

Sähköauton latausaseman latauskaapelin nostin

Lauri Napari

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2024

Autotekniikka
Työkonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Autotekniikka
Työkonetekniikka

NAPARI, LAURI:
Sähköauton latausaseman latauskaapelin nostin

Opinnäytetyö 52 sivua, joista liitteitä 14 sivua
Tammikuu 2024

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja kehittää sähköautojen latausaseman latauskaapelin nostin. Työn tilaaja oli latausratkaisuja tarjoava Plugit, ja valmis nostin on tarkoitus integroida heidän jokaiseen Hube-latausjärjestelmään. Opinnäytetyössä tarkastellaan erilaisia nostinvaihtoehtoja, suunnitellaan yksi nostinjärjestelmä ja testataan sen prototyyppiä.

Suunniteltu ja toteutettu nostin nostaa latauskaapelin keventimellä. Keventimen avulla toteutetun prototyypin testauksessa selvisi, että järjestelmän toiminta tapahtuu halutulla tavalla, mutta käytetty kevennin ei ole ominaisuuksiltaan tarpeeksi hyvä myytäväksi tuotteeksi, koska latauskaapeli jää noston jälkeen roikkumaan noin puoleen väliin lataussatelliittia. Työssä pohditaan, millaisia ominaisuuksia nostimelta vaaditaan, jotta se olisi täydellinen käytetyssä lataussatelliitissa.

Työn tuloksista ilmeni, että latausaseman latauskaapelin nostin mahdollistaa kaapeleiden nostamisen ylös lataustilanteen päätyttyä. Hyvin toimivan nostimen hienosäätöön on käytettävä aikaa, sillä toimiakseen täydellisesti vaadittu takaisinnostovoima tulee olla tarkasti mitattu. Opinnäytetyön tuloksesta on hyötyä sen tilaajan Plugitin lisäksi kaikille latausjärjestelmiä valmistaville yrityksille, jotka tarvitsevat latausasemaansa latauskaapelin nostimen.

Asiasanat: sähköauto, latausasema, latauskaapeli, nostin

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Automotive engineering

NAPARI, LAURI:
EV Charger Cable Retractor

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 14 pages
January 2024

The goal of this bachelor's thesis was to design and build a prototype of an electric vehicle charger cable retractor. The thesis was commissioned by Plugit and the completed retractor mechanism was intended to be installed in all of their Hube charging stations. This thesis included the design and testing of the cable retractor prototype.

The retracting system in the thesis was designed to retract the charging cable using a balancer. During the testing of the prototype, it was found to behave as intended but the balancers capacity did not provide enough lifting capacity resulting the charging cable being left hanging on the side of the charging satellite. In the conclusion of the thesis there are considerations of the requirements of the balancer for the retracting mechanism to be ideal for the used charging satellite.

The results of this thesis show that with a retractor it is possible to retract the charging cable after the charging process is completed. To have the retractor work in as optimal a way as possible it needs to be fine-tuned according to the used cable. The outcome of this thesis is not only beneficial to Plugit, but also to other companies manufacturing electric vehicle chargers.

Key words: electric vehicle, charging station, charging cable, retractor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖAUTOJEN LATAUSASEMAT	8
	2.1 Peruslatausasemat	8
	2.2 Pika- ja suurteholatausasemat.....	9
3	SÄHKÖAUTOJEN LATAUSKAAPELIT.....	12
4	NOSTIMEN VALINTA	14
	4.1 Nostimen vaatimukset.....	14
	4.2 Jousella toimiva nostin	15
	4.3 Sähkömoottorilla nostava nostin	16
	4.4 Muut nostinvaihtoehdot	17
5	NOSTIMEN KIINNITYS LATAUSSATELLIITTIIN	18
	5.1 Lataussatelliitin välikatto	18
	5.2 Rullakidat	19
	5.2.1 Rullakidan mallintaminen.....	19
	5.2.2 Rullakidan kiinnityslevyn suunnittelu	20
	5.3 Kasattu nostinjärjestelmä	20
	5.4 Nostimen vaijerin kiinnitys latauskaapeliin	21
	5.5 Lataussatelliitin katto.....	21
	5.6 Komponenttien tilaaminen.....	22
6	VALMIIN PROTOTYYPIN TESTAAMINEN	24
	6.1 Keventimien vetokokeet	24
	6.2 Nostimen asennus	26
	6.3 Nostimen prototyypin testaaminen	27
	6.4 Keventimien pakkastestit	32
7	YHTEENVETO	34
	7.1 Opinnäytetyön tulos	34
	7.2 Nostimen parannusehdotukset.....	34
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET	38
	Liite 1. Välikaton mallinnuskuvat	38
	Liite 2. Rullakidan ja sen kiinnityslevyn mallinnuskuvat	41
	Liite 3. Nostinjärjestelmän prototyyppi	44
	Liite 4. Vaijerin ja latauskaapelin välisen adapterin mallikuvat.....	45
	Liite 5. Lataussatelliitin ulkokaton mallinnuskuvat.....	46
	Liite 6. Vetokokeiden mittaustilanne.....	49
	Liite 7. Keventimien vetokokeet	50

Liite 8. Keventimien pakkastestit.....	52
--	----

LYHENTEET JA TERMIT

A	Virran yksikkö ampeeri
AC	Alternating Current - Vaihtovirta
CCS	Combined Charging System eli DC-pikalatausliitin
DC	Direct current - tasavirta
EV	Electric Vehicle - Sähköajoneuvo
IEC	International Electrotechnical Commission eli kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
ISO	International Organization for Standardization eli kansainvälinen standardointiorganisaatio
Kg	Kilogramma
Km	Kilometri
Kpl	Kappale
kW	Kilowatti
Mode 1	Lataustapa 1 eli pistorasiasta lataaminen
Mode 2	Lataustapa 2 eli tilapainen lataaminen pistorasiasta
Mode 3	Lataustapa 3 eli peruslataus tai AC-lataus
Mode 4	Lataustapa 4 eli suurteholataus tai DC-lataus
SFS	Suomen standardisoimisliitto ry
Type 2	AC-latausliitin

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Plugit Finland Oy. Opinnäytetyö esittää sähköautojen latauslaitteen latauskaapelin nostimen suunnittelutyön ja valmiin tuotteen testauksen. Työn tavoitteena on suunnitella Plugit Hube -latauslaitteen satelliittiin mekaaninen järjestelmä, joka nostaa latauskaapelin ilmaan ajoneuvon latauksen päätyttyä. Opinnäytetyössä pohditaan erilaisia ratkaisuja edellä mainitun järjestelmän toimintatavaksi ja toteutetaan niistä yhden prototyyppi sekä testaus. Työssä käytetään sekä itse suunniteltuja ja valmistettuja kuin myös valmiita komponentteja.

Plugitin kehittämää Hube-latausjärjestelmää käytetään esimerkiksi Finavialla lentoaseman sähkötaksien lataaminen. Plugitilla on todettu tarve latauskaapelien nostimelle ja siksi ratkaisua lähdettiin kehittämään. Lopputuote tulee palvelemaan latausjärjestelmän käyttäjiä. Latauskaapelin nostimen kehittämisellä pyritään pidentämään latauskaapeleiden käyttöikää. Kaapeleiden nostaminen maasta ylös oletettavasti vähentää myös latauslaitteisiin kohdistuvia vaurioita, sillä se vaikeuttaa muun muassa latauskaapeleiden yli ajamista tai tarttumista liikkuviin ajoneuvoihin.

Suunniteltava järjestelmän tulee olla jälkiasennettavissa jo asennettuihin lataus-satelliitteihin, sen tulee olla helposti korjattavissa ja kestävänsä niin Suomen olosuhteita myös kovimpien talvipakkasten aikana. Nostimia asennetaan sisä- ja ulkoasennuksiin, joten sen tulee kestää esimerkiksi vettä ja pölyä. Satelliitin ulkoasu tulee pysyä myytävänä, eli siitä on suunniteltava mahdollisimman huomioon otettavat ja ulkoisesti valmiin näköinen.

Opinnäytetyön alussa tutkitaan aiheeseen liittyvää teoriaa ja pohditaan erilaisia nostinjärjestelmässä käytettäviä komponentteja. Tämän jälkeen työssä käytetyt komponentit suunnitellaan ja valmista prototyyppiä testataan. Lopuksi pohditaan, miten latauskaapelin nostimesta saataisiin mahdollisimman hyvä tätä käyttötarkoitusta varten.

2 SÄHKÖAUTOJEN LATAUSASEMAT

Sähköajoneuvojen lataustavat on lajiteltu latausnopeuksiensa puolesta neljään eri lataustapaan, joita kutsutaan myös eri modeiksi. Lataustavoista kaksi ensimmäistä, eli mode 1 ja mode 2, saavat sähkönsä tavallisesta pistorasiasta, joten myös niiden latausnopeudet ovat hitaita. Suositusten mukaan lataus voidaan suorittaa enintään 8 A:n virralla, mutta jopa 32 A:lla tapahtuva lataus on mahdollista. Lataus voi tapahtua niin yksivaiheisena tai kolmivaiheisena. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät 2022, 48–50.) Tämä opinnäytetyö kohdistetaan julkisiin latausasemiin, minkä vuoksi lataustapoja kolme ja neljä tutkitaan syvemmin.

2.1 Peruslatausasemat

Peruslatausasemat käyttävät kolmatta lataustapaa, jota kutsutaan myös mode 3:ksi tai kuluttajakäytössä AC-lataukseksi. AC-latausta varten ladattava ajoneuvo kytketään SFS-EN 62196-2 mukaiseen kolmivaihepistorasiaan, joka on suunniteltu erityisesti ajoneuvojen latausta varten. Euroopassa peruslataukseen käytetään useimmiten kuvan 1 tapaista tyyppin 2 eli Mennekes-nimistä pistoketyyppiä, jota käyttämällä latausvirta voi olla suurimmillaan 63 A. (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät 2022, 51–52.)



KUVA 1. Euroopassa käytetty Mennekes-pistoke (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät 2022, 52).

Peruslatausta varten ladattavan ajoneuvon sisäinen laturi muuttaa ladattavan vaihtovirtasähkön (AC) tasavirtasähköksi (DC) ajoneuvon korkeajänniteakustoa

varten. Useimmiten julkisesti käytettävissä olevat peruslatausasemat lataavat ajoneuvoja 32 A:n latausvirralla, joka mahdollistaa noin 22 kW:n lataustehon, jos ladattavan ajoneuvon sisäinen latauslaite mahdollistaa näin suuren latausvirran vastaanottamisen. (EVexpert n.d.) AC-latauslaitteissa ei yleensä ole sisään rakennettua latauskaapelia, vaan käyttäjät joutuvat tuomaan oman kaapelinsa mukanaan. Tämä muun muassa helpottaa käyttäjien sekaannusta erilaisten latauspistokkeiden kanssa. (EVexpert n.d.) Opinnäytetyössä suunniteltava nostin ei ole tämän takia mahdollinen asentaa peruslatausasemaan, vaan se vaatii latausasemalta kiinteän latauskaapelin.

2.2 Pika- ja suurteholatausasemat

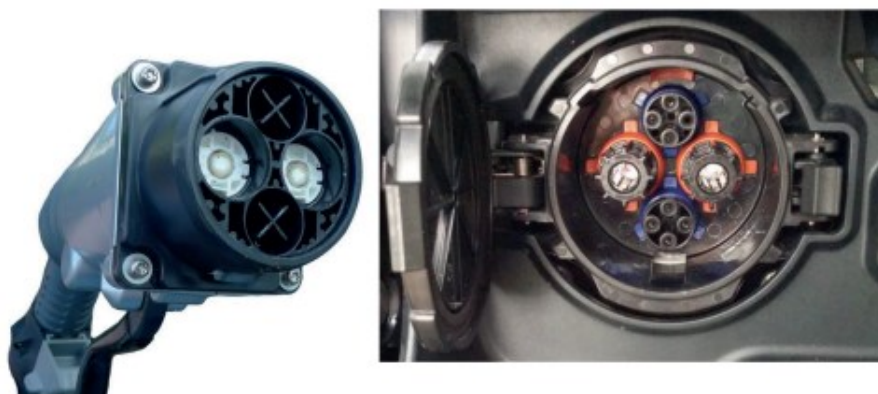
Suurteholatausasemat käyttävät neljättä lataustapaa eli mode 4:sta, josta puhutaan myös DC-latauksena. Tässä lataustavassa latausvirta ohittaa ajoneuvon oman laturin ja latausvirta siirretään suoraan ajoneuvon akustoon. Latausasemat käyttävät samaa pistokestandardia kuin AC-asemat, mutta suuremman latausvirran vuoksi Euroopassa pistokkeena käytetään useimmiten kuvan 2 pistoketyyppejä FF CCS (Combo 2). (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät 2022, 53.) Sähköajoneuvojen suurteholataaminen olisi ideaalista, jos kaikki ajoneuvot käyttäisivät samanlaisia latauspistokkeita. Näin ei ainakaan vielä ole, sillä esimerkiksi Japanissa osa ajoneuvoista käyttää CHAdeMO-latauspistokkeita. Valitettavasti tällaisia ajoneuvoja myydään myös muualla, mikä voi johtaa latausongelmaan pitkiä matkoja ajaessa. Rachid ym. (2023) mukaan CHAdeMO-latausasemien kehitys ja käyttäminen Japanissa on tästä lukuun ottamatta laajenemassa Japanin valtion tukemana (Rachid ym. 2023, 13, 25).



KUVA 2. Euroopassa DC-latauksessa käytettävä CCS2-pistoke (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät 2022, 53).

Euroopassa osa valtioista, kuten Ranska, on aiemmin pitänyt CHAdeMO-latausliittimien asentamista uusiin latauskenttiin tärkeänä, mutta nyt CCS-pistokkeella varustettujen ajoneuvojen suuren markkinaosuuden vuoksi on tästä päätöksestä luovuttu. Myös muut latausverkot, kuten Alankomaissa toimiva Allego on päättänyt olla asentamatta CHAdeMO-pistokkeita uusiin tai uusittaviin latauskenttiin. (Newmobility 2023.) Samanlaista ilmiötä on nähtävillä myös Suomen latausverkostossa, sillä vuosien 2022 ja 2023 kolmansien neljänneksien latausverkoston kasvutilastoja tutkittaessa on huomattavissa, että vuoden aikana CHAdeMO-latauspaikat ovat vähentyneet viidellä prosentilla (24 kpl) ja samana aikavälinä CCS-latauspaikkoja on 35 % (226 kpl) enemmän kuin aikaisemmin (Sähköinen liikenne E-mobility 2023).

Suurteholatureiden CCS2-pistokkeet ovat luotu kestävämmän jopa viidensadan ampeerin latausvirta, jonka avulla lataustehoksi on mahdollista saada jopa 360 kW. Tätä varten latauskaapeli tulisi olla jäähdytetty esimerkiksi jonkinlaisella nesteellä. (Power-Sonic n.d.) Teoriassa kuluttajakäytössä olevien ajoneuvojen suurin mahdollinen latausteho on noin 300 kW, jonka mahdollistaa kahdeksansadan voltin akuston arkkitehtuuri esimerkiksi Lucid Airissa (EV-database n.d.). Teoriassa CHAdeMO-pistokkeet sallivat nestejäähdytteisinä CCS2:sta nopeamman latauksen jopa 400 kW latausteholla, mutta tällaisia ajoneuvoja ei tällä hetkellä ole markkinoilla. CCS-latausprotokolla mahdollistaa sekä AC-latauksen että DC-latauksen samaa latausporttia käyttäen, kun CHAdeMOa käyttävät ajoneuvot tarvitsevat oman latausportin myös AC-latauksella. (Power-Sonic n.d.)



KUVA 3. Japanissa käytettävä CHAdeMO-pistoke (Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät. 2022, 54).

Suurteholatausasemien korkean latausvirran vuoksi latausasemat tulee olla suunniteltu kestävämmän sekä itse laitteelle asetettuja turvastandardeja, kuten IEC 61851-21: Electric Vehicle Conductive Charging System – Part 21: Electric Vehicle Requirements for Conductive Connection to an AC-DC Supply sekä käyttäjän turvallisuuden takaavia standardeja kuten ISO 6469-3: Electric Road Vehicles – Safety Specifications – Part 3: Protection of Persons against Electric Hazards. Tämän lisäksi laitteistojen tulee kestää muun muassa korkeita lämpötiloja ja pölyä sekä sadetta. (Emadi, 2014, 442). Näitä varten on olemassa turvaluokkia, kuten IP6K7, joka tarkoittaa tuotteen kestävänsä pölyä ja korkeapaineisen vesisuihkun (Hellamarine, n.d.).



KUVA 4. Plugit Hube -latauslaite (Plugit, n.d.).

Opinnäytetyössä suunniteltavan nostinjärjestelmän pohjana on DC-latauslaite, jossa on erikseen tehoyksikkö ja satelliitti (Plugit, n.d.). Työn nostin on tarkoitus suunnitella ja kiinnittää kuvan 4 oikeanpuoleiseen satelliittiin mahdollisimman pienillä muutoksilla säilyttäen sen alkuperäisen ulkomuodon mahdollisimman hyvin.

3 SÄHKÖAUTOJEN LATAUSKAAPELIT

Sähköautojen lataukseen käytettävät kaapelit ovat hyvin tarkasti standardoituja ja valvottuja. Ajoneuvon latauskaapelia pitkin ajoneuvoon kulkeutuu jopa kahdeksansadan voltin jännite, jota pidetään hengenvaarallisena. Tämän vuoksi latauskaapeleita varten on erilaisia säädöksiä, kuten eurooppalainen harmonisoitu käsikirja HD22. Suurin osa latauskaapeleiden toimintaan vaikuttavista säädöksistä ovat IEC 60245 eli Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V ja IEC 60227 eli Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages to up and including 450/750 V mukaisia. Latausjohtojen vaatimukset ovat normaaleihin sähköjohtoihin nähden vaativampia, jonka vuoksi niitä varten on säädelty omia säännöksiä. (Ag-Elec. n.d.).

Latauskaapeleiden turvallisuuden ja mahdollisimman hyvän latauksen mahdollistamiseksi varten ne voidaan suunnitella eri komponenteista. Kaapelin suunnittelussa on tärkeää huomioida kaapelin materiaalit ja kokoaminen, kaapelin eristäminen, kaapelin lämpenemisen esto sekä syntyneen lämmön poistaminen, materiaalien tulen kestävyys ja ulko-olosuhteiden kesto IP-luokituksen avulla. Valitsemalla kaapelille eri materiaaleja, on mahdollista valmistaa latauskaapeli haluttujen ominaisuuksien mukaisesti. (EVcome. 2023).

Sähköauton latauskaapelin tärkein tehtävä on siirtää sähkövirtaa halutulla tavalla. Kaapeleissa sähkö siirtyy johdinta pitkin, joka on mahdollista toteuttaa monella eri materiaalilla. Useimmiten käytettyjä johdinmateriaaleja ovat alumiini, lyijy, kupari, hopea ja kulta, jotka eroavat toisistaan esimerkiksi lämmönjohdon ja johtavuutensa ominaisuuksissa. (Prysmian Group. n.d.). Sähköajoneuvojen latauskaapeleissa käytetään usein johtimena kuparia, sillä materiaalissa on korkea sähköjohtavuus ja pieni sähkövirran vastus. Käytettäessä puhdasta kuparia, voidaan myös taata sähkösiirron hyvä hyötysuhde ja vähentää energiahävikkiä. (EVcome. 2023).

Latauskaapeleiden johtimien eristäminen on tärkeää turvallista ja nopeaa lataustapahtumaa varten. Kaapeleiden eristäminen on mahdollista toteuttaa esimerkiksi termoplastisella elastomeerilla eli TPE:llä tai polyvinyylidikloridilla eli PVC:llä.

Ominaisuuksiltaan halvemmaksi suunnitelluissa latauskaapeleissa käytetään useimmiten hyvän eristyksen ja mekaanisen lujuuden omaavaa PVC:tä, mutta muuten TPE:stä valmistettuja kaapeleita käytetään enemmän. TPE:n hyviä puolia ovat sen joustavuus, kestävyys ja erilaisten lämpötilojen kestävyys. (EVcome. 2023).

Hyvien sähköteknillisten ominaisuuksien lisäksi latauskaapelin tulee kestää käyttöä, eli erilaisia käyttöolosuhteita ja -tilanteita. Osa latauskaapeleista on suunniteltu estämään tuleen syttyminen, jolloin niiden tulee olla halogeenivapaita eli esimerkiksi TPE:stä valmistettuja. Latausasemia on niin ulko- kuin sisätiloissa, jonka vuoksi niiden käyttöolosuhteista kerrotaan IP-luokituksella. Latauskaapelit voivat tietyissä tilanteissa joutua veden läheisyyteen, jolloin esimerkiksi IP67-luokitus hyvästä pölynkestosta ja mahdollisuudesta upottaa veden alle voi olla tärkeä kaapelin käyttäjän turvallisuuden puolesta. (EVcome. 2023).

4 NOSTIMEN VALINTA

Opinnäytetyössä latauskaapelin nostimeksi soveltuu laite, jonka asentaminen on mahdollista jo valmiina olevaan satelliitin katolle. Nostimen tulisi myös olla yksinkertainen, ongelmatilanteissa helposti vaihdettava ja ominaisuuksiltaan latauskaapeleiden painolle ja olosuhteille sopiva. Opinnäytetyössä käytettävät nostimet tilataan maahantuojilta, mutta tulevaisuudessa hyvän ratkaisun löytyessä niitä voidaan tilata suoraan valmistajalta.

Sähköautoansa lataavan kuluttajan näkökulmasta latauskaapelin nostimen ulko-näöllä ei luultavasti ole merkitystä, kunhan nostimen toiminta on hyvä eikä se aiheuta käyttäjälle ylimääräisiä ongelmia. Nostinta valittaessa on muistettava, että ajoneuvon latausportti voi rikkoontua liian suuresta siihen kohdistuvasta voimasta, joten ideaalitulanteessa latauskaapeliin kohdistuva nostimesta johtuva vetovoima olisi mahdollisimman pieni. Latauskaapelin veto esimerkiksi latausportin sivulle voi estää ajoneuvon kättelyn latauslaitteen kanssa, jolloin latauksen aloittaminen vaikeutuu.

4.1 Nostimen vaatimukset

Valittavan nostimen on nostettava Hube:ssa käytettävä 7,5-metriä pitkä latauskaapeli. Kaapelin valmistajan mukaan kaapelin paino on noin 3360 kg/km, eli käytettävän 7,5-metriä pitkän kaapelin painoksi saadaan noin 25 kg. Koko kaapelin massa ei kuitenkaan välity nostimelle, vaan latauskaapelin lopullisen asettelun mukaan kevennystä tarvitaan noin kahden metrin pituisen kaapelin nostamiseen, jolloin nostimen nostettava massa on noin seitsemän kiloa.

Nostimen on kestävä Suomen ympärivuotisia olosuhteita ja sen on oltava käytävissä niin sisä- kuin myös ulkoasennuksissa. Näiden vuoksi sen on kestävä niin lämpöä kuin myös kovia pakkaslukemia menettämättään ominaisuuksiin. Nostimen tulisi myös kestää mahdollista ruostumista.

Latauskaapelin nostimen on kestävä päivittäistä käyttöä halutun aikamäärään ajan. Plugitilla on saatavilla käyttötietoja jo asennetuista latureista, joista valittiin

yksi suuren valtatievarrella, suurmarketin pihassa oleva latauskenttä tarkempaan tarkisteluun aikaväliltä 17. helmikuuta – 26. lokakuuta 2023. Latauskentällä on kuusi CCS-latauslaitetta, jotka kaikki ovat lataavat ajoneuvoa yhtä nopeasti muuttujien sen salliessa. Saadusta latausdatasta tilastoitiin tiedot kuvaan 5.

Lataustiedot latauskentältä aikaväliltä 17.2-26.10.2023		
Latauspistoke	Latauksien määrä (kpl)	Keskiarvo latauksia per päivä
1. 150kW CCS	742	2,96
2. 150kW CCS	782	3,12
3. 150kW CCS	725	2,89
4. 150kW CCS	838	3,34
5. 150kW CCS	934	3,72
6. 150kW CCS	790	3,15
Keskiarvo latauksia per latauspistoke		Valittu latausmäärä vaatimuksena
Päivässä	3,19	5
Viikossa	22,36	35
Kuukaudessa	95,84	150
Vuodessa	1166,01	1825

KUVA 5. Plugitin latausdata yhdeltä latauskentältä (Plugit 2023).

Opinnäytetyön ajankohtana tarkastellun latausaseman (kuva 5) yhtä latauspistoketta käytetään noin 3,19 kertaa päivässä, eli noin 1166 kertaa vuoden aikana. Koska on todennäköistä, että latausmäärät kasvavat tulevaisuudessa, päätettiin nostimen vaatimukseksi nostaa viisi latauskertaa päivässä eli noin 1825 kpl vuodessa. Nostimen tulee siis kestää tarvittavan aikamäärän aikana edellisessä virkkeessä mainittu määrä latauskaapelin ulosvetoja ja takaisinnostoja.

4.2 Jousella toimiva nostin

Tutkiessa erilaisia nostimia ja niiden ominaisuuksia tarpeisiin nähden, valikoitui opinnäytetyön nostimeksi kevennin. Keventimiä on saatavilla monella eri painoluokalla, joten tarvittavan nostovoiman määrää vastaava nostin on helposti löydettävissä. Keventimet sopivat valmiin satelliitin katolle hyvin, jolloin käytettäviä komponenttien muokkaaminen on vähäistä. Valittu kevennin on säädettävä kahden kilogramman välillä, jolloin sitä voidaan optimoida tarvittavaan nostovoimaan

nähdessä. Kevennysvoiman tarpeen vuoksi prototyyppiä varten tilataan keventimet, joiden nostovoimat ovat 4–6 kg ja 6–8 kg. Valitun keventimen ominaisuuksien mukaan sen käyttölämpötila-alue on viidestä asteesta kuuteenkymmeneen asteeseen celsiusta. Kysyttäessä valmistajalta keventimien käytöstä Suomen talven sääolosuhteissa, kertoivat he olevan tietoisia ulkosovelluksista, joissa lämpötila on alle tarkoitetun viiden celsiusasteen. Tämän lisäksi he vakuuttivat myyneensä komponenttejaan samanlaisiin käyttötarkoituksiin muille latauslaittevalmistajille. Saadun vastauksen perusteella valittu kevennin on sopiva vaadittuihin käyttöolosuhteisiin.

Keventimen nostoköydeksi valitaan tarvittavien ominaisuuksien ja käyttöalueiden vuoksi ruostumattomasta teräksestä valmistettu vaijeri. Vaijeri on pitkäikäinen ja hyvin erilaisia sääoloja kestävä. Osassa keventimistä on köytenä naru, joka helpottaa muun muassa ilkivallan tekoa. Narun avulla nostava kevennin on käyttäjälle turvallisempi, sillä teräksisen vaijerin kuluessa se voi rispaantua aiheuttaen mahdollisia vammoja.

Latauskaapelin nostamiseen valittu kevennin nostaa kappaleita palautuvan kierrejousen avulla. Kierrejousen lineaarinen vetovoiman nousu on nostimen käyttötarkoitukseen hyvä, sillä mitä pidemmälle latauskaapelia vetää latausasemasta, sitä enemmän kaapelin kokonaispainosta kohdistuu nostimelle.

4.3 Sähkömoottorilla nostava nostin

Tulevaisuudessa nostaminen on mahdollista toteuttaa sähkömoottoreilla. Sähköisesti toimiva nostin säästäisi mekaaniseen keventimeen verrattuna tilaa ja hyvässä tapauksessa sähkömoottori voi olla käyttöikänsä lähes ikuinen. Sähköisesti nostettava latausaseman latauskaapeli on mahdollista hienosäätää lähes täydelliseksi käyttötarkoitusta varten, joka ei ole mahdollista mekaanisella nostimella. Sähkömoottorit ovat kuitenkin keventiä monimutkaisempia ja niitä varten tarvitaan tietoa sekä osaamista esimerkiksi koodaamisesta.

Nostamisen tapahtuessa sähkömoottoreilla tarvitsee järjestelmä erilaisia sähköelektronisia komponentteja. Moottorin ohjaaminen vaatii koodikielellä toimivan

ohjauspiiriin, jolle kerrotaan tiedot tarvittavasta nostovoimasta ja -pituudesta. Lisäksi sen on saatava tieto, milloin latauskaapeli tulisi nostaa ylös, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi ajoneuvoon kiinnittyvän latauspistokkeen lepopidikkeeseen sijoitettavalla anturilla.

4.4 Muut nostinvaihtoehdot

Latauskaapelin nostin on mahdollinen toteuttaa myös muilla mekaanisesti toimivilla järjestelmillä, kuten esimerkiksi painopunnuksella. Tietyissä tilanteissa on myös mahdollista rakentaa mekaaninen kaapelinohjain, joka ei itsessään nosta tai palauta latauskaapelia satelliittiin, vaan ohjaa sitä latausaseman ympärillä, jolloin latauskaapeli ei yltä osumaan maahan eri lataustilanteen vaiheiden aikana.

Painopunnuksella eli vastapainolla toteutettu latauskaapelin nostin on nostimista yksinkertaisin ja oletettavasti helpoin toteuttaa hyvin, sillä vastapaino on koko latauskaapelin noston aikana sama. Painopunnuksella toteutettava nostin olisi käytettyä kevennintä helpompi säätää oikeanlaiseen takaisinvetopainoon, joka vähentää tarvittavien komponenttien määrää eri kaapeleita käyttäessä. Opinnäytetyön tapauksessa painopunnuksella toteutettua kaapelin nostinta ei ole mahdollista toteuttaa tarvittavan tilan vuoksi. Jo valmis satelliitti on niin kompaktisti suunniteltu, että sen sisälle on mahdotonta saada tilaa vastapainoa varten. Vastapaino olisi mahdollista asentaa satelliitin ulkopuolelle rakennettavaan komponenttiin, mutta se muokkaisi satelliitin ulkoasua dramaattisesti.

Lataussatelliittiin suunniteltava mekaaninen kaapelinohjain on mahdollista toteuttaa muun muassa jousien tai haitarimaisesti toimivan varren avulla. Kaapeli ohjaimen hyviä puolia ovat helpompi jälkiasentaminen, sillä ratkaisu on mahdollista kiinnittää sellaisenaan lataussatelliittiin ilman suurempaa satelliitin muokkaamista. Ohjaimen toiminta on myös valittua nostinta yksinkertaisempi, sillä se ei itsessään nosta latauskaapelia ylös, vaan ohjaa sitä kohti haluttua sijaintia. Opinnäytetyössä kumpikaan näistä ratkaisusta ei ole mahdollinen valmiin satelliitin ulkoasun vuoksi. Satelliitin ulkoasu halutaan pitää mahdollisimman samanalaisena ja nostinratkaisusta halutaan viimeistellyn, eli mahdollisimman huomattoman näköinen.

5 NOSTIMEN KIINNITYS LATAUSSATELLIITTIIN

Plugit Hube -lataussatelliittiin suunniteltu latauskaapelin nostin on tarkoitus sijoittaa satelliitin päälle välikatoksi. Tätä varten nykyinen, täysin tasainen kattokomponentti on suunniteltava uudestaan, sillä siihen tulisi kiinnittää keventimet, adapterilevyt rullakidoille ja uusi uloin kattokomponentti. Rullakitojen ja välikaton väliin täytyy suunnitella adapterilevyt, jolloin kiinnittämisen lisäksi keventimen vaijeri saataisiin haluttuun käyttöasentoon. Metalliset adapterit suunniteltiin levytöinä ja ne taivutettiin tarvittavaan muotoonsa. Muoviosat tulostettiin MJF-tulosteina, joihin lisättiin jälkikäteen muun muassa kierreinserttejä.

Suunnittelussa käytetään apuna jo valmista satelliitin mallia, johon suunniteltavia kappaleita voidaan mallintaa. Käytettävän keventimen 3D-malli saatiin sen valmistajalta. Mallikuvista on poistettu välikaton osia, joita ei muokattu opinnäytetyön aikana sekä kohtia, jotka voivat johtaa käytettävien komponenttien identifiointiin. Kappaleiden oikeat värit ovat mustia, mutta osassa kuvista komponentin väriä on vaalennettu helpomman havainnoinnin vuoksi. Suunnittelun mallikuvat ovat liitteinä opinnäytetyön lopussa.

5.1 Lataussatelliitin välikatto

Nykyisen Hube:n satelliitin päällä oleva kattokomponentti on suunniteltu peittämään satelliitin sisällä olevat komponentit sekä suojaamaan komponentteja erilaisilta olosuhteilta. Kuvan 4 oikeanpuolinmaisena satelliitin uudelleen suunniteltavan välikaton tulisi olla mitoiltaan samanlainen kuin nykyisen kattokomponentin. Nykyiseen komponenttiin suunnitellaan keventimien kiinnityskohdat sekä syvennykset ja mitoitetaan tarvittavat kierreinserttien ja läpireikien paikat liitteen 1 suunnittelukuvien mukaisesti.

Tilatun kattokomponentin (liite 1 kuva 7) kierreinsertit ovat laitettu väriin kohtiin, sillä neljä niistä kiinnitettiin läpireikiin keventimien kiinnityspalikoiden sijaan. Kappaleen valmistaja korjasi virheensä nopealla aikataululla, joten tilanne ei aiheuttanut sen suurempaa viivästystä työn aikataulun kanssa. Liitteen 1 viidennessä

kuvassa sekä tulevaisuuden suunnittelukuvissa kierreinserttien paikat merkitään keltaisella ja läpivientireiät harmaalla.

Tulevaan välikattokomponenttiin suunniteltiin käytettyjen keventimien kiinnitystä varten tukevat tornit, joiden avulla on mahdollista muokata keventimen vaijerin suuntaa sekä kohdistaa se haluttuun kohtaan vaijerin ohjainta. Komponenteille tehdyt syvennykset ja kiinnityspaikat ovat mallinnettu käytettävää kevennintä varten liitteen 1 kuvan neljä mukaisesti, jolloin välikatto suunnitellaan käytettävää kevennintä mukailevaksi.

Suunniteltu kattokomponentti on kooltaan suuri, jonka vuoksi se on optimoitava tulostusta varten. Komponentin optimointi tarkoittaa sen tyhjentämistä, jolloin tulostus on halvempaa ja nopeampaa. Komponenttiin vaikuttavien voimien vuoksi sen sisälle jätettiin muutamia tukikohtia vahvistamaan rakennelmaa. Muun muassa kiinnitysreikien ympärille ja keventimien kiinnityspalikoiden alapuolelle suunniteltiin liitteen 1 kuvan 6 mukaisia tukevia rakenteita.

5.2 Rullakidat

Rullakidan kiinnitystä varten rullakita mallinnettiin 3D-malliksi. Rullakidan ja lataussatelliittiin suunnitellun välikaton välille suunniteltiin säädettävä kiinnitysadapteri.

5.2.1 Rullakidan mallintaminen

Opinnäytetyöhön käytettävien keventimien vaijereiden ohjausta varten nostinjärjestelmään tarvitaan jonkinlaiset ohjaimet. Ohjaimiksi valittiin vinssien vaijereiden liikkeen ohjaukseen käytetyt rullakidat. Rullakidat ostettiin kivijalkamyymälästä, joten niistä on piirrettävä 3D-mallit myöhempää suunnittelua varten. Mallit piirrettiin käyttämällä levykappaleita eivätkä niiden tarvitse olla täysin samanlaisia oikeaan komponenttiin nähden sillä tärkeintä on saada komponenttien ulkomitat oikeiksi. Kappaleen mittaaminen tehtiin digitaalisella työntömitalla. Mallintamisen jälkeen käytetyistä rullakidoista saatiin liitteen 2 mukaiset piirroksot.

5.2.2 Rullakidan kiinnityslevyn suunnittelu

Rullakidan kiinnitys lataussatelliitin välikattoon on mahdollista vain suunnittelemalla komponenttien välille adapterilevy. Adapterilevy toteutettiin levykomponenttina ja se on käytännössä kaksiosainen. Levyn toinen osa suunnitellaan kiinnittymään välikattoon, jolloin sen muoto optimoidaan mahdollisimman tukevaksi. Tässä tapauksessa adapterin kiinnityksen vuoksi sen tulee myötäillä käytettävän keventimen runkoa (liite 2 kuva 2). Adapterin kiinnityskohdat välikattoon täytyi suunnitella valmiin komponentin ominaisuuksien perusteella, sillä kierreinserttejä varten kiinnitysreikien ympärillä tulisi olla tilaa niiden tukirakenteille.

Adapterilevyn toinen osa suunniteltiin rullakidan kiinnitystä varten. Käytetyn rullakidan ollessa valmis komponentti, levyosasta tulee suunnitella sen mukainen. Levyn keskikohtaan suunniteltiin keventimen vaijerin menevä reikä. Reiästä on tehtävä rullakidan aukkoa suurempi, jolloin vaijeri ei missään tilanteessa hankautuisi reiän terävää reunaa vasten.

Valmista levyadapteria mallinnettiin jo suunniteltuun kattokomponenttiin ja käytettävään satelliittiin, josta selvisi adapterilevyn kulman ja pituuden olevan väärät. Nykyinen levyadapteri on hyvin lähellä satelliitin kylkeä, jolloin se voi käytössä tehdä nirhaamia satelliitin ulkokuoreen (liite 2 kuva 4). Ongelmaa varten adapterin nousukulmaa suurennettiin ja rullakidan kiinnityskohtaa vietiin kauemmas taittekohtasta (liite 2 kuva 5).

5.3 Kasattu nostinjärjestelmä

Välikaton ja levyadapterin yhteensopivuuden kokeilemiseksi komponentit tilattiin jo aikaisessa vaiheessa protoilua varten. Erityisesti välikaton täydellinen yhteensopivuus keventimien kanssa oli prototyypin kannalta tärkeää, sillä ongelmien ilmentyessä koko projekti venyisi. Satelliitin päälle asennettava nostimen prototyyppi koottiin kokonaisuutena, jonka jälkeen valmista järjestelmää käytiin läpi mahdollisten virheiden varalta (liite 3).

Nostimen mallinnus ja oikean elämän prototyypit olivat hyvin samanlaisia eli esimerkiksi saatu keventimen 3D-malli on oikea tuotteeseen verrattuna. Vertaillen

liitteen 3 kuvia mallinnuksesta ja oikeasta prototyypistä on huomattavissa, että ne ovat täysin identtisiä toistensa kanssa. Tämä mahdollistaa prototyypin kiinnittämisen satelliittiin, jonka jälkeen se on valmis testausta varten.

5.4 Nostimen vaijerin kiinnitys latauskaapeliin

Nykyisissä käytettävissä satelliiteissa käytetään valmiiksi ostettavia latauskaapeleita, jolloin sellaiseen ei ole mahdollista suunnitella kiinteää kiinnityskohtaa keventimen vaijeria varten. Kiinnitystä varten testattavan latauskaapelin ympärille suunniteltiin adapteri, joka mahdollistaa vaijerin kiinnittämisen. Adapterista suunnitellaan tässä vaiheessa yksinkertainen prototyyppi, jonka tehtävä on sopia ainoastaan satelliitissa käytettävään latauskaapeliin.

Latauskaapelin adapteriksi suunniteltiin liitteen 4 tapainen kappale. Kaksi adapterikomponenttia on mahdollista kiinnittää toisiinsa, jolloin ne puristuvat latauskaapelin ympärille ja kiinnittyvät siihen. Latauskaapelin roikkuessa ilmassa kiinnityskohdasta, siihen muodostuu säde, joka huomioitiin myös adapteria suunniteltaessa. Adapterissa käytettäväksi säteeksi valittiin latauskaapelin valmistajan kertoma säde kaapelin pienimmästä mahdollisesta taitosta.

5.5 Lataussatelliitin katto

Lataussatelliittiin on suunniteltava uusi kattokomponentti, sillä nostinjärjestelmä suunniteltiin kiinnittymään nykyisen katon päälle. Ulkokaton on piilotettava nostinjärjestelmässä käytettävät komponentit sisäänsä sekä toimia suojaavana kuorena niille. Uudesta katosta on tehtävä ulkonäöllisesti myytävän oloinen, eli sen tulisi näyttää satelliitin päällä huolitulta ratkaisulta. Kattokomponentti suunniteltiin pintamallinnuksena.

Alkuperäinen konsepti kattokomponentista on liitteen 5 kuvan 1 mukainen, joka on suunniteltu satelliitin ja komponenttien mitat huomioiden. Konseptin huonoja puolia ovat sen koko sekä muoto, sillä sen tasaisen katon takia esimerkiksi lumi voisi pakkaantua satelliitin päälle ja kohdistaa siihen ylimääräisiä voimia. Ensimmäisen suunnitelman katto ei myöskään peitä rullakitoja, jolloin ne jäisivät satelliittia sivusta katsottaessa näkyviin. Selvästi näkyvät komponentit voivat johtaa

esimerkiksi ilkivaltaan. On myös mahdollista, että katolta valuva vesi jäätyisi rullakidan kylkeen, jolloin siitä voi aiheutua ylimääräisiä ongelmia lataussatelliitin käyttäjälle.

Alkuperäisestä konseptista suunniteltiin uusi versio, jossa muutoksina ovat esimerkiksi sulavampi ulkomuoto ja rullakidat peittävät lisäosat (liite 5 kuvat 2–3). Uusi ulkomuoto on reunojen suuntiin kalteva, jolloin vesi ja lumi valuvat sen päältä pois. Viimeistelyä ulkomuotoa varten rullakidat piilotettiin lisäosilla, jolloin lataajan näkökulmasta ne ovat lähes huomaamattomat (liite 5 kuva 6). Parannelun version kompaktista ulkomitoista huolimatta kaikki nostimessa käytettävät komponentit mahtuvat sen sisälle (liite 5 kuva 5). Keventimien päällä olevat säätövivut ovat huomioitu kattoa muotoillessa, jolloin vivut voivat olla jokaisessa mahdollisessa asennossa ja silti mahtua katon sisälle.

Kattoon täytyi suunnitella erilaisia lisäosia muun muassa sen kiinnitystä ja tukevoittamisen vuoksi (liite 5 kuva 4). Kiinnitystä varten siihen suunniteltiin paikat kiinnittämiseen käytettäville inserteille, jotka vaativat tukevoidun kiinnityskohdan. Katon paksuuden ollessa vain muutamia millijä, siihen suunniteltiin kolme syvyysuunnassa tukevaa palkkia. Yksi niistä lisättiin kahden keventimien väliin ja yhdet keventimien ja rullakitojen väleihin. Katon parempaa istuvuutta varten sen molemmille pitkille sivuille suunniteltiin katon ulkoreunan muotoiset sisennykset, jotka kohdistavat katon keskelle satelliittia.

Valmiin kattokomponentin istuvuus satelliitin katolle on suunnitellun oloinen (liite 5 kuva 7). Komponentin suuren koon vuoksi se tulostettiin kahdessa osassa ja ne liimattiin yhdeksi osaksi. Liimaus ei sujunut halutulla tavalla, jonka vuoksi katosta tuli haluttua heikompi eivätkä sen pitkien kylkien reunat pysyneet täysin suorina. Tästä ei todennäköisesti koituisi haittaa sen kiinnittyessä neljästä eri kohdasta, mutta tulevaisuuden tulostusta varten komponentin paksuutta lisättiin.

5.6 Komponenttien tilaaminen

Valmiiksi suunnitellun latauskaapelin nostimen prototyyppiä varten hankituista komponenteista keventimet ja rullakidat hankittiin laitteiden Suomalaisilta maa-hantuojilta. Itse suunniteltu rullakidan adapteri tilattiin Pirkanmaalla sijaitsevalta

metallipajalta, joka toimittaa opinnäytetyön tilaajalle muitakin metalliosia. Suunnitellut tulostettavat 3D-komponentit tilattiin paikalliselta tulostuspalvelulta. Tilatuista komponenteista on pidetty alla olevaa tilaus- ja saapumispäiväkirjaa (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Komponenttien tilauspäiväkirja.

Tilattu komponentti	Tilauspäivä (pp.kk.)	Saapumispäivä (pp.kk.)
Kevennin	01.10.	09.10.
Kidan adapteri	10.10.	19.10.
Sisäkatto (UV)	10.10.	27.10.
Kaapeliadapterit	10.10.	27.10.
Rullakita	19.10.	19.10.
Ulkokatto (LM)	10.11.	29.11.

Tilatuista komponenteista kaikki ovat niiden valmistajien mukaan teoriassa saatavilla noin viikon aikana tilauspäivästä. Käytettävät rullakidat haettiin paikallisesta kivijalkamyymälästä, jolloin niiden toimitusaika on käytännössä välitön. Nostinjärjestelmän sisäkaton ja kaapeliadapterien toimitusaika on muita pidempi, sillä sisäkattoa varten kokeiltiin uutta UV-säteitä kestävää pinnoitetta, jonka kovettumisessa kesti kaksi ylimääräistä viikkoa. Muuten niiden saanti olisi ollut mahdollista myös noin viikossa. Ulkokaton toimituksessa mukana viikon viivästymisen komponentin tulostuksen ongelmien takia. Tutkimalla komponenttien todettuja toimitusaikoja, on tulevaisuuden prototyyppien suunnittelua ja testaamista mahdollista aikatauluttaa nykyistä tarkemmin.

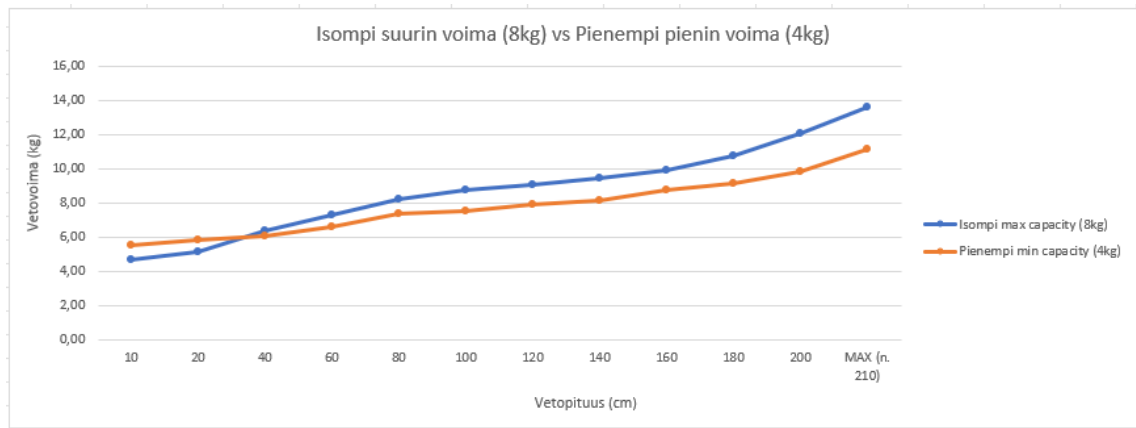
6 VALMIIN PROTOTYYPIN TESTAAMINEN

Opinnäytetyön latauskaapelin nostinta varten suunniteltujen kappaleiden saapumisen jälkeen järjestelmä voidaan asentaa valmiiseen satelliittiin testaamista varten. Komponentteja odottaessa käytettäville keventimille tehtiin vetokokeita, joiden tuloksia hyödynnetään nostimen testaamisen aikana. Nostinjärjestelmän prototyypin testaamisen jälkeen molemmat keventimistä pakastettiin uusia vetokokeita varten.

6.1 Keventimien vetokokeet

Nostinjärjestelmän keventimien spiraalijousien toiminnasta oli pientä epävarmuutta, joten niitä varten kehitettiin yksinkertainen vetokoe. Vetokoetta varten kevennin kiinnitettiin kiinteästi, tässä tapauksessa teollisuushyllyn jalkaan, ja sen vaijeria vedettiin vaakasuorassa niin pitkälle kuin vaijeri liikkui (liite 6). Lattiaan merkattiin teipinpaloin mittauskohdat ensimmäistä kymmentä senttimetriä lukuun ottamatta kahdenkymmenen sentin välein. Pituusmittaus on tehty teipinpalan keskikohdalle, joten myös vaijeri mitattiin, kun se oli teipin keskikohdalla. Keventimien voimia mitattiin kalavaa'alla, jonka kalibrointi varmistettiin tarkalla painolla. Mittausten aikana pyrittiin keventimiin vaikuttavat asiat, kuten lämpötilat pitämään mahdollisimman tasaisina. Saadut mittauksien tulokset kirjattiin ylös muistivihkoon, josta tulokset siirrettiin Exceliin (liite 7). Seuraavissa tutkimustuloksissa kahdesta valitusta keventimestä puhutaan niiden kokoina, eli isompi, jonka valmistajan teoreettinen nostovoima on 6–8 kg ja pienempi, jonka nostovoimaksi kerrotaan 4–6 kg.

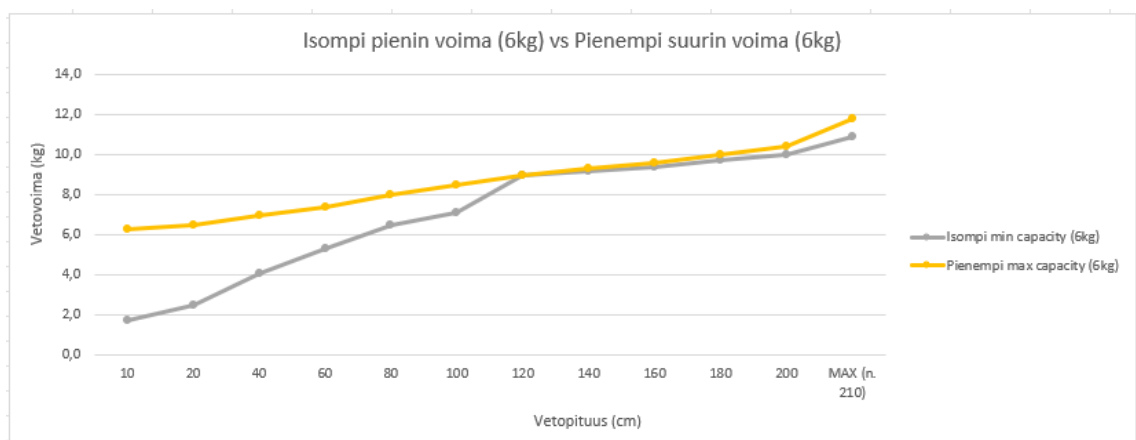
Ensimmäiseksi vertailtiin molempien keventimien yleistä toimintaa eri säädöksillä. Isompi kevennin on testauksessa säädetty täydelle voimalleen ja pienempi kevennin säädettiin pienimmälle mahdolliselle voimalle. Molempia keventimiä mitattiin kolmesti ja saaduista tuloksista laskettiin keskiarvot.



KUVA 6. Isomman keventimen suurimman nostovoiman ja pienemmän keventimen pienimmän nostovoiman vertailu (liite 7).

Keventimiä vertaillessa huomio kiinnittyi heti keventimien toimintaan ja erityisesti pienellä vetopituudella saatuihin tuloksiin (kuva 6). Mittatulosten perusteella suurempi kevennin olisi pienellä vetomatalla pienempää kevennintä löysempi, eron tasaantuessa noin neljänkymmenen senttimetrin kohdalla. Myös keventimien toiminnassa ja valmistajan nostovoimien ilmoittamisessa on ristiriitaa saatujen tulosten kanssa, sillä molemmat keventimet ylittävät kerrotut nostovoimat.

Toisessa mittauksessa molemmat keventimet säädettiin noin kuuteen kilogrammaan, suurempi kevennin pienimpään mahdolliseen ja pienempi kevennin suurimpaan mahdolliseen nostovoimaan. Molemmat keventimet mitattiin samalla tavalla kuin ensimmäisessä mittauksessa, mutta vain yhden kerran. Saaduista tuloksista tehtiin alla oleva kuvaaja.



KUVA 7. Keventimien vertailu samaan nostovoimaan säädettynä (liite 7).

Vertaillessa keventimien nostovoimia niiden ollessa säädettyinä samaan nostovoimaan on heti huomattavissa kuinka isomman keventimen nostovoima lyhyellä nostopituudella on hyvin heikko (kuva 7). Käytännössä tämä on huomattavissa myös isomman keventimen runkoa roikuttamalla vaijerista kiinni pitäen, sillä noin 2,20 kg painoisen keventimen vaijeri ei jaksaa pidätellä itseään lepoasennossa. Keventimien nostovoima näyttää tasaantuvan noin 120 cm kohdalla, jonka jälkeen ne kasvavat lähes yhtä lineaarisesti.

6.2 Nostimen asennus

Valmiin nostimen prototyypin testaamista varten tarvittiin valmis satelliitti sekä betoniperustus, jonka avulla satelliitti pysyisi pystyssä testaamisen aikana. Nostinjärjestelmää varten rakennettiin satelliitti, joka on ulkoisesti ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman samanlainen oikeasti käytettävän valmiin satelliittiin verrattaessa. Kiinteään asennukseen käytettävä betoniperustus ei ole sama, johon Hube:n satelliitti pitäisi kiinnittää, mutta sen ominaisuudet, kuten paino ovat lähes yhtäläiset. Kiinnittäessä testaukseen varattua satelliittia betoniperustukseen yksi sen kiinnitysankkureista vaurioitui käyttökelvottomaksi. Tämän vuoksi satelliittia ei voitu asentaa perustukseen halutulla tavalla, mutta vajaa asennus todettiin kiinteäksi ja jäykäksi, jonka takia asennuksella ei ole vaikutusta testauksen tuloksiin.

Nostimen testaamista varten käyttöön varattiin aiemmassa testaamisessa käytetty latauskaapeli. Latauskaapeli ei ole sama kuin Hube:ssa käytettävä, sillä se on kooltaan 250A käytettävän 375A:n sijaan. Prototyypissä käytettävä kaapeli on oikeaa kaapelia ohuempi sekä kevyempi. Tämän lisäksi testauksessa oleva kaapeli on mitaltaan oikea, eli noin 7,5-metriä pitkä, mutta todellisuudessa sen kuorinnan vuoksi käytettävissä on noin kuusi metriä. Väärän kaapelin vuoksi saadut nostimen testaustulokset eivät ole verrattavissa todelliseen tarpeeseen, mutta niistä on mahdollista tehdä päätelmiä tulevaisuuden testauksia varten. Oikean painoinen ja pituinen kaapeli vaatii enemmän takaisinvetovoima verrattuna testaustilanteessa käytettyihin komponentteihin.

6.3 Nostimen prototyypin testaaminen

Opinnäytetyön nostimen kiinteään asentamisen jälkeen järjestelmää voidaan testata. Nostimen testaamisen tärkeimpinä tutkintakohteina ovat komponenttien kestävyys ja toiminta, nostimen käytettävyys ja keventimien mekaaniset ominaisuudet sekä toiminta. Opinnäytetyön nostimen prototyyppi on onnistunut, jos se kestää latauskaapelin vetokokeet ja järjestelmä toimii niin kuin se on ajateltu, eli se nostaa latauskaapelin ylös maasta lataustilanteen jälkeen. Latauskaapelin nostinta testattiin vetämällä latauskaapelia ulos eri lataustilanteita simuloiden. Prototyypin keventimen annettiin ulosvedon jälkeen palauttaa latauskaapeli ylös latausasemaa vasten.



KUVA 7. Satelliitti valmiina testaamiseen.

Prototyypin testaamiseen käytettävä satelliitti nostimen kanssa on kuvan 7 mukainen. Kuvasta on nähtävissä, että vain yhtä kevennintä testattiin kerrallaan.

Prototyypin testauksessa käytettävä, noin 150-senttimetriä normaalia kaapelia lyhyempi latauskaapeli ei ole muodollisesti suunnitellun tapainen, sillä kuvan 7 satelliitin tuloliitännän ja keventimen välinen osuus ei asetu satelliittiin halutulla tavalla. Käytettäessä oikean pituista latauskaapelia tämä osuus latauskaapelista roikkuisi noin metrin alempana mahdollistaen paremman kaapelin liikkuvuuden.

Nostimen testausta varten latausasemaan kiinnitettiin aluksi pienempi kevennin, jonka valmistajan lupaama teoreettinen säätövara on 4–6 kg. Kevennin säädettiin liitteen 1. testausten perusteella suurimmalle nostovoimalle, jolloin sen pitäisi teoriassa riittää pienemmän ja lyhyemmän kaapelin nostamiseen.



KUVA 8. Latauskaapeli lepotilassa pienemmällä keventimellä.

Kuten kuvasta 8, on nähtävissä, ei pienemmän keventimen nostovoima jaksa nostaa kaapelia ylös asti suurimmalla voimalla säädettynä. Latauskaapelia ei tässä tapauksessa saa nostettua ylös edes käsin, vaan se tippuu aina noin kymmenen senttiä alemmas. Pienemmällä keventimellä toteutetusta nostimesta tehdään testausvetoja eri suuntiin sen toiminnan tutkimiseksi.



KUVA 9. Latauskaapelin palautuminen pienemmällä keventimellä.

Testauksesta selvisi, että pienempi kevennin jättää latauskaapelin roikkumaan kuvan 9 mukaisesti noin seitsemänkymmenen senttimetrin korkeuteen latauskaapelin palautumisen jälkeen. Tämä viittaa yksinkertaisesti keventimen löysyyteen, sillä sen takaisinvetovoima ei nosta kaapelia havaittua korkeammalle. Tulosten perusteella pienempi kevennin on täysin käyttökelvoton halutussa nostinratkaisussa, sillä tulos olisi oikean kokoista latauskaapelia käyttäessä tätäkin huonompi. Sähköautoaan lataavan kuluttajan kannalta pienempi kevennin on hyvin käyttäjäystävällinen, sillä sen suurin vetovoima ei maksimipituudellakaan ole suuri, joka helpottaa latauspistokkeen kytkemistä autoon. Pientä kevennintä käyttäessä ei oletettavasti tulisi ongelmia ajoneuvon kättelyssä tai latausportin rikkoutumisia.

Nostimeen vaihdettiin isompi kevennin, jonka valmistajan lupaama teoreettinen säätövara on 6–8 kg. Liitteen 1. mittaustuloksien ja pienemmän keventimen testauksen perusteella isompi kevennin säädettiin suoraan suurimpaan mahdolliseen takaisinvetovoimaan.



KUVA 10. Latauskaapeli lepotilassa isommalla keventimellä.

Isommalla keventimellä latauskaapeli nousi lepotilanteessa ylös rullakitaa vasten (kuva 10) toisin kuin pienemmän keventimen kohdalla. Kaapelia vedettäessä alas noin muutaman kymmenen senttimetrin matkalta, se palautui takaisin ylös halutulla tavalla. Nostinjärjestelmälle suoritettiin vetokoe, jossa pyritään simuloimaan oikeanlaisia lataustilanteita.



KUVA 11. Latauskaapelin palautuminen isommalla keventimellä.

Nostin isommalla keventimellä ei pystynyt nostamaan latauskaapelia takaisin lähtötilanteeseen edes kevennin säädettynä suurimpaan mahdolliseen nostovoimaan, vaan se jää roikkumaan kuvan 11 mukaisesti noin neljänkymmenen sent-

timerin päähän rullakidasta. Nostamalla latauskaapelia itse ylöspäin on huomattavissa, että nousemiseen se vaatii hyvin vähäisen nostoavun. Tilannetta tarkemmin tutkiessa on huomattavissa, että rullakidan alempi rulla ei aina pyöri yhdessä vaijerin liikkeen kanssa. Huomion perusteella on mahdollista, että teräksinen vaijerin ja rullakidan välille syntyy liian paljon kitkavoimaa, jonka vuoksi keventimen vetovoima ei riittänyt.

Suuremmalla keventimellä nostava prototyyppi ei ole pienempään keventimeen verrattuna yhtä käyttäjäystävällinen. Latauskaapeli oli mahdollinen kiskoa maksimipituuteensa asti, mutta siinä vaiheessa latauskaapelin painosta ja takaisinvetovoimasta syntyvä voima oli hyvin suuri. Käytännön lataustilanteeseen tämä prototyyppi ei pystynyt, sillä tietynsuuntaisen ajoneuvon parkkeerauksen myötä kaapelin pistoke voi olla lähes mahdotonta kiinnittää ajoneuvon latausporttiin. Latausporttiin vaikuttaisi tässä tilanteessa myös normaalia suuremmat voimat, jolloin olisi vaara latausportin rikkoutumisesta. Suurempi kevennin on mahdollista säätää testattua pienemmälle takaisinvetovoimalle, mutta tällöin sen ominaisuudet ovat hyvin samanlaisia pienemmän keventimen kanssa.

Latauskaapelin nostinta testatessa paranneltavaa löytyi myös latauskaapelin kiinnityksestä keventimeen. Tällä hetkellä keventimen vaijerin päädyssä on pysäytyspallon lisäksi karabiineri, josta se saatiin kiinnitettyä latauskaapelin kiinnitysadapteriin.

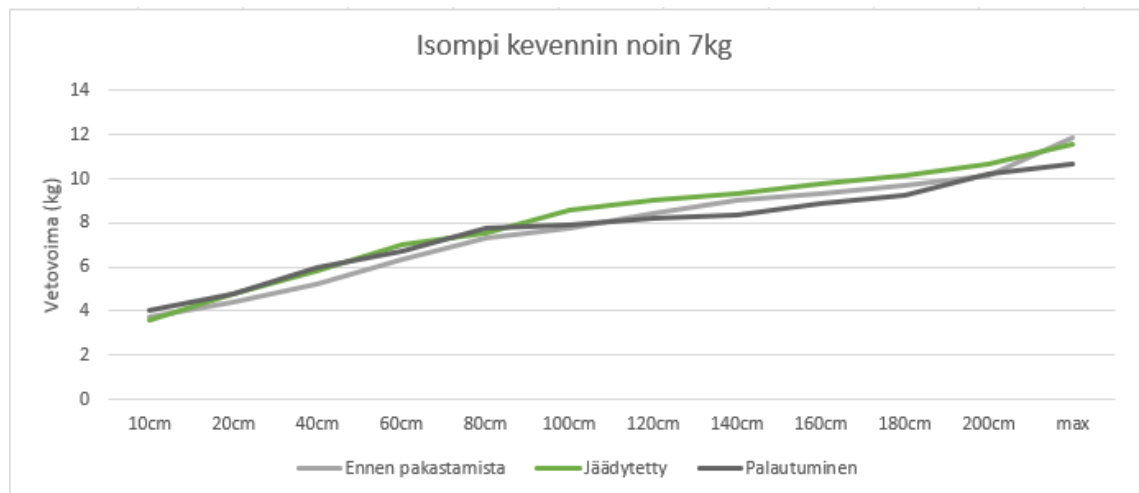


KUVA 12. Latauskaapelin haluttu lepoasento.

Vertaillaessa nykyistä kiinnitystapaa suuremman keventimen testauksessa (kuva 10) sekä tavoiteltua tilannetta (kuva 12) on kahden tilanteen ero suuri, noin kymmenen senttimetriä. Poistamalla kiinnityskohdasta kaikki järjestelmän kannalta turhat komponentit tulisi nostimesta viimeistellymmän näköinen.

6.4 Keventimien pakkastestit

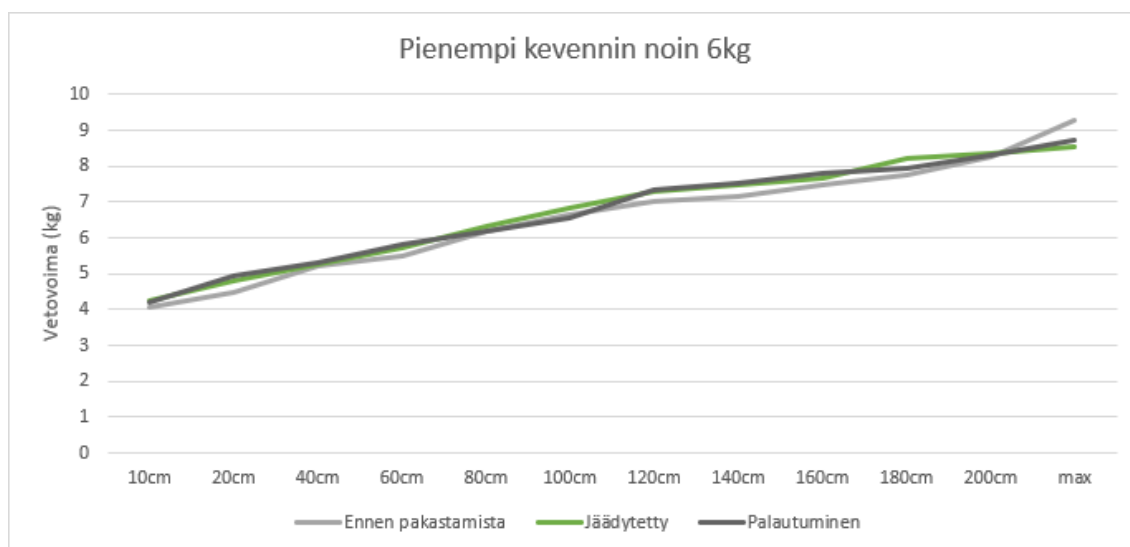
Opinnäytetyön prototyypissä käytettyjen keventimien valmistaja ja maahantuoja lupaavat keventimien toiminnan vain yli viiden asteen lämpötilassa. Nostin tulisi toimia Suomen talviolosuhteissa, joten keventimille tehtiin uusi vetokoe, jossa ne pakastetaan. Ennen pakastamista keventimet testattiin mahdollisimman tarkkaa vertailutulosta varten. Pakastamisen jälkeen keventimien annettiin palautua huoneenlämpöön, jonka jälkeen ne testattiin mahdollisten vaurioiden varalta kolmannen kerran. Keventimien lämpötilat ensimmäisessä ja viimeisessä vetokokeissa olivat noin 23-asteisia. Toista vetokoetta varten niitä pakastettiin kahden vuorokauden ajan, jolloin keventimien lämpötiloiksi mitattiin noin kaksikymmentä pakastetta. Yhtä mittauskohdetta kohden suoritettiin kaksi mittausta, jotka kirjattiin ylös Exceliin. Tuloksista laskettiin yhdelle mittauskohteelle keskiarvo, josta tehdään viivadiagrammi.



KUVA 13. Suuremman keventimen pakkastestien tulos (liite 8).

Suurempi kevennin säädettiin pakkastestauksia varten noin puoleen väliin eli seitsemään kilogrammaan. Kuvan 13 diagrammista on nähtävissä, että keventimen vetovoima ei muutu sen lämpötilan tippuessa pakkaslukemiin. Keventimen

käytös sen lämmitessä on myös täysin identtinen alkutilanteeseen nähden. Mittattujen tulosten heittelyt voivat olla mittaustilanteesta riippuvaisia, jolloin voi todeta isomman keventimen kestävän käyttöä kovissa pakkasissa.



KUVA 14. Pienemmän keventimen pakkastestien tulos (liite 8).

Pakkastestauksia varten pienempi kevennin säädettiin sen suurimpaan mahdolliseen vetovoimaan eli kuuteen kilogrammaan. Kuvasta 14 on nähtävissä pienemmän keventimen toimivan täydellisesti niin pakastumisen kuin lämpenemisen aikana. Pienemmän keventimen tulosten vaihtelut ovat isompaa kevennintä pienempiä, joka on nähtävissä myös aiempien vetokokeiden tuloksista. Testin perusteella myös pienempi kevennin on täysin toimintakykyinen pakkaslukemissa. Mitatessa molempia keventimiä jäätyneinä, eivät ne tuntuneet erilaisilta lämpimään verrattuina. Keventimiin kohdistettiin myös nopeita ja voimakkaita vetoja, jotka tuntuivat käyttäjälle täysin samanlaisilta kuin lämpimänä kokeiltua.

7 YHTEENVETO

7.1 Opinnäytetyön tulos

Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella ja kehittää Plugit Hube -latausjärjestelmään soveltuvaa latauskaapelin nostinta. Työssä tutkitaan erilaisia vaihtoehtoja nostimen valinnaksi ja suunnitellaan prototyyppi käyttäen nostamiseen kevennintä. Keventimen kiinnittäminen valmiiseen satelliittiin vaati osien suunnittelua, muokkaamista ja ostamista, jonka jälkeen valmista prototyyppiä päästiin testaamaan. Opinnäytetyöstä on hyötyä sen tilaajalle Plugitille sekä muille latausjärjestelmiä valmistaville yrityksille, jotka tutkivat mahdollisuuksia oman latauskaapelin nostimen suunnittelusta.

Opinnäytetyön prototyypin suunnittelu oli hyvin opettavainen prosessi erilaisten mallinnustapojen hyödyntämisestä. Osa suunnittelussa käytettävistä tavoista, kuten pintamallinnus vaativat itseopiskelua, sillä kursseilta opiskeltavat asiat raapaisevat itse tekemistä vain pinnalta. Opinnäytetyön aikana oppi prosesseista suunnitteluprojektin läpiviennistä ja mahdollisten viivästysten vaikutuksesta projektin tulokseen.

Opinnäytetyön tuloksena saatu prototyyppi latauskaapelin nostimesta on hyvä esimerkki järjestelmän mahdollisuudesta, sillä periaatteeltaan nostin toimii halulla tavalla. Prototyypin toimintaan ja sen epäkohtiin on mahdollista kehittää ratkaisuja, joiden avulla nostin on mahdollista jatkokehittää myytäväksi tuotteeksi. Ajoneuvoaan lataava käyttäjä voisi arvostaa jo testattua prototyyppiä, sillä prototyyppi toteuttaa laitteen perimmäisen toimintatarkoituksen eli latauskaapelin noston ylös maasta.

7.2 Nostimen parannusehdotukset

Nostimen ensimmäisen prototyypin käytännön toiminnan epäonnistuminen herätti useita kysymyksiä koko järjestelmästä. Nostimen onnistumista mekaanisella ratkaisulla mietittiin jopa mahdottomaksi ratkaisuksi, mutta siihen käytetyn ajan puitteissa prototyypin hienosäädöllä säästetään aikaa kokonaan uuden nostimen

suunnitteluun nähden. Prototyypin epäkohdat ovat hyvin selkeästi huomattavissa ja monet niistä ovat muokattavissa olevia asioita. Tulevaisuutta ajatellen Plugitin projektin läpivientiin saatiin asiakkailtaan lisäaikaa, jonka avulla nostimesta pyritään saamaan mahdollisimman hyvä ja myyntivalmis.

Suurin ongelma nykyisen prototyypin toiminnassa on valittu kevennin ja sen ominaisuudet. Keventimen ongelmaksi huomioitu liian pieni nostokyky on mahdollista korjata tilaamalla suurempia keventimiä. Prototyypissä käytetystä isommasta keventimestä on saatavilla suurempi kokoluokka, mutta tällöin keventimen ulkomitat muuttuvat, joka tässä tapauksessa tarkoittaisi suunnitellun välikaton ja ulkokaton uudelleenmallinnusta. Käytetyissä keventimissä vaijeri on tehty ruostumattomasta teräksestä. Samanlaisia keventimiä on mahdollista tilata myös nylonista tai Dyneemasta valmistetuin vaijerein, joita olisi hyvä kokeilla. Erilaiset vaijerit voivat vähentää rullakidan luovaa kitkaa, joka voi vähentää keventimen tarvittua nostovoimaa. Teräksestä valmistetun vaijerin rikkoutuminen voi vaarantaa latausta suorittavan käyttäjän terveyden, sillä rikkoutuessaan se voi purkautua teräviksi risoiksi.

Prototyypissä käytetään toimittajien valmiita keventimiä, jonka vuoksi niiden ominaisuudet eivät ole täsmälleen latauskaapelin nostimelle suunniteltuja. Ideaalitalanteessa keventimessä käytettävä jousi olisi tasavoimainen nykyisten lineaarisesti kasvavien jousien sijasta. Tasavoimaisella jousella nostoon tarvittava voima olisi helpommin säädettävissä käytettävän latauskaapelin painolle. Latausase-
man käyttäjän kannalta hyvin säädetyin tasavoimaisen jousen avulla nostava järjestelmä olisi lähes huomaamaton, eikä se kohdistaisi latausporttiin ylimääräistä räsitusta. Tällä hetkellä markkinoilla ei ole suoraan saatavilla tasanostoisia keventimiä, eli sellainen tulisi suunnitella itse käyttäen kustomoitua jousikomponenttia.

Nostimen prototyypissä käytettyjen keventimien pakkaskestävyyttä tulisi testata nykyistä tarkemmin. Vaikka omien testausten ja keventimen maahantuojalta saadun tiedon perusteella ne toimivat Suomessa mitattavilla pakkaslukemilla, on mahdotonta sanoa aiheutuisiko esimerkiksi sulamisesta komponentin sisäisiä ruostevaurioita. Keventimien vetokokeet olivat lyhytaikaisia, jolloin pakkasen vaikutus niiden pitkäaikaisen käytössä voi tuottaa ongelmia.

Tulevaisuudessa käytettävä rullakita olisi hyvä optimoida tätä käyttötarkoitusta varten. Prototyypissä käytettävät vinssien rullakidat ovat suunniteltu kestämään noin 1800 kg:n paino tarvittavan noin kolmenkymmenen kilon sijasta. Käytettävän rullakidan kaapelin liikkuvuus on liian suurta nostimen käyttäjän näkökulmasta. Kidan leveyden vuoksi latauslaitteen käyttäjän on mahdollista aiheuttaa tilanteita, jotka estävät tai rikkovat keventimen vaijerin väärän liikkeen vuoksi. Ideaalitalanteessa rullat olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan, jolloin niiden väliin jäisi vaijerin kokoinen reikä. Tällöin lataustilanteessa vaijeri liikkuisi aina nostimen kannalta parasta reittiä, eikä se esimerkiksi jumittuisi.

Opinnäytetyön prototyypissä käytettyä keventimen vaijerin ja latauskaapelin välille suunniteltu kiinnitysadapteri tulisi ideaalitalanteessa olla säädettävissä usealle kaapelipaksuudelle. Jo prototyypissä käytetyn pienemmän latauskaapelin kiinnityksessä meinasin tulla ongelmia adapterin kiinnityksessä, sillä se täytyi tiivistää vaahtomuovisella tiivistelistalla. Käytettäessä eri kokoisia latauskaapeleita on niillä jokaisella oma paksuutensa. Suunniteltavan adapterin tulisi olla jokaiselle kaapelin paksuudelle sopiva, jolloin säästetään valmistuskustannuksissa, ja varastoitavien komponenttien määrä olisi vähempi.

LÄHTEET

AG-Elec. nd. What are the Reference Standards for Charging Cables for Electric Vehicles. Viitattu 22.12.2023. <https://www.ag-elec.com/what-are-the-reference-standards-for-charging-cables-for-electric-vehicles.html>

Emadi, Ali. Advanced Electric Drive Vehicles. Boca Raton: CRC Press. 2014.

EVcome. 2023. EV DC Charging Cable Characteristics. Viitattu 22.12.2023. <https://www.evcomecharger.com/EV-DC-Charging-Cable-Characteristics>

Ev-database. nd. Lucid Air Dream Edition R. Viitattu 19.10.2023. <https://ev-database.org/car/1696/Lucid-Air-Dream-Edition-R>

Evexpert. nd. AC / DC Charging. Viitattu 11.10.2023. <https://www.evexpert.eu/eshop1/knowledge-center/ac-dc-charging-electromobil-current-alternating-direct>

Evexpert. nd. Connector types for EV charging around the world. Viitattu 14.10.2023. <https://www.evexpert.eu/eshop1/knowledge-center/connector-types-for-ev-charging-around-the-world>

Hellamarine. nd. IP Ratings. Viitattu 20.10.2023. <https://www.hellamarine.com/en/technology/ip-protection/>

Newmobility. 2023. Allego is phasing out CHAdeMO chargers in Europe. Viitattu 10.11.2023. <https://newmobility.news/2023/09/12/allego-is-phasing-out-chademo-chargers-in-europe/>

Power-sonic. nd. EV Charging Connector Types: A Complete Guide. Viitattu 18.10.2023. <https://www.power-sonic.com/blog/ev-charging-connector-types/>

Prysmian Group. nd. Conductor Types in Cables. Viitattu 22.12.2023. <https://tr.prysmiangroup.com/en/media/technical-article/conductor-types-in-cables>

Rachid, A., El Fadil, H., Gaouzi, K., Rachid, K., Lassioui, A., El Idrissi, Z., Koundi, M. 2023. Electric Vehicle Charging Systems: Comprehensive Review. Energies (Basel). (1).

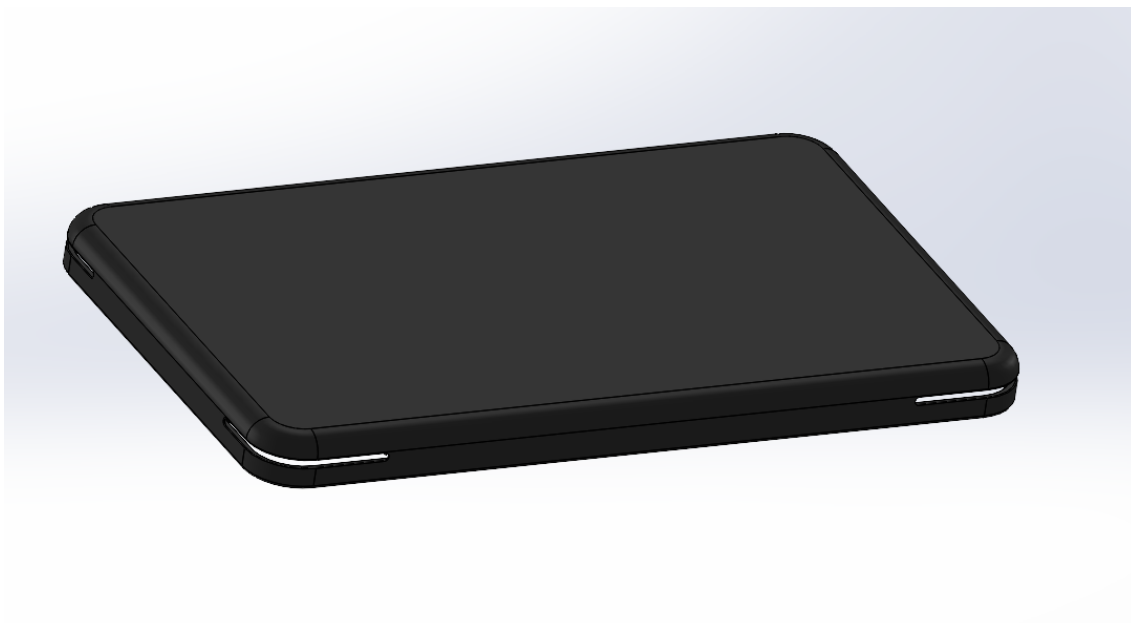
Sähköajoneuvot ja latausjärjestelmät. 2022. ST-käsikirja 41. Espoo: Sähkötietyö RY.

Sähköinen liikenne E-mobility 2023. Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q3/2023. Sähköinen liikenne ry.

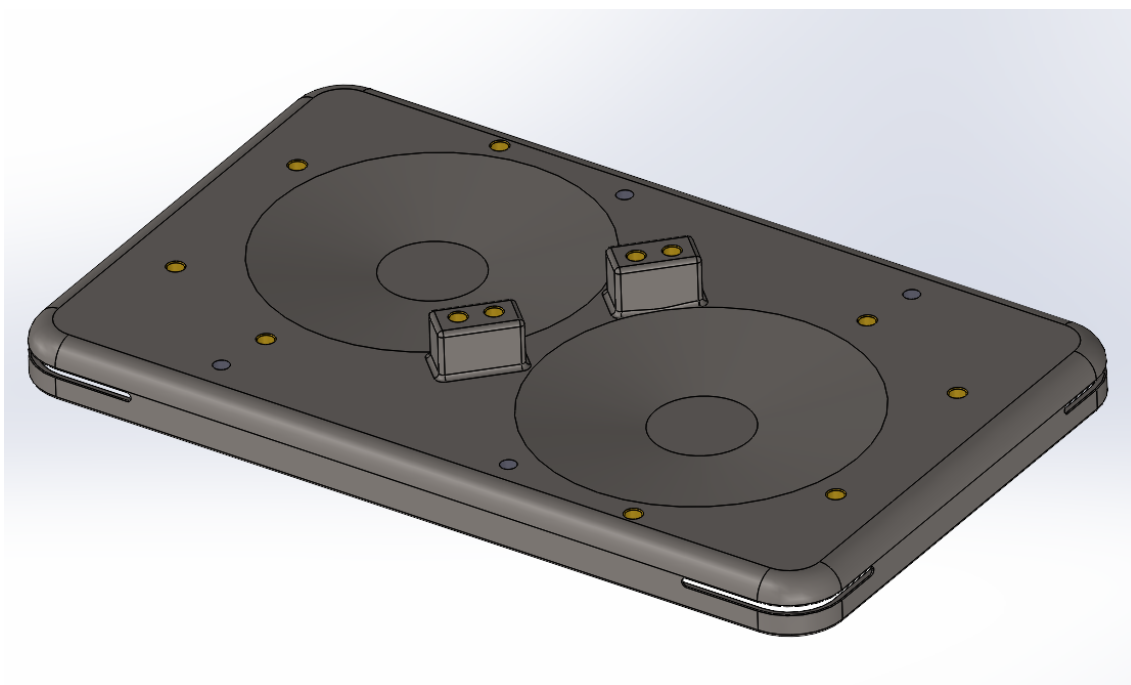
LIITTEET

Liite 1. Välikaton mallinnuskuvat

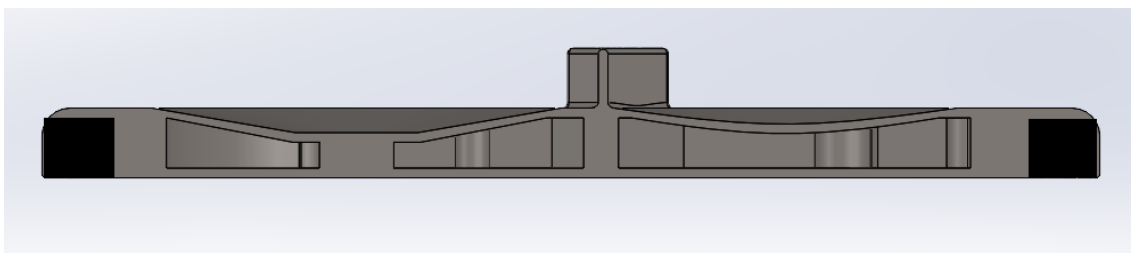
1 (7)



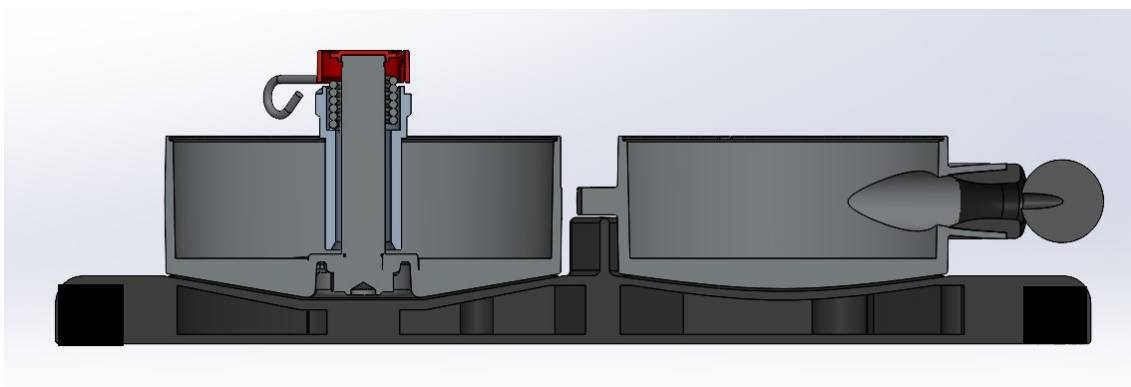
2 (7)



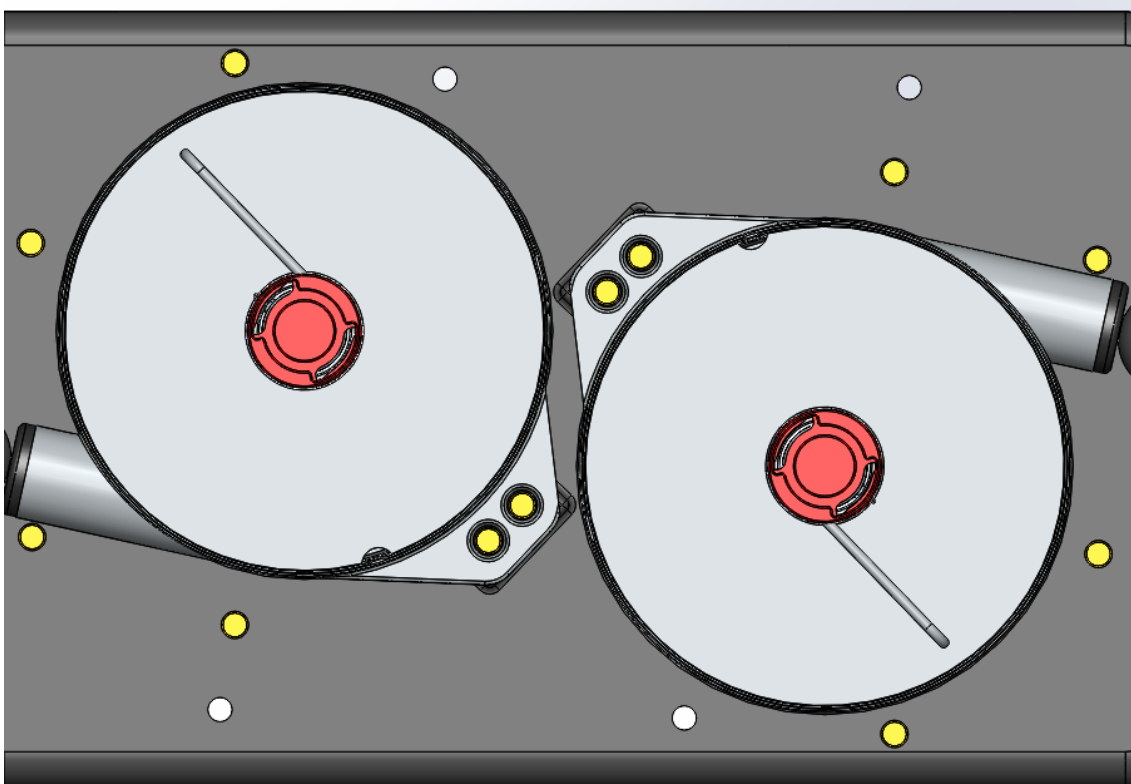
3 (7)

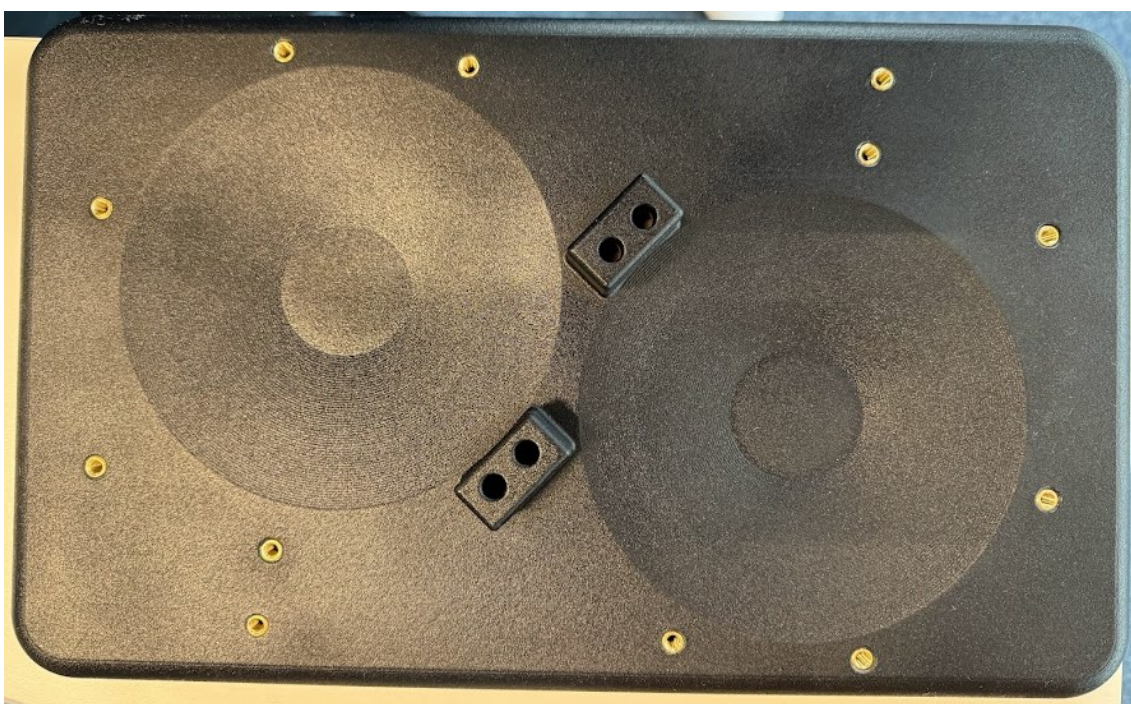
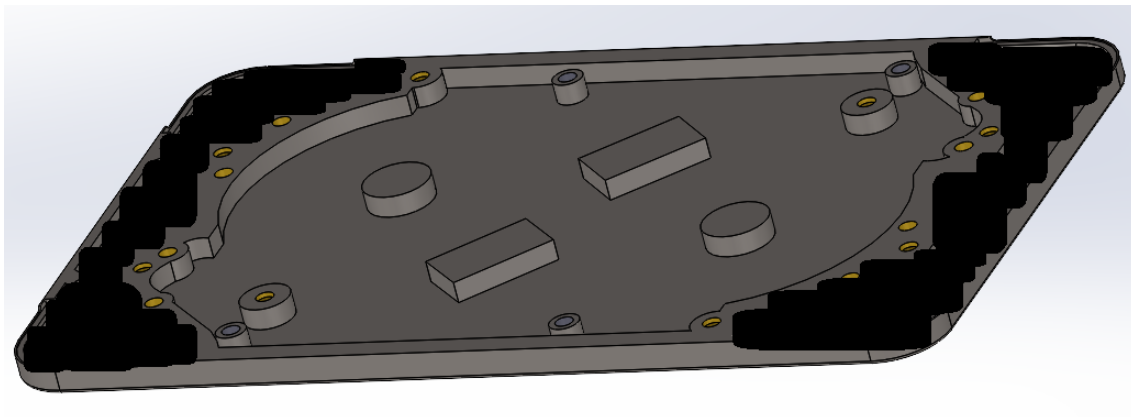


4 (7)



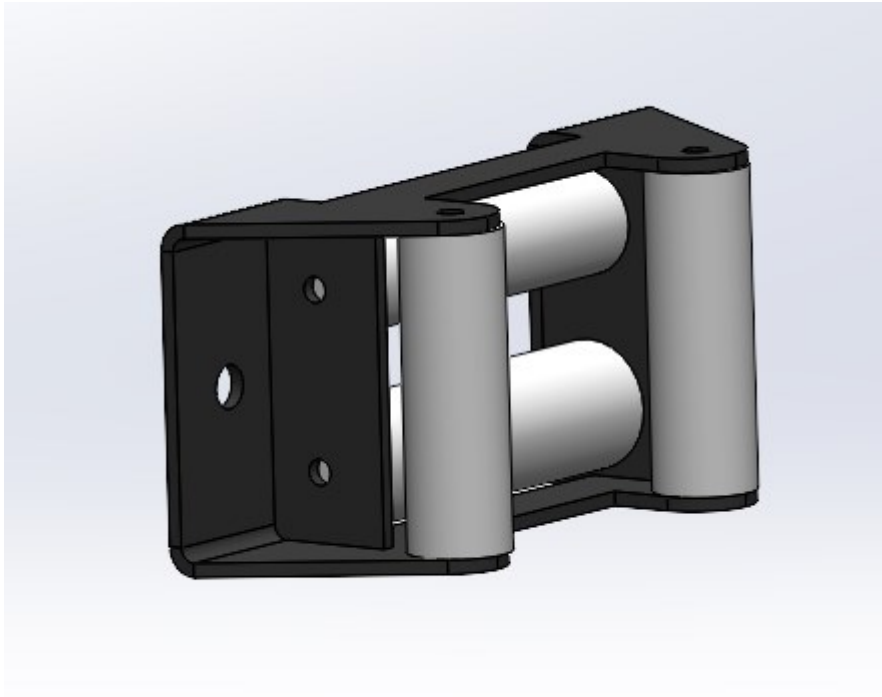
5 (7)



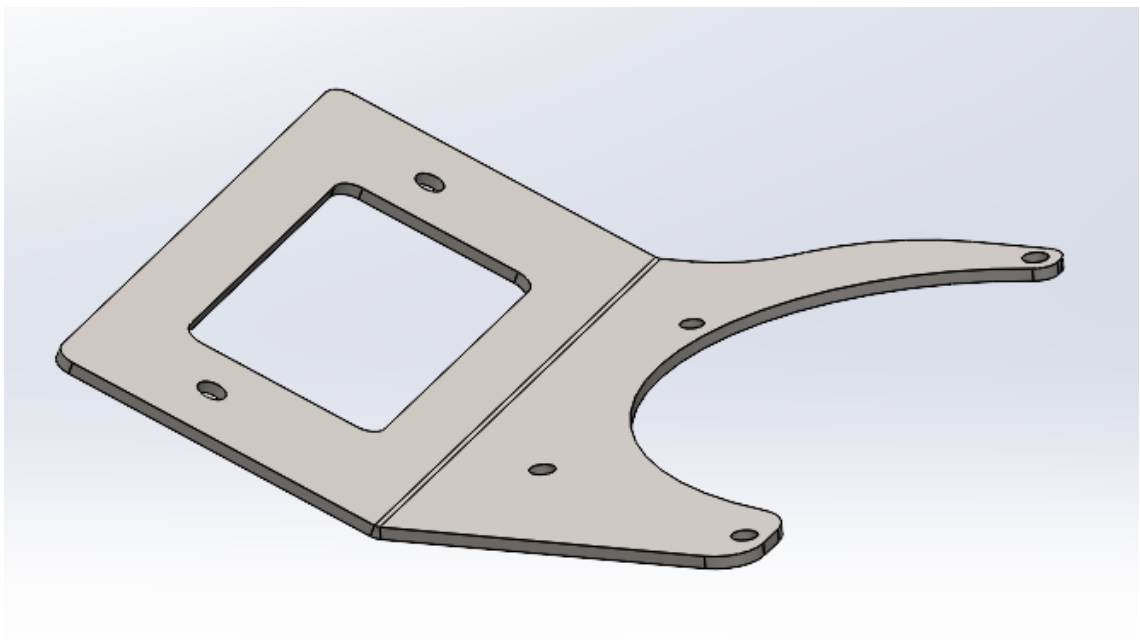


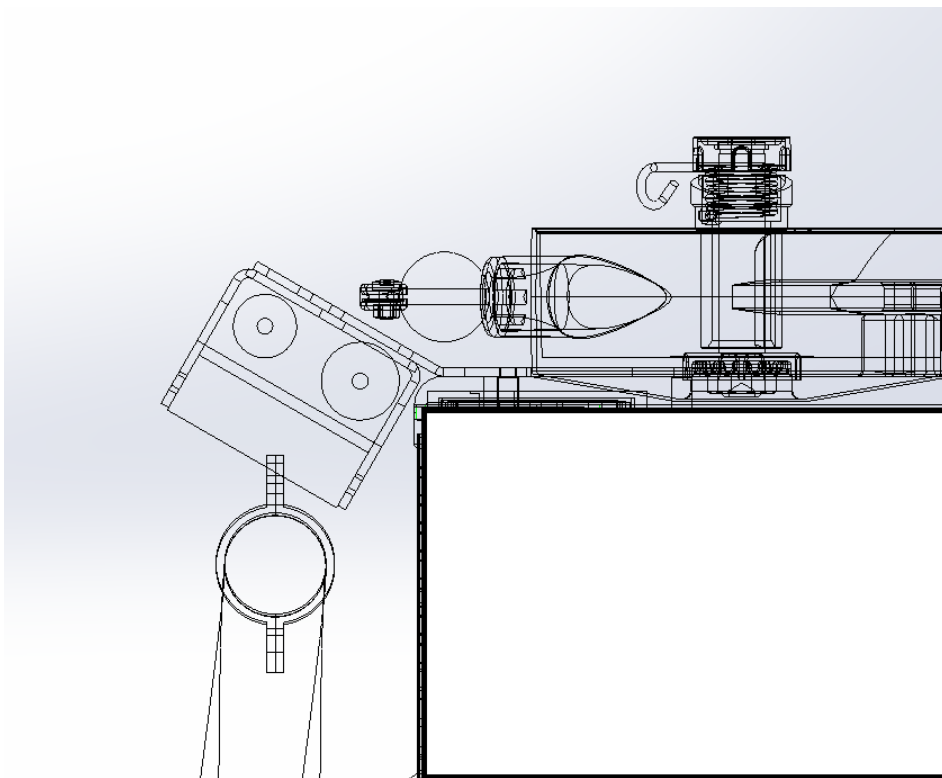
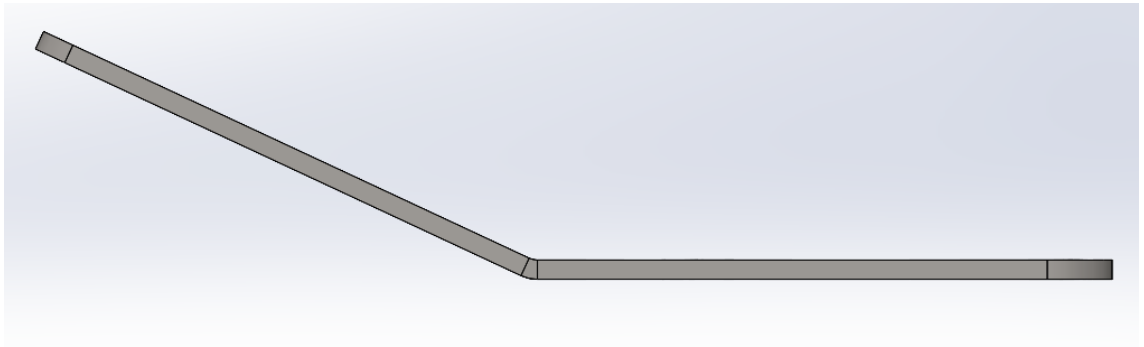
Liite 2. Rullakidan ja sen kiinnityslevyn mallinnuskuvat

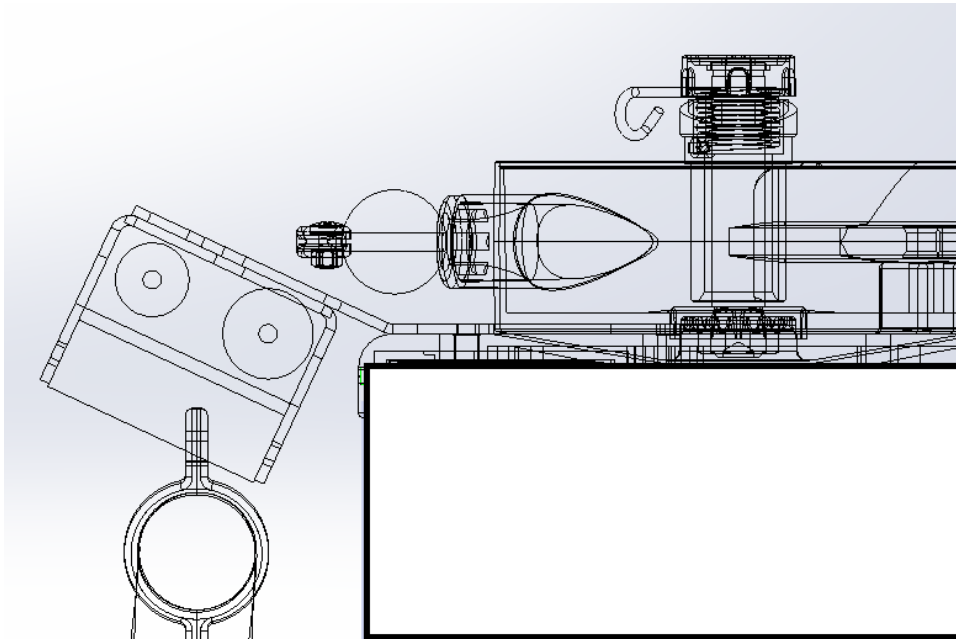
1 (5)



2 (5)

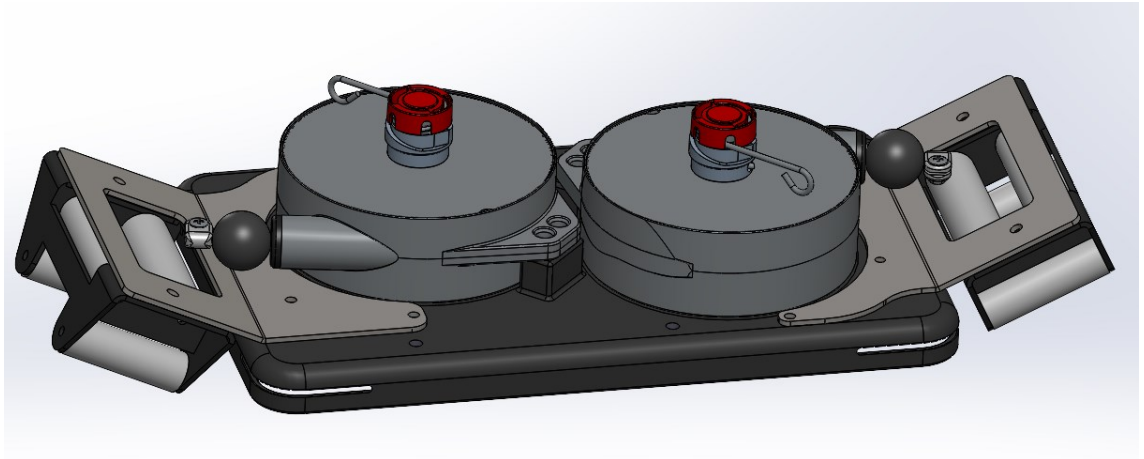






Liite 3. Nostinjärjestelmän prototyyppi

1 (2)

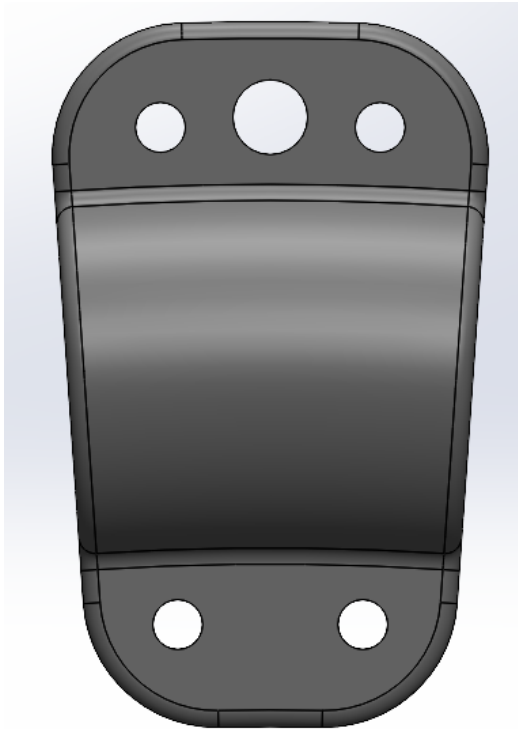


2 (2)

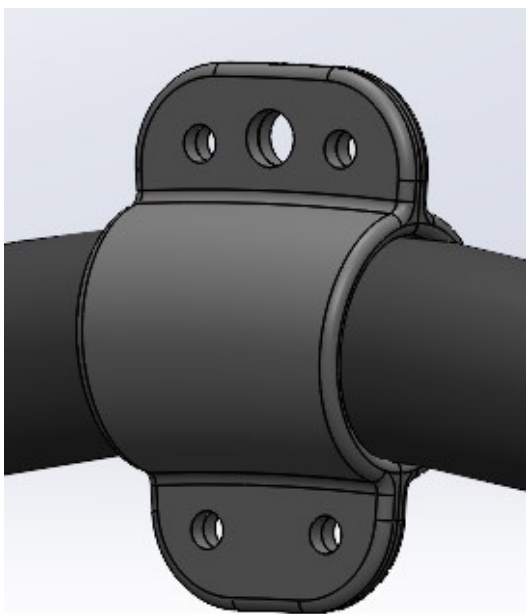


Liite 4. Vaijerin ja latauskaapelin välisen adapterin mallikuvat

1 (2)



2 (2)

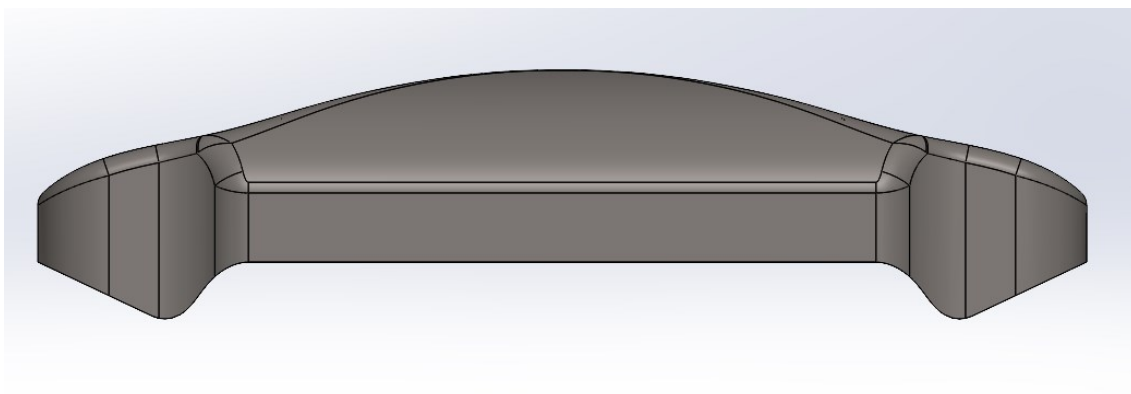


Liite 5. Lataussatelliitin ulkokaton mallinnuskuvat

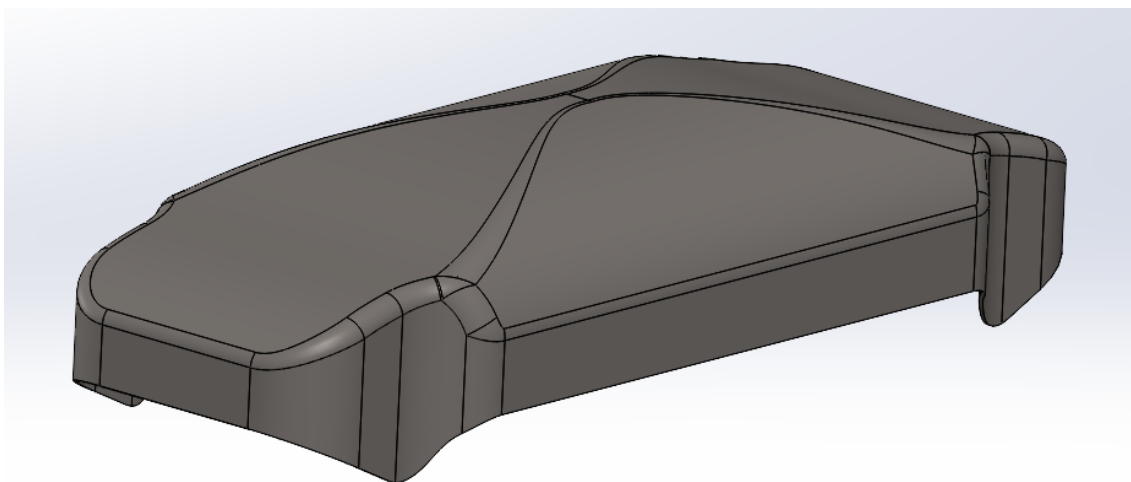
1 (7)

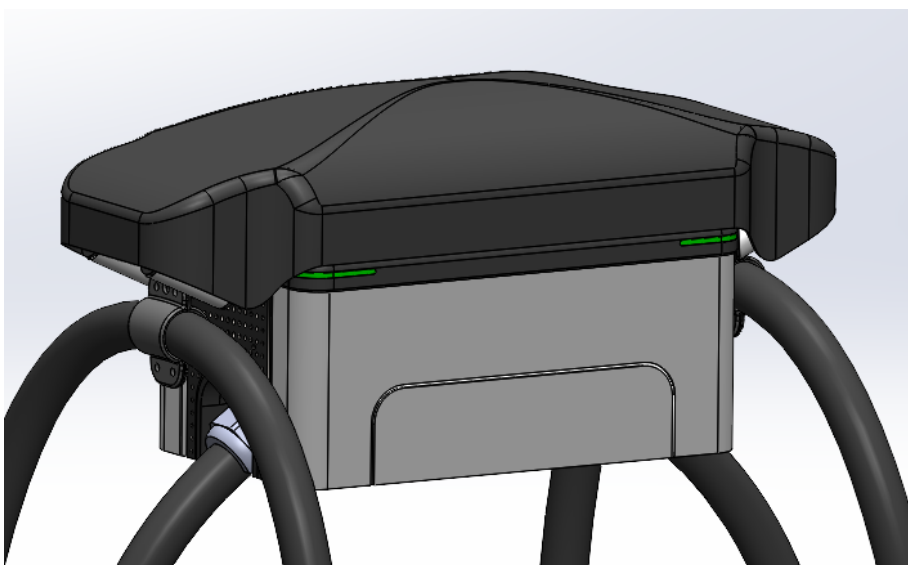
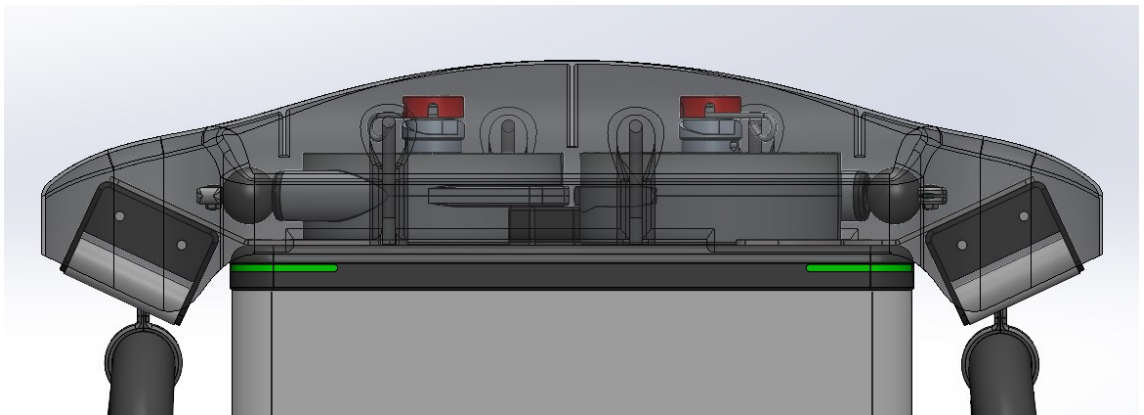
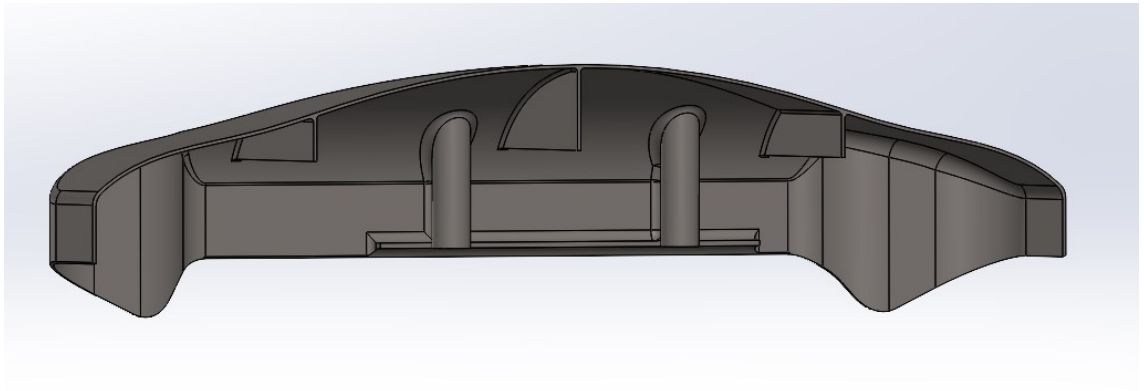


2 (7)



3 (7)







Liite 6. Vetokokeiden mittaustilanne



Liite 7. Keventimien vetokokeet

1 (3)

Isompi on max capacity (8kg) = IK		The tests were made by attaching the balancers horizontally and measuring the capacities with a calibrated fish scale.											
Pienempi on min capacity (4kg) = PK													
Stroke (cm)		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	MAX (n. 210)
IK1 (kg)		4,7	5,2	6,4	7,3	8,1	8,8	9,1	9,5	9,9	10,7	11,9	13,0
IK2 (kg)		4,7	5,1	6,2	7,2	8,2	8,6	9,1	9,5	9,8	10,7	12,1	13,7
IK3 (kg)		4,7	5,2	6,5	7,3	8,3	8,9	9,0	9,3	9,9	10,9	12,2	14,0
PK1 (kg)		5,6	6,0	6,0	6,4	7,4	7,6	7,9	8,1	8,8	9,3	9,8	11,0
PK2 (kg)		5,4	5,7	6,1	6,8	7,3	7,5	7,8	8,3	8,9	9,1	10,0	11,3
PK3 (kg)		5,6	5,9	6,2	6,6	7,4	7,5	8,0	8,1	8,6	9,0	9,7	11,1
Averages													
Isompi max capacity (8kg)		4,67	5,17	6,37	7,27	8,20	8,77	9,03	9,43	9,87	10,77	12,07	13,57
Pienempi min capacity (4kg)		5,53	5,87	6,10	6,60	7,37	7,53	7,90	8,17	8,77	9,13	9,83	11,13

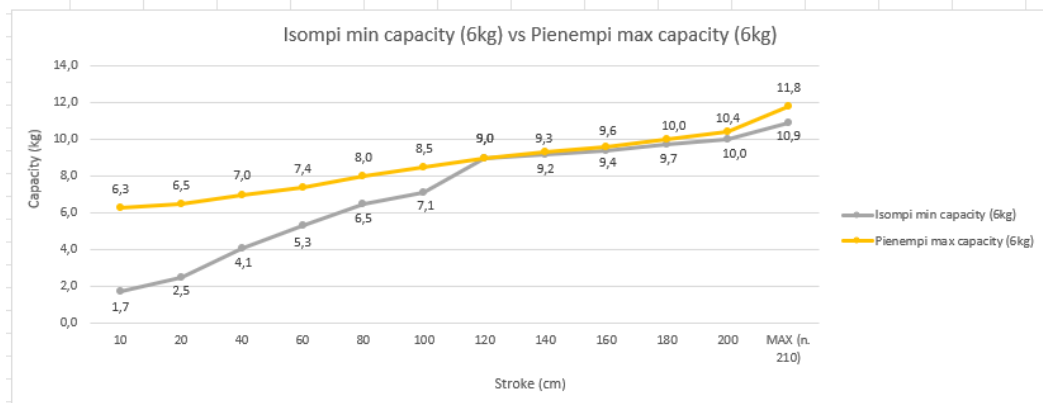
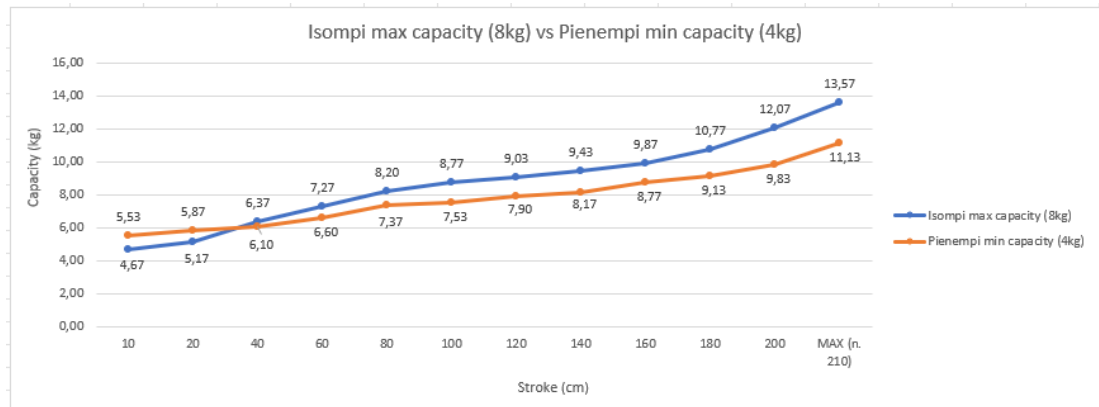
Isompi min capacity (6kg)													
Stroke (cm)		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	MAX (n. 210)
Capacity (kg)		1,7	2,5	4,1	5,3	6,5	7,1	9,0	9,2	9,4	9,7	10,0	10,9

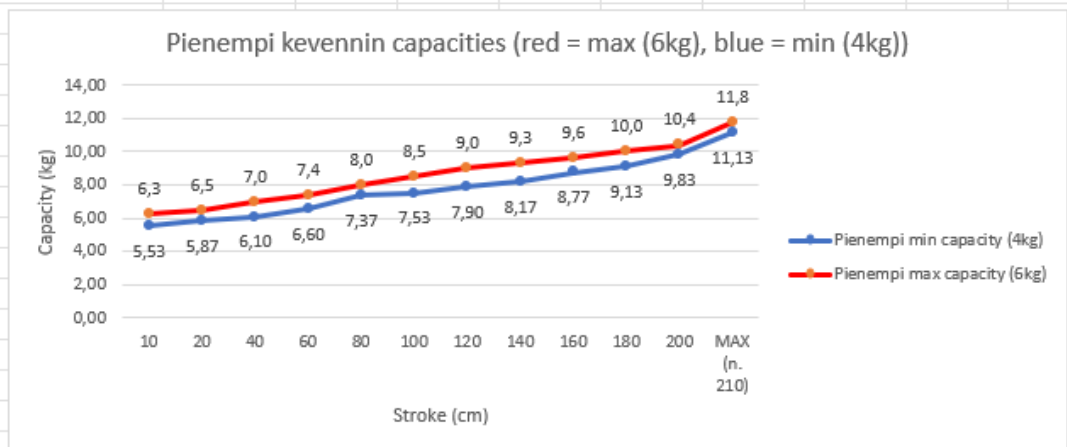
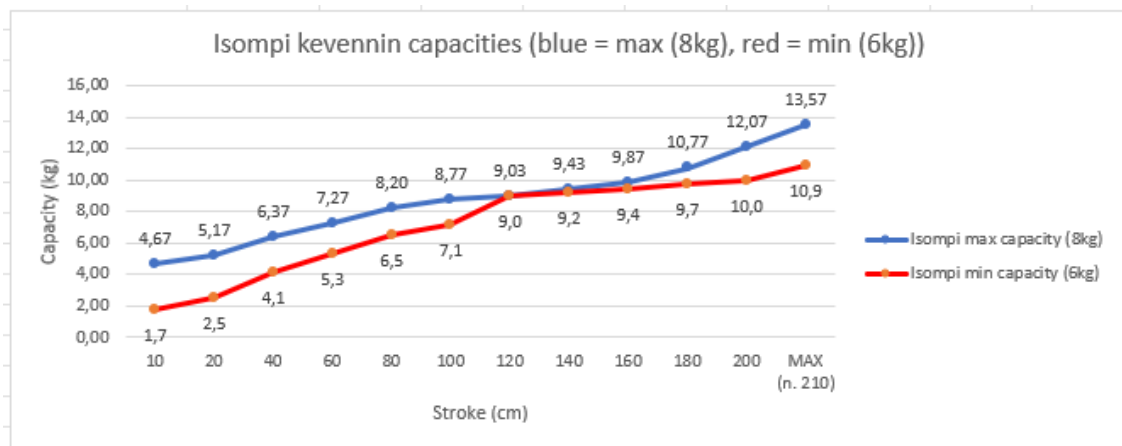
Pienempi max capacity (6kg)													
Stroke (cm)		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	MAX (n. 210)
Capacity (kg)		6,3	6,5	7,0	7,4	8,0	8,5	9,0	9,3	9,6	10,0	10,4	11,8

Pienempi adjusted ~3/4 rounds from max													
Stroke (cm)		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	MAX (n. 210)
Capacity (kg)		6,0	6,1	6,5	7,0	7,6	7,9	8,6	8,9	9,1	9,3	9,6	10,1

Pienempi adjusted ~1,5 rounds from max													
Stroke (cm)		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	MAX (n. 210)
Capacity (kg)		5,7	6,0	6,1	6,8	7,4	7,7	8,2	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0

2 (3)



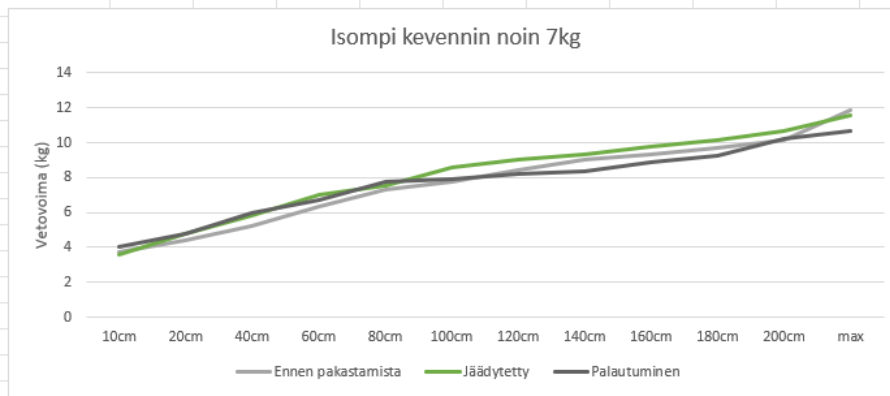


Liite 8. Keventimien pakkastestit

1 (2)

Pakkasessa lämpötila -19,8c. Ulkokuori kerkesi lämmentä molemmissa tapauksissa noin -12c:hen. Ennen ja jälkeen keventimen lämpötila noin 23c.

Isompi kevennin noin 7kg												
Testaus	10cm	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	140cm	160cm	180cm	200cm	max
Alkutesti1	3,7	4,4	5,3	6,1	7,5	7,7	8,3	9,2	9,3	9,5	10,3	11,9
Alkutesti2	3,8	4,4	5,2	6,6	7,1	7,9	8,5	8,9	9,4	9,9	10	11,9
Ennen pakastamista	3,75	4,4	5,25	6,35	7,3	7,8	8,4	9,05	9,35	9,7	10,15	11,9
Pakkastesti1	3,6	4,8	5,9	6,8	7,8	8,8	9,3	9,4	9,8	10,3	10,7	11,9
Pakkastesti2	3,5	4,8	5,8	7,2	7,3	8,3	8,7	9,3	9,8	10	10,7	11,2
Jäädyltetty	3,55	4,8	5,85	7	7,55	8,55	9	9,35	9,8	10,15	10,7	11,55
Jälkitesti1	3,9	4,8	5,8	6,6	7,8	8	8,1	8,3	9,2	9,4	10,2	10,7
Jälkitesti2	4,1	4,8	6,2	6,8	7,7	7,8	8,3	8,4	8,5	9,1	10,3	10,6
Palautuminen	4	4,8	6	6,7	7,75	7,9	8,2	8,35	8,85	9,25	10,25	10,65



2 (2)

Pienempi kevennin noin 6kg												
Testaus	10cm	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm	140cm	160cm	180cm	200cm	max
Alkutesti1	4,1	4,3	5,1	5,4	6	6,8	6,8	7	7,3	7,5	8,1	9,8
Alkutesti2	4	4,7	5,3	5,6	6,4	6,5	7,2	7,3	7,7	8	8,4	8,8
Ennen pakastamista	4,05	4,5	5,2	5,5	6,2	6,65	7	7,15	7,5	7,75	8,25	9,3
Pakkastesti1	4,1	4,8	5,2	5,7	6,4	6,9	7,3	7,6	7,6	8,1	8,2	8,4
Pakkastesti2	4,4	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,4	7,7	8,3	8,5	8,7
Jäädyltetty	4,25	4,8	5,25	5,75	6,35	6,85	7,3	7,5	7,65	8,2	8,35	8,55
Jälkitesti1	4,5	5,1	5,4	5,8	6,3	6,6	7,5	7,7	7,9	8	8,3	8,8
Jälkitesti2	3,9	4,8	5,2	5,8	6,1	6,5	7,2	7,4	7,7	7,9	8,3	8,7
Palautuminen	4,2	4,95	5,3	5,8	6,2	6,55	7,35	7,55	7,8	7,95	8,3	8,75

