

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tuomas Hirvonen

YMPÄRISTÖNTILAN MITTAUSVAUNUN OMAVARAISEN
SÄHKÖJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Tuomas Hirvonen

Nimeke
Ympäristöntilan mittausvaunun omavaraisen sähköjärjestelmän rakentaminen
Toimeksiantaja
Suomen ympäristökeskus

Tiivistelmä

Opinnäytetyö liittyi Suomen ympäristökeskuksen hankkeeseen, jossa tulevaan ympäristömittaukseen ja mittalaittevalidointiin soveltuvaan mobiiliin kenttälaboratoriovaunuun rakennettiin itsenäinen sähköjärjestelmä. Hankkeeseen sisältyi vaunun suunnitteluvaihe ja toteutuksen vaatimat muutostyöt.

Suunnitteluvaiheessa selvitettiin parhaimpia ratkaisuja tuottaa itsenäisesti sähköä vaunulle maasto-olosuhteissa. Suunniteluun kuului sähköön varastointi vaunussa akkuja käyttämällä ja sähköön tuottamiseen vaadittujen komponenttien kartoittaminen ja näiden mitoituksen tarkastelu. Suunnittelussa oli otettava huomioon tehokkuus ja turvallisuus, unohtamatta ympäristönäkökohtia.

Muutosvaiheen asennukseen liittyvät työt toteutettiin itse. Pääosat muodostuivat akustosta, aurinkopaneelijärjestelmästä, aggregaatista ja invertteri-laturista, jotka tuli saada toimimaan vaunussa. Hankeen edetessä vaunuun lisättiin ohjausautomaatio ja tukiasema, joilla vaunun toimintoja voidaan tulevaisuudessa seurata tai ohjata reaaliaikaisesti etänä.

Kehittämishankkeen suunnittelu ja toteutus tehtiin kevään ja kesän 2020 aikana.

Kieli
suomi

Sivuja 58
Liitteet -
Liitesivumäärä -

Asiasanat
Aggregaatit, aurinkopaneelit, metrologia, ympäristöntutkimus



THESIS
May 2021
Degree Programme in Energy and Environmental Technology
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author
Tuomas Hirvonen

Title
Construction of the off-grid electrical system of environmental measurement trailer
Commissioned by
Finnish Environment Institute

Abstract

The thesis was related to a project by the Finnish Environment Institute, in which an independent electrical system was built for a mobile field laboratory trailer suitable for future environmental measurement and instrument validation. The project included the design phase of the trailer and the modifications required for implementation.

During the design phase, the best solutions for generating electricity for the wagon in off-road conditions were identified. The design included storing electricity in the trolley using batteries and mapping the components required to generate electricity and sizing them correctly. Efficiency and safety had to be considered in the design, not to mention environmental aspects.

The implementation of the development project was done as the Finnish Environment Institute's own work during the summer of 2020. All installation work was carried out by us. The main parts consisted of the battery, the solar panel system, the generator, and the inverter-charger, which had to be made to work in the trailer. As the project progressed, control automation and a base station were added to the equipment, with which the functions of the trailer can be monitored or controlled in real time in the future.

Language
Finnish

Pages 58
Appendices -
Pages of Appendices -

Keywords
Aggregates, solar panels, metrology, environmental research

Sisältö

1	Johdanto	7
1.1	Yleistä	7
1.2	Opiskelijan tehtävänkuvaukset	8
2	Mittausvaunujen järjestelmät	9
2.1	Mittausvaunun käsite ja tehtävät.....	9
2.2	Mittausvaunuja Suomessa.....	10
2.3	Mittausvaunujen vaatimukset ja varustus	12
2.4	Sähköntuotantojärjestelmä vaihtoehdot.....	13
2.5	Tiedonsiirtojärjestelmät ja niiden vaihtoehdot	14
3	Mittausvaunun suunnittelun lähtökohdat.....	15
3.1	Taukotupavaunusta kenttälaboratorioksi	15
3.2	Tehtävien muutostöiden suunnittelu	19
3.3	Yksityiskohtaisempi suunnittelu	19
3.3.1	Akusto.....	19
3.3.2	Aurinkopaneelijärjestelmä.....	20
3.3.3	Varavoima.....	21
3.3.4	Sähköjärjestelmän muutokset.....	22
3.4	Pääkomponenttien hankinta	24
4	Rakentamisen lähtökohdat	25
5	Muutostöiden tekeminen.....	27
5.1	Aurinkopaneeli	27
5.2	Akusto.....	33
5.3	Aggregaatti	38
5.4	Invertteri ja laturi	44
5.5	Johtoasennukset.....	46
6	Käyttötastaus	53
7	Harkinnanvaraiset muutostyöt	54
	Lähteet.....	57

Erityissanasto ja lyhenteet

A	Ampeeri, sähkövirran yksikkö SI-järjestelmässä
Aggregaatti	Sähkövoimakone tai generaattori, joka tuottaa sähköä diesel-, bensiini- tai kaasumoottorin avulla
Ah	Ampeeritunti, sähkövaraus, joka kulkee tunnin aikana
CHP	Combined heat and power, Sähkön ja lämmön yhteistuotanto.
DC	Direct current, tasasähkö
ECM	EnviCal Manager, SYKE:n pilvipalvelu
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö SI-järjestelmässä
Invertteri	Vaihtosuuntaaja, tasavirran vaihtovirraksi muuntava laite
KWh	Kilowattitunti, energian yksikkö, kilowatin teho tunninaikana
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network, modulaatiotekniikkaa käyttävä verkkoprotokolla
MPPT	Maximum power point tracking, maksimitehopisteen seuranta
Nato	North Atlantic Treaty Organization, poliittinen ja sotilaallinen liittoutuma
PWM	Pulse width modulation, pulssinleveys modulaatio
Regulaattori	Ennalta määritettyä jännitettä tuottava elektroninen komponentti
Solenoidi	Mekaanista veto- tai työntöliikettä sähkövirran vaikutuksesta tekevä toimilaite.
SYKE	Suomen ympäristökeskus
THL	Terveysten ja hyvinvoinnin laitos
TETRA	Terrestrial Trunked Radio, digitaalinen puheradioverkko
TEG	Thermoelectric generator, lämpösähköinen generaattori. Kahdesta metallista koostuva lämpötilaerosta sähköä tuottava elementti

V	Voltti, jännitteen yksikkö SI-järjestelmässä
VIRVE	Viranomaisradioverkko
VR	Valtion rautatiet
W	Watti, tehon yksikkö SI-järjestelmässä

1 Johdanto

1.1 Yleistä

Opinnäytetyö tehtiin Suomen ympäristökeskukselle, Envistation-hankkeesta, ympäristötilan tarkkailuvaunun kehitystyöstä, eli muuttamisesta käyttäjälle kenttäolosuhteisiin paremmin soveltuvaksi.

Tarve kehittämishankkeelle lähti SYKE omasta tarpeesta luoda omaan käyttöönsä ympäristöntarkkailuun ja mittalaitte auditointiin tarkoitettu liikuteltava kenttälaboratorio. Envistation ympäristöntilan mittausvaunu on tarkoitettu siirrettäväksi eri mittauspaikoille ja sen toiminnan aikainen mittalaitteiden käyttö perustuu vaunun omaan itsenäiseen energian tuottoon.

Kehittämishankkeen tarkoitus oli luoda siirrettävissä oleva alusta, mihin erilaisia mittalaitteistoja voidaan myöhemmin asentaa. Alustaksi kehityshankkeelle SYKE oli määritellyt O2-luokan ajoneuvon.

Kehittämistyö rajataan koskemaan liikuteltavaan alustaan lisättävää omavaraisen sähköistyksen suunnittelua ja rakentamista. Vaunun alkuperäisen ja nyt tehtävän sähköistyksen yhteen liittämiseen tarvittavien komponenttien suunnittelua, valintaa ja asennusta. Opinnäytetyössä kuvataan suunnittelu ja rakentamisvaiheineen vaunuun valittu akusto, aggregaatti, aurinkopaneelit ja näiden tarvitsema muut välineistö tai tarvikkeet. Näiden lisäksi opinnäytetyössä sivutaan mahdollisesti muita rakentamisen liittyviä vaiheita, joilla on ollut merkittävästi vaikutusta vaunun rakenteisiin tai tulevaan käytettävyyteen.

Kehittämishanketta arvioitiin aktiivisesti koko sen toteutuksen ajan ja suunnitteluja kehittämisprosesseja muutettiin tarvittaessa laadukkaamman ja toimintavarmemman lopputuloksen aikaan saamiseksi.

Työ toteutettiin SYKEN omana projektina, ilman ulkopuolisten resurssien käyttöä, ja toteutusvastuu oli laboratoriokeskuksen Joensuun yksikön mekatroniikkatiimillä. Työn prototyyppimäinen luonne ja rajalliset työkaluresurssit edellyttivät käyttämään rakennusvaiheessa helposti toteutettavia menetelmiä.

Kehitystyössä oli käytettävissä peruskäsityökaluja ja välineistöä. Vaunun muutostyöt tapahtuivat Suomen ympäristökeskuksen toimipisteen parkkipaikalla, joka sijaitsi Itä-Suomen yliopiston Joensuun kampuksen Natura-rakennuksella.

Kehittämishanke toteutettiin kesän 2020 aikana. Hankkeen suunnitteluun ja toteutukseen varattu rahoitus tuli Suomen ympäristökeskukselta. Hankkeeseen on kokonaisuudessaan budjetoitu 50 000 euroa, josta noin puolet oli tarkoitus käyttää vaunun hankintaan ja vaatimiin muutostöihin sekä toinen puoli mittalaitteiston hankintaan ja muuhun varusteluun. Kehitystyön ensimmäisen vaiheen kustannukset olivat 23 000 euroa. Opinnäytetyöhön kuuluvan rakentamisvaiheen jälkeen SYKE aloitti vaunuun asennettavan mittauslaitteiston suunnittelun, hankinnat ja varustelun.

1.2 Opiskelijan tehtäväkuvaus

Tässä kyseisessä hankkeessa tehtäviin kuului sähkötoiden suunnittelu, komponenttien mitoitus suunnittelu, tarvikkeiden kilpailutus ja asennustyöt. Päätehtävänä oli suunnitella ja rakentaa vaunuun kattava itsenäinen sähkövarustus. Työtehtävien vaativuutta lisäsi vastaavanlaisten ja vertailukelpoisten vaunujen puuttuminen.

Hankkeen hahmottaminen kokonaisuutena, jossa kootaan useista eri osatekijöistä toimiva ja turvallinen tuote, oli tarkkuutta vaativaa ja jatkuvaa kehitystyötä. Myös sähkölaitteiden asennukseen liittyvien säännösten ja standardien tunteminen ja huomioiminen loi pohjan hankkeen toteutukselle.

Kehittämistyöhön kuului alustavan suunnitelman laadinta, jossa kartoitettiin erilaisten toteuttamisvaihtoehtojen eroja: akuston tyyppi ja kapasiteetti, aurinkopaneelien koko, määrä ja tuotto, aggregaatin käyttövoima ja tehon tuottotarve. Näitä vertailemalla laadittiin yksityiskohtaisempi luettelo järjestelmästä. Tämän pohjalta laadittiin varsinainen suunnitelma. Hankkeeseen liittyviin tehtäviin kuului järjestelmien kilpailuttaminen laaditun järjestelmäsuunnitelman perusteella.

Muutostyövaiheessa hankkeen etenemistä ja työskentelyä arvioitiin jatkuvasti mahdollisten parempien toteutustapojen löytämiseksi.

2 Mittausvaunujen järjestelmät

2.1 Mittausvaunun käsite ja tehtävät

Mittausvaunu on jonkin ennalta määritellyn asian tai ilmiön mittaamista varten valmistettu tai varusteltu yksikkö. Mittausvaunu kykenee liikkumaan joko itsenäisesti tai sen siirto tehdään erillisellä ajoneuvolla.

Mittausvaunun käyttö määräytyy tarpeesta mitata jotakin asiaa. Yleisiä mitattavia asioita ovat erilaiset biologiset, kemialliset aineet ja fysikaaliset tai kemialliset ilmiöt. Näitä voivat olla esimerkiksi ilmanlaatu ja ilmassa olevat yhdisteet, lämpötila, kosteus, auringon säteilyn voimakkuus W/m^2 tai ultraviolettisäteily, rautatiekiskojen epäjatkuvuus ja geometria tai veden laadun kattava tarkkailu.

Mittausvaunujen tarve ja tehtävät ovat muuttuneet mittalaitteiden kehittyessä pienemmiksi, sääolosuhteita paremmin kestäviksi ja vähemmän virtaa kuluttaviksi. Ennen massiivisen mittalaitteiston kuljettamiseen tarvittiin vaunu tai peräkärryllä. Nyt sama tai monipuolisempi mittatekniikka ei enää vaadi omaa kuljetuskalustoa vaan mahtuu jopa taskuun (kuva 1).



Kuva 1. Decentlab:in valmistama 11 parametrin DL-ATM41 sääasema (Kuva: Tuomas Hirvonen).

2.2 Mittausvaunuja Suomessa

Liikuteltavia laboratoriotasoisia vaunuja tai ajoneuvoja Suomessa ovat aikaisemmin valmistuttaneet ainakin Kansaneläkelaitos ja Puolustusvoimat.

Kansaneläkelaitos perusti 1960-luvulla liikkuvan tutkimusyksikön tekemään seulontatutkimuksia eripuolella Suomea. Ihmisille suoritettuja terveystarkastuksia oli toteuttamassa neljä erillistä linja-autopohjaista ajoneuvoa. Varustuksen kuului esimerkiksi röntgenlaitteisto sekä laboratorio. Autoklinikka nimellä kulkenut hanke toimi 1960-luvun puoliväiltä 1980-luvun alkuun saakka. Hankkeen aikana tehtyjä seulontatutkimuksia pidetään merkittävänä aineistona väestön terveyden ja siihen vaikuttavien tekijöiden tutkimisen kannalta. (THL 2021.)

Puolustusvoimilla näiden laboratorioden suunnittelu ja valmistus ovat perustuneet Naton standardeihin. Kenttälaboratorion tarkoitus on havaita biologisia, kemiallisia ja radioaktiivisia haitta-aineita kenttäolosuhteissa. Kenttälaboratorio on rakennettu erillisellä vetoautolla vedettävään puoliperävaunuun tai täysperävaunuun. Vaunuun kuuluu laboratoriokontin lisäksi erillinen telттаosa, joka pystytetään laboratorion eteen käytön ajaksi. Käyttösähkönsä laboratorio saa vaunussa olevasta dieselkäyttöisestä generaattorista. Vaunun itsenäinen toiminta aika on noin 72 tuntia. Vaikka vaunu on suunniteltu sotilaalliseen käyttöön, voidaan tätä käyttää virka-apuna myös siviilipuolen tarpeisiin. Puolustusvoimien hankkeen käytössä ollut kehittämisbudjetti on ollut 60 kertainen SYKEN oman Envistation hankkeen budjettiin verrattuna. (Maatela 2019.)

Ilmanlaadun mittaukseen käytettäviä liikuteltavia vaunuja on ollut käytössä ainakin 1980-luvulta alkaen pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnalla YTV:lla (Malkki 2003, 3). Myöhemmin HSY eli Helsingin seudun ympäristöpalvelut on jatkanut vastaavaa mittaustoimintaa. Ilmanlaatua on mitattu vaunuun tai konttiin sijoitetulla laitteistolla suurissa liikennekeskitymissä kuten Helsingin sisäänmenoväylien liikenneympyröissä tai suurimpien ajoväylien varrella ja keskustan alueella Mäkelänkadulla ja Mannerheimintielle (Kupiainen ym. 2013, 10). Vaunu tai kontti on pyritty sijoittamaan pidempiaikaisesti niin, että käyttöön tarvittava sähkö on voitu ottaa vieressä sijaitsevasta sähkökaapista tai valaisinylvästä. Vastaavia kontti- tai vaunuratkaisuja on käytössä myös muilla suuremmilla kaupungeilla sekä ilmatieteenlaitoksella. Lakiperusteinen Ilmanlaadun seuranta

velvoite kaupungeissa kuuluu kunnalle ja haja-asutus seudulla ilmatieteenlaitoksen vastuulle (Valtioneuvoston asetus ilmalaadusta 79/2017, 3§).

Valtion rautateillä ja sittemmin VR Trackilla on ollut käytössään mittausvaunuja sähkötekniikan, liikkuvan kaluston tai rataverkoston mittaamiseen. VR:n ensimmäinen mittausvaunu hanke oli laitettu alulle vuonna 1959. Hankkeen suunnitteluun ja hankintaan oletettiin kulumaan aikaa, esitettiin makuuvaunu CEm numero 2449 muuttamista tilapäiseksi mittausvaunuksi (Rautatiehallitus 1961, 30). Kyseinen väliaikainen mittausvaunu valmistui jo vuonna 1960, jolloin sillä ehdittiin samana vuonna tekemään 830 km:n verran koeajoja (Rautatiehallitus 1962, 34). Varsinaisen mittausvaunun valmistuminen venyi lopulta vuoteen 1969, mutta kyseinen mittausvaunu A 17 on edelleen käytössä. (Rautatiehallitus 1987, 544).

Ympäristöntilan tarkkailuun on ollut käytössä useilla julkisilla, mutta myös yksityisillä toimijoilla hyvin eritasoisia ja -kokoisia ratkaisuja. Pienimmät mittausasemat ovat pieneen laatikkoon sijoitettuja ja suurimmat kiinteitä kokonaisia rakennuksia. Tunnettuja käyttäjiä ovat olleet esimerkiksi luonnonvarakeskus LUKE, SYKE, Tapio-konserni sekä elinkeino-, liikenne- ja ympäristö- eli ELY-keskukset. Siirrettävää ympäristöntilan tarkkailuun tarkoitettua mittausvaunukalustoa on ollut käytössä vähemmän ja tieto käytetystä kalustosta on hankala löytää. Vaunut ovat toimineet, joko akuilla tai kytkettynä sähköverkkoon. Yksi ympäristöntilan ja kasvillisuuden tarkkailuun tarkoitettu vaunu on ollut varmuudella käytössä entisellä Joensuun yliopistolla, nykyisellä Itä-Suomen yliopistolla. Vaunun viimeisin sijoituspaikka oli kasvitieteellisellä puutarhalla, nykyisen Botanian alueella Joensuussa. Yliopiston lopetettua tutkimushankkeet alueella, vaunu poistettiin lopullisesti käytöstä vuonna 2020.

Kelluvia lautalle rakennettuja ympäristön- ja vesistötilan tarkkailuun käytettyjä mittausasemia on ollut käytössä Suomen ympäristökeskuksella useissa eri järvisissä. Suomen merialueilla vastaavia mittauksia on tehty laivasta tai älypöjjuilla. (Lepistö, A & al. 2018, 15–21.)

2.3 Mittausvaunujen vaatimukset ja varustus

Mittatekniikan osalta vaunujen vaatimukset kohdistuvat tarkan ja luotettavan tiedon tuottamiseen. Mittavälineiden kalibrointiin tai auditointiin tuleekin kiinnittää erityistä huomiota ennen vaunun operatiivista käyttöönottoa. Mittausdatan keruu tapahtuu joko vaunussa olevaan mittalaitteiden muistiin, josta se käydään erikseen ottamassa talteen tai suoraan langattoman verkon välityksellä määrätylle palvelimelle.

Varustus ja tekniikka vaihtelevat myös käyttötarkoituksen mukaan. Yksinkertaisimmillaan mittalaitteet voivat olla passiivisia eivätkä vaadi ulkopuolista energiaa toimiakseen. Toisaalta jatkuvatoimiset ja reaaliaikaista dataa tuottavat mittausasemat, joihin on sijoitettu useita eri mittainstrumentteja, tarvitsevat turvaton energiansaannin toimiakseen. Itse mittalaitteet ovat poikkeuksetta suunniteltu ja rakennettu energian kulutukseltaan piheiksi. Suurimman sähkökulutuksen yleensä aiheuttavat mittavaunussa tai -asemalla mittaamiseen tarvittava muu oheistoiminta, kuten lämmitys, vesinäytteen pumppaaminen tai jonkin mittalaitteen tarvitseman paineilman tuottaminen (Optoseven 2019).

Vaunujen ulkoiset vaatimukset määräytyvät hyvin pitkälti käyttötarkoituksen tai kohteen perusteella. Pidempiaikaista paikalleen sijoitusta varten mittausvaunu voidaan tehdä konttiin, jolloin sen siirto tehdään kappaletavaranoisturilla tai vaihtolavalla varustetulla kuljetuskalustolla sijoituspaikalleen. Helppoa ja toistuvaa siirrettävyyttä tarvittaessa perävaunuvaihtoehdot tai mittatekniikan sijoittaminen ajoneuvoon on joustavampi ratkaisu. Rakennerratkaisu voi myös olla jotain näiden edellä mainittujen väliltä tai yhdistelmä näitä.

Mittalaitetekniikan kehittyminen ja koon pienentyminen ovat mahdollistaneet mittausvälineistön sijoittamisen osaksi jo olemassa olevaa infrastruktuuria. Mittausjärjestelmä on voitu esimerkiksi integroida merenkulkuviittaun (Lepistö ym. 2018, 20).

2.4 Sähköntuotantojärjestelmä vaihtoehdot

Liikuteltavan mittausvaunun sähköenergian tuotto mahdollisuudet ovat pitkälti riippuvaiset vaunun sijoitus- tai käyttöpaikasta. On olosuhteita, joihin tietyt energian tuottomuodot eivät yksinkertaisesti sovellu, kuten tuulienergian käyttö tuulettomissa olosuhteissa tai aurinkoenergian hyödyntäminen paikassa, jossa ei ole valoa.

Erilaisia mittausvaunuun soveltuvia pienen mittakaavan sähköenergian tuotantomuoto vaihtoehtoja on listattu taulukossa 1. Osa järjestelmistä tarvitsee erillisen ohjausautomaation, jos sähköenergiaa ei tarvita jatkuvasti.

Taulukko 1. Sähköntuotanto järjestelmät

Järjestelmä	Hyödyt	Haitat
Aggregaatti / generaattori -Diesel -Bensa -kaasu	Mahdollista saada runsaasti energiaa. Paljon erikokoisia vaihtoehtoja saatavilla. Bio- tai uusiutuviapolttoaine vaihtoehtoja nykyään saatavilla.	Itsenäistä toiminta-aikaa rajoittaa käytettävissä olevan polttoaineen määrä. Pakokaasun, pienhiukkaset, sekä äänen tuotto ympäristöön.
Aurinkoenergia	Käytön aikana päästötön ja hiljainen.	Vaatii aurinkoisen sijoituspaikan. Aurinkopaneelien sijoittamiseen tarvittava ala. Vaatii ympärivuorokauden toimiakseen akuston.
CHP voimala -Puupohjaiset polttoaineet	Voidaan tuottaa myös energiaa biomassasta (puukaasutus). Mahdollista saada lämpöä ja sähköä samaan aikaan.	Kaupalliset laitteistot toisiksi kookkaita ja hinta korkea. Itsenäistä toiminta-aikaa rajoittaa polttoaineen määrä.
Polttokenno -Etanoli -Vety	Voidaan hyödyntää biopolttoainetta. Pieni kulutus 1 L / kWh.	Korkea hinta. Toiminta-aika riippuvainen käytettävissä olevan polttoaineen määrästä. Kaupallisten laitteiden energiatuotto tällä hetkellä 20–100 W tunnissa.

TEG-elementti	Yksinkertainen, ei liikkuvia osia.	Vaatii lämpötilaeron sähkön tuottoon. Saatavat järjestelmät pieniä.
Tuulienergia	Mahdollistaa pitkän itsenäisen toiminta-ajan.	Mahdollista vain paikoissa, joissa tuulen nopeus on lähes katkeamattomasti vähintään 3 m/s. Sijoitus vaatii maston ja tarvittaessa harustuksen.
Ulkoisen syöttö sähköverkosta	Jatkuva normaali sähkön käyttö ja sen mahdollisuudet. Käyttöaika ääretön.	Ei voida käyttää pääsääntöisesti maastossa
Vaihdeettava virtalähde -Akku -Paristo	Suhteellisen edullinen toteuttaa. Soveltuu kohteisiin, joissa virran kulutus vähäistä.	Akusto vietävä ladattavaksi muualle tai lataus suoritettava erillisellä latauslaitteella.
Mikrovesivoima	Toimiessaan mahdollistaa pitkän itsenäisen toiminta-ajan ja saadaan jatkuvaa energiaa.	Tuotto yleensä pientä ja vaatii toisinaan toiminnan tueksi akuston. Virtaavan veden ja käyttöpaikan etäisyys on rajallinen, joi-takin kymmeniä metrejä. Häiriöaltis pienvesissä (roskat, tms.).
Ydinparisto tai radioisotooppinen lämpösähkögeneraattori	Saadaan sähköenergiaa vuosikymmeniä (Blanchard 2005).	Käyttökohteet olleet tähän asti lähinnä avaruudessa, ihmisen sisällä tai paikoissa maapallolla, joihin äärimmäisen hankala päästä. Suurempaa tekniikkaa ei juurikaan saatavilla yksityiseen käyttöön. Äärimmäisen kallis.

2.5 Tiedonsiirtojärjestelmät ja niiden vaihtoehdot

Tutkimuskäyttöä varten mittausvaunun keräämä data taltioidaan. Kerätyn tiedon kattumista voidaan nykytekniikalla seurata reaaliaikaisesti. Tämän mahdollistavat Suomessa kattava matkapuhelin, Tetra tai LoRaWAN verkko.

Erillisen radiolinkin käyttö on myös mahdollista, kun siirtoetäisyys on alle 60 km. Radiolinkin käyttö on luvanvaraista ja luvan myöntävä taho Suomessa on Traficom. (Traficom 2021.)

Langattomista verkoista LoRaWAN soveltuu pienien datamäärien lähettämiseen, ja on yksittäisissä mitta-antureissa hyvä vaihtoehto erittäin pienen energian kulutuksensa vuoksi (Digita 2021).

TETRA-radioverkko on pääasiassa viranomaiskäyttöön tarkoitettu, suojattu digitaalinen radioverkko, josta käytetään Suomessa nimitystä VIRVE (Erillisverkot 2021). Verkossa on mahdollista siirtää datan lisäksi puhetta. Puheensiirto menetelmänä voidaan käyttää joko yhdensuuntaista radiopuhelin viestintää tai kahdensuuntaista kahden päätelaitteen välistä viestintää.

Tiedonsiirtokapasiteetiltaan tehokkaimmat ovat olemassa olevat 3 – 5G-mobiili-verkot. Kiinteän langallisen tiedonsiirron käyttö on nykyään harvinaista ja käytössä lähinnä enää iäkkäämmissä mittauspisteissä, missä tiedonsiirtotekniikkaa ei ole koettu tarpeelliseksi päivittää.

Mittausdata voidaan tallentaa myös mittauspisteellä kiinteään muistiin. Muistina voidaan käyttää erillistä kovalevyä tai muistikorttia. Tiedonsiirto näistä tehdään paikan päällä esimerkiksi kannettavaan tietokoneeseen tai ottamalla muisti mukaan, jolloin tiedon purkaminen tehdään myöhemmin muualla.

Nykyisin tiedon siirrossa on siirrytty kiinteistä liittymistä reaaliaikaiseen datan siirtoon langattomasti ja hallintaan esimerkiksi pilvipalveluilla.

3 Mittausvaunun suunnittelun lähtökohdat

3.1 Taukotupavaunusta kenttälaboratorioksi

Kehittämishanke tehtiin SYKElle, joka on Suomen valtion ylläpitämä ympäristöasioiden tutkimus- ja asiantuntijalaitos. SYKE:n tärkeimpiä tehtäviä ovat ympäristön liittyvien yhteiskunnallisten kysymysten ratkaisu ja ohjeistuksen laadinta.

Envistation-mittausvaunu kehittämishankkeen tarkoitus oli rakentaa prototyyppi liikuteltavasta mittaus-, ympäristöntarkkailu- ja tutkimusalusta O2-luokan ajoneuvoon. Tärkeimpänä tavoitteena saada vietyä ympäristönlaadun mittalaitteiden validointiin kelpaava laboratorio kentälle, mittalaitteiden luonnolliseen ympäristöön. Tähän asti validointi on suoritettu juuri päinvastoin, eli mittalaitteet on tuotu kentältä laboratorioon.

Hankkeen runkona toimii O2-luokan ajoneuvo eli perävaunu. Kyseisen ajoneuvoluokan luokittelumassa on 750 kg ja 3500 kg välissä. Vaunu tilattiin Masetti Oy:ltä ja vaunun rakenne perustuu kyseisen yrityksen toimittamaan taukotupavaunuun, josta oli tilaajan toiveesta jätetty wc-kaluste varustelu pois. Vaunu on rakenteeltaan itsekantavalla rungolle asennettu kevyestä polystyreenieristeestä valmistetusta kerroslevystä tehty kori, jonka pinta on ohutta lasikuitua. Vaunun väliseinät ovat 4 cm paksut ja tehty samoista materiaaleista kuin vaunun ulkoseinät. Lattian pintamateriaali on muovimatto, jonka alla on 12 mm:n filmivaneri, 5 cm eristemateriaalia ja lasikuitu-ulkopinta. Korin pituus 400 cm, leveys 215 cm, korkeus 215 cm ja vaunun kokonaispituus 564 cm ja -korkeus 303 cm. Alkuperäinen taukotupavaunu on kokonaismassaltaan 1330 kg, mutta kehittämishankkeelle vähäisen kantavuuden vuoksi päädyttiin tilaamaan kyseinen vaunumalli kahdella akselilla varustettuna, jolloin kantavuutta on saatu kasvatettua (kuva 2). Vaunun nykyinen kantavuus on noin 700 kg, kokonaismassan noustessa 2 000 kg:n.



Kuva 2. Taukotupavaunu toimitettuna Joensuuhun toukokuussa 2020 (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Vaunussa on kaksi erillistä varastokoppia, joista toinen oli wc:lle tarkoitettu tila. Näiden lisäksi vaunussa on yksi isompi ikkunallinen taukotila. Taukotilassa sijaitsivat toimitushetkellä kiinteästi asennettu pöytä, jääkaappi, kahvinkeitin ja mikro. Samassa tilassa on myös tiskiallas ja allaskaapissa lämminvesivaraaja, kaksi kappaletta vesisäiliöitä, sekä säiliöön tuleva sähkökäyttöinen pumppu painevettä varten.

Vaunussa on valmiiksi 230 V maasähköliitäntä, siihen liittyvät kaapeloinnit sulaketauluineen ja johdonsuojakatkaisimineen (kuva 3).



Kuva 3. Vaunun alkuperäinen sulaketaulu ja varokkeet (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Koska maasähköä ei ole kenttäolosuhteissa aina käytettävissä, tuli vaunuun suunnitella kattava itsenäinen sähkövarustus, jolla voidaan taata riittävä sähköomavaraisuus sähköverkkojen ulkopuolella. Vaunuun suunniteltiin akusto, aggregaatti ja aurinkopaneelit, joilla voidaan tuottaa 230 V:n yksivaiheista siniaaltoa 50 Hz vaihtovirtaa, sekä 24 V:n, että 12 V:n tasajännitettä. Jännitetasojen monipuolisuudella pyritään minimoimaan erillisten ulkoisten jännitteenmuuntimien käyttöä vaunussa myöhemmin tapahtuvan mittalaitesinstrumentoinnin yhteydessä.

Ympäristömittaukseen vaunu voidaan varustella jatkossa tarvittavilla muilla mittausinstrumenteilla tai elektroniikalla. Mittainstrumenttien mahdollisesti vaatima ilman tai paineilman tarve on myös otettu huomioon ja tätä varten vaunuun asennettiin paineilmakompressori erillisellä painesäädöllä ja vedenerottimella.

3.2 Tehtävien muutostöiden suunnittelu

Tarkkoja etukäteissuunnitelmia vaunusta ei pystytty työn prototyyppi luonteen vuoksi laatimaan, vaan ne hahmottuivat projektin eri työ- ja asennusvaiheiden edetessä. Suunnittelun lähtökohtana oli alustavan suunnitelman laadinta, jossa kartoitettiin erilaisten toteuttamisvaihtoehtojen eroja. Suunnitteluvaiheessa ei ollut tarkkaa tietoa vaunuun myöhemmin asennettavasta mittaus- tai laboratoriovarustuksesta. Näin ollen mittalaitteiden tarkka virrankulutus jouduttiin arvioimaan suunnitelman laadintaa varten.

Isoimmat ratkaistavat asiat olivat akuston tyyppi ja kapasiteetti, aurinkopaneelien koko, määrä ja energiatuotto, aggregaatin käyttövoima ja tehon tuottotarve. Akuston lataus ja vaihtovirtaisen sähkön vaatimat muutostyöt. Kaikissa sähköasennuksissa tuli noudattaa hyvää asennustapaa, laitevalmistajien ohjeita ja suosituksia, olemassa olevia standardeja sekä säännöksiä.

Suunnittelussa oli huomioitava jännite, yhteen liitettävyyys, huollettavuus ja turvallisuus sekä rasitukset, joita voi syntyä käytön aikana. Laitteiston automaatio ja etäohjattavuus asettivat omat vaatimuksensa tarkempaa suunnitelmaa laadittaessa. SYKEN omien käyttötarkoitusten määrittelyllä pyrittiin rajaamaan erityisestä ympäristöntarkkailuvaunuun tulevan akuston ja aggregaatin kokoa sekä tehoa. Tietoa sopivasta tekniikasta etsittiin internetistä hakemalla valmiita vastaavanlaisia ratkaisuja, eri laitevalmistajia ja hakemalla tietoa erilaisista akkuratkaisuista.

3.3 Yksityiskohtaisempi suunnittelu

3.3.1 Akusto

Ympärivuorokautisen vaunun toiminta vaatii myös ympärivuorokauden sähköenergiaa. Energian jatkuva tuottaminen ei tuntunut tässä kohdassa tehokkaalta ratkaisulta. Sähköenergian varastointi akkuihin ja purkaminen niistä olisi melko luotettava ja helposti toteutettava ratkaisu. Vaunun kantavuus mahdollistaisi suurehkon useamman sadan kilon akkukapasiteetinkäytön.

Akustoa suunniteltaessa huomioon tuli ottaa niiden sijoittaminen mahdollisimman alas ja vaunun keskelle. Jännitteellisten osien eristämisestä, akkujen suojauksesta tai koteloinnista ja riittävästä ilmavaihdosta on huolehdittava. Muita huomioon otettavia tekijöitä oli vaunussa käytettävä jännite sekä rakentamisbudjetti. Rakennusteknisistä resursseista johtuen akusto myös päätettiin sijoittaa vaunun korin sisäpuolelle.

Akkutekniikan osalta päädyttiin kustannussyistä perinteisiin avoimiin lyijyakkuihin. Teoriassa kyseisen akkutyyppin on huollettuna pitkäikäinen ja toimintavarma. Markkinoilla olevien litiumakkujen etuna on keveys ja pienempi koko, mikä johtuu parhaimmillaan kuusinkertaisesta energiatiheudesta verrattuna perinteisiin lyijyakkuihin. Vastaavasti Litiumakkujen haittapuolena on moninkertainen hinta. Mikä olisi tarkoittanut tämän hankkeen yhteydessä useampaa tuhatta euroja. (Motiva 2020.)

3.3.2 Aurinkopaneelijärjestelmä

Suunnittelun lähtökohtana oli vaunun muodostamat rajoitteet. Aurinkoisin paikka, johon paneelit pystyttiin asentamaan, on vaunun katto. Katto tilana on vaakatasossa, tasainen, 400 cm pitkä, 215 cm leveä ja pintamateriaaliltaan lasikuitua. Energian tuottoa suunnitellessa päämääränä oli maksimoida koko käytävissä oleva katon pinta-ala. Erilaisilla paneelivaihtoehdoilla päästäisiin 700 – 1 200 W:n tehon kokonaistuottoon.

Energiätehokkuuden kannalta oli lähtökohtaisestiärkevintä saada suunnattua paneelit aurinkoon päin. Tämä vaatisi jonkinlaisen kallistusmekanismin, koska vaunua siirrettäessä paneelit tuli kuitenkin saada tukevasti kattoa vasten. Kallistusmekanismin toteutus vaihtoehtoina oli sähköinen lineaarimoottori, paineilma tai nestekäyttöinen sylinteri. Vaunuun ei lähtökohtaisesti haluttu pelkästään tätä kallistusmekanismia varten hydraulikkajärjestelmää. Katolle kiipeämistä paneelien fyysisen nostelu takia, ei pidetty kovinkaan turvallisena vaihtoehtona ja siksi se rajattiin pois. Toisaalta kaikki paneelien kallistusmekanismit, joko rajoittaisivat vaunun sijoittamisen suuntaa suhteessa aurinkoon tai vaatisivat järjestelmän, joka mahdollistaisi paneelien kallistamisen useampaan eri suuntaan. Tällaisessa tapauksessa paneelit olisivat olleet tukevassa kehikossa, jonka

nurkkiin olisi alaspäin osoittavat kuulamaiset sarana kappaleet. Näiden vastinosat olisivat katossa olevassa kehikossa olevat putkimaiset holkit. Lukitus ja sen vapautus olisi toteutettavissa esimerkiksi sähkökäyttöisillä solenoideilla tai paineilmasylintereillä. Vastaavaa rakenteellista toteutusta on käytetty esimerkiksi kuorma-autojen kolmikaatokipeissä, joissa lava voidaan kipata taakse tai sivulle. Tästä suunnitelmasta kuitenkin luovuttiin järjestelmän tuoman lisäpaineon, -korkeuden, mekaanisen epävarmuuden sekä sähkömekaanisten tai pneumaattisten laitteiden ulos sijoittamisen vuoksi. Lisäksi vaunun siirron ajaksi yläasentoon unohtuneet aurinkopaneelit altistaisivat paneelit vaurioille tai koko vaunun vakavalle onnettomuuden riskille.

Edellä mainituista syistä aurinkopaneelit päätettiin lopulta asentaa kiinteästi kattoon vasten. Asennus suunniteltiin toteutettavaksi mahdollisimman pienellä paneelien kappalemäärällä ja johtojen liitoksilla sekä kattoon tukevasti kiinnitettävällä tukirakenteilla.

Aurinkopaneelien tuottama virta tarvitsee erillisen lataussäätimen ennen akkuihin syöttämistä. Lataussäädin tuli mitoittaa aurinkopaneelien tuoton maksimin mukaan. Suunnittelun tässä vaiheessa tarkkoja aurinkopaneelien tehoarvoja ei ollut saatavilla ja säätimen valinta tehtäisiin vasta kun valittujen aurinkopaneelien tuottoarvot ovat tiedossa. Säädin olisi MPPT maalinen, koska markkinoilla olevat PWM malliset säätimet eivät kykene käsittelemään yli 400 W:n tehoa.

3.3.3 Varavoima

Kenttäolosuhteissa missä vaunun akuston energia vähenisi ja suunniteltua aurinkoenergiaa ei olisi saatavilla, tuli luoda varajärjestelmä sähköön tuottamiseksi. Polttokennojärjestelmien korkea hinta ja pieni teho eivät mahdollistaneet näiden käyttöä vaunun varajärjestelmänä. Tuuli ja mikrovesivoiman käyttö olisi taas täysin riippuvainen vaunun sijoituspaikasta. Luotettavimmaksi vaihtoehtoiksi jäi vain perinteinen aggregaatti generaattori vaihtoehto, joka kykenee tuottamaan sähköenergiaa bensa tai diesel polttoaineesta. Talvikäyttö huomioitaessa olisi vesijäähdytyksellä varustetusta aggregaatista mahdollista ottaa syntyvä jäähdytyksen hukkalämpö helpommin talteen vaunun lämmitykseen. Minimivaatimuksena aggregaatin olisi kyettävä tuottamaan 230 V:n järjestelmässä vähintään

noin 10 A sähköä mikä vastaa 2 300 W:n tehoa. Tuotetun sähkön tulisi olla myös hyvälaatuista 230 V:n 50 Hz:n vaihtovirtasähköä.

Tämän kokoluokan ei-teollisuuskäyttöön tarkoitettut aggregaatit ovat yleensä ilmajäähdytteisiä. Aggregaatin sijoitus tuli vaunukorin sisäpuolelle, mahdollisesti toiseen varastokopeista, joka pakotti vastaavasti huolehtimaan jäähdytyksen riittävydestä ja pakokaasujen ulos ohjaamisesta. Suunniteltiin että pakokaasut johdetaan asianmukaisella lisäpakoputkella korirakenteen ulkopuolelle. Tärkeänä vakio-ominaisuutena aggregaatissa tuli olla myös sähkökäynnistys.

3.3.4 Sähköjärjestelmän muutokset

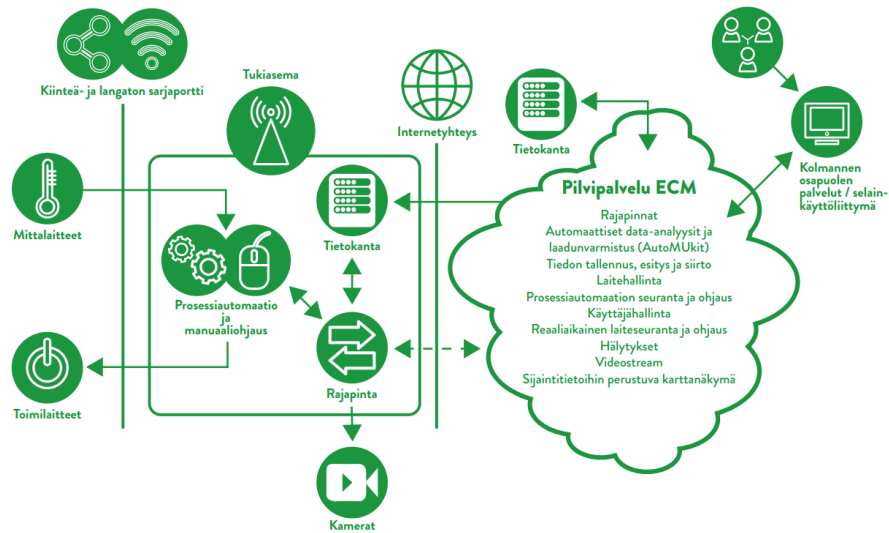
Vaunussa olevan maasähköjärjestelmän yhteen liittäminen akustoon ja aggregaattiin vaati invertterin ja vaihtokytkimen. Käytettävän invertterin tuli myös olla puhdasta siniaaltosähköä tuottava. Akuston lataaminen aggregaatilla tai maasähköä käyttäen vastaavasti vaati oman laturinsa. Vaihtoehtoja selatessa esille nousi toistuvasti samat valmistajat. Näistä yhdellä valmistajalla oli valmiiksi yhdistetty invertteri ja laturi samaan laitteeseen. Tehovaihtoehtoja oli runsaasti, mutta päädyttiin valitsemaan lähtökohdaksi laite, joka pystyy tuottamaan tehoa 3 000 W invertterinä ja 70 A akkulaturina.

Jännitevaihtoehtoja oli myös saatavilla 12 V:n, 24 V:n tai 48 V:n järjestelmiin. Saman valmistajan tuotteiden 5 vuoden takuu on huomattavasti pidempi kuin kilpailijoidensa. Tehon siirron kannalta ja tehohäviöiden välttämiseksi korkeimman jännitteen käyttäminen olisi paras ratkaisu. Tämä määräisi samalla akuston napajännitteen. Päädyimme kuitenkin käyttämään projektissa 24 V:n järjestelmää sen helpomman suoran käytettävyyden vuoksi. 48 V:n järjestelmä olisi vaatinut erillisen jännitteen muuntimen, jotta vaunussa olisi saatu 24 V:n sähköä.

Akkujen jännitettä ja latauksen tilaa tuli myös pystyä tarkkailemaan käytön aikana. Tätä pystytään tekemään akuston miinusnavan ja muun järjestelmän väliin asennettavalla akkumonitorilla.

Etäohjaukseen suunniteltiin käytettäväksi SYKEN omaa olemassa olevaa ECM järjestelmää, jonka tukiasemana vaunussa toimii Raspberry Pi (kuva 4).

Prosessi ohjaimeksi valikoitui Controllino MEGA mikrokontrolleri, joka on täysin ohjelmoitava analogisin-, digitalisin- sekä relelähdöin varustettu ohjainyksikkö (kuva 5). Kyseinen prosessiohjain toimii myös 24 V:n järjestelmässä ja kauko-hallinta voidaan tehdä tukiaseman kautta. (Controllino 2021.)



Kuva 4. Havainnekuva SYKE:n ECM pilvipalvelusta (Kuva: Suomen ympäristökeskus).



Kuva 5. Controllino MEGA mikrokontrolleri (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Huollon helpottamiseksi ja mahdollisten riskien minimoimiseksi kaikki kaapelointi ja asennukset päätettiin asentaa vaunun sisäpuolelle tuleviin erillisiin kaapelikouruihin tai asennuskoteloihin.

3.4 Pääkomponenttien hankinta

Tehtyjen päätelmien pohjalta laadittiin yksityiskohtaisempi luettelo komponenteista, joka varsinaisen suunnitelman laadintaan otettiin mukaan. Kehitystyössä merkittävänä asioina pidettiin tarvikkeiden laadukkuutta, näille myönnettävää takuu-aikaa ja huollettavuutta sekä älykästä yhteen liitettävyyttä isona plussana.

Sähkön tuottamiseen tarvittavien varusteiden osalta päädyin ehdottamaan seuraavaa hankintaluetteloa (taulukko 2).

Taulukko 2. Hankintaluettelo.

Aggregaatti	Generaattori Honda eu30is
Invertteri-laturi	Victron MultiPlus C 24/2000/50
Akkumonitori	Victron SmartShunt, Bluetooth ominaisuus, 500 A / 50 mV
Aurinkopaneelit	Määrä ja merkki vapaa, paneeleille tilaa enimmillään noin 350 x 210 cm.
Lataussäädin	MPPT, Victron, Bluetooth-ominaisuudella, 24 V:n sähköjärjestelmä. Lopullinen koko määräytyy aurinkopaneelien mukaan.
Jännitteenmuunnin:	Victron Orion DC-DC converter HP 24/12–25
Akusto:	24 V 460 – 600 Ah
Alijännitesuoja	Victron Smart BatteryProtect 12/24 V 65 A, Bluetooth ominaisuus

Tarjoukset lähetettiin neljälle eri toimijalle ja aurinkopaneelien osalta tarjouspyyntö jätettiin tarkoituksella vapaammaksi, koska ei ollut tietoa, millainen valikoima erilaisia paneeleja kyseisellä yrityksellä on. Tarjouspyyntöjen lähetysvaiheessa selvisi myös, että Victron MultiPlus-invertteri-laturi ei ollut välttämättä tarkoituksenmukaisin laite suunniteltuun käyttöön. Ongelmia tuotti löytää etäohjattava ja automaattisesti toimiva vaihtokytkin. Tästä syystä MultiPlus-invertteri-laturi päätettiin vaihtaa saman valmistajan Quattro-invertteri-laturiksi. Quattron eduksi voidaan lukea, että tähän laitteeseen voi kytkeä suoraan kaksi 230 V:n syöttöä ilman erillistä vaihtokytkintä. Envistation tutkimusvaunun tapauksessa maasähkösyötön ja aggregaatin tuottaman sähkön.

Vaunuun tulevat tarvikkeet päätettiin saatujen tarjousten perusteella valita paikalliselta toimittajalta. Tätä puolsi se seikka, että kaikki tilattavat tarvikkeet saatiin samasta paikasta, erillisiä rahtikuluja ei tulisi ja pääkomponentin eli invertteri-laturin lopullinen hienosäätö saataisiin samasta paikasta.

4 Rakentamisen lähtökohdat

Vaunun varustelun muuttaminen kenttäolosuhteissa toimivaksi tehtiin Itä-Suomen yliopiston Joensuun kampuksen Natura-rakennuksen parkkipaikalla. Vaunulle oli alkuperäisen suunnitelman mukaan varattu paikka parkkipaikan katoksesta, mutta katoksessa alaspäin roikkuvat valaisimet estivät vaunun sijoittamisen sinne. Parkkipaikalla oli mahdollista käyttää sähköä lämmitystolpan pistorasiasta.

Hanke toteutettiin SYKEN omana hankkeena ja rakentamisessa ei käytetty ulkopuolisia toimijoita. Tehtävistä muutostöistä vastasi SYKEN metrologian laboratorion Joensuun toimipaikan mekatroniikka tiimi. Tiimin työntekijämäärä on yksi vakituinen työntekijä.

Muutostöihin oli käytettävissä tavallisia käsityökaluja, akkuporakone ja erilaisia pihtejä sähkötöiden tekoa varten. Joitakin työkaluja ja erityisesti poranteriä hankittiin lisää tai uusittiin hankeen edetessä. Rakentamisessa käytetyt materiaali ovat rautakaupasta tai hyvin varustetuista tavarataloista löytyviä tarvikkeita. Tavallisilla työkaluilla ja tarvikkeilla toteutetut työvaiheet mahdollistavat tulevaisuudessa vaunuun mahdollisesti kenttäolosuhteissa tehtävät korjaukset. Vaunun kattotyöskentelyn ajaksi pystyimme alumiiniset rakennustelineet, jotka saimme lainaan yliopistolta.

Suurin osa asennuksista tehtiin paikan päällä vaunussa, parkkipaikalla tai SYKEN toimitiloissa. Joidenkin yksittäisten osien valmistaminen vaati ulkopuolisten toimitilojen käyttämistä, kuten metallin hitsaamisessa. Yksittäisiä rakentamisessa käytettyjä tarvikkeita kuten vanerit ja alumiiniset kiinnikkeet pyrittiin ostamaan valmiiksi mittaan sahattuna tai muotoon leikattuna ja taivutettuna.

Vaunun sisällä tehtäviä valmistelevia muutoksia oli myös työskentelytilan keskellä olevan kiinteän pöydän siirto. Pöytää siirrettiin peräseinällä niin, että se tuli kiinni vaunun vasemmanpuolen sivuseinään (kuva 6). Kiinnitys seinään tehtiin rautakaupoista ostettavilla 50 x 50 x 2 x 35 mm:n asennuskulmilla, leveäkantaisilla wronic-ruuveilla ja koriliimalla. Muutoksella pyrittiin saaman työskentelytila väljemmäksi ja helppokulkuisemmaksi. Samalla vaunussa olevat suorasähköiset sähköpatterit purettiin muutostöiden ajaksi pois vaunusta. Suurinta 1 800 W:n sähköpatteria ei koskaan asennettu takaisin vaunuun, vaan se korvattiin 500 W:n patterilla. Asennettu pienempi patteri tuli työskentelytilaan alkuperäisen patterin paikalle muutostöiden loppupuolella. Alkupäisesti tämä pienempi patteri toimi varastokopin lämmittimenä, josta lämmitys poistettiin kokonaan.



Kuva 6. Tilajärjestelyjä vaunun sisällä, pöydän siirto vaunun vasempaan kylkeen (Kuva: Tuomas Hirvonen).

5 Muutostöiden tekeminen

5.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli varustuksen osalta päädyimme käyttämään Suomessa valmistettua aurinkopaneelia. Mitoiltaan yksittäinen paneeli on 2 x 1 metriä ja kokonaisuudessaan nämä muodostavat 6 neliömetrin keräin alan. Paneelin yksittäisteho on maksimissaan 330 W ja kolmen paneelin yhteistehon 990 W. Jokainen paneeli on myös testattu valmistajan toimesta ja jokainen paneeli tuottaa toleranssilla 0 ~+5 Wp luvatususta tehontuottoarvosta (Salo Solar 2021). Paneelien valmistaja antaa tuotteilleen 10 vuoden materiaalitakuu ja 20 vuoden tehontuototakuu. Aurinkopaneelit tuottavat säätimelle enimmillään noin 140 V:n tasajännitteen ja 7 A:n virran.

Aurinkopaneeleita käsitellessä oli huomioitava, että paneelit tuottavat vähäisesäkin valossa sähköä. Paneeleita asennettaessa tulikin varoa paneeleissa olevia sähköjohtojen päitä, ei pelkästään oikosulkuvaaran, vaan myös sähköiskuvaaran vuoksi.

MPPT säädin muuntaa paneelien tuottaman sähköen enimmillään 40 A:n latausvirraksi akustolle. Paneelien vaatima lataussäädin on Victronin Energyn valmistama SmartSolar MPPT 150/45, Bluetooth ominaisuudella. Kyseisen valmistajan SmartSolar säätimet ovat tarkoitettu 12, 24 ja 48 V:n järjestelmille.

Lataussäädin tunnistaa käytössä olevan järjestelmän jännitteen, kun tämä kytketään ensimmäisen kerran kiinni järjestelmään. Säätimessä oleva tunnus 150 kertoo säätimen suurimman sisäänmeno jännitteen ja 45 suurinta virtaa. Säädin kykenee ottamaan paneelien tuottaman 140 V:n maksimi tasavirtajännitteen vastaan. (Victron Energy 2020b, 2, 7.)

Paneelien tuottama suurin virta voidaan laskea kaavalla 1.

$$I = \frac{P}{U} \tag{1}$$

missä

I = Maksi virta, yksikkö A

P = Teho, yksikkö W
U = Käyttöjännite, yksikkö V.

$$\text{Tällöin } \frac{(330 \text{ W} + 5 \text{ W}) * 3 \text{ paneelia}}{24 \text{ V}} = 41,875 \text{ A} \sim 42 \text{ A}$$

Jolloin voidaan todeta MPPT-lataussäätimen pystyvän käsittelemään aurinkopaneeleilta tulevaa 42 A:n maksimikuormitusta, ja muuntamaan se latausvirraksi akustolle.

Säätimessä on kaapeliterminaalit ruuviliitoksin. Säädin asennettiin vaunun sisäseinälle suurempaan varastokoppiin, ja kiinnitys tehtiin 5 mm:n kuusiokolo pulteilla seinän läpi (kuva 7).



Kuva 7. Aurinkopaneelijärjestelmän MPPT-lataussäädin kiinnitettynä vaunun sisäseinään (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Aurinkopaneelien asentaminen oli ensimmäisiä vaunussa tehtävistä töistä. Paneelien tilapäinenkin säilyttäminen vaunun sisällä ja liikuttelu oli hankalaa niiden suuren koon vuoksi ja häytti muuta työskentelyä vaunun sisäpuolella. Asennusta varten pystytimme vaunun sivustalle alumiiniset rakennustelineet. Paneelien asentaminen tapahtui kiinteästi alumiinisilla erikoisprofiilisilla asennuskiskoilla suoraan tutkimusvaunun kattoon. Kummallekin vaunun laidalle tuli 3 m pitkä yhtenäinen asennuskisko ja näiden väliin pituussuuntaista liikettä estämään asennettiin neljä 1 m:n mittaista asennuskiskoja (kuva 8). Asennuskiskot kiinnitettiin koriliimalla ja noin 35 cm:n välein ruuvatuilla ruostumattomilla linssikantaisilla 3,9 x 19 mm:n ruuveilla.



Kuva 8. Aurinkopaneelien kiinnitys alumiinisilla kiskoilla vaunun kattoon (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Aurinkopaneelit liu'utettiin muodostuneen kehikon sisään takaapäin, varmistettiin paneelien väliin asennettavalla kattoon kiinnitettävillä metrin pituisilla asennuskiskoilla. Aurinkopaneelit lukittiin asennuskehikkoon muutamasta kohdasta koriliimalla. Aurinkopaneelit eivät ole täysin katossa kiinni. Vaunun pituussuuntaan nähden aurinkopaneelien kummallekin reunalle jäi katon ja paneelienkehiksen väliin 50 cm leveät ja 2 cm korkeat tuuletusraot. Paneeleissa olevat valmiit johdotukset tuli yhdistää toisiinsa asennuksen tässä vaiheessa, koska osa liittimistä jäi paneelien alla. Kiinteällä asennuksella haluttiin varmistua asennuksen

yksinkertaisuudesta ja toimintavarmuudesta, koska asennus tulee liikuteltavaan ajoneuvoon.

Kaapeloinnin vaatima läpivienti toteutettiin katon lävitse erillisellä IP55 luokitellulla kojekotelolla, joka liimattiin koriliimalla vaunun ulkokattoon ja kiinnitys varmistettiin ruostumattomin teräsruuvein (kuva 9). Läpiviennit rasiaan tehtiin asianmukaisilla holkkitiivisteillä. Kaapeliliittiminä käytetään MC4 liittimiä, jotka ovat oikein asennettuna vesitiiviitä. Toimitetuissa aurinkopaneeleissa kyseiset liittimet olivat valmiiksi asennettuna. Kaapelina asennuksessa käytettiin kaksivaiheista aurinkopaneeli käyttöön suunniteltua kaapelia, jonka poikkileikkauspinta-ala on 6 mm².



Kuva 9. Aurinkopaneelien kattoläpivienti kotelolla ja holkkitiivisteillä. Kuvassa näkyy oikealla myös MC4 naarasliitin (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Paneelien ja lataussäätimen väliin asennettiin turvallisuussyistä turvakytkin. Turvakytkimellä aurinkopaneelien tuottama virta saadaan katkaistua tarvittaessa lataussäätimestä. Turvakytkin on kolminapainen, IP65 luokiteltu, 400 – 690 V:n jännitteelle ja enimmillään 16 A:n jatkuvaan virtaan mitoitettu kytkin. Kytkimessä oli ruuvilukittavat kaapeliterminaalit. Kytkin sijaitsee lataussäätimen välittämässä läheisyydessä vaunun sisäseinällä (kuva 10).



Kuva 10. Aurinkopaneelien turvakytkin asennus (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Johtoasennusten järjestys täytyi myös miettiä ennalta, jotta vältetään aurinkopaneelilta tulevien jännitteellisten sähköjohtojen ylimääräiseltä käsittelyltä. Ensimmäiseksi yhdistettiin lataussäädin akuston päävirtakatkaisimelle ja turvakytkimeen. Katolta tulevat johdotukset yhdistettiin turvakytkimeen sen ollessa lukittuna nolla asentoon. Vaunun katolle näkyville jäänyt MC4 liitinparin kytkentä jätettiin aivan viimeiseksi.

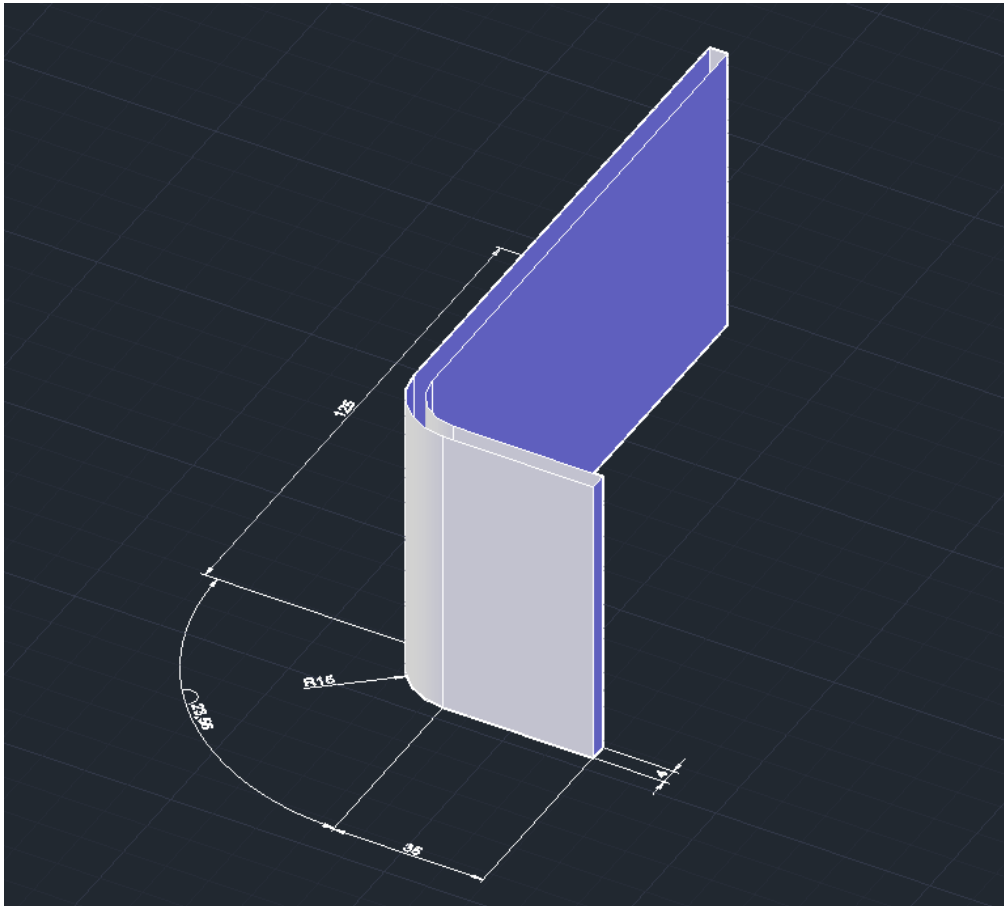
Paneelien tuottamaa energian määrää voidaan seurata erillisellä älylaitteeseen ladattavalla lataussäätimen valmistajan ohjelmalla. Applikaatiolla voidaan seurata reaaliaikaisesti sen hetken sähköntuottoa, mutta myös historiatietoja edellisiltä päiviltä tai kuukausilta.

Vaunun takaosaan kiinnitettiin alumiiniset tikkaat (kuva 11). Kiinnitys tehtiin vaunun koriin erillisin alumiinisilla kiinnikkeillä. Kiinnityksessä käytettiin 6 kpl 8 mm:n pulttia korin läpi ja tikkaisiin 6 kpl 6 mm:n pulttia, kappaleiden väliin

pursotettiin koriliima ennen pulttien kiristystä. Kiinnikkeet tilattiin metallin leikkauksia tekevä paikallisesta yrityksestä, sinne toimitetun cad-kuvan perusteella (kuva 12). Tikkaiden tarkoituksena on päästä tarkastamaan vaunun katolle silmäääräisesti aurinkopaneelien kunto ja poistamaan katolta mahdolliset sinne kuulumattomat roskat. Vaativimmat katolla suoritettavat huoltotoimenpiteet tulee tehdä erillisiltä telineiltä käsin ja asiaan kuuluvin putoamissuojin.



Kuva 11. Vaunun katolla tapahtuvaa kevyttä huoltoa varten kiinnitetyt tikkaat (Kuva: Tuomas Hirvonen).



Kuva 12. Kuvakaappaus kiinnikkeiden CAD-piirroksen suunnitelmasta (Kuva: Suomen ympäristökeskus).

5.2 Akusto

Päävirranlähteenä vaunussa toimii akut, joista vaunuun myöhemmin asennettava mittaus- tai tutkimuskalusto saa virtansa. Akustoksi valitsimme raskaaseen teollisuuskäyttöön tarkoitettuun lyijyakustoon (kuva 13). Akut ovat tarkoitettu jatkuvaan kuormitukseen esimerkiksi sähkökäyttöisissä trukeissa, joissa purku ja lataus syklit ovat toistuvia.



Kuva 13. Teollisuuskäyttöön suunniteltuja akkukennoja vaunun sisälle siirrettynä (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Erillisiä akkukennoja on 12, joista yhden yksittäisen akkukennon pituus on 126 mm, leveys 160 mm ja korkeus 557 mm, ominaisjännite 2,18 – 2,20 V ja kapasiteetti 525 Ah. Kennosto kytkettiin sarjaan 24 V:n järjestelmäksi. Akuston yhteisteho on laskennallisesti 12,6 kWh. Yhden akkukennon paino on 29,5 kg, jolloin akuston kokonaispainoksi muodostui 354 kg.

Akustot jaettiin kahteen eri osaan omiin, 15 mm:n filmivanerista valmistettuihin lukittaviin koteloihin, joiden tarkoitus on suojata akustoa ulkopuolisilta vaurioilta. Vanerit tilattiin mittaan sahattuina paikalliselta vanerialan yritykseltä, kasattiin ruostumattomilla 4,2 x 55 mm:n ruuveilla, noin 10 cm:n jaolla ja koriliimalla. Akkukoteloihin kiinnitettiin akuston tunnistusmerkinnät. Kotelot sarakoitiin etupuolelta, jolloin kotelon kansi avautuu eteenpäin (kuva 14). Jokseenkin poikkeava sarakointitapa johtuu akkujen korkeudesta. Akkulaatikot sijoitettiin vaunun akseliston kohdalle työskentelytilan kummallekin sivuseinälle tasaisemman painonjakautuksen aikaansaamiseksi. Tilan muodostamien rajoitteiden vuoksi kennostoa

ei voitu jakaa tasan. Kulkuoven puolelle akkulaatikkoon tuli 5 kennoa ja vastakkaiselle seinälle 7 akkukennoa. Tilassa mihin akkukotelot ovat sijoitettuna, on vastakkaisilla seinillä ilmanvaihtoaukot. Lisäksi molemmista akkukoteloista on suorat tuuletusaukot vaunun ulkopuolelle (kuva 15).

Näiden tuuletus- ja ilmavaihtoaukkojen tarkoitus on huolehtia tilan ja akkukoteloiden riittävästä tuuletuksesta. Akkukoteloiden tuuletuksen läpiviennit tehtiin seinärakenteen läpi 50 mm:n viemäriputkella ja koriliimaa käyttäen. Viemäriputkea käytettiin, koska vaunun polystyreenieristystä ei haluttu altistaa mahdollisille akusta purkautuville kaasuille tai roiskeille. Putket asennettiin laskemaan noin 20°:n kulmassa ulospäin tarkoituksena estää ulkoa tulevan sadeveden valuminen akkukoteloiden sisälle. Vaunun ulkopuolelle akkukoteloiden tuuletusaukkojen kohdalle asennettiin metalliset ötökkäverkolliset tuuletusritilät (kuva 15). (SFS-EN IEC 62485-2:2018.)



Kuva 14. Akkukennoille rakennettu laatikko, sen saranointi ja 7 kennon akusto (Kuva: Tuomas Hirvonen).



Kuva 15. Akkukoteloiden tuuletus vas. ulkoa ja oik. sisältä. Akuston tunnistus merkinnät erottuvat alareunassa (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Virran kokonaiskulutuksen mittaamista varten on akuston miinusnapaan kytketty Victron Energyn valmistama SmartShunt akkumonitori (kuva 16). Kaikki vaunun akuista peräisin oleva sähkö kulkee tämän kyseisen virta-anturin kautta. Anturin varustukseen kuuluu erillinen näyttö, josta voidaan lukea akun jännite, sen hetken virran kulutus sekä akun varaustila. Lisäksi mittariin kytkettiin erillinen bluetooth lähetin, jolla sama mittausdata historia tietoineen voidaan lukea laitteen valmistajan tarjoaman applikaation avulla (kuva 17). Muina ominaisuuksina akkumonitorissa on säädettävä ohjausrele, joka toimii akuston varaustason mukaan. Tässä kehittämishankkeessa releeltä saadaan ohjauskomento Controlino Megalle vaunun aggregaatin ohjaukseen.



Kuva 16. Akkumonitorin mittausanturi asennettuna erilliseen koteloon (Kuva: Tuomas Hirvonen).



Kuva 17. Akkumonitorin applikaatio, kuvaus hetkellä akustoa ladataan noin 57 A:n virralla. Akun varaustaso näkyy ylimpänä (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Akuston syväpurkautumista käytön aikana pyritään estämään Victron Energy Smart BatteryProtect-akkuvahdilla (kuva 18). Valittu akkuvahtimalli soveltuu 12 V:n ja 24 V:n järjestelmille, ja sen läpi voidaan syöttää 220 A:n jatkuva virta (Victron Energy 2021c). Akkuvahti ohjelmoitiin katkaisemaan läpimenevä virta, jos jännite laskee säädetyn alarajan alle. Jännitteen palaututtua akustossa säädettyä ylärajaa suuremmaksi akkuvahti kykenee kytkemään virran takaisin päälle pois suljettuun järjestelmän osaan.



Kuva 18. Victron Energy Smart BatteryProtect akkuvahti asennettuna tutkimusvaunuun (Kuva: Tuomas Hirvonen).

5.3 Aggregaatti

Vaunuun hankittiin varasähkönsyötöksi bensiinikäyttöinen ilmajäähdytteinen Hondan EU 30 is-aggregaatti. Aggregaatin suurin jatkuva teho on 2 800 W 230 V:n yksivaiheista vaihtovirtasähköä (Brandt 2021, 41). Aggregaatti sijoitettiin kiinteäksi vaunussa olevaan erilliseen varastokoppitilaan. Aggregaatista poistettiin alkuperäiset renkaat, joiden tilalle asennettiin värinänvaimennuskumit. Värinänvaimennuskumit kiinnitettiin vaunun alapuolelta 8 mm:n paksuisilla pulteilla lattian läpi vaunun runkoon.

Aggregaatin asennus vaati erillisen lisäpakoputken käyttöä. Tätä varten aggregaattiin jouduttiin vaihtamana erilainen itse suunniteltu ja valmistettu

pakoputken pää. Vaunun seinään asennettu pakoputken laipioläpivienti ja pakoputken jatko ostettiin paikalliselta lisälämmitysasennuksia ajoneuvoihin tekevältä yritykseltä. Kyseisellä pakoputkiasennuksella aggregaatin tuottamat pakokaasut saadaan ohjattua suoraan vaunun ulkopuolelle (kuva 19). Painoa aggregaatti asennuksella on 65 kg.



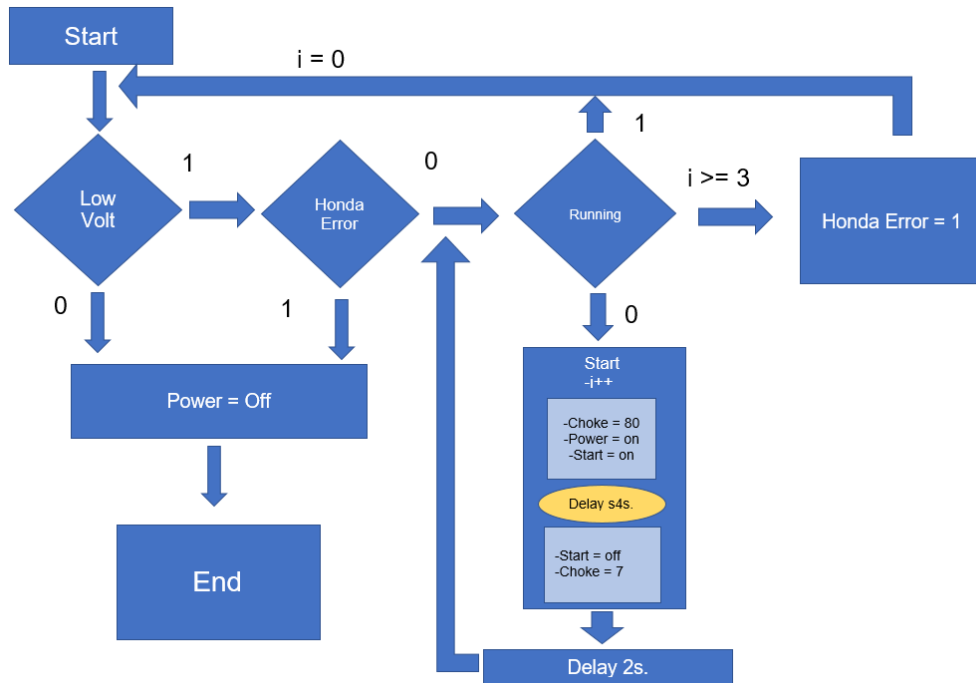
Kuva 19. Lisäpakoputken asennus ja pakoputken seinäläpivienti (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Etäohjausta varten aggregaatissa oleva toinen suojakosketinpistorasia poistettiin ja korvattiin kaapeliläpiviennillä. Tämä oli yksinkertaisin keino saada johdeksi tarvittava kaapelointi aggregaatin sisäpuolelle. Läpivienti toteutettiin alumiinista leikatulla peitepalalla, mihin keskelle kiinnitettiin holkkitiiviste. Tämän yhden holkin läpi vedettiin servon johto ryyryn ohjaukseen, aggregaatin virranohjauksen ja startin ohjauskaapeli sekä sähkökaapeli (kuva 20). Servon ohjauspiuhana käytettiin Mhs 1 x 4 x 0,5 telekaapelia. Aggregaatin virran- ja startinohjaukseen käytettiin Flex 4 x 1,5 ohjauskaapelia. Sähkönsyöttö toteutettiin 3 x 2,5mm²:n kumikaapelilla, joka on toisesta päästään kytketty kiinteästi Quattro-inverteriin.



Kuva 20. Aggregaatin ohjauksen vaatima lisäkaapelointi ja kiinteäksi muutettu sähkönsyöttö (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Aggregaatti on alkuperäisesti sähkökäynnisteinen, mutta ilman etäkäynnistys mahdollisuutta. Tekemillämme muutostöillä aggregaatin käynnistymistä ja sammuttamista voidaan ohjata etänä SYKE:n ECM-verkon kautta, vaunussa olevalla Controllino Mega mikrokontrollerilla sekä manuaalisesti (Kuva 21). Kaapeloinnin lisäksi aggregaatin sisälle asenettiin erillinen esimerkiksi radio-ohjattavissa lentokoneissa käytettävä ohjausservo, jolla ohjataan aggregaatin ryyppyä. Ryyppyn ohjaus ei onneksi vaadi juurikaan mekaanista voimaa ja käytettävissä olevan tilan ahtaus pakotti käyttämään muutenkin mikrokokoista servoa. Servo on ulkomitoiltaan 23 x 12 x 26 mm. Servon käyttöjännite on 4,6 – 6 V ja se saadaan suoraan servoa ohjaavalta Controllinosta. Vaunun ohjauselektronikka kykenee akuston varaustason laskiessa säädetyn raja-arvon alle, itsenäisesti käyttämään aggregaattia akuston lataamiseen ja sähkönsyötön varmistamiseksi. Aggregaattia voidaan vaihtoehtoisesti käyttää käsikäyttöisesti ohittamalla ohjauselektronikka vaunussa olevilla erillisestä ohjainpaneelista.



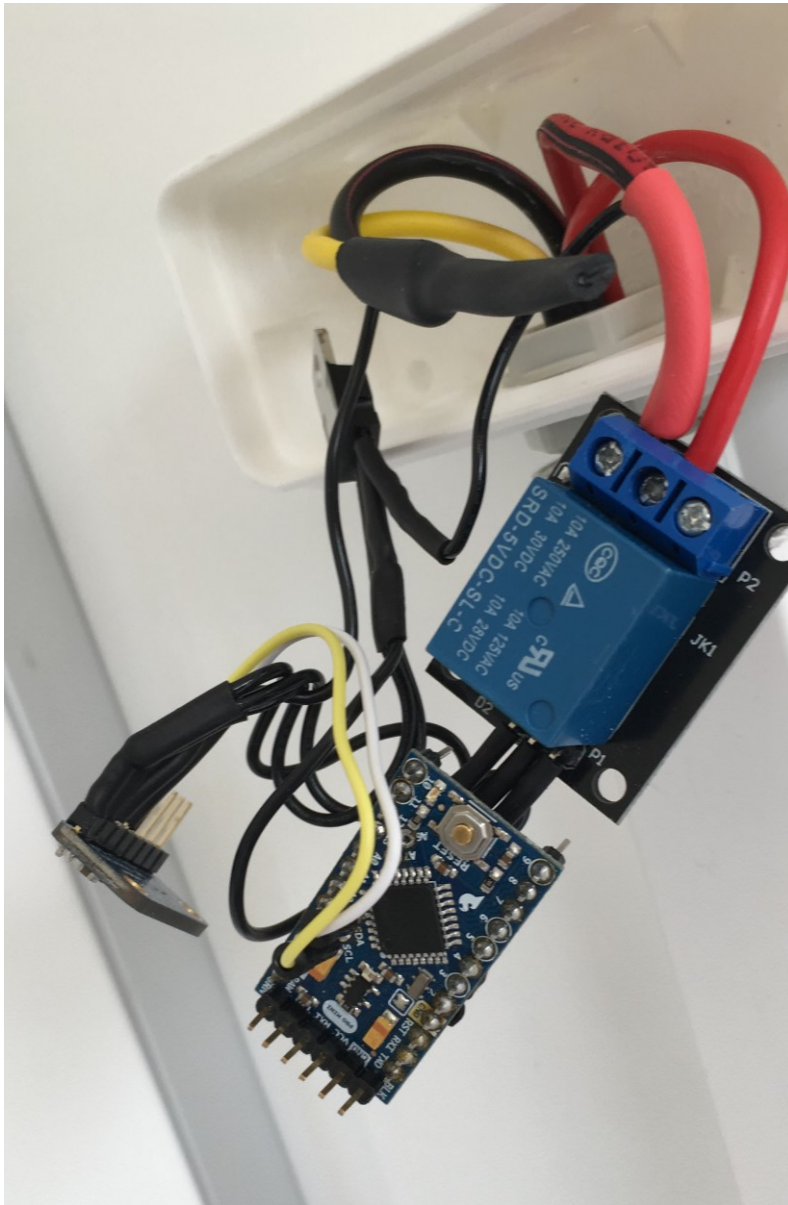
Kuva 21. Vuokaavio Controllino Megan aggregaattille tehdystä ohjausprosessista (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Aggregaatin ilmajäähdytyksen vaatima varastotilan parempi tuuletus toteutettiin lisäämällä tilan katonrajaan ja aggregaatin viereen lattianrajaan yhteensä kolme 125 mm:n tuloilmaventtiiliä. Aggregaatista tuleva kuuma ilma poistetaan tilasta ulkoseinään aggregaatin kohdalle tehdyn 300 mm:n poistoaukon kautta, jonka tehokkuutta parannettiin ulospäin puhaltavalla ajoneuvokäyttöön suunnitellulla sähkökäyttöisellä puhaltimella (kuva 22). Puhallin saa käyttösähkensä suoraan aggregaatin 12 V:n virranulosotosta ja toimii vain aggregaatin ollessa käynnissä.



Kuva 22. Aggregaatista tuleva kuuma ilma poistetaan tilasta ajoneuvokäyttöön tarkoitetulla puhaltimella ulos. (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Puhaltimen toimintaa ohjataan Arduino Pro Minillä, releestä ja lämpötilasensorista rakennetulla ohjelmoitavalla lämpötilatermostaatilla (kuva 23). Termostaatti on sijoitettu asennuskoteloon ylemmäksi seinälle, joka sijaitsee samassa tilassa aggregaatin kanssa. 12 V:n tulojännitettä rajoitetaan erillisellä 7805 mallisella regulaattorilla Arduinolle 5 V:n jännitteeksi. Termostaatti on ohjelmoitu toimimaan niin, että puhallin käynnistyy tilan lämpötilan noustessa yli 30 °C-asteen ja pysähtyy lämpötilan laskiessa 18 °C-asteen alapuolelle. Koko järjestelmä on rakennettu niin, että jos ohjausyksikkö vikaantuisi aggregaatin käydessä, rele kytkeytyy kiinni-asentoon Arduinolta tulevan ohjausvirran kadotessa. Puhallin jatkaa tämän jälkeen toimintaansa ilman termostaattiohjausta.



Kuva 23. Lämpötilasensori, Arduino pro mini, regulaattori ja puhaltimen ohjausrele asennusvaiheessa (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Aggregaatin valmistajan lupaamalla 1,5 l:n enimmäistuntikulutuksella ja täydellä tankilla aggregaatti kykenee laskennallisesti tuottamaan sähköä noin 8 tunnin ajan. Varapolttoainetta varten vaunun toiseen varastokoppiin on säilytystelineeseen kiinnitetty 20 l:n kanisteri. Kanisterissa oleva korkki estää ylitäytönmahdollisuuden ja polttoaineen räiskymistä (kuva 24).



Kuva 24. Aggregaatin varapolttoainetta varten oleva turvakorkillinen 20 l:n kannisteri (Kuva: Tuomas Hirvonen).

5.4 Invertteri ja laturi

Victronin Energyn valmistama Quattro on täysautomaattinen invertterin ja laturin yhdistelmä. Valitun mallin maksimiteho on 3 000 W ja sen tuottama sähkö on siniaaltoista. Tämän lisäksi Quattron on mahdollista toimia tehokkaana 70 A akkulaturina, silloin kun virtaa saadaan ulkopuolisesta sähkölähteestä tai aggregaatin kautta. Tämä on hyvä ominaisuus, jotta tutkimusvaunun akustoa voidaan ladata ilman erillistä laturia.

Quattro-invertteri ei tarvitse ulkopuolista ohjaus vaan toimii täysin itsenäisesti ennalta tehtyjen säätöjen perusteella. Quattro-invertteri malliin voidaan kytkeä kiinteästi kaksi ulkopuolista vaihtovirta syöttöä. Valmistajan ohjeen mukaan mahdollisesti käytettävä aggregaatti tuli kytkeä ensisijaisen virransyöttöön ja maasähköliitäntä sekundaarisyöttöön. (Victron Energy 2020a, 4) Ensisijainen virran syöttö invertteri-laturiin on rajoitettu 12 A:in, koska aggregaatti kykenee tuottamaan maksimissaan 12,2 A:n jatkuvan virran.

Invertterissä on kaksi erillistä vaihtovirtasähkö lähtöä, joita voidaan käyttää eri tavoin. Toinen lähtö syöttää järjestelmään aina sähköä Quattron päällä ollessa riippumatta siitä onko vaunu kiinni ulkopuolisessa sähkönsyötössä tai vaunun toimiessa akustonsa varassa. Vaunun alkuperäinen sähköjärjestelmä saa invertteriltä tästä jatkuvasti sähköä. Toinen lähdöstä syöttää sähköä vain, kun Quattro saa sähkönsä, joko aggregaatilta tai maasähkösyötöltä. Näin vaunun sisäistä sähkönkulutusta voidaan ohjata. Esimerkiksi suorasähköllä toimiva patterilämmitys ja lämminvesivaraaja kytkeytyvät päälle vain tilanteessa, kun vaunu saa sähkönsä muualta kuin akustolta. Tällä tavalla vaunun akustoa ei kuormiteta edellä mainitun kaltaisiin vähemmän tärkeisiin käyttökohteisiin. Vaunuun nyt tehty lisäpistorasia asennus on asianmukaisen vikavirtasuojan ja varokkeen takana.

Invertteri-laturi asennettiin vaunun suurempaan varastokoppiin, samaan tilaan aggregaatin ja aurinkosähköjärjestelmän säätimen kanssa (kuva 7). Invertterin seinäkiinnitystä varten mukana tuli asennusrauta, joka pultattiin väliseinän läpi uppokantaisilla ruostumattomilla 5 mm paksuisilla koneruuveilla (kuva 25). Invertterin 19 kg painon vuoksi seinän toiselle puolelle asennettiin 25 x 6 x 0,5 cm alumiininen tukilevy estämään muttereiden seinän läpi uppoaminen (kuva 24).



Kuva 25. Invertterin kiinnitystä varten seinään pultattu asennusrauta (Kuva: Tuomas Hirvonen).

5.5 Johtoasennukset

Kaapelointeja varten vaunuun seinustoille asennettiin 60 x 58 mm:n kaapelikourut akkukoteloiden välille. Samaa koteloa käytettiin varastokopissa, johon on sijoitettuna aggregaatin lisäksi aurinkopaneeleiden lataussäädin sekä Quarttro-invertteri ja koko järjestelmän päävirtakytkin (kuva 26).



Kuva 26. Akkumonitorin shuntti ylempänä ja akuston päävirtakatkaisin (punainen rasia) (Kuva: Tuomas Hirvonen).

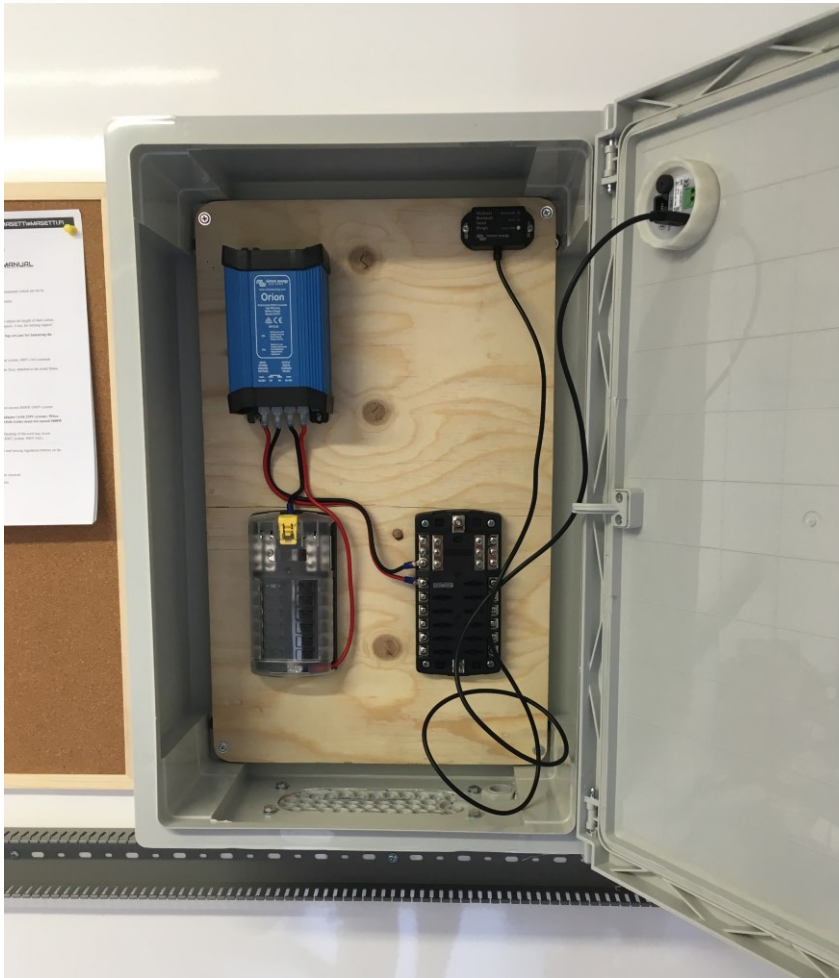
Akusto, invertteri ja aurinkopaneelien lataussäädin varustettiin päävirtakytkimellä. Käsi­käyttöiset virtakytkimet ovat Blue Sea Systemsin valmistamat ja ne ovat kipinäsuojattuja, merelliseen käyttöön suunniteltuja (kuva 27). Kyt­kinten suurin suositeltu käyttöjännite on 32 V ja virta 350 A jatkuvana tai 30 sekuntia 1200 A kuormituksella (Blue Sea Systems 2021a). Kaapeleiden liittäminen tehtiin kytkimissä olevilla M10 pulttiliitoksien.



Kuva 27. Aurinkosähköjärjestelmän ja invertteri-laturin päävirtakatkaisimet (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Vaunuun asennettiin myös kaksi erillistä asennuskotelo, joista toiseen sijoitettiin päävirtakytkin ja toiseen 24/12 V:n DC-DC muunnin, 12 V:n ja 24 V:n sulaketaulut. Controllinon Megaa varten työskentelytilan seinälle asennettiin 8-moduulin DIN-aukkoisen kotelo. Päävirtakytkimen kanssa samaan 361 x 254 x 111 mm:n kokoiseen koteloon sijoitimme myös akuston energiankulutusta mittaavan SmartShunt-akkumonitorin anturin. Vaunun työskentelytilojen puolelle tullesseen VCP 5005, 400 x 600 x 200 mm:n koteloon tuli taustalevyksi vanerilevy, johon asennukset voitiin helposti tehdä puuruuveja käyttämällä. Kyseiseen koteloon asennettiin 24 V:n sulakerasia, josta virtansa saa esimerkiksi Victron Energyn valmistama Orion DC-DC 24-12 V:n muunnin, paineilmakompressori sekä Controllinon Mega. Samaan asennuskoteloon on sijoitettuna myös DC-DC muuntimelta virtansa saava 12 V:n sulakerasia. Kummatkin sulakerasiat ovat Blue Sea Systems'in valmistamat miinus maalla varustettuja, 12 piirisiä 32 V:n ja 100 A:n maksimi virran kestäviä rasioita (kuva 28). Sulakkeina näissä

käytetään midi kokoisia vakiolattasulakkeita. Yksittäisen piirin maksimikuorma voi olla 30 A. (Blue Sea Systems 2021b.)



Kuva 28. 12 ja 24 V:n käyttösähköjen sulakerasiat sekä DC-DC-muunnin asennettuna. Kotelon ovesa akkumonitorin näyttö (Kuva: Tuomas Hirvonen).

12 V:n järjestelmän yhteenlaskettu maksimaalinen virta määräytyy muuntimen kapasiteetin mukaan. Jatkuvaa virtaa muunnin kykenee antamaan 25 A ja hetkellinen huipputeho on 35 A. Muunnin ottaa virtansa 24 V:n sulaketauluun kytketyn 25 A:n lattasulakkeen takaa. Sulakkeella pyritään suojaamaan muunninta ylikuormitukselta. (Victron Energy 2021a.)

Virran ottaminen 24/12 V:n sulakerasioilta tapahtuu erillisillä johdoilla, joihin asennetaan puristettava haarukka- tai silmukkamallinen abiko-liitin. Ennen 24 V:n sulakerasiaa on asennettu 40 A:n midisulake omaan koteloonsa, ja sen tarkoitus on suojata järjestelmä ylikuormittumiselta. Myös akusto on suojattu kahdella 150 A:n Mega-mallisella sulakkeella ylikuormitukselta, sulakkeet ovat sijoitettuna kumpaankin akkukoteloon (kuva 29). Toinen sulakkeista on akustosta

lähtevässä plus kaapelissa ja toinen miinus kaapelissa. Kyseisen malliset sulakkeet ovat kertakäyttöisiä, kipinäsuojattuja ja vaihdettava ylikuormituksesta johtuvan rikkoutumisen jälkeen uutteen.



Kuva 29. 35 mm² kaapeli asennettuna 35-8 kaapelikengällä ja kutistesukalla. Kuvassa keskellä sulakekotelo ja 150 A Mega-sulake (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Vaunun akuston, päävirtakytkimen ja Quattro invertterin yhdistävä sähkökaapelointi tehtiin muovivaippaisella 35 mm²:n monisäikeisellä kuparikaapelilla. Kaapelien päät tehtiin puristettavilla kaapelikengillä, joiden päälle asensimme kutistemuovisukat. Plus-napoihin tarkoitetuissa kaapeleissa käytimme punaista kutistemuovia kaapeleiden tunnistettavuuden parantamiseksi (kuva 28).

Käytetyn 35 mm² kaapelin kokonaispituus on 20 m. Kaapeloinnin aiheuttamaa vastusta voidaan laskea kaavan 2 avulla.

$$R = \rho_R \frac{l}{A} \quad (2)$$

missä

R	= vastus, yksikkö Ω
ρ_R	= kuparin resistiivisyys 20 °C lämpötilassa
l	= johtimen pituus
A	= johtimen poikkipinta-ala.

$$\text{Tällöin } R = 1,678 * 10^{-8} \Omega \text{m} \frac{20 \text{ m}}{35 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,009828 \Omega$$

kun kuparin resistiivisyys 20 °C lämpötilassa on 1,678 *10⁻⁸ Ωm (MAOL 2004, 90).

Vastaavasti kaapeloinnin sisäinen vastus aiheuttaa jännitehäviön. Jännitehäviö on laskettavissa kaavalla 3.

$$U = RI \tag{3}$$

missä

U	= Jännitehäviö, yksikkö V
R	= vastus, yksikkö Ω
I	= Maksi kuorma, yksikkö A.

Maksimi kuorma akusta invertterille 150 A, jolloin 0,009828 Ω * 150 A = 1,44 V.

Maksimi kuorma invertteriltä akustolle 70 A, jolloin 0,009828 Ω * 70 A = 0,67 V.

Suurin tehohäviö voidaan laskea kaavalla 4.

$$P = UI \tag{4}$$

missä

P	= Teho, yksikkö W
U	= Jännitehäviö, yksikkö V
I	= Maksi kuorma, yksikkö A.

Tällöin se vastaa 1,44 V * 150 A = 216 W tehoa.

Laskennallinen huipputeho saadaan myös hyödyntäen kaavaa kolme:

$$24 \text{ V} * 150 \text{ A} = 3\,600 \text{ W}.$$

Suhteutettuna tehohäviö huipputehoon saadaan prosentuaalinen hyötysuhde kaavalla 5.

$$\eta = 1 - \frac{P_{\text{hukka}}}{P_{\text{max}}} \tag{5}$$

Missä

η = Hyötysuhde

P_{hukka} = Tehohäviö

P_{max} = Huipputeho.

Tällöin hyötysuhteeksi saatiin $1 - \frac{216 \text{ w}}{3\ 600 \text{ w}} = 0,94 = 94 \%$.

Kaapelointi aurinkopaneelin säätimeltä päävirtakytkimelle ja siitä 24 V:n sulake-
taululle tehtiin 16 mm²:n kaapelia käyttämällä. Kaapeleiden päät tehtiin samoin,
kun paksummissa kaapeliasennuksissakin, eli puristettavin kaapelikengin ja ku-
tistemuoviputkea käyttämällä. Ohuempaa kaapelia käytimme siksi, että kaape-
loinnin kokonaispituus on 10 m, kummatkin plus ja miinus johtimet mukaan las-
kettuna. Aurinkopaneelisäätimen osuus johdotuksesta on 5,5 metriä. Virran
maksimimäärä aurinkosähköjärjestelmältä on 42 A.

Kaapeleiden aiheuttaman vastuksen suuruus aurinkosähköjärjestelmän sääti-
meltä päävirtakatkaisimelle voidaan laskea kaavalla kaksi:

$$R = 17,2 * 10^{-9} \Omega \text{m} \frac{5,5 \text{ m}}{16 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 0.0059125 \Omega$$

Jännitehäviö on laskettavissa kaavalla kolme:

$$0,0057681 \Omega * 42 \text{ A} = 0,2422602 \text{ V}$$

Tehohäviö saadaan käyttämällä kaavaa neljä:

$$0,23 \text{ V} * 42 \text{ A} = 10,17 \text{ W}$$

Hyötysuhde aurinkosähköjärjestelmän kaapeloinnille saadaan kaavalla viisi:

$$1 - \frac{10,17 \text{ w}}{990 \text{ w}} = 0,989 = 99 \%$$

Tämä häviöiden pieni prosentuaalinen osuus huomioiden, aurinkosähköjärjes-
telmän ja sulakerasialle menevä kaapelointi ei vaadi paksumpaa johdotusta.

6 Käyttöttestaus

Mittausalusta valmistui loppukesästä 2020. Hankkeen edetessä suoritettujen testien perusteella sen nyt rakennetut sähköjärjestelmät toimivat, kuten on alku- peräisesti suunniteltu.

Aurinkopaneelilta saatiin eri mittausjaksojen aikana tasaista noin 10 A:n latausvirtaa akustolle (kuva 30). Paneelijärjestelmän huipputehoja mittaamiseksi tulisi koko järjestelmää pystyä kuormittamaan samaan aikaan tai akun varaustasoa laskemaan riittävän alas, jotta säädin alkaisi tuottamaan ylläpitovirran sijaan isompaa latausvirtaa. Hetkelliseksi suurimmaksi latausvirraksi applikaation kautta historiatietoja selatessa saatiin 760 W:n teho.



Kuva 30. Akkumonitorin näyttö. Aurinkopaneelilta tulevaa sähkö menee akustolle 9,54 A virralla (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Suoritetun kahden tunnin mittaisen maksimi rasitustestin aikana akustoa kuormitettiin yhtäjaksoisesti maksimissaan 143 A:n virralla. Kahden tunnin jälkeen akuston varaustasosta oli jäljellä 58 %. Maksimikuormalla akustolta tulevat kaapelit lämpenevät jonkin verran, mutta eivät muuttuneet kuumiksi. Akuston kuormitusta tulee kuitenkin vielä jatkossa mitata tarkemmin nykyisen sulakekoon ja kaapeloinnin riittävyyden varmistamiseksi.

Tehdyt muutokset alkuperäiseen vaunun sähköasennukseen tarkastutettiin ulkopuolisella tarkastajalla.

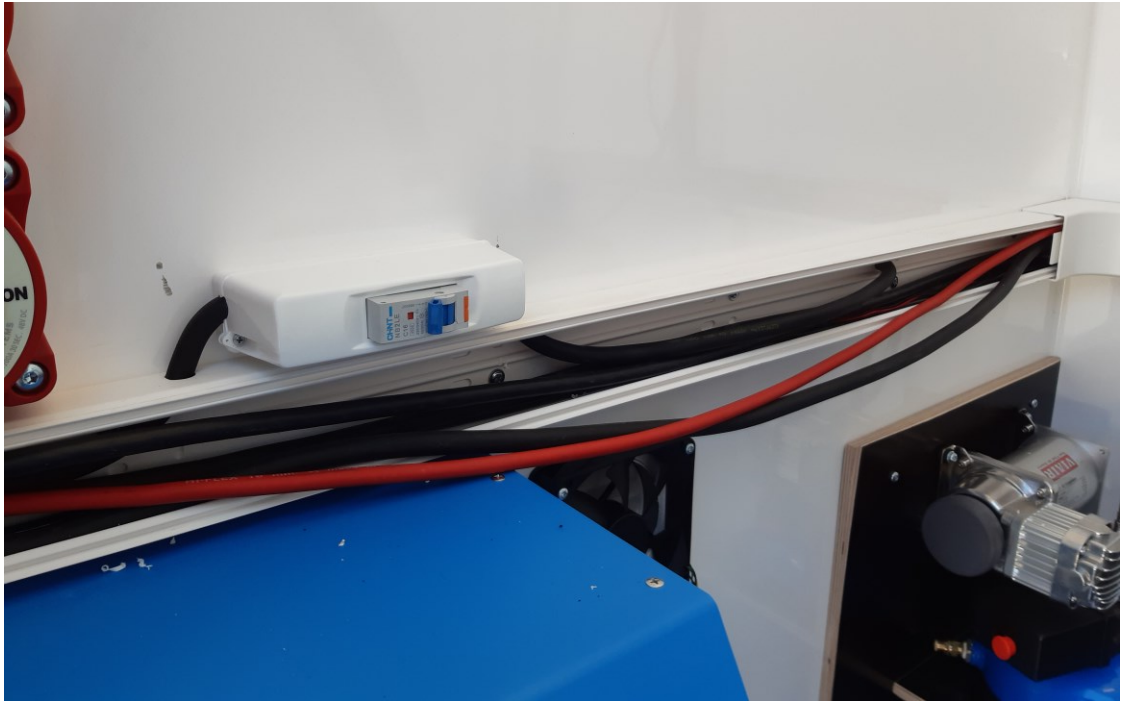
7 Harkinnanvaraiset muutostyöt

Kehitystyössä saavutettiin hankkeelle asetetut odotukset. Vaunu sellaisenaan on todettu kokonaisuudeksi toimivaksi ja turvalliseksi käyttää. Mutta joitakin yksittäisiä muutostarpeita tuli esille projektin edetessä tai vaunun valmistuttua.

Kaapeloinnin hyötysuhteen parantaminen erilaisin menetelmin on kohteessa hyvin rajoitettua. Kaapeloinnissa voidaan tarvittaessa siirtyä käyttämään 50 mm²:n tai jopa 70 mm²:n virtakaapelia. Näistä paksumman vaihtoehdon käyttö nostaisi maksimitehon hyötysuhdetta 3 %, jolloin kokonaishyötysuhteeksi muodostuisi 97 %. Itse kaapelin vaihdosta syntyvä kustannus on kohtuullinen, varsinkin jos nykyisen olemassa olevan kaapelin rinnalle asennetaan saman paksuinen 35 mm²:n virtakaapeli. Kaapeleiden yhteenlaskettu poikkipinta-ala olisi tällöin 70 mm². Kyseisen asennuksen suurin hankaluus on erillisten päävirtasulakkeiden terminaalien pieni koko, joihin oli hankalaa saada mahdutetuksi edes yksi 35 mm²:n virtakaapeli. Vaunua ei kuitenkaan ole alkuperäisesti suunniteltu tuottamaan jatkuvaa huipputehoa akustolla, vaan kaapelointi on pyritty optimoimaan suurimman latausvirran mukaan. Kaapeloinnin, kaapelikenkien, virtakytkinten yksittäistä- tai kokonaisvastusta ei mitattu.

Suurimpia tehtäviä muutoksia olisi akuston sijoittaminen mahdollisesti vaunun korin ja akseliston väliin kiinnitettävään esimerkiksi alumiinista valmistettavaan koteloon. Kotelo olisi helpointa asentaa paikalleen jo vaunun valmistusvaiheessa perävaununvalmistajan tehtaalla. Akuston huolto ja vaihto tehtäisiin vaunun sisäpuolella olevan lattialuukun kautta. Tällä ratkaisulla akuston vau-nulle aiheuttama lisäpaino saataisiin kohdistumaan mahdollisimman matalle ja keskelle vaunua. Ratkaisun muina hyötyinä tulisi käytetyn kaapeloinnin usean metrin lyheneminen akustolta päävirtakytkimelle ja akkumonitorille. Kaapelien lyhentyessä myös näiden vastus pienenesi, mikä parantaisi vastaavasti hyötysuhdetta. Rajoittavana tekijänä ratkaisussa on tilan mataluus, jolloin nyt valittua akustotyyppiä ei voitaisi sen korkeuden vuoksi käyttää.

Kaapelikourujen koko on haaste tulevaisuudessa, koska näissä oleva vapaa tila on jo nyt lähes kokonaan käytetty vaunun isomman varastokopin puolella. Tulevaisuudessa kaapelointia muutettaessa olisi siis hyvä asentaa samalla uudet isommat, esimerkiksi 100 mm tai 120 mm korkeat kaapelikotelot (kuva 31).



Kuva 31. Olemassa olevat johtokourut käyvät ahtaaksi nykyiselle johdotukselle (Kuva: Tuomas Hirvonen).

Quattro-invertteri kykenee syöttämään 3 000 W ja 230 V puhdasta siniaaltoista vaihtovirtaa (Victron Energy 2021b). Vaunussa alkuperäisessä sähkökeskussa olevat varokkeet ovat C16-mallisia, jotka voisi vaihtaa C10-mallisiin. C16-mallisen johdonsuojakatkaisimen laukaisukuoritus on 30 °C lämpötilassa 16A tai 3 680 W ja C10-mallisen 10 A tai 2 300 W (UTU 2021, 4). Tällä varokkeiden vaihdolla pyrittäisiin suojaamaan invertteriä ja yksittäisiä pistorasioita tahattomalta ylikuormitukselta.

12 V:n jännitettä tuottavan muuntimen suurin tuotto on tällä hetkellä 25 A.

Vaikka käytössä olevat mittalaitteet eivät juurikaan kuluta muutamaa ampeeria enempää virtaa, voi tulevaisuudessa eteen tulla tilanne, jolloin 25 A:n kulutus ylitetään. Teoreettinen mahdollisuus on, että olemassa olevasta kahdesta 12 V:n tupakansytytin pistokkeista otetaan kummastakin samanaikaisesti 10 A virtaa muun kuorman lisäksi. Tilanteen tulisi aiheuttaa sulaketaululla olevan 25 A:n sulakkeen rikkoutumisen ylikuormituksesta. Sulakkeen kokoa ei voi kasvattaa isommaksi vaihtamatta samalla DC-DC-muunninta suuremmaksi. Kyseisestä

muuntimesta on olemassa 40 A:n ja 70 A:n mallit, joilla vastaavaa virran riittävyys ongelmaa ei tulisi. Nykyisen 24 V:n sulaketaulun yksittäisen piirin maksimivirta voi olla 30 A, joka on myös huomioitava mahdollista muutosta tehtäessä. Yksinkertaisin tapa ratkaista tämänkaltainen ongelma on lisätä toinen 25 A:n DC-DC-muunnin ja 12 V:n sulaketaulu. Syntyvät kuorma voidaan jakaa näiden kahden muuntimen kesken oikeanlaisella mitoituksella. (Victron Energy 2021a.)

Tulevaisuudessa vaunun varustelun edetessä ja käytön aikana voi ilmetä lisää kehittämistä tai muutostöitä vaativia kohteita.

Lähteet

- Blanchard, J. 2005. Radioisotope Batteries for MEMS. <https://blanchard.engr.wisc.edu/res/BlanchardKorea.pdf>. 13.4.2021.
- Blue Sea Systems. 2021a. e-Series On Off Battery Switch, 9903e. https://www.blueseasystems.com/products/9003e/e-Series_On_Off_Battery_Switch. 23.1.2021.
- Blue Sea Systems. 2021b. ST Blade Fuse Block - 12 Circuits with Negative Bus and Cover. https://www.blueseasystems.com/products/5026/ST_Blade_Fuse_Block_-_12_Circuits_with_Negative_Bus_and_Cover. 29.4.2021.
- Brandt. 2021. Honda käyttö- ja huolto-ohjeet EU26i, EU30i. <https://www.hondapower.fi/content/download/23370/194833/file/EU26i%20EU30is.pdf>. 29.4.2021.
- Controllino. 2021. Controllino Mega. <https://www.controllino.com/product/controllino-mega/>. 2.4.2021.
- Digita. 2021. 10 faktaa LoRaWAN- ja NB-IoT-tekniikasta. <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/iot/lorawan-teknologia/10-faktaa-lorawan-ja-nb-iot-tekniikasta/>. 29.4.2021.
- Erillisverkot. 2021. Viranomaisverkko Virve. <https://www.erillisverkot.fi/virve-palvelut/>. 29.4.2021.
- Lepistö, A., Kallio, K., Pitkänen, H., Raateoja, M., Röman, E., Seppälä, J., Suomela, J., Tarvainen, M., Tattari, S. 2018. Jatkuvatoimisten vedenlaatuasemien valtakunnallinen verkosto. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/288724/SYKEra_32_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 28.4.2021.
- Kupiainen, K., Pirjola, L., Ritola, R., Stojiljkovic, A., Malinen, A. 2013. Talvirenkaiden pölypäästöt ja eri katupölylähteiden osuudet kadunvarrella kerätyissä hiukkasnäytteissä. https://www.hsy.fi/globalassets/ilmanlaatu-ja-ilmasto/tiedostot/3_2013_talvirenkaiden_polyaastot_netti.pdf. 29.4.2021.
- Maatela, P. 2019. CBRN-kenttälaboratorio – prototyypistä menestystarinaksi. <https://urly.fi/21pp>. 14.2.2021.
- Malkki, M. 2003. Tyypidioksidimääritykset 2003, pääkaupunkiseutu. https://www.hsy.fi/globalassets/ilmanlaatu-ja-ilmasto/tiedostot/1_2003_tyypidioksidimaaritykset2003.pdf. 24.4.2021.
- MAOL. 2004. MAOL-taulukot. 1.–5. uudistettu painos. Helsinki: Otava.
- Motiva. 2020. Akut. https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut. 23.3.2021.
- Optoseven. 2019. FSA-CT1000UV COD and Turbidity Liquid Analyser. https://www.optoseven.com/wp-content/uploads/2019/05/Optoseven-FSA-CT1000_web.pdf. 29.4.2021.
- Rautatiehallitus. 1961. Rautatiehallituksen kertomus vuodelta 1959. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/171787/rth129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 23.4.2021.
- Rautatiehallitus. 1962. Rautatiehallituksen kertomus vuodelta 1960. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/171789/rth131.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 23.4.2021.
- Rautatiehallitus. 1987. Valtionrautatiet 1962–1987. 1. painos. Helsinki: Rautatiehallitus.
- Salo Solar. 2021. Salo Tech. <https://www.arevasolar.fi/fi/salosolar>. 29.4.2021.

- SFS-EN IEC 62485-2. 2018. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikallisakut. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/717980.html.stx>. 25.4.2021.
- THL. 2021. Autoklinikka-tutkimukset. <https://thl.fi/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/tutkimukset-ja-hankkeet/autoklinikka-tutkimukset>. 27.4.2021.
- Traficom. 2021. Radiolinkeillä kiinteitä tiedonsiirtoyhteyksiä. <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/radiolinkeilla-kiinteita-tiedonsiirtoyhteyksia>. 29.4.2021.
- UTU. 2021. Johdonsuojakatkaisimet. <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>. 23.4.2021.
- Valtioneuvoston asetus ilmalaadusta 79/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170079>. 24.4.2021.
- Victron Energy. 2020a. Käyttöohje Quattro. [https://www.victron-energy.fi/upload/documents/Manual-Quattro-3k-50-50A-230V-\(firmware-xxxx4xx\)-FI.pdf](https://www.victron-energy.fi/upload/documents/Manual-Quattro-3k-50-50A-230V-(firmware-xxxx4xx)-FI.pdf). 29.4.2021.
- Victron Energy. 2020b. Käyttöohje SmartSolar-lataussäätimet. <https://www.victronenergy.fi/upload/documents/Manual-SmartSolar-charge-controller-MPPT-150-45-to-150-100--250-60-to-250-100-FI.pdf>. 29.4.2021.
- Victron Energy. 2021a. Orion DC-DC Converters, high power. <https://www.victronenergy.fi/upload/documents/Datasheet-Orion-DC-DC-converters-high-power,-non-isolated-EN.pdf>. 29.4.2021.
- Victron Energy. 2021b. Quattro. <https://www.victronenergy.com/inverters-chargers/quattro>. 29.04.2021.
- Victron Energy. 2021c. Smart BatteryProtect 65A/100A/220A. <https://www.victronenergy.fi/upload/documents/Datasheet-Smart-Battery-Protect-65-A--100-A--220-A-EN-.pdf>. 29.4.2021.