

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma

**AUTOSIMULAATTORIPELEIHIN SOVELTUVAN KAKSIAKSELISEN
LIIKEALUSTAN KEHITTÄMINEN**

Työn tarkastajina ovat toimineet professori Heikki Handroos ja TkT Pekka Pessi.

Lappeenrannassa 20.4.2010.

Lauri Luostarinen

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Lauri Luostarinen
Nimi: Autosimulaattoripeleihin soveltuvan kaksiakselisen liikealustan kehittäminen
Koulutusohjelma: Konetekniikan koulutusohjelma
Paikka: Lappeenranta
Vuosi: 2010

Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta.
59 sivua, 45 kuvaa ja 1 taulukko.

Tarkastajat: Professori Heikki Handroos ja TkT Pekka Pessi

Hakusanat: Liikealusta, auto, simulaattori, peli, turvallisuus

Työssä kehitettiin kohtuuhintainen ja suorituskyvyltään riittävä autosimulaattoripelikäyttöön soveltuva liikealusta. Työssä tutustuttiin aluksi markkinoilla oleviin liikealustaratkaisuihin. Työssä selvitettiin myös liikealustaa koskevia turvallisuusmääräyksiä. Kehittäminen alkoi liikealustan vaatimusten määrittelyllä ja kuormitusten simuloinnilla. Runkorakenteet mitoitettiin kestävänsä simuloituja rasituksia. Liikealustan toimilaitteet valittiin simulointitulosten perusteella. Työssä suunniteltiin myös liikealustan ohjausjärjestelmä.

Mekaanisten osien ja voimansiirron mitoitamisen jälkeen suoritettiin osien yksityiskohtainen suunnittelu. Alihankkijat valmistivat osat ja ne koottiin Älykkäiden koneiden laboratoriossa. Järjestelmän kokoamisen jälkeen viritettiin säätäjät ja testattiin liikealustan toimivuutta. Kehitettyä liikealustaa on käytetty muutamissa tapahtumissa. Asetetut tavoitteet saavutettiin ja liikealusta soveltuu kokemuksen perusteella hyvin rata-autosimulaattoripelien kanssa käytettäväksi.

ABSTRACT

Author: Lauri Luostarinen
Title: **Development of the two-axis motion platform for car racing game simulators**
Degree Program: Mechanical Engineering
Place: Lappeenranta
Year: 2010

Master's thesis. Lappeenranta University of Technology. Faculty of Technology.
59 sheets, 45 figures and 1 table.

Supervisor: Professor Heikki Handroos and D.Sc Pekka Pessi

Keywords: Motion platform, car, race, simulator, game, safety

In this work an inexpensive motion platform with adequate performance for a racing game simulator was developed. At the beginning motion platforms for racing simulators available on the market were studied. Safety regulations of machines were also studied. The development of the motion platform began by defining requirements and by simulating loads. A frame structure was dimensioned to carry the simulated loads. The selection of actuators was also based on the simulation results. A control system for the motion platform was also designed.

After dimensioning of the mechanical parts and transmission the detailed design was carried out. The parts were manufactured by subcontractors and the final assembly was carried out in Laboratory of Intelligent Machines. After system integration the controllers were tuned and the motion capabilities tested. The motion platform has been used in few events. The goals were cached and the motion platform is suitable for racing game simulators according to experiences.

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	3
1. JOHDANTO	4
1.1 Työn tavoitteet	5
1.2 Työn rajaus	5
2. AUTOSIMULAATTORIT	6
2.1 Koordinaatisto.....	6
2.2 Kaupalliset autosimulaattoreiden liikealustat	7
3. KONEIDEN TURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET.....	12
3.1 CE-merkintä ja vaatimustenmukaisuusvakuutus	14
3.2 Riskien arviointi ja hallinta.....	16
3.2.1 Raja-arvojen määrittäminen.....	17
3.2.2 Vaaran tunnistaminen	19
3.2.3 Riskin suuruuden arviointi.....	19
3.2.4 Riskin merkityksen arviointi	20
3.3 Ohjausjärjestelmän turvallisuusperiaatteet	20
4. LIIKEALUSTAN SUUNNITTELU	23
4.1 Alustava rakenne	24
4.2 Pelistä tulevan kiihtyvyyssdatan mittaaminen	26
4.3 Simulointimalli	29
4.4 Toimilaitteiden valinta.....	37
4.5 Mekaaninen rakenne	39
4.5.1 Ohjaamo.....	40
4.5.2 Kehä ja jalusta.....	43

4.6 Liikealustan ohjaus	44
4.7 Simulaattorikuljettajan hallintalaitteet.....	46
5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	48
5.1 Liikealusta.....	48
5.2 Liikealustan suorituskyvyn arviointi	50
6. YHTEENVETO.....	56
LÄHDELUETTELO	58

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET**Merkinnät**

G maan vetovoima

Lyhenteet

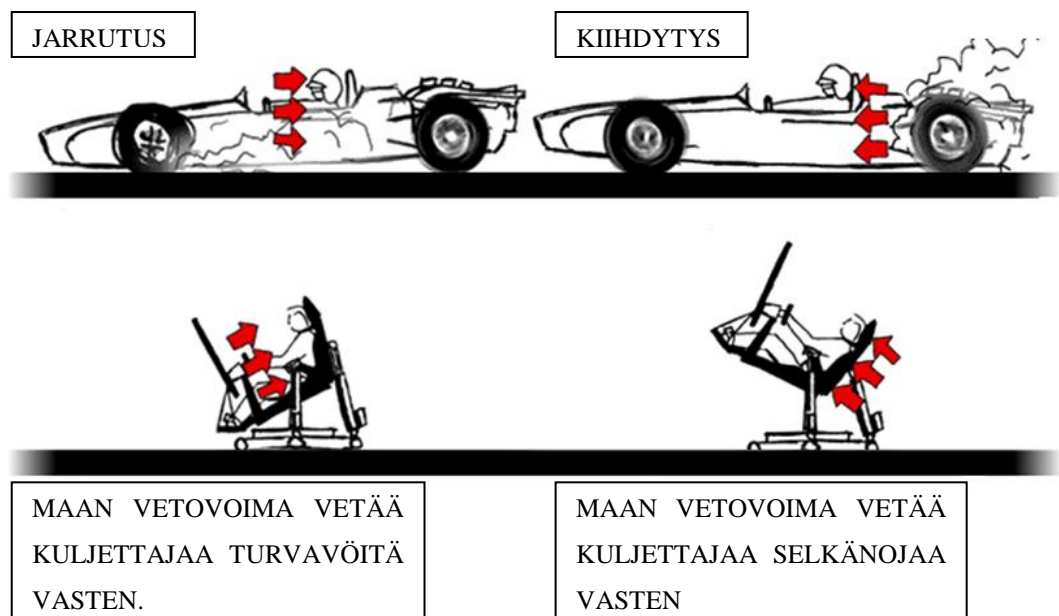
SFS Suomen standardoimisliitto

ISO International Organization for Standardization

EMC Electromagnetic Compatibility

1. JOHDANTO

Liikealustoilla pyritään lisäämään simulaattorin todentuntuisuutta. Todentuntuisuus lisääntyy, kun liikealusta luo käyttäjälle tunteen liikkeistä ja kiihtyvyyksistä, jotka oikean kilpa-auton kuljettaja tuntee ajaessaan. Liiketuntuma voidaan luoda kahdella eri tekniikalla. Ensimmäinen vaihtoehto esitetään kuvassa 1.1. Kun ohjaamo kallistetaan esimerkiksi taaksepäin, kuljettajaan kohdistuva maan vetovoima vetää kuljettajaa istuimen selkänojaa vasten. Tällöin kuljettaja tuntee eteenpäin kiihdyttämistä vastaavan tunteen. Kallistamalla ohjaamo sivulle syntyy kaarreaajoa vastaava tunne. Tällä tekniikalla voidaan luoda pitkäkestoisia kiihtyvyyden tunteita. Kiihtyvyyden tunne on suoraan verrannollinen kallistuksen suuruuteen. Suurin mahdollinen kiihtyvyyden tunne saavutetaan 90 asteen kallistuksella, joka vastaa yhden G:n kiihtyvyyttä. Toinen vaihtoehto on liikuttaa ohjaamo nopeasti. Tällöin kuljettaja tuntee ohjaamon kiihdyttämisen vastaavasti kuin kilpa-autossakin. Näin voidaan luoda suhteellisen suuriakin kiihtyvyyksiä. Kiihtyvyyden tunne jää kuitenkin lyhyt kestoiseksi, koska liikealustan liikealue on rajallinen. Monipuolisimmissa liikealustoissa yhdistetään molemmat edellä mainitut tekniikat.



Kuva 1.1 Kiihtyvyyden tunteen luominen (Force-dynamics 2010)

1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on jatkokehittää autosimulaattoripeliin soveltuvaa liikealustaa. Liikealustalta vaaditaan turvallisuutta, riittävää suorituskykyä ja kohtuullista hintaa. Lisäksi suunnittelussa pyritään huomioimaan kaupalliselle tuotteelle asetettavat vaatimukset. Ensimmäisen prototyypin tekivät Lauri Luostarinen ja Janne Paananen erikoistyönä Lappeenrannan teknillisen yliopiston älykkäiden koneiden laboratoriolle vuoden 2008 keväällä.

1.2 Työn rajaus

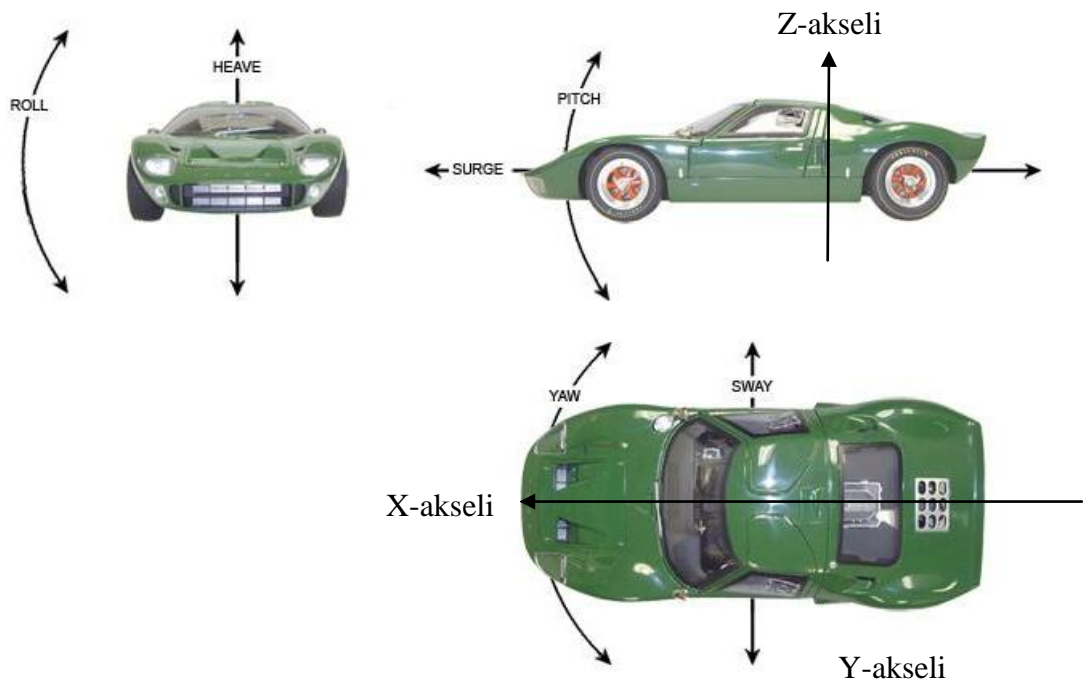
Työssä selvitetään aluksi tällä hetkellä käytössä olevia autosimulaattoriratkaisuita. Työn kolmannessa luvussa tutustutaan kehitettävää liikealustaa koskeviin turvallisuusmääräyksiin. Käytännön osiossa suunnitellaan autosimulaattoripelikäyttöön soveltuva liikealusta. Liikealustan pääkohderyhmä on vapaa-ajan viihdettä etsivät asiakkaat. Toinen mahdollinen kohderyhmä on kilpakuuljettajien ajokoulutus. Suunnitteluprosessi alkaa mittaamalla simulaattoripelissä liikkuvan auton kiihtyvyydet. Kiihtyvyyksimittauksista saatua tietoa käyttäen selvitetään simuloimalla mekaanisen rakenteen kuormitukset ja toimilaitteilta vaadittava suorituskyky. Simulointituloksien perusteella suunnitellaan ja valmistetaan liikealustan prototyyppi ja sen ohjausjärjestelmä. Lopuksi selvitetään mittaamalla kuinka hyvin simulointimallit pitävät paikkansa ja miten liikealusta seuraa ohjaussignaalia.

2. AUTOSIMULAATTORIT

Oikealla kilpa-autolla pääsevät ajamaan vain harvat ihmiset. Monet ovat kuitenkin kiinnostuneita autourheilusta ja haluavat kokea kilpa-autolla ajamisen tunteen. Autosimulaattorit vastaavat tähän kysyntään. Ensimmäiset autopelit julkaistiin jo 1970-luvun puolivälissä ja ne olivat todella yksinkertaisia. 1980-luvulla autopelien suosio kasvoi, kun niitä päästiin pelaamaan rateilla ja polkimilla pelihalleissa. Sen jälkeen pelit ovat kehittyneet valtavasti. Nykyään simulaattoripelit tarjoavat hienoa grafiikkaa, hyvällä tekoälyllä varustettuja kilpailijoita ja realistista fysiikan mallinnusta. Seuraava suuri uudistus simulaattoripeleissä on todennäköisesti liikealustojen yleistyminen. (Timonen 2005)

2.1 Koordinaatisto

Liikealustojen akseleista puhuttaessa käytetään yleisesti oikean käden koordinaatistoa. Koordinaatiston X -akseli osoittaa ajoneuvon kulkusuuntaan, Y -akseli vasemmalle ja Z -akseli ylös. Kuvassa 2.1 esitetään yleisesti käytettävät englanninkieliset translaatioliikkeiden ja kiertymien nimitykset koordinaatistoakselien suhteen. (Sallinen 2008)



Kuva 2.1 Koordinaattiakselien suunnat ja liikkeistä käytävät termit (BlueTiger)

2.2 Kaupalliset autosimulaattoreiden liikealustat

Autosimulaattoreissa käytetyissä liikealustoissa on tyypillisesti kahdesta kuuteen vapausastetta. Kuvassa 2.2 esitetään tyypillinen kahden vapausasteen liikealusta, jossa kuljettajaa voidaan kallistaa X-akselin (roll) ja Y-akselin (pitch) ympäri $\pm 20^\circ$. Nivelöintipisteen sijainnista johtuen kuljettajaan kohdistuu myös translaatioliikkeitä. Z-akselin suuntaisen translaatioliikkeen suuruus on ± 250 mm. X- ja Y-akselien suuntaisten liikkeiden suuruus on ± 200 mm. Liikealusta on sähkökäyttöinen ja se kuluttaa 700W tehoa täydellä kuormalla. Liikealustan suurin sallittu kuorma on 160 kg.



Kuva 2.2 Kahden vapausasteen liikealusta (BlueTiger)

Kuvassa 2.3 esitetään neljän vapausasteen liikealusta. Alusta kiertyy X-akselin (roll) ja Y-akselin (pitch) suhteen $\pm 30^\circ$. Liikealusta kiertyy Z-akselin ympäri $\pm 90^\circ$ (yaw). Liikealustan neljäs vapausaste on vertikaalinen Z-akselin suuntainen translaatioliike, jonka suuruus on ± 200 mm. Kuvan 2.3 liikealusta toimii sähkökäyttöisillä kuularuuvien perustuvilla lineaaritoimilaitteilla. Lisäksi alustaa pyöritetään Z-akselin ympäri sähkömoottorilla.



Kuva 2.3 Neljän vapausasteen liikealusta (Force-dynamics)

Kuuden vapausasteen liikealustoilla voidaan toteuttaa kolme rotaatioliikettä ja kolme translaatioliikettä. Kuvassa 2.4 esitetään harvemmin käytetty malli kuusivapausasteisesta liikealustasta. Siinä käytetään toimilaitteina paineilmalihaksia, joiden varassa ohjaamo roikkuu.



Kuva 2.4 Kuuden vapausasteen liikealusta (Festo)

Suomalaisen simulaattoreiden valmistajan tuotteissa käytetään oikean auton koria, mistä esitetään esimerkki kuvassa 2.5. Tällaisen ratkaisun etuna on aitoa autoa vastaava ohjaamo, jonka ansiosta tunnelma simulaattorissa tuntuu todellisemmalta. Haittana kyseisessä ratkaisussa on auton korin massa ja hinta. Liikealustalta vaaditaan suurempia voimia, koska kuljettajan lisäksi on liikutettava myös auton massaa.



Kuva 2.5 Simulaattori, jossa käytetään auton koria. (Simrac)

Kuvassa 2.6 esitettävässä liikealustassa ohjaamo on nivelöity läheltä ohjaamon massakeskipistettä ja runkorakenne kantaa kokonaan ohjaamon massan. Tällöin toimilaitteiden tehtäväksi jää pelkkä kuljettajan kallistaminen ja toimilaitteilta ei vaadita yhtä paljoa voimaa kuin edellä esitetyissä ratkaisuisissa, joissa toimilaitteet kantavat ohjaamon massan. Kuvan 2.6 liikealustassa on kolme vapausastetta, jotka ovat kiertyminen jokaisen koordinaattiakselin ympäri.



Kuva 2.6 Gimball-tyyppinen liikealusta (simcraft)

3. KONEIDEN TURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET

Tässä kappaleessa käsitellään pintapuolisesti koneturvallisuusvaatimuksia ja muita liikealustan suunnittelussa huomioitavia turvallisuuteen liittyviä asioita. Koneiden turvallisuuteen kiinnitetään nykyään paljon huomiota. Tapaturmien määrää onkin onnistuttu pienentämään merkittävästi viimeisien vuosikymmenien aikana. Turvallisuuden parantuminen on turvallisuusvaatimusten kehittymisen ansiota. Kuitenkin koneet aiheuttavat edelleen paljon tapaturmia vuosittain. Koneiden turvallisuusvaatimukset esitetään direktiiveissä ja standardeissa. Direktiiveissä esitetään yleiset turvallisuus vaatimukset ja niitä tarkennetaan direktiiveihin liittyvissä yhdenmukaistetuissa standardeissa. Standardit vahvistetaan normaalisti vain viideksi vuodeksi kerrallaan, jonka jälkeen tarkastetaan onko uusiminen tarpeellista tekniikan kehittymisen vuoksi. Näin turvallisuusvaatimukset saadaan pidettyä helpommin ajan tasalla, kun ei tarvitse päivittää kokonaisia direktiivejä. Standardeja ei ole varsinaisesti pakko noudattaa, mutta standardista poikettaessa on kuitenkin osoitettava, että poikkeava ratkaisu täyttää direktiivin vaatimukset. (Siirilä 2008, 25)

Koneiden turvallisuuden perusedirektiivi on niin sanottu konedirektiivi. Konedirektiivi koskee kaikkia koneita, joille ei ole erikoisdirektiiviä. Erikoisdirektiivejä ovat traktoridirektiivi, hissidirektiivi ja lääkintälaitedirektiivi. Nyt kehitettävää liikealustaa koskevat periaatteessa konedirektiivin lisäksi pienjännitedirektiivi ja sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) koskeva direktiivi. (Siirilä 2008, 28)

Nykyisin sovelletaan konedirektiiviä 2006/42/EY, joka on saatettu voimaan Suomessa valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008¹. Uutta konedirektiiviä on pitänyt soveltaa 29.12.2009 alkaen ensimmäistä kertaa Euroopan talousalueella markkinoille asetettaville tai käyttöön otettaville koneille. (Koneturvallisuuden standardit 2010, 2)

Konedirektiiviin liittyvät turvallisuusstandardit jaotellaan kolmeen portaaseen. A-tyypin standardit määrittelevät koneturvallisuuden perusfilosofian. B-tyypin

standardit käsittelevät suunnittelijoiden tarvitsemaa horisontaalista perustietoa ja C-tyyppin standardit sisältävät yksityiskohtaisia yksittäisten koneiden tai koneryhmien turvallisuusvaatimuksia. Hierarkkisen rakenteen tarkoituksena on varmistaa, että turvallisuussuunnittelun peruseriaatteet ovat yhtäläiset erilaisia koneita suunniteltaessa. Kuvassa 3.1 esitetään A- ja B-tyyppin standardien kattamat aihealueet. (Koneturvallisuuden standardit 2010, 3)



Kuva 3.1 Standardien hierarkkinen rakenne (Koneturvallisuuden standardit 2010)

A-tyypin standardeja ovat kaksiosainen yleisiä turvallisuuseriaatteita käsittelevä SFS-EN ISO 12100 ja riskien arviointia käsittelevä SFS-EN ISO 14121. A- ja B-

tyypin standardit kuvailevat ja luokittelevat erilaisia turvallisuusratkaisuita. Jos C-tyypin standardissa ei mainita, mikä ratkaisu on valittava, valinta täytyy tehdä riskien arvioinnin ja muiden yleisten turvallisuusperiaatteiden perusteella. (Siirilä 2008, 33)

Koska kehitettävää liikealustaa käytetään viihdesimulaattorissa, voisi liikealustan luokitella huvipuiston laitteeksi. Jos liikealusta luokitellaan huvipuiston laitteeksi, konedirektiivi ei koske sitä. Koska huvipuistolaitteissa ihmisiä riepotellaan ja pyöritellään tarkoituksella, ne eivät täytä konedirektiivin periaatetta. Huvipuistojenkin koneiden on oltava turvallisia ja niille on oma C-typin turvallisuusstandardi SFS-EN 13814. (Siirilä 2008, 30)

3.1 CE-merkintä ja vaatimustenmukaisuusvakuutus

Uuden lähestymistavan direktiivien piiriin kuuluvat tuotteet täytyy varustaa CE-merkinnällä. CE-merkintä on tuotteen valmistajan antama vakuutus siitä, että tuote täyttää direktiivien vaatimukset ja on käynyt läpi asianmukaiset vaatimustenmukaisuuden osoittamisenmenettelyt. Esimerkiksi vaarallisten koneiden osalta vaaditaan niin kutsutun ilmoitetun laitoksen tekemä tyyppitarkastus ennen CE-merkinnän tekoa. On huomioitava, että CE-merkintä ei takaa tuotteen korkeaa laatua, vaan pelkästään minimi standarditason täyttymistä. Useissa tapauksissa valmistajat ovat kiinnittäneet CE-merkin myös vaatimustenvastaisiin tuotteisiin, joten asiakkaan on syytä olla varovainen. Standardin mukainen CE-merkintä esitetään kuvassa 3.2. (SFS-Käsikirja 1 2006, 31)



Kuva 3.2 CE-merkintä

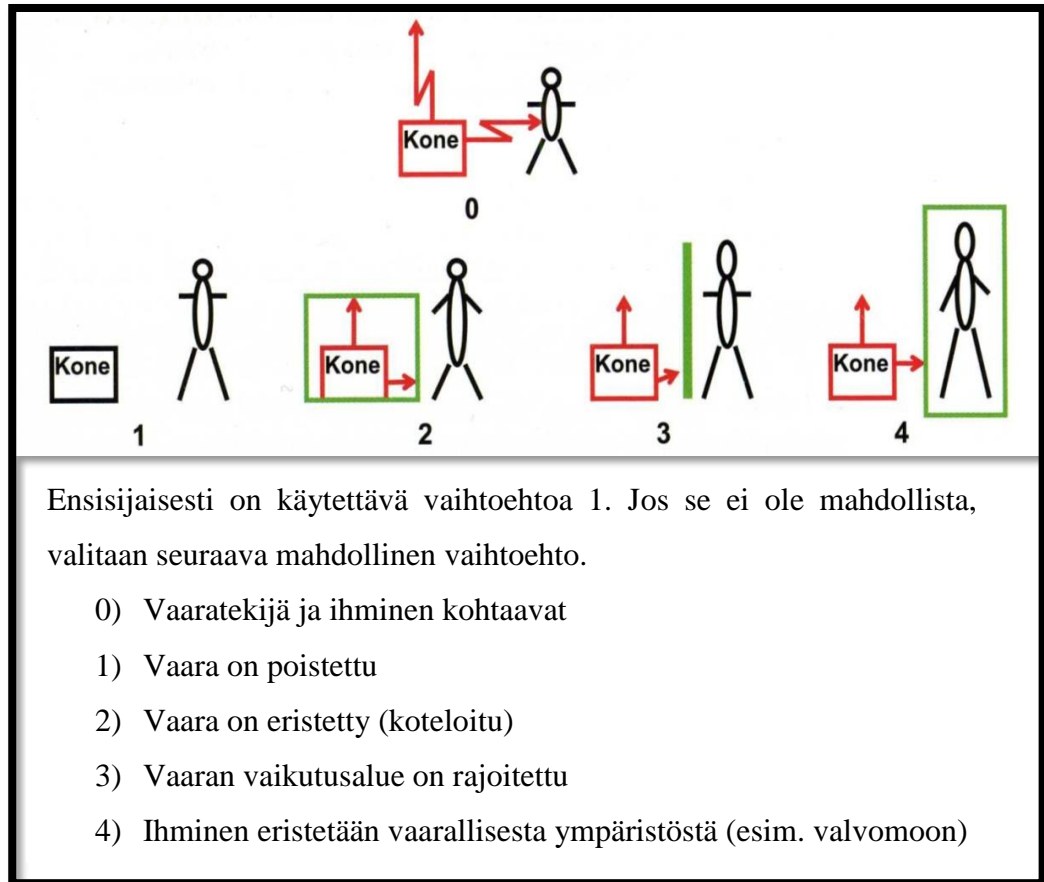
CE-merkinnän lisäksi uuden lähestymistavan direktiivien piiriin kuuluvat tuotteet on varustettava vaatimustenmukaisuusvakuutuksella, joka voidaan antaa, kun

noudatetaan yhdenmukaistettuja standardeja. Kirjallisen vaatimustenmukaisuusvakuutuksen täytyy sisältää ainakin seuraavat asiat. (Räty 2006)

- valmistajan nimi ja yhteystiedot
- laitteen lajinimi tai muu kuvaus laitteen olemuksesta
- viittaus harmonisoiuihin standardeihin, ellei niitä ole käytetty, viitataan menettelyihin, joilla direktiivinmukaisuus on todettu
- vuosiluku, jolloin CE-merkintä on kiinnitetty laitteeseen
- viittaus tutkimuslaitoksen sertifikaattiin (mikäli sopivaa)
- allekirjoitus nimenselvennyksellä sekä allekirjoittajan asema yrityksessä

Direktiiveissä vaaditaan toimenpiteitä sellaisia henkilöitä vastaan, jotka kiinnittävät CE-merkinnän vaatimustenvastaiseen tuotteeseen. Toimenpiteitä pitäisi toteuttaa myös sellaista valmistajaa vastaan, joka on vastuussa vaatimusten vastaisen tuotteen saattamisesta markkinoille. Toimenpiteitä pitää harkita myös ilmoitettua laitosta vastaan, joka on osallistunut vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyyn, joka on johtanut vaatimustenvastaisiin tuotteisiin. Myös työnantaja on vastuussa siitä, että käyttöön otetaan vaatimusten mukaisia ja turvallisia koneita. Lisäksi kaikilla tuotteen jakeluketjuun kuuluvilla on omat vastuunsa tuotteen turvallisuudesta. Jokaisen osapuolen tulisi siis tuntea turvallisuusmääräykset, että he tunnistaisivat vaatimusten vastaiset koneet ja osaisivat toimia oikein. (Siirilä 2008, 34)

Laissa ja määräyksissä esitettyjen turvallisuusvaatimusten toteuttaminen perustuu riskien arviointiin ja hallintaan. Teknisiä ratkaisuja saa valita ja toteuttaa varsin vapaasti, kunhan niihin liittyvät riskit hallitaan siten, että jäljelle jäävä riski on hyväksyttävä. Kuvassa 3.3 esitetään työturvallisuuslaeissa ja konedirektiivissä esitettävä vaarojen poistamisen ensisijaisuusjärjestys. Riskien hallinnassa ensisijainen vaihtoehto on poistaa vaaratekijä kokonaan. Jos riskin poistaminen ei ole mahdollista, sitä on pienennettävä rakenteellisilla keinoilla, suojuksilla ja turvalaitteilla. Vähiten tehokkaita keinoja ovat henkilönsuojaimet, varoitukset ja koulutus. (Siirilä 2008, 79)



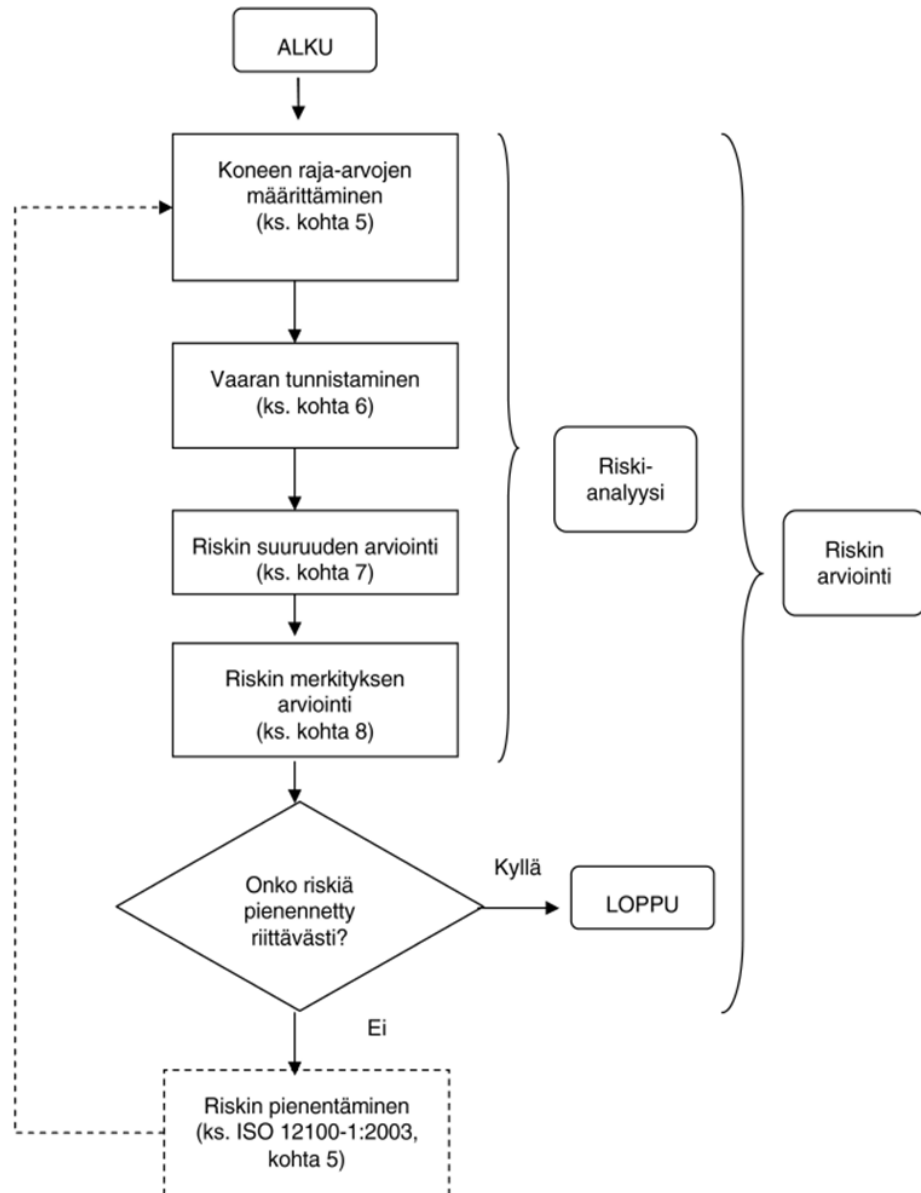
Kuva 3.3 Vaarojen poistamisen ensisijaisuusjärjestys (Siirilä 2008, 79)

3.2 Riskien arviointi ja hallinta

Koneturvallisuusstandardin SFS-EN ISO 14121-1 ensimmäisessä osassa käsitellään asioita, jotka on tarpeellista tietää riskin arvioinnin suorittamiseksi. Standardissa esitetään menettelytavat vaarojen tunnistamiseksi, riskin suuruuden arvioimiseksi ja riskin merkityksen arvioimiseksi. Lisäksi standardista selviää, minkälaisia asiakirjoja tarvitaan todentamaan suoritettu riskin arviointi. (SFS-EN ISO 14121-1)

Riskin arviointi on looginen prosessi, jossa koneisiin liittyvät riskit analysoidaan ja niiden merkitykset arvioidaan järjestelmällisesti. Tarvittaessa riskin arviointia seuraa riskin pienentäminen. Tarvittaessa tätä prosessia iteroidaan kuvan 3.4 osoittamalla tavalla. Iterointia jatketaan, kunnes vaaroja on poistettu niin paljon

kuin se on käytännössä mahdollista ja kunnes riskejä on pienennetty riittävästi suojaustoimenpiteillä. (SFS-EN ISO 14121-1)



Kuva 3.4 Riskin pienentämisen iteratiivinen prosessi (SFS-EN ISO 14121-1)

3.2.1 Raja-arvojen määrittäminen

Ensimmäinen vaihe riskin arvioinnissa on koneen raja-arvojen määrittäminen koneen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Raja-arvoja ovat käyttörajat, tilarajat, aikarajat ja muut raja-arvot. Käyttörajoihin kuuluu koneen tarkoitettu käyttö ja

kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Huomioon otettavia näkökohtia ovat standardin SFS-EN ISO 14121-1 mukaan seuraavat:

- ”Koneen erilaiset toimintatavat ja koneen hyödyntäjien puuttuminen eri tavoilla toimintaan (mukaan lukien toimintahäiriöiden edellyttämät toimintaan puuttumiset koneen käytön aikana)
- koneen hyödyntäjien oletettu koulutustaso, kokeneisuus tai kyvyt
- muiden henkilöiden altistuminen koneeseen liittyville vaaroille silloin kun se on kohtuudella ennakoitavissa.”
- koneen käyttö (esim. teollinen, muu kuin teollinen ja kotikäyttö) sukupuolen, iän, kätisyyden tai rajoittuneiden fyysisten kykyjen mukaan tunnistettavissa olevien henkilöiden toimesta

Tilarajojen osalta huomioon otettavia näkökohtia ovat:

- ”liikkeen laajuus
- koneen kanssa vuorovaikutuksessa olevien henkilöiden vaatima tila, esim. käyttötoiminnan ja kunnossapidon aikana
- ihmisen vuorovaikutus, esim. ”käyttäjä-kone” -rajapinta, ja
- ”kone-tehonsyöttö” -rajapinta.”

Aikarajojen osalta huomioon otettavia näkökohtia ovat:

- koneen ja/tai sen joidenkin osien ennakoitavissa oleva ”elinikä” ottaen huomioon sen tarkoitettu käyttö ja kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö
- suositeltavat huoltovälit.

Muista raja-arvoista esimerkkejä ovat:

- ympäristöön liittyvät raja-arvot (suositeltavat vähimmäis- ja enimmäislämpötilat, koneen käyttäminen ulkona jne.)
- ”puhtaanapitoon liittyvät raja-arvot (vaadittava puhtaustaso)
- käsiteltävän materiaalin ominaisuudet.”

3.2.2 Vaaran tunnistaminen

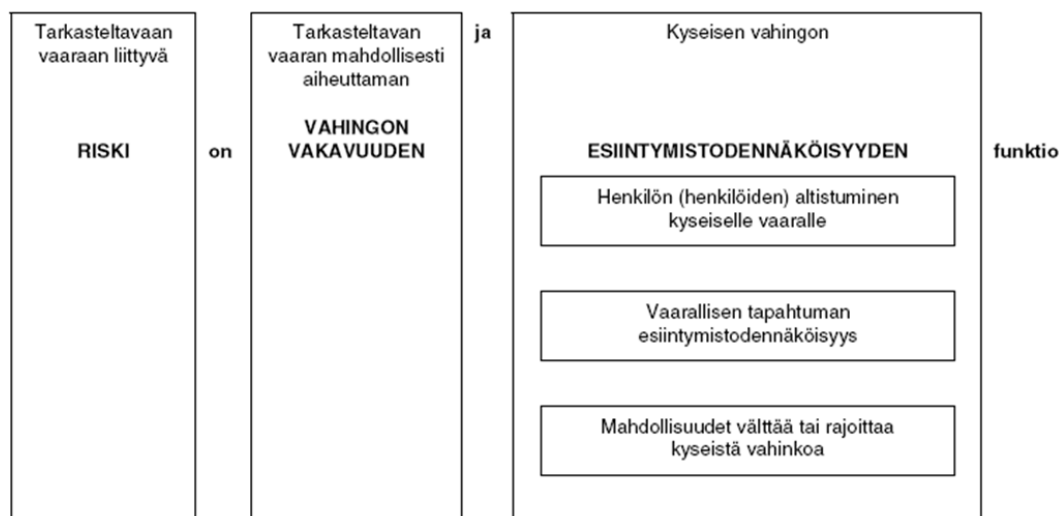
Koneiden riskin arvioinnissa koneen raja-arvojen tunnistamista seuraa vaarojen tunnistaminen. Vaarat täytyy tunnistaa, koska on todennäköistä, että koneessa oleva vaara johtaa jossain vaiheessa vahinkoon, jos vaaraa ei poisteta tai ei suoriteta suojaustoimenpiteitä. Kaikki koneen elinkaaren aikana kohtuudella ennakoitavissa olevat vaarat, vaaratilanteet ja vaaralliset tapahtumat täytyy tunnistaa. Koneen elinkaari jaetaan neljään vaiheeseen, jotka ovat

- Kuljetus, kokoonpano ja asennus
- käyttöönotto
- käyttö
- käytöstä poisto, purku ja hävittäminen

Jotta kaikki vaarat voidaan tunnistaa, on tunnistettava koneella suoritettavat käyttötoiminnot ja kaikki muutkin toiminnot, joita koneen kanssa vuorovaikutuksessa olevat henkilöt suorittavat koneen elinkaaren aikana. (SFS-EN ISO 14121-1)

3.2.3 Riskin suuruuden arviointi

Vaaran tunnistamisen jälkeen jokaiselle vaaratilanteelle täytyy suorittaa riskin suuruuden arviointi. Riskin suuruus arvioidaan määrittelemällä riskin osatekijät. Osatekijöitä ovat vahingon vakavuus ja vahingon esiintymistodennäköisyys. Vahingon vakavuutta arvioidaan usein huomioimalla vammojen ja terveyshaittojen vakavuus sekä vahingon laajuus. Kuvassa 3.5 esitetään tarkemmin riskin muodostuminen osatekijöistä. (SFS-EN ISO 14121-1)



Kuva 3.5 Riskin osatekijät (SFS-EN ISO 14121-1)

3.2.4 Riskin merkityksen arviointi

Kun mahdollisten riskien suuruudet on arvioitu, on tehtävä riskin merkityksen arviointi, jonka perusteella voidaan päättää onko riskin pienentäminen tarpeellista. Jos riskiä tarvitsee pienentää, täytyy valita ja soveltaa sopivia suojaustoimenpiteitä, minkä jälkeen arviointimenettely tehdään uudestaan. Riskin pienentämisen iteratiivista prosessia suoritettaessa on myös tarkistettava aiheuttavatko suojaustoimenpiteet uusia riskejä tai suurentavatko ne muita riskejä. (SFS-EN ISO 14121-1)

3.3 Ohjausjärjestelmän turvallisuusperiaatteet

Konedirektiivi asettaa myös ohjausjärjestelmälle turvallisuusvaatimuksia. Koska vaatimuksia on paljon, tässä esitellään lyhennetty ja yksinkertaistettu luettelo vaatimuksista. Seuraavaan luetteloon on listattu keskeisimpiä vaatimuksia, joita liikealustan ohjausjärjestelmässä on huomioitava. (Siirilä 2008, 113)

- Järjestelmän pitää kestää normaalin käytön ja ulkoisien tekijöiden vaikutukset.
- Mikään vika ohjauslaitteistossa ja ohjelmistossa ei saa aiheuttaa vaaratilannetta.
- Kohtuudella ennakoitavissa olevista inhimillisistä erehdyksistä ei saa aiheutua vaaratilannetta.

- Hallintaelimien on sijoitettava koneen käyttäjälle turvallisessa paikassa.
- Kone saa käynnistyä pysäytyksen jälkeen vain siten, että käyttäjä käynnistää koneen tarkoituksellisesti.
- Kun kone on pysähtynyt, käyttöenergian syötön sen toimilaitteisiin on katkettava.
- Kaikilla koneen työskentelypaikoilla täytyy olla hätäpysäytin tai vastaava, jolla kone voidaan pysäyttää.
- Energian syötön jälleenkytkeytyminen katkoksen jälkeen tai mikään häiriö ei saa johtaa koneen käynnistymiseen itseksensä tai muuhun vaaratilanteeseen.

Riskejä voidaan pienentää eri menetelmillä. Menetelmän valinta vaikuttaa paljon ohjausjärjestelmältä vaadittavaan suoritustasoon. Jos riskien vähentäminen perustuu pääosin kiinteisiin suojuksiin, ohjausjärjestelmä ei vaikuta turvallisuuteen kovinkaan paljoa. Jos liikkuvat osat ovat suojaamattomia ja turvallisuus perustuu esimerkiksi valosähköisiin turvalaitteisiin, ohjausjärjestelmä vaikuttaa merkittävästi turvallisuuteen. Tällöin ohjausjärjestelmän täytyy pysäyttää kone luotettavasti aina, kun turvalaitteen havaitsemisalueelle mennään. Tässä tapauksessa ohjausjärjestelmältä vaaditaan paljon suurempaa luotettavuutta, kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. (Siirilä 2008, 115)

Riskinarviointi on dokumentoitava tarkasti ja huolellisesti. Riskin arvioinnin asiakirjoissa on osoitettava noudatettu menettely ja saavutetut tulokset. Standardissa SFS-EN ISO 14121-1 esitetään mitä tietoja riskin arvioinnin asiakirjoissa pitää esittää. (SFS-EN ISO 14121-1)

Koneen mukana on aina toimitettava jollain Euroopan talousalueen kielellä tehdyt alkuperäiset käyttöohjeet ja käyttäjämäärä kielelle käännetty käyttöohjeet. Koneturvallisuuden perusstandardista SFS-EN ISO 12100-2 löytyy ohjeiden perusasioita käsitteleviä vaatimuksia. (Siirilä 2008, 70)

Ennen koneen käyttöön ottoa ja ennen kuin sille voidaan antaa vaatimustenmukaisuusvakuutus, on tehtävä koneiden sähkölaitteistostandardin SFS-EN 60 204-1 mukaiset mittaukset. Myös koneen omassa tuotestandardissa voidaan esittää vaadittavia testejä. Kaikille koneille on tehtävä käyttöönottotarkastus, jossa tarkastetaan, että kone on vaatimusten mukainen. (Siirilä 2008, 41)

Koneita suunniteltaessa kuuluu siis ensin selvittää onko suunniteltavaa konetta koskevaa C-tyyppin standardia olemassa. Jos C-tyyppin standardi löytyy, siitä yleensä selviää, mitä B-tyyppin standardeja suunnittelussa tarvitaan. Lisäksi C-tyyppin standardista yleensä selviää, mitä A- ja B-tyyppin standardeissa esitettäviä vaatimuksia on noudatettava C-tyyppin standardin vaatimuksien lisäksi. C-tyyppin standardien vaatimukset ovat ensisijaisia B-tyyppin standardeihin nähden. C-tyyppin standardit esittävät tarkat tuotekohtaiset turvallisuusvaatimukset. Standardien perusteella suoritetaan sitten riskien arviointi ja tarvittaessa riskien pienentäminen. Kun kaikki vaatimukset on huomioitu, koneelle voidaan antaa vaatimustenmukaisuusvakuutus ja koneeseen voidaan kiinnittää CE-merkki.

4. LIIKEALUSTAN SUUNNITTELU

Aluksi valitaan aikaisempien kokemusten perusteella liikealustan rakenteen tyyppi ja selvitetään liikealustan liikenopeusvaatimukset mittaamalla simulaattoripelistä ajoneuvon kiihtyvyydet. Liikealusta suunnitellaan mittausdatan ja asetettujen vaatimusten perusteella. Toimilaitteiden vaatimukset määritetään simulointimallia käyttäen. Toimilaitteita ja hintakyselyiden perusteella valitaan toimilaitteet. Toimilaitteiden valinnan jälkeen suunnitellaan liikealustan mekaaninen rakenne valmiiksi. Mekaanisen rakenteen suunnittelussa käytetään simuloituja rasituksia. Mekaanisen rakenteen suunnittelun jälkeen päivitetään simulointimalli valituilla toimilaitteilla ja suunnitelmien mukaisella mekaanisella rakenteella. Lopuksi varmistetaan toimilaitteiden ja rakenteen riittävyys ja sopivuus. Toimilaitteiden valinnassa ja rakenteen mitoituksessa suoritetaan uusi iteraatiokierros, jos se on tarpeellista. Liikealustan suunnitteluun kuuluu myös ohjausjärjestelmän suunnittelu.

Viihdekäyttöön tarkoitettavaa liikealustaa suunniteltaessa vaatimukset ovat eri tasoa, kuin tuotekehityskäyttöön tarkoitetuilla liikealustoilla. Viihdesimulaattoriliikealustalle riittää, että saadaan aikaan ajamisen tunnelma ja ajaminen tuntuu viihdyttävältä. Näin ollen liikealustalta ei vaadita yhtä suurta tarkkuutta kuin tuotekehitykseen tarkoitetuilta liikealustoilta. Monipuolisen käyttäjäryhmän takia liikealustan on tärkeää olla helppokäyttöinen ja säädettävissä käyttäjän taitotason mukaan. Suunnittelussa käytetään apuna seuraavia ohjelmia.

- Matlab R2006b: Pelistä tulevan kiihtyvyyssdatan tallentamiseen ja kiihtyvyyssdatan lähettämiseen liikealustalle testausvaiheessa.
- SolidWorks 2008: runkorakenteiden ja ohjaamon ulkokuoren suunnitteluun
- Mathcad: runkorakenteiden lujuusopin kaavoihin perustuvien lujuuslaskelmien suorittamiseen
- Adams View: liikealustan dynamiikan simulointiin
- LabVIEW 7.1: liikealustan suorituskyvyn mittaamiseen

4.1 Alustava rakenne

Liikealustatyypin valintaan keskityttiin erikoistyössä, jossa liikealustan suunnittelu alkoi. Erikoistyössä perehdyttiin erilaisiin liikealustaratkaisuihin, joita ovat kehittäneet niin ammattilaiset kuin harrastelijatkin. Valinnassa annettiin suurta painoarvoa kohtalaisen suurille ja pitkäkestoisille kiihtyvyyksille. Lisäksi rakenteen edullisuutta pidettiin tärkeänä, koska oli tavoitteena rakentaa liikealusta, johon keskituloisella yksityishenkilöllä on hyvin varaa. Muun muassa näiden kriteerien perusteella päädyttiin gimball-tyyppiseen liikealustan rakenteeseen. Kuvassa 4.1 esitetään erikoistyössä kehitetty liikealusta.



Kuva 4.1 Erikoistyössä kehitetty liikealusta

Valitussa liikealustatyypissä runkorakenne kannattelee kuljettajan ja liikkuvien osien painoa, jolloin toimilaitteilta ei tarvita voimaa kuin liikealustaa liikuttaessa. Käytännössä liikkuvan massan massakeskipistettä ei saada helposti muun muassa eri painoisien kuljettajien takia täysin nivelakselien leikkauspisteeseen. Siksi toimilaitteilta vaaditaan hieman voimaa myös paikallaan ollessa. Joka tapauksessa voidaan valita muita ratkaisuita pienemmät ja siksi edullisemmat toimilaitteet,

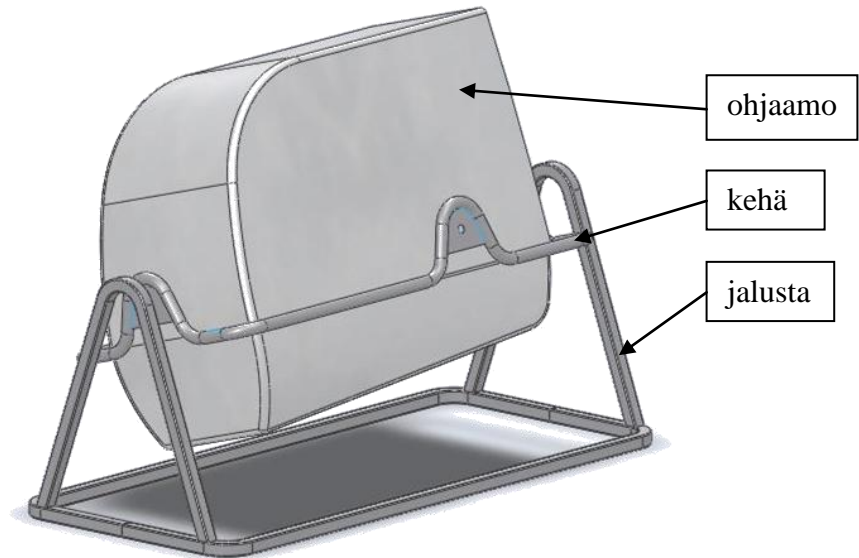
koska runko kantaa suurimman osan kuormasta. Lisäksi valitulla liikealustatyypillä saavutetaan helposti ± 45 asteen liikealue, jolloin kuljettaja kokee $0,5 G$:n suuruisen kiihtyvyyden tunteen. Liikealustatyypillä voidaan saavuttaa jopa 90 asteen kallistuma, jolloin kuljettaja kokee yhden G :n suuruisen kiihtyvyyden.

Kilpa-autolla radalla ajettaessa kiihdytetään voimakkaasti suoran alussa, jarrutetaan tehokkaasti ennen kaarretta ja ajetaan kaarteessa mahdollisimman suurella nopeudella. Näissä tilanteissa kuljettajaan kohdistuu suuria pitkäkestoisia kiihtyvyyksiä. Lyhytkestoisia kiihtyvyyksiä esiintyy pääasiassa pystysuunnassa, kun ajetaan epätasaisuuksien yli. Näiden tietojen ja ensimmäisestä prototyypistä saatujen käyttäjäkokemusten perusteella tässä työssä jatketaan erikoistyössä valitun liikealustatyypin kehittämistä, eikä vaihdeta toisen tyyppiseen liikealustaan. Jatkokehittävässä liikealustassa on kaksi vapausastetta. Liikealustan ohjaamo kallistuu X- ja Y-akselien ympäri. Liikealustasta puuttuva pystysuuntainen liike pyritään korvaamaan istuimeen asennettavalla tärstimellä, joka tärnistää istuinta ajettaessa epätasaisella pinnalla. Liikealusta koostuu kolmesta pääkomponentista, jotka ovat jalusta, kehä ja ohjaamo. Liikealustan alustavan suunnitelman mukainen rakenne ja pääkomponentit esitetään kuvassa 4.2. Alustava rakenne mitoitetaan edellisen prototyypin mittojen perusteella.

Aikaisemmalla prototyypillä saatujen käyttäjäkokemusten perusteella ± 45 asteen liikealue on varsin riittävä. Kokemattomille simulaattorikuljettajille riittää selvästi pienempikin kallistuskulma. Liikealusta pyritään suunnittelemaan mahdollisimman turvalliseksi. Suunnittelussa on tavoitteena myös yhdistää tyylikäs muotoilu rakenteelle asetettaviin teknisiin vaatimuksiin. Tärkeimmät liikealustalle asetettavat vaatimukset esitetään seuraavassa luettelossa.

- Ohjaamon ja kehän yhteisen massakeskipisteen on sijaittava X- ja Y-akseleiden leikkauskohdassa. Tällöin toimilaitteisiin ei kohdistu maan gravitaatiovoimasta syntyviä vääntömomenteja.
- Molempien akselien liikealueen oltava ± 45 astetta.
- Ohjaamoon kulkemiselle on oltava mahdollisimman vähän esteitä.

- Liikealustan on oltava turvallinen.



Kuva 4.2 Liikealustan alustava suunnitelma

4.2 Pelistä tulevan kiihtyvyyksien mittaaminen

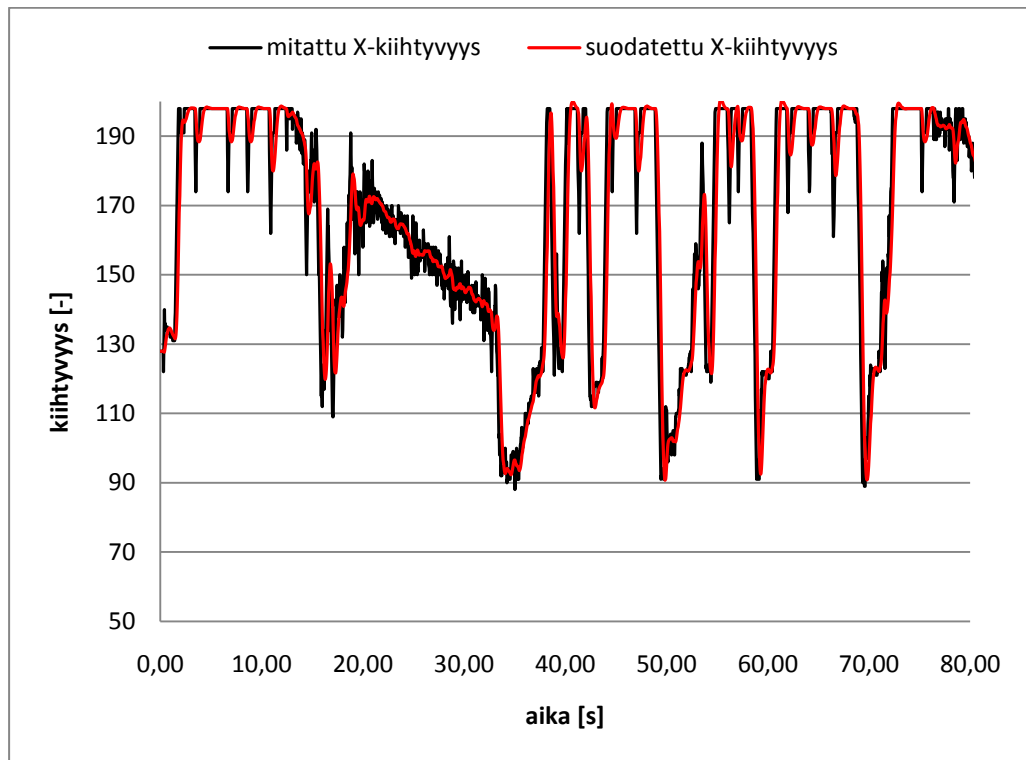
Pelissä liikkuvan auton kiihtyvyyksien muutosnopeus määrittää liikealustalta vaadittavan liikenopeuden ja toimilaitteilta tarvittavan vääntömomentin suuruuden. Siksi kiihtyvyyksien mittaaminen on tarpeellista liikealustan suunnittelua varten. Koska liikealustassa on kaksi vapausastetta, mitataan kaksi kiihtyvyyttä. Mitattavat kiihtyvyydet ovat X-akselin ja Y-akselin suuntaiset kiihtyvyydet.

Kiihtyvyyksien mittaamiseen käytetään kahta tietokonetta. Simulaattoripeliä suoritetaan ensimmäisellä tietokoneella. Pelissä liikkuvan auton kiihtyvyyksiä lukeva ohjelma lähettää kiihtyvyyksiä ensimmäisen tietokoneen sarjaporttiin kahdeksan bittisinä tavuina, joissa arvo 128 vastaa tilaa, jolloin auto ei ole kiihtyvässä tilassa. Kiihtyvyydet luetaan toisen tietokoneen sarjaportista Matlab-ohjelmalla, joka myös tallentaa vastaanotetut kiihtyvyyksien tiedot kiihtyvyyksimatriisiin. Kiihtyvyyksimatriisissa on kolme saraketta. Ensimmäisessä

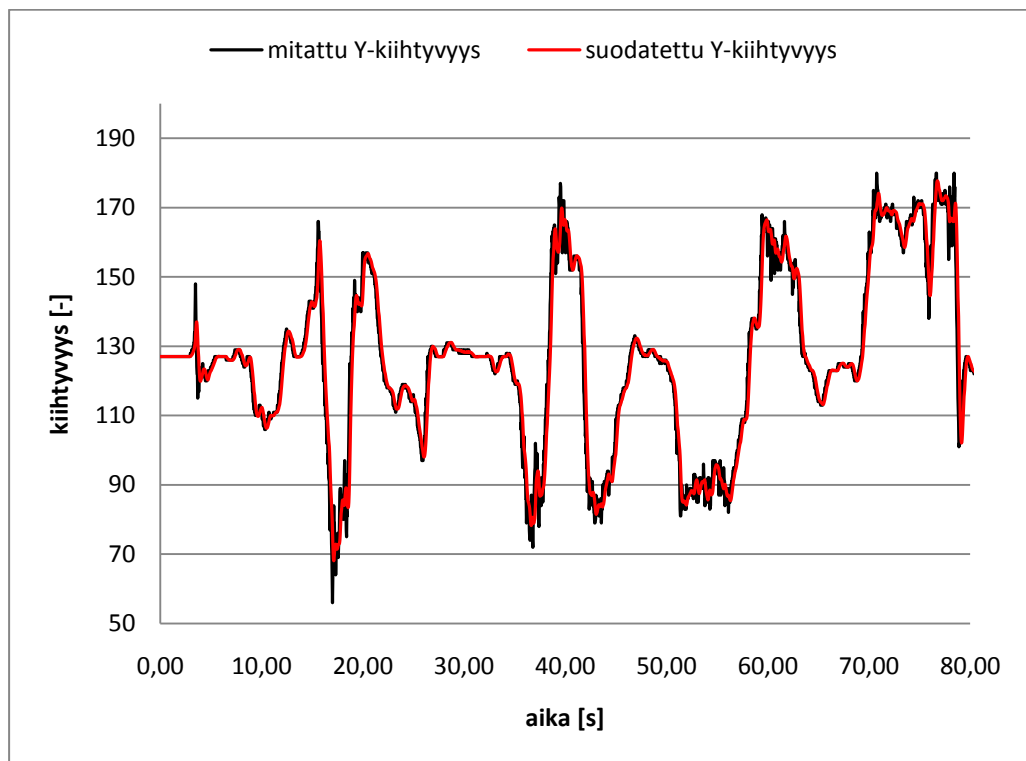
sarakkeessa on mittauksen ajankohta. Toisessa ja kolmannessa sarakkeessa ilmoitetaan X- ja Y-akselien suuntaiset kiihtyvyydet tietyssä ajanhetkenä.

Mittauksissa ajetaan GTR2-rata-autoilupeliä. Mittauksissa käytetään Ferrari 550 Maranello-autoa, koska se on yksi pelin nopeimmista autoista. Liikealustalta vaadittava suorituskyky kasvaa suoraan verrannollisesti auton suorituskykyyn. Pelin pelaamiseen käytettävät peliohjaimet vaikuttavat myös kierrosaikaan. Koska laadukkaammilla ohjaimilla kuljettaja saa paremman tuntuman autoon, pystytään ajamaan nopeammin. Siksi myös auton ohjaamiseen käytettävät ratti ja polkimet vaikuttavat mitattavaan kiihtyvyyssignaaliin. Mittauksia suoritettaessa peliohjaimena käytetään Logitech G25-ohjainta. Mittaukset suoritetaan Belgian Spa-radalla. Spa-rata tarjoaa pitkän suoran, jonka alussa kiihdytetään huippunopeuteen. Suoran päässä jarrutetaan voimakkaasti. Lisäksi rata tarjoaa hitaita ja nopeita kaarteita. Radalla ajettaessa kuljettajaan kohdistuu siis monipuolisesti erilaisia kiihtyvyyksiä, joten rata soveltuu hyvin mittauksien tekemiseen. Kuvissa 4.3 ja 4.4 esitetään 80 sekunnin ajalta X- ja Y-akseleiden suuntaiset pelistä mitatut kiihtyvyyssignaalit. Kuvien 4.3 ja 4.4 vaaka-akseleilla esitetään aika ja pystyakseleilla kiihtyvyys. Pystyakselin arvot eivät vastaa mitään yksiköitä.

Mittaus alkaa auton ollessa paikallaan radan ensimmäisen pitkän suoran alussa. X-akselin suuntainen kiihtyvyys kuvaa auton eteenpäin kiihtymistä ja Y-akselin suunteinen kiihtyvyys kuvaa keskeiskiihtyvyyttä kaarteissa. X-akselilla on liikkeelle lähdeittäessä pieni nykäys, kun vetävät renkaat sutivat. Sen jälkeen alkaa voimakas kiihdytys, johon vaihteiden vaihto aiheuttaa nykäyksiä. Kuudennella vaihteella kiihtyvyys alkaa laskea jo ennen voimakasta jarrutusta ja niin edelleen. Y-akselin signaalissa on pieniä vaihteluita pitkällä suoralla ajettaessa. Jarrutuksen kanssa samanaikaisesti noin ajanhetkellä 15 sekuntia alkaa ensimmäinen kaarre oikealle, joka aiheuttaa Y-suuntaisen kiihtyvyyden kasvun. Sen jälkeen radalla on useampi kaarre peräkkäin. Kiihtyvyyksiä mitattaessa tallennettiin yhden kierroksen ajo.



Kuva 4.3 Pelistä mitattu ja suodatettu X-akselin suuntainen kihtiivvys



Kuva 4.4 Pelistä mitattu ja suodatettu Y-akselin suuntainen kihtiivvys

4.3 Simulointimalli

Simulointimalliin kuuluu pelistä mitatun kiihtyvyyssignaalien suodatus ja skaalaaminen liikealustan liikealueelle, liikealustan dynamiikkamalli sekä tuloksien jälkikäsittely. Simulointimallin rakenne esitetään kuvassa 4.5.



Kuva 4.5 Simulointimalli

Simulointien suorittamiseen käytetään Adams View-ohjelmaa. Pelistä mitattu kiihtyvyyssignaalit tuodaan Adams:iin, jossa se suodatetaan ja skaalataan. Kiihtyvyyssignaalit suodatetaan toisen asteen analogisella Butterworth-alipäästösuodattimella, jonka rajataajuus on 1,5 Hz. Kiihtyvyyssignaaleista suodatetaan terävimmät piikit, koska ne lisäävät merkittävästi toimilaitteilta vaadittavaa vääntömomenttia, joka lisää toimilaitteiden hintaa. Ylimääräinen värinä rasittaisi myös liikealustan rakenteita. Lisäksi kova värinä tuntuu epämiellyttävältä ja on epäterveellistä ihmiselle. Kuvissa 4.3 ja 4.4 esitetään myös suodatetut kiihtyvyyssignaalit. Suodatuksen jälkeen pelistä mitattua dataa skaalataan siten, että sen arvot asettuvat liikealustan liikealueelle ± 45 astetta. Suodatettua ja skaalattua signaalia käytetään simulointimallissa liikealustan ohjaussignaalina.

Dynamiikkamalliin mallinnetaan liikealustan dynamiikkaan eniten vaikuttavat komponentit, jotka ovat ohjaamo, kuljettaja ja ohjaamon oleelliset osat, sekä kehä, Y-akselin toimilaite ja lisäpainot. Kuljettaja vastaa karkeasti ihmisen muotoja, jolloin kuljettajan massan jakautuminen tulee huomioitua. Jalustaa ja X-akselin toimilaitetta ei mallinneta dynamiikkamalliin, koska ne eivät ole liikkuvia osia. Lisäpainojen tehtävänä on siirtää liikkuvien osien yhteistä massakeskipistettä

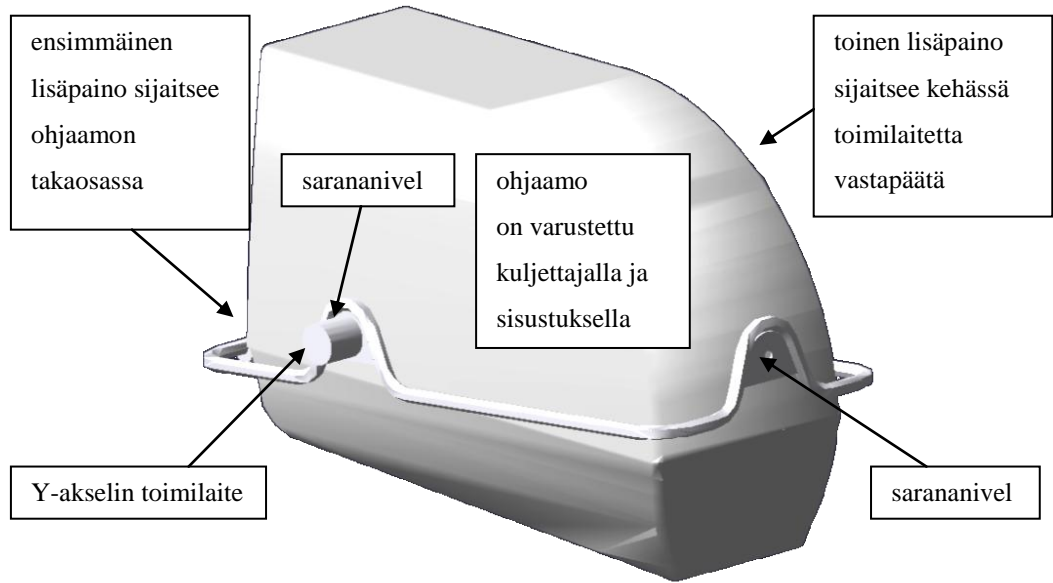
nivelakselien leikkauskohtaan. Ensimmäinen lisäpaino kiinnitetään ohjaamon takaosaan ja toinen kehään toimilaitteen vastaiselle puolelle.

Dynamiikkamallin komponentit mallinnetaan jäykkinä, joten dynamiikkaan vaikuttavat vain komponenttien geometriat ja inertiat. Dynamiikkamallissa ei approksimoitu nivellaakereiden ja toimilaitteiden vaimennuksia. Dynamiikkamalli esitetään kuvassa 4.6. Kuvassa ei näy lisäpainoja, koska ne jäävät ohjaamon taakse piiloon. Dynamiikkamallin komponenttien massat esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Simulointimallin komponenttien massat

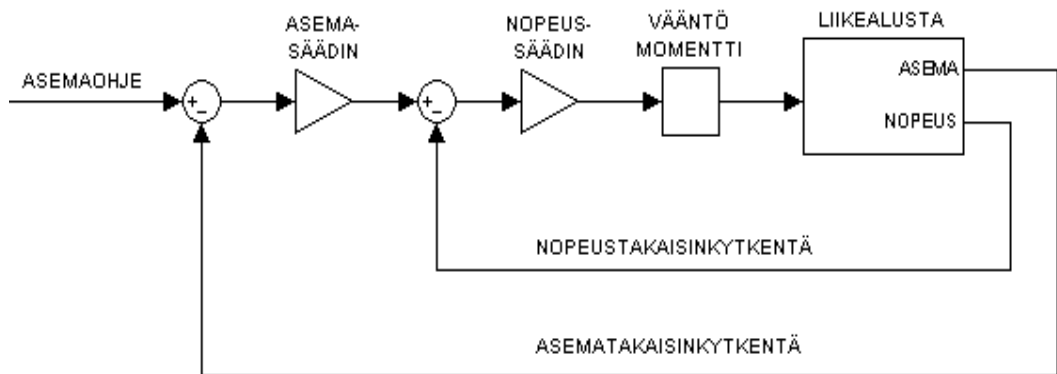
Komponentti	massa [kg]
ohjaamon runko	35
kuljettaja	80
muu ohjaamon sisustus	15
kehä	65
Y-akselin toimilaite	25
ensimmäinen lisäpaino	40
toinen lisäpaino	20

Kehä kiinnitetään sarananivelellä maahan ja ohjaamo kiinnitetään saranivelellä kehään. Sarananivelet ovat yhden vapausasteen niveliä, jotka sallivat pelkästään kiertymisen valitun akselin suhteen. Toimilaitteet mallinnetaan vääntömomentteina. Ensimmäinen vääntömomentti mallinnetaan kehän ja maan välille, koska jalustaa ei mallinneta. Toinen vääntömomentti sijoitetaan kehän ja ohjaamon välille.



Kuva 4.6 Dynamiikkamalli

Vääntömomenttien suuruutta säädetään P-säätäjällä, jonka ohjearvona käytetään mitattua ja käsiteltyä kiihtyvyydataa, jonka arvot vastaavat ohjaamon ja kehän kallistuskulmia. Kiihtyvyyden arvot vastaavat suoraan kallistuskulmia, koska käytettävissä liikealustatyypissä kuljettajan kokema G-voiman tunne on suoraan verrannollinen ohjaamon kallistumaan. Säätäjä paikoittaa ohjaamon tai kehän asema- ja nopeustakaisinkytkentöjä käyttäen. Säätäjän kaaviokuva esitetään kuvassa 4.7. Säätäjässä käytetään asematakaisinkytkennän lisäksi nopeustakaisinkytkentää, koska pelkällä asematakaisinkytkennällä säätäjää ei saada stabiiliksi jäykistä komponenteista ja vaimennuksen puutteesta johtuen.

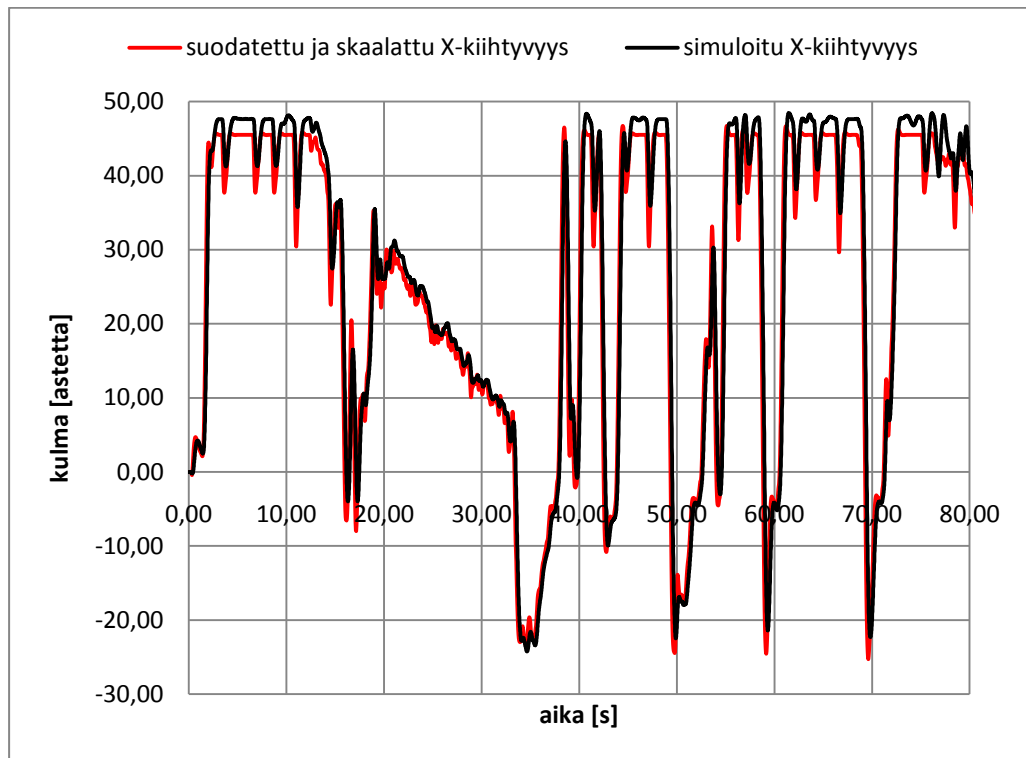


Kuva 4.7 Aemasäätäjä

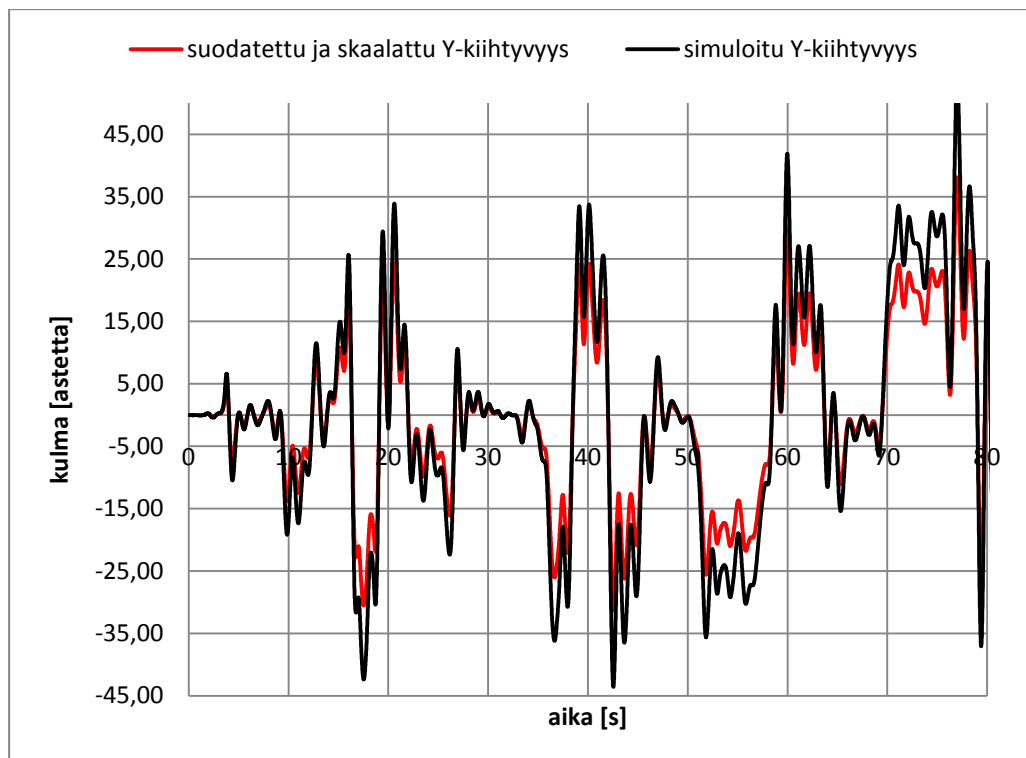
Säätäjä viritetään kokeellisesti muuttamalla asemasäätimen ja nopeussäätimen kertoimien arvoja. Arvojen muuttamisen jälkeen suoritetaan lyhyt simulointi, jossa simulaatiomallille tehdään askelvastekoe. Askelvaste kokeessa askeleen suuruudeksi valitaan 45 astetta, koska se vastaa suurinta liikealustalta vaadittavaa liikettä. Koe aloitetaan vaakatasosta ja koe loppuu kun akseli on paikoittunut 45 asteen kulmaan.

Koska liikealustan hitausominaisuudet ovat erilaiset X- ja Y-akselien suhteen, edellä kuvattu säätäjän virittäminen tehdään erikseen molemmille akseleille. Kun liikealusta seuraa askelvastekokeen perusteella hyvin ohjaussignaalia, ohjaussignaali vaihdetaan käsitelty mittaussignaali. Käsitellyllä mittaussignaalilla ohjattaessa liikealusta liikkuu molempien akseliensa suhteen yhtä aikaa, joka vaikuttaa akseleiden dynamiikkaan. Kiihtyvyyssignaalitestien perusteella säätäjien kertoimille tehdään vielä hienosäätöä, kunnes liikealustan akselit saadaan seuraamaan ohjeitaan kuvien 4.8 ja 4.9 osoittamilla tarkkuuksilla. Kyseisissä kuvissa esitetään myös akseleiden asemareferensseinä käytetyt pelistä tulleet signaalit, jotka on suodatettu ja skaalattu.

Kuvista nähdään, että X-akselin suuntainen kiihtyvyys seuraa ohjettaan noin kahden asteen tarkkuudella. Y-akselin suuntainen kiihtyvyys puolestaan seuraa ohjettaan suurimman osan ajastaan viiden asteen tarkkuudella. Suurimpien kiihtyvyyshuippujen kohdalla liikealustan Y-akselin suuntainen kiihtyvyys ampuu noin kymmenen astetta yli ohjearvostaan. Yli ampumiset eivät haittaa, koska liikealueet pysyvät vielä liikealustan liikealueiden sisällä. Kuvista nähdään myös, että simulointimalli seuraa ohjettaan ilman havaittavaa viivettä, joka on tärkeämpää kuin pieni kulmaero referenssin ja simuloidun kulma-arvon välillä.



Kuva 4.8 Käsitelty mittaussignaali ja simuloitu X-akselin suuntainen kiihtyvyys

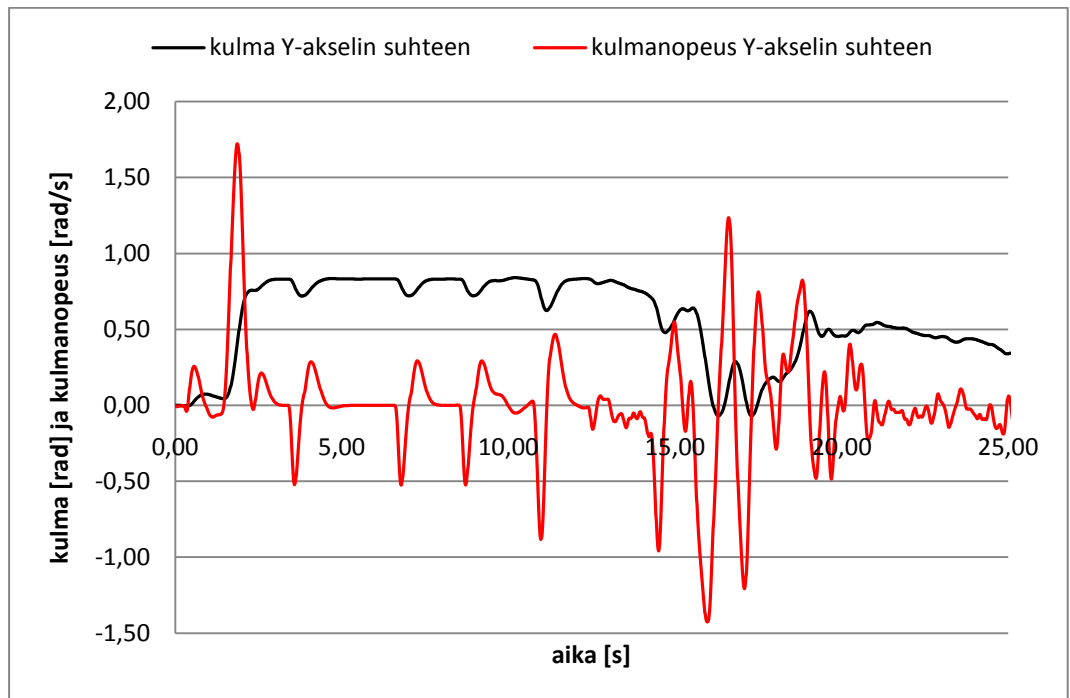


Kuva 4.9 Käsitelty mittaussignaali ja simuloitu Y-akselin suuntainen kiihtyvyys

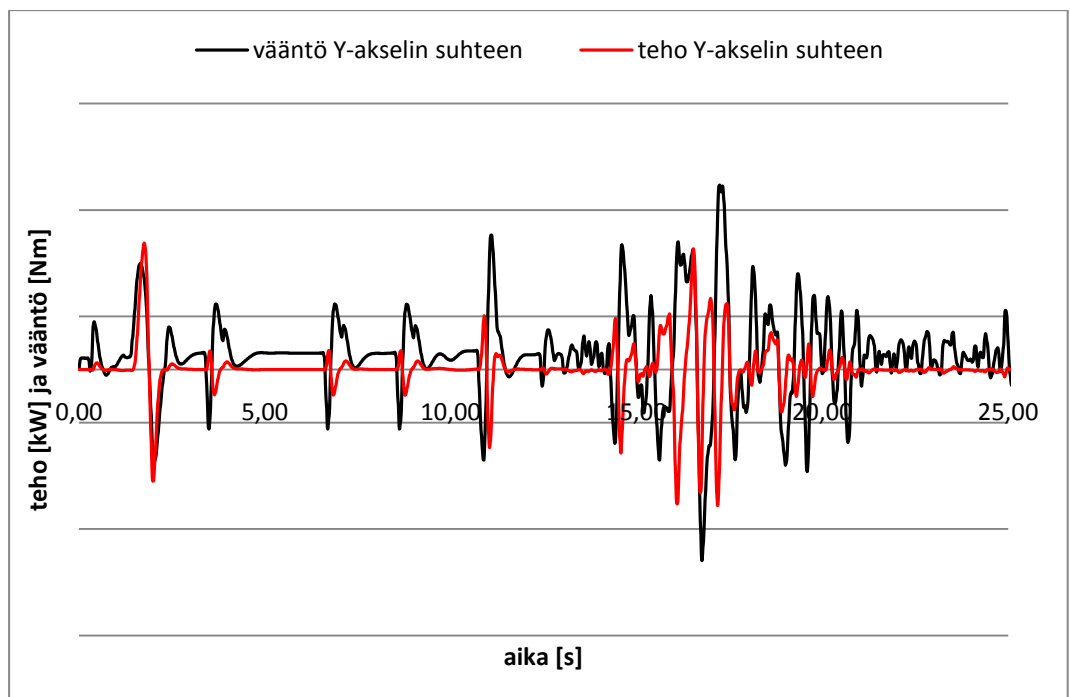
Säätäjien kertoimet X- ja Y-akseleilla ovat hieman erisuuruiset, koska akseleiden hitausominaisuudet ovat erilaiset. Lisäksi liikkuvien osien yhteinen massakeskipiste sijaitsee hieman erietäisyyksillä X- ja Y-akseleiden suhteen. Kun säätäjät on viritetty seuraamaan ohjeitaan hyväksyttävällä tarkkuudella, suoritetaan yhden rata kierroksen kestävä simulointi käsitellyllä mittaustalalla. Simuloinnin tuloksena saadaan toimilaitteiden vääntömomenttikäyrät ja pyörimisnopeuskäyrät, joista nähdään toimilaitteilta tarvittavat suurimmat vääntömomentit ja pyörimisnopeudet. Niiden perusteella voidaan laskea toimilaitteelta vaadittava teho ajan suhteen.

On tärkeää huomata, että kiertämällä liikealustaa Y-akselin suhteen, saadaan aikaiseksi X-akselin suuntainen kiihtyvyyden tunne ja päinvastoin. Vastaavasti esimerkiksi Y-akselin suuntaisen kiihtyvyyden suuruuden muuttamiseksi tarvitaan vääntömomenttia ja tehoa toimilaitteelta, joka kiertää liikealustaa X-akselin suhteen.

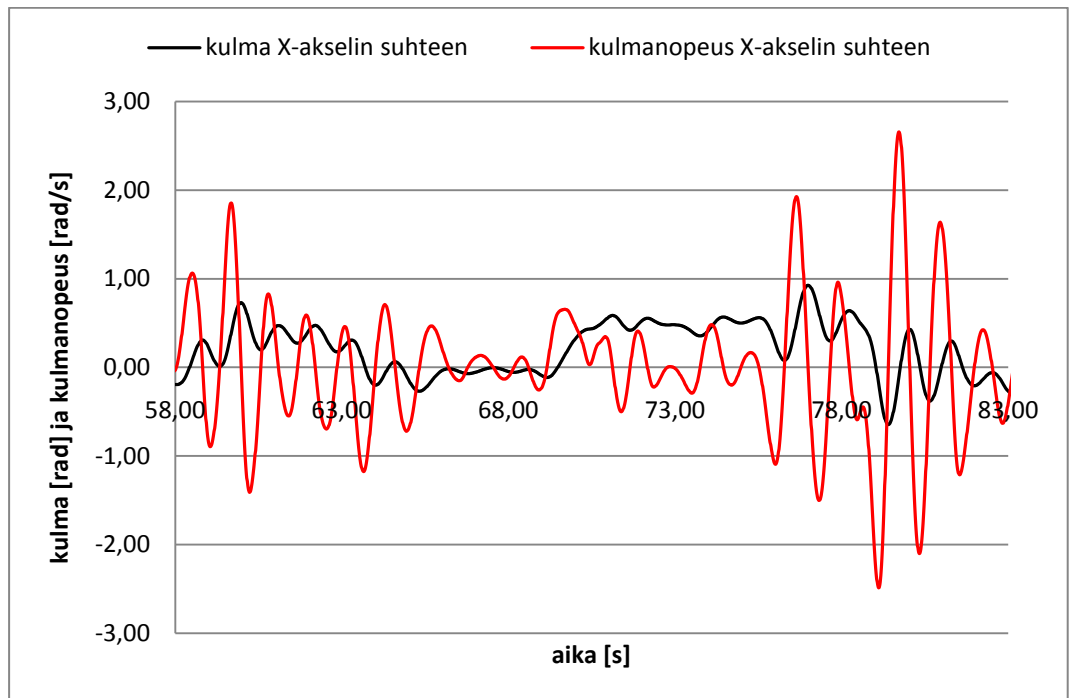
Alla esitettäviin käyriin on otettu 25 sekunnin mittaiset näytteet simuloitulta kokonaiselta kierrokselta. Näytteet on valittu siten, että niiden kohdalla ilmenee kyseisen suureen suurimmat arvot kierroksen ajalta. Momentti- ja tehokäyrissä ei esitetä asteikkoa, koska ne sisältävät tulevan liiketoiminnan kannalta oleellista tietoa. Simuloinnista saadaan myös niveliin kohdistuvat kuormitukset, joiden perusteella päivitetään rungolle tehdyt lujuuslaskelmat. Kuvassa 4.10 esitetään simuloitua kulma- ja kulmanopeuskäyriä Y-akselin suhteen ja kuvassa 4.12 esitetään vastaavat käyrät X-akselin suhteen. Kuvassa 4.11 esitetään simuloitua vääntö- ja tehokäyriä Y-akselin suhteen ja kuvassa 4.13 esitetään vastaavat käyrät X-akselin suhteen.



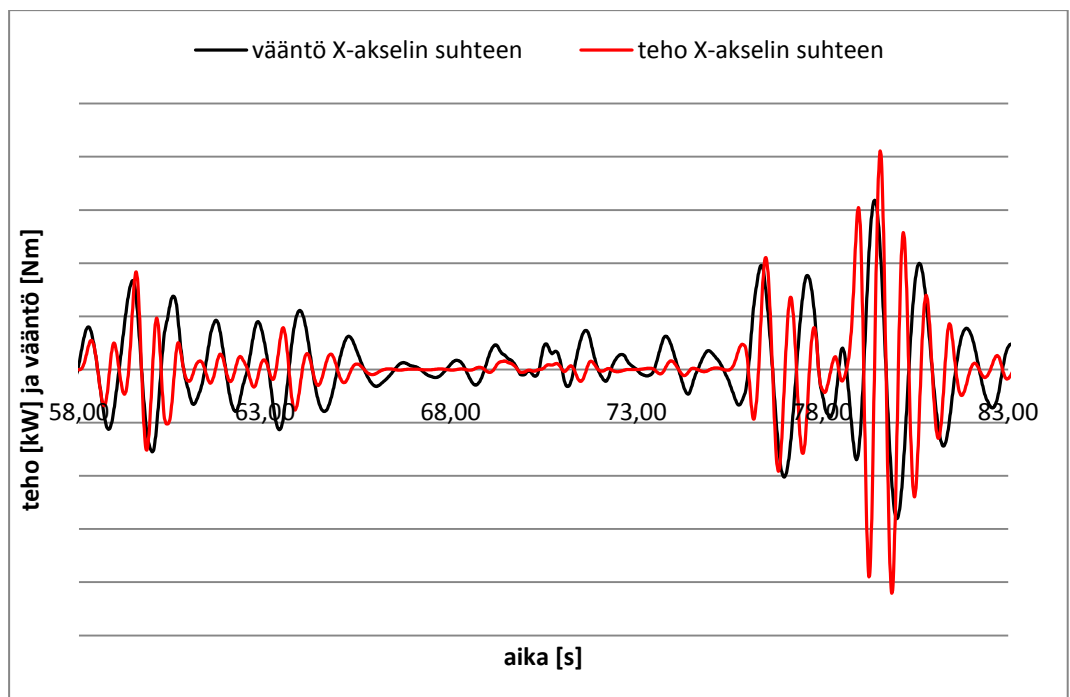
Kuva 4.10 Liikealustan kulma- ja kulmanopeuskäyrät Y-akselin suhteen



Kuva 4.11 Liikealustan vääntömomentti- ja tehokäyrät Y-akselin suhteen



Kuva 4.12 Liikealustan kulma- ja kulmanopeuskäyrät X-akselin suhteen

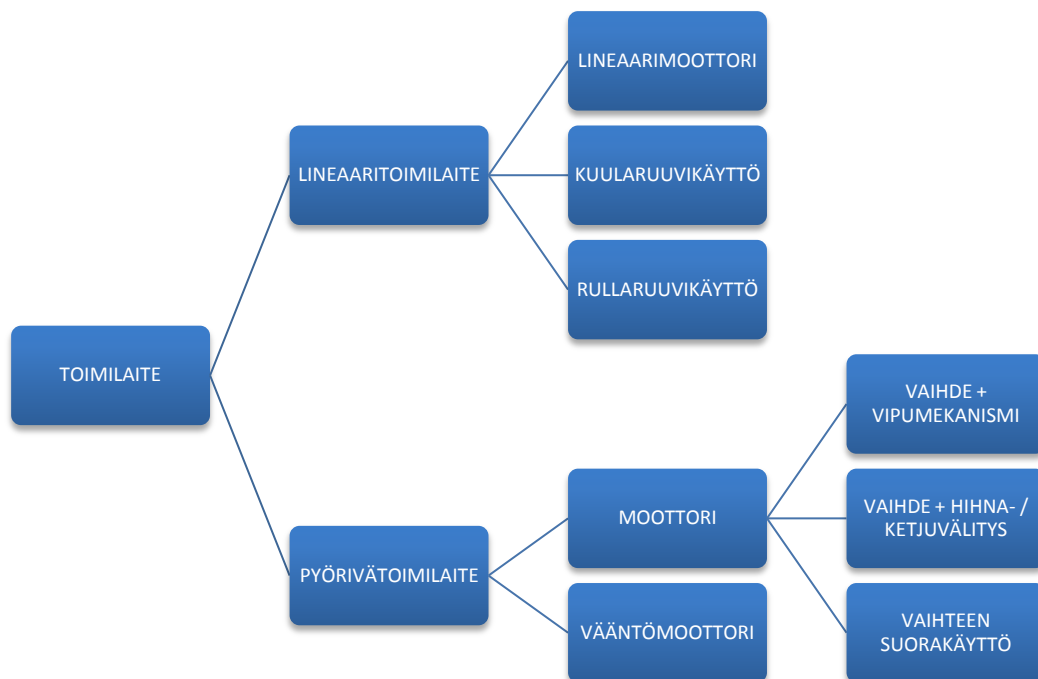


Kuva 4.13 Liikealustan vääntömomentti- ja tehokäyrät X-akselin suhteen

4.4 Toimilaitteiden valinta

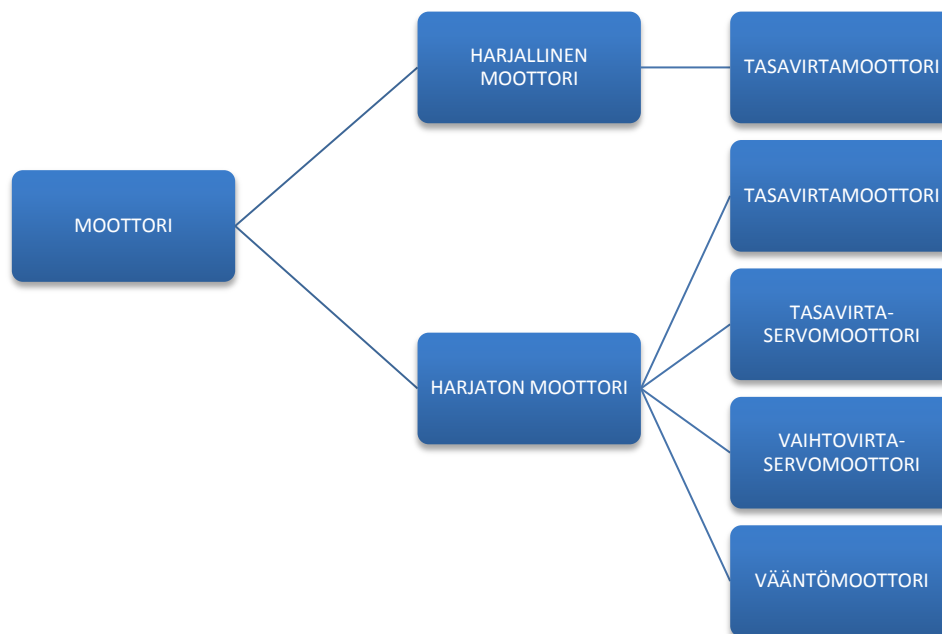
Mekatronisissa laitteissa käytetään yleensä sähköisiä, hydraulisia ja pneumaattisia toimilaitteita. Sähkömoottoreilla saavutetaan kohtuullinen vääntömomentti ja hyvät säätöominaisuudet. Sähkömoottorit ovat kestäviä ja luotettavia ja ne tuottavat ympäristölleen vain vähän haittaa. Hydraulisilla toimilaitteilla voidaan tuottaa suuria voimia ja momenteja ja niillä on suuri tehoteho. Parhaimmat hydraulijärjestelmät ovat säätöominaisuuksiltaan sähköservojen tasolla. Öljyvuodot ja hydraulikoneikon melu rasittavat kuitenkin toimintaympäristöä jossain määrin. Pneumatiikalla saadaan aikaan liikettä yksinkertaisilla, luotettavilla ja halvoilla komponenteilla. Liikenopeudet voivat olla suuria, mutta saavutettavat voimat ja momentit ovat alle 5 % hydraulikan arvoista. Jos pneumatiikalla halutaan toteuttaa tarkka paikoitusjärjestelmä, tarvitaan servoventtiileitä. Tällöin järjestelmän hinta nousee. (Airila 1993)

Toimilaitteiden käyttövoimaksi valitaan sähkö, koska se on sopivin ratkaisu kyseiseen liikealustaan. Liikealustaan soveltuvia sähköisiä toimilaiteratkaisuja on useita ja ne esitetään vaihtoehdoissa kuvassa 4.14.



Kuva 4.14 Toimilaiteratkaisun vaihtoehdot

Toimilaiteratkaisun valinnan jälkeen valitaan sopiva moottori. Soveltuvat moottorivaihtoehdot esitetään kuvassa 4.15.



Kuva 4.15 Moottorivaihtoehdot

Toimilaitteiden maahantuojille ja toimittajille tehtyjen hintakyselyiden jälkeen lineaaritoimilaitteenvaihtoehto hylättiin. Ilman vaihteistoa suoraan kytkettävä litteävääntömoottori olisi mielenkiintoinen vaihtoehto, mutta sopivaa vääntömoottoria ei löytynyt. Toimilaitteiden toimittajat suosittelivat suoraan käyttöä, jossa sähkömoottoriin kytketty vaihteisto kytketään suoraan kallistettavaan liikealustan osaan. Tällainen suoraan käyttö on nykyisin yleinen ratkaisu. Se on luotettava ja tarvitsee vain vähän huoltoa.

Ohjaamon ja kehän pyörimisnopeudet ovat pieniä verrattuna moottorin pyörimisnopeuteen. Lisäksi liikealustan kääntämiseen tarvitaan suuri vääntömomentti. Näin ollen moottoriin kytkettävän vaihteiston välityssuhteen on oltava kohtuullisen suuri. Ohjaamo ja kehä päätetään kytkeä suoraan vaihteiston ulostuloakseliin. Tällöin ei tarvita erillistä laakerointia toimilaitteen puolelle ja rakenne yksinkertaistuu. Näin ollen vaihteiston ulostuloakselin on kannatettava liikealustan massaa, mistä aiheutuu vaihteiston akselille radiaalinen kuorma, joka

täytyy huomioida vaihteistoa valittaessa. Vaihteistoon kohdistuu myös aksiaalisia kuormia liikealustan liikkeessa. Vaihteeksi valitaan planeettavaihde, koska sillä on korkea hyvähyötysuhde suurillakin välityssuhteilla ja sen hinta on kohtuullinen verrattuna muihin vaihteistotyyppisiin. Moottoriksi valitaan harjaton vaihtovirtaservomoottori hyvän tehosiheyden ja vähäisen huoltotarpeen takia. Moottori ja vaihteisto valitaan simuloitujen tulosten perusteella. Kuvassa 4.16 esitetään valittu moottori ja vaihde asennettuna.



Kuva 4.16 X-akselin servomoottori ja vaihde asennettuina liikealustaan

4.5 Mekaaninen rakenne

Liikealustan runkoa suunniteltaessa otetaan huomioon valmistusmenetelmän soveltuvuus sarjatuotantoon. Valmistusmenetelmäksi valitaan putken taivuttaminen ja taivutettujen osien hitsaaminen yhteen. Osien laakerointia ja toimilaitteiden kiinnittämistä varten putkiin hitsataan levyt, jotka voidaan leikata tehokkaasti levytyökeskuksella. Kun runko valmistetaan taivutetuista putkiosista, yhteen hitsattavien osien määrä ja hitsausliitosten määrä vähenee. Tämä lyhentää hitsaukseen kuluvaa aikaa ja kustannuksia. Putken taivutus on sarjatuotannossa nopeaa ja edullista hitsaukseen verrattuna, koska putken taivutukseen voidaan käyttää CNC-ohjattuja taivutuskoneita. Taivutettavaksi valitaan pyöreä teräsputki. Poikkileikkausprofiililtaan pyöreällä putkella on erinomaiset taivutus

ominaisuudet. Symmetrisyytensä ansiosta sen taivutusominaisuudet ovat samanlaiset kaikkiin suuntiin.

Putkirungon luonnostelun ja alustavan suunnittelun jälkeen valitaan rungon taivuttava konepaja tarjouksien perusteella. Sen jälkeen rungon taivutussäteet ja lopullinen muoto suunnitellaan valitun konepajan työkalujen perusteella. Seuraavilla sivuilla esitetään ohjaamon, kehän ja jalustan valmiit mallit.

Runkoputkille suoritetaan lujuuslaskut lujuusopin kaavoja käyttäen. Lujuusopin kaavoja valittaessa runko oletetaan koostuvan yksinkertaisista palkeista. Kehän lujuus voidaan laskea kaksitukisen palkin kaavalla. Todellisuudessa kehän taivutuksiin hitsattavat levyt jäykistävät kehää, joten yksinkertaistus suoraksi kaksitukiseksi palkiksi on turvallinen. Kehän täytyy olla jäykkä, koska vaihteiston akseli kiinnittyy siihen suoraan. Kehän taipuminen aiheuttaisi vaihteiston akseliin suuren taivutusmomentin. Kun kehä mitoitetaan riittävän jäykäksi, kehältä vaadittava lujuus ylittyy selvästi. Jalustan ja ohjaamon rakenteiden lujuuksia lasketaan ulokepalkin kaavoilla.

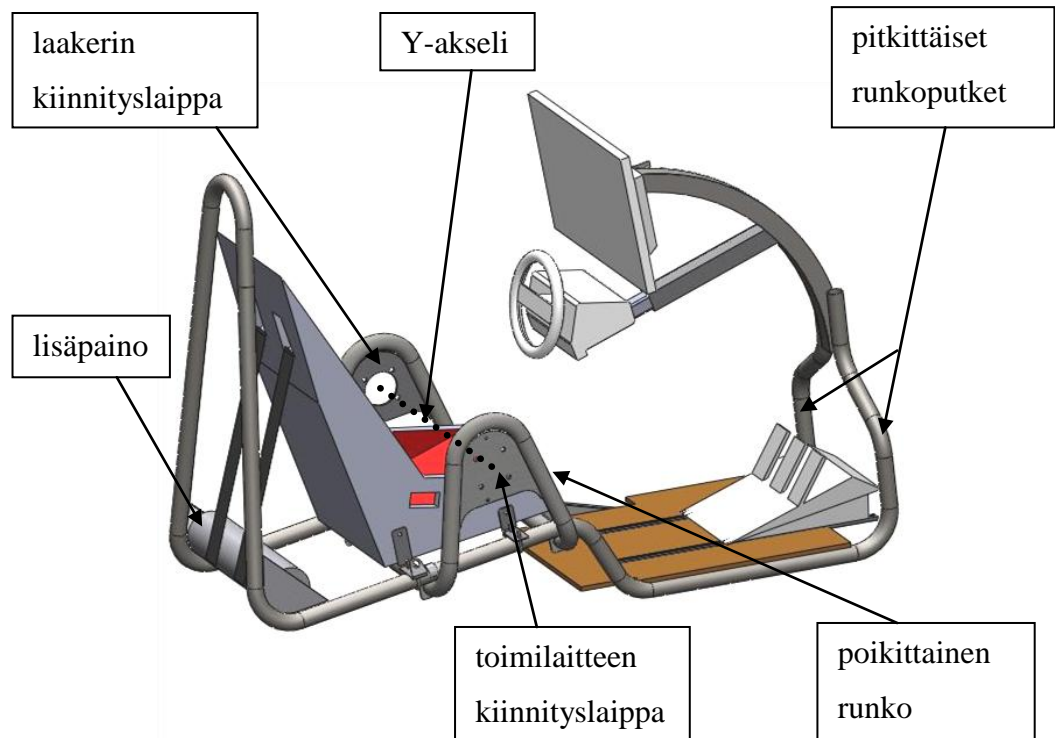
4.5.1 Ohjaamo

Runkorakenteiden mitoittaminen aloitetaan ohjaamosta. Ohjaamon jälkeen mitoitetaan kehä ja lopuksi jalusta. Mitoittaminen aloitetaan ohjaamosta, koska kuljettajalle on varattava riittävästi tilaa. Ohjaamo määrittelee kehältä vaadittavat mitat ja kehä määrittelee vastaavasti jalustan mitat. Ohjaamon mitoittaminen perustuu erikoistyössä tehtyihin kokeiluihin. Lisäksi mittoja suunniteltaessa otetaan huomioon ergonomiaa käsittelevät standardit. Koska simulaattorin halutaan palvelevan mahdollisimman suurta asiakasryhmää, ohjaamo mitoitetaan riittäväksi myös hieman standardi-ihmistä suuremmille henkilöille.

Ohjaamo suunniteltaessa huomioitavia asioita ovat ohjaamoon kulkemisen helppous ja ohjaamon massakeskipisteen osuminen Y-akselille. Koska eri kuljettajien massat voi erota yli 50 kg toisistaan, pyritään myös kuljettajan

massakeskipiste sijoittamaan Y-akselille, jolloin kuljettajan massa ei vaikuta ohjaamon kokonaismassakeskipisteen sijaintiin.

Ohjaamon rungon suunnittelussa päädyttiin kuvan 4.17 mukaiseen rakenteeseen. Runkoon kuuluu pitkittäinen ja poikittainen runko, jotka molemmat koostuvat kahdesta taivutetusta putkiosasta. Pitkittäisen rungon tehtävä on kannatella ohjaamon laitteita. Poikittaisen rungon vasemmalla puolella olevaan levyyn kiinnitetään laakeri ja oikean puoleiseen levyyn välitetään toimilaitteen vääntömomentti. Näin ollen poikittaisen rungon tehtävä on kannatella pitkittäistä runkoa ja siirtää siihen toimilaitteelta tuleva vääntömomentti.



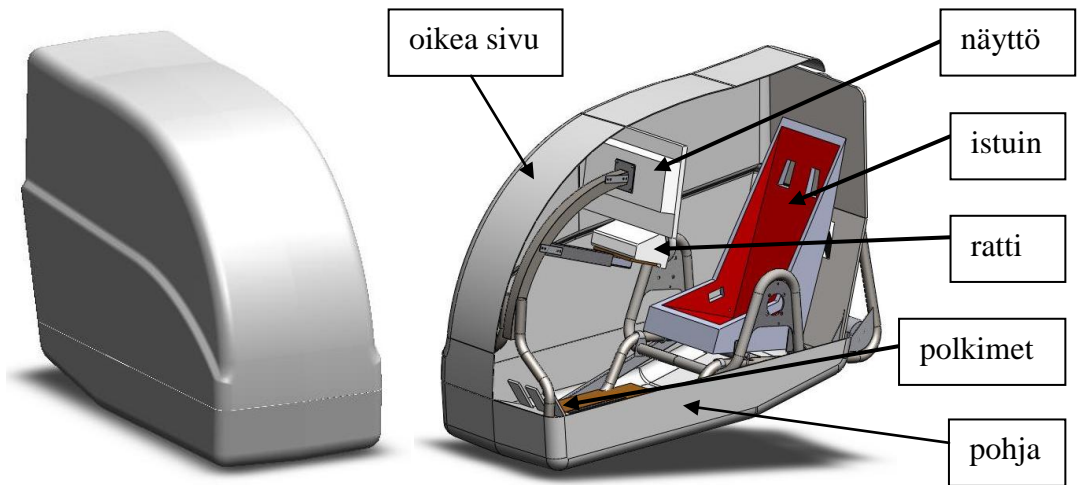
Kuva 4.17 Ohjaamon runko

Ohjaamon taakse asennetaan lisäpaino, että ohjaamon rungon massakeskipiste siirtyy kuljettajan massakeskipisteen kohdalle. Ratin ja polkimien etäisyyttä voidaan säätää. Penkin takana nousee putkikaari, joka suojaa kuljettajaa mahdolliselta törmäykseltä kehään häiriötilanteessa.

Ohjaamoon tehdään umpinaiset kuoret, että simulaatiokokemuksesta saadaan mahdollisimman uskottavan tuntuinen. Ilman kuoria kuljettaja näkee paikallaan pysyvän ympäristön ja hahmottaa sen avulla oman asentonsa. Ensimmäisellä prototyypillä tehtyjen kokeiden perusteella ohjaamon sulkeminen kuorilla parantaa liiketuntumaa merkittävästi.

Lämpömuovausmenetelmässä kestopuovilevy paksuudeltaan 0,5-8 mm muovataan muotin, lämmön ja alipaineen avulla haluttuun muotoon. Lämpömuovaus soveltuu pienien ja suurienkin sarjojen valmistukseen. Lämpömuovaus on nopea menetelmä ja siksi yksikkö kustannukset pysyvät matalina. (Volar Plastic OY) Lisäksi ABS-muovilla on hyvä iskunkestävyys, muotopitävyys ja pinnanlaatu (Vink).

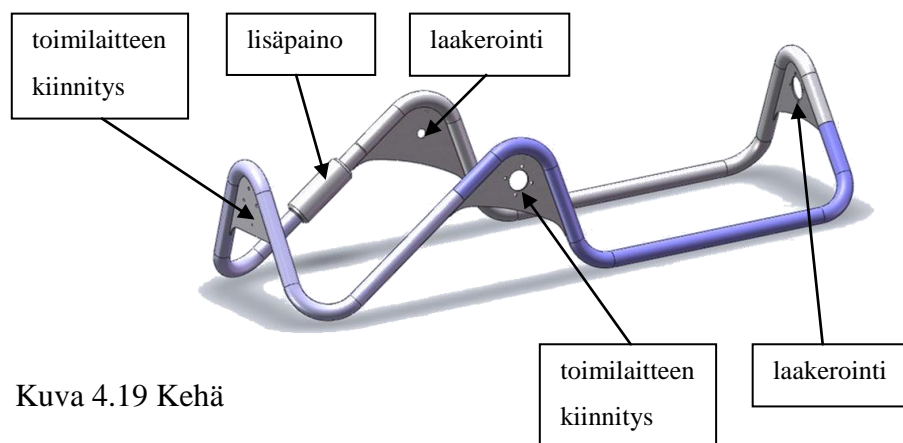
Kuoria suunniteltaessa täytyy huomioida myös valmistustekniset rajoitteet. Koska ohjaamon kuoret ovat isokokoiset verrattuna moniin muihin lämpömuovaustekniikalla valmistettaviin tuotteisiin, lämpömuovauskoneiden koko osoittautui rajoittavaksi tekijäksi. Hintakyselyiden ja muovauslaitteiden perusteella valitaan kuoret valmistava yritys. Kuoret täytyy valmistaa kolmesta osasta, jotta muotit mahtuvat lämpömuovauskoneeseen. Ensimmäinen osa on pohja. Toinen ja kolmas osa ovat vasen ja oikea sivu. Kuorien muodot suunniteltiin teollisenmuotoilijan kanssa yhteistyössä. Kuvassa 4.18 esitetään ohjaamon rakenne ja komponentit.



Kuva 4.18 Ohjaamo

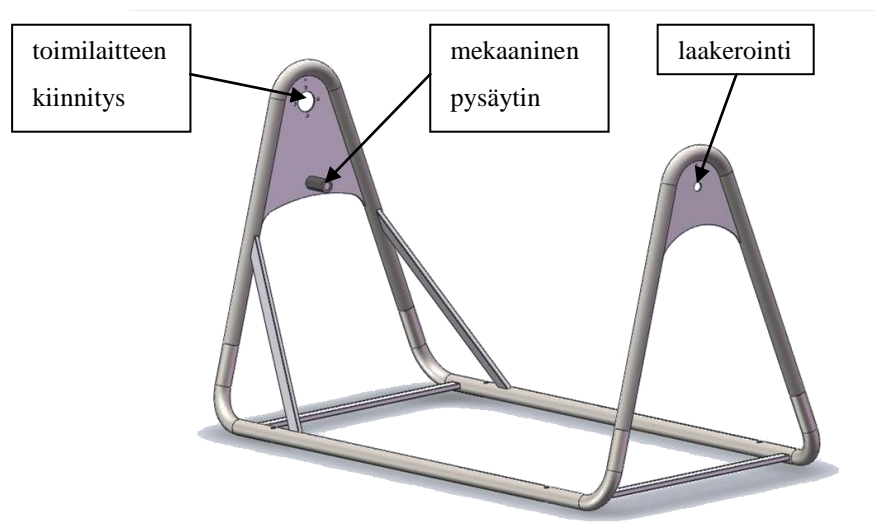
4.5.2 Kehä ja jalusta

Kehän tehtävänä on kannatella ohjaamo ja se mitoitetaan siten, että ohjaamo mahtuu liikkumaan sen sisällä. Kehän vasemmalle puolelle hitsattuun levyyn kiinnitetään laakerointi ja oikean puoleiseen levyyn toimilaite. Ohjaamo kiinnittyy niiden välille. Kehän etupäähän puolesta kiinnitetään X-akselin laakerointi ja takapäähän X-akselin toimilaite, joiden kautta kehä kiinnittyy jalusta. Ohjaamoon kuljettaessa kehä on kulkureitin edessä. Siksi kehään tehdään ylöspäin olevat taivutukset. Taivutuksien ansiosta kehän suora osa, jonka yli kuljettajan on mentävä ohjaamoon, saadaan alemmaksi. Se helpottaa ohjaamoon kulkua. Kehän vasempaan reunaan kiinnitetään lisäpaino tasapainottamaan kehää, koska oikealle reunalle kiinnitetään toimilaite. Kehä esitetään kuvassa 4.19.



Kuva 4.19 Kehä

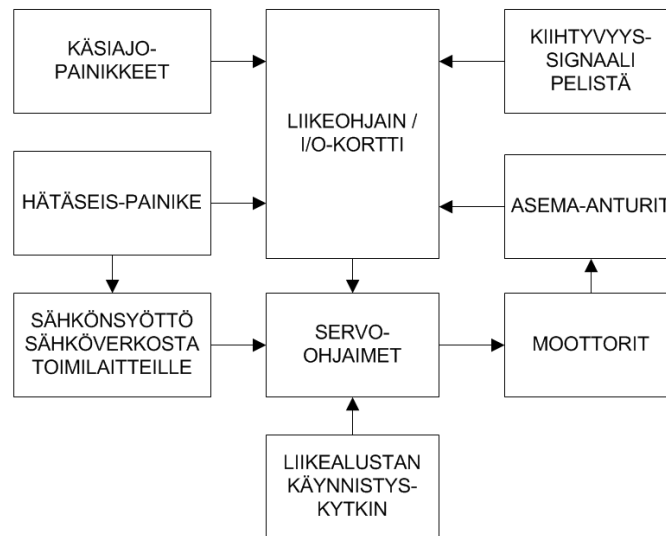
Jalustan tehtävä on kannatella kehää ja ohjaamoaa. Jalusta suunnitellaan yksinkertaiseksi ja helpoksi valmistaa valituilla valmistusmenetelmillä. Jalustaan hitsattuihin levyihin kiinnitetään X-akselin toimilaite ja laakerointi. Lisäksi jalustaan kiinnitetään mekaaninen pysäytin, joka estää kehää kallistumasta yli 45 astetta. Jalustan suunnittelussa päädytään kuvan 4.20 mukaiseen rakenteeseen.



Kuva 4.20 Jalusta

4.6 Liikealustan ohjaus

Liikealustaa ohjataan simulaattoripelin auton X- ja Y-akselien suuntaisten kiihtyvyyksien perusteella. Auton kiihtyvyyksiä lukeva ohjelma lähettää kiihtyvyydestiedot tietokoneen sarjaporttiin. Liikealustan liikeohjain lukee tiedon sarjaportista. Liikeohjaimeksi valitaan ohjelmoitava I/O-kortti, joka lukee sarjaportista vuorotellen tulevia X- ja Y-akseleiden kiihtyvyyssarvoja. Liikeohjain lukee simulaattorin akseleiden absoluuttisilta asema-antureilta akseleiden asemat ja paikoittaa liikealustan haluttuun asentoon. Liikeohjaimen ohjelmoidaan myös liikealustan käsiajotoiminto, jolla liikealustaa voidaan ajaa ilman sarjaportista tulevaa signaalia. Kuvassa 4.21 esitetään liikealustan ohjausjärjestelmän kaavio. Asema-antureina käytetään potentiometrejä. X-akselille asennettu potentiometri esitetään kuvassa 4.22.



Kuva 4.21 Ohjausjärjestelmänkaavio



Kuva 4.22 Asema-anturin asennus

Ohjauspaneelissa ovat liikealustan ohjaukseen tarvittavat kytkimet. Ohjauspaneeli esitetään kuvassa 4.23. Ylärivissä vasemmalla olevasta kytkimestä kytketään liikealustan toimilaitteet käyntiin. Ylhäällä toinen vasemmalta on hätäseispainike, jolla liikealusta voidaan pysäyttää välittömästi hätätilanteessa. Hätäseispainikkeen alapuolella on kuittauspainike, jolla toimilaitteisiin saadaan kytkettyä sähköä takaisin hätäseispainikkeen käytön tai pääkytkimen sulkemisen jälkeen. Oikealla

olevista keinukytkimistä liikealustaa voidaan ajaa manuaalisesti haluttuun asentoon. Huomiovalo vasemmassa alareunassa ilmoittaa milloin toimilaitteiden jarrut ovat päällä ja ohjaamoon on turvallista kulkea.



Kuva 4.23 Ohjauspaneeli

4.7 Simulaattorikuljettajan hallintalaitteet

Peliohjaimiksi valitaan Logitech G25-ohjain, johon kuuluu ratti, polkimet ja vaihteen valitsin. Ohjaimet esitetään kuvassa 4.24. Ratissa on voimakas voimapalaute, ja polkimet ovat paremman tuntuiset kuin monissa kilpailijoiden polkimissa, joissa on liian kevyt poljin tuntuma. Vaihteita voidaan vaihtaa ratin takana olevilla läpillä tai erillisellä vaihteen valitsimella. Äänentoistolaitteiksi valitaan tietokonekäyttöön tarkoitettu kotiteatterisarja ja näytöksi 24 tuuman lcd-näyttö.



Kuva 4.24 Simulaattorin kuljettajan ohjaimet (Logitech)

5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Liikealustan kehittämisen tuloksena saatiin liikealusta, jolla saavutetaan simulaattoripelin kanssa käytettynä merkittävästi parempi ajotuntuma kuin ilman liikealustaa. Suurin liikealustalla saavutettava voiman tunne on 0.5 G:tä, joka vastaa 45 asteen kallistusta. G-voimat tuntuvat uskottavilta, koska ohjaamo on umpinainen ja kuljettaja ei voi havaita visuaalisesti omaa asentoaan. Oikeiden kilpa-autojen kuljettajat saattavat kokea kilpailun aikana jopa noin 5G:n suuruisia voimia. Aistittava kiihtyvyyden suuruus ei kuitenkaan vaikuta ajotuntumaan yhtä paljoa kuin kiihtyvyyksien suunnat ja oikea-aikaisuus. Siksi simulaattoreissa yleensäkin käytetään todellista pienempiä G-voimia.

5.1 Liikealusta

Liikealustan suunnittelu onnistui myös muotoilun osalta ja se on tyylikkään näköinen. Valmis liikealusta esitetään kuvassa 5.1.



Kuva 5.1 Liikealusta

Liikealustan sähkökeskus, jonne on asennettu muun muassa sähkönsyöttölaitteisto, toimilaitteiden servo-ohjaimet ja liikealustan liikeohjain esitetään kuvassa 5.2.



Kuva 5.2 Sähkökeskus

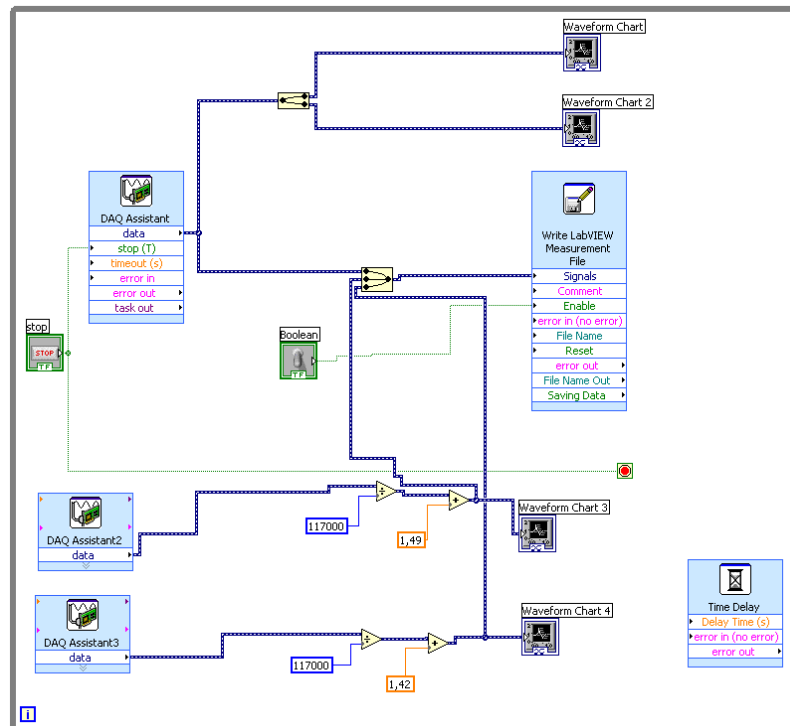
Liikealustan ohjaamossa on normaalit auton hallintalaitteet. Ratin, polkimien ja vaihteen valitsimen lisäksi ohjaamossa ovat myös hätäseispainike äänentoistolaitteisto, näyttö, kuppipenkki ja nelipisteturvavyöt. Ohjaamo esitetään kuvassa 5.3.



Kuva 5.3 Ohjaamo

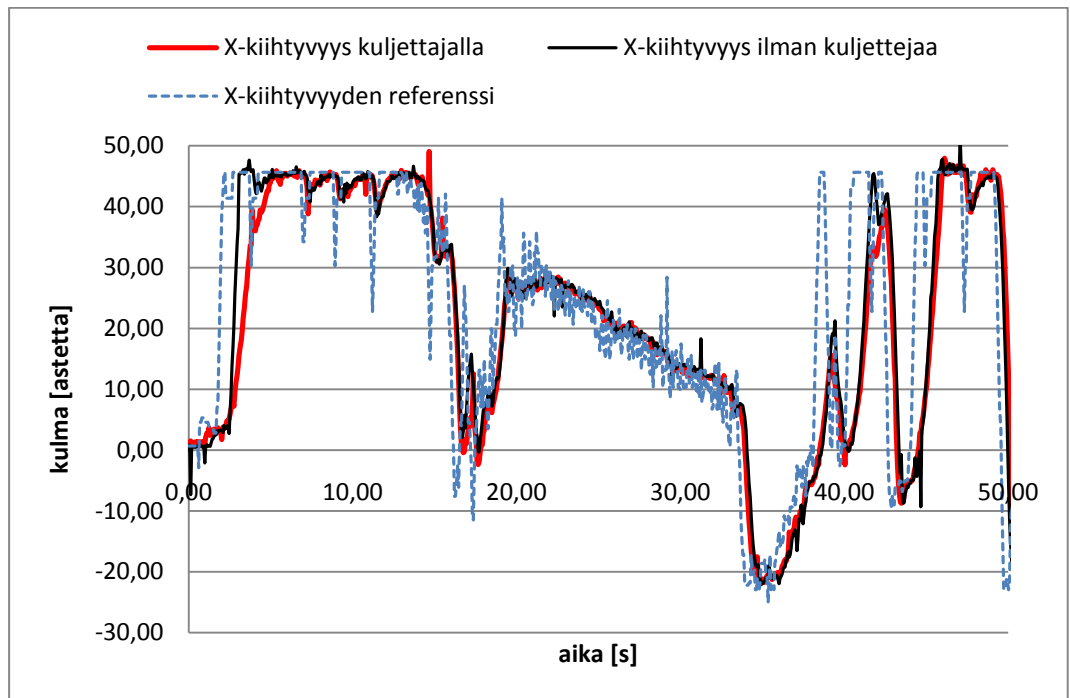
5.2 Liikealustan suorituskyvyn arviointi

Liikealustan suorituskykyä arvioidaan ohjaamalla liikealustaa pelistä mitatuilla kiihtyvyyssignaaleilla, joiden perusteella myös simuloinnit suoritettiin. Mitatut kiihtyvyyssignaalit lähetetään liikealustan liikeohjaimen ohjearvoiksi käsittelemättöminä, koska myös peliä pelatessa kiihtyvyyssignaalit tulevat liikeohjaimelle suoraan ilman käsittelyä. Liikealustan akselien kulmien asemat mitataan akseleiden asema-antureilta. Ohjearvot ja toteutuneet asemat tallennetaan National Instrumentsin NI USB-6259-mittakortilla. Mittakortti ohjelmoidaan National Instruments LabVIEW-ohjelmalla. Kuvassa 5.4 esitetään mittausohjelma.

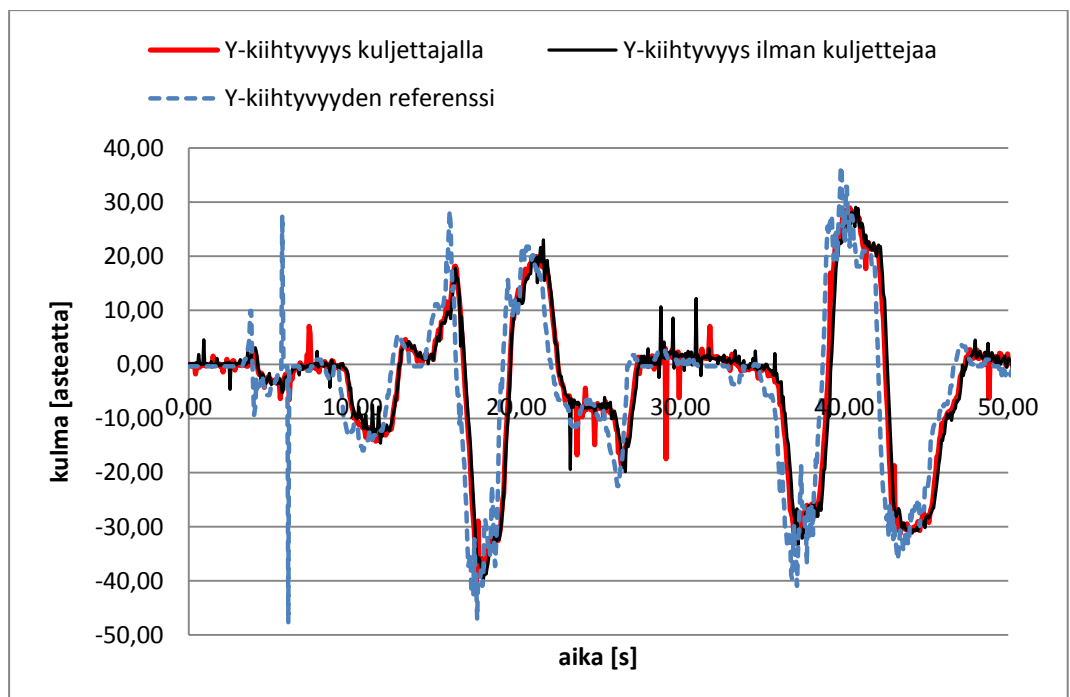


Kuva 5.4 Mittausohjelma

Ohjelma tallentaa akselin ohjearvon ja todellisen aseman matriisiin, joka aika-askeleella sadasosa sekunnin välein. Kuvassa 5.5 esitetään X-akselin suuntaisen kiihtyvyyden referenssiarvo ja saavutettu X-suuntainen kiihtyvyys ilman kuljettajaa sekä kuljettajan kanssa. Kuljettajan massan hidastava vaikutus erottuu jyrkimmissä kiihtyvyyden muutoksissa. Kuvassa 5.6 esitettävistä Y-akselin suuntaisista kiihtyvyyksistä voidaan todeta sama kuin X-akselin suuntaisista kiihtyvyyksistä.



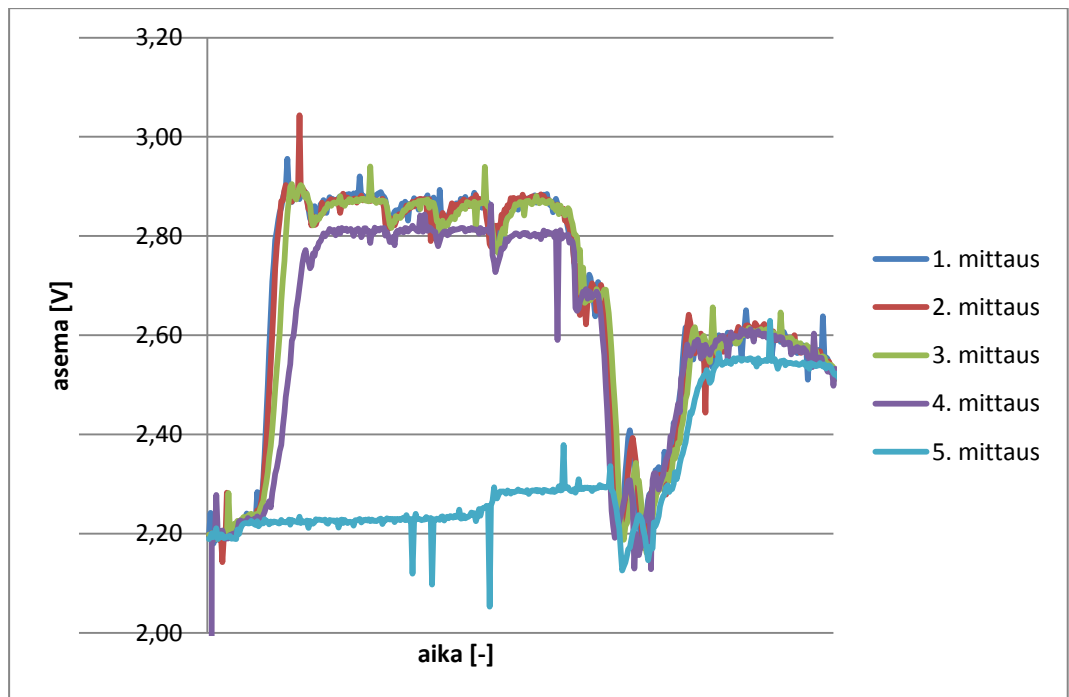
Kuva 5.5 X-akselin suuntaiset kiihtyvyydet



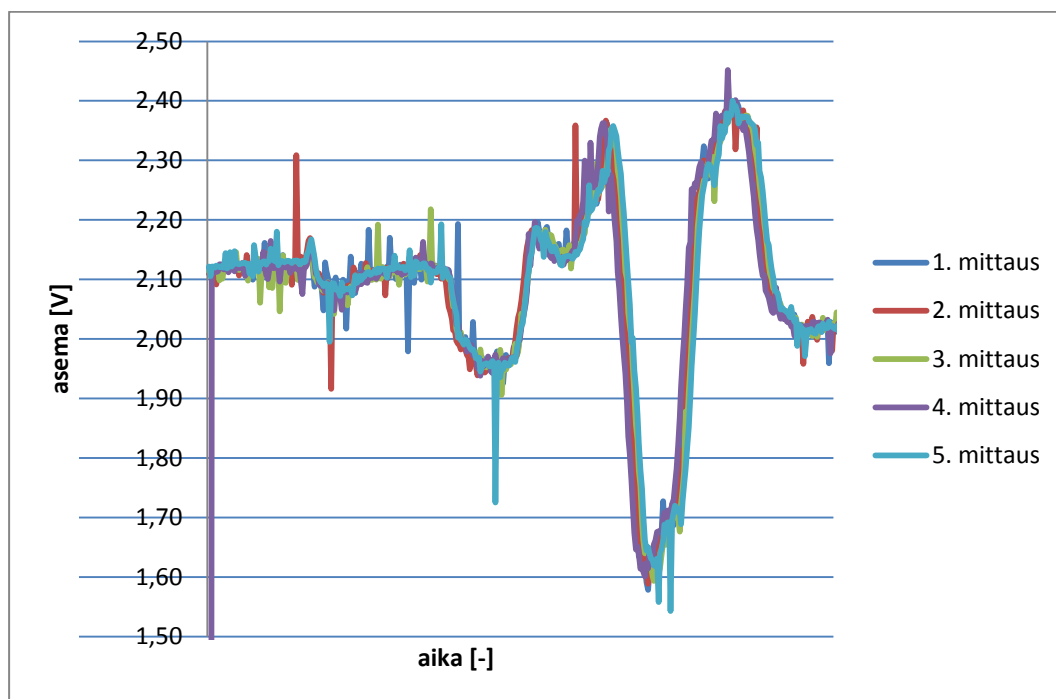
Kuva 5.6 Y-akselin suuntaiset kiihtyvyydet

Liikealustan liikkeiden suhdetta toimilaitteelta saatavaan vääntömomenttiin tutkitaan myös. Vertailua varten liikeohjaimelle lähetetään mitattua

kiihtyvyydataa ensimmäisien 25 sekunnin ajalta. Käyrissä käytetään asteikkona suoraan asema-anturilta mitattua jännitettä. Toimilaitteiden vääntömomenttia rajoitetaan pienemmäksi tasaisin askelin. Molempien akselien toimilaitteiden vääntömomenttien rajat ovat keskenään samansuuruiset jokaisella mittauskerralla. Ensimmäinen mittaus suoritetaan samoilla vääntömomentin suuruuksilla kuin edelliset mittaukset on tehty. Toisessa mittauksessa vääntömomenttia on pienennetty yhdellä askeleella ja viimeisessä viidellä askeleella. Kuvista nähdään, että Y-akselin toimilaitteelta vaaditaan enemmän vääntömomenttia, koska ohjaamo on huonommin tasapainossa Y-akselin suhteen. Y-akselin toteutuneet asemat suhteessa vääntömomenttiin esitetään kuvassa 5.7 ja X-akselin kuvassa 5.8.



Kuva 5.7 Y-akselin aseman suhde toimilaitteen vääntömomenttiin



Kuva 5.8 X-akselin aseman suhde toimilaitteen vääntömomenttiin

Liikealustan suorituskyvyn teknisen tarkastelun lisäksi liikealustaa arvioidaan ajotuntuman perusteella, koska liikealustan ensisijainen tehtävä on luoda todenmukainen ajotuntuma. Ajotuntumaa arvioidaan testikuljettajia haastatteleamalla. Yksi testikuljettajista oli rallia harrastava kartanlukija. Muilla testikuljettajilla ei ollut varsinaista kilpa-autoilutaustaa, mutta heillä oli paljon kokemusta autoilusta.

Ainut negatiivinen haastatteluissa esille tullut asia oli joillain kuljettajilla esiintynyt simulaattoripahoinvointi, joka on yleinen ilmiö simulaattoreissa. Pahoinvointi johtuu eri aisteilta tulevista hieman ristiriitaisista signaaleista. Pahoinvointia esiintyi kuitenkin vähemmistöllä kuljettajista. Useamman ajokerran jälkeen monet pahoinvoinnista kärsineetkin kuljettajat olivat tottuneet simulaattoriin ja pystyivät nauttimaan ajokokemuksesta.

Testikuljettajien haastatteluiden perusteella varmistui, että liikealustalla saavutettavat ± 0.5 G:n suuruiset voimat riittävät hyvin ajotuntuman aikaan

saamiseksi. Rallin kartanlukija kertoi, että liikealusta simuloi hyvin kuljettajan painumista istuinta vasten kovissa kiihdytyksissä ja kaarteissa. Samoin jarrutuksissa kuljettaja painautuu turvavöitä vasten uskottavan tuntuisesti. Myös toiset testikuljettajat kommentoivat, että ajotuntuma vastasi kiitettävästi oikealla autolla ajamista.

Liikealustan liikkeet luovat lisää haastetta ajamiseen. Simulaattorilla ajettaessa auton hallintaan täytyy keskittyä enemmän ja kierrosajat ovat aluksi huonompia kuin ilman liikealustaa pelattaessa. Myös tässä mielessä liikealusta lisää todentuntuisuutta, koska myös todellisen kilpa-auton ajaminen on aivan eri asia kuin tietokonepelin pelaaminen työpöydän ääressä.

6. YHTEENVETO

Nykyiset autopelit ovat pitkälle kehittyneitä ja ne voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat simulaatiotyyliset pelit, joilla pyritään jäljittelemään todellisuutta mahdollisimman tarkasti. Toiseen ryhmään kuuluvat kaahauspelit, joiden ajoneuvoihin fysiikan lait eivät juuri vaikuta.

Pelien ajotuntumaa ja tunnelmaa voidaan parantaa liikuttamalla pelaajaa liikealustalla. Liikealustat ovat hiljalleen yleistymässä ja ne ovat todennäköisesti seuraava suurempi askel pelaamisen kehityksessä. Pelimarkkinat kasvavat jatkuvasti. Markkinoiden kasvuun vaikuttavat pelaavan ikäryhmän kasvaminen ja väestön kasvu. Näin ollen kilpailukykyisen liikealustan kehittäminen on mielenkiintoista.

Liikealustan kehittäminen alkoi erikoistyössä. Erikoistyössä selvitettiin liikealustavaihtoehdot ja valittiin kaksiakselinen gimball-tyylinen liikealusta. Erikoistyössä suunniteltiin myös liikealustan ohjauksen perusrakenne ja valmistettiin ensimmäinen prototyyppi. Ensimmäisen prototyypin tehtävä oli lähinnä todistaa konseptin toimivuus.

Tässä diplomityössä liikealustan kehittäminen aloitettiin mittaamalla pelistä auton kiihtyvyyssignaalit. Liikealustasta tehtiin simulointi malli, jota ohjattiin mitatuilla kiihtyvyyssignaaleilla. Simuloimalla määritettiin runkoon kohdistuvat rasitukset ja toimilaitteilta vaadittava suorituskyky. Liikealustan mallia päivitettiin simulointituloksien perusteella ja etsittiin iteratiivisesti sopivat toimilaitteet ja runkomateriaalit liikealustaan.

Liikealusta valmistettiin suunnitelmien mukaan. Kokoonpanon jälkeen tutkittiin liikealustan suorituskykyä ja mitattiin kuinka hyvin se seuraa ohjaussignaalia. Testikuljettajat ajoivat simulaattorilla ja antoivat positiivista palautetta. Kehitetty liikealusta parantaa pelin todentuntuisuutta selvästi ja ajaminen on useimpien mielestä hauskaa. Liikealusta saatiin kehitettyä lähes valmiiksi markkinoille sopivaksi tuotteeksi.

Jatkokehityssuunnitelmissa on optimoida liikealustan rakennetta ja komponentteja vielä kustannustehokkaimmiksi. Lisäksi joitain yksityiskohtia mietitään uudestaan. Jos liikealustan valmistuskustannukset saadaan riittävän alhaiseksi, liikealustoja aiotaan valmistaa pieni sarja.

LÄHDELUETTELO

Airila, M. Mekatroniikka. Otatieto, 1993. ISBN 951-672-173-7.

BlueTiger. [What is a Motion Simulator ja Details sivut]. [viitattu 16.3.2010].
Saatavissa: <http://www.bluetiger.com/bluetiger.html>

Festo. [viitattu 16.3.2010]. Saatavissa: <http://www.vrproject.de/home/simulatoren/>

Force-dynamics. [motion ja media sivut]. [viitattu 30.3.2010]. Saatavissa:
<http://www.force-dynamics.com/motion/>

Koneturvallisuuden standardit 2010, Koneturvallisuuden verkkojulkaisu. [e-
document]. [viitattu 23.3.2010]. Saatavissa:
<http://www.metsta.fi/adds/esite/kone.pdf>

Logitech. [Products sivu]. [viitattu 15.3.2010]. Saatavissa:
<http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/wheels/devices/131&cl=gb,en>

Räty, K. Taajuusmuuttajia koskevat EMC-standardit. Diplomityö. Lappeenrannan
teknillinen yliopisto, 2006. 54 s.

Sallinen, J. Liikealustan suunnittelu liikkuvan työkoneen simulaattoriin.
Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2008. 74 s.

Siirilä, T. Koneturvallisuus, EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen
käytännössä. Otavan Kirjapaino Oy, 2008. ISBN 978-951-98254-4-1.

Simcraft. [Products sivu]. [viitattu 16.3.2010]. Saatavissa:
<http://www.simcraft.com/apex-sc830.aspx>

Simrac. [Kuvat sivu]. [viitattu 16.3.2010]. Saatavissa: <http://www.simrac.com/>

SFS-EN ISO 12100-1+A1:2009 Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet, osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät.

SFS-EN ISO 12100-2+A1:2009 Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet, osa 2: Tekniset periaatteet.

SFS-EN ISO 14121-1:2007 Koneturvallisuus. Riskin arviointi, osa 1: Periaatteet.

SFS-ISO/TR 14121-2:2007 Koneturvallisuus. Riskin arviointi, osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.

SFS-Käsikirja 1: Standardit ja standardisointi. Helsinki, Suomen standardointiliitto, 2006. [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: <http://sfs.fi/files/kk1.pdf>

Timonen, M. Tekoäly urheilu- ja autopeleissä. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. [e-document]. [viitattu 16.3.2010]. Saatavissa: http://www.cs.helsinki.fi/u/tapasane/Seminaarit/Tietokonepelit/syksy2005/tekoaly_10-11_timmonen.ppt.

Vink. [Abs sivu]. [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: <http://www.vink.com/TUOTTEET/Tuotteet/ABS.aspx>

Volarplastic. [Lämpömuovaus sivu]. [viitattu 22.3.2010]. Saatavissa: <http://www.volarplastic.fi/fi/Lämpömuovaus.html>