

Matias Laukka

## **HYBRIDIAJONEUVON KORKEAJÄNNITEAKUN MUUTTAMINEN OPETUS- KÄYTTÖÖN**

# HYBRIDIAJONEUVON KORKEAJÄNNITEAKUN MUUTTAMINEN OPETUS- KÄYTTÖÖN

Matias Laukka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Konetekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka, Auto- ja työkonetekniikka

---

Tekijä: Matias Laukka

Opinnäytetyön nimi: Hybridiajoneuvon korkeajänniteakun muuttaminen opetuskäyttöön

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 26 + 11 liitettä

---

Tässä päiväkirjamuotoisessa opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin korkeajänniteakun muutostyöt opetuskäyttöä varten. Työn tilaajana on Oulun ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorio. Työn ensisijaisena tavoitteena oli tehdä turvallinen ja käytännöllinen alkuperäistä akustoa vastaava tuote käytettäväksi autoalalle suunnatussa SFS-6002-sähkötyöturvallisuuskoulutuksessa ja jännitetyökoulutuksessa.

Autolaboratorioon on hankittu Volvo XC60 -hybridiauton korkeajänniteakku, johon muutostyö oli tarkoitus tehdä. Korkeajänniteakun jännite on alkuperäisenä 360 V ja oikosulkuvirta satoja ampeereita, joten käyttö opiskelijoiden koulutuksessa olisi ollut pahimmassa tapauksessa hengenvaarallista. Muutostyön tarkoituksena oli poistaa alkuperäiset akkukennot korkeajänniteakun sisältä ja valmistaa itse 3D-mallinnusta ja -tulostusta hyödyntäen alkuperäisiä vastaavat kennomodulit. Olenaisista on se, että valmistettujen kennojen täytyy asentua akun sisälle täysin vastaavasti kuin alkuperäisten, jotta niitä voidaan käyttää koulutuksessa. Kennomoduleihin lisättiin paristot, joilla jännite saatiin alkuperäiselle tasolle ja oikosulkuvirta rajoitettiin vastuksilla turvalliselle tasolle, jolloin akkua on täysin turvallista käyttää koulutuksessa.

---

Asiasanat: ajoneuvotekniikka, korkeajänniteakku, hybridiajoneuvo, 3D-tulostus, 3D-mallinnus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical Engineering, Automotive and Heavy Equipment Engineering

---

Author: Matias Laukka

Title of thesis: Adapting a hybrid vehicle's high-voltage battery for educational use

Supervisor: Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 26 + 11 appendices

---

In this diary-format thesis, modifications for a high-voltage battery are designed and implemented for educational purposes. The client for this work is the laboratory of automotive and heavy equipment engineering at Oulu University of Applied Sciences. The primary objective of the project was to create a completely safe and practical product resembling the original battery for use in SFS-6002 electrical safety training and high-voltage training in the automotive industry.

A high-voltage battery from a Volvo XC60 hybrid car was acquired for modification in the automotive laboratory. The original voltage of the high-voltage battery is 360 V, and the short-circuit current is in the hundreds of amperes, making it potentially life-threatening for student training. The purpose of the modification was to remove the original battery cells from the high-voltage battery and manufacture custom 3D-modeled and 3D-printed cell modules that replicate the originals. It is crucial that the manufactured cell modules fit inside the battery in the same way as the original cells, allowing them to be used in training. Batteries were added to the cell modules to bring the voltage back to the original level, and the short-circuit current was limited with resistors to a safe level, making the battery completely safe for use in training.

---

Keywords: Automotive technology, high voltage battery, hybrid vehicle, 3D-printing, 3D-modeling

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TAUSTA .....	7
3	3D-SUUNNITTELU .....	8
3.1	Parametrinen piirremallinnus .....	8
3.2	Parametrisuus .....	8
3.3	Piirremallinnus .....	8
4	3D-TULOSTUS .....	10
5	PLUG IN -HYBRIDIAJONEUVON TEKNIikka .....	11
6	TYÖN VIIKOITTAISEN ETENEMISEN RAPORTOINTI .....	13
6.1	Viikko 1, työvaiheiden suunnittelu ja aloitus .....	13
6.2	Viikko 2, säilytysvaunun suunnittelu ja kasaus .....	13
6.3	Viikko 3, kennomodulin suunnittelun aloitus .....	16
6.4	Viikko 4, jäähdytyslinjojen suunnittelu .....	17
6.5	Viikko 5, kennomodulin kannen ja BMS:n suunnittelu .....	18
6.6	Viikko 6, rungon leikkaus vanerista ja prototyypin kasaus .....	19
6.7	Viikko 7, sähköjärjestelmän suunnittelu ja toteutus .....	20
6.8	Viikko 8, akun kasaaminen ja työn viimeistely .....	23
7	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	25
	LÄHTEET .....	26
	LIITTEET .....	24

# 1 JOHDANTO

Tässä päiväkirjamuotoisessa opinnäytetyössä muutetaan hybridiajoneuvon korkeajänniteakku opetuskäyttöön sopivaksi. Työn tilaajana on Oulun ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan laboratorio. Tällä hetkellä autolaboratoriossa ei ole ollenkaan konkreettista oppimisalustaa koulutuksia varten ja alkuperäiskuntoisen korkeajänniteakun käyttö koulutuksessa on turvallisuusriski akun säilytyksen ja opiskelijoiden turvallisuuden kannalta. Tämän ongelman pohjalta saatiin hyvä tilaisuus tehdä aiheesta opinnäytetyö.

Oulun ammattikorkeakoulun autolaboratorio on yksi Suomen monipuolisimmista autoalan oppimisympäristöistä, joka on erikoistunut nykyaikaiseen ja tulevaisuuden sähkö- ja polttomoottoritekniikkaan sekä autoelektroniikkaan ja turvajärjestelmiin (1). Tämän opinnäytetyön tarkoitus on laajentaa laboratorion opetusmahdollisuuksia ja parantaa sähkötyöturvallisuuskurssien sisältöä.

Opinnäytetyössä suunnitellaan ja toteutetaan korkeajänniteakun muutostyöt. Akkua varten suunnitellaan säilytysvaunu ja alkuperäiset kennomodulit poistetaan sekä niiden tilalle suunnitellaan vastaavat kennomodulit. Osien suunnittelu toteutetaan Solidworksin 3D-ohjelmalla. Kennoihin tehdään yksinkertainen sähköjärjestelmä, jolla saadaan nostettua jännite alkuperäiselle tasolle turvallisesti.

Valmista tuotetta on tarkoitus käyttää Oulun ammattikorkeakoulun järjestämässä autoalan SFS-6002-sähkötyöturvallisuus- ja jännitetyökoulutuksissa. Koulutuksessa on tavoitteena pystyä suorittamaan myös kennomodulien vikasimulointia. Akku on olennaista pystyä purkamaan ja kokoamaan täysin valmistajan ohjeen mukaan, eli muutostyöt tehdään vaikuttamatta radikaalisti akun rakenteeseen.

## 2 TAUSTA

Vuoden 2022 syksyn konetekniikan pitching-tapahtumassa Oulun ammattikorkeakoulun auto- ja työkonetekniikan lehtori Janne Ilomäki esitteli idean muuttaa hybridiajoneuvon korkeajänniteakku koulutuskäyttöä varten. Autolaboratorioon oli hankittu kolaroidusta Volvo XC60 -hybridi-autosta akku (kuva 1), jota tullaan hyödyntämään sähkö- ja hybridi-ajoneuvotekniikan opetuksessa.



*KUVA 1. Korkeajänniteakun runko*

Varsinainen projektin toteutus aloitettiin tammikuun alussa aloituspalaverissa sovittujen asioiden perusteella. Ensimmäisenä tavoitteena on suunnitella akulle kuljetus- ja säilytysalusta sekä 3D-mallintaa akkukennon pohja ja kansi, BMS, jäähdytyslinjat ja sähköjärjestelmän osat 3D-tulostusta varten. Tarkoituksena on suunnitella mahdollisimman yksinkertainen mutta toimiva malli alkuperäisen lithium-ion-kennomodulin tilalle.

Tulostustyö tullaan tekemään Oamkin hybridilaboratoriossa, jossa on tarvittava laitteisto. 3D-tulostus on hidasta ja sille tulee varata useita päiviä aikaa, sillä tulostettavia osia on paljon. Tulostusprosessia voi nopeuttaa nostamalla kerroskorkeutta ja laskemalla materiaalivahvuutta sekä täytön määrää. Tässä tapauksessa pinnanlaadussa voi hieman tinkiä, sillä tarkoitus ei ole saada esteettisesti täydellistä osaa mutta materiaalivahvuuden ja täytön kanssa ei säästetä, sillä osat ovat jatkuvassa käytössä ja niiden pitää kestää kolhujakin.

### **3 3D-SUUNNITTELU**

Opinnäytetyön päätyökaluna on Solidworks 3D -mallinnusohjelma. Se on Dassault Systemesin kehittämä edistynyt ohjelmisto, jota käytetään mekaniikkasuunnittelussa. Solidworksin avulla voidaan luoda konkreettisista esineistä tarkkoja malleja digitaaliseen muotoon ja siirtää 3D-tulostusohjelmaan (2).

#### **3.1 Parametrinen piirremallinnus**

Opinnäytetyössä esitellyt 3D-mallit on suunniteltu käyttäen parametrista piirremallinnusta. Se tarkoittaa käytännössä tietokoneavusteista suunnitteluohjelmistoa, jonka avulla kappale mallinetaan kolmiulotteisen geometrian avulla. Ohjelmistossa voidaan tehdä kappaleista digitaalisia kokoonpanoja, joiden avulla selvitetään fyysisessä kokoonpanossa mahdollisesti esille tulevat yhteensopimattomuuden aiheuttavat rakennevirheet. (3, s. 23–24.)

#### **3.2 Parametrisuus**

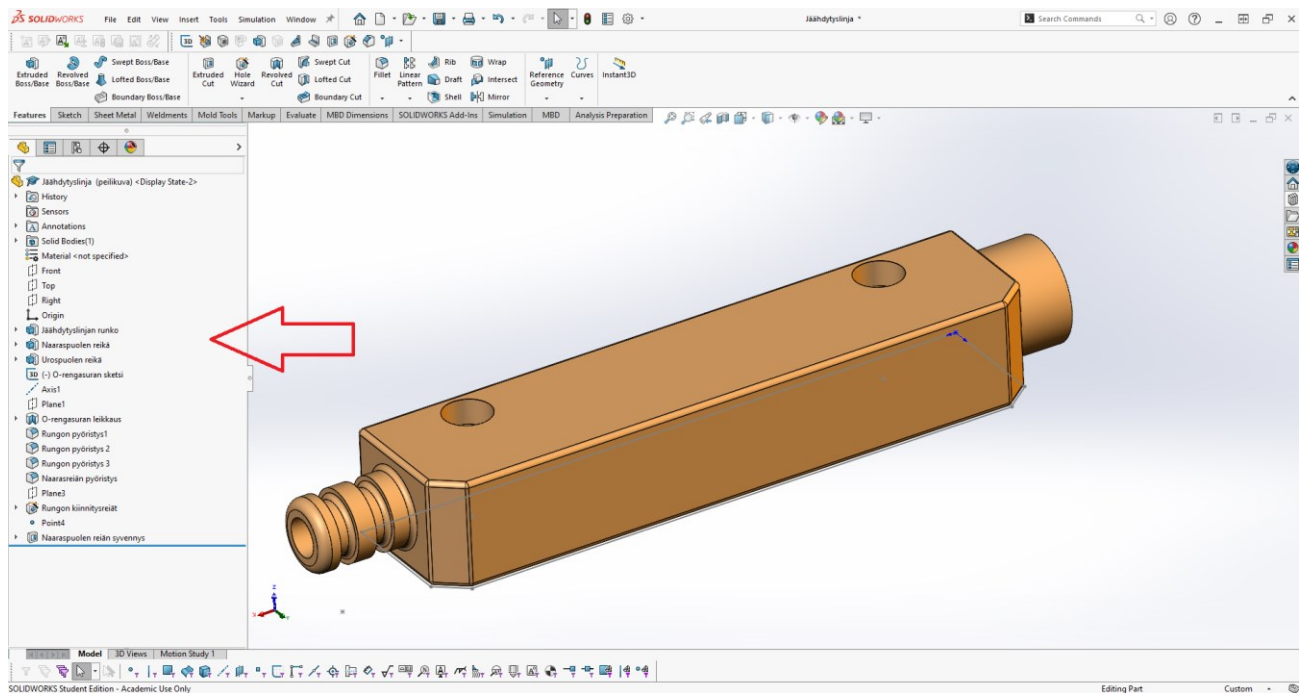
Parametrisuus tarkoittaa käytännössä sitä, että kappaleen mittoja voi muuttaa missä tahansa vaiheessa mallinnusta siten, että kappaleen geometria muuttuu. Parametrisuus helpottaa suunnittelua, koska usein suunnittelun alkuvaiheessa ei vielä tiedetä tarkasti kaikkia kappaleen lopullisia mittoja ja tätä tekniikkaa hyödyntäessä mitat voidaan tarkentaa vasta suunnittelun loppuvaiheessa. (3, s. 23.)

#### **3.3 Piirremallinnus**

Piirremallinnus tarkoittaa sitä, että kappaleen 3D-malli rakennetaan piirteistä. Suunnittelun alussa tehdään ensimmäinen peruspiirre, jonka ympärille lähdetään lisäämään uusia piirteitä, kunnes saadaan tarkka malli kohteesta. Piirteet tulevat näkyviin Solidworksin käyttöliittymässä olevaan piirre-



puuhun, josta niitä on helppo kontrolloida ja tarvittaessa tehdä muutoksia myöhemmässä vaiheessa (kuva 2). Parametrisessä mallinnuksessa muodostetaan kappaleen mittojen välille relaatioita, jotka määräävät mittojen käyttäytymistä toiseen nähden, esimerkiksi kaksi mitta ovat aina yhtä suuria. Relaatiot voivat olla myös geometrisia, esimerkiksi mitat ovat samansuuntaisia tai symmetrisiä. (3, s. 24–25.)



KUVA 2. Solidworksin käyttöliittymä ja nuolella osoitettu piirrepuu

## 4 3D-TULOSTUS

3D-tulostus on nykypäivänä yleisesti käytetty menetelmä varsinkin pienteollisuudessa ja yksityisillä henkilöillä. Tällä menetelmällä tietokoneella mallinnetut osat saadaan valmistettua erittäin kustannustehokkaasti ja niistä saadaan eri materiaaleja hyödyntämällä kestäviä ja eri käyttötarkoituksiin sopivia.

Kyseessä on materiaalia lisäävä valmistustapa, joka tuo lukemattomia mahdollisuuksia osien valmistukselle. Materiaalia lisäävässä valmistuksessa voidaan tehdä osia, joissa on ulkopintojen sisäpuolella muotoja toisin kuin materiaalia poistavassa valmistuksessa, esimerkiksi jyrinnässä. Perinteisillä valmistustavoilla tällaiset osat on täytynyt tehdä monesta eri osasta ja yhdistää valmistamisen jälkeen yhdeksi osaksi esimerkiksi hitsaamalla tai liimaamalla. (4, s. 9–10.)

3D-tulostustekniikoita on useita erilaisia. Yleisin niistä on FDM (Fused deposition modeling), jossa rullalla oleva muovilanka syötetään kuumaan suuttimeen ja työnnetään siitä läpi tulostusalustalle kerroksittain. Suuttimen korkean lämpötilan avulla kerrokset sulavat toisiinsa ja tulostuksen edetessä muotoutuu kiinteä kappale. FDM-tulostuksen huomattavimmat edut ovat helppo käytettävyys, kustannustehokkuus ja se, että se ei tuota juuri ollenkaan saasteita. Tulostustarkkuus on erittäin hyvä: osia pystytään valmistamaan jopa 0,1 mm:n tarkkuudella. (4, s. 11–13.)

FDM-tulostimet toimivat G-koodilla. Ensimmäinen vaihe tulostuksessa on suunnitella 3D-malli tietokoneella, joka muutetaan STL-tiedostomuotoon ja siirretään sliceriin, joka tekee 3D-mallista automaattisesti G-kooditiedoston. G-kooditiedosto on yleensä muotoa .xml. Slicer on ohjelma, jossa asetetaan 3D-tulostimen tulostusasetukset. Olennaisimmat asetukset tulosteen kannalta on kappaleen sisätyttö, kerroskorkeus ja suuttimen sekä tulostuspedin lämpötila. Sliceristä saadaan G-koodi, joka siirretään tulostimen käyttöliittymään, minkä jälkeen voidaan aloittaa tulostaminen. (5.)

Oamkin hybridilaboratoriossa on käytössä Prusa i3 mk2.5 3D -tulostin, joka on perinteinen FDM-tulostin. Materiaalina on EcoPLA, joka on täysin biojättekierrätettävä. Materiaali valikoitui edullisen hinnan, hyvän kestävyuden sekä helpon tulostettavuuden takia. (6)

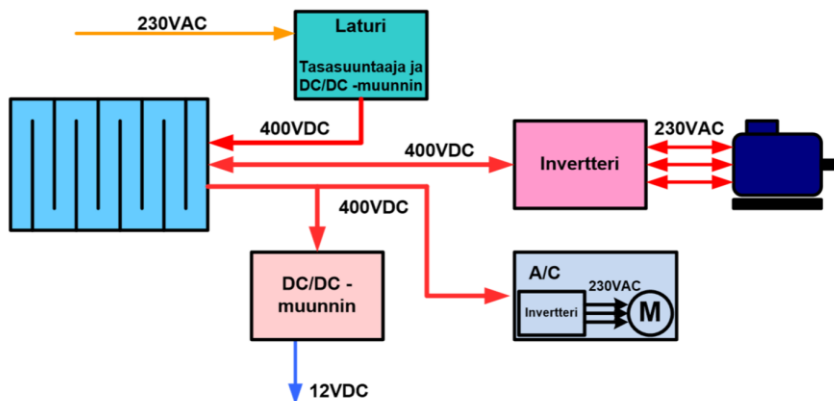
## 5 PLUG IN -HYBRIDIAJONEUVON TEKNIikka

Hybridiajoneuvoissa on polttomoottorin lisäksi myös sähkötoiminen moottori. Nykyään suurin osa hybridiajoneuvoista on plug-in-hybridejä, eli akusto ladataan pistokkeesta. Plug-in-hybrideillä voidaan ajaa pelkällä sähkömoottorilla kymmenien kilometrien ajan.

Akustoon varataan energiaa tasajännitteenä ajoneuvon liikuttamista varten. Autossa kiinteänä oleva DC/DC-muunnin muuntaa korkeajänniteakun jännitteen matalajännitepiiriin sopivaksi, yleensä 12V. Autoissa olevat sähkömoottorit käyttävät vaihtojännitettä. Korkeajänniteakussa oleva tasajännite muutetaan invertterillä eli vaihtosuuntaajalla vaihtojännitteeksi (kuva 3). Pääinvertterillä ohjataan ajomoottoria ja jarrutusenergian talteenottoa. Autoissa kiinteästi asennettuna oleva laturi mahdollistaa akun varaamisen suoraan pistorasiasta. (7).

OAMK

### Sähköajoneuvon korkeajännitekomponentit



KUVA 3. Sähköajoneuvon korkeajännitekomponentit (7)

Volvo XC60:n akkukapasiteetti on 10,4 kWh ja nimellisjännite 360 V. Sähkömoottorin suurin teho on 85 hv ja vääntömomenti 240 Nm. Pelkällä sähkömoottorilla ajettaessa teoreettinen suurin kantama on noin 45 km. Sähkömoottori on kytketty pelkästään taka-akseliin ja auton päämoottori etuakseliin. Auto on sähkömoottorilla ajettaessa takavetoinen ja tarvittaessa nelivetoinen, jolloin molemmat moottorit ovat käytössä. Jos autolla haluaa ajaa nelivetoisena akun ollessa tyhjänä, sitä

ladataan polttomoottorilla. Tällöin auton kulutus nousee huomattavasti, mutta tarvittavissa tilanteissa saadaan ylläpidettyä neliveto. (7).

## 6 TYÖN VIIKOITTAISEN ETENEMISEN RAPORTOINTI

Tässä osiossa kuvataan työn etenemistä viikoittaisella tasolla. Työ suoritetaan vuoden 2023 aikana. Suunnittelun lisäksi luvuissa käydään läpi valmiiden osien 3D-tulostusta ja kasausta lopulliseen muotoon. Mitta- ja projektiokuvat suunnitelluista malleista löytyvät liitteistä.

### 6.1 Viikko 1, työvaiheiden suunnittelu ja aloitus

Työn vaiheet suunnitellaan järkevästi siten, että työtä toteutettaessa ja osia suunnitellessa on aina edellinen vaihe valmiina ennen kuin seuraavaa aletaan tekemään. Tässä tapauksessa käytännöllisyyden kannalta ensimmäisenä suunnitellaan akun säilytysvaunu, joka lisää työskentelyergonomiaa ja turvallisuutta, kun aletaan asentamaan ja kokeilemaan osia akun sisälle.

Säilytystelineen suunnittelun ja valmistuksen jälkeen siirrytään akun sisällä tapahtuviin muutoksiin. Laboratorion henkilökunta on purkanut akun valmiiksi ja kennomodulit ovat säilytyksessä, ja niistä pääsee ottamaan mittoja sekä kuvia suunnittelua varten. Lähtökohtana kaikki akkukennon osat valmistetaan itse 3D-tulostamalla ja runko tehdään koivuvanerista, koska näin isojen osien 3D-tulostaminen olisi kohtuuttoman aikaa vievää. Oamkilta löytyy myös valmiiksi sopivan paksuista koivuvanerilevyä, josta saadaan tehtyä kestävä runko.

Työn budjetista ei ole sovittu tarkemmin suunnitteluvaiheessa, koska on tiedossa, ettei osiin tule menemään kohtuuttoman suurta summaa. Suurin yksittäinen kuluerä on säilytysvaunu sekä 3D-tulostusmuovit.

### 6.2 Viikko 2, säilytysvaunun suunnittelu ja kasaus

Lähtökohtana säilytysvaunun suunnittelulle oli saada käyttöä kestävä ja yksinkertainen tuote akun säilytykselle. Runkomateriaaliksi valittiin suomalaisen Proficanin tarjoama alumiiniprofiili, jolla saadaan tehtyä helposti muokattavia ja kestäviä rakenteita teollisuuden ja yritysten tarpeisiin. Kustan-

nuksiltaan kyseinen materiaali ei ole halvimmasta päästä, mutta ominaisuuksia, kestävyyttä ja kotimaisuutta ajatellen siihen kannattaa sijoittaa. Vaunun lopulliseksi hinnaksi tuli noin 950 euroa sisältäen arvonlisäveron ja toimituksen.

Suunnittelussa tärkeimpinä huomioitavina asioina on kestävyys jatkuvassa käytössä sekä jäykkä rakenne, jos päälle tulee akun lisäksi muuta painoa. Myös ergonomia työskennellessä pitää huomioida, eli korkeus on mietitty sopivaksi seisaaltaan työskentelyyn ja terävät reunat on eliminoitu pyöristetyillä reunoilla runkopalkeissa. Ylätason alla olevalla runkotasolla haetaan lisää jäykkyyttä, kuormankestoa ja mahdollisuutta tehdä taso tavarankäilyä varten. Rungon jokaiseen palkkiliitoskohtaan on lisätty kiertämisen estävä kulmakappale, joka tuo vaunulle huomattavasti lisää vääntöjäykkyyttä. Tämä nosti hintaa huomattavasti, mutta ei kuitenkaan aiheuttanut budjetin ylitystä.

Ylimmäisellä tasolla näkyvät kolme poikittaista palkkia ovat itse akun rungon kiinnityspisteitä varten (kuva 4). Koska akussa tulee olemaan korkeajännitekomponentteja, täytyy akun ja vaunun välissä olla eristävä komponentti, ettei jännite pääse vaunuun. Tähän sopii täydellisesti lieriöeristin, jota käytetään yleisesti värinänvaimennuksessa koneiden komponenteissa. Lieriöeristimessä kiinnityspintojen välillä on koon mukaan useita millimetrejä valettua kumia, eli metallikosketusta ei tule ja jännite ei pääse vuotamaan akun runkoon. Akku tulee vaunuun kiinni kuudella pultilla, joista jokaisen välissä on lieriöeristin.



*KUVA 4. Säilytysvaunu kasattuna*

Kasaaminen vei aikaa muutaman tunnin. Alumiiniprofiili oli erittäin helppoa käsitellä keveytensä vuoksi ja osat sopivat yhteen täydellisesti. Proficanilta tilattiin myös suoraan oikea määrä alumiiniprofiiliin kanssa käytettäväksi suunniteltuja matalakantaisia kuusiokoloruuveja sekä viistettyjä muttereita, jotka saa laitettua suoraan profiiliin uran sisälle. Suunnitteluvaiheessa vaunun pystypalkkien korkeudeksi oli suunniteltu 855 millimetriä, jolloin työskentelytaso olisi ollut metrin korkeudessa. Kasaamisen jälkeen todettiin, että vaunusta tuli hieman liian korkea olettaen, että koulutuksissa on mukana myös keskimääräistä lyhyempiä henkilöitä. Pöytää madallettiin vielä kasauksen jälkeen noin 100 millimetriä, jolloin työskentelykorkeudesta saatiin ergonomisempi. Vaunusta tuli erittäin jäämäkkä ja sen pitäisi kestää vastaavanlaisen akun myös alkuperäisillä kennomoduleilla.

### 6.3 Viikko 3, kennomodulin suunnittelun aloitus

Uuden kennomodulin suunnittelu alkaa alkuperäisten mittaamisella. Alkuperäisessä kennomodulissa on monimutkaisia muotoja ja paljon sellaisia osia, joita on hyvin työläs mallintaa tietokoneella (kuva 5). Aluksi suunnitelmana oli käyttää Oamkilta löytyvää 3D-skanneria, jolla kaikki muodot olisi saanut kopioitua tietokoneelle tulostamista varten. Kuitenkin koko rungon 3D-tulostaminen olisi vienyt aivan liikaa aikaa ja ollut kustannuksellisesti kalliimpaa verrattuna toisena vaihtoehtona olevaan ohueen koivuvaneriin. Lisäksi ei ollut mahdollista tulostaa yli 240 millimetriä pitkää kappaletta tulostimen koon vuoksi. Oamkilta löytyi valmiiksi 12 millimetrin vahvuista koivuvaneria levy, josta saa leikattua kaikki vaadittavat kappaleet. Kennomoduleita valmistetaan seitsemän kappaletta, joista yksi jää varalle. Varamoduli tehdään äkkinäisten vikaantumisten tai rikkoontumisten aiheuttamille ongelmille kesken koulutusten.

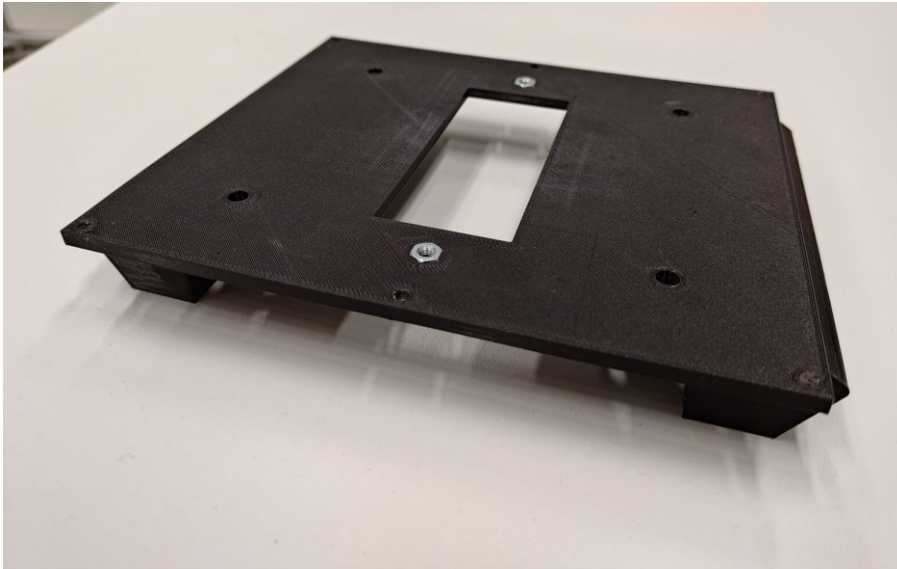


*KUVA 5. Alkuperäinen kennomoduli*

Ensimmäisenä suunniteltavana osana on asennuksen kannalta olennainen osa, eli kennomodulin pohjalevy (kuva 6). Pohjalevyssä on kiskot, jotka tulevat akun rungossa olevaa vastinkappaletta



vasten. Kennomodulien mitoitus akun runkoon on kohtuullisen tiukka, joten pohjalevyn leveyden ja korkeuden täytyy osua millimetrin tarkkuudella oikeaan sopivan istuvuuden takaamiseksi. Pohjalevyn tulee myös kiinni akun jäähdytysnestelinjat (kuva 7), jotka täytyy myös mallintaa samaan aikaan sopivuuden takaamiseksi.



*KUVA 6. Akkukennon pohjalevy*

Piirustuksessa levyn keskellä näkyvä reikä on sähköjärjestelmän paristokotelo varten, joka on jälkikäteen lisätty sähköjärjestelmän suunnittelun yhteydessä. Prototyypitulostuksia on tehty useita hyvän sopivuuden ja mittojen hakemiseksi. Ensimmäinen versio oli sekä liian leveä että korkea. Pohjalevyjä tulostetaan 6 kappaletta, eli yksi jokaista kennoa varten. Osan koon vuoksi tulostus kestää kohtuullisen kauan, noin 6–8 tuntia per kappale.

#### **6.4 Viikko 4, jäähdytyslinjojen suunnittelu**

Seuraavana suunniteltavana osana on kennomodulien jäähdytysjärjestelmän linjat (kuva 7). Alkuperäisenä näissä virtaa sähköä johtamaton jäähdytysneste, joka pitää kennomodulien käyttölämpötilan optimaalisena kuormituksen alla sekä kylmissä olosuhteissa. Koulutuksessa jäähdytysjärjestelmä ei ole käytössä, joten linjoista voi suunnitella umpinaiset helpomman tulostusprosessin takia. Tärkeintä linjojen suunnittelussa on O-rengasurat ja sopivuus toisiinsa akustoa koottaessa. Yhteensopivuuden takaamiseksi linjojen täytyy olla kennomodulien pohjassa yhdensuuntaisesti ja samalla korkeudella.



*KUVA 7. Jäähdytyslinjat*

## **6.5 Viikko 5, kennomodulin kannen ja BMS:n suunnittelu**

Kennomodulin kansi (kuva 8) on kohtuullisen yksinkertainen kappale suunnitella. Kun kennomodulit ovat akun rungossa kiinnitettynä, tärkein huomioitava asia on virtanapojen sijoitus oikeaan kohtaan, jotta sarjaan liittävä kappale saadaan asennettua. BMS on suunniteltu ja tulostettu täysin alkuperäistä vastaavilla mitoilla (kuva 9). Virtanapoina toimii M6-pultti mutterilla kiinnitettynä kanteen. Kansi kiinnitetään vanerirunkoon puuruuveilla. Alkuperäisen kennomodulin kansi ja BMS on korkeajännitekomponentin tavoin oranssista muovista tehty, joten näitä kappaleita varten täytyi tilata oranssia tulostusmuovia.



*KUVA 8. Akkukennon kansi*



*KUVA 9. BMS*

## **6.6 Viikko 6, rungon leikkaus vanerista ja prototyypin kasaus**

Kennon runko tehdään 12 millimetriä paksusta koivuvanerista (kuva 10). Tällaisessa käyttötarkoituksessa vaneri on kustannustehokasta sekä kestää erinomaisesti käyttöä. Autolaboratoriosta löytyi valmiiksi ylimääräinen pala käytettyä koivuvaneria. Kyseisessä vanerissa oli muutamia reikiä sekä muuta käytönjälkeä, mutta se ei vaikuta tässä projektissa kuin kosmeettisesti. Vanerit maalataan mittaamatta sahauksen ja kasaamisen jälkeen mustalla spraymaalilla. Vanereiden mitoitus on

helppoa, kun pohjalevy ja kansi on jo valmiiksi suunniteltu. Vain korkeus pitää mitata oikeaksi, jotta kennon navat saa asennettua oikein.

Sahaustyö saadaan tehtyä Oulun yliopiston arkkitehtiopiskelijoiden työpajalla, jossa on käytössä ammattilaistason puoliautomaattinen sirkkeli. Vanerikappaleita ei kannata itse yrittää edes sahata, sillä jo muutaman millimetrin heitto mitoissa vaikuttaa kennomodulin sopivuuteen radikaalisti. Vanerirungoista tuli erittäin jämäkät ja maalauksen jälkeen myös ulkonäkö on kohtuullinen.



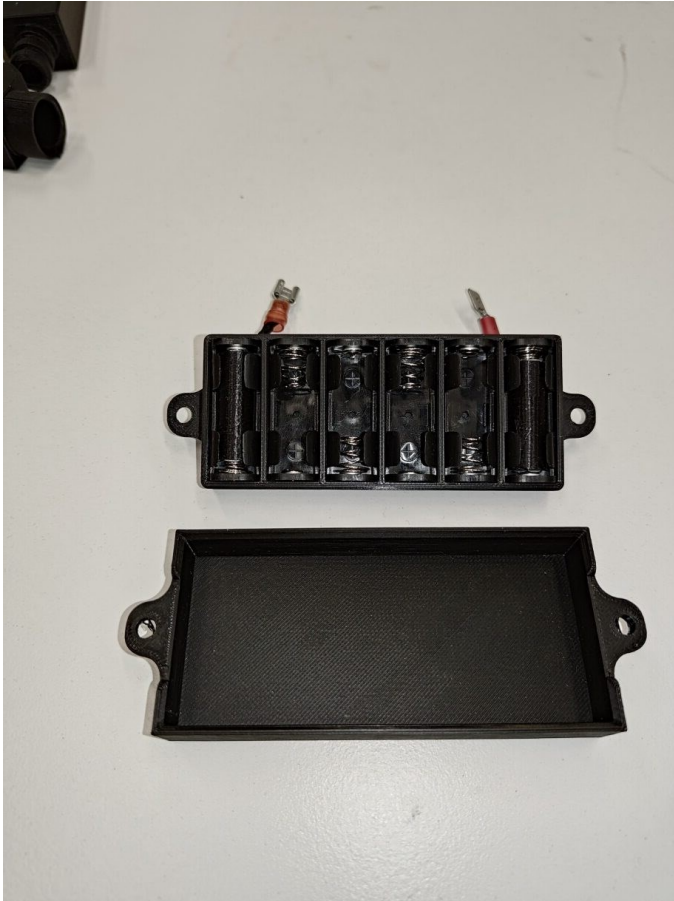
*KUVA 10. Vanerirungot kasattuna ja maalattuna*

## **6.7 Viikko 7, sähköjärjestelmän suunnittelu ja toteutus**

Volvo XC60 korkeajänniteakussa on 360 V:n nimellisjännite. Alkuperäisten kennomodulien poistamisen jälkeen lähtötilanteena on, että akussa ei ole ollenkaan jännitteellisiä laitteita. Valmiin tuotteen vaatimuksena on, että siinä on sama 360 V:n jännite ilman vaarallisen sähköiskun vaaraa.

Akussa on tarkoitus käyttää kertakäyttöisiä paristoja, joilla jokaisen kennomodulin jännite nostetaan alkuperäistä vastaavaksi. Paristojen käytöllä haetaan halpoja käyttökustannuksia sekä helppoa turvallisuutta. Jokaiseen kennomoduliin kytketään sarjaan viisi 12 V:n paristoa, eli yhteensä 60 V:n

jännite kennoa kohti. Paristoina käytetään V23GA-paristoja. Paristojen kytkemistä varten suunniteltiin kennomodulin pohjaan asennettava irrotettava kannellinen paristokotelo (kuva 11). Tämä mahdollistaa paristojen vaihdon helposti yhdellä työkalulla ilman isompaa purkamista.



*KUVA 11. Paristokotelon kansi ja paristokotelo, johon asennettu navat paristoille*

Tarkoituksena on saada päänavoilta 360 V ja jokaisen kennomodulin omilta navoilta 60 V. Tämä tilanne vastaa alkuperäisen akuston jännitettä ja tällöin akkua voidaan käyttää virallisessa jännite-työkoulutuksessa ja suorittaa vikasimulointia. Vikasimulointi opetustilanteessa tarkoittaa sitä, että ennen jännitemittausta opettaja muuttaa yhden tai useamman kennomodulin jännitettä pienemmäksi kuin 60 V, esimerkiksi yhden kennomodulin jännitteeksi asetetaan 48 V, jolloin päänavoilta mitattuna akun kokonaisjännite on 348 V. Tässä tilanteessa opiskelijoiden täytyy ensin mitata jännite päänavoilta ja todeta, että joku kennomoduleista on viallinen ja selvittää jännitemittauksella vian sijainti.

Kokoonpanossa täytyy turvallisuuden vuoksi käyttää myös vastuksia, joilla virtapiirissä kulkeva oikosulkuvirta saadaan laskettua alle 30 mA:n rajan, eli käytännössä alle vaarallisen kosketusvirran.

Jokaisen paristokotelon positiivisen navan ja kennomodulin positiivisen navan väliin asennetaan yksi vastus. Koska virtapiiri on avoin, vastusmäärän lisääminen ei vaikuta jännitteeseen.

Vastuksen laskemiseen käytetään Ohmin lakia. Maksimioikosulkuvirraksi halutaan 3mA. Kaavassa R on resistanssi eli vastus, V on jännite ja I on virta (kaava 1).

*KAAVA 1. Vastuksen laskukaava*

$$R = \frac{V}{I}$$

Jotta oikosulkuvirta olisi enintään 3 mA, vaaditaan siihen 20 000 Ohmin vastus (kaava 2). Kokoonpanossa päätettiin käyttää sekä positiivisessa että negatiivisessa navassa 10 000 Ohmin vastusta.

*KAAVA 2. Virtapiirissä käytettyjen vastusten laskukaava*

$$R = \frac{60 \text{ V}}{0.003 \text{ A}}$$

$$R = 20,000 \Omega$$

Vikasimulointia varten kehitettiin dummyparisto (kuva 12), joka asetetaan paristotelineeseen oikean 12 V:n pariston tilalle. Kyseinen osa on 3D-tulostettu pariston muotoinen lieriö, jonka sisälle on asennettu virranjohdin. Virranjohtimena käytetään M4x25 pulttia ja mutteria. Tätä käytettäessä akun jännitettä saadaan laskettua asteittain 12 V:a kerrallaan.



KUVA 12. Dummyparisto

## 6.8 Viikko 8, akun kasaaminen ja työn viimeistely

Työn viimeinen vaihe on koota kennomodulit (kuva 13) ja asentaa ne akun sisälle sekä testata toimivuus (kuva 14). Asentaminen onnistuu seuraamalla Volvon alkuperäistä akun huolto-ohjetta, joka sisältää tarkat purku- ja kasaushjeet. Kennomodulien asennuksen jälkeen mitattiin jännitteet ja oikosulkuvirta.





*KUVA 12. Valmis kennomoduli*



*KUVA 14. Kennomodulit asennettuna akkuun*



## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muuttaa hybridiajoneuvon korkeajänniteakku opetuskäyttöön. Muutostöiden täytyi toiminnaltaan ja ulkonäöltään vastata alkuperäisen korkeajänniteakun sisäisiä komponentteja koulutuksessa käytettävyyden vuoksi. Työ alkoi kennomodulien komponenttien mallintamisella. Työssä käytettiin Solidworksin 3D-mallinnusohjelmaa ja tehdyt mallit 3D-tulostettiin Oamkin hybridilaboratoriossa.

Työn vaatavuustaso ja työn määrä oli sopiva opinnäytetyöksi. Työssä haasteita tuotti mallinnusohjelmiston käyttäminen ja 3D-tulostaminen. Oamkin 3D-tulostimissa oli useita ongelmia langansyötön kanssa ja työ eteni hitaasti. Solidworksin peruskurssista on jo yli kaksi vuotta aikaa, joten sen käyttäminen täytyi opetella lähes kokonaan uudestaan. Ohjelmiston opiskelu vei huomattavasti aikaa ja oli haastavaa, koska Oamkilta ei löytynyt tarvittavia perehdytysmateriaaleja. Kaikki netistä löytyneet videot olivat englanninkielisiä, mikä toi oman haasteen opiskeluun. Mallinnustyötä kuitenkin helpotti se, että osia ei tarvinnut suunnitella standardien mukaan. 3D-tulostus oli erittäin aikaa-vievää, mutta oma 3D-tulostin ja omakohtainen kiinnostus asiaa kohtaan helpotti työn etenemistä ja prototyyppien sekä lopullisten osien valmistusta.

Opinnäytetyön aikana opin käyttämään sujuvasti Solidworksia ja perehdyin syvällisemmin 3D-tulostukseen sekä sen tuomiin mahdollisuuksiin tuotekehityksessä ja valmistuksessa. Kennomoduleita on helppo ja kustannustehokas valmistaa 3D-tulostusta hyödyntäen, jos osia rikkoontuu. Kaikista osista löytyy valmis 3D-malli tulostusta varten.

Vastaavaa konseptia voisi hyödyntää myös muissa korkeakouluissa, joissa opetetaan sähkö- ja hybridiajoneuvotekniikkaa ja pidetään autoalan sähköturvallisuuskoulutuksia. Oppiminen on paljon varmempaa ja mielekkäämpää, kun koulutuksessa pääsee käyttämään realistisia opetusmateriaaleja.

Työn piti valmistua aikataulullisesti 2023 syksyyn mennessä, jolloin akkua oli tarkoitus alkaa käyttää sähköturvallisuuskoulutuksissa. Henkilökohtaisten syiden vuoksi työn valmistuminen venähti ja aikataulussa ei pysytty.

## LÄHTEET

1. Oulun ammattikorkeakoulu 2023, auto- ja työkonetekniikan laboratorio. Haettu 15.10.2023  
<https://oamk.fi/auto-ja-moottorilaboratoriot/>.
2. Dassault Systemes 2023, Solidworks. Haettu 12.12.2023. <https://www.3ds.com/products/solidworks>.
3. Hietikko, Esa 2020. Solidworks 2020. 8., Uudistettu painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.
4. Bothmann, Oliver 2014. 3D-printers. Iso-Britannia: K2 Print Ltd.
5. Simplify3D 2023, 3D-printing G-code tutorial. Haettu 13.12.2023. <https://www.simplify3d.com/resources/articles/3d-printing-gcode-tutorial/>.
6. 3D-jake 2023, ECOpla-muovit. Hakupäivä 10.12.2023.  
<https://www.3djake.com/3djake/ecopla-black>.
7. Oulun ammattikorkeakoulu 2021. Järjestelmät - sähköajoneuvotekniikka, luentomateriaali 5.11.2021. Haettu 01.11.2023  
[https://oamk-my.sharepoint.com/:b:/r/personal/janneil\\_oamk\\_fi/Documents/Autos%C3%A4hk%C3%B6tekniikka/J%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20-%20Janne%20-%20eMobiilin%20Diagno-matskuista%20luentokohtaiset%202021%20syksy/J%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20luentomateriaali%205.11.2021%20.pdf?csf=1&web=1&e=hqNwNP](https://oamk-my.sharepoint.com/:b:/r/personal/janneil_oamk_fi/Documents/Autos%C3%A4hk%C3%B6tekniikka/J%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20-%20Janne%20-%20eMobiilin%20Diagno-matskuista%20luentokohtaiset%202021%20syksy/J%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20luentomateriaali%205.11.2021%20.pdf?csf=1&web=1&e=hqNwNP). Vaatii käyttöoikeuden
8. Volvo 2023. XC60 twin engine specifications. Haettu 12.12.2023. <https://www.volvocars.com/cy/support/car/xc60-twin-engine/17w46>.

## LIITTEET

Kennomodulin pohjalevy liite 1

Kennomodulin kansi liite 2

Jäähdytyslinja liite 3

BMS liite 4

Kennomodulin leveämpi sivupaneeli liite 5

Kennomodulin kapeampi sivupaneeli liite 6

Paristokotelo liite 7

Paristokotelon kansi liite 8

Dummparisto liite 9

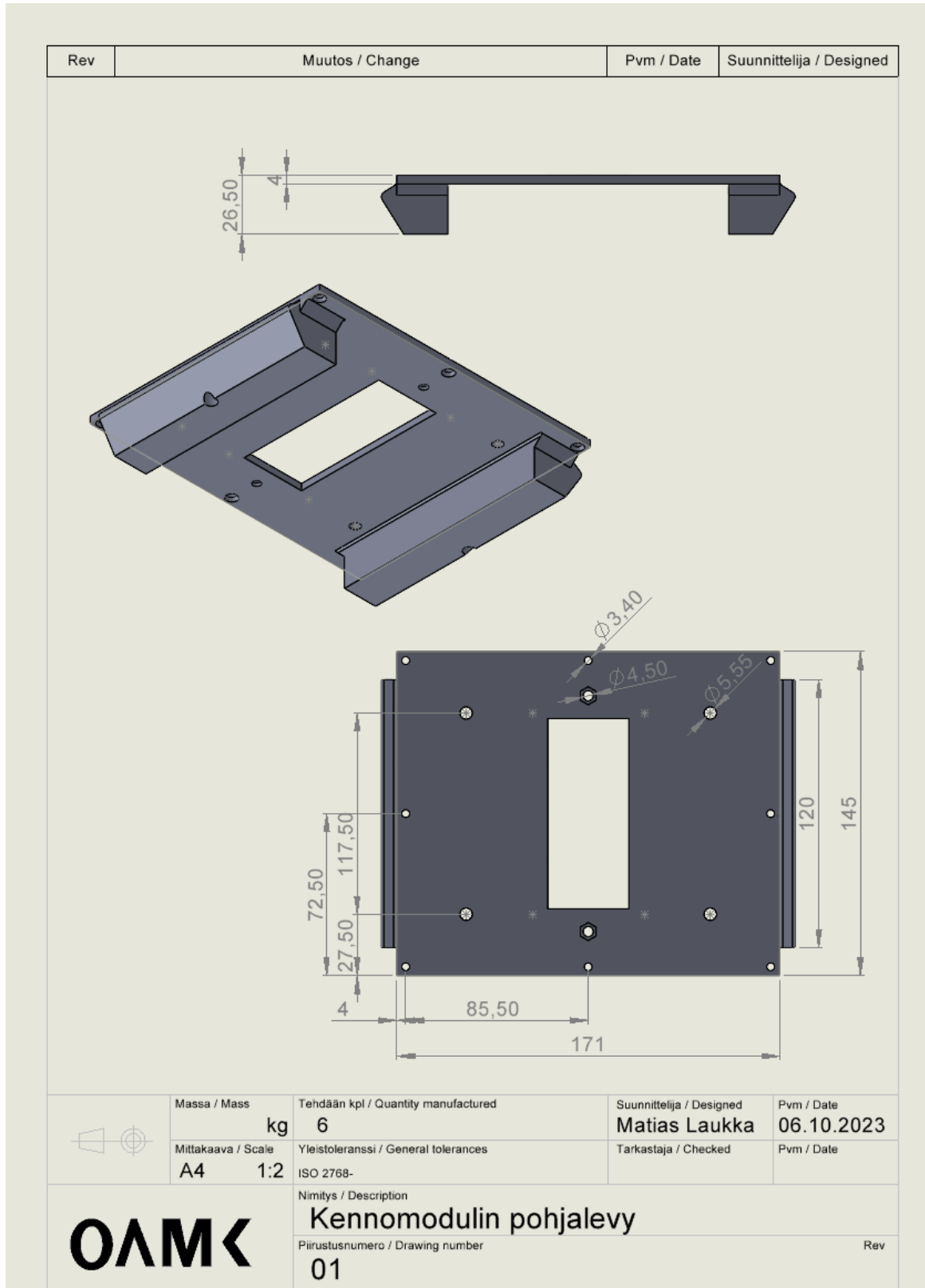
Kennomodulin kokoonpanokuva liite 10

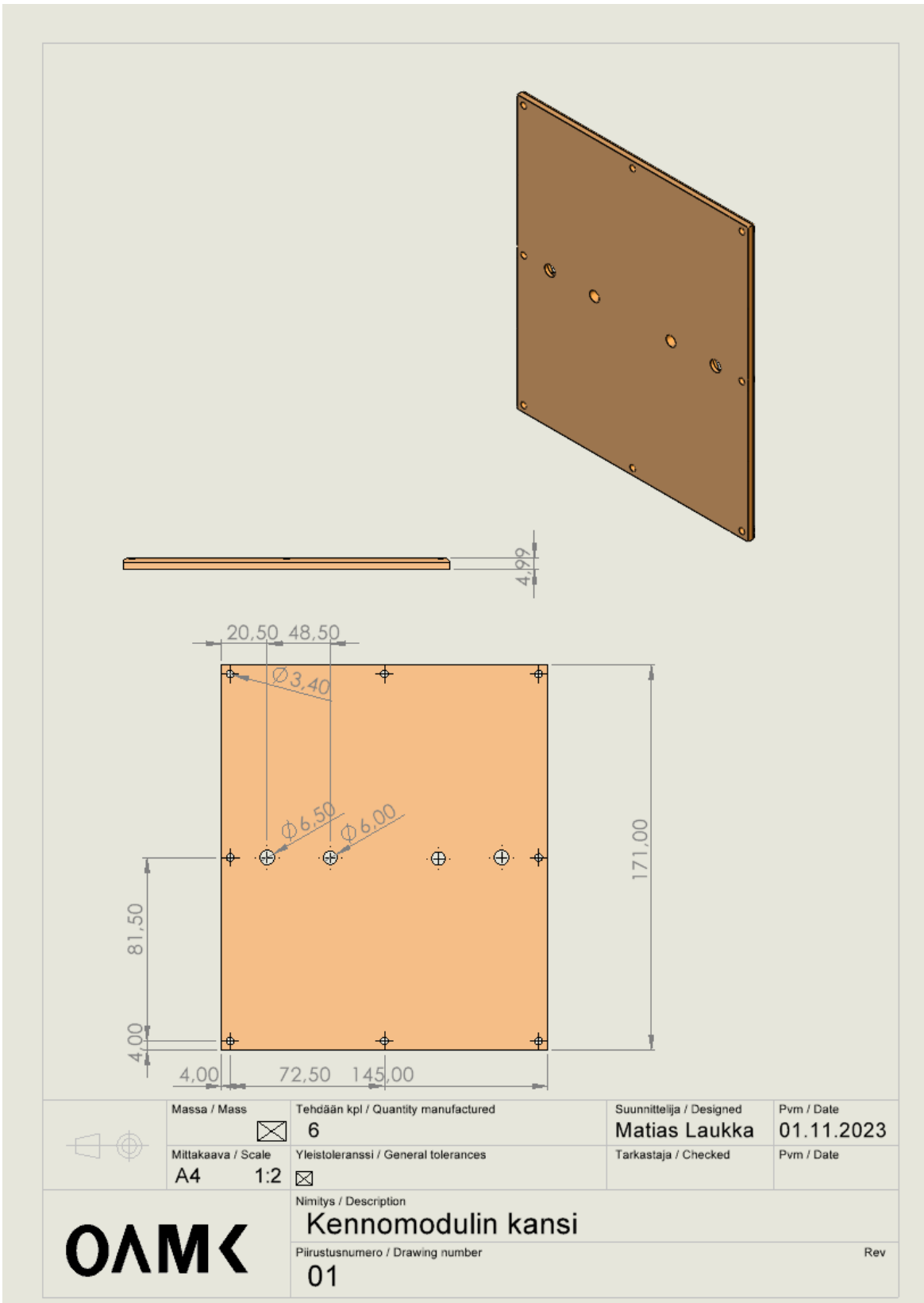
Säilytysvaunu liite 11

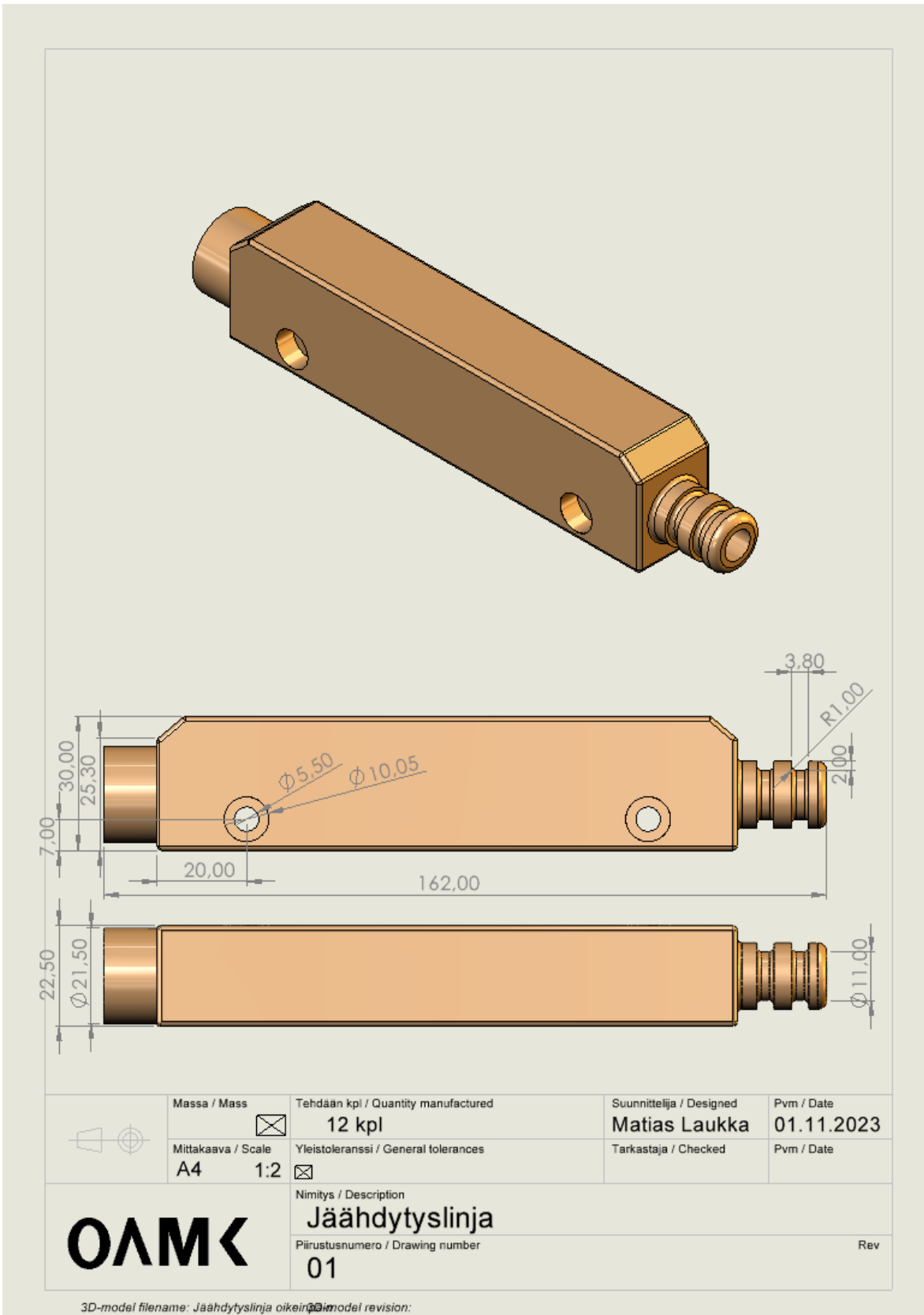
LIITTEET

KENNOMODULIN POHJALEVY

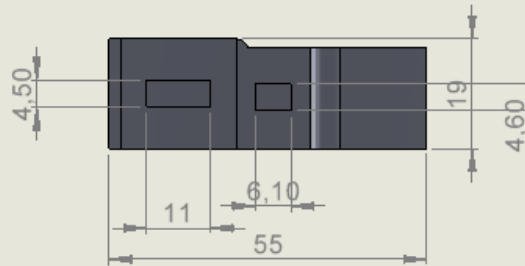
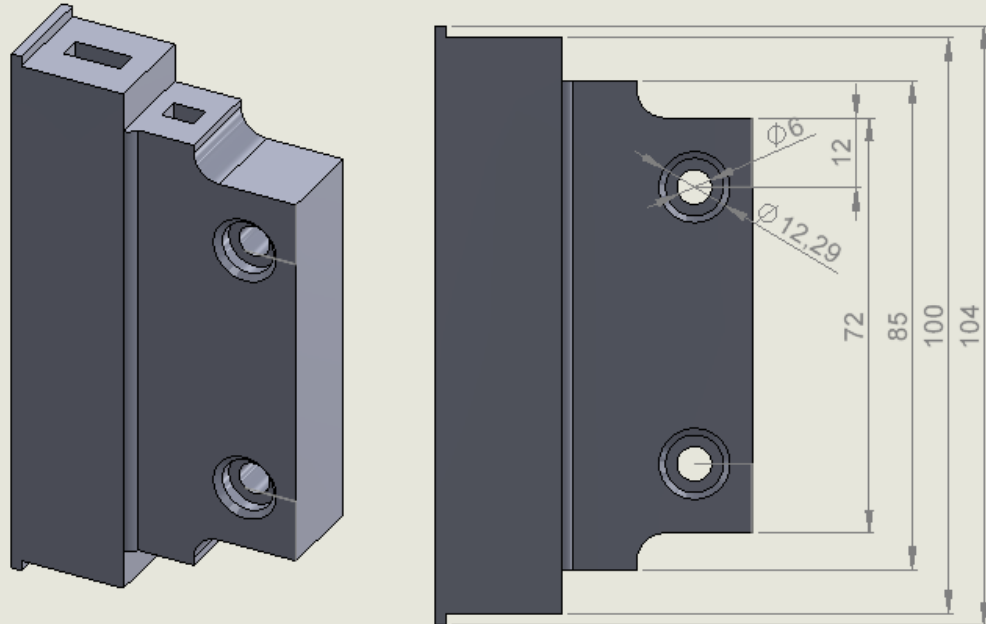
LIITE 1



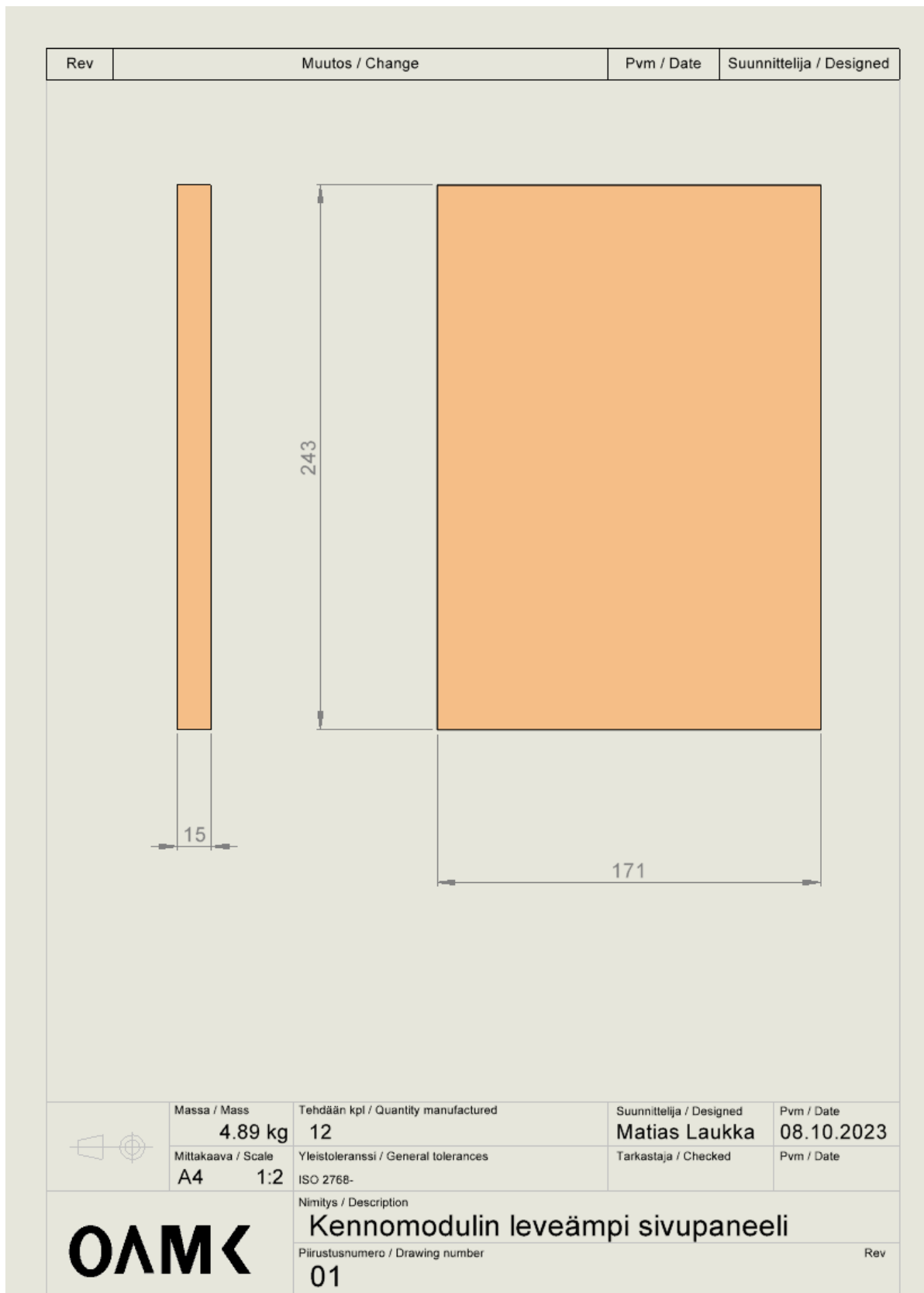




Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed
-----	-----------------	------------	--------------------------

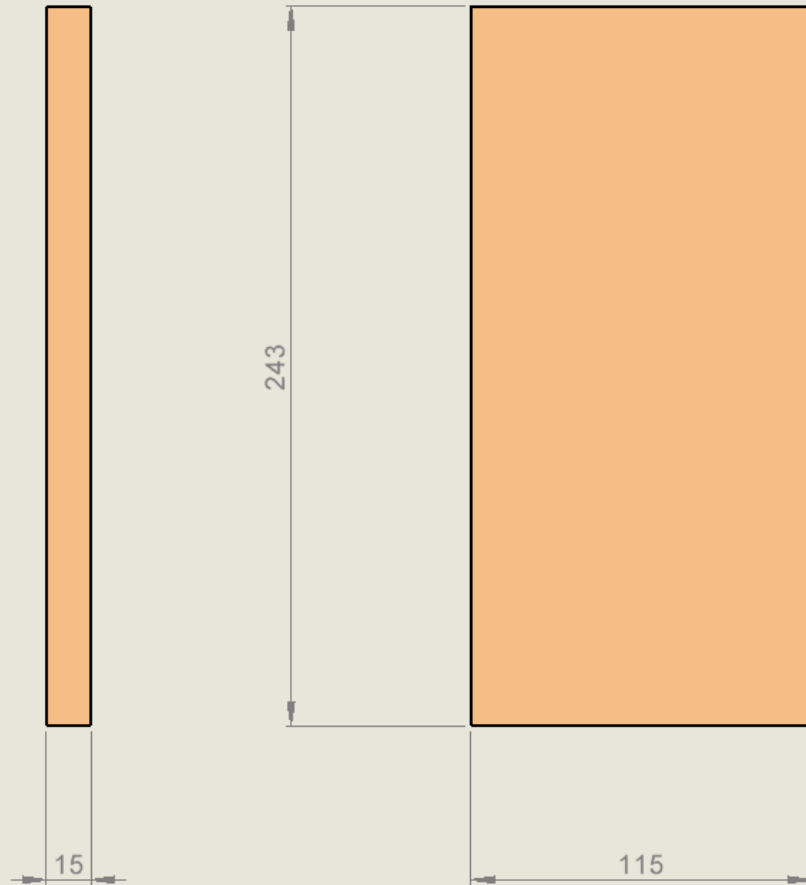


	Massa / Mass <b>kg</b>	Tehdään kpl / Quantity manufactured <b>6</b>	Suunnittelija / Designed <b>Matias Laukka</b>	Pvm / Date <b>07.10.2023</b>
	Mittakaava / Scale <b>A4 1:1</b>	Yleistoleranssi / General tolerances ISO 2768-	Tarkastaja / Checked	Pvm / Date
		Nimitys / Description <b>BMS</b>		
		Piirustusnumero / Drawing number <b>01</b>	Rev	

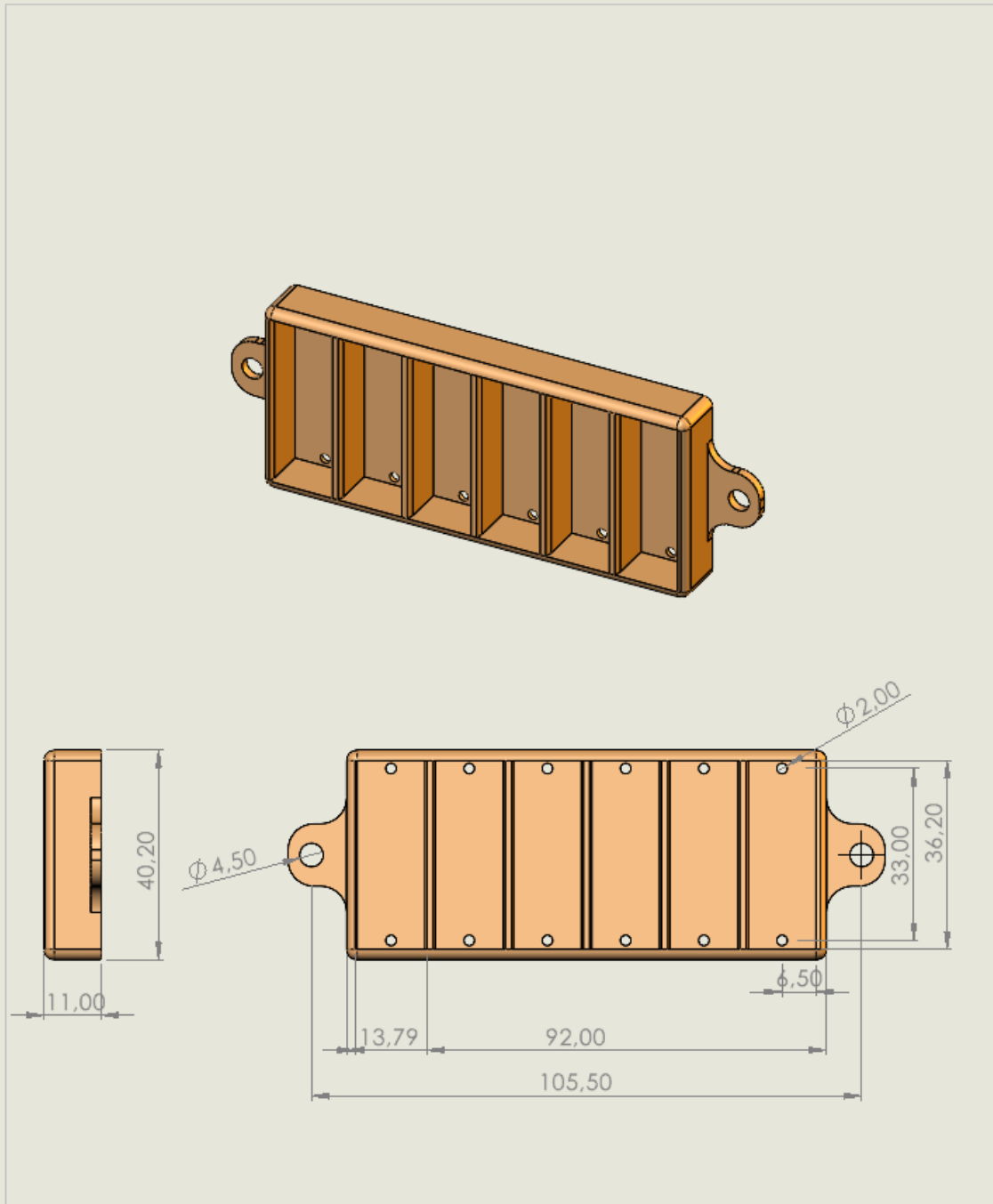




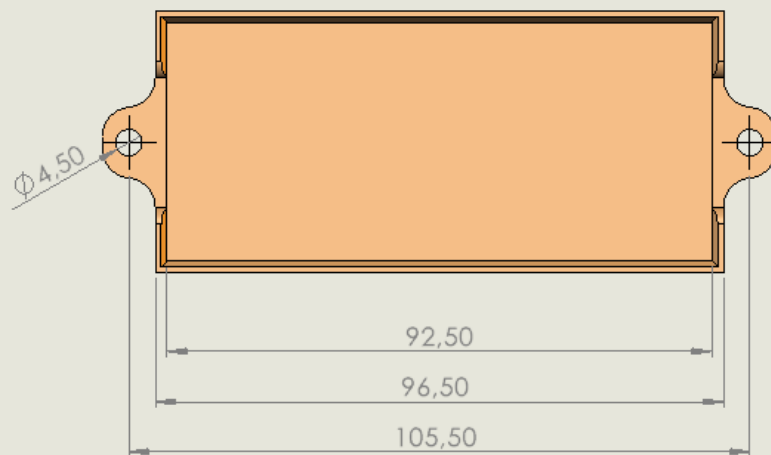
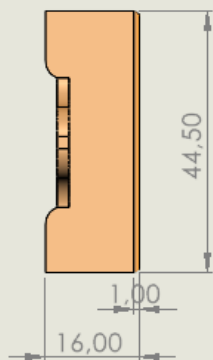
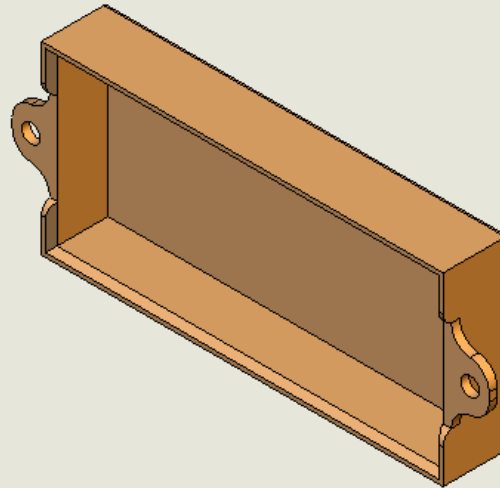
Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed
-----	-----------------	------------	--------------------------



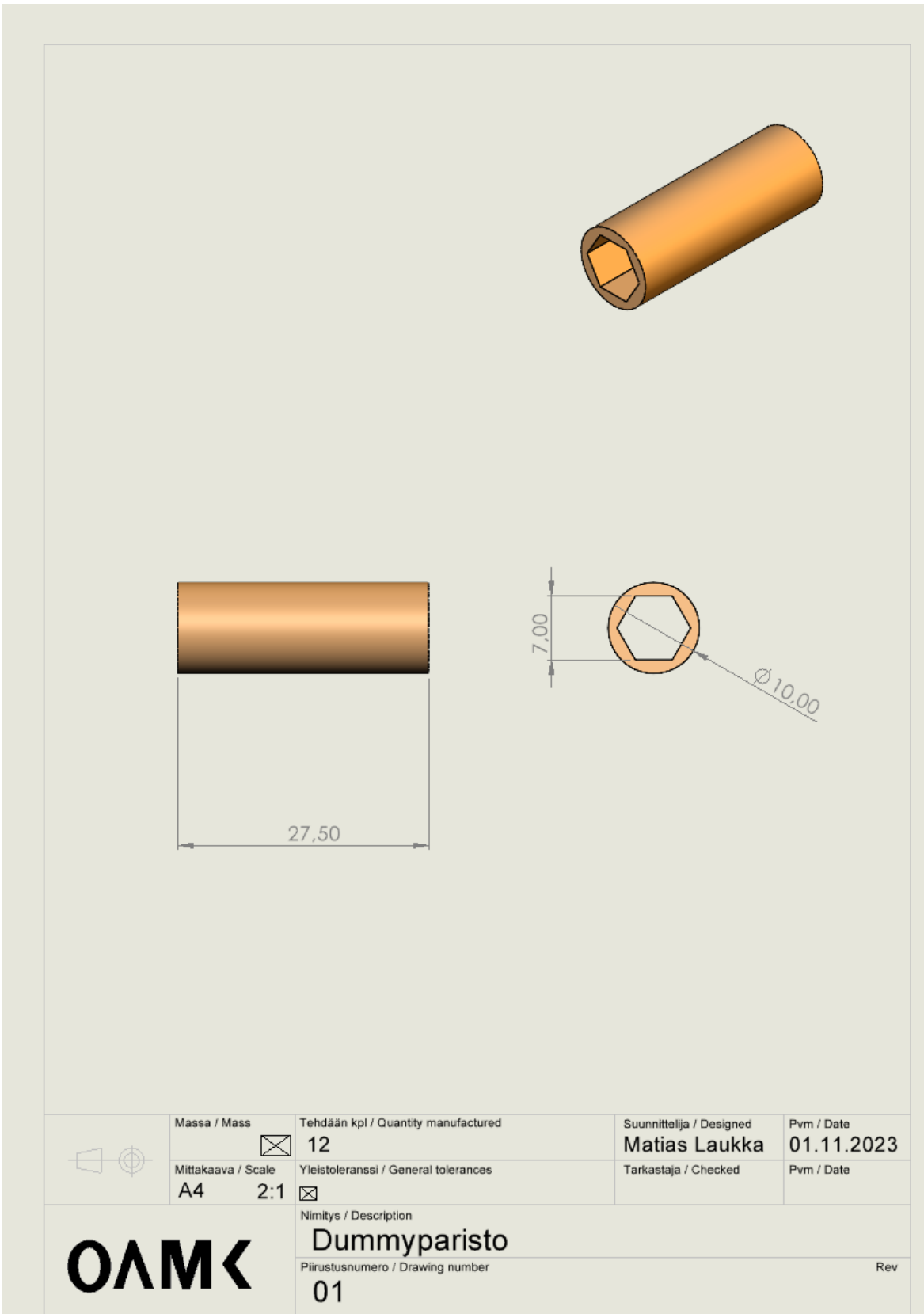
	Massa / Mass <b>3.29 kg</b>	Tehdään kpl / Quantity manufactured <b>12</b>	Suunnittelija / Designed <b>Matias Laukka</b>	Pvm / Date <b>08.10.2023</b>
	Mittakaava / Scale <b>A4 1:2</b>	Yleistoleranssi / General tolerances ISO 2768-	Tarkastaja / Checked	Pvm / Date
	Nimitys / Description <b>Kennomodulin kapeampi sivupaneeli</b>			Rev
	Piirustusnumero / Drawing number <b>01</b>			

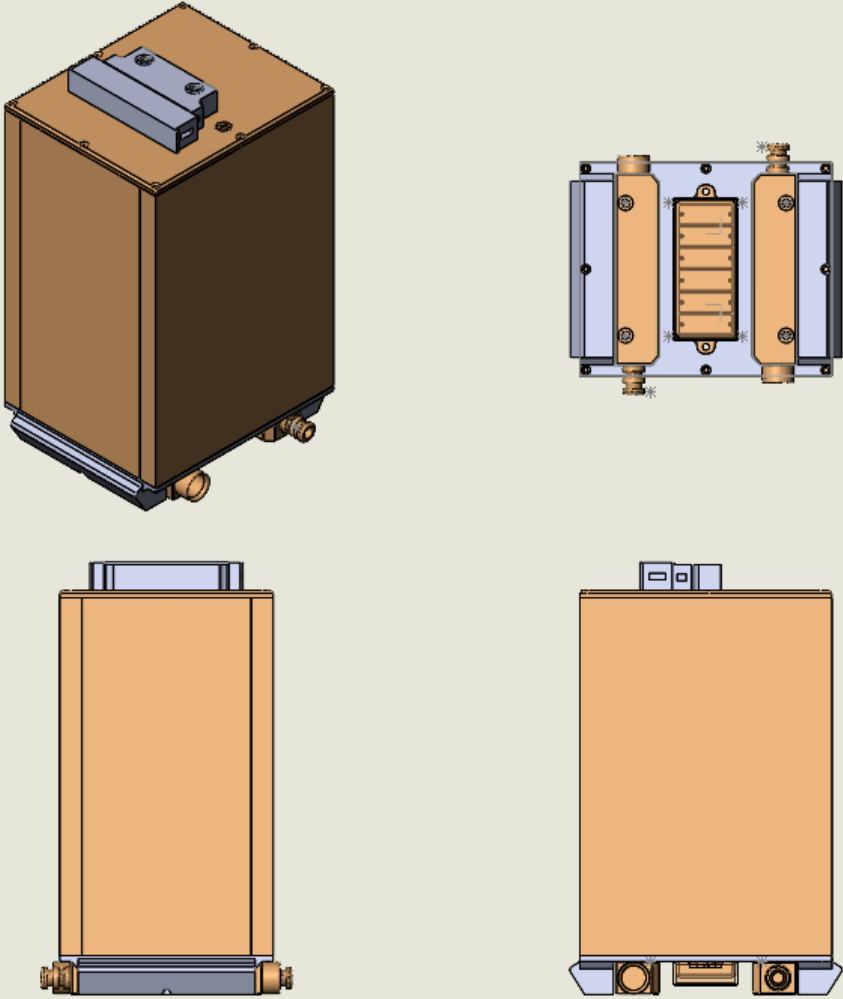



	Massa / Mass <input checked="" type="checkbox"/>	Tehdään kpl / Quantity manufactured <b>6</b>	Suunnittelija / Designed <b>Matias Laukka</b>	Pvm / Date <b>01.11.2023</b>
	Mittakaava / Scale <b>A4 1:1</b>	Yleistoleranssi / General tolerances <input checked="" type="checkbox"/>	Tarkastaja / Checked	Pvm / Date
		Nimitys / Description <b>Paristokotelo</b>		
		Piirustusnumero / Drawing number <b>01</b>		



	Massa / Mass <input type="checkbox"/>	Tehdään kpl / Quantity manufactured <b>6</b>	Suunnittelija / Designed <b>Matias Laukka</b>	Pvm / Date <b>01.11.2023</b>
	Mittakaava / Scale <b>A4 1:2</b>	Yleistoleranssi / General tolerances <input type="checkbox"/>	Tarkastaja / Checked	Pvm / Date
		Nimitys / Description <b>Paristokotelon kansi</b>		
		Piirustusnumero / Drawing number <b>01</b>		





Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed																
																			
<table border="1"> <tr> <td>Massa / Mass</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Tehdään kpl / Quantity manufactured</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Mittakaava / Scale</td> <td>A4 1:4</td> <td>Yleistoleranssi / General tolerances</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>		Massa / Mass	<input checked="" type="checkbox"/>	Tehdään kpl / Quantity manufactured	6	Mittakaava / Scale	A4 1:4	Yleistoleranssi / General tolerances	<input checked="" type="checkbox"/>	<table border="1"> <tr> <td>Suunnittelija / Designed</td> <td>Matias Laukka</td> <td>Pvm / Date</td> <td>01.12.2023</td> </tr> <tr> <td>Tarkastaja / Checked</td> <td></td> <td>Pvm / Date</td> <td></td> </tr> </table>		Suunnittelija / Designed	Matias Laukka	Pvm / Date	01.12.2023	Tarkastaja / Checked		Pvm / Date	
Massa / Mass	<input checked="" type="checkbox"/>	Tehdään kpl / Quantity manufactured	6																
Mittakaava / Scale	A4 1:4	Yleistoleranssi / General tolerances	<input checked="" type="checkbox"/>																
Suunnittelija / Designed	Matias Laukka	Pvm / Date	01.12.2023																
Tarkastaja / Checked		Pvm / Date																	
		Nimitys / Description <b>Kennomoduli kokoonpano</b>																	
		Piirustusnumero / Drawing number <b>01</b>																	
		Rev																	

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	N1122	3-Tiekulma pyörästetty musta	4
2	N1270	Pyörä 75mm kääntyvä	2
3	N1271	Pyörä 75mm kääntyvä jarrulla	2
4	N1102	Kulma 40x25 2-Kiertymisenestöllä	16
5	N1152	Asennuslevy säätöajalle 45x90x12 M10	4
6	N3135	Matalakantaruuvi M8x20	32
7	N3140	Matalakantaruuvi M8x30	12
8	N3310	Nelikulma mutteri M8 SC	32
9	N3142	Matalakantaruuvi M8x35	10

ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	LENGTH
10	5	Aluminium profile 45x45	405
11	6	Aluminium profile 45x45	1450
12	2	Aluminium profile 45x45	700
13	2	45x45 pyörästetty	405
14	4	45x45 pyörästetty	855

	Materiaali / Material: kg 1 Mittakaava / Scale: A3 1:20 Tekijä / Designer: XXXXXXXX Tarkastaja / Checked: XXXXXXXX Nimi / Description: <b>Kuljetusalusta</b> Puhdista / Clean up: XXXXXXXX	Geometria / Designed: Matias Laukka Pvm / Date: 31.01.2023
--	---	---

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed
1			

3D-kuva / View: Kuljetusalusta3