VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

NÁVRH DOLNÍ KONČETINY TESTOVACÍ FIGURÍNY PRO NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY

DESIGN OF LEG FOR CRASH TEST DUMMY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Petr Maršálek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. et Ing. Martin Bilík
SUPERVISOR

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2015/16

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Maršálek

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh dolní končetiny testovací figuríny pro nárazové zkoušky

v anglickém jazyce:

Design of leg for crash test dummy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat rešerši dnes používaných dummy figurín pro nárazové zkoušky. Provést porovnání vývoje užívaných figurín. Návrh dolní končetiny vlastní figuríny. Při konstrukčním řešení by měl být kladen důraz na soulad s anatomií lidského těla.

Cíle diplomové práce:

1. Rešerše používaných dummy figurín při nárazových testech.
2. Návrh dolní končetiny vlastní testovací figuríny s důrazem na soulad s anatomií lidského těla.

Seznam odborné literatury:

[1] SEIFFERT, U., WECH, L. Automotive Safety Handbook. Warrendale: SAE international, 2003. ISBN 978-0-7680-1798-4.
[2] KÜHN, M., FRÖMING, R., SCHINDLER, V. Fußgängerschutz. Berlin: LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig, 2007. ISBN 3-540-34302-4.

Vedoucí diplomové práce: Ing. et Ing. Martin Bilík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 21. 10. 2015

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Tato diplomová práce je věnována tématu návrhu modelu dolní končetiny nárazové figuríny. Práce se zabývá historickým vývojem nárazových figurín až do současnosti, z jakého materiálu jsou vyrobeny a jaká je jejich vize do budoucna. Hlavním tématem práce je návrh modelu dolní končetiny pro nárazové zkoušky se zaměřením na anatomii lidského těla. V práci je popsáno jakým způsobem je možné vyrobit dolní končetinu figuríny za použití formy z materiálu ThermoLyn Clear, lidskou kost je možné nahradit dřevem a svalovou hmotu nahradit agarem.

Abstract

This thesis is devoted to the design model of the lower limbs crash test dummies. It describes how the dummy developed historically, what are currently available for crash tests, what they are made and what their future will be. The main motive of the work is to design a model of lower limb for crash tests, with emphasis on the human anatomy. The work is characterized by how the figurine is produced using the form from material Thermolyne Clear, wood as a substitute human bones and the agar substitutes such as human muscle.

Klíčová slova

Dolní končetina, nárazová figurína, nárazové zkoušky, agar, dřevěná kulatina, dub

Keywords

Leg, crash test dummy, crash test, agar, wooden logs, oak

Bibliografická citace

MARŠÁLEK, P. Návrh dolní končetiny testovací figuríny pro nárazové zkoušky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Martin Bilík.

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. et Ing. Martina Bilíka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne ……..

…….

podpis diplomanta

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. et Ing. Martinu Bilíkovi za konzultace a vedení při psaní diplomové práce. Také bych rád poděkoval panu Jakubu Synkovi z firmy Ottobock za pomoc při výrobě formy na nárazovou figurínu a Ing. Petru Sedláčkovi Ph.D. za pomoc a ochotu při výrobě dolní končetiny figuríny. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu na VUT.

OBSAH

ÚVOD 10
1 NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY – CRASHTESTY 11
1.1 Instituce zabývající se nárazovými zkouškami 14
2 NÁRAZOVÉ FIGURÍNY 18
2.1 Historie nárazových figurín 18
2.2 Simulace nárazu a modelování nárazových figurín 24
2.3 Typy nárazových figurín 25
2.4 Výrobní proces nárazové figuríny 30
2.5 Použité materiály na výrobu figurín 31
2.6 Nárazová figurína – chodec 31
2.6.1 Hybrid III Pedestrian 32
2.6.2 Pedestrian Headforms – formy hlavy pro figurínu chodce 37
2.6.3 Flex-PLI-GTR 38
3 BUDOUCNOST NÁRAZOVÝCH FIGURÍN 41
4 ANATATOMICKÁ STAVBA DOLNÍ KONČETINY 45
4.1 Kosti dolní končetiny 45
4.2 Svaly dolní končetiny 47
4.3 Parametry dolní končetiny 49
4.3.1 Segmenty lidského těla 49
4.3.2 Délka dolní končetiny 51
5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH DOLNÍ KONČETINY FIGURÍNY 53
5.1 Výroba formy pro dolní končetinu figuríny 53
5.2 Výroba dolní končetiny nárazové figuríny 56
5.2.1 Kosti 56
5.2.2 Konstrukční řešení náhrady kosti 56
5.2.3 Svalová hmota 59

5.2.4 Náhrada kolenního kloubu ... *60*

5.2.5 Náhrada nártu ... *61*

5.2.6 Kůže ... *61*

5.3 Recyklovatelnost figuríny ... 62

5.4 Finanční rozpočet na výrobu dolní končetiny ... 62

ZÁVĚR ... 64

ABECEDNÍ SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ ... 65

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ... 68

SEZNAM OBRÁZKŮ ... 69

SEZNAM TABULEK ... 71

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá nárazovými figurínami, které se staly nedílnou součástí crashtestů. Práce je zaměřena převážně na figuríny chodce, které slouží k posouzení následků nárazu vozidla do chodce. Smyslem těchto figurín je zjistit, jaký bude mít dopad pro člověka srážka s vozidlem v reálné situaci.

Díky těmto figurínám je možné získat data, která vedou k dosažení lepších výsledků při výrobě předních nárazníků vozidel a zvyšují tak bezpečnost chodců. Bohužel je to však jen malá náprava k bezpečnosti chodců, jelikož při vyšších rychlostech dojde při nárazu vozidla do chodce k fatálním následkům a tyto nárazy ve většině případů končí smrtí nebo těžkým zraněním chodců.

První část této diplomové práce je zaměřena na nárazové zkoušky – crashtesty a instituce, které se zabývají jejich realizací. Za zmínku stojí také historický vývoj figurín, jaké typy figurín existují a jak se vyrábí. Posléze bude popsáno, jaké druhy nárazových figurín chodců jsou k datu vypracování diplomové práce na trhu.

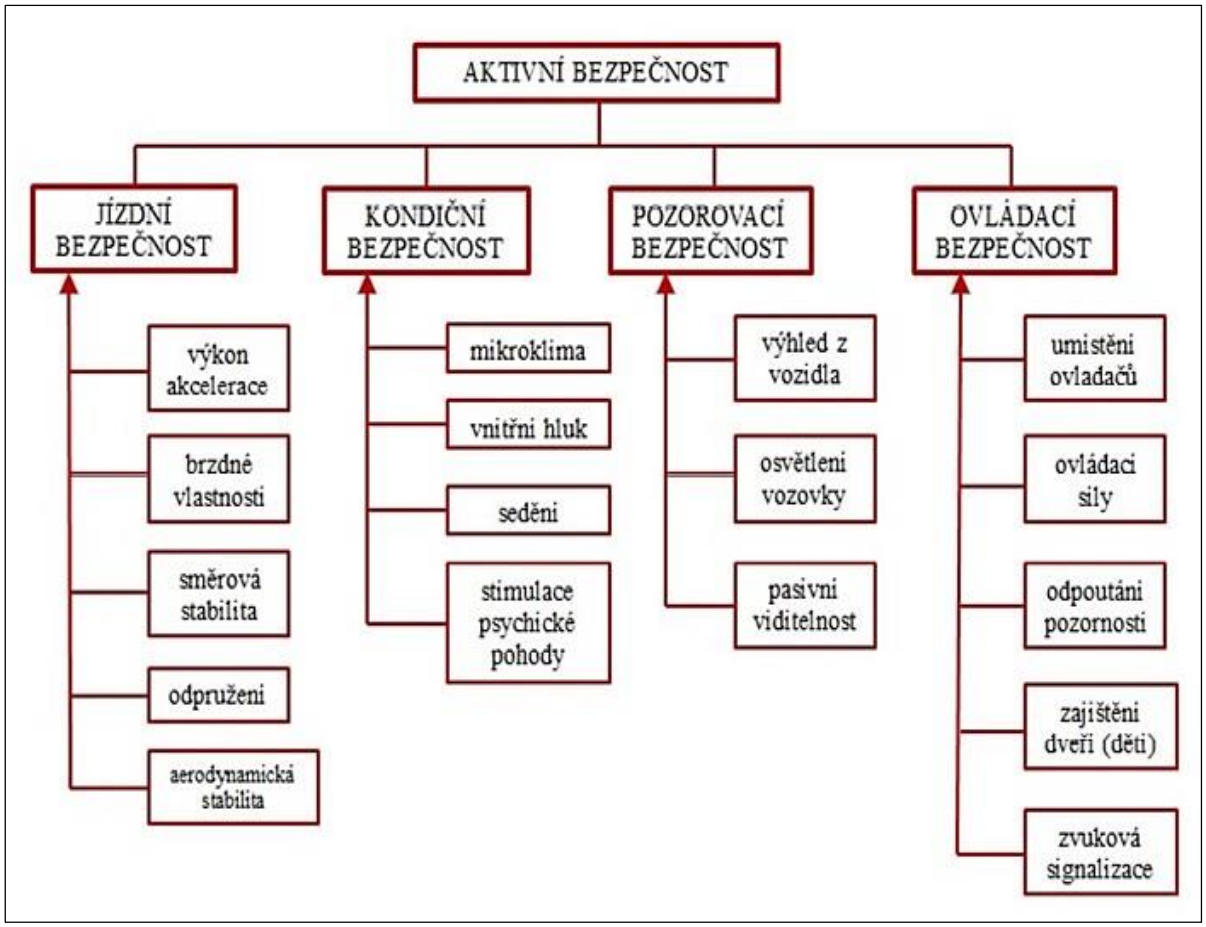
Další část práce bude zaměřena na lidskou dolní končetinu, její anatomickou stavbu a parametry. Závěrečná kapitola bude zaměřena na konstrukční návrh dolní končetiny figuríny pro crashtesty, náhradu lidské kosti z dostupných materiálů, samotnou výrobou dolní končetiny a finanční rozpočet pro výrobu nárazové figuríny.

1 NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY – CRASHTESTY

Nárazové zkoušky vozidel jsou měřítkem bezpečnosti. Nejprve se tedy podívejme, jak vlastně bezpečnost vozidel rozlišujeme. Bezpečností vozidel se totiž nerozumí jen úspěšnost v nárazovém testu. Jedná se o nejrozšířenější a nejznámější prvky používané ve vozidlech, které mají velký vliv na vznik dopravní nehody a následné zranění účastníků silničního provozu. Bezpečnost rozlišujeme na aktivní a pasivní.

U aktivní bezpečnosti se jedná o prvky bezpečnosti, jejichž hlavním úkolem je aktivně předcházet vzniku dopravní nehody. Těmito prvky jsou systémy, technická zařízení a vlastnosti vozu, které pomáhají zabránit nebo předejít dopravním nehodám. Mezi aktivní prvky patří zejména účinné brzdy umožňující bezpečné zpomalení nebo zastavení vozidla, řádný výhled z vozidla, dobré pneumatiky, přesné a spolehlivé řízení, kvalitní tlumiče zajišťující dostatečný kontakt pneumatik s vozovkou a také osvětlení vozidla. Mezi další prvky aktivní bezpečnosti patří moderní elektronické systémy jako například elektronický protiblokovací, protiprokluzový a stabilizační systém, známé pod zkratkami ABS, TCS a ESP a řada dalších bezpečnostních elektronických systémů. Aktivní bezpečnost rozdělujeme do čtyř skupin a to konkrétně na jízdní bezpečnost, kondiční bezpečnost, pozorovací bezpečnost a ovládací bezpečnost.[1]

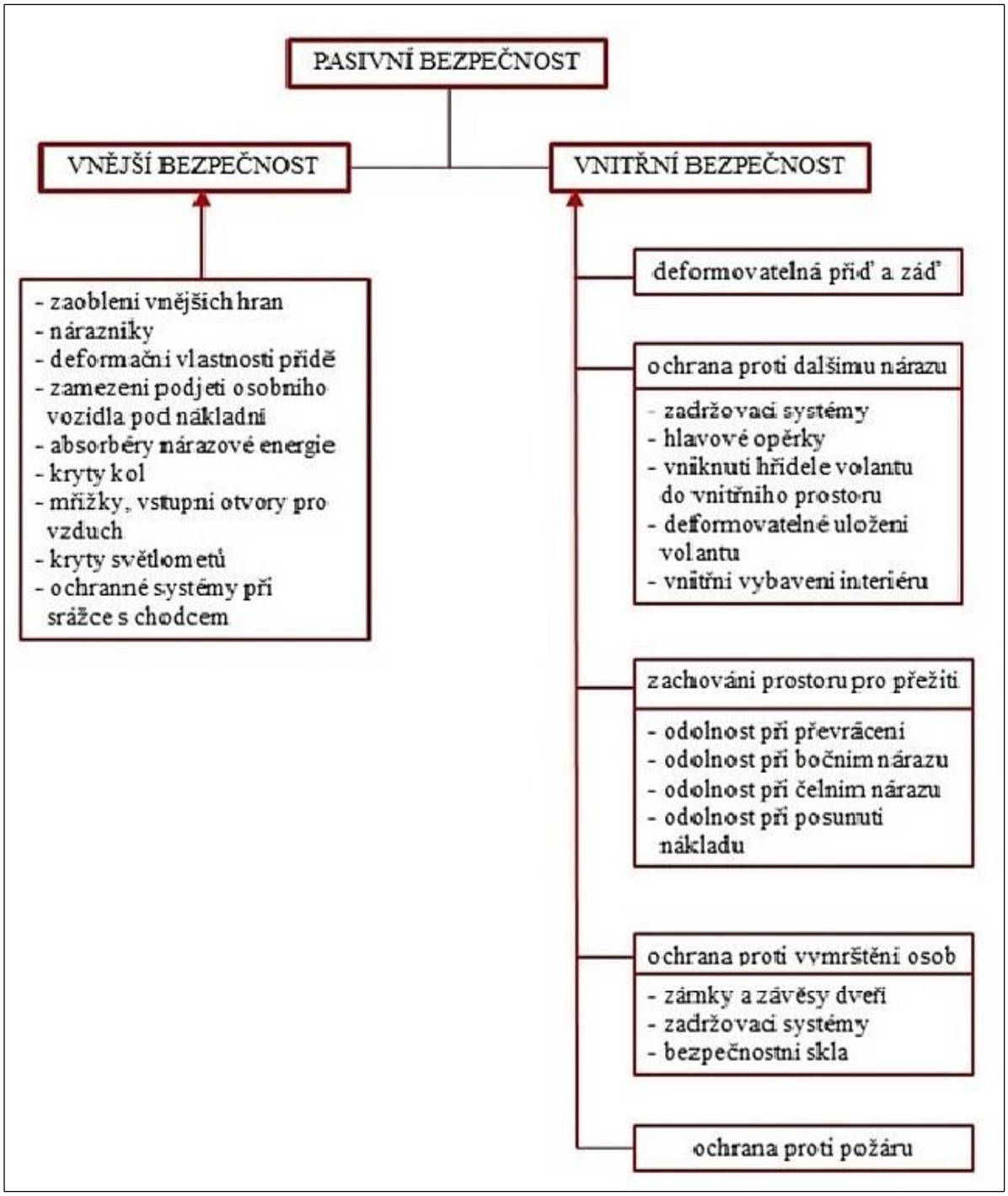
[1] Observatoř – Bezpečnost silničního provozu [online], 1/2016 [citováno: 2016-01-25], Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/aktivni-a-pasivni-prvky-bezpecnosti-motorovych-vozidel/>



Obrázek 1 – Základní rozdělení aktivní bezpečnost [2]

Pasivní bezpečnost je soubor technických opatření vozidla, jehož cílem je minimalizovat následky nárazu v případě, kdy již k dopravní nehodě došlo. Mezi prvky pasivní bezpečnosti patří bezpečná konstrukce karoserie, opěrka hlavy, bezpečnostní pás, předpínač bezpečnostního pásu, airbagy a další bezpečnostní prvky. Prvky pasivní bezpečnosti dělíme na vnitřní a vnější.

[2] VLK, František. Stavba motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství František Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2.



Obrázek 2 – Základní rozdělení pasivní bezpečnost [3]

Pomocí nárazových zkoušek vozidel je ověřována především pasivní bezpečnost, tedy správnost návrhu a konstrukce vozidla. Tyto zkoušky jsou velmi finančně nákladné, dochází při nich ke zničení testovaného vozidla a jen zcela výjimečně je možné použít vozidlo vícekrát. Všechny automobilky se snaží o zkrácení fáze vývoje nových vozidel a snížení vysokých cen

[3] VLK, František. Stavba motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství František Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2.

na provedení a vyhodnocení zkoušek, proto výrobci vozidel snižují počet provedených zkoušek na reálných vozidlech. Častěji se používají počítačové simulace a výsledek těchto simulací se na závěr ověří jedním, dvěma nebo maximálně třemi crashtesty skutečného vozu. Následně se reálná zkouška vyhodnotí a provede se srovnání s virtuálními testy a na základě důkladné analýzy je snahou se co nejvíce poučit v dalším vývoji a najít alternativy a metody pro upřesnění virtuálního testování. Nejvíce se simulují případy homologačních zkoušek, zkoušek NCAP a zkoušek pojišťovacích institutů. Pomocí simulačních programů je možné snadněji, pružněji a rychleji reagovat na prvotní nedostatky návrhu a opětovným výpočtem ověřit upravenou konstrukci a nedostatky odstranit. Proto je možné zrychlit fázi vývoje a zajistit také vyšší bezpečnost vozů.

Mezi automobilkami dochází ke konkurenčním bojům, a proto jsou výrobci vozidel nuceni vyrábět stále bezpečnější vozy, jelikož zákazníci si na dnešním trhu vybírají především podle hodnocení bezpečnosti vozu. Bezpečné vozidlo je dnes považován za naprostý standard a proto má bezpečnější vozidlo tedy i větší prodejnost než vozidlo konkurenční automobilky se stejnou výbavou, ale s horší bezpečností. Proto je snaha dosahovat co nejlepšího hodnocení crash testu u nezávislých zkušebních organizací jako je EuroNCAP. Je velmi důležité stanovit a dodržovat jednotnou metodiku pro možnosti porovnávání výsledků při zkouškách. Zkušební laboratoře stanovují jednotnou metodiku na základě předpisů, které popisují proces provedení zkoušky. Stanovují, jak má být vozidlo připraveno z hlediska hmotnostní zátěže a provozních kapalin. Také jak má být připravena nárazová bariéra a měřící a zaznamenávací zařízení, tedy vysokorychlostní kamery, snímače a časomíra. Figurína má rovněž stanovené předpisy a normy, které musí splňovat.[4]

1.1 INSTITUCE ZABÝVAJÍCÍ SE NÁRAZOVÝMI ZKOUŠKAMI

V Evropě, ale i po celém světě existuje několik institucí, které se zabývají, provádí a vyhodnocují nárazové zkoušky vozidel. Instituce využívají dva typy figurín. Prvním typem je figurína sedící v autě ať už na místě řidiče, spolujezdce nebo členů posádky na zadních sedadlech, druhý typ pak představuje figurína – chodec, které se využívají pro simulaci nárazu vozidla do chodce. Nejvýznamnější instituce v této oblasti jsou:

[4] RYDLO, T. Návrh deformačního členu pro simulaci pojišťovacího nárazu vozidla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 123 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík.

Euro-NCAP (European New Car Assessment Programme)

- založen v prosinci 1996 a stal se nezávislou mezinárodní organizací fungující podle belgických zákonů
- hlavním cílem je provádět nárazové zkoušky a daným vozům pak uděluje hvězdičky bezpečnosti. Vozidla s pěti hvězdičkami patří mezi nejbezpečnější na trhu
- Euro-NCAP hodnotí ochranu dospělé posádky, dětí, chodců a aktivní bezpečnostní systémy
- Euro-NCAP používá oba dva typy figurín
- Euro-NCAP provádí:
    - čelní náraz vozu v rychlosti *64 km/h* do deformovatelné bariéry
    - boční náraz do vozu rychlostí *50 km/h*
    - poole test v rychlosti *29 km/h* - ocelový sloupek narazí do boku vozidla - simulace nárazu do stromu[5]

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)

- vznikla v roce 1979 a jejím hlavním posláním je zachraňovat lidské životy, předcházet zraněním a snižovat počty dopravních nehod
- NHTSA provádí testy s figurínami chodců i s figurínami sedícími ve vozidle
- NHTSA provádí:
    - čelní náraz vozu rychlostí *56 km/h* do zdi
    - boční náraz do vozu rychlostí *62 km/h*
    - test převrácení[6]

IIHS (Insurance Institute for Highway Safety)

- je americká nezisková organizace založená v roce 1969, která provádí výzkum na snížení počtu dopravních nehod a úrazů.
- testuje dětské autosedačky, provádí výzkum projektů silnic a dopravních předpisů
- IIHS provádí testy pouze s figurínami sedícími ve vozidle
- IIHS provádí:
    - čelní nárazy

[5] Euro NCAP [online], 2013 [citováno: 2016-02-13], Dostupné z: <http://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/>

[6] NTHSA [online], 2014 [citováno: 2016-02-13], Dostupné z: <http://www.nhtsa.gov/Driving+Safety>

- boční nárazy
- hodnocení hlavových opěrek
- zkoušky pevnosti střech vozidel

ANCAP (Australasian New Car Assessment Programme)

- Australská společnost založená v roce 1993 se zabývá testováním nehod vozidel prodávaných v Austrálii. ANCAP poskytuje spotřebitelům transparentní rady a informace na úrovni cestujícího a pěší ochrany poskytované různými modely vozidel u nejběžnějších typů nehod
- ANCAP používá oba dva typy figurín

C-NCAP (China New Car Assessment Programme)

- je čínský program bezpečnosti silničního provozu, tento program byl zřízen po vzoru Euro-NCAP
- C-NCAP používá oba dva typy figurín

JNCAP (Japan New Car Assessment Programme)

- japonská instituce zabývající se bezpečností vozidel v Japonsku
- JNCAP používá oba dva typy figurín

ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club)

- německý automobilový klub založený v Mnichově, hlavním účelem je vnímat a prosazovat zájmy automobilového inženýrství

DEKRA

- německá instituce založená v roce 1925 je tamní největší inspekční společností
- zaměřuje se na kontroly vozidel, technických systémů, bezpečnostní kontroly a inspekce technických systémů
- provádí nestandardní případy nárazů[7]

Samostatným odvětvím jsou interní zkoušky automobilek. Jako příklad je možné uvést provedený test společnosti Škoda Auto a.s. Při tomto testu, poprvé před zraky odborné veřejnosti, byl prezentován čelní náraz dvou vozů značky Škoda. Škoda Yeti v rychlosti

[7] DEKRA – On the safe side [online], 2015 [citováno: 2016-03-13], Dostupné z: <http://www.dekra.com/en/automotive>

90 km/h čelně narazil do stojícího vozu Škoda Superb Combi. Oba vozy byly osazeny čtyřmi testovacími figurínami řádně připoutanými a zajištěnými bezpečnostními prvky. Po zpracování všech dat, při kterých se zjišťovaly účinky nárazu na posádku a rozsahy poškození vozidel, dospěli experti z týmu Výzkumu dopravní bezpečnosti Škoda Auto k závěru, že posádka obou vozidel, by v případě reálného nárazu v rychlosti *90 km/h*, při správném použití všech bezpečnostních prvků, vyvázla bez závažnějších zranění.[8]

Ve výše zmíněném přehledu byly vyjmenovány nejvýznamnější instituce zabývající se nárazovými zkouškami. Dále se práce bude věnovat samotným figurínám používaným při nárazových zkouškách vozidel.

[8] RYDLO, T. Návrh deformačního členu pro simulaci pojišťovacího nárazu vozidla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 123 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík.

2 NÁRAZOVÉ FIGURÍNY

V průběhu více jak stoleté historie vozidel vzbuzovala bezpečnost velmi vážné obavy. V roce 1930 byla míra úmrtnosti účastníků silničního provozu několikanásobně vyšší než je tomu v dnešní době a to i přesto, že na silnicích jezdí mnohem více vozidel. Tento pozoruhodný pokrok je z části důsledkem úsilí výrobců a konstruktérů vytvářet vozidla tak, aby docházelo k méně zraněním během dopravních nehod. Dalším aspektem, který způsobil menší úmrtnost na silnicích je zavedení nárazových figurín do testů a nárazových zkoušek. Díky těmto figurínám získali výrobci reálnější představu o dopadu dopravních nehod na lidské tělo.[9]

2.1 HISTORIE NÁRAZOVÝCH FIGURÍN

V roce 1930 začali návrháři věnovat větší pozornost bezpečnosti u vozidel, a proto se snažili do testů začlenit i nárazové figuríny. Avšak první tehdy ještě strojírenská figurína "Sierra Sam" byla vyrobena až v roce 1949 pod vedení Samuela W. Andersona. Do této doby se využívaly lidské mrtvoly. Výhodou byla velmi blízká podobnost živému člověku, ovšem kvůli nedostatku lidských mrtvol a také kvůli etickým důvodům se přestaly používat. Jistou alternativou byla živá zvířata, například šimpanzi a vepři jako pasažéři při testech. Ovšem od tohoto testování se brzy upustilo z důvodu jiné biologické stavby těchto zvířat oproti člověku. Získaná data byla nevyužitelná.

Problematikou pasivní bezpečnosti se začali konstruktéři zbývat v 50. letech minulého století. Do té doby bylo vozidlo velmi nebezpečný, jelikož se při nárazu rozpadal na součástky a ty ohrožovaly posádku. Tímto problémem se začal zabývat americký profesor Larry Patrick, který přišel jako první s výzkumem bezpečnosti vozidel.

Protože tehdy ještě nebyla k dispozici měřící elektronická čidla, sám se v autech vydával proti nejrůznějším překážkám. Na základě takto získaných údajů vyhodnotil chyby konstrukcí většiny tehdy vyráběných vozidel a stanovil základní kritéria pro ochranu posádky, která jsou platná dodnes. Aby svoje tvrzení mohl doložit konkrétními údaji, zkonstruoval několik měřících přístrojů na měření odolnosti lidského organizmu proti nárazům.

[9] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-13], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/about-us/dummy-history>

Obrázek 3 - Profesor Larry Patrick při pokusech[10]

Z výsledků testů profesora Larry Patrick byla vyvozena následující pravidla:

- posádka vozidla musí mít dostatečný prostor pro přežití, a to i při převrácení vozidla a jízdě po střeše
- do tohoto prostoru nesmí nadměrně proniknout žádná část vozidla a v tomto prostoru nesmí být žádné části, které by mohly přispět ke zranění posádky, tedy všelijaké ostré výstupku a hrany pokud možno odstranit, nebo aspoň zakulatit
- vnitřní část tohoto prostoru by měla být vyložena materiály tlumící náraz a případné plochy, které mohou přijít do styku s lidským tělem, musí být co největší
- prostor pro posádku musí být co nejtužší, aby se při havárii co nejméně deformoval a umožnil otevření aspoň jedněch dveří bez pomocí nástrojů, kabina musí zůstat celistvá
- sedačky musí být upevněny tak pevně, aby zůstaly v případě nárazu na svém místě
- posádka musí být fixována na sedadlech speciálním zařízením, které zachytí energii nárazu a nedovolí kontakt těla s pevnými částmi kabiny

[10] DVOŘÁČEK, M. Nárazové zkoušky osobních automobilů. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, 2010. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

- dveře vozidla se nesmí při nárazu samovolně otevřít, posádka nesmí z auta vypadnout, přední a zadní část vozidla musí pohltit energii nárazu a rozprostřít ji na určitý minimální čas, aby zpoždění kabiny a tedy posádky při nárazu nepřekročilo kritické hodnoty
- okna ve vozidlech musí být takové konstrukce, aby při rozbití nezpůsobila řezné poranění posádky
- při havárii nesmí dojít k požáru vozidla a úniku paliva z nádrže
- materiály používané v interiéru vozidla by měly být nehořlavé, nebo aspoň s omezenou hořlavostí[11]

Počátkem roku 1950 přišla Cornell Aeronautical Laboratories se studií, jak by se vozidla mohla vyrábět bezpečnější. Byla vytvořena figurína "GARD Dummy" od vývojářů ze střediska Grumman-Alderson. Od padesátých do sedmdesátých let dvacátého století se vývoj figurín prováděl převážně v leteckém průmyslu. Také byly vymezeny percentilní skupiny. Tyto skupiny znamenají, že například 50-ti percentilní figurína je větší a hlavně těžší než *50 %* mužské populace. Figuríny napodobující muže byly rozděleny na 50-ti a 95-ti percentilní. Ženské figuríny byly 5-ti percentilní.

Od sedmdesátých let začaly spolupracovat evropské vlády na projektu The European Electric Vehicle Congress (EEVC) - Evropského výboru pro zvýšení bezpečnosti vozidel, posuzující různé aspekty sekundární bezpečnosti vozidel. Na počátku 90. let měl tento výzkum vyvinutou celou škálu testovacích procedur pro ochranu pasažérů při čelním i bočním nárazu. V angličtině nese sedící figurína pojmenování Side Impact Dummy (SID).

[11] DVOŘÁČEK, M. Nárazové zkoušky osobních automobilů. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, 2010. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

Obrázek 4 – Novější typ Side Impact Dummy[12]

V roce 1971 byla představena figurína s názvem Hybrid I. O rok později byl vyvinut Hybrid II. s vylepšenými rameny, páteří a koleny. Tyto části těla figuríny už byly pohyblivé oproti staršímu modelu. To také přineslo podrobnější informace o chování lidského těla při nárazu než u předešlé figuríny. Byla to 5ti percentilní figurína a spíše připomínala ženu. O další rok později vznikla rovněž figurína nesoucí název Hybrid II. Jedná se však o 50-ti pertencilní figurínu a ta už byla více podobná muži.

Obrázek 5 – Inženýři instalují figurínu do vozidla[13]

[12] ATZ online [online], 2015 [citováno: 2016-08-29], Dostupné z: <http://www.atzonline.com/Artikel/3/14318/WorldSID-%E2%80%93-A-New-Dummy-Generation-in-Side-impact-Protection.html>

[13] FORD – Go Further, [online], 2015 [citováno: 2016-08-29], Dostupné z: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/03/10/ford-increases-virtual-crash-computing-power.html>

Obrázek 6 – Hybrid II.[14]

National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA) - Národní dálniční administrace bezpečí dopravy uzavřela v roce 1974 s General Motors smlouvu o výrobě lepších hlav, krků, kloubů, žeber, kolen a celé lidské figuríny. Tato figurína měla lepší postoj těla a nový design páteře. Figurína je pojmenována jako GM ATD 502 a byla vyrobena koncem roku 1975. Highway Safety Research Institute (HSRI) – Bezpečnostní výzkumný institut z University of Michigan Transportation Institute (UMTRI) přijímá zakázky od Motor Vehicle Manufacturers Association (MVMA) – Sdružení výrobců motorových vozidel na vypracování 50-ti percentilní mužské figuríny s vylepšenou hlavou, krkem, hrudníkem, páteří, pánví, nohami a klouby.

[14] Poster shop, [online], 2000 [citováno: 2016-08-29], Dostupné z: <http://nudepicstar.com/poster/first-crash-test-dummy-766295810>

Obrázek 7 – První figuríny u crash testů[15]

Mezi lety 1979 – 1987 NHTSA podepisuje smlouvy s UMTRI o vývoji figurín pro boční náraz. Jednalo se o figurínu typu Hybrid II. s vylepšeným hrudníkem.

Na přelomu let 1988 a 1989 společnosti Humanetics a Society of Automotive Engineers (SAE) začaly rozvíjet figuríny Hybrid III. a to konkrétně figurínu malé ženy a velkého muže. Figuríny byly 50-ti percentilní. Posledními smlouvami byla v roce 2000 potvrzena spolupráce UMTRI a Wayne State University společně s institucí NHTSA na rozvinutí moderních figurín.

Do roku 1994 byly návrhy na přijetí evropské legislativy o zkušebních testech striktně odmítány automobilovým průmyslem. V červnu 1994 schválilo Britské ministerstvo dopravy testy NCAP, které se následně rozšířily napříč Evropou. Program byl komplexní na základě postupů vyvinutých projektem EEVC. V červnu 1995 vedl rostoucí zájem o program Evropskou komisi k diskuzi o dalším rozvoji. Program měl vysoké cíle již ze samého začátku. Byl komplexní a usiloval o zajištění všech výhod přijatých opatření, aby testování a hodnocení bylo vědecky podložené. Pro první fázi testování bylo vybráno sedm modelů vozidel. Výrobci poskytli údaje o vozidlech. Po porovnávacích testech bylo jasné, že bude nutné zvyšovat standardy hodnocení testů. Z těchto důvodů proto bylo nutné vytvářet detailní technické zprávy.[16]

Výše zmíněná historie je uváděna pro figuríny, které se používaly ve vozidlech na sedadle řidiče či spolujezdců. Všechny tyto figuríny byly reálným základem pro vytvoření figurín chodců.

---

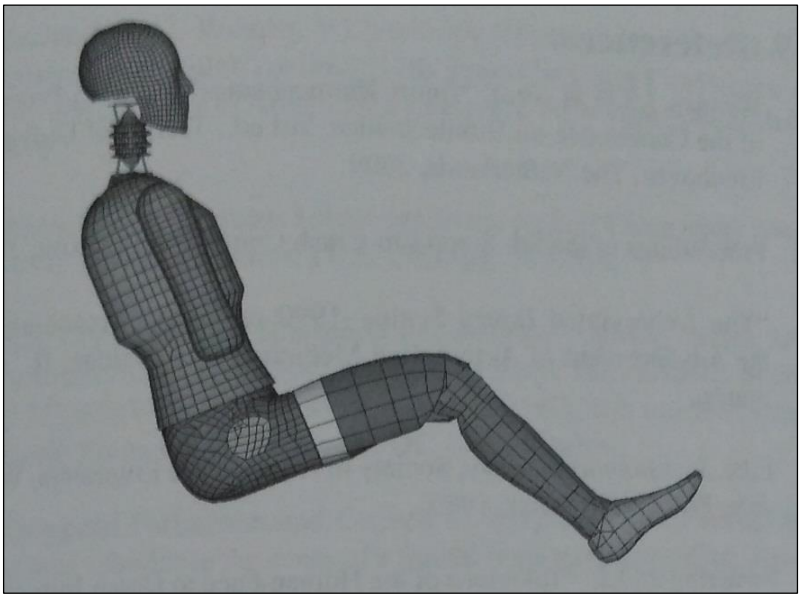
[15]ALLPosters [online], 2013 [citováno: 2016-08-29], Dostupné z: <http://www.allposters.com/-sp/Ucla-Auto-Crash-Test-Dummy-Experiments-Posters_i5316149_.htm>

[16] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2016-01-10], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/about-us/dummy-history>

2.2 SIMULACE NÁRAZU A MODELOVÁNÍ NÁRAZOVÝCH FIGURÍN

Lidské modely a modely částí lidského těla se dají různě aplikovat. Modely se běžně používají pro simulaci dopravních nehod, matematické optimalizace designu vozidel a biomechanické studie. S rozvojem výpočetní techniky a zlepšováním matematických simulací pomocí počítačů dochází ke zpřesňování výsledků, které jsou stejně dobré jako výsledky simulací reálných autonehod.

Nástroje simulací se pohybují v rozsahu od velmi jednoduchých modelů až po velmi sofistikované nástroje. Nejpoužívanější multi-body figuríny jsou založeny na programu MADYMO.[17] Produkty MADYMO jsou v rozsahu od dětských figurín až po 95-ti percentilní postavu mužské figuríny. Multi-body figuríny dávají velmi dobré výsledky, zejména při testování nárazů zepředu a použití bezpečnostních prvků navržených pro tento typ nehody. Tímto bezpečnostním prvkem mohou být například pásy. Díky dostupnosti detailní analýzy a faktu, že designoví inženýři jen neradi mění svůj software, existují i nástroje pro simulaci figurín na principu metody konečných prvků, jak znázorňuje obrázek 8.

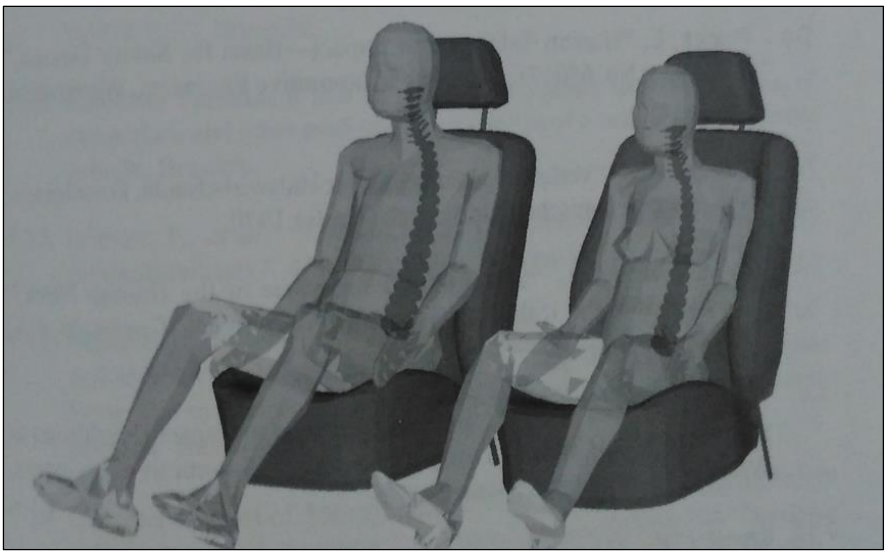


Obrázek 8 - Princip metody konečného elementu[18]

[17] MADYMO (MAthematical DYnamic MOdels) = je software pro analýzu bezpečnostních systémů v automobilovém průmyslu

[18] SIEFFERT Ulrich, WECH Lothar. Automotive Safety Handbook. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 499 s. ISBN 9780768017984.

Simulační metoda konečných prvků – MKP (angl. zkratka FEM) je srovnatelná s testováním za použití figurín, zejména při nehodách s nárazem z boku. Používají se oba typy simulačních nástrojů. MADYMO systém také dobře odpovídá kinematice a vlivu zabezpečovacích systémů, tedy pásy a airbagy, a vyžaduje méně výpočetního výkonu, než FEM systém.[19]



Obrázek 9 - Multi-body figurína reprezentující muže střední velikosti a menší ženu[20]

2.3 TYPY NÁRAZOVÝCH FIGURÍN

V současné době je vytvořeno několik figurín, jež nemají uplatnění jen v dopravě, ale i v jiných odvětvích, jakými jsou například železnice, letectví a vesmírné inženýrství. V automobilním průmyslu se využívají tyto typy figurín:

Figuríny k nárazu zepředu, zezadu a převrácení vozidla na střechu

Při simulacích těchto dopravních nehod se používají 5-ti percentilní ženské, 50-ti a 95-ti percentilní mužské figuríny série Hybrid, stejně jako dětské figuríny. Figuríny musí nejprve projít poměrně komplikovaným kalibračním testem, než je možné je použít k testování. Obrázek číslo 10 ukazuje různé velikosti nárazových figurín. Tyto figuríny jsou finančně nákladné. V roce 2006 byla cena 50-ti percentilní mužské figuríny přibližně 30 000 dolarů. Dnes se cena figuríny pohybuje díky inovacím na částce kolem 40 000 dolarů.

[19] KUHN, Matthias, FROMING, Robert, SCHINDLER, Volker, Fußgängerschutz, Berlin; LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vockler GbR, Liepzig, 2007, ISBN 3-540-34302-4.

[20] SIEFFERT Ulrich, WECH Lothar. Automotive Safety Handbook. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 499 s. ISBN 9780768017984.

Obrázek 10 - Různé typy velikostí nárazových figurín[21]

Náraz zboku

Pro laterální náraz či náraz zboku se používají 50-ti percentilní figuríny – jeden druh pro trh v USA a druhý pro evropská nařízení. Označení figuríny Hybrid III - SID[22] se používá v USA a pro evropský trh je figurína označována jako ES 2. Rozdíly mezi figurínami Hybrid III - SID a ES 2 jsou zanedbatelné. Figuríny bočních nárazových zkoušek rozšířily možnosti techniků dokonaleji navrhnout prvky chránící pasažéry. Problémy s bočním nárazem jsou odlišné od čelních, protože při bočním nárazu není posádka chráněna tak velkou částí vozidla jako při čelních nárazech. Boční náraz je převládající druh dopravní nehody v důsledku jízdy bez rozhlédnutí, a proto je testování bočního nárazu nutné za účelem výroby bezpečnějšího vozidla. Boční nárazy mohou zapříčinit zranění hlavy, krku a hrudníku způsobená prudkým

[21] SLUNIVERSE [online], 2000 [citováno: 2016-01-12], Dostupné z: <http://www.sluniverse.com/php/vb/zomgwtfbbqgtfololcats/49682-basic-religious-test-stumps.html>

[22] SID = Side Impact Dummies = figurína pro boční náraz

pohybem nebo kontaktem s interiérem vozu. Zádržné systémy čelního nárazu, jako jsou pásy nebo přední airbagy, nejsou schopny ochránit pasažéry z boku. Použití bočních nárazových figurín dovedlo návrháře vozidel k zesílení dveří a přidání bočních airbagů k ochraně hlavy a horní části těla.

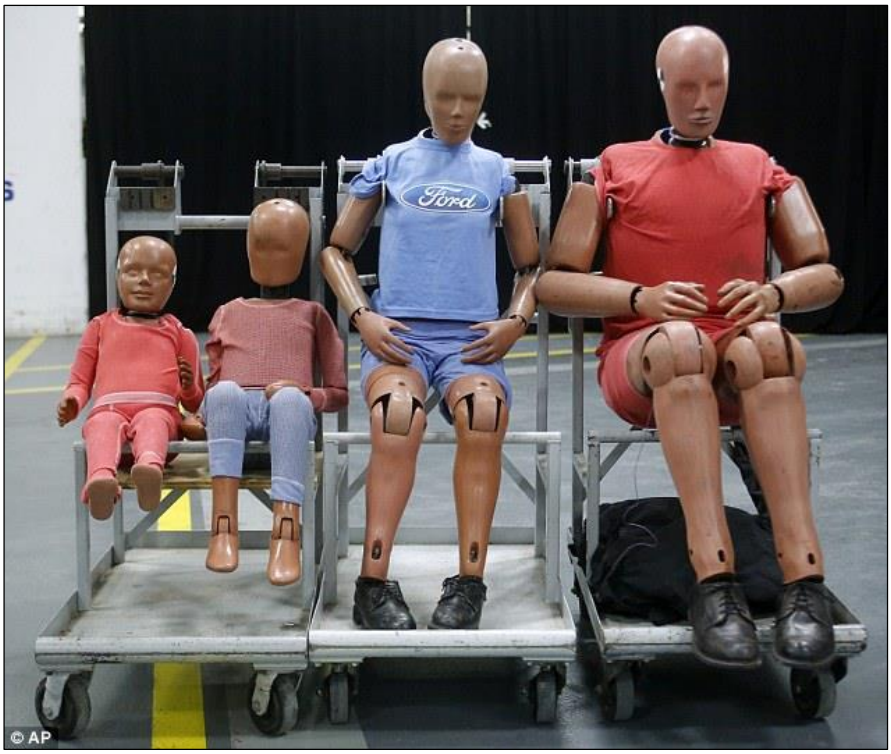
Na počátku roku 2000 začalo testování nárazu na pohyblivou barieru a také náraz na sloupek.

Obrázek 11 – Figurína pro boční náraz pro evropský trh[23]

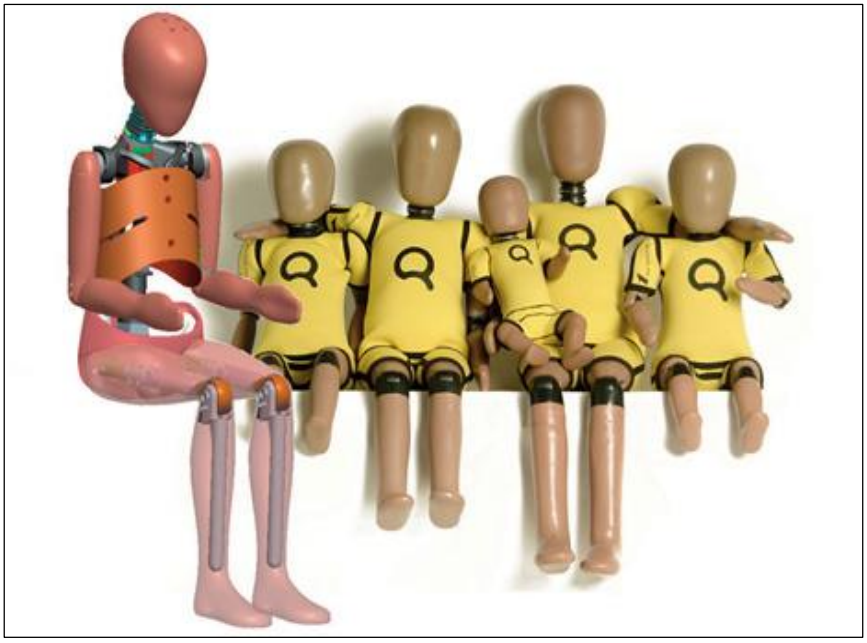
Dětské figuríny

Dětské figuríny jsou speciálním případem zahrnujícím simulaci dětí až do 10 let věku. Obrázek 13 a 14 ukazuje několik příkladů a celkový rozsah sortimentu dětských a dospělých figurín. Dětské figuríny se stávají čím dál důležitějšími, nejen pro testování zařízení pro zabezpečení dětí, jakými jsou například autosedačky, ale i pro testování funkčnosti airbagů.

[23] JASTI CO, LTD [online], 2000 [citováno: 2016-03-25], Dostupné z: < http://www.jasti.co.jp/en/product/dummy.html>



Obrázek 12 - Rodina tvořená figurínami[24]



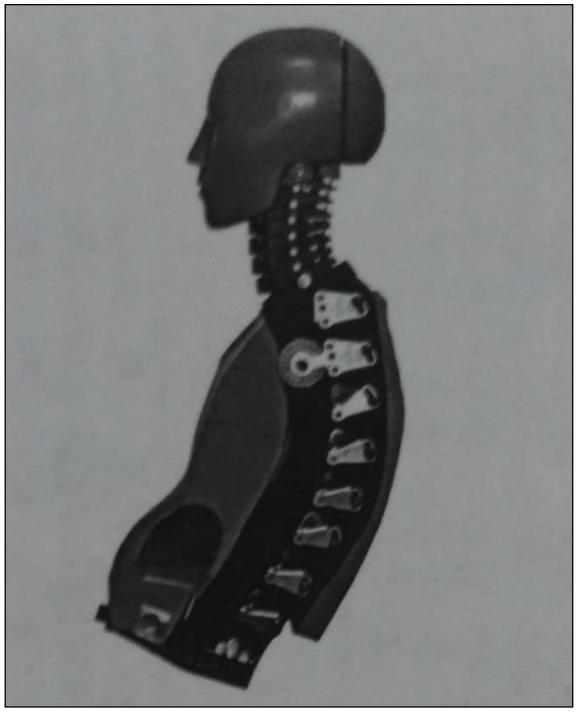
Obrázek 13 – Různé velikosti dětských figurín[25]

[24] Mail online [online], 2016 [citováno: 2016-01-12], Dostupné z: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2577915/Inside-Fords-crash-test-track-700k-dummies-fitted-100-high-tech-devices-record-damage.html>

[25] the Engineer [online], 2015 [citováno: 2016-08-31], Dostupné z: <https://www.theengineer.co.uk/issues/15-august-2011/dummy-run-building-the-perfect-crash-test-dummy/>

Figurína pro nárazu zezadu – Rear Impact Dummies

Kvůli velkému množství dopravních nehod vozidel na území Švédska, při kterých dojde k nárazu zezadu, byla za pomoci Chalmers Univerzity v Göteborgu vyvinuta nová antropomorfická figurína, která má za cíl poukázat na možná poranění krku při tomto typu nehod. Figuríny Rear Impact Dummies, zkráceně RID, představují 50-ti percentilní mužskou figurínu s vyvinutou hrudo-bederní páteří a krkem vyrobeným z kompozitního materiálu. Pohyb cervikálního obratle[26] je kontrolován pomocí kabelů, které jsou uchyceny ke krčnímu svalu, tedy spíš jeho náhradě a tlumiči. Detaily znázorňuje obrázek 14.[27]



Obrázek 14 – Figurína pro náraz zezadu - RID[28]

[26] cervikální obratel = první krční obratel

[27] Object Curations Creation [online], 2016 [citováno: 2016-03-21], Dostupné z: <http://www.oobject.com/category/12-types-of-crash-test-dummy/>

[28] SIEFFERT Ulrich, WECH Lothar. Automotive Safety Handbook. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 499 s. ISBN 9780768017984.

2.4 VÝROBNÍ PROCES NÁRAZOVÉ FIGURÍNY

Návrh a výroba figurín je složitý a izolovaný proces omezen na vládní agentury, výrobce figurín a zákazníky, jakými mohou být výrobci vozidel, případně armáda. Výrobce figurín není zodpovědný za vlastní návrhy. Výrobce místo toho dostane soubor nákresů, konstrukční detaily, a detaily pro vyžadované testování od národní dopravní bezpečnostní asociace (NHTSA). Evropské agentury poskytují výrobcům figurín podobné sady dokumentů. Výrobce figurín, ale i uživatelé se podílí na změnách konstrukce figurín v závislosti na jejich sestavení, opravách a dovybavení při pozorování jejich deformace při nárazech. NHTSA zakládá svůj design na množství získaných dat ze zkušebních nehod, dále z měřících zařízení a kamer umístěných uvnitř vozidel, destrukci na těle figuríny po nárazu, fyzické změně figuríny, rozpitvání figuríny a samotné simulaci. Biomechaničtí experti analyzují všechna dostupná data a vytvoří list specifikací, které jsou poslány výrobcům.

Výroba crashtest figurín je vysoce náročná kvůli spletitým konstrukcím a malému počtu kvalifikovaných výrobců na světě. Celý návrh a konstrukce splňuje extrémně vysokou sadu standardů.

Po obdržení balíčku nákresů a specifikací pro novou figurínu, výrobce určí, které části a materiály musí být nakoupeny či vyrobeny. Je nutné rozlišit, které materiály budou pořízeny od schválených prodejců a které budou vyrobeny ve vlastní továrně. Příkladem může být oblečení pro figuríny. Oblečení je dodáváno určitým prodejcem, ale pro pěnu na podporu vinylové kůže specifický prodejce není vyžadován a výrobce musí pouze splnit určité předepsané hodnoty.

Vzory a tvary kovových částí na řezání nebo odlévání jsou vyrobeny podle konstrukčního návrhu. Kovové část jsou odlity, řezány, tepelně třikrát zpracovány, pokovovány, obráběním zredukovány, vyhlazeny, zjemněny a nezbytně opracovány, aby doplnily dokončené kusy. Nakonec jsou kovové kusy složeny spojkami, které jsou také specifikované.

Plasty jsou rovněž navrženy, opracovány a tvarovány. Vstříknutím plastů nebo jejich nahříváním jsou plasty přidělány k dané části nebo materiálu. Plasty jsou rovněž obráběny a přizpůsobeny kovovým částem.

Potom co je kovové a plastové tělo figuríny složeno, je kostra potažena kůží. Kůže se skládají z vinylu, který je tvarován na figurínu s použitím polyuretanové pěny. Pěna je vstříknuta pod vinyl, aby zajistila pevnost a poddajnost kůže a připomínala tak skutečnou kůži.

Zjednodušeně řečeno se jedná o směs polyuretanové pěny a vinylu. Tyto kusy mohou být oblečeny a svlečeny jako oblečení. Kůže, která pokrývá hlavu, je z jednoho kusu, který se nasadí na hliníkovou lebku. Barvy kůže jsou také velimi důležité. Preferovaná je barva v barvě kůže lidského těla, ale při filmování testu se preferuje žluté nebo červené zabarvení. Žluté a červené tóny kůže jsou lehčeji měřitelné a identifikovatelné na videu.

Figurína je navržená s otvory pro měřící instrumenty a kabeláž. Ty jsou ve větších částech těla, tedy v hlavě, hrudníku, dutině břišní a stehnech. Oblečení je buď nainstalováno přímo na figuríny v továrně, nebo je přiloženo zvlášť, takže figurína může být oblečena poté, co do ní byly vloženy měřící instrumenty.[29]

2.5 POUŽITÉ MATERIÁLY NA VÝROBU FIGURÍN

Kostra testovacích figurín je vyrobena z kovu jako hliník, bronz, nebo ocel. Většina konstrukcí zahrnuje širokou škálu plastů jako je delrin, což je dlouhotrvající acetát pryskyřice, uretanu, polyuretanové pěny a vinylu. Většina figurín je oblečena, aby připomínala realitu. K měření a značení určitých cílů nebo bodů na figurínách je také poskytnuto oblečení, barva a lepidlo.[30]

2.6 NÁRAZOVÁ FIGURÍNA – CHODEC

Figuríny chodce byly velmi důležité ve vývoji dnešních moderních motorových vozidel. Zkoušky s těmito figurínami pomohly vytvářet tvar přední části vozidel tak, aby dopad nárazu vozidlo-chodec byl co nejvíce zmírněn a aby se zabránilo zranění a úmrtí chodce.

Figuríny chodců jsou použity na pomoc konstruktérům vizude při vývoji přední části vozidla. Účelem těchto zjištění je nalezení způsobu, jak snížit negativní vliv vozidla s chodcem. Tuhé části kapoty způsobují četná zranění. Náraz dolní končetiny a nárazníku vede ke zlomenině končetiny. Poranění hlavy jsou způsobena nárazem hlavy na kapotu a čelní sklo.

[29] How Products Are Made [online], 2016 [citováno: 2016-02-21], Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-5/Crash-Test-Dummy.html>

[30] KUHN, Matthias, FROMING, Robert, SCHINDLER, Volker, Fußgängerschutz, Berlin; LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vockler GbR, Liepzig, 2007, ISBN 3-540-34302-4.

Testování s figurínou chodce napomáhá navrhnout nové části vozdla. Postupné nové návrhy a změny vedou k úpravě předního autoskla a kapoty, čímž přispívají ke zlepšení výsledků při nárazu vozidla do chodce.

První figuríny chodců začali vznikat po roce 1970 a vycházely z figurín Hybrid II. V současné době se používají figuríny Hybrid III, které vznikly úpravou a inovacemi z Hybrid II. Figuríny jsou 5-ti, 50-ti a 95-ti percentilní.[31]

2.6.1 Hybrid III Pedestrian

Hybrid III Pedestrian je v současnosti poslední model figurín, který je na trhu k dispozici. Tyto figuríny jsou ve třech velikostních kategoriích. Konkrétně je to Hybrid III 5th Pedestrian – figurína ženy, Hybrid III 50th Pedestrian – figurína muže, Hybrid III 95th Pedestrian – figurína muže.

Figurína ženy je větší a těžší než 5% lidské ženské populace, figuríny mužů jsou větší a těžší než 50% a 95% lidské mužské populace.

Hybrid III Pedestrian jsou testovací figuríny modifikované ve spodní části trupu a oblasti kolen vhodné pro testování nárazu vozidla do chodce. Hybrid III má vylepšené napodobení k lidskému tělu a lepší vlastnosti provedení, než Hybrid II. Figurína Hybrid II se dříve využívala při simulaci čelních nárazů a byla umístěna ve vozidle na místě řidiče. Dnes se na místo řidiče usazuje figurína Hybrid III, která se však mírně liší od Hybrid III Pedestrian.

Figurína Hybrid III Pedestrian také nachází využití ve vývoji invalidních vozíků a také na rekreačních vozítkách, zdravotnických zařízeních a sportovních potřebách.

Velikost a hmotnost testovací figuríny 50th Percentile Male Pedestrian Test Dummy odpovídá průměrnému muži žijícímu v USA. Tento design zahrnuje rozsah pohybu, těžiště a rozdělení hmotnosti těla mezi jednotlivé jeho části dle definice Society of Automotive Engineers pro simulování objektů napodobujících lidské tělo.

Konstrukce

Anthropomorfická kostra lebky je složená z celistvého dílu hliníku a jednodílné čepice – pokrývky a potažená vinylovou kůží. Obličej je deformovatelný. Krk je tvořen hliníkovými

[31] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-21], Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian>

segmenty a gumou a spojuje hlavu s tělem stejným úhlem jako u lidského těla, což umožňuje limitovat pnutí, zvyšuje odolnost "krční páteře" a kontroluje odezvu při nárazu.

Hrudní koš je prezentován šesti vysoce odolnými ocelovými žebry a polymerovým materiálem simulujícím charakteristiky lidského výdechu. Každá jednotka s žebrem je sestavena z anatomicky věrné verze levého a pravého žebra, celkem ve 12 párech, navazují na sebe a spojují se v místě sterna.[32] Pro hrudní koš je typické prohnutí dozadu směrem k bederní páteři.

Sestava simulující sternum je připojena k přední části žeber a obsahuje posuvný prvek, který měří pohyb hrudního koše ve vztahu k páteři. Rovná bederní páteř nahrazuje zakřivenou páteř, čímž umožňuje vzpřímenou polohu figuríny.

Sestava s ocelovou, trubicovou nohou je kryta vinylovou pěnou a vinylovou kůží. Kolenní posuvný mechanismus je odstraněn a je nahrazen kolenním kloubem s rotací. Spodní část končetin od kolenního kloubu je zaměnitelná. Konstantní tření pohyblivých kloubů a spojů vyžaduje méně úprav a poskytuje konzistentní vyjádření pnutí a ohybu.

Materiály

Následující materiály, používané při konstrukci figurín, jsou v souladu s federálními požadavky na standardní Hybrid III.

- kovové kosterní komponenty s hliníkovými a bronzovými klouby - spoji
- vinylová pokožka hlavy a čepice - pokrývky hlavy
- gumový obličej.

[32] Sternum = hrudní kost

Obrázek 15 - Hybrid III 5th Pedestrian[33]

Velikost a hmotnost testovací figuríny 50-ti percentilní figurína muže odpovídá průměrnému muži žijícímu v USA. Tento design zahrnuje rozsah pohybu, těžiště a rozložení hmotnosti těla mezi jednotlivé části těla dle definice Society of Automotive Engineers pro simulování objektů napodobujících lidské tělo.

U figuríny Hybrid III 95-ti percentilní figuríny je výhodou zakřivená cylindrická bederní páteř umožňuje hrbení se jako u sedící živé osoby a pokračuje k pánvi skrz volitelnou bederní část. Skrz osu páteře vedou dva kabely, které imitují pnutí, kontrolují odezvu materiálu a zvyšují odolnost. Pánev je složena z vinylové kůže a uretanové pěny vymodelované přes hliníkovou kostru v sedící poloze. Stehenní a holenní kost lze použít k odhadu fraktury kosti, koleno lze využít ke zhodnocení zranění šlach mezi stehenní a holenní kostí. Spodní části nohou, od kolenního kloubu, jsou navzájem zaměnitelná.[34] [35] [36]

---

[33] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-25], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-5th>

[34] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-25], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-5th>

[35] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-26], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-50th>

[36] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-95th>

Obrázek 16 - Hybrid III 50th Pedestrian[37]

Obrázek 17 *- Hybrid III 95th Pedestrian*[38]

[37] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-26], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-50th>

[38] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-95th>

V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny odlišnosti v rozměrech a hmotnostech u figurín Hybrid III 50th Pedestrian – 50-ti percentilní figurína muže a Hybrid III 95th Pedestrian – 95-ti percentilní figurína muže.

Tabulka 1 – Porovnání hmotností figurín

část těla	Hybrid III 50th Pedestrian	Hybrid III 95th Pedestrian
Hlava	4,54 kg	4,94 kg
Krk	1,54 kg	1,63 kg
Horní část trupu	17,19 kg	22,58 kg
Spodní část trupu	23,04 kg	30,30 kg
Paže	3,99 kg	5,62 kg
Předloktí a ruka	4,54 kg	5,25 kg
Stehno a stehenní kost	11,97 kg	16,42 kg
Lýtko a lýtková kost	11,34 kg	14,49 kg
Celková váha	78,15 kg	101, 15 kg

Tabulka 2 – Porovnání rozměrů figurín

část těla	Hybrid III 50th Pedestrian	Hybrid III 95th Pedestrian
Obvod hlavy	59.0 cm	58,4 cm
Šírka hlavy	15,5 cm	15,5 cm
Hloubka hlavy	20,3 cm	20,0 cm
Délka páteře	88,4 cm	93,5 cm
Délka kosti pažní	33,8 cm	35,6 cm
Délka kosti loketní	29,7 cm	31,8 cm
Délka stehenní kosti	59,2 cm	63,2 cm
Délka lýtkové kosti	49,5 cm	59,4 cm

2.6.2 Pedestrian Headforms – formy hlavy pro figurínu chodce

První forma hlavy pro náraz vznikla již v roce 1994 a její označení bylo WG10. Další forma hlavy pro náraz s označením WG17 vznikla v roce 1997 a vytvořila ji firma Humanetics společně s Nizozemskou organizací pro aplikovaný vědecký výzkum (TNO)[39] v Delftu. Dalším partnerem při vývoji tohoto modelu v pracovní skupině byl EEVC. Tyto speciální nárazové formy hlavy, které jsou určené k testování nárazu na hlavu samotnou, jsou užívány při crashtestech buď samostatně, nebo s tělem. Nárazové formy hlavy se staly součástí návrhu EEVC na směrnice pro Evropskou komisi při testování bezpečnosti chodců při nárazu vozidla do chodce. Design formy hlavy je založen na současné formě WG10 a zároveň slouží jako nástroj hodnocení bezpečnosti chodce v programu EuroNCAP.

V červnu 1997 se EEVC rozhodla vytvořit pracovní skupinu s názvem Pedestrian Safety - Bezpečnost Chodce: WG17. Hlavní náplň pracovní skupiny bylo posoudit testovací metody ochrany chodce z roku 1994 a navrhnout možné inovace, získané z dat statistik nehod, biomechaniky a výsledků testů. Report EEVC WG17 byl dokončen v prosinci 1998 a zahrnoval několik vylepšených testovacích podmínek a požadavků a nástrojů, například nárazové části. Evropská komise bude využívat nových EEVC testovacích metod ochrany chodců pro další rozvoj regulací v tomto oboru.

Od roku 1994 je podsystém měřičů nárazu popsaný v EEVC testovacích metodách a je dále posuzován a vylepšován. V testovacích metodách EEVC byly zahrnuty nové specifikace nárazových částí:

- vylepšení nárazové formy nohy (noha na speciální testy nárazu na nohy, používaná samostatně nebo s tělem) s tlumičem za účelem zabránit vibracím
- změna materiálu nárazové části formy hlavy, aby se zlepšila produkce a trvanlivost
- vylepšení certifikační procedury u nárazových částí nohy a hlavy, aby lépe odrážely skutečný efekt testování nárazníku a krytů
- výdrž a opakovatelnost nárazových částí hlavy.

Aby se vylepšila trvanlivost a opakovatelnost, rozhodla se EEVC WG17 přejít na více hybridní formu hlavy, tedy hliníkovou sféru pokrýt kůží z PVC. Vnější průměr a hmota formy na hlavu

[39] TNO = The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research – Nizozemská organizace pro aplikovaný vědecký výzkum

je neměnná. Nárazové části formy hlavy WG 17 byly vytvořeny na základě pádových testů a splňují původní certifikační požadavky. Následně EEVC schválila WG 17 jako vhodnou nárazovou formu hlavy.

Původní certifikovaná rychlost formy hlavy získaná z pádového testu byla pouze dvacet až dvacetpět procent z rychlosti nárazu na kapotu. EEVC WG17 vyvinula novou dynamickou certifikační proceduru, která lépe odráží nárazovou formu hlavy v testech při nárazu na kapotu.

V roce 2009 Euro NCAP uvedla nové celkové hodnocení vozidel, Které zdůrazňuje ochranu chodců pro další vývoj. Nový systém hodnocení byl aktualizován v únoru 2010. V tu samou dobu Evropská komise publikovala novou regulaci na ochrany chodců (EC) číslo 78/2009, která odvolala a nahradila předchozí směrnice evropské komise.[40]

Obrázek 18 - Pedestrian Headforms[41]

2.6.3 Flex-PLI-GTR

V roce 2000, Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. (JAMA) a Japan Automobile Research Institute (JARI) zahájili vývoj Flexible Pedestrian Legform Impactor (Flex-PLI) – zjednodušeně přeloženo jako „nárazová figurína dolní končetiny chodce“. V roce 2002 byl představen prvotní design, který v roce 2006 nahradila inovovaná verze Flex-GT. Flexible Technical Evaluation Group (Flex-TEG), sestavená z vládních i průmyslových členů, zhodnocuje možnost použití nárazové figuríny dolní končetiny chodce pro bezpečnostní institut Global Regulation on Pedestrian Safety (PS-GTR). Tento institut se zabývá bezpečností chodců. Firma Humanetics vyrobila testovací figuríny, nohy na základě GT designu a na

[40] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/pedestrian-headforms>

[41] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/pedestrian-headforms>

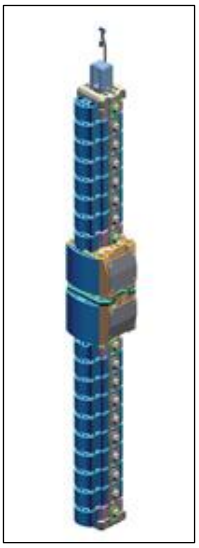
základě recenzí došlo k vylepšení. Vzniklý GTR design byl institutem PS-GTR přijat. Výkonnost nohy zůstala nezměněna, aby se zajistilo, že testovací data budou i nadále relevantní.

Nárazová figurína reprezentuje 50-percentilní mužskou nohu, naraženou z pravé strany. Flex-PLI (Flexible Pedestrian Legform Impactor) simuluje flexibilitu lidské kosti. Náraz do stojící nohy předním nárazníkem jedoucího vozidla rychlostí *40 km/h* vede k poškození části nohy a kolena této figuríny. Na základě tohoto pokusu je možné lépe předvídat skutečné zranění při srážce chodce s vozidlem.

Vylepšením úhybných senzorů nedošlo k ovlivnění citlivosti nárazu a zároveň se zabránilo rotaci kolena vybalancováním síly pnutí pružiny v kolenním kloubu. Došlo také k vybalancování síly napnutí pružiny v kolenním kloubu, díky tomu se zabránilo rotaci kolena. Zabudování Data Acquisition Systems (DAS) společně se zlepšením ovládání, přidáním dodatečných a volitelných senzorů vedlo ke zlepšení volného pohybu.

Humanetics také revidovala a zaktualizovala několik částečně-statických kalibračních procedur pro interní kosti, stehna, kolena a součástky spodní části nohy. Aktualizovaná dynamická kalibrační sestava poskytuje realističtější napínání a zlepšuje opakovatelnost pokusů.

Standardní provedení nohy má dvanáct kanálů, což obnáší tři momentové senzory ve stehně a čtyři ve spodní části nohy, které všechny měří točivý moment končetiny. V koleni jsou čtyři lankové potenciometry, měřící prodloužení šlach a akcelerometr měřící směr nárazu.



Obrázek 19 – PLI – LEG[42]

[42] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/flex-pli-gtr>

Stehenní a holenní kosti jsou navrženy jako segmentovaná skládačka uvnitř sestavená zejména z vysoce odolného plastu s vlákny na vyztužení „plastové kosti“. Měřidla napnutí jsou připevněna ke kostem pro změření momentu ohybu. K dosažení vysoké citlivosti měřidel je každý set kalibračních kanálů kalibrovaný. Dráty z nerezové oceli limitují ohyb kostí, čímž zabraňují vyvíjení přílišného tlaku na materiál. Články spojují segmenty, které udržují rovnoměrnou šíři mezer mezi nimi a gumové oddělovače zabraňující kontaktu mezi jednotlivými segmenty. Pokud je to třeba, je možno namontovat další volitelné akcelerometry na jakýkoli segment nohy.

Koleno je sestaveno ze dvou částí a je ohybné v kolenním kloubu. Ten využívá nerezové dráty a pružiny k simulaci funkce šlach. Pružiny jsou navrženy tak, aby splňovaly potřebné nároky na odolnost šlach, stejně jako odpovídající rozsah pohybu. K pozorování různého pohybu kolenních komponentů mohou být umístěny akcelerometry na každé straně kolene. Po stranách kolene je umístěn DAS a hliníkový obal chránící dráty a elektroniku.

Tkáň je sestavena z kombinace gumy a neoprenových, pěnových povlaků. Většina gumy je umístěna v horní části končetiny, čímž poskytuje dojem lidské končetiny.

Obrázek 20 - Flex-PLI-GTR[43]

[43] HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/flex-pli-gtr>

3 BUDOUCNOST NÁRAZOVÝCH FIGURÍN

Počítačové technologie, zlepšování testovacích metod a analýzy dat, zmenšování měřících instrumentů umožňují vyrobit figuríny přizpůsobené k extrémům lidské aktivity. V rámci počítačových simulací je možné simulovat kompletní dopravní nehody, tj. nejen poškození samotného vozidla, ale také zranění posádky. Počítačové simulace jsou zajímavé pro výrobce vozidel, protože je možné jimi nahradit destruktivní testování, což znamená úsporu 750 000 dolarů na jeden destruktivní test. Figuríny po simulovaném nárazu jsou prohlédnuty a detaily „zranění" (poškození), především hlavy a páteře, dále analyzovány. Díky počítačovým simulacím možné ušetřit až tři měsíce v časovém plánu mezi návrhem a výrobou nového modelu. [44]

Přes výhody simulačních a výpočtových programů výrobci figurín trvají na tom, že figuríny jsou potřeba. Crashtesty a figuríny se tak staly spolehlivým měřítkem bezpečnosti. Vládní agentury jsou si toho vědomé a žádají tak výrobce figurín, aby produkovali figuríny a senzory zaměřené na velmi specifická poranění. V roce 1995 se pozornost přesunula k dolní části nohou, pohybu chodidel a poranění Achillovy šlachy způsobené čelními nárazy. Nohy Hybridu 350 díky senzorům certifikovaným v roce 1997 připomínaly bionického člověka. Zájem také roste u simulace kůže, která se odře a pohmoždí během testů. Data z těchto výzkumů jsou také nápomocny doktorům při zlepšování léčby kožního poranění a díky neustálému vývoji figurín tak dochází k většímu úspěchu při záchraně ať už lidských životů nebo končetin.[45]

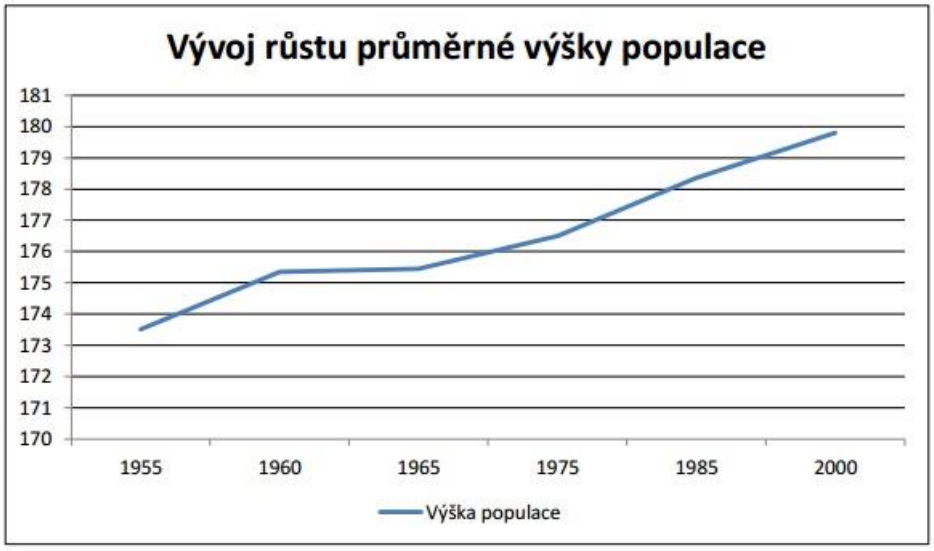
Optimální rozměry figuríny nelze jednoznačně určit, ať už u figuríny Hybrid III nebo ES-2, neboť fyziologické rozměry pasažérů jsou velmi rozmanité. Řidiči mohou mít výšku od *150 cm* do *210 cm*, tak hmotnost v rozmezí od *50 do 150 kg*. Tato různorodost fyziologických rozměrů řidičů a pasažérů s sebou přináší různé komplikace, které by mohly pro posádku vozu znamenat v krajním případě i smrt. Výrobci vozidel přizpůsobují své vozy zkouškám konsorcia EuroNCAP, přičemž tyto zkoušky výrazně opomíjejí různé fyziologické vlastnosti pasažérů. Testování figurínami s rozměry průměrného řidiče sice vedou k hodnocení vozu pěti hvězdičkami, při reálné nehodě však může u řidiče, který se od tohoto průměru výrazněji odlišuje, dojít k vážným zraněním z důvodu nedostatků, které nebyly při testování s průměrnou figurínou odhaleny. Například v případě ženské populace není výjimkou výška nepřesahující

[44] KUHN, Matthias, FROMING, Robert, SCHINDLER, Volker, Fußgängerschutz, Berlin; LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vockler GbR, Liepzig, 2007, ISBN 3-540-34302-4.

[45] SIEFFERT Ulrich, WECH Lothar. Automotive Safety Handbook. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 499 s. ISBN 9780768017984.

155 cm. V takovém případě, kdy řidič dosahuje výšky kolem *150 cm*, není možné optimálně nastavit polohu sedadla neboť v takové poloze, která je určena pro řidiče jako optimální, není řidič schopen dosáhnout na pedály. Sedadlo je proto přisunuto více dopředu a při nehodě pak dochází k razantnějšímu nárazu kolen do palubní desky, tím pádem dochází k několikanásobně vyššímu zatížení stehenní kosti a vážným zraněním. Stejně tak tomu může být i při nehodě, kdy je řidič příliš vysoký a možnosti nastavení sedadla mu nedovolují přizpůsobit polohu sezení dle jeho požadavků.

V současné době z důvodu změny životního stylu lidská populace výrazně tloustne a zároveň díky zvýšení kvality lékařské péče roste průměrná výška lidí. V následujícím grafu je znázorněn růst lidské populace.



Obrázek 21 – Vývoj růstu průměrné výšky populace[46]

V grafu je zaznamenán vývoj růstu lidské populace, zjištěný pomocí vzorku vojenských rekrutů, obsahujícího průměrně 780 respondentů mužského pohlaví ve věku od 18 do 25 let. Podle dat zanesených v grafu je zřejmé, že průměrná výška lidské populace vzrostla v průběhu druhé poloviny dvacátého století o více než *60 mm*. Z grafu je zřejmé, že průměrná výška lidské populace je v celém rozsahu grafu rostoucího charakteru. Pokud by v následujících letech tento trend pokračoval, můžeme v budoucnu očekávat výraznou odchylku reálných rozměrů lidí od rozměrů testovacích figurín.

[46] ČERNÍK, L. Hodnocení nárazových testů automobilů s ohledem na vlastnosti testovacích figurín. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S., Ekonomika a management, 2014. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Bradáč, Ph.D.

Větší pravděpodobnost odchýlení reálných hodnot od parametrů figurín je u hmotnosti. Využití vzorku respondentů z rekrutů vojenské služby ve věku od 18 do 25 let jako u výšky v tomto případě není možné, neboť by hodnocení hmotnosti bylo zkreslené z důvodu rozdílné fyzické kondice vojáků a civilních obyvatel. Tloustnutí obyvatel je však bezesporu zřejmé. Podle významných světových organizací jako je WHO, za posledních třicet let vzrostl počet obézních obyvatel na více než dvojnásobek. Jeden Američan ze tří je obézní, celkem jich zatěžuje severoamerický kontinent na 87 milionů. Situací se musí zabývat i automobilky, aby se jim zákazníci na jednom z nejdůležitějších trhů světa vůbec do aut vešli. Obézním lidem hrozí větší nebezpečí v případě nehody a to z důvodu pozice sezení ve vozidle, kdy není obézní člověk schopen dosáhnout optimální polohy pro bezpečnou jízdu ve vozidle. Riziko úmrtí při autonehodě je u obézních lidí vyšší o 78 procent. Dalším velmi významným faktorem je tělesný tuk, který znemožňuje správnou funkci bezpečnostních pásů. Tělesný tuk uložený v místech kontaktu bezpečnostního pásu s tělem člověka je mnohem více formovatelný, než je tomu například u svalové tkáně. Bezpečnostní pás pak nedosahuje správné funkčnosti, neboť dochází k situaci, která je totožná například s uvolněným pásem nebo pásem nataženým přes péřovou bundu.

Na světě žije 2,1 miliardy lidí s nadváhou, z toho 671 milionů je obézních. Z toho víc než polovina žije v pouhých deseti zemích. Druhá za USA je Čína s 62 miliony tlouštíků. Znamená to, že 9 % všech obézních na Zemi žije v Číně. Oproti osmdesátým létům váží dnes průměrný Číňan o tři kila víc, je o deset centimetrů vyšší a obvod hrudníku Číňanek roste od roku 1992 o centimetr za rok.

Experti odhadují, že v roce 2010 nadváha zavinila na světě 3,4 milionu mrtvých, většina z nich připadá na kardiovaskulární choroby. Nadváhou si ale zahráváme, i když sedáme za volant. „Obézní lidé mají při nehodě o 78 procent vyšší riziko úmrtí,“[47] udává Chris O’ Connor, šéf společnosti Humanetics. Podle odborníků jsou obézní řidiči náchylnější ke zdravotním problémům, což přispívá k vyššímu nebezpečí úmrtí v případě nehody. Poukazují také na horší funkčnost bezpečnostních pásů v případě závažné nadváhy.

Tento významný výrobce speciálních figurín používaných při crashtestech vozidel tedy představuje nový model vážící 124 kilogramů.

[47] iDNES.cz [online], 1999 [citováno: 2016-09-03], Dostupné z: <http://auto.idnes.cz/crashtesty-tloustnou-kvuli-vypasenym-americanum-fss-/automoto.aspx?c=A141030_135156_automoto_fdv>

Důvodem vytváření této obézní figuríny je, že tloustneme. Tuk se nám ukládá v centrální části těla a to ovlivňuje naši polohu, ve které sedíme ve vozidle. Vyvíjí se tedy figuríny s jinou stavbou těla než doposud. Automobilky je užijí pro zkoumání a vývoj nových modelů, které lépe ochrání obézní pasažéry. Nejnovější model figuríny od americké firmy tedy má při 124 kilech index tělesné hmotnosti BMI 35. Běžné hodnoty jsou přibližně mezi 18 a 25.

Většina značek z euro-americké zóny provádí nadstandardní testy hned s několika druhy figurín, z nichž ty nejtěžší váží 100 kilogramů, standardní dnes používaná mužská figurína má přibližně 78 kilogramů. Odborníci ale zdůrazňují, že na hmotnosti řidiče nezáleží při nehodě tolik jako na správném sezení. Před několika lety se kvůli úmrtí obézní řidičky za volantem malého Peugeotu 107 dokonce francouzská značka dostala před soud. Analytici mají ještě další zajímavé údaje. Nebezpečí vážného zranění vzrůstá u padesátníka za volantem o dvacet procent a u osmdesátníka o čtyřicet procent. Věkovitou testovací figurínu chce Humanetics představit v roce 2017. Vzrůstající věk řidičů si uvědomují i automobilky, samy pracují například se speciálními obleky, které vývojářům simulují zhoršenou hybnost starých lidí.[48]

[48] ČERNÍK, L. Hodnocení nárazových testů automobilů s ohledem na vlastnosti testovacích figurín. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S., Ekonomika a management, 2014. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Bradáč, Ph.D.

4 ANATATOMICKÁ STAVBA DOLNÍ KONČETINY

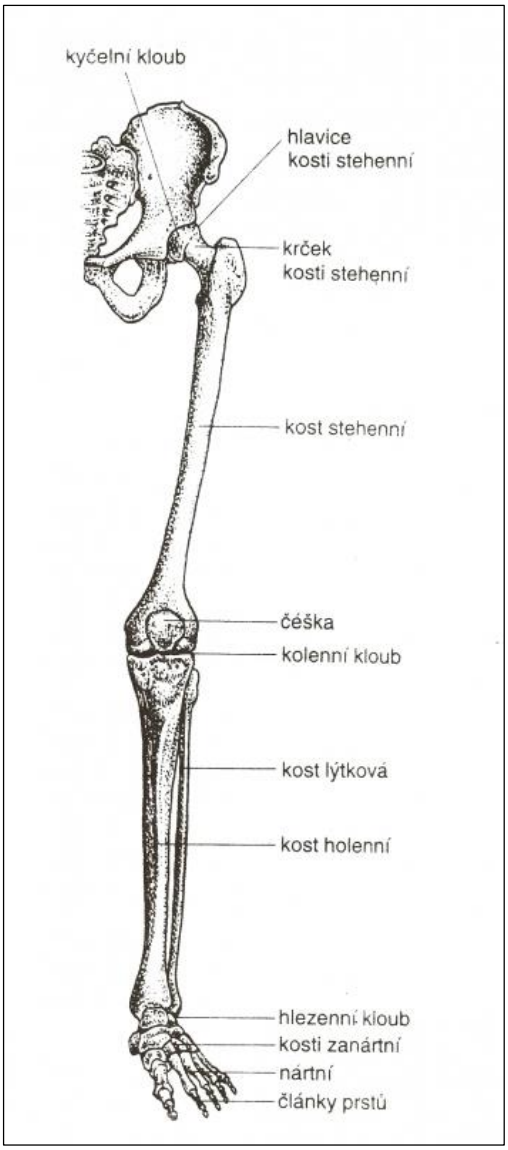
Dolní končetiny jsou párovým orgánem, pomocí kterého je člověku umožněn pohyb. Dolní končetiny jsou tvořeny pletencem kostí, kostrou volné končetiny a svaly. Pro návrh figuríny dolní končetiny bude zanedbána oblast pánve a kyčelního kloubu. Stehenní kost figuríny bude ukončena bez návaznosti na kyčelní kloub. Napojení na kyčelní kloub je přichystáno, tato práce však byla zaměřena na kosti dolní končetiny. Tedy kost stehenní, kost lýtkovou a kost holenní a jejich vzájemné spojení kolenním kloubem. Všechny tři kosti budou nahrazeny dřevěnou kulatinou z dubu. Jako náhrada kolenního kloubu bude použita ortopedická pomůcka, která se používá jako kolenní kloub u protéz dolních končetin. Podrobněji je vše popsáno v kapitole 5.2. Výroba dolní končetiny nárazové figuríny.

4.1 KOSTI DOLNÍ KONČETINY

Pletenec dolní končetiny je tvořen jedinou pánevní kostí. Je kloubně připojena ke kosti křížové a ve sponě stydké je připojena k druhostranné pánevní kosti. Vzniká tak uzavřený útvar – pánev. Pánev je tvořena třemi kostmi: kostí kyčelní, kostí sedací a kostí stydkou. Pánev je spojena s křížovou kostí nepohyblivým tuhým kloubem. Dolní končetina je tedy k trupu připojena mnohem pevněji než horní, která je připojena kloubním spojením s hrudní kostí a pomocí svalů. Muži mají vyšší a užší pánev, ženy naopak širší a silnější. Tato část dolní končetiny nebude u návrhu nárazové figuríny vytvořena. Dřevěná kulatina bude nachystána na napojení konce stehenní konci a při vytváření další části figuríny lidského těla bude propojena s modelem, který bude obsahovat pánevní kost a kyčelní kloub. [49]

Kost stehenní je největší a nejsilnější kostí v lidském těle. Rozeznávají se na ní čtyři hlavní části. Hlavice kosti stehenní, zapadá do jamky kyčelního kloubu. Krček kosti stehenní, spojuje hlavici s tělem. Tělo kosti stehenní je nejdelší část kosti, na horní straně vybíhá ve dva chocholíky. Kondyl kosti stehenní se na distální straně se rozšiřuje ve dva hrboly, které jsou součástí kolenního kloubu. Stehenní kost bude nahrazena dřevěnou kulatinou z dubu. Její vlastnosti nejlépe odpovídají vlastnostem stehenní kosti, tedy pružnosti, pevnosti, ohnutí a zlomení. Podrobněji je tato problematika popsána v kapitole 5.2.1 Kosti

[49] WikiSkripta – Kosti dolní končetiny [online], 2016 [citováno: 2016-01-27], Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Kosti_doln%C3%AD_kon%C4%8Detiny>



Obrázek 22 - Kostra dolní končetiny[50]

Kolenní kloub je složený a zároveň největší kloub v těle. Sbíhají se zde kost stehenní, kost holenní a čéška. Kolenní kloub ve figuríně bude vytvořen z náhradního kolenního kloubu, který bude vyjmut z protézy dolní končetiny. Z materiálů a nástrojů, které jsou k dispozici, není možné vytvořit sofistikovanější kolenní kloub do figuríny.

Kost holenní je silná kost, dělí se na tři části. Proximální část, kterou tvoří dva široké kloubní hrboly, oba nesou na svém proximálním konci kloubní plochy pro styk se stehenní kostí. Tělo kosti holenní je silné a trojboké. Na přední straně mezi se nachází mohutná drsnatina, kam se upíná šlacha čtyřhlavého svalu stehenního.

[50] ŠKOLNÍ A WEBOVÉ CENTRUM; Kostra dolní končetiny [online], 2016 [citováno: 2016-01-27], Dostupné z: <http://vyuka.zsjarose.cz/index.php?action=lesson_detail&id=376>

Kost lýtková je tenká kost, nedá se říct, že má přímo nosnou funkci, slouží především jako místo svalových začátků, například dlouhý sval lýtkový. Má opět tři části. Hlavice kosti lýtkové, která nese kloubní plošku pro spojení s kostí holenní, těsně pod ní se nachází krček. Krček je užší část mezi hlavicí a tělem. Na hlavici se upíná dvojhlavý sval stehenní. Tělo kosti lýtkové má 4 hrany: přední, zadní, vnitřní a ventromediální. Ve figuríně bude kost lýtková s kostí holení pro zjednodušení nahrazena pouze jednou dřevěnou kulatinou.

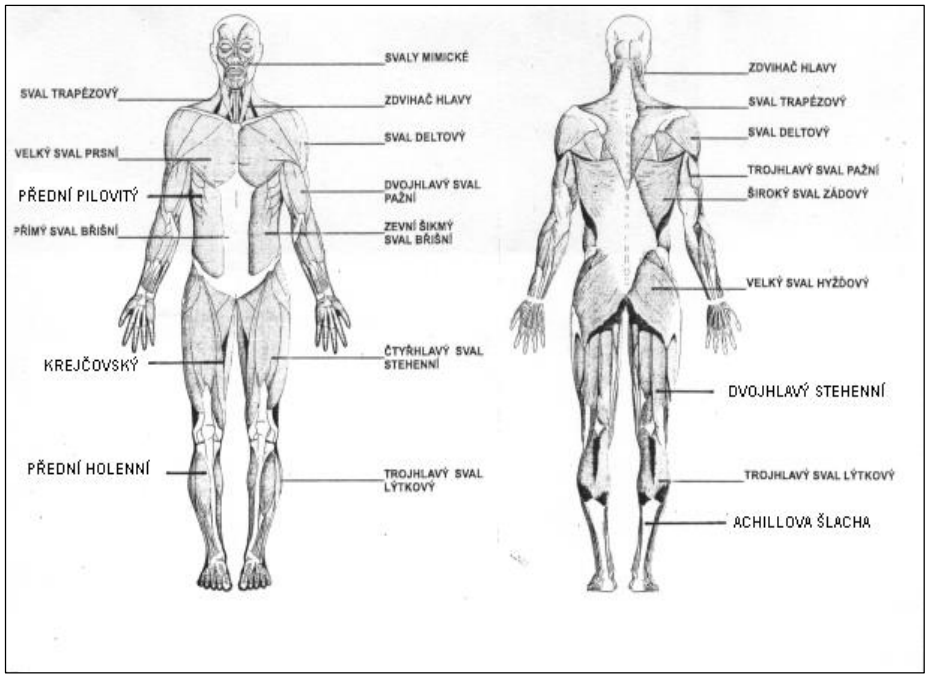
Zevní kotník zasahuje dále než vnitřní kotník, ke kosti holenní je připojen pevným vazivem, doplněným kloubní štěrbinou. Kost zánártní je tvořena sedmi zánártními kůstkami tvořících kotník. Kost hlezenní je skloubená s kostmi bérce, její části je vazivové poutko, krček a hlava svalu. Kost patní je největší, předozadně protáhlá kost nártu, má tři kloubní plošky na dorsální straně kosti. Výběžek kosti patní podpírající kost hlezenní, další části je Achillova šlacha, upíná se sem šlacha trojhlavého svalu lýtkového. Poslední částí je kost loďkovitá. Dalšími kostmi, které tvoří chodidlo a nártovou část je kost krychlová, kosti klínovité a kosti nártní. Jedná se o pět nártních kůstek, které dohromady tvoří nárt nohy. Stavbou, vývojem a osifikací jsou podobné stavbě ruky.[51] Kotník bude nahrazen silikonovou epitézou nártu s prsty.

4.2 SVALY DOLNÍ KONČETINY

Dolní končetina je tvořena několika svaly, které jsou potřeba pro správnou funkci dolní končetiny a tedy i pro správný pohyb člověka. Svalová soustava dolní končetiny začíná velkým bederním svalem, jeho začátek je na posledním hrudním a bederním obratli. Úpon velkého bederního svalu je na malém chocholíku kosti stehenní. Funkcí tohoto svalu je ohyb v kyčelním kloubu.

Sval kyčelní má začátek na kosti kyčelní. Jeho úpon je na malém chocholíku kosti stehenní. Funkcí tohoto svalu je rovněž ohyb v kyčelním kloubu. Hýžďový sval je tvořen skupinou tří svalů. Konkrétně jde o velký, střední a malý sval hýžďový. Všechny tyto svaly začínají na kosti kyčelní. Úpon těchto svalů je na velkém chocholíku kosti stehenní a díky této skupině svalů můžeme sedět a ohýbat kyčelní kloub a také vytáčet dolní končetinu do strany.

[51] ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1, Praha: Grada., 2011. 552 s. ISBN 978-80-247-3817-8.



Obrázek 23 – Svalová soustava[52]

Sval hruškovitý začíná na kosti pánevní a upíná se na velký chocholík kosti stehenní. Jeho funkcí je vnější rotace v kyčelním kloubu. Velmi důležitým svalem na dolní končetině je sval krejčovský. Jeho začátek je na kosti kyčelní a upíná se na kost holenní. Jedná se o nejdelší sval v těle. Sval jde přes dva klouby, má tedy funkci při pohybu těchto kloubů, ohyb v kyčelním a kolenním kloubu. Čtyřhlavý sval stehenní má začátek na kosti kyčelní a kosti stehenní a upíná se na kost holenní. Jeho funkcí je ohyb v kolenním kloubu a ohyb v kyčelním kloubu. Důležité pro funkci dolní končetiny jsou i dvojhlavý sval stehenní, sval poloblanitý, sval pološlašitý, jsou to takzvané hamstringy. Jejich funkcí je ohyb kolenního kloubu. V oblasti pod kolenním kloubem na holeni je přední sval holenní a jeho funkcí je ohyb v hlezenním kloubu, jde o pohyb kdy „špička nohy jde nahoru." Na zadní straně dolní končetiny pod kolenní jamkou je dlouhý sval lýtkový a trojhlavý sval lýtkový. Díky těmto svalům je možné „postavení se na špičku."[53]

Pro výrobu figuríny bude možné většinu „miniaturních" svalů zanedbat, jelikož při nárazu vozidla do figuríny by nebylo možné určit, zda došlo k jeho porušení. Primárně je pro figurínu nejdůležitější čtyřhlavý sval stehenní a sval lýtkový.

[52] UČ SE ONLINE - SVALOVÁ SOUSTAVA [online], 2015 [citováno: 2016-01-15], Dostupné z: <http://www.ucseonline.cz/biologie/svalova-soustava/>

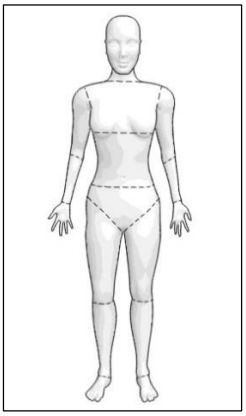
[53] NABLA – Biologie [online], 2013 [citováno: 2016-01-29], Dostupné z: <http://www.nabla.cz/obsah/biologie/kapitoly/biologie-cloveka/svaly-dolni-koncetiny-musculi-membri-inferioris.php>

4.3 PARAMETRY DOLNÍ KONČETINY

Pro určení správných parametrů dolní končetiny je třeba si rozdělit lidské tělo na segmenty. Díky těmto segmentům je možné přesněji určit hmotnosti jednotlivých částí lidského těla.

4.3.1 Segmenty lidského těla

Z mechanického hlediska je lidské tělo chápáno jako hmotná soustava neboli systém tvořený hmotnými tělesy – segmenty. Tyto části těla pružně propojené tvoří synergetický celek, který je schopný vytvářet širokospektrální pohybovou skladbu.



Obrázek 24 – Segmenty lidského těla

Při analýzách takového složitého segmentálního pohybu je potřeba znát nejen pohyb v centrálním těžišti, ale i pohyby jednotlivých segmentů. Segment tvoří dlouhá kost nebo více kostí například stehno tvoří kost stehenní, noha je tvořena větším počtem kostí

Tabulka 3 – Segmenty lidského těla

SEGMENTY TĚLA	
Hlava	
Trup	
Horní končetina	paže
	předloktí
	paže
Dolní končetina	stehno
	bérec
	noha

Délky a hmotnosti je možné vyjádřit v absolutních hodnotách, tedy v kilogramech nebo metrech, či v relativních hodnotách a to v procentech vzhledem k výšce těla nebo jeho hmotnosti.

Tabulka 4 - Hmotnost jednotlivých segmentů u muže

Segment	Podíl segmentu z celkové hmotnosti
Hlava	7 %
Trup	46,4 %
Paže	2,7 %
Předloktí	1,4 %
Ruka	0,6 %
Stehno	13,4 %
Bérec	3,7 %
Noha	1,5 %

Pro výpočet hmotnosti dolní končetiny je tedy nutné sečíst segmenty, které patří k dolní končetině:

$$Segment_{Stehno} + Segment_{Bérec} + Segment_{Noha} = Segment_{Dolní\ končetina} \quad [1]$$

$$13{,}4\% + 3{,}7\% + 1{,}5\% = 18{,}6\%$$

Pro výpočet hmotnosti dolní končetiny je tedy nutné vynásobit celkovou hmotnost člověka segmentem dolní končetiny:

$$m_{člověka} \cdot Segment_{Dolní\ končetina} = m_{dolní\ končetiny} \quad [2]$$

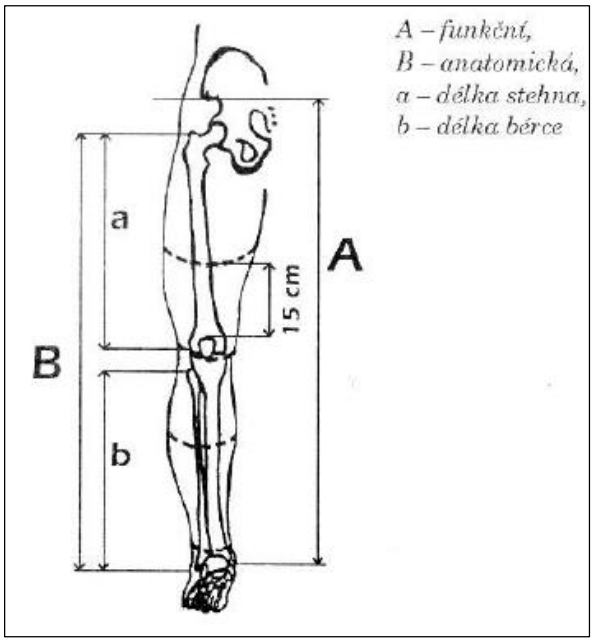
Ze vztahu [2] lze tedy spočítat hmotnosti dolní končetiny u člověka s různou tělesnou hmotností. Dosažené hmotnosti můžeme nalézt v tabulce.

Tabulka 5 – Výpočet hmotnosti dolní končetiny

celková hmotnost člověka	hmotnost dolní končetiny
65 kg	12,1 kg
70 kg	13,0 kg
80 kg	14,9 kg
90 kg	16,7 kg
100 kg	18,6 kg
110 kg	20,5 kg
120 kg	22,3 kg
130 kg	24,2 kg

4.3.2 Délka dolní končetiny

Měření délky dolní končetiny probíhá vleže. U dolní končetiny měříme funkční – relativní délku a anatomickou – absolutní délku. Funkční délka se měří od kosti kyčelní po vnitřní kotník. Anatomická délka se měří od velkého chocholíku kosti stehenní po zevní kotník.



Obrázek 25 – Měření délky dolní končetiny[54]

Délka stehna se měří od velkého chocholíku kosti stehenní po zevní štěrbinu kolenního kloubu. Délka bérce se měří od hlavice kosti lýtkové po zevní kotník. Délka nohy pak od nejdelšího prstu po patu.[55]

V tabulce níže jsou hodnoty délky kostí dolní končetiny dospělého mužského jedince a jeho výška postavy. Tyto hodnoty naměřil RNDr. et MUDr. Vítězslav Kuželka, český antropolog, který se zabýval problematikou délky lidských kostí. Jedná se však o přibližné hodnoty, skutečná hodnota se může u jedinců mírně lišit následkem vrozených vad, úrazů a namáhání kostí.

[54] HALADOVÁ, E., NECHVÁTALOVÁ, L. Vyšetřovací metody hybného systému. 2. vyd. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. 135 s. ISBN 80-7013-393-7.

[55] HALADOVÁ, E., NECHVÁTALOVÁ, L. Vyšetřovací metody hybného systému. 2. vyd. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. 135 s. ISBN 80-7013-393-7.

Tabulka 6 - Výpočet výšky postavy z délek dlouhých kostí končetin u mužů[56]

výška postavy [cm]	délka stehenní kosti [cm]	délka holenní kosti [cm]	délka lýtkové kosti [cm]
153	39,2	31,9	31,8
159	41,0	33,5	33,3
165,4	44,0	36,2	35,8
173	48,2	39,4	38,8
178,5	50,4	41,0	40,3
183	51,9	42,0	41,3
190	53,7	43,2	42,6
197	55,0	44,5	43,9
205	56,2	46,0	44,5
215	58,0	47,0	45,8

[56] KUŽELKA, Vítězslav. Osteometrie. In: Stloukal et al., Antropologie: Příručka pro studium kostry. Praha: Národní muzeum, 1999. s. 262. ISBN 3-437- 25040-X

5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH DOLNÍ KONČETINY FIGURÍNY

Pro konstrukční návrh dolní končetiny je třeba vyřešit několik problémů. Prvním z nich je, samotná výroba a materiály pro výrobu. Dalším problémem je náhrada kostí, kloubů, svalové hmoty a kůže.

Pro výrobu figuríny je potřeba vyrobit formu, díky které bude možné získat tvarově a proporčně shodnou figurínu s reálnou lidskou postavou. Kosti figuríny budou nahrazeny dřevěnou kulatinou z dubu, jak je podrobněji popsáno v kapitole 5.2.1 Kosti. Klouby navrhované dolní končetiny figuríny budou použity z protézy dolních končetiny, popsáno v kapitole 5.2.4 Náhrada kolenního kloubu a kapitola 5.2.5 Náhrada nártu. Svalová hmota bude vytvořena agaru, což je přírodní polysacharid s vysokou gelující schopností, který se vyrábí z červených mořských řas, podrobněji popsáno v kapitole 5.2.3 Svalová hmota. Kůže bude nahrazena potravinářskou folií a neoprenovým kalhotami, podrobněji popsáno v kapitole 5.2.6 Kůže.

5.1 VÝROBA FORMY PRO DOLNÍ KONČETINU FIGURÍNY

Pro výrobu dolní končetiny nárazové figuríny bylo zapotřebí nejprve vytvořit formu, díky které bude možné vytvořit tvarově podobnou dolní končetinu. Za tímto účelem byl nejprve vyroben sádrový odlitek dolní končetiny, podle kterého byla následně vyrobena forma na spodní končetinu nárazové figuríny. Díky sádrovému odlitku bylo dosaženo nejlepší tvarové a proporční shody s lidskou dolní končetinou.

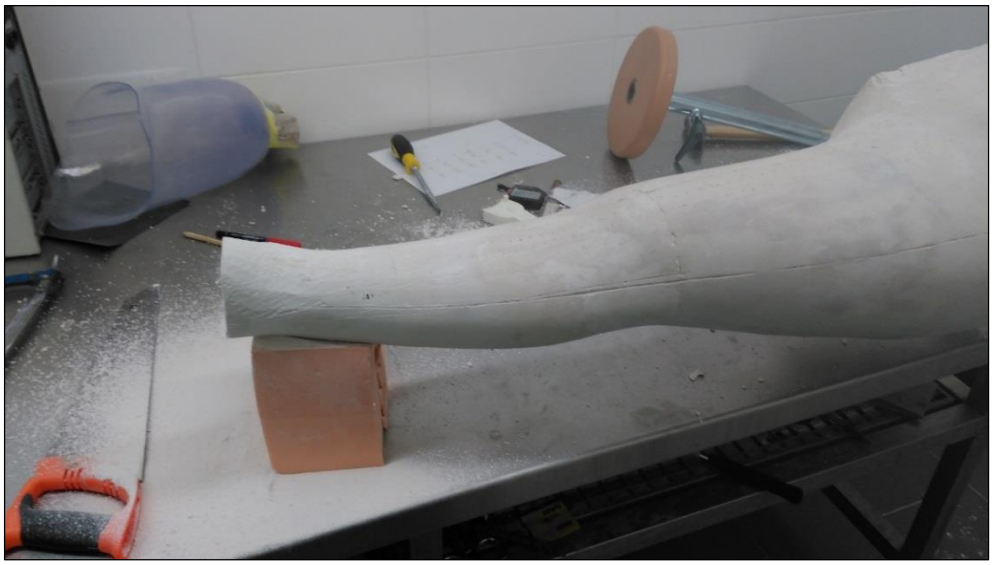
Obrázek 26 – Sádrový odlitek dolní končetiny[57]

[57] zdroj: vlastní

Po vytvoření sádrového odlitku bylo třeba jej správně upravit, aby co nejlépe odpovídal lidské dolní končetině. V tomto případě končetině mladé ženy. Výška mladé ženy byla *165 cm*. Její hmotnost byla přibližně *56 kg*.

Obrázek 27 – Dolní končetina vytvořená ze sádry[58]

Posléze byla ze sádrového odlitku odřezána část v oblasti hlezenního kloubu, aby se bylo možné lépe vytvarovat formu dolní končetiny. Nárt bude u figuríny nahrazen protetickým silikonovým sandálem.



Obrázek 28 – Sádrová dolní končetina bez nártu[59]

[58] zdroj: vlastní

[59] zdroj: vlastní

Na vytvořený sádrový odlitek byl nanesen rozehřátý plast, který byl natvarován podle sádrového odlitku Na sádrový odlitek byla prvně nalepena kobercová páska, která vytvořila na sádrovém odlitku přechod, čímž se vytvořila širší část na jedné straně formy. Posléze byl proces s rozehřátým plastem opakován, avšak z druhé strany sádrového odlitku a bez kobercové pásky. Byly tak vytvořeny dvě formy, které do sebe zapadají.

Obrázek 29 – Sádrový odlitek s kobercovou páskou[60]

Plast ThermoLyn Clear byl nanesen na sádrový odlitek a dokonale vyhlazen. Tento plast po zahřátí na teplotu *160 ºC* mění svou pevnost a stává se tvárným.

Obrázek 30 – Sádrový odlitek potažený plastem ThermoLyn Clear[61]

Po šedesáti minutách plast zchladne a vytvrdne na stejnou pevnost jako před rozehřátím. Plast ThermoLyn Clear je pevný, ale křehký. Po odřezání všech přebytečných částí, přepilování hran a sesazení obou částí do sebe byla vytvořena dvoudílná forma dolní končetiny pro nárazovou figurínu. Objem této formy je přibližně 19 litrů.

[60] zdroj: vlastní

[61] zdroj: vlastní

Obrázek 31 – Forma na nárazovou figurínu[62]

5.2 VÝROBA DOLNÍ KONČETINY NÁRAZOVÉ FIGURÍNY

Pro výrobu dolní končetiny nárazové figuríny bylo dále třeba vyrobit náhrady kostí, kloubů, svalů a kůže.

5.2.1 Kosti

Pro výrobu kostí bylo zvažováno několik variant, jak lidskou kost nahradit. Jednou z variant bylo nahradit lidskou kost zvířecí kostí. Žádná vepřová kost však není dostatečně dlouhá, aby měla srovnatelnou délku s kostí stehenní nebo kostí holenní. Kost hovězí by měla odpovídající délku, ale její tloušťka, pevnost a pružnost neodpovídala kosti lidské. Rozdíl v průměru mezi hovězí a lidskou kostí je 15 milimetrů. Rozdíl v napětí je přibližně $80\ MPa$. Navíc uchovávání kostí pro následnou výrobu figuríny by bylo složité, a proto bylo tedy od této varianty odstoupeno.

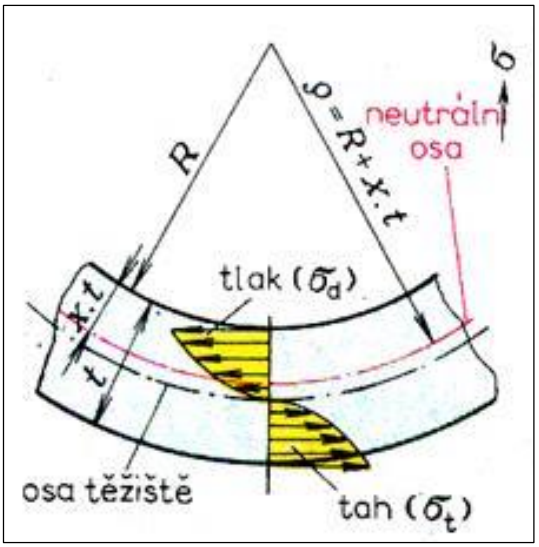
Druhou variantou bylo vytisknutí lidské kosti na 3D tiskárně. Při pominutí velmi vysokých finančních nákladů na realizaci, by však s největší pravděpodobností nebylo dosaženo požadované pružnosti a pevnosti kosti zhotovené 3D tiskem. Proto bylo od této varianty rovněž odstoupeno. Další možností bylo nahrazení lidské kosti dřevěnou kulatinou. Jedná se o nejdostupnější podobu a podrobně bude rozebrána v následující kapitole.

5.2.2 Konstrukční řešení náhrady kosti

Dřevo má obdobné vlastnosti jako lidská kost co se týče pružnosti, pevnosti a napětí. Proto byla zvolena právě dřevěná kulatina jako náhrada lidské kosti. Z několika druhů dřevin (viz přehled v tabulce 6), které přicházely v úvahu, byl nakonec vybrán dub.

Pro výpočet vhodného ekvivalentu pro kost bylo využito teorie prostého ohybu:

[62] zdroj: vlastní



Obrázek 32 - Rozložení a velikost napětí v materiálu[63]

Napětí v ohybu σ:

$$\sigma = \frac{M_{oy}}{J_y} z \qquad [3]$$

Kde: M_{oy} – ohybový moment ve směru osy y, J_y – kvadratický moment průřezu, z – vzdálenost okrajového bodu od neutrální osy

Zavedením Energie napjatosti W_0:

$$W_o = \frac{J_y}{z} \qquad [4]$$

Pro kruhový průřez náhrady kosti platí:

$$z = \frac{D}{2} \qquad [5]$$

Po dosazení do energie napjatosti:

$$W_o = \frac{\pi D^3}{32} \qquad [6]$$

Vzorec pro výpočet napětí lze tedy upravit na tvar:

$$\sigma = \frac{M_{oy}}{W_o} \qquad [7]$$

Aby byla splněna podmínka ekvivalentního chování náhrady a kosti pro ohyb, bude platit, že bezpečnost ohybu pro dané napětí musí být stejná pro kost i pro náhradu:

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_k} \qquad [8]$$

[63] Technologie plošného tváření - ohýbání [online], 2016 [citováno: 2016-01-25], Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>

Kde σ - napětí v ohybu, σ_k– kritická hodnota napětí v ohybu (mez kluzu)

Platí tedy:

$$k_{kost} = k_{dřevo} \qquad [9]$$

$$\frac{\sigma_{kost}}{\sigma_{k,kost}} = \frac{\sigma_{dřevo}}{\sigma_{k,dřevo}}$$

$$\frac{\frac{\sigma_{kost}}{M_{oy1}}}{W_{o,kost}} = \frac{\frac{\sigma_{dřevo}}{M_{oy2}}}{W_{o,dřevo}}$$

Pokud platí $M_{oy1} = M_{oy2}$, za tohoto předpokladu lze vztah upravit na tvar:

$$\sigma_{kost} \cdot W_{o,dřevo} = \sigma_{dřevo} \cdot W_{o,kost}$$

$$\sigma_{kost} \frac{\pi \cdot D_{dřevo}{}^3}{32} = \sigma_{dřevo} \frac{\pi \cdot D_{kost}{}^3}{32}$$

$$\boldsymbol{D_{dřevo}} = \sqrt[3]{\frac{\boldsymbol{\sigma_{kost}}}{\boldsymbol{\sigma_{dřevo}}}} \cdot \boldsymbol{D_{kost}} \qquad [10]$$

Ze vztahu [10] lze tedy spočítat průměr dřevěné kulatiny, jež by svým chováním měla aproximovat chování kosti při nárazu. Tedy, aby kost praskla a vznikla tak vlásečnicová zlomenina či se úplně zlomila. Dané napětí pro dřevo bylo bráno za předpokladu, že dřevo je vysušeno na vlhkost *12%*. Platí, že čím vyšší bude vlhkost dřeva, tím nižší bude jeho pevnost. Dosažené výsledky můžeme nalézt v tabulce níže.

Tabulka 7 - Výpočty průměru dřevěné kulatiny[64]

druh dřeva	napětí v kosti v tlaku	napětí dřeva v tahu	průměr stehenní kosti	průměr dřevěné kulatiny
jedle	210 MPa	67 MPa	30 mm	43,9 mm
olše	210 MPa	83 MPa	30 mm	40,8 mm
borovice	210 MPa	98 MPa	30 mm	38,7 mm
lípa	210 MPa	104 MPa	30 mm	37,9 mm
dub	210 MPa	116 MPa	30 mm	36,5 mm
jasan	210 MPa	118 MPa	30 mm	36,4 mm
bříza	210 MPa	134 MPa	30 mm	34,8 mm

[64] DŘEVOSTAVITEL – Online svět dřevostaveb [online], 2016 [citováno: 2016-03-21], Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>

Nejvhodnější náhradou by byla kulatina z břízy, její významnou nevýhodou je skutečnost, že obsahuje velmi vysokou vlhkost a její sušení je velmi zdlouhavý proces, mimo to je kulatina z březového dřeva je také poměrně nedostatkovým materiálem. Dostupnějším materiálem je dřevo dubové, které je navíc běžně dostupné v potřebném průměru dřevěné kulatiny.

Obrázek 33 – Dřevěná kulatina s nártem[65]

5.2.3 Svalová hmota

Pro nahrazení svalové hmoty bylo vycházeno z předpokladu, že svalová hmota může být nahrazena například želatinou, která je používána při výrobě balistických gelů. Obyčejná běžně dostupná želatina, která se získává vyvařením šlach, kůží, kostí a jiných jatečních odpadů bohatých na kolagen nebyla vhodným komponentem, jelikož na slunci ztrácí vlivem zahřátí své vlastnosti a kapalní. Na doporučení odborníků z fakulty chemické byl použit agar jako vhodnější náhrada svalové hmoty.

Agar je přírodní polysacharid s vysokou gelující schopností, který se vyrábí z červených mořských řas rodů Floridae a Gelidium. Používá se jako živné médium pro kultivaci mikroorganismů a rostlin. Taje při *96 °C* a tuhne při *40 °C*. Agar je součástí cukrárenských želé, je schopen vytvářet tzv. vysoké vrstvy želé, která dobře drží tvar při krájení.[66]

K vytvoření kvalitního agaru bylo nejprve potřeba udělat několik pokusů. Bylo vytvořeno několik koncentrací, které se vzájemně porovnávaly. Celkem bylo vyzkoušeno pět vzorků s různou koncentrací, která je podrobněji popsána níže v tabulce. Nejlepší variantou

[65] zdroj: vlastní

[66] BIO - LIFE [online], 2008 [citováno: 2016-04-27], Dostupné z: <http://www.bio-life.cz/clanky/hubnuti/nahradte-zelatinu-zdravym-agarem.html>

byla koncentrace *1,33%* roztoku, který obsahoval při pokusu čtyři gramy Agaru ve 300 mililitrech vody.

Tabulka 8 – Koncentrace Agaru

množství agaru	objem vody	koncentrace	subjektivní dojem
1 gram	300 ml	0,33 %	řídká konzistence, hmota je téměř kapalná
2 gramy	300 ml	0,66 %	měkká konzistence, po doteku zůstávají otisky
3 gramy	300 ml	1, 00 %	tuhá konzistence, při stlačení nedrží tvar
4 gramy	300 ml	1, 33 %	ideální konzistence, hmota na dotek připomíná svalovou hmotu
5 gramů	300 ml	1,66 %	příliš tvrdá konzistence, hmota na dotek připomíná gumu

Objem formy je devatenáct litrů, pro výrobu dolní končetin figuríny bylo potřeba devatenáct litrů hmoty, které budou vyrobeny z 253 gramů Agaru, rozmíchaného v devatenácti litrech vody.

5.2.4 Náhrada kolenního kloubu

Jako náhrada kolene bude využit protetický kolenní kloub, který imituje přirozený průběh chůze, zajišťuje uživateli bezpečnost i mobilitu. Vyroben jez titanu, zušlechtěného hliníku, nerezu a oceli.

Vlastnosti kloubu:

- víceosý kolenní kloub s geometrickým systémem zamykání
- jedinečný víceokruhový hydraulický systém řízení švihová fáze
- pro uživatele s proměnnou rychlostí chůze a střední nebo vysokou aktivitou
- nastavitelná počáteční flexe ve stoji
- velký rozsah ohybu kloubu
- maximální hmotnost uživatele: *125 kg*
- hmotnost kolenního kloubu: *920 g*
- maximální flexe: *160°*

Obrázek 34 – Kolenní kloub[67]

5.2.5 Náhrada nártu

Na dolní část figuríny bude připevněna silikonová náhrada – epitéza.[68] Při zhotovení silikonových náhrad je využíváno digitální technologie, tedy digitální fotografie, 3D skenování, počítačové modelování a color matching s využitím digitálního analyzátoru barev, aby silikonová epitéza byla co nejpřesnější. Při zhotovení protéz a epitéz se používají nejrůznější typy materiálů jako například aquaplasty, vysokoteplotní termoplasty, kompozitní materiály, silikony, klasické i moderní textilní materiály, které se zpracovávají odpovídajícími technologiemi, tedy manuálním a vakuovým tvarování termoplastů, laminování a vytvrzování elastomerů. Na figurínu bude využit nárt z vyřezané protézy dolní končetiny.

Obrázek 35 – Silikonová náhrada nártu[69]

5.2.6 Kůže

Jednou z variant nahrazení kůže bylo použití linolea, které se používá například na středních zdravotnických školách jako náhrada kůže při trénování odběru krve. Tvárnost linolea není však zcela ideální a proto bylo od této varianty odstoupeno. Imitace kůže bude provedena

[67] zdroj: vlastní

[68] epitéza = náhrada ztracené části těla z kosmetických důvodů

[69] zdroj: vlastní

potravinářskou folií, kdy tato folie bude mít dva účely. Jedním z nich je udržení vlhkosti Agaru, aby neztrácel své vlastnosti. Druhým účelem je částečná imitace kůže. Při crashtestu dojde v důsledku nárazu k poškození Agarové hmoty, a proto bude dolní končetina figuríny navlečena do neoprenových kalhot, aby byla možná recyklovatelnost Agarové hmoty a tím i celé figuríny.

5.3 RECYKLOVATELNOST FIGURÍNY

Díky snadno dostupným komponentům je hlavní výhodou navrhnutého řešení výroby dolní končetiny nárazové figuríny možnost jejího několikanásobné recyklovaní. Dřevěnou kulatinu bude možné po crashtestu vyměnit, Agarovou hmotu, kterou se podaří posbírat, je možné opět rozehřát do kapalného stavu a opět znovu použít do formy. Při zabalení do potravinářské folie a navlečení do neoprenových kalhot je možné crashtest znovu opakovat.

5.4 FINANČNÍ ROZPOČET NA VÝROBU DOLNÍ KONČETINY

Pro výrobu figuríny je zapotřebí následujících komponent: dvě kulatiny z dubového dřeva, potravinářská folie, neoprenové kalhoty, kolenní kloub z protézy, silikonová epitéza nártu a cca 253 gramů Agaru. Cena Agaru je cca 2,30 Kč za gram.

U kolenního kloubu se cena pohybuje v rozmezí 30 000 – 250 000 Kč, dle náročnosti provedení. U kolenního kloubu, který se podařilo získat, se cena pohybuje přibližně na hranici 50 000 Kč. Kolenní kloub byl věnován firmou MS Ortoprotetika s.r.o. z vyřazené protézy dolní končetiny. U silikonové epitézy se ceny pohybují v rozmezí 15 000 – 100 000 Kč. Opět záleží na náročnosti provedení dané epitézy a konkrétních požadavcích pacienta. Tuto část věnovala firma Ottobock.cz opět z vyřazené protézy dolní končetiny.

Tabulka 9 – Finanční rozpočet na nárazovou figurínu

položka	množství	cena za jednotku	cena celkem
dřevěná kulatina - dub	2 ks	50 Kč/ks	100 Kč
Agar	253 g	2,50 Kč/g	633 Kč
potravinářská folie	20 m	120 Kč/ 100m	120 Kč
neoprenové kalhoty	1 ks	890 Kč/ks	890 Kč
kolenní kloub	1 ks	50 000 Kč/ks	50 000 Kč
silikonová epitéza	1 ks	15 000 Kč/ks	15 000 Kč
součet			66 743 Kč

Rozdíl v ceně figuríny bude záležet na předpokladu, zda bude pořizován nový kolenní kloub a nová silikonová epitéza. Dolní hranice této částky je 66 743Kč. Pokud bude pořízen nejdražší kolenní kloub na trhu a nejdražší silikonová epitéza, částka bude 351 743Kč. Pokud by byl použit elektronický kolenní kloub, celková částka se bude pohybovat kolem 1 000 000Kč. Použití elektronického kolenního kloubu je však zbytečné z důvodu možného poškození při crashtestu. Vzhledem k tomu, že kolenní kloub a silikonová epitéza byly zdarma věnovány na výrobu nárazové figuríny, jsou současné náklady na dolní končetinu nárazové figuríny cca 1 743 Kč.

ZÁVĚR

V první části diplomové práce byla provedena rešerše problematiky nárazových zkoušek, kde byl kladen důraz na používané nárazové figuríny a jejich historii. V současné době se vyskytuje několik typů nárazových figurín, které se používají při různých crashtestech. Využívají se figuríny pro náraz zepředu, zezadu či pro boční náraz. Vyvinuté jsou také dětské figuríny v různých velikostech, tedy různého stáří dětského jedince.

Testovací figuríny jsou vyrobeny z kovových částí jako hliník, bronz, nebo ocel. Většina verzí konstrukce zahrnuje širokou škálu plástů, zejména delrin, což je dlouhotrvající acetát pryskyřice, uretanu, polyuretanové pěny a vinylu. Pro věrnost figuríny je figurína oblečena. Doplňkovým sortimentem k figurínám je oblečení, barva nebo lepidla na značení bodů, důležitých pro měření. Figurína chodce byla vyvinuta z figurín, které se používaly a používají jako posádka ve vozidlech.

Další část diplomové práce byla zaměřena na současné figuríny chodců a jejich proporční velikosti, které se velikostí přibližují průměrným lidem naší populace. Současně však vývojáři musí řešit problém s rostoucí obezitou obyvatel a tudíž se musí zvětšovat i velikost nárazových figurín. Dále se práce věnovala anatomii lidského těla s důrazem na dolní končetinu a porovnání jaké jsou rozdíly mezi obyvateli v hmotnosti dolní končetiny.

Závěrečná část práce byla věnována návrhu výroby testovací figuríny, která byla vyrobena z kulatiny z dubového dřeva, potravinářské folie, neoprenových kalhot, kolenního kloubu z protézy, silikonové epitézy nártu a Agaru. Výhodou toho návrhu je nejen několikanásobné recyklovaní - dřevěnou kulatinu po crashtestu bude třeba vyměnit, ale agarovou hmotu je možné použít opětovně, ale především nízké pořizovací náklady za předpokladu získání kolenního kloubu a epitézy ve výši 1743 Kč. Pokud by tyto komponenty nebyly k dispozici, rozpočet na figurínu dolní končetiny by byl v rozmezí částek 66 743 Kč až 351 743 Kč, což je stále nižší částka než současné rozmezí cen za nárazové figuríny 30 000 až 40 000 amerických dolarů, tedy 720 000 Kč až 960 000 Kč.

Uvedený návrh dolní končetiny nárazové figuríny však bude nutné ověřit provedením reálného crashtestu.

ABECEDNÍ SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ATZ online [online], 2015 [citováno: 2016-08-29], Dostupné z <http://www.atzonline.com/Artikel/3/14318/WorldSID-%E2%80%93-A-New-Dummy-Generation-in-Side-impact-Protection.html>

BIO - LIFE [online], 2008 [citováno: 2016-04-27], Dostupné z: <http://www.bio-life.cz/clanky/hubnuti/nahradte-zelatinu-zdravym-agarem.html>

ČERNÍK, L. Hodnocení nárazových testů automobilů s ohledem na vlastnosti testovacích figurín. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S., Ekonomika a management, 2014. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Bradáč, Ph.D.

ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1, Praha: Grada., 2011. 552 s. ISBN 978-80-247-3817-8.

DEKRA – On the safe side [online], 2015 [citováno: 2016-03-13], Dostupné z: <http://www.dekra.com/en/automotive>

DŘEVOSTAVITEL – Online svět dřevostaveb [online], 2016 [citováno: 2016-03-21], Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>

DVOŘÁČEK, M. Nárazové zkoušky osobních automobilů. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, 2010. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

Euro NCAP [online], 2015 [citováno: 2016-02-13], Dostupné z: <http://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/>

HALADOVÁ, E., NECHVÁTALOVÁ, L. Vyšetřovací metody hybného systému. 2. vyd. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. 135 s. ISBN 80-7013-393-7.

HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-21], Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian>

HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-25], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-5th>

HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-26], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-50th>

HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: < http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-95th>

HUMANETICS – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2015-12-27], Dostupné z: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/flex-pli-gtr>

How Products Are Made [online], 2016 [citováno: 2016-02-21], Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-5/Crash-Test-Dummy.html>

iDNES.cz [online], 1999 [citováno: 2016-09-03], Dostupné z: <http://auto.idnes.cz/crashtestytloustnou-kvuli-vypasenym-americanum-fssautomoto.aspx?c=A141030_135156_automoto_fdv>

JASTI CO, LTD [online], 2000 [citováno: 2016-03-25], Dostupné z: <http://www.jasti.co.jp/en/product/dummy.html>

KUHN, Matthias, FROMING, Robert, SCHINDLER, Volker, Fußgängerschutz, Berlin; LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vockler GbR, Liepzig, 2007, ISBN 3-540-34302-4.

KUŽELKA, Vítězslav. Osteometrie. In: Stloukal et al., Antropologie: Příručka pro studium kostry. Praha: Národní muzeum, 1999. s. 262. ISBN 3-437- 25040-X

NABLA – Biologie [online], 2013 [citováno: 2016-01-29], Dostupné z: <http://www.nabla.cz/obsah/biologie/kapitoly/biologie-cloveka/svaly-dolni-koncetiny-musculi-membri-inferioris.php>

NTHSA [online], 2014 [citováno: 2016-02-13], Dostupné z: <http://www.nhtsa.gov/Driving+Safety>

Observatoř – Bezpečnost silničního provozu [online], 1/2016 [citováno: 2016-01-25], Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/aktivni-a-pasivni-prvky-bezpecnosti-motorovych-vozidel/>

Poster shop, [online], 2000 [citováno: 2016-08-29], Dostupné z: <http://nudepicstar.com/poster/first-crash-test-dummy-766295810>

RYDLO, T. Návrh deformačního členu pro simulaci pojišťovacího nárazu vozidla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 123 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Ramík.

SIEFFERT Ulrich, WECH Lothar. Automotive Safety Handbook. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 499 s. ISBN 9780768017984.

SLIDESHARE – Inovative solution [online], 2015 [citováno: 2016-01-15], Dostupné z: <http://www.slideshare.net/mongoliapatient/sinelnikov-1?related=1

SLUNIVERSE [online], 2000 [citováno: 2016-01-12], Dostupné z: <http://www.sluniverse.com/php/vb/zomgwtfbbqgtfololcats/49682-basic-religious-test-stumps.html>

ŠKOLNÍ A WEBOVÉ CENTRUM; Kostra dolní končetiny [online], 2016 [citováno: 2016-01-27], Dostupné z: <http://vyuka.zsjarose.cz/index.php?action=lesson_detail&id=376>

Technologie plošného tváření - ohýbání [online], 2016 [citováno: 2016-01-25], Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>

the Engineer [online], 2015 [citováno: 2016-08-31], Dostupné z: <https://www.theengineer.co.uk/issues/15-august-2011/dummy-run-building-the-perfect-crash-test-dummy/>

VLK, František. Stavba motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství František Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2.

WikiSkripta – Kosti dolní končetiny [online], 2016 [citováno: 2016-01-27], Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Kosti_doln%C3%AD_kon%C4%8Detiny>

ZÁKLADY SPORTOVNÍ KINEZIOLOGIE [online], 2010 [citováno: 2016-01-15], Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/segmenty_teziste.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ANCAP	Australasian New Car Assessment Programme
C-NCAP	China New Car Assessment Programme
EEVC	The European Electric Vehicle Congress
Euro-NCAP	European New Car Assessment Programme
DAS	Data Acquisition Systems
Flex-PLI	Flexible Pedestrian Legform Impactor
Flex-TEG	Flexiblr Technical Evaluation Group
HSRI	Highway Safety Research Institute
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.
JARI	Japan Automobile Research Institute
JNCAP	Japan New Car Assessment Programme
MVMA	Motor Vehicle Manufacturers Association
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
SAE	Society of Automotive Engineers
SID	Side impact Dummy
UMTRI	University of Michigan Transportation Institute

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Základní rozdělení aktivní bezpečnost 12
Obrázek 2 – Základní rozdělení pasivní bezpečnost 13
Obrázek 3 - Profesor Larry Patrick při pokusech 19
Obrázek 4 – Novější typ Side Impact Dummy 21
Obrázek 5 – Inženýři instalují figurínu do vozidla 21
Obrázek 6 – Hybrid II. 22
Obrázek 7 – První figuríny u crash testů 23
Obrázek 8 - Princip metody konečného elementu 24
Obrázek 9 - Multi-body figurína reprezentující muže střední velikosti a menší ženu . 25
Obrázek 10 - Různé typy velikostí nárazových figurín 26
Obrázek 11 – Figurína pro boční náraz pro evropský trh 27
Obrázek 12 - Rodina tvořená figurínami 28
Obrázek 13 – Různé velikosti dětských figurín 28
Obrázek 14 – Figurína pro náraz zezadu - RID 29
Obrázek 15 - Hybrid III 5th Pedestrian 34
Obrázek 16 - Hybrid III 50th Pedestrian 35
Obrázek 17 - Hybrid III 95th Pedestrian 35
Obrázek 18 - Pedestrian Headforms 38
Obrázek 19 – PLI – LEG 39
Obrázek 20 - Flex-PLI-GTR 40
Obrázek 21 – Vývoj růstu průměrné výšky populace 42
Obrázek 22 - Kostra dolní končetiny 46
Obrázek 23 – Svalová soustava 48
Obrázek 24 – Segmenty lidského těla 49
Obrázek 25 – Měření délky dolní končetiny 51

Obrázek 26 – Sádrový odlitek dolní končetiny 53
Obrázek 27 – Dolní končetina vytvořená ze sádry 54
Obrázek 28 – Sádrová dolní končetina bez nártu 54
Obrázek 29 – Sádrový odlitek s kobercovou páskou 55
Obrázek 30 – Sádrový odlitek potažený plastem ThermoLyn Clear 55
Obrázek 31 – Forma na nárazovou figurínu 56
Obrázek 32 - Rozložení a velikost napětí v materiálu 57
Obrázek 34 – Dřevěná kulatina s nártem 59
Obrázek 35 – Kolenní kloub 61
Obrázek 36 – Silikonová náhrada nártu 61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Porovnání hmotností figurín 36

Tabulka 2 – Porovnání rozměrů figurín 36

Tabulka 3 – Segmenty lidského těla 49

Tabulka 4 - Hmotnost jednotlivých segmentů u muže 50

Tabulka 5 – Výpočet hmotnosti dolní končetiny 50

Tabulka 6 - Výpočet výšky postavy z délek dlouhých kostí končetin u mužů 52

Tabulka 7 - Výpočty průměru dřevěné kulatiny 58

Tabulka 8 – Koncentrace Agaru 60

Tabulka 9 – Finanční rozpočet na nárazovou figurínu 62