

Sami Lehto

Renault Twizyn mekaaniset muutokset autonomiiaa varten

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööryö

4.11.2017

Tekijä(t) Otsikko	Sami Lehto Renault Twizyn mekaaniset muutokset autonomiaa varten
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liite 4.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Jälkimarkkinointi
Ohjaaja(t)	Toimitusjohtaja Harri Santamala, Sensible4 Oy Lehtori Pertti Ylhäinen
<p>Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa tarvittavat mekaaniset muutokset, jotta Renault Twizy 80 saataisiin muutettua autonomiseksi. Projekti on Sensible 4 Oy:n ja GIM Oy:n yhteistyöprojekti. Työ ajoittui kesälle 2017.</p> <p>Työ aloitettiin selvittämällä tarvittavat muutokset ajoneuvoon autonomisen ajon saavuttamiseksi. Jarrut, seisontajarru ja ohjaus piti muuttaa sähköisiksi. Lisäksi ajoneuvoon piti asentaa erilaisia antureita, jotta ajoneuvo kykenisi ajamaan autonomisesti.</p> <p>Asennukset toteutettiin Otaniemessä GIM Oy:n tiloissa ja osat valmistettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa. Ajoneuvosta purettiin alkukesästä 2017 tarvittavat osat, kun se saapui Suomeen. Järjestelmiä muutettiin osien saapumisjärjestyksessä.</p> <p>Tavoitellut muutokset valmistuivat heinäkuun 2017 loppuun mennessä aikataulun mukaisesti. Ajoneuvon mekaanisten muutosten valmistuttua niiden ohjelmointi ja testaaminen voitiin aloittaa. Nopea aikataulu rajoitti valmistettävien osien ulkomuodon viimeistelyä.</p>	
Avainsanat	Autonominen ajoneuvo, sähköauto, älykäs liikennejärjestelmä

Author(s) Title	Sami Lehto Mechanical Modifications of Renault Twizy for Autonomous Drive
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendix 1 Nov 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	After Sales Engineering
Instructor(s)	Harri Santamala, CEO Sensible 4 Oy Pertti Ylhäinen, Senior Lecturer
<p>The objective was to design and execute necessary modifications to Renault Twizy 80 for autonomous drive. The project was carried out in cooperation with Sensible 4 Oy and GIM Oy. Modifications of this thesis were scheduled for the summer 2017.</p> <p>The assignment was started by solving what components would be modified to achieve autonomous drive. The brakes, the parking brake and the steering had to be modified so that they could be operated electrically. Additionally, different kind of sensors had to be mounted to the vehicle.</p> <p>The needed mounting was carried out in GIM's premises and the needed parts for modifications were manufactured in Metropolia's welding laboratory. The vehicle was dismantled for unveiling the necessary parts when it arrived in Finland, in the beginning of the summer 2017. The components were modified in the order that the needed parts arrived.</p> <p>The objective of this thesis was accomplished in the end of July 2017 in the given time. Programming and testing of the vehicle was started after the mechanical modifications were complete. Quick timetable of the project restricted the detailing of the parts in appearance.</p>	
Keywords	Autonomous vehicle, electric car, intelligent transport system

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Autonomia liikenteessä	2
2.1	Autonominen ajoneuvo	2
2.2	Automaation vaikutukset liikenteessä	3
3	Muutettava ajoneuvo	3
3.1	Renault Twizy 80	3
3.2	Muita muunnoksia Twizystä	4
3.2.1	Streetdrone one	4
3.2.2	Oxbotica	5
3.2.3	Gaius	6
4	Muutettavat ja lisättävät komponentit	6
4.1	Jarrut	7
4.1.1	Käyttöjarrut	7
4.1.2	Seisontajarru	9
4.2	Ohjaus	11
4.3	Pyörintänopeustunnistin	16
4.4	Sensorit	18
4.4.1	Ohjaukulma-anturit	19
4.4.2	RTK-GPS	20
4.4.3	Velodyne LiDAR Puck-16	21
4.4.4	Hokyo 2d LiDAR	22
4.4.5	FLIR Vue	24
4.4.6	Inertiamittauslaite	25
5	Logiikka	26
5.1	Ohjausjärjestelmä	26
5.2	eStop	26
6	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

Lyhenteet

L7e	Ajoneuvoluokka. Määritellään EU:n asetuksessa N:o 168/2013.
eStop	<i>Emergency Stop</i> . Ajoneuvon hätäpysäytysjärjestelmä.
IP-luokitus	<i>International Protection</i> -luokitus, jossa ensimmäinen numero kuvastaa laitteen suojaa pölyltä ja toinen numero vedeltä.
TC	<i>Traction Control</i> . Järjestelmä, jonka tavoitteena on pitää renkaat pyörimättä tyhjää.
ABS	<i>Antilock Brake System</i> . Järjestelmä, jonka tavoitteena on jarruttaa lukitsematta jarruja.
GPS	<i>Global positioning system</i> .
RTK	<i>Real-time kinematic</i> . Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.
Lidar	<i>Light detection and ranging</i> . Valoon perustuvat havainnointi- ja etäisyysmittauslaitteet.
2d ja 3d	Kaksi- ja kolmiulotteisuus.
RH	<i>Relative humidity</i> . Suhteellinen kosteus, vesihöyryn määrä ilmassa tiivistymispisteeseen verrattuna samassa lämpötilassa. Ilmoitetaan yleensä prosentteina.

1 Johdanto

Työn tilaaja on Sensible4 Oy -niminen yritys. Yritys on perustettu vuonna 2017 ja erikoistuu liikenteen robotiikkaan. Projektin tavoitteena on ensimmäisenä Suomessa valmistaa autonominen ajoneuvo muunnoksena valmiista alustasta. Tarkoitus on valmistaa autonominen ajoneuvo, joka selviää myös haastavista talviolosuhteista.

Autonomia liikenteessä on kehitysvaiheessa, mutta yleistyy tulevaisuudessa. Syynä on liikenteen turvallisuuden parantaminen ennakoivan ajotavan ansiosta. Suomessa aihe on tuore, mutta maailmalla on jo valmistettu autonomisia ajoneuvoja ja testattu niitä liikenteessä.

Työ rajoittuu ajoneuvon mekaanisiin muutoksiin, minkä lisäksi työssä tarkastellaan erilaisia tarvittavia sensoreita, joita autonominen ajoneuvo vaatii toimiakseen. Lopussa on lyhyesti kuvattu, miksi logiikkaa tarvitaan autonomisessa ajoneuvossa.

Teoria-aineistoa on kerätty verkkoaineistoista ja datalehdistä. Suurin osa työstä koostuu omista havainnoista ja tiedoista, koska vastaavaa laitetta ei ole juuri samoin menetelmin valmistettu. Suurin osa muutettavista komponenteista piti muokata ajoneuvoon sopiviksi autonomista ajoa varten.

Työ alkoi toukokuun lopussa 2017, kun muutettava ajoneuvo Renault Twizy saapui Suomeen. Ajoneuvo purettiin tarpeellisiin osiin, jotta uusia osia voitaisiin suunnitella sekä etsiä näille parhaat mahdolliset asennuspaikat. Asennukset suoritettiin GIM Oy:n tiloissa Otaniemessä ja osat valmistettiin Metropolian tiloissa hitsauslaboratoriassa. Työ eteni sitä mukaan, kun tarvittavat komponentit saapuivat. Osien saapumisen aikataulu oli epätarkka, koska niitä tilattiin eri puolelta maailmaa. Ajoneuvon mekaaniset muutokset saatiin valmiiksi heinäkuun 2017 loppuun mennessä. Tämän jälkeen projekti jatkui ajoneuvon ohjelmoimisen ja testaamisen yhteydessä.

2 Autonomia liikenteessä




























2.1 Autonominen ajoneuvo

Autonominen ajoneuvo on tieliikenteen automaatioon liittyvä käsite, joka on määritelty Trafin tekstissä seuraavasti: *Automaattiajoneuvo, joka kykenee suoriutumaan ajotehtävistä ilman kuljettajaa ja ilman yhteyttä muihin ajoneuvoihin tai infrastruktuuriin.* [5]

Autonominen ajoneuvo on siis itsestään kykenevä ajamaan paikasta A paikkaan B, esimerkiksi pelkkien annettujen koordinaattien avulla.

Automaatio luokitellaan eri tasoille täysin manuaalisesta ajosta ajoneuvon täysin automatisoituun hallintaan. Näistä yleisin on SAE International luokitus (taulukko 1), jossa automaatio on jaettu kuuteen eri tasoon. Projektin tavoitteena on muuttaa ajoneuvo tason 4 korkeaan autonomiaan. Tason 4 korkeassa autonomiassa ajoneuvon järjestelmä vastaa kaikista dynaamisista ajotilanteista, vaikka se pyytäisi kuljettajaa ottamaan ajoneuvon hallintaan. Jos kuljettaja ei ota ajoneuvoa hallintaan, järjestelmä ohjaa ajoneuvon hallitusti tien sivuun ja lopettaa toiminnan.

Taulukko 1. Tietoliikenteen eri tasot SAE Internationalin luokituksen mukaan [6].

SAE Level	Name	Steering, acceleration, deceleration	Monitoring driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	Virtual testing in PTV Vissim
0	NO AUTOMATION the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems				
1	DRIVER ASSISTANCE the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task				
2	PARTIAL AUTOMATION the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	 	 	 	
3	CONDITIONAL AUTOMATION the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene				
4	HIGH AUTOMATION the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene				
5	FULL AUTOMATION the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver				

2.2 Automaation vaikutukset liikenteessä

Automaatio liikenteessä vähentää kuolemia, loukkaantumisia ja ympäristöpäästöjä, sekä säästää aikaa ja rahakuluja, mutta myös lisää hyvinvointia. Polttoainekulutus, pakokaasupäästöt ja ruuhkat vähenisivät ennakoivan ajotavan ansiosta automaation lisääntyessä. Pitkälle kehittynyt automaatio sallisi kuljettajan käyttää matka-aikaa muuhun kuin ajamiseen, kuten esimerkiksi työntekoon.

Inhimilliset tekijät ovat osasy syy lähes kaikissa kuolemaan johtaneissa liikenneonnettomuuksissa. Liikenteen automatisoinnilla voidaan vähentää näitä inhimillisiä virheitä. Automaatio vähentää onnettomuuksia kokonaisuudessaan, mutta ei poista niitä, koska kehityksen alussa ihmiset vielä ajavat liikenteessä. Automaatio myös aiheuttaa uusia onnettomuuksia, joista ei vielä ole tarkkaa tilastotietoa automaation vähäisyyden vuoksi liikenteessä. Esimerkkinä Googlen Waymo, jolla tähän mennessä maailmalla tehtyjen testiajajojen yhteydessä tapahtuneet onnettomuudet ovat olleet ihmisestä aiheutuneen inhimillisen virheen syy. Googlen omien kuukausittaisten raporttien perusteella onnettomuuksia on tapahtunut yhteensä 14, joista 13 on ollut toisen osapuolen syy. Yleisin on peräänajo paikalla olevan autonomiseen ajoneuvoon. Näistä yksi, joka oli auton omaa syytä, tapahtui kun Googlen työntekijä ohjasi autoa mekaanisesti, eli auto ei siinä tapauksessa ollut autonomisessa ajossa. [7] Vaikka tämä teknologia vähentää inhimillisiä virheitä, se ei poista niitä, koska nämäkin ovat ihmisten tekemiä laitteita, joten virheitä tulee tapahtumaan.

3 Muutettava ajoneuvo

3.1 Renault Twizy 80

Projektiin valittu ajoneuvo on Renault Twizy 80 (kuva 1). Se on pieni kaksipaikkainen sähköauto, jossa istuimet on sijoitettu pitkittäissuunnassa. Luku 80 mallissa tarkoittaa sitä, että sen huippunopeus on 80 km/h. Renaultilla on myös toinen malli Twizy 45, jossa eroina on pienempi huippunopeus (45 km/h) sekä moottoriteho (4 kW). Twizy 45 on lain silmissä mopopauto, joten sitä voi ajaa mopokortilla. [1; 2] Twizy 80 kuuluu ajoneuvoluokkaan L7e, jonka ajamiseen vaaditaan B-luokan ajokortti. EU määrittelee L7e luokan seuraavasti:

Trafon sivuilla määritellään EU:n asetus N:o 168/2013: n [4] mukaisesti, nelipyörä (L7e) seuraavasti:

Nelipyörä on nelipyöräinen moottorikäyttöinen ajoneuvo, jonka kuormittamaton massa on enintään 400 kg tai tavarankuljetusajoneuvon osalta enintään 550 kg – sähköajoneuvon kyseessä ollessa kummassakin tapauksessa lukuun ottamatta akkujen massaa – ja jonka moottorin suurin nettoteho on enintään 15 kW. [3]

Twizy 80 painaa akuston kanssa 474 kg, josta akuston painoa on 100 kg. Akusto on litiumioniakusto, jonka maksimikapasiteetti on 6,1 kWh. Akun lataamiseen tyhjästä täyteen kestää 3,5 tuntia. Ajoneuvossa on yksi sähkömoottori, joka on auton taka-akselilla. Sähkömoottorin teho on 13 kW ja vääntö 57 Nm. Ajoneuvon matkaetäisyys valmistajan mukaan on parhaissa olosuhteissa 80 km ja huonoissa olosuhteissa 50 km. [1]



Kuva 1. Renault Twizy 80 [1].

Kyseinen ajoneuvo valittiin projektiin, koska se on edullinen alusta ostaa ja ylläpitää projektia ajatellen. Ajoneuvossa on suhteellisen yksinkertainen ohjainlaite ja äly, jota on helpompi manipuloida, jotta ajoneuvosta saadaan autonominen. Twizy on myös pienikokoinen, mikä helpottaa sen liikuttamista paikasta toiseen.

3.2 Muita muunnoksia Twizystä

3.2.1 Streetdrone one

Streetdrone one (kuva 2) on automatisoitu alusta, joka on muokattu Twizystä. Yhteistyössä on NVIDIA, joka on tunnettu tietokoneiden näytönohjaimien valmistajana. Ajoneuvo on alusta autonomisen ajon testaamista varten. [9]



Kuva 2. Streetdrone One [8].

3.2.2 Oxbotica

Oxbotica (kuva 3) on autonomisen ajon kehittäjä. Oxboticalla on Selenium niminen automaatiojärjestelmä, joka kehitettiin modifioidulla Gaius-nimisen projektin Twizyllä. Oxbotica käyttää Geni projektia nykyään uusien järjestelmien testialustana. [10]



Kuva 3. Geni -projektin modifioitu Twizy.

3.2.3 Gaius

Gaius (kuva 4) on muutettu Twizy, jota käytetään Oxbotican Geni -projektissa. Gaius on valmistanut Gen 1 ja Gen 2 alustat, jotka molemmat on rakennettu Twizystä. Gen 2:sta on levennetty, jotta ajoneuvon istuimet on voitu laittaa vierekkäin. [11]



Kuva 4. Gaius Gen 2. [11]

4 Muutettavat ja lisättävät komponentit

Seuraavia komponentteja on muutettava tai lisättävä, jotta ajoneuvoa voidaan ohjata autonomisesti: jarrut, ohjaus ja anturit. Autoon on myös asennettava eStop-hätäjarrujärjestelmä mahdollisten vaaratilanteiden varalta ja turvallisuuden takaamiseksi.

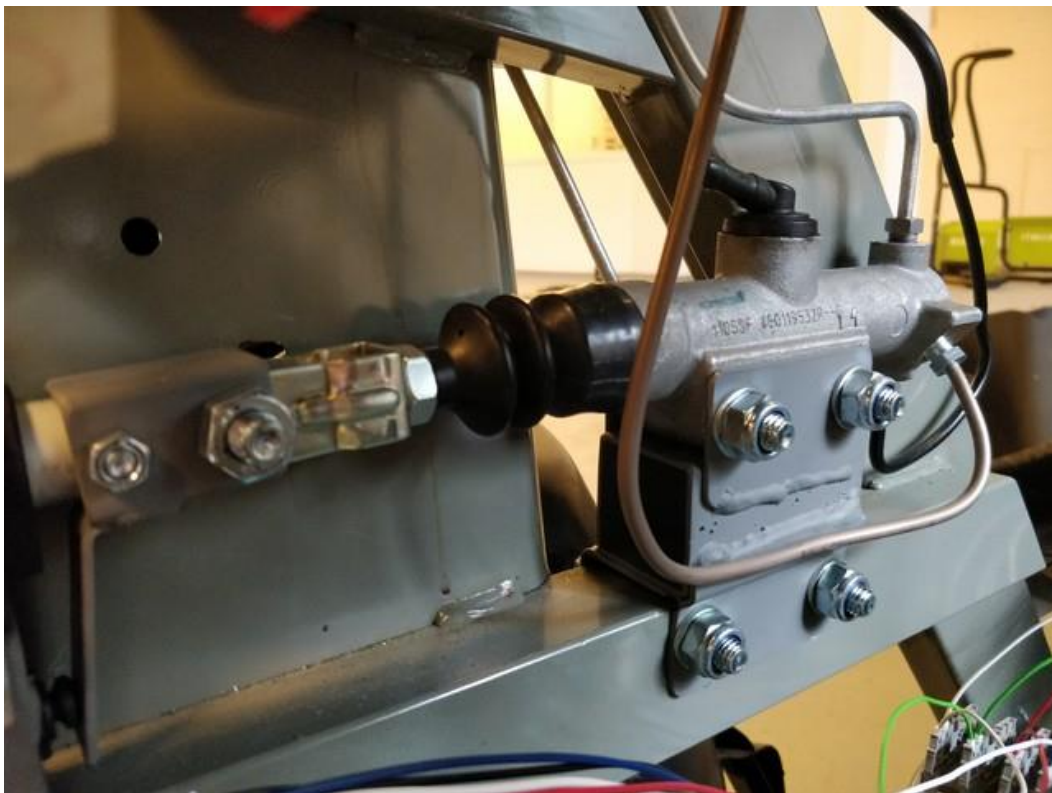
Näitä komponentteja on pystyttävä ohjaamaan moottoriohjaimen ja autoon asennettavan logiikan kautta, joten esim. mekaaniset komponentit kuten ohjaus ja käsijarru on muutettava siten, että niitä voidaan ohjata sähköisesti. Tämä vaatii molemmille järjestelmille omat toimilaitteet ja ohjainlaitteen, joka välittää tietoa näille järjestelmille.

4.1 Jarrut

4.1.1 Käyttöjarrut

Autossa on alkuperäisenä jarrujärjestelmänä nestejarrut. Järjestelmä toimii siten, että poljin painaa momenttivälityksellä pääsylinteriä, joka paineistaa nesteen järjestelmässä. Tämä taas puristaa jarrusatuloiden mäntiä, painaen näin jarrupaloja jarrulevyjä vasten luoden kitkaa, joka hidastaa ajoneuvoa.

Alkuperäinen järjestelmä oli muutettava siten, että sitä kykenee ohjaamaan tietokoneen avulla. Tämä toteutettiin siten, että jarrupoljin korvattiin karamoottorilla, joka painaa pääsylinterin mäntää luoden nesteelle paineen jarruttamista varten. Alkuperäinen jarrukyt-kintunnistin piti sijoittaa uudelleen, jotta ajoneuvon ohjainlaite tunnistaisi jarrutapahtuman. Ilman tätä ajoneuvo ei vaihtaisi vaihteita, joten sillä ei voisi ajaa. Pääsylinterin (kuva 5) uudelleensijoituksen takia, etujarrujen jarru putket oli rakennettava uudestaan. Jotta autoon tuleva uusi logiikka voisi tunnistaa jarrutuksen, järjestelmään oli lisättävä paineanturi, joka kertoo järjestelmässä vallitsevan paineen.



Kuva 5. Jarrujärjestelmän pääsylinteri.

Alkuperäinen jarrutunnistin asennettiin jarrumoottorin kannakkeeseen. Moottoria ja sylinteriä yhdistävässä holkissa on sauva, joka kytkee kytkintä päälle ja pois. Näin kytkin toimii kuten alkuperäisessä järjestelmässä.

Koska polkimen välityksestä tulee momenttitehostus jarrupolkimen välittämään voimaan pääsylinterille, oli selvitettävä, riittäisikö käytössä olevan 1000 N:n voiman antava karamoottori (kuva 6) tehokkaaseen jarrutustapahtumaan. Seuraavassa laskussa sovelletaan voiman momentin määritelmää. [12, s. 113.]

Polkimen painokohdasta on 235 mm poljinta taittavalle nivelelle. Tästä nivelestä on 50 mm jakotukin mäntää painavalle nivelelle. Jos lasketaan momenttia, molemmat pisteet pyörivät niiden välissä olevan nivelen ympärillä. Voidaan olettaa, että tämä piste on ns. ympyrän keskipiste, jonka ympärillä sekä poljin, että mäntää painava vipu pyörii. Vastus jonka mittalaite tuotti riittävälle jarrutukselle, oli n. 15 kg. Jos lasketaan polkimen tuottavaa voimaa 15 kg painolla, se menee seuraavasti: $15 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 147,15 \text{ N}$. $147,15 \text{ N} \cdot 0,235 \text{ m} = 34,58 \text{ Nm}$. Tämä on polkimen tuottama momentti ja se jaetaan toisen ns. vivun pituudella niin saadaan polkimen aikaan saama tehostus voimassa: $34,58 \text{ Nm} / 0,05 \text{ m} = 691,6 \text{ N}$. Vaikka poljinta pitäisi painaa 20 kg:n voimalla, vaadittava voima olisi tällä laskukaavalla 922 N, joten moottorin tuottama 1000 N olisi riittävä uudelle jarrujärjestelmälle.



Kuva 6. Jarrujärjestelmän toimilaite.

Pääsylinterille ja karamoottorille oli suunniteltava ja rakennettava kannakkeet kiinnitystä varten. Tilan puutteen vuoksi kannakkeet oli suunniteltava mahdollisimman pieniksi, mutta myös kestäviksi ja tukeviksi, jotta jarrujärjestelmä ei pettäisi. Kannakkeet on valmistettu 2 mm:n paksuisesta neliöteräs profiilista, joihin on hitsattu tarvittavia osia 2 mm:n teräslevystä. Molemmat kannakkeet on kiinnitetty M10-pulteihin ajoneuvon runkopalkkiin.

4.1.2 Seisontajarru

Alkuperäinen seisontajarru toimii vaijerilla, joka kiristyessään vetää takajarrusatuloiden mäntiä kiinni. Tämä korvattiin siten, että autoon asennettiin karamoottori, joka vetää jarruvaijereita ja kytkee seisontajarrun. Tämä piti muuttaa siten, että sitä pystytään ohjaamaan sähköisesti.



Kuva 7. Käsijarrun toimilaitteen kiinnitys käsijarruvaijereihin.

Alkuperäinen painokytkin, joka tunnistaa, onko jarru kytkettynä, oli korvattava uudella kytkimellä (kuva 7). Uusi kytkin kestää vaikeampia olosuhteita sijaintinsa vuoksi, kuten vettä tai pakkasta. Kytkimellä on IP-67-suojaluokitus. Kytkin toimii siten, että kun karamoottori vetää vaijereita, se vapauttaa kytkimen ja kytkee signaali jännitteen joka ilmoittaa, että jarrut ovat kytketty. Vapautettaessa seisontajarru, sama tapahtuu toisinpäin. Järjestelmässä käytetään 500 N:n karamoottoria.



Kuva 8. Seisontajarrun toimilaite.

Tämä jarrujärjestelmä toimii myös eStop-hätäjarruna, jossa on oma akku virtalähteeksi, mikä varmistaa sen, että eStop on aina käytettävissä. Järjestelmän omalle akulle (kuva 10) piti valmistaa oma teline (kuva 9), jolla akku saadaan asennettua ajoneuvoon.



Kuva 9. eStop-järjestelmän akun kannake.

Kannake (kuva 9) valmistettiin teräksestä, koska se on kestävä ja edullista materiaalia. Akun kannakkeen pitää myös olla tukeva, koska akku ei saa missään tilanteessa heilua vapaasti ajoneuvossa.



Kuva 4. eStop järjestelmän akku kiinnitettyä ajoneuvoon.

Akulle (kuva 10) paras ja sopivin sijainti löytyi ajoneuvon keulasta, latauskaapelin koteloinnin vierestä. Se on kiinnitetty runkopalkkiin kahdella M10-pultilla, joten runkoon ei tarvinnut hitsata mitään kiinnityksen kannalta. Tämän kiinnityksen puolesta runkoa ei tarvitse hioa maaleista hitsausta varten ja maalata uudestaan hitsauksen jälkeen, joka säästää aikaa.

4.2 Ohjaus

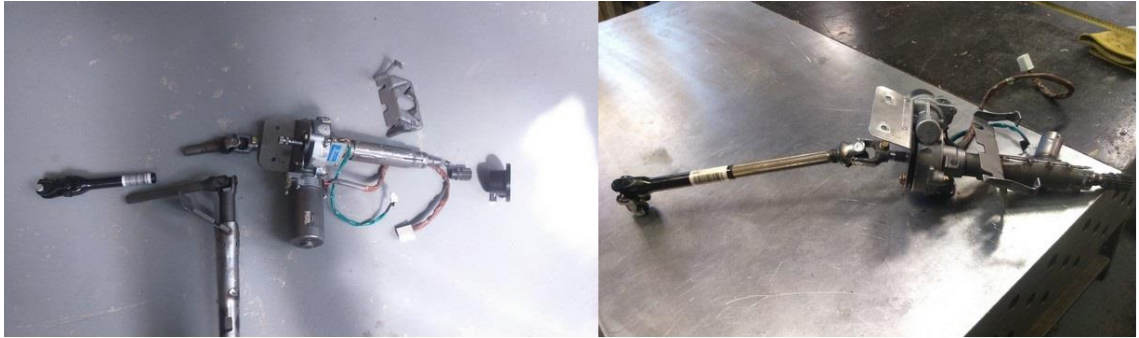
Jotta ajoneuvoa voisi ajaa autonomisesti, ohjaukseen tarvitaan moottori, joka kääntää ohjausakselia, sekä anturit, jotka näyttävät missä asennossa renkaat ovat. Moottori ongelma ratkaistiin rankentamalla uusi ohjaus akseli. Toyota Prius Mk2 -mallisen auton ohjaustehostimen (kuva 11) katsottiin olevan hyvä ratkaisu. Se on tarpeeksi voimakas kääntämään ohjausakselia auton ollessa paikallaan. Sitä on helppo ohjata, koska se ei vaadi monimutkaisia ohjauskoodeja uudempiin tehostimiin verrattuna. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä tehostimessa on harjallinen moottori. Harjallista moottoria voi helposti ohjata muuttamalla virtamäärää tai sen kulku suuntaa. Harjaton moottori tarvitsee taajuusmuuntajan ohjauksen yhteyteen mikä vaatii ohjelmoimista, joka tekee siitä monimutkaisemman. Harjaton moottori on hyötysuhteeltaan parempi harjattomaan verrattuna, mutta kyseisessä komponentissa yksinkertaisuus on parempi vaihtoehto. Uusi akseli rakennettiin puoliksi Priuksen akselistä ja puoliksi alkuperäisestä Twizyn akselistä, jotta se saatiin sopimaan autoon. Auton tukirunkoa jouduttiin muokkaamaan ja tukemaan, jotta ohjaus moottori saatiin mahtumaan ajoneuvoon.

Ohjaukseen tarvittava momentti piti selvittää. Tämä tehtiin siten, että auton ollessa paikallaan ohjausakselia käännettiin momenttiavaimella. Momenttiavaimella saatiin tulokseksi, että 20 Nm on minimimomentti renkaiden kääntämiseen. Moottori tuottaa < 80 Nm, joten se on tarpeeksi tehokas ajoneuvon ohjaamiseen.



Kuva 5. Ohjausakselin toimilaite asennettuna ajoneuvoon.

Akselille valmistettiin uusi etukiinnitys (kuva 13), sekä pikakiinnitys holkki hitsattiin rattia varten. Priuksen akselista irroitettiin akselin suojakotelo, johon asennettiin vanhasta akselista virtalukonpesä ja akselintakakiinnike. Kun tarvittavat vanhat osat oli kiinnitetty, suojakotelo asennettiin takaisin Priuksen akselille. Alkuperäisen akselin etummaista osaa jouduttiin muokkaamaan, jotta sen saisi yhdistettyä tehostimeen. Alkuperäinen etuosa yhdistettiin Priuksen akselin etuosaan hitsaamalla. Varmistuaakseen siitä, että uusi akseli on suora, apuna käytettiin keskitysholkkia.



Kuva 6. Ohjousakselin muodostuminen.

Minimaalisen heiton varmistamiseksi, myös akselin mitoitus pituudessa piti olla sama kuin alkuperäisessä. Vanhasta akselistä otettiin mitat siten, että nivelten etäisyydet ovat samat uuden akselissa. Etukannake mitoitettiin siten, että kiinnitys kohdat auton runkoon nähden oli samassa kohdassa kuin alkuperäisen akselin kannakkeessa. Mitat otettiin akselin lähimmäisestä nivelestä, koska nämä tulisivat olemaan molemmissa akseleissa samalla kohdalla. Kun kannake oli valmistettu, voitiin ottaa tarvittavat osat alkuperäisestä akselistä ja kiinnittää ne uuteen.

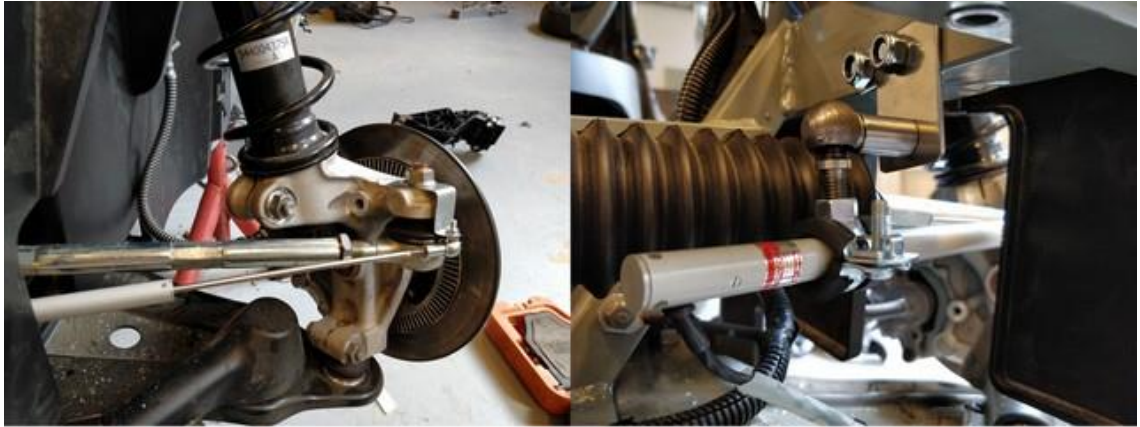
Alkuperäisenä autossa on ratin yhteydessä airbag, mutta tästä jouduttiin luopumaan, koska alkuperäistä rattia ei voitu käyttää. Alkuperäinen ratti korvattiin uudella, jossa on pikakiinnitys. Tämä sen takia, koska ratti on helposti poistettavissa, jos autoa käsittelee joku, joka ei ole ollut auton rakentamisessa tai valmistamisessa mukana, jotta ehkäistään ajoneuvon väärinkäyttö.



Kuva 7. Ohjausakselin etukannake.

Ohjaukseen asennettiin kaksi toisistaan poikkeavaa asentoanturia, jotka lukevat ohjauskulmaa. Antureita on kaksi sen takia, että voidaan kahdentaa ja varmistaa, että kun molemmat antavat saman tiedon renkaiden asennosta, voidaan olla varmoja, että tuleva tieto on oikeasti totta. Ensimmäinen anturi näyttää pituussuuntaista mittatietoa, joten siitä voi aina päätellä renkaiden suunnan sekä se antaa tiedon renkaiden asennosta.

Ensimmäinen anturi (kuva 14) on asennettu renkaan läheisyyteen siten, että toinen pää on raidetangon kiinnityksessä renkaantuennassa kiinni ja toinen pää on pultattu runkoon. Anturi mittaa liikkeen muutosta pitkittäissuunnassa ja näin voidaan katsoa missä asennossa renkaat ovat.



Kuva 8. Pitkittäin lukeva anturi kiinnitettynä.

Toinen ja tarkempi anturi on asennettu auton sisälle ohjausakseliin (kuva 15). Se mittaa akselin pyörimisliikettä ja antaa suoraan ympyräliikkeen astetiedon akselilta.



Kuva 9. Asteittain lukeva anturi kiinnitettynä ohjausakseliin.

Tarkempi anturi saadaan aina tarvittaessa kalibroitua pitkittäisellä anturilla renkaiden suunnan varmistamiseksi. Näiden antureiden yhteisestä toiminnasta saadaan tarkka ohjaustieto logikalle, joka ohjaa auton toimintaa ja autoa ajon aikana.

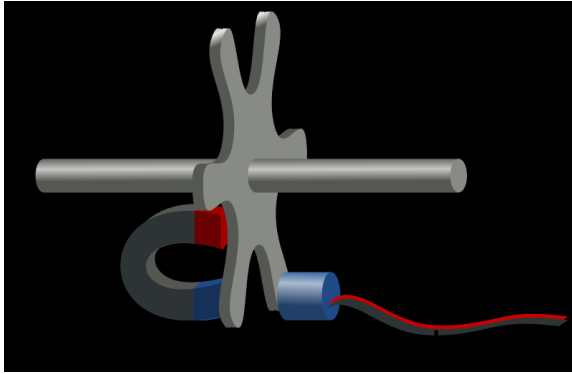
4.3 Pyörintänopeustunnistin

Jotta ajoneuvo tietää sillä hetkellä olevan nopeuden ja kykenee muuttamaan sitä, ajoneuvoon rakennettiin joka renkaalle pyörintänopeustunnistin. Syy, miksi tämä tehdään joka renkaalle, on se, että ohjainlaite kykenee tunnistamaan nopeuserot renkailla. Jos joku renkaista pyörii tyhjä, on mahdollista tehdä yksinkertainen TC-järjestelmä pidon takaamiseksi auton liikkeelle lähtemisessä sekä ABS-järjestelmä estämään jarrujen lukittuminen jarrutuksessa.



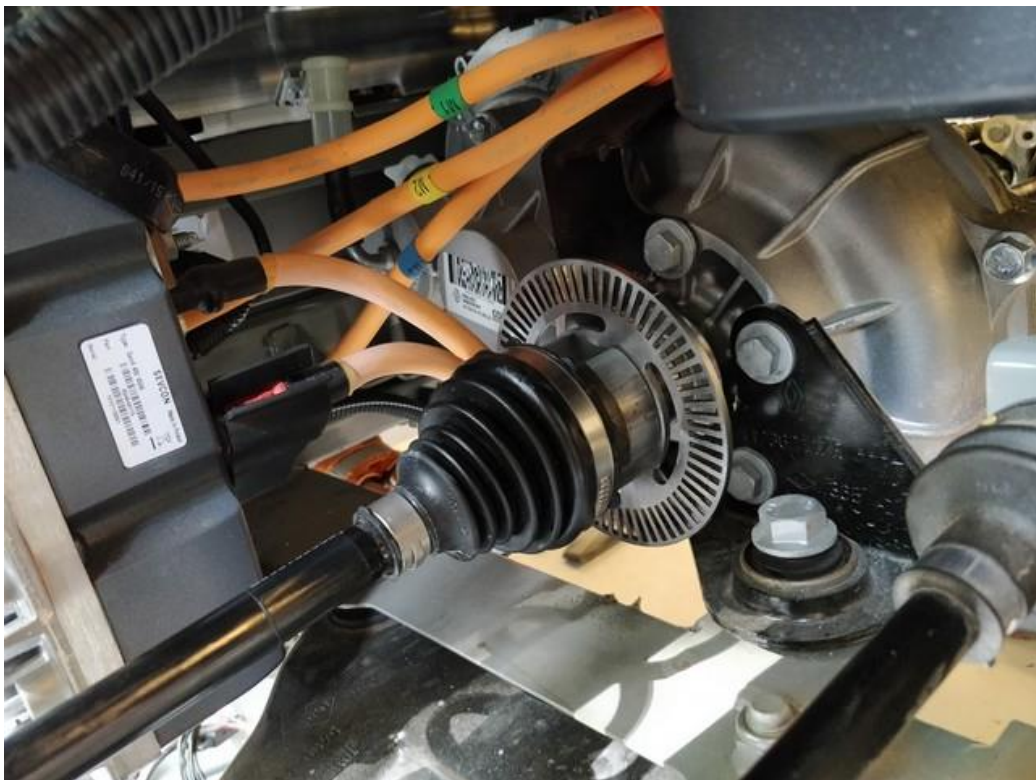
Kuva 10. Etupään nopeusmittauslevy asennettuna.

Nopeusanturin toiminta perustuu Hall-ilmiöön. Hall-anturi (kuva 19) mittaa magneettivuon tiheyttä ja tämän muutoksesta antaa jännitesignaalia, josta voidaan määrittellä pyörimisnopeus. [13] Se sijoitetaan tässä tapauksessa siten, että anturin mittaava pää osoittaa kohtisuoraan levyn sivuun ja kohtaan, missä nopeusreiät sijaitsevat.



Kuva 11. Hall-anturin toimintaperiaate.

Tavoitteena oli saada mahdollisimman tarkka pyörimisnopeustieto, koska ajoneuvon on tiedettävä myös pienimmät nopeudet mahdollisimman tarkan ajon saavuttamiseksi. Tämän vuoksi hammastus tehtiin niin tiheäksi kuin oli mahdollista käytössä oleville antureille lukea. Etupään nopeusmittauslevyt (kuva 16) koneistettiin sopiviksi ja kiinnitettiin pultein etujarrulevyihin.



Kuva 12. Takapään nopeusmittauslevy asennettuna.

Tilanpuutteen vuoksi taka-akselin nopeusmittauslevyjä (kuva 18) ei voitu asentaa jarrulevyihin, joten ne prässättiin perän läheisyyteen vetoakselin sisempään niveleeseen. Taka-levyjen koko on myös etupäähän verrattuna huomattavasti pienempi tilanpuutteen vuoksi. Tämä aiheuttaa pienen tarkkuuseron pyörimisnopeuksien mittaamisessa, kun verrataan etu- ja takapäätä, mutta tarkkuus on silti riittävä ajoneuvon hallitsemiseen.



Kuva 13. Etupään nopeusanturi asennettuna.

Etupään nopeusmittauslevyt on sijoitettu jarrulevyyn. Anturi on asennettu pyöräkoteloiden kiinnityksistä renkaan sisäpuolelle. Siellä ne ovat suojassa ajon aikana mahdollisesti syntyvästä liasta ja vesiroiskeesta huonolla säällä.

4.4 Sensorit

Ajoneuvon tarvitaan autonomisen toiminnan saavuttamiseksi erilaisia sensoreita, jotka toimivat ns. auton aisteina. Nämä sensorit antavat seuraavia tietoja: ohjauskulman,

lähietäisyydellä olevat esteet ja kohteet, ajoneuvon ympäröivää ympäristön muotoja, etäisyyksiä kohteisiin, ajoneuvon sijaintia jne. Jotta ajoneuvo kykenee toimimaan tehokkaasti ilman viiveitä omista käskyissään, näiden antureiden on myös oltava nopeita välittämään tietoa kommunikoidessaan ohjainlaitteen ja muiden järjestelmien kanssa.

4.4.1 Ohjauskulma-anturit

Ohjauskulman tarkan määrittämisen vuoksi ajoneuvoon asennettiin kaksi eri tavalla mittaavaa anturia. Toisen tehtävä on antaa tieto, josta voi määrittellä, mihin suuntaan renkaat oikeasti osoittavat, ja toisella määritellään asteen tarkkuudella ohjauskulma. Tällä tavoin saadaan kahdennus kahdelta eri sensorilta, jolloin voidaan olla varmoja siitä, että annettu tieto on oikeaa. Jos näiden antureiden antamat tiedot poikkeavat toisistaan, voidaan olettaa, että jossain kohti järjestelmää on vika, ja toiminta keskeytyy heti.



Kuva 14. Lineaari potentiometri, Penny & Giles [14].

Ensimmäisen ohjauskulma tiedon antava sensori on Penny & Giles -nimisen valmistajan lineaaripotentiometri, joka mittaa anturin liikkuvan akselin pitkittäistä liikettä [14]. Tämä sensori on asennettu ajoneuvon rengastuentaan (kuva 14), joten se kertoo aina, mihin suuntaan renkaat on suunnattu. Tällä sensorilla saadaan alustava tieto renkaiden senhetkisestä suunnasta.



Kuva 15. Absoluuttinen monipyörähdys enkooderi, BEI Sensors SAS [15].

Toinen anturi on asteen tarkkuudella mittaava rotaatio anturi. Tällä anturilla saadaan erittäin tarkkaa tietoa ohjauskulmasta [15]. Se on asennettu ohjausakselille (kuva 15), ja täten antaa suoran tiedon akselin asennosta. Tämä anturi kalibroidaan aina ensimmäisen anturin avulla, jotta varmistetaan, että ohjainlaite tietää renkaiden oikean suunnan.

4.4.2 RTK-GPS

GPS-paikannin kertoo sijainnin satelliittien avulla. GPS:llä paikannetaan sijainti kolmiulotteisena maan päällä. Tätä voidaan hyödyntää suunnistamiseen ja paikantamiseen. Toiminta perustuu 24:ään tai useampaan satelliittiin, jotka kiertävät jokainen maapallon ympäri kaksi kertaa vuorokaudessa. Nämä satelliitit lähettävät tietyllä aikavälillä radiosignaaleja maapalloa kohti. Kun maassa oleva GPS-paikannin vastaanottaa vähintään neljältä satelliitilta radiosignaalin, laite laskee etäisyyden jokaiseen satelliittiin. Etäisyyden laite laskee radioaallon nopeuden perusteella, joka on sama kuin valonnopeus (299 792 km/s). Radioaallon matka-ajan perusteella laite kykenee laskemaan etäisyyden kuhunkin satelliittiin. Kun laite on laskenut etäisyyden vähintään neljään satelliittiin, se kykenee paikantamaan sijaintinsa kolmiulotteisena maapallolla. Paikannus tarkkuus siviilikäytössä olevilla paikannuslaitteilla vaihtelee 3–15 metrin välillä. [16]

RTK-GPS on tästä tarkempi mittausmenetelmä. Toiminta eroaa siten, että radiosignaalia lähetetään jatkuvasti tietyllä taajuudella. Näin tiedetään yhden aallon pituus, koska taajuus pysyy samana. Satelliitin ja mittalaitteen välille tietyllä taajuudella muodostetusta radiosignaalista lasketaan aaltojen määrät. Kun tiedetään aaltojen määrät, voidaan laskea etäisyys satelliitin ja mittalaitteen välillä.

Tämä menetelmä vaatii erillisen maa-aseman, jonka sijainti tiedetään. Se muodostaa samanlaisen jatkuvan tietyn taajuuden radiosignaalin. Maa-aseman signaalia kahdenneetaan mittayksiköiden signaaliin. Näin voidaan varmistaa menetelmän toimintavarmuus. Tällä menetelmällä voidaan päästä 20–50 millimetrin tarkkaan paikantamiseen. [17]

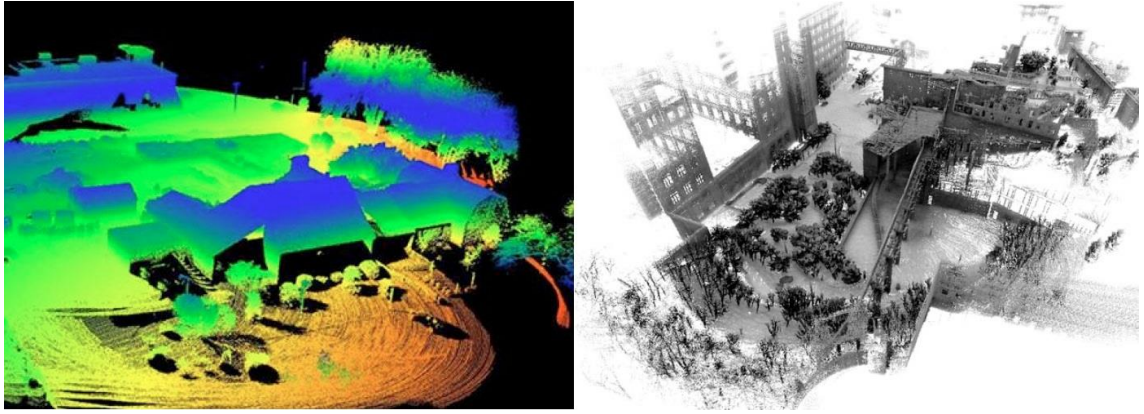
4.4.3 Velodyne LiDAR Puck-16

Autoon asennettiin kaksi VLP-16 3d -sensoria jotka mittaavat etäisyyksiä niitä ympäröivään alueeseen. Sensori kykenee mittaamaan horisontissa täyden 360 asteen alueen ympäriltään. Pystypäin sensorilla on 30 asteen mittauskulma, +15 astetta ylös ja -15 astetta alas. Sensoreita on kaksi, jotta saadaan tarkka mittaus ajoneuvon edestä ja takaa.



Kuva 16. Velodyne 3d LiDAR [18].

Sensori on luokiteltu IP-67-suojautunnuksella. Tämä tarkoittaa sitä, että se on suojattu pölyltä ja se toimii 30 minuuttia veden alla minimissään 15 cm:n ja maksimissaan metrin syvyydessä. [18]



Kuva 17. Velodynen ottamaa kuvaa [18].

Sensorin kantama on 100 metriä, ja sillä kyetään kartoittamaan maastoa kolmiulotteisena. Sensori toimii keskimäärin 8 W:lla, joten se ei vaadi paljoa energiaa toimiakseen. Toiminta lämpötila on -10 - +60 astetta celciusta, joten sitä kyetään käyttämään myös kevyillä pakkasilla. Sensorin paino on 830 g ja se on 103 mm leveä halkaisijaltaan sekä 72 mm korkea. [18] Sensori on pienikokoinen ja helposti asennettavissa, eikä paino lisää ajoneuvon massaa siten, että siitä olisi ongelmia.

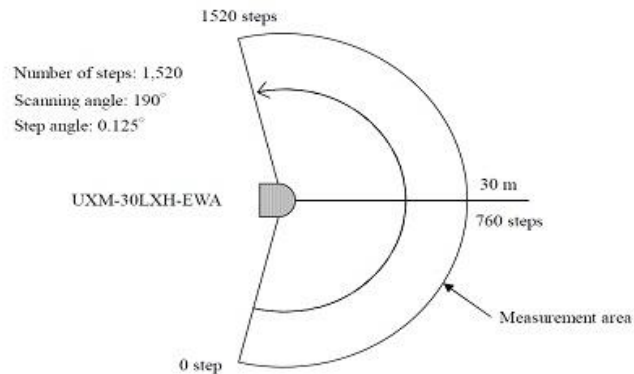
4.4.4 Hokyo 2d LiDAR

Hokyo 2d LiDAR on horisontaalinen 2d-etäisyysmittauslaite, joka kykenee tunnistamaan esteet 30 metrin eräisyydellä 190 asteen alueen edessään. Sensorissa on oma sisäänrakennettu lämmitin, joten se on soveltuvainen kevyille pakkasille. Toimintalämpötila on -10 - +50 celciusasteen välillä sekä maksimi-ilmankosteus on 85 % RH. Laite kuluttaa maksimissaan 7,2 W energiaa toiminnassa, jos lämmitin on päällä, ja kulutus on 12 voltin järjestelmällä maksimissaan 15 W energiaa. Sensori painaa 1200 g, ja se on 124 mm leveä, 126 mm syvä sekä 150 mm korkea. [19] Koko ja paino eivät tuota ongelmia asennuksen suhteen.



Kuva 18. Hokyo 2d LiDAR (UXM-30LXH-EWA) [19].

Laitteella on IP-67-suojaluokitus. Sensori on soveltuvaan vaikeisiin olosuhteisiin, mutta sen tunnistusmatka heikkenee vesi- ja lumisateella. Suora auringonpaiste voi myös lyhentää tunnistusmatkaa.



Kuva 19. UXM-30LXH-EWA:n skannausalue [19].

190 asteen mittausalue on jaettu 1520 askeleeseen, joissa kaikissa laite mittaa etäisyyttä. Yhden askeleen astemitta on 0,125 astetta. Sensori skannaa tämän alueen 50 ms (0,05 s). [19]

4.4.5 FLIR Vue

FLIR Vue -laite (kuva 26) on lämpökamera, jonka toiminta perustuu kuvan muodostamiseen lämpötilan perusteella. Mitä lämpimämpi jokin alue tai esine on, sitä enemmän ne säteilevät infrapunasäteilyä. Kamera muodostaa säteilyn perusteella kuvan. Tätä voidaan hyödyntää pimeällä ja hämärällä, kun valosäteilyä ei ole. Tällöin valosäteilyyn perustuvia kameroita ja sensoreita ei voi hyödyntää.



Kuva 20. FLIR Vue -lämpökamera [20].

Kamera painaa 113,4 g ja on 57,4 mm syvä, 44,4 mm korkea sekä leveä. Kamera on pieni ja kevyt, joten sen asentaminen ajoneuvoon ei aiheuta ongelmia kokonaismassan suhteen. [20]



Kuva 21. Lämpökameralla otettu kuva [20].

Kuvassa 27 näkyy, miten henkilöt ovat kirkkaampia, koska ne säteilevät lämpöä. Kuvassa olevan auton keula on myös kirkkaampi, koska moottori on ajoneuvon keulassa.

4.4.6 Inertiamittauslaite

Inertiamittauslaite (kuva 28) mittaa kiihtyvyyttä ja kulmakiertymisnopeutta. Sensori oli sijoitettava ajoneuvon keskikohtaan pitkittäis- ja leveyssuunnassa. Akselien ja sivuttaisten runkopalkkien väliltä mitattiin keskikohta. Näin saatiin selvitettyä ajoneuvon keskipiste. Sopiva asennuspaikka löytyi kuljettajan penkin alapuolelta. Sensori asennettiin istuimen ja akuston välissä olevaan akuston suojamuoviin kahdella M2-pultilla. Sensorilta tuleva USB-kaapeli vedettiin ajoneuvon sisäpaneelien alla ajoneuvon takaosaan.



Kuva 22. 3DM-GX5-10-inertiamittauslaite [21].

Anturi on 36 mm leveä, 36,6 mm pitkä ja 11,1 mm korkea. Anturi on pieni ja painaa 16,5 g, joten asentaminen ei tuottanut ongelmia. [21]

5 Logiikka

5.1 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmällä ohjataan ajoneuvon toimintaa. Se on käytännössä ajoneuvon aivot, jotka välittävät tietoa sensoreille, jarruille, ohjaukselle jne.

Ohjausjärjestelmän on oltava nopea ja tehokas, jotta ajoneuvo voi toimia ennakoivasti tilanteisiin. Tämä vaatii pitkää testausta, jotta järjestelmästä saadaan mahdollisimman turvallinen

5.2 eStop

eStop on järjestelmä, jonka tarkoitus on pysäyttää ajoneuvo aina turvallisesti. Tämä järjestelmä laukeaa, jos tapahtuu jokin väistämätön virhe, tai ajoneuvo halutaan pysäyttää syystä tai toisesta. eStop ohjelmoidaan siten, että jos ohjausjärjestelmä ei kykene turvalliseen ajon jatkamiseen, se kytkee eStopin.

Järjestelmälle on myös kaksi fyysistä kytkintä ajoneuvossa. Toinen on ajoneuvon sisällä testikuljettajan ulottuvilla ja toinen on ajoneuvon takana koriin kiinnitettynä. Näin joko ajoneuvon sisällä oleva testikuljettaja tai ulkopuolella oleva testaaja voi kytkeä järjestelmän päälle.

6 Yhteenveto

Kesän 2017 alussa alkoi Sensible 4 Oy:n ja GIM Oy:n projekti, jossa oli tavoitteena muuttaa Renault Twizy 80 autonomiseksi ajoneuvoksi. Mekaaniset muutokset oli suunniteltu valmistuvan heinäkuun 2017 loppuun mennessä. Ajoneuvoa purettiin tarpeen mukaan sen saavuttua Suomeen. Ohjaus, jarrut ja seisontajarru oli muutettava sähköisiksi sekä ajoneuvoon oli asennettava erilaisia antureita autonomisen ajon saavuttamiseksi. Vaikka projektin laajuus aikaan nähden oli mittava, tavoitteeseen päästiin ja ajoneuvon testaukset sekä ohjelmointi alkoivat mekaanisten muutosten valmistuttua kesän 2017 lopussa.

Haastetta toi erityisesti se, että ajoneuvo oli Otaniemessä ja suurin osa osien valmistuksesta tapahtui Metropolian tiloissa. Tämän takia osien suunnittelu oli erittäin tärkeää tehdä huolellisesti, koska jos osista puuttui jotain tai ne eivät sopineet, ne piti viedä takaisin koulun tiloihin muokattavaksi. Joitain osia piti valmistaa useaan kertaan sopimattomuuden vuoksi. Tämä helpottuisi, jos ajoneuvo olisi tiloissa, missä osat valmistetaan. Näin osia voisi valmistuksen aikanakin jo sovittaa ja todeta niiden sopivuus. Tässä säästäisi paljon aikaa, joka kuluu muuten paikasta toiseen liikkumiseen.

Lähteet

1. Renault Suomi. 2017. Renault Twizy 80. Verkkoaineisto. <<https://www.renault.fi/henkiloautot/twizy/>>. Luettu 9.8.2017.
2. Le guide de L'auto. 2017. Renault Twizy 45. Verkkoaineisto. <<http://www.guideautoweb.com/en/specifications/renault/twizy/2017/>>. Luettu 28.10.2017.
3. Trafi. 2017. Ajoneuvoluokka L7e. Verkkoaineisto. <<https://www.trafi.fi/tieliikenne/ajoneuvoluokat>>. Päivitetty 11.05.2017. Luettu 16.8.2017.
4. Asetus N:o 168/2013. Kaksi- ja kolmipyöräisten ajoneuvojen ja nelipyöräisten ajoneuvojen hyväksynnästä ja markkinavalvonnasta. Euroopan parlamentti. Saatavissa verkossa: <https://publications.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/22b190d5-6c62-423a-bab1-9a2c20fbe14a/language-fi>.
5. Trafi. 2015. Tiekortti. Automaation edistäminen tieliikenteen ajoneuvoissa. Verkkoaineisto. <https://www.trafi.fi/filebank/a/1424379177/a8d819248b49d8ebbbfb7ef7cd6966d/16901-Trafi_Tietokortti_Automaatio_tieliikenteessa.pdf>. Luettu 16.8.2017.
6. PTV Group. 2014. Automaation tasot taulukko. Verkkoaineisto. <<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-vissim/use-cases/virtual-testing-of-autonomous-vehicles/>>. Luettu 14.11.2017.
7. Osborne, Charlie. 2015. Google's autonomous car injuries: Blame the human. Waymo onnettomuudet. Verkkoaineisto. ZDnet. <<http://www.zdnet.com/article/googles-autonomous-car-injuries-blame-the-human/>>. Luettu 6.10.2017
8. The Engineer. 2017. Streetdrone one kuva. Verkkoaineisto. <<https://www.theengineer.co.uk/streetdrone-autonomous-test-vehicle/>>. Luettu 14.11.2017.
9. Streetdrone one. 2017. Verkkotaineisto. <<http://www.streetdrone.com/streetdrone-one/build-your-own-streetdrone/>>. Luettu 28.10.2017.

10. Oxbotica. 2017. Verkkoaineisto. <<https://www.oxbotica.ai/>>. Luettu 28.10.2017.
11. Gaius. 2016. Verkkoaineisto. <<http://gaiusauto.com/autonomous-pod.php>>. Luettu 28.10.2017.
12. Seppänen, Raimo; Tiihonen, Seppo; Wuolijoki, Hilikka; Kervinen, Martti; Smolander, Juhani; Haavisto, Anja; Karkela, Lea & Varho, Kiuru. 1999. Maol-tilukot. 5., uudistettu painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
13. Elo, Ismo. 1998. Internetix. Käyttöfysiikka Oy. Hall-ilmio. <http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/5luonnontieteet/fysiikka/fysiikka6/varatun_hiukkasen_liike>. Luettu 7.10.2017.
14. Curtis & Wright. 2015. Lineaari potentiometri. Verkkoaineisto. <<http://www.cw-industrialgroup.com/Products/Sensors/Linear-Position-Sensors-Transducers.aspx>>. Luettu 7.10.2017.
15. Bei Sensors. Absoluuttinen monipyörähdys enkooderi. Verkkoaineisto <<http://www.beisensors.com/index.html>>, 7.10.2017.
16. National Coordination Office. 2016. GPS. Verkkoaineisto. <<https://www.gps.gov/multimedia/poster/>>. Luettu 7.10.2017.
17. NovAtel. RTK-GPS. Verkkoaineisto. <<https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/real-time-kinematic-rtk/>>. Luettu 29.10.2017.
18. Velodyne. 2017. Velodyne LiDAR Puck. Verkkoaineisto. <<http://velodynelidar.com/vlp-16.html>>. Luettu 16.9.2017.
19. Hokyo Automatic Company. 2014. Hokyo 2d lidar. Verkkoaineisto. <<https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=172>>. Luettu 7.10.2017.
20. FLIR. 2017. FLIR Vue. Verkkoaineisto. <<http://www.flir.com/suas/content/?id=70733>>. Luettu 14.10.2017.

21. LORD MicroStrain. 2017. Inertiamittauslaite. Verkkoaineisto. <<http://www.microstrain.com/inertial/3dm-gx5-10>>. Luettu 14.10.2017.


DRIVE THE CHANGE

Twizy - Technical Specifications

Engine	
Model Version	M75
Engine Number	3CG
Type Approval	ACVYB0
Vehicle Production location	Valladolid
Drivetrain	
Motor and drive train features	3CG - electric asynchronous (induction)
Maximum Power	13 kW - 17 hp
Maximum Torque	57 Nm
Engine speed at max. torque	from 0 to 2100 rpm
Drag Co-efficient (SCx/Cd)	0.64
Range ECE - 15 miles	62
Energy recovery device	Yes
AC maximum power	6KW
Economy mode assistance	Yes
Max speed (kph)	80
mph	50
50 m standing start (s)	6.6
0-28mph	6.1
18-37mph	8.1
Weight (kg)	
Kerb weight	474 (375)
Gross Train Weight (G.T.W)	690
Max payload	115
Max towing weight - braked	0
Max towing weight - unbraked	0
AXLES	
Front axle type	Pseudo-McPherson - Combination coil springs, suspension, bump stop
Rear axle type	Pseudo-McPherson - Combination coil springs, suspension, bump stop
Ø stabilising bars Front / Rear (mm)	Front & Rear : 23 mm
GEARBOX	
Gearbox Type	Automatic
Type	Gear Reduction
Reduction ratio	1:9,23
Number of forward gears	1
Warranty	
Vehicle	4 years /100,000 miles - first 3 years unlimited
Drive train	4 years /100,000 miles - first 3 years unlimited
Battery	Through battery hire agreement
Maintenance	
Service Interval	18,000 miles / 1 year

STEERING	
Type	Direct rack
Turning circle between kerbs (m)	6.8
Number of turns of steering wheel	2.8
BRAKING	
ABS	No
Brake circuit	Simple circuit
Front : solid discs (DP), vented discs (DV) Ø (mm)	DP 214mm
Rear : solid discs (DP), vented discs (DV) Ø (mm)	DP 204mm
TYRES	
Wheel size	13" wheel-trims or alloy wheels
Front tyres	125x80 R13
Rear tyres	145x80 R13
Spare wheel	
Tyre reference	
Spare tyre inflation kit	
Battery	
Battery type	lithium ion
Battery weight	100kg
Capacity (kWh)	6,1 kWh
From 0 to 100%	3,5 hours
Slow Charge (A)	10 amps
Standard charge plug type	3 pin plug
Other	
Front seat adjustment track	
longitudinal	200
Angle of front seatback	24
Angle of rear seatback	21
Front seat height (HV01)	567
Rear seat height (HR01)	577
Seat height - Roof front	908
Seat height - Roof rear	843

