

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

BLENDER- JA BULLET-OHJELMISTON SOVELTUVUUS ROBOTIIKAN  
SIMULOINTIIN

Työn tarkastajana on toiminut professori Aki Mikkola

Lappeenrannassa 28.8.2009

Roope Eskola  
Ainonkatu 7 c 15  
53100 Lappeenranta  
+358 41 4336384

## TIIVISTELMÄ

Tekijä: Roope Eskola

**Nimi: Blender- ja Bullet-ohjelmiston soveltuvuus robotiikan  
simulointiin**

Koulutusohjelma: Konetekniikka

Paikka: Lappeenranta

Vuosi: 2009

Kandintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta.

25 sivua, 11 kuvaa ja 5 taulukkoa.

Tarkastaja: Professori Aki Mikkola

Hakusanat: Blender, Bullet, Simulointi, Mallinnus

Työssä tutkittiin Blender- ja Bullet-ohjelmiston soveltuvuutta robotin dynamiikan analysointiin. Ohjelmistot ovat avoimia ohjelmistoja joten niiden käyttö oli maksutonta. Robotin osat mallinnettiin Blender-ohjelmistolla ja koottiin kokoonpanoksi asettamalla nivelet kappaleiden väleille. Kokoonpanon tiedot siirrettiin Bullet-ohjelmistoon COLLADA-tiedoston välityksellä. Bullet-ohjelmistossa robotin dynaaminen käyttäytyminen laskettiin matemaattisesti tietokoneen avulla.

## ABSTRACT

Author: Roope Eskola  
**Title: Blender and Bullet software**  
Degree Program: Mechanical Engineering  
Place: Lappeenranta  
Year: 2009

Bachelor Thesis. Lappeenranta University of Technology. Faculty of Technology  
25 sheets, 11 figures and 5 tables.

Supervisor: Professor Aki Mikkola

Keywords: Blender, Bullet, Simulation, Modeling

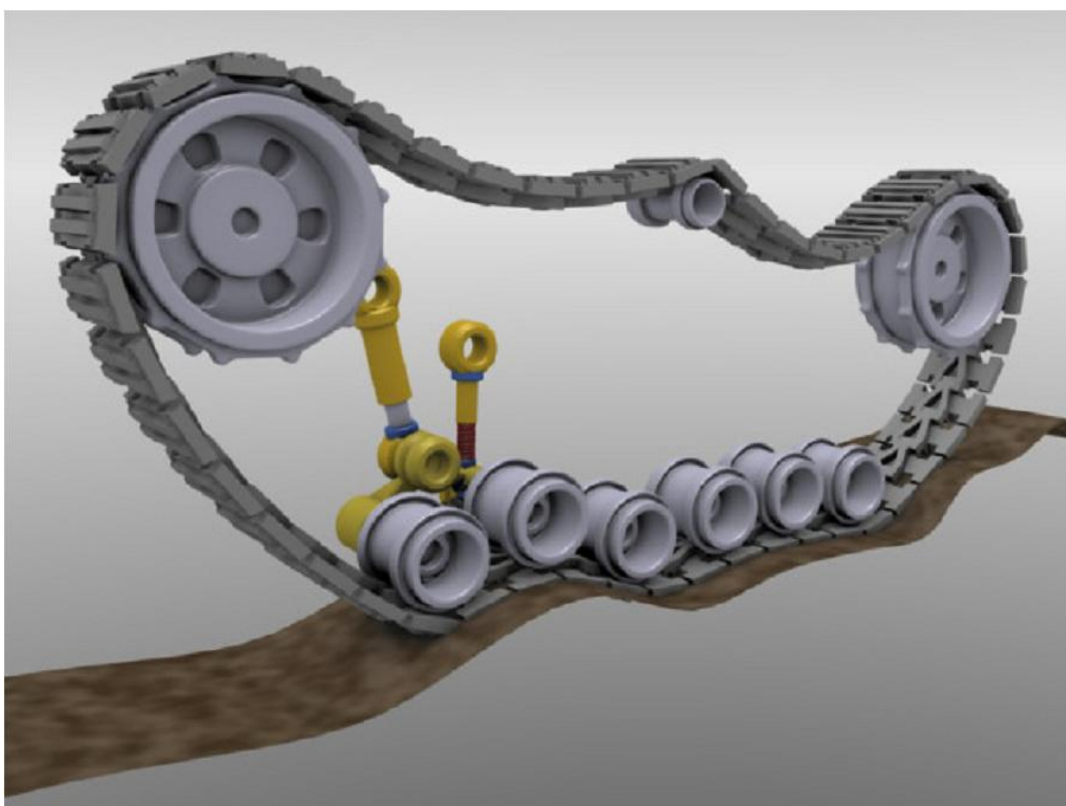
The objective of this thesis was to study the usability Blender and Bullet softwares in the dynamic analysis of a robotic. Softwares operate under open source in case of which the use of softwares is free. Open source can be also modified. Robot parts was modeled in Blender software and parts was built up assembly by modeling constraints between parts. Information of the robot assembly was uploaded to the Bullet software by using COLLADA-file. Dynamic responses of robot were analysed using the Bullet software.

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	2
1.1 Tavoitteet ja rajaukset.....	3
2 AVOIMET OHJELMISTOT REAALIAIKASIMULOINTIIN.....	5
2.1 Avoimet dynamiikan simulointi ohjelmistot.....	6
2.2 Käytetyt ohjelmistot ja tiedosto .....	10
2.2.1 Blender .....	10
2.2.2 COLLADA.....	11
2.2.3 Bullet.....	13
3 ROBOTIN DYNAMIIKAN ANALYSOINTI .....	15
3.1 Robotin rakenne .....	16
3.2 Mallinnus .....	17
3.3 Tiedonsiirto .....	18
3.4 Simulointi .....	19
4 TULOKSET .....	22
4.1 Blender.....	22
4.2 COLLADA.....	22
4.3 Bullet.....	22
4.4 Pohdinta .....	23
5 YHTEENVETO .....	24
LÄHDELUETTELO .....	25
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Koneiden simulointi on tietokoneavusteista suunnittelua, jossa matemaattisesti kuvataan koneen tai konejärjestelmän toimintaa. Konejärjestelmissä esiintyvien voimien ollessa dynaamisia, puhutaan dynamiikan simuloinnista. Dynamiikan simulointiin on perinteisesti käytetty koneiden simulointiin tarkoitettuja ohjelmistoja. Näiden ohjelmistojen lisäksi järjestelmän dynamiikan simuloimiseen on tarjolla laskennaltaan kevyempiä ohjelmistoja, jotka ovat kehitetty tietokonepelien ja animaatioiden tekemiseen. Ohjelmistoilla lasketaan pelissä tai animaatiossa oleville kappaleille realistinen käyttäytyminen. Useat näistä ohjelmistoista ovat nopeasti kehittyviä avoimia ohjelmistoja. Kehitys tarkoittaa tarkempaa dynamiikan laskentaa ja monipuolisempia ominaisuuksia kappaleiden, materiaalien ja nivelien mallinnuksessa. Kuvassa 1 on esitetty avoimella ohjelmistolla mallinnettu telaketju mekanismi, joka koostuu useista kappaleista ja nivelistä..

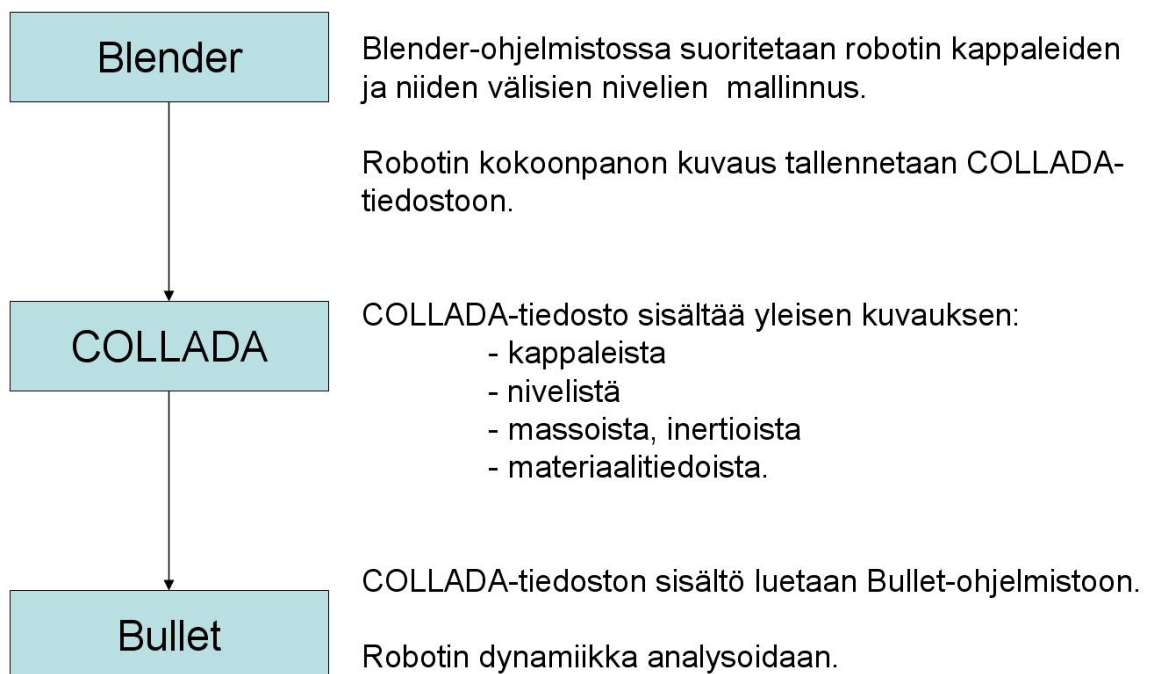


Kuva 1. Animaatioiden tekoon kehitetyillä ohjelmistoilla voi mallintaa mekanismeja.[4]

Kuvassa 1 esitetyn mekanismin dynamiikan analysointi on myös mahdollista avoimilla ohjelmistoilla. On kuitenkin lähes mahdotonta havaita miten tarkasti analysointi suoritetaan, koska on vaikea tietää miten ohjelmistojen laskenta on toteutettu. Ohjelmistojen vahvuutena on kuitenkin suuri valikoima ja avoimien ohjelmistojen käytön on maksuttomuus ja käyttäjän mahdollisuus muokata ohjelmistoa.

### 1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Työ tehdään Lappeenrannan teknillisen yliopiston älykkäiden koneiden laboratorioon ja työ on osa robotiikan simulointiin liittyvää GRASP-projektia. Tämän työn tavoitteena on kartoittaa ongelmia ja puutteita käytettäessä avoimia ohjelmistoja robotiikan simulointiin. Työn kirjallisuus osiossa tutkitaan avoimien dynamiikan simulointi ohjelmistojen ominaisuuksia. Käytännön osuus etenee työssä kuvan 2 mukaisesti, alkaen mallinnuksesta ja päättyen dynamiikan simulointiin.



Kuva 2. Työssä tutkitaan Blender- ja Bullet-ohjelmiston soveltuvuutta robotiikan simulointiin.

Kuvasta 2 nähdään, että Blender- ja Bullet-ohjelmiston välinen tiedonsiirto tapahtuu COLLADA-tiedoston avulla. Bullet-ohjelmistosta käytetään valmiita COLLADACovert- ja COLLADADemo-ohjelma. Ohjelmat olivat suunniteltu siirtämään COLLADA-tiedoston sisällön Bullet-ohjelmiston simulointiympäristöön.

## 2 AVOIMET OHJELMISTOT REAALIAIKASIMULOINTIIN

Tietokoneavusteinen koneiden dynamiikan simulointi on tehokas työkalu suunniteltavien koneiden testaamiseen. Koneen suunnittelussa syntyvät ensimmäiset versiot voidaan testata tietokonelaskennan avulla, eikä aikaisen vaiheen prototyyppejä tarvitse rakentaa.[1] Tietokoneiden suuri laskentateho ja matemaattisten mallien kehittyneet ominaisuudet mahdollistavat koneiden reaaliaikaisen simuloinnin. Reaaliaikasimuloinnissa ohjelmiston on kyettävä suorittamaan vaaditut lasku toimitukset ennalta määritetyssä ajassa. Konejärjestelmän reaaliaikainen kuvaus mahdollistaa jatkuvan ohjauksen simuloitavaan malliin. Näin voidaan muuttaa simulointimallin parametreja simuloinnin aikana ja tulokset nähdään simulointimallin visualisoinnista reaaliaikaisena.

Tietokoneiden jatkuvasti kasvava laskentateho ja kehittyvät simulointi-ohjelmistot yhdessä muodostavat konejärjestelmän reaaliaikaisen kuvauksen kehittymiselle päättymättömän paradoksin. Loppumattoman kierteen jossa aina voidaan kehittää dynamiikan kuvausta, lisätä osatekijöitä ja tarkentaa laskentaa. Tärkeimpänä tuloksena dynamiikan kuvauksen kehityksen edistymiselle, esitetään simuloitujen dynaamisten mallien käyttäytymistä. Simulointia kehittäessä tulee kuitenkin miettiä mitkä simuloituvat osatekijät ovat tärkeitä realistisessa dynamiikan kuvauksessa.[2]

Dynamiikan simuloinnin avulla voidaan kuvata miltei minkä vain järjestelmän dynaaminen käyttäytyminen. Esimerkiksi voidaan kuvata realistisesti kappaleiden törmäyksiä tai gravitaation vaikutusta kappaleisiin. Kappaleiden realistinen käyttäytyminen lisää todellisuuden tunnetta peleihin ja animaatioihin. Tämän vuoksi animaatioiden ja pelien tekijät ovat kiinnostuneet simulointi ohjelmistojen soveltamisesta heidän tarpeisiin. Tämän johdosta dynamiikan simulointiin käytettävien avoimien ohjelmistojen määrä on kasvanut viime vuosina.

Ohjelmistojen suuri tarjonta on tuottanut käyttäjille vaikeuden valita ohjelmistoista heille parhaiten soveltuvan. Pelien kehittäjät ja animaatioiden tekijät valitsevat käytettävän



ohjelmiston monipuolisuuden, yhteensopivuuksien, helppokäyttöisyyden ja käyttötehokkuuden perusteella. Koneiden simulointiin käytettäessä ohjelmistoista tarkastellaan enemmänkin käytettävyyttä ja simuloitujen tulosten tarkkuutta.[2]

Avoimien ohjelmistojen kehittymisen myötä, niiden käyttö koneiden simulointiin on mahdollista. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan avoimien ohjelmistojen ominaisuuksia.

## **2.1 Avoimet dynamiikan simulointi ohjelmistot**

Työssä käytetty Bullet on yksi monista avoimista dynamiikan simulointi ohjelmistoista. Muita ovat esimerkiksi Havok, PhysX, JigLib, Newton, ODE (Open Dynamics Engine), Tokamak ja True Axis.

Ohjelmistojen suorituskykyä tai laskennan ominaisuuksia on vaikea vertailla yksiselitteisesti, koska eroavaisuudet tulevat esiin tapauskohtaisesti. On kuitenkin yleisesti tiedossa kuusi osatekijää, jotka selvittävät ohjelmistojen simulointien tehokkuutta ja tarkkuutta.[3]

1. Simulaattori paradigma, selvittää mitkä ominaisuudet ohjelmistolla voidaan simuloida yksiselitteisesti.
2. Käytetty integraattori, selvittää simulaation numeerisen tarkkuuden.
3. Kappaleiden esitys, vaikuttaa simuloinnin törmäystarkastelun tehokkuuteen ja tarkkuuteen.
4. Törmäystarkastelu ja kontaktien esittäminen, vaikuttaa myös törmäystarkastelun tehokkuuteen ja tarkkuuteen.
5. Materiaalien ominaisuudet, selvittää mitkä fyysiset käyttäytymiset voidaan simuloida approksimoidusti.
6. Nivelien kuvaus, selvittää mitkä niveltyypit ovat mahdolliset ja miten tarkasti ne voidaan simuloida.[3]

Tässä työssä tarkastellaan kohdat 3, 5, 6 ja lisäksi tarkastellaan ohjelmistojen yhteensopivuuksia eri ohjelmistojen, käyttöjärjestelmien ja laitteistojen kanssa. Taulukossa 1 on esitetty ohjelmistojen lisenssit ja yhteensopivuus eri käyttöjärjestelmissä.

*Taulukko 1. Lisenssit ja yhteensopivat käyttöjärjestelmät[3].*

Ohjelmisto	Lisenssi	Hinta	Käyttöjärjestelmät:	Käyttöjärjestelmät:
			Pc	Konsolit
PhysX	EULA	ilmainen	Win32/Linux/-	Xbox360/PS3/-
Bullet	avoin, ZLip	ilmainen	Win32/Linux/Mac	Xbox360/PS3/-
JigLib	avoin	ilmainen	Win32/Linux/-	-/-/-
Newton	EULA	ilmainen	Win32/Linux/Mac	-/-/-
ODE	avoin, LGPL/BSD	ilmainen	Win32/Linux/Mac	Xbox360/PS3/PSP
Tokamak	avoin, BSD	ilmainen	Win32/Linux/-	-/-/-
True Axis	EULA	ilmainen	Win32/Linux/Mac	Xbox360/-/-

Taulukosta 1 nähdään, että kaikki ohjelmistot ovat ilmaisia ja kaikki soveltuvat käytettäväksi WIN32- ja Linux-käyttöjärjestelmissä. Useat ohjelmistoista toimivat myös Mac käyttöjärjestelmässä.

Yhteensopivuus usean eri käyttöjärjestelmän kanssa vaikuttaa ohjelmiston käyttäjäkunnan laajuuteen, koska avoimet ohjelmistot kehittyvät osittain käyttäjäkunnan tekemien muutosten ja sovellusten avulla. Tästä johtuen monipuolinen yhteensopivuus käyttöjärjestelmiin vaikuttaa ohjelmiston kehitysnopeuteen positiivisesti.

Tutkituilla ohjelmistoilla on eroavaisuuksia kappaleiden geometrian kuvauksessa käytettyjen muotojen määrässä. Taulukossa 2 on esitetty ohjelmistojen käyttämät muodot.

Taulukko 2. Kappaleiden geometrian kuvauksessa käytetyt muodot [3].

	PhysX	Bullet	JigLib	Newton	ODE	Tokamak	True Axis
Kuutio	x	x	x	x	?	x	x
Kapseli	x	x	x	x	x	x	x
Sylinteri	-	-	-	x*	x	-	x
Kartio	-	x	-	x	-	-	-
Kupera verkotus	x	x	-	x	-	x	x
Yhdistelmä-muodot	x	x	x	x	x	x	x
Taso	x	x	x	-	x	-	-
Pallo	x	x	x	x	x	x	x
Kolmio verkotus	x	x	x	x	x	x	x
3d-pinta	x	x	x	-	x	-	-

\*Newton tukee viistettyä sylinteriä.

Taulukosta 2 nähdään, että tässä työssä käytettävän Bullet-ohjelmiston olevan kappaleiden geometrian kuvauksessa ominaisuuksiltaan vertailun monipuolisin. Ero muihin ohjelmistoihin ei kuitenkaan ole suuri. Monipuolinen geometrioiden hallinta mahdollistaa monimutkaisempien kappaleiden mallintamisen yksityiskohtaisemmin.

Kappaleiden välisien nivelien kuvaaminen on yhtä tärkeä ominaisuus ohjelmistolle kuin kappaleiden kuvaaminen. Taulukossa 3 on vertailtu ohjelmistojen kykyä kuvata niveliä.

Taulukko 3. Ohjelmistojen nivelien kuvausominaisuuksien vertailu [3].

	PhysX	Bullet	JigLib	Newton	ODE	Tokamak	True Axis
Ruuvi	-	-	x	x	-	-	-
Etäisyys	x	-	x	-	-	-	-
Lukko	x	-	x	-	x	-	-
Yleinen 6d	x	x	x	x	-	x	x
Prismaattinen	x	-	-	x	x	-	x

Sarana	x	x	x	x	x	x	x
Pallo	x	x	x	x	x	x	x
Risti	-	-	-	x	x	-	-
Ajoneuvo	x	x	x	x	-	-	x

Taulukosta 3 nähdään, että monipuolisimmat nivelien kuvausominaisuudet löytyvät PhysX- ja JigLib-ohjelmistosta. Tosin useista ohjelmistoista löytyvästä yleinen 6d-nivelestä voi muodostaa myös lukko-, sarana-, pallo- ja risti-nivelet. Kuitenkin voidaan olettaa mallinnuksen olevan nopeampaa ja helpompaa, jos em. nivelet ovat omina kokonaisuuksinaan.

Dynamiikan analysoinnissa materiaalien kuvauksen monipuolisuus on tärkeää realististen tulosten saamiseksi. Koska materiaalien kitka ja palautumis-ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi järjestelmän käyttäytymiseen. Taulukossa 4 on esitetty ohjelmistojen kyky kuvata materiaalien kitkaa ja palautumista.

*Taulukko 4. Dynamiikansimulointi-ohjelmistojen materiaalin kuvauksen vertailu [3].*

Ohjelmisto	Staattinen kitka	Kineettinen kitka	Palautuminen
PhysX	x	x	x
Bullet	x	-	x
JigLib	x	x	-
Newton	x	x	x
ODE	x	x	x
Tokamak	x	-	x
True Axis	x	-	x

Taulukosta 4 nähdään, että ohjelmistoista ODE ja Newton kuvaavat monipuolisimmin materiaalien ominaisuuksien vaikutukset. Työssä käytettävä Bullet ei kykene kuvaamaan kineettisen kitkan vaikutusta.

Ohjelmistojen vertailussa selviää että, työssä käytettävän Bullet-ohjelmiston vahvuus vertailun muihin ohjelmistoihin on kappaleiden geometriankuvaus. Bullet-ohjelmiston heikkoutena nähdään puutteet nivelien ja kineettisen kitkan kuvauksessa.

## 2.2 Käytetyt ohjelmistot ja tiedosto

Työssä käytetään maksuttomia avoimen lähdekoodin tiedostoa ja ohjelmistoja. Työssä käytetyt ohjelmistot ja tiedosto ovat:

- Blender 2.46
- Bullet 2.71, jota käytettiin ohjelmointiympäristössä Microsoft Visual Studio 2005
- COLLADA-tiedoston versio 1.4.

### 2.2.1 Blender

Blender ohjelmisto koostuu kokoelmasta työkaluja, jotka mahdollistavat monenlaisen 3D sisällön tuotannon. Ohjelmistossa on ominaisuudet mallintamiseen, renderöimiseen, animointiin, videoiden jälkikäsitteilyyn, interaktiivisen 3D sisällön tuottamiseen ja toistamiseen.[6]

Ohjelmisto on alun perin yhtiön nimeltä 'Not a Number' (NaN) kehittämä. Blenderiä jatketaan nyt avoimena ohjelmistona, jonka lähdekoodi on saatavilla GNU GPL -lisenssin alaisena.[6]

Ohjelmiston voi ladata käyttöönsä ohjelmiston kotisivuilta. Ohjelmistoa käytetään eniten grafiikan ja animaatioiden tekemiseen. Ohjelmiston monipuoliset ominaisuudet mahdollistavat myös kappaleiden ja nivelien mallintamisen. Joten ohjelmistolla voidaan myös mallintaa mekanismeja.

Blender-ohjelmiston avulla on tehty myös monia maailmanlaajuisesti esitettyjä animaatioita, esimerkiksi kuvassa 3 esitetty Big Bunny.



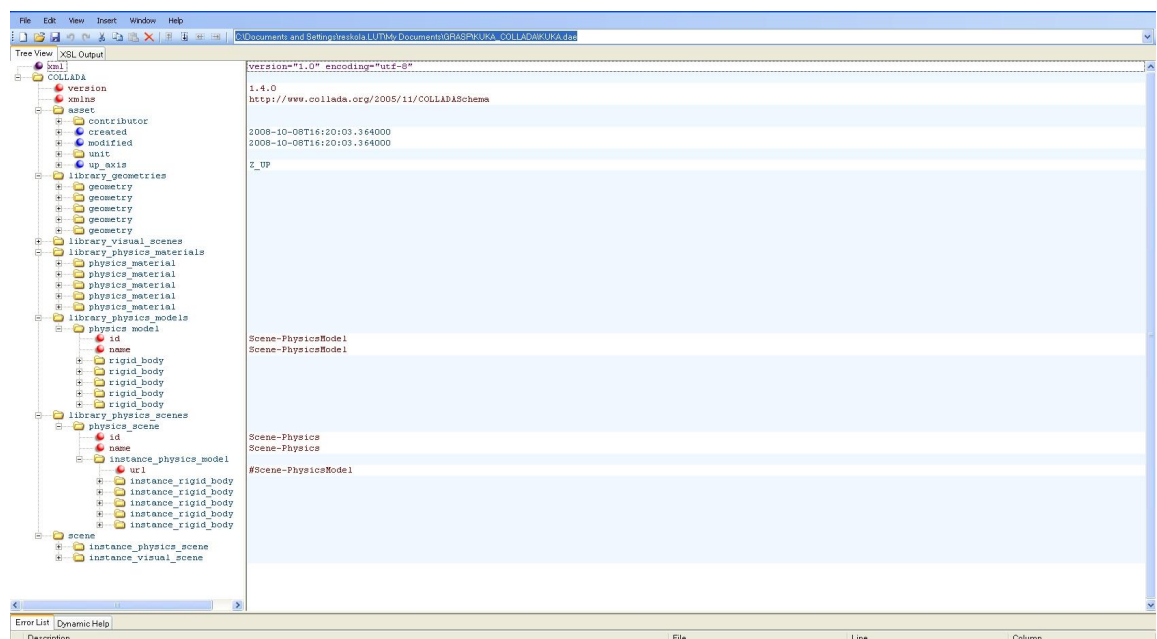
Kuva 3. Blender-ohjelmistolla on tehty animaatio Big Bunny. [7]

Animaatiossa on suurimpina osa-alueina hahmojen ja maailmojen mallinnus. Lisäksi tarvitaan grafiikan ja liikkeiden tuottaminen. Hahmojen liikkeiden kuvauksessa ja erilaisten törmäyksien tarkastelussa käytetään avuksi Blender ja Bullet ohjelmistojen yhteensopivuus ominaisuutta.

### 2.2.2 COLLADA

COLLADA on Khronos Groupin johdolla ylläpidetty vapaanlähdekoodin tiedostoformaatti 3d-sovelluksille. Alun perin tiedoston on kehittänyt viralliseksi formaatiksi Sony Computer Entertainment PlayStation3 ja PlayStation Portable konsolien kehitystyössä.[4]

COLLADA-tiedostoa on sittemmin kehitetty jatkuvasti uusiutuvien 3d-sovelluksien tueksi, helpottamaan mm. geometria-, materiaali- ja grafiikkatietojen siirtoa 3d-sovelluksiin. Kehitystyössä on pyritty luomaan kokonaisuus jossa asiat voidaan kuvata kootusti ja yksiselitteisesti.[4][8] COLLADA rakentuu XML-koodipohjaisesta tiedostosta, eli tiedoston kirjoittaminen ja käsittely vaatii korkeammantason ohjelmointitaitoja. Tiedoston rakenne on esitetty kuvassa 4.



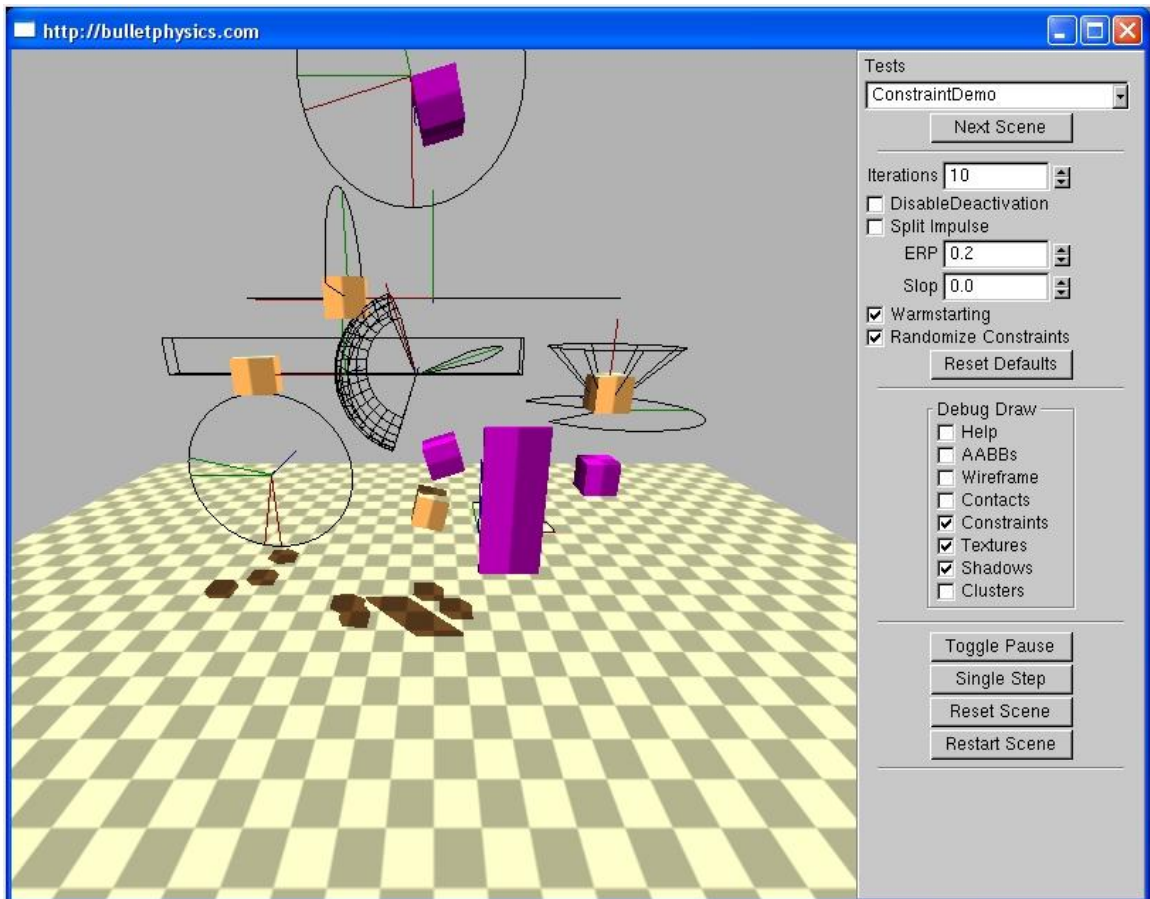
Kuva 4. COLLADA-tiedoston rakenne.

Kuvassa 4 esitetyn COLLADA-tiedoston rakenne on puurakenne. Eri kokonaisuudet ovat jaoteltu vasemman laidan kansioihin, omina kansioinaan ovat esimerkiksi kappaleiden geometriat, materiaalitiedot ja kappaleiden väliset nivelet.

COLLADA tukee monia ohjelmistoja, ja sen käyttö on yleistä visualisointeja tehdessä. COLLADA-tiedostoa tukevia 3d-mallinnus-ohjelmistoja ovat esim. Blender, Maya, 3ds Max XSI [4][7]. COLLADA-tiedostoa tukevia fysiikka-kirjastoja ovat Bullet, ODE, PAL, PhysX, JigLib, OpenTissue, Tokamak ja True Axis.

### 2.2.3 Bullet

Bullet-ohjelmisto on avoin fysiikkakirjasto eli dynamiikansimulointiin tarkoitettu ohjelmisto. Bullet ohjelmistoa käytetään useissa peleissä ja ohjelmistoissa kuvaamaan kappaleiden fyysistä ja dynaamista käyttäytymistä. Ohjelmistolla voidaan mallintaa kappaleita, materiaaleja ja kappaleiden välisiä niveliä. Ohjelmistolla mallinnettuja erilaisia kappaleita ja niveliä on esitetty kuvassa 5. Bullet kykenee laskemaan monikappale järjestelmälle voimien vaikutukset ja kappaleiden törmäys tarkastelut.[9]



Kuva 5. Bullet-ohjelmisto laskee järjestelmän dynaamisen käyttäytymisen.

Fysiikkakirjasto on kirjoitettu C++ -koodilla, ja kirjaston muokkaamiseen tarvitaan alemman tason ohjelmointi taitoa. Bullet-kirjaston käyttö tapahtuu esimerkiksi Microsoft



Visual Studio -ohjelmointiympäristössä. Bullet-ohjelmisto sisältää useita valmiita demo-ohjelmia, joiden avulla pääsee tutustumaan ohjelmiston käyttämiseen.

### 3 ROBOTIN DYNAMIIKAN ANALYSOINTI

Käytännön osuus suoritettiin työn rajauksen mukaisesti. Robotti mallinnettiin Blender-ohjelmistolla ja sen dynaaminen käyttäytyminen analysoitiin Bullet-ohjelmistolla. Ohjelmistojen välinen tiedonsiirto suoritettiin COLLADA-tiedoston avulla. Työ aloitettiin tarkastelemalla työssä käsiteltävää teollisuusrobottia. Työn robotti on tyypiltään käsivarsirobotti ja sen merkki on KUKA. Robotti on esitetty kuvassa 6.

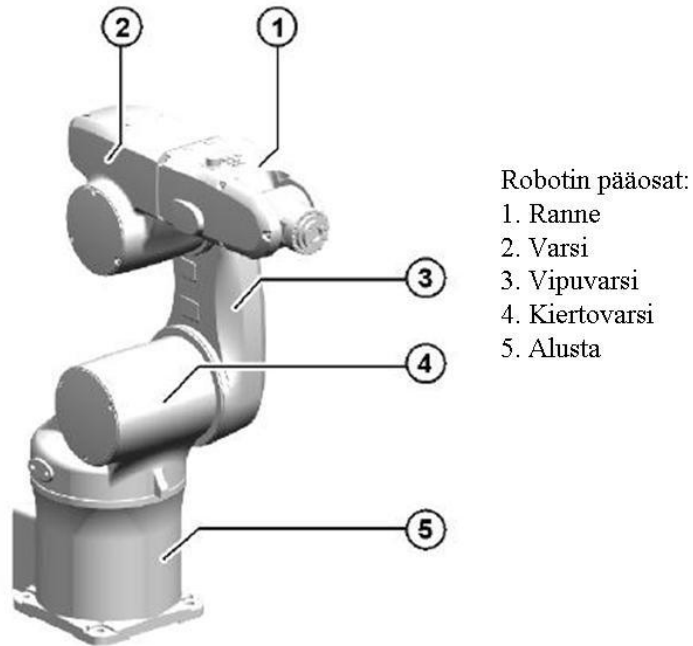


Kuva 6. Simuloitava robotti [10].

Kuvassa 6 esitetty robotti on KUKA KR 5 sixx R 850. Robotti painaa noin 29 kg ja se on suunniteltu alle 5 kg massojen käsittelyyn [10].

### 3.1 Robotin rakenne

Robotti jaetaan rakenteensa mukaan osiin, pääosat ovat esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Robotin pääosat.

Kuvasta 7 nähdään robotin rakentuvan 5 pääosasta ja niiden välisistä nivelistä. Mallinnuksen kannalta oli tärkeää selvittää robotin nivelien tyypit ja vapausasteet. Robotin nivelet ovat selvitetty taulukossa 6.

Taulukko 5. Robotin nivelet.

Nivelet	Jäsen 1	Jäsen 2	Niveltyyppi	Vapausasteet
1.	Maa	Alusta	Lukko	0
2.	Alusta	Kiertovarsi	Kiertonivel	1
3.	Kiertovarsi	Vipuvarsi	Kiertonivel	1

4.	Vipuvarsi	Varsi	Kiertonivel	1
5.	Varsi	Ranne	Kiertonivel	1

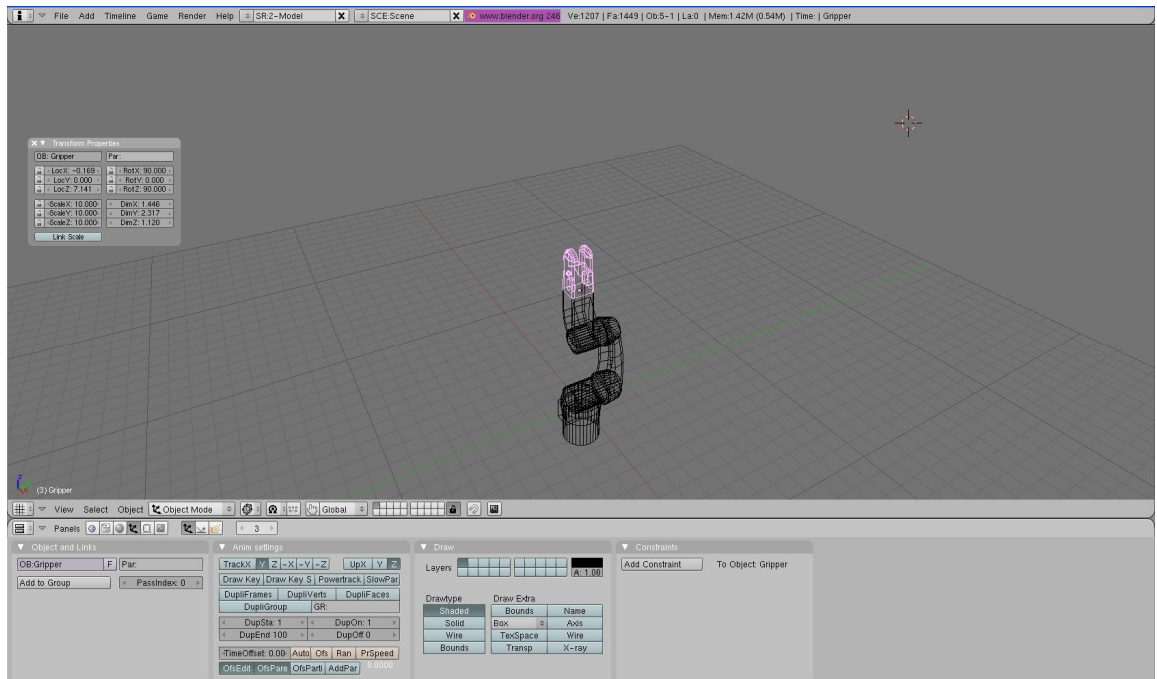
Taulukosta 6 nähdään, että robotti rakentuu 4 kiertonivelestä ja 1 lukkonivelestä. Taulukossa esiteltyjen nivelten ominaisuuksien avulla voidaan laskea robotin vapausasteet ao. kaavalla 1.

$$\text{Vapausasteet} = N - N_c \quad (1)$$

Muuttuja  $N$  tarkoittaa kappaleiden vapausasteiden lukumäärää. Kolmiulotteisessa tapauksessa jokaisella kappaleella vapausasteita on 6. Työssä on 5 kappaletta joten  $N = 30$ . Muuttuja  $N_c$  tarkoittaa nivelten rajoittamia vapausasteita. Edellisestä taulukosta voidaan tulkita että  $N_c = 26$ , eli robotin mekanismin vapausasteeksi saadaan 4 vapausastetta.

### 3.2 Mallinnus

Kappaleiden mallinnus suoritettiin Blender-ohjelmistolla. Mallintaessa kappaleita geometriatietojen lisäksi määritettiin myös kappaleiden materiaaliominaisuudet. Mallinnettujen kappaleiden kuvaus, asema ja massat ovat esitetty liitteessä 1. Kappaleet asetoitiin kokoonpanoksi robotin kokoonpanotietojen mukaisesti, esitetty kuvassa 8.

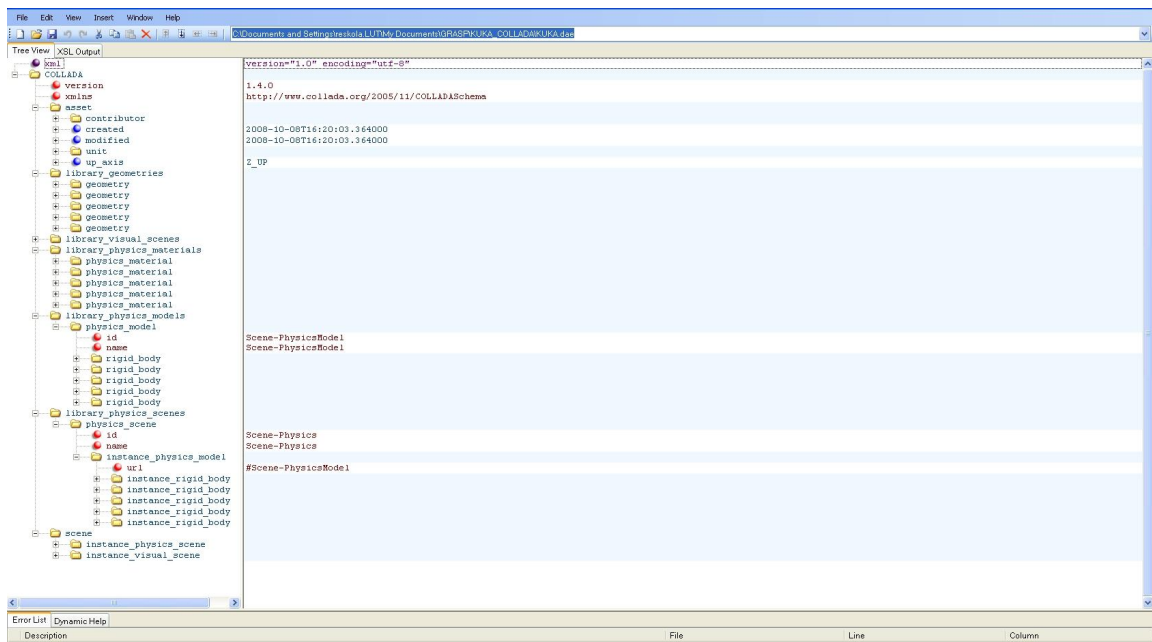


Kuva 8. Robotin kokoonpano mallinnettiin Blender-ohjelmistolla.

Kokoonpanon kappaleiden väleille luotiin nivelet taulukon 6 mukaisesti. Robotin nivelöity kokoonpano tallennettiin COLLADA-tiedostoon.

### 3.3 Tiedonsiirto

Robotin kokoonpanon sisältävää COLLADA-tiedostoa voitiin tarkastella XML-editorin avulla. Tiedoston piti sisältää tiedot kappaleiden massoista, inertiaista, asemista ja kappaleiden välisten nivelien kuvauksista.



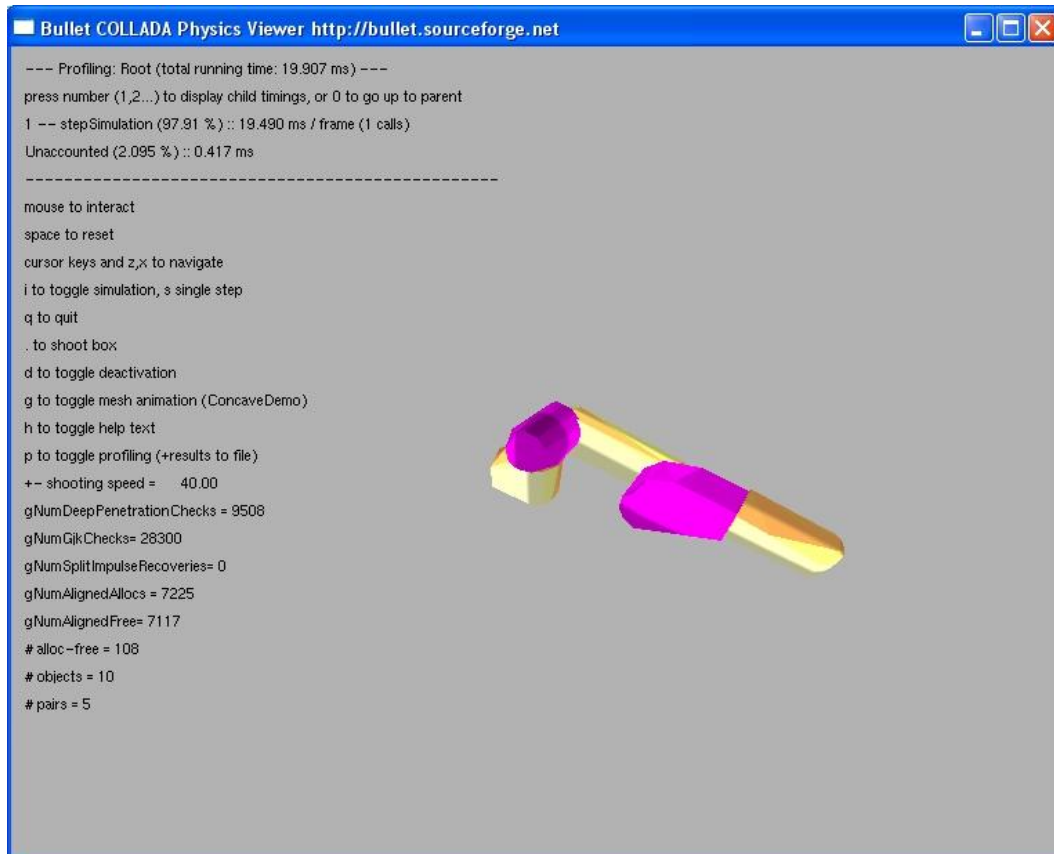
Kuva 9. COLLADA-tiedosto on XML-koodi pohjainen.

Blender-ohjelmassa luodut nivelet eivät tallentuneet COLLADA-tiedostoon. Joten kappaleiden välisien nivelien tiedot lisättiin XML-editorissa manuaalisesti. Nivelten kuvauksessa käytettiin yleistä 6-vapausasteen niveltä, josta 5 vapausastetta pois sulkeamalla saadaan muokattua kiertonivel.

### 3.4 Simulointi

Bullet-ohjelmistoa käytettiin Microsoft Visual Studio 2005 Ohjelmointiympäristössä. Bullet-ohjelmisto sisältää useita valmiita demo-ohjelmia, työssä käytettiin COLLADA-tiedoston lataamiseen tarkoitettuja COLLADACovert- ja COLLADADemo-ohjelmia. Robotin kokoonpanon kuvauksen sisältävä COLLADA-tiedosto ladattiin Bullet-ohjelmistoon COLLADACovert-ohjelman avulla. Kappaleiden massa ja inertia tiedot eivät kuitenkaan siirtyneet, joten ne jouduttiin kirjoittamaan manuaalisesti COLLADADemo-ohjelmaan.

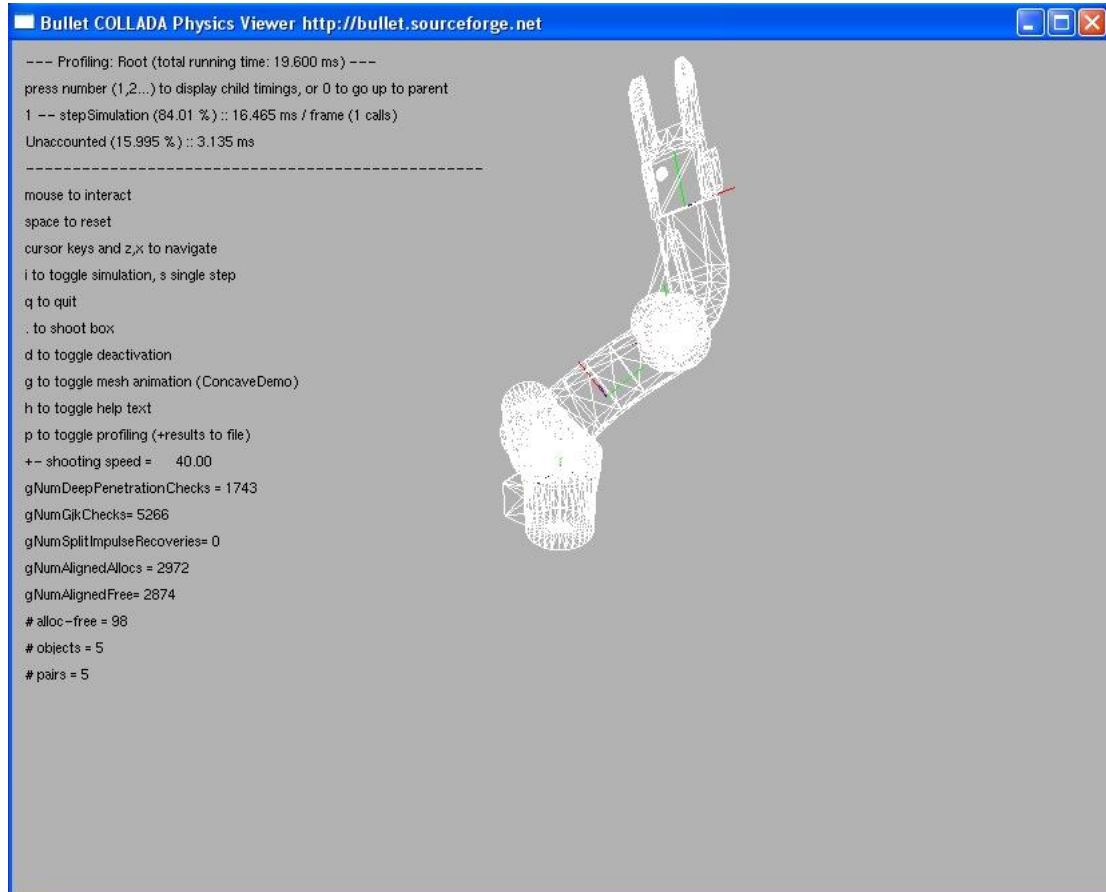
COLLADADemo-ohjelma käytti Bullet-ohjelmiston ominaisuuksia ja laski robotin dynaamisen käyttäytymisen, eli simuloi robotin dynamiikkaa. Robotin simulointi tapahtui reaaliaikaisesti. ohjelmiston visualisointi robotin simulaatiosta on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Bullet-ohjelmiston visualisoima robotti.

Kuvassa 10 robotin visualisointia on dynamiikan laskennan mukainen. Laskennan helpottamiseksi kappaleet kuvataan yksinkertaistettujen muotojen avulla. Kuitenkin kappaleille käytetään oikean geometrian mukaisia massoja ja inertioita. Törmäystarkastelut kappaleille tuotetaan yksinkertaistetun geometrian mukaisesti.

Ohjelmistossa olevan ominaisuuden avulla voitiin visualisointia tarkentaa kappaleiden geometrian mukaiseksi. Kappaleiden geometrian mukainen visualisointi on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Bullet-ohjelmiston simulaatio, visualisointi kappaleiden geometrian mukainen.

Kuvassa 11 esitetty visualisointi ei vaikuta dynamiikan laskennan parametreihin. Vaan dynaaminen käyttäytyminen lasketaan yksinkertaistetuilla geometrioilla.



## 4 TULOKSET

Työn tarkoitus oli selvittää ongelmat käytettäessä työn rajauksen mukaisia ohjelmistoja robotin dynamiikan analysointiin. Ohjelmistojen käytössä ilmeni useita eri ongelmia ja puutteita.

### 4.1 Blender

Blender-ohjelmistossa kappaleiden lokaalien koordinaatistojen asettaminen haluttuun kohtaan ja suuntaan oli vaikeaa. Ongelmia oli myös kappaleiden materiaalin ominaisuuksien määrittelyssä. Suurimpana ongelmana voidaan kuitenkin pitää COLLADA-tiedoston tallennusta. Tiedostoon ei tallentunut tiedot kappaleiden väleille luoduista nivelistä.

### 4.2 COLLADA

COLLADA-tiedoston ongelmana havaittiin globaali ja lokaalikoordinaatistojen käytön logiikka, josta seurasi ongelmia nivelien aseman ja vapausasteiden määrittelyyn. Kappaleiden uudelleen nimeäminen oli hyvin vaikeaa, koska kappaleiden nimeä vaihdettaessa muutos oli tehtävä joka kohtaan tiedoston XML-koodia.

### 4.3 Bullet

Bullet-ohjelmiston ensimmäiset havaitut ongelmat olivat COLLADACovert-ohjelmassa, ohjelma ei kyennyt siirtämään kappaleiden massa ja inertia tietoja ohjelmistoon. Muut ongelmat olivat mekanismin jäsenten väliset kontaktit nivel kohdissa, myös käytetyn yleisen 6d-nivelen kuvaus oli huono koska nivelet olivat löysät.

#### **4.4 Pohdinta**

Ohjelmistoja käyttäessä huomaa, ettei niitä ole tehty koneiden simulointia varten. Avoimina ohjelmistoina Blender ja Bullet omaavat mahdollisuuksia kehittyä nopeasti, jos suurilla tutkimusyhteisöillä on intoa niitä kehittää. Voisi kuvitella Blender-ohjelmistoon ominaisuudet, joiden avulla kappaleiden mallinnuksen ja nivelien luomisen lisäksi, voitaisiin luoda niveliin erilaisia toimilaitteita ja mittalaitteita. Toimilaitteet kuvattaisiin niveliin lokaaleina momentteina ja voimina. Mittalaitteiden avulla nivelistä voitaisiin tulostaa esimerkiksi nivelvoimia, kiertokulmien suuruutta tai kappaleen asemaa. Tietysti ed. ominaisuudet vaativat muutoksien teon myös COLLADA-tiedostoon ja Bullet-ohjelmistoon, jotta ominaisuudet siirtyvät läpi koko ohjelmistoketjun..

## 5 YHTEENVETO

Työssä testattiin ohjelmistojen Blender ja Bullet yhteensopivuutta ja käytettävyyttä robotin dynamiikan analysointiin. Työn tarkoituksena oli selvittää suurimmat ongelmat ohjelmistojen yhteiskäytössä.

Robotin kappaleet mallinnettiin Blender-ohjelmistolla ja kappaleiden väleille luotiin nivelet. Kokoonpano tallennettiin COLLADA-tiedostoformaattiin ja tiedoston sisältö tarkastettiin XML-editorin avulla. Havaitut puutteet korjattiin manuaalisesti tiedostoon.

COLLADA-tiedoston sisältämä robotin kokoonpanon kuvaus ladattiin Bullet-ohjelmistoon ohjelmistossa olevan konvertterin avulla. Robotin kuvauksen tiedot eivät kuitenkaan siirtyneet suunnitellusti. Havaitut virheet ja puutteet korjattiin manuaalisesti suoraan Bullet-ohjelmistoon.

Tehtyjen korjauksien jälkeen voitiin suorittaa robotin kokoonpanon dynamiikan simulointi. Simulointi vaikutti hyvin epävakaalle, koska kappaleiden värähtely oli jatkuvaa ja kappaleiden väliset nivelet joustivat kaikkiin suuntiin. Epävakauden vuoksi simuloinnin avulla ei olisi voinut selvittää robottijärjestelmän realistista käyttäytymistä.

Työssä käytetyt ohjelmistot vaativat paljon kehitystyötä ennen kuin niiden avulla voidaan tutkia koneiden todellista käyttäytymistä. Etenkin Bullet-ohjelmiston laskennasta pitäisi selvittää mitä ohjelmisto todellisuudessa laskee ja miten.

## LÄHDELUETTELO

- [1] J.G. De Jalon, E. Bayo, Kinematic and Dynamic Simulation of Multi-body Systems–The Real Time Challenge, Mechanical Engineering Series, Springer-Verlag, New York, 1993.
- [2] Erleben, K. Velocity-based shock propagation for multibody dynamics animation. ACM Transactions on Graphics, Vol. 26, No. 2, Article 12. 2007.
- [3] Boeing A., Bräunl T. Evaluation of real-time physics simulation systems. Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia. GRAPHITE 2007. pp. 281 – 288.
- [4] Coumans E., Victor K. COLLADA physics. Proceedings of the twelfth international conference on 3D web technology. Web3D 2007. pp. 101 – 104.

www-lähteet:

- [5] Rigging and Constraints. Blender Art Magazines. Issue 18. 2008. Viitattu 25.8.2009. Saatavissa: [http://issuu.com/blenderart\\_magazine/docs/blenderart\\_mag-18\\_eng](http://issuu.com/blenderart_magazine/docs/blenderart_mag-18_eng)
- [6] Blender User Manual, Viitattu 25.8.2009. Saatavissa: <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:Manual>
- [7] Big Bunny-animaatio kuva, Viitattu 26.8.2009. Saatavissa: <http://peach.blender.org/wp-content/uploads/bbb-splash.png>

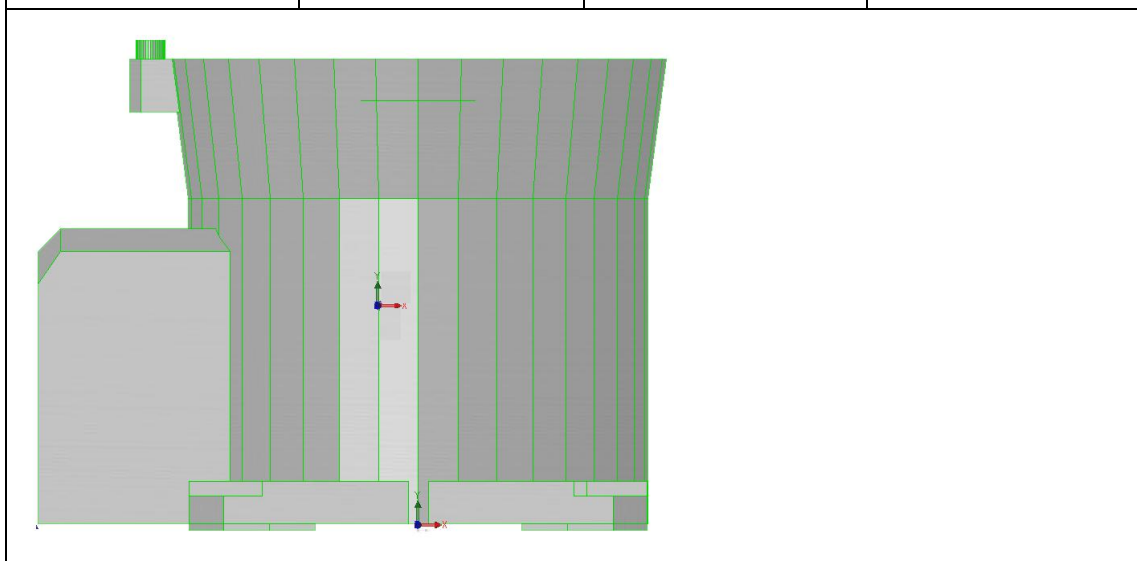
- [8] COLLADA Specification – Digital Asset Schema Release 1.4.0. Mark Barnes and Ellen Levy Finch, Sony Computer Entertainment Inc. 2008. Viitattu 25.8.2009. Saatavissa: [http://www.khronos.org/files/collada\\_spec\\_1\\_4.pdf](http://www.khronos.org/files/collada_spec_1_4.pdf)
  
- [9] Bullet 2.74 Physics SDK Manual. Viitattu 25.8.2009. Saatavissa: [http://bulletphysics.com/Bullet/BulletPhysics2.74\\_2.htm](http://bulletphysics.com/Bullet/BulletPhysics2.74_2.htm)
  
- [10] KUKA Robotics, Viitattu 6.7.2009. Saatavissa: [http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial\\_robots/small\\_robots/kr5\\_sixx\\_r850/](http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/small_robots/kr5_sixx_r850/)

# LIITTEET

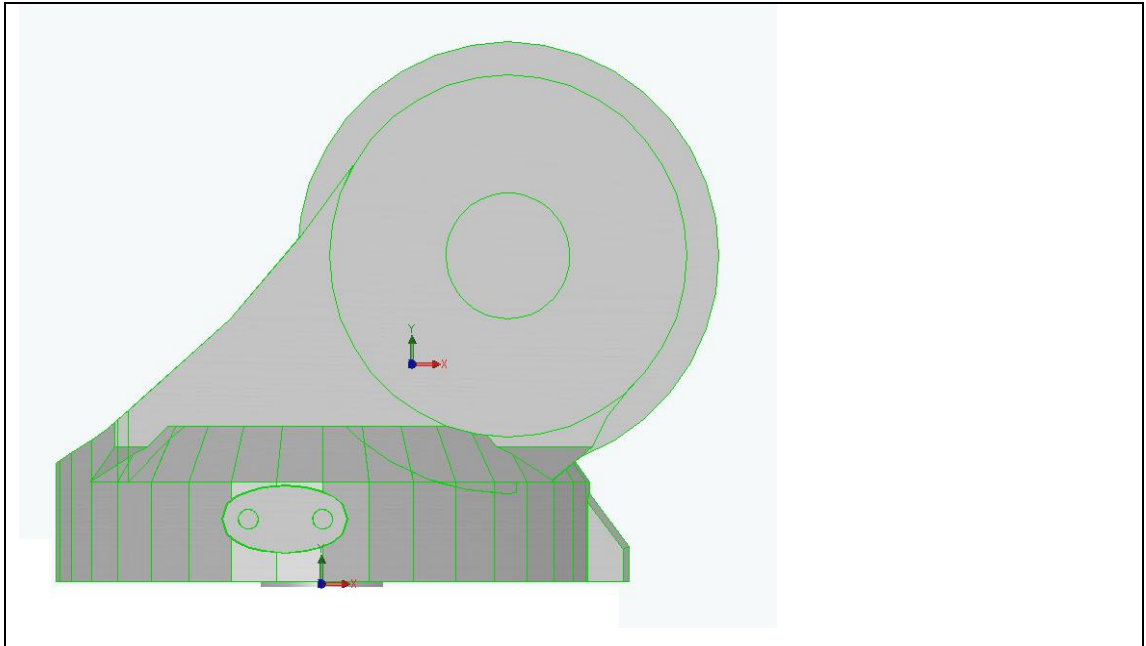
## LIITE I

### Robotin mallinnetut kappaleet

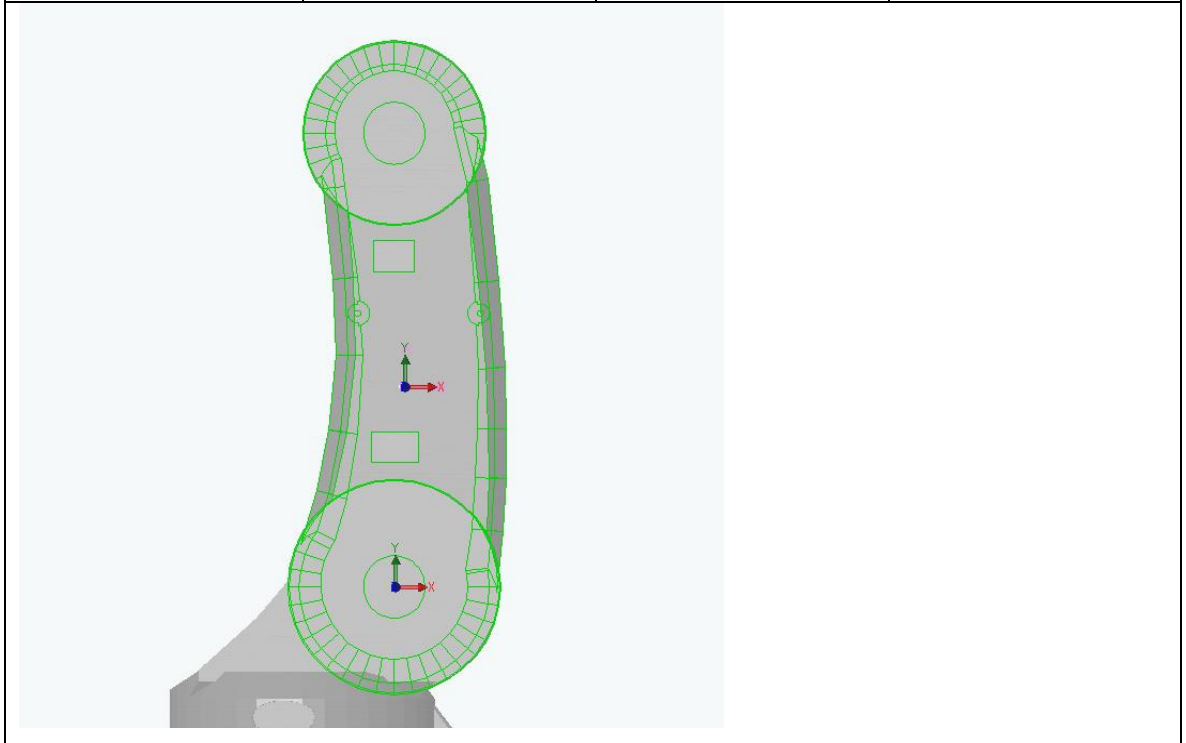
Kappale 1	x	y	z
Alusta 8.268 kg	-0.017	0.97	0



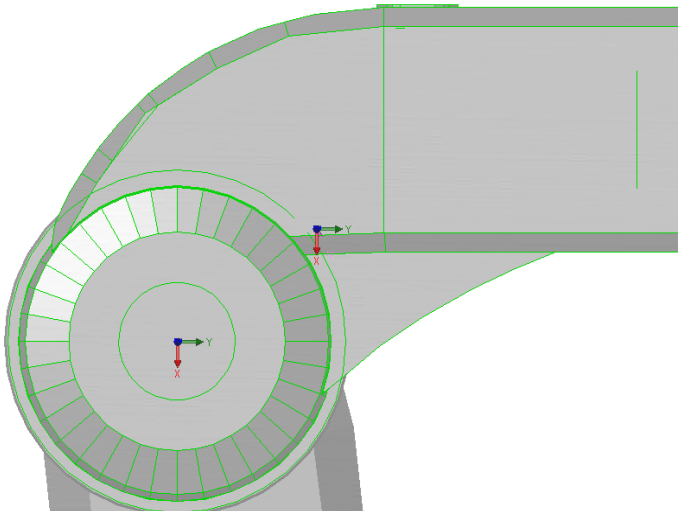
Kappale 2	x	y	z
Kiertovarsi 6.291 kg	0.035	0.0884	0.007



Kappale 3	x	y	z
Vipuvarsi 6.204 kg	0.0087	0.1608	-0.117



Kappale 4	x	y	z
Varsi 5.425 kg	-0.047	0.059	0.007



Kappale 5	x	y	z
Ranne 2.254 kg	-0.001	0.055	0.002

