

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## 3D CAD MODEL FIGURÍNY ČLOVĚKA

3D CAD MODEL OF HUMAN BODY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MIROSLAV KUBO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID SVÍDA

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Miroslav Kubo

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

### **3D CAD model figuríny člověka**

v anglickém jazyce:

### **3D CAD Model of Human Body**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořte 3D CAD model figuríny člověka použitelnou při návrhu pracoviště řidiče v závodním automobilu. Základem musí být volně modifikovatelný model.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Proved'te dostupnou řešení k požadavkům a rozměrům 3D CAD modelu figuríny člověka, která bude pokrývat nejširší vzorek populace
- 2) Proved'te parametrický návrh rozměrů figuríny
- 3) Vytvořte 3D CAD model figuríny
- 4) Zhodno'te navržený model a vyslovte se o jeho vhodnosti při návrhu pracoviště řidiče v automobilu

Seznam odborné literatury:

- [1] Vlk, F: Stavba motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno 2006  
[2] Pro/ENGINEER Resource Center [online], 2008, poslední revize 20.11.2008. Dostupné z:  
<[http://www.ptc.com/community/resource\\_center/proengineer/index.htm](http://www.ptc.com/community/resource_center/proengineer/index.htm)>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. David Svída

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 3.11.2008

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací 3D CAD modelu figuríny člověka. Jsou zde popsány statistiky populace, tvorba tvaru a kinematiky modelu, a postup pro jeho nastavování do chtěných poloh.

## **Klíčová slova**

Model, kloub, vazba, souřadný systém.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the proposal and realisation of 3D CAD model of human body. There are described statistics of population, proposal of shape and kinematics of model, and manual of its grafting to wanted position.

## **Key words**

Model, joint, bond, coordinate system.

## **Bibliografická citace**

KUBO, M. 3D CAD model figuríny člověka. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Svída.



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

25. května 2009

.....  
Miroslav Kubo





## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Davidu Svídovi, a mému bratranci Ing. Petrovi Lenártovi za cenné rady a připomínky.



## Obsah

1	Úvod .....	13
2	Návrh figuríny .....	14
2.1	Rozbor .....	14
2.2	Určenie tvaru .....	15
3	Tvorba modelov .....	17
3.1	Tvorba panvy .....	18
3.2	Tvorba hrudníka .....	18
3.3	Tvorba hlavy .....	19
3.4	Tvorba ramena .....	19
3.5	Tvorba lakťa .....	20
3.6	Tvorba dlane .....	20
3.7	Tvorba stehna .....	21
3.8	Tvorba holene .....	21
3.9	Tvorba chodidla .....	22
4	Tvorba kinematických väzieb .....	23
5	Nastavenie polohy .....	26
6	Záver .....	31
7	Použitá literatúra .....	32

## Zoznam obrázkov

Obr. 2.1 Rozdelenie kĺbov modelu.....	16
Obr. 3.1 Panva.....	18
Obr. 3.2 Hrudník .....	18
Obr. 3.3 Hlava.....	19
Obr. 3.4 Rameno .....	19
Obr. 3.5 Lakeť.....	20
Obr. 3.6 Dlaň.....	20
Obr. 3.7 Stehno.....	21
Obr. 3.8 Holeň.....	21
Obr. 3.9 Chodidlo.....	22
Obr. 5.1 Figurína v sede za volantom .....	29
Obr. 5.2 Figurína v sede na motorke.....	29
Obr. 5.3 Figurína v sede za počítačom.....	30
Obr. 5.4 Figurína v chôdzi .....	30

# 1 Úvod

V dnešnej dobe počítačových technológií sa výrobky testujú na stále väčšie množstvo rôznych parametrov ešte pred započatím výroby. Či už ide o pevnostné alebo únavové charakteristiky, skúšky kinematiky a dynamiky, alebo aerodynamické a hydrodynamické testy, ich výpočty sú s dnešnými už bežnými počítačmi stále jednoduchšie a teda aj presnejšie. Vďaka týmto možnostiam pochopiteľne rastie aj počet charakteristík, ktoré sa dajú za minimálnych nákladov simulovať a testovať. Jednou z nich je napríklad veľkosť pracovného priestoru pre užívateľa.

Určovanie rozmerov pracoviska má veľa významov v závislosti na mnohých požiadavkoch. Základným požiadavkom býva vždy bezpečnosť človeka, na ktorú sa musí brať ohľad prakticky pri každej výrobe. Ďalším môže byť pohodlie, ktoré je dôležité napríklad z marketingového hľadiska u dopravných prostriedkov. Od pracovného priestoru sa taktiež očakáva, že bude čo možno najmenší. V minulosti sa pri ich návrhoch musel konštruktér spoliehať na svoju predstavivosť, prípadne dvojrozmernú kresbu. Z dôvodu väčšej presnosti sa v dnešnej dobe pri navrhovaní dizajnu a vytváraní modelu používa model človeka, čo môže prispieť okrem spomínaných napríklad aj väčšej efektívnosti výrobku.

## 2 Návrh figuríny

### 2.1 Rozbor

Pri návrhu rozmerov ľudskej postavy treba zhodnotiť rôzne parametre. Medzi hlavné patrí výška a hmotnosť.

Zmerať výšku človeka je jednoduché, jej hodnoty sa však menia napríklad aj behom dňa. Večer sme o 1 až 2 cm nižší než ráno, v čerstvej dospelosti sme vyšší než v starobe. Obdobne to platí aj v nasledujúcich generáciach. Napríklad ešte v 19. storočí presahovali výšku 185 cm iba 3 % jedincov. Predstavy o telesnej výške bývajú často skreslované, veľmi vysokí ľudia majú snahu výšku svojej postavy znižovať, veľmi nízki si naopak "pridávajú". Svoju výšku často nadhodnocujú hlavne muži. Výška postavy sa nelíši len medzi jednotlivcami, ale taktiež medzi skupinami. Môžu za to rozdiely v rase, alebo vplyvy oblasti, kde jednotlivé skupiny žijú. Na Zemi žije rada populácií vzrastu nadpriemerne vysokého, ale aj takmer trpasličieho. Česká republika sa radí k málu zemí, kde sú rozsiahle antropologické výskumy dlhoročnou tradíciou. Štatistiky výšok (ale aj hmotností) obyvateľstva sa získavajú počas rastu, lebo ukazujú nie len priemery v dospelosti, ale aj ich časový vývoj. V rámci výskumov je vždy zmeraných 3 až 5 % detskej a dospievajúcej populácie od narodenia do 19 rokov, takže počet meraných detí sa pohybuje od 60 do 120 tisíc. Priemerná telesná výška dospelých mužov je 180,1 cm, žien 167,2 cm.

Základnými rozmermi, ktoré sa pravidelne sledujú, sú telesná výška a hmotnosť. (Ďalej sa sleduje obvod hlavy, paže, brucha a bokov, v minulosti aj obvod hrudníku a dĺžka chodidla.) Hmotnosť, narozdiel od výšky, je vo väčšine prípadov závislá na jednotlivcovi a preto tento parameter nemusí byť priamoúmerný vývoju jedinca. Mení sa dokonca aj po ukončení rastu a preto je jej sledovanie a štatistiky oveľa komplikovanejšie. Priemerná hmotnosť mužov vo veku 18 rokov sa s výnimkou extrémov pohybuje od 55 do 91 kg (percentil od 3 do 97) a zastupuje ju teda priemerná hodnota 70 kg. U žien (v 18 roku života) je priemer 59 kg a pri rovnakom percentile je rozmedzie hmotností 46 až 77 kg.

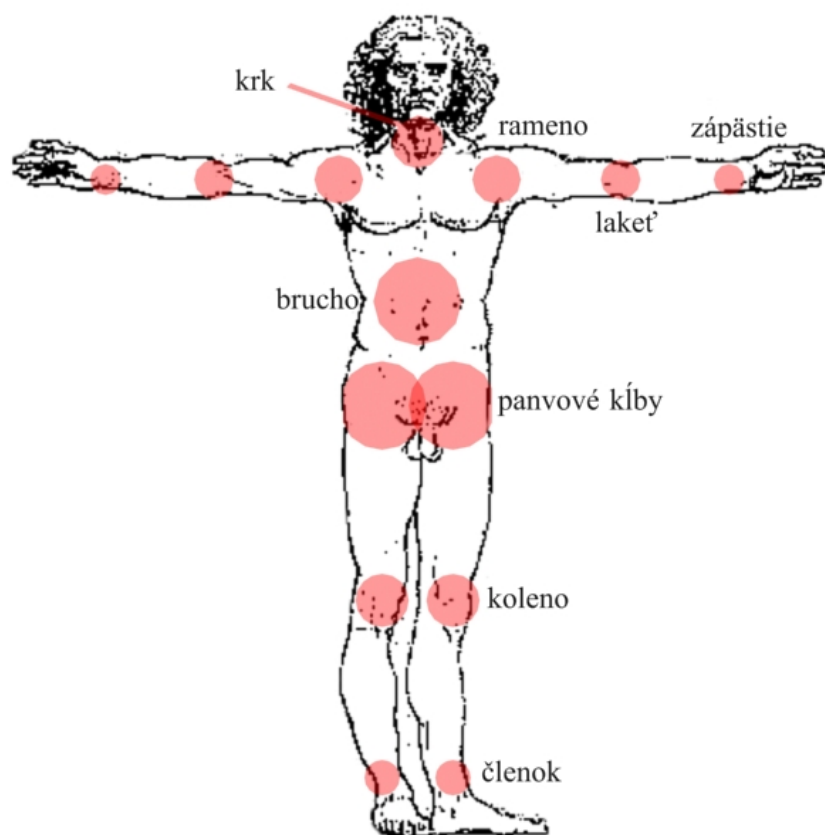
## 2.2 Určenie tvaru

Pri návrhu rozmerov tela bolo treba začať návrhom kostry a hlavne polohy kĺbov. Vo väčšine prípadov bývajú dĺžky jednotlivých kostí dané v závislosti na výške celého tela (napríklad rozpätie rúk sa vždy rovná výške človeka). Ich pomery bývajú približne rovnaké, bývajú však rôzne pri porovnaní kostier jednotlivých pohlaví. Pri rovnakej výške majú ženy napríklad dlhšie nohy a kratší trup než muži, preto bolo nutné jednoznačne určiť pohlavie modelovanej figuríny. Keďže muži zastupujú viac ako 50 % užívateľov strojných zariadení, bolo vybrané modelovanie mužskej postavy. V rámci veľkosti figuríny by bolo najvhodnejšie, keby mala nastaviteľnú výšku a hmotnosť (napríklad pri modelovaní kokpitov stíhačiek sa predpokladá, že pilot bude nižší než je celkový priemer). Zmena hmotnosti by však musela byť založená na zväčšovaní a zmenšovaní prierezov jednotlivých častí tela, čo by znamenalo zbytočne veľa nezávislých parametrov. Dĺžky súčastí sú zas závislé len na jednom parametri, ktorým je výška. Keďže sa kinematický model figuríny vytváral cez skelet, bolo by nastavovanie výšky možné, ale predĺženie každej končatiny by sa muselo zadávať zvlášť, čo by viedlo ku zbytočnému nárastu vstupných parametrov a zložitosti modelu. Z týchto dôvodov bola zvolená jedna konštantná výška 180 cm. Objem končatín a trupu, ktorý približne udáva hmotnosť by mal približne odpovedať priemernej mužskej hmotnosti, čo znamená priblížiť sa priemeru 70 kg. Operačný priestor vytvorený pre ťažšie osoby je vhodný aj pre ľudí s nižšou hmotnosťou, kvôli tomu bol pre istotu model konštruovaný s trochu väčšou pomyselnou hmotnosťou.

Okrem určenia výšky a hmotnosti bolo pred samotným modelovaním nutné navrhnuť možné zjednodušenie ľudského tela. Kostru tvorí vyše 200 kostí, ktoré umožňujú a zároveň vymädzujú možnosti pohybu. Pohyb samotný je možný vďaka svalstvu, ktoré pri ňom mení aj svoj tvar. Modelovanie všetkých týchto väzieb by ale bolo na požadovanú funkciu figuríny zbytočne komplikované a preto muselo byť telo rozdelené na časti, ktorých vzájomné väzby museli byť zjednodušené (stále však musia napodobňovať väčšinu možností pohybu skutočného človeka).

Model bol rozdelený na pätnásť častí (hlava, hrudník, panva, stehná, holene, chodidlá, ramená, lakte a zápästia), ktoré budú navzájom spojené štrnástimi guľovými väzbami (krk, brucho, panvové kĺby, kolená, členky, ramená, lakte a zápästia). Každá väzba bude mať svoje vlastné okrajové hodnoty, čím sa vytvorí približné napodobenie väzieb kostry. Modelovaniu

stláčania svalstva sa venujú programy iného charakteru, preto sa v niektorých miestach budú objekty prekrívať. To však nemení nič na funkčnosti modelu ako celku.



*Obr. 2.1 Rozdelenie kĺbov modelu*



### 3 Tvorba modelov

Pre tvorbu modelov jednotlivých častí bolo nutné začať určením približného tvaru celého tela. Pri vytváraní komplexnejších modelov v programoch určených na strojnú súčasti alebo stavbu budov (napr. **PTC Pro/Engineer** alebo **Autodesk Inventor**) sa vytvárajú najprv samotné súčasti, ktoré sa až potom skladajú do jednej sústavy. Keďže sa v tomto prípade hodilo začať vymodelovaním predbežného konceptu celého tela, bol najprv vytvorený návrh v programe **Blender**.

Blender je program určený na vytváranie trojrozmerných obrázkov a animácií do počítačových hier, prípadne filmov a iných médií vyžadujúcich grafickú dokonalosť. Modelovanie v programoch tohto typu je založené na tvorbe 3D siete všetkých plôch (polygónov) daného objektu. Narozdiel od Pro/Engineeru sa bežne používa ako pre modelovanie tak aj pre animovanie postáv a ľudí. Výhodou je aj to, že sa do pozadia dá vložiť obrázok vo formáte .jpg a modelovať podľa neho. Do blenderu bol teda vložený obrázok človeka. Ako základná poloha postáv určených na animovanie sa používa poloha, kde postava stojí a má spojené nohy a rozpäté ruky. Vo väčšine prípadov sú dlane natočené smerom dole. Kvôli jednoduchšiemu zadávaniu krajných hodnôt bolo však zvolené natočenie smerom dopredu. Celý model je rozdelený na 15 objektov, ktoré budú spojené kĺbmi s tvarom gule (pri dvoch susedných objektoch jeden obsahuje kĺb a druhý otvor potrebného rádiusu).

V modelovaní predbežnej figuríny v Blenderi bol kladený dôraz hlavne na polohy stredov kĺbov. V závislosti na nich totiž vznikli samotné dĺžky súčastí. Keďže bola modelovaná stojaca figurína, všetky kĺby sa nachádzajú v jednej rovine. Ďalej boli navrhnuté priemery všetkých kĺbov. Z estetického hľadiska bolo najvhodnejšie, aby boli čo možno najväčšie. Priemery boli teda zvolené tak, aby odpovedali šírke okolitých častí. Z jednotlivých objektov boli potom navrhnuté hlavne rozmery hlavy, chodidiel a dlaní, pretože rozmery ostatných sú približne určené polohami kĺbov. Pri vytváraní finálnych modelov sa potom kopírovali súradnice a hodnoty z Blenderu, čo zaručilo, že celá zostava bude vyzeráť podľa predpokladov. Objekty, ktoré sa nachádzajú na oboch stranách boli pochopiteľne modelované len raz (ľavé končatiny) a potom boli odzrkadlené (pravé končatiny). Jednotlivé modely potom vznikali v tomto poradí: panva, hrudník, hlava, rameno, lakeť, dľaň, stehno, holeň a chodidlo.

### 3.1 Tvorba panvy

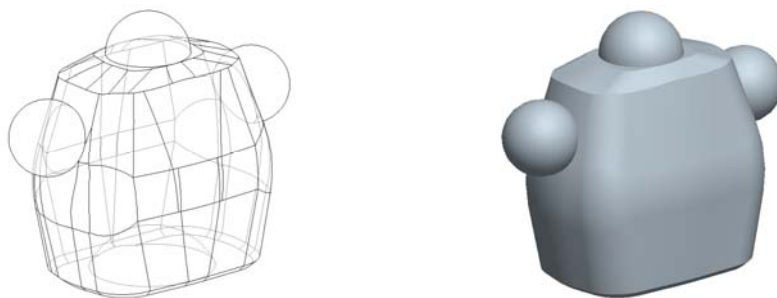
Panvou bol nazvaný objekt, ktorý spája tri kĺby (kĺby, ktorými začínajú dolné končatiny s kĺbom, ktorý nahradzuje brucho). Kĺby na ktorých budú naviazané stehná majú priemer 200 mm a ich stredy sú od seba vzdialené 160 mm. Hoci to je optimálna veľkosť, guľové kĺby zbytočne moc vyčnievali do strán, preto z nich bolo po stranách zrezaných 10 mm. Kĺb brucha má taktiež priemer 200 mm a nachádza sa 180 mm nad pomyselným stredom medzi stehnovými kĺbmi. Všetky tri kĺby sú spojené objektom podobným hranolu s lichoežníkovou podstavou so zaoblenými hranami.



Obr. 3.1 Panva

### 3.2 Tvorba hrudníka

Hrudník je objekt, ktorý spája najväčší počet kĺbov. Nahradzuje oblasť nachádzajúcu sa medzi dvomi ramennými kĺbmi, krkom a bruchom. Ramenné kĺby majú priemer 110 mm a ich stredy sú od seba vzdialené 356 mm. Kĺb nahradzujúci skoro celý krk má priemer 120 mm a je umiestnený 85 mm nad osou ramien. Brucho už bolo vytvorené a v hrudníku teda musí byť diera s rovnakým polomerom. Stred tohto rádiusu je 360 mm pod stredom krku. Ešte pred ním však musel byť vytvorený objekt, do ktorého by sa diera vytvorila. Táto časť bola vytvorená pomocou funkcie **Protrusion** spojením štyroch osemuholníkov, ktoré napodobňujú tvar hrudníka. Hrany boli zaoblené a skosené. Nakoniec sa doňho vyrezal už spomínaný rádius na vytvorenie diery pre kĺb brucha.



Obr. 3.2 Hrudník

### 3.3 Tvorba hlavy

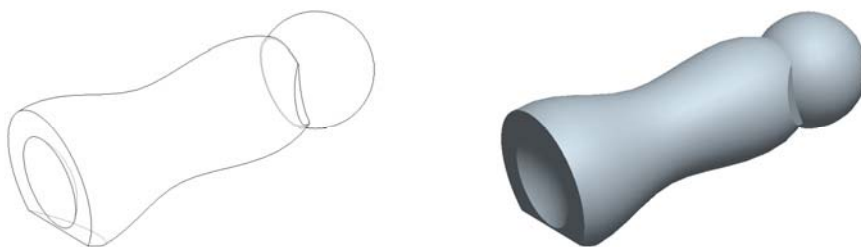
Tvar hlavy bol zjednodušený na dve rotačné časti. Prvá z nich tvorí samotnú hlavu a druhá časť krk. Hlava tvorí odvrchu pologuľa s priemerom 190 mm, ktorá je smerom dole predĺžená do zrezaného kužeľového tvaru s rádiusom 70 mm na konečnej hrane. Celková výška hlavy je 240 mm. Krk tvorí valec, ktorý je spodnou podstavou a vzadu približne dotýčný s hlavou a má priemer 180 mm. Doňho bol zospodu vyrezaný guľový výrez pre krčný kĺb, ktorého stred je približne 25 mm pod dolnou časťou hlavy. Na záver boli v strede hlavy vytvorené približné oči a nos.



*Obr. 3.3 Hlava*

### 3.4 Tvorba ramena

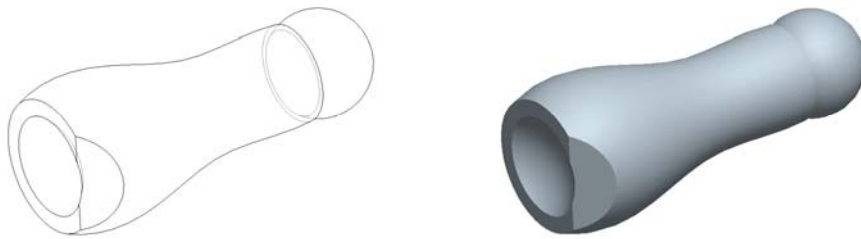
Ľudské končatiny majú síce veľmi komplikovanú stavbu, ale ich tvar, ktorý (na rozdiel napríklad od hlavy) vytvárajú hlavne svaly, sa dá nahradiť valcovitým rotačným telesom. Rameno bolo zostrojené funkciou protrusion. Kružnice, ktoré vytvárajú prierezy majú v smere od ramena rozmery 120, 110, 80, 90 a 75 mm. Vzďialenosti medzi nimi sú 45, 50, 60 a 60 mm. Kĺb ramena (diera  $\varnothing$  55 mm) je od prvej kružnice vzdialený 40 mm. Kĺb v lakti má priemer 90 mm a od poslednej kružnice je jeho stred posunutý o 27 mm. Ďalej boli pod uhlom  $45^\circ$  pridané zrazenia tam, kde sa pri natáčaní stláčajú svaly.



*Obr. 3.4 Rameno*

### 3.5 Tvorba lakt'a

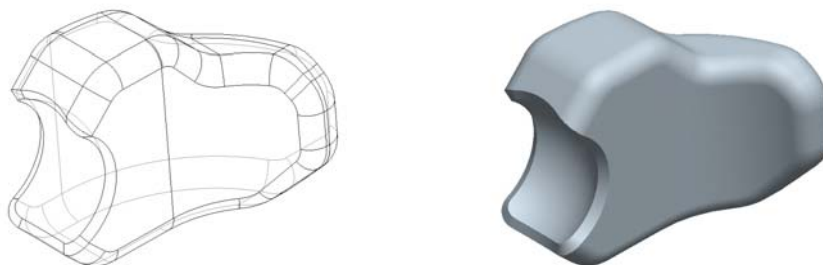
Lakt'om bola nazvaná časť medzi kĺbom lakt'a a zápästím. Vznikla obdobne ako rameno. Päť sústredných kružníc, ktoré boli následne spojené funkciou Protrusion majú priemery 90, 95, 65, 65 a 65 mm. Ich vzdialenosti sú 60, 60, 35 a 35 mm. Stred otvoru pre kĺb v lakti je od prvej kružnice vzdialený 30 mm. Kĺb zápästia má priemer 70 mm a od poslednej kružnice je posunutý o 20 mm. Ďalej bolo taktiež pridané skosenie pre stláčanie svalstva.



*Obr. 3.5 Lakteľ*

### 3.6 Tvorba dlane

Detailný model dlane by bol asi najzložitejšou časťou celej sústavy. Keďže však pre účely celého modelu nemajú funkcie dlane veľmi veľký význam, dá sa jej výzor značne zjednodušiť. Dá sa predpokladať že jediným účelom dlane by malo byť uchopovanie predmetov (volantu, držiadiel, ...). Jej model je preto prispôbený tvaru, ktorý pripomína hák. Modelovanie prstov by bolo zbytočné a preto je dlaň jeden celisvý objekt. Je vytvorená z objektu tvaru písmena L, ktorý bol pomocou skosení a rádiusov prerobený na finálnu podobu, do ktorého bol následne spravený otvor pre kĺb zápästia.



*Obr. 3.6 Dľaň*

### 3.7 Tvorba stehna

Oblasť stehna bola vytvorená podobne ako rameno a lakť, avšak prierezové kružnice neležia na jednej osi. Ich posunutia neplnia žiadnu funkciu, boli pridané hlavne z estetických dôvodov, aby dôkladnejšie napodobňovali tvar dolných končatín. Jednotlivé prierezy majú smerom dole priemery 160, 165, 130 a 110 mm. Ich vzdialenosti sú 125, 125 a 110 mm. Kolená má priemer 120 mm a jeho stred je umiestnený 45 mm pod najnižšou kružnicou stehna, a zároveň 440 mm pod stredom stehenného kĺbu.



*Obr. 3.7 Stehno*

### 3.8 Tvorba holene

Pri vytváraní holene s lýtkom stačilo pre funkciu Protrusion prierezové kružnice vychýliť len v jednom smere, aby boli kružnice približne dotyčné. Ich priemery: 100, 125, 100 a 70 mm. Vzdialenosti medzi nimi sú konštantné a to 109 mm. Medzi kĺbom nahradzujúcim členok ( $\varnothing$  80 mm) a kolenom je výškový rozdiel 400 mm. Objekt holene sa nachádza v strede medzi nimi.



*Obr. 3.8 Holeň*

### 3.9 Tvorba chodidla

Veľkosť ľudských chodidiel nutne nebýva závislá na výške človeka. Keďže vo väčšine simulovaných prípadov máva človek na nohe obuv, ktorá na rozdiel od oblečenia drží svoj vlastný tvar, boli zvolené približné rozmery obuvi veľkosti 48. Tvar napodobňuje topánky len veľmi hrubo a vznikol taktiež funkciou Protrusion a následným zaoblovaním. Na záver bol pridaný otvor pre členok ( $\text{Ø } 80 \text{ mm}$ ).



*Obr. 3.9 Chodidlo*

## 4 Tvorba kinematických väzieb

Modelovanie pomocou modelu človeka sa dnes využíva pri výrobe prakticky každého väčšieho stroja, na ktorý bude mať užívateľ priamy vplyv. Je neodmysliteľné napríklad pri modelovaní kokpitov, kde je nutné navrhnuť presné polohy jednotlivých ovládačov. Preto je nesmierne dôležité, aby model vrámci možností vykazoval ako tvarovú, tak aj kinematickú presnosť.

Kinametika postáv sa v počítačových programoch určených pre animáciu (**3DS Max**, **Blender**, **Maya**, **C4D**, ...) používa oveľa častejšie ako v **Pro/Engineeri**. Možnosti pohybu sú založené na tom, že postava (nap. človek) vo vnútri obsahuje "kosti" (Bones). Býva z nich poskladaná pomyselná kostra, ktorá sa potom animuje ich otáčaním v troch stupňoch voľnosti okolo svojich rodičovských kostí. Konce končatín ako body však kvôli chôdzi a uchopovaniu predmetov nie sú závislé na pohybe a rotácií tela. Používa sa na to ovládač s názvom **IK Chain**, ktorý spája napríklad zápästie s ramenom. Tento spôsob je najpraktickejším v animácií postáv, avšak pri tvorbe kinematického modelu v **Pro/Engineeri** by bol nerealizovateľný, lebo nie je vybavený práve týmito funkciami. Bol preto zvolený systém s jedným hlavným rodičovským objektom, pri pohybe ktorého by sa hýbali všetky ostatné objekty, akoby boli jeho súčasťou.

Výber súčasti, ktorá bude hlavným rodičovským objektom musí zohľadniť, že jeho nastavenie sa už po nastavení ostatných objektov nemôže meniť. Mal by sa preto zvoliť objekt, ktorý bude v kontakte s okolným prostredím. Pri chôdzi sú to chodidlá, v sede a ľahu je to hlavne panva. Keďže pri chôdzi sa dá poloha panvy predpokladať, kvôli jednoduchosti a účelnosti bola za hlavnú súčasť zvolená panva.

Väčšina kĺbov (z ktorých napríklad krk a brucho nahrádzujú veľké množstvo stavcov) sa dá približne napodobniť guľovým kĺbom, čo znamená že majú tri stupne voľnosti a môžu sa otáčať okolo všetkých troch osí. Pri animácií postáv sa predpokladá, že sa lakte a kolená otáčajú len okolo jednej osi. Štyri jednoosé "valcové" kĺby a desať guľových kĺbov znamenajú 34 parametrov, ktoré bude treba pri nastavovaní polohy nezávisle zadávať.

Vytváranie "kostry" pre model človeka bola v Pro/Engineeri prevádzaná cez skelet, z čoho vyplýva, že sa pre každú súčasť (resp. pre každý kĺb) vytvoril samostatný trojosý súradnicový systém. Tento spôsob je vhodný hlavne kvôli číselnému zadávaniu hodnôt, čím sa dá dosiahnuť väčšej presnosti. Hlavný súradnicový systém sa nachádza v panve. Na ňom sú závislé stehná a hrudník, atd. Z toho vyplýva že pri natočení napríklad hrudníka sa spolu s ním otočia aj ruky a hlava. Týmto spôsobom sa dala každá časť modelu natočiť (a zatiaľ aj posunúť) do ľubovoľnej polohy. Pri zrkadlení pravých končatín sa súradné systémy v ich kĺboch otočili o  $180^\circ$  okolo osi  $y$ , čo je dôsledkom toho, že súradné systémy pre väčšiu prehľadnosť musia ostať pravotočivé.

Pre zadanie okrajových hodnôt boli vybrané funkcie v záložke **Tools - Relations**. V prvom rade bolo nutné vytvoriť konštanty z premenných, ktoré sa nemajú pri ovládaní meniť. Pre každý lokálny súradný systém vzniklo šesť premenných (3 pre posuv, 3 pre rotáciu). Pri nastavovaní polohy potrebujeme meniť len natočenia, preto sa všetkým možným posuvom nadefinovala hodnota rovnajúca sa nule. Keby pre každý systém ostala jedna premenná pre posuv, dali by sa nastavovať aj vzdialenosti jednotlivých kĺbov, čo by udávalo celkovú výšku figuríny. Predĺženie každej súčasti by sa však muselo prepočítavať zvlášť, preto bol model obmedzený len na polohovanie modelu jedného človeka. Rovnako ako posuvy boli nadefinované aj konštantné natočenia pre osi v lakt'och a kolenách. Na kĺboch lakt'a potrebujeme len rotáciu okolo osi  $y$ , čo znamená že natočenie okolo osí  $x$  a  $z$  musí byť vždy rovné nule. V kolenách má zas byť nastaviteľná len rotácia okolo osi  $x$ , pre osi  $y$  a  $z$  sa tiež musí natočenie rovnať nule.

Po nastavení konštánt boli nadefinované krajné hodnoty pre všetky osi jednotlivých kĺbov. Hodnoty boli získané približným meraním. U rôznych ľudí sa rozpätie uhlov líši. Za predpokladu, že má figurína zastupovať čo možno najväčšiu sortu ľudí, mali by sa brať do úvahy minimálne získané hodnoty (merajú sa najväčšie uhly natočenia kĺbov jednotlivca). Natočenie kĺbov bude zadávané s tým, že poloha, v ktorej bola figurína zostavená má všetky hodnoty rovné nule. Je taktiež zrejmé, že samotný súradný systém sa nenatáča s objektom, ktorého natočenie udáva (to napríklad v ramene znamená, že os  $x$ , ktorá znamená krut, pri natočení o  $90^\circ$  smerom dole už na krut nebude mať vplyv, lebo os ostane vodorovná). Všetky krajné hodnoty sú vypísané v kapitole 5.



Udaním rozmädzia osových natočení model dostatočne napodobňuje ľudské možnosti. Po zadaní veľkostí všetkých uhlov sa teda figurína môže pretransformovať do chcenej polohy, ktorá môže byť považovaná za uskutočniteľnú. Riešenie by mohlo byť obmädzené na polohy, v ktorých by boli ľavé a pravé končatiny simetrické, čo by určite znížilo počet vstupných hodnôt. Toto obmädzenie by však nebolo použiteľné napríklad pri polohe behu, chôdze a iných. Momentálne je treba zadať 34 parametrov, model má však väčšie množstvo využití (napríklad v polohe sedu v automobile sa dá ľavá ruka nastaviť na držanie prevodovky).

## 5 Nastavenie polohy

Vzhľadom na spôsob tvorby modelu je zrejmé že nastavovanie jednotlivých jeho parametrov je závislé na jednom počiatočnom bode. Za tento bod bol zvolený stred úsečky ktorú tvoria stredy panvových kĺbov. Keďže tento objekt nemá už žiadneho rodiča a teda pri jeho rotácií by sa mali spolu s ním otáčať všetky ostatné časti modelu, jeho otáčanie bolo zanedbané. Z tohto dôvodu je nastavovanie polohy (pózy) modelu závislé na tom, že panva je vždy v zvislej polohe. Dá sa s ňou (a teda aj s celým modelom človeka) pochopiteľne otáčať potom ako sa model pridá do inej zostavy, z čoho vyplýva, že parametre modelu treba nastavovať s vedomím, že panva s celým finálnym modelom sa po pridaní do zostavy natočí (napríklad pri nastavovaní sedu na motorke sa model natočí približne o  $45^\circ$ ). Pre prípad že by bol tento spôsob nevyhovujúci bol do panvy pridaný jeden lokálny súradný systém, ktorý sa dá natáčať a môžu sa mu nastaviť okrajové hodnoty.

Samotné natáčanie jednotlivých častí (končatín, hrudníku, hlavy) sa prevádza číselným zadávaním hodnôt rotácie okolo lokálnych osí **x**, **y** a **z**. Tieto hodnoty sa zadávajú v okne parametrov (**Tools - Parameters**), kde sú vypísané názvy premenných. Pri každej premennej je číslo, ktoré udáva natočenie okolo danej osi.

Pri natáčaní kĺbov je dobré zadávať hodnoty premenných postupne a po nastavení každého kĺbu regenerovať model (**Ctrl+G**). V prípade že je nejaká hodnota zadaná mimo množinu určenú krajnými hodnotami, užívateľa upozorní okno vypísaním krajných hodnôt chybné zadanej premennej. V prípade že užívateľ odmietne regenerovať model, všetky hodnoty sa vrátia do stavu pred poslednou zmenou (vrátane správne zadaných).

Zadávanie hodnôt je najpraktickejšie v smere od rodičovských objektov, to znamená začať buď stehnami alebo hrudníkom a pokračovať k dlaniam, chodidlám a hlave. Každý lokálny súradnicový systém sa natáča s jeho rodičovskými členmi, čo znamená, že smery ich natáčania opísané vyššie sú relatívne vzhľadom k týmto členom. Kladný smer rotácie sa určuje podľa pravidla pravej ruky, takže je závislý na orientácií osi na ktorú sa vzťahuje. Je treba brať do úvahy, že zrkadlené objekty (celá pravá ruka a noha) majú opačnú orientáciu osí **x** a **z**, čo však znamená že pri prepisovaní ľavých parametrov na pravú časť (v prípade že sa požaduje symetrická poloha) sa mení natočenie okolo osí **x** a **y** na opačnú hodnotu.

Významy názvov premenných (spolu s ich krajnými hodnotami):

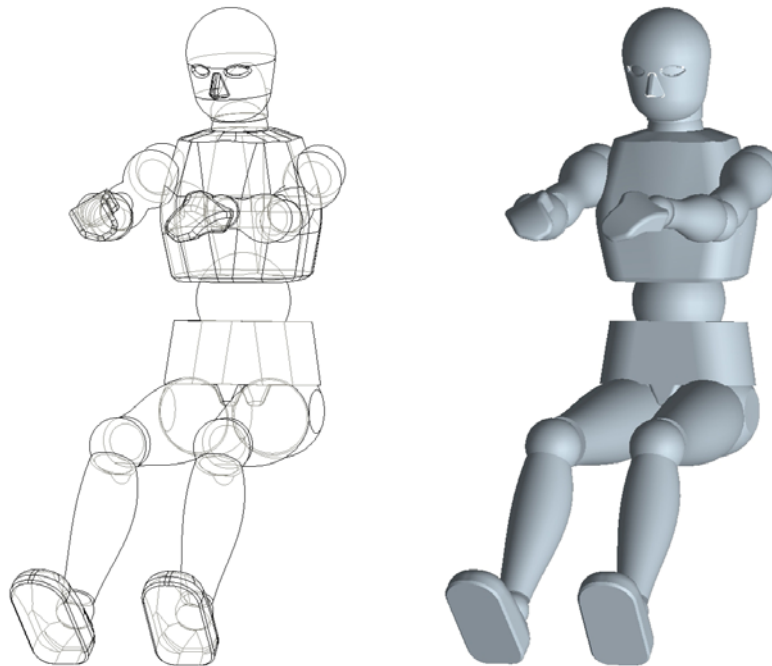
HRUD_X	natočenie hrudníku okolo osi <b>x</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-30, 60>$
HRUD_Y	natočenie hrudníku okolo osi <b>y</b> (krut) $\epsilon <-60, 60>$
HRUD_Z	natočenie hrudníku okolo osi <b>z</b> (ohyb do strán) $\epsilon <-45, 45>$
HLAV_X	natočenie hlavy okolo osi <b>x</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-60, 60>$
HLAV_Y	natočenie hlavy okolo osi <b>y</b> (krut) $\epsilon <-80, 80>$
HLAV_Z	natočenie hlavy okolo osi <b>z</b> (ohyb do strán) $\epsilon <-60, 60>$
LRAM_X	natočenie ľavého ramena okolo osi <b>x</b> (krut) $\epsilon <-90, 80>$
LRAM_Y	natočenie ľavého ramena okolo osi <b>y</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-100, 10>$
LRAM_Z	natočenie ľavého ramena okolo osi <b>z</b> (ohyb hore a dole) $\epsilon <-90, 60>$
LLAK_Y	natočenie ľavého lakťa okolo osi <b>y</b> $\epsilon <-145, 0>$
LZAP_X	natočenie ľavého zápästia okolo osi <b>x</b> (krut) $\epsilon <-30, 180>$
LZAP_Y	natočenie ľavého zápästia okolo osi <b>y</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-90, 90>$
LZAP_Z	natočenie ľavého zápästia okolo osi <b>z</b> (ohyb hore a dole) $\epsilon <-45, 45>$
RRAM_X	natočenie pravého ramena okolo osi <b>x</b> (krut) $\epsilon <-80, 90>$
RRAM_Y	natočenie pravého ramena okolo osi <b>y</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-10, 100>$
RRAM_Z	natočenie pravého ramena okolo osi <b>z</b> (ohyb hore a dole) $\epsilon <-90, 60>$
RLAK_Y	natočenie pravého lakťa okolo osi <b>y</b> $\epsilon <0, 145>$
RZAP_X	natočenie pravého zápästia okolo osi <b>x</b> (krut) $\epsilon <-180, 30>$
RZAP_Y	natočenie pravého zápästia okolo osi <b>y</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-90, 90>$
RZAP_Z	natočenie pravého zápästia okolo osi <b>z</b> (ohyb hore a dole) $\epsilon <-45, 45>$

LSTE_X	natočenie ľavého stehna okolo osi <b>x</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-120, 30>$
LSTE_Y	natočenie ľavého stehna okolo osi <b>y</b> (krut) $\epsilon <-20, 45>$
LSTE_Z	natočenie ľavého stehna okolo osi <b>z</b> (ohyb do strán) $\epsilon <-20, 45>$
LKOL_X	natočenie ľavého kolena okolo osi <b>x</b> $\epsilon <0, 160>$
LCHO_X	natočenie ľavého chodidla okolo osi <b>x</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-30, 50>$
LCHO_Y	natočenie ľavého chodidla okolo osi <b>y</b> (krut) $\epsilon <-45, 30>$
LCHO_Z	natočenie ľavého chodidla okolo osi <b>z</b> (ohyb do strán) $\epsilon <-45, 0>$
RSTE_X	natočenie pravého stehna okolo osi <b>x</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-30, 120>$
RSTE_Y	natočenie pravého stehna okolo osi <b>y</b> (krut) $\epsilon <-45, 20>$
RSTE_Z	natočenie pravého stehna okolo osi <b>z</b> (ohyb do strán) $\epsilon <-20, 45>$
RKOL_X	natočenie pravého kolena okolo osi <b>x</b> $\epsilon <-160, 0>$
RCHO_X	natočenie pravého chodidla okolo osi <b>x</b> (ohyb dopredu a dozadu) $\epsilon <-50, 30>$
RCHO_Y	natočenie pravého chodidla okolo osi <b>y</b> (krut) $\epsilon <-30, 45>$
RCHO_Z	natočenie pravého chodidla okolo osi <b>z</b> (ohyb do strán) $\epsilon <-45, 0>$

Pomerne jednoduché je začať nejakou predvolenou polohou a pretransformovať ju len o pár stuňov.

a.) Sed v aute:

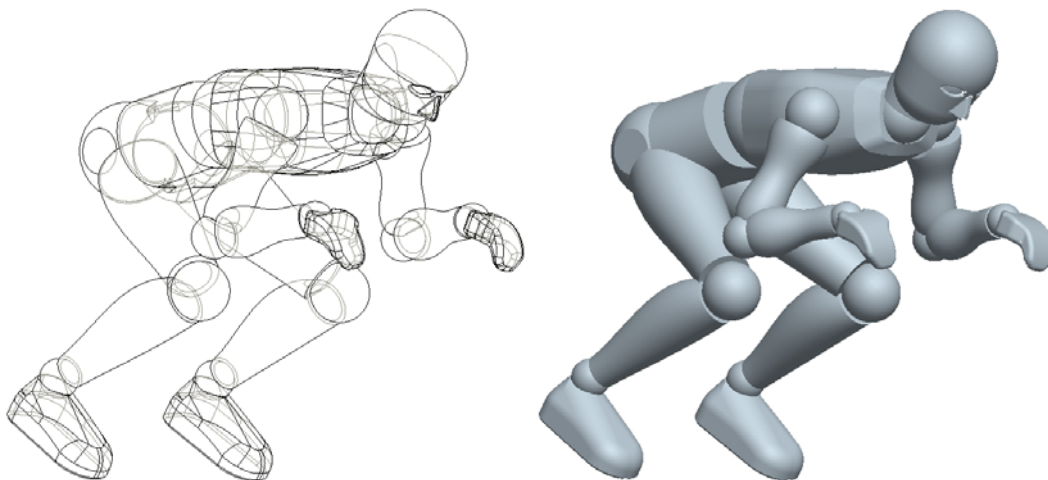
(5, 0, 0, 5, 0, 0, 20, -73, -80, -30, 120, 0, -10, -20, 73, -80, 30, -120, 0, -10, -80, 5, 0, 50, -15, 0, 0, 80, -5, 0, -50, 15, 0, 0)



*Obr. 5.1 Figurína v sede za volantom*

b.) Sed na motorke:

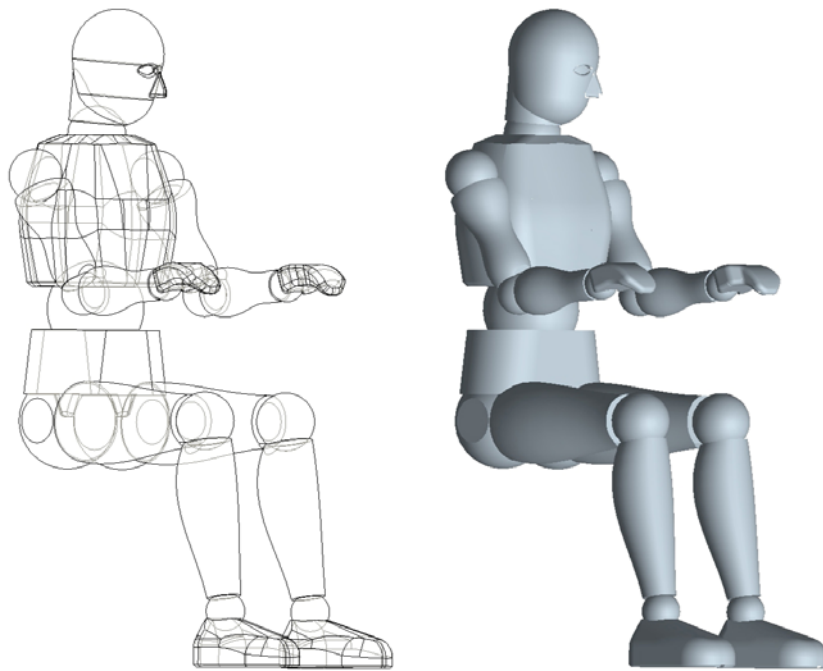
(15, 0, 0, -50, 0, 0, -45, -60, -40, -120, 150, 30, 0, 45, 60, -40, 120, -150, -30, 0, -120, 20, 0, 110, -30, -17, -5, 120, -20, 0, -110, 30, 17, -5)



*Obr. 5.2 Figurína v sede na motorke*

c.) Sed za počítačom:

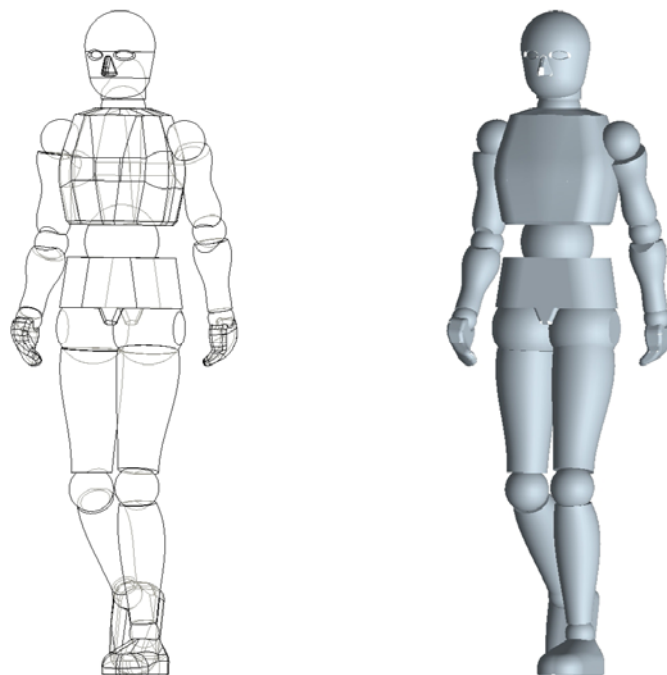
(0, 0, 0, 5, 30, 0, 0, -30, -90, -65, 180, -15, 0, 0, 30, -90, 65, -180, 15, 0, -90, 5, 0, 80, 10, 0, 0, 90, -5, 0, -80, -10, 0, 0)



*Obr. 5.3 Figurína v sede za počítačom*

d.) Chôdza:

(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 30, -85, -20, 90, 0, 0, 0, 0, -85, 30, -90, 0, 0, -10, 0, 0, 20, -10, 0, 0, 0, 0, 0, -45, -30, 0, 0)



*Obr. 5.4 Figurína v chôdzi*

## 6 Záver

Cieľom bakalárskej práce bol návrh a realizácia nastaviteľnej 3D figuríny človeka. Model síce nemá nastaviteľnú výšku, ale výškou 180 cm zastupuje priemer mužskej populácie, vďaka čomu sa dá označiť za vhodného zastupiteľa pre zovšeobecnenie mnohých skupín obyvateľstva. Parametrický návrh rozmerov a polôh funkčných kĺbov bol značne zjednodušený, avšak možnosťami jednotlivých polôh odpovedá približnej anatómii ľudského tela. Výsledný model je funkčný a je ho možné upraviť do rôznych polôh. Má v sebe nedefinované okrajové hodnoty natočenia pre každú os v každom kĺbe zvlášť a v prípade ich prekročenia je užívateľ upozornený o chybnom zadaní vstupných parametrov. Vďaka tomu sa dá (po pridaní figuríny do testovaného modelu) jednoducho určiť vhodnosť návrhu pracoviska. Je použiteľná pre akékoľvek typy pracoviska: sedadlá dopravných prostriedkov, ovládače väčších prístrojov, atď. Tým boli splnené všetky body zadania práce. Ďalší rozvoj modelu by mohol smerovať k možnosti nastavovania výšky, prípadne aj hmotnosti. Nastavovanie polohy je v porovnaní s animačnými 3D programami zložitejšie, čo je v závislosti na účele Pro/Engineeru pochopiteľné. V jeho najnovších verziách budú plne nastaviteľné figuríny (s jednoduchším ovládaním) medzi základnými funkciami. Tieto figuríny budú mať ovládateľnú ako polohu, tak aj rozmery svojich častí s preddefinovanými krajnými polohami premenných, čo značne zjednoduší a spresní možnosti navrhovania pracovných priestorov.

## 7 Použitá literatura

[1] BRŮŽEK, Jaroslav, ČERNÝ, Viktor, STRÁNSKÁ, Petra. *Proměny výšky postavy v průběhu věků*. *Vesmír* [online]. 2005. Dostupný z WWW:

< <http://www.vesmir.cz/clanek/promeny-vysky-postavy-v-prubehu-veku> >.

[2] VIGNEROVÁ, Jana. *6. Celostátní antropologický výzkum* [online]. 2008. Dostupný z WWW:

< <http://www.szu.cz/data/6-celostatni-antropologicky-vyzkum> >.