



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SÄHKÖAUTON AJONSEURANTALAITTEISTO

Lauri Helminen

Opinnäytetyö
Syyskuu 2018
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

HELMINEN, LAURI:
Sähköauton ajonseurantalaiteisto

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Syyskuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia vanhaa sähköautoa ja kehittää sitä. Tavoitteena oli rakentaa käyttö- ja rakennuskustannuksiltaan edullinen kaupunkiauto. Aihiona käytettiin 10 vuotta puun alla seissyttä, ennestään sähköautona ollutta Fortumin rakennuttamaa vuoden 1991 aikaista konversioauto Elcattia, joka on tehty Subaru Domingon runkoon. Opinnäytetyö on tehty omarahoitteisena.

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty sähköauton tekniikkaan, erityisesti sähkö- ja ohjausjärjestelmiin. Työn osuudessa käsitellään sähköauton kunnostuksen ja kehityksen vaiheita sekä ratkaisuita, joihin on päädytty. Opinnäytetyössä käsitellään myös sähköautoilua yleisesti. Opinnäytetyön pääpaino on ajosähkön seurantalaitteen suunnittelussa ja toteutuksessa.

Työssä käytettiin lähdetietona auton omaa dokumentointia, sähköautoilua koskevia opinnäytetöitä ja ohjelmointiin liittyviä nettisivustoja. Lisäksi kysyttiin neuvoja ja mielipiteitä asiaan perehtyneiltä ihmisiltä.

Työn tuloksena saatiin rakennettua sähköautoon toimiva ajonseurantalaite, jolla kuljettajan on helppo tiedostaa jäljellä oleva toimintasäde. Lisäksi kuljettajan on helppo seurata muutakin ajonseurantalaiteiston tarjoamaa informaatiota.

Asiasanat: sähköauto, akku, ajonseuranta

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Intelligent Machines

HELMINEN, LAURI:
Driving Monitoring Device for Electric Vehicle

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 2 pages
September 2018

The purpose of this thesis was to develop driving monitoring device for electric vehicle. The aim was to build an affordable city car in terms of building cost and usage. As self finance thesis, a conversion car Elcat, build on a frame of Subaru Domingo in 1991 by Fortum was used. The car, which was used as an electric car had been parked for over ten years. It was build on 1991 by Fortum. The base car had been standing under a tree for ten years and was earlier used as an electric car. The thesis was self-financed.

This thesis is oriented in the technology of an electric car, especially to its controlling systems. The work is focused on repairing, developing and the different technical solutions of the Elcat. The thesis is also considering usage of electrical cars in general. The main focus is on the designing and implementation of electrical vehicle driving monitoring device.

The sources of the thesis included the documentation of the car, other theses considering electric vehicles and websites considering programming. In addition, advices and opinions were asked from people oriented in the subject.

As a result a functioning driving monitoring device was built. With this device, it is easy for the driver to be aware of the driving range of the electric car. With the device, it is also easy for the driver to follow other information provided by the driving monitoring device.

Key words: electric car, battery, vehicle monitoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ELCAT sähköauto	7
2.1	Akusto	7
2.2	Ajoakkuvaraaja	8
2.3	Ajomoottori.....	9
2.4	Ajomoottorin säädin.....	9
2.5	DC/DC-muunnin.....	10
2.6	Ajoakuston varaustilamittari	10
2.7	Ajojärjestelmän toiminnan yleiskuvaus ja turvajärjestelmät	11
3	KEHITYS- JA KUNNOSTUSTYÖ.....	13
3.1	Auto yleistekninen kuvaus	13
3.1.1	Käyttösähkö	13
3.1.2	Runko ja alusta	14
3.2	Akusto	15
3.3	Ajomoottori.....	17
3.4	Ajonseurantalaiteisto	19
3.4.1	Näytön runko.....	20
3.4.2	Piirilevy	23
3.4.3	Ohjelmakoodi	25
3.6	Aggregaatti	27
4	AJONSEURANTALAITTEEN TESTAUS.....	28
5	KUSTANNUKSET	29
5.1	Rakennuskustannukset	29
5.2	Käyttökustannukset	29
5.3	Muut kustannukset	30
6	POHDINTA.....	32
6.1	Kehitystyöt	32
6.2	Ekologisuus	32
6.3	Sähköautoilun ongelmat	33
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	36
	Liite 1. Ajonseurantalaiteiston testaus 1	36
	Liite 2. Ajonseurantalaiteiston testaus 2	37

ERITYISSANASTO

<i>T</i>	lämpötila
<i>R</i>	vastus tai ohjausrele
<i>U</i>	jännite
<i>Ω</i>	ohmi
<i>A</i>	ampeeri
<i>Ah</i>	ampeelitunti
<i>AC</i>	alternating current, vaihtovirta
<i>DC</i>	direct current, tasavirta

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli kehittää hyväkuntoisesta sähköauton ahiosta helposti käytettävä ja edullinen ajoneuvo kaupunkikäyttöön. Työn keskeisimpänä osana oli ajosähköjärjestelmän seurantalaitteiston suunnittelu ja toteutus.

Lokakuussa 2017 tarjoutui mahdollisuus ostaa sähköauton aihio, joka oli seissyt 10 vuotta puun alla. Aiheen kelpaavuus opinnäytetyöksi varmistettiin ja autosta sovittiin kaupat. Auto pestiin ja työnnettiin talliin tarkempaa tutkimista varten. Tarkemmin tutkittaessa ja testattaessa todettiin auton olevan koriltaan erittäin hyvässä kunnossa. Myös ajoelektronikka testattiin suurelta osin toimivaksi ja järkeväksi säilyttää. Alkuperäinen akun varaustilan seuranta osoittautui niin epäselväksi, ettei se anna kuljettajalle luotettavaa tietoa jäljellä olevasta ajoneuvon toimintasäteestä. Tästä syystä ajonseuranta oli suunniteltava ja rakennettava täysin uusiksi. Lisäksi autoon suunniteltiin myöhemmin rakennettavaksi ajonaikainen lataus aggregaatilla pidempiä matkoja varten.

Opinnäytetyössä pohdittiin myös sähköautoilua yleisesti ja verrattiin sitä polttomoottorikäyttöiseen autoon.

2 ELCAT sähköauto

Tässä luvussa on esitetty auton alkuperäistä ajosähköelektroniikkaa ja yleistä tietoa auton toiminnasta ja historiasta.

Elcat oli vuonna 1985 perustettu yhtiö, jonka tavoitteena oli tuottaa sähköautoja pohjoiseen ilmastoon. Opinnäytetyössä käytetty malli on Cityvan 200, joka on Subaru Dominigon pohjalle rakennettu konversioauto vuodelta 1991 (kuva 1). Auton alkuperäinen toimintasäde on noin 70 km ja huippunopeus 72 km/h. Lämmityslaitteena käytetään polttoaine lisälämmitintä (Elcat Cityvan, 37.6)..



KUVA 1. Elcat latauksessa (Kuva: Lauri Helminen 2017)

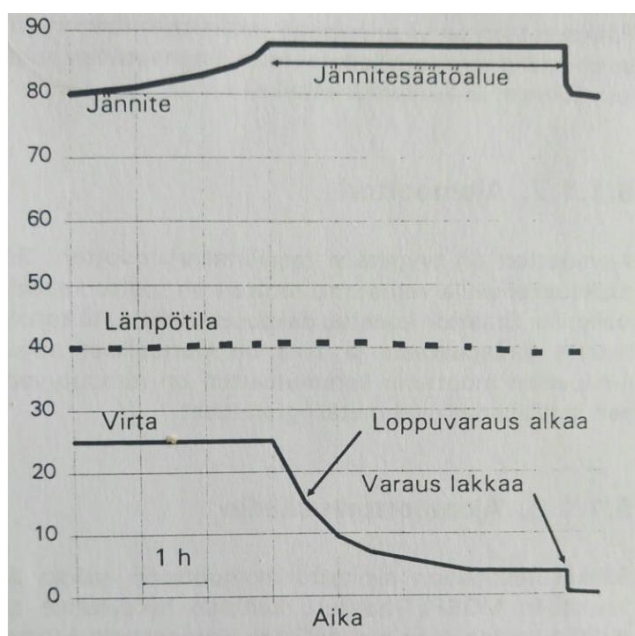
2.1 Akusto

Alkuperäinen akusto koostuu 12 kappaleesta 6 voltin lyijyakkuja. Akusto on suunniteltu ajomoottorikäyttöön, joten ne kestävät syväpurkauksia hyvin (Trojan T-145, 23.11.2017). Akusto on sijoitettu auton keskiosaan eristettyyn lasikuituiseen koteloon. Kotelo on varustettu latauksen aikaisella lämmityksellä, jota voidaan säätää termostaa-

tilla. Termostaatin anturi on sijoitettu akun kennon sisälle tai akkujen väliin. Jäähdytys on toteutettu painovoimaisena ja ajoviimasta.

2.2 Ajoakkuvaraaja

Sähkökoteloon sijoitettu ajoakkuvaraaja on hakkurityyppinen. Ajoakkujen varaus alkaa, kun pistoke kytketään 230V pistorasiaan. Samaan aikaan kytkeytyy päälle ajonesto ja ajoakkuvaraajan jäähdytyspuhallin. Ajoakkuvaraaja alkaa varata ajoakkuja maksimivirralla heti varauksen käynnistyttyä. Maksimi latausvirran suuruus määräytyy sähköverkon kapasiteetin mukaan ja se on 16 ampeerin sulakkeella noin 25 A. Varausjännite on tässä vaiheessa noin 80 V. Varausvirta pysyy maksimiarvossaan niin kauan kuin ajoakut pystyvät vastaanottamaan näin suuren virran. Normaalikuntoisilla ajoakuilla tämä aika on noin 8 tuntia, minkä jälkeen varausjännite pidetään vakiona ja varausvirta laskee ajoakkujen virranottokyvyn mukaisesti. Kun varausvirta laskee ennalta asetetun rajan alle, kytkeytyy loppuvaraus päälle. Loppuvarausajan pituus määräytyy ajastimen avulla ja se on noin neljä tuntia. Varausjännite ja varausvirta ajoakkujen lämpötilan varauksen viimeisten 8 tunnin aikana on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Varaus (Elcat Cityvan huoltokirja 1993)

Ajoakkuvaraajan jäähdytyspuhaltimen toiminta lakkaa, kun varausvirta laskee nolllaan. Varausjännite riippuu akkujen lämpötilasta. Ajoakkuvaraaja tunnustelee ajoakkujen

lämpötilaa ajoakkukotelosta NTC-vastusanturin avulla ja säätää varausjännitettä lämpötilan mukaan. Varaus lakkaa kokonaan, mikäli ajoakkujen lämpötila ylittää maksimiarvon, mutta alkaa uudestaan, kun ajoakkujen lämpötila laskee.

Ajoakkujen varausprosessin edistymistä voidaan seurata alkuperäisellä kojelaudassa olevilla merkkivaloilla, kun virta on kytketty päälle virtalukosta. Ajoakkuvaraajan käyttöjännite johdetaan auton etuosaan sijoitetusta varauspistokkeesta varaajalle auton alustassa olevaan muoviputkeen sijoitetun spiraalikaapelin avulla (Elcat Cityvan, 37.3).

2.3 Ajomoottori

Ajomoottori on tyypiltään tasavirtasarjamoottori. Sen tuuletuskanavilla varustettu roottori on tuettu kahdella laakerilla. Staattori koostuu paksuseinäisestä koneistetusta teräsputkesta ja siinä on kierteelliset navat. 4-napaisen moottorin kommutaattori on rumputyypinen ja hiiliharjat ovat metalli-grafiittiset (Elcat Cityvan, 37.4).

Ajomoottorin jäähdytyspuhallin on 2-nopeuksinen radiaalipuhallin. 1-nopeus on päällä aina kun auto on startattuna, 2-nopeutta ohjaa ajomoottorin pinna lämpötilaa tunnistelva termostaatti (Elcat Cityvan, 37.4).

2.4 Ajomoottorin säädin

Ajomoottorin säädin on tyypiltään MOSFET-hakkuri. Laitteen hyötysuhde on erittäin korkea ja se takaa ajomoottorin pehmeän ja tasaisen ja hiljaisen toiminnan. Säätimessä on virran moninkertaistoiminto joka tarkoittaa sitä, että kiihdytettäessä moottoriin menee suurempi virta kuin ajoakuista otetaan ulos, näin saadaan vaikutettua moottorin momenttikäyrään. (Elcat Cityvan, 37.4).

Ajomoottorin säädin on täysin suljettu ja siinä on vain kolme säätökohdetta: virtaraja, kiihdytysviive ja jarrutusteho (ei käytössä). Säätimessä on sisäänrakennetut ali- ja ylijännitesuojaukset sekä ali- ja yllämpötilasuojaukset. Jos laitteen sisäinen lämpötila ylittää yllämpötilarajan, se laskee tasaisesti kunnes, virta on nolla lämpötilassa 95° C. Alennetulla tehotasolla auto voidaan ajaa pois tieltä ja pysäköidä. Säädin vaihtaa toi-

mintataajuutensa ylikuumentumistapauksissa normaalista 15 kHz:stä 1 kHz:iin, mikä aiheuttaa ihmiskorvalle kuuluvan äänen varottaen kuljettajaa ylikuumentumisesta. Täysi virtaraja ja suorituskyky palautuvat automaattisesti, kun laite on jäähtynyt. Jos säätimen sisäinen lämpötila laskee alilämpötilasuojausrajan alle, laitteen antama maksimivirta on noin 1/3 normaalista maksimivirrasta, kunnes säädin lämpenee alilämpötilasuojarajaa lämpimämmäksi (Elcat Cityvan, 37.4).

Säädin on suojattu myös äkillisiä potentiometrivikoja vastaan (epätavallisen suuri resistanssi) sekä laitteen sisäisiä vikoja vastaan. Molemmissa tapauksissa säädin estää moottorin toiminnan ja palautuu normaaliin toimintakuntoon, kun vika on korjattu. Ajomoottorin säädintä ohjataan sähkölaitekoteloon sijoitetulla 0 – 5 k Ω potentiometrillä, joka on kytketty vaijerivälitteisesti auton kaasupolkimeen (Elcat Cityvan, 37.4).

2.5 DC/DC-muunnin

Sähkölaitekoteloon on sijoitettu DC/DC-muunnin, joka muuttaa ajoakuston jännitteen 13,6 volttiin ja varaa apulaitteiden akkua. DC/DC-muuntimen piirikortille on sijoitettu kaksi ajoakkujen alijännitesuojarelettä (Elcat Cityvan, 37.4).

2.6 Ajoakuston varaustilamittari

Ajoakuston varaustilamittari on sijoitettu ohjauspylvään suojuksen päälle, joka osoittaa ajoakkujen varaustilaa heijastamalla merkkivalot mittaristoon (kuva 3, ylempi nuoli). Laite mittaa ajoakkujen jännitteen minimiarvoja yhden sekunnin viiveellä, eli mitattu arvo hyväksytään uudeksi minimiarvoksi vasta silloin, kun jännite on ollut tällä tasolla yhtäjaksoisesti vähintään yhden sekunnin ajan. Varaustilamittarin jänniterajat eli näyttämän vaihtumakohdat ovat kiinteät, joten niitä ei voi säätää. Laite säilyttää alimman jännitearvon muistissa niin kauan, kun apulaitteiden akku on kytkettynä ja siinä on varausta. Ajoakkujen varauksen loppuvaiheessa jännitteen saavuttaessa arvon 85 V varaustilamittarin näyttämä nollaantuu. Nollaus voidaan tehdä myös käsin laitteen vasemmassa päädyssä olevaa nollauspainiketta painamalla (kuva 3, alempi nuoli). Tämä on tarpeen esimerkiksi silloin, kun ajoneuvo on ollut varauksessa muutaman tunnin ajan, jolloin varausjännite ei ole vielä noussut niin korkeaksi, että varausmittari olisi

nollautunut automaattisesti, mutta ajoakuissa on kuitenkin enemmän energiaa kuin mitä varaustilamittari osoittaa. Nollauksen jälkeen varaustilamittari osoittaa täyttä varausta, mutta todellinen varaustila nähdään mittarista vasta ensimmäisen täydellä teholla tapahtuneen kiihdytyksen jälkeen (Elcat Cityvan, 37.2).



KUVA 3. Alkuperäinen ajoakuston varaustilamittari (Kuva: Lauri Helminen 2017)

2.7 Ajojärjestelmän toiminnan yleiskuvaus ja turvajärjestelmät

Kun pääkytkin kytketään 1-asentoon, ajoakuston jännite kytkeytyy pääkontaktorille, ajoakkuvaraajalle ja ohjaussulakkeille CF1-CF6.

Kun virta-avain käännetään asentoon ”ON”, ohjausrele R1 antaa ohjauksen 1 ajomootorin säätimelle ja kytkee jännitteen pääkontaktorin kelalle, jolloin pääkontaktorin koskettimet sulkeutuvat. Sulakkeilta nro 9 ja nro 10 käyttöjännitteensä saavat apulaitteet kytkeytyvät toimintaan.

Kun virta-avain käännetään asentoon ”START” ja pidetään siellä noin yhden sekunnin ajan, käynnistysrele R2 kytkee jännitteen ajoakuston varausmittarille ja antaa ohjauksen 2 moottorin säätimelle. Auto on nyt ajovalmis.

Autolla ajo on estetty, kun varauspistoke on kytkettynä jännitteelliseen pistorasiaan. Järjestelmä on rakennettu ajoakkuvaraajan yhteyteen. Ajomoottorin säätimen sisäinen turvajärjestelmä estää tahattomat liikkeellelähdöt, kun päävirtakytkin on kytkettynä. Säätimen täytyy saada ohjaukset 1 ja 2 peräkkäin tietyllä viiveellä ennen kuin se aktivoituu. Jos ajovalmiin auton päävirta katkaistaan ja kytketään uudelleen, virta-avain tulee kääntää asentoon ”START” ennen kuin autolla voidaan ajaa. Sama tilanne esiintyy, jos ohjausjännite käynnistysreleeltä R2 on ollut katkaistuna. Ajomoottorin säädin ei kytkeydy toimintaan, jos virta-avain käännetään asentoon ”START” kun kaasupoljin on painettua alas. Poljin täytyy päästää ylös ennen kuin säädin alkaa toimia. (Elcat Cityvan, 37.4).

Autossa on kaksivaiheinen ajoakkujen alijännitesuojaus. Kun ajoakkujen jännite laskee arvoon 62 V, DC/DC-muuntajan piirikortilla oleva rele kytkee ajomoottorin säätimen potentiometrin rinnalle ylimääräisen 2,2 k Ω vastuksen. Tämä rajoittaa ajoakuista saatavan tehon 50 %:iin maksimista. Kun ajoakkujen jännite nousee tehorajoituksen ansiosta, lisävastus kytkeytyy irti. Järjestelmän toiminta voidaan havaita nykäyksinä kiihdytettäessä. Jos ajoakkujen jännite laskee alle 60 voltin, DC/DC-muuntajan piirikortilla oleva rele katkaisee käynnistysreleen kelan pitojännitteen. Tällöin ajomoottorin säätimen ohjausjännite 2 katkeaa eikä säädin enää syötä virtaa ajomoottorille. Kun ajoakkujen jännite nousee, käynnistysreleen pitojännite kytkeytyy uudelleen. Autoa voidaan ajaa sen jälkeen, kun se on käynnistetty virta-avaimen avulla (Elcat Cityvan, 37.5).

3 KEHITYS- JA KUNNOSTUSTYÖ

Kehitystyö aloitettiin tutkimalla ja testaamalla auton kunto, koska auto oli seissyt pitkään käyttämättömänä. Tässä vaiheessa pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja toimenpiteille. Jos auton kori ja kunto osoittautuvat huonoiksi siirretään ajoelektroniikka toiseen koriin. Mikäli auton kunto on hyvä, mutta ajoelektroniikan kunnostaminen ei ole kannattavaa, rakennetaan se uudelleen. Mikäli molemmat ovat huonossa kunnossa, hyödynnetään auton komponentteja toiseen autoon. Kun auton kunto oli saatu kartoitettua, voitiin hyväksi onneksi todeta molempien asioiden olevan riittävän hyvässä kunnossa. Näin ollen projekti keskittyi parannuksiin, joita on esitetty tässä luvussa.

3.1 Auto yleistekninen kuvaus

3.1.1 Käytösähkö

Käytösähköjä tutkittaessa puutteita löytyi ajovaloista, radiosta ja vilkunviiksestä. Vilkunviiksen liittimet olivat hieman hapettuneet ja niihin käytettiin CRC:n valmistamaa hapettumien puhdistusspraytä, jonka jälkeen vilkut toimivat normaalisti. Radion liitännät mitattiin ja todettiin vian olevan radiossa. Radio korvattiin käytetyllä, jonka jälkeen alkoi musiikki kuulua. Ajovalojen umpiot olivat syöpyneet kunnostuskelvottomiksi ja umpiot oli uusittava.

Uusittaessa umpioita pohdittiin myös polttimoiden virrankulutusta. Valitettavasti umpiot eivät ole hyväksytyjä led- tai xenon-polttimoille, joiden virran kulutus olisi hehku-lankapolttimoita pienempi (Jokamies, 23.11.2017). Näin ollen virran säästöä on haettava paremman hyötysuhteen omaavilla pienempitehoisilla polttimoilla. Myös päiväsai-kaan virrankulutusta voidaan alentaa asentamalla päiväajovalot, koska parkkivalot eivät ole yksinään riittävät tieliikennelain mukaan. Ajovalojen virrankulutus on yksi auton suurimpia, jarrutehostimen-, pyyhkijän- ja puhaltimenmoottorin rinnalla. Valitettavasti saatavilla olevien osien ja lainsäädännön takia ei virrankulutusta enempää pystytty alentamaan. Muista sähkölaitteista virrankulutusta ei voida alentaa muuten kuin vaihtamalla paremman hyötysuhteen sähkölaitteisiin. Hyöty on tällöin pieni, eikä vaihto kustannus- syistä ole järkevää. Teknisesti ei ole muita järkeviä keinoja vähentää kulutusta, mutta

kuljettaja voi omilla valinnoillaan vaikuttaa käyttösähkön virrankulutukseen ja näin pidentää ajomatkaa.

3.1.2 Runko ja alusta

Runkoa ja alustaa tutkittaessa havaittiin puutteita lukoissa, oven pysäyttimessä, jarruis-
sa, polttoainekäyttöisessä lisälämmittimessä ja polttoainetankissa. Autoa ostaessa oli
tiedossa että avaimet ovat hukassa. Tätä varten irrotettiin polttoainetankin luukun lukko
sekä virtalukko ja vietiin ne lukkosepälle, jossa ne purettiin. Niiden pohjalta teetettiin
uudet avaimet. Myös muihin lukkoihin käytettiin asianmukaista CRC:n lukkoöljyä.
Oven pysäyttimessä rauta oli vääntynyt, oven ollessa auki nopeasti peruttamaan lähettä-
essä. Oven rauta korjattiin vääntämällä ja rasvaamalla. Jarrut käytiin läpi vaihtamalla
nesteet ja tämän jälkeen ilmaamalla. Myös jarrupintojen määrät tarkistettiin ja käsijar-
ruvaijeri säädettiin. Käsijarrun toiminta on sähköautossa erittäin tärkeää, koska autoa ei
voi jättää vaihteiston varaan, koska virraton sähkömoottori ei tarjoa minkäänlaista vas-
tusta auton liikkumiselle.

Polttoainekäyttöinen lisälämmitin oli pääpiirteiltään hyvässä kunnossa, mutta pitkään
jatkunut käyttämättömyys aiheutti paljon työtä. Lämmitintä testattaessa huomattiin polt-
toainetankin vuotavan. Tämä johtui lämmittimelle tehdystä noin 5 l tankin tiivisteren-
kaasta, joka ei ilmeisesti sovellu polttoaineelle vaan oli kutistunut. Myös hieman väljä
kierre polttoaineputken ja tankin välissä sai tankin tankattaessa vuotamaan. Tankki puh-
distettiin ja vuoto tukittiin polttoainetta kestäväällä silikonilla. Seuraavaksi ilmeni pump-
pausongelmia, vaikka polttoaineletkut puhdistettiin ja polttoainetta syötettiin korkeam-
malta, pumppu ei pumpannut. Pumppu purettiin, tarkistettiin ja puhdistettiin, jonka jäl-
keen syöttämällä polttoainetta korkealta alkoi pumppu imeä myös tankista.

Testiajoissa huomattiin, että alusta on todella epämiellyttävä ajaa. Tämä voi johtua osin
auton lyhyestä akselivälisestä, mutta myös ajosähkölaitteiston aiheuttamasta lisäkuormi-
tuksesta, erityisesti akuston suuresta massasta. Ajomukavuutta voitaisiin parantaa uusil-
la iskunvaimentimilla, koska nykyiset saattavat olla yhteen suuntaan toimivat. Myös
jousien vaihtaminen jäykempiin voisi auttaa, koska nykyiset tuntuvat ylikuormitetuilta.
Testiajossa huomattiin, ettei lisälämmittimen pumppu pumpkaa säännöllisellä käytöllä

jatkuvasti. Tämän ongelman ratkaisemiseksi, pumppu olisi hyvä uudelleen sijoittaa suoraan tankkiin tai mahdollisimman lähelle sitä polttoaineen pinnantason alapuolelle.

Auto on joskus kärsinyt pienen osuman etukulmaan. Korjauksen jälkeen maali on alkanut irtoilla kitin päältä. Ulkonäköä ehostettiin myös poistamalla vanhoja huonokuntoisia tarroja porakoneeseen kiinnitettävällä kumilaikalla. Auringon haalistuttamia puskureita ehostettiin kuumailmapuhaltimen avulla, jolloin alkuperäinen väri palautui.

3.2 Akusto

Autoa ostettaessa ei sen mukana tullut akkuja, joten ajoelektroniikan toimintaa ei voinut mitenkään todeta toimivaksi, muuten kuin silmämääräisesti. Ajoelektroniikan testaus aloitettiin kokeilla kytkemällä kuusi hyväkuntoista 12 voltin normaalia lyijyakkua sarjaan. Ajomoottori saatiin pyörimään ja latauskin vaikutti toimivalta latausjännitteen mittauksen perusteella. Tämän perusteella päätettiin säilyttää nykyiset ajoelektroniikka komponentit.

Akkujen ostoa suunniteltaessa huomioitiin budjetti, varauskapasiteetti, paino, koko ja tyyppi. Ajoakkuina ehdottomasti paras valinta olisi litiumpohjainen akku. Energiatiheydeltään se on paras, 130 – 200 Wh/kg, myös pakkasen kestoisuus on hyvä ja käyttöikä on pitkä. Toisena vaihtoehtona pidettiin syväpurkaukseen suunniteltuja lyijyakkuja. Lyijyakuilla on huonompi energiatiheys, lyhyempi käyttöikä ja lisäksi hyötysuhde laskee merkittävästi kylmällä ilmalla. Projektissa pääpainona oli rakentaa edullinen auto, joten päädyttiin lyijyakustoon, koska litiumakuston hinta olisi ollut kuusinkertainen. Litium akuston käyttöikä olisi myös kuusinkertainen, mutta lyijyakustoa pystyy elvyttämään ja näin lisäämään sen käyttöikää. Kun lyijyakuston varauskyky laskee kelpaamattomaksi sähköautoon, voidaan akkuja vielä hyödyntää esimerkiksi aurinko- tai tuulienergian varastoinnissa. Näin akuille saadaan huomattavan pitkä elinkaari (Smart battery, 23.11.2017).

Seuraavaksi oli vertailtava akkujen kokoa, painoa ja kapasiteettia. Huoltomanuaalissa akuston painoksi koteloineen oli ilmoitettu 450 kg. Uusien akkujen tyyppiksi valittiin 260Ah/6V ja 33 kg/kpl painavat Trojan T-145 -akut. Valitettavasti näitä akkuja ei ollut saatavilla ja ne korvattiin vastaavilla Yuasan DCB145-6 Pro Spec -akuilla. Akku on

täysin vastaava ja niille on luvattu noin 600 purkaussykliä (vrt. litium 3000 sykliä). Ajoakkuja tilatessa tilattiin myös käyttösähköakkuksi huoltovapaa 55Ah/12V akku (Trojan T-145, 23.11.2017).

Ennen ajoakkujen asennusta tarkistettiin lämmitysmattojen toiminta. Lämmitysmatot todettiin rikkiäiseksi. Autossa on alkuperäisenä lämmityskaapeli, mutta se on jossain vaiheessa vaihdettu litteään 48 V asuntovaunuun tarkoitettuun lämmitysmattoon. Lämmitystä varten autoon oli lisätty AC/DC-muunnin. Lämmitysjärjestelmä päätettiin uusida, vain vanha termostaatti jätettiin. Koska lämmitysjärjestelmä oli uusimisen tarpeessa jo toista kertaa, todettiin että lämmityskaapelia ei kannata sijoittaa akkujen alle vaan niiden väleihin. Lämmityskaapelina päätettiin käyttää rännilämmityskaapelia, koska sen lämpötila on tavallista lattialämmityskaapelia matalampi, eikä tällöin pääse aiheuttamaan akuille liian suurta pistemäistä lämpökuormaa (Devi sulanapitokaapeli, 13.11.2017).

Akusto nostettiin paikalleen ja kiinnitettiin tukevasti autoon kiinni kierretangoilla sekä kuormaliinalla. Tämän jälkeen virtakaapelit kytkettiin, auton turvakytkimen ollessa kiinni. Lämmityskaapeli oli metritavaraa, joten siihen piti tehdä päätteet. Valmis kaapeli pujoteltiin ja kiinnitettiin nippusiteillä akuston ympärille niin, etteivät kaapelit kosketa toisiaan (kuva 4).



KUVA 4. Ajoakusto ja eristetty kotelo (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Akuston jäähdytys toimii tällä hetkellä painovoimaisesti ja ajoviimasta. Akkukotelon pohjassa on muutamia pieniä reikiä korvausilmaa varten. Ajoviimainen jäähdytys toimii liukuovessa olevan tuuletusputken kautta (kuva 5, oikeanpuoleinen nuoli). Mikäli auto vaatii kesällä jäähdytyksen, sellainen rakennetaan asentamalla puhallin akkukotelon reikään (kuva 5, vasemmanpuoleinen nuoli). Tällöin akkukoteloon imetään viileää ilmaa kesäkuumalla auton alta ja poistetaan kuuman ilman kotelon kannen putkiston kautta. Talviaikana akuston lämmitys ja jäähdytys on testattu toimiviksi. Matkustamoon ei tule haponkäryä ja lämpötilat pysyvät poissa riskialueilta. Akuston lämpötila ei saa ylittää yli 50 °C, muuten on vaarana akuston rikkoontuminen. Myös pakkasella on vaarana tyhjän akuston jäätyminen. Akuston ihannelämpötila on +27 - 37 °C, jolloin akun hyötysuhde on parhaimmillaan (Trojan T-145, 23.11.2017).



KUVA 5. Ajoakuston ajoviiman jäähdytysputki (Kuva: Lauri Helminen 2017)

3.3 Ajomoottori

Ajomoottorin muuttamista taajuusmuuttajaohjattuun oikosulkumoottoriin harkittiin. Tähän ei kuitenkaan ryhdytty, koska alkuperäinen järjestelmä toimi hyvin. Mikäli tähän ratkaisuun oltaisiin päädytty, olisi akuston jännite valittu taajuusmuuttajan tasasuuntauspiirin jännitteen perusteella. Näin taajuusmuuttajalla olisi saatua toteutettua myös akkujen lataus ja jarrutusenergian talteenotto. Lisäksi vaihteistosta olisi pystytty luopu-

maan ja hyötysuhde olisi saatu erittäin korkeaksi. Auton paino ei välttämättä olisi laske-
nut, vaikka vaihteistoa ei olisi, koska taajuusmuuttaja itsessään painaa melko paljon.
Käyttömukavuus olisi parantunut huomattavasti, koska vaihteita ei tarvitse vaihtaa.
Voimalinja olisi käytännössä myös huoltovapaa.

Myös nykyisen järjestelmän päivittämistä suunniteltiin jarrutusenergian talteenotolla,
mutta säätimen muuttaminen on erittäin hankalaa. Testiajossa on kuitenkin ilmennyt,
että auto kaipaisi hieman lisää suorituskykyä. Säätimen uusimalla saisi toteutettua jarru-
tusenergian talteenoton, jolloin kehittyneemmän tekniikan ansiosta hyötysuhde kasvaisi
hieman. Myös moottorin uusimalla saataisiin suorituskykyä ja hyötysuhdetta kasvatet-
tua. Moottorin nykyinen hyötysuhde ja painosta ei löytynyt tietoja. Oletettavasti pai-
no on noin 50 kg ja hyötysuhde noin 80 %.

Markkinoilla on paljon erilaisia moottoreita ja yhtenä vaihtoehtona on mietitty neste-
jäähdytteistä harjatonta tasavirtamoottoria (kuva 6). Moottori tuottaa jatkuvaa tehoa 20
kW ja hetkellisesti 50 kW. Vääntöä moottori tuottaa jatkuvaa 80 Nm ja hetkellisesti 160
Nm. Moottorin hyötysuhde on 91 % ja sen paino on vain 39 kg. Lisäksi se on huoltova-
paa. Moottori maksaa uutena noin 1500 € (4/2017) ja siihen jarruenergian talteen ottava
säädin mallista riippuen 500 – 800 € (4/2017). Hinta on huomattavasti edullisempi kuin
oikosulkumoottori ja taajuusmuuttaja yhdessä. Myös painoa tulee huomattavasti oiko-
sulkumoottoria ja taajuusmuuttajaa vähemmän.



KUVA 6. 20 kW harjatonta nestejäähdytteinen tasavirtamoottori (Harjatonta DC moottori
20kW, 10.4.2017)

Moottorin vaihtaminen vaatii nestejäähdytyksen rakentamisen. Vanhan polttomoottorin jäljiltä autoon on jätetty lisälämmitintä varten lämmitysputket, jotka kulkevat auton alla. Näitä putkia hyödyntämällä ja pienillä muutostöillä, nestejäähdytyksen rakentaminen ei ole iso työ, eikä lisäpainoa autolle juuri kerry. Lisäksi moottori sopii pienen kokonsa puolesta hyvin vanhan moottorin paikalle.

3.4 Ajonseurantalaitteisto

Auton kunto- ja kehitystarpeita kartoitettaessa huomattiin suuria puutteita ajosähkön seurannassa. Polttoainekäyttöisen auton pitkä kantama ja nopea tankkaus ei vaadi kovinkaan tarkkaa mittausta, mutta sähköauton lyhyt kantama ja pitkät latausajat vaativat. Alkuperäinen ajoakuston varausmittari on toteutettu kuudella ledillä, jotka palavat jännitetasojen mukaan (kuva 3). Uusi jännitetaso päivittyy, kun akuston jännite on ollut 1 sekunnin tietyllä alueella, eikä jännitetasoja voi säätää. Mittari nollaantuu automaattisesti akuston latautuessa 85 V tai painamalla varausmittarikotelon napista. Tässä vaiheessa oli selvää, ettei teoreettisesti mietittynä ja käytännössä koettuna mittarista voi saada kovinkaan tarkkaa lukemaa. Suurimpana puutteena vain muutaman ledin näyttö, jolloin yksi jännitetaso voi näyttää 50% kantamasta tai enemmän. Lisäksi mittaukseen on huomioitu vain jännite, eikä akuston lämpötilaa. Lämpötilalla on iso vaikutus akuston kapasiteettiin ja jännitteeseen.

Näin ollen ajonseurantalaitteisto oli suunniteltava ja rakennettava uusiksi. Laitteiston suunnittelu aloitettiin miettimällä mitä halutaan mitata ja miksi. Tätä varten laadittiin taulukko, johon kerättiin näytölle haluttavat tiedot ja niihin tarvittavat mittaukset (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Näyttöön halutut tiedot ja niiden edellyttämät mittaukset

Näyttö	Mittaukset
Varaustila %	Akuston lämpötila
	Akuston jännite
Akuston jännite V	Akuston jännite
Akuston lämpötila °C	Akuston lämpötila
Elektroniikkakotelon lämpötila °C	Elektroniikan lämpötila
Teho kW ja energiankulutus kWh	Säätimen jännite
	virranmittausvastuksen jännite
Virta A ja varaus Ah	Säätimen jännite
	virranmittausvastuksen jännite

Kun halutut tiedot ja mittaukset olivat tiedossa, alettiin suunnitella rakentamiseen tarvittavia komponentteja. Tarvittavat tarvikkeet taulukoitiin asianmukaisesti (taulukko 2). Komponentteja ostettiin Suomesta ja tilattiin ulkomailta. Osa osista rakennettiin ja suunniteltiin itse, joita on selvitetty myöhemmin tässä luvussa.

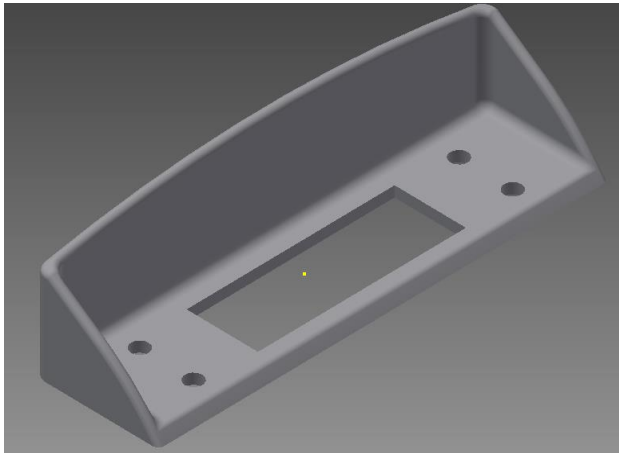
TAULUKKO 2. Ajonseurantalaitteiston komponentit

Määrä	Osa	Tarkoitus
1	Arduino Uno	Mikrokontrolleri
1	LCD 16x2	Näyttö
2	DS18B20	Lämpötila-anturi
1	300A 60mV	virranmittausvastuksen jännite
1	ADS1115	16 Bit A/D-muunnin
1	Piirilevy	Komponenteille
2	Painonappi	Ohjauksille
2	10 kΩ Potentiometri	Näytön säätöön
2	3,2 kΩ vastus	Jännitteenjako
2	56,8 kΩ vastus	Jännitteenjako
1	Runko	Näytön kehys
1	220 Ω vastus	Napille
1 pss	Liittimiä	Piirilevyn jalkoja
12 m	CAT6	Kaapeli

3.4.1 Näytön runko

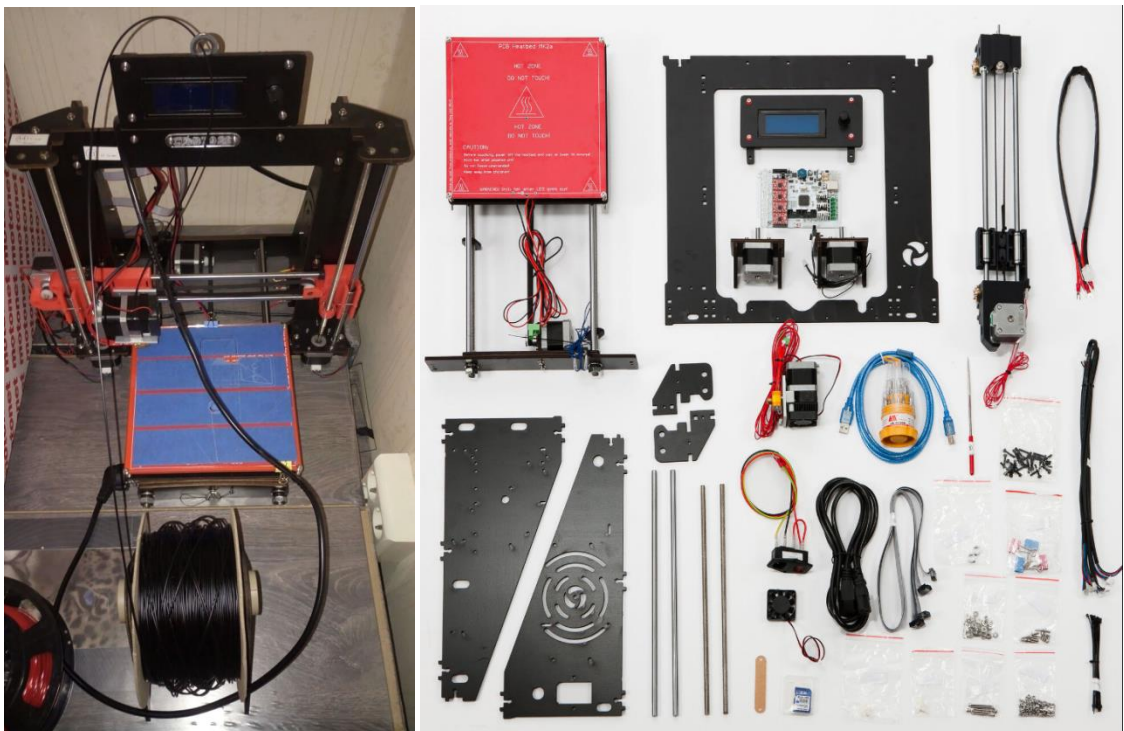
Näytön rungon suunnittelu aloitettiin miettimällä haluttujen painikkeiden ja säätönappien määrän tarve. Tämän jälkeen mietittiin ajonseurantalaitteelle sopiva paikka. Tämän jälkeen otettiin tarvittavat mitat ja piirrettiin ne paperille muistiin. 3D-suunnitteluun

käytettiin Autodesk Inventor –ohjelmaa (Autodesk inventor, 6.2.2017). Näytön rungosta piirrettiin kaksi eri versiota, mutta tyydyttiin käyttämään ensimmäistä (kuva 7).



KUVA 7. 3D-malli näytön rungosta (Kuva: Lauri Helminen 2017)

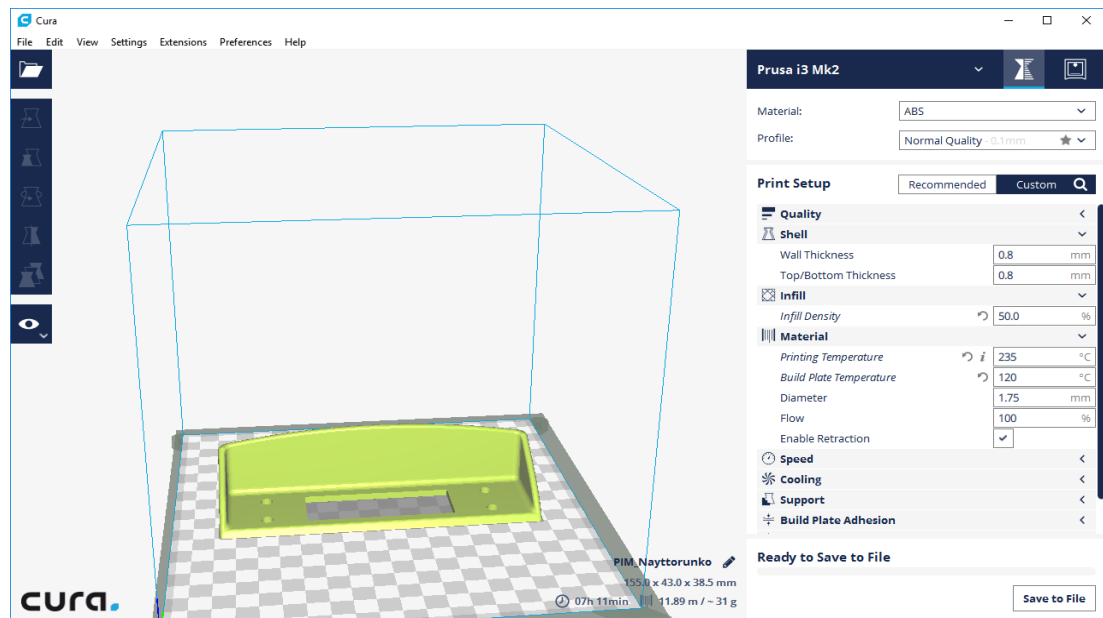
Rungon valmistamista varten päätettiin ostaa Saksasta 155 € maksava, itse koottava 3D-tulostin (kuva 8). Tulostimella voidaan tulostaa 20 cm leveitä/syviä ja 18 cm korkeita kappaleita (Ebay, 6.2.2017).



KUVA 8. 3D-tulostimen rakennussarja (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Tulostamista varten tarvitaan erillinen ohjelma, jolla voidaan asettaa halutut tulostusasetukset ja tulosteen paikka. Tässä projektissa päädyttiin käyttämään Cura-nimistä ohjel-

mistoa (Ultimaker Cura 6.2.2017). Tulostimella tulostamista varten piirretty 3D-malli tallennetaan .STL-muotoon ja avataan Cura-ohjelmalla (kuva 9). Kun halutut arvot on asetettu ohjelmistolla, tallennetaan kuva muistikortille. Muistikortti siirretään tulostimen muistikorttipaikkaan ja käynnistetään tulostus valintapainikkeella.



KUVA 9. Cura 3D –tulostusohjelma (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Muutamien testikappaleiden jälkeen sopivat tulostusasetukset löydettiin. Tulostamiseen päätettiin käyttää ABS-muovia, koska autossa ollessaan tuloste altistuu kesällä kovalle kuumuudelle. Tällöin PLA-muovi voi menettää muotoaan matalamman sulamispisteen-
sä takia (3dhubs, 3.4.2017). Lopulliseen tulosteeseen käytettiin 235 °C suutin- ja 120 °C alustalämpötilaa (kuva 10). Aikaa tulostamiseen kului 8 tuntia. Vielä parempaan loppu-
tulokseen oltaisi päästy, jos suutinlämpötilaa ja tulostusnopeutta olisi laskettu.

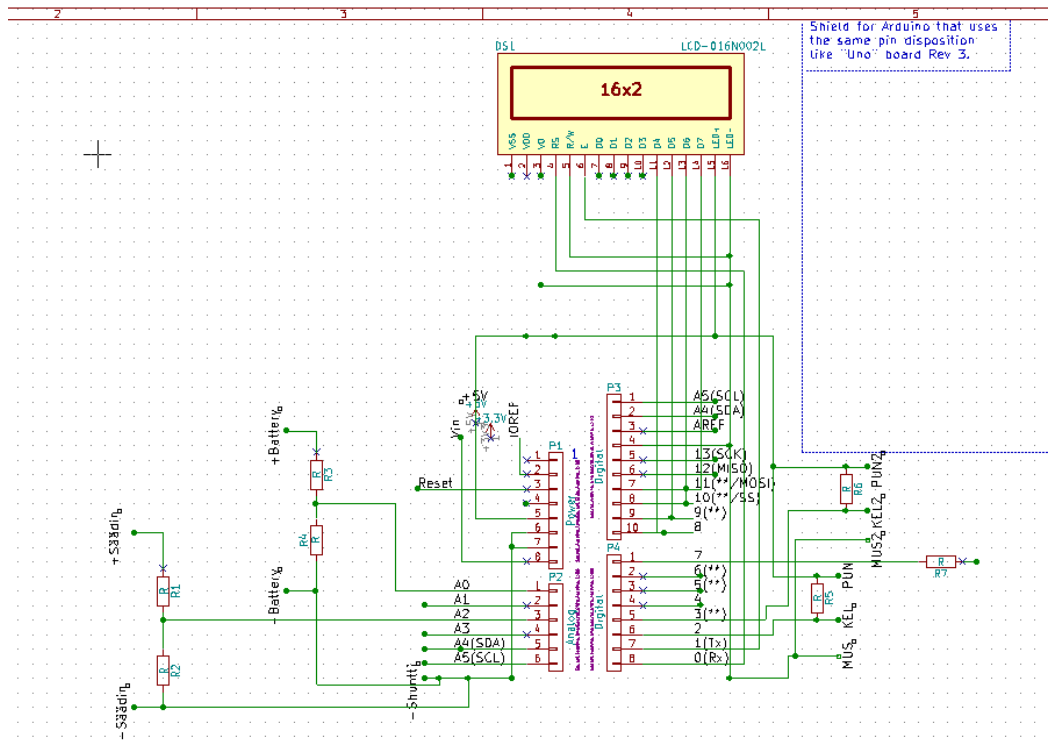


KUVA 10. Näytön rungon ensimmäinen versio (vasen) ja lopullinen tuloste (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Tulostin oli hintaansa nähden erinomainen. Tulostuksen laatuun pystytään vaikuttamaan todella paljon asetuksilla, eikä lopullisesta tulosteesta arvaisi että tulostus on tehty 155 € tulostimella.

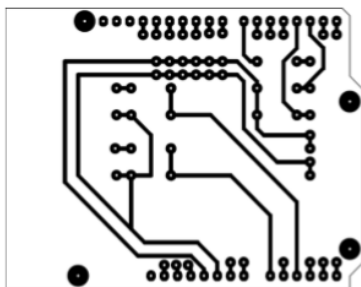
3.4.2 Piirilevy

Piirilevyn suunnittelu aloitettiin, kun kaikki tarvittavat sähkökomponentit olivat tiedossa. Piirilevyn suunnitteluun käytettiin KiCad-nimistä avoimen lähdekoodin ohjelmaa. Ohjelmistolla voidaan suunnitella piirikaavio ja piirikuviot piirilevyihin (KiCAD, 20.2.2017). Piirilevyn suunnittelu aloitettiin lisäämällä piirikaavioeditoriin projektissa käytettävät komponentit (kuva 11).



KUVA 11. Piirikaavion suunnittelua (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Kun komponentit ja virtatiet olivat määritelty, aseteltiin komponenttien paikat piirilevylle. Komponenttien asetteluun käytettiin KiCadin Footprint:iä. Komponenttien asetteluun jälkeen saatiin ohjelmistosta tulostettua arkki 55x40 mm kokoisin piirilevyn syövytystä varten (kuva 12).



KUVA 12. Piirilevyn tuloste (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Seuraavaksi tuloste tulostettiin läpinäkyvälle piirtoheitinkalvolle valotusta varten. Piirilevyn valotus tehtiin tässä projektissa käyttämällä kynsilakan kovettamiseen tarkoitettua UV-valoa. Valotuksessa tuloste asetettiin piirilevyn päälle, josta on poistettu suojakalvo ja annettiin UV-valon vaikuttaa 90 sekuntia. Tämän jälkeen piirilevyä huuhdeltiin kehitysnesteessä noin 20 sekuntia, kunnes syövytettävä alue erottui selvästi. Tämän jälkeen piirilevyä huuhdeltiin vedessä ennen sen asettamista varsinaiseen syövytykseen. Syövy-

tyksessä käytettiin natriumsulfaattiseosta, jossa piirilevyn annettiin olla noin tunti. Tämän jälkeen piirilevy oli valmis reikien poraukseen ja komponenttien juottamiseen piirilevyille.

3.4.3 Ohjelmakoodi

Ajonseurantalaitteistossa käytettiin Arduino Uno –kehitysalustaa, joten ohjelmoinnissa käytettiin Arduinon omaa ohjelmistoa. Arduino on avoimeen lähdekoodiin perustuva kehitysalusta ja ohjelmisto, jonka ohjelmoimiseen käytetään C++:saan perustuvaa kieltä (Arduino, 20.7.2016).

Ohjelmointia aloiteltaessa tarvitsee ladata erinäisiä kirjastoja ohjelmistoon ja itse ohjelmaan, koska ajonseurantalaitteistossa käytetään erilaisia komponentteja. Opinnäytetyössä käytetyt kirjastot, mitä ei Arduinon omasta kannasta löytynyt, ladattiin GitHub-nimiseltä sivustolta. Kun kirjastot on ladattu ohjelmaan ja koodiin, voidaan seuraavaksi edetä kertomalla ohjelmalle laitteiden ulostulopinnien paikat ja muuttujat. Itse ohjelma pyörii pääfunktioiden setup ja loop välillä. Setup-funktiossa alustetaan laitteen asetukset. Loop-funktiossa itse ohjelma pyörii ympäri. Ohjelmoinnissa erityisen tärkeää on, että koodi kommentoidaan huolellisesti, jotta sitä on helppo muokata myöhemmin (GitHub 6.5.2017).



```

Koodia | Arduino 1.6.5
File Edit Sketch Tools Help

Koodia $
// Ajonseurantalaitteiston koodi

#include <Adafruit_ADS1015.h> // Ladataan kirjasto
#include <LiquidCrystal.h>
#include <EEPROM.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>

Adafruit_ADS1115 ads; // 16 bittinen versio

#define ONE_WIRE_BUS_1 2
#define ONE_WIRE_BUS_2 3

OneWire oneWire_in(ONE_WIRE_BUS_1);
OneWire oneWire_out(ONE_WIRE_BUS_2);

DallasTemperature sensor_in(oneWire_in);
DallasTemperature sensor_out(oneWire_out);

LiquidCrystal lcd(0, 1, 8, 9, 10, 11); // Asetetaan näytön pinnit

int presses = 0.0; // Painettujen valintojen määrä
int buttonstatus = 0.0; // Napin tila LOW/HIGH
int laststatus = 0.0; // Viimeisin napin tila
int button = 7; // Näytön valintanappi
int analogInput0 = A0; // Analogiatulo jännitteen mittaukseen akustosta
int analogInput1 = A1; // Analogiatulo jännitteen mittaukseen shunttivastukselt

```

KUVA 13. Arduinin koodausikkuna (Kuva: Lauri Helminen 2017)

Koodissa käsiteltiin myös muutamia laskuja, joilla muutettiin tuloja mikrokontrollerille sopivaan muotoon tai näytöltä luettavaan muotoon. Koska Arduinin tulot käyttävät jännitettä 5 V asti, pitää jännitetulot muuttaa kontrollerille sopivaksi (kaava 1). Arduino käsittelee tuloja bitteinä, joten bitit on muutettava laskuja varten todelliseksi jännitteeksi. Akuston lämpötilan muutoksen vaikutusta skaalattavaan alueeseen käytettiin 0,132 V/°C skaalausta (kaava 2). Akuston varauksen prosentuaaliseen näyttämään käytettiin mitattavia muuttujina lämpötilaa ja jännitettä.

Jännitteenjako voidaan laskea seuraavalla kaavalla (1) (Tekniikan taulukkokirja, 930)

$$U_{out} = U_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

, jossa U_{out} on muunnettu jännite, U_{in} on alkuperäinen jännite, R_1 ja R_2 ovat jännitteenjakovastuksia.

Jännitteen muutos akustossa astetta kohden voidaan laskea kaavalla (2)

$$U_{T/u} = T * U_u \quad (2)$$

, jossa $U_{T/u}$ on jännitteen muutos astetta kohden, T on lämpötilan muutos asetellusta lämpötilan aloituspisteestä 20° C ja U_u on jännitteen muutos per aste.

3.6 Aggregaatti

Sähköautoon suunniteltiin pidempiä matkoja varten myös kytkettäväksi aggregaatti ajomatkan pidentämiseksi. Aggregaatin kytkemiseksi autoon oli selvitettävä, ettei se muuta auton käyttövoiman määritelmää. Asia tarkistettiin Trafilta ja lain tulkinta on se, että aggregaatin saa asentaa autoon, kunhan se ei ole kiinteästi asennettu, ja auto täyttää sähköiset määräykset. Aggregaatin asennusta varten on autoon asennettava sukopistorasia ja muutettava ajonestojärjestelmää (Nurmi, 2017).

Ajonestojärjestelmään pitäisi rakentaa erillinen ohituspainike latausta varten ajonaikana. Pelkkä ohitus ei riittäisi, koska turhan usein autolla yritetään lähteä liikkeelle johdon ollessa seinässä. Aggregaatti itsessään olisi sijoitettu ulos auton ulkopuolelle lähelle takaosaa pyörätelinetyyppisellä pikakiinnikeratkaisulla, jolloin asennus ei ole kiinteä. Tällöin myös aggregaatin aiheuttama melu ja pakokaasut jäävät ulkopuolelle. Aggregaatin kooksi sopiva olisi 2 - 2,5 kW. Aggregaatin muutostöitä ei kuitenkaan toteutettu, koska autolla ei ole tällä hetkellä tarvetta pidemmille matkoille ja haluttiin pysyä budjetissa.

4 AJONSEURANTALAITTEEN TESTAUS

Ajonseurantalaitteen testausta varten suoritettiin kaksi testiajtoa (kuva 14). Ensimmäisessä mittausarjassa akusto ajettiin tyhjäksi ja arvot otettiin ylös (liite 1). Ensimmäisessä mittausarjassa jännitteet kirjattiin ylös heti auton pysähtyessä. Tällöin aiheutui huomattavaa virhettä etenkin akuston tyhjentyessä, koska jännite ei ehdi tasaantua. Odottamalla jännitteen tasaantumista 30 sekuntia saatiin toisesta mittausarjasta jo tasaisempi ja todenmukaisempi (liite 2). Molemmista mittausarjoista oli huomattavissa, että lopua kohden akun prosentuaalinen näyttämä tippuu suhteellisesti paljon enemmän. Tämä korjattiin muuttamalla koodia ja säätämällä jänniterajoja. Myös ajon aikaista akuston lämpiämistä oli huomattavissa, lämpötilan paikkansapitävyyden tarkentamiseksi lämpötila-anturi siirrettiin akkukotelosta akun kennoon.

Muutostöiden jälkeen ajettiin vielä kaksi testiajtoa, joista ei otettu mittausarjoja. Testiajoissa testattiin lämpötilan vaikutusta jännitteeseen, ja ajonseurantalaitteiston toimivuutta testattiin normaalissa ajossa silmämääräisesti. Akuston ollessa täynnä jännitteen muutoksen lämpötilan suhteen huomasi erityisesti tuovan tarkkuutta, kuin ilman sitä. Tällöin prosentuaalinen näyttämä ei mennyt yli 100 %.



KUVA 14. Ajonseurantanäyttö ja mikrokontrolleri (Kuva: Lauri Helminen 2017)

5 KUSTANNUKSET

Tässä luvussa kerrotaan opinnäytetyössä käytetyn auton kehityskustannuksista. Lisäksi on vertailtu polttoaine- ja sähkökäyttöisten ajoneuvojen käyttö ja ylläpitokustannuksista.

5.1 Rakennuskustannukset

Rakennuskustannuksiin on laskettu mukaan myös laitehankinnat ja ne on listattu alla olevaan taulukkoon (taulukko 3)

TAULUKKO 3. Rakennuskustannukset (10/2017)

Osa	Hinta
Akusto	2 280 €
Elektroniikka	120 €
Piirilevyn valmistus	40 €
3D tulostus	165 €
Renkaat	60 €
Umpiot	50 €
Katsastus	40 €
Muut	160 €
Yht.	2 915 €

Taulukossa on listattuna tarvikkeet, joista koitui kustannuksia opinnäytetyössä. Pienempiä tarvikkeita, kuten elektroniikkakomponentteja saatiin ilmaiseksi ja osa tarvikkeista taas hyödynnettiin omasta varastosta, joten niitä ei ole listattu. Suurimmat kustannukset muodostuivat oletetusti uuden akuston ostosta, koska moottoria, säädintä tai latausjärjestelmää ei lähdetty uusimaan.

5.2 Käyttökustannukset

Koska käyttökustannukset olivat yksi tärkeimmistä valintakriteereistä autoa valittaessa, on niitä avattu hieman tarkemmin tässä kappaleessa. Autoilun käyttökustannuksiin vaikuttaa oleellisesti kuskin ajotapa, vuodenaika ja energian hinta. Taulukkoon 4 on koottu sähköauton ja vastaavan bensiinikäyttöisen auton arvioidut tavanomaiset kustannukset.

TAULUKKO 4. Käyttökustannukset (10/2017)

	Sähkö	Bensiini	Huom!
Vakuutukset	180 €	300 €	Liikenne+Osakasko
Verot	100+50€*	689 €	Käyttövoimavero*
Energia	0,12€/kwh	1,5€/l	
Kulutus 100km kohden	20kw	7,5l	
Energian hinta 100km	2,40 €	11,25 €	
Katsastus	35 €	55 €	
Muut	Matkustamo	Moottori	Lisälämmitys
€/15tkm/v	725,00 €	2 731,50 €	Ei huomioitu lämmitystä
€/km	0,05 €	0,18 €	Ei huomioitu lämmitystä
Huollot €/km	0,07 €	0,02 €	
Yht. €/km	0,12 €	0,20 €	

Opinnäytetyössä käytetyn auton kustannukset ovat verrattain pienet polttomoottorikäyttöiseen autoon (taulukko 4). Vaikka sähköauton kustannukset ovat pienemmät kuin polttomoottorikäyttöisellä autolla, sisältyy ajamiseen myös huomaamattomia lisäkuluja, kuten akuston lämmitys talvella ja matkustamon lämmitys. Polttomoottorikäyttöisessä autossa taas talvella moottori vaatii esilämmitystä mikä lisää kustannuksia, mutta moottorin tuottama hukkalämpö saadaan hyödynnettyä matkustamon lämmityksessä. Kaiken kaikkiaan sähköauto tulee huomattavasti halvemmaksi, kuin bensiinikäyttöinen.

5.3 Muut kustannukset

Muita merkittävästi erilaisia vertailtavia kustannuksia löytyy erityisesti huolloista, jotka ovat polttomoottorikäyttöisessä ja sähkökäyttöisessä autossa aivan erityyppisiä (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Huoltojen vertailu

	Sähkö	Bensiini	Huom!
Öljynvaihto	Vaihteisto	Moottori+vaihteisto	
Moottorin määräaikaishuollot	Hiilien vaihto, laakerit	Jakopää, vesipumppu, sytytystulpat, ilmapuhdistin	
Akusto	Ajosähkö+käyttö sähkö	Käyttö sähkö	Vaihto/huolto

Huoltovertailuun ei otettu mukaan muita huoltoja kuin käyttövoimasta johtuvat eroavat huollot. Pääsääntöisesti muut huoltokustannukset ovat samat molemmissa autoissa,

mutta ajosähkölaitteiden painosta johtuva kuluminen alustassa ja renkaissa aiheuttaa tiheämpää huoltoväliä sähköautossa. Taulukoihin 6 ja 7 on koottu, suuntaa antavilla hinnoilla ja huoltoväleillä, mitä auton huoltaminen liikkeessä käyttämällä voisi maksaa kilometriä kohti.

TAULUKKO 6. Sähkökäyttöisen auton arvioidut huoltokustannukset

Huoltoväli km	Huolto	Hinta €	Hinta €/km
1 000	Hiilienvaihto	5	0,005
10 000	Akkuveden lisäys	90	0,009
30 000	Vaihteisto öljy	90	0,003
40 000	Akuston vaihto	2280	0,057
150 000	Moottorin laakerit	250	0,001667
Yht.			0,075667

Sähköauton suurimpiin kustannuksiin vaikuttaa akuston käyttöikä. Mikäli autolla ajetaan vähän ja autoa käytetään harvoin, voi akuston vanhetessa kilometrimäärä jäädä todella alhaiseksi ja huoltokustannukset kilometriä kohti nousta kymmeneen sentteihin (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Bensiinikäyttöisen auton huoltokustannukset

Huoltoväli km	Huolto	Hinta €	Hinta €/km
10 000	Öljynvaihto	70	0,007
10 000	Ilmansuodatin	20	0,002
20 000	Suodattimet ja tulpat	90	0,0045
30 000	Vaihteisto öljy	90	0,003
100 000	Jakopää remontti	550	0,0055
Yht.			0,022

Verrattaessa sähkö- ja bensiiniauton huoltokustannuksia, on sähkökäyttöisen auton huoltaminen yli kolme kertaa kalliimpaa kilometriä kohden (taulukot 6 ja 7). Sähköauton kustannuksia saadaan pienennettyä myymällä akut romuakuiksi tai uusiokäyttämällä akusto esimerkiksi aurinkopaneelijärjestelmässä.

6 POHDINTA

6.1 Kehitystyöt

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena kunnostaa ja kehittää vanhasta sähköautosta ajokelpoinen ja selkeä käyttöinen käyttöauto kaupunkiajoon. Kunnostustöiden tuloksena pystyttiin hyödyntämään koko auto ja sille saatiin lisää käyttöikä. Auton ajonseurantalaitteistoa rakennettaessa, saatiin autoon lisättyä tärkeänä ominaisuutena akuston kapasiteetin seuranta. Vaikka ajonseurantalaitteistoon jäi vielä paljon kehitettävää ja lisättävää, tärkeimmät ominaisuudet saatiin rakennettua.

6.2 Ekologisuus

Sähköautoilua pidetään yleensä päästöttömänä liikennemuotona. Näin ei kuitenkaan ole. Monesti sähköauton päästöt voivat olla suuremmat kuin polttomoottorikäyttöisellä ajoneuvolla. Päästöjen syntypaikka vaihtuu auton luota autotehtaalle ja energiantuotantoon. Suurin sähköauton päästöihin vaikuttava tekijä on se miten energia on tuotettu. Puhtaasti tuotettu uusiutuva energia, kuten tuuli ja aurinkosähkö, tekevät sähköautoilusta ekologisempaa, kun taas dieselgeneraattoreilla tai kivihiihellä tuotettu energia aiheuttaa sähköautoilulle todella mustan hiilijalanjäljen. Sähköautoilun päästöjä lisää se että energia tuotetaan muualla kuin autossa, jolloin syntyy paljon häviöitä esimerkiksi sähkön tuotannosta, siirrosta, latauksesta, varastoinnista akustoon ja ajomoottoreista. Sähköautoilussa ekologisuuden kannalta on tärkeää, että käytetään puhdasta energian tuotantoa ja korkean hyötysuhteen laitteita.

Muita mainittavia päästöjä syntyy auton tuotannosta. Sähköauton valmistaminen on epäekologisempaa kuin tavallisen polttomoottoriauton. Tähän vaikuttaa akusto, jonka valmistamiseen tarvitaan paljon kalliita luonnonmateriaaleja. Muita eroja polttomoottorikäyttöiseen autoon verrattuna on akustosta johtuva suurempi auton massa, joka kuluttaa tiestöä enemmän, mutta ero on verrattain pieni (Kauppalehti, 6.5.2018).

Sähköautolla ajon ekologisuus ei siis aina ole itsestään selvyyttä. Oikeilla valinnoilla ja tarkastelemalla kokonaisuutta päästään puhtaampaan ajotapaan.

6.3 Sähköautoilun ongelmat

Vaikka sähköauto on vanha keksintö, ei sen yleistymisen ole päässyt tapahtumaan. Sähköautoja on yritetty tuoda markkinoille monta kertaa. Sähköauton suurin ongelma on epäkäytännöllisyys, lyhyt toimintasäde, latauspaikkojen vähyys ja pitkät latausajat. Tämä on suoraan seuraus siitä, että akuston kehitys on jäänyt jälkeen. Vielä tänä päivänäkin akuston valmistaminen on kallista ja sähköautojen toimintasäteet lyhyitä verrattuna polttomoottoriautoihin.

2010-luvulla sähköautoilu on alkanut lisääntyä, mutta hinta ja toimintasäteet ovat edelleen jarruttava tekijä. Mikäli sähköautot lisääntyvät räjähdysmäisesti, tuottaa tämä myös uuden ongelman sähkön tarpeen lisääntyessä. Sähköverkko pitää tällöin rakentaa uudelleen kulutuksen lisääntyessä. Lisäksi useat taloyhtiöt ja muut pysäköintiä tarjoavat tahot joutuvat kasvattamaan liittymäkokojaan ja rakentamaan latauspisteitä.

LÄHTEET

Arduino, Examples for libraries. Luettu 3.12.2017. <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LibraryExamples>

Autodesk inventor. Luettu 6.2.2017.

<https://www.autodesk.fi/products/inventor/overview>

DCB145-6 Pro Spec. Luettu 23.11.2017. http://util.oem.se/pdf/DCB1456-Pro_Spec_ajovoima-akku_2148471-768641.pdf

Devi sulanapitokaapeli. Luettu 13.11.2017. <http://sahkonumerot.fi/8169534>

Ebay Prusa i3 kit. Luettu 6.2.2017. <https://www.ebay.com/itm/Prusa-i3-Kit-DYI-3D-Printer-2018-cheap-and-great-printer-get-started/392122742153?hash=item5b4c563589:g:l90AAOSwbkVbmNWy>

Eberspächer, 1998, Hydronic -vesilämmittimet. Luettu 4.11.2017

Elcat Cityvan, 1993, huoltokirja. Järvenpää: Elcat Oy

Esko Valtanen, 2013, Tekniikan taulukkirja, Mikkeli: Genesis-kirjat Oy.

GitHub. Luettu 6.5.2017. <https://github.com/>

Harjaton DC moottori 20 kW. Luettu 10.4.2017. http://emoto.fi/index.php?-route=product/product&path=62&product_id=73

Jokamies. Luettu 23.11.2017. <https://www.jokamies.fi/halogeni-xenon-vai-led-ajovalot/>

Kauppalehti. Luettu 6.5.2018. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/nain-paljon-sahkoauto-tarvitsee-kilometreja-mittariin-ennen-kuin-se-on-dieselia-puhtaampi/xcARb9tV>

KiCAD. Luettu 20.2.2017. <http://kicad-pcb.org/>

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista. 2002. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20021248#L3P18a>

Nurmi, M. Tarkastaja liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 2017. Sähköauton ajonaikainen lataus. Sähköpostiviesti ajoneuvotekniikka@trafi.fi. Luettu 17.3.2017

Smart battery. Luettu 23.11.2017. <https://www.lithiumion-batteries.com/products/12v-300ah-lithium-ion-battery/12v-300ah-lithium-ion-battery.php>

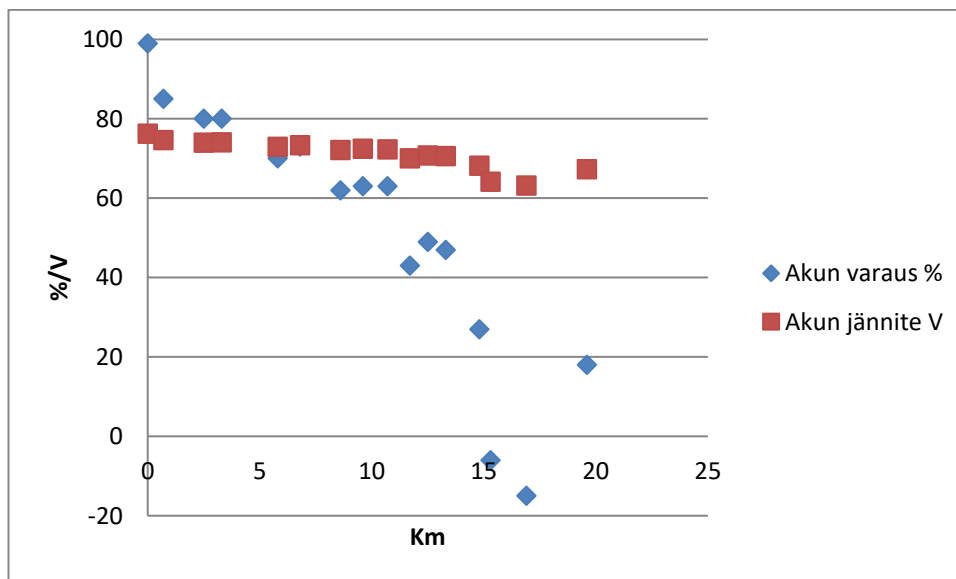
Trojan T-145. Luettu 23.11.2017. <http://media.oem.se/Archive/FilesArchive/109398.pdf>

3dhubs. Luettu 3.4.2017. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference>

LIITTEET

Liite 1. Ajon seurantalaitteiston testaus 1

Km	%	V	V/100%	°C akusto
0	99	76,26	76,35	23
0,7	85	74,62	76,31	23
2,5	80	73,97	76,2	22
3,3	80	74,07	76,2	22
5,8	70	72,97	76,25	23
6,8	73	73,33	76,3	23
8,6	62	72,14	76,39	24
9,6	63	72,42	76,41	24
10,7	63	72,33	76,54	25
11,7	43	70,04	76,54	25
12,5	49	70,77	76,56	25
13,3	47	70,58	76,62	25
14,8	27	68,21	76,69	26
15,3	-6	64,18	76,77	27
16,9	-15	63,17	76,91	28
19,6	18	67,29	77,52	32



Liite 2. Ajon seurantalaitteiston testaus 2

Km	%	V	V/100%	°C akusto
0	100	81,67	77,25	30
0	100	78,64	77,26	30
1,3	88	75,81	77,25	30
2,5	88	75,9	77,25	30
6	82	75,16	77,33	31
6,9	80	74,98	77,35	31
8,3	78	74,71	77,38	31
11,1	73	74,16	77,44	32
13	66	73,33	77,49	32
14,2	65	73,24	77,57	33
16	59	72,51	77,65	33
18,3	46	70,86	77,72	34
20,7	31	69,12	77,91	35
23,1	14	66,93	78,17	37

