VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

NÁVRH TESTOVACÍ FIGURÍNY PRO NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY

DESIGN OF A CRASH-TEST DUMMY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Martina Kostíková
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. et Ing. Martin Bilík
SUPERVISOR

BRNO 2017

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2016/17

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martina Kostíková

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 testovací figuríny pro nárazové zkoušky

v anglickém jazyce:

Design of a Crash-Test Dummy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat rešerši dnes používaných dummy figurín pro nárazové zkoušky. Návrh "kostry" figuríny bude rozdělen na základní konstrukční celky, tj. trup, končetiny, hlava atd. Při konstrukčním řešení jednotlivých celků by měl být kladen důraz na soulad s anatomií lidského těla.

Cíle diplomové práce:

1. Rešerše používaných testovacích figurín.
2. Vlastní konstrukční návrh jednotlivých celků testovací figuríny.
3. Vytvoření parametrického 3D modelu figuríny.
4. Odhad výrobních nákladů.

Scanned by CamScanner

Seznam odborné literatury:

BRADÁČ, Albert. Soudní inženýrství. Dot. 1. vyd. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-133-9
Soudní lékařství. Vyd. 1. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-728-1
www.humanetics.com

Vedoucí diplomové práce: Ing. et Ing. Martin Bilík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 19. 10. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

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

Scanned by CamScanner

ABSTRAKT

Tématem této diplomové práce je návrh konstrukčního řešení testovací figuríny pro nárazové zkoušky vozidla s chodcem. Na úvod práce je provedena rešerše v současné době používaných typů testovacích figurín. Následuje konstrukční část, ve které je nejprve pojednáváno o charakteristikách použitých materiálů ve vztahu k reálným fyziologickým vlastnostem lidského těla. Druhá část řeší samotnou konstrukci kostry testovací figuríny za použití 3D modelu s připojenou pevnostní analýzou jednotlivých prvků. Práci uzavírá odhad výrobních nákladů navržené testovací figuríny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Testovací figurína, nárazové zkoušky, kosti, chodec, nehoda, končetiny, trup, hrudní koš, lebka, páteř, náhrada, 3D model, parametrický, konstrukce.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is construction of crash test dummy for vehicle-pedestrian crash tests. There is review of nowadays used crash test dummies types in the introduction of this thesis. This is followed by part describing construction itself. Chapter about construction begins by characterizing of used materials features in relation with real human body physiology. Main part of chapter is describing construction of crash test dummy's skeleton and its individual components including 3D modelling and strength analysis. Thesis is finished by cost assessment.

KEYWORDS

Crash test dummy, crash test, bones, pedestrian, accident, limb, torso, thorax, skull, spine, prosthesis., 3D model, parametric, construction.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOSTÍKOVÁ, M. *Návrh testovací figuríny pro nárazové zkoušky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 71 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Martin Bilík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. května 2017 ……..……..

Bc. Martina Kostíková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. et Ing. Martinu Bilíkovi za vedení mé diplomové práce a za poskytnutí užitečných rad a informací. Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu při studiu na VUT.

OBSAH

Úvod 9

1 Nárazové zkoušky 10

1.1 Euro-NCAP 11

1.1.1 Metodika nárazových zkoušek Euro-NCAP 12

2 Testovací figuríny 17

2.1 Historie testovacích figurín 17

2.2 Současný stav testovacích figurín 19

2.2.1 Testovací figuríny čelního nárazu 19

2.2.2 Testovací figuríny bočního nárazu 22

2.2.3 Figurína chodce 25

2.2.4 Testovací figuríny pro náraz zezadu 28

3 Návrh testovací figuríny 30

3.1 Parametrický 3D model 31

3.2 Rozložení hmotnosti navrhované figuríny 31

3.3 Návrh konstrukčního a materiálového řešení dlouhých kostí 32

3.3.1 Mechanické vlastnosti kostí 32

3.3.2 Délkové rozměry dlouhých kostí 34

3.3.3 Materiál dlouhých kostí 36

3.3.4 Průměry náhrad dlouhých kostí 37

3.3.5 Parametrický 3D model končetin 40

3.4 Návrh konstrukčního a materiálového řešení trupu 45

3.4.1 Základní funkce páteře 45

3.4.2 Pohyblivost páteře 45

3.4.3 Hrudní koš 47

3.4.4 Rozměry trupu 49

3.4.5 Parametrický 3D model trupu 51
3.4.6 Pevnostní analýza trupu 54
3.5 Návrh konstrukčního a materiálového řešení hlavy 56
3.5.1 Střední rozměry lebky 56
4 Odhad výrobních nákladů navržené figuríny 59
Závěr 61
Použité informační zdroje 63
Seznam použitých symbolů a zkratek 67
Seznam obrázků 68
Seznam tabulek 70
Seznam příloh 71

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem testovací figuríny pro nárazové zkoušky. Přestože v současné době používané testovací figuríny jsou technicky velmi vyspělá zařízení, v případě simulování srážky vozidla s chodcem se setkáváme se dvěma zásadními problémy. Kvůli své technické vyspělosti jsou testovací figuríny poměrně drahá zařízení a pro účely zkoumání srážek vozidla s chodcem, byť je snímání nárazového děje u těchto modelů na vysoké úrovni, je paradoxně druhým problémem jejich přílišná, avšak pochopitelná odolnost vůči nárazu, oproti reálnému lidskému tělu.

Cílem této práce je proto navrhnout testovací figurínu chodce, která bude díky použitým konstrukčním řešením co nejvíce odpovídat lidskému tělu a která bude z převážné části tvořena součástmi, které lze v případě poškození jednoduše a levně vyměnit. Zároveň by v takovém případě byl na minimum snížen počet součástí, které by byly nevyměnitelné či neopravitelné.

Přínos uvedeného typu figuríny by byl zejména ve zpřístupnění možnosti zkoumání nárazového děje vozidla a chodce pro účely soudního inženýrství, kdy by tímto způsobem bylo možno ušetřit značnou část prostředků. Pro názornost bude v rámci této práce vytvořen 3D model. Aby mohly být komponenty figuríny vyráběny dle konkrétních požadavků na výšku figuríny, bude navržený model, s výjimkou hlavy, parametrický.

1 NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY

Nárazové zkoušky, nebo také někdy nazývané jako crash testy jsou destruktivní zkoušky vozidel, které testují jejich pasivní bezpečnost. Bezpečnost vozidel lze dělit na aktivní a pasivní bezpečnost. Prvky aktivní bezpečnosti pomáhají předcházet vzniku dopravní nehody, jedná se například o dobrý výhled z vozidla nebo správnou funkci brzd. Prvky pasivní bezpečnosti pomáhají zmírnit následky již vzniklé dopravní nehody. Mezi základní prvky pasivní bezpečnosti patří např. bezpečností pásy nebo airbagy.

V padesátých letech 19. století se začal prof. Lawrence M. Patrick zabývat pasivní bezpečností vozidel. Vozidla té doby se totiž velmi často roztříštila na malé kusy, které poranily posádku vozu. Lawrence M. Patrick začal sám na sobě testovat odolnost lidského organismu vůči nárazu. Na základě jeho pokusů sestavil soubor základních pravidel pro ochranu posádky. Na obrázku č. 1 je vyobrazen Lawrence M. Patrick. [3]

Obrázek č. 1. -Lawrence M. Patrick [3]

Pravidla zavedená prof. Patrickem na základě jeho testů: [4]

- Pro posádku vozidla musí zůstat dostatečný prostor pro přežití i v případě převrácení vozidla a jízdě po střeše a do tohoto prostoru nesmí proniknout jakákoli část vozidla, která sem nepatří, zejména hlavní hřídel řízení.
- V tomto prostoru také nesmí být žádné předměty, které by mohly ohrozit posádku, jako například ostré předměty, které by měly být odstraněny, popřípadě zakulaceny na rádius *2,5 mm*.
- Prostor pro posádku by měl být z materiálů, které tlumí nárazy.

- Plochy, které mohou dojít při dopravní nehodě ke styku s lidským tělem, by měly být co největší např. střed volantu.
- Sedačky musí po nárazu zůstat pevně na svém místě, proto je nutné zajistit jejich uchycení.
- Posádka musí být k sedačkám přichycena speciálním zádržným systémem, který nedovolí kontakt těla s pevnými částmi vozu.
- Prostor pro posádku musí být co nejtužší, při havárii by se měl co nejméně deformovat a umožnit otevření aspoň jedněch dveří bez pomocí nástrojů, kabina vozidla musí zůstat kompaktní.
- Při nárazu nesmí dojít k samovolnému otevření dveří, v takovém případě hrozí až 5 krát vyšší riziko úmrtí.
- Přední a zadní část vozidla musí pohltit nárazovou energii a rozprostřít ji na minimální čas, který je potřebný k tomu, aby zpomalení kabiny a také posádky při nárazu nepřekročilo kritické hodnoty.
- Při nárazu nesmí dojít k tomu, aby rozbitá okna poranila posádku.
- Nesmí také dojít při dopravní nehodě k úniku paliva z nádrže a následnému požáru vozidla. Materiály používané v interiéru by měly být nehořlavé, nebo alespoň z materiálů s omezenou hořlavostí.

1.1 EURO-NCAP

Nárazové testy provádí celá řada institucí. V Evropě je ovšem nejrozšířenější Euro-NCAP (European New Car Assessment Programme). Jedná se o nezávislou společnost, založenou v roce 1997 v Bruselu, provádějící nárazové zkoušky vozidel. Hodnocení ochrany účastníků dopravní nehody je udělováno pomocí hvězdiček. [9]

- 5 hvězdiček - dobrá ochrana účastníků nehody, další technologie ochrany pro předcházení nehodám je přítomna a na dobré úrovni
- 4 hvězdičky – dobrá ochrana účastníků nehody, další technologie ochrany pro předcházení nehodám může být přítomna
- 3 hvězdičky – průměrná ochrana účastníků nehody, ale chybí technologie ochrany pro předcházení nehodám
- 2 hvězdičky – vyhovující ochrana účastníků nehody, ale chybí technologie ochrany pro předcházení nehodám

- 1 hvězdička – mezní ochrana účastníků nehody

1.1.1 METODIKA NÁRAZOVÝCH ZKOUŠEK EURO-NCAP

V roce 2009 zavedl Euro-NCAP celkové hodnocení bezpečnosti, které je určováno na základě výsledků ve 4 hlavních oblastech. Jedná se o ochranu dospělých cestujících; ochranu dětí; ochranu chodců a ochrana asistenčních systémů. Do vozidla je možné posadit navržené figuríny a zkoumat deformace vozidla a následné možné poranění posádky. Také je možné navrženou figurínu vozidlem srazit. Zde lze pozorovat využitelnost bezpečnostních systémů ochrany chodců. [9]

OCHRANA DOSPĚLÝCH CESTUJÍCÍCH

Na následujícím obrázku je logo, které v Euro-NCAP znázorňuje ochranu dospělých cestujících.

Obrázek č. 2. -Logo ochrany dospělých cestujících [9]

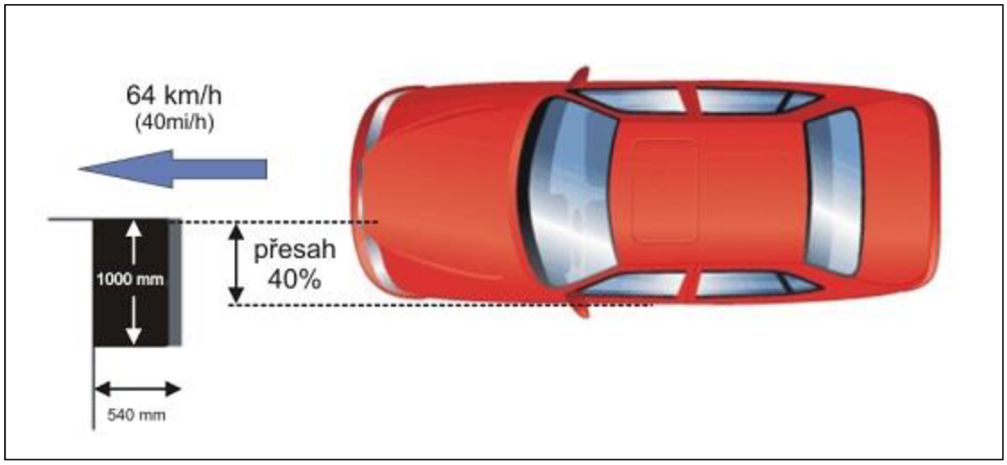
Tato zkouška je vyhodnocována na základě šesti dílčích zkoušek, mezi které patří:

- Částečný čelní náraz do deformovatelné bariéry
- Plný čelní náraz do nedeformovatelné bariéry
- Boční náraz
- Boční náraz do sloupu
- Test ochrany krční páteře
- Test bezpečnostních systémů

Podrobnější popis vybraných zkoušek:

- Částečný čelní náraz

Dochází ke střetu zkoušeného vozidla jedoucího *64 km/h* do deformovatelné bariéry při čtyřiceti procentním překrytí čelní části na straně řidiče. Tuhost bariéry odpovídá tuhosti přední části průměrného vozidla, je tedy simulován čelní střed dvou vozidel. Na obrázku č. 3 je schéma zkoušky částečného čelního nárazu. [6]



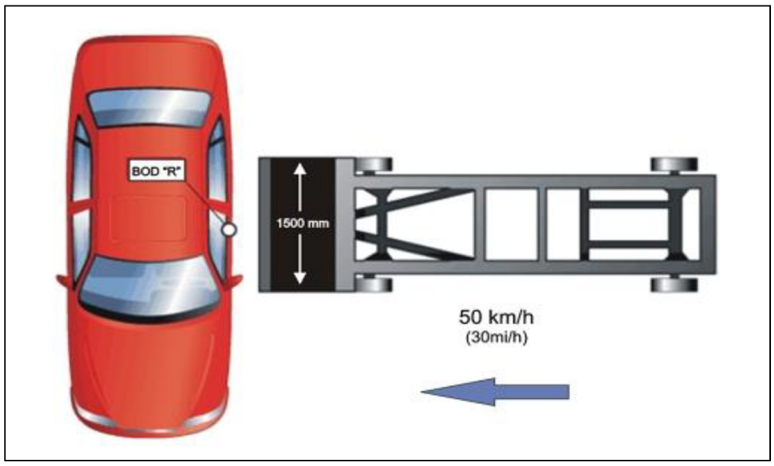
Obrázek č. 3. -Částečný čelní náraz [6]

- Plný čelní náraz

Tato zkouška je nově praktikována od roku 2015, důvodem bylo zvyšování tuhosti karoserií a tím pádem dochází ke zvyšování zrychlení, které je nutno řešit pomocí zádržných systémů. Při tomto testu naráží zkoušené vozidlo jedoucí rychlostí *50 km/h* do zcela pevné bariéry se sto procentním překrytím. Je tedy kladen velký důraz na kvalitu zádržných systémů. [7]

- Boční náraz

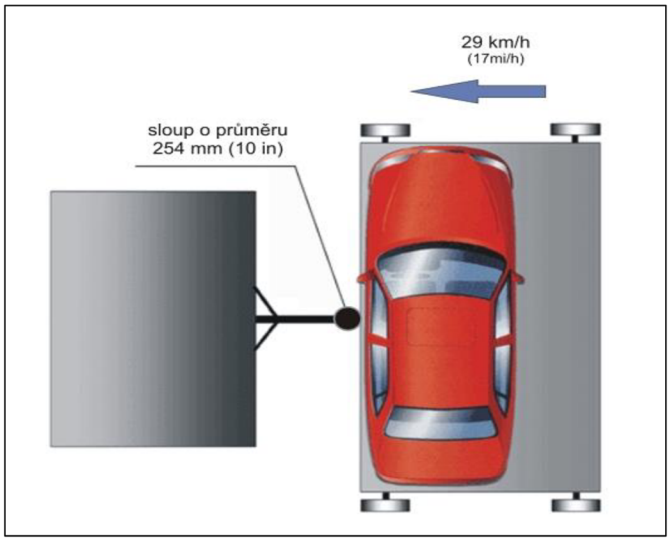
Dochází k nárazu vozíku jedoucího *50 km/h* do boku testovaného vozidla na straně řidiče. Na vozíku je upevněno deformovatelné těleso, které má stejnou tuhost jako přední část průměrného vozidla. Je simulován náraz vozidla do doku testovaného vozidla. Na obrázku č. 4 je znázorněno schéma zkoušky bočního nárazu. [8]



Obrázek č. 4. -Boční náraz [8]

- Boční náraz na sloup

Tento test je prováděn od roku 2000 a pomocí něj je zjišťováno riziko poranění hlavy při bočním nárazu do překážky o malých rozměrech, jako je např. sloup nebo strom. Při testu dochází k nárazu zkoušeného vozidla rychlostí *29 km/h* bočně do pevného sloupu o průměru *254 mm*. Vzhledem k malému průměru překážky je zde kladen velký vliv na konstrukci a tuhost boční části vozidla. Na obrázku č. 5 je znázorněna zkouška bočního nárazu do sloupu. [5]



Obrázek č. 5. -Boční náraz do sloupu [5]

OCHRANA DĚTÍ

Na následujícím obrázku je logo, které v Euro-NCAP znázorňuje ochranu dětí.

Obrázek č. 6. -Logo ochrany dětí [9]

Vyhodnocování ochrany dětí se skládá ze tří aspektů, kam patří:

- Ochrana dětských pasažérů při čelním a bočním nárazu
- Schopnost vozidla být kompatibilní s dětskými zádržnými systémy různých typů
- Ověření správného uchycení dětských zádržných systémů

OCHRANA CHODCŮ

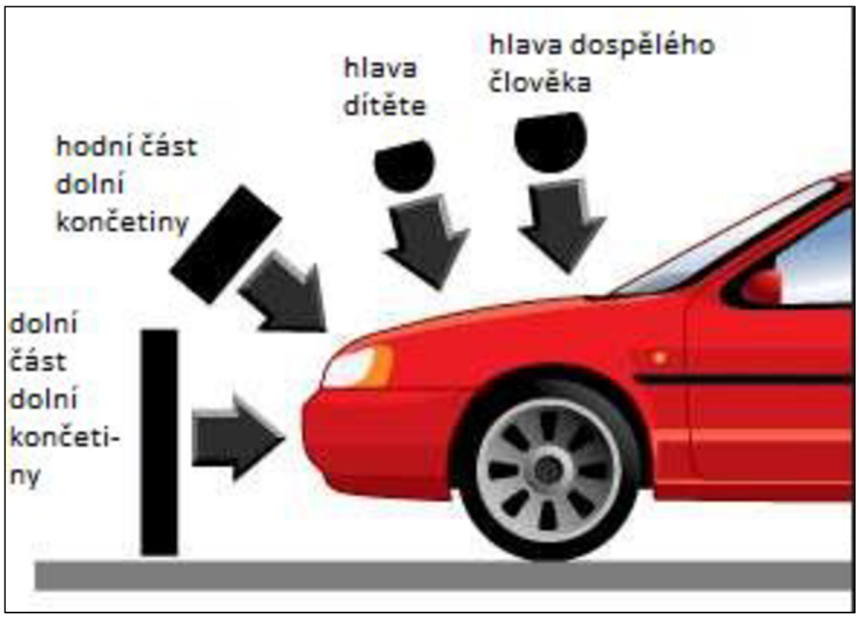
Na obrázku č. 7 je logo, které v Euro-NCAP znázorňuje ochranu chodců.

Obrázek č. 7. -Logo ochrany chodců [9]

Výsledek zkoušky ochrany chodců je stanoven na základě testů střetu figuríny chodce s přední částí vozidla. Je posuzováno potenciální riziko poranění hlavy, pánve, horní a dolní části dolní končetiny.

- Střet s hlavou
- Střet s horní částí dolních končetin
- Střet s dolní částí dolních končetin

Na následujícím obrázku jsou znázorněny impaktory simulující člověka.



Obrázek č. 8. -Střet s chodcem [11]

ASISTENČNÍ SYSTÉMY

Na obrázku č. 9 je logo, které v Euro-NCAP znázorňuje asistenční systémy.

Obrázek č. 9. -Logo asistenčních systémů [9]

Zkouška asistenčních systémů ověřuje funkčnost a účinnost aktivních prvků bezpečnosti jedná se o asistenční systémy, které pomáhají bezpečnému řízení, kam patří:

- Test elektronického stabilizačního systému
- Kontrola zapnutí bezpečnostních pásů
- Asistent rychlostních limitů
- Test automatického nouzového brzdění
- Test asistenta jízdy v jízdním pruhu

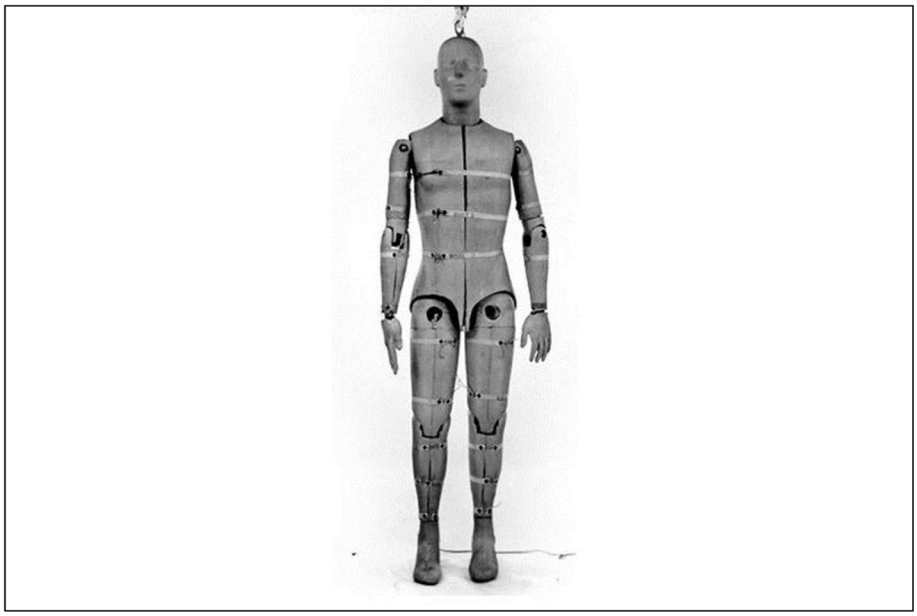
2 TESTOVACÍ FIGURÍNY

Testovací figuríny se staly nedílnou součástí při zjišťování bezpečnosti vozidel. V automobilovém průmyslu jsou používány jako nástroj, pro posouzení následků simulované dopravní nehody. Testovací figuríny jsou vybaveny celou řadou senzorů a čidel, díky kterým je možné zjistit dopady střetu na lidský organismus, způsobené působením sil a momentů, vytvořených během dopravní nehody. V současné době je používáno několik typů figurín, které jsou rozděleny např. podle pohlaví nebo velikosti.

2.1 HISTORIE TESTOVACÍCH FIGURÍN

Vzhledem k velké úmrtnosti lidí ve vozidlech, došlo ve třicátých letech 19. století k tomu, že konstruktéři začali klást velké důraz na bezpečnost. V roce 1930 byla úmrtnost 15,6 osob na 100 milionu ujetých mil. Proto bylo nutné přijít na způsob testování vozidel z hlediska bezpečnosti konstrukce a funkčnosti ochranných systémů. Současná úmrtnost se pohybuje kolem 1,8 osob na 100 milionů ujetých mil. Jako první byla pro posouzení bezpečnosti vozidel používána mrtvá lidská těla. Díky těmto testům bylo zjištěno, jakému zatížení je schopno lidské tělo odolat. Ovšem kvůli posmrtné ztuhlosti nebyly testy příliš přesné. Další problémy byly také spojeny s etickým vnímáním. Později se začala k testování používat zvířata. Nejčastěji používaná zvířata byla prasata, a to především proto, že jejich vnitřní struktura je velmi podobná lidské. Další velkou výhodou používání prasat byl fakt, že bylo možné je do vozidla umístit ve velmi dobré shodě s polohou sedícího člověka. Dále byly také používány opice, kvůli jejich podobnosti s lidskou rasou. Ovšem používání zvířat na crash testy se také setkalo s velkou nevolí, zejména ze strany ochránců zvířat. Díky poznatkům obdrženým při testování s mrtvolami i zvířaty byly vytvořeny testovací figuríny. První testovací figurína byla vyvinuta v roce 1949 a nesla název „*Sierra Sam*“, tato figurína představovala devadesáti pěti procentní figurínu. Jde o figurínu, která velikostí a hmotností větší než *95 %* lidské populace. [1]

Následující obrázek vyobrazuje figurínu Sierra Sam.



Obrázek č. 10. - Figurína Sierra Sam [21]

V roce 1971 firma General Motors představila první figurínu určenou speciálně pro automobilový průmysl. Jednalo se o první generaci figurín, nazvanou Hybrid I. Hybrid I byla padesátiprocentní figurína, to znamená, že byla větší a především těžší, než *50 %* mužské populace. V roce 1973 došlo k představení druhé generace figurín, nazvanou Hybrid II. Oproti první generaci došlo k vylepšení ramen, páteře a kolen. [1]

Na obrázku č. 11 je přehled figurín Hybrid II.

Obrázek č. 11. -Rodina testovacích figurín Hybrid II [17]

2.2 SOUČASNÝ STAV TESTOVACÍCH FIGURÍN

V současné době je používáno velké množství figurín, které jsou rozděleny podle druhu použití. Podle tohoto kritéria jsou figuríny rozděleny na figuríny používané při čelním a bočním nárazu vozidla, sražení chodce a nárazu do vozidla zezadu.

2.2.1 TESTOVACÍ FIGURÍNY ČELNÍHO NÁRAZU

Tyto figuríny jsou používány při testování následků na lidský organismus následkem čelního nárazu. V současné době jsou používány figuríny typu Hybrid III.

HYBRID III

V roce 1976 byla představena třetí generace figurín, která byla nazvána Hybrid III. Třetí generace představovala velký průlom a to zejména v tom, že byla vytvořena celá rodina, tato rodina je tvořena 6 modely. Při testování je na místě spolujezdce umístěna padesátiprocentní figurína je vysoká *175 cm* a váží *77 kg*. Jedná se o tzv. *„otce rodiny“*. Vedle padesátiprocentní figuríny byl také vyvinut tzv. *„velký bratr“*, jedná se o devadesáti pětiprocentní figurínu, která měří *188 cm* a váží *100 kg*. Dalším členem rodiny je pětiprocentní žena. Je *152 cm* vysoká a váží *50 kg*. Do rodiny také patří čtyři děti, desetileté, šestileté, tříleté a devítiměsíční, jedná se o figuríny druhé kategorie, které jsou umisťovány na zadních sedadlech vozu. [12]

Obrázek č. 12. -Figurína Hybrid III [12]

KONSTRUKCE [12]

- Hlava je vyrobena z hliníkového monolitického bloku, který simuluje lidskou lebku. Zadní část je opatřena otvorem, který slouží k přístupu k elektronickým snímačům. Uvnitř jsou umístěny tři měřiče zrychlení, každý z nich poskytuje informaci, jaké síly působí na mozek při nárazu. Celá lebka je potažena vinylovým pouzdrem, které má základní lidské tvary. Ke spodní části monolitického bloku je připevněna podložka s výkyvným kloubem, který slouží ke spojení tohoto bloku s krční páteří.
- Krční páteř je tvořena z pryžových a hliníkových segmentů spojených ocelovým lanem. V krční páteři jsou zabudovány snímače pro měření průběhu ohybového, smykového a tahového napětí během nárazu.
- Trup se skládá z pryžových a hliníkových segmentů, na které je připevněno šest párů žeber z vysokopevnostní oceli. V přední části hrudního koše je hliníková deska, imitující hrudní kost, vybavená potenciometrem pro zjištění průhybu. Tento výstup je důležitý z hlediska vyhodnocení funkce bezpečnostních pásů. K horní části trupu je připevněna sestava segmentů, které společně tvoří napodobeninu lidského ramenního kloubu. V této sestavě je namontován i akcelerometr pro zjištění zatížení paží. Bederní páteř, která spojuje hrudní koš s pánví, je tvořena z plastového odlitku a ocelových lan.
- Pánev je vyrobena z monolitického tvrzeného plastu.
- Dolní končetiny jsou k pánvi připevněny pomocí ocelových sestav napodobujících kyčelní klouby, k nim je pomocí ocelové svorky připevněna stehenní kost. Ve stehenní kosti jsou umístěny tlakové snímače, které slouží k zaznamenání bočního pohybu, který by byl schopen způsobit zlomeninu pánevní kosti, nebo vykloubení kyčelního kloubu. Na druhé straně je stehenní kost, připevněna ke kolennímu kloubu pouzdrem ve tvaru písmene U. Díky tomuto uložení je zajištěno, že kolenní kloub lze ohýbat pouze dopředu a dozadu, jako je tomu také v reálném lidském těle. V kolenním kloubu jsou zabudovány senzory pro snímání sil a momentů působících při dopravní nehodě. K pouzdru kolenního kloubu je ukotvena náhrada holenní kosti, na jejímž konci jsou upevněny snímače, které měří uvnitř nohou ohyb, smyk, tlak a pnutí, tedy síly, které by mohly způsobit poranění holenní a lýtkové kosti. Na konci ocelové holenní kosti je pomocí kulového kloubu přidělán kotník, ten je

vyroben z oceli. Ke kotníku je připevněno chodidlo. Poranění chodidel a kotníku je zjišťováno pomocí deformací a posuvů a deformací v pedálové oblasti.

- Součástí figuríny je také oblečení, které se skládá z bavlněného trička, bavlněných kalhot a vojenské americké obuvi.
- Celková hmotnost figuríny je *77,7 kg ± 1,18 kg*.

Tab. č. 1 Rozložení hmotnosti figuríny Hybrid III [12]

Segment	**Hmotnost [kg]**
Hlava	*4,54 ± 0,05*
Krk	*1,54 ± 0,05*
Horní část trupu	*17,19 ± 0,14*
Dolní část trupu	*23,04 ± 0,14*
Paže	*4,00 ± 0,18*
Dlaně	*2,28 ± 0,20*
Předloktí	*3,40 ± 0,10*
Horní část nohou	*11,98 ± 0,18*
Dolní část nohou	*8,58 ± 0,14*
Chodidla	*2,32 ± 0,14*
Celková hmotnost	***77,70 ± 1,18***

2.2.2 TESTOVACÍ FIGURÍNY BOČNÍHO NÁRAZU

Testovací figuríny bočního nárazu jsou v současné době velmi důležité, jelikož při střetu vozidla s překážkou z boku, dochází často k závažným poraněním. K těmto poraněním dochází zejména z toho důvodu, že v boční části vozidla jsou menší deformační zóny. Na rozdíl od čelních airbagů jsou také boční často nabízeny pouze v příplatkových provedeních.

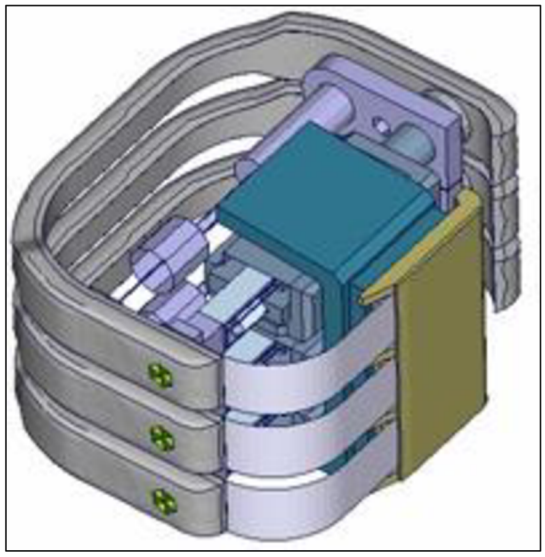
EUROSID -2

Figurína ES-2 je v současnosti používána pro testování následků na lidský organismus při bočním nárazu. Tato figurína představuje padesátiprocentního dospělého muže bez předloktí a dlaní. [13]

Obrázek č. 13. -Figurína EuroSID-2 [13]

KONSTRUKCE [13]

- Hlava je stejně jako u Hybrid III tvořena z monolitického hliníkového bloku, který je pokrytý vinylovým obalem. Přístup dovnitř hlavy, ve které je umístěn siloměr se šesti osou hlavicí, je možný pomocí horního nebo zadního víka.
- Krční páteř je uzpůsobena působení bočních sil a proto je možné měřit lidskou odezvu na boční náraz. Krční páteř je složena ze tří hlavních částí a to z ocelové dosedací plochy mezi hlavou a krkem, gumových tlumících prvků a druhé ocelové dosedací plochy mezi krkem a trupem. Dosedací plochy jsou propojeny půlkulovými šrouby k přírubám. Tímto spojením je možné zajistit částečnou rotaci krku v horní i dolní oblasti.
- Trup je složen ze tří základních segmentů. První částí jsou ramena s klíční kostí, na jejichž konci je umístěn tříosý siloměr. Klíční kosti jsou pokryty teflonovou vrstvou pro zmírnění tření a je k nim také připevněn mechanismus imitující kamenní kloub, ke kterému jsou předělány paže z plastových kostí, obalené pěnou představující svalovinu. Druhým prvkem je hrudní koš, který je sestaven z nehybné hrudní páteře a tří žeberních modulů, každý modul je vybaven pružinou s hydraulickým tlumičem. Zde je možné měřit vychýlení žebra pomocí potenciometru. Třetí částí je břišní oblast, ta je řešena pomocí kovového bubnu, který je umístěn okolo bederní páteře. V břišní oblasti jsou umístěny snímače pro získání informace o působících silách a momentech a také o vzniku možného poranění břišní dutiny během dopravní nehody.



Obrázek č. 14. -Konstrukční řešení hrudního koše figuríny EuroSID-2 [16]

- Pánev je podobně jako u Hybrid III řešena pomocí plastového bloku, ten je u EuroSID-2 poněkud složitější. Součástí pánve jsou dva deformovatelné uretanové bloky simulující pánevní kost. K tomuto bloku jsou namontované také kyčelní klouby a mechanismus, který spojuje pánev s trupem figuríny.
- Dolní končetiny jsou řešeny téměř stejně, jako u Hybrid III, rozdíly jsou pouze v odlišné konstrukci kotníku, který je místo kulového kloubu nahrazen jednoduchým mechanismem a ocelová tyč představující holenní kost je nahrazena monoblokem z tvrzeného plastu.
- Figurína je oblečena do neoprenového obleku pokrývající ruce, trup a horní část pánve
- Celková hmotnost figuríny je *72,0 kg ± 1,2kg*.

Tab. č. 2 Rozložení hmotnosti figuríny EuroSID-2 [13]

Segment	**Hmotnost [kg]**
Hlava	*4,0 ± 0,20*
Krk	*1,0 ± 0,05*
Trup	*22,4 ± 1,00*
Paže	*2,6 ± 0,20*
Břicho	*5,0 ± 0,25*
Nohy	*25,4 ± 1,2*
Pánev	*12,0 ± 0,60*
Celková hmotnost	***72,4 ± 1,20***

2.2.3 FIGURÍNA CHODCE

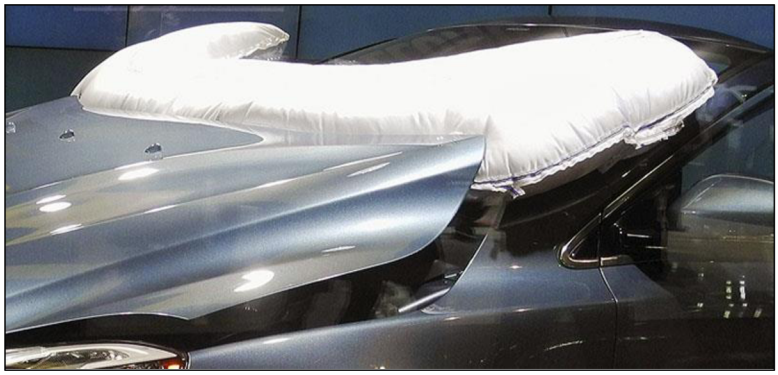
Figuríny chodce byly velmi důležité pro vývoj současných moderních vozidel, kdy je kladen velký důraz na ochranu chodce. Díky těmto figurínám jsou konstruktéři schopni vyvinout přední část vozidla tak, aby zmírnila dopady na člověka. Mezi největší průlomy v oblasti ochrany chodců patří aktivní kapota a airbagy pro chodce.

AKTIVNÍ KAPOTA

Aktivní kapota se v okamžiku nárazu nadzvedne a tím dochází ke zvětšení prostoru pro měkký průhyb kapoty.

AIRBAG PRO CHODCE

Airbag pro chodce se v okamžiku nárazu vymrští a rozprostře na předním skle podél kapoty a "A" sloupků. Slouží ke zmírnění nárazu těla na vozidlo.



Obrázek č. 15. - Aktivovaný airbag pro chodce [24]

HYBRID III PEDESTRIAN

Jedná se o figurínu Hybrid III chodec, tato figurína je vyráběna ve třech základních variantách. První variantou je padesátiprocentní figurína, která je vysoká *175 cm* a váží *78 kg*. Dále je používána devadesáti pětiprocentní figurína, představující jedince, který je větší než devadesát pět procent lidské populace. Posledním členem je pětiprocentní figurína, která představuje ženu a jde o figurínu, která je rozměry a váhou větší než pět procent lidské populace. [14]

Obrázek č. 16. -Figurína Hybrid III chodec [14]

KONSTRUKCE [14]

- Hlava je také tvořena z monolitického hliníkového bloku, který je pokryt odnímatelným vinylovým pouzdrem.
- Krční páteř je složena z hliníkových a pryžových segmentů, které jsou spojeny ocelovým lanem, tato konstrukce zajišťuje téměř dokonalou simulaci reálné krční páteře, která umožňuje stejnou flexi (ohnutí dopředu) i extenzi (ohnutí dozadu).
- Trup se skládá ze šesti ocelových žeber, které jsou na jedné straně ukotveny do hrudní páteře a straně druhé do hrudní kosti. V hrudní kosti je také umístěn potenciometr pro zjišťování, jakého průhybu hrudní koš dosahuje. Vzpřímené držení těla je umožněno pomocí rovné bederní páteře, která nahrazuje zakřivenou bederní oblast páteře, která je používaná u figurín usazovaných uvnitř vozidel.
- Dolní končetiny jsou řešeny pomocí ocelových trubek, které jsou obaleny pěnou, která nahrazuje svalovinu a vinylovou kůží. Kolenní kloub umožňuje také rotaci.
- Mezi největší průlomy patří pánev, štít krku a deformovatelný obličej.

- Celková hmotnost figuríny je *78,15 kg*.

Tab. č. 3 Rozložení hmotnosti figuríny Hybrid III chodec [14]

Segment	**Hmotnost [kg]**
Hlava	*4,54*
Krk	*1,54*
Horní část trupu	*17,19*
Dolní část trupu	*23,04*
Paže	*3,99*
Předloktí a dlaně	*4,54*
Horní část nohou	*11,97*
Dolní část nohou a chodidla	*11,34*
Celková hmotnost	***78,15***

2.2.4 TESTOVACÍ FIGURÍNY PRO NÁRAZ ZEZADU

Při nárazu zezadu vzniká velké riziko poranění krční páteře, a to především měkkých tkání, a to i při poměrně nízkých rychlostech. Při testování je ověřována především účinnost opěrek hlavy.

BIORID II

BioRID II byl vyvinut na universitě ve Švédsku. Charakteristickým rysem této figuríny je jeho krční páteř, která je složena z 24 oddělených obratlů. [33]

Obrázek č. 17. - Figurína BioRID II [33]

KONSTRUKCE [33]

- Hlava je pouze upravena z figuríny Hybrid III, aby bylo možné dosáhnout designu BioRID II. Kůže je v oblasti brady pozměněna, aby poskytla vůli pro krční obratle. V zadní části lebky je uloženo víčko pro uložení svazku kabelů. V hlavě je uložen tříosý akcelerometr.
- Krční páteř se skládá ze sedmi krčních obratlů a destičky, která drží kabely, pružiny a tlumiče, zasahující do lebky. Obratle jsou vyrobeny ze speciálního plastu, jsou tu

také dva uretanové nárazníky s různou tvrdostí. V krční páteři se nachází dvouosý akcelerometr.

- Trup je složen ze dvou základních oblastí. První oblastí je oblast hrudního koše, která je vytvořena z dvanácti obratlů. V horním obratli je umístěn hliníkový pětiosý siloměr. Na obou stranách páteře je možné připojit senzory úhlové rychlosti. Druhou oblastí jsou bedra, vyrobené z pěti obratlů.
- Dolní končetiny jsou stejné jako u figuríny Hybrid III.
- Celková hmotnost figuríny je *78,1 kg*.

Tab. č. 4 Rozložení hmotnosti figuríny BioRID II [33]

Segment	**Hmotnost [kg]**
Hlava	*4,54 ± 0,01*
Trup	*42,41 ± 0,45*
Paže a ramena	*8,44± 0,36*
Nohy	*22,8 ± 0,45*
Celková hmotnost	***78,1 ± 1,27***

3 NÁVRH TESTOVACÍ FIGURÍNY

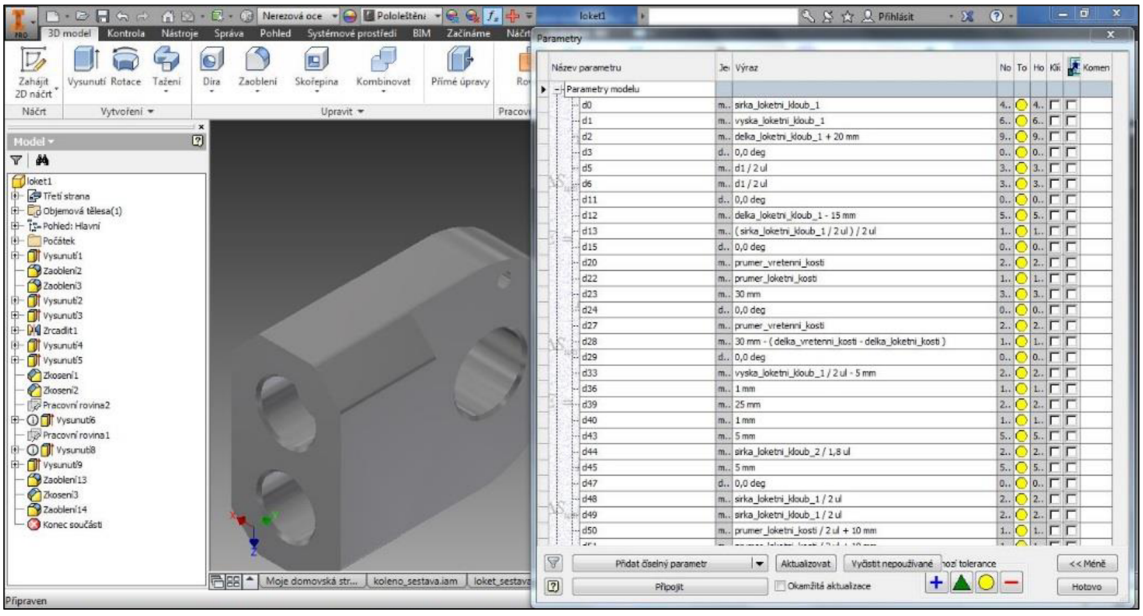
Testovací figurína byla navržena jako parametrická, je tedy možné dostat 3D model figuríny odpovídající zadaným parametrům. Parametrický model plně funguje od výšky *1,40 m*, což podle percentilových grafů odpovídá průměrnému desetiletému dítěti. Tato hodnota je plně dostačující vzhledem k tomu, že menší děti mají jiné rozložení hmotnosti a také poměry rozměrů kostí. Pro menší děti by bylo nutné udělat zvláštní parametrický model. Figurína je řešena bez opory, je možné ji tedy posadit do vozidla. Situaci, kdy je potřeba ji vozidlem srazit jako chodce, je nutné provést za aretování pohyblivých klubů pomocí tzv. „červíků“.

Při návrhu testovací figuríny bylo nutné zjistit určité parametry lidského těla. Mezi základní informace nezbytné pro navržení testovací figuríny bylo nutné zjistit rozložení hmotnosti lidského těla. Figurína je navržena jako zástupce odpovídající průměrnému muži. Dále bylo nutné zjistit poměry délek dlouhých kostí v závislosti na výšce lidské postavy. Poté byly zjištěny základní mechanické vlastnosti kostí, na základě těchto informací byly vybrány vhodné materiály pro sestavení figuríny. Další řešenou částí byl trup. Zde bylo nejdůležitější zachytit správný tvar a mechanické vlastnosti lidské páteře a hrudního koše. Jako další byly řešeny odpovídající rozměry trupu. Po zjištění těchto údajů byl vybrán materiál i konstrukční řešení. V neposlední řadě byla řešena hlava, kde konstrukce umožnuje uložení akcelerometru. Podrobnější vizualizace hotové testovací figuríny je vyobrazena v příloze C.

Obrázek č. 18. - Kostra navržené testovací figuríny [35]

3.1 PARAMETRICKÝ 3D MODEL

Jedná se o 3D model "kostry" testovací figuríny, který je plně kompatibilní s jakoukoli zadanou výškou postavy v rozmezí *140 cm* až *210 cm*. Existuje několik způsobů, jak zajistit vytvoření parametrického modelu v programu Autodesk Inventor Professional 2015 (dále též „Inventor“). Nejlepším možným řešením pro vytvoření parametrického 3D modelu figuríny je propojení programu Autodesk Inventor Professional 2015 s programem Microsoft Office Excel (dále též „Excel“). Tohoto propojení je možné dosáhnout pomocí funkce Parametry v programu Inventor. Při vytváření bylo nutné mezi parametry nahrát vhodný Excel soubor s požadovanými rozměry. Dále bylo nutné požadovaným parametrům modelů přiřadit vhodné výrazy. Tímto způsobem je možné dosáhnout spolehlivého a velmi efektivního vytvoření parametrického 3D modelu "kostry" testovací figuríny. Na následujícím obrázku je znázorněno pracovní prostředí programu Inventor při práci s funkcí Parametry. Na obrázku č. 19 je znázorněno uživatelské prostředí při práci s parametrickým modelováním v programu Inventor.



Obrázek č. 19. - Příklad parametrického modelování v Autodesk Inventor Professional 2015 [35]

3.2 ROZLOŽENÍ HMOTNOSTI NAVRHOVANÉ FIGURÍNY

Konkrétní rozložení hmotnosti lidského těla je velmi individuální, avšak procentuální rozložení hmotnosti v rámci lidského těla je možné pozorovat v Tab. č. 5. Hmotnost kostry dospělého muže se pohybuje kolem *12 - 14 kg*, u ženy se tato hmotnost

pohybuje kolem *10 - 11 kg*. Hmotnost kostry zaujímá přibližně *15 %* celkové lidské hmotnosti. Rozložení hmotnosti navrhované figuríny je řešeno tak, aby bylo co nejpodobnější lidskému organismu.

Tab. č. 5 Procentuální rozložení hmotnosti lidského těla [2]

Část těla	**Procentuální zastoupení**
Trup (hrudník, záda a břicho)	*50,80 %*
Stehna	*9,88 %*
Hlava	*7,30 %*
Holeně	*4,65 %*
Paže	*2,70 %*
Předloktí	*1,60 %*
Chodidla	*1,45 %*
Dlaně	*0,66 %*

3.3 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO A MATERIÁLOVÉHO ŘEŠENÍ DLOUHÝCH KOSTÍ

V následující kapitole jsou řešeny dlouhé kosti končetin. Jako nahrazující materiál bylo zvoleno dřevo. Na základě provedené rešerše a výpočtů bylo zjištěno, že nejpodobnější vlastnosti lidské kosti má olše, tato diplomová práce ovšem zpracovává i jiné druhy dřev. V rámci parametrického modelu je zapotřebí pouze zadat výšku postavy a zvolený druh dřeva a dojde k přepočítání a přemodelování všech rozměrů.

3.3.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOSTÍ

Mechanické vlastnosti kostí nejsou během života konstantní, jelikož jde o živou tkáň, u které dochází k neustálé obnově a vývoji. S rostoucím věkem dochází u většiny lidí v kostní tkáni ke snížení schopnosti rychlé regenerace, proto také dochází k řídnutí kostí. Kosti jsou velmi pevné části lidského těla, jejich pevnost ovšem ve stáří klesá o *10 – 20 %*. Nejlepší odolnost mají kosti vůči statickému zatížení, působícímu v podélném směru. Například pažní kost je schopná snést zatížení až *600 kg*, stehenní kost kolem *760 kg*. Kosti jsou schopny vykazovat v tahu ještě větší odolnost než v tlaku, oproti tomu v příčném směru je pevnost kosti zhruba poloviční, např. kost pažní je schopná v příčném směru snést zatížení kolem *300 kg*. Nejméně odolné jsou však kosti vůči krutu, např. pažní kost je schopna odolat pouze *10 kg* zátěži. Při dynamickém zatížení se hodnoty zmenšují s narůstající rychlostí podnětu. Ohybové namáhání je způsobeno dvojicí sil v rovině kolmé

k průřezu. V průřezu vzniká normálové napětí tj. napětí působící kolmo k průřezu. Toto napětí lze rozdělit na tahové a tlakové. Mechanické vlastnosti kostí závisí na rychlosti deformace. S rychlostí deformace roste mez pevnosti a elastický modul, oproti tomu klesá maximální dovolená deformace a je absorbováno menší množství energie. Hustota kostí se pohybuje okolo *1 700 - 2 000 kg.m*^{3}. Kost živého člověka je našedlá a na povrchu je pokryta okosticí, pomocí které je zajištěno cévní zásobení. Uvnitř kosti je kostní dřeň, ve které probíhá krvetvorba. Kost je tvořena z cca *60 %* minerálními sloučeninami, zbytek kostní tkáně představuje kolagen. [18]

V Tab. č. 6 jsou uvedeny mechanické vlastnosti kostí a v Tab. č. 7 jsou uvedeny orientační střední hodnoty pevnosti čerstvých lidských kostí. Tyto hodnoty byly použity pro výpočet průměrů náhrad.

Tab. č. 6 Mechanické vlastnosti kostí [20]

	Pevnost v tahu [MPa]	**Maximální deformace [%]**	**Modul pružnosti 10^4 [MPa]**
Stehenní kost	*124*	*1,41*	*1,76*
Holenní kost	*143*	*1,5*	*1,84*
Lýtková kost	*149*	*1,59*	*1,89*
Pažní kost	*125*	*1,43*	*1,75*
Vřetenní kost	*152*	*1,5*	*1,89*
Loketní kost	*151*	*1,49*	*1,88*

Tab. č. 7 Orientační střední hodnoty pevnosti čerstvých lidských kostí [15]

	Pohlaví	Kroucení [Nm]	Ohýbání [kN]	Maximální moment [Nm]	Stáčení podél [kN]
Pažní kost	**Žena**	*55*	*1,7*	*85*	*3,6*
	Muž	*70*	*2,7*	*150*	*5*
Vřetení kost	**Žena**	*17*	*0,7*	*25*	*2,2*
	Muž	*22*	*1,2*	*50*	*3,3*
Loketní kost	**Žena**	*11*	*0,8*	*28*	*3,6*
	muž	*14*	*1,2*	*50*	*5*
Stehenní kost	**Žena**	*136*	*2,6*	*180*	*7,1*
	Muž	*175*	*3,9*	*310*	*7,7*
Holenní kost	**Žena**	*56*	*2,2*	*124*	*7,5*
	Muž	*89*	*3,4*	*207*	*10,4*
Lýtková kost	**Žena**	*101,7*	*0,3*	*17*	*0,5*
	Muž	*9*	*0,4*	*27*	*0,6*

3.3.2 DÉLKOVÉ ROZMĚRY DLOUHÝCH KOSTÍ

Jedním z prvních vědců, kteří se pokoušeli určit výšku postavy z dlouhých kostí, byl Manouvrier. [19]

METODA DLE MANOUVRIERA

Manouvrierův soubor byl složen ze 49 jedinců. Pomocí této skupiny byla vytvořena tabulka závislosti rozměrů dlouhých kostí na výšce člověka. K výpočtu bylo použito suchých dlouhých kostí. Mezi dlouhé kosti patří kost pažní, loketní, vřetenní, stehenní, holenní a lýtková. [19]

Tab. č. 8 Vypočet výšky postavy z délek dlouhých kosti končetin u mužů [19]

Kost pažní [mm]	Kost loketní [mm]	Kost vřetení [mm]	Výška postavy [mm]	Kost stehenní [mm]	Kost holenní [mm]	Kost lýtková [mm]
295	*213*	*227*	***1 530***	*392*	*319*	*318*
298	*216*	*231*	***1 552***	*398*	*324*	*323*
302	*219*	*235*	***1 571***	*404*	*330*	*328*
306	*222*	*239*	***1 590***	*410*	*335*	*333*
309	*225*	*243*	***1 605***	*416*	*340*	*338*
313	*229*	*246*	***1 625***	*422*	*346*	*344*
316	*232*	*249*	***1 634***	*428*	*351*	*349*
320	*236*	*253*	***1 644***	*434*	*357*	*353*
324	*239*	*257*	***1 654***	*440*	*362*	*358*
328	*243*	*260*	***1 666***	*446*	*368*	*362*
332	*246*	*263*	***1 677***	*453*	*373*	*368*
336	*249*	*266*	***1 686***	*460*	*378*	*373*
340	*252*	*270*	***1 697***	*467*	*383*	*378*
344	*255*	*273*	***1 716***	*475*	*389*	*383*
348	*258*	*276*	***1 730***	*482*	*394*	*388*
352	*261*	*280*	***1 754***	*490*	*400*	*393*
356	*264*	*283*	***1 767***	*497*	*405*	*398*
360	*267*	*287*	***1 785***	*504*	*410*	*403*
364	*270*	*290*	***1 812***	*512*	*415*	*408*
368	*273*	*293*	***1 830***	*519*	*420*	*413*

Měření dle Manouvriera sice probíhala na přelomu 19. a 20. století, avšak poměry délek dlouhých kostí vzhledem k výšce postavy zůstaly téměř stejné. Pro danou diplomovou práci jsou zjištěná data dostatečná. Počítání přesné závislosti délky dlouhých kostí na výšce lidského těla by svým rozsahem přesahovalo rozsah samostatné diplomové práce. [19]

V závislosti hodnot vyskytujících se v Tab. č. 8 byly vypočítány poměry délek jednotlivých kostí ku výšce člověka. Jednotlivé poměry lze spočítat pomocí následujícího vztahu:

$$\frac{výška\ postavy}{délka\ dlouhé\ kosti} = hledaný\ poměr \quad (1)$$

Z těchto hodnot jednotlivých poměrů, uvedených v Tab. č. 9, byl vypočítán aritmetický průměr, který byl použit při modelování parametrického 3D modelu "kostry" testovací figuríny.

Tab. č. 9 Vpočet poměrů délek dlouhých kostí na výšce postavy [35]

Poměry	výška/ kost pažní	výška/ kost loketní	výška/ kost vřetenní	výška/ kost stehenní	výška/ kost holenní	výška/ kost lýtková
1	*5,2*	*7,2*	*6,7*	*3,9*	*4,8*	*4,8*
2	*5,2*	*7,2*	*6,7*	*3,9*	*4,8*	*4,8*
3	*5,2*	*7,2*	*6,7*	*3,9*	*4,8*	*4,8*
4	*5,2*	*7,2*	*6,7*	*3,9*	*4,7*	*4,8*
5	*5,2*	*7,1*	*6,6*	*3,9*	*4,7*	*4,7*
6	*5,2*	*7,1*	*6,6*	*3,9*	*4,7*	*4,7*
7	*5,2*	*7,0*	*6,6*	*3,8*	*4,7*	*4,7*
8	*5,1*	*7,0*	*6,5*	*3,8*	*4,6*	*4,7*
9	*5,1*	*6,9*	*6,4*	*3,8*	*4,6*	*4,6*
10	*5,1*	*6,9*	*6,4*	*3,7*	*4,5*	*4,6*
11	*5,1*	*6,8*	*6,4*	*3,7*	*4,5*	*4,6*
12	*5,0*	*6,8*	*6,3*	*3,7*	*4,5*	*4,5*
13	*5,0*	*6,7*	*6,3*	*3,6*	*4,4*	*4,5*
14	*5,0*	*6,7*	*6,3*	*3,6*	*4,4*	*4,5*
15	*5,0*	*6,7*	*6,3*	*3,6*	*4,4*	*4,5*
16	*5,0*	*6,7*	*6,3*	*3,6*	*4,4*	*4,5*
17	*5,0*	*6,7*	*6,2*	*3,6*	*4,4*	*4,4*
18	*5,0*	*6,7*	*6,2*	*3,5*	*4,4*	*4,4*
19	*5,0*	*6,7*	*6,2*	*3,5*	*4,4*	*4,4*
20	*5,0*	*6,7*	*6,2*	*3,5*	*4,4*	*4,4*
Aritmetický průměr poměrů	***5,1***	***6,9***	***6,4***	***3,7***	***4,5***	***4,6***

3.3.3 MATERIÁL DLOUHÝCH KOSTÍ

Jako náhrada kostí bylo vybráno dřevo. Každý druh má své výhody i nevýhody, ovšem nejpodobnější vlastnosti lidské kosti má olše, s přihlédnutím ke své štěpnosti. Jedná se o dřevo v praxi méně používané, kromě oboru řezbářství, kde je pro svou menší pružnost, pevnost a relativně dobrou štěpnost hojně využívána. [22]

MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA

Mezi základní mechanické vlastnosti dřeva patří pevnost, která je u dřeva velmi dobrá. Dřevo je materiál velmi lehký a pružný. Namáhání může být stejně jako u kosti statické nebo dynamické. Pevnost dřeva v tahu lze rozdělit podle směru zatížení. Prvním případem je zatížení ve směru vláken, kde se deformace projevuje prodloužením vláken, až na konci zátěžné fáze dochází k roztržení. U dřev s vyšší pevností je roztržená část vláknitá až třískovitá, u dřev s nižší pevností je roztržení schodovité, nebo téměř hladké. Při zatížení kolmo k vláknům, dochází se stoupající vlhkostí dřeva ke zmenšování pevnosti v tahu až do meze nasycení buněčných stěn. Působením tlaku na těleso podél vláken dochází k deformaci, projevující se zkrácením jejich délky. Charakter deformace je závislý na jakosti a stavbě dřeva. Důležitými činiteli jsou také hustota a vlhkost dřeva. Další velmi důležitou vlastností dřeva při výběru náhrady lidské kosti bylo zjištění štěpnosti. Odolnost dřeva proti štípání je odpor kladený materiálem proti rozštěpení vláken působením klínovitého nástroje. [22]

3.3.4 PRŮMĚRY NÁHRAD DLOUHÝCH KOSTÍ

Po zjištění průměrů náhrad dlouhých kostí bylo nutné zjistit průměry lidských kostí. Dle Tab. č. 6 byla zjištěna pevnost v tahu konkrétních kostí. Dále dle Tab. č. 7 bylo možné zjistit ohybovou sílu, které je čerstvá lidská kost schopná odolat. Na následujícím obrázku je možné pozorovat průběh ohybového momentu. Maximální ohybový moment byl vypočítán ze vztahu:

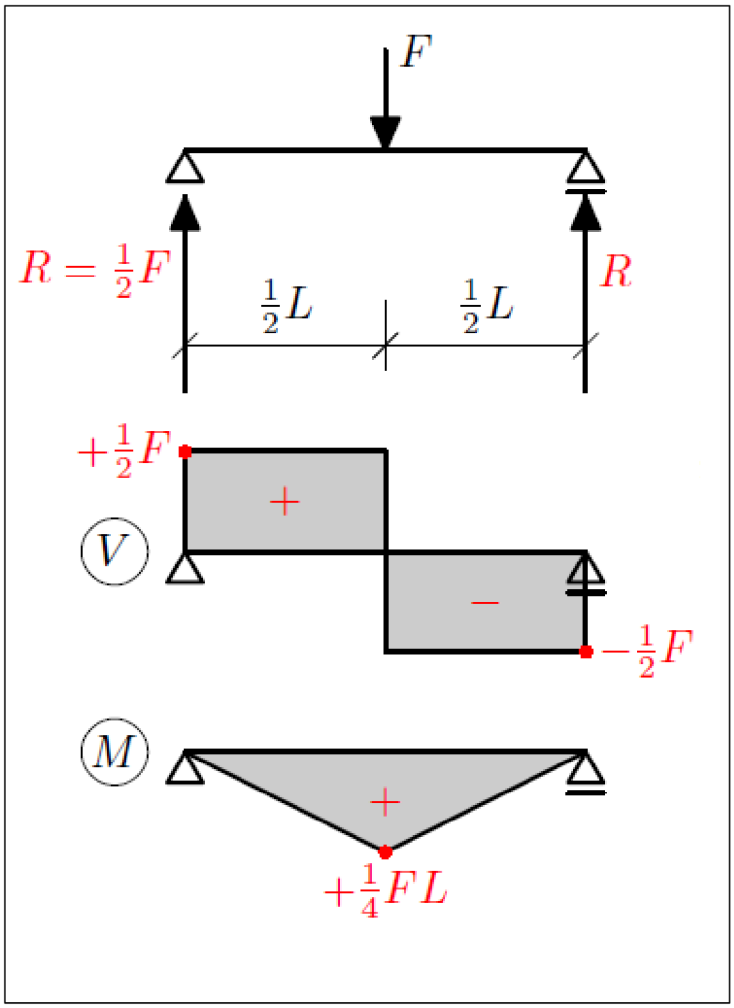
$$M_o = \frac{1}{4} FL \tag{2}$$

kde: F - maximální ohybová síla, L – délka kostí.

Dále byly vypočítány kritické průměry reálných kostí pomocí vztahu:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32\, M_o}{\pi\, R_m}} \tag{3}$$

kde: M_o – maximální ohybový moment, R_m - pevnost v tahu.



Obrázek č. 20. -Průběh ohybového momentu [23]

Pokud jsou známy průměry reálných kostí, je možno vypočítat průměry dřevěných náhrad. Za předpokladu zachování ekvivalentního chování dřevěné náhrady a reálné kosti, platí, že bezpečnost v ohybu pro dané napětí musí být stejná:

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_k} \tag{4}$$

kde: σ- napětí v ohybu, σ_k – kritická hodnota napětí v ohybu.

Potom platí:

$$k_{kost} = k_{dřevo} \tag{5}$$

$$\frac{\sigma_{kost}}{\sigma_{k,kost}} = \frac{\sigma_{dřevo}}{\sigma_{k,dřevo}} \tag{6}$$

$$\frac{\sigma_{kost}}{\frac{M_{oy1}}{W_{o,kost}}} = \frac{\sigma_{dřevo}}{\frac{M_{oy2}}{W_{o,dřevo}}} \tag{7}$$

Pokud platí, že $M_{oy1} = M_{oy2}$, potom:

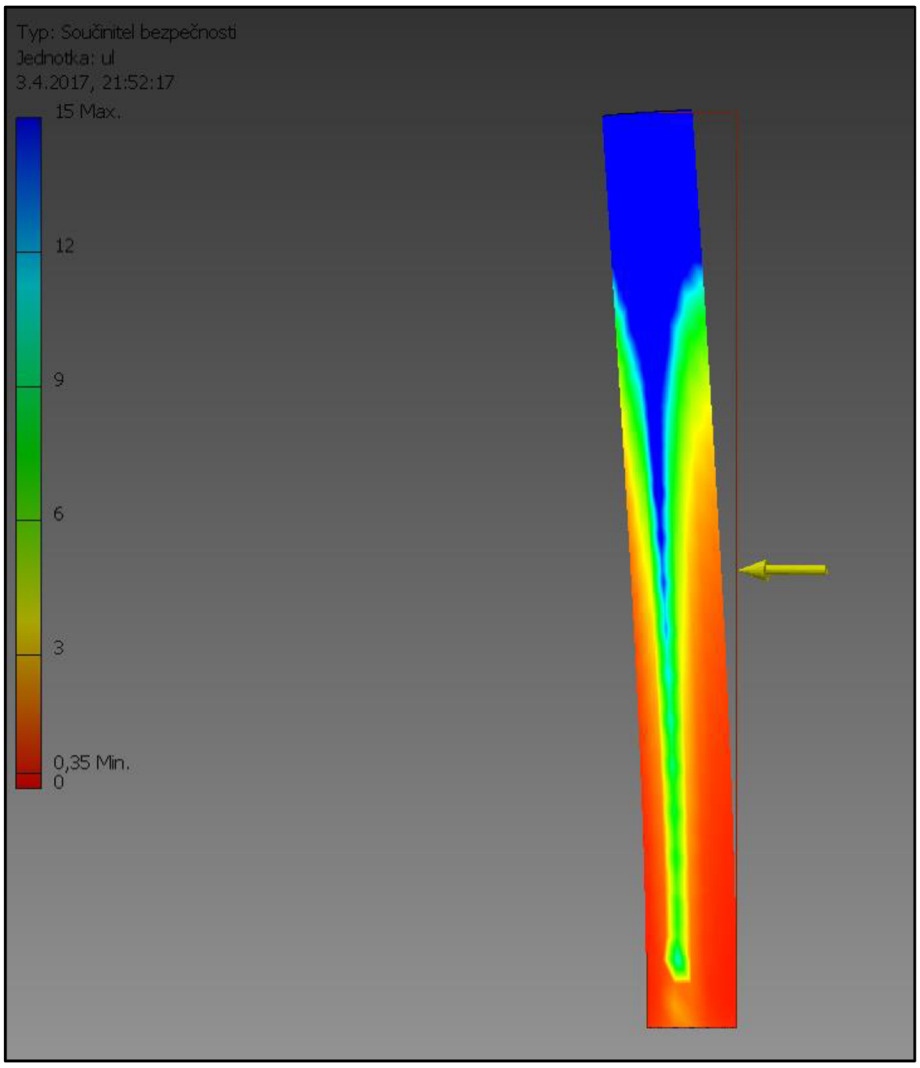
$$\sigma_{kost} \cdot W_{o,dřevo} = \sigma_{dřevo} \cdot W_{o,kost} \tag{8}$$

$$\sigma_{kost} \frac{\pi \cdot D_{dřevo}{}^{3}}{32} = \sigma_{dřevo} \frac{\pi \cdot D_{kost}{}^{3}}{32} \tag{9}$$

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

Dle tohoto vztahu byly vypočítány průměry všech kostí pro náhrady z různých druhů dřev. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v příloze A, kde jsou uvedeny hodnoty průměrů dřevěných náhrad pro výšku postavy *1,70 m*. Tyto průměry byly spočítány pro *19* nejpoužívanějších druhů dřeva.

Bylo nutné provést ověření pevnosti vypočítaných průměrů náhrad kostí v porovnání s udávanou pevností reálných kostí. Jak již bylo zmíněno, lidská pažní kost by měla odolat v příčném směru síle o velikosti *300 kg*, což je téměř *3000 N*. Na následujícím obrázku je možné vidět průběh součinitele bezpečnosti pažní kosti po zatížení silou o velikosti *3000 N* v příčném směru. Vzhledem k tomu, že minimální součinitel bezpečnosti je *0,35*, lze konstatovat, že navržený průřez pažní kosti odpovídá téměř skutečným hodnotám pažní kosti.



Obrázek č. 21. -Průběh součinitele bezpečnosti pažní kosti [35]

3.3.5 PARAMETRICKÝ 3D MODEL KONČETIN

Při zachování biomechanických vlastností odpovídajících skutečným lidským končetinám byl navržen model, který při relativní konstrukční jednoduchosti umožní sestavení figuríny s reálnými vlastnostmi lidského těla. Vzhledem k tomu, že se jedná o model parametrický, lze délky končetin měnit v závislosti na požadované tělesné výšce figuríny.

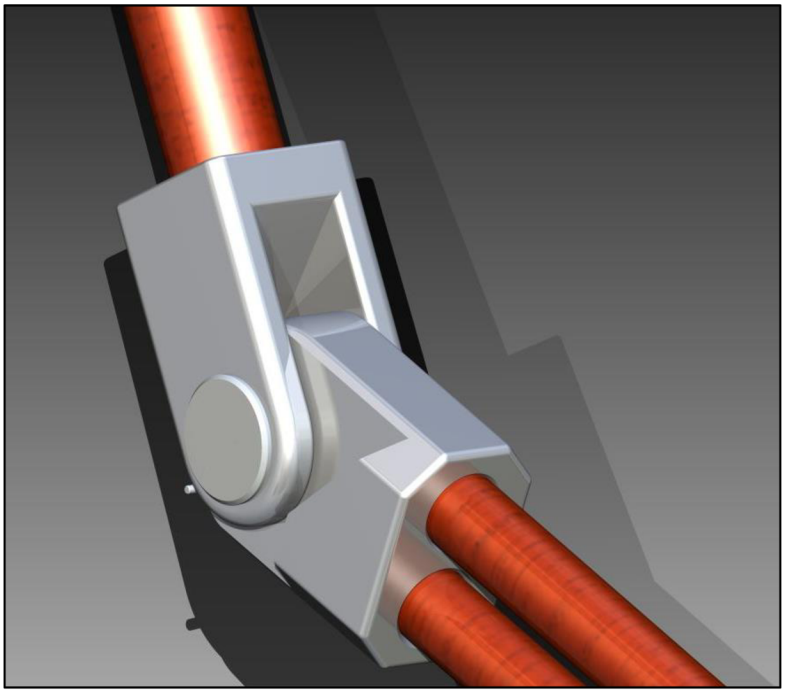
HORNÍ KONČETINA

Horní končetina byla modelována v návaznosti na jednom parametru, kterým je výška postavy. Délky kostí byly vypočítány viz kap. 3.3.2 Dále bylo nutné dané rozměry kostí zredukovat o příslušné délky kloubů. Na obrázku č. 22 je vizualizace parametrického 3D modelu horní končetiny.

Obrázek č. 22. -Parametrický 3D model horní končetiny [35]

Ramenní kloub byl vymodelován v návaznosti na průměru pažní kosti a osazení v návaznosti na délce pažní kosti. Je složen ze dvou základních prvků a to z kulovité části a misky. Tento sférický mechanismus umožňuje rotaci ve třech směrech, má tedy tři stupně volnosti. Rozsah pohybu je omezen dorazem pažní kosti na misku. Miska je složena ze dvou stejných částí, ke kterým je před sestavením pomocí dvou šroubů, připevněna příruba.

Loketní kloub je složen ze tří hlavních částí. První je část uchycení pažní kosti. Rozměry této součásti jsou také modelovány v návaznosti na průměr pažní kosti a hloubka osazení v návaznosti na délce pažní kosti. Druhou je část uchycení loketní a vřetenní kosti. Rozměry součásti jsou vymodelovány v návaznosti na průměrech loketní a vřetenní kosti, hloubce osazení na jejich délkách. Třetí částí je čep loketního kloubu, který je z jedné strany zajištěn osazením a z druhé strany je zajištěn vnějším pojistným kroužkem. Poslední částí je kolík, omezující rozsah pohybu loketního kloubu. Kolík je vložen s přesahem. Díru pro kolík je nutné vyvrtat až po sestavení, aby kolík odpovídal rozsahu pohybu požadovaných parametrů. Druhá strana rozsahu je omezena kontaktem první a druhé části loketního kloubu. Tento rotační mechanismus umožňuje rotaci v jednom směru, má tedy jeden stupeň volnosti. Vzhledem k tomu, že bylo nutné dosáhnout úspory hmotnosti, byl pro loketní kloub zvolený materiál hliník 6061. Na obrázku č. 23 je detail navrženého loketního kloubu.



Obrázek č. 23. - Detail navrženého loketního kloubu [35]

Vzhledem k tomu, že zápěstí a dlaně nejsou důležité k opoře těla a také jejich poranění nebývá většinou ohrožující na životech, není pro ně řešena náhrada kostí a kloubů.

DOLNÍ KONČETINA

Dolní končetina byla také modelována v návaznosti na jednom parametru, kterým je výška postavy. Délky kostí byly vypočítány viz kap. 3.3.2. Dále bylo nutné dané rozměry kostí zredukovat o příslušné délky kloubů.

Kyčelní kloub byl vymodelován v návaznosti na průměr stehenní kosti a osazení v návaznosti na délce stehenní kosti. Je složen ze dvou prvků a to z kulovité části a misky. Tento sférický mechanismus umožňuje rotaci ve třech směrech, má tedy tři stupně volnosti. Rozsah pohybu je omezen dorazem stehenní kosti na misku. Miska je složena ze dvou stejných částí, ke kterým je před sestavením pomocí dvou šroubů, přivařena příruba.

Kolenní kloub je nejsložitější kloub v lidském těle. Flexe neboli ohyb kolenního kloubu je složen ze 4 fází. První fází je počáteční rotace, kde dochází k rotaci kolenního kloubu o cca *5* °, jde o tzv. „odemknutí kolenního kloubu“. Druhou částí je valivý pohyb, který zajišťuje rozsah ohybu kolenního kloubu v rozmezí *10 – 20* °, zde dochází k odvalování stehenní kosti po kosti holenní a také po obou meniscích. Třetí částí je pohyb posuvný, který zajišťuje rozsah ohybu kolenního kloubu v rozmezí *20 – 140* °, zde dochází k posunu menisků po holenní kosti dozadu. Poslední fází je závěrečná rotace. [25]

Následující obrázek představuje vizualizaci 3D modelu hodní končetiny.

Obrázek č. 24. - Parametrický 3D model dolní končetiny [35]

Vzhledem k tomu, že třetí fáze výrazně převyšuje rozsah ostatních, je kolenní kloub parametrické figuríny navržen pouze jako kloub rotační s jedním stupněm volnosti. Kolenní kloub je složen ze tří hlavních částí. První je část uchycení stehenní kosti. Rozměry této součásti jsou také modelovány v návaznosti na průměru stehenní kosti a hloubka osazení v návaznosti na délce stehenní kosti. Druhou je část uchycení holenní a lýtkové kosti. Rozměry součásti jsou vymodelovány v návaznosti na průměrech holenní a lýtkové kosti, hloubka osazení na jejich délkách. Třetí částí je čep kolenního kloubu, který je z jedné strany zajištěn osazením a z druhé strany je zajištěn vnějším pojistným kroužkem. Poslední částí je kolík, omezující rozsah pohybu kolenního kloubu. Kolík je vložen s přesahem. Díru pro kolík je nutné vyvrtat až po sestavení, aby odpovídal rozsahu pohybu požadovaných parametrů. Druhá strana rozsahu je omezena kontaktem první a druhé části kolenního kloubu. Tento rotační mechanismus umožňuje rotaci v jednom směru, má tedy jeden stupeň volnosti.

Vzhledem k tomu, že bylo nutné dosáhnout úspory hmotnosti, byl pro konstrukci kolenního kloubu zvolený materiál hliník 6061. Na obrázku č. 25 je detail navrženého kolenního kloubu.

Obrázek č. 25. - Detail kolenního kloubu [35]

Při tvorbě parametrického modelu nebyla navržena chodidla, která jsou pro výrobu značně složitá a také jejich rozměr není plně závislý na výšce lidské postavy. Chodidla figuríny budou řešena pomocí protetických náhrad. Spodní část dolní končetiny byla navržena tak, aby do ní bylo možné vytvořit závit a následně spojit s protetickou náhradou.

Obrázek č. 26. - Chodidlo s kosmetickým krytem [34]

3.4 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO A MATERIÁLOVÉHO ŘEŠENÍ TRUPU

V následující kapitole je řešeno konstrukční a materiálové řešení trupu. Hlavní pozornost byla věnována páteři a také hrudnímu koši. Bylo nutné dodržet dostatečnou pevnost, aby byla zajištěna opora celého těla. Celý axiální systém lidského těla je uspořádán z kostěných obratlů a poddajných meziobratlových disků, vazivového a aktivního svalového aparátu páteře.

3.4.1 ZÁKLADNÍ FUNKCE PÁTEŘE

Páteř dospělého člověka je složena z konvexních a konkávních oblouků, které napomáhají správnému držení těla a současně napomáhají k tlumení rázů. Páteř je složena z *33* obratů, které zajišťují její potřebnou pružnost i pevnost. Obrate jsou řazeny mezi krátké kosti s velkým množstvím výběžků a nepravidelných kloubních ploch. Dále je páteř složena z meziobratlových plotének, které v podstatě tvoří nárazovou plochu mezi sousedními obratli. Lidská páteř je jedním z nejdůležitějších segmentů lidského těla.[26]

Její hlavní funkce jsou:

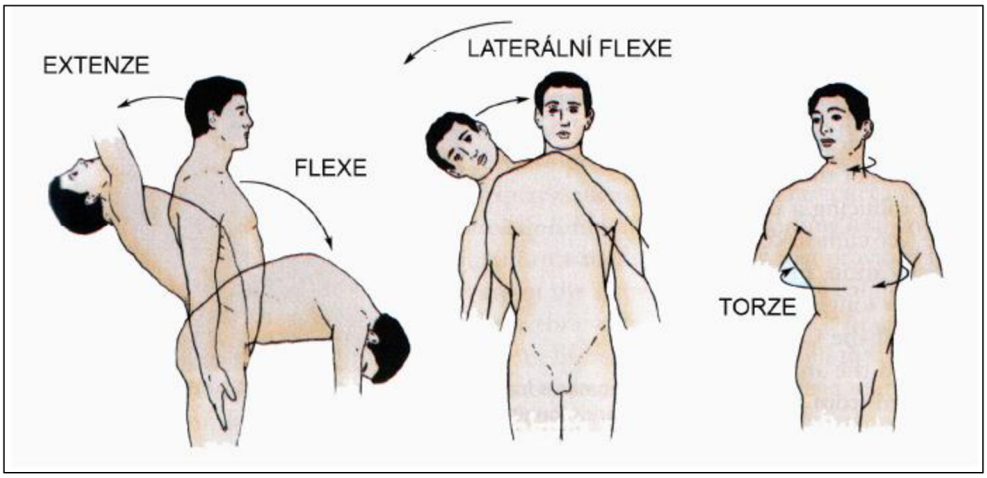
- Zajišťování vzpřímené pozice těla
- Ochrana míchy
- Zajišťování pohybu a lokomoci
- Odolávání vnějšímu zatížení

3.4.2 POHYBLIVOST PÁTEŘE

Mezi základní pohyby lidského trupu patří:

- Flexe – předklon
- Extenze – záklon
- Torze – otáčení trupu kolem svislé osy
- Laterální flexe – úklon v bok

Na následujícím obrázku jsou znázorněny základní pohyby lidského trupu.



Obrázek č. 27. - Pohyby trupu [29]

SEKTORY PÁTEŘE [28]

Celá páteř je rozdělená na tři základní sektory.

- Krční obratle jsou označovány písmenem C. Tento sektor je tvořen sedmi obratli. Tyto obratle se vyznačují nízkým tělem jednotlivých segmentů. Krční obratle je dále možné dělit na horní krční sektor, tato část páteře spojuje lebku s axiálním systémem a na dolní krční sektor, který se podílí na pohybu horních končetin a spojuje horní krční sektor s hrudními obratli.
- Hrudní obratle jsou označovány Th. Tento sektor je tvořen dvanácti obratli, ke kterým jsou kloubně připevněna žebra. Jednotlivé segmenty jsou vyšší než krční obratle. Dolní hrudní sektor má bezprostřední vztah na bránici a tedy i dýchání.
- Bederní obratle jsou označovány písmenem L. Sektor je složen z pěti obratlů. Horní bederní sektor je také závislý na dýchání a to konkrétně břišní dýchání. Dolní bederní sektor je spojen s kyčelními klouby.
- Dále mezi sektory páteře patří křížové a kostrční, ty ovšem nejsou navzájem pohyblivé a pro návrh testovací figuríny nejsou podstatné.

V následující tabulce je přehled rozsahu pohybů jednotlivých sektorů páteře.

Tab. č. 10 Pohyblivost sektorů páteře [28]

Úsek páteře	Flexe	Extenze	Laterální flexe	Torse
C páteř	30 ° - 35 °	80 ° - 90 °	35 ° - 40 °	45 ° - 50 °
Th páteř	35 ° - 40 °	20 ° - 25 °	20 ° - 25 °	25 ° - 35 °
L páteř	55 ° - 60 °	30 ° - 35 °	20 ° - 30 °	5 °

3.4.3 HRUDNÍ KOŠ

Hrudní koš je tvořen žebry, hrudní páteří a hrudní kostí. Hlavní funkcí hrudního koše je ochrana vnitřních orgánů. Hrudní koš je složen z dvanácti párů žeber.

ROZMĚRY HRUDNÍHO KOŠE

Antropometrie je vědní obor, který se zabývá měřením tělesných znaků charakterizující stavbu lidského těla. Díky hodnotám získaným z antropometrického měření v rámci výzkumu na Ústavu nábytku designu a bydlení MENDELU Brno v letech 2010 - 2012 bylo možné zjistit závislost různých rozměrů trupu na výšce postavy. Medián výšky postavy z naměřených hodnot byl *173 cm*. [30] Závislost rozměrů je možné vypočítat pomocí vztahu:

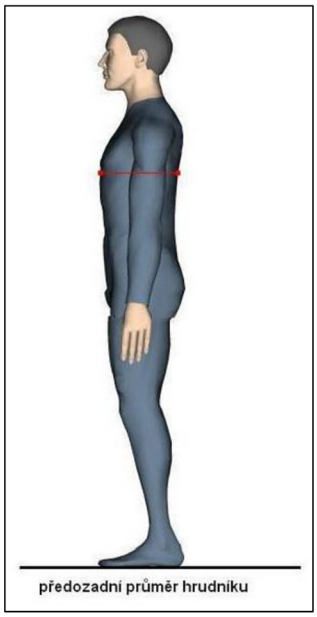
$$\frac{výška\ postavy}{rozměr\ segmentu} = hledaná\ závislost \qquad (11)$$

Tab. č. 11 Rozměry hrudního koše [28]

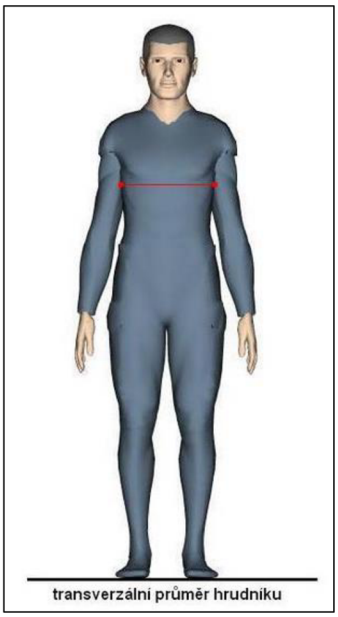
	Naměřená hodnota [cm]	Výška postavy/rozměr segmentu
Obvod hrudníku	*93,7*	*1,8*
Předozadní průměr hrudníku	*20,6*	*8,4*
Transverzální průměr hrudníku	*30,9*	*5,6*

Na následujících obrázcích jsou znázorněny použité antropometrické rozměry lidského hrudního koše.

Obrázek č. 28. -Obvod hrudníku [30]



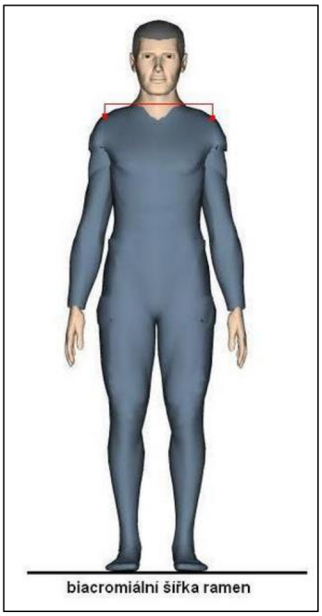
Obrázek č. 29. -Předozadní průměr hrudníku [30]



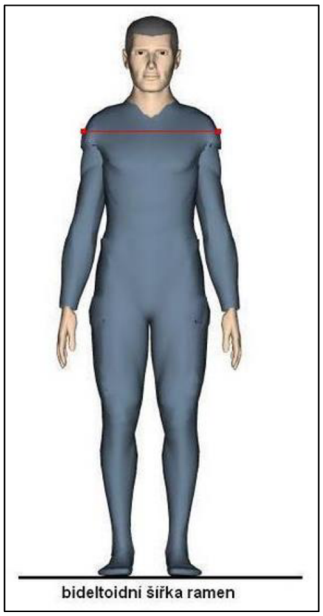
Obrázek č. 30. -Transverzální průměr hrudníku [30]

3.4.4 ROZMĚRY TRUPU

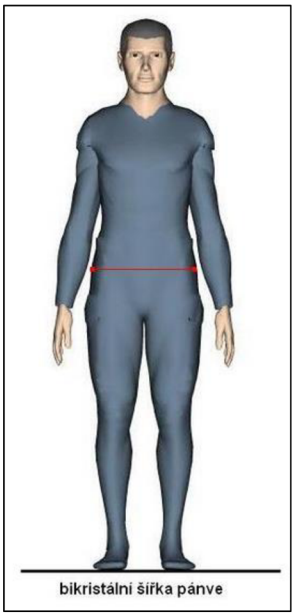
Z hodnot získaných z antropometrického měření v rámci výzkumu na Ústavu nábytku designu a bydlení MENDELU Brno designu a bydlení MENDELU Brno byly zjištěny i další rozměry trupu. Následující obrázky představují použité antropometrické rozměry lidského trupu. [30]



Obrázek č. 31. -*Biacromiální šířka ramen [30]*



Obrázek č. 32. -*Bideltoidní šířka ramen [30]*



Obrázek č. 33. - Bikristální šířka pánve [30]

Tab. č. 12 Rozměry trupu [30]

	Naměřená hodnota [cm]	**Výška postavy/rozměr segmentu**
Biacromiální šířka ramen	*38,8*	*4,5*
Bideltoidní šířka ramen	*46*	*3,8*
Bikristální šířka pánve	*29,8*	*5,8*

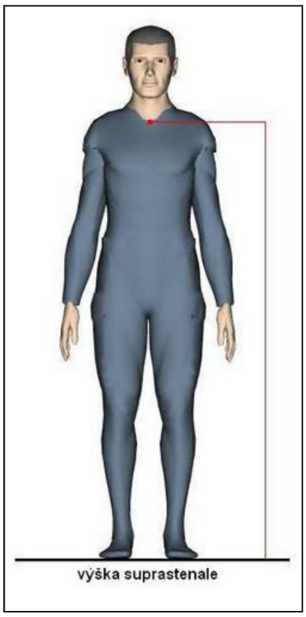
Další nedílnou součástí, kterou bylo nutno zjistit, byla výška trupu. Vzhledem k tomu, že výška trupu nepatří mezi přímý z měřených rozměrů antropometrie, bylo nutné provést výpočet pomocí dvou antropometrických rozměrů. Mezi použité rozměry byly zvoleny výška suprasternale, jedná se o rozměr mezi bodem ležící na horním okraji hrudní kosti v mediánní rovině a rovinou podložky a dále byla použita výška spina iliaca, což je vzdálenost mezi rovinou podložky a nahmatatelným výběžkem kyčelní kosti. [30]

$$výška\ trupu = výška\ suprasternale - výška\ spina\ iliaca \tag{12}$$

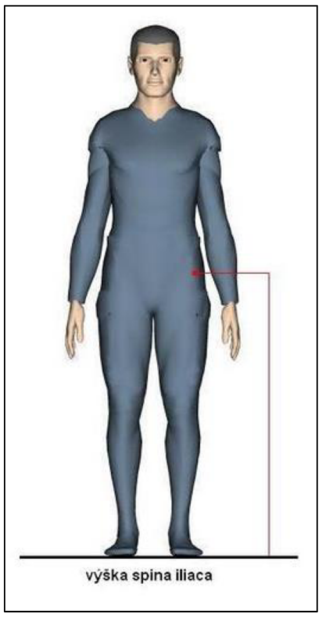
$$výška\ trupu = 140{,}7 - 97{,}8 = 42{,}9 \tag{13}$$

$$\frac{výška\ postavy}{výška\ trupu} = \frac{173{,}0}{42{,}9} = 4{,}03 \tag{14}$$

Na obrázcích č. 34 a č. 35 jsou lidské antropometrické rozměry použité pro výpočet výšky lidského trupu.



Obrázek č. 34. - Výška horního okraje hrudní kosti [30]



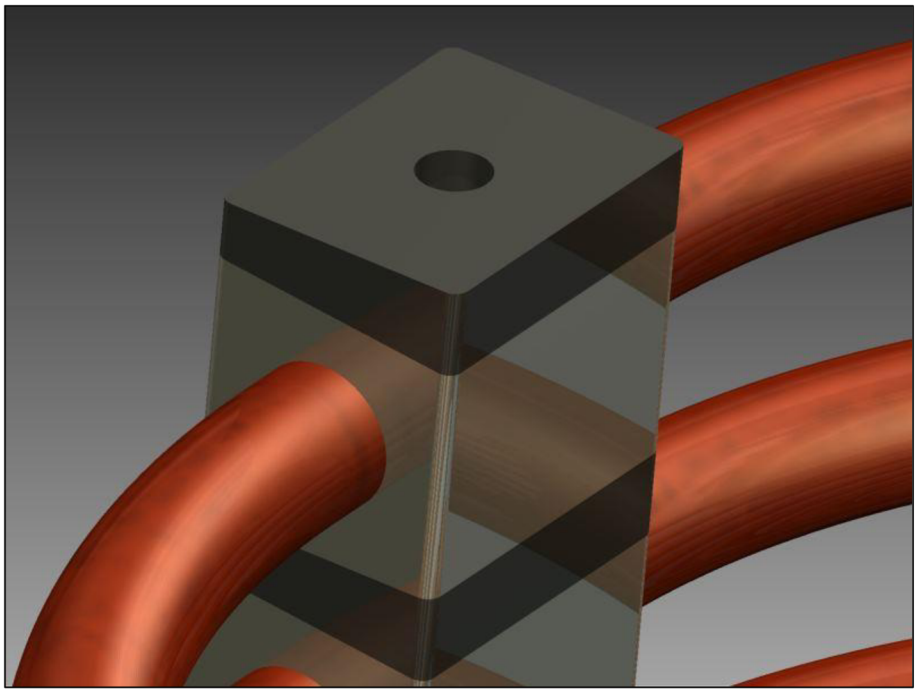
Obrázek č. 35. -Výška hmatatelného výběžku kyčelní kosti [30]

3.4.5 PARAMETRICKÝ 3D MODEL TRUPU

Jedním ze základních celků při vytváření parametrického modelu 3D figuríny byl trup. Bylo nutné zajistit hlavní funkce, jako je spojení končetin s trupem, oporu těla a ochranu vnitřních orgánů. Trup je rozdělen do čtyř základních celků a to páteř, hrudní koš, ramena a pánev. Také trup je řešen jako parametrický. Vzhledem k tomu, aby bylo možné zajistit snadnou opravitelnost a zaměnitelnost komponent, byl trup značně zjednodušen, kdy však byly zachovány základní funkce a také základní pohybové rozpětí.

PÁTEŘ

Na obrázku č. 36 je vyobrazena páteř navržené testovací figuríny, která je složena z duralových obratlů a pryžových chrupavek.

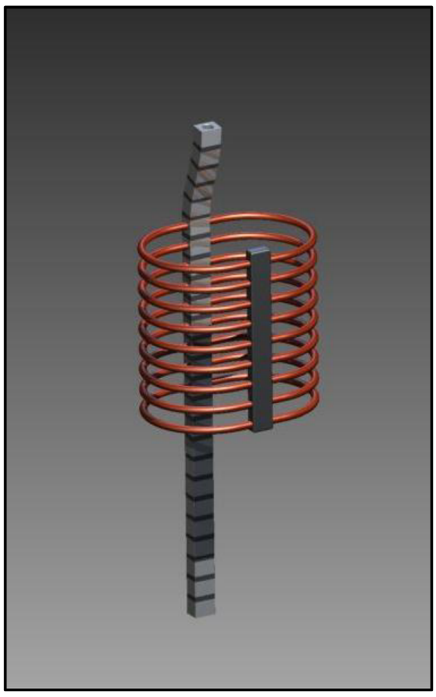


Obrázek č. 36. -Detail páteře [35]

Páteř byla vymodelována tak, aby zachovala základní funkce lidské páteře, kterou je opora těla. Pro zjednodušení došlo k narovnání páteře. Vzhledem k tomu, že esovitý tvar páteře pomáhá hlavně v tlumení rázů a nemá žádný podstatnější význam, bylo upuštěno od kopírování tohoto tvarového prvku. Esovitá část páteře byla kopírována pouze v oblasti krčních obratlů. Páteř je složena s nerezových obratlů a pryžových meziobratlových plotének. Obdélníkový tvar obratlů a plotének umožňuje menší rozsah pohybu do boku, jako je tomu i u lidské páteře. Dále jsou obratle řešeny jako zkosené, aby bylo možné zachovat větší flexi, tedy rozsah pohybu směrem dopředu než extenzi, což je rozsah pohybu směrem dozadu. Torze je také omezena pomocí zkoseného tvaru obratlů. Kvůli tomu, aby mohl být parametrický model figuríny co nejlépe opravitelný, jsou téměř všechny obratle rozměrově stejné. V celé páteři se vyskytují 4 druhy obratlů. Základní rozměry jako jsou šířka, výška a délka jsou vždy stejné. Rozdíl je například v díře pro žebra. V horním obratli je navíc zahloubena díra pro uložení zakončení ocelového lana, které slouží ke zpevnění páteře, a také závity pro uchycení lebky. Ve spodním obratli je také zahloubení pro uložení ocelového lana. Rozměry byly navrhovány v návaznosti na zjištěném poměru výšky trupu k výšce člověka. Páteř je také vymodelována jako parametrická, po zadání požadované výšce člověka dohází k přemodelování obratlů a meziobratlových plotének v pevně zadaném poměru.

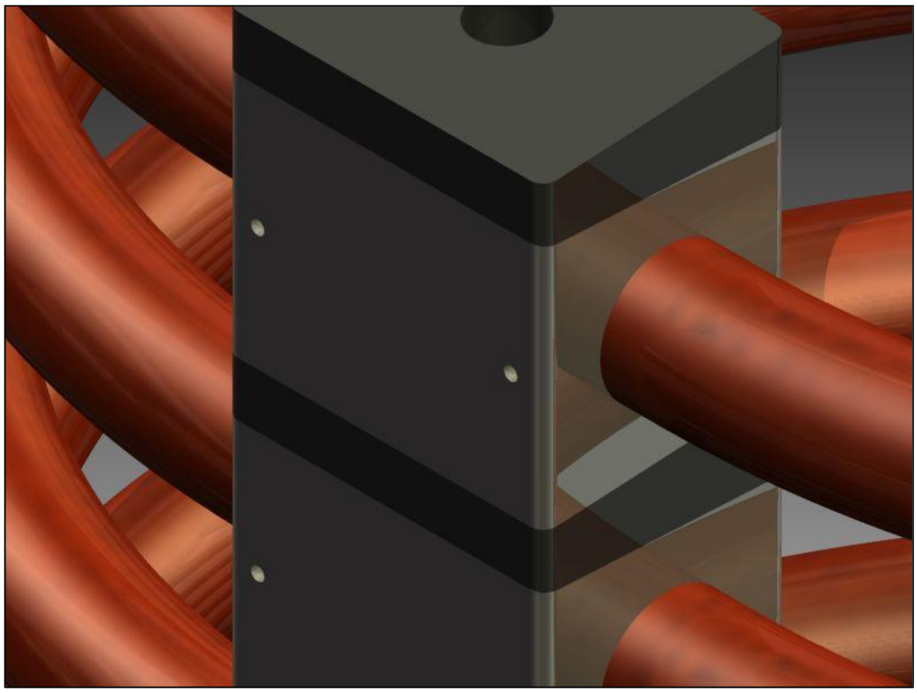
HRUDNÍ KOŠ

Na níže uvedeném obrázku je znázorněn hrudní koš s páteří.



Obrázek č. 37. -Hrudní koš s páteří [35]

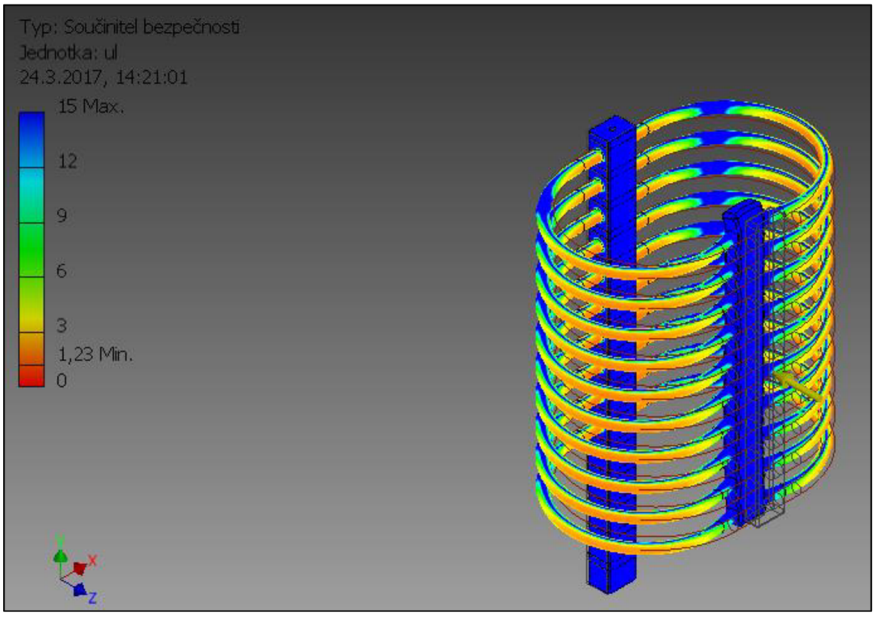
Hrudní koš je složen z devíti párů žeber, které jsou v přední části zasazeny do hrudní kosti. Hrudní kost je z poddajného materiálu, aby bylo možné dosáhnout částečného propružení při pohybu trupu. Toto řešení nahrazuje fakt, že žebra v lidském skeletu nejsou zasazena přímo do hrudní kosti, ale jedná se o pružné spojení pomocí chrupavek. Hrudní koš zaujímá necelé dvě třetiny výšky trupu. Na druhé straně jsou žebra zasazena do obratlů. Spojení žeber s obratli i hrudní kostí je řešeno pomocí přesahu, pojištěného vrutem. Hrudní koš je také vymodelován jako parametrický. Po zadání výšky člověka dochází k úpravě předozadního průměru hrudního koše a také k úpravě transverzálního průměru hrudního koše. Průměr hrudních kostí je stálý, aby byla zachována potřebná pevnost celého hrudního koše.



Obrázek č. 38. -Pojištění uchycení žeber v obratlích [35]

3.4.6 PEVNOSTNÍ ANALÝZA TRUPU

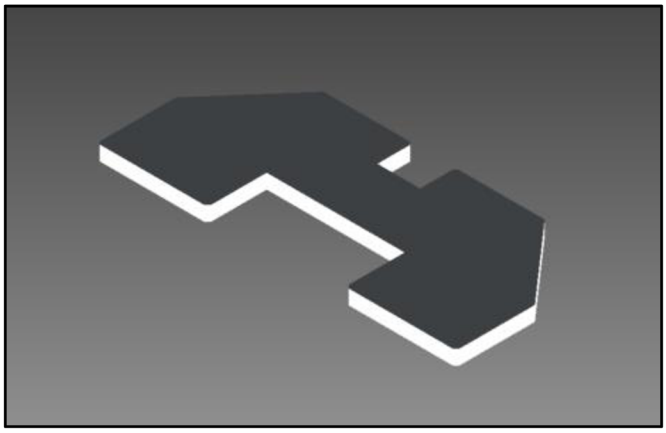
Při návrhu trupu byla použita pevnostní analýza v programu Autodesk Inventor Professional 2015. Na následujícím obrázku je možno vidět průběh součinitele bezpečnosti v rámci celého hrudního koše při zatížení silou *1 000 N* na střed náhrady hrudní kosti. Spodní hranice součinitele bezpečnosti je *1,23*, což znamená, že hrudní koš je navržen tak, aby byl schopen odolat statické síle o velikosti *1 230 N*.



Obrázek č. 39. -Pevnostní analýza trupu [35]

RAMENA

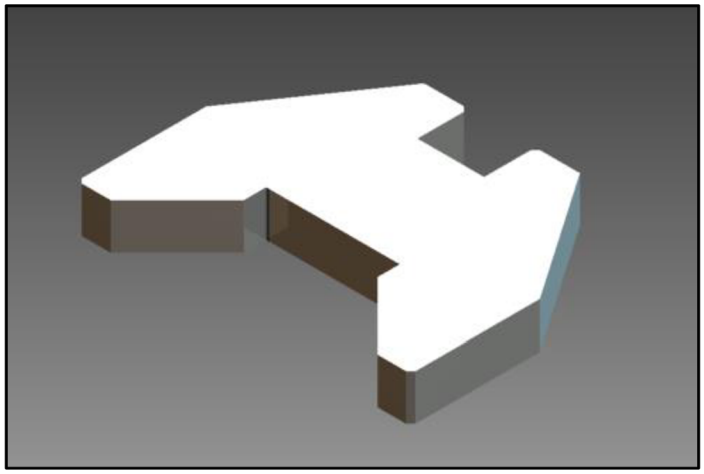
Ramena byla vymodelována z jednoho kusu plechu o tloušťce *10 mm*. Ramena spojují páteř, která je k nim přivařena prostřednictvím jednoho z obratlů, a dále ramenní kloub, který je k plechu ramen také přivařen pod určitým úhlem, který zabezpečuje maximální rozsah pohybu horních končetin. Na obrázku č. 40 je vyobrazen plech nahrazující ramena.



Obrázek č. 40. -Ramena [35]

PÁNEV

Pánev byla vymodelována z jednoho kusu plechu o tloušťce *20 mm*. Pánev spojuje páteř, kdy poslední z obratlů je k pánevnímu plechu přivařen a dále kyčelní kloub, který je ke pánevnímu plechu také přivařen pod určitým úhlem, který zabezpečuje maximální rozsah pohybu dolních končetin, kde největší rozsah pohybu je směrem dopředu a od těla. Na obrázku č. 41 je znázorněna plechová náhrada pánve navržené figuríny.



Obrázek č. 41. - Pánev [35]

3.5 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO A MATERIÁLOVÉHO ŘEŠENÍ HLAVY

Lebka novorozence je složena z 22 kostí. Postupem času celá lebka srůstá. Lebka je složena ze dvou základních částí. První část je mozková část a druhá obličejová část.

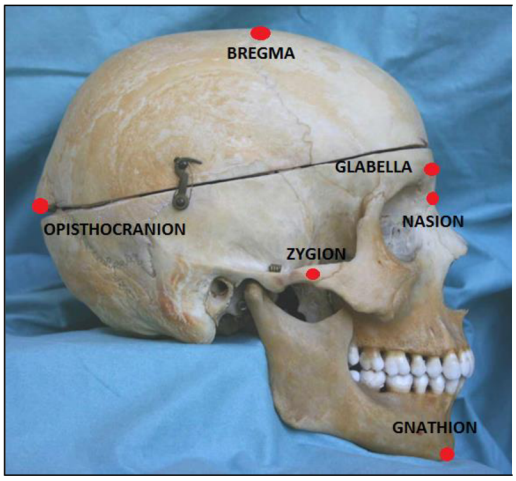
3.5.1 STŘEDNÍ ROZMĚRY LEBKY

Rozměry lidské lebky byly zjištěny ze studijního textu, který je určen pro studenty PřF UJEP, katedry biologie.

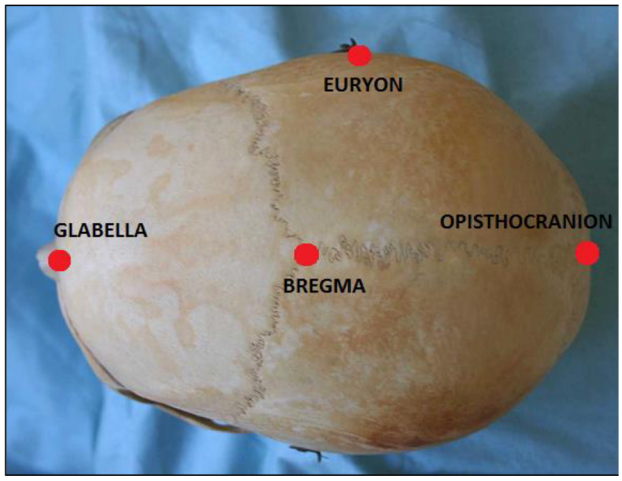
Tab. č. 13 Střední hodnoty rozměrů lebky [32]

	Rozměr [mm]
Délka lebky (glabella–opisthocranion)	*178 – 184*
Výška lebky (basion – bregma)	*132 – 136*
Šířka lebky (euryon – euryon)	*139 – 144*
Výška obličeje (nasion – gnathion)	*115 – 122*
Šířka obličeje (zygion – zygion)	*131 – 136*

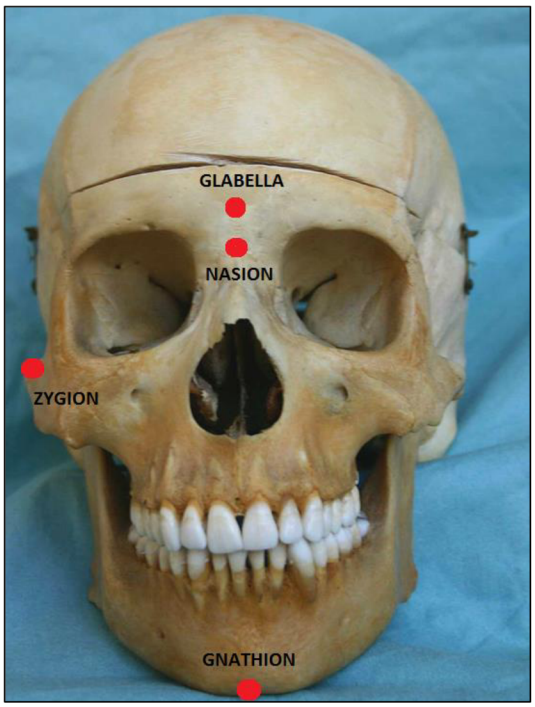
Na následujících obrázcích jsou vyobrazeny pohledy lidské lebky s vyznačenými měřitelnými body



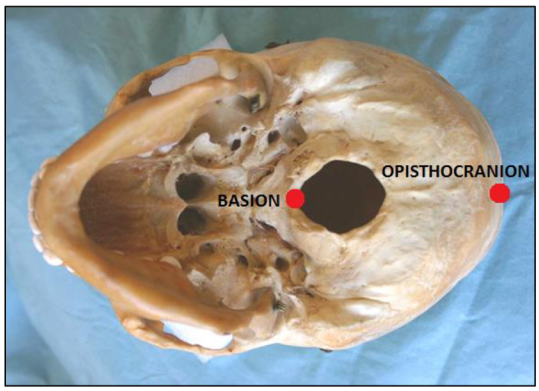
Obrázek č. 42. -Lidská lebka - boční pohled [31]



Obrázek č. 43. -Lidská lebka - horní pohled [31]



Obrázek č. 44. -Lidská lebka - přední pohled [31]

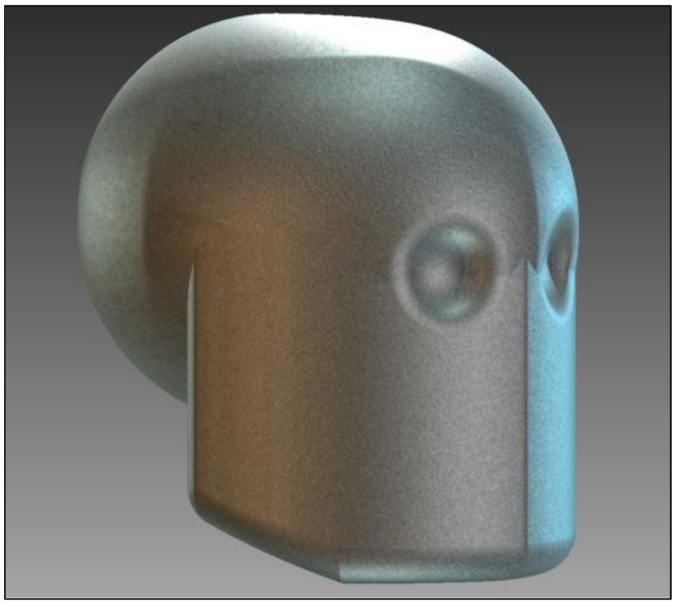


Obrázek č. 45. -Lidská lebka - spodní pohled [31]

MODEL LEBKY

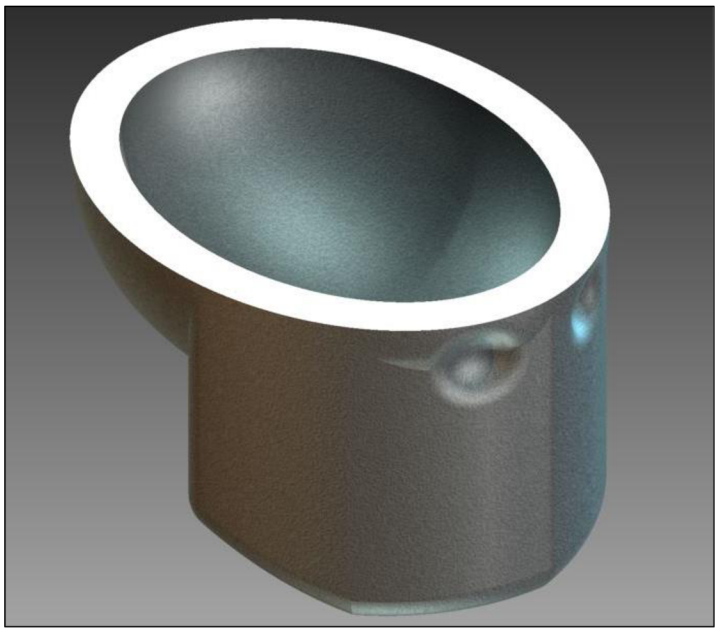
Lebka byla vymodelována v návaznosti na zjištěných rozměrech. Vzhledem k tomu, že lebka v podstatě není závislá na výšce člověka, byla lebka vyrobena v jedné velikosti. Byly použity střední hodnoty rozměrů mužské lebky, je vyrobena ze slitiny hliníku 6061. Jedná se o slitinu hliníku, chromu, hořčíku, křemíku a mědi. Tato slitina je lehká stejně jako obyčejný hliník, navíc však vyniká pevností, dostatečnou tvrdostí, dobrou obrobitelností a výbornou svařitelností.

Na obrázku č. 46 je vyobrazena lebka navržené figuríny.



Obrázek č. 46. -3D Model lebky [35]

Uvnitř lebky byl také řešen prostor pro akcelerometr, který lze umístit do dutiny lebky. Při modelování byla nejdříve vytvořena část mozkovny a poté obličejová část. Celý model byl řešen jako odlitek složený ze dvou polovin, které lze spojit pomocí šroubového spoje. Pro úsporu materiálu byla v mozkovně vymodelována dutina. Podle výpočtů programu Autodesk Inventor Professional 2015 by měla lebka vážit *2,7 kg*, což v porovnání s v současné době vyráběnými figurínami je méně, ale je možné dosáhnout požadované hmotnosti přidáním závaží do dutiny v lebce. Figuríny dostupné na trhu mají hmotnost hlavy kolem *4,5 kg*, bylo by tedy nutné přidání necelých dvou kilogramů.



Obrázek č. 47. -Dutina v lebce [35]

4 ODHAD VÝROBNÍCH NÁKLADŮ NAVRŽENÉ FIGURÍNY

Odhad výrobních nákladů byl proveden pro figurínu, která je vysoká *165 cm*, což vzhledem k nutnosti instalace protetických náhrad chodidel, odpovídá celkové velikosti postavy *170 cm.*

V Tab. č. 14. je podrobný přehled odhadnutých nákladů na duralové části, který byl vytvořen na základě poptávky. Poptávka byla vytvořena v návaznosti na výkresové dokumentaci, jejíž ukázka je v příloze B.

Tab. č. 14 Odhad výrobních nákladů duralových částí [35]

Duralové části	**Cena/ks [Kč]**	**Počet [ks]**	**Cena celkem pro daný výrobek [Kč]**
Čep koleno	*500*	*2*	*1 000*
Čep loket	*500*	*2*	*1 000*
Hlava dolní díl	*1 500*	*1*	*1 500*
Hlava horní díl	*3 500*	*1*	*3 500*
Hlava spoj	*300*	*2*	*600*
Koleno 1	*1 000*	*2*	*2 000*
Koleno 2	*1 000*	*2*	*2 000*
Kotník	*750*	*2*	*1 500*
Kyčel 1	*500*	*2*	*1 000*
Kyčel 2	*500*	*4*	*2 000*
Kyčel příruba	*300*	*8*	*2 400*
Kyčle plech	*1 000*	*1*	*1 000*
Loket 1	*1 000*	*2*	*2 000*
Loket 2	*1 000*	*2*	*2 000*
Obratel bez žeber	*500*	*14*	*7 000*
Obratel bez žeber dolní	*500*	*1*	*500*
Obratel bez žeber horní	*500*	*1*	*500*
Obratel se žebry	*500*	*9*	*4 500*
Ramena	*1 000*	*1*	*1 000*
Rameno 1	*500*	*2*	*1 000*
Rameno 2	*500*	*4*	*2 000*
Rameno příruba	*300*	*8*	*2 400*
Zápěstí	*750*	*2*	*1 500*
Cena duralových částí k výrobě „kostry“ jedné figuríny			***43 900***

Při odhadu výrobních nákladů dlouhých kostí bylo vycházeno z ceníků dostupných na trhu. Olšové dřevo je k dostání v podobě fošen o šířce *30 mm* až *60 mm*. Nejsilnější kostí parametrické figurín je kost stehenní o průměru *36,7 mm*. Vzhledem k tomu, že je potřeba poměrně přesný průměr kulatin pro výrobu dlouhých kostí, je nejlepší variantou použít obrobení na CNC. Cena dlouhých kostí byla odhadnuta na *100 Kč/kus*, kdy na výrobu „kostry" jedné figuríny je potřeba 12 dlouhých kostí.

Při odhadu cenových nákladů žeber je velice důležité, zda by šlo využit již hotový ohyb, nebo zda by bylo nutné daný ohyb vyvinout, toto je ovšem velice složitá operace, která by byla náročná nejel časově, ale i finančně. Bylo vycházeno z předpokladu použití již hotového ohybu. Cena výrobních nákladů byla odhadnuta na *300 Kč/kus*, přičemž na výrobu „kostry" jedné figuríny je nutno použít 9 párů žeber.

Pryžové části byly odhadnuty na *100 Kč/kus* v případě chrupavek, kterých je nutno na výrobu „kostry" využít 24 a *300 Kč/kus* v případě hrudní kosti, která je pouze jedna.

Přehled celkových nákladů na výrobu navržené parametrické testovací figuríny je v Tab. č. 15.

Tab. č. 15 Odhad celkových výrobních nákladů „kostry" testovací figuríny [35]

	Celková cena [Kč]
Duralové části	*43 900*
Dlouhé kosti	*1 200*
Žebra	*5 400*
Pryžové části	*2 700*
Spojovací materiál	*1 000*
Celkové náklady „kostry"	***54 200***

Odhad výrobních nákladů měkkých tkání, který byl proveden v diplomové práci Bc. Veroniky Pokorné, činí *80 261 Kč* v případě použití silikonového polymeru, a v případě použití agaru *53 230 Kč*.

Odhad celkových nákladů na výrobu námi navržené testovací figuríny činí celkem *134 461 Kč* v případě použití silikonového polymeru a *107 430 Kč* v případě použití agaru.

ZÁVĚR

Rešerší modelů testovacích figurín používaných jak historicky, tak v současné době byly identifikovány základní typy testovacích figurín, které jsou zpravidla používány ve výrobním procesu a jejich základní technická řešení. V rámci rešerše byla samozřejmě zkoumána i vhodnost a použitelnost toho kterého modelu pro účely nárazových zkoušek, kdy bylo shledáno že pouze minimum výrobců vyrábí model figuríny, který by bylo možno reálně využít pro simulování srážky chodce vozidlem.

Pro konstrukci figuríny byl vytvořen parametrický 3D model zjednodušené a přizpůsobené lidské kostry, kde jsou žebra a dlouhé kosti zamýšleny z olšového dřeva, které se svými charakteristikami, jako je například štěpnost, nejvíce podobá vlastnostem lidské kosti. Na lebku a klouby byl po dlouhém zvažování vybrán dural, jelikož původně zamýšlená nerezová ocel by byla pro správné hmotnostní rozložení lidského těla příliš těžká. Funkci meziobratlových plotének zastávají pryžové segmenty, kdy jsou jednotlivé prvky páteře spojeny pomocí ocelového lana, které zajišťuje soudržnost ale i pohyblivost celého trupu. Na chodidla včetně kotníků budou použity jednodušší protetické výrobky. První z řady senzorů, kterými bude navržená figurína vybavena, bude umístěn v dutině lebky, která je jedinou neparametricky navrženou částí.

Navrhovaná figurína na rozdíl od jiných typů, které jsou k dostání na trhu, umožňuje názorněji zachytit interakci mezi vozidlem a částmi lidského těla. Jelikož použité konstrukční řešení se v maximální míře snaží navodit biomechanické charakteristiky lidského těla, lze po proběhnutí nehodového děje na figuríně pozorovat vzniklá poškození dřevěných částí, které jsou konstruovány, aby se vlastnostmi co nejvíce blížily lidským kostem, proto v případě zlomení dřevěné náhrady lze s vysokou mírou pravděpodobnosti konstatovat, že by k obdobnému poškození došlo i u lidského těla.

Pokud se jedná o eliminaci dvou hlavních problému zmíněných v úvodu a tedy vysoké ceny a neodpovídající odolnosti oproti lidskému tělu, navrhovaný model figuríny by měl z velké části oba problémy řešit, kdy použité materiály jsou levné a snadno nahraditelné přičemž v případě duralových částí se počítá s jejich opakovaným použitím a zároveň použité materiály přibližují odolnost figuríny lidskému tělu.

Celkové náklady na výrobu testovací figuríny byly vyčísleny na *134 461 Kč* v případě použití silikonového polymeru a *107 430 Kč* v případě použití agaru. Vzhledem

k tomu, že figuríny dostupné na trhu je možné v základu pořídit od 5-ti milionů korun, lze konstatovat, že námi navržená figurína je schopna násobně ušetřit velké množství prostředků.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] History of Crash Test Dummies. *Humaneticsatd* [online]. 2015 [cit. 2016-08-15]. Dostupné z: http://www.humaneticsatd.com/about-us/dummy-history

[2] TÖZEREN, Aydin. *Human Body Dynamics: Classical Mechanics and Human Movement*. 1. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2000. 316 s. ISBN ISBN 0-387-98801-7.s. 15.

[3] Larry Patrick, pioneer auto safety researcher: 1920 - 2006. *Wayne* [online]. Detroit: Wayne State University, 2011 [cit. 2016-09-29]. Dostupné z: http://www.eng.wayne.edu/page.php?id=4568

[4] Pasivní bezpečnost. *Rozhlas* [online]. Praha: Český rozhlas, 2005 [cit. 2016-10-02]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/vedaarchiv/portal/_zprava/192738

[5] Euro-NCAP – boční náraz do sloupu. *Autolexicon* [online]. Ing. Jan Sajdl, Ph.D., 2016 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/euro-ncap-bocni-naraz-do-sloupu

[6] Euro-NCAP – částečný čelní náraz. *Autolexicon* [online]. Ing. Jan Sajdl, Ph.D., 2016 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/euro-ncap-castecny-celni-naraz/

[7] Euro-NCAP – plný čelní náraz do nedeformovatelné bariéry. *Autolexicon* [online]. Ing. Jan Sajdl, Ph.D., 2016 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/euro-ncap-plny-celni-naraz-do-nedeformovatelne-bariery/

[8] Euro-NCAP – boční náraz. *Autolexicon* [online]. Ing. Jan Sajdl, Ph.D., 2016 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/euro-ncap-bocni-naraz/

[9] Euro-NCAP. *Autolexicon* [online]. 2016 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/euro-ncap/

[10] *Autolexicon – Euro-NCAP* [online]. autolexicon.net, 2016 [cit. 2016-10-09]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/?s=NCAP

[11] Crash testy Škody Superb. *Superb* [online]. 2005 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: http://superb.wz.cz/testy/crash.htm?kategoria=getzfl

[12] Hybrid III 50th Male Dummy. *Humanetics* [online]. USA [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hybrid-iii-50th

[13] ES-2 Side Impact Dummy. *Humanetics* [online]. USA [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/side-impact/es-2

[14] Hybrid III 50th Pedestrian. *Humanetics* [online]. USA [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/pedestrian/hybrid-iii-50th

[15] *Soudní lékařství.* Vyd. 1. Editor František VOREL. Praha: Grada, 1999, 600 s. ISBN 80-7169-728-1. s. 103.

[16] FAT EuroSID-2 Side Impact Dummy. *Oasys-software* [online]. MJC, 2011 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: http://www.oasys-software.com/dyna/en/fe-models/fat_dummies/eu-sid-2.html

[17] Meet the crash test dummies who risk a limb so you don't have to. *Automotive World* [online]. Velká Británie: automotiveworld, 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: http://www.automotiveworld.com/analysis/meet-crash-test-dummies-risk-limb-dont/

[18] Mechanické vlastnosti kostní tkáně. *BIOMECH* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z:http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/vlastnosti_tkane_kostni.php

[19] KUČEROVÁ, Jana. *Morfometrie skeletu na živém člověku: Odhad výšky postavy*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Masarykova universita. Vedoucí práce Doc. RNDr. Miroslav Králík, Ph.D. s. 16-17.

[20] Kosti. *Fakulta biomechanického inženýrství ČVUT v Praze* [online]. Praha, 2005 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: www.fbmi.cvut.cz/e/kosti/160.doc

[21] How Crash Tests Help Bring Traffic Deaths Down: Sierra Sam. *NPR* [online]. USA, 2009 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z:

https://media.npr.org/assets/img/2009/11/23/sam4_slide-616ecbf1735bf146e32c6c606deaaa6b37c545b8-s800.jpg

[22] Vlastnosti dřeva. *Mezi stromy* [online]. Nadace dřevo pro život, 2007 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: http://www.mezistromy.cz/cz/vyuziti-dreva/vlastnosti-dreva

[23] VOKÁČ, Miroslav. *Vnitřní síly na staticky určitých konstrukcích a jejich soustav* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: 15122.fa.cvut.cz/?download=_/predmet.s1/st1_4.pdf. Přednáška. ČVUT.

[24] Volvo V40 T4/D2 – Jeden za dva. *Automobil revue* [online]. Praha: Automotorevue, 2013 [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/testy/volvo-v40-t4-d2-jeden-za-dva_42286.html

[25] ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. *Anatomie.* 2., uprav. a dopl vydání. Praha : Grada Publishing, 2001. 497 s. sv. 1. ISBN 80-7169-970-5.

[26] MANEK, F. Mechanická studie interakce páteřního segmentu s poddajným fixátorem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 135 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Zdeněk Florian, CSc. s. 33-38.

[27] KUCZMANOVÁ, Mgr. Dana. Zakřivení páteře. In: *Slideplayer* [online]. Zlín: Stední průmyslová škola Zlín, 2012 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: http://images.slideplayer.cz/17/5586043/slides/slide_7.jpg

[28] ČIHÁK, Radomír, Miloš GRIM a Oldřich FEJFAR. *Anatomie I.* Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha 7: Grada Publishing, 2011. 552 s. ISBN 978-80-247-3817-8. s.129.

[29] MANEK, F. Mechanická studie interakce páteřního segmentu s poddajným fixátorem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 135 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Zdeněk Florian, CSc. s. 34.

[30] Antropometrie. *NIS Nábytkářský informační systém* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: http://www.n-i-s.cz/cz/antropometrie/page/34/

[31] NAŇKA, Ondřej. Tvar lebky a měření lebek. In: *Anatomický ústav 1. LF UK* [online]. Praha: Anatomický ústav 1.LF UK, 2003 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: anat.lf1.cuni.cz/muzeum/prez/p01.ppt

[32] Metody antropologického výzkumu. *Katedra biologie* [online]. Ústí nad Labem: Katedra biologie PřF UJEP, 2010 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: http://old.biology.ujep.cz/vyuka/file.php/1/opory_ukazky/Metody%20antropologick%C3%A9ho%20v%C3%BDzkumu.pdf

[33] BioRID (50th Male) Rear Impact. *Humanetics* [online]. USA [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/rear-impact/biorid-i

[34] Karbonové chodidlo pro střední aktivitu. *Moje protéza* [online]. Zruč-Senec, 2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://mojeproteza.cz/wp-content/uploads/2015/06/32252_D2_74037-4c.jpg

[35] Archiv autora

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC		Computer numeric control
D,d	[mm]	průměr kosti
Euro-NCAP		European New Car Assessment Programme
F	[N]	maximální ohybová síla
k	[-]	součinitel bezpečnosti
L	[mm]	délka kostí
M_o	[Nm]	maximální ohybový moment
RID		rear impact dummy
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
SID		side impact dummy
Π	[-]	Ludolfovo číslo

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1. - Lawrence M. Patrick [3] 10
Obrázek č. 2. - Logo ochrany dospělých cestujících [9] 12
Obrázek č. 3. - Částečný čelní náraz [6] 13
Obrázek č. 4. - Boční náraz [8] 14
Obrázek č. 5. - Boční náraz do sloupu [5] 14
Obrázek č. 6. - Logo ochrany dětí [9] 15
Obrázek č. 7. - Logo ochrany chodců [9] 15
Obrázek č. 8. - Střet s chodcem [11] 16
Obrázek č. 9. - Logo asistenčních systémů [9] 16
Obrázek č. 10. - Figurína Sierra Sam [21] 18
Obrázek č. 11. - Rodina testovacích figurín Hybrid II [17] 18
Obrázek č. 12. - Figurína Hybrid III [12] 19
Obrázek č. 13. - Figurína EuroSID-2 [13] 22
Obrázek č. 14. - Konstrukční řešení hrudního koše figuríny EuroSID-2 [16] 23
Obrázek č. 15. - Aktivovaný airbag pro chodce [24] 25
Obrázek č. 16. - Figurína Hybrid III chodec [14] 26
Obrázek č. 17. - Figurína BioRID II [33] 28
Obrázek č. 18. - Kostra navržené testovací figuríny [35] 30
Obrázek č. 19. - Příklad parametrického modelování v Autodesk Inventor Professional 2015 [35] 31
Obrázek č. 20. - Průběh ohybového momentu [23] 38
Obrázek č. 21. - Průběh součinitele bezpečnosti pažní kosti [35] 40
Obrázek č. 22. - Parametrický 3D model horní končetiny [35] 41
Obrázek č. 23. - Detail navrženého loketního kloubu [35] 42
Obrázek č. 24. - Parametrický 3D model dolní končetiny [35] 43
Obrázek č. 25. - Detail kolenního kloubu [35] 44
Obrázek č. 26. - Chodidlo s kosmetickým krytem [34] 44
Obrázek č. 27. - Pohyby trupu [29] 46
Obrázek č. 28. - Obvod hrudníku [30] 48
Obrázek č. 29. - Předozadní průměr hrudníku [30] 48
Obrázek č. 30. - Transverzální průměr hrudníku [30] 48
Obrázek č. 31. - Biacromiální šířka ramen [30] 49

Obrázek č. 32. - Bideltoidní šířka ramen [30] 49
Obrázek č. 33. - Bikristální šířka pánve [30] 49
Obrázek č. 34. - Výška horního okraje hrudní kosti [30] 51
Obrázek č. 35. - Výška hmatatelného výběžku kyčelní kosti [30] 51
Obrázek č. 36. - Detail páteře [35] 52
Obrázek č. 37. - Hrudní koš s páteří [35] 53
Obrázek č. 38. - Pojištění uchycení žeber v obratlích [35] 54
Obrázek č. 39. - Pevnostní analýza trupu [35] 54
Obrázek č. 40. - Ramena [35] 55
Obrázek č. 41. - Pánev [35] 55
Obrázek č. 42. - Lidská lebka - boční pohled [31] 56
Obrázek č. 43. - Lidská lebka - horní pohled [31] 56
Obrázek č. 44. - Lidská lebka - přední pohled [31] 57
Obrázek č. 45. - Lidská lebka - spodní pohled [31] 57
Obrázek č. 46. - 3D Model lebky [35] 58
Obrázek č. 47. - Dutina v lebce [35] 58

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Rozložení hmotnosti figuríny Hybrid III [12] 21

Tab. č. 2 Rozložení hmotnosti figuríny EuroSID-2 [13] 24

Tab. č. 3 Rozložení hmotnosti figuríny Hybrid III chodec [14] 27

Tab. č. 4 Rozložení hmotnosti figuríny BioRID II [33] 29

Tab. č. 5 Procentuální rozložení hmotnosti lidského těla [2] 32

Tab. č. 6 Mechanické vlastnosti kostí [20] 33

Tab. č. 7 Orientační střední hodnoty pevnosti čerstvých lidských kostí [15] 34

Tab. č. 8 Vypočet výšky postavy z délek dlouhých kosti končetin u mužů [19] 35

Tab. č. 9 Vpočet poměrů délek dlouhých kostí na výšce postavy [35] 36

Tab. č. 10 Pohyblivost sektorů páteře [28] 47

Tab. č. 11 Rozměry hrudního koše [28] 47

Tab. č. 12 Rozměry trupu [30] 50

Tab. č. 13 Střední hodnoty rozměrů lebky [32] 56

Tab. č. 14 Odhad výrobních nákladů duralových částí [35] 59

Tab. č. 15 Odhad celkových výrobních nákladů „kostry“ testovací figuríny [35] 60

SEZNAM PŘÍLOH

A. Výpočet průměrů náhradních kostí pro různé typy materiálů [35] 72
B. Ukázka z výkresové dokumentace [35] 74
C. Vizualizace [35] 76

A. VÝPOČET PRŮMĚRŮ NÁHRADNÍCH KOSTÍ PRO RŮZNÉ TYPY MATERIÁLŮ [35]

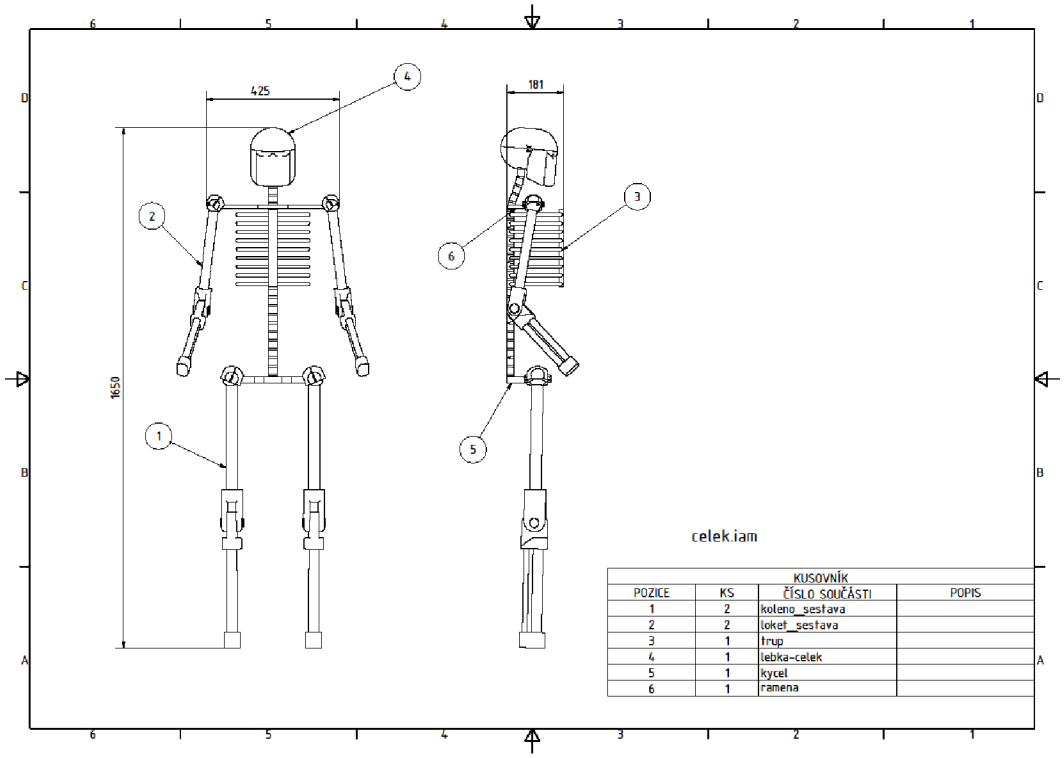
	Pevnost v tahu [MPa]	Max. síla na ohyb [kN]	Délka kostí v závislosti na výšce [m]	Maximální moment [Nm]	Průměr kostí [m]	jedle [m]	smrk [m]
Stehenní kost	*124*	*3,9*	*0,4575*	*446,0265*	*0,0332*	*0,0388*	*0,0378*
Holenní kost	*143*	*3,4*	*0,3741*	*317,9975*	*0,0283*	*0,0346*	*0,0338*
Lýtková kost	*149*	*0,4*	*0,3699*	*36,9869*	*0,0136*	*0,0169*	*0,0165*
Pažní kost	*125*	*2,7*	*0,3348*	*226,0048*	*0,0264*	*0,0309*	*0,0302*
Vřetenní kost	*152*	*1,2*	*0,2642*	*79,2625*	*0,0175*	*0,0218*	*0,0213*
Loketní kost	*151*	*1,2*	*0,2464*	*73,9187*	*0,0171*	*0,0213*	*0,0208*

	borovice [m]	modřín [m]	topol [m]	osika [m]	vrba [m]	lípa [m]	olše [m]
Stehenní kost	*0,0355*	*0,0351*	*0,0378*	*0,0357*	*0,0380*	*0,0380*	*0,0367*
Holenní kost	*0,0317*	*0,0314*	*0,0338*	*0,0319*	*0,0339*	*0,0339*	*0,0328*
Lýtková kost	*0,0155*	*0,0153*	*0,0165*	*0,0156*	*0,0166*	*0,0166*	*0,0160*
Pažní kost	*0,0283*	*0,0280*	*0,0302*	*0,0285*	*0,0303*	*0,0303*	*0,0293*
Vřetenní kost	*0,0199*	*0,0197*	*0,0213*	*0,0201*	*0,0214*	*0,0214*	*0,0206*
Loketní kost	*0,0195*	*0,0193*	*0,0208*	*0,0196*	*0,0209*	*0,0209*	*0,0202*

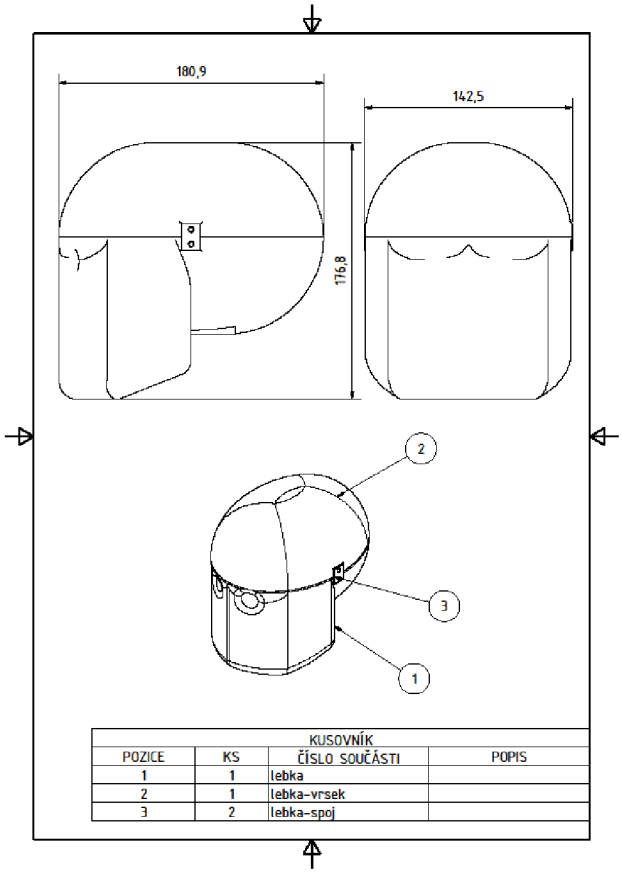
	kaštanovník [m]	javor [m]	jilm [m]	ořešák [m]	jasan [m]	jdub [m]	buk [m]
Stehenní kost	*0,0335*	*0,0357*	*0,0378*	*0,0359*	*0,0318*	*0,0348*	*0,0327*
Holenní kost	*0,0299*	*0,0319*	*0,0338*	*0,0321*	*0,0284*	*0,0311*	*0,0292*
Lýtková kost	*0,0146*	*0,0156*	*0,0165*	*0,0157*	*0,0138*	*0,0152*	*0,0143*
Pažní kost	*0,0267*	*0,0285*	*0,0302*	*0,0286*	*0,0253*	*0,0277*	*0,0261*
Vřetenní kost	*0,0188*	*0,0201*	*0,0213*	*0,0202*	*0,0179*	*0,0196*	*0,0184*
Loketní kost	*0,0184*	*0,0196*	*0,0208*	*0,0197*	*0,0174*	*0,0191*	*0,0180*

	bříza [m]	akát [m]	habr [m]
Stehenní kost	*0,0324*	*0,0325*	*0,0310*
Holenní kost	*0,0289*	*0,0290*	*0,0277*
Lýtková kost	*0,0141*	*0,0142*	*0,0135*
Pažní kost	*0,0258*	*0,0259*	*0,0247*
Vřetenní kost	*0,0182*	*0,0182*	*0,0174*
Loketní kost	*0,0178*	*0,0178*	*0,0170*

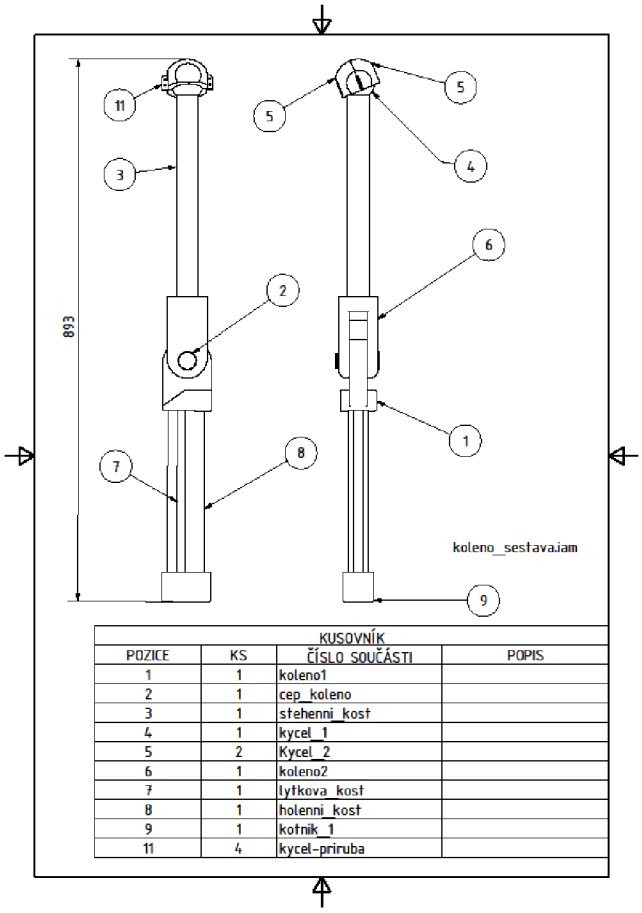
B. UKÁZKA Z VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE [35]



KUSOVNÍK			
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	2	koleno_sestava	
2	2	loket_sestava	
3	1	trup	
4	1	lebka-celek	
5	1	kycel	
6	1	ramena	

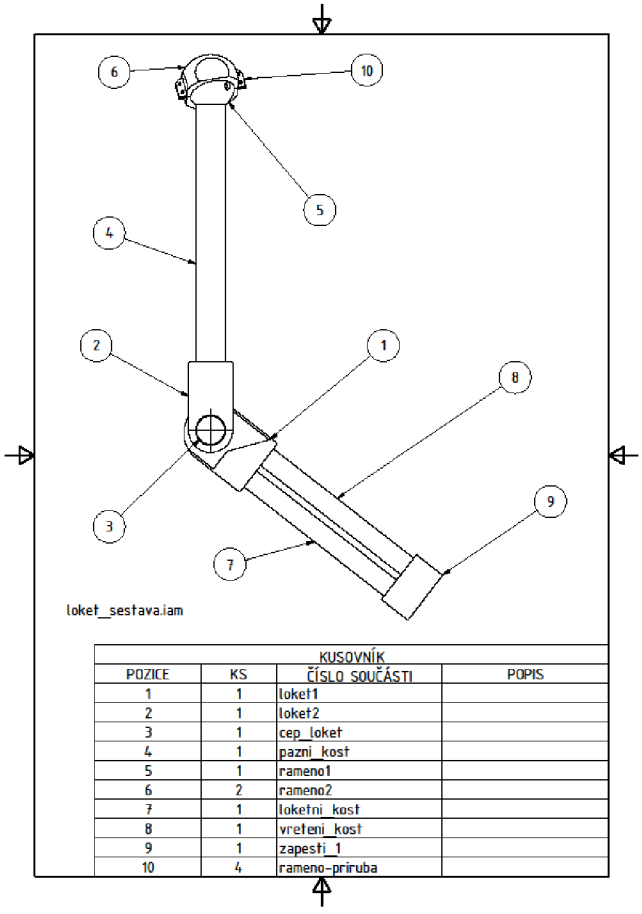


KUSOVNÍK			
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	lebka	
2	1	lebka-vrsek	
3	2	lebka-spoj	



KUSOVNÍK

POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	koleno1	
2	1	cep_koleno	
3	1	stehenni_kost	
4	1	kycel_1	
5	2	Kycel_2	
6	1	koleno2	
7	1	lytkova_kost	
8	1	holenni_kost	
9	1	kotnik_1	
11	4	kycel-priruba	



KUSOVNÍK

POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	loket1	
2	1	loket2	
3	1	cep_loket	
4	1	pazni_kost	
5	1	rameno1	
6	2	rameno2	
7	1	loketni_kost	
8	1	vreteni_kost	
9	1	zapesti_1	
10	4	rameno-priruba	

C. VIZUALIZACE [35]