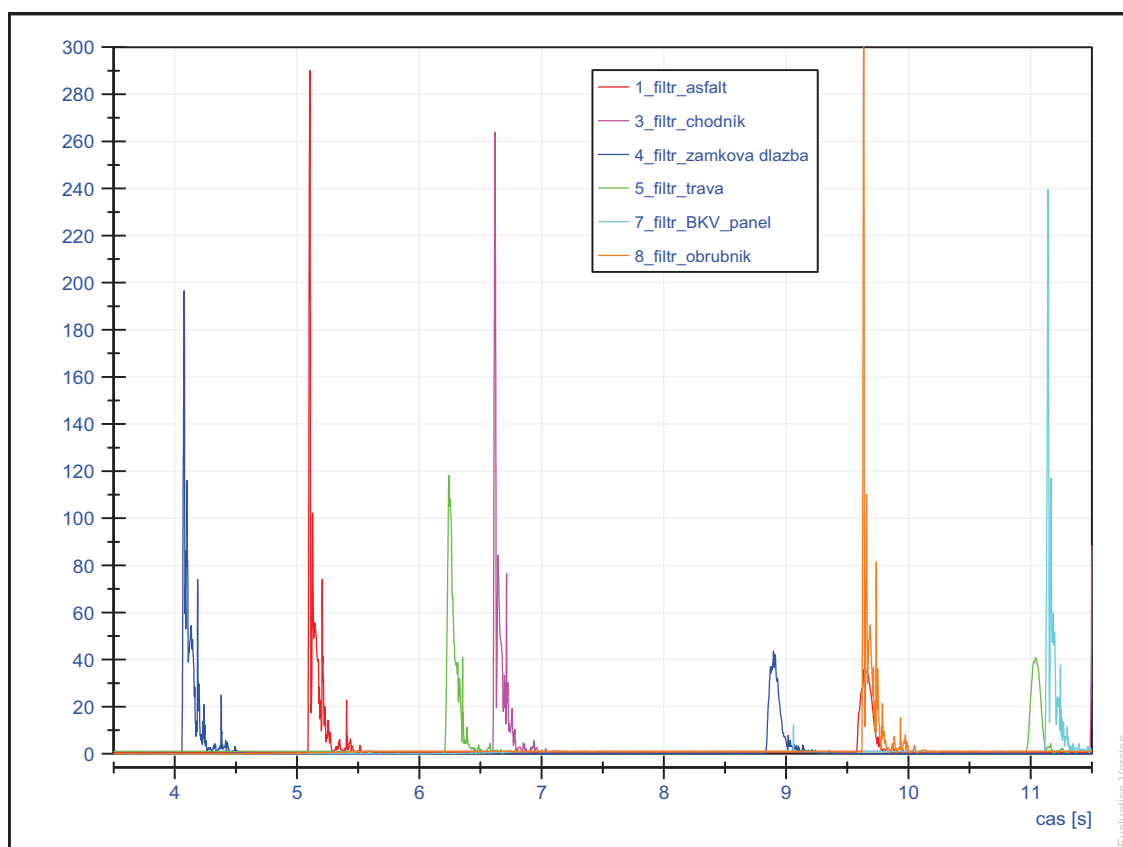
Obrázek 19 Způsob testování s impaktorem hlavy

Zdroj: autor

8.3.1. Test povrchů pomocí impaktoru

Graf 12 Zrychlení impaktoru hlavy na různých površích

Zdroj: autor



V experimentu s impaktorem hlavy jsem navíc testoval povrch obrubníku, který byl zhotoven z kamene. Obrubník ze všech testovaných povrchů dosáhl maximální hodnoty zrychlení 343 g. Podle kritéria HPC_{15} překročil limit obrubník hodnotou 1128 a asfaltový povrch 1022. Travnatý povrch vyšel z testu s nízkým celkovým zrychlením,

a to číselnou hodnotou HPC_{15} 394,29, jak je vidno v grafu. Kritérium a_{3ms} , které nesmí přesáhnout limit 80 g / 60 g, jsem počítal přes všechny špičky zrychlení namísto počítání s jednou nejvyšší špičkou pro získání objektivnějších výsledků. Travnatý povrch přesáhl limit a má hodnotu 86,37 g. Vysoká hodnota je způsobena velkým útlumem impaktoru trávou při dopadu na povrch. Impaktor se již nestačí odrazit a znovu dopadnout, proto vznikne jen jedna špička zrychlení. Program DIAdem počítá pouze s jednou nepřerušenu špičkou zrychlení oproti ostatním povrchům, kdy se impaktor znovu odrazí, a proto vychází velké hodnoty s travnatým povrchem. Pro měření je nejdůležitější kritérium HPC_{15} . Maximální zrychlení je největší u obrubníkového povrchu a nejmenší u travnatého.

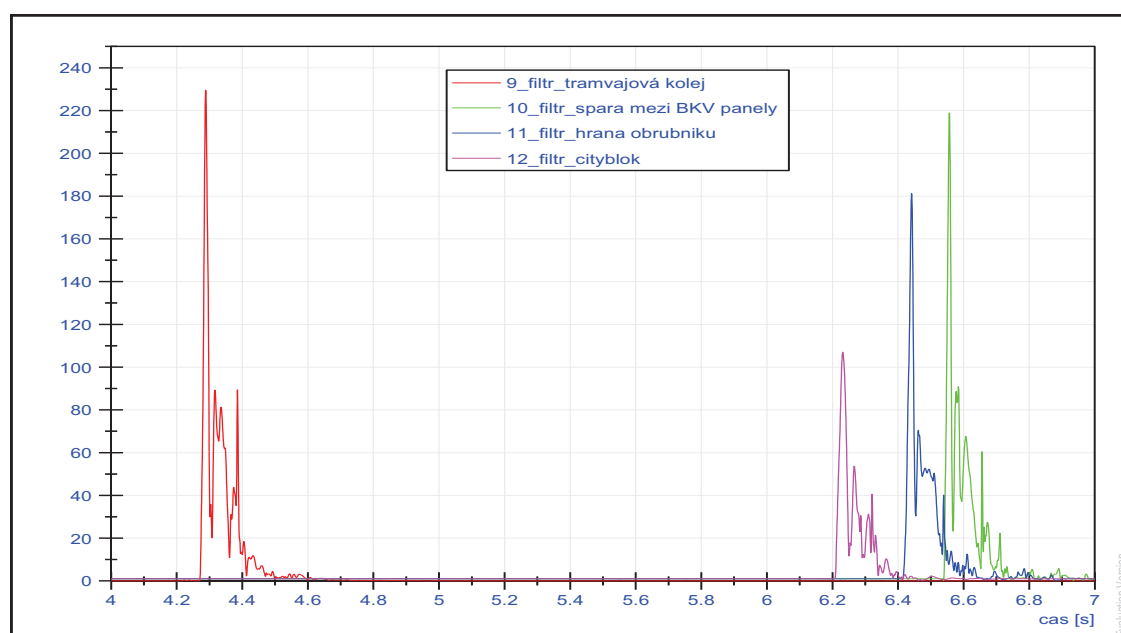
Tabulka 27 Hodnoty kritérií impaktoru hlavy pro všechny povrchy Zdroj: autor

zkouška, samostatná hlava	HPC_{15}		a_{3ms}		a_{max}	
	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit
Asfaltový povrch	1022,35	1000	59,14	80/60	290,1	-
Chodníková dlažba	949,03	1000	71,24	80/60	263,79	-
Zámková dlažba	444,8	1000	73,99	80/60	196,56	-
Travnatý povrch	394,29	1000	86,37	80/60	118,16	-
BKV panely	693,77	1000	71,42	80/60	239,57	-
Obrubníková plocha	1128,62	1000	61,79	80/60	343,55	-
Asfaltový povrch s čepicí	548,79	1000	86,66	80/60	140,62	-
Travnatý povrch s čepicí	352,56	1000	57,19	80/60	104,25	-

8.3.2. Test překážek pomocí impaktoru

Graf 13 Zrychlení impaktoru hlavy na různých překážkách

Zdroj: autor



Nejvyšší zrychlení v grafu i v tabulce má tramvajová kolej. Hodnoty ani u jednoho kritéria nepřesáhly limit.

Tabulka 28 Hodnoty kritérií impaktoru hlavy pro všechny překážky

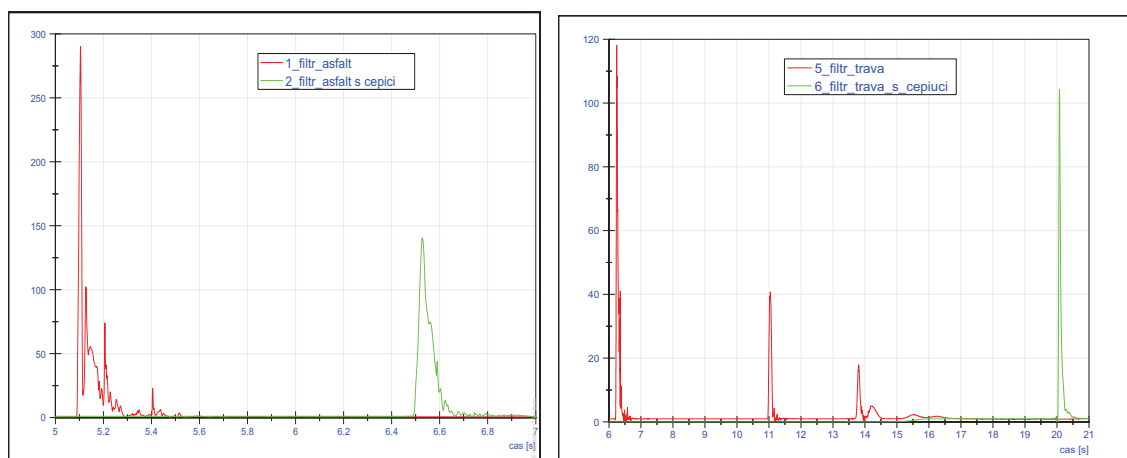
Zdroj: autor

zkouška, samostatná hlava						
	HPC₁₅		a_{3ms}		a_{max}	
	[-]	limit	[g]	limit	[g]	limit
Tramvajové koleje	681,13	1000	80,65	80/60	229,54	-
Spára mezi BKV panely	522,13	1000	72,03	80/60	218,87	-
Hrana obrubníku	387,79	1000	61,00	80/60	181,19	-
City blok	281,18	1000	50,25	80/60	106,97	-

Hodnota kritéria HPC₁₅ nebyla ani u jedné měřené překážky překročena. Největších hodnot dosahuje tramvajová kolej. Nejmenších city blok, ovšem impaktor nebyl pouštěn na hranu city bloku, ale pouze na horní plochu a z výšky 0,42 m, protože bereme možnost, že figurína na city blok přepadla. Zrychlení po dobu 3 ms, které nesmí přesáhnout 80 g, jsme počítali přes všechny špičky zrychlení namísto počítání s jednou nejvyšší špičkou zrychlení pro objektivnější výsledky. Nejvyšších hodnot opět dosahuje tramvajová kolej.

Během testu proběhlo porovnání, zda má vliv na hodnotu kritérií pokrývka hlavy. U asfaltového povrchu je změna velmi patrná. S pokrývkou hlavy se snížilo maximální zrychlení hlavy a kritérium HPC₁₅ o polovinu. Pro travnatý povrch je změna zrychlení s použitím pokrývky hlavy méně znatelná.

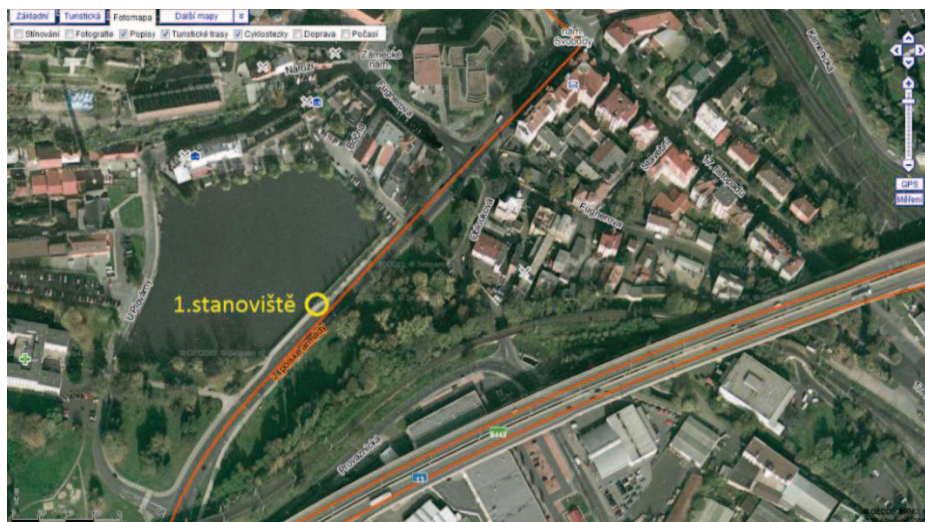
Graf 14 Zrychlení impaktoru hlavy s pokrývkou hlavy a bez na asfaltovém a travnatém povrchu



Zdroj: autor

9. VÝBĚR VOZIDLA PRO SIMULACI

Zvolení vozidla, se kterým provedu simulace v programu Virtual Crash, určím podle měření, které proběhlo v Děčíně na výcvikovém kurzu, kde jsme měřili zastoupení jednotlivých značek vozidel. Měření se konalo ve všední pracovní den na hlavní silnici v Děčíně směrem na Prahu (ulice 2. Polské armády). Délka měření byla přibližně 30 minut, a to ve dvou časech 15:30 a 20:00.



Obrázek 20 Místo měření Děčín

Zdroj mapy: google maps

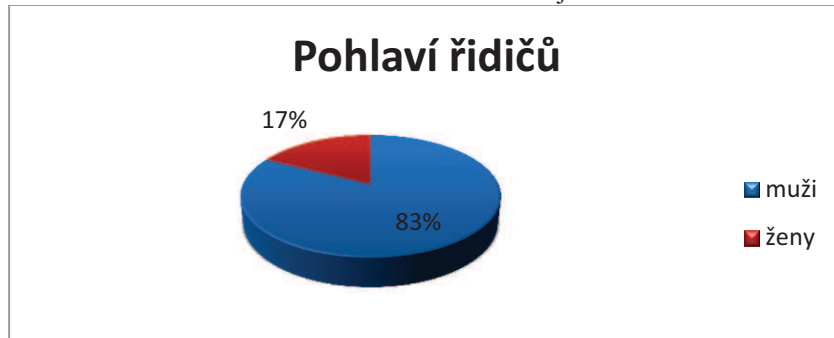
Celkový naměřený soubor vozidel činil 241. Nejčastěji měřenými osobní automobily byly značky Škoda, Ford a VW. Rychlost vozidel se pohybovala v intervalu 36 - 40 km/h. Z měření vyplývá, že nejoblíbenějšími barvami vozidel jsou stříbrná, černá a červená. Mezi řidiči jasně dominují muži (83% muži, 17% ženy). Podle průzkumu jezdili nejrychleji řidiči modrých vozů. Souvislost značky s rychlostí lze z tohoto průzkumu těžko dokázat, protože měřený vzorek byl malý. Pod položkou ostatní značky jsou zahrnuty například Dacia, Daewoo, Chevrolet, Jeep, Mitsubishi, Nissan, Suzuki, Toyota, Tatra, Avia.

Graf 15 Složení sledované dopravy

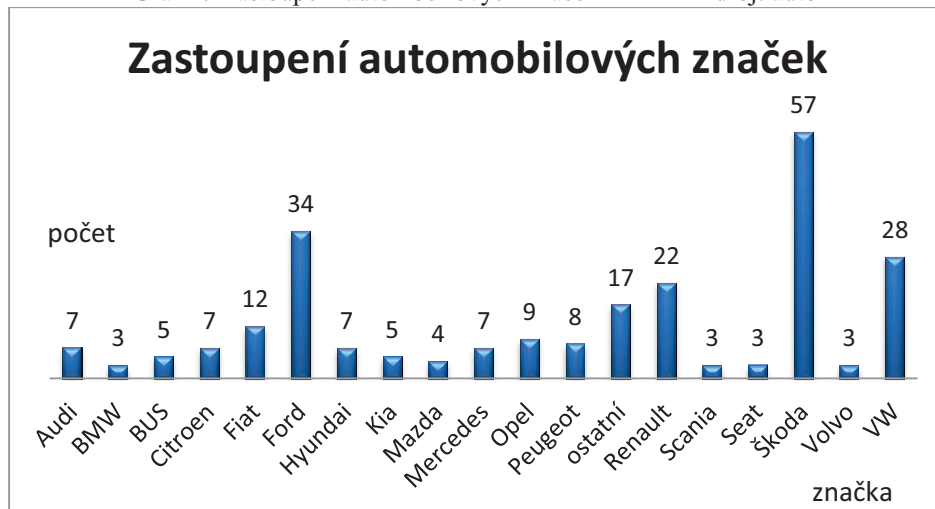
Zdroj: autor



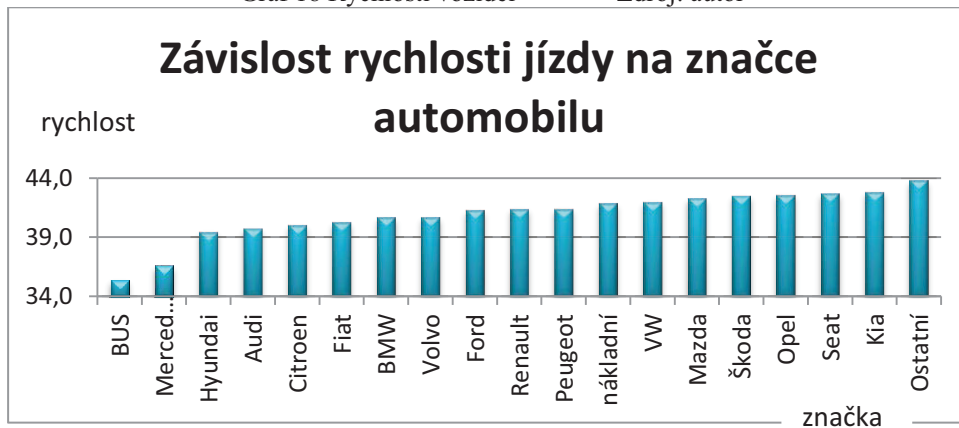
Graf 16 Pohlaví řidičů Zdroj: autor



Graf 17 Zastoupení automobilových značek Zdroj: autor



Graf 18 Rychlosti vozidel Zdroj: autor

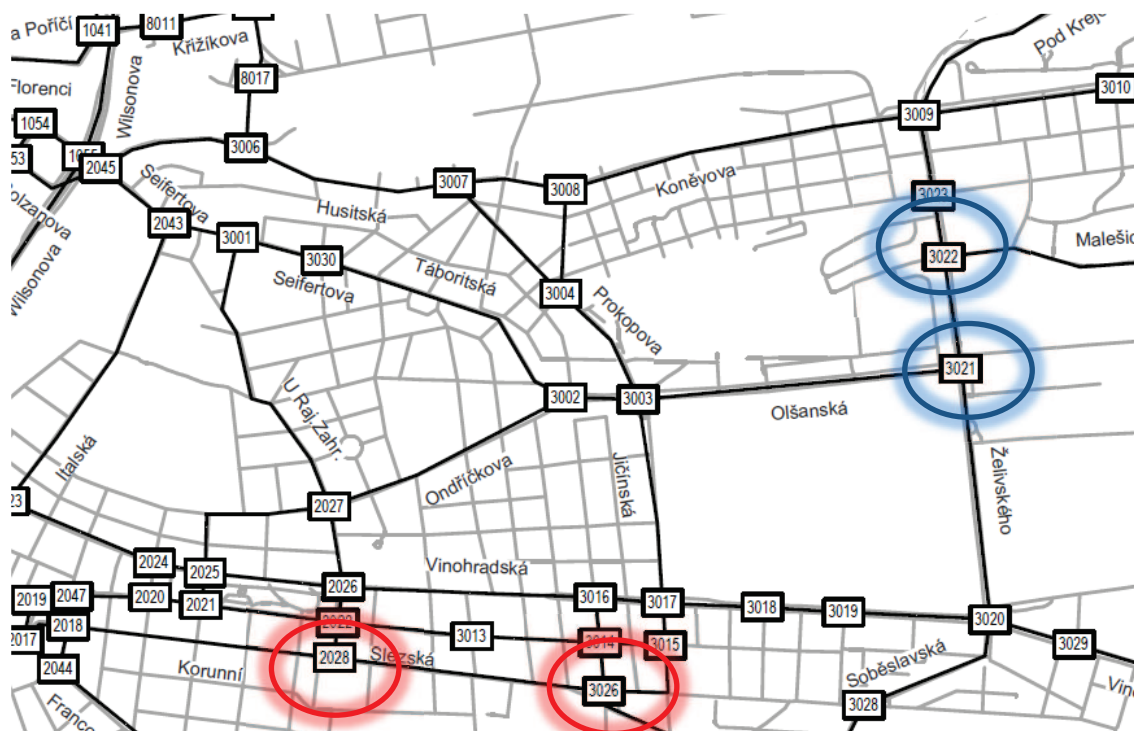


Celkem bylo změřeno 241 vozidel, kde nejčetnější zastoupení představuje Škoda s 57 vozidly, což reprezentuje stav vozového parku ČR. Zároveň se umístila na pátém místě nejrychlejších automobilů s průměrnou rychlostí 42,5 km/h. Pro simulaci použiji automobil Škoda Octavia. Po konfrontaci s centrálním registrem vozidel pro Českou republiku je Škoda nejběžnějším vozidlem.

10. VÝBĚR NEHODOVÉHO MÍSTA

Kritériem výběru daného místa byl přechod pro chodce, kterým se v této práci zabývám, a blízké nebezpečné předměty v jeho okolí. Dalším faktorem je zvýšená nehodovost s chodci.

Vybírám z oblasti Prahy 3 (Žižkov, Vinohrady). Pro tuto oblast přikládám mapu uzlů, mezi kterými se budu pohybovat. Uzly jsou pro stanovení dopravních nehod z topografických sestav Policie ČR. Mezi modrými kruhy se nachází první přechod a mezi červenými druhý přechod v Korunní ulici.



Obrázek 21 Mapa uzlů topografické sestavy

Zdroj: TSK

10.1. Jana Želivského

Prvním vybraným místem je přechod pro chodce v ulici Jana Želivského u tramvajové zastávky Nákladové nádraží Žižkov. Přechod je zkoumán v obou směrech, avšak ve směru od Ohrady směrem na křižovatku Želivského se událo více nehod. Větší nehodovost je způsobena obytnou zástavbou a spojení s tramvajovým ostrůvkem na rozdíl od druhé strany komunikace, kde je skladový areál. Konkrétní DN dokazujeme dále v textu. Vozovka je živičná.

Čísla uzlů podle topografických sestav, kde se přechod nachází jsou :

3021 Křižovatka nákladové nádraží Žižkov

3022 Basilejské náměstí

GPS poloha 50,0864; 14,47145; 50,08631; 14,47123 vymezuje plochu obdélníku, který je ve skutečnosti přechod pro chodce

Podle JDVM mapy jsou souřadnice „křovák“ : X 739357-74 ; Y 1043694-702

10.1.1. Nehodovost na přechodu Jana Želivského

Rok 2005

Za rok 2005 se staly v tomto úseku tři dopravní nehody s chodcem.

Stručná charakteristika DN: Muž při dopravní nehodě špatně odhadl vzdálenost a rychlosti přijíždějícího vozidla. Přecházel mimo přechod (20 a více metrů od přechodu) a DN se stala dne 22.1.2005. Muž utrpěl lehká poranění. Účastníkem druhé nehody byl také muž, který náhle vstoupil do vozovky z nástupního ostrůvku dne 19.5.2005. Muž utrpěl lehká poranění. Poslední nehoda se stala 30.6., kdy žena náhle vstoupila do vozovky na vyznačeném přechodu pro chodce. Žena utrpěla těžká poranění.

Vzhledem ke skutečnosti, že v roce 2005 ještě nebyly uváděny pozice nehody podle souřadnic „křovák“, nemohu přesně stanovit, kde se nehody udály. DN nemohu srovnat s JVDM mapou, protože v ní jsou záznamy až od data 1.1.2007

Rok 2006

V tomto roce se stala pouze jedna nehoda s chodcem. Muž náhle vstoupil do vozovky z nástupního nebo dělicího ostrůvku. Přecházel mimo přechod pro chodce (20 a více metrů od přechodu). DN se stala dne 13.4.2006. Muž utrpěl těžká poranění.

Rok 2007

Od roku 2007 jsou uváděny v topografických sestavách od Policie ČR souřadnice určující místo DN. V zkoumaném úseku se stali 3 DN s chodcem. Jedna se stala na sledovaném přechodu a zbylé dvě mimo přechod v místech podél tramvajové zastávky Nákladové nádraží Žižkov. Nehody se účastnilo dítě do 15 let a podle protokolu o DN se chovalo přiměřeně a přecházelo po přechodu. Dítě utrpělo lehké zranění. DN se stala v pátek 30.11.2007. Od tohoto roku mohou srovnávat údaje

z topografické sestavy s JVDM mapou, protože údaje o DN jsou v mapě od 1.1.2007 do 31.12.2010.

Rok 2008

Za rok 2008 bylo zjištěno na úseku 7 DN s chodci. Na sledovaném přechodu zjištěna jedna nehoda s chodcem a to s mužem, který byl lehce zraněn dne 16.2.2008 v sobotu. Druhá nehoda s chodcem není uvedena v topografických sestavách, ale v JVDM mapě je uvedena ke dni 13.11.2008 s těžkým zraněním. U dalších čtyř nehod není uvedeno GPS. Celkem na sledovaném přechodu 2 DN s chodci.

Rok 2009

Za rok 2009 nemám topografické sestavy a mapa JVDM neuvádí žádné DN s chodci. Od této chvíle používám pouze JDVM mapu na odhalování DN.

Rok 2010

V roce 2010 mám záznam o dvou nehodách s chodci na přechodu. První DN se stala v úterý ráno 8.6.2010, vinu nesl řidič motorového vozidla, který srazil dvě osoby. Oba chodci utrpěli lehká zranění. V době nehody byla vozovka suchá. V pondělí 15.11.2010 se stala druhá nehoda s chodcem, která podle protokolu byla zaviněna chodcem a byl mu naměřen obsah alkoholu v krvi nad jedno promile. Dopravním prostředkem při DN byla tramvaj. Povrch vozovky je betonový a v době nehody suchý. Chodec byl lehce zraněn.

Celkem na přechodu pro chodce se stalo 6 dopravních nehod s chodci a 7 lidí bylo zraněno. Žádné úmrtí. Těsně před přechodem ze směru Ohrada je mnoho DN. Předpokládám, že je to reakce na přecházející chodce. Jedná se minimálně o 8 DN. Vyznačení sledovaného místa z jednotkové vektorové mapy. Červené tečky jsou místa DN.



Obrázek 22 Výřez z mapy s nehodami Zdroj: PČR, JDVM

10.1.2. Charakteristika přechodu

Z leteckého snímku přechodu vidíme, že komunikace je čtyřpruhová a uprostřed na zvýšeném tramvajovém tělese umístěna tramvajová trať. Přechod je dlouhý 15 m a tramvajové ostůvky tvoří přirozené dělení komunikace.



Obrázek 23 Letecký snímek přechodu Zdroj: Google maps

Pro dokumentaci místa dopravní nehody využívám interaktivní mapu Google Street View. Po pravé straně je logistické a skladové centrum pro nákladní kontejnery a zároveň výjezd z areálu. V areálu je vlakové nádraží, benzínová pumpa a sklady. Z areálu vyjíždějí kromě osobních automobilů také ve velkém počtu tahače prázdné i s návěsem.

Směr od Ohrady je velice frekventovaný (směr na Vršovice, Vinohrady atd.). Přímá dvoupruhová komunikace v obou směrech svádí k rychlé jízdě, zvláště když není kongesce nebo hustá doprava. Maximální povolená rychlost na úseku je 50 km/h. [22]



Obrázek 24 Pohled na ulici Jana Želivského I

Zdroj: Google Street View

Druhá strana komunikace je obestavěna činžovními domy. Přejchod pro chodce je často využíván. Na přechod je upozorňováno pouze dopravní značkou s reflexním pozadím.



Obrázek 25 Pohled na ulici Jana Želivského II

Zdroj: Google Street View



Obrázek 26 Pohled na přechod v noci

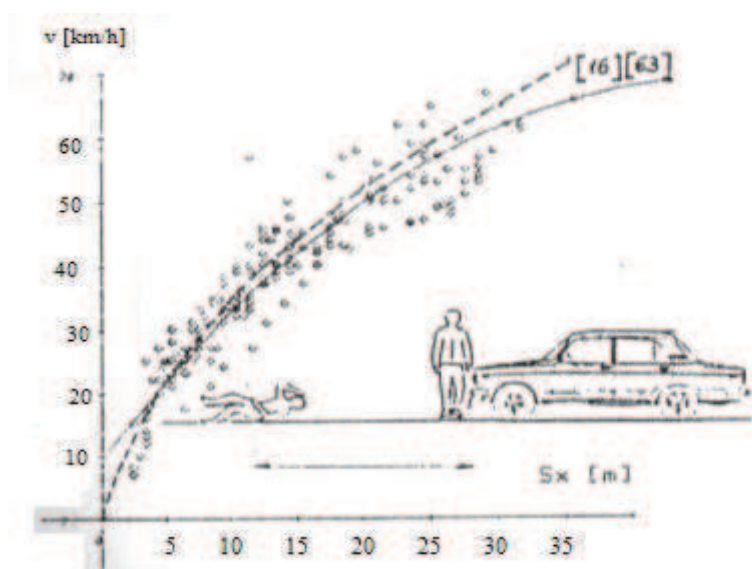
Zdroj: autor

10.1.3. Prvky nacházející se v blízkosti přechodu a povrch vozovky

Za přechodem ve směru na Želivského se překážek moc nevyskytuje. Po pravé straně tvoří překážku hrana obrubníku. Uprostřed komunikace je čtvercový kanálový poklop. Na levé straně komunikace se nachází hrany obrubníku, které tvoří tramvajovou zastávku s bezbariérovým přístupem. Zastávka je označena na ostrůvku sloupkem ve výšce 1,2 m. Dle analýzy je největší překážkou sloup veřejného osvětlení společně se sloupkem pro značku IP6 (přechod pro chodce). Tyto dvě překážky brání v rozhledu chodce, tudíž musí přistoupit velmi blízko ke komunikaci, aby se rozhlédl. Naopak pro řidiče sloup tvoří překážku, za kterou se chodec může skrýt. Přechod je v noci nepřisvícen. Povrch vozovky a chodníku je živičný. Vodorovné značení je dobře viditelné.

10.1.4. Virtual Crash - Jana Želivského

V simulačním programu Virtual Crash jsem zinscenoval srážku vozidla a chodce. Účelem této zkoušky je zjistit polohu dopadu chodce po nárazu. Tím vymezím prostor, kde předpokládám, že chodec narazí sekundárním nárazem na povrch nebo na překážku. Dopadový prostor budu nazývat dopadovou zónou. Srážku chodce s vozidlem provedu pro čtyři rychlosti. Od nejmenší rychlosti $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a následovně přidávám po deseti kilometrech za hodinu až do rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. U padesáti kilometrové rychlosti skončím, protože se jedná o místní komunikace do typu B (sběrné a nižší). Pro každou rychlost bude dopadová zóna jiná. Graf od prof. Alberta Bradáče ukazuje vzdálenost konečné polohy chodce po nárazu v závislosti na rychlosti OA.



Obrázek 27 Dopadová zóna podle prof. Alberta Bradáče

Zdroj: [25]

Porovnáním vozového parku ČR přes centrální registr vozidel vedený na Ministerstvu Vnitra ČR a naším měřením v Děčíně jsem zjistil, že nejčastěji vlastněné vozidlo v ČR je Škoda. Pro simulaci jsem tedy použil vozidlo Škoda Octavia. Místem pro simulaci bude přechod pro chodce, který jsem zkoumal a určil nebezpečné překážky. Jedná se o přechod v ulici Jana Želivského. Simulaci střetu simulují frontolaterální (chodec je sražen z boku).

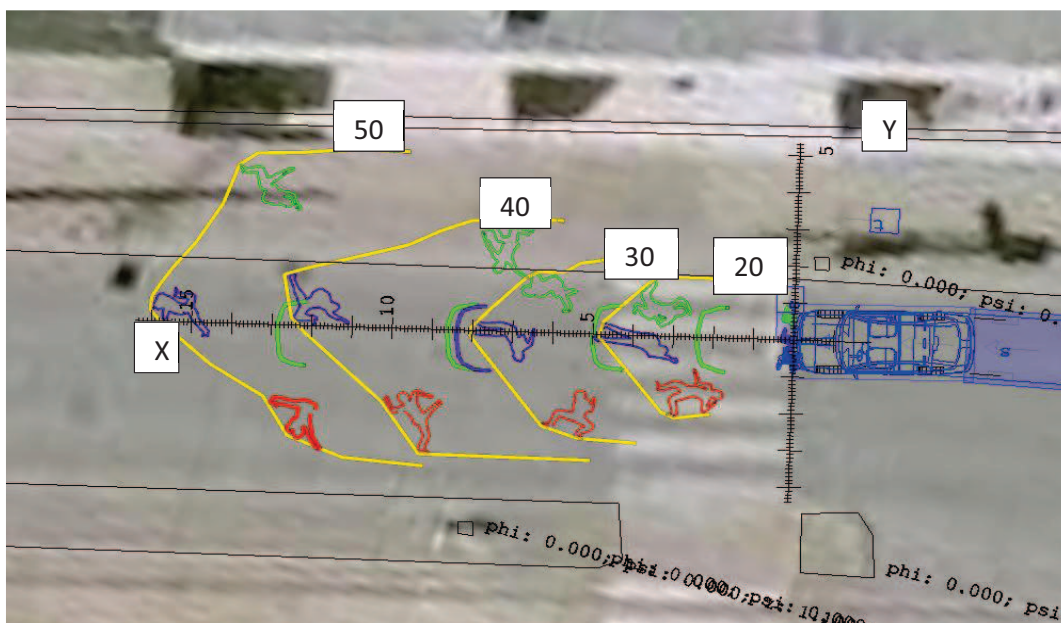
Vozidlo se při srážce stáčí nepatrně vlevo, což naznačuje reakci řidiče, který se snaží chodci vyhnout a zároveň brzdí. Po nárazu v simulaci má vozidlo maximální zpomalení ($-7,65 \text{ m/s}^2$). Tabulka uvádí konečnou pozici chodce v ose X (ve směru jízdy automobilu). Bereme vzdálenost dopadu chodce, která je nejdále od vozidla. Osa X začíná na masce vozidla. Osa Y vymezuje šířkové rozpětí konečné pozice chodce od středu automobilu. Plochy dopadových zón byly počítány polovinou obdélníku tvořeného konečnými polohami chodců. Pro větší přesnost obsahu ploch je možné použít program AutoCad, ale pro naše účely postačí tyto výsledky.

Tabulka 29 Odhození chodce po srážce v ose X, Jana Želivského

Zdroj: autor

Rychlost km.h ⁻¹	Levé světlo [m]	Střed [m]	Pravé světlo [m]	Brzdná vzdálenost [m]	Plocha dopadové zóny [m ²]
20	2,5	4,9	3,5	2,4	9,8
30	5,5	8,1	6,2	5,0	20,3
40	9,5	12,8	7,5	8,5	42,2
50	12,5	16,1	13,5	12,8	69,2

Pohled na všechny dopadové zóny v jednom obrázku ve směru od Ohrady na Želivského. Simulace ukazuje ilustrativní situaci sražení chodce. Vozy s podobnou karosérií jako Škoda Octavia mohou zapříčinit podobné nehody.



Obrázek 28 Simulace Virtual Crash ulice Jana Želivského

Zdroj: autor

Tabulka označuje místo dopadu chodce (doprava nebo doleva od středu automobilu). Jedná se o osu Y.

Tabulka 30 Odhození chodce v ose Y, Jana Želivského

Zdroj: autor

Rychlost	Levý roh	Střed	Pravý roh
km/h	[m]	[m]	[m]
20	-2,3	-0,2	1,7
30	-3,0	-0,2	2,0
40	-3,4	0,7	3,2
50	-3,7	0,3	4,9

V následující tabulce je uveden první kontakt při dopadu chodce s povrchem po DN.

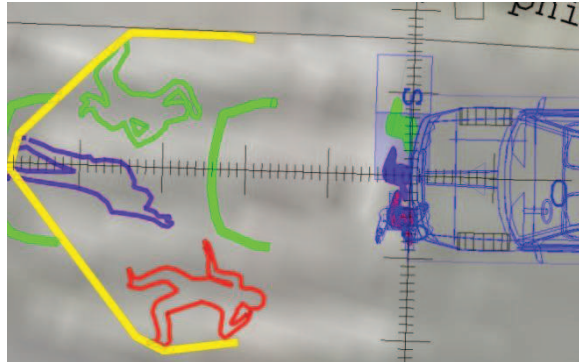
Tabulka 31 Dopad chodce na komunikaci, Jana Želivského

Zdroj: autor

Rychlost [km/h]	Levý roh	Střed vozidla	Pravý roh
20	Hlava , pravá noha	Levá noha, pravá ruka	Levá noha, levá ruka
30	Pravá ruka, hlava	Levé koleno, levá ruka	Hlava , levá ruka
40	Pravá ruka, hlava	Levá noha, pravá noha	Hlava , levá ruka
50	Pánev, hrudník	Hrudník, hlava	Pravá, levá noha

Chodec dopadl na hlavu nejčastěji při rychlosti 30 a 40 km.h⁻¹.

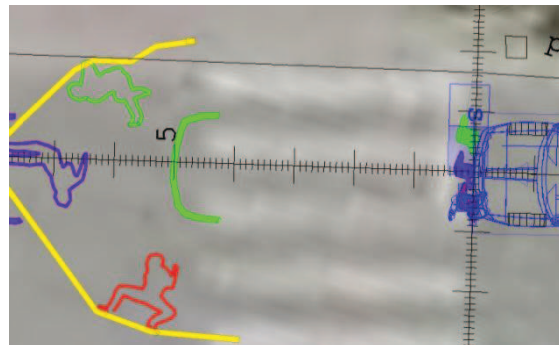
Pro rychlost $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ může být chodec odhozen v okruhu 2 m od středu vozidla a 4,9 m do dálky. Rozdíl dopadu chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 2,5 m. Celková plocha dopadové zóny je $9,8 \text{ m}^2$. Plocha má střechovitý tvar.



Obrázek 29 Dopad chodce při $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Zdroj: autor

Pro rychlost $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ může být chodec odhozen v okruhu 2,5 m od středu vozidla a 8,1 m do dálky. Rozdíl dopadu chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 3,1 m. Celková plocha dopadové zóny je $20,3 \text{ m}^2$. Plocha má střechovitý tvar.



Obrázek 30 Dopad chodce při $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

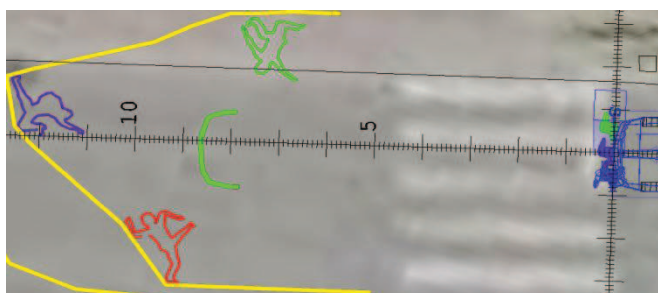
Zdroj: autor

Pro rychlost $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ může být chodec odhozen v okruhu 3,3 m od středu vozidla a 12,8 m do dálky. Rozdíl dopadu chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 4,3 m. Celková plocha dopadové zóny je $42,2 \text{ m}^2$. Plocha má střechovitý tvar. Při této rychlosti člověk dopadá na hranu obrubníku a konečná pozice je na chodníku. V opačném případě, kdy je sražen levým rohem karosérie vozidla, je odhozen do vedlejšího stejnosměrného pruhu.



Obrázek 31 Dopad chodce na hranu obrubníku při 40 km.h⁻¹

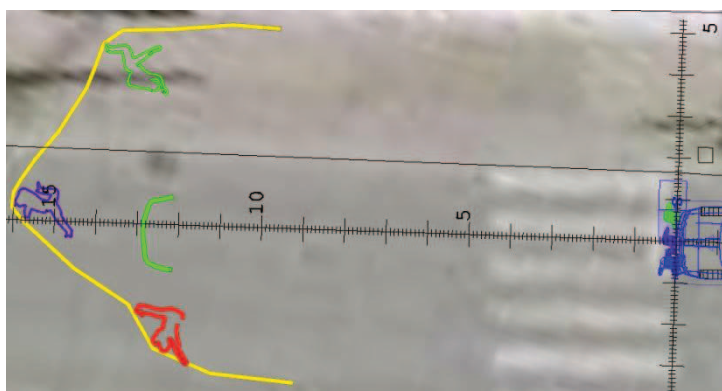
Zdroj: autor



Obrázek 32 Dopad chodce při 40 km.h⁻¹

Zdroj: autor

Pro rychlost 50 km.h⁻¹ může být chodec odhozen v okruhu 4,3 m od středu vozidla a 16,1m do dálky. Rozdíl dopadu chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 3,3 m. Celková plocha dopadové zóny je 69,2 m². Plocha má střechovitý tvar. Rozdíl plochy od čtyřiceti kilometrové rychlosti je 26,99 m². Plocha dopadové zóny se s rostoucí rychlostí zvětšuje přibližně o 20 m².



Obrázek 33 Dopad chodce při 50 km.h⁻¹

Zdroj: autor



Obrázek 34 Ukázka ze simulace nárazu na levý roh vozidla při 50 km.h⁻¹

Zdroj: autor

10.2. Korunní ulice

Ulice se nachází mezi náměstím Míru a Florou. Dopravní uspořádání je obousměrné s tramvajovou tratí v úrovni vozovky, která je taktéž pojížděná vozidly. Tramvajové koleje jsou uloženy v betonových blocích BKV. V ostatních místech vozovky je živичný asfalt. Přečhod je umístěn v husté obytné zástavbě.

Číslo uzlů pro topografickou sestavu, kde se přečhod nachází:

2028 Vinohradská vodárna

3026 Křižovatka Korunní x Boleslavská

Poloha GPS je 50,07621x14,45517 a 50,07609x14,45533 tvořící půdorys přečhodu. Poloha přečhodu podle „křováka“ z JDVM mapy je : X 740665-55 ; Y 1044659-73 [19]

10.2.1. Nehodovost na přečhodu v Korunní ulici

Rok 2005, 2006

Za rok 2005, 2006 se nestala v tomto úseku žádná dopravní nehoda s chodcem a i kdyby se stala, nelze určit, zda se stala na zkoumaném přečhodu z důvodu neudání polohy GPS.

Rok 2007, 2008

V roce 2007 se stala na úseku jedna DN s chodcem. Na vyznačeném přečhodu nedalo vozidlo přednost chodci. Žena utrpěla těžká zranění. K nehodě došlo 29. března 2007 v 13:33.

V roce 2008 nebyla žádná DN s chodcem.

Rok 2009

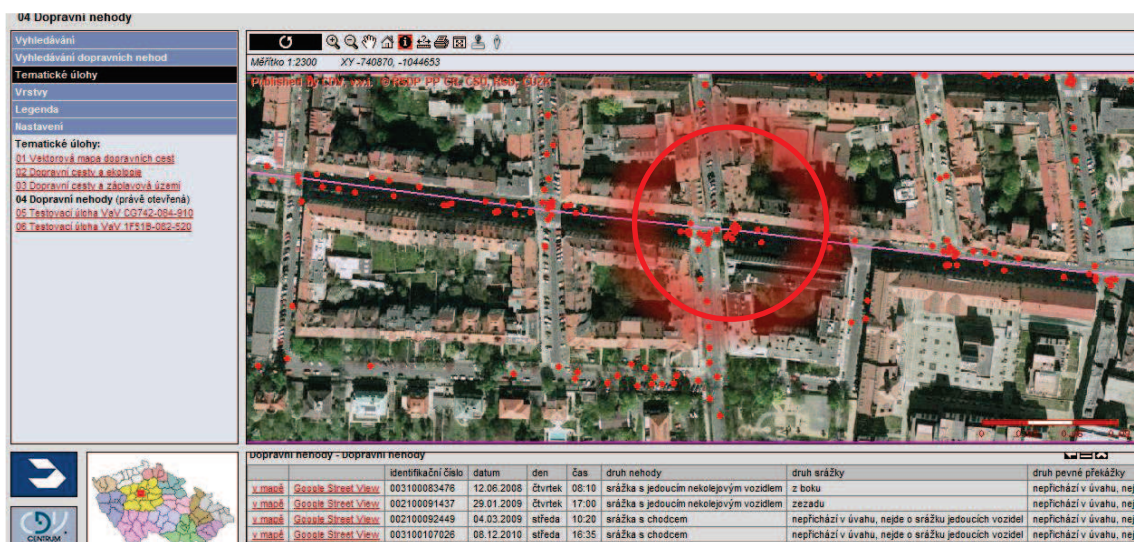
Mám k dispozici topografické sestavy pouze do roku 2008. Pro rok 2009 a dále používám pouze JDVM mapu. Z mapových podkladů jsem zjistil, že na zkoumaném přechodu se staly dvě nehody s chodci. První ve středu 4.3.2009 způsobená řidičem motorového vozidla na kolejovém tělese tramvaje vyplněný živíci při suchém povrchu (stav před rekonstrukcí tramvajové trati, po rekonstrukci koncem roku 2009 BKV panely). Chodec byl zraněn pouze lehce. Druhá nehoda s chodcem se stala na přechodu dne 8.12.2010 (středa) v noci za deště. Chodec byl těžce zraněn.

Celkem za posledních pět let se udály 3 dopravní nehody s chodcem. Odehrály se ve směru na náměstí Míru. Žádné úmrtí na přechodu.

10.2.2. Charakteristika přechodu

Přechod je u nástupního tramvajového ostrůvku směrem na Floru. Při jedné straně je oranžová parkovací zóna pro Prahu 3. Na stejné straně je před přechodem umístěn city blok vysazený do komunikace, aby zabránil parkování v těsné blízkosti přechodu a zvýšil rozhledové poměry chodce a řidiče.

Na obrázku je výřez přechodu z jednotkové vektorové mapy, který budu sledovat. V červeném kruhu se nachází dotýčný přechod. Po stranách mapy je uživatelské rozhraní pro ovládání JDVM s výčtem DN v daném místě.



04 Dopravní nehody

Vyhledávání
Vyhledávání dopravních nehod
Tematické úlohy
Vrstvy
Legenda
Nastavení

Tematické úlohy:
01 Vektorová mapa dopravních cest
02 Dopravní cestv. a autobusy
03 Dopravní cestv. a zálohová území
04 Dopravní nehody (práve otevřená)
05 Testovací úloha Vav/03742-034-910
06 Testovací úloha Vav/11318-032-520

Měřítko 1:2300 XY -740870, -1044653
Průběh přechodu: vzb. s Vozem PP č. 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

	identifikační číslo	datum	den	čas	druh nehody	druh srážky	druh pevné překážky	
v mapě	Google Street View	003100023476	12.06.2008	čtvrtek	08:10	srážka s jedoucím nekojegovým vozidlem	z boku	nepřichází v úvahu, nej
v mapě	Google Street View	002100091437	29.01.2009	čtvrtek	17:00	srážka s jedoucím nekojegovým vozidlem	ze zadu	nepřichází v úvahu, nej
v mapě	Google Street View	002100092449	04.03.2009	středa	10:20	srážka s chodcem	nepřichází v úvahu, nejde o srážku jedoucích vozidel	nepřichází v úvahu, nej
v mapě	Google Street View	003100107026	08.12.2010	středa	16:35	srážka s chodcem	nepřichází v úvahu, nejde o srážku jedoucích vozidel	nepřichází v úvahu, nej

Obrázek 35 Výřez z JDVM i s uživatelským rozhraním

Zdroj: PČR

Pohled shora na sledovanou oblast přechodu. Je zde vidět připojení spodní ulice Chorvatské vedoucí z Vršovic (dlážděná ulice). Ulice je přivedena na Korunní ve stoupání ze směru od Vršovic.



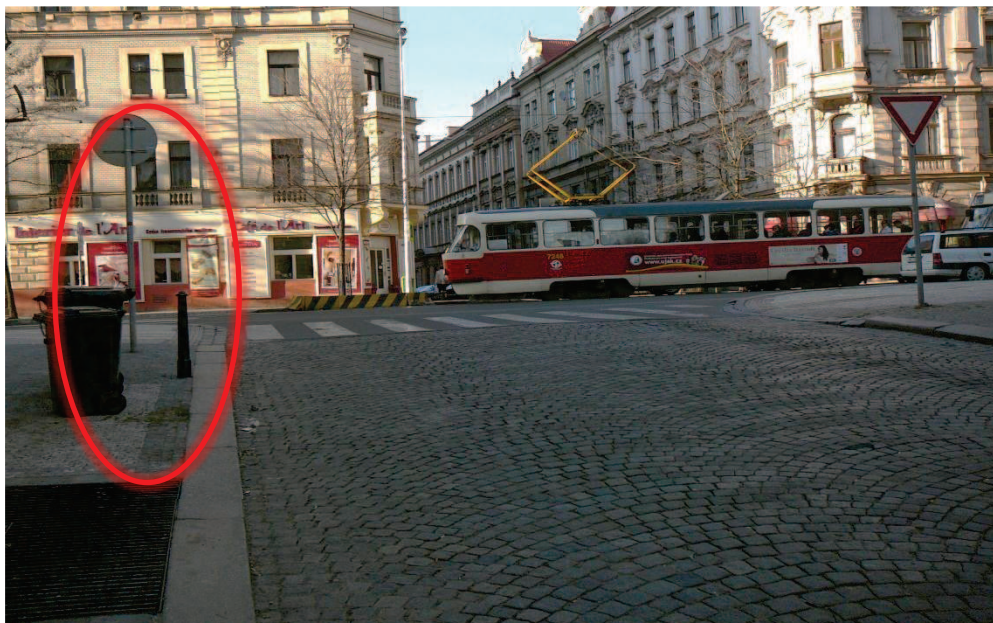
Obrázek 36 Letecký snímek Korunní Zdroj: Zlaté stránky mapy

Větší dopravní zatížení je ve směru od náměstí Míru (na obrázku ve směru tramvajového ostrůvku vpravo). Přechod je zabezpečen z každé strany značkou IP4 s reflexním ohraničením. Značky trochu ztrácí na viditelnosti přes zeleň (stromy) v závislosti na ročním období. Ve směru od Flory je u přechodu umístěn city blok. Přechod je dělen pomocí nástupního tramvajového ostrůvku.



Obrázek 37 Pohled na ulici Korunní I Zdroj: autor

Pohled z ulice Chorvatská. Vozidla přijíždějící na Korunní musí dát přednost, rozjezd vozidel je do stoupání.



Obrázek 38 Pohled na ulici Korunní z Chorvatské ulice II Zdroj: autor

10.2.3. Prvky nacházející se v blízkosti přechodu a povrch vozovky

Překážky tvoří zaparkovaná vozidla podél jedné strany komunikace, city blok, stromy, sloupky značek, informační sloupek pro tramvaj. Okolo stromů je rozmístěno kamenivo o střední velikosti. Kamení zabírá plochu 2,0 m x 1,5 m. Povrch přechodu je z části betonový (panely BKV) a živičný. Chodníky jsou vytvořeny z mozaikových kostek s varovným signalizačním pásem pro nevidomé a sníženým bezbariérovým nájezdem zhotovený z velkých kostek. Překážky na komunikaci jsou spáry mezi BKV panely a kanálové poklopy, které jsou v úrovni komunikace.

V Chorvatské ulici se občas vyskytují u komunikace popelnice a je zde umístěn sloupek proti parkování (viz obrázek č. 38.).

10.2.4. Virtual Crash Korunní

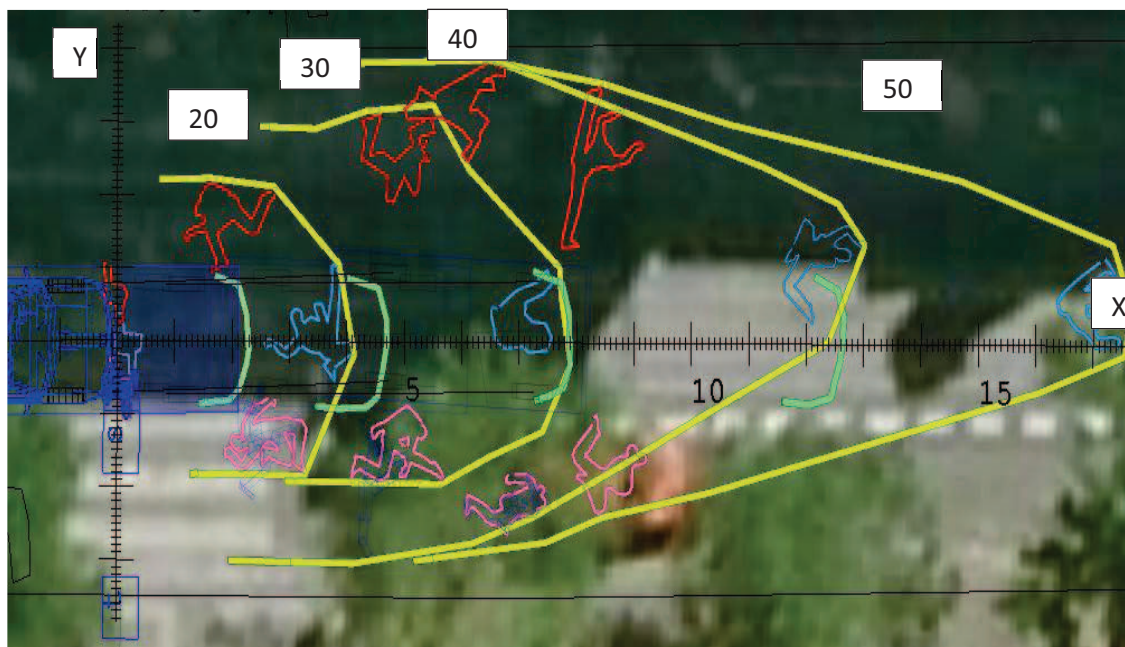
Vozidlo se při srážce stáčí nepatrně vlevo, což naznačuje reakci řidiče, který se snaží chodci vyhnout a zároveň brzdí. Střet se odehrává ve směru na náměstí Míru. Vozidlo po nárazu do chodce brzdí zpomalením $-7,65 \text{ m/s}^2$. Tabulka 18 uvádí konečnou polohu chodce po srážce s vozidlem v ose X (ve směru jízdy automobilu). Počátek

souřadného systému je na středu masky vozidla. Osa Y vymezuje šířkové rozpětí konečné pozice chodce od středu automobilu. Vozidlo je vzdáleno v ose Y od bližšího kraje vozovky do středu vozidla 3,5 m z důvodu parkovacího stání. Plochy dopadových zón byly počítány polovinou obdélníku tvořeného konečnými polohami chodců. Pro větší přesnost obsahu ploch je možné použít program AutoCad, ale pro naše účely postačí tyto výsledky.

Tabulka 32 Odhození chodce po srážce v ose X, Korunní Zdroj: autor

Rychlost km.h ⁻¹	Levý roh [m]	Střed [m]	Pravý roh [m]	Brzdná vzdálenost [m]	Plocha dopadové zóny [m ²]
20	2,0	4,1	1,9	2,2	8,4
30	5,0	7,8	5,0	4,6	19,5
40	6,2	12,8	7,0	8,1	44,2
50	8,5	17,6	8,5	12,4	57,2

Na obrázku vidíme všechny dopadové zóny. Červená poloha chodce značí náraz na levý roh karosérie vozidla. Růžové polohy náraz na pravý roh a modrá na střed masky. Simulace ukazuje ilustrativní situaci sražení chodce. Vozy s podobnou karosérií jako Škoda Octavia mohou zapříčinit podobné nehody.



Obrázek 39 Simulace Virtual Crash, Korunní ulice

Zdroj: autor

Polohu chodce v ose Y (příčný směr k vozovce) určuje tabulka 19. Největší rozpětí dopadu chodce je při rychlosti 40 km.h⁻¹.

Tabulka 33 Odhození chodce po srážce v ose Y, Korunní

Zdroj: autor

Rychlost [km/h]	Levý roh [m]	Střed [m]	Pravý roh [m]
20	-2,2	-0,2	1,9
30	-3,0	-0,2	2,0
40	-3,9	0,7	3,0
50	-4,0	0,3	2,5

V následující tabulce uvedu první kontakt při dopadu chodce s povrchem po DN.

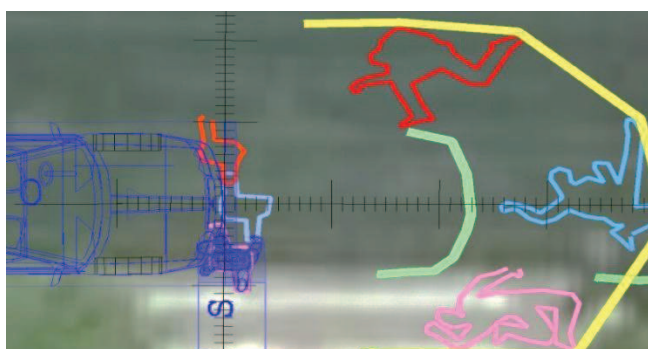
Tabulka 34 Dopad chodce na komunikaci, Korunní ulice

Zdroj: autor

Rychlost [km/h]	Levý roh	Střed vozidla	Pravý roh
20	Pravá noha, levá ruka	Pravá a levá noha	Levá noha, pánev
30	Levá noha, hlava	Levé koleno, pravá noha	Pravá noha, pravá ruka
40	Pravá noha, hlava	Levá ruka, hlava	Levá ruka, hlava
50	Pravá ruka, levá noha	Záda, hlava	Pravá noha, pravá ruka

Chodec dopadl na hlavu nejčastěji při rychlosti 40 km.h⁻¹.

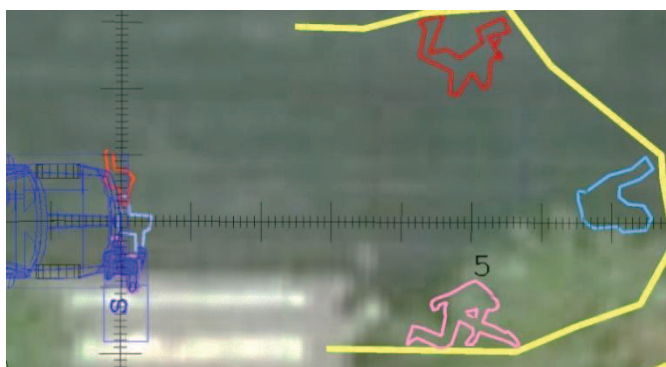
Pro rychlost 20 km.h⁻¹ může být chodec odhozen v okruhu 2,05 m od středu vozidla a 4,1 m do dálky. Rozdíl dopadu chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 1,9 m. Celková plocha dopadové zóny je 8,4 m². Plocha má střešovitý tvar. Škoda Octavia je široká 1,73 m a odsazení od kraje obrubníku je 2,64 m. Vzdálenost je zachována pro možnost parkování podél komunikace. Při zachování vzdálenosti parkování od přechodu pět metrů, konečná poloha chodce nebude ovlivněna zaparkovaným vozidlem.



Obrázek 40 Dopad chodce při 20 km.h⁻¹

Zdroj: autor

Pro rychlost 30 km.h^{-1} může být chodec odhozen v okruhu 2,5 m od středu vozidla a 7,8 m do dálky. Rozdíl konečné polohy chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 3,2 m. Celková plocha dopadové zóny je $19,5 \text{ m}^2$. Plocha má střechovitý tvar. Překážka typu zaparkovaného vozidla podél komunikace nebude ovlivňovat dopad ani konečnou polohu chodce.



Obrázek 41 Dopad chodce při 30 km.h^{-1}

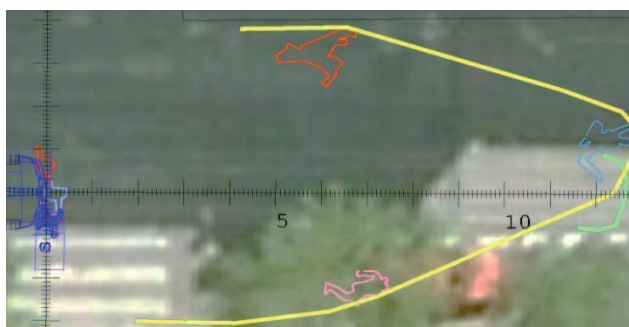
Zdroj: autor

Pro rychlost 40 km.h^{-1} může být chodec odhozen v okruhu 3,45 m od středu vozidla a 12,8 m do dálky. Rozdíl dopadu chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 4,7 m. Celková plocha dopadové zóny je $44,2 \text{ m}^2$. Plocha má střechovitý tvar. Při této rychlosti již zaparkované vozidlo může sloužit jako překážka a způsobit vážná zranění.



Obrázek 42 Kontakt chodce se zaparkovaným vozidlem

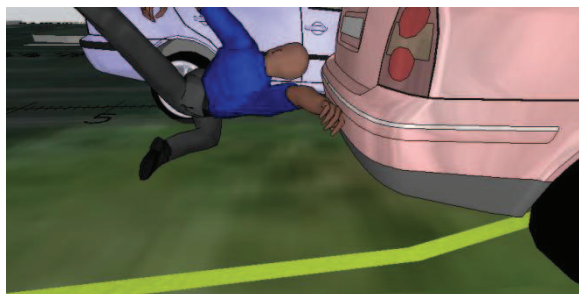
Zdroj: autor



Obrázek 43 Dopad chodce při 40 km.h^{-1}

Zdroj: autor

Pro rychlost 50 km.h^{-1} může být chodec odhozen v okruhu 3,25 m od středu vozidla a 17,6 m do dálky. Rozdíl konečné polohy chodce v ose X a konečné polohy vozidla je 5,2 m. Celková plocha dopadové zóny je $57,2 \text{ m}^2$. Plocha má střechovitý tvar. Konečná poloha chodce je zkrácena o 1,5 m kvůli zaparkovanému vozidlu. Jak ukazuje simulace, chodec se dostává do kontaktu hlavou s nárazníkem vozidla. Vozidlo jsme zvolili VW Passat.



Obrázek 44 Kontakt padajícího chodce na zaparkované vozidlo

Zdroj: autor



Obrázek 45 Dopad chodce při 50 km.h^{-1}

Zdroj: autor

10.3. Shrnutí kapitoly Virtual Crash

Na základě provedených simulací byly určeny dopadové zóny. Doporučuji odstranit překážky, které jsou umístěny v těchto zónách. Dále doporučuji při návrhu nového dopravního prostoru neumísťovat do těchto dopadových ploch nebezpečné překážky (viz kapitola 7.), které mohou zhoršit průběh nehodové situace. Popřípadě vyhláškou zakázat umístování mobilních překážek (např. kontejnerů na odpad, reklamních poutačů) do těchto dopadových zón.

11. ZÁVĚR

Z policejních statistik vyplývá, že dopravních nehod s chodci je stále velké množství a jsou společensky velice závažné. V Praze od roku 2003 do 2009 zemřelo 79 chodců (průměrně 11 chodců na rok). Faktem je, že počet usmrcených chodců se každým rokem snižuje (v roce 2009 pět úmrtí). Tato skutečnost je způsobena větší ohleduplností řidičů, chodců a neustále se zvyšujícím počtem bezpečnostních prvků na silnicích a přechodech.

Chodec je nejčastěji sražen z boku, kdy přechází komunikaci kolmo. Jedná se o sedmdesát procent srážek především v městské zástavbě. Z četných výzkumů vyplývá, že nejčtenější a dá se říci i nejzávažnější poranění chodců je poranění hlavy. Krvácení do mozkových obalů se stává u dopravních nehod více než z 80% a následkem tohoto poranění umírá okolo 30 % chodců. Následek nehody, na který se umírá ještě častěji, je polytrauma (ze čtyřiceti procent). Jedná se o poranění minimálně dvou důležitých orgánů. Z celkového zkoumaného množství usmrcených chodců (431 chodců) zemřela polovina chodců na místě nebo při převozu do nemocnice. Vezmeme-li v úvahu, že v šesti letech do roku 2009 zemřelo v Praze 79 chodců, odpovídala by skutečnost 40 chodcům usmrcených ihned na místě. Za šest let v celé ČR bylo v obcích celkem usmrceno 794 chodců z toho 397 by zemřelo přímo na místě dopravní nehody.

V praktické části jsem vybral místa s častými nehodami s chodci a analyzoval prostor podle použitých povrchů a překážek. Nejčastěji vyskytující povrchy v městské zástavbě jsou především: asfaltový povrch, chodníková dlažba z drobných kostek (mozaika), zámková dlažba, travnatý povrch, betonový povrch z panelů BKV a povrch obrubníku. Tyto vyjmenované povrchy jsem testoval pomocí figuríny P6 (dětského chodce), která dopadla na povrch (ideální první kontakt hlavou). Protože se jedná o zrychlení hlavy po velmi krátkou dobu, je vhodnější zvolit kritérium HPC_{15} nebo pomocné a_{max} určující maximální hodnotu zrychlení. Po porovnání povrchů vyšel jako nejpříznivější asfaltový povrch a nejhorší zámková dlažba při experimentu s figurínou. Protože jsem nemohl zaručit, aby figurína dopadala stále stejně (prvně hlavou na povrch), pokračoval jsem v testování s impaktorem hlavy. Pro impaktor vyšel nejlépe travnatý povrch a nejhůř asfaltový a obrubníkový povrch s překročení limitní hodnoty 1000. Zranění záleží na mnoha aspektech, které nejsou v ideálním měření zahrnuty.

Druhou částí testu jsem zkoumal překážky, které jsou na zkoumaných nehodových místech nejčastěji: tramvajové koleje, spáry mezi BKV panely, hrany obrubníku a city bloky. Překážky se špatně porovnávají mezi sebou, avšak jako

nejpříznivější podle figuríny nám vyšel city blok, nejhůře hrana obrubníku. Pro porovnání hodnot jsem provedl test s impaktorem hlavy. Podle testu s impaktorem nejlepších hodnot dosáhl city blok, naopak nejhůře tramvajová kolej. Podmínky testování city bloku byly upraveny. Protože se překážka nacházela ve výšce 0,75 m, pouštěl jsem impaktor na plochu city bloku z výšky 0,42 m – jako přepad figuríny.

Po určení hodnot kritérií poranění jsem pomocí programu Virtual Crash určil plochu, do které chodec dopadne při dopravní nehodě. Tuto plochu nazývám dopadovou zónou a vymezil jsem ji pro rychlosti 20, 30, 40, 50 km.h⁻¹. Při rychlosti 40 a 50 km.h⁻¹ se chodec dostává mimo vozovku při střetu s pravým rohem karosérie vozidla, popřípadě levým rohem do protějšího pruhu.

Závěr této práce má doporučující charakter pro projektanty, kteří by měli při svých návrzích zohlednit dopadovou zónu chodce v okolí přechodů. Do této zóny není žádoucí vkládat takové povrchy či překážky, které mohou chodci způsobit ještě větší zranění než při samotném dopadu na komunikaci. Jako pokračování této práce by se mohlo rozvíjet téma bezpečnosti prvků, které se nachází podél komunikace jako například zmírňující pryžové prvky u tramvajové koleje či hrany obrubníku. Další prostor pro rozvoj tématu spatřuji ve formulaci typologických vlastností povrchu, který by se mohl umísťovat za přechod a tlumit tak případný sekundární náraz (např. kombinace pryže a litého jemného asfaltu).

12. SEZNAM LITERATURY

- [1] Policie ČR [online]. Statistika. Dostupný z: <http://www.policie.cz/>
- [2] Autoklub ČR [online]: Statistika nehodovosti na pozemních komunikacích ČR. Dostupný z: <http://www.autoklub.cz/>
- [3] VOJTÍŠEK, T.: Úmrtí chodců po dopravních nehodách se střetem s osobními automobily ; Ústav soudního lékařství v Brně
- [4] ÚZIS ČR: Zdravotnická ročenka Hlavního města Prahy 2007. Praha. 2008. 11 s. ISBN: 97-880-7280-777-2
- [5] ELIŠKOVÁ, M. NAŇKA, O. Přehledová anatomie. Praha: Karolinum, 2006. 309 s. ISBN 80-246-1216-X.
- [6] Patobiomechanika a Patokinesiologie Kompendium [online]; Dostupné z internetu: <http://biomech.ftvs.cuni.cz>
- [7] MIDGLEY, R. et al.: Rodinná encyklopedie zdraví, nakl. Gemini, spol. s.r.o., Praha, 1993, (z anglického originálu)
- [8] KŘEN, J., ROSENBERG, P., JANÍČEK, P.: Biomechanika. Plzeň. 2001. ISBN 80-7082-792-0
- [9] KOPECKÝ, Z., PAVLÍČEK, K.: Dopravně bezpečnostní činnost. 1.vyd. Praha. 2006. Počet stran 351. ISBN 80-864-7732-0
- [10] PORADA, V. a KOL: Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha. 2000. Počet stran 378. ISBN 80-720-1212-6
- [11] KOVANDA, J., ŠATOCHIN, V.: Pasivní bezpečnost vozidel. Skripta ČVUT 2000
- [12] VLK, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel / Brno 2001
- [13] Směrnice evropského parlamentu a rady 2005/66/es
- [14] Série dynamických zkoušek střetu osobního automobilu s dětským chodcem závěrečná zpráva 2010 – ČVUT v Praze Fakulta dopravní
- [15] Kolize automobil – chodec V. ČVUT VYZ616.006/08 -2008
- [16] KAUN M., LUXEMBURK F.: Pozemní komunikace 30. 1. Vydání. Praha ČVUT 1998, 243s.
- [17] KLOBOUČEK. B, a KOL: Živičné vozovky: Navrhování, stavba údržba a rekonstrukce. Praha. 1988
- [18] Zámková dlažba [online]. Dostupný z : <http://dlazba.maxer.cz/tech.php>
- [19] Policie ČR [online]. Vektorová mapa. Dostupná z: <http://www.jdvm.cz/pcr/>

- [20] BRADÁČ, A. a KOL.: Soudní inženýrství. Brno. 1997. ISBN 80-7204-057-X
- [21] ŠACHL. J, ŠACHL. J (ml), SCHMIDT. D, MIČUNEK T., FRYDRÝN M.:
Analýza nehod v silničním provozu. Praha. 2008
- [22] BRADÁČ, A. a KOL.: Znalecký standard č. III – Technická analýza střetu
vozidla s chodcem. 1991
- [23] HOŘÍN, J.: Konfliktní situace dětí v silničním provozu. Praha. 1992. Počet stran
- [24] KOČÁRKOVÁ, D., SLABÝ, P., KOCOUREK, J., JACURA, M.: Základy
dopravního inženýrství. 1.vyd. Praha. 2004. Počet stran 142. ISBN 80-010-3022
- [25] BRADÁČ, A., VÉMOLA, A.: Úvod do řešení dopravních nehod s chodci.
Přednáška pro seminář „Trestná činnost v dopravě“. Justiční akademie říjen
2007. Ústav soudního inženýrství v Brně VUT v Brně
- [26] MACHART, S.: Poranění lebky a mozku [online]. 4/2007. Dostupné z:
<http://www.ordinace.cz/clanek/poraneni-lebky-a-mozku/>
- [27] Poranění hlavy [online]. Dostupné z:
<http://www.biology.estranky.cz/clanky/nemoci-a-choroby/poraneni-hlavy.html>
- [28] Poranění hrudníku [online]. Dostupné z:
<http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=5495>
- [29] MACHART, S.: První pomoc při zlomeninách na dolní končetině [online]
4/2007. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/prvni-pomoc-pri-zlomeninach-na-dolni-koncetine/>

13. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Zrychlení na figuríně (osa y jednotky přetížení g)	10
Graf 2 Průběh zatížení femuru (osa x [s], osa y [N])	26
Graf 3 Dopad figuríny na asfaltový povrch	34
Graf 4 Dopad figuríny na chodníkovou dlažbu	35
Graf 5 Dopad figuríny na zámkovou dlažbu	36
Graf 6 Dopad figuríny na travnatý povrch	37
Graf 7 Dopad figuríny na BKV panel	38
Graf 8 Dopad figuríny na tramvajovou kolej	40
Graf 9 Dopad figuríny na spáru mezi BKV panely	41
Graf 10 Dopad figuríny na hranu obrubníku	42
Graf 11 Dopad figuríny na city blok	43
Graf 12 Zrychlení impaktoru hlavy na různých površích	45
Graf 13 Zrychlení impaktoru hlavy na různých překážkách	46
Graf 14 Zrychlení impaktoru hlavy s nasazenou čepicí, bez čepice na asfaltovém a travnatém povrchu	47
Graf 15 Složení sledované dopravy	48
Graf 16 Pohlaví řidičů	49
Graf 17 Zastoupení automobilových značek	49
Graf 18 Rychlosti vozidel	49

14. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Nehody s chodci celkem v ČR	11
Tabulka 2 Nehody s chodci na přechodech v ČR	11
Tabulka 3 Nehody s chodci v Praze	12
Tabulka 4 Kategorie chodců při DN v Praze	12
Tabulka 5 Typy střetu chodce s OA	13
Tabulka 6 Četnost poranění v závislosti s typem střetu	14
Tabulka 7 Příčina smrti	15
Tabulka 8 četnost jednotlivých poranění	15
Tabulka 9 Typy svalstva	18
Tabulka 10 Stupeň poranění	23
Tabulka 11 Hodnoty HPC působící na hlavu figuríny	24
Tabulka 12 Velikost zrychlení hlavy po dobu 3ms	24
Tabulka 13 Velikost zrychlení hrudníku po dobu 3ms	25
Tabulka 14 maximální zrychlení pánve	26
Tabulka 15 Maximální zrychlení kolena	27
Tabulka 16 Hodnoty kritérií u asfaltového povrchu	34
Tabulka 17 Hodnoty kritérií u chodníkové dlažby	35
Tabulka 18 Hodnoty kritérií u zámkové dlažby	36
Tabulka 19 Hodnoty kritérií u travnatého povrchu	37
Tabulka 20 Hodnoty kritérií u BKV panelu	38
Tabulka 21 Hodnoty kritérií hlavy pro všechny povrchy	39
Tabulka 22 Hodnoty kritérií u tramvajové koleje	40
Tabulka 23 Hodnoty kritérií u spáry mezi BKV panely	41
Tabulka 24 Hodnoty kritérií u hrany obrubníku	42

Tabulka 25	Hodnoty kritérií u city bloku	43
Tabulka 26	Hodnoty kritérií hlavy pro všechny překážky	44
Tabulka 27	Hodnoty kritérií impaktoru hlavy pro všechny povrchy	46
Tabulka 28	Hodnoty kritérií impaktoru hlavy pro všechny překážky	47
Tabulka 29	Odhození chodce po srážce v ose Y, Jana Želivského	56
Tabulka 30	Odhození chodce v ose X, Jana Želivského	57
Tabulka 31	Dopad chodce na komunikaci, Jana Želivského	57
Tabulka 32	Odhození chodce po srážce v ose X, Korunní	64
Tabulka 33	Odhození chodce po srážce v ose Y, Korunní	65
Tabulka 34	Dopad chodce na komunikaci, Korunní ulice	65

15. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Krycí epitelová tkáň	16
Obrázek 2	Lidská hlava bez kůže	20
Obrázek 3	Hrudník člověka	20
Obrázek 4	Břicho člověka	20
Obrázek 5	travnatý povrch s testovací figurínou	28
Obrázek 6	Živičná vozovka	29
Obrázek 7	Betonový panel BKV	30
Obrázek 8	Chodníková dlažba mozaika	31
Obrázek 9	Zámková dlažba s testovací figurínou	31
Obrázek 10	Sekvence pádu na asfaltový povrch	34
Obrázek 11	Sekvence pádu na chodníkovou dlažbu	35
Obrázek 12	Sekvence pádu na zámkovou dlažbu	36
Obrázek 13	Sekvence pádu na travnatý povrch	37
Obrázek 14	Sekvence pádu na BKV panel	38
Obrázek 15	Sekvence pádu na tramvajovou kolej	40
Obrázek 16	Sekvence pádu na spáru mezi BKV panely	41
Obrázek 17	Sekvence pádu na hranu obrubníku	42
Obrázek 18	Sekvence pádu na city blok	43
Obrázek 19	Způsob testování s impaktorem hlavy	45
Obrázek 20	Místo měření Děčín	48
Obrázek 21	Mapa uzlů topografické sestavy	50
Obrázek 22	Výřez z mapy s nehodami	53
Obrázek 23	Letecký snímek přechodu	53
Obrázek 24	Pohled na ulici Jana Želivského I	54
Obrázek 25	Pohled na ulici Jana Želivského II	54
Obrázek 26	Pohled na přechod v noci	54
Obrázek 27	Dopadová zóna podle prof. Alberta Bradáče	55
Obrázek 28	Silumace Virtual Crash ulice Jana Želivského	57
Obrázek 29	Dopad chodce při 20 km.h ⁻¹	58
Obrázek 30	Dopad chodce při 30 km.h ⁻¹	58
Obrázek 31	Dopad chodce na hranu obrubníku při 40 km.h ⁻¹	59
Obrázek 32	Dopad chodce při 40 km.h ⁻¹	59
Obrázek 33	Dopad chodce při 50 km.h ⁻¹	59
Obrázek 34	Ukázka ze simulace nárazu na levý roh vozidla při 50 km.h ⁻¹	60
Obrázek 35	Výřez z JDVM i s uživatelským rozhraním	61

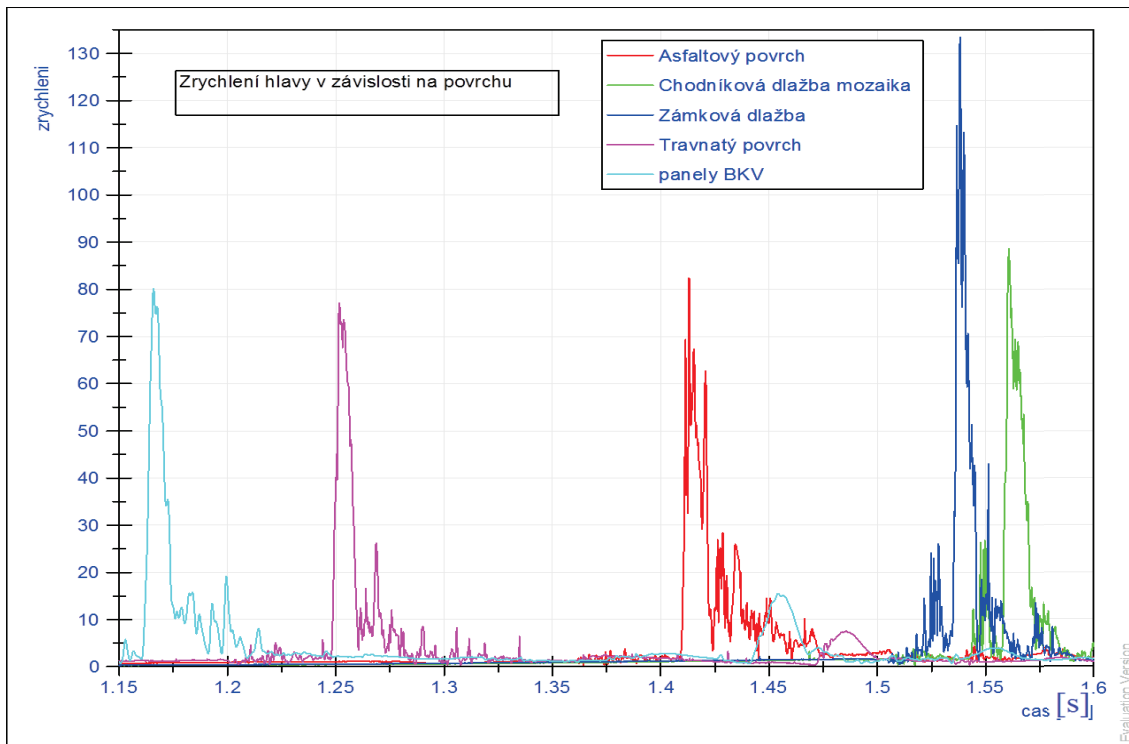
Obrázek 36 Letecký snímek Korunní	62
Obrázek 37 Pohled na ulici Korunní I	62
Obrázek 38 Pohled na ulici Korunní z Chorvatské ulice II	63
Obrázek 39 Simulace Virtual Crash, Korunní ulice	64
Obrázek 40 Dopad chodce při 20 km.h ⁻¹	65
Obrázek 41 Dopad chodce při 30 km.h ⁻¹	66
Obrázek 42 Kontakt chodce se zaparkovaným vozidlem	66
Obrázek 43 Dopad chodce při 40 km.h ⁻¹	66
Obrázek 44 Kontakt padajícího chodce na zaparkované vozidlo	67
Obrázek 45 Dopad chodce při 50 km.h ⁻¹	67

16. SEZNAM PŘÍLOH

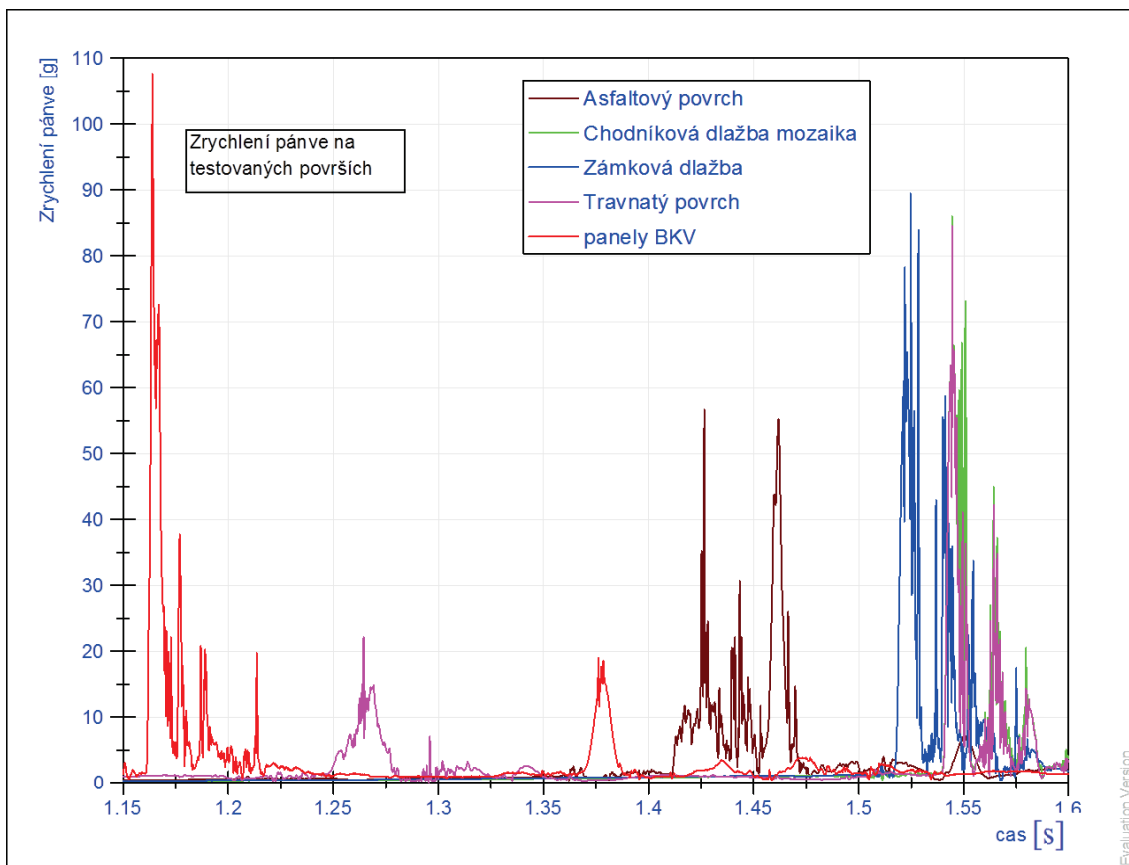
1. Dodatkové grafy z průběhu měření s figurínou
2. Základní informativní výpis o nehodě (Jana Želivského) z JDVM mapy
3. Základní informativní výpis o nehodě (Korunní) z JDVM mapy
4. Protokol k simulaci Virtual Crash Korunní ulice – náraz vozidla do chodce pravým rohem karosérie při 40 km.h⁻¹ se zaparkovaným autem podél komunikace

PŘÍLOHA 1.

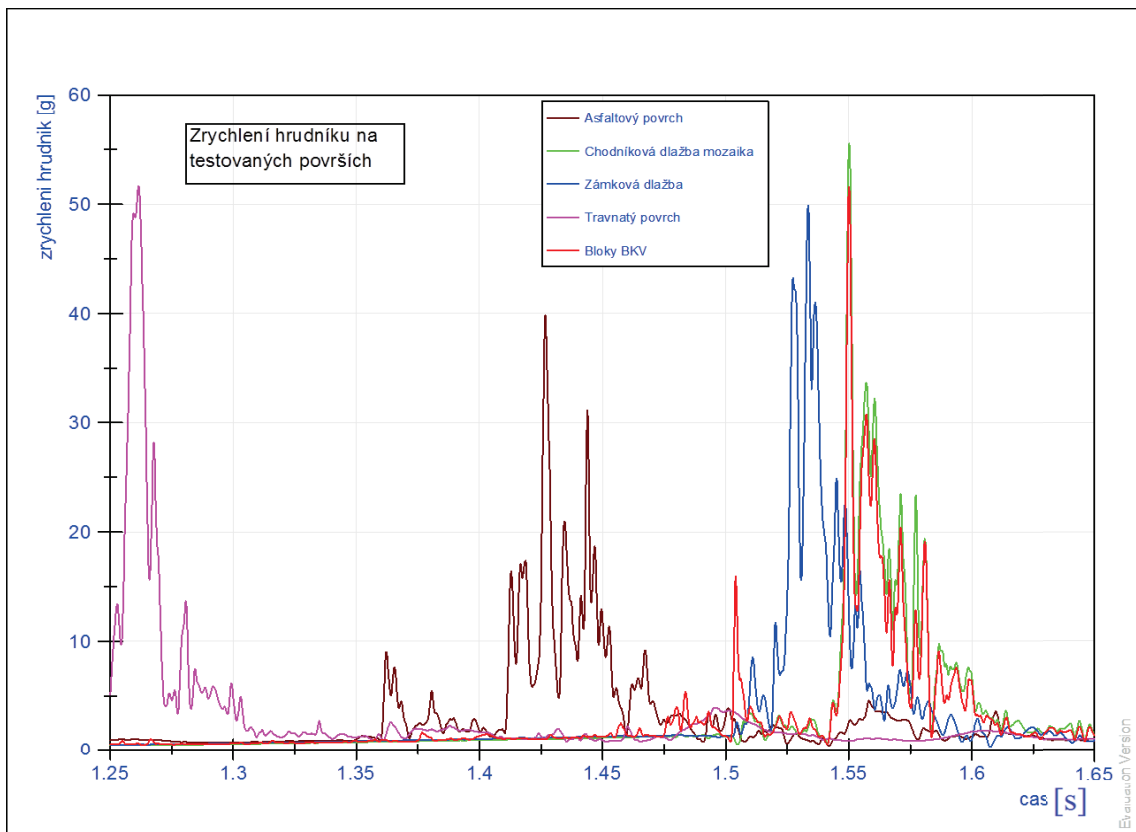
Působení povrchů na jednotlivé části figuríny – Zrychlení hlavy na různých površích



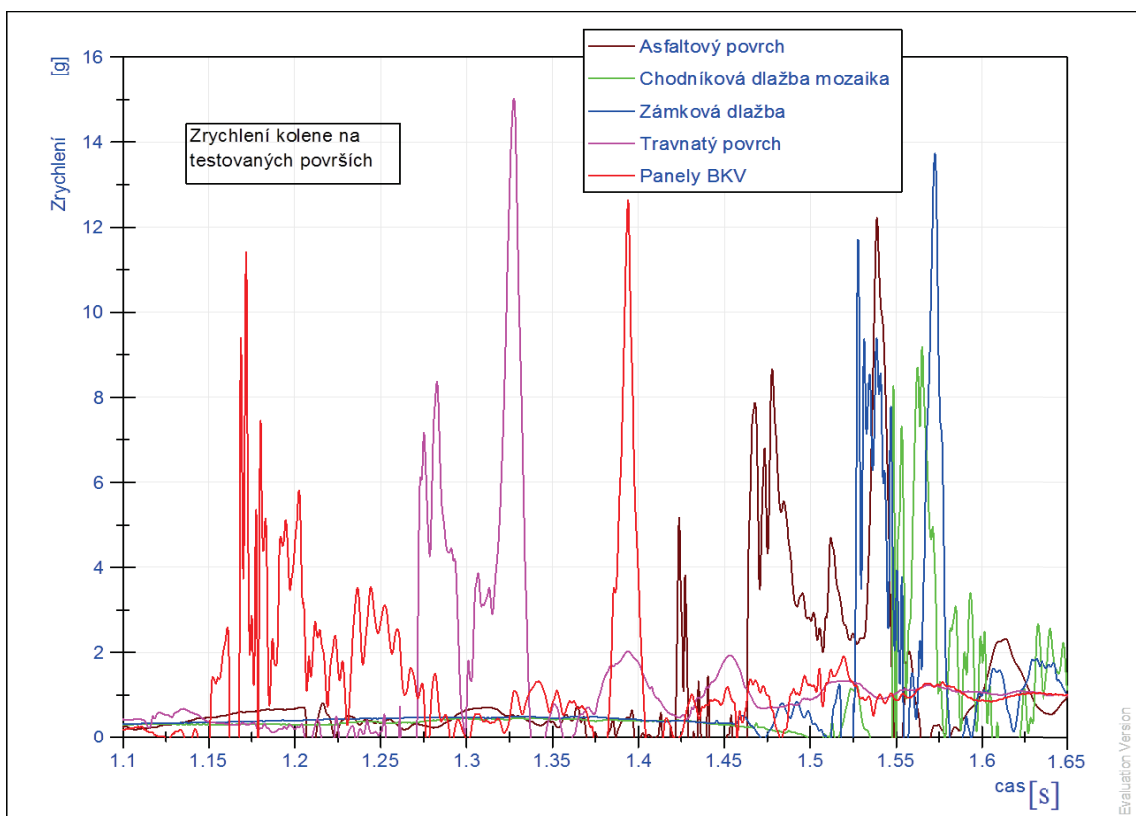
Porovnání zrychlení pánve na všech površích



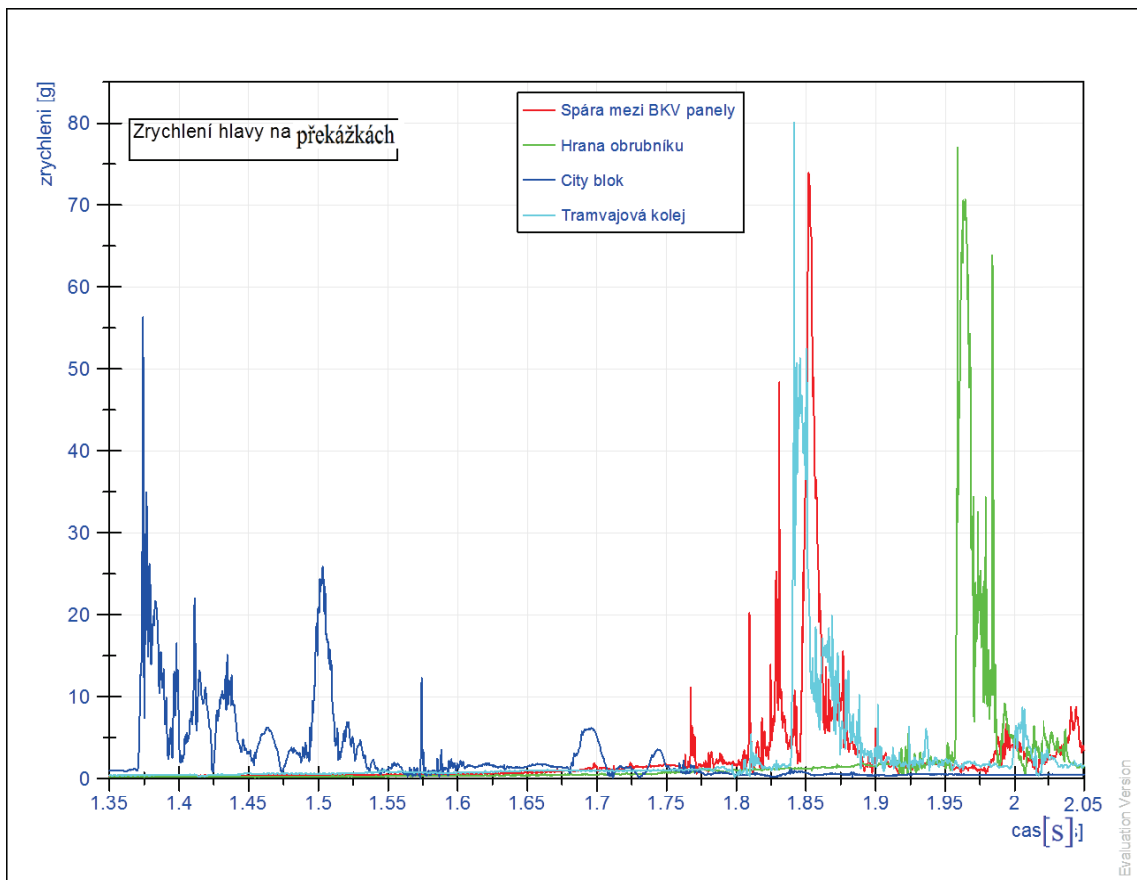
Porovnání zrychlení hrudníku na všech površích



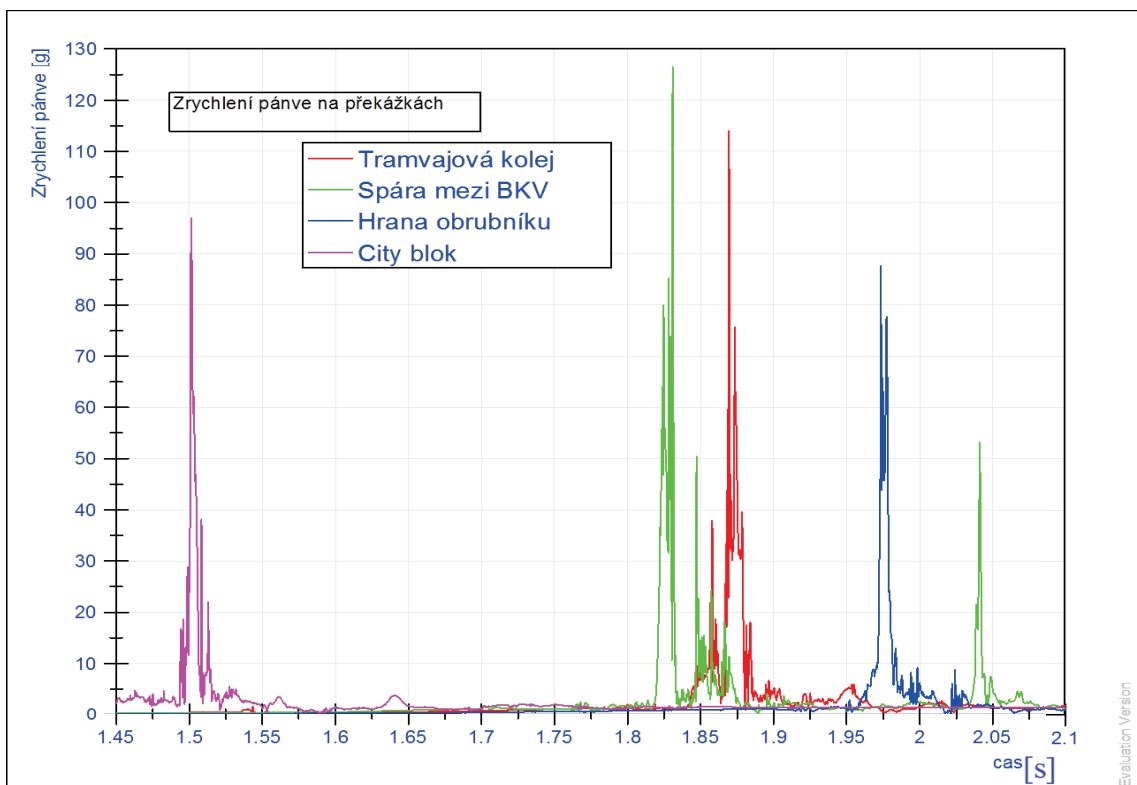
Porovnání zrychlení kolene na všech površích



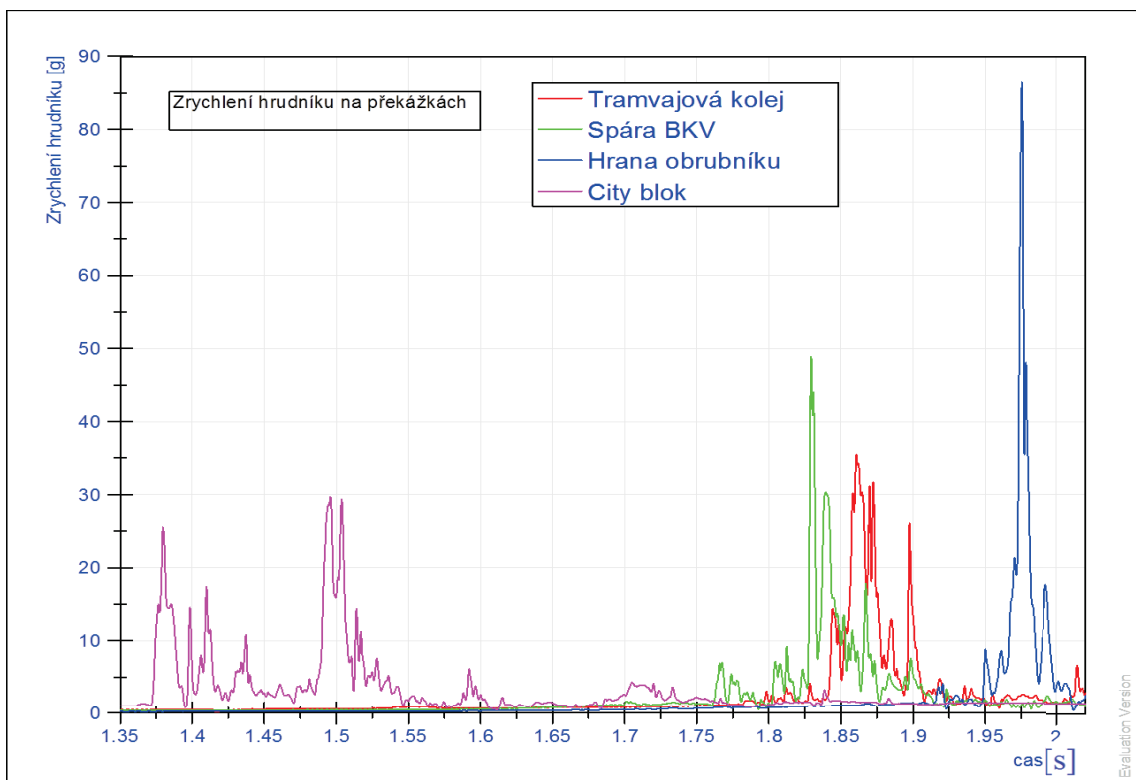
Působení zrychlení na jednotlivé části figurínu na různých překážkách – zrychlení hlavy



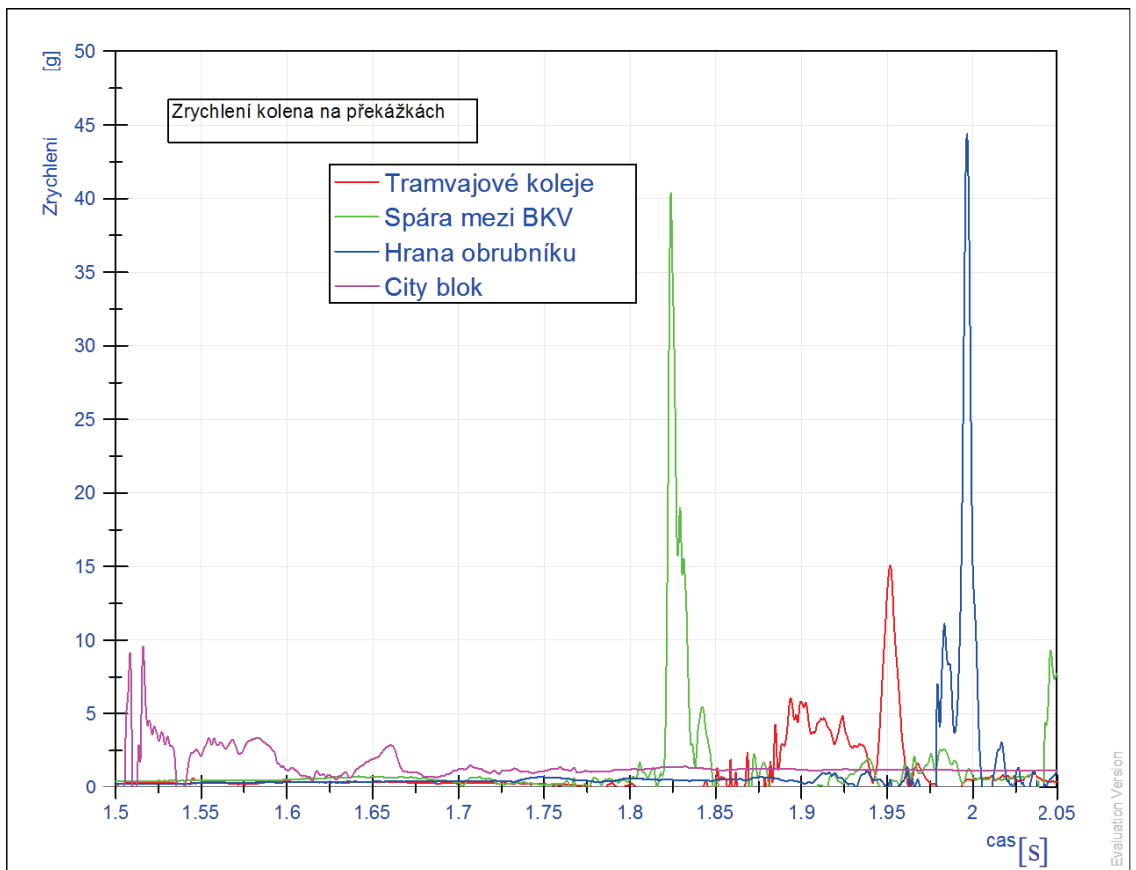
Porovnání zrychlení pánve na jednotlivých překážkách



Porovnání zrychlení hruďníku na jednotlivých překážkách



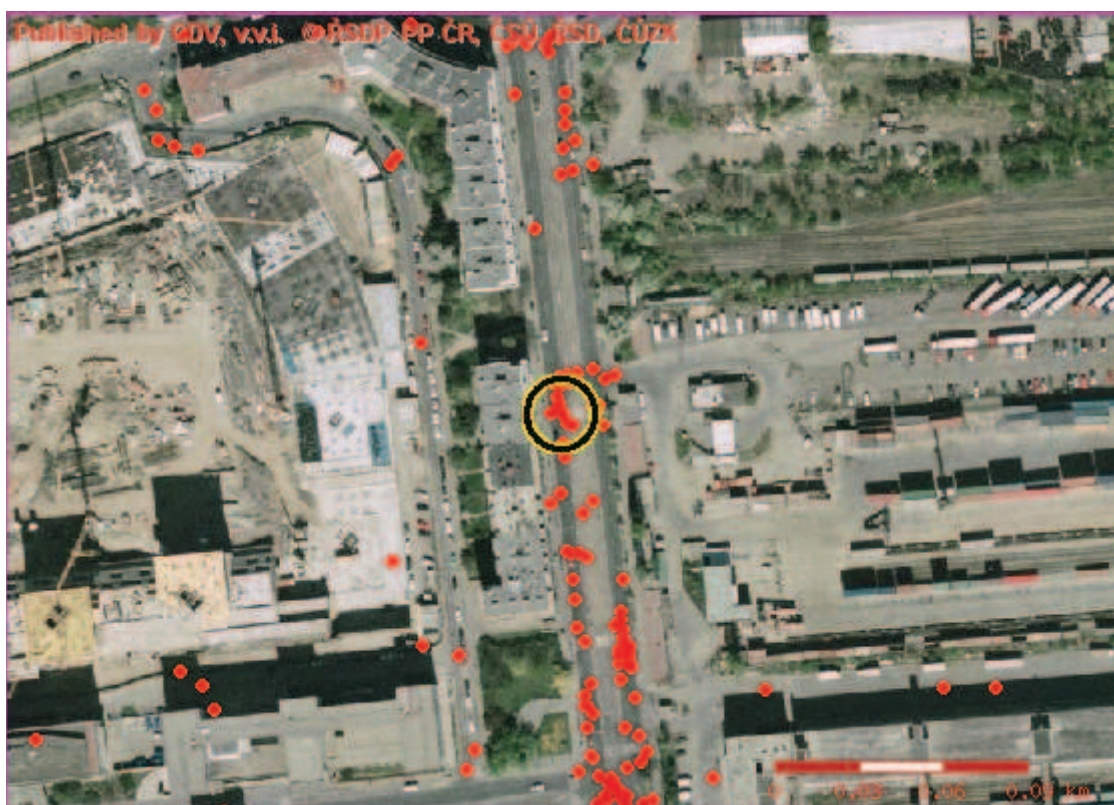
Porovnání zrychlení kolena na jednotlivých překážkách



Základní informativní výpis o nehodě číslo:

002100107881

Lokalita nehody	Praha (Hlavní město Praha)
Datum nehody	08.06.2010
Den v týdnu	úterý
Čas nehody	09:45

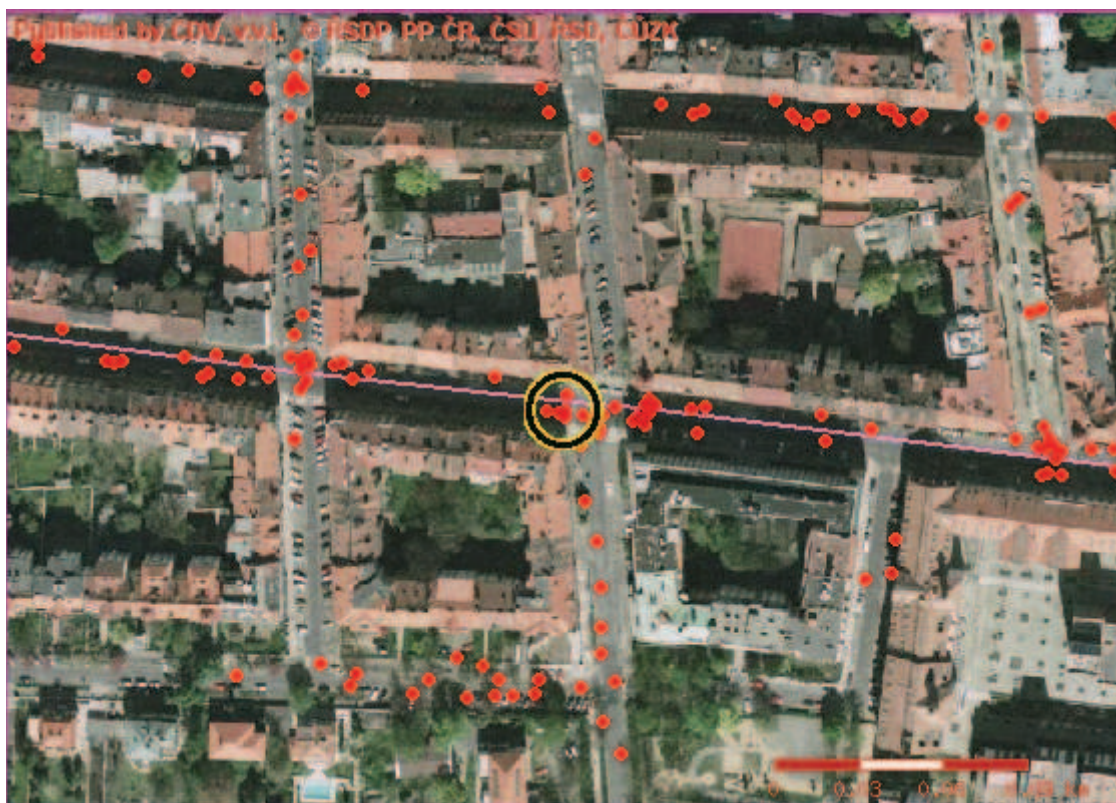


Druh pozemní komunikace	komunikace sledovaná (ve vybraných městech)
Číslo pozemní komunikace	0
Zavinění nehody	řidičem motorového vozidla
Alkohol	ne
Usmrceno osob (do 24 hodin od nehody)	0
Těžce zraněno osob	0
Lehce zraněno osob	2

Druh nehody	srážka s chodcem
Druh srážky	nepřichází v úvahu, nejde o srážku jedoucích vozidel
Druh pevné překážky	nepřichází v úvahu, nejde o srážku s pev.překážkou
Příčina nehody	nepřizpůsobení rychlosti hustotě provozu
Povrch vozovky	živice
Stav povrchu vozovky	povrch suchý, neznečistěný
Stav komunikace	dobrý, bez závad
Povětrnostní podmínky	neztížené
Viditelnost	ve dne, viditelnost nezhoršená vlivem povětrnostních podmínek
Rozhledové poměry	dobré
Dělení komunikace	čtyřpruhová s dělicím pásem
Situování nehody	na jízdním pruhu
Řízení provozu	žádný způsob řízení provozu
Místní úprava přednosti v jízdě	přednost nevyznačena - vyplývá z pravidel
Objekty	přechod pro chodce
Směrové poměry	přímý úsek
Místo nehody	mimo křižovatku
Druh křižující komunikace	neurčeno
Smyk	ano
Směr jízdy	jedoucí - proti směru staničení na komunikaci
Počet zúčastněných vozidel	1
Druh vozidla	motocykl (včetně sidecarů, skútrů apod.)
Výrobní značka motorového vozidla	HONDA
Rok výroby vozidla	07
Charakteristika vlastníka vozidla	soukromé, nevyužívané k výdělečné činnosti
Celková hmotná škoda (sto.Kč)	400
Škoda na vozidle (sto.Kč)	400
Vozidlo po nehodě	nedošlo k požáru
Únik hmot	došlo k úniku pohonných hmot, oleje, chladicího media apod.
Způsob vyproštění osob	nebylo třeba užít násilí
Kategorie řidiče	s řidičským oprávněním skupiny c
Stav řidiče	dobrý -žádné nepříznivé okolnosti nebyly zjištěny
Vnější ovlivnění řidiče	řidič nebyl ovlivněn

Základní informativní výpis o nehodě číslo: **003100107026**

Lokalita nehody	Praha (Hlavní město Praha)
Datum nehody	08.12.2010
Den v týdnu	středa
Čas nehody	16:35



Druh pozemní komunikace	komunikace sledovaná (ve vybraných městech)
Číslo pozemní komunikace	0
Zavinění nehody	řidičem motorového vozidla
Alkohol	ne
Usmrceno osob (do 24 hodin od nehody)	0
Těžce zraněno osob	1
Lehce zraněno osob	0

Jednotná dopravní vektorová mapa ®
 Úloha: Dopravní nehody
 Informativní tiskový výstup

Druh nehody	srážka s chodcem
Druh srážky	nepřichází v úvahu, nejde o srážku jedoucích vozidel
Druh pevné překážky	nepřichází v úvahu, nejde o srážku s pev.překážkou
Příčina nehody	chodci na vyznačeném přechodu
Povrch vozovky	živice
Stav povrchu vozovky	povrch mokrý
Stav komunikace	dobrý, bez závad
Povětrnostní podmínky	déšť
Viditelnost	v noci - s veřejným osvětlením, zhoršená viditelnost vlivem povětrnostních podmínek (mlha,déšť, sněžení apod.)
Rozhledové poměry	dobré
Dělení komunikace	žádná z uvedených
Situování nehody	na jízdním pruhu
Řízení provozu	místní úprava (vyplní se pol. 24)
Místní úprava přednosti v jízdě	přednost vyznačena dopravními značkami
Objekty	přechod pro chodce
Směrové poměry	křižovatka průsečná - čtyřramenná
Místo nehody	na křižovatce,jedná-li se o křížení silnic 3.tř.,místních, účelových komunikací
Druh křižující komunikace	neurčeno
Smyk	ne
Směr jízdy	jedoucí - ve směru staničení na komunikaci
Počet zúčastněných vozidel	1
Druh vozidla	osobní automobil bez přívěsu
Výrobní značka motorového vozidla	NISSAN
Rok výroby vozidla	03
Charakteristika vlastníka vozidla	soukromé, nevyužívané k výdělečné činnosti
Celková hmotná škoda (sto.Kč)	100
Škoda na vozidle (sto.Kč)	100
Vozidlo po nehodě	nedošlo k požáru
Únik hmot	žádné z uvedených
Způsob vyproštění osob	nebylo třeba užít násilí
Kategorie řidiče	s řidičským oprávněním skupiny b
Stav řidiče	dobrý -žádné nepříznivé okolnosti nebyly zjištěny
Vnější ovlivnění řidiče	řidič nebyl ovlivněn

PŘÍLOHA 4.

Virtual Crash 2.2 protokol; licence: ČVUT - student

vozidlo/překážka: 1 - data\multibody\pedestrian.def	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	2.000			-		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	-86.671	-	-	-
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	-86.671	0.000		-	-	
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-23.467	25.876	-0.051	-30.367	27.250	0.183

vozidlo/překážka: 2 - Sloup veřejného osvětlení	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.171		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	0.000	0.000		-86.239	-89.951	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-18.491	29.566	0.700	-18.491	29.566	0.700

vozidlo/překážka: 3 - Skoda / Octavia 1.9 SDI; řidič:	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	40.000			0.000		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	-178.197	0.000	0.000	178.405
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	-178.197	0.000		101.703	-0.070	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-21.441	25.255	0.540	-29.641	24.925	0.540

vozidlo/překážka: 4 - tree_003	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.174		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	0.000	0.072	0.033	-0.001
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	0.000	0.000		89.890	85.119	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	-0.008	0.000	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-21.260	28.935	0.726	-21.260	28.934	0.701

vozidlo/překážka: 5 - tree_003	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.357		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	0.000	0.074	0.023	-0.003
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	0.000	0.000		-113.955	88.816	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	0.004	-0.002	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-30.050	28.883	0.749	-30.049	28.883	0.701

vozidlo/překážka: 6 - Crash-barrier_concrete	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.009		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	0.000	-0.128	0.010	-0.279
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	0.000	0.000		169.985	21.988	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.004	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-21.880	27.243	0.500	-21.866	27.244	0.500

vozidlo/překážka: 7 - Crash-barrier_concrete	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.105		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	91.656	-0.149	0.002	90.482
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	91.656	0.000		176.188	-6.204	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	-0.058	0.004	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-22.459	28.110	0.500	-22.465	28.117	0.500

vozidlo/překážka: 8 - Crash-barrier_concrete	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.180		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	89.390	-0.125	-0.003	88.645
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	89.390	0.000		130.360	62.098	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	-0.081	0.097	-0.050
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-19.327	28.114	0.500	-19.333	28.108	0.500

vozidlo/překážka: 9 - Crash-barrier_concrete	startovací údaje			konečné údaje		
rychlost (v) [km/h]	0.000			0.346		
úhel natočení - X,Y,Z [deg]	0.000	0.000	0.000	-0.130	0.001	-1.402
směr rychlosti (vni,vnz) [deg]	0.000	0.000		-139.073	-89.997	
uhlová rychlost - X,Y,Z (omega) [rad/s]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
poloha těžiště - X,Y,Z [m]	-20.346	27.259	0.500	-20.348	27.260	0.499

Kolize

Kinematika

vozidlo/překážka: 1 - data\multibody\pedestrian.def						zatáčení - poloměr [m]	Z [m]	min. rychlost [km/h]	max. rychlost [km/h]	natočení - X natočení - Y natočení - Z [deg]
čas [s]	dt [s]	ds [m]	typ	náběh brzd [s]	a [m/s^2]					
-1.198 -3.022 10.217	0.800	(2.270)	-	0.000	0.000	0.000	-0.051	0.000	0.000	0.000
-0.398 -0.752 10.217	(0.198)	0.261	brzdění	0.200	-7.649	19.408	-0.051	0.000	200.000	0.000

vozidlo/překážka: 3 - Skoda / Octavia 1.9 SDI; řidič:						zatáčení - poloměr [m]	Z [m]	min. rychlost [km/h]	max. rychlost [km/h]	natočení - X natočení - Y natočení - Z [deg]
čas [s]	dt [s]	ds [m]	typ	náběh brzd [s]	a [m/s^2]					
-1.439 -17.697 46.200	0.800	(10.267)	-	0.000	0.000	0.000	0.540	0.000	0.000	0.000
-0.639 -7.430 46.200	(0.125)	1.451	brzdění	0.200	-7.649	-3556.468	0.540	0.000	200.000	0.000
-0.314 -3.489 40.000	(0.314)	3.489	-	0.000	0.000	56.072	0.540	0.000	0.000	0.000

Sekvence

vozidlo/překážka: 3 - Skoda / Octavia 1.9 SDI; řidič:							řízení 1 [deg]	řízení 2 [deg]	brzdění 1 [%]		brzdění 2 [%]	
čas [s] dráha [m] rychlost [km/h]	dt [s]	ds [m]	typ	náběh brzd [s]	čas zatáčení [s]	a [m/s ²]			vlevo	vpravo	vlevo	vpravo
0.000 0.000 40.000	-	-	brzdění	0.200	1.000	7.649	0.000	0.000	91.774	91.774	91.774	91.774
7.000 8.267 0.000	-	-	-	-	-	7.649	0.000	0.000	91.774	91.774	91.774	91.774

Technické údaje

vozidlo/překážka: 1 - data\multibody\pedestrian.def	
výška [m]	1.835
poh. hmotnost [kg]	78.000 (78.000)
součinitel tření - podložka	0.800
restituce - podložka	0.100
součinitel tření - vozidlo	0.200
restituce - vozidlo	0.100
adheze	0.780

vozidlo/překážka: 2 - Sloup veřejného osvětlení			
délka [m]	0.300		
šířka [m]	0.300		
výška [m]	7.000		
zaoblení	30.000		
výška těžiště [m]	0.500		
poh. hmotnost [kg]	75.000 (75.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	306.813 (306.813)	306.813 (306.813)	1.125 (1.125)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
adheze	0.780		

vozidlo/překážka: 3 - Skoda / Octavia 1.9 SDI; řidič:			
délka [m]	4.510		
šířka [m]	1.730		
výška [m]	1.420		
výška těžiště [m]	0.540		
poh. hmotnost [kg]	1285.000 (1285.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	562.417 (562.417)	1874.723 (1874.723)	1874.723 (1874.723)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
počet náprav	2		

vozidlo/překážka: 3 - Skoda / Octavia 1.9 SDI; řidič:		
převis přední [m]	0.903	
těžiště - přední náprava [m]	1.050	
rozvor 1 - 2 [m]	2.549	
rozchod - náprava 1 [m]	1.512	
rozchod - náprava 2 [m]	1.490	
max. úhel směr. odch. - náprava 1 vlevo/vpravo [deg]	10.000	10.000
max. úhel směr. odch. - náprava 2 vlevo/vpravo [deg]	10.000	10.000
pružnost - náprava 1 vlevo/vpravo [N/m]	24711.601	24711.601
pružnost - náprava 2 vlevo/vpravo [N/m]	17307.899	17307.899
tlumení - náprava 1 vlevo/vpravo [Ns/m]	2780.055	2780.055
tlumení - náprava 2 vlevo/vpravo [Ns/m]	1947.139	1947.139
zatížení v kabině vpředu [kg]	0.000	
zatížení v kabině vzadu [kg]	0.000	
zatížení v kufru [kg]	0.000	
zatížení střechy [kg]	0.000	
ABS	Ne	
adheze	0.780	

vozidlo/překážka: 4 - tree_003			
délka [m]	3.737		
šířka [m]	1.788		
výška [m]	5.000		
zaoblení	30.000		
výška těžiště [m]	0.500		
poh. hmotnost [kg]	1000000.000 (1000000.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	2349709.979 (2349709.979)	3247065.747 (3247065.747)	1430109.059 (1430109.059)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
adheze	0.780		

vozidlo/překážka: 5 - tree_003			
délka [m]	5.000		
šířka [m]	1.619		
výška [m]	5.000		
zaoblení	30.000		
výška těžiště [m]	0.500		
poh. hmotnost [kg]	1000000.000 (1000000.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	2301644.523 (2301644.523)	4166666.667 (4166666.667)	2301644.523 (2301644.523)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
adheze	0.780		

vozidlo/překážka: 6 - Crash-barrier_concrete			
--	--	--	--

vozidlo/překážka: 6 - Crash-barrier_concrete			
délka [m]	1.000		
šířka [m]	0.640		
výška [m]	1.000		
zaoblení	30.000		
výška těžiště [m]	0.500		
poh. hmotnost [kg]	999999.000 (999999.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	117466.549 (117466.549)	166666.500 (166666.500)	117466.549 (117466.549)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
adheze	0.780		

vozidlo/překážka: 7 - Crash-barrier_concrete			
délka [m]	1.000		
šířka [m]	0.640		
výška [m]	1.000		
zaoblení	30.000		
výška těžiště [m]	0.500		
poh. hmotnost [kg]	999999.000 (999999.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	117466.549 (117466.549)	166666.500 (166666.500)	117466.549 (117466.549)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
adheze	0.780		

vozidlo/překážka: 8 - Crash-barrier_concrete			
délka [m]	1.000		
šířka [m]	0.640		
výška [m]	1.000		
zaoblení	30.000		
výška těžiště [m]	0.500		
poh. hmotnost [kg]	999999.000 (999999.000)		
moment setr. - X,Y,Z [kgm ²]	117466.549 (117466.549)	166666.500 (166666.500)	117466.549 (117466.549)
součinitel tření - podložka	0.500		
restituce - podložka	0.050		
adheze	0.780		

Nastavení

integrační krok [s]		0.005
ráz	hloubka překrytí [s]	0.030
	implicitní hodnota k	0.100
	implicitní hodnota tření	1.000