ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A KOLEJOVÝCH VOZIDEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KONFIGURACE ZKOUŠKY NÁRAZU HLAVOVÝM IMPAKTOREM DLE EURO NCAP

CONFIGURATION OF THE EURO NCAP HEADFORM TO BONNET TEST

PRAHA 2018 JAKUB RYŠKA

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ryška** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **460015**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Konfigurace zkoušky nárazu hlavovým impaktorem dle EuroNCAP

Název bakalářské práce anglicky:

Configuration of the EuroNCAP Headform to Bonnet Test

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši metodiky provedení zkoušky a zkušebních zařízení.
Seznamte se s konstrukcí zkušebního zařízení dostupného na ČVUT.
Zhodnoťte, zda je zařízení vhodné pro provedení zkoušek dle EuroNCAP.
Navrhněte výpočet konfigurace polohy impaktoru.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Michal Vašíček, Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **11.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Michal Vašíček, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne:

Jakub Ryška

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Michalovi Vašíčkovi, Ph.D. a to za vedení mé bakalářské práce, cenné rady, odborný dohled při vypracování a za čas, který mi byl ochotný věnovat při konzultacích. Děkuji také PhDr. Jaroslavě Liškové za pomoc při gramatické kontrole práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou nárazových zkoušek dle metodiky společnosti Euro NCAP se zvláštním zaměřením na nárazové testy hlavovým impaktorem. Tyto testy jsou prováděny zejména za účelem posouzení bezpečnosti různých modelů automobilů, a to jak pro posádku vozidla, tak pro chodce. V první polovině této bakalářské práce jsou představeny a vysvětleny základní pravidla a principy nárazových testů dle Euro NCAP. V dalších kapitolách jsou představena zkušební zařízení, která se k provádění těchto testů používají a poté následuje zkušební výpočet kinematiky hlavových impaktorů s uvažováním změny trajektorie v důsledku efektu tíhového zrychlení.

Klíčová slova

Euro NCAP, nárazové zkoušky automobilů, střet auta s chodcem, impaktor, zkouška hlavovým impaktorem, zkušební zařízení

Annotation

This bachelor thesis discusses the issue of impact tests according the methodology of Euro NCAP, with special focus on the headform to bonnet impact tests. These tests are primarily performed in order to assess the safety of different vehicle models, for both their vehicle crew and pedestrians. The basic regulations and principles of impact tests according to the methodology of Euro NCAP are explained in the first half of this bachelor thesis. In the consecutive chapters, testing facilities utilized to perform these tests are introduced. Next, a trial calculation of the head impactor kinematics in presented, considering the alternations in their trajectories due to the effect of gravity acceleration.

Key words

Euro NCAP, crash tests, pedestrian car impact, impactor, headform to bonnet test, testing facility

Obsah

1 Úvod 8
1.1 Historie 8
1.2 Legislativa 8
1.3 Statistiky nehod 9
2 Euro NCAP 10
2.1 Kategorie vozidel dle Euro NCAP 11
2.2 Testy prováděné Euro NCAP 11
2.2.1 Ochrana dospělé osoby 12
2.2.2 Ochrana dítěte 14
2.2.3 Ochrana chodců 14
2.3 Hodnocení testů dle Euro NCAP 16
2.3.1 Bodové ohodnocení 17
2.3.2 Výsledné hodnocení 18
3 Příprava, průběh a vyhodnocení testů nárazu hlavovým impaktorem 19
3.1 Definice testovaných oblastí 19
3.1.1 Vztažná čára náběžné hrany kapoty 19
3.1.2 Zadní vztažná čára kapoty 19
3.1.3 Opsaná vzdálenost WAD 20
3.1.4 Boční vztažná čára 21
3.1.5 Rohový vztažný bod 21
3.1.6 Horní vztažná čára nárazníku 21
3.1.7 Dolní vztažná čára nárazníku 22
3.1.8 Roh nárazníku 22
3.2 Impaktory 23
3.3 Příprava vozidla k testování 25
3.4 Bodové ohodnocení testů nárazu hlavy 27
3.4.1 HIC kritérium 27
3.4.2 Vyhodnocení testu nárazu hlavy 28
4 Zkušební zařízení pro zkoušky nárazu hlavy 29
4.1 Zkušebna Chrastava 30
4.2 Zkušební zařízení v laboratořích ČVUT 31
4.2.1 Základní návrh konstrukce zařízení 31
4.2.2 Vystřelovací hlava 33

5 Kinematika impaktorů 36
5.1 Kinematické výpočty 37
5.1.1 Šikmý vrh bez účinku tíhového zrychlení 37
5.1.2 Šikmý vrh s účinky tíhového zrychlení 39
5.1.3 Výsledky porovnání 42
5.2 Ukázkový příklad výpočtu korekcí pro zkoušku hlavovým impaktorem 43
6 Závěr 49
Seznam použité literatury 51
Seznam obrázků 53
Seznam tabulek 54
Přílohy I

1 Úvod

1.1 Historie

Otázka bezpečnosti automobilů je pravděpodobně stejně stará jako samotná motorová vozidla. Její historie se nejspíše začala psát hned po první smrtelné nehodě zaviněné motorovým vozidlem v roce 1869 [1]. Na začátku minulého století začal význam bezpečnosti narůstat s rozmachem silniční osobní i nákladní dopravy, neboť se zvyšoval nejen počet motorových vozidel, ale i jejich rychlost. První myšlenky na zvýšení úrovně bezpečnosti motorových vozidel se objevily ve 30. letech 20. století ve Spojených státech amerických. Tamní automobiloví výrobci v čele s firmami GM a Ford představili první technologické inovace, které vedly ke snížení mortality v důsledku nehod na pozemních komunikacích. Důležitým milníkem byla třicátá léta, v nichž společnost GM provedla první nárazový test automobilu.

Po druhé světové válce ovlivňovala bezpečnost automobilů nově založená Organizace spojených národů, která se zasloužila o ustanovení Světového fóra pro harmonizaci a regulaci vozidel. Toto fórum pracuje na sepisování regulací a sjednocování ustanovení týkajících se bezpečnosti automobilů, ochrany životního prostředí, efektivnosti využití energií a ochrany vozidel proti krádeži. Základní dokument vydaný touto organizací je dohoda z roku 1958, jejíž celý název zní*: Dohoda o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a /nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení, udělených na základě těchto pravidel.* Tato dohoda vytváří právní rámec, v němž se zúčastněné země zavazují k používání společného souboru technických předpisů a protokolů týkajících se schvalování motorových vozidel. Česká republika se stala signatářem dohody 1. 1. 1993 jako osmá země na světě. Z tohoto důvodu můžeme na automobilových součástkách homologovaných na území České republiky naleznout značku „*e8*“. Postupem času se k této dohodě přidaly dodatky, které poskytují informace o technických předpisech zabývající se například LED světlomety nebo dovolenými hodnotami emisí oxidu uhlíku a spotřeby paliva.

Pro naše účely se budeme hlavně zabývat regulací č. 127 [2], která stanovuje jednotné předpisy pro schvalování motorových vozidel z hlediska bezpečnosti chodců. Tento předpis stanovuje definice výrazů, požadavků, shodností a sankcí potřebných k homologaci. Značnou část těchto předpisů přebírá společnost Euro NCAP, která se zabývá testováním automobilů a bude představena v další kapitole.

1.2 Legislativa

K tomu, aby mohlo být v České republice silniční vozidlo uvedeno na trh, je zapotřebí, aby byla schválena jeho technická způsobilost. Tato způsobilost je dána zákonem *č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích* [3]. Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a v rámci harmonizace legislativy je sjednocuje.

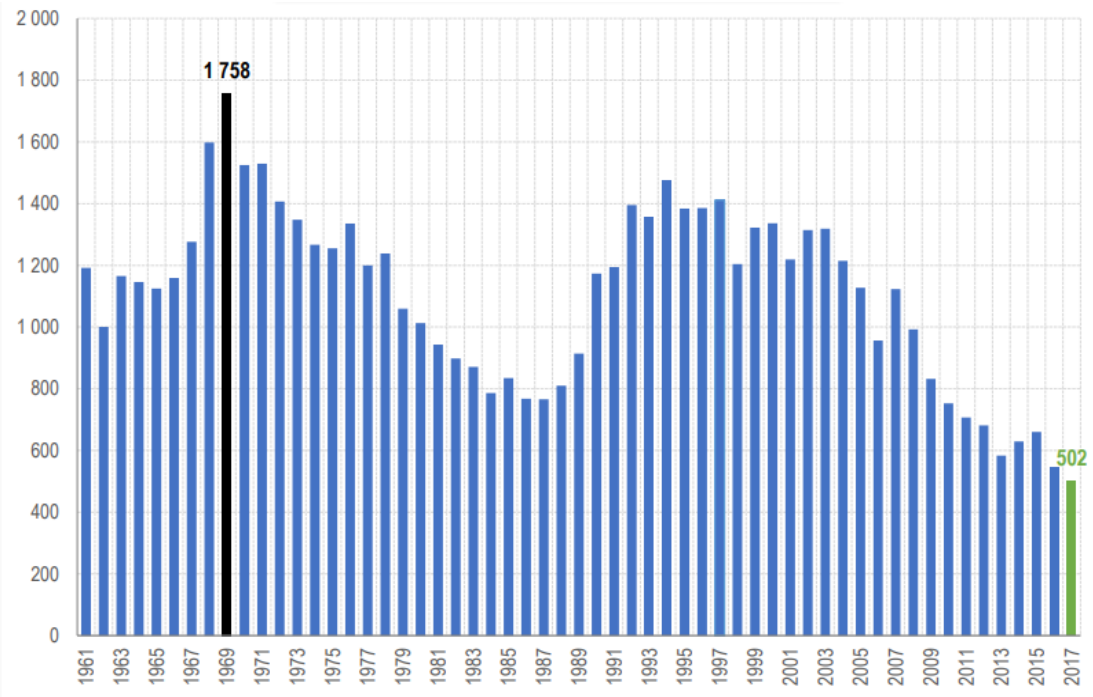
Část třetí zákona č. 56/2001 uvádí, které náležitosti je potřeba splnit, aby vozidlo bylo schopné bezpečného provozu.

1.3 Statistiky nehod

Dle statistik Policie České republiky [4] se v roce 2017 stalo na území České republiky 103 821 dopravních nehod jejichž následkem bylo 24 740 lehce zraněných osob, 2 339 těžce zraněných osob a 502 osob usmrcených což ilustruje Obr. 1-1.

Statistiky dále uvádějí, že z celkového počtu 502 usmrcených osob byl nejohroženější skupinou řidič osobního vozidla. V loňském roce bylo z této skupiny na území České republiky usmrceno 174 osob. Ke druhé nejohroženější skupině patří právě chodci, jichž na následky dopravní nehody zemřelo 101. Třetí skupinu tvoří 80 usmrcených osob, které cestovaly na sedadle spolujezdce. Tyto tři nejzastoupenější skupiny mají současně nejvýraznější meziroční pokles úmrtí. Tento pokles úmrtnosti může být důsledkem zvyšující se poskytované bezpečnosti automobilů, která se zaměřuje na cestující i chodce.

Jsou to právě nárazové zkoušky, které odhalují rozdíly v bezpečnosti mezi jednotlivými modely a motivují výrobce automobilů, aby investovali do vývoje novějších a vyspělejších bezpečnostních systémů. Vývoj dospěl až do bodu, kdy dobré výsledky v nárazových testech mohou určit, s jakou úspěšností se bude daný model prodávat. Bezpečnost automobilu se stala pro mnohé zákazníky důležitým faktorem, který může rozhodnout o výběru konkrétního modelu nebo či značky.



Obr. 1-1 – Vývoj počtu usmrcených osob od roku 1961 [4]

Klesající tendence na Obr. 1-1 je také v souladu s Národní strategií bezpečnosti silničního provozu 2011–2020 publikovanou Ministerstvem dopravy České republiky. Tato strategie určuje cíle, principy a návrhy konkrétních opatření směřujících ke snížení nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice. Hlavním cílem je tedy snížit do roku 2020 počet usmrcených osob v silničním provozu na průměrnou úroveň evropských zemí (to znamená cca o 60%) a současně i počet těžce zraněných o 40 % [5].

2 Euro NCAP

Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) je nezávislá společnost zabývající prováděním a vyhodnocováním nárazových zkoušek automobilů. Svou činností se snaží jak motoristické veřejnosti, tak i výrobcům automobilů poskytovat realistické a nezávislé hodnocení automobilů, prodávaných v Evropě, z hlediska jejich bezpečnosti. Společnost Euro NCAP není ovlivňována výrobci automobilů ani politicky. Tato nezávislost je podtržena velkým počtem nezávislých významných organizací, které jsou do projektu zapojeny.

Toto společenství má původ ve Velké Británii a svou působností navazuje na úsilí evropských zemí, které se snažily skrz EEVC (European Enhanced Vehicle-Safety Committee) sjednotit posuzování různých aspektů ovlivňujících bezpečnost automobilů jak pro posádku, tak pro ochranu chodců. V devadesátých letech minulého století tato snaha vyvrcholila rozvojem celé řady testovacích procedur, kterým jsou dnešní automobily podrobovány a které budou popsány v kapitole 2.2.

V roce 1994 se Britské ministerstvo dopravy zasadilo o založení NCAP, jehož členská základna se v průběhu roku 1996 rozrostla o SNRA (Swedish National Road Administration), FIA (Federation Internationale de l'Automobile) a ICRT (International Consumer Research & Testing). V prosinci roku 1996 proběhlo inaugurační zasedání, jehož výsledkem byl vznik společnosti NCAP. Dnes s Euro NCAP spolupracuje množství institucí včetně Evropské komise či Mezinárodní automobilová federace. Kompletní seznam členů je možno vidět v Tab. 1 [6].

Tab. 1 – Organizace zapojené do programu Euro NCAP [6]

ADAC	**Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e V (ADAC)** **Německo**	ICRT	**International Consumer Research and Testing** **Spojené království**
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	**Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur** **Německo**	FIA	**Federation Internationale de l'Automobile** **Francie**
Department for Transport	**Department for Transport (DfT)** **Spojené království**	TRAFIKVERKET	**Swedish Transport Administration** **Švédsko**
	Ministerie van Infrastructuur en Milieu **Nizozemsko**	Thatcham	**Thatcham Research** **Spojené království**
	Ministere du developpement durable et des Infrastructures Département des Transports **Luxembursko**	MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE	**Ministere de la Transition écologique et solidaire** **Francie**
Generalitat de Catalunya Government of Catalonia	**Generalitat de Catalunya** **Španělsko**	ACI Automobile Club d'Italia	**Automobile Club d'Italia (ACI)** **Itálie**

2.1 Kategorie vozidel dle Euro NCAP

Společnost Euro NCAP se zavázala provádět nezávislé, spolehlivé a obsáhlé uživatelské testy automobilů. Z finančních i časových důvodů je ale nemožné, aby těmito testy prošla všechna vozidla nově uvedená na trh, nemluvě o všech karosářských verzích, které výrobci v rámci svého portfolia nabízejí. Proto společnost každý rok provádí výběr nejoblíbenějších a nejzajímavějších modelů, které v daném roce otestuje. Ve většině případů se jedná o nové modely, které právě vstupují na trh, ačkoli se může stát, že některý z modelů již bude v prodeji. Každý ze členů Euro NCAP má právo na výběr nejméně jednoho modelu automobilu ročně a tento model je obecně vybírán na základě důležitosti pro domácí trh dané organizace.

Pro sérii testů, jimiž se budeme zabývat níže, je zapotřebí až 4 automobilů. Tato vozidla jsou anonymně nakoupena v distribučních sítích jednotlivých značek, jako by to udělal sám zákazník. Tím je zaručeno, že testovaný vůz bude v sériovém provedení a že na něm výrobce neprovede žádné dodatečné úpravy.

Bezpečnost testovaných modelů je vždy nutno srovnávat v rámci příslušné kategorie vozidel. Je tomu z důvodu neporovnatelnosti pasivní bezpečnosti velkého SUV a malého vozidla určeného do města. Přehled jednotlivých kategorií i s jejich zástupci je uveden v Tab. 2. Tučně jsou označeni vítězové dané kategorie v roce 2017 [6].

Tab. 2 – Kategorie automobilů dle Euro NCAP [6]

Kategorie	Reprezentanti kategorií
Rodinné a užitkové dodávkové automobily	Citroën Spacetourer, Mercedes Benz V-Class, VW Transporter, Ford Transit
Vyšší střední třída	**VW Arteon,** BMW 6, BMW 5, Volvo S90
Malé Off-Road	**Volvo XC60,** Dacia Duster, Škoda Karoq
Velké Off-Road	**VW T-Roc,** Renault Koleos, Škoda Kodiaq
Supermini	**VW Polo**, Nissan Micra, Fiat 500, Ford Ka+
Malé MPV	**Opel Crossland X,** Ford C-MAX, Citroën C3
Velké MPV	Ford Galaxy, Ford S-MAX, Renault Espace
Malé rodinné auto	**Subaru XV, Subaru Impreza,** Fiat Punto
Velké rodinné auto	Alfa Romeo Giulia, Toyota Prius, Audi A4
Pick-up	Toyota Hilux, Mercedes Benz X-Class
Sportovní roadstery	BMW Z4, Audi TT, Ford Mustang

2.2 Testy prováděné Euro NCAP

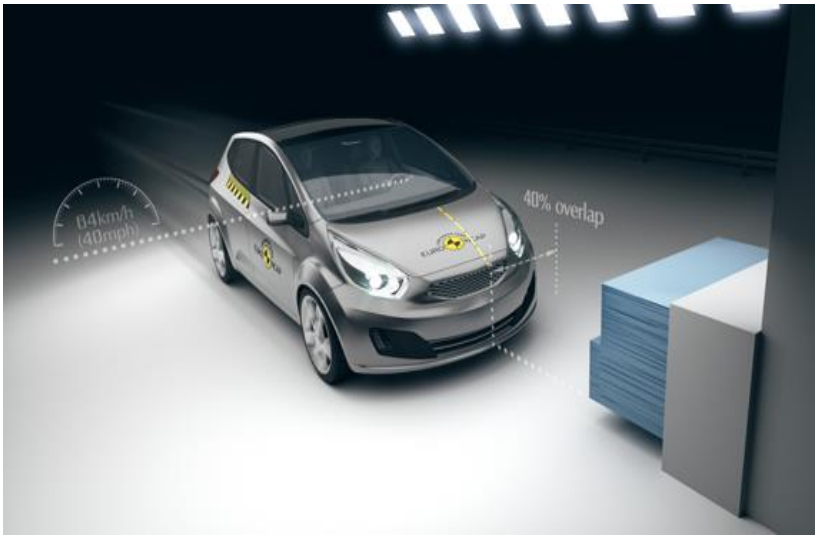
Série testů, jimž jsou podrobeny jednotlivé modely automobilů, jsou navrženy tak, aby ve zjednodušené formě reprezentovaly scénáře dopravních nehod, které se ve skutečnosti stávají nejčastěji a při nichž může dojít ke zranění nebo dokonce i usmrcení pasažéra nebo jiného účastníka dopravního provozu. Testy jsou rozdělené do 3 oblastí, které se zaměřují na ochranu dospělé osoby, ochranu dítěte a ochranu chodců. Čtvrtá oblast, pomocí níž se určuje celkové hodnocení, se zabývá posuzováním přítomnosti a funkčnosti bezpečnostních asistenčních systémů [6].

2.2.1 Ochrana dospělé osoby

Pro vyhodnocení ochrany dospělé osoby se sledují různé aspekty získávané z čidel umístěných v testovacích figurínách a ve vozidle (zejména hodnoty decelerace a stabilita karosérie). Tyto údaje se měří při pěti zkouškách [6]:

2.2.1.1 Čelní přesazený náraz do deformovatelné bariéry

Čelní srážky způsobují více úmrtí a vážných zranění než jakékoli jiné typy dopravních nehod. Typickým scénářem je srážka protijedoucích aut, při níž je zasažena pouze část vozidla.



Obr. 2-1 – Čelní přesazený náraz do deformovatelné bariéry [6]

Test se provádí pomocí automobilu, který je zrychlen na $64\ km\ h^{-1}$ a naveden do deformovatelné bariéry představující protijedoucí vozidlo. Bariéra je široká jeden metr a přesazená oproti vozidlu pohybujícím se vozidlu o 40 %. Vyhodnocování se provádí pomocí čidel ve figurínách představujících dospělé osoby na předních sedadlech a figurínách dětí posazených na sedadlech zadních. Dále se při tomto testu sleduje chování karosérie. Síly vzniklé při nárazu je nutno účinně odklonit do částí vozu, kde může být energie bezpečně absorbována a tím se zabrání zraněním posádky. Další možností, jak omezit dopady srážky, je zamezení zpětného pohybu volantu a pedálů vyvolaného při srážce.

2.2.1.2 Čelní náraz do pevné bariéry celou šířkou vozidla

V posledních letech dochází díky využití houževnatějších materiálů ke snížení počtu zranění spodních částí dolních končetin a díky menší náchylnosti prostoru pro cestující ke zhroucení ke snížení počtu zranění hlavy. Na druhou stranu použití konstrukčních materiálů s vyšší houževnatostí znamená, že některé části vozidla musejí vydržet vyšší hodnoty decelerace, které se mohou neblaze podepsat na vážnosti zranění pasažérů.

Test je prováděn nárazem automobilu do pevné překážky přesahující celou šířku vozidla v rychlosti $50\ km\ h^{-1}$. Vyhodnocování je prováděno pomocí dvou figurín umístěných na sedadle řidiče a na místě za řidičem. Test se používá hlavně za účelem posouzení účinnosti a bezpečnosti zádržných systému použitých na předních a zadních sedadlech.

2.2.1.3 Boční náraz

Srážka, při které dojde ke bočnímu nárazu, je druhým nejčastějším typem dopravních nehod. V porovnáním s čelním nárazem je při tomto druhu nehody velmi málo místa v prostoru pro cestující, které dokáže absorbovat energii, a tím mohou být způsobeny vážné úrazy hlavy a hrudníku.

Srážka je realizována nárazem deformovatelné bariéry o rozměrech 1500x500mm a hmotnosti 950 kg do boku testovaného vozidla ze strany řidiče v rychlosti 50 $km\ h^{-1}$. Dopadům nárazu čelí mužská figurína posazená na místě řidiče a sada dětských figurín umístěných na zadních sedadlech.

K tomu, aby automobily lépe obstály v tomto typu testu, je možno použít různé konstrukční varianty, které pomohou pohltit energii mezi karosérií a hlavou cestujících. Tyto varianty se mohou skládat z použití výztuh v oblasti B-sloupků s kombinaci s bočními airbagy.

2.2.1.4 Náraz na kůl

V některých konfiguracích bočního nárazu se může stát, že se bude vozidlo pohybovat bokem proti kulatým objektům, což jsou nejčastěji stromy nebo tyče. Stává se tomu z důvodu ztráty kontroly nad vozidlem díky nepříznivým povětrnostním podmínkám nebo z důvodu špatného činění řidiče. Tento typ nehody má za následky těžká zranění a bohužel často i úmrtí.

Při tomto testu je vozidlo umístěné na saních hnáno rychlostí 32 $km\ h^{-1}$ bokem proti pevné tyči o průměru 254 mm, přičemž ta je nasměrována na hlavu řidiče. Od roku 2015 se již vozidlo nepohybuje proti tyči pod pravým úhlem, ale odkloněné pod úhlem 15° od kolmice. Vyhodnocení se provádí pomocí dat získaných z čidel mužské figuríny posazené na místě řidiče.

Tento test je založen na stanovení schopnosti automobilu ochránit řidičovu hlavu. Kvůli relativně malému rozměru tyče, může být deformace značná a tyč má možnost proniknout hluboko do prostoru pro cestující. Bez vhodného bezpečnostního vybavení může tyč zasáhnout řidičovu hlavu, což může vyústit ve velmi těžká zranění. Tomu je zabráněno například použitím hlavových airbagů.

2.2.1.5 Náraz zezadu

Tento test se provádí z důvodu tzv. „Whiplash“, což je náhlá a rychlá deformace páteře. Tyto bolestivé a obtížně léčitelné úrazy se nejčastěji stávají při nárazech zezadu v relativně nízkých rychlostech. Tyto nárazy většinou nekončí úmrtím, ale jejich dopady vlivem poškození páteře mívají závažné následky zejména v oblasti pohyblivosti pasažérů. Whiplash se zřídkakdy objevuje při nárazech z boku či při čelních nárazech.

Test se provádí pomocí figuríny, která je připevněná bezpečnostními pásy na sedadle vozidla, které je rozpohybováno na 16 $až$ 20 $km\ h^{-1}$ a poté zastaveno. Ovlivnit poranění páteře vzniklé tímto typem dopravní nehody může vhodná konstrukce a tvar sedadla a hlavové opěrky.

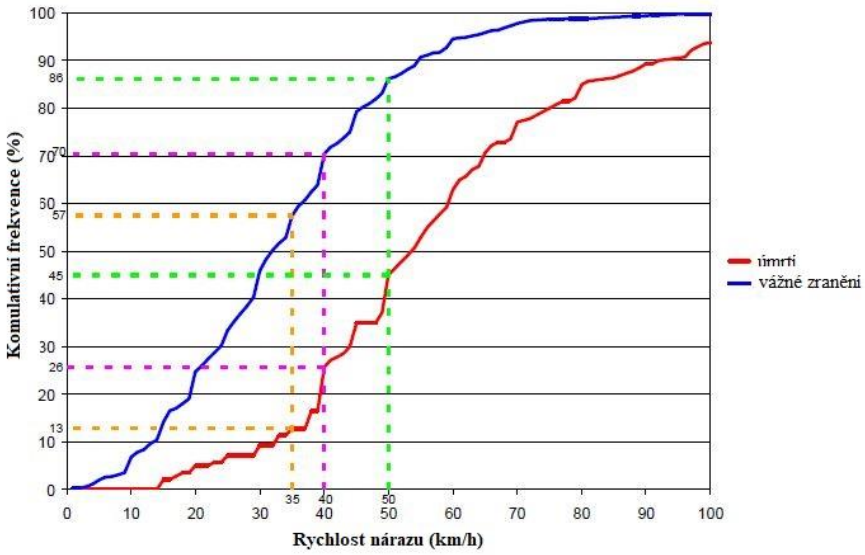
2.2.2 Ochrana dítěte

Posouzení ochrany dítěte v daném modelu automobilu zahrnuje celkově 3 aspekty:

- ochrana nabízená dětským zádržným systémem při čelních a bočních srážkách
- možnost upevnit a bezpečně zajistit dětské autosedačky různých velikostí a typů pomocí systému ISOFIX ve vozidle
- dostupnost bezpečnostních opatřeních zajištujících bezpečnou přepravu dětí automobilem, například asistenční systémy

2.2.3 Ochrana chodců

Chodci a cyklisté jsou při srážce s motorových vozidlem vystaveni vysokému riziku vážného úrazu či úmrtí. Až 14 % všech úmrtí v Evropě způsobených dopravními nehodami tvoří chodci, přičemž nejvíce ohroženi jsou starší lidé a děti. Hlavní příčinou úrazu je obrovský rozdíl mezi hmotnostmi účastníků nehody, neboť většina energie vzniklé při srážce je absorbována lehčím objektem, tedy chodcem. Další z faktorů, který ovlivňuje výsledné zranění, je prakticky nulová ochrana chodce či cyklisty. Pasažér ve vozidle může být ochráněn kovovou karosérií, bezpečnostními pásy a airbagy, které dokáží tlumit náraz, chodec bohužel žádnou podobnou ochranu ve většině případech nemá. Riziko usmrcení chodce při srážce s vozidlem je tedy velice vysoké a toto riziko významně roste s rychlostí vozidla. Dle Obr. 2-2 je zřejmé, že pokud ke srážce dojde v rychlosti 30 $km\ h^{-1}$, šance na přežití chodce je až 90 %. S rostoucí rychlostí, ale toto procento klesá. [7]



Obr. 2-2 – Pravděpodobnost zranění chodců při kolizi s vozidlem podle IHRA [7]

Pro zjištění úrovně bezpečnosti poskytované chodci při srážce se vychází se série testů [6]. Protože provedení testu s celou figurínou by bylo obtížné, používají se místo celých figurín pouze její části (impaktory) reprezentující jednotlivé části těla. Používá se impaktor dolní končetiny, stehenní kosti a impaktor hlavy. Testované oblasti automobilu i s příslušnými impaktory si můžete prohlédnout na Obr. 2-3 [8].

2.2.3.1 Náraz dolní končetiny

Typická zranění vzniká v důsledku srážky chodce s nárazníkem automobilu jsou zlomeniny dolní končetiny, kolene a poranění vazů. Tato zranění jsou zřídkakdy smrtelná, bohužel ale často ústí v permanentní zdravotní postižení.

Ke zjištění potencionálního rizika zranění nohou v případě sražení dospělé osoby se provádí série testů zahrnující vržení impaktoru na přední části vozidla rychlostí 40 $km\,h^{-1}$. Místa dopadů jsou následně posouzena a nabízená ochrana je vyhodnocena jako dobrá, přiměřená, okrajová, slabá nebo špatná. Mezi kritéria, která se vyhodnocují, patří ohybový moment holenní kosti a prodloužení kolaterálního, předního a zadního křížového vazu. Ke zmírnění dopadů srážky je možno využít konstrukci podporující lepší absorpci energie nebo jiný tvar nárazníku, který může zmírnit zranění nohou. Například umístění nárazníku níže, aby byla spodní končetina zasažena co nejníže pod kolenem nebo odstranění ostrých hran, které byly navrženy především kvůli designu.

2.2.3.2 Náraz impaktoru stehenní kosti

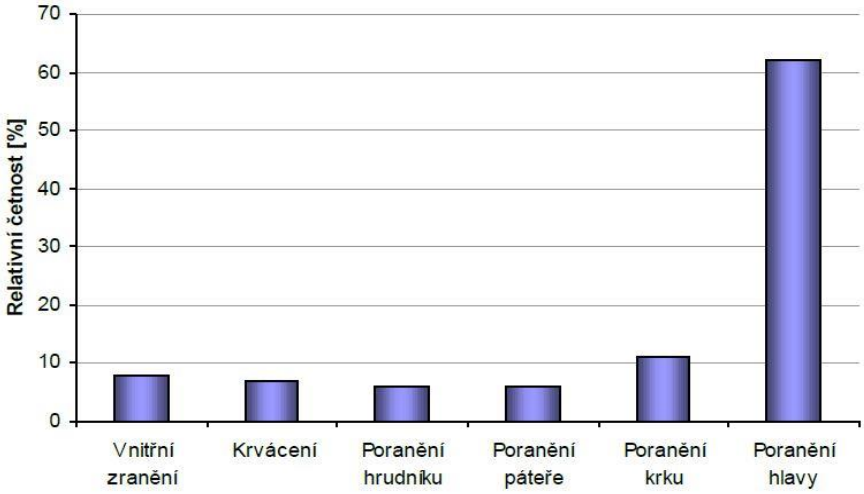
Tvar kapoty nebo náběžné hrany nárazníku může hrát klíčovou roli ve výsledku srážky chodce s vozidlem. Pokud nejsou tyto komponenty vozidla konstrukčně provedeny správně, mohou svým tvarem nepříznivě přispět ke zraněním stehenní kosti či pánve. Závažnost těchto zranění se určí pomocí vyhodnocení ohybových momentů a součtu všech sil působících na impaktor.

Ke stanovení vážnosti zranění právě těchto dvou kostí se používá impaktorů, které jsou podobně jako v případě nárazu dolní končetiny vrženy proti vozidlu rychlostí 40 $km\,h^{-1}$. Postup vyhodnocení je stejný jako v případě nárazu dolní končetiny.

Obr. 2-3 – Znázornění testů s impaktory u typu vozidla vyšší střední třídy [8]

2.2.3.3 Náraz hlavy

Jak si lze všimnout na Obr. 2-4 [9], při dopravní nehodě postihující chodce hrozí největší riziko úrazu právě u hlavy. Z tohoto důvodu je potřeba testům určujícím míru rizika poranění hlavy věnovat zvláštní pozornost.



Obr. 2-4 – Rozdělení poranění chodce při dopravních nehodách [9]

Tyto testy nárazu hlavy spočívají ve vystřelování impaktorů pod stanovenými úhly a rychlostí $40\ km\ h^{-1}$ na kapotu automobilu. K provedení testu se používají se dvě varianty impaktorů, které simulují hlavu dospělého člověka a hlavu dítěte [6]. Tyto impaktory jsou konstrukčně stejné, liší se pouze velikostí a hmotností. Uvnitř všech impaktorů je umístěn akcelerometr, který v tomto případě pomáhá stanovit kritérium HIC (Head injury criterion). Toto kritérium slouží ke stanovení míry pravděpodobnosti vzniku poranění hlavy v důsledku nárazu.

Ke snížení dopadů nárazu používají moderní automobily řadu speciálních technologií. První z nich je tzv. aktivní kapota, která se pomocí mechanických, pneumatických nebo jiných systémů při sražení chodce nadzvedne, čímž se zvětší deformační zóna, a sníží se tím následky nárazu hlavy do kapoty. Další z možností, jak předejít vážným následkům srážky, jsou vnější speciální vnější airbagy. Tento airbag se při detekci srážky nafoukne a poskytne sražené osobě měkký dopad na tuhou kapotu či čelní sklo.

Toto kritérium stejně tak jako více detailů týkajících se tohoto testu bude probráno v následujících kapitolách.

2.3 Hodnocení testů dle Euro NCAP

Společnost Euro NCAP používá pro celkové vyhodnocení bezpečnosti automobilu hvězdičkový systém, kdy mohou nejlepší modely dosáhnout až 5 hvězdiček. Počet těchto hvězdiček odráží, jak dobře si ten který model během testování vedl a dále jaké bezpečnostní systémy výrobce pro daný vůz nabízí. Vysoký počet hvězdiček znamená nejen, že výsledky byly dobré, ale také že bezpečnostní prvky neselhaly a jsou v různých konfiguracích dostupné všem zákazníkům v Evropě.

Hodnocení vozidel dle Euro NCAP funguje jako nadstavba zákonných požadavků na provoz automobilů. Základní rozdíl mezi plněním zákonných požadavků a testováním Euro NCAP je hodnocení výstupu. Nový model automobilu může z hlediska zákonných

předpisů pouze projít či neprojít bez dalšího komentáře úspěšnosti jednotlivých testů. Kdežto při testování dle Euro NCAP jsou uděleny hvězdičky, které motivují výrobce automobilů aby, investovali do vývoje nových bezpečnostních prvků, a tím dosáhli lepšího hodnocení. Pokud by byl otestován vůz, který by splnil zákonné požadavky jen s minimální rezervou, v hodnocení Euro NCAP by neobdržel hvězdičky žádné. Vzhledem k tomu, že se tato organizace stala v posledních letech velmi váženou a respektovanou, je dobré hodnocení vozidel prestižní záležitostí, a hlavně dobrou reklamou. Výrobci automobilů jsou si této skutečnosti vědomi a snaží se navrhovat automobily tak, aby dosáhly co nejvyššího ohodnocení.

Díky stále se vyvíjejícím technologiím jsou testy pravidelně modernizovány a udělený počet hvězd se upravuje k danému období. Tím jsou výrobci automobilů motivování, aby vyvíjeli a instalovali nové a bezpečnější systémy, aby dosáhli přinejhorším stejného počtu hvězdiček jako u minulých modelů. Výsledkem je tedy to, že bezpečnost prvního vozu ohodnoceného pěti hvězdičkami – Renault Laguna 2001 [6] se samozřejmě liší od bezpečnosti modelů, které dosáhly pěti hvězdiček v testovacím roce 2017.

2.3.1 Bodové ohodnocení

Přesné podmínky hodnocení prováděných testů popisuje zkušební protokol Euro NCAP *Assessment Protocol – Overall Rating* v současné verzi 7.0.1 dostupný z [6]. Z tohoto dokumentu vyplývá, že celkové hodnocení je vypočteno na základě skóre dosaženého ve čtyřech oblastech s různým procentuálním zastoupením:

- Ochrana dospělé osoby 40 %
- Ochrana dítěte 20 %
- Ochrana chodců 20 %
- Asistenční systémy 20 %

Pokud si provedeme malý statistický průzkum starších testovacích protokolů týkajících se sledovaných hodnot sloužících k vyhodnocování testů, dojdeme k závěru, že s postupem času se tyto hodnoty stávají přísnějšími a dále se zavádí nové sledované veličiny, které mohou lépe zhodnotit vážnost poranění chodců i cestujících. Příčina stanovení přísnějších limitů je z důvodu motivace výrobců, aby stále posouvali možnosti bezpečnosti automobilů jak pro pasažéry, tak pro chodce.

Zkušební protokol dále uvádí sledované veličiny (zejména hodnoty zrychlení) a jejich přípustné hranice pro udělení bodů v jednotlivých testů popsaných v kapitole 2.2. Jejich celkové uvedení zde zasahuje nad rámec této práce, uvedeny pouze u testu nárazu hlavy, jemuž se budeme detailněji věnovat později.

V poslední době se věnuje veliká pozornost poslední oblasti, tj. asistenčním systémům, díky nimž může dané vozidlo obdržet stejný počet bodů jako například za ochranu dítěte. Toto vysoké bodové ohodnocení je zapříčiněno snahou ovlivnit výrobce automobilů, aby do vozidel instalovali nejnovější bezpečností technologie zabraňující srážce nebo snižující její dopady. Jako příklady těchto asistenčních systémů můžeme uvést monitorování slepého úhlu, asistenta řazení do jízdních pruhů, AEB – automatické brždění, asistenta únavy nebo systémy adaptivního tempomatu.

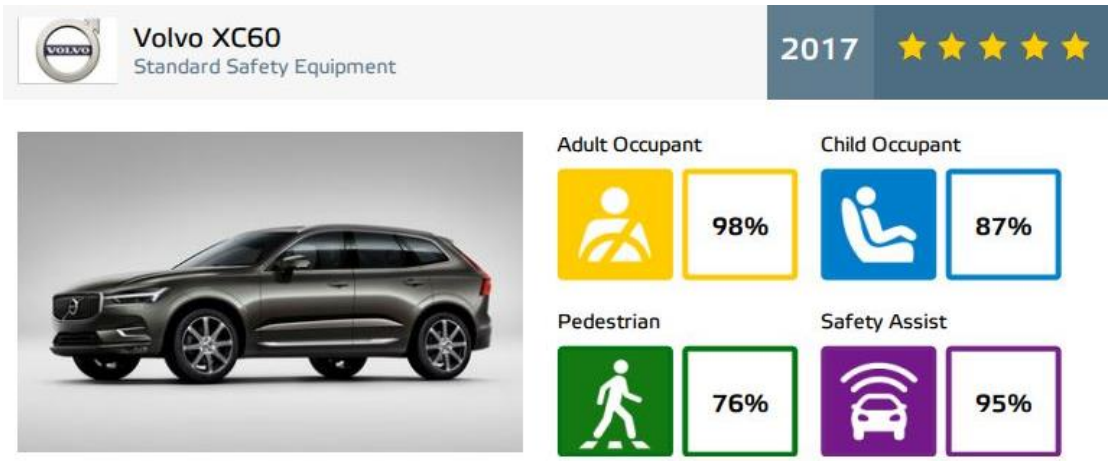
2.3.2 Výsledné hodnocení

V Tab. 3 je uveden obecný základní přehled bezpečnosti automobilů vztažený k dosaženému počtu hvězdiček.

Od roku 2016 se u určitých automobilů může objevit dvojí hodnocení, tzv. Dual Rating. První hodnocení je pro konfiguraci automobilu vybaveného předepsaným stupněm bezpečnostních prvků, dostupného ve všech zemích Evropské unie. Toto hodnocení reflektuje minimální úroveň bezpečnosti, kterou lze od určitého modelu očekávat. Druhé hodnocení je zavedeno se zřetelem na přídavnou bezpečností výbavu automobilu, kterou si může zákazník za příplatek objednat. Tyto příplatkové technologie mohou značně polepšit celkové hodnocení automobilu, a proto toto druhé hodnocení demonstruje, jakého stupně ochrany může vozidlo dosáhnout, pokud jsou tyto asistenční systémy zabudovány ve vozidle. Ne každé vozidlo je testováno dvojím hodnocením, ale pokud je takové hodnocení pro zákazníka dostupné, může být nápomocné k pochopení benefitů dodatečného vybavení vyjádřeného v tomto zvláštním hvězdičkovém systému.

Tab. 3 – Dosažitelná bezpečnost automobilů vzhledem k počtu udělených hvězd [6]

★★★★★	Celkově dobrý výkon v ochraně při nárazu. Automobil je bohatě vybaven asistenčními systémy zabraňující nehodě
★★★★	Celkově dobrý výkon v ochraně při nárazu. Nejsou dostupné všechny asistenční systémy zabraňující nehodě.
★★★	Průměrná až dobrá ochrana cestujících s nedostatečným počtem asistenčních systémů.
★★	Podprůměrná ochrana cestujících s nedostatečným počtem asistenčních systémů.
★	Základní ochrana cestujících bez pomocných asistenčních systémů



Obr. 2-5 – Celkové vyhodnocení automobilu Volvo XC60 [6]

3 Příprava, průběh a vyhodnocení testů nárazu hlavovým impaktorem

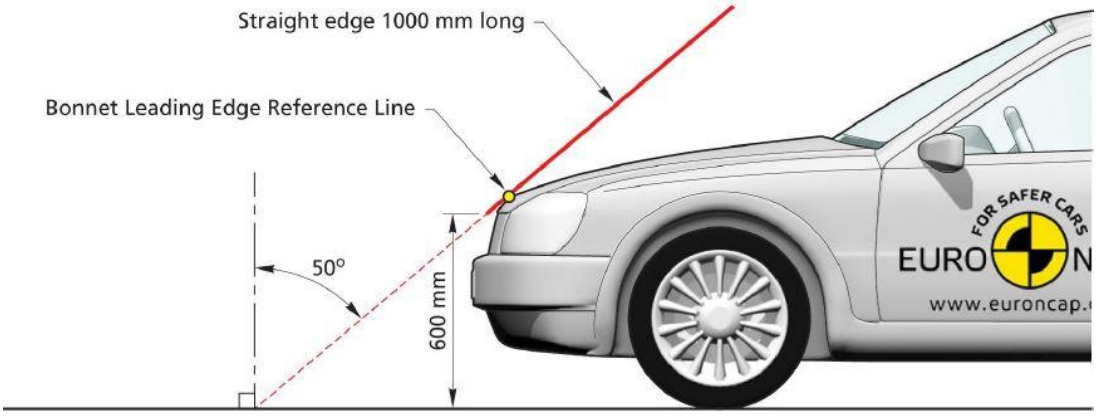
3.1 Definice testovaných oblastí

Abychom mohli v této kapitole postoupit k popsání provedení a průběhu testů nárazu hlavy, je nejdříve zapotřebí vymezit základní oblasti automobilu, v nichž bude testování probíhat. Tyto oblasti jsou definovány v dokumentu *Euro NCAP Pedestrinan Testing Protocol verze 8.4.* [10], který tyto oblasti přebírá z dohody Organizace spojených národů *O přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení, udělených na základě těchto pravidel* [2] vydané v roce 2012.

Dle těchto dokumentů [10] [2] jsou následující oblasti definované následovně:

3.1.1 Vztažná čára náběžné hrany kapoty

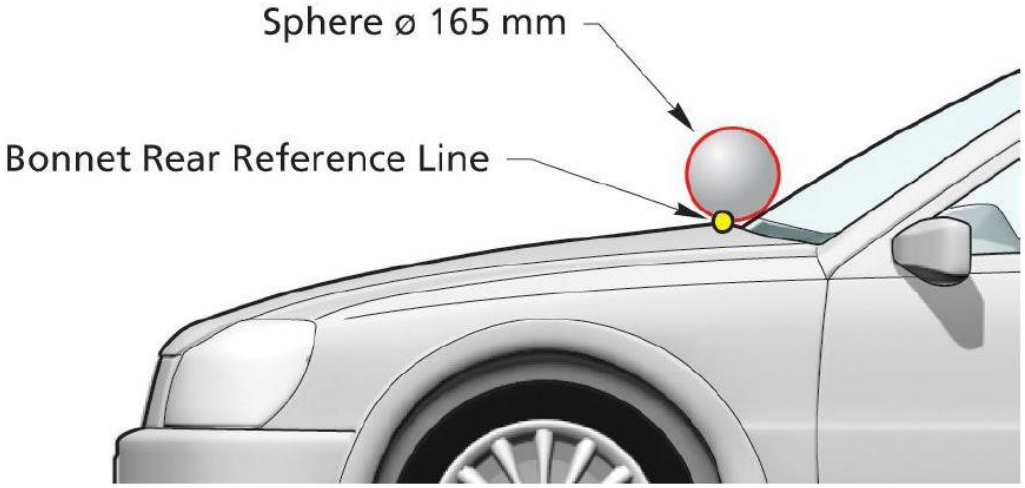
„*Vztažná čára náběžné hrany kapoty znamená geometrické místo bodů dotyku 1 000 mm dlouhého příložného pravítka s předním povrchem kapoty, když se příložným pravítkem udržovaným v poloze rovnoběžné se svislou podélnou rovinou vozidla, skloněným dozadu v úhlu 50° od svislice a s dolním koncem 600 mm nad zemí pohybuje příčně podél náběžné hrany kapoty tak, že se jí stále dotýká*“ [2]. Viz Obr. 3-1.



Obr. 3-1 – Vztažná čára náběžné hrany kapoty [10]

3.1.2 Zadní vztažná čára kapoty

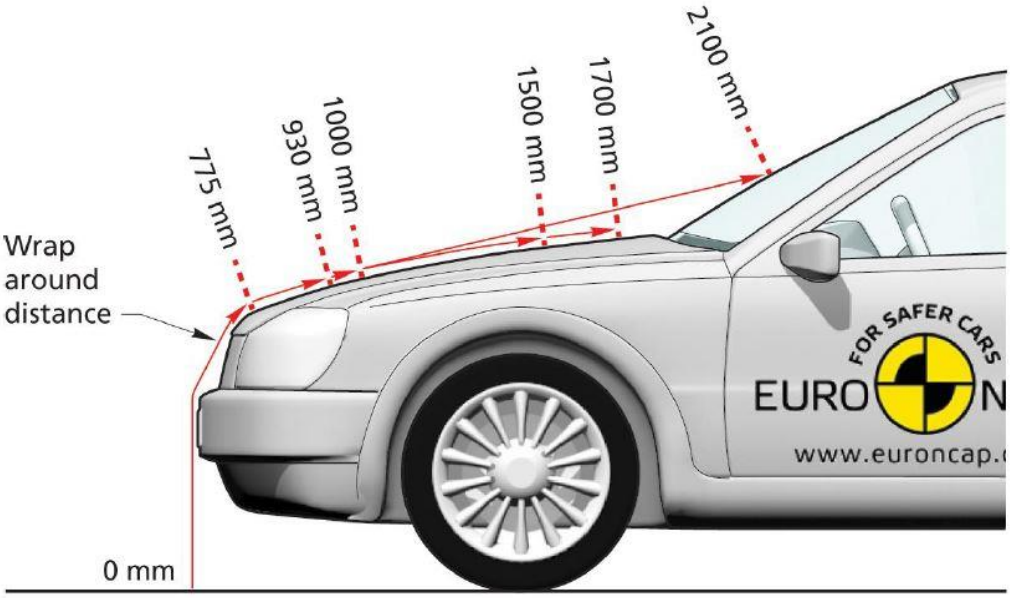
„Zadní vztažná čárá kapoty znamená geometrickou stopu nejvíce vzadu se nalézajících bodů dotyku koule o průměru 165 mm s přední částí karoserie, když se koulí pohybuje napříč přes přední horní povrch tak, že se stále dotýká čelního skla.“ [2]. Viz Obr. 3-2. Při tomto postupu jsou odmontovány lišty a ramínka stěračů.



Obr. 3-2 – Zadní vztažná čára kapoty [10]

3.1.3 Opsaná vzdálenost WAD

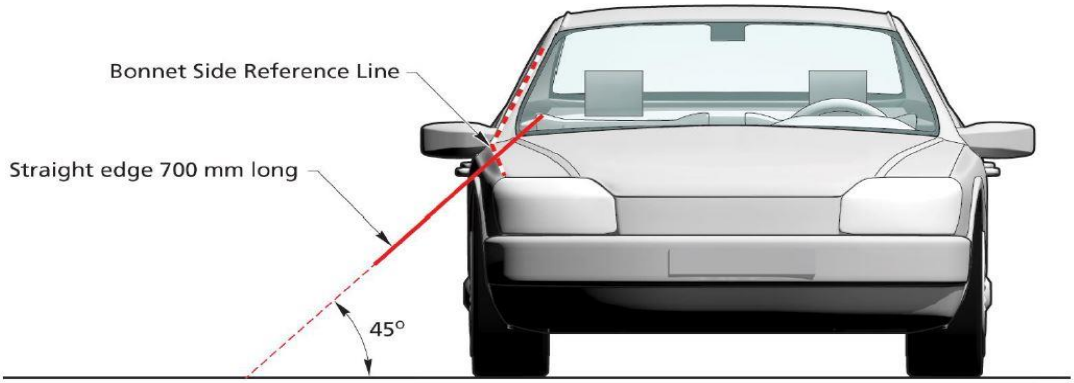
„Opsaná vzdálenost (WAD)“ znamená geometrické místo bodů opsané na předním horním povrchu jedním koncem ohebné pásky udržované ve svislé podélné rovině vozidla a posouvané napříč přední částí konstrukce vozidla. Páska je po celou dobu měření napjatá, přičemž jeden konec se dotýká vztažné roviny země, svisle pod předním čelem nárazníku a druhý se dotýká přední části konstrukce.“ [2]. Viz Obr. 3-3. Vozidlo je při tomto měření uvedeno do normální jízdní polohy.



Obr. 3-3 – Měření opsané vzdálenosti [10]

3.1.4 Boční vztažná čára

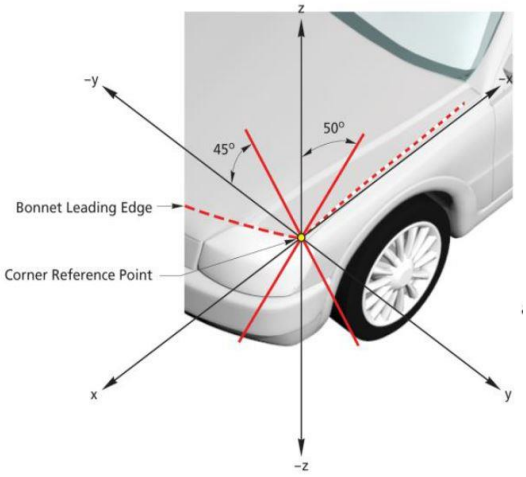
„Boční vztažná čára znamená geometrické místo nejvyšších bodů dotyku příložného pravítka 700 mm dlouhého s boky vozidla, když se příložným pravítkem udržovaným v poloze rovnoběžné se svislou příčnou rovinou vozidla a skloněným v úhlu 45° směrem dovnitř pohybuje podél boku tak, že se stále dotýká boků přední části karoserie.“ [2]. Viz Obr. 3-4.



Obr. 3-4 – Boční vztažná čára [10]

3.1.5 Rohový vztažný bod

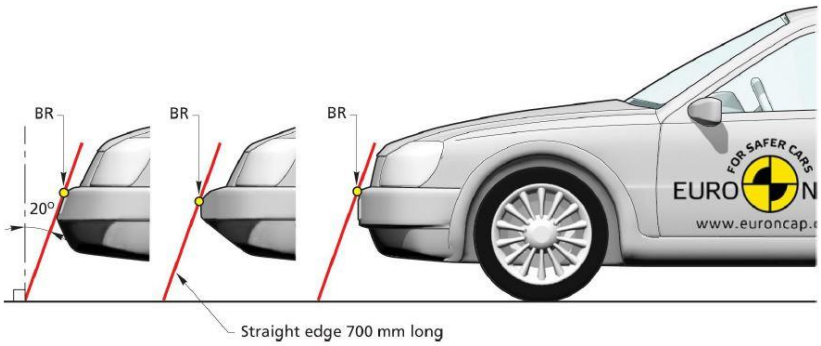
„Rohový vztažný bod znamená průsečík vztažné čáry náběžné hrany kapoty s boční vztažnou čárou kapoty.“ [2]. Viz Obr. 3-5.



Obr. 3-5 – Rohový vztažný bod [10]

3.1.6 Horní vztažná čára nárazníku

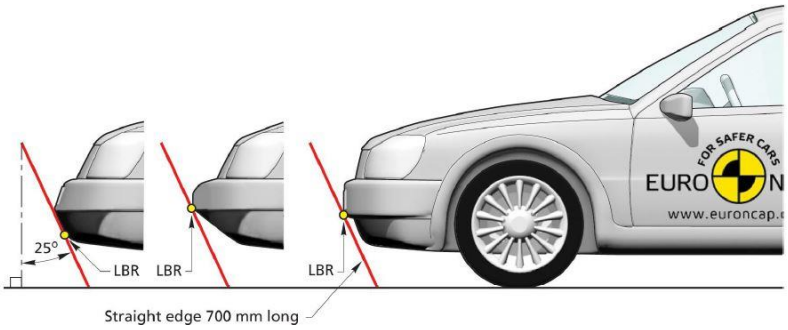
„Horní vztažná čára nárazníku znamená čáru, která vymezuje horní hranici hlavních bodů dotyku chodce s nárazníkem. Je definována jako geometrické místo nejvyšších bodů dotyku nárazníku s příložným pravítkem dlouhým 700 mm udržovaným v poloze rovnoběžné se svislou podélnou rovinou vozidla a skloněným v úhlu 20° od svislice směrem dozadu, kterým se pohybuje příčně podél předku vozidla tak, že se stále dotýká země a povrchu nárazníku“ [2]. Viz Obr. 3-6.



Obr. 3-6 – Horní vztažná čára nárazníku [10]

3.1.7 Dolní vztažná čára nárazníku

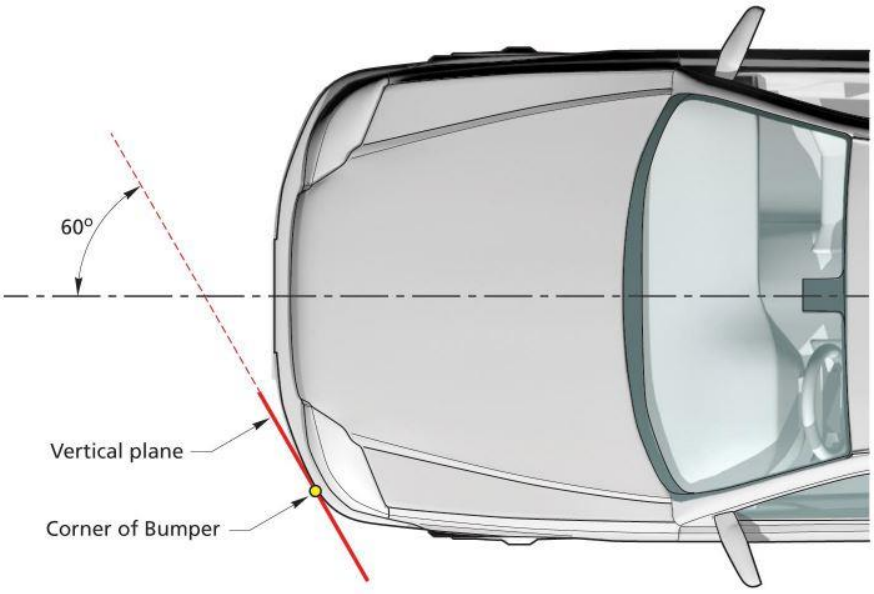
„Dolní vztažná čára nárazníku znamená dolní hranici hlavních bodů dotyku chodce s nárazníkem. Je definována jako geometrické místo nejnižších bodů dotyku nárazníku se 700 mm dlouhým příložným pravítkem udržovaným v poloze rovnoběžné se svislou podélnou rovinou vozidla a skloněným dopředu v úhlu 25° od svislice, kterým se pohybuje příčně podél předku vozidla tak, že se stále dotýká země a povrchu nárazníku“ [2]. Viz Obr. 3-7.



Obr. 3-7 – Dolní vztažná čára nárazníku [10]

3.1.8 Roh nárazníku

Roh nárazníku je geometrický bod dotyku vozidla se svislou rovinou, která svírá úhel 60° se svislou podélnou rovinou vozidla a směřuje tangenciálně k vnějšímu povrchu nárazníku. [10]. Viz Obr. 3-8.



Obr. 3-8 – Určení rohu nárazníku [10]

3.2 Impaktory

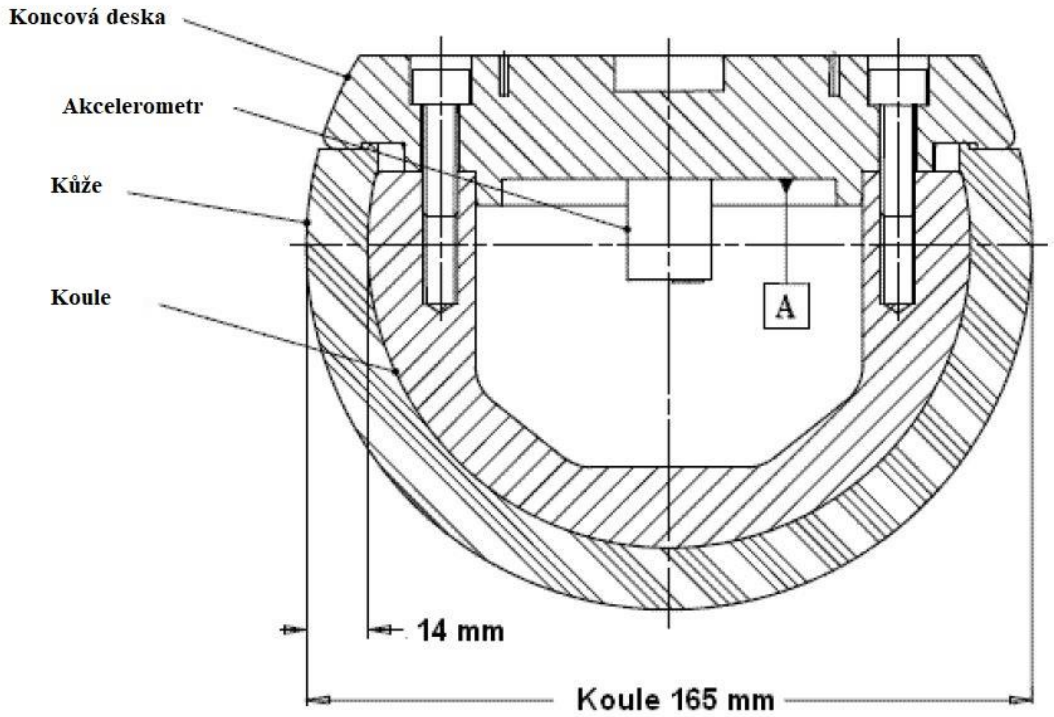
Jelikož by provádění nárazových testů sloužících k vyhodnocení bezpečnosti chodců pomocí figurín simulujících celé lidské tělo bylo obtížné, používají se pro jednotlivé testy části figurín, tzv. impaktory. V následujících odstavci si představíme impaktor hlavy dospělé osoby a dítěte.

Zkušební dokument *Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol* verze 8.4 [10] se při definování obou impaktorů odvolává na *Nařízení Komise (ES) č. 631/2009 ze dne 22. července 2009, kterými se stanoví prováděcí pravidla k příloze I nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 78/2009 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska ochrany chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu* [11]. Obecně se jedná o kulové těleso ze slitiny hliníku, které je pokryté syntetickým potahem napodobujícím kůži. Impaktor hlavy dospělé osoby se od impaktoru hlavy dítěte liší pouze ve velikosti a hmotnosti. Jejich parametry jsou uvedeny v Tab. 4. Těžiště takového nárazového tělesa včetně měřícího zařízení musí ležet ve středu koule. Do výřezu v kouli musí být možno zamontovat jeden tříosý nebo tři jednoosé akcelerometry. Impaktory musí být certifikované v souladu s [11], a to buď před každým nárazovým testem nebo maximálně po každých 20 nárazech, přičemž platnost certifikace platí nejdéle jeden rok od poslední podstoupené kalibrace, nehledě na počet nárazů.

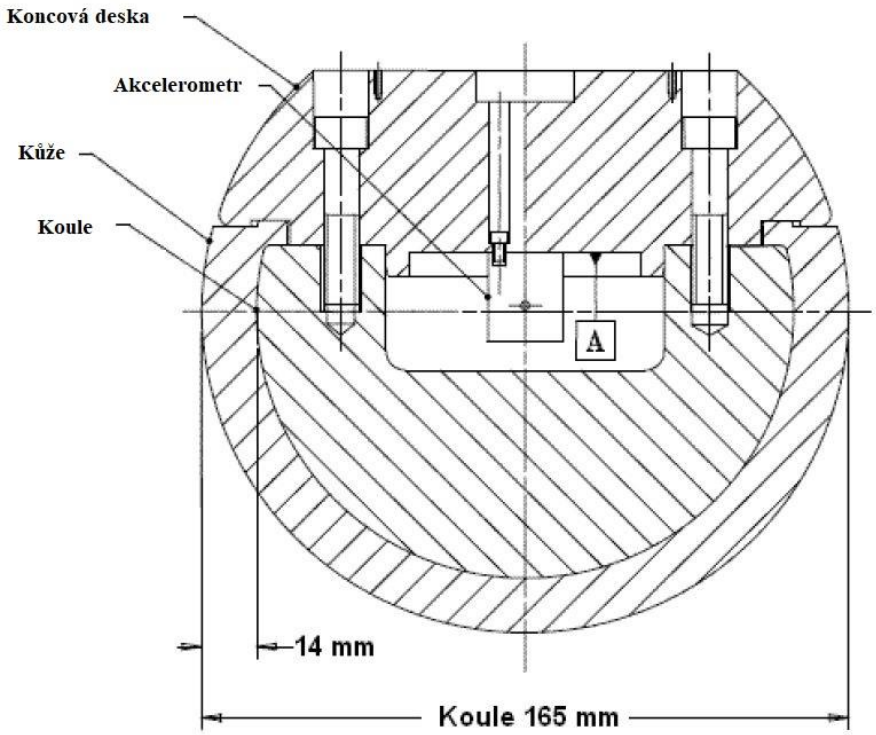
Tab. 4 – Parametry impaktorů dětské hlavy a dospělé osoby [11]

	Impaktor dětské hlavy	Impaktor hlavy dospělé osoby
Hmotnost [kg]	$3{,}5 \pm 0{,}07$	$4{,}5 \pm 0{,}1$[1]
Průměr impaktoru [mm]	165 ± 1	165 ± 1
Tloušťka kůže [mm]	$14{,}0 \pm 0{,}5$	$14{,}0 \pm 0{,}5$
Moment setrvačnosti $[kg \cdot m^2]$	$0{,}008 - 0{,}012$	$0{,}010 - 0{,}013$
Vystřelovací rychlost $[kg \cdot m^{-1}]$	$11{,}1 \pm 0{,}2$	$11{,}1 \pm 0{,}2$
Úhel [°]	50 ± 2	65 ± 2
Tolerance místa dopadu [mm]	± 10	± 10

[1] Platí pro zkoušku nárazem impaktoru dospělé osoby do horního povrchu kapoty. Pro zkoušku nárazem impaktoru dospělé osoby do čelního skla se použije impaktor o hmotnosti 4,8 kg.



Obr. 3-9 – Impaktor dětské hlavy [11]



Obr. 3-10 – Impaktor hlavy dospělé osoby [11]

3.3 Příprava vozidla k testování

Aby mohlo vyhodnocení poskytované bezpečnosti úspěšně proběhnout, je zapotřebí testovaný automobil uvést do stavu, který zaručí přesné a reprodukovatelné výsledky napříč libovolnými testovacími zařízeními. To zahrnuje přípravu automobilu z hlediska pohotovostní hmotnosti, nastavení tlumičů a dalších parametrů. Provedení těchto kroků vede k nastavení vozidla do normální provozní světlé výšky. Všechny záležitosti, které je potřeba splnit, uvádí testovací protokol *Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol* [10], dostupný z [6]. Tento protokol je svým objemem informací rozsáhlý a pro naše potřeby zde budou uvedeny pouze jeho některé části.

Pro správnou přípravu vozidla s ohledem na jeho normální provozní světlou výšku je potřeba zajistit maximální množství paliva v palivové nádrži, které odpovídá údajům dodaných výrobcem. Stejný postup je potřeba aplikovat pro množství oleje a tlaku média v pneumatikách. Další z pokynů uvádí použití 75 kg závaží na sedadlo řidiče a spolujezdce. Pro správné nastavení tlumičů je nutno vozidlo tlačit po zkušebně tam a zpět ve vzdálenosti jeden metr. Tím se zaručí vyrušení vlivů odpružení tlumičů.

Po splnění všech kroků se ověří, zda normální provozní světlá výška, kterou uvádí výrobce, odpovídá skutečnosti. Zjistí se to změřením svislé vzdálenosti od podlahy zkušebny k referenčním bodům na vozidle (např. identifikační značky, díry, povrchy). Tyto vzdálenosti jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci automobilu a se změřenými hodnotami si musí odpovídat v tolerančním intervalu ± 25 mm. Dodržením všech pokynů se zajistí shodná přesnost měření testovaných oblastí pro všechna vozidla a stejně tak identické podmínky pro označení vozidla a měření testovaných veličin.

K dalšímu pokračování je nutné provést označení testovacích oblastí. Pro tento typ testů se vozidlo označí mřížkou, která rozdělí přední část automobilu do oblastí, které se následně vyhodnocují. Dohoda Organizace spojených národů [2] definuje zkušební oblast nárazu makety hlavy dospělé osoby a dítěte následovně[2]:

Zkušební oblast je na vnějším čelním povrchu kapoty a je ohraničena:

a) Vpředu opsanou délkou (WAD) 1 700 mm (1 000 mm) nebo čárou, která je o 82,5 mm směrem dozadu od vztažné čáry náběžné hrany kapoty, podle toho, co je nejvíce vzadu při dané postranní poloze.

b) Vzadu opsanou délkou (WAD) 2 100 mm (1 700 mm) nebo čárou, která je vzdálena o 82,5 směrem dopředu od zadní vztažné čáry kapoty, podle toho, co je nejvíce vpředu při dané postranní poloze.

c) Na každém boku čárou, která je o 82,5 mm směrem dovnitř od boční vztažné čáry.

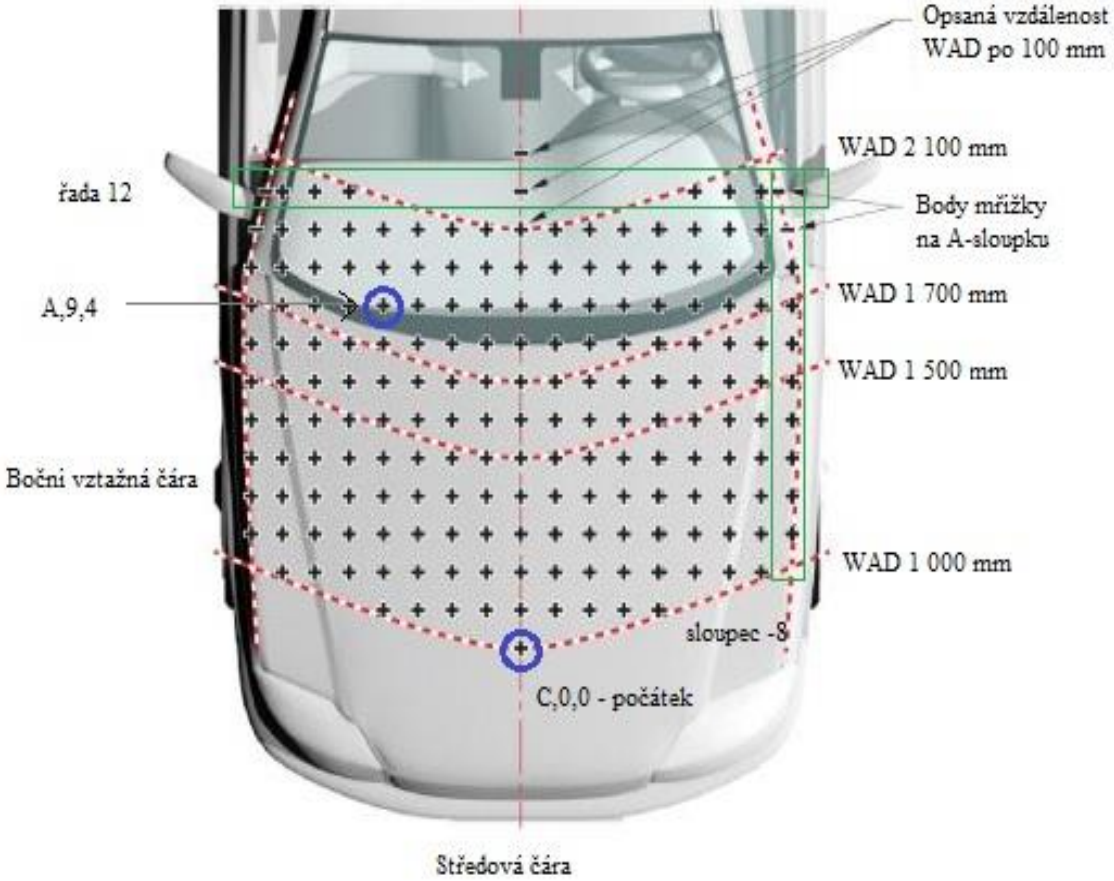
Vzdálenost 82,5 mm se určí ohebným páskem drženým v napjatém stavu na vnějším povrchu vozidla.

Zkušební protokol *Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol* [10] dále uvádí postup pro vytvoření mřížky. V oblasti definované výše se postupně vyznačí body mřížky na středové čáře s intervalem 100 mm. V každém tomto bodě středové čáry se dále vyznačí

[2] Oblasti jsou definované stejně, liší se pouze v hodnotách WAD. Hodnoty opsané vzdálenosti pro zkušební oblast nárazu impaktoru hlavy dítěte jsou uvedeny v závorkách.

body mřížky v obou stranových směrech opět s intervalem 100 mm až po boční vztažné čáry. Tyto intervaly se měří vodorovně v boční svislé rovině a bod mřížky se promítne svisle na povrch kapoty. K označení bodů nacházejících se na A-sloupcích se použije průsečík boční svislé roviny s boční vztažnou čárou pro každou hodnotu opsané vzdálenosti.

Dodržením tohoto postupu nám vznikne síť bodů, ve kterých můžeme provádět testování. Pro lepší názornost je na Obr. 3-11 tato síť vyobrazena.



Obr. 3-11 – Rozdělení kapoty do testovacích oblastí [10]

Pro práci se sítí testovaných bodů je zaveden následující identifikační systém. Body dopadu impaktoru simulujícího dětskou hlavou se značí s předponou „C“ hlava dospělého předponou „A“. Mřížka bodů je rozdělena pomocí řádků a sloupců. Počátek tohoto systému je na průsečíku WAD 1 000 mm a středové čáry. První řádek má hodnotu souřadnice 0, následující řádky jsou označeny o jednu hodnotu více ve smyslu nárůstu WAD. Středová čára má hodnotu sloupce 0. Sloupce napravo od středové čáry (z pohledu řidiče) nabývají kladných hodnot souřadnic opět s krokem jedna počínajíc od hodnoty nula. Sloupce nalevo od středové čáry nabývají hodnot záporných opět s krokem jedna. Příklad zapsání jednoho z testovaných bodů mřížky vypadá následovně: $A, 9, 4$. Znamená to tedy, že se jedná o náraz hlavy dospělého do opsané vzdálenosti WAD 1 900 mm 4. sloupec napravo od středové čáry (z pohledu řidiče). Systém označení je možno si prohlédnout na Obr. 3-11.

3.4 Bodové ohodnocení testů nárazu hlavy

3.4.1 HIC kritérium

HIC = Head Injury Criteria

Jedná se o nejčastěji používané kritérium pro posuzování vážnosti zranění hlavy. Vstupními hodnotami tohoto kritéria jsou časové průběhy akcelerometrů změřené v těžišti impaktoru. Výsledná hodnota tohoto kritéria je vypočtena z následujícího vzorce [2]:

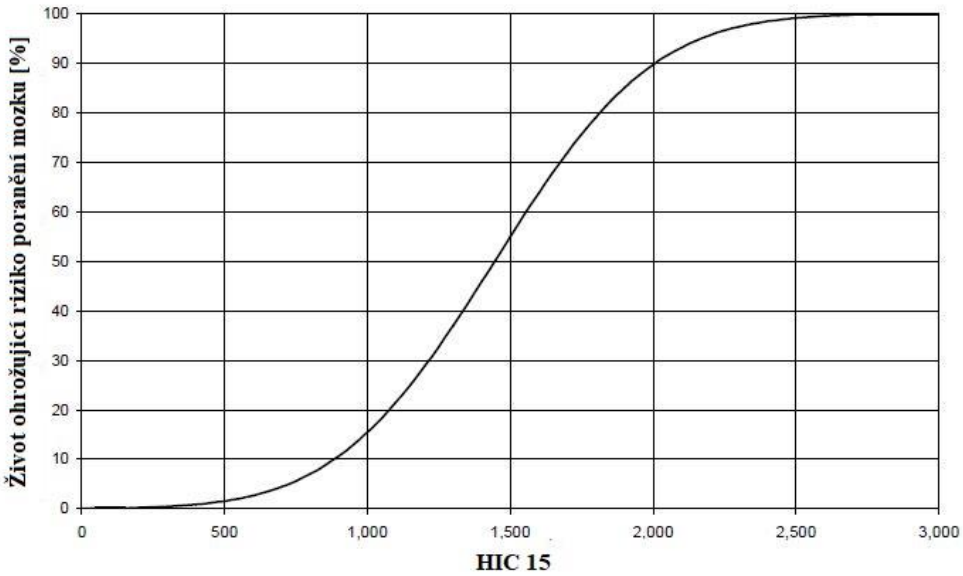
$$HIC_{15} = \left[\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} a_r \cdot dt\right]^{2,5} \cdot (t_2 - t_1) \tag{3.1}$$

kde „a“ je výsledné zrychlení měřené v jednotkách gravitace „g“ ($1 \cdot g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$) a určí se jako geometrický součet zrychlení působící na impaktor ve všech směrech

$$a_r = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \tag{3.2}$$

Veličiny „$t1\ a\ t2$“ jsou dva časové okamžiky (vyjádřené v sekundách) v průběhu nárazu, určující interval mezi počátkem a koncem doby záznamu, ve kterém je hodnota HIC maximem, obvykle 15 ms.

Závažnost poranění se odvíjí od velikosti hodnoty HIC. Tato závislost je uvedena na Obr. 3-12, který byl přebrán z dokumentu EEVC WG17 [7]. Nejlépe by HIC v žádném místě kapoty nemělo přesáhnout hodnotu 1000, což podle [7] představuje 15 % poranění hlavy ohrožující život.



Obr. 3-12 – Závislost pravděpodobnosti závažného zranění hlavy na hodnotě HIC_{15} [7]

Zkušební protokol *Euro NCAP Assessment Protocol – Pedestrian Protection v 9.0.2* [12] rozděluje testované oblasti podle dosažené hodnoty HIC do kategorií označených barvami následovně:

Tab. 5 – Udělení bodů v závislosti na hodnotě HIC [12]

Barva	Zelená	Žlutá	Oranžová	Hnědá	Červená
HIC_{15}	$HIC_{15} < 650$	$650 \leq HIC_{15} < 1000$	$1000 \leq HIC_{15} < 1350$	$1350 \leq HIC_{15} < 1700$	$1700 \leq HIC_{15}$
Body	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00

Organizace Euro NCAP disponuje více zkušebními zařízeními, kde mohou probíhat zkoušky. Aby byla zaručena porovnatelnost výsledků mezi těmito zkušebnami byla zavedena toleranční pásma hodnot HIC. Velikost této tolerance je 10 % a aplikuje se oběma směry.

3.4.2 Vyhodnocení testu nárazu hlavy

Aby mohlo dojít k vyhodnocení poskytované bezpečnosti garantované chodcům je zapotřebí, aby výrobce vozidla poskytl předpokládané hodnoty výsledků, které se po testovaní porovnají. Výrobce má možnost označit určitý počet bodů modrou barvou, ve kterých se nedají zjistit předpokládané hodnoty. Takto označená místa budou vždy testována. Maximálně může být ohodnoceno 24 bodů mřížky nárazem hlavy z testovací oblasti kapoty. Každý z těchto bodů může být ohodnocen maximálně jedním bodem při dosažení hodnoty HIC_{15} <650. Pokud bude výkon horší, bodové ohodnocení se snižuje dle Tab. 5. V nejlepším případě tedy může být za zkoušky nárazu hlavy uděleno 24 bodů.

K celkovému posouzení bezpečnosti chodce se dále provádějí testy nárazu dolní končetiny a stehenní kosti. V každé z těchto dvou oblastí může být uděleno maximálně 6 bodů, což znamená, že je k dispozici maximálně 36 bodů k určení celkové bezpečnosti, kterou může automobil vzhledem k chodci vykazovat (bez vyhodnocení funkčnosti automatických brzdných systémů AEB)

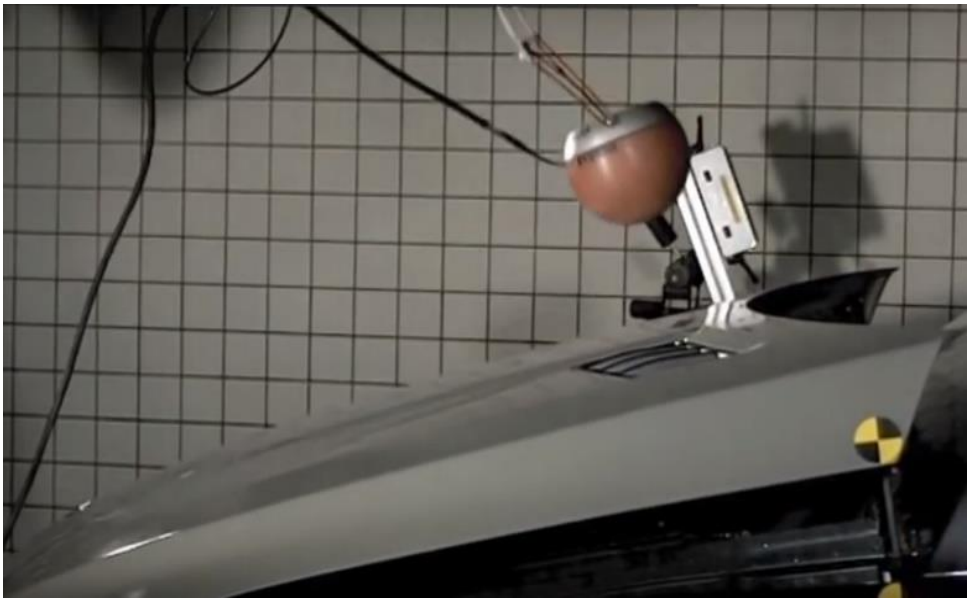
Pro názornost zde uvádíme výsledky testů k posouzení ochrany chodce při střetu s automobilu Volkswagen Areon, který se stal vítězem kategorie vyšší střední třída v roce 2017. Tento vůz je z hlediska bezpečnosti vzhledem k chodci celkově na 85 %. Grafické znázornění výsledků je možno vidět na Obr. 3-13. Tento automobil obstál velice dobře v oblasti ochrany dolní končetiny a stehenní kosti, kde získal maximální počet bodů. Za ochranu hlavy tento vůz získal 19 bodů z 24 možných [6].

Obr. 3-13 – Výsledky testů k vyhodnocení poskytované ochrany chodce vozu VW Arteon [6]

4 Zkušební zařízení pro zkoušky nárazu hlavy

Tato zařízení slouží k provádění zkoušek určených k posouzení bezpečnosti chodců. Jejich úkol spočívá v zajištění zrychlení impaktoru na požadovanou dopadovou rychlost a vytyčení směru letu vůči kapotě vozidla. Zařízení mohou fungovat na různých principech, ale nejčastěji se používá hydraulické, mechanické nebo pneumatické urychlení impaktorů. Po provedení výstřelu je nutné neustále, v reálném čase sbírat měřená data ze snímačů umístěných v impaktorech. To je zajištěno svazákem vodičů. Impaktor je dále k rameni vystřelovacího zařízení připevněn ocelovým lankem, které zajišťuje omezení pohybu impaktoru po odrazu od kapoty automobilu, jak je možno vidět na Obr. 4-1 – Zkouška nárazu hlavy do kapoty vozidla .

Jak již bylo uvedeno v Tab. 1 konsorcium Euro NCAP může provádět nárazové zkoušky automobilů v různých akreditovaných zkušebnách. Tyto zkušebny a zejména zařízení, na kterých jsou zkoušky prováděny, musí splňovat požadavky Euro NCAP a vládních institucí. Například Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 78/2009, směrnice EEVC WG17 a Globální technické regulace č.9 vydávané Organizací spojených národů. Kromě těchto požadavků jsou jde i přísnější nároky na testování, které kladou spotřebitelské testy Euro NCAP. V současné době se na území České republiky nenachází žádné testovací zařízení, které je zařazené do programu Euro NCAP, i přes to se u nás nachází zařízení sloužící zejména k provádění testů k určení bezpečnosti garantované chodcům.



Obr. 4-1 – Zkouška nárazu hlavy do kapoty vozidla [13]

4.1 Zkušebna Chrastava

První z těchto zařízení provozuje firma Aurel CZ, s.r.o. v severočeské Chrastavě. Toto zařízení od francouzské firmy BIA je schopno provést testy nárazu dolní končetiny, impaktoru stehenní kosti a nárazu hlavy. Podle informací firmy Aurel se jedná o první zařízení tohoto typu ve střední a východní Evropě a je schopno provádět zkoušky dle protokolů Euro NCAP [14].

Jedná se o hydraulicky poháněný systém s uzavřenou smyčkou kontroly, která umožnuje vysoce přesné řízení rychlosti letu impaktorů. Děje se tak pomocí zpětné vazby řízení prostřednictvím speciálního kalibračního akcelerometru, který je umístěný na spouštěcí pístnici. Tato zpětná vazba řízení je schopna upravit spouštěcí zrychlení impaktoru v reálném čase, čímž zajištuje, že systém není náchylný na ovlivňování vnějšími podmínkami při testování. Tolerance rychlosti výstřelu impaktoru je $\pm$ 0,5 %. Další z vlastností, kterou toto zařízení vyniká, je dosahovaná přesnost výstřelu. Ta je zaručena automatickým řídícím softwarem, který provádí kompenzace k zajištění požadované nárazové rychlosti a úhlu výstřelu. K tomu bere v potaz zakřivení trajektorie letu impaktoru vlivem gravitace, skutečný tvar impaktoru a úhel povrchu, na který se střílí. Tolerance dopadu impaktoru je dle výrobce $\pm\ 5mm$.

Ke snadnému použití tohoto zařízení dále přispívá jeho jednoduché pozicování a nastavování. Díky širokému spektru pohybů v osách je dosaženo vysoké míry mobility, která může být při testování různých typů automobilů vyžadována. Pohybu ve svislé, boční a podélné rovině je dosaženo pomocí asynchronního elektromotoru napojeného na systém kuličkových šroubů a posuv na těchto šroubech je měřen elektronickým snímačem. Rotace suportu kolem svislé osy je umožněna v širokém rozmezí úhlů (více než 180°). To umožnuje provádět testy na obou stranách zařízení. Zkušební technik si může pomocí řídícího softwaru nastavit přesné polohování, aby došlo k otestování požadované oblasti kapoty vozidla. K vypuštění impaktoru v okamžiku výstřelu slouží spojovací zařízení operující s pomocí elektromagnetu. Tento upínací systém impaktoru k rameni zařízení je deaktivován ve správném okamžiku tak, aby došlo k zásahu na správném místě a určenou rychlostí. S použitím výkonnějšího servo-hydraulického vystřelovacího mechanismu BHIA 150 je toto zařízení schopno vystřelit impaktor vážící až 20 kg rychlostí do 45 $km \cdot h^{-1}$ [15].

Obr. 4-2 – Vystřelovací zařízení od firmy BIA s vystřelovacím mechanismem BHIA 150 [14]

Používáním přídavných zařízení, jako vysokorychlostní kamery, vzduchová plošina pro transport zkušebního vozu a obecně kompletní vybavenosti, poskytuje tato zkušebna zázemí domácím výrobcům automobilů, kteří zde provádějí své interní zkoušky sloužící k vyhodnocení bezpečnosti vozidel ještě před legislativními či spotřebitelskými testy.

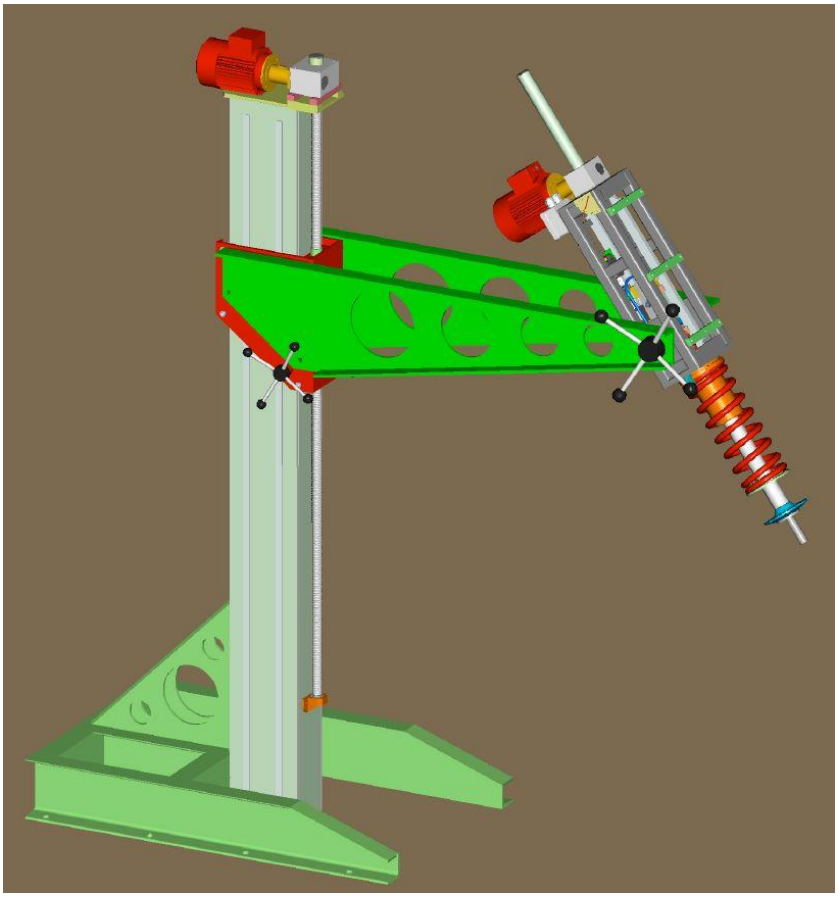
4.2 Zkušební zařízení v laboratořích ČVUT

Ve zkušebních laboratořích pražského ČVUT se nachází další zařízení sloužící k provádění všech testů s impaktory. Toto zařízení bylo sestaveno podle návrhu Ing. Jiřího Zejdy a na základě jeho diplomové práce *Návrh zařízení na testování přední části automobilu pomocí impaktoru dle metodiky EEVC WG 17* [9]. Tato diplomová práce byla sepsána v roce 2003, tedy v době, kdy testy určené k vyhodnocení bezpečnosti chodců ještě nebyly povinné a zkušebních zařízeních bylo v celém světě poskrovnu, v České republice žádné. Z toho důvodu měl autor málo poznatků o konstrukci podobných zařízení a jedinými vodítky ke koncepčnímu návrhu zařízení byly fotografie nalezené ve volně publikovaných materiálech. Návrh konstrukce tedy byl tedy limitován pouze funkčními a legislativními požadavky EEVC WG17.

4.2.1 Základní návrh konstrukce zařízení

4.2.1.1 Konstrukční varianta STANDARM

Od počátku se uvažovalo o realizaci jednoduššího typu zařízení. Jeho hlavní výhoda spočívá v jednoduchosti a finanční nenáročnosti, tento typ konstrukce totiž neumožnuje posuv v boční rovině. Ten měl být nahrazen posuvem automobilu. Zařízení se skládá



Obr. 4-3 – Konstrukční varianta STANDARM [9]

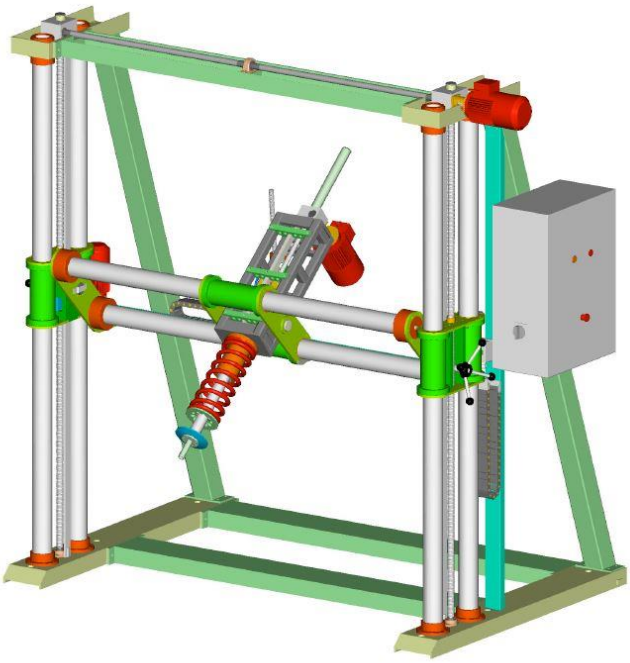
z vystřelovací hlavy, která je rotačně připevněná na rameni, to se může svisle posouvat po vodicím sloupu zařízení pomocí lineárního pohonu. Vodicí sloup je připevněn k podlaze zkušebny napevno, aby rám zařízení byl co nejtužší a dobře odolával rázům a ohybovým momentům vznikajícím při výstřelů impaktorů. Tato varianta konstrukce však byla nakonec zamítnuta z důvodu chybějícího bočního posuvu. Ukázalo se, že při testování na různých bodech kapoty vozidla, by bylo časově příliš náročné provádět boční pohyb automobilem.

4.2.1.2 Konstrukční varianta PORTAL

V této variantě konstrukce je vystřelovací hlava otočně uložena na pomocném rámu, který se skládá ze dvou pomocných vodicích tyčí a ložiska závitové tyče sklápěcího mechanismu. Tato sestava pomocného rámu umožnuje horizontální boční posuv vystřelovací hlavy. Tato sestava pomocného rámu je svisle vedena pomocí čtyř kluzných tyčí, které jsou mezi sebou propojeny v jeden celek. Celý rám je opět pevně připevněn k podlaze. K tomu abychom dosáhli vyšší tuhosti konstrukce, jsou použity zadní vzpěry zajišťující stabilitu a pevnost celého rámu.

Pohyb vystřelovacího mechanismu ve svislém i podélném směru umožňují lineární pohony. Pohyb pomocného rámu ve svislém směru se musí odehrávat souběžně na obou stranách kluzných tyčí. Pokud by tomu tak nebylo, mohlo by dojít ke vzpříčení, a tím poškození zařízení. Současného pohybu je dosaženo použitím dvou převodovek propojených hřídelem, přičemž k elektromotoru je připojena pouze jedna z nich.

Zařízení se skládá z velikého množství komponent, které plní různé funkce. Popsání funkcí všech komponent by přesahovalo rámec této bakalářské práce, a proto se omezíme pouze na představení nejdůležitějších komponent a vysvětlení jejich funkce.



Obr. 4-4 – Konstrukční varianta PORTAL [9]

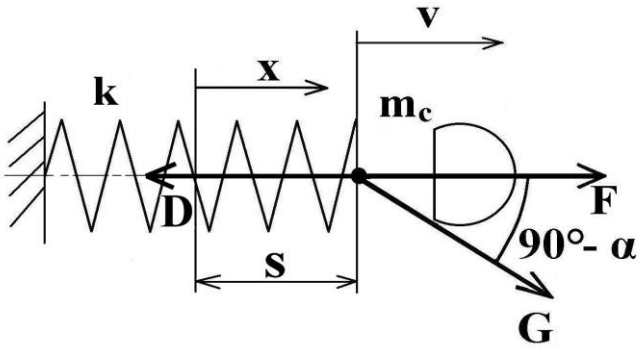
4.2.2 Vystřelovací hlava

Z důvodů konstrukčních a ekonomických byl zvolen mechanický princip urychlení impaktoru pomocí šroubovité pružiny. Její výhodou jsou poměrně snadné matematické výpočty pomocí vztahů z pružnosti a pevnosti a dynamiky, které lze použít k určení potřebných rozměrů. Mezi hlavní požadavky na pružinu patří její tuhost, která v kombinaci s jejími rozměry musí vyvinout dostatečnou energii, jež zaručí, že i nejtěžší impaktor dosáhne z klidu rychlosti $40\ km \cdot h^{-1}$ na dráze cca 0,25 metrů [9].

Základním rozměrem, ze kterého vycházejí další výpočty, je volná délka pružiny, jejíž velikost se odvíjí od maximálního dovoleného stlačení. Z ekonomického hlediska je snaha, aby tato volná délka byla co možná nejkratší. Autor po zvážení všech okolností zvolil hodnotu maximálního dovoleného stlačení při minimálním úhlu výstřelu $s_{max} = 200\ mm$ [9]. K vyjádření tuhosti pružiny musíme dále znát hmotnost, kterou je zapotřebí urychlit. Autor vycházel z hmotnosti nejtěžšího impaktoru (stehenní kosti), který váží 15 kg. K této váze je nutno připočíst hmotnost nosiče impaktoru, která byla odhadnuta na 6 kg. Celková maximální hmotnost tedy je 21 kg.

Při výpočtu tuhosti vystřelovací pružiny se vyjde z dynamické rovnice rovnováhy, kterou sestavíme dle následujícího schématu (Obr. 4-5):

$$D = F + G \cdot \cos(90° - \alpha) \tag{4.1}$$



Obr. 4-5 – Schéma k určení tuhosti pružiny vystřelovací hlavy [9]

Po dosazení setrvačné síly $D = m \cdot \ddot{x}$ a síly pružiny $F = k \cdot \Delta x = k \cdot (s - x)$ a úpravě:

$$m \cdot \ddot{x} = k \cdot (s - x) + G \cdot \cos(90° - \alpha) \tag{4.2}$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} \cdot x - \frac{k}{m} \cdot s - g \cdot \cos(90° - \alpha) = 0 \tag{4.3}$$

kde:

$$\ddot{x} = a_x = \frac{dv_a^2}{2 \cdot dx}$$

Po úpravě na integrální tvar a dosazením mezí integrace:

$$\int_0^{v_A} dv_A^2 = 2\int_0^s \left[\frac{k}{m}\cdot s + g\cdot\cos(90° - \alpha) - \frac{k}{m}\cdot x\right] dx \tag{4.4}$$

Po integraci této rovnice a úpravách dostaneme konečný tvar dynamické rovnice rovnováhy ve tvaru:

$$v = \sqrt{s\cdot\left[\frac{k}{m}\cdot s + 2\cdot g\cdot cos(90° - \alpha)\right]} \tag{4.5}$$

Tab. 6 – Tabulka proměnných rovnice (4.5)

v	s	k	m	g	α
Rychlost výstřelu $[m\cdot s^{-1}]$	Velikost stlačení pružiny $[m]$	Tuhost pružiny $[N\cdot m^{-1}]$	Celková hmotnost $[kg]$	Tíhové zrychlení $[m\cdot s^{-2}]$	Úhel výstřelu [°]

Při uvažování výstřelu nejtěžšího impaktoru stehenní kosti o hmotnosti 15 kg pod úhlem $\alpha_v = 10°$ (lze zredukovat na hodnotu 0°) rychlostí $v = 11{,}11\ m\cdot s^{-1}$ přejde rovnice na tvar:

$$v = \sqrt{s^2\cdot\frac{k}{m}} \tag{4.6}$$

který lze upravit:

$$k = \frac{v^2}{s_{max}^2}\cdot m_C \tag{4.7}$$

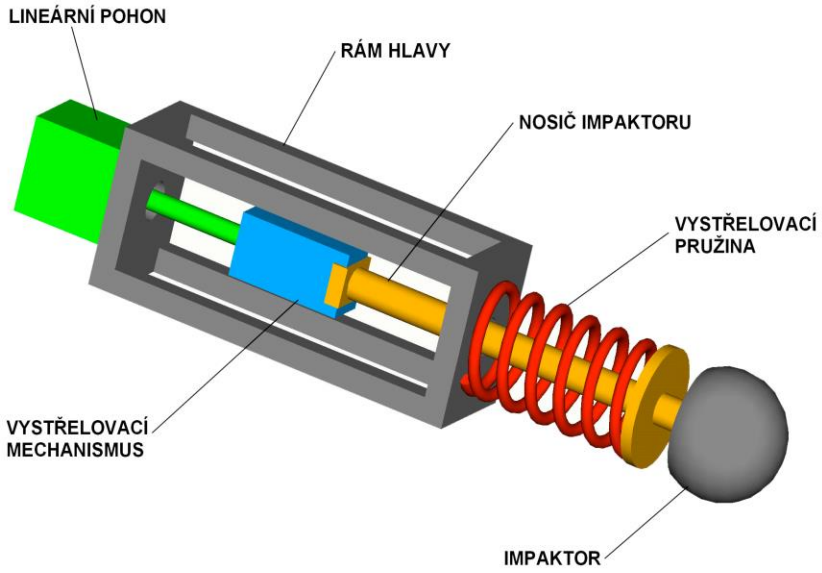
Po dosazení hodnot lze určit výslednou tuhost pružiny:

$$\boldsymbol{k = 64\,800\ N/m}.$$

Při použití konečného tvaru dynamické rovnice rovnováhy a dosazení hmotností impaktorů lze spočítat velikost stlačení pružiny pro jednotlivé impaktory, aniž bychom brali v potaz vliv gravitace. Pro test nárazu impaktorem hlavy dospělé osoby je tato hodnota **140 mm** a impaktorem dětské hlavy **133 mm**.

Původní hodnoty stlačení pružiny 143 mm pro impaktor hlavy dospělé osoby a 126 mm pro impaktor dětské hlavy, které ve své diplomové práci stanovil Ing. Zejda, se od našich hodnot liší. Je tomu z důvodu předepsané hmotnosti impaktorů dle [11], která se od roku 2003, v němž bylo zařízení navrženo, změnila. Tyto vypočtené hodnoty jsou pouze teoretické a mohou se od skutečných lišit řádově o jednotky milimetrů. Tato chyba může nastat v důsledku nepřesného určení hmotnost nosiče impaktoru a odchylkou tuhosti

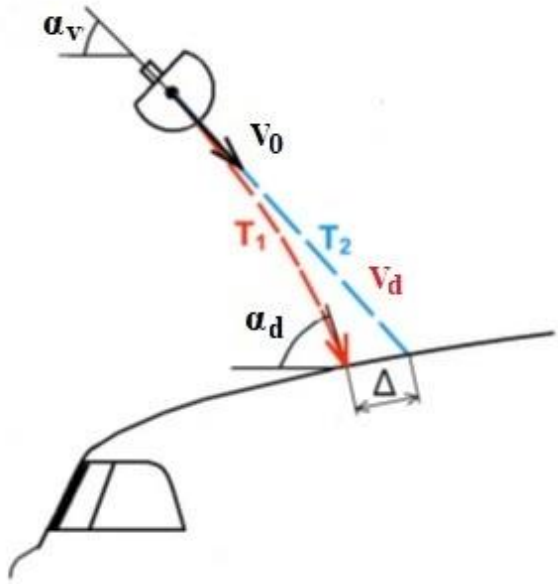
pružiny vzniklé při výrobě. Pro zjištění skutečných hodnot stlačení pružiny pro různé impaktory je zapotřebí provést zkušební výstřely, při kterých se proměří vystřelovací rychlost impaktoru, podle niž se pak zkoriguje stlačení pružiny.



Obr. 4-6 – Rozvržení dílů vystřelovací hlavy [9]

5 Kinematika impaktorů

Pro provedení testů s impaktory je zapotřebí brát v potaz trajektorii, po které se budou impaktory po vystřelení zkušebním zařízením pohybovat. Po fázi urychlení a odpoutání impaktoru od testovacího stroje následuje fáze volného letu. V této fázi je trajektorie impaktoru ovlivněna tíhovým zrychlením, a tím může dojit k rozdílu mezi úhlem a rychlostí výstřelu a úhlem a rychlostí dopadu impaktoru na kapotu vozidla. (viz Obr. 5-1). Podle současných testovací protokolů společnosti *Euro NCAP Pedestrian testing protocol verze 8.4* [10] je nutné brát při testování efekt tíhového zrychlení v potaz.



Obr. 5-1 – Trajektorie letu hlavového impaktoru [9]

K tomu abychom dokázali určit účinek tíhového zrychlení na průběh zkoušky, provedeme kinematický výpočet šikmého vrhu impaktoru s následujícími předpoklady. Impaktor budeme považovat za hmotný bod bez fyzických rozměrů. Tento předpoklad si můžeme dovolit použít z důvodu umístění akcelerometrů v těžišti impaktoru. Druhý předpoklad je zanedbaní vlivu odporu vzduchu. Tato skutečnost plyne z předcházející úvahy a zároveň, i kdybychom brali v potaz rozměry impaktoru, rychlosti, jimiž se impaktor pohybuje, jsou relativně nízké, tudíž by se tento odpor projevil minimálně. Posledním předpokladem jsou malé vzdálenosti, při kterých bude zkouška probíhat. Kinematické řešení, které si představíme v následujících odstavcích, sice platí obecně, ale pro části jeho řešení jsou tyto malé vzdálenosti předpokládány. Toto zjednodušení si můžeme dovolit, jelikož skutečné zkoušky se také provádějí ve vzdálenosti do jednoho metru.

K výpočtu budeme používat hodnoty, které jsou zadané ze zkušebních protokolů a rozvržení zkoušky. Mezi tyto parametry patří: dopadová rychlost, úhel dopadu, hmotnost impaktoru, velikost stlačení pružiny pro urychlení impaktoru, úhel sklonu kapoty, svislá vzdálenost impaktoru od kapoty automobilu a tíhové zrychlení.

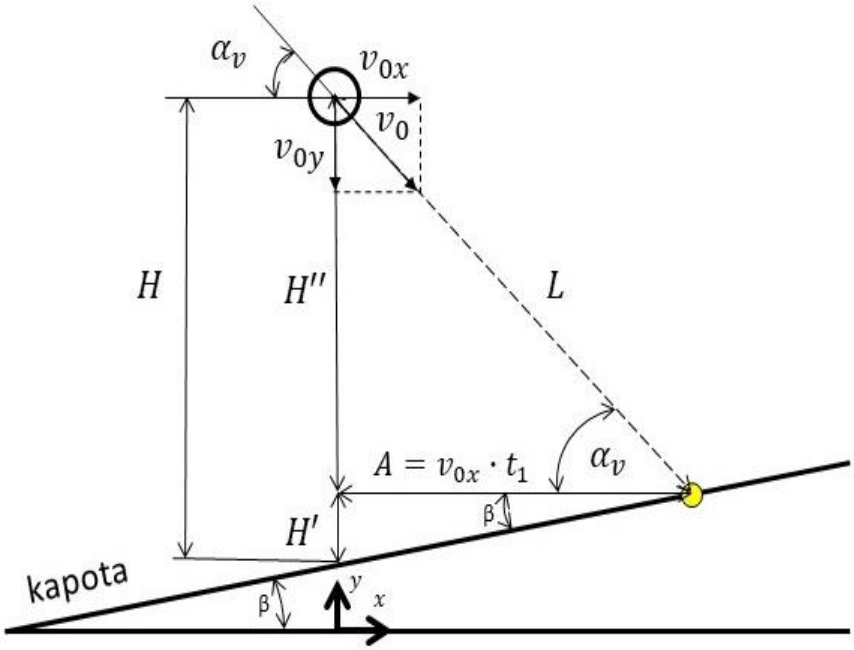
Výstupem těchto výpočtů budou hodnoty korekcí vstupních veličin, které svou velikostí zaručí počáteční podmínky testu tak, aby při dopadu impaktoru na kapotu automobilu byly dodrženy předepsané hodnoty dopadové rychlosti, úhlu a místa dopadu.

5.1 Kinematické výpočty

Výpočet korekcí je založen na porovnání dopadové rychlosti a vzdálenosti dopadu ve dvou případech, šikmý vrh bez účinku tíhového zrychlení a šikmý vrh s vlivem tíhového zrychlení.

5.1.1 Šikmý vrh bez účinku tíhového zrychlení

V prvním případě určíme místo dopadu impaktoru (označeno žlutě) ve vzdálenosti A od námi zvoleného počátku souřadného systému. Tento počátek je zvolen svislicí od impaktoru ke kapotě vozidla. Jedná se o přímočarý rovnoměrný pohyb bez vnějšího zrychlení.



Obr. 5-2 – Konfigurace šikmého vrhu bez uvažování tíhového zrychlení

Jak je patrno z Obr. 5-2 vzdálenost A můžeme definovat:

$$A = v_{0x} \cdot t_1 \tag{5.1}$$

kde t_1 je čas letu, který impaktor vykoná, a v_{0x} je počáteční rychlost ve směru *x* určená následovně:

$$v_{0x} = v_0 \cdot cos(\alpha_v) \tag{5.2}$$

Jelikož počáteční rychlost známe, úloha se nám zúžila pouze na úkol stanovení času t_1, za nějž impaktor vykoná dráhu svého letu. Tento čas můžeme určit na základě úvahy:

$$t_1 = \frac{L}{v_0} \tag{5.3}$$

kde L je vzdálenost dle Obr. 5-2 a v_0 je celková počáteční rychlost impaktoru. Tuto vzdálenost L určíme pomocí výšky *H"*, která je částí svislice od impaktoru ke kapotě

vozidla. Dle Obr. 5-2 je patrné, že celkovou výšku tedy H můžeme rozdělit do dvou částí H' a H''.

Poté můžeme vyjádřit vzdálenost L následovně:

$$L = \frac{H''}{sin(\alpha_v)} \tag{5.4}$$

a výšku H'' dle Obr. 5-2 jako:

$$H'' = H - H' \tag{5.5}$$

řešení se nám tedy zjednodušilo pouze na určení vzdálenosti H', kterou můžeme definovat pomocí vzdálenosti A a goniometrické funkce tangens úhlu sklonu kapoty vozidla:

$$H' = A \cdot tg(\beta) = v_{0x} \cdot t_1 \cdot tg(\beta) \tag{5.6}$$

Po dosazení vzdálenosti H' z rovnice (5.6) do rovnice (5.5) a dále do rovnice (5.4) pro vzdálenost L získáme funkci pro čas t_1 ve tvaru:

$$t_1 = \frac{H - v_{0x} \cdot t_1 \cdot tg(\beta)}{v_0 \cdot sin(\alpha_v)} \tag{5.7}$$

kde po úpravách vyjádříme čas t_1:

$$t_1 = \frac{H}{v_0 \cdot [sin(\alpha_v) + \cos(\alpha_v) \cdot tg(\beta)]} \tag{5.8}$$

Nyní můžeme tento čas dosadit do původní rovnice (5.1) pro vzdálenost A:

$$A = v_{0x} \frac{H}{v_0 \cdot [\sin(\alpha_v) + \cos(\alpha_v) \cdot \mathrm{tg}(\beta)]} \tag{5.9}$$

$$A = \frac{cos(\alpha_v) \cdot H}{[sin(\alpha_v) + \cos(\alpha_v) \cdot tg(\beta)]} \tag{5.10}$$

což je vzdálenost, kterou budeme porovnávat s druhým případem, abychom získali rozdíl vzdáleností při uvažování a neuvažování tíhového zrychlení na průběh letu impaktoru.

5.1.2 Šikmý vrh s účinky tíhového zrychlení

Postup výpočtu bude podobný jako v prvním případě s tím rozdílem, že impaktor bude konat rovnoměrně zrychlený pohyb ve směru *y* a přímočarý rovnoměrný pohyb ve směru *x*. Vzdálenost B tedy můžeme určit ze součinu konstantní počáteční rychlosti rozložené do směru *x* a času letu impaktoru, který získáme z rozepsání pohybů odehrávajících se ve směru *y*.

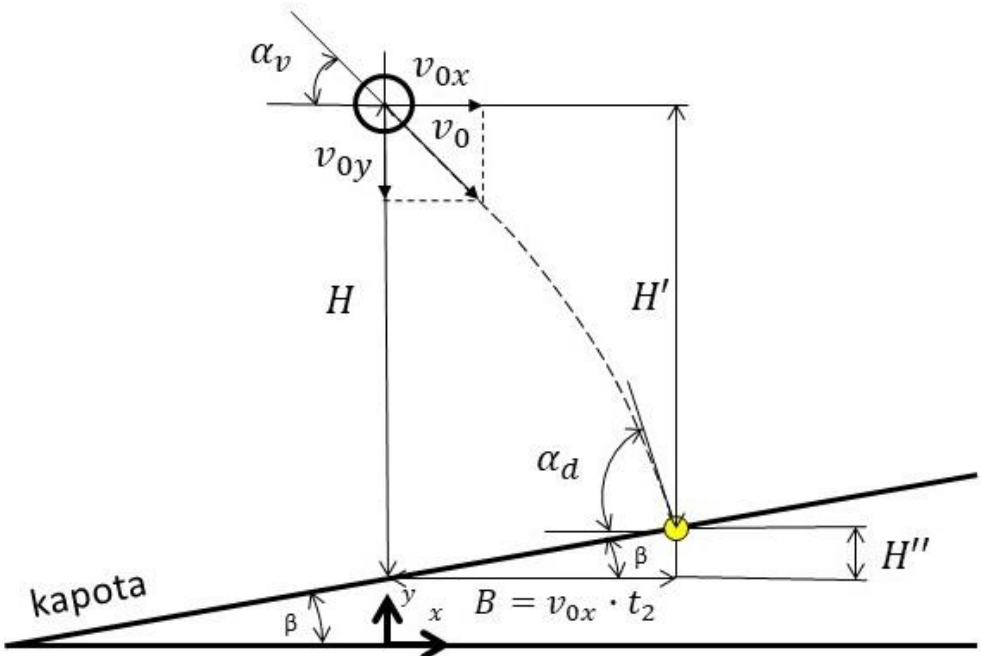
Vzdálenost B:

$$B = v_{0x} \cdot t_2 \tag{5.11}$$

kde:

$$v_{0x} = v_0 \cdot cos(\alpha_v) \tag{5.12}$$
$$v_{0y} = v_0 \cdot sin(\alpha_v) \tag{5.13}$$

Čas t_2 určíme z rovnosti vzdálenosti H', která se v jednom případě bude dle Obr. 5-3 rovnat rozdílu vzdáleností H a H'' a případě druhém se bude rovnat dráze rovnoměrně zrychleného pohybu.



Obr. 5-3 – Konfigurace testu při uvažování efektu tíhového zrychlení

Dle Obr. 5-3 tedy můžeme napsat:

$$H' = H - H'' \tag{5.14}$$

kde:

$$H'' = B \cdot tg(\beta) = v_{0x} \cdot t_2 \cdot tg(\beta) \tag{5.15}$$

a tedy:

$$H' = H - v_{0x} \cdot t_2 \cdot tg(\beta) \tag{5.16}$$

Ve druhém případě vyřešíme vzdálenost H' z řešení diferenciálních rovnic popisujících zrychlení, rychlost a souřadnici hmotného bodu. Řešení se bude odehrávat ve směru *y*, kde působí tíhové zrychlení, které je konstantní.

$$a = g = konst.$$

Vyjdeme z definice zrychlení:

$$a = \frac{dv(t)}{dt_2} \tag{5.17}$$

$$dv(t) = a \cdot dt_2 \tag{5.18}$$

po separaci proměnných můžeme integrovat:

$$v(t) = \int a \cdot dt_2 = a \cdot t_2 + C_1 \tag{5.19}$$

Pokud chceme určit souřadnici, musíme postup opakovat:

$$v(t) = \frac{dH'}{dt_2} \tag{5.20}$$

$$dH' = v(t) \cdot dt_2 \tag{5.21}$$

po separaci proměnných a dosazení rovnice (5.19) můžeme integrovat:

$$H' = \int v(t) \cdot dt_2 = \int (a \cdot t_2 + C_1) \cdot dt_2 = \frac{1}{2} a \cdot t_2^2 + C_1 \cdot t_2 + C_2 \tag{5.22}$$

Nyní je zapotřebí určit integrační konstanty C_1 a C_2. To provedeme díky znalosti počátečních podmínek pro dráhu a rychlost. V čase $t_2 = 0$ byla dráha hmotného bodu $H' = 0$ a po dosazení do poslední rovnice (5.22) určíme druhou integrační konstantu $C_2 = 0$. Ze druhé počáteční podmínky týkající se rychlosti můžeme usuzovat, že v čase $t_2 = 0$ měl hmotný bod pouze počáteční rychlost ve směru *y* a tedy počáteční rychlost $v = v_{0y}$. Pokud tento předpoklad dosadíme do rovnice pro rychlost hmotného bodu (5.19), určíme první integrační konstantu $C_1 = v_{0y}$. Nyní máme konečné řešení dráhy hmotného bodu po vržení počáteční rychlostí v_0, které je funkcí času, který hledáme.

Celkové řešení dráhy H':

$$H' = \frac{1}{2} g \cdot t_2^2 + v_{oy} \cdot t_2 \tag{5.23}$$

Tuto rovnici nyní můžeme porovnat s rovnicí (5.16) pro dráhu H' získanou pomocí geometrie úlohy a poté jsme schopni vyjádřit závislost funkce pro čas t_2.

$$H' = H - v_{0x} \cdot t_2 \cdot tg(\beta) \tag{5.24}$$

Po úpravě tohoto výrazu, vyřešení kvadratické rovnice a vyjádření času t_2 dostaneme:

$$t_{2_{1,2}} = \frac{-v_0[sin(\alpha_v) + \cos(\alpha_v) \cdot tg(\beta)] \pm \sqrt{D}}{g} \tag{5.25}$$

Jejíž diskriminant je

$$D = v_0^2[\sin(\alpha_v) + \cos(\alpha_v) \cdot tg(\beta)]^2 + 2 \cdot H \cdot g$$

Po zanedbání kořene, který pro řešení není logický, můžeme tento čas t_2 dosadit do rovnice (5.11):

$$B = v_{0x} \cdot t_2 \tag{5.26}$$

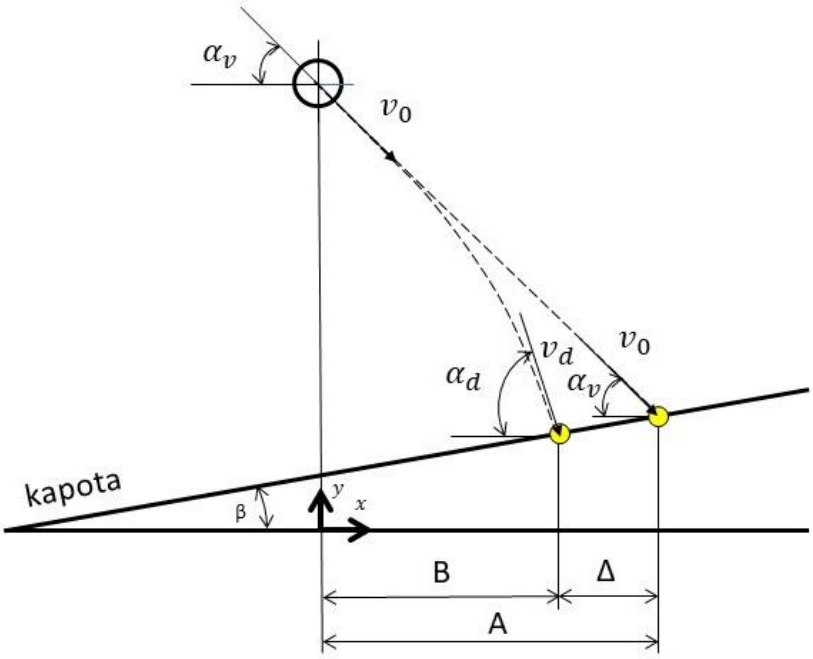
ze které již určíme místo dopadu impaktoru ve směru x.

5.1.3 Výsledky porovnání

Jelikož nyní známe obě dvě vzdálenosti, do kterých dopadne impaktor v obou dvou případech, můžeme již nyní definovat rozdíl vzdálenosti místa dopadu ve směru *x* jako:

$$\Delta = A - B \tag{5.27}$$

Hodnota rozdílu Δ je velikost chyby, které bychom se dopustili, kdybychom nebrali při řešení letu impaktoru v potaz tíhové zrychlení.

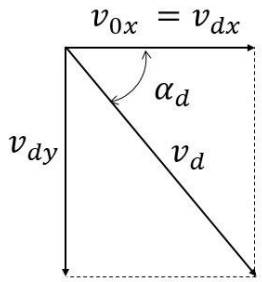


Obr. 5-4 – Porovnání šikmého vrhu impakoru bez a s efektem tíhového zrychlení

K určení korekcí pro dopadovou rychlost a úhel musíme prvně určit rychlost a úhel dopadu. To můžeme provést z vektorového složení dopadové rychlostí ve směrech *x* a *y*. Rychlost ve směru *x* je konstantní, tudíž platí $v_{dx} = v_{0x}$. Dopadová rychlost ve směru *y* byla urychlena tíhovým zrychlením působícím po dobu t_2:

$$v_{dy} = v_{0y} + g \cdot t_2 \tag{5.28}$$

Pokud nyní provedeme vektorový součet těchto dvou rychlostí rozložených do směrů *x* a *y* dle Obr. 5-5 získáme výslednou dopadovou rychlost:



Obr. 5-5 – Vektory dopadové rychlosti

$$v_d = \sqrt{v_{dx}^2 + v_{dy}^2} \tag{5.29}$$

K určení úhlu dopadu použijeme goniometrickou funkci tangens:

$$\alpha_d = arctg\left(\frac{v_{dy}}{v_{0x}}\right) \tag{5.30}$$

Jak již bylo odvozeno v kapitole 4.2.2, rychlost výstřelu, respektive dopadu impaktoru je funkcí stlačení pružiny, která slouží k urychlení impaktoru. Pokud chceme, aby impaktor dopadl na kapotu automobilu předepsanou rychlostí $v_d = 11{,}11\, m \cdot s^{-1}$, musíme stanovit, o kolik méně je zapotřebí pružinu stlačit, aby rozdíl rychlostí byl doplněn zrychlením od efektu gravitace. Z rovnice (4.5) můžeme vyjádřit stlačení pružiny řešením kvadratické rovnice:

$$s^2 \frac{k}{m} + 2 \cdot s \cdot g \cdot \cos(90° - \alpha) - v_0^2 = 0 \tag{5.31}$$

$$s_{1,2} = \frac{-2 \cdot g[\cos(90° - \alpha)] \pm \sqrt{4 \cdot g^2 \cdot \cos^2(90° - \alpha) - 4 \cdot \frac{k}{m} \cdot (-1) \cdot v_0^2}}{2\frac{k}{m}} \tag{5.32}$$

Pro výpočet korigované hodnoty stlačení musíme dosadit do rovnice (5.32) hodnoty rychlostí a úhlů výstřelu, které jsou zmenšeny o rozdíl, který vznikne, pokud zanedbáme efekt tíhového zrychlení.

Po vyřešení všech rovnic výše dostaneme hodnoty čtyř korekcí, které nám zaručí (po dodržení vstupních omezení, které jsme definovali na začátku této kapitoly), že impaktor zasáhne určené místo na kapotě automobilu s dodržením tolerancí předepsaných zkušebními protokoly Euro NCAP. Tyto opravné veličiny se skládají z korekce podélného umístění automobilu B_2, korekce stlačení pružiny s_K, která se určí jako rozdíl stlačení pružiny bez i s uvažování účinku tíhového zrychlení, korekce úhlu výstřelu Δ_{α_v} a korekce výškového nastavení impaktoru Δ_y.

5.2 Ukázkový příklad výpočtu korekcí pro zkoušku hlavovým impaktorem

V následujících odstavcích si vypočteme vzorový příklad sloužící k určení korekcí představených výše. Budeme pracovat s konkrétními čísly tak, jako kdybychom prováděli skutečnou zkoušku hlavovým impaktorem. Pro ilustraci si můžeme představit, že testovací inženýři určili bod mřížky na kapotě vozidla, který má být otestován. Tento bod má dle kapitoly 3.3 určeny souřadnice A,9,4. Znamená to tedy, že zkouška bude provedena hlavovým impaktorem dospělé osoby, místo dopadu impaktoru je v opsané vzdálenosti WAD 1 900 mm a 400 mm od středové čáry kapoty ke straně spolujezdce. V prvním kroku tedy přistavíme příčným pojezdem zkušební zařízení k automobilu tak, aby podélná osa impaktoru ležela souose se 4. řádkem mřížky na kapotě vozidla. Tím

jsme vymezili příčné postavení automobilu vzhledem ke zkušebnímu zařízení. Podélné ustanovení již bude složitější, a provede se dle následujících odstavců.

K výpočtu zde uvádíme tabulku vstupních parametrů, které budeme pro výpočet potřebovat.

Tab. 7 – Vstupní hodnoty pro výpočet korekcí

Veličina	Rychlost výstřelu $[m \cdot s^{-1}]$	Úhel výstřelu [°]	Úhel sklonu kapoty [°]	Svislá vzdálenost impaktoru od kapoty $[m]$	Tíhové zrychlení $[m \cdot s^{-2}]$	Hmotnost impaktoru a vystřelovacího mechanismu $[kg]$
Značka:	v_v	α_v	β	H	g	m
Hodnota:	11,11	65	10	0,5	9,81	10,5

Jelikož se jedná o zkoušku impaktorem dospělé osoby, jsou jasně definované hodnoty rychlosti dopadu a úhlu dopadu. Hodnotu úhlu sklonu kapoty jsme odhadli na 10°, stejně tak volíme hodnotu svislé vzdálenosti impaktoru ke kapotě automobilu. Tato vzdálenost může být odměřována například pomocí laserového zařízení a její hodnota se může regulovat pomocí svislého pojezdu zkušebního zařízení. Její nastavení je důležité pro zdárný průběh zkoušky.

Nyní je již vše připraveno pro výpočet. Budeme počítat s variantou účinku tíhového zrychlení. Podle rovnice (5.25) stanovíme čas letu impaktoru, z něhož následně dopočítáme ovlivněnou rychlost a úhel dopadu, které nám budou složit k určení všech korekcí.

Stanovení času letu t_2:

$$t_{2_{1,2}} = \frac{-v_v[sin(\alpha_v) + cos(\alpha_v) \cdot tg(\beta)] \pm \sqrt{D}}{g}$$

jejíž diskriminant je:

$$D = v_v^2[sin(\alpha_v) + \cos(\alpha_v) \cdot tg(\beta)]^2 + 2 \cdot H \cdot g$$

Po dosazení:

$$t_{2_{1,2}} = \frac{-11{,}11[sin(65°) + \cos(65°) \cdot tg(10°)] \pm \sqrt{D}}{9{,}81}$$

$$D = 11{,}11^2[\sin(65°) + \cos(65°) \cdot tg(10°)]^2 + 2 \cdot 0{,}5 \cdot 9{,}81$$

$$t_{2_1} = \mathbf{-2{,}267\ s}\ ;\ t_{2_2} = \mathbf{0{,}045\ s}$$

Po zanedbání záporného kořene kvadratické rovnice nyní můžeme dle rovnic (5.28),(5.29) a (5.30) stanovit ovlivněnou rychlost a úhel dopadu:

$$v_{dy} = v_{0y} + g \cdot t_2 = 11{,}11 \cdot \sin(65°) + 9{,}81 \cdot 0{,}045 = \mathbf{10{,}51\ m \cdot s^{-1}}$$

$$v_{dx} = v_0 \cdot \cos(65°) = 11{,}11 \cdot \cos(65°) = \mathbf{4{,}70\ m \cdot s^{-1}}$$

Ovlivněná rychlost dopadu tedy je:

$$v_d = \sqrt{v_{dx}^2 + v_{dy}^2} = \sqrt{4{,}70^2 + 10{,}51^2} = \mathbf{11{,}51\ m \cdot s^{-1}}$$

Ovlivněný úhel dopadu:

$$\alpha_d = arctg\left(\frac{v_{dy}}{v_{0x}}\right) = arctg\left(\frac{10{,}51}{4{,}70}\right) = \mathbf{65{,}91°}$$

Pokud tuto ovlivněnou rychlost a úhel dopadu odečteme od úhlů a rychlostí, kterými by měl impaktor do kapoty automobilu narazit, získáme hodnoty, o které musíme zmenšit vstupní parametry tak, aby tíhové zrychlení svým účinkem impaktor urychlilo na dopadovou rychlost, která je předepsaná zkušebním protokolem.

$$\Delta_{v_v} = v_d - v_v = 11{,}51 - 11{,}11 = \mathbf{0{,}4\ m \cdot s^{-1}}$$

$$\Delta_{\alpha_v} = \alpha_d - \alpha_v = 65{,}91° - 65° = \mathbf{0{,}91°}$$

Nové hodnoty rychlosti výstřelu a úhlu výstřelu:

$$v_{v_2} = v_v - \Delta_{v_v} = 11{,}11 - 0{,}4 = \mathbf{10{,}71\ m \cdot s^{-1}}$$

$$\alpha_{v_2} = \alpha_v - \Delta_{\alpha_v} = 65° - 0{,}91° = \mathbf{64{,}09°}$$

Pokud tyto hodnoty dosadíme do rovnice (5.32), získáme korigovanou hodnotu stlačení pružiny, která nám zaručí, že impaktor narazí do kapoty automobilu předepsanou rychlostí a pod požadovaným úhlem. Hmotnost, kterou musí pružina urychlit se skládá z hmotnosti impaktoru dospělé osoby a hmotnosti vystřelovacího mechanismu. Výsledná hmotnost tedy je 10,5 kg. Tuhost pružiny již byla odvozena v kapitole 4.2.2 a její hodnota je 64 800 N/m.

$$s_{1,2} = \frac{-2 \cdot g\left[\cos\left(90° - \alpha_{v_2}\right)\right] \pm \sqrt{4 \cdot g^2 \cdot \cos^2\left(90° - \alpha_{v_2}\right) - 4 \cdot \frac{k}{m} \cdot (-1) \cdot v_{v_2}^2}}{2\frac{k}{m}}$$

$$s_{1,2} = \frac{-2 \cdot 9{,}81[\cos(90° - 64{,}07)] \pm \sqrt{4 \cdot 9{,}81^2 \cdot \cos^2(90° - 64{,}07) + 4 \cdot \frac{64\,800}{10{,}5} \cdot 10{,}71^2}}{2\frac{64\,800}{10{,}5}}$$

$$s_1 = \mathbf{-137{,}77\ mm}\ ;\ s_2 = \mathbf{134{,}91\ mm}$$

Záporný kořen zanedbáme a výpočtem jsme určili požadovanou míru stlačení. Můžete si všimnout, že tato hodnota se liší o $s_k = 5{,}09\ mm$ od ideální hodnoty stlačení pružiny, která byla určena v kapitole 4.2.2.

V tomto okamžiku máme stanoveny 2 ze 4 hodnot, které musíme určit, abychom provedli zkoušku korektně. Třetí hodnotou je vzdálenost, o kterou musíme automobil posunout v podélném směru vzad tak, aby impaktor dopadl na námi požadované místo. Tuto vzdálenost jednoduše spočítáme dle vztahu (5.25) do kterého však musíme dosadit vstupní hodnoty rychlostí a času letu, které se liší od původních hodnot. Tyto hodnoty jsou vypsány v Tab. 8 která se liší od tabulky Tab. 7 v důsledku použití korekce stlačení pružiny.

Tab. 8 – Vstupní hodnoty pro výpočet místa dopadu

Veličina	Rychlost výstřelu $[m \cdot s^{-1}]$	Úhel výstřelu [°]	Úhel sklonu kapoty [°]	Svislá vzdálenost impaktoru od kapoty $[m]$	Tíhové zrychlení $[m \cdot s^{-2}]$	Hmotnost impaktoru a vystřelovacího mechanismu $[kg]$
Značka:	v_{v_2}	α_{v_2}	β	H	g	m
Hodnota:	10,71	64,07	10	0,5	9,81	10,5

Nyní stanovíme čas nový letu impaktoru:

$$t_{22_{1,2}} = \frac{-v_{v_2}\left[sin\left(\alpha_{v_2}\right) + cos(\alpha_{v_2}) \cdot tg(\beta)\right] \pm \sqrt{D}}{g}$$

kde diskriminant rovnice:

$$D = v_{v_2}^2\left[sin\left(\alpha_{v_2}\right) + cos\left(\alpha_{v_2}\right) \cdot tg(\beta)\right]^2 + 2 \cdot H \cdot g$$

tedy po dosazení:

$$t_{22_{1,2}} = \frac{-10{,}71 \cdot [sin(64{,}07°) + cos(64{,}07°) \cdot tg(10°)] \pm \sqrt{D}}{9{,}81}$$

$$D = 10{,}71^2 \cdot [sin(64{,}07°) + \cos(64{,}07°) \cdot \mathrm{tg}(10°)]^2 + 2 \cdot 0{,}5 \cdot 9{,}81$$

$$t_{22_1} = \mathbf{-2{,}179\ s}\ ;\ t_{22_2} = \mathbf{0{,}047\ s}$$

Po zanedbání záporného kořene kvadratické rovnice nyní můžeme dle rovnice (5.11) stanovit výslednou vzdálenost dopadu impaktoru:

$$B_2 = v_{vx_2} \cdot t_{22_2} = 10{,}71 \cdot \cos(64{,}07°) \cdot 0{,}047 = \mathbf{0{,}220\ m}$$

Poslední úkon, který musíme provést je výškové nastavení impaktoru vůči automobilu. Z důvodu posunutí automobilu vzad se nám změní svislá vzdálenost od impaktoru ke kapotě vozidla. V našem případě je však nutné zachovat tuto svislou vzdálenost v hodnotě 500 mm a z toho důvodu je v posledním kroku nutné pohnout impaktorem svislým posuvem zařízení o hodnotu určenou vztahem (5.15):

$$\Delta_y = H'' = v_{vx_2} \cdot t_{22_2} \cdot tg(\beta) = 10{,}71 \cdot \cos(64{,}07°) \cdot 0{,}047 \cdot tg(10°) = \mathbf{0{,}039\ m}$$

Pokud automobil umístíme vůči zkušebnímu zařízení do pozice určené výše, stlačíme pružinu na korigovanou míru stlačení a nastavíme korigovaný úhel výstřelu impaktoru na zkušebním zařízení dle Tab. 9, budeme mít zaručeno, že hlavový impaktor dopadne do určeného místa předepsanou rychlostí a dopadne pod požadovaným úhlem.

Tab. 9 – Hodnoty korekcí

Korekce	Posunutí automobilu vzad	Korekce stlačení pružiny	Korekce úhlu výstřelu	Korekce výškového nastavení impaktoru
Hodnota	$B_2 = 0{,}220\ m$	$s_k = 5{,}083\ mm$	$\Delta_{\alpha_v} = 0{,}928\ °$	$\Delta_y = 0{,}039\ m$

Příklad popsaný výše však bude fungovat pouze v ideálním případě. Ve skutečném světě do tohoto problému vstupují další faktory, které jsme při výpočtu zanedbali, a svým působením mohou ovlivnit průběh zkoušky Jedná se zejména o tření ve vystřelovacím mechanismu a imperfekcí vystřelovací pružiny, která nebude disponovat požadovaným výkonem. Z tohoto důvodu zkušební protokoly Euro NCAP dovolují mírné odchylky. Hodnoty těchto tolerancí můžeme najít v Tab. 10. Velikosti těchto tolerancí jsou shodné jak pro zkoušku impaktorem dětské velikosti, tak impaktorem hlavy dospělé osoby.

Tab. 10 – Hodnoty tolerancí pro zkoušku hlavovými impaktory [10]

Tolerance:	Místa dopadu	Rychlosti dopadu	Úhlu dopadu
Hodnota:	$\pm 10\ mm$	$\pm 0{,}2\ m \cdot s^{-1}$	$\pm 2\ °$

6 Závěr

Pasivní bezpečnost automobilů pro ochranu chodce při srážce je pojem, jímž se již delší dobu zabývají mnozí inženýři z oblasti automotive. Jedná se o legislativní činitele, kteří pracují na normách a předpisech, o zkušební inženýry, kteří provádějí zkoušky, a v neposlední řadě o konstruktéry výrobců automobilů. Všichni tito lidé mají stejný cíl, zabránit srážce chodce s automobilem či alespoň minimalizovat její následky. Díky nejnovějším technologiím, důmyslné konstrukci a řadě bezpečnostních asistentů můžeme prohlásit, že tato pasivní bezpečnost je již na velmi vyspělé úrovni a díky ní se nám podařilo zachránit více než jeden lidský život. Na druhou stranu konstrukce automobilů, důmyslnost a spolehlivost bezpečnostních systémů ještě nedosáhly takového stupně, abychom mohli prohlásit, že při střetu s vozidlem ve čtyřicetikilometrové rychlosti neutrpí chodec zranění neslučitelná se životem. Je tedy zapotřebí nepolevovat ve vývoji a provádění experimentálních měření je nedílnou součástí vývoje. Reálné testovaní karoserií automobilů však může být finančně náročné. K ohodnocení bezpečnosti předních partií automobilu při srážce s chodcem je zapotřebí provést nejméně desítku výstřelů, což znamená veliký počet náhradních dílů. Z tohoto důvodu se dnes častěji používá metoda simulací. Tento postup je svou přesností omezen dokonalostí modelu kapoty a impaktoru sestaveného metodou konečných prvků. Při kvalitní simulaci srážky je možno dosáhnout téměř identického výstupu jako při reálném testování. I přes všechny finanční výhody a flexibilitu simulací se však stále jedná pouze o virtuální pokus, který je třeba srovnat s reálným experimentem, abychom dokázali ověřit věrohodnost. Z tohoto důvodu se zajisté budou experimenty provádět i nadále

Díky společnosti Euro NCAP se nárazové zkoušky automobilů stávají rozšířenějšími. Ještě v roce 2003 se v celé Evropě nacházelo pouze několik zařízení schopných provádět nárazové zkoušky impaktorů a vrhací zařízení v laboratořích ČVUT bylo první svého druhu ve střední Evropě. Dnes v roce 2018 společnost Euro NCAP disponuje téměř desítkou podobných vrhacích zařízení, které se nacházejí u jejich partnerů, nemluvě o testovacích zařízeních, které do programu zařazeny nejsou, ale splňují nároky testovacích protokolů, jako například zařízení firmy Aurel CZ, s. r. o., ve severočeské Chrastavě.

Vrhací zařízení nacházející se v laboratořích Ústavu automobilů, spalovacích motorů kolejových vozidel pražského ČVUT bylo postaveno s lehkými modifikacemi návrhu pana inženýra Zejdy již před 15 lety. Během této doby se na poli nárazových zkoušek impaktoru odehrálo mnohé. Důležité ale je, že i přes všechny změny by toto zařízení teoreticky splňovalo všechny výkonnostní požadavky nejnovějších testů s impaktory. Bohužel krátce po zprovoznění tohoto zařízení se vytratila iniciativa toto zařízení používat pro experimenty a na delší dobu se přestalo provozovat. Z tohoto důvodu je dnes toto zařízení v neprovozuschopném stavu a k jeho zprovoznění by byla zapotřebí rozsáhlá revize zahrnující kontrolu pohonů, pneumatiky, elektroinstalace a zejména vystřelovacího mechanismu. K tomu, abychom dokázali posoudit správnou funkci zařízení, bylo by zapotřebí provést určité konstrukční úpravy.

Zejména by se jednalo o instalaci měřícího systému, díky němuž bychom byli schopni stanovit rychlost výstřelu impaktoru, a tím bychom mohli validovat zkoušku. Způsob měření rychlosti by mohl fungovat na principu světelné závory. Za použití dvou snímačů umístěných na rámu vystřelovacího mechanismu ve známé vzdálenosti bychom byli schopni odečíst čas průchodu impaktoru a z něho již výpočtem stanovit rychlost výstřelu. Druhou možností by bylo použití vysokorychlostní kamery, která by snímala průchod

impaktoru ve vysoké snímkovací frekvencí, díky čemuž bychom následnou analýzou snímků dokázali z rastru odečíst vzdálenost a čas, a tím stanovit rychlost impaktoru. Druhá metoda by však byla komplikovanější a byla by obtížně zautomatizovatelná, na rozdíl od principu světelné závory. Druhou konstrukční úpravou, kterou by zařízení muselo projít, je instalace laserového dálkoměru sloužícího k odměření svislé vzdálenosti impaktoru od kapoty vozidla.

V této bakalářské práci byla vypracována rešerše obsahující popis metodik nárazových zkoušek Euro NCAP se zvláštním zaměřením na zkoušku nárazu hlavy. Tento test byl dopodrobna představen, popsán jeho průběh a vyhodnocení. V dalších kapitolách byla představena zkušební zařízení, na kterých se tyto zkoušky hlavovými impaktory provádějí. Při seznamování se zařízením nacházejícím se v laboratořích Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel byl zjištěn rozpor se zkušebními protokoly Euro NCAP ohledně zanedbání vlivu tíhového zrychlení na trajektorii impaktoru, jejímž výsledkem bylo sestavení kinematického řešení vlivu tíhového zrychlení na rychlost, úhel dopadu a trajektorii impaktoru při dopadu na kapotu automobilu. Výsledkem tohoto kinematického výpočtu jsou hodnoty korekcí, které je nutné brát v potaz, pokud chceme provádět zkoušky korektně. Provedením všech bodů zadání tedy byly cíle bakalářské práce splněny.

Jako další kroky navazující na tuto práci se jeví vhodným znovu zprovoznit vrhací zařízení, provést nezbytné úpravy popsané výše a zaměřit se na kombinaci simulace nárazu hlavy s vyhodnocením pomocí reálného testování.

Seznam použité literatury

[1] Mary Ward 1827-1869. *Offaly Historical & Archaelogical Society* [online]. Tullamore: Co. Offaly, 2014 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: web.archive.org/web/20140116122125/http://www.offalyhistory.com/reading-resources/history/famous-offaly-people/mary-ward-1827-1869

[2] *Agreement Concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions*. 2nd rev. Ženeva: Organizace spojených národů, 2012.

[3] *Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.* In: . Sbírka zákonů, 2001, ročník 2001, číslo 56.

[4] Informace o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice v roce 2017. In: *Statistika nehodovosti - Policie České republiky* [online]. Praha: Policie ČR, 2018 [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: http://www.policie.cz/soubor/informace-o-nehodovosti-prosinec-2017-pdf.aspx

[5] MIKULÍK, Josef. *Revidovaná Národní strategie bezpečnosti silničního provozu na období let 2011 až 2020 s platností od roku 2017 byla schválena* [online]. In: . Brno: Centrum dopravního výzkumu, b.r. [cit. 2018-05-09].

[6] Euro NCAP. *Euro NCAP | The European New Car Assessment Programme* [online]. 2018 [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: https://www.euroncap.com/en

[7] LAWRENCE, Graham. *The Next Steps For Pedestrian Protection Test Methods*. Spojené království, 2005. Dostupné také z: http://www.eevc.org/?site=52

[8] EEVC WG17, . *EEVC Working Group 17 Report Improved test methods to evaluate pedestrian protection afforded by passenger cars*. Brussels, 2003. Dostupné také z: http://www.eevc.org/?site=52

[9] ZEJDA, Jiří. *Návrh zařízení na testování přední části automobilu pomocí impaktoru dle metodiky EEVC WG 17*. Praha, 2004. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.

[10] Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol. In: *Euro NCAP | The European New Car Assessment Programme* [online]. Leuven: Euro NCAP, 2018 [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/pedestrian-protection/

[11] *Nařízení Komise (ES) č. 631/2009 ze dne 22. července 2009, kterým se stanoví prováděcí pravidla k příloze I nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 78/2009 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska ochrany chodců a ostatních nechráněných účastníků silničního provozu, mění směrnice 2007/46/ES a zrušují směrnice 2003/102/ES a 2005/66/ES*. Brussels: Evropská komise, 2009.

[12] Euro NCAP Assessment Protocol - Pedestrian Protection. In: *Euro NCAP | The European New Car Assessment Programme* [online]. Leuven: Euro NCAP, 2018 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/pedestrian-protection/

[13] Euro NCAP | Pedestrian Head Form Test | Pop-up Bonnet. In: *YouTube* [online]. San Bruno, 2018 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=q4zfwUL3joI

[14] Zkušebnictví | Aurel CZ. In: *Aurel CZ* [online]. Praha: AUREL CZ s.r.o., 2018 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: http://aurelcz.eu/cs/vyvoj/zkusebna-fgs/

[15] BIA. *BIA* [online]. Les Boutries, 2007 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: http://www.bia.fr

Seznam obrázků

Obr. 1-1 – Vývoj počtu usmrcených osob od roku 1961 [4] 9
Obr. 2-1 – Čelní přesazený náraz do deformovatelné bariéry [6] 12
Obr. 2-2 – Pravděpodobnost zranění chodců při kolizi s vozidlem podle IHRA [7] 14
Obr. 2-3 – Znázornění testů s impaktory u typu vozidla vyšší střední třídy [8] 15
Obr. 2-4 – Rozdělení poranění chodce při dopravních nehodách [9] 16
Obr. 2-5 – Celkové vyhodnocení automobilu Volvo XC60 [6] 18
Obr. 3-1 – Vztažná čára náběžné hrany kapoty [10] 19
Obr. 3-2 – Zadní vztažná čára kapoty [10] 20
Obr. 3-3 – Měření opsané vzdálenosti [10] 20
Obr. 3-4 – Boční vztažná čára [10] 21
Obr. 3-5 – Rohový vztažný bod [10] 21
Obr. 3-6 – Horní vztažná čára nárazníku [10] 21
Obr. 3-7 – Dolní vztažná čára nárazníku [10] 22
Obr. 3-8 – Určení rohu nárazníku [10] 22
Obr. 3-9 – Impaktor dětské hlavy [11] 24
Obr. 3-10 – Impaktor hlavy dospělé osoby [11] 24
Obr. 3-11 – Rozdělení kapoty do testovacích oblastí [10] 26
Obr. 3-12 – Závislost pravděpodobnosti závažného zranění hlavy na hodnotě HIC_{15} [7] 27
Obr. 3-13 – Výsledky testů k vyhodnocení poskytované ochrany chodce vozu VW Arteon [6] 28
Obr. 4-1 – Zkouška nárazu hlavy do kapoty vozidla [13] 29
Obr. 4-2 – Vystřelovací zařízení od firmy BIA s vystřelovacím mechanismem BHIA 150 [14] 30
Obr. 4-3 – Konstrukční varianta STANDARM [9] 31
Obr. 4-4 – Konstrukční varianta PORTAL [9] 32
Obr. 4-5 – Schéma k určení tuhosti pružiny vystřelovací hlavy [9] 33
Obr. 4-6 – Rozvržení dílů vystřelovací hlavy [9] 35
Obr. 5-1 – Trajektorie letu hlavového impaktoru [9] 36
Obr. 5-2 – Konfigurace šikmého vrhu bez uvažování tíhového zrychlení 37
Obr. 5-3 – Konfigurace testu při uvažování efektu tíhového zrychlení 39
Obr. 5-4 – Porovnání šikmého vrhu impakoru bez a s efektem tíhového zrychlení 42
Obr. 5-5 – Vektory dopadové rychlosti 42

Seznam tabulek

Tab. 1 – Organizace zapojené do programu Euro NCAP [6] _____ *10*

Tab. 2 – Kategorie automobilů dle Euro NCAP [6] _____ *11*

Tab. 3 – Dosažitelná bezpečnost automobilů vzhledem k počtu udělených hvězd [6] _____ *18*

Tab. 4 – Parametry impaktorů dětské hlavy a dospělé osoby [11] _____ *23*

Tab. 5 – Udělení bodů v závislosti na hodnotě HIC [12] _____ *28*

Tab. 6 – Tabulka proměnných rovnice (4.5) _____ *34*

Tab. 7 – Vstupní hodnoty pro výpočet korekcí _____ *44*

Tab. 8 – Vstupní hodnoty pro výpočet místa dopadu _____ *46*

Tab. 9 – Hodnoty korekcí _____ *47*

Tab. 10 – Hodnoty tolerancí pro zkoušku hlavovými impaktory [10] _____ *48*

Přílohy

Program pro výpočetní software excel „*Výpočty korekcí.xlsm*“ a bakalářská práce v elektronické podobě umístěné na CD nosiči.