

Teo Sillanpää

# Ajotilojen mittaus ambulanssisimulaattoriin

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Auto- ja kuljetustekniikka ko  
Opinnäytetyö  
10.5.2013

Tekijä(t) Otsikko	Teo Sillanpää Ajotilojen mittaus ambulanssisimulaattoriin
Sivumäärä Aika	25 sivua + 2 liitettä 10.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljestustekniikan ko
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Pasi Oikarinen, tuntiopettaja
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli mitata ambulanssin liiketiloja ambulanssisimulaattoria varten. Ambulanssisimulaattori on osa suurempaa ensihoidon oppimisympäristöä, joka koostuu tapahtumapaikasta, ambulanssista ja sairaalan toimenpidehuoneesta.</p> <p>Ambulanssisimulaattori tuli Metropolia Ammattikorkeakoulun terveydenhuollonopiskelijoiden opetuskäyttöön Tukholmankadun toimipisteeseen. Tällä simulaattorilla opiskelijat voivat harjoitella toimenpiteitä tienpinnan herätteiden mukaan liikkuvalla auton alustalla mutta sisätiloissa. Toimenpiteiden kohteena voi olla harjoutusnukke tai opiskelija.</p> <p>Tässä työssä kuvataan ambulanssin ajotilojen mittaukset ja niiden suunnittelu, mitattavien suureiden määrittäminen sekä ajosimulaattoriin suunniteltujen ratojen suunnittelu ja ajotilojen mittaus kyseisillä radoilla.</p> <p>Mittauksissa saatua dataa käsitellään myös kuvaajina, niistä esitetään johtopäätöksiä sekä tarkastellaan ajoneuvon ominaisuuksia saatujen tulosten perusteella.</p> <p>Näitä mittauksia ei kuitenkaan käytetty valmistuneen simulaattorin ajotilojen määrittämiseen. Valmiissa simulaattorissa alustan liikkeiden herätteet tulevat suoraan tietokonepelin datasta.</p>	
Avainsanat	Simulaattori, ambulanssi, ajoneuvomittaukset, sairaankuljetus

Author(s) Title Number of Pages Date	Teo Sillanpää Ambulance Chassis Movement Definition for Educational Ambulance Simulator 25 pages + 2 appendices 10 May 2013
Degree	Automotive and Transport Engineering
Degree Programme	Bachelor of Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Pasi Oikarinen, Lecturer
<p>The graduate study was carried out for the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences ambulance simulator project. The purpose of this study was to measure the body movements of the vehicle.</p> <p>The ambulance simulator is a cooperation project between Healthcare, Automotive Engineering and Automation Technology of the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, where the aim is to develop an ambulance simulator for the healthcare department. In this simulator it is possible to rehearse ambulance driving and medical treatments on a moving ambulance platform, which is built inside of an educational healthcare laboratory.</p> <p>In this study the ambulance chassis movement measurements are presented in a real-life ambulance, driven on three pre-planned tracks in Helsinki. Also planning of the tracks and measurements are presented, and processing of the collected data is described.</p>	
Keywords	Simulators, Ambulances

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Simulaattori	2
2.1	Opetuksellinen tarkoitus	2
2.2	Tekniset ratkaisut	3
3	Ajoneuvo	4
3.1	Yleiskunto	4
3.2	Tekniset tiedot	5
4	Mittausten suunnittelu	6
4.1	Lähtökohdat	6
4.2	Radat	6
4.2.1	Rata 1	6
4.2.2	Rata 2	8
4.2.3	Rata 3	9
4.2.4	Rata 4	10
4.3	Suorituskyky	10
4.4	Kääntösäde	11
4.5	Väistö	11
5	Mittaukset	11
5.1	Mitattavat suureet	11
5.1.1	Ohjauskulma	11
5.1.2	Nopeus	11
5.1.3	Kiihtyvyydet	12
5.1.4	Kiertymät	12
5.1.5	GPS	12
5.2	Mittalaiteet	12
5.2.1	Informaation keräys	12
5.2.2	Ohjauskulma	13
5.2.3	Nopeus	14
5.2.4	Kiihtyvyydet	15
5.2.5	Kiertymät	16

5.2.6	GPS	16
5.3	Mittalaitteiden konfigurointi ja kalibrointi	17
5.3.1	Ohjauskulma	17
5.3.2	Nopeus	17
5.3.3	Kiihtyvyydet	17
5.3.4	Kiertymät	18
5.3.5	GPS	18
5.4	Mittausten suoritukset	18
5.4.1	Suorituskykymittaukset	18
5.4.2	Kääntösäde	19
5.4.3	Radat	19
6	Mittaustulokset	20
6.1.1	Datan käsittely	20
6.1.2	Rata 1	20
6.1.3	Rata 2 ja 3	24
7	Johtopäätökset	25
Liitteet		
Liite 1. Mittaustulokset rata 2		
Liite 2. Mittaustulokset rata 3		

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään ambulanssin ajotilojen mittauksia ambulanssisimulaattoriprojektia varten. Simulaattori toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulussa auto- ja kuljetustekniikan, maanmittaustekniikan, automaatiotekniikan ja ensihoidon koulutusohjelmien yhteistyönä ja se oli lajissaan ensimmäinen Suomessa.

Idea ambulanssisimulaattorista sai alkunsa automaatiotekniikan vuonna 2008 tekemästä ajosimulaattorista, jossa kuusi paineilmalihasta liikuttaa kuljettajaa tietokonepelin ohjaamana. Simulaattorin tarkoitus on simuloida ajoneuvon liikkeitä kussakin ajotilanteessa. Samaa perusperiaatetta käytettiin ambulanssisimulaattorissa pienin muutoksin. Päämääränä oli, että kuljettaja voisi ajaa simulaattorissa muutamaa eri rataa Helsingin keskustassa ja simulaattorin alusta liikkuisi tiestä tulevien herätteiden mukaan.

Tämän työn tavoite on suunnitella ambulanssin ajotilojen mittaukset ja simulaattorin radat sekä suorittaa ajotilamittaukset radoilla. Ratamittausten lisäksi työssä kuvataan myös ajoneuvon suorituskyky- ja kääntösädemittaukset sekä tallennetun datan käsittely ja analysointi.

Ajosimulaattorissa käytetty pelialusta ei mahdollista omien ratojen mallinnusta, joten alustaksi täytyi valita jokin muu. Alustaksi valikoitui R-Factor-tietokonepeli, jossa on hyvät editorit niin radoille kuin ajoneuvoillekin. Ajoradan profiilin ja ajoneuvon tarkka dynaaminen määrittäminen olisi ollut erittäin työläs, joten projektin alkumetreillä päätettiin määrittämään ambulanssin korin liikkeitä ajettavilla radoilla. Näin simulaattoriin saataisiin tarvittava data ambulanssin liikkeistä.

Simulaattorin ohjelmistokoodaus teetettiin automaatiotekniikan opiskelijoilla, alusta ja mittaukset auto- ja kuljetustekniikan opiskelijoilla sekä ratojen visuaalinen mallintaminen suunniteltiin teetettäväksi maanmittaustekniikan opiskelijatyönä. Terveiden ja hoitoalan opiskelijat vastasivat projektin hallinnasta sekä varmistivat että simulaattorista tulee käyttötarkoitusta vastaava.

## 2 Simulaattori

### 2.1 Opetuksellinen tarkoitus

Ensihoidon koulutusohjelmaan on sisällytetty paljon käytännön opiskelua ja Metropolian tiloihin Tukholmankadulle on juuri valmistunut uusi kliinisten taitojen opetustila, johon ambulanssisimulaattori sijoitetaan. Tarkoituksena oli, että opetustiloissa voidaan opiskella todentuntuisemmin ensihoitajan ammattiin.

Ambulanssisimulaattori on mukana harjoituksessa, johon käytetään kolmea eri tilaa: tapahtumahuone, simulaattori ja sairaalaa simuloiva toimenpidesali. Ensihoitoryhmä saapuu tapahtumapaikalle (tapahtumahuone), jolla simuloidaan esimerkiksi potilaan kotia, jossa on tapahtunut onnettomuus. Ensihoitoryhmä tekee selvityksen potilaan tilasta, siirtää potilaan paareille ja kuljettaa tämän käytävää pitkin ambulanssisimulaattoriin. Tämän jälkeen kuljettaja lähtee ajaamaan simulattorilla kohti sairaalaa. Simulaattorin alusta liikkuu tien herätteiden mukaan simuloiden oikeaa kuljetustilannetta, jolloin opiskelijat saavat tärkeää harjoitusta liikkuvassa ambulanssissa toimimisesta. Sairaalaan saavuttuaan ensihoitajaopiskelijat siirtävät potilaan käytävää pitkin toimenpidehuoneeseen toimenpiteitä varten.

Toimenpidehuone on entinen äänitysstudio, jossa suuren ikkunan takana on tarkkaamo. Tarkkaamosta on näköyhteys toimenpidehuoneeseen, mutta opiskelijat eivät näe tarkkaamoon, sillä ikkunassa on toimenpidehuoneen puolella heijastava kalvo. Tarkkaamossa harjoitusta ohjaa opettaja. Tarkkaamosta on myös kaksisuuntainen ääniyhteys toimenpidehuoneeseen erilaisten käskyjen antamiseksi. Lisäksi tarkkamossa on video- ja ääniyhteys ambulanssisimulaattoriin. Potilaana voidaan käyttää tarkoitukseen tehtyä harjoitusnukkeä tai toista opiskelijaa. Harjoitusnukke voidaan ohjelmoida tiettyyn hoitoa vaativaan tilanteeseen ja sitä voidaan ohjata harjoituksen aikana tarkkaamosta.

Koko harjoitustila on nykyaikainen ja ambulanssisimulaattori mahdollistaa aivan uudenlaisten opintokokonaisuuksien harjoittamisen, jollaista ei ole ennen kokeiltu.

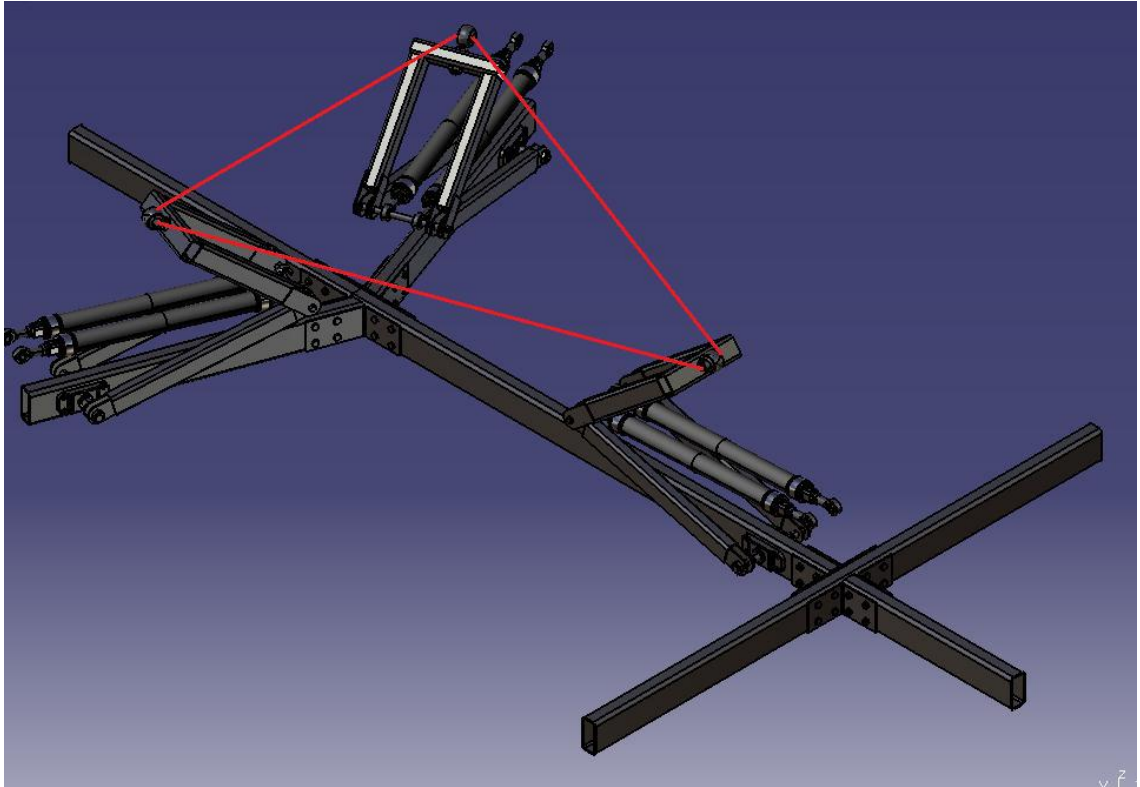
## 2.2 Tekniset ratkaisut

Simulaattorin alustan suunnitteli insinööriyönä auto- ja kuljetustekniikan opiskelija Antti Hyytiäinen (1). Alustalla tuli olla tilaa kuljettajalle ja kuljettajan taakse tulevalle hoito-osalle. Kuljettajan eteen tuli näyttö ja kuljettaja hallitsee simulaattoria ratilla, kaasus- ja jarrupolkimella. Kuljettajan takana on tilaa paareille ja kolmelle opiskelijalle sekä hoitovälineille.

Alustan tulee olla liikuteltavissa esimerkiksi messuille ym. tapahtumiin, mikä teki suunnittelusta haastavamman. Suuren kokonsa vuoksi siitä täytyi tehdä purettava, mikä helpottaisi kuljettamista. Alustan runko tehtiin teräsprofiilista. Rungon päälle tuli alustalevy, joka on helposti purettavissa neljään osaan. Alustalevy neljän osan kehiöt tehtiin teräksestä, jonka päälle pultattiin alumiinilevyt lattiaksi. Näin alustasta saatiin tukeva, mutta samalla riittävän kevyt siirrettäväksi. Alustan painotavoite oli 50kg, mutta lopputuote painoi 78 kg. Alustalle tuli parit potilaalle ja istuimet hoitohenkilökunnalle sekä tarvittavat toimenpidevälineet.

Alustaa suunniteltiin ensin liikutettavaksi kuudella paineilmalihaksella, jotka olisivat sijoitettuina aina kaksi vierekkäin kuvan 1 mukaan. Paineilmalihaksen toimintaperiaate on seuraava: kun lihakseen tuodaan paineilmaa, se pidentyy, ja kun ilmaa poistetaan, se lyhenee. Ilmamäärää säädellään sähköohjatuin venttiilein, joita ohjataan tietokoneella. Lihaksen varsi on kierteelle laminoitua pituussunnassa joustamaonta aramidikuitua, jonka ympärillä on elastinen kumi. Tämä yhdessä ilman kokoonpuristuvuuden kanssa aiheuttaa sen, että lihakset toimivat myös jousina. Tämä ei ole toivottu ominaisuus, koska alustalla on tarkoitus toistaa ennalta määritettyä liikettä. Ilmiön eliminoimiseksi olikin mietittävä jonkinlaisten vaimentimien mahdollisuutta. Alusta ei myöskään kykene toistamaan kovin korkeataajuisia liikettä. Tämä hankaloittaa mitatun datan toistoa, sillä korin liike on toisinaan nopeaa ja vaihtelevaa johtuen suuresti ajoneuvon alustaratkaisusta. Esimerkiksi mukulakivisen tien herätteiden toistaminen ei olisi ollut mahdollista, joten määritellyille radoille ei otettu mukulakiviosuuksia.





Kuva 1. Simulaattorin alusta (piirros Hyytiäinen, Antti, 2011 Ambulanssisimulaattorin liikealustan mekaaninen suunnittelu. Insinööriyö. Metropolia.)

Tämä ratkaisu osoittautui kuitenkin erittäin vaikeaksi hallita lineaarisessa liikkeessä. Ongelmia tuotti alustan massan siirto ja alustalla olevan massanvaihtelut kallistustilanteissa. Tämän vuoksi alustaa liikuttamaan valittiin sähkötoimiset sylinterit. Lineaarisen siirtymän hallinta on tämäntyyppisessä työsylinterissä helppoa. Sähkömoottori pyörittää vaihteen kautta sylinterin kierteistettyä akselia, joka aiheuttaa lineaarisen siirtymäliikkeen. Erillisiä antureita liikkeen mittaamiseen ei tarvita, vaan sähkösylinterin oma ohjainlaite laskee siirtymän.

### 3 Ajoneuvo

#### 3.1 Yleiskunto

Ajoneuvo (kuva 2), jolla mittaukset suoritettiin oli Helsingin pelastuslaitoksen käytöstä poistettu ambulanssi, jonka Metropolia omistaa. Ajoneuvosta oli poistettu kaikki toimenvälineet, mutta parit, kaapistot ja hälytysajoon tarvittavat varusteet ovat edelleen toiminnassa. Ajoneuvo on vuosimallin 2003 Mercedes-Benz Sprinter 316CDI, ja se on rekisteröity hälytysajoneuvoksi.



Kuva 2. Mittauksissa käytetty ajoneuvo.

Autolla on ajettu noin 190 tkm, ja se oli hyvässä käyttökunnossa. Moottori ja voimasiirto toimivat moitteetta, eikä koriin kantautunut ylimääräisiä voimansiirron tai renkaiden värinöitä, jotka olisivat häirinneet mittausten suorittamista. Renkaat olivat kuluneet, mikä näkyy ainakin jarrutusmittauksissa. Renkaiden uusimiseen en kuitenkaan katsonut olevan tarvetta.

### 3.2 Tekniset tiedot

Ajoneuvon tekniset tiedot (2) löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. Mittauksissa käytetyn ajoneuvon tekniset tiedot.

Merkki	Mercedes-Benz	Massa kg	2960
Malli	Sprinter 316CDI Kasten	Kokonaismassa kg	3200
Valmistenumero	WDB9036621R433646	Pituus cm	564
Teho kW	95	Leveys cm	193
Vääntömomentti	360	Akseliväli cm	3550

## 4 Mittausten suunnittelu

### 4.1 Lähtökohdat

Mittausten päämääränä oli määrittää ajoneuvon korin liikkeet kuudessa vapausasteessa. Mitattiin siirtymät x-, y- ja z-akseleiden suuntaan ja kiertymät niiden ympäri. Mittauksista saatavan datan prosessoinnin jälkeen on myös mahdollista tarkastella ajoneuvon ajomukavuutta eli sitä, miten tien epätasaisuus sekä voimansiirtoon ja akselistojen värinä välittyvät koriin. Tämän avulla on myös mahdollista arvioida kuinka hyvin kyseinen alusta soveltuu sairaankuljetukseen, eli kuinka paljon ihmiselle epämiellyttävää, haitallista tai kivuliasta värähtelyä koriin välittyy.

Simulaattoriin suunniteltiin neljä eri rataa. Näistä kolme ovat tehtävä ratoja, jotka kaikki päättyvät eri sairaaloihin. Radat ovat keskenään erilaisia ja niihin on sisällytetty maantie-, kaupunki- ja taajama-ajoa. Näin saatiin hyvin erilaisia ajotilanteita ja sitä myöten erilaisia korin liikkeitä, mikä on simulaattoria käyttäville opiskelijoille ensiarvoisen tärkeää.

Neljäs rata on vain noin 300 metrin mittainen erittäin kuoppainen hiekkatie Vuosaaaren satamassa. Tällä radalla ajoneuvon kori heilui erittäin voimakkaasti ja antoi kuvan siitä minkälaiset korin liikkeet voivat suurimmillaan olla.

Ajoneuvon kiihtyvyyden ja hidastuvuuden maksimiarvojen sekä kääntöympyrän määrittäminen oli myös tarpeellista, sillä tiettyjen raja-arvojen tulisi olla tiedossa simulaattorin ohjelmistoa ohjelmoitaessa.

Väistökokeissa mitattiin korin rektioita väistössä, jossa omalta kaistalta väistetään esimerkiksi toista ajoneuvoa ja palataan takaisin omalle kaistalle noin 30 metrin päästä.

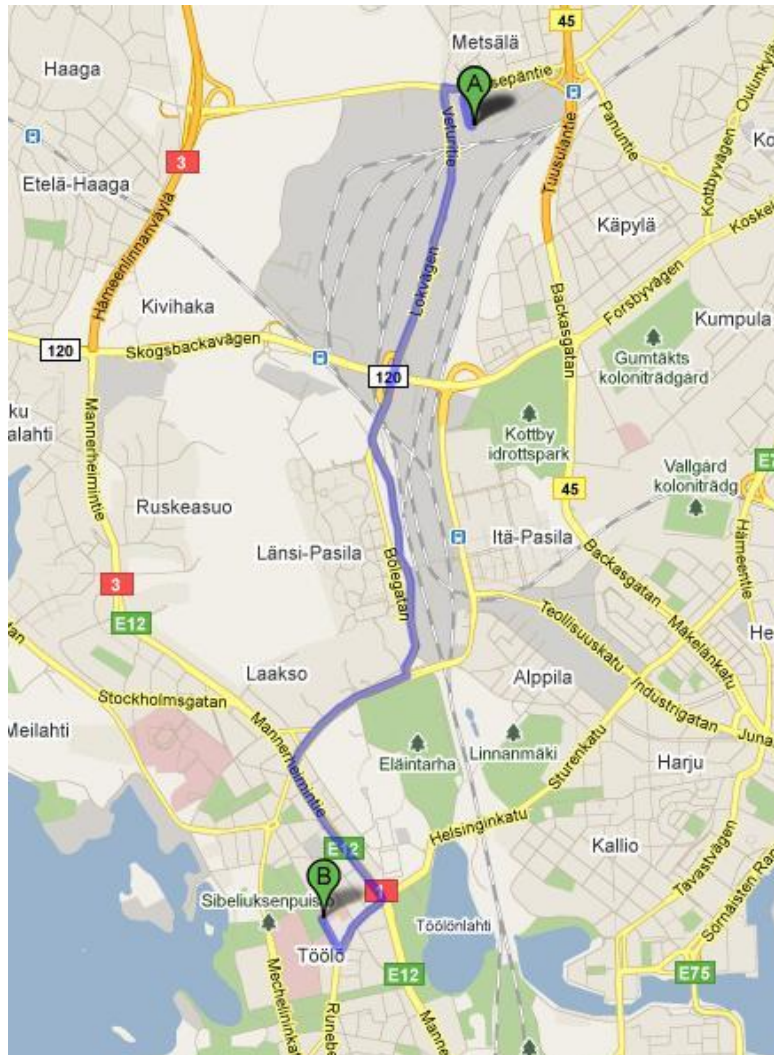
### 4.2 Radat

#### 4.2.1 Rata 1

Rata 1 (kuva 3) kulkee Metsälästä Pasilan kautta Töölöön. Radan pituus on 6,6 km. Rata lähtee Metsälän teollisuusalueelta osoitteesta Lökkisepäntie 1. Reitti kulkee ensin Veturitietä, jolla on koko matkan nopeusrajoitus 50–60 km/h. Tiet ovat melko suoria,

mutta talven jälkeen joitain roudan aiheuttamia epätasaisuuksia on havaittavissa. Liikuvassa ambulanssissa suoritetaan normaaleja hoitotoimenpiteitä tällaisissa olosuhteissa. Vauhtitieltä rata kääntyy oikealle Nordenskiöldinkadulle, jolta käännetään edelleen Mannerheimintielle. Ydinkeskustan alueelle tullessa tiestä koriin kantautuvat heurätteet, esimerkiksi raitiovaunukiskot ja kaivonkannet alkavat olla jo hoitotoimenpiteitä rajoittavia tekijöitä. Toisaalta myös nopeusrajoitukset ovat alhaisempia. Mannerheimintieltä reitti kääntyy oikealle Runeberginkadulle ja taas oikealle Töölönkadulle, missä se päättyy tapaturma-aseman eteen Töölön sairaalaan.

1. radalla on reipasta taajama-ajoa sekä hidastempoisempaa kaupunkiajtoa. Tällä radalla voidaan harjoitella tapahtumaketjua esimerkiksi vakavan työtaturman jälkeen.

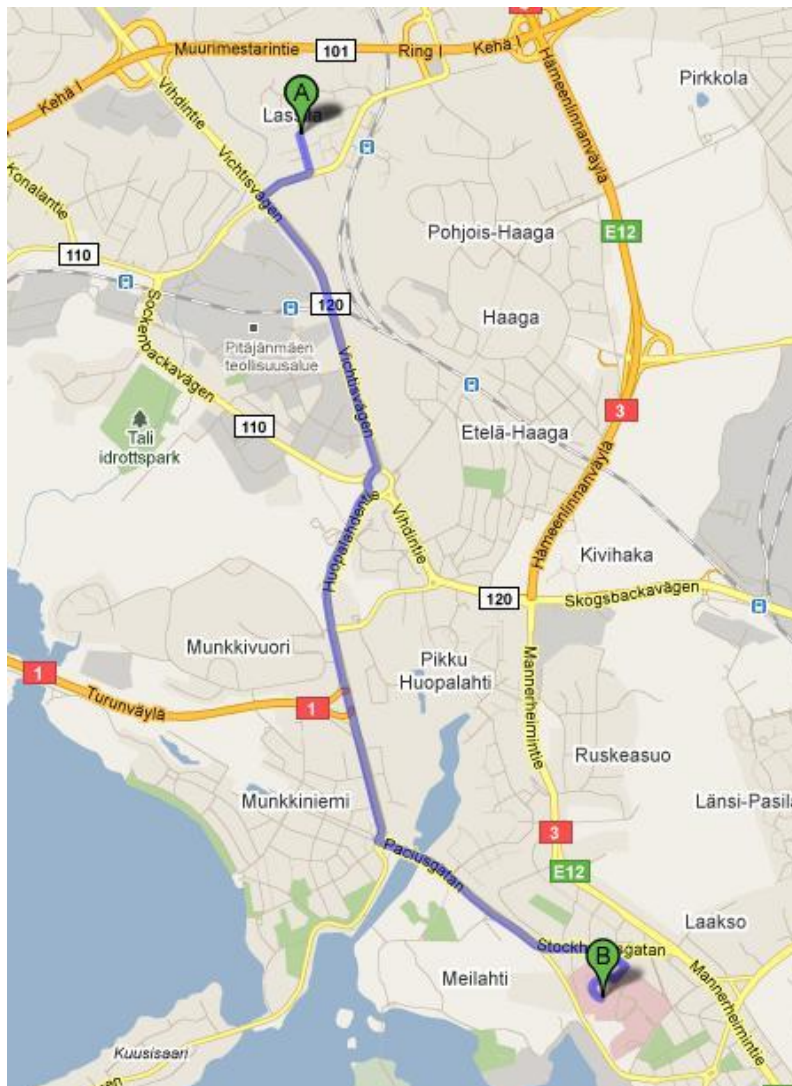


Kuva 3. Rata 1 Metsälä-Töölö.

#### 4.2.2 Rata 2

2. radan reitti (kuva 4) kulkee Lassilasta Haartmanin sairaalaan. Radan pituus on 6,0 km. Reitti alkaa Lassilasta osoitteesta Vaakatie 11. Parin mutkan kautta päästään Vihdintielle, mikä on ratojen kovavauhtisin osuus 70 km/h nopeusrajoituksella. Vihdintieltä rata kääntyy Pitäjänmäen liikenneympyrän kautta Huopalahdentielle, jonka päästä käännetään Paciuksenkadulle. Metropolian kulmalta käännetään vasemmalle Tukholmankadulle, jolta käännetään edelleen oikealle Haartmaninkadulle, jonka varrella Haartmanin sairaala sijaitsee.

Tällä radalla voitaisiin viedä esimerkiksi vanhusta kotoaan sairaalaan tutkimuksiin. Rata 2 on rataprofililtaan monipuolisin kaupunki- ja maantiesuosuksineen.

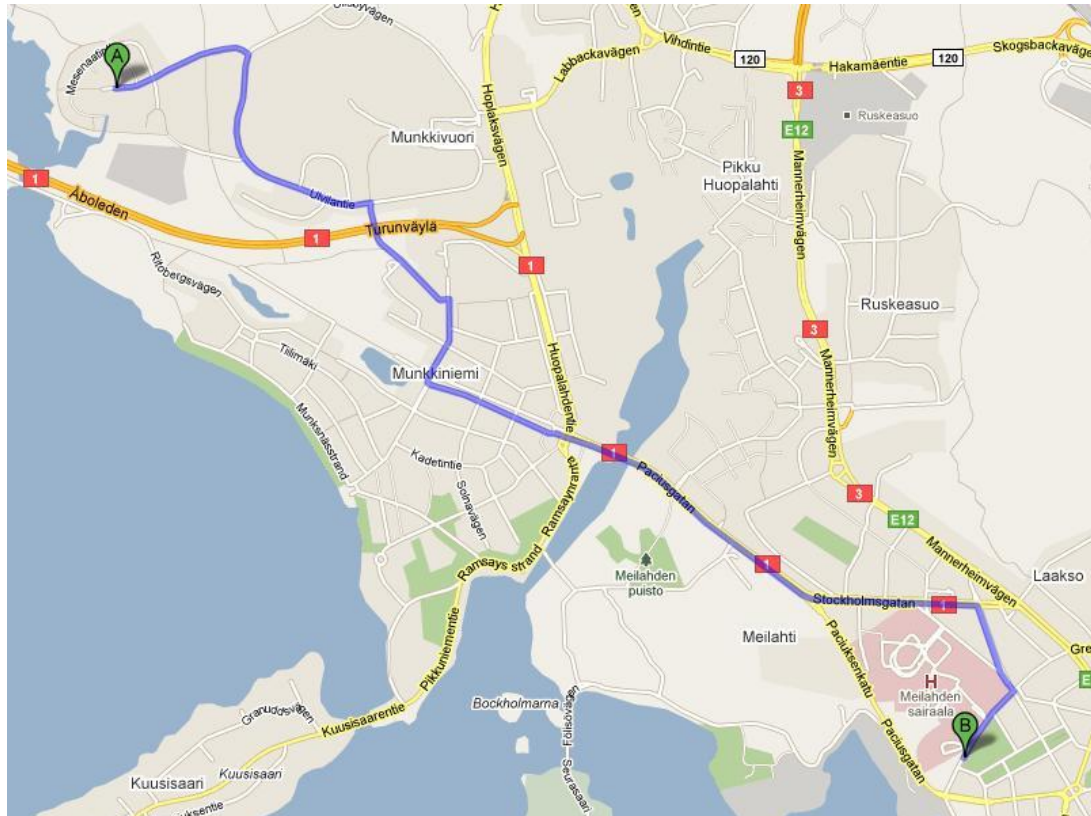


Kuva 4. Rata 2 Lassila-Meilahti.

### 4.2.3 Rata 3

3. radan reitti (kuva 5) kulkee Munkkivuoresta Töölöön ja on 4,7 km mittainen. Rata alkaa Talinrannasta osoitteesta Muusantorin 5. Heti Muusantorilta alkaa Taiteentekijäntie, jolta käännetään oikealle Ulvilantielle ja edelleen oikealle Professorintielle, joka ylittää Turunväylän. Professorintieltä käännetään oikealle Laajalahdentielle, jolta puolestaan käännetään vasemmalle Munkkiniemen puistotielle. Tämän päästä alkaa suoraan Paciuksenkatu, jota pitkin jatketaan aina Stenbäckinkadulle. Tästä ei saa kääntyä vasemmalle, mutta kuitenkin päätin viedä reitin tätä kautta. Sairaankuljettajilta saatujen tietojen mukaan he käyttävät aina juuri tätä reittiä sen ollessa nopeampi kuin Tukholmankadun kautta kulkeva reitti. Stenbäckinkadulla sijaitseekin lastenklinikan päivystys jonne rata 3 päättyy.

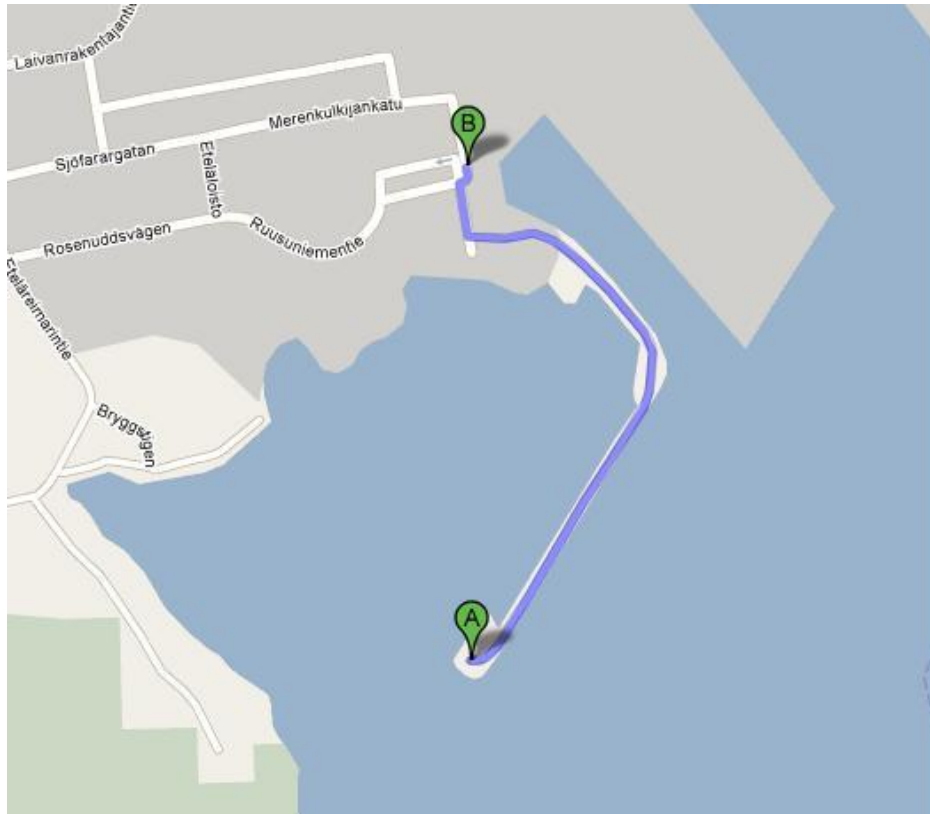
Tämä rata on enimmäkseen hidasta kaupunkiajoa. Erityisesti osuus Munkkivuoresta Munkkiniemeen on todella mutkaista ja käännöksiä tuntui olevan koko ajan. Tällä radalla voidaan harjoitella esimerkiksi lapsen kuljettamista ja siihen liittyviä erityistilanteita.



Kuva 5. Rata 3 Munkkivuori – Meilahti.

#### 4.2.4 Rata 4

Rata 4 (kuva 6) on referenssirata jolla voidaan kokeilla simulaattorin alustan toistokyvyn rajoja. Tätä rataa ei ole tarkoitus mallintaa ajettavaksi, vaan simulaattorilla on tarkoitus toistaa kerättyä dataa. Rata kulkee Vuosaaren sataman kupeessa olevan pienvenesataman aallonmurtajaa pitkin mantereeseen suuntaisesti. Tämä on varmasti yksi Helsingin huonoimmista tieosuksista.



Kuva 6. Rata 4 Vuosaaren satama.

#### 4.3 Suorituskyky

Suorituskyvyn mittaminen oli tärkeää ajoneuvon raja-arvojen määrittämiseksi. Jos kuljettaja painaa simlaattorissa kaasun pohjaan, pitää maksimiarvo kiihtyvyydelle olla tiedossa. Kiihtyvyy- ja jarrutusmittaukset tehtiin Söderkullantiellä Sipoossa. Tie on erittäin tasainen ja näkyvyys on hyvä. Tie on myös pinnaltaan tasainen ja tien linja on suora. Tällainen tie on erimoinen paikka suorituskyvyn mittaamiseen, jos suljettua rataa, esimerkiksi lentokenttää ei ole käytettävissä.

#### 4.4 Kääntösäde

Simulaattoriin piti määrittää kiihtyvyyden ja jarrutuksen raja-arvojen lisäksi myös ajoneuvon pienin kääntösäde. Mittaus tuli suorittaa tasaisella pinnalla ja tasaisella nopeudella, jotta renkaiden sorto olisi mahdollisimman vakio. Mittauspaikaksi valikoitui tasainen parkkipaikka Söderkullassa.

#### 4.5 Väistö

Väistömittauksissa mitattiin korin reaktiota ohjauserähteeseen. Väistöjä mitattiin kahdella nopeudella 30 ja 50 km/h. Näillä mittauksilla saatua dataa voitiin käyttää simulaattorin ohjelmoinnissa ajodynamiikan määrittämiseen.

### 5 Mittaukset

#### 5.1 Mitattavat suureet

Mitattavia suureita oli paljon ja niiden määrittäminen oli aikaa vievää, koska simulaattorin pohjana käytettävä ohjelmisto ei ollut täysin varmistunut mittauksia tehtäessä. Näinkin laajat mittaukset ovat kuitenkin varmasti riittävät, oli simulaattorin ohjelmisto mikä hyvänsä.

##### 5.1.1 Ohjauskulma

Ohjauskulman mittaamisella saatiin määritetyksi maksimi ohjauskulman ja väistökeissa käytetyt ratin kulmat. Ohjauskulmalla oli myös tärkeä rooli ratojen mittauksissa, koska näin tiedetään sopiva ohjauskulma kuhunkin mutkaan.

##### 5.1.2 Nopeus

Nopeuden mittaus oli itsestäänselvyys, sillä sitä tarvittiin kaikkien mittausten datasta. Nopeustieto saatiin GPS:n lisäksi vasemman etupyörän pulssianturilta. Etupyörän nopeustieto oli tarpeen etenkin suorituskykymittauksissa, koska GPS:n signaali tulee aina hieman jäljessä.



### 5.1.3 Kiihtyvyydet

Kiihtyvyyksiä mitattiin kolmeen suuntaan. Näin saatiin laskettua kiihtyvyydsvektoreiden resultanttivektori, joka kertoo kiihtyvyyden suunnan. Kiihtyvyyden suunniksi valittiin ajoneuvon suunnassa eteenpäin positiivisen y-akselin, oikealle positiivisen x-akselin ja ylös positiivisen z-akselin.

### 5.1.4 Kiertymät

Kiertymiä mitattiin kahdella gyroskoopilla y- ja x-akselien ympäri. Näin saatiin erotettua kiertyvät liikkeet eli korin heilahdukset ja nyökkäykset kiihtyvyydsdatasta. Näitä heilahduksia ja nyökkäyksiä simulaattorilla onkin helppo toistaa sen alustan kostruktion puitteissa.

### 5.1.5 GPS

GPS-mittauksen paikannustietoja tarvitaan radan tarkan mallinnuksen tekemiseen. Radan mallintaa Metropolian maanmittausopiskelijat.

## 5.2 Mittalaitteet

Mittalaitteet saatiin pääosin lainaksi UG-Elektrosta Aleksii Pihkaselta. Näin kattavaa mittalaitteistoa koululta ei löytynyt, joten jouduttiin tukeutumaan ulkopuoliseen apuun. Ainostaan ohjauskulma-anturi jouttiin rakentamaan itse ja ajoneuvon nopeustiedon saatiin suoraan vasemmasta etupyörästä.

### 5.2.1 Informaation keräys

Mittausdatan keräimenä toimi saksalainen IMC CS-7008-1-laite. Tämä analogiseen datakeräyksen tarkoitettu instrumentti oli yhteydessä tietokoneeseen ethernet-kaapelilla ja mittausohjelmana toimi IMC Devices V2.7R2. Jos laitteistoa oltaisiin lähdetty kasamaan koulun välineistä, oltaisiin valittu Devetron. Devetron on myös analoginen datankeräin, mutta käyttäjäarvioiden mukaan käytettävyydeltään se ei ole IMC:n tasolla. IMC:keräin olikin mainio valinta, sillä se oli helppokäyttöinen ja toimintavarma.

### 5.2.2 Ohjauskulma

Ohjauskulman mittaamiseen oli neljä vaihtoehtoa. Ohjauskulman mittaaminen olisi ollut mahdollista ajoneuvoon lisävarusteena saatavilla olleen ESP:n kääntökulma-anturin avulla, mutta anturi olisi ollut kallis, hinnaltaan noin 550 €. Hinnan lisäksi myös rattiakseli on erilainen ESP:llä varustetuissa Sprintereissä, joten tämä vaihtoehto hylättiin.

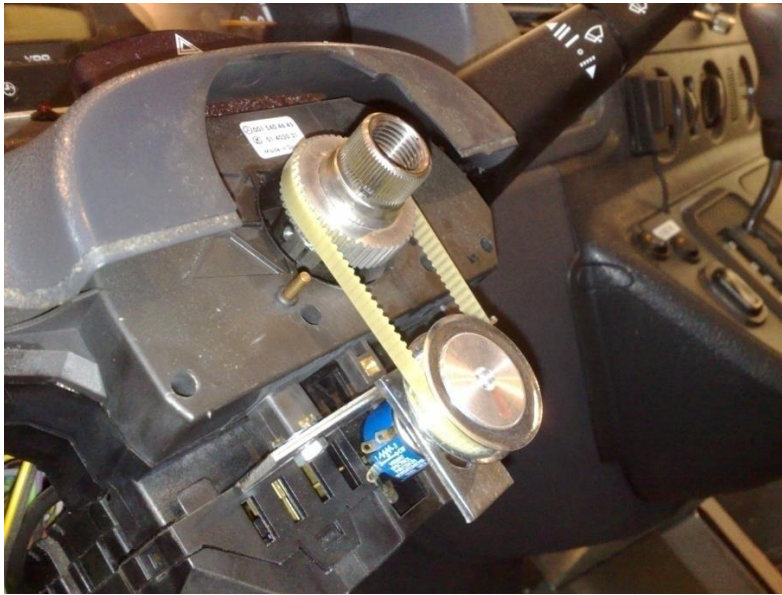
Jäljellä oli kolme vaihtoehtoa: lineaarianturi ohjausvivustoon tai kulma-anturi ohjausakseliin. Lineaarianturien saatavuutta selvitettiin, mutta 300 € hinta tuli esteeksi, minkä lisäksi lineaarianturi on vaikea kalibroitava.

Yksi vaihtoehto oli tehdä esimerkiksi pyörintänopeusanturin hammaskehästä sopiva rattiakselille. Tällä ei olisi saatu kuitenkaan riittävää tarkkuutta mittaukseen, koska hampaita kehässä on vain noin 44, eli yhden hampaan väli oli ollut noin 8°.

Nyt vaihtoehtona oli enää jonkinlainen kiertokulma-anturi ohjausakselille. Ensin harkittiin italialaisen AIM:n valmistamaa mikroautoon tarkoitettua mallia. Siinä mittalaitteena oli potentiometri, joka toimi hammashihnan välittämänä suoraan rattiakselilta. Laite maksoi kuitenkin 150 € ja toimitus olisi kestänyt viikon, joten päätettiin ottaa hieman mallia mittalaitteesta. Potentiometri löytyi Yleiselektroniikka Oy:n valikoimasta hintaan 15 €. Tämä oli tarkoitukseen täydellisesti sopiva tarkkuuspottiometri, jonka vastusalue on 0-10 kΩ ja kiertymä 10 kierrosta. Hammashihna ja hammaspyörät löytyivät SKS Finland Oy:n valikoimasta. Hihnapyörät ostettiin sokeina, joten niihin täytyi tehdä sopivat reiät rattiakselille ja potentiometrille.

Hihnapyörä sovitettiin potentiometrin 6,35 mm akselille poraamalla 6,5 mm reiän hihnapyörään, ja lopuksi se liimattiin paikalleen. Rattiakselin ollessa 25 mm paksu jouduimme sorvaamaan hihnapyörään sopivan reiän. Noin 24,95 mm reiällä liitoksesta saatiin tiukka ahdistusliitos.

Rattiakselille asennettu hihnapyörä syrjäytti tieltään kuljettajan airbagin ja äänimerkinantolaitteen johdotukset (kuva 7). Tämä oli kuitenkin ainoa mahdollisuus, sillä rattiakseli meni erillisen putken sisään heti 50 mm ratin alapuolelta, eli muuta tilaa ei vain ollut. Näin ohjauskulman mittalaitteet saatiin paikalleen kohtuullisella panostuksella. Kulut ohjauskulma-anturista olivat noin 45 €.



Kuva 7. Ohjaukulma-anturi asennettuna paikoilleen ohjauspylvääseen.

### 5.2.3 Nopeus

GPS:n nopeustieto oli saatavilla mutta tarvittiin jonkin referenssin, koska käytetty GPS mittasi vain 5 Hz:n taajuudella. Vaihtoehtoina oli ottaa ajoneuvon CAN-väylästä signaali tai suoraan jonkin pyörän pyörintänopeus tunnistimelta.

Kuorma-autoissa on maailmanlaajuisesti käytössä EN 1399 -standardin mukainen CAN-viestikieli, joka on avoin. Vaikka kyseinen ajoneuvo on kokonaismassaltaan luokiteltavissa kuorma-autoksi, Mercedes-Benz käyttää kuitenkin tässä mallisarjassa henkilöautojen salattua CAN-viestikieltä. CAN-viestien lukemista olisi helpottanut jos valmistajalta olisi saanut viestin osoitetiedon. Tätä tietoa ei kuitenkaan saatu. Oikean viestin löytäminen olisi ollut mahdollista, mutta se olisi saattanut viedä paljon aikaa, joten päätettiin ottamaan nopeustiedon suoraan vasemman etupyörän pyörintänopeustunnistimelta. Pyörintänopeusanturi on pulssitunnistin joka lukee hammaskehää.

Ajoneuvon vasen etupyörä nostettiin ilmaan, minkä jälkeen otettiin eturengas irti. Johdoista veistettiin eristeet pois ja johtimet juotettiin pyörintänopeustunnistimen johtoihin. Liitos eristettiin sähköteipillä ja pyörä asennettiin takaisin paikoilleen. Johdin teipattiin etujoustintukeen ja sitä kautta koriin. Johdin tuotiin sisälle kuljettajan oviaukosta.

#### 5.2.4 Kiihtyvyydet

Kiihtyvyyttä mitattiin kolmeen suuntaan VTI Hamlin A 120 RA-, sekä x- ja y-suuntaan ADXL 321 -kiihtyvyydestunnistimella. VTI:t ovat huomattavasti herkempiä ja laajakaistaisempia kuin ADXL. ADXL:issä on sisäinen suodatin, joka pienentää mittauskaistaa. Molemmat mittalaitteet ovat analogisia.

Koemittausten aikana mittalaitteet olivat kiinni paareissa, mutta paarien värähtely ajon aikana vääristi signaalia. Asennuspaikkaa piti muuttaa ja parempi paikka oli lattialla taka-akselin kohdalla. Taka-akselille asennettuna ajoneuvon kääntäminen ei tuo vääristymää x-suunnan kiihtyvyyteen, koska ajoneuvo kääntyy taka-akselin ympäri. Jos mittalaite olisi esimerkiksi aivan ohjaamon etuosassa, taka-akselilta tulisi jo kahden metrin siirtymä.

VTI:t kiinnitettiin magneetilla ajoneuvon lattiaan kiinnitettyyn lattarautaan (kuva 8). Sivusuunnassa anturi tuettiin paarien runkoon, joka on linjassa ajoneuvon kulkusuuntaan. ADXL:t kiinnitettiin VTI:n viereen kaksipuolisella teipillä liimaten se kiinni lattiaan ja paarien runkoon.



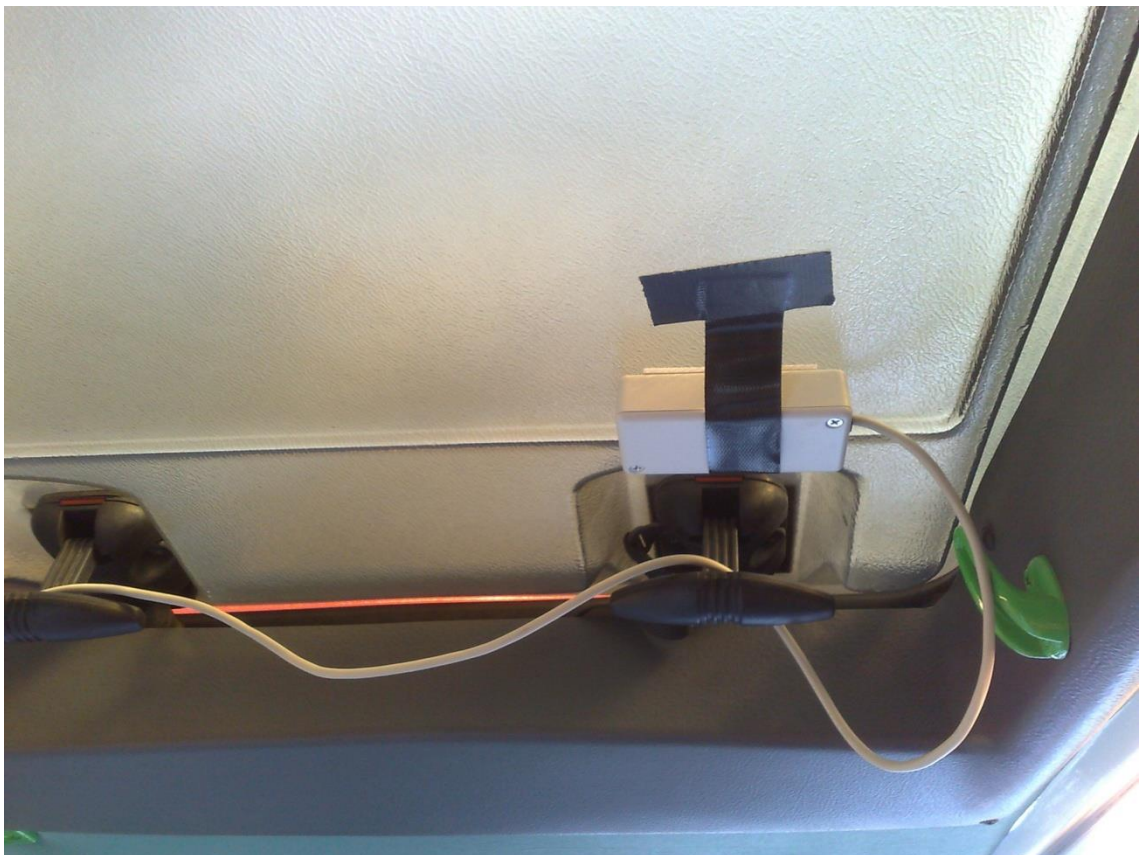
Kuva 8. Kiihtyvyyssanturit kiinnitettynä paikoilleen paarien viereen.

### 5.2.5 Kiertymät

Kiertymät mitattiin y- ja x-akseleiden ympäri. Z-akselin kiertymää ei tarvinnut mitata, koska sitä ei voi toistaa simulaattorilla ja kiertymää syntyy vain jos ajoneuvon hallinta menetetään. Mittalaittana käytettiin analogista gyroskooppiä LPY 530AL, jonka herkkyys on  $\pm 300^\circ/\text{s}$ . Mittaukset tehtiin kuitenkin kuivalla asfaltilla, joten pidon menetystä ei tarvinnut pelätä. Kiertymän mittamisella saadaan helposti esiin nyökkäykset ja korin heilahdukset.

### 5.2.6 GPS

GPS-mittalaitteena käytettiin tavallista 5 Hz:n paikanninta (Kuva 9). Tällä näyttenottoaajuudella ei olisi päässyt riittävään tarkkuuteen suorituskykymittauksissa, joten lisänä oli toinen nopeusmittaus. Paikannustietojen tallentamiseen mittalaite oli kuitenkin sopiva. Datan perusteella on mahdollista tehdä kartta reitistä ja kartan perusteella mallintaa reitti. GPS -paikannin asennettiin muoviseen kattoluukkuun parhaan mahdollisen signaalin saavuttamiseksi.



Kuva 9. GPS -mittalaite asennettuna kattoluukkuun.

### 5.3 Mittalaitteiden konfigurointi ja kalibrointi

Konfiguroinnissa ja kalibroinnissa apuna oli Aleksi Pihkanen UG-Elektrosta. Parametrit säädettiin kohdalleen käyttäen IMC:n V2.7R2 -ohjelmistoa.

#### 5.3.1 Ohjauskulma

Ohjauskulmalle asetettiin näyttenottotaajuudeksi 100 Hz. Ohjauskulmasta haettiin ensin nollapiste kääntämällä renkaat suoraan eteenpäin. Sitten käänneettiin rattia tasan yksi kierros, jolloin saatiin signaalin muutos kierrota kohden. Arvoksi saatiin  $y = 614,33^\circ/V$ . Näillä säädöillä ohjelma antaa tiedon suoraan ohjauskulmana.

#### 5.3.2 Nopeus

GPS:n nopeustieto ei ole kalibroitu. Ei kuitenkaan saatu selville etupyörän hampaskehän hampaiden lukumäärää, joten se piti määrittää mittauksella. Ensin rengasta käännettiin noin yhden kierroksen, jolloin saatiin selville likimain oikea arvo hampaille. Seuraavaksi suoritettiin koeajon ja verrattiin eupyörän nopeutta GPS:n nopeuteen. Tämän avulla iteroitiin arvon vastaamaan GPS:n nopeusarvoa. Tasaisella nopeudella GPS:n paikannustieto on riittävän tarkka, joten sitä voi käyttää referenssinä. GPS:n epätarkkuus muodostuu ongelmaksi vain nopeissa kiihdytyksissä ja jarrutuksissa.

#### 5.3.3 Kiihtyvyydet

Kiihtyvyydsantureita kalibroitaessa ajoneuvo oli erittäin tasaisella alustalla. VTI:n anturit kalibroitiin yksi kerrallaan kääntämällä. Mittaustilassa kalibroitu z-suunnan anturi näyttää painovoiman kiihtyvyyttä ja kun anturin kääntää toisinpäin, se näyttää negatiivista painovoiman kiihtyvyyttä. Kaikki kolmen suunnan anturit kalibroitiin yksitellen kääntäen nollatasoon ja ylösalaisin. Kalibroinnin jälkeen y- ja x-suunnan anturit näyttivät nollaa, ja z-suunnan anturi näytti painovoiman kiihtyvyyttä, koska se oli ainoana vertikaalisesti suunnattu.

ADXL:n anturi kalibroitiin paikallaan, eikä sitä tarvinnut käännellä, koska toimintaperiaate on erilainen.

Molempia kiihtyvyyssantureita mitattiin 1 kHz:n taajuudella, VTI:t konfiguroitiin ominaisuuksien  $y = 1 \text{ G/V}$  ja ADXL  $y = 10 \text{ G/V}$  mukaan.

#### 5.3.4 Kiertymät

Gyroskooppeja mitattiin 1 kHz:n taajuudella. Ne konfiguroitiin arvolle  $y = 300^\circ/\text{s/V}$ . Kiertymätunnistimet kalibroitiin asennuspaikkaansa tasaisella alustalla.

#### 5.3.5 GPS

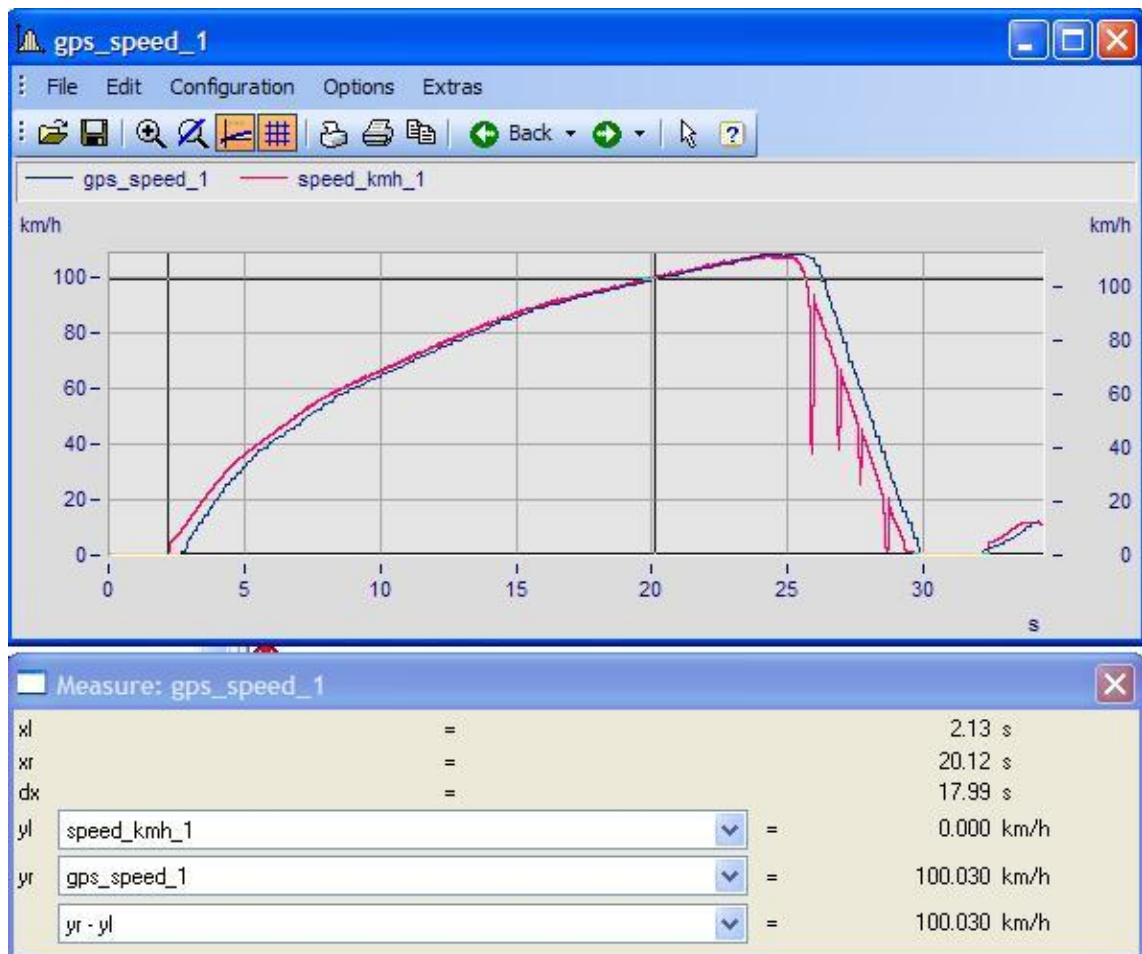
GPS-tietoja mitattiin 5 Hz:n taajuudella. Se ei tarvitse kalibroitua, mutta perusasetukset tiedonkeruuohjelmaan tehtiin.

### 5.4 Mittausten suoritukset

Kaikki mittaukset tehtiin 26.4.2011. Mittausolosuhteet olivat ihanteelliset; sää oli poutainen ja lähes tyyni lämpötilan ollessa noin  $8^\circ\text{C}$ .

#### 5.4.1 Suorituskyky mittaukset

Suorituskyky mittaukset tehtiin tasaisella suoralla tiellä. Kiihtyvyyttä mitattiin sekä GPS:llä ja ajoneuvon vasemman pyörän pyörintänopeudella. Ajoneuvo seiso paikallaan, jalka siirrettiin jarrupolkimelta kaasulle ja painettiin kaasupoljin pohjaan parhaimman mahdollisen kiihtyvyyden saavuttamiseksi. Nopeuden ollessa nopeusmittarin mukaan tavoitenopeudessa 100 km/h siirrettiin jalka taas jarrulle ja tehtiin tehokkain mahdollinen jarrutus. Kuvasta 10 on havaittavissa, että etupyörä lukkiutui jarrutuksessa, mutta ABS-jarrujärjestelmä vähensi jarruvoimaa tämän seurauksena neljällä syklillä. Kiihdytys tavoitenopeuteen vei noin 20 sekuntia ja jarrutus puolestaan noin neljä sekuntia. Hidastuvuuden kuvaaja on hyvin tasainen ja hidastuvuudeksi mitattiin keskimäärin noin 0,8 G.



Kuva 10. Suorituskykymittaus.

#### 5.4.2 Kääntösäde

Kääntösäde mitattiin ajamalla ratti käännettynä ääriasentoon tasaisella nopeudella ympyrää. Näin määritettiin pienin mahdollinen kääntösäde, joka oli noin 15 m.

#### 5.4.3 Radat

Radat ajettiin kuivalla poutasäällä, pyrkimyksenä joustava mutta ripeä eteneminen. Näin ollen kiihdytykset tehtiin voimakkaalla kaasunkäytöllä, mutta auton hidastaminen rauhallisesti ja liikennevaloja ennakkoiden. Ajot suoritettiin keskipäivän aikaan, joten muuta haittaavaa liikennettä ei juuri ollut.



## 6 Mittaustulokset

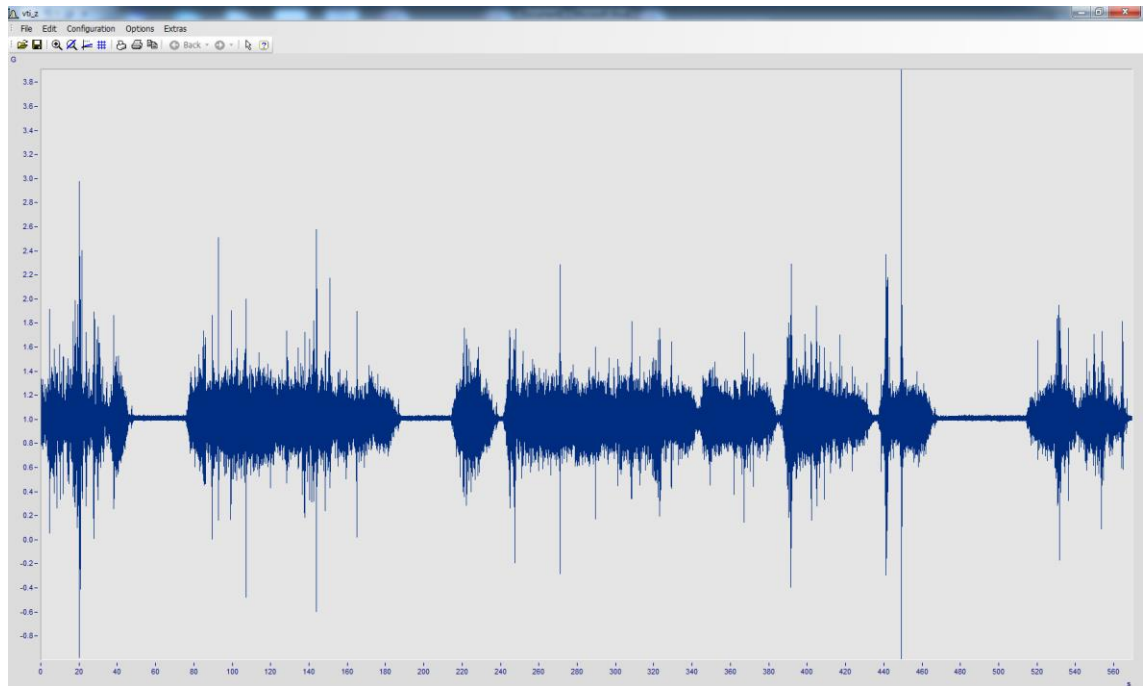
### 6.1.1 Datan käsittely

Mittausdatasta tarkastellaan kiihtyvyy- ja kiertymämittauksia. Niiden perusteella pyritään selvittämään ajoneuvon mukavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Datan perusteella voidaan eritellä millä taajuudella havaittu värähtely tulee ajoneuvosta ja mikä siirtyy koriin tien herätteestä. Näin kerätystä datasta pystytään erottelemaan ajoneuvon ominaiset värähtelytaajuudet.

Mitattu data käsiteltiin FAMOS-datankäsittelyohjelmalla. IMC:n datankeräin tallentaa datan .RAW-muotoon ja tätä formaattia ei voida lukea esimerkiksi yleisesti käytetyllä Matlab-ohjelmalla. Mittaustuloksissa tarkastellaan z-akselin kiihtyvyyttä sekä x- ja y-akseleiden gyroskooppien mitattuja arvoja. Näistä mittausarvoista on vielä tehty psd- eli tehospesktrianalyysi.

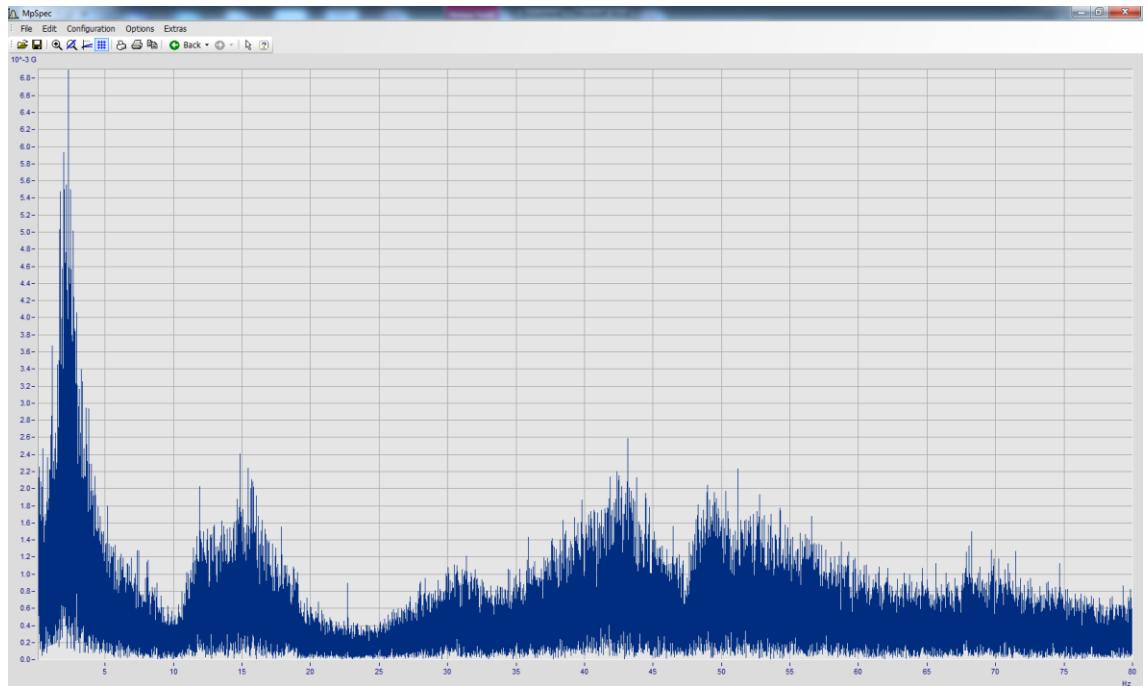
### 6.1.2 Rata 1

Kuvan 11 z-akselin kiihtyvyytkuvaajasta ajan funktiona on nähtävissä milloin ajoneuvo on ollut paikallaan. Moottori ravistaa tyhjäkäynnillä ajoneuvon koria ja syntyy matalaa kohinaa, joka näkyy kuvaajassa lähes suorana viivana. Kuvaajasta on nähtävillä myös korin voimakkaammat liikkeet ajon aikana. 2 G:n kiihtyvyyden piikkejä on 14 kpl ja sitä suurempia muutama. Näissä kohtaa rataa on tiessä ollut kuoppia tai ratitiovaunukiskoja, jotka aiheuttavat voimakkaan herätteen koriin.



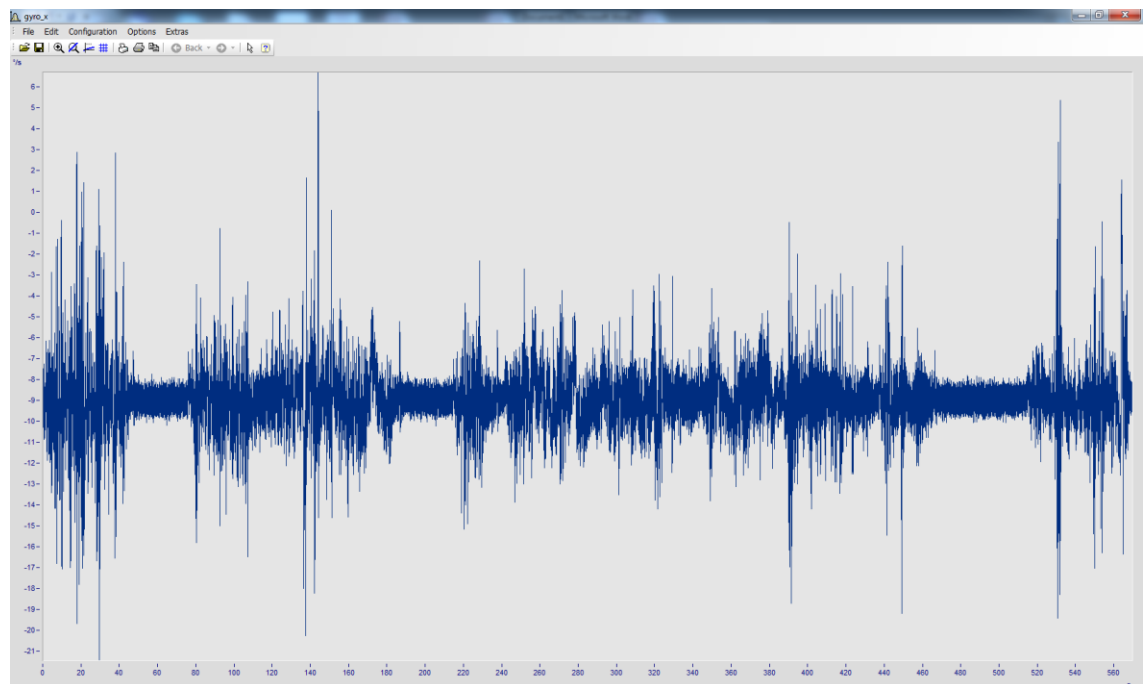
Kuva 11. Rata 1, z-akselin kiihtyvyys ajan suhteen.

Kuvan 12 kuvaaja on tehosppekrtianalyysi tehtynä z-akselin kiihtyvyydestä. Tämä kuvaaja kertoo z-kiihtyvyyden tehon kullakin taajuudella. Suurin taajuus on rajattu 80 Hz:iin, koska ajoneuvon ominaisuudet näkyvät taajuusspektrissä lähes pelkästään matalammilla taajuuksilla. Alle 5 Hz:n taajuudella näkyvä voimakkain spektri on enimmäkseen kohinaa, mutta mukana tällä taajuudella on myös tien epätasaisuudesta aiheutuva korin värähtelyä. Tästä kuvaajasta voidaankin tarkastella jo ajoneuvon ominaisuuksia tarkemmin. 15 Hz:n taajuudella tapahtuva voimakkaampi vaihtelu on akselistojen värähtelyä, joka aiheutuu tien tai renkaan harätteestä (3). Tämä ei kuitenkaan ollut epämiellyttävästi havaittavissa ajossa, mutta saataa muuttua epämiellyttävämmäksi epätasapainon kasvaessa.



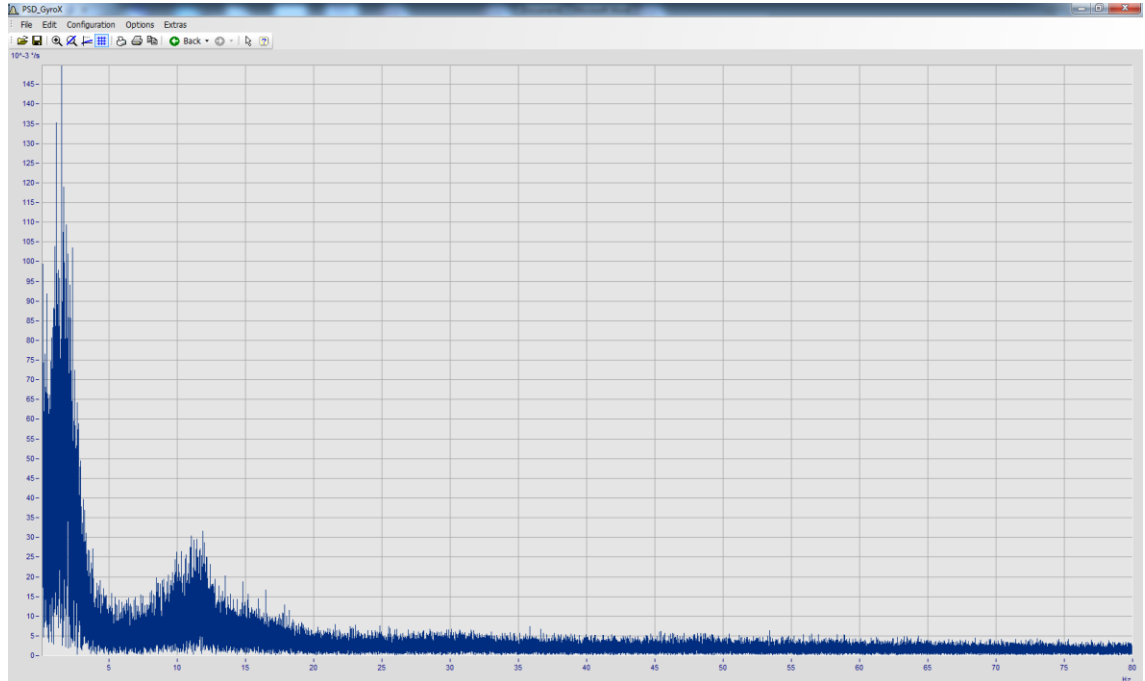
Kuva 12. Rata 1, z-akselin kiihtyvyys PSD-tehospektrikuvaaja.

Kuvassa 13 x-akselin kiertymästä eli "nyökämisestä" havaitaan että voimakkaat kiihtyvyydet osuvat samoille sekunneille kuin z-akselin kiihtyvyyssuunnassa. Myös taustakohtina on samalla paikalla kuvaajassa, kun auto ei liiku.



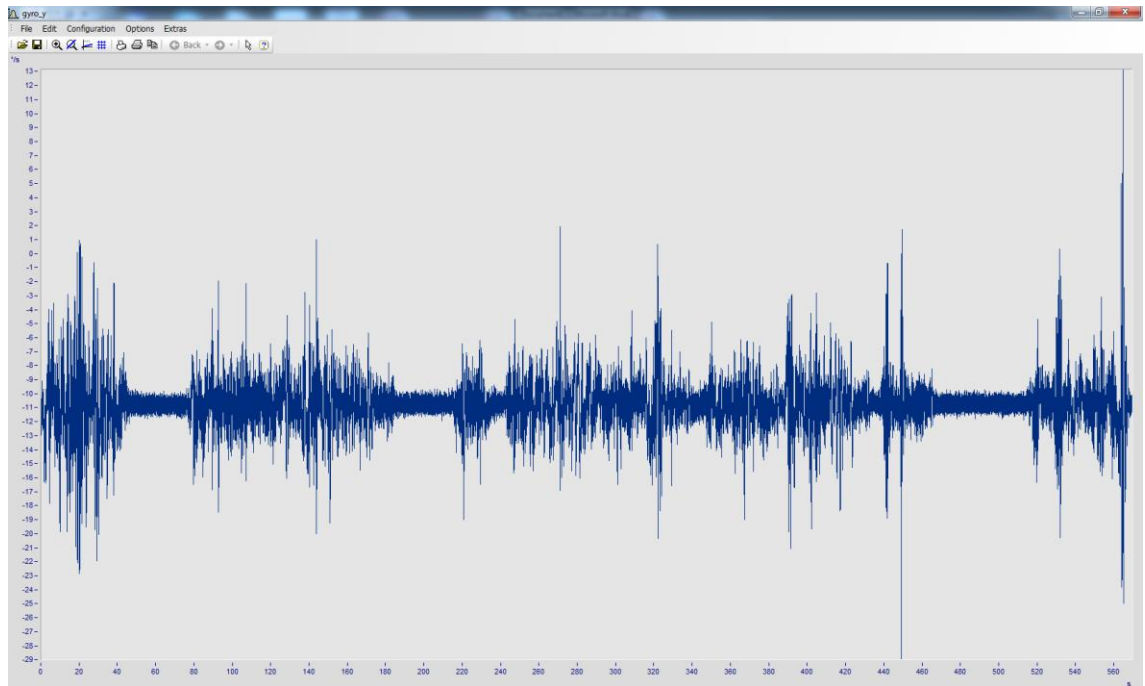
Kuva 13. Rata 1, x-akselin gyroskooppi ajan suhteen.

Tehospektrikuvaajassa kuvassa 14 on alle 5 Hz:n taajuudella voimakasta kohinaa sekä siihen sekoittuvaa korin värähtelyä. 10–15 Hz:n taajuudella on kuvaajasta havaittavissa merkittävämpää liikehdintää, joka saattaa johtua esimerkiksi korin taipumuksesta nyökkiä. Korkeammilla taajuuksilla kuvaaja on matalaa kohinaa eikä nopeita kiertymiä ole.

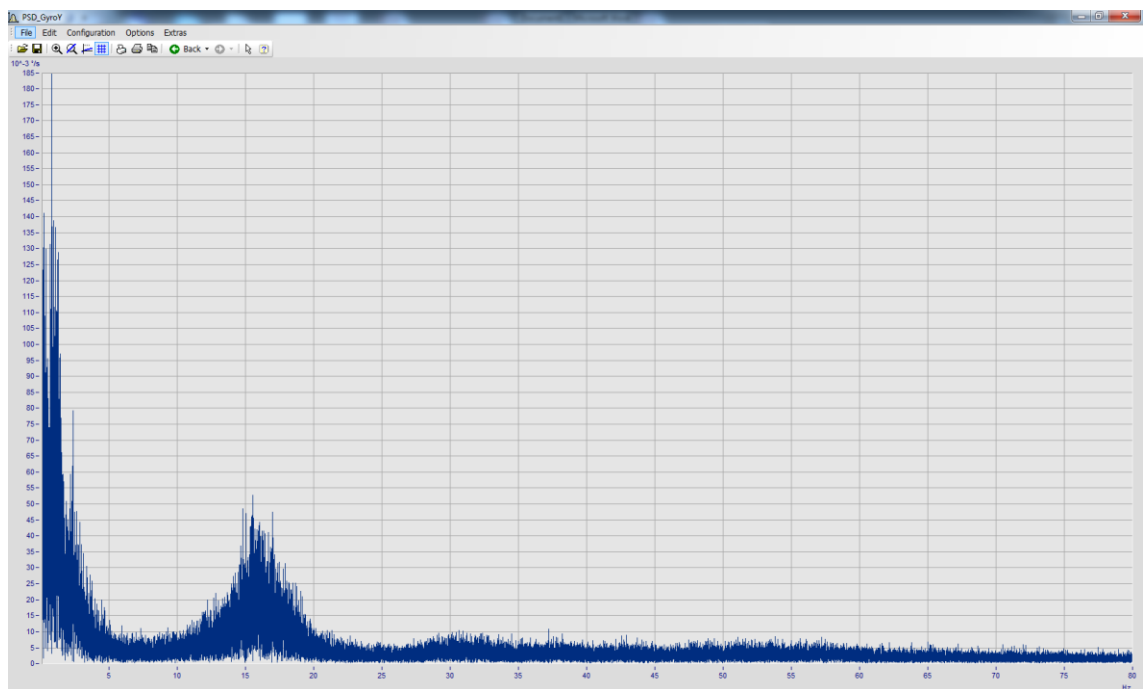


Kuva 14. Rata 1, x-akselin gyroskooppi PSD-tehospektrikuvaaja.

Y-akselin pyörimisliikkeen mittauksissa kuvissa 15 ja 16 on nähtävissä, että z-akselin ympäri kiertymä ei ole niin voimakasta kuin x-akselin ympäri. Tehospektrissä matala alle 5 Hz:n taajuudella tapahtuva liikehdintä on erittäin voimakasta, mutta suurin osa siitä on kohinaa, vain osa on korin liikettä. Huomioitavaa myös on, että kun gyro x-akselin tehospektrikuvaajassa voimakasta muutosta on 10–15 Hz kohdalla, niin gyro y-akselin vastaavassa kuvaajassa muutos on 15–20 Hz paikkeilla. Tämä saattaa johtua voimansiirron värinöiden välittymisestä koriin, moottori ja voimansiirto ovat autossa pitkittäin.



Kuva 15. Rata 1, y-akselin gyroskooppi ajan suhteen.



Kuva 15. Rata 1, y-akselin gyroskooppi PSD-tehospektrikuvaaja

### 6.1.3 Rata 2 ja 3

Ratojen 2 ja 3 mittaustulokset kiihtyvyyden z-akselin suhteen ja kiertymät x- ja y-akseleiden ympäri sekä niiden tehospektrikuvaajat ovat liitteissä 1 (rata 2) ja 2 (rata 3). Näistä näkee että samat korostumat etenkin tehospektrikuvaajissa ovat kaikissa kol-

nessa mittauksessa. Z-akselin kiihtyvyyden tehospektrikuvaajissa on kaikissa korostumaa 40–50 Hz taajuudella, mikä johtuu akselistojen värähtelystä. Kaikissa tehospektrikuvaajissa on myös noin 15 Hz:n paikalla korostumaa minkä aiheuttaa akselistojen värähtelyt.

## **7 Johtopäätökset**

Projektin edetessä aikataulussa pysyminen tuotti suunnittelulle suuria haasteita. Tämän datan keräyksen aikana keväällä 2011 ei ollut vielä selvillä tultaisinko tätä keräämääni dataa käyttämään todellisessa simulaattorissa. Simulaattorin alustan suunnittelu kesti myös suunniteltua pidempään. Alustan rakenteet olivat selvillä vasta 2012 kesällä. Tiettyssä suunnittelun vaiheessa automaatiotekniikan opiskelijat päätyivät käyttämään valmiiksi mallinnettuja ajoneuvoja ja niiden liiketiloja suoraan valmiin tietokonepelin ohjaamana. Simulaattoriin ei myöskään tullut todellisia kaupunkiin mallinnettuja ratoja toisin kuin ensin oli tarkoitus. Tämä ratkaisu teki tässä työssä keräämäni datan merkityksettömäksi simulaattoria ajatellen. Simulaattorilla ajetaan pelintekijän valmiiksi määrittämiä ratoja, ja herätteet simulaattorin liikkeille tulevat valmiiksi koodatusta pelistä, toisin kuin projektia aloitettaessa suunniteltiin. Tällaiseen ratkaisuun päädyttiin, koska ratojen mallintaminen keräämästäni datasta olisi ollut erittäin työlästä. Ratojen mallinnus maanmittausopiskelijoiden toimesta ei myöskään osoittautunut mahdolliseksi.

Simulaattoriin olisi mielekästä asentaa samantyyppinen testilaitteisto kuin mitä mittauksissa käytettiin ja verrata simulaattorilla toistettua alkuperäiseen dataan. Näin saataisiin määriteltä toistokyvyn siirtymä eli miten hyvin simulaattori kykenee toistamaan ambulanssin ajotiloja. Tällä tavalla saataisiin selville kuinka todenmukainen simulaattori on verrattuna oikeaan ambulanssiin. Tämä kuitenkin edellyttäisi kerätyn datan jälkikäsitteilyn sellaiseen muotoon, että simulaattorissa käytettävä peli voisi sitä prosessoida. Se ei ole mielestäni kuitenkaan mielekästä huomioiden saatavan hyödyn. Valmis peliohjelma valmiine ajotiloineen on varmasti paras ratkaisu tähän simulaattoriin.

Projektia käynnistettäessä tarkemmat suunnitelmat kokonaisuudesta olisi ollut syytä tehdä ennen mittauksen aloittamista. Osasyynä nopeaan mittausdatan keräämiseen heti projektin aloittamisen jälkeen oli se, että tämä insinöörityö oli tarkoitus saattaa valmiiksi keväällä 2011. Koko projekti käynnistettiin nopealla aikataululla ja hatarasti

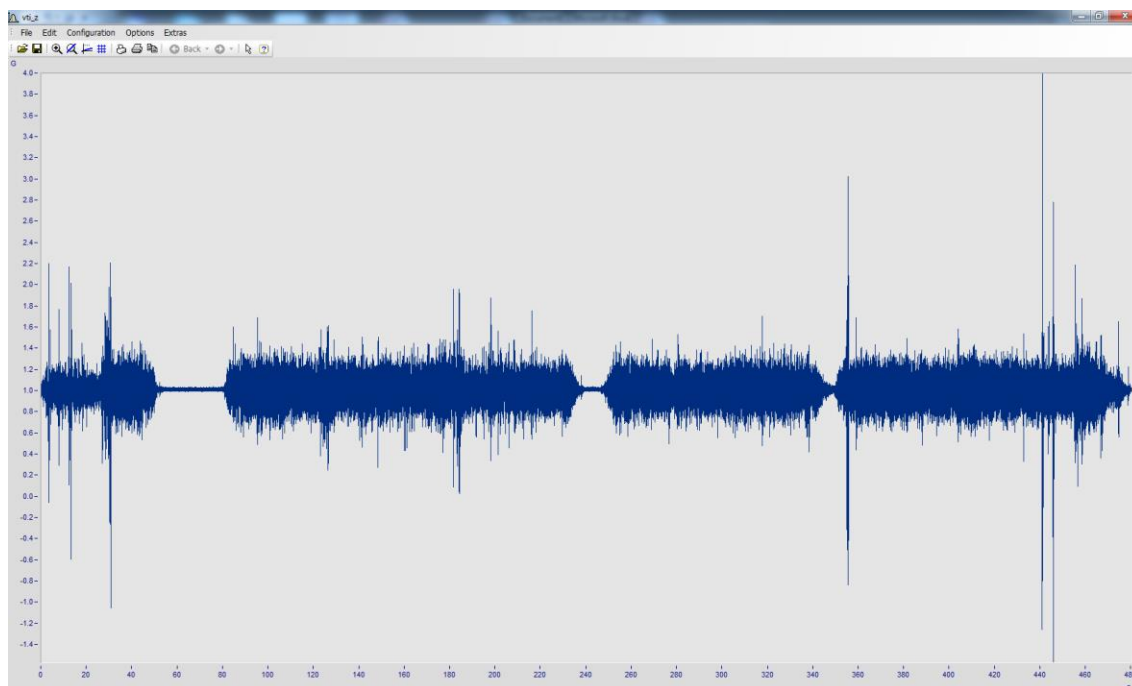
suunnitellen. Oli ainoastaan jonkinlainen käsitys tulevasta lopputuotteesta, mutta se miten tähän päästiin olisi pitänyt suunnitella paremmin ennen konkreettisen mittaus- ja alustansuunnittelutyön aloittamista.

## Lähteet

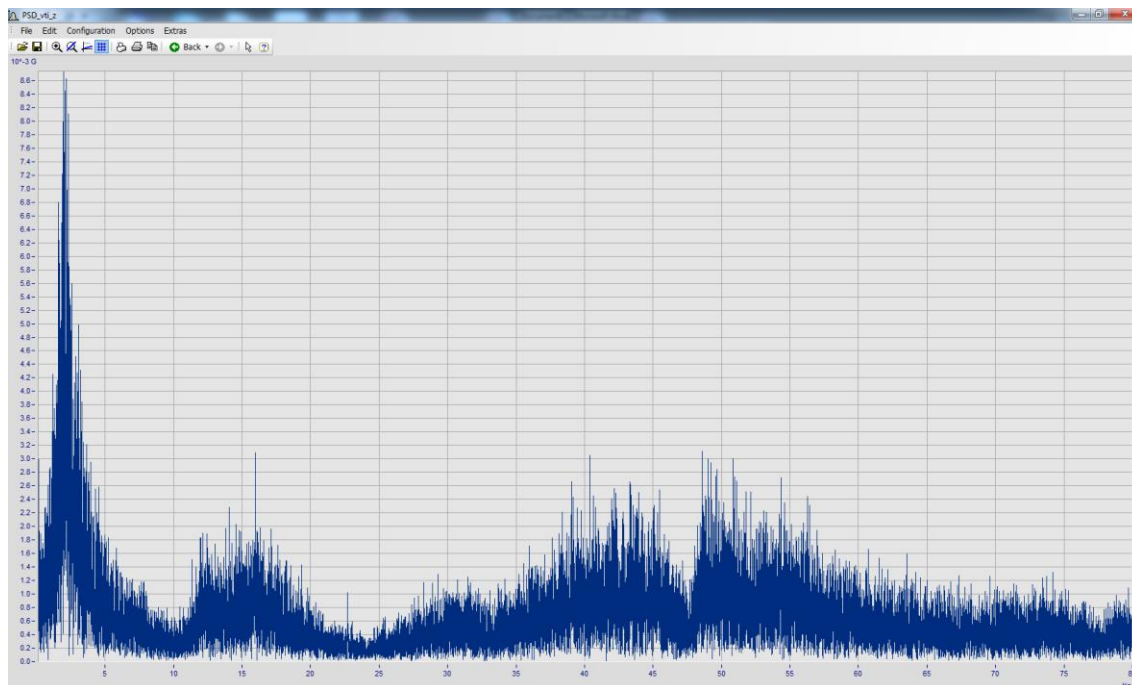
- 1 Hyytiäinen, Antti. 2011. Ambulanssisimulaattorin liikealustan mekaaninen suunnittelu. Insinööri työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 2 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Ajoneuvon tekniset tiedot.
- 3 Heißing, Bernd. 2011. Chassis handbook. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.



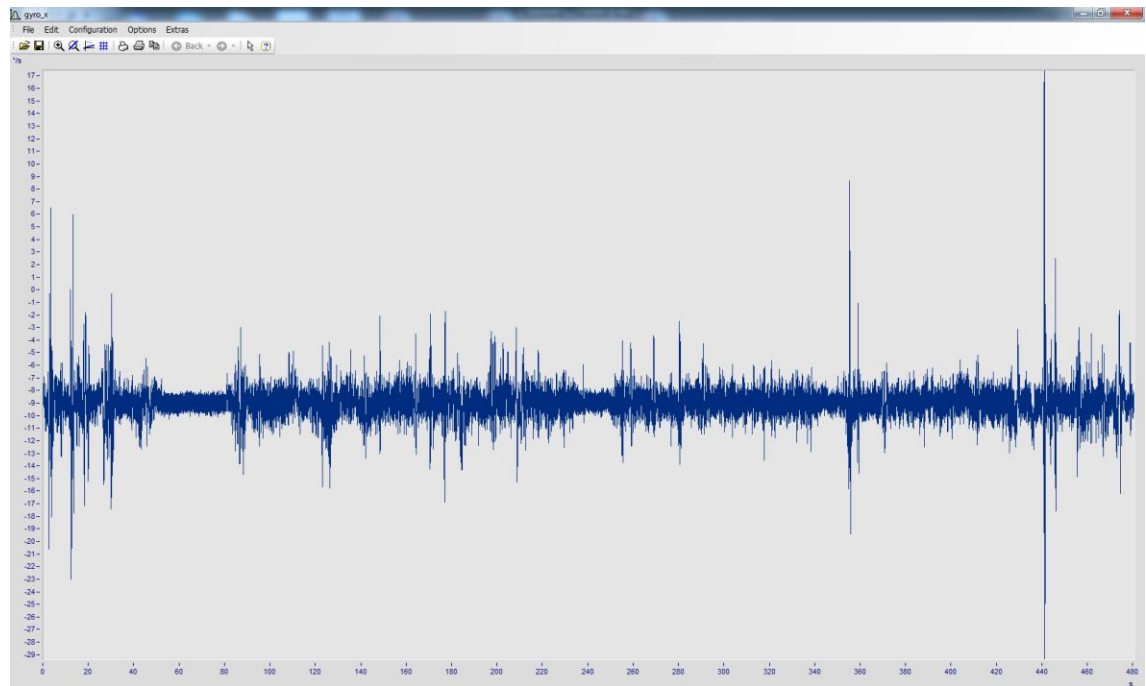
## Mittaustulokset rata 2



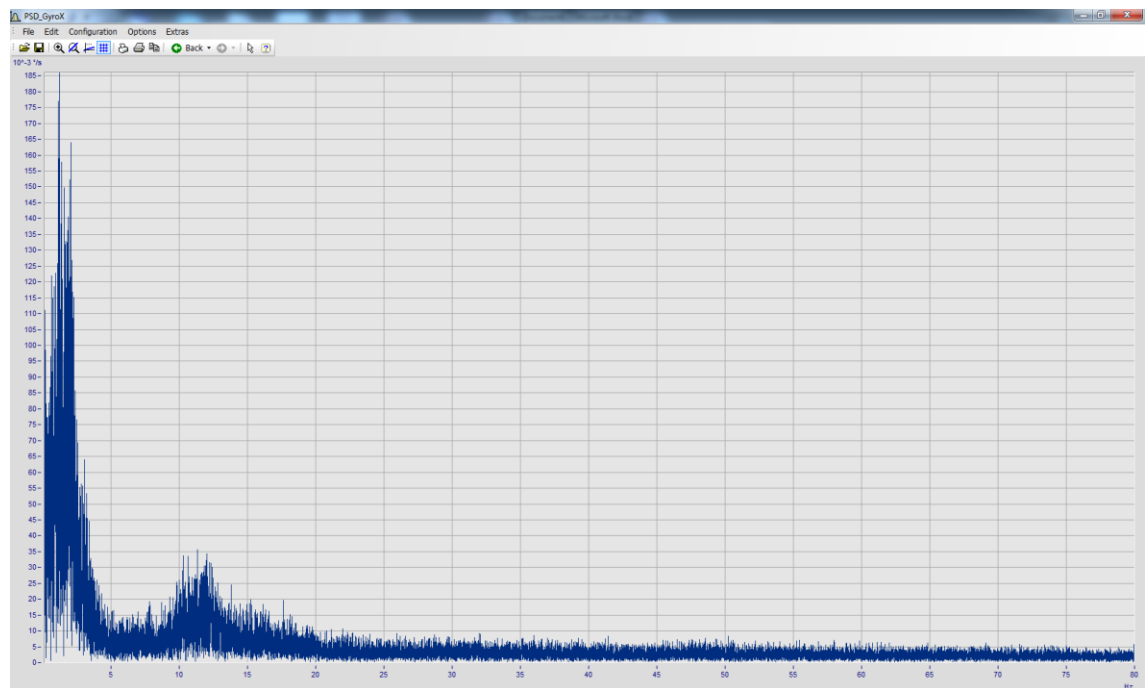
Rata 2, z-akselin kiihtyvyys ajan suhteen.



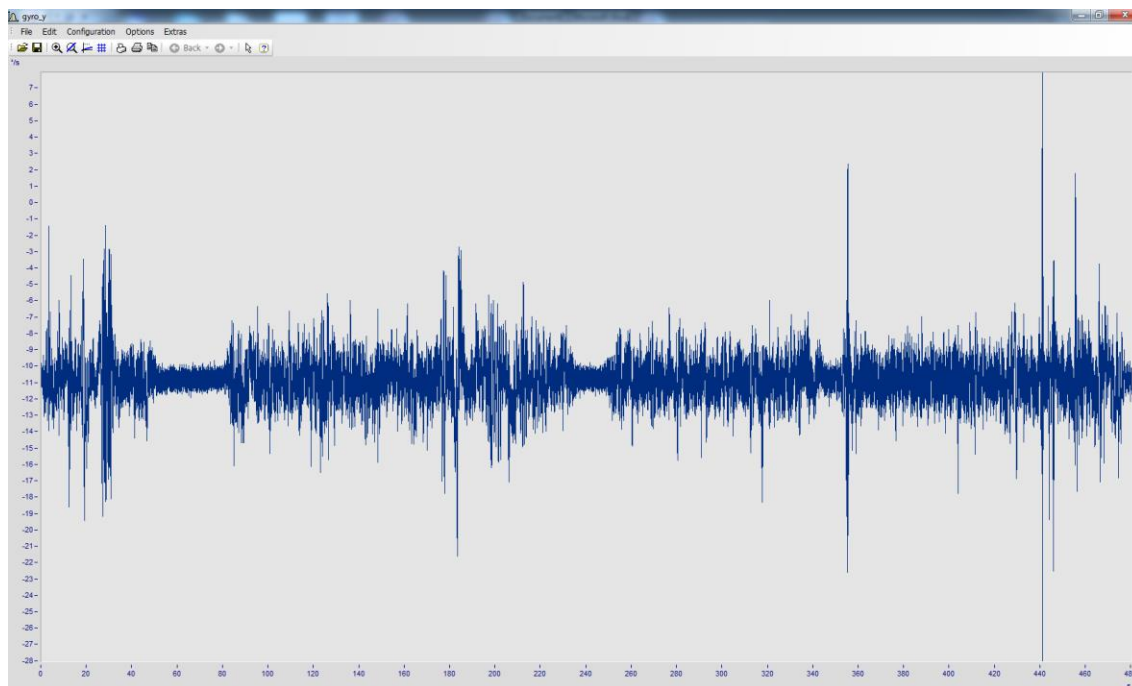
Rata 2, z-akselin kiihtyvyys PSD-tehospektrikuvaaja.



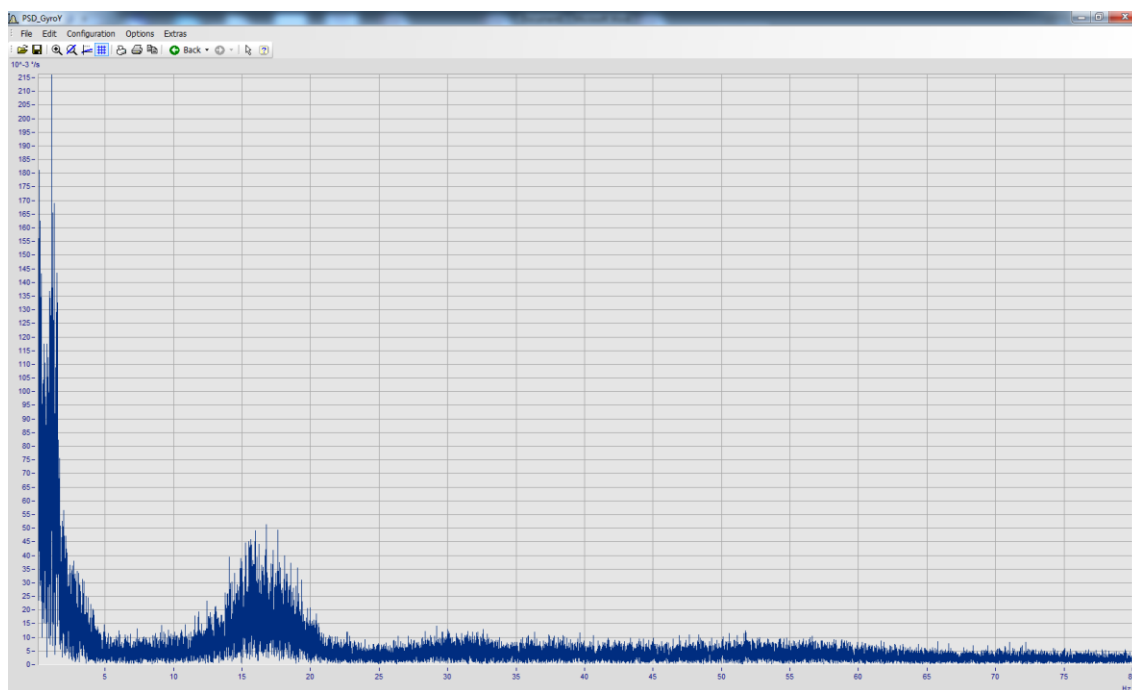
Rata 2, x-akselin gyroskooppi ajan suhteen.



Rata 2, x-akselin gyroskooppi PSD-tehospektrikuvaaja.

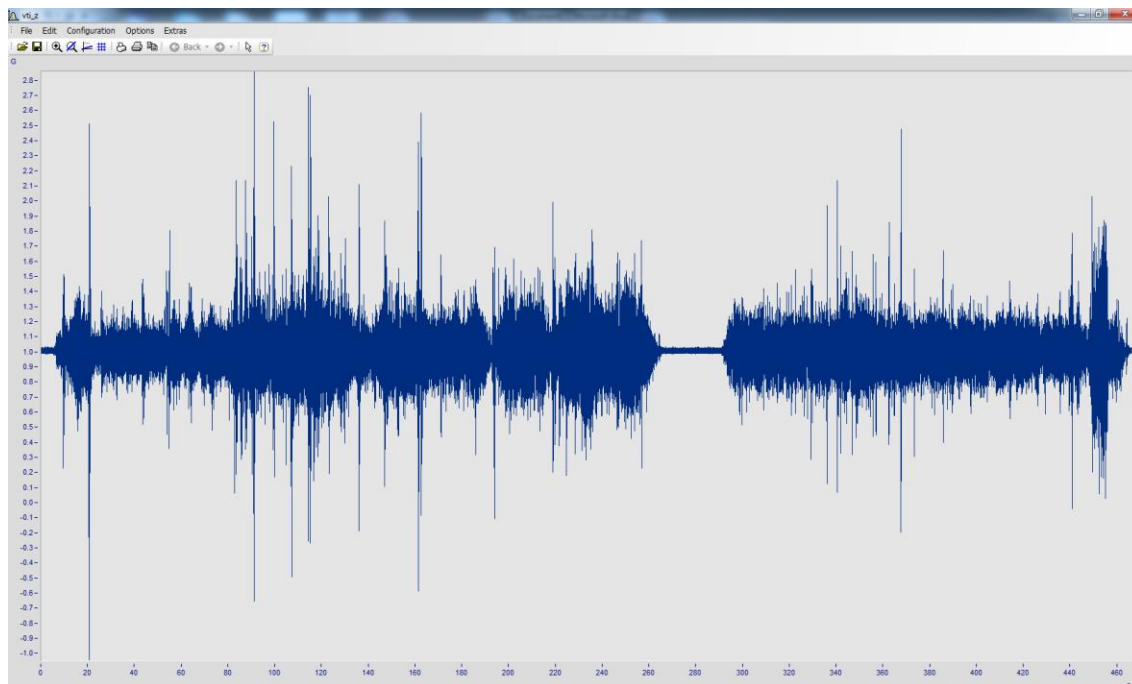


Rata 2, y-akselin gyroskooppi ajan suhteen.

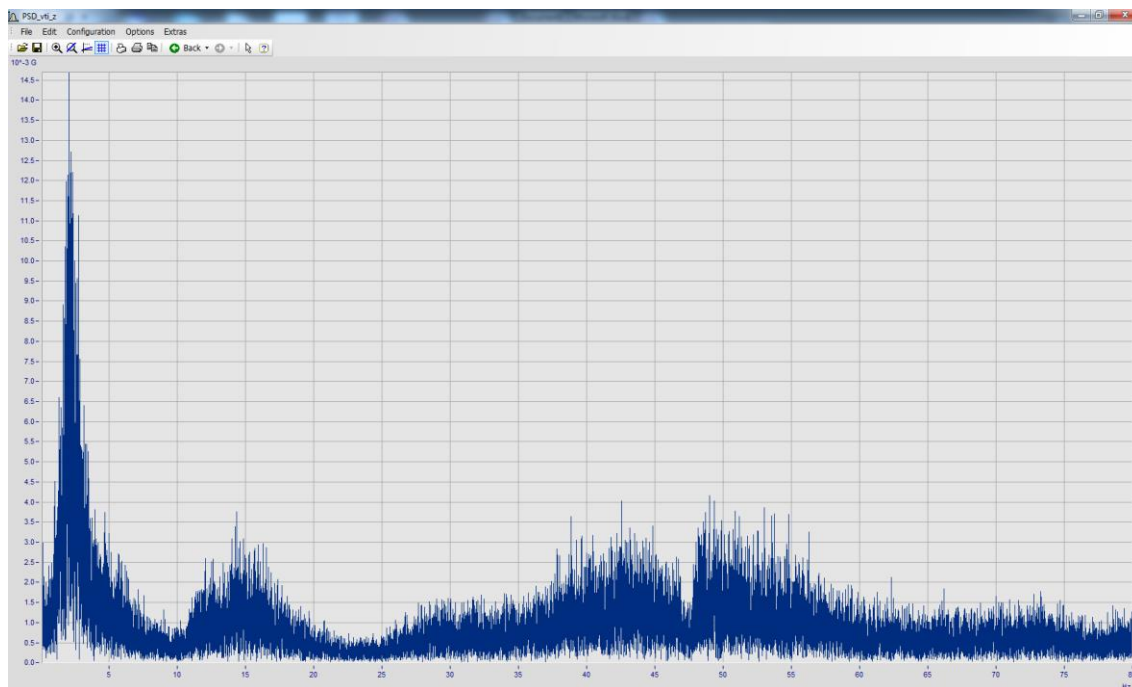


Rata 2, y-akselin gyroskooppi PSD-tehospektrikuvaaja.

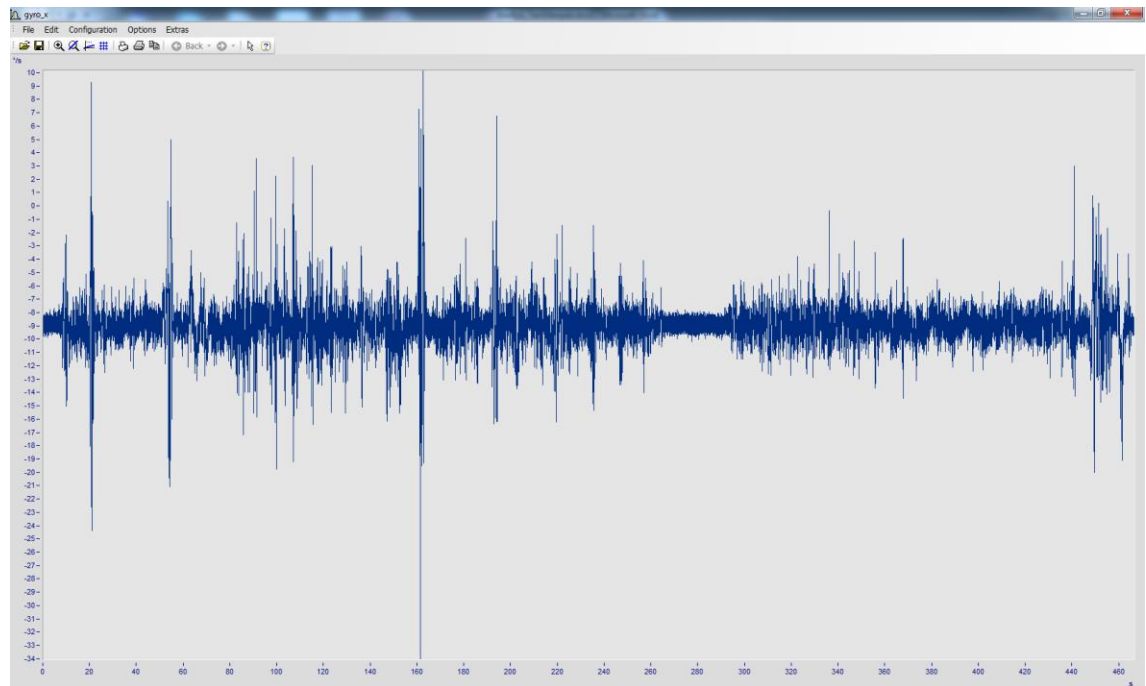
### Mittaustulokset rata 3



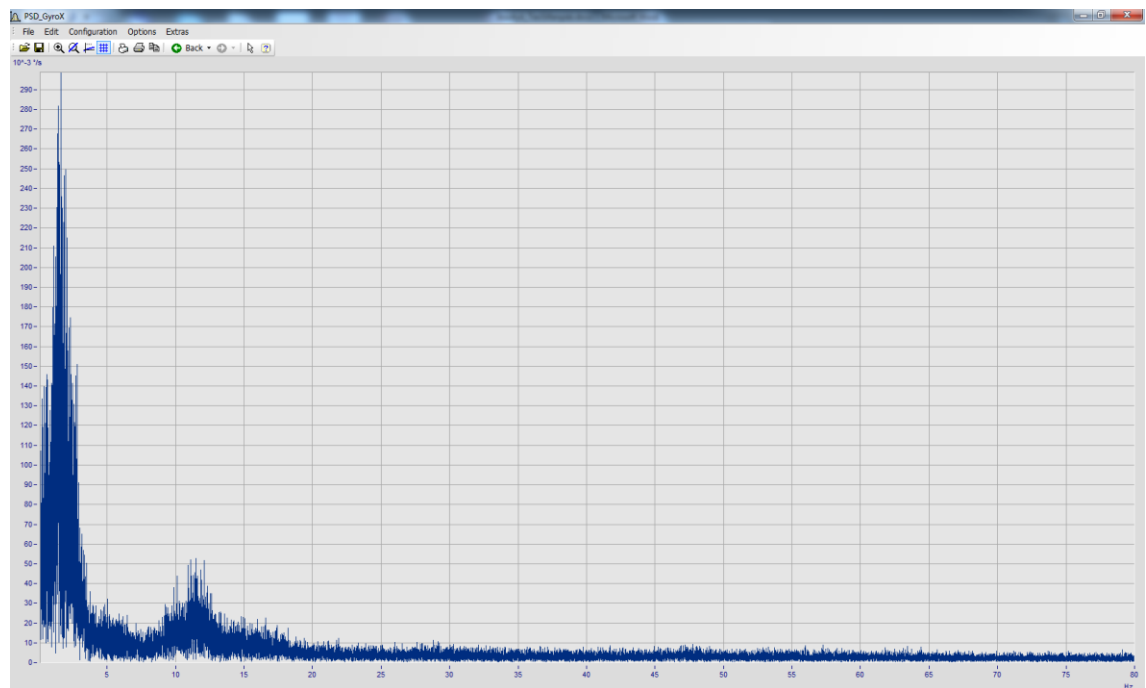
Rata 3, z-akselin kiihtyvyys ajan suhteen.



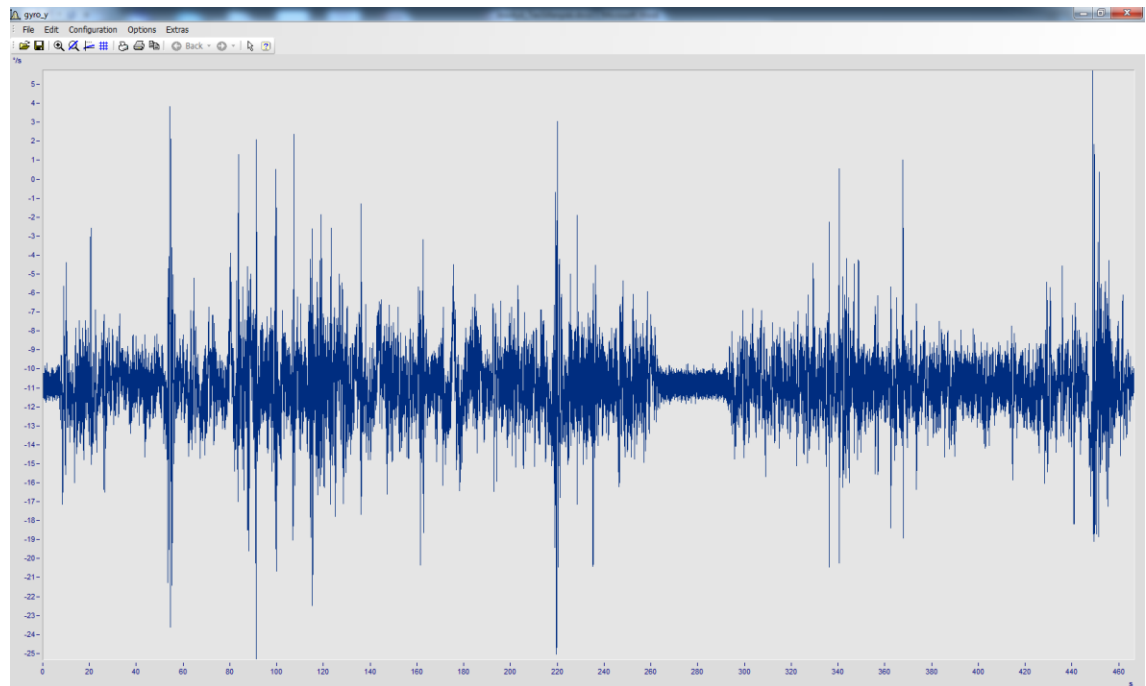
Rata 3, z-akselin kiihtyvyys PSD -tehospektrikuvaaja.



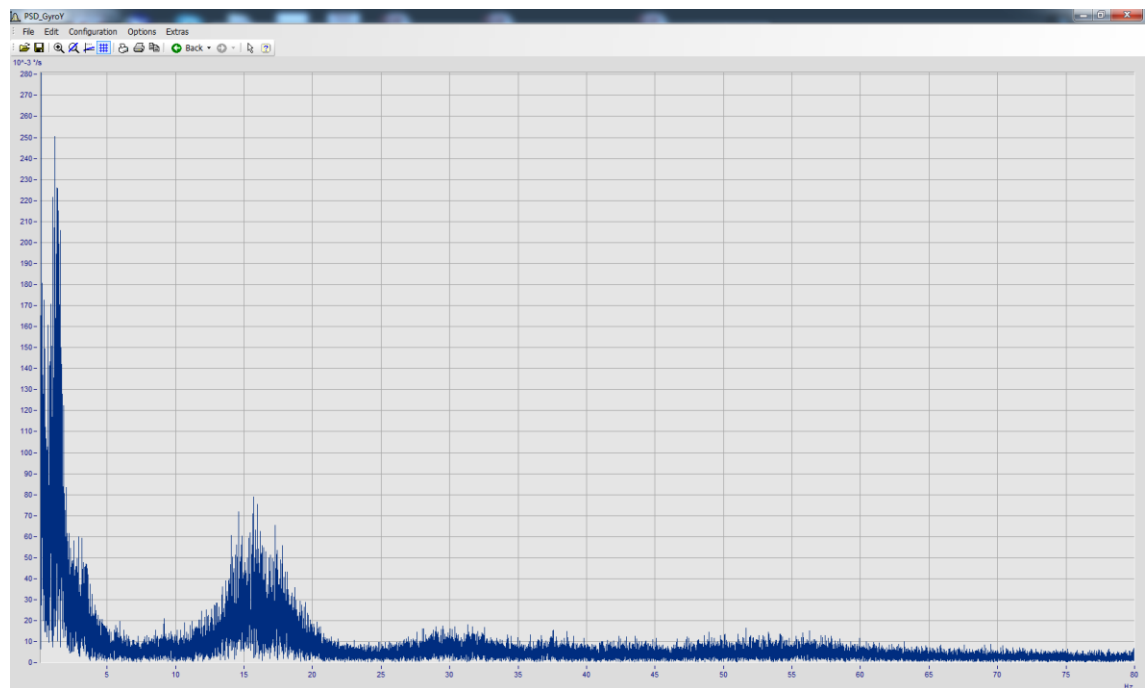
Rata 3, x-akselin gyroskooppi ajan suhteen.



Rata 3, x-akselin gyroskooppi PSD-tehospektrikuvaaja.



Rata 3, y-akselin gyroskooppi ajan suhteen.



Rata 3, y-akselin gyroskooppi PSD-tehospektrikuvaaja.