

Vesa Mukkala

**UUDEN AJOAKUSTON SUUNNITTELU JA MALLINNUS  
HILUX-SÄHKÖTYÖKONEESEEN**

# **UUDEN AJOAKUSTON SUUNNITTELU JA MALLINNUS HILUX-SÄHKÖTYÖKONEESEEN**

Vesa Mukkala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

---

Tekijä: Vesa Mukkala  
Opinnäytetyön nimi: Uuden ajoakuston suunnittelu ja mallinnus  
Hilux-sähkötyökoneeseen  
Työn ohjaaja: Mauri Haataja  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014 Sivumäärä: 95 + 5 liitettä

---

Opinnäytetyö oli jatkoa Hilux-sähkötyökoneprojektille. Projektin tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa diesel-käyttöisen kiinteistöhuoltokoneen täyssähköistäminen. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja mallinnettiin työkoneen uudelle ajoakustolle kotelon valmistukseen tarvittavat piirustukset ja dokumentit. Työn tilaajan toimi Oulun ammattikorkeakoulu.

Aikaisemmin Hilux-sähkötyökoneprojektissa oli määritetty tarvittava ajoakuston kapasiteetti. Ensimmäisten prototyyppien akusto koostui seitsemästä akusta, joiden kapasiteetti oli 24,5 kWh. Tulevan ajoakuston akkujen kokonaismäärä on 14, jolloin kapasiteetti kasvaa kaksinkertaiseksi 49 kWh:iin.

Tavoitteena oli suunnitella korvaavalle ajoakustolle uusi rakennekokonaisuus. Se koostui lämmönhallinnasta, koteloinnista, tukirakenteesta ja turvallisuudesta. Lämmönhallintaan tutkittiin olemassa olevien faasimuutosmateriaalia sisältävien tuotteiden soveltuvuutta. Kotelorakenteen suunnittelussa oli tavoitteena soveltaa kotelorakenteissa kalottikennotekniikkaa. Kotelon suunnittelussa painotettiin keveyttä ja turvallisuutta. Kotelorakenteiden lopullisista kokoonpanoista tuli kevyet ja yksinkertaiset.

Lujuustarkastelut rakenteille suoritettiin Solidworks 2013 -ohjelman avulla. Työssä tarkasteltiin akkukoteloita staattisen kuormituksen ja ajoneuvon käytössä syntyvien arviotujen voimien avulla. Myös etutörmäyksessä syntyviä voimia tarkasteltiin toisesta akkukoteloinnista käyttäen hyväksi virallisten testien törmäysnopeuksia. Lujuustarkasteluiden avulla pystyttiin paikallistamaan tukirakenteiden lujuustekniset heikkoudet jo suunnitteluvaiheessa. Tulosten avulla tukirakenteita paranneltiin ja niiden lopulliset materiaalit valittiin. Tukirakenteiden lopullisista kokoonpanoista tuli kestäviä ja yksinkertaisia.

---

Asiasanat: sähköautot, työkoneet, akusto, faasimuutosmateriaali, suunnittelu, FEA

## ALKULAUSE

Akkukoteloiden suunnittelu ja mallinnus oli jatkoa keväällä 2013 tehdyille akuston esiselvitys -projektille. Tätä aikasemmin olen ollut mukana suunnittelemassa, mallintamassa ja valmistamassa Hilux-sähkötyökoneen lavarakennetta, jossa syntyi suojaava rakenne taka-akkukotelolle.

Haluan kiittää projektien mahdollistamisesta Oulun ammattikorkeaa koulua ja kennorakenteiden suunnittelun tukena ollutta Compusteel Oy:ltä. Kiitokset kuuluvat myös työssä mukana toimineille laboratorioinsinööri Janne Ilomäelle, laborioteknikko Arto Lehtoselle ja ohjaavalle opettajalle, yliopettaja, professori Mauri Haatajalle. Kiitokset myös koulun CAD-opettajille, joilta kurssien aikana ja ulkopuolella sain oivia vinkkejä mallinnusohjelman käytöstä ja osien piirustuksista.

Viimeisimpänä vaan ei vähäisimpänä haluan kiittää projekteissa mukana olleita jäseniä loistavasta työstä Hilux-projektissa. Jäsenistä haluan kiittää hyvistä ideoista, etenkin insinööriopiskelija Antti Ylipukkia ja insinööriopiskelija Sami Karjalaista, joilta ei tunnu ne loppuvan ihan vähällä. Kiitokset kuuluu tietenkin myös avopuolisolleni Essi Puljulle tukemisesta ja pitkäjänteisyydestä, kun jaksoi kuunnella näppäimistön loputonta naputusta.

Oulussa 14.4.2014

Vesa Mukkala

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 UUDEN AJOAKUSTON JA TYÖKONEEN KÄYTTÖYMPÄRISTÖN VAATIMUKSET	8
2.1 Uusi varsinainen ajoakusto	8
2.2 Työkoneen käyttöympäristö	8
3 AKKUKOTELOIDEN LÄMMÖNHALLINTA	10
3.1 Testiajojen mittausdatan analysointi	10
3.2 Ebattery 30 -akun lämpömäärän laboratiomittaus	10
3.3 Eristeet	15
3.4 Faasimuutosmateriaali	19
3.4.1 Käyttökohteet	20
3.4.2 Koostumus	21
3.4.3 Kapselointi	21
3.4.4 Tuotteet	24
3.4.5 PCM-materiaalin sopivuus akkujen lämmönhallintaan	26
3.5 Lämmitys	26
3.6 Jäähdytys	28
4 AKKUKOTELOINNIN JA TUKIRAKENTEEN SUUNNITTELU	30
4.1 Akkukoteloinnin aikaisempia tietoja suunnittelun tueksi	30
4.1.1 Esiselvitys ja lavanmuokkausprojektit	30
4.1.2 Muita tietoja akkukotelointiin liittyen	31
4.2 Liittyviä standardeja	32
4.3 Kotelorakenne	32
4.3.1 Putkipalkki	32
4.3.2 Ohutlevy	33
4.3.3 Kennorakenteet	33
4.4 Materiaalivaihtoehdot	37
4.5 Tukipisteet	42

4.6 Akuston johtojen sijoitus	43
4.7 Akkujännitteen eristäminen ja turvallisuus	43
4.8 PCM-materiaalin käyttö	44
4.9 Huomioitavaa ohutlevyjen suunnittelussa	45
5 AKKUKOTELOIDEN MALLINNUS	46
5.1 Moottoritilan määrittäminen etuakkukotelolle	46
5.2 3D-kuvan luonti moottoritilasta	48
5.3 3D-ohutlevymallintamisen huomioitavia asioita	50
5.4 Etuakkukotelon versiot	51
5.4.1 Versio 1	51
5.4.2 Versio 2	54
5.4.3 Pikamalli	57
5.4.4 Versio 3	58
5.4.5 Versio 4	61
5.4.6 Standardiosat	62
5.4.7 Yhteenveto kotelon materiaaleista	63
5.5 Taka-akkukotelo	64
6 LUJUUSTARKASTELU	69
6.1 Vetoniittien mitoitus	69
6.2 Erillisten osakokonaisuuksien tarkastelu etuakkukoteloon	71
6.3 Kokonaisuuksien tarkastelu	76
6.3.1 Etuakkukotelo	76
6.3.2 Taka-akkukotelo	83
7 YHTEENVETO	87
LÄHTEET	90
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Piirustukset etuakkukoteloon	
Liite 3 Piirustukset taka-akkukoteloon	
Liite 4 Eristeiden ominaisuuksia	
Liite 5 Tärinäeristimet, Trelleborg	

# 1 JOHDANTO

Hilux-sähkötyökoneprojekti sai alkunsa vuoden 2010 loppupuolella. Projektin tavoitteena oli muuttaa diesel-käyttöinen, kunnossapitoon tarkoitettun työkoneen voimansiirtojärjestelmä täyssähköiseksi. Hilux-sähkötyökone liikkui onnistuneesti ensimmäisen kerran keväällä 2012. Ajoneuvon komponentit valittiin käyttäen pohjana todellisen työtilanteen mittausdataa, joka kerättiin tiedonkeruulaitteiston avulla. Mittausdatan avulla selvitettiin työkoneen käyttöenergian tarve. Tällä tavoin voitiin esimerkiksi määrittää akuilta vaadittava energianmäärä.

Hilux-sähkötyökoneeseen on sisällytetty sen olemassa olon aikana useita erilaisia aliprojekteja ja insinööritöitä. Näiden joukossa on keväällä 2013 ammatillisen projektiopintojen kurssissa valmistunut akuston esiselvitysprojekti, jota käytetään opinnäytetyössä osaksi akkukoteloiden suunnittelun tukena. Myös muita töitä, jotka ovat syntyneet Hilux-projektissa, hyödynnetään akkulaatikoiden suunnittelussa. (1; 2; 3.)

Tämän työn tuotoksena syntyy uuden ajoakuston kiinnitys ja kotelointi sekä lämmönhallintaratkaisut (liite 1). Työssä suunnitellaan ajoneuvon entiseen moottoritilaan uusi akkukotelo ja parannetaan olemassa olevaa akkukoteloä. Koteloissa käytetään kalottikennorakennetta, jonka avulla rakennekokonaisuus saadaan mahdollisimman optimiksi niin lujuusominaisuuksiltaan kuin painoltaankin. Lämmönhallinnasta tutkitaan lämpöä sitovan ja luovuttavan materiaalin, toisinsanoin faasimuutosmateriaalin, soveltuvuutta akkujen ylläpitolämmitykseen ja jäähtymiseen. Soveltuvuuden tutkiminen rajoitetaan markkinoilla oleviin tuotteisiin.

Kaikista komponenteista laaditaan tekniset piirustukset myöhempää toteutusta varten (liite 2; liite 3). Kaikki tarvittavat mallit luodaan Solidworks 2013 -ohjelmistolla. Valmiille akkulaatikon malleille suoritetaan FEA-analyysejä. Niillä simuloidaan akkukoteloinnille syntyviä kuormituksia, jotta rakenteen lujuusominaisuudet saadaan optimoitua ja rakenteelliset heikkoudet eliminoidua.

## 2 UUDEN AJOAKUSTON JA TYÖKONEEN KÄYTTÖYMPÄRISTÖN VAATIMUKSET

### 2.1 Uusi varsinainen ajoakusto

Uuden ajoakuston akut ovat European Batteriesin valmistamat, mallimerkiltään Ebattery 30. Taulukossa 1 on esitetty käytössä olevan akun tekniset tiedot. Uuteen ajoakustoon tulee 14 akkua, joiden kokonaisvaraus on 49 kWh. Aikaisempien testausten perusteella tämän pitäisi riittää yhden työpäivän energian tarpeeseen kevyellä käytöllä (1, s. 33–39). Aurauskäytössä työkonetta ei ole nykyisellä kokoonpanolla pystytty vielä testaamaan, koska edellinen testaus oli keväällä 2013.

TAULUKKO 1. Akun tekniset tiedot (4, s. 6)

Ebattery 30	
Energia	3,5 kWh
Jännite	38,4 V
Paino	31,17 kg
Kennojen lkm.	24 kpl
Kapasiteetti	90 Ah
Kennojen kytkentä	12s2p
Mitat	170 mm x 317 mm x 428 mm (L x K x S)

Viisi akkua sijoitetaan moottoritilaan ja loput olemassa olevaan akkukoteloon. Näin ollen akkujen paino moottoritilassa on noin 156 kg ja taka-akkukotelossa noin 281 kg. Akkujen synnyttämä pintapaine alustaa vastaan on  $4\,202,6\text{ N/m}^2$

Tällä hetkellä taka-akkukotelossa on seitsemän akkua sijoitettuna samalle tasolle. Akkujen määrä kaksinkertaistuu jännitteen pysyessä samana, koska uusien akkujen kennojen kytkentä on erilainen. Näin kokonaisvaraus kaksinkertaistuu ja akkujen soveltuvuus kyseiseen sähköjärjestelmään säilytetään.

### 2.2 Työkoneen käyttöympäristö

Työkonetta käytetään pääosin teiden ja kävelykatujen kunnossapitoon. Työkoneelle syntyvä rasitus vaihtelee vuodenaikojen ja työtehtävien mukaan. Talvella

työkoneelle muodostuu voimansiirrolle suurimmat rasitukset hiekoitus- ja aurasikäytössä. Ajonopeus ei työn aikana kasva suureksi, koska ajoneuvolla kuljetaan yleensä kävelyteitä pitkin pysähtyen useasti. Työkoneella ei normaalin työpäivän aikana työskennellä Oulussa sijaitsevalla moottoritiellä. Työpäivän ajot koostuvat maksimissaan 60 km/h nopeusrajoituksilla sisältävillä teillä.

Työtehtävissä työkoneeseen kohdistuu irtonaisia kivia, pölyä, vettä, jäätä, lunta ja muuta tiellä syntyvää epäpuhtautta. Aurasikäytössä ajoneuvon runkoon voi välittyä iskumaisia voimia. Näitä vastaan tulee työkoneessa olla asianmukaiset suojaukset.

Talvella työkoneeseen kohdistuu jään ja lumen lisäksi ulkoilmanlämpötila, joka voi kohota yli  $-20\text{ °C}$ :seen. Pakkasrajat auton hydraulikalle on  $-25\text{ °C}$ . Kun työpäivä päättyy, ajoneuvoa säilytetään lämpimässä hallissa. Tämän takia työpäivän alkaessa akkujen lämpötila on tasoittunut huoneenlämpöiseksi.

### **3 AKKUKOTELOIDEN LÄMMÖNHALLINTA**

Lämmönhallintaa kuuluvat akkujen lämmitys ja jäädytys. Tässä luvussa selvitetään, mille olosuhteille akut altistuvat. Selvitykset aloitetaan analysoimalla tähän mennessä suoritettujen testausajojen mittausdatan ja uusien testien tulosten avulla. Tässä selvitetään myös markkinoilla olevien eristeiden soveltuvuutta ja niiden ominaisuuksien avulla mietitään todellinen tarve. Faasimuutosmateriaalin soveltuvuutta selvitetään markkinoilla olemassa olevista tuotteista ja perehdytään osittain myös faasimuutosmateriaalin ominaisuuksiin. Luvun lopussa mietitään hankituista tiedoista mahdollisia vaihtoehtoja tulevalle lämmitykselle ja jäädytykselle.

#### **3.1 Testiajajojen mittausdatan analysointi**

Kevään 2013 testauspäivien tiedonkeruun dataa on käsitelty Tuomas Tihisen opinnäytetyössä (2). Työssä on käsitelty ulkoilman lämpötilan vaikutusta akkujen lämpötilaan. Testauspäivien aikana akkujen keskilämpötila pysyi suositellulla lämpötila-alueella, lukuunottamatta yhtä päivää. Tiedonkeruusta huomattiin akuston lämpötilan nousu kuormituksen aikana. Tämä mahdollisti sen, ettei ylimääräistä lämmitystä tarvittu kotelon lämpötilan ylläpitämiseen optimialueella. Yhden testipäivän alhaisempi lämpötila johtui vähemmästä käytöstä, jolloin akun purkautuminen ei riittänyt lämmittämään akkuja. (2, s. 37–39.)

Testausaikana akkujenlämmitysyksikkö toimi sillon, kun työkoneessa oli sytytysvirta päällä. Lämmitys kytkeytyy päälle silloin, kun kotelon lämpötila laskee alle 15 °C:n. Tiedonkeruudataa tutkimalla päädytään siihen tulokseen, ettei testauksen aikana lämmitysvastukset olleet kytkeytyneet päälle missään tilanteessa.

#### **3.2 Ebattery 30 -akun lämpömäärän laboratiomittaus**

Akkuun sitoutuvaa lämpömäärää testattiin Oulun ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa muutamilla mittauksilla. Nämä suoritettiin sääolosuhteiden puitteissa. Mittauksia varten rakennettiin uretaanilevystä kotelo, jonka sisälle akku sijoitettiin (kuva 1). Kotelon seinämäpaksuus oli 30 mm.



*KUVA 1. Mittauksen kotelo rakenne akun kanssa (vasemmalla) ja testausympäristö (oikealla)*

Akun sisälle kiinnitettiin kennojen väliin lämpötila-anturi. Muut lämpötila-anturit mittasivat kotelon sisä-, ulko- ja eristelämpötilaa. Taulukkoon 2 on koottu lämpötilat, niiden muutokset ja kulunut aika.

*TAULUKKO 2. Ensimmäisen testauksen tulokset*

	Lämpötilamittaus tuloksia 1			
Aika (min)	0	57	107	155
Ulkolämpötila (°C)	-12	-13	-13,5	-13
Kotelon sisälämpötila (°C)	5,9	4,8	3	0
Akun lämpötila (°C)	15,8	13,1	12	10,5
Akun lämpötilamuutos (°C)		2,7	3,8	5,3

Taulukosta 3 on esitetty toisen mittauksen tulokset. Akkua ei testin aikana pu-  
rettu tai ladattu, vaan se oli stabiilissa tilassa.

### TAULUKKO 3. Toisen testauksen tulokset

	Lämpötilamittauksia tuloksia 2					
Aika (min)	0	62	102	146	159	188
Ulkolämpötila (°C)	-21	-21	-21	-21	-21	-21
Akun lämpötila (°C)	11,3	7,4	7,1	6,7	6,4	5
Akun lämpötilamuutos (°C)		3,9	4,2	4,6	4,9	6,3

Myös akun lämpenemistä testattiin jäädyttämällä akku 5 °C:n lämpötilaan ja jättämällä sisätiloihin lämpenemään. Mittaus suoritettiin samalla mittauskokoonpanolla kuin lämpömäärän mittauksessa. Akku annettiin lämmitä kotelossa ilman kotelon purkutoimenpiteitä. Lämpenemisen aika kotelossa oli noin 15 tuntia. Akun lämpötila ei muuttunut mittauksen aikana juurikaan. Syynä tähän oli laboration sisäilman lämpötilaa, joka oli 10...15 °C välissä. Sen aiheutti ulkona vallitseva yli 20 °C:een pakkasen ja lattiaa pitkin kiertävä kylmä ilma.

#### Akun sisältämän lämpömäärän arviointi

Akun lämpötilan muutoksessa kotelon sisäilmaan siirtynyt lämpömäärä määritellään arvioimalla ensimmäiseksi metallien pitoisuudet akussa. Litium-ioniakun tyypillinen koostumus on esitetty taulukossa 4.

### TAULUKKO 4. Litium-ioni akun tyypillinen koostumus (5, s. 6)

Komponentti	Painoprosenttia
LiCoO <sub>2</sub>	27,5
Teräs/Nikkeli	24,5
Kupari/Alumiini	14,5
Hiili	16
Elektrolyytti	3,5
Polymeeri	14

Kaavalla 1 voidaan laskea yhden komponentin luovuttama lämpömäärä (6, s. 227.)

$$Q_1 = cm\Delta T$$

KAAVA 1

$c$  = ominaislämpökapasiteetti ( $\text{kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$ )

$m$  = massa ( $\text{kg}$ )

$\Delta T$  = lämpötilanmuutos ( $^\circ\text{C}$ )

Laskemalla yhteen lämpömäärät (kaava 2), jotka akun sisältämät metallit ovat luovuttaneet, saadaan teoreettinen arvo mittauksen aikana siirtyneestä lämpömäärästä.

$$Q_{Total} = Q_1 + Q_2 + \dots Q_n$$

KAAVA 2

Lämpömäärän yksikkö on joule. Tämä voidaan muuttaa lämpötehoksi käyttäen hyväksi lämpöenergian siirtymiseen käytettyä aikaa. Keskimääräinen teho aikavälillä  $(0, t)$  lasketaan kaavalla 3 (6, s. 194).

$$P = \frac{W}{t}$$

KAAVA 3

Lämpöteho saadaan siis lämpömäärän ja kuluneen ajan yhtälönä kaavalla 4.

$$P_n = \frac{Q}{t}$$

KAAVA 4

### Lämpömäärän laskut

Akku sisältää useita erilaisia metalleja, joten tässä mittauksessa ei määritetä sen ominaislämpökapasiteettia vaan käytetään hyväksi teoreettisia arvoja. Näiden arvojen avulla voidaan suorittaa tarvittavia laskuja. Laskut ovat mittausten virheiden ja teoreettisten arvojen takia suuntaa antavia. Niitä tuleekin käyttää vain kriittisesti katsottuna.

Taulukossa 5 on esitetty akun sisältämien metallien lämpökapasiteetit joita käytetään laskuissa. Yksikkö kertoo metallin kyvystä sitoa lämpöenergiaa suhteessa sen massaan.

TAULUKKO 5. Akun metallien lämpökapasiteetti (6, s. 330)

Komponentti	Lämpökapasiteetti (kJ / kg °C)
Litium	3,570
Teräs	0,480
Nikkeli	0,445
Kupari	0,384
Alumiini	0,896
Hiili (grafiitti)	0,709
Polymeeri (muovi)	1,500
Elektrolyytti	- (Vähäinen määrä, ei oteta huomioon)

Oletetaan kahden metallin yhteisen painoprosentin kohdalla, että kumpaakin on puolet ilmoitetusta. Sen takia esimerkiksi terästä on 12,25 % ja alumiinia 7,25 %. Laskuun tulee heti hieman virhettä, mutta se ei ole merkitsevää, koska määritellään suuntaa antavaa lämpömäärää.

Ensimmäisen mittauksen lämpötilan muutos oli 5,3 °C, mittausjakson ollessa 155 min ja toisen mittauksen muutos 6,3 °C mittausjaksolla 188 min. Lasketaan esimerkklasku kaavalla 1. Tässä määritetään ensimmäisen mittauksen litiumin lämpömäärä.

$$Q_{\text{Litium}} = 3,557 \text{ kJ/kg}^{\circ\text{C}} * (31,17 \text{ kg} * 27,5\%) * 5,3^{\circ\text{C}} \approx 162,19 \text{ kJ}$$

Laskujen tulokset on esitetty taulukoissa 6 ja 7.

TAULUKKO 6. Metallien lasketut lämpömäärät ensimmäisestä mittauksesta

Komponentti	Lämpömäärä (kJ)
Litium	162,19
Teräs	11,55
Nikkeli	9,00
Kupari	4,60
Alumiini	10,73
Hiili	18,74
Polymeeri	34,69
Yhteensä	249,66

TAULUKKO 7. Metallien lasketut lämpömäärät toisesta mittauksesta

Komponentti	Lämpömäärä (kJ)
Litium	192,79
Teräs	12,27
Nikkeli	10,70
Kupari	5,47
Alumiini	12,75
Hiili	22,28
Polymeeri	41,24
Yhteensä	297,50

Lasketaan mittauksessa akun luovuttama energiamäärä kaavalla 3. Ensimmäiseksi määritetään mittausjakson *155 min* keskimääräinen lämpöteho (energia):

$$P_1 = \frac{215950J}{155 * 60s} \approx 26,85 \frac{J}{s}.$$

*188 min* mittausjakson keskimääräinen lämpöteho (energia) on

$$P_2 = \frac{297500J}{188 * 60s} \approx 26,37 \frac{J}{s}.$$

### 3.3 Eristeet

Markkinoilla on lukuisia ja ominaisuuksiltaan poikkeavia lämmöneristykseen tarkoitettuja materiaaleja. Suurin osa niistä on tarkoitettu rakennusteollisuuteen, mutta niitä voidaan soveltaa myös muussakin yhteydessä. Soveltaminen on mahdollista, mikäli materiaali on ominaisuuksiltaan sopivaa ja käyttökelpoista.

Akkukotelon materiaalin tulisi olla palamatonta tai sillä tulisi olla palamista vastustava ominaisuus. Toinen huomion arvoinen asia eristeiden valinnassa on lämmönjohtavuus. Eristeen pienemmällä lämmönjohtavuus arvolla tarvitaan eristemateriaalia suhteessa vähemmän, kuin suuremman lämmönjohtavuus arvon omaavalla eristeellä. Mitä vähemmän kyseistä ainetta tarvitaan saavuttamaan tarvittava lämmöneristävyys, on se sitä käytännöllisempää materiaalia. Pienikin tilansäästö sähköautonrakenteissa on eduksi.

Seuraavaan on kerätty erilaisten eristemateriaalien teknisiä tietoja, ominaisuuksia ja markkinoilla olevia tuotteita. Tuotteiden valinnat on tehty kiinnittäen huomiota akkukoteloinnin eristämisen vaatimukseen. Huomiota on kiinnitetty myös ominaisuuksiin ja eristeiden fyysisiin mittoihin. Markkinoilta löytyvät eristeet on lähinnä tarkoitettu rakennusteollisuuden käyttöön ja siksi useilla on liian suuri ainevahvuus. Valinnat rajautuivat 20 mm paksuisiin ja sitä pienemällä ainevahvuudella oleviin eristeisiin.

### **Aerogel-materiaalit ja -tuotteet**

Puhdas aerogeeli on erittäin kevyttä, lähes läpinäkyvää, kovaa mutta huonosti iskunkestävää ainetta, jonka erikoisuutena on hyvä puristuslujuus. Aineen erikoisuutena on erittäin vähäinen lämmönsiirtyminen, joten se on hyvä lämmöneriste. Vähäisen lämmönsiirtymisen syynä on aerogelin huokoinen koostumus. (7.)

Aerogeeli koostuu pienistä ilmakuplista, jotka estävät tehokkaasti lämmön johtumisen aineessa. Aerogeeli valmistetaan vatkaamalla sulaa lasia vaahdoksi paineilman ja katalyyttisen seosnesteiden avulla. Lasin raaka-aineena käytetään yleensä piioksidia eli kvartsihiekkää. (7.) Aerogeeli voidaan valmistaa piioksidin lisäksi kahdesta muusta raaka-aineesta, jotka ovat hiili- ja metallioksidit (8.) Aerogeelissä voi olla 95 % ilmaa, koska seosneste korvaantuu valmistuksen jälkeen kaasulla. (7.)

Aerogeeli kehitettiin jo 1930-luvulla Yhdysvalloissa Stanfordin yliopistossa, mutta se on vasta viime vuosina tullut enemmän kuluttajien ulottuville. Syynä tähän on osittain valmistuskustannusten pienentyminen ja ominaisuuksien kehittyminen. Aerogeeli on ollut jo pitkään avaruusteollisuuden käytössä, jossa sen ominaisuuksia on tutkimusten avulla paranneltu. (7.)

Aerogelin iskunkestävyyttä on onnistuttu parantamaan huomattavasti. Aerogeeliin on lisätty erilaisia polymeerejä, jotka ovat vahvistaneet sitä ja parantaneet sopivuutta useisiin käyttökohteisiin. Polymeeri laminoituu aerogelin pintaan ja vahvistaa sitä. Lisäaineet eivät merkittävästi heikennä aerogelin ominaisuuksia, kuten keveyttä tai läpinäkyvyyttä. (7.)

Seuraavia Aerogel-pohjaisia tuotteita on saatavilla Suomessa sijaitsevalta jäl-  
lenmyyjältä (9):

- Aerogel-lisäeriste
- Spaceline Comfort
- Vicover Comfort
- Spacetec-tuotteet (useita).

Kaikki aikaisemmin mainitut tuotteet on kehitetty rakennusteollisuuden käyttöön.  
Ne eroavat enimmäkseen mittojen ja käyttökohteen mukaan toisistaan.

Spacetec-tuotteita on kehitetty pidemmälle kuin aikaisemmin mainittuja tuottei-  
ta. Niistä on saatu aikaseksi erilaisia tuotteita, jotka soveltuvat monenlaisiin  
käyttökohteisiin. Näiden tuotenimikkeitä ovat Multi-layer, FireResist, AL,PU ja  
PE. (9.)

Spacetec-tuotteet ovat tuotteesta riippuen käsitelty vähintään toiselta puolelta  
Comfort-pinnoitteella. Tuotteet ovat myös pinnoitettu erilaisilla materiaaleilla,  
jotta niiden ominaisuudet olisivat paremmat. Erilaisten pinnoitteiden avulla tuot-  
teiden käyttökohteita on saatu laajennettua. Kaikki aerogel-eristeet hylkivät vet-  
tä ja niitä voidaan leikata tavanomaisin välinein. (9.)

Spacetec multi-layer -tuotteet voidaan räätälöidä käyttökohteen mukaan erilais-  
ten pintakäsittelyjen, laminointi- ja eri enkapsulointitekniikoiden avulla (9, linkit  
Spacetec Multi-layer). FireResist-tuotteet täyttävät paloturvallisuus standardin  
EN 1366-3:2004, joten niillä 240 minuutin palokesto (9, linkit Spacetec Fire-  
Resist). AL-tuotteet on alumiinipinnoitettu yhdeltä tai kahdelta puolelta. PU- ja  
PE-tuotteet on pinnoitettu polyuretaanilla ja polyeteenillä yhdeltä tai kahdelta  
puolelta. Kaikkien tuotteiden lämmöneristävyys on 2–2,5 kertaa parempi kuin  
villaeristeen. Tuotteita saa rullatavarana tai määrämittaan leikattuina arkkeina.  
(9.) Alumiinilla pinnoitettu tuote on myös mahdollista saada liimapinnoitteella.  
(9, linkit Spacetec AL.)

### **Finnfoam**

Finnfoam-eristeet on kehittänyt suomalainen yritys. Tuotteen pääraaka-aineena  
käytetään polystyreeniä, joka on käytössä yleisesti esimerkiksi elintarviketeolli-  
suudessa. Tuote on valmistettu suulakepuristamalla, joten se on kansainvälisel-

läyhenteellä XPS-lämmöneriste. Erona tavalliseen styroxiin on täysin yhtenäinen ja tiivis solurakenne, jolla saavutetaan hyvät lämmöneristysominaisuudet. Valmistukseen käytetään 96–98 % polystyreeniä ja hiilidioksidia. Loput ovat erilaisia lisäaineita, joilla parannetaan aineen ominaisuuksia. (10.)

Eriste valmistetaan prosessissa, jossa korkeassa paineessa liuotetaan sulaan polystyreeniin nestemäistä hiilidioksidia. Normaalissa ilmanpaineessa hiilidioksidi kaasuuntuu tullessa suuttimesta ulos ja synnyttää tiiviin ja yhtenäisen solumuovirakenteen. Eristeitä on saatavilla 20–120 mm ainevahvuuksilla. (10.)

### **Eristeen tarvittava ainevahvuus**

Lämpötila mittaukset antoivat suuntaa antavia tuloksia akun kyvystä sitoa ja luovuttaa lämpöenergiaa. Näillä oli lämmönhallinnan suunnittelussa vaikutuksia etenkin tarvittavan eristeen paksuuden selvittämisessä. Eristeen hyvällä lämmönsiirtymiskertoimella ja huolellisella eristyksellä eivät akut ehdi kylmenemään työtehtävien aikana. Tämän edellytyksenä ovat työkoneen työajan ulkopuoliset säilytystilat jotka ovat lämpimässä hallissa. Nämä mahdollistavat akkujen olevan työtehtävien alkaessa ympäristön lämpötilan mukaiset.

Kevään 2013 testausajan tiedonkeruudatasta huomattiin, että akkujen purkauksessa syntyy tarvittava määrä lämpöä akun ylläpitämiseen suositetulla toimintalämpötilassa. Ongelmaksi osoittautui akkujen hidas lämpeneminen. Mikäli akut pääsevät kylmenemään useita asteita alle toimintalämpötilan, lämpötilan palautumiseen kuluu useita tunteja. Tähän vaikuttaa paljon käytettävissä oleva lämmitysteho.

Mikäli kylmenneet akut eivät ole suorassa yhteydessä huoneenlämpötilan kanssa, toimii eriste tällöin kylmää varastoivana kotelona. Akkujen kylmetessä reilusti alle toimintalämpötilan, tulisi ne päästää vapaaseen kosketukseen lämpimän ilman kanssa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi ottamalla akkukotelon kansi irralleen säilytyksen ajaksi.

Liitteessä 4 on esitetty eristeiden ominaisuuksia. Aerogeeli-pohjaiset eristeet ovat lämmöneristävyydeltään parempia kuin Finnfoam-eristeet. Aerogeeli-pohjaiset eristeet ovat kalliimpia, mutta näillä saavutettaisiin tilansäästöjä koteloon. Aerogeeli-pohjaisten tuotteiden erikoisuutena on lämmöneristävyuden säi-

lyminen suurellakin puristuspaineella. Nämä voisivat tämän ominaisuuden puolesta soveltua akkujen alapuoliseksi eristeeksi.

Laboratoritestauksen kotelo oli rakennettu 30 mm paksuisesta Finnfoam-eristeestä. Tämä täysin suljettu kotelo kykenee eristämään akkujen sitoman lämmön erittäin hyvin. Sen mahdollisti kotelon tiiveys, joka esti kotelon sisäilman vaihtumisen mittauksen aikana. Tämän takia lämmönsiirtymisen pääasillinen muoto oli eristeen kautta johtuminen. Koska aerogel-eristeet ovat lämmöneristävyydeltään parempia, tarvitaan sitä vähemmän kuin 30 mm samanlaiseen mittaustulokseen samoissa olosuhteissa.

### **3.4 Faasimuutosmateriaali**

Faasimuutosmateriaali on ainetta, jonka lämpömäärä ( $Q$ ) kasvaa huomattavasti olotilan vaihdoksen aikana. Tätä aineen muutosta sanotaan faasimuutokseksi. Ajatellaan, että normaaleissa olosuhteissa faasimuutoksia perusaineella on kahdenlaisia. Ensimmäinen on neste–kiinteä -muutos ja toinen neste–höyry -muutos. Sama pätee myös toisinpäin, mutta tällöin faasimuutoksessa aine sitoo lämpöenergiaa. Erittäin hyvänä esimerkkinä voidaan pitää veden faasimuutosta, joka tapahtuu kiinteäksi  $0\text{ °C}$ :ssa ja höyryksi  $100\text{ °C}$ :ssa. Nämä olotilan muutokset tapahtuvat tietyissä lämpötiloissa, ja erilaisilla materiaaleilla lämpötilat ovat toisenlaisia materiaalin kemiallisen koostumuksen mukaan. (11; 12; 13.)

Pääasiassa faasimuutosmateriaaleissa sulamislämpö on käyttökelpoisempi kuin höyrystymislämpö. Tämän aiheuttaa höyrystymislämmön suurempi lämpötila, minkä seurauksena sen käyttökohteet ovat toisenlaiset. Esimerkiksi korkeampaa höyrystymislämpöä voidaan soveltaa polttomoottorin jäähdytykseen (14, s. 54). Valmistajat tuottavat ja kehittävät faasimuutosmateriaaleja enimmäkseen kiinteä–neste–kiinteä-muutos alueilla, koska tuotteet ovat tarkoitettu rakennuksen huoneilman lämpötilan tasaamiseen. Joillakin faasimuutosmateriaaleilla on erikoisominaisuutena kiinteä–kiinteä-muutos. Mutta tämänlaisia sovelluksia ei ole käytössä. (11.)

Energian varastointitapoja materiaaliin on kahdenlaisia. Näitä kutsutaan tuntuvaksi ja piileväksi lämmöksi. Piilevä lämpöä kutsutaan faasimuutosmateriaalissa latenttilämmöksi. Tuntuvaan lämpöön sitoutuu lämpöenergiaa

aineen lämpötilan nousun avulla. Esimerkiksi kun vettä lämmitetään 50 °C...70 °C, siirtyy siihen vain tuntuvaa lämpöenergiaa. (14, s. 10; 13.) Tuntuvan lämpöenergian määrää voidaan laskea aikaisemmin luvussa 3.2 esitetyllä kaavalla 1.

Toinen varastointitapa on faasimuutoksen aikana tapahtuva lämmönsiirtyminen. Tämä tapahtuu esimerkiksi vesijään sulaessa, jossa kaikki lämpöenergia menee olotilan vaihdokseen. Tätä sanotaan sulamislämmöksi, ja sen yksikkönä on yleensä kJ/kg. Faasimuutosmateriaalin sulamislämmöt sijoittuvat yleensä aluelle 100–300 kJ/kg. (14, s. 10; 13.)

### **3.4.1 Käyttökohteet**

Faasimuutosmateriaaleja käytetään enimmäkseen kuumissa olosuhteissa rakennusten huoneenlämpötilan tasaamiseen. Tämän käytön periaatteena on, että järjestelmä sitoisi päivällä ylimääräisen lämpöenergian faasimuutosmateriaaliin ja ulkoilman jäähtyessä materiaali luovuttaisi sitoutunutta lämpöenergiaa ympäristöön. Faasimuutosmateriaalin hyväksi käyttäminen on kuitenkin vielä nykyaikana vähäistä. Tämä on kuitenkin nostanut suosiota, koska kehityspaineet entistä energia tehokkaimmista lämmönhallintajärjestelmistä ovat kasvaneet. (15; 16.)

Yhä useammat yritykset ovat alkaneet kehittää ja valmistaa erilaisia faasimuutosmateriaaleja sisältäviä tuotteita. Valmistajat markkinoivat tuotteita energiaa säästävänä osana lämmitysjärjestelmässä. Faasimuutosmateriaalia sisältävästä tuotteesta saadaan pitkällä aikavälillä merkittäviä energian säästöjä. Tämä on mahdollista jatkuvasti lämmitetyssä huoneistossa. Vaikka hankinta hinnat ovat korkeammat, järjestelmä maksaa ajan kuluessa itsensä takaisin. Tämä aiheutuu siitä, että faasimuutosmateriaali varastoi ja luovuttaa olemassa olevaa energiaa, eikä näin ollenkaan kuluta sitä. (11; 15.)

Faasimuutosmateriaaleja kehitetään jatkuvasti. Jo tällä hetkellä on pystytty tuottamaan entistä parempia materiaaleja, joiden ominaisuudet alkavat olla nykYTEknologian vaatimusten mukaisia. Materiaalin soveltaminen elektroniikkaan on vielä kehitysasteella, jossa valmistus ja kehitys ovat painottuneet pääasiassa yksittäisiin sovelluksiin. Faasimuutosmateriaalia nykyisillä ja tulevilla ominai-

suuksien avulla saadaan hyödynnettyä monessa paikassa, kuten elektroniikan lämmönhallinnassa. (11; 14, s. 66.)

### **3.4.2 Koostumus**

Faasimuutosmateriaalin kykyä varastoida ja luovuttaa lämpöä riippuu suuresti käytettävästä faasimuutosmateriaalista. Nämä materiaalit voidaan jakaa kahteen erilaiseen luokkaan: orgaaniset ja epäorgaaniset. Orgaanisia aineita ovat esimerkiksi parafiinivahat, rasvahapot ja polymeerit. Epäorgaaniset materiaalit ovat lähinnä suolayhdisteitä ja niiden seoksia. Kummallakin aineella on vahvuudet ja ne määrittelevätkin soveltuvuuden käyttökohteeseen. Orgaaniset faasimuutosaineet kuten parafiinit ovat käytettävyydeltään luotettavampia ja turvallisempia, eivätkä ne ole syövyttäviä. Epäorgaaniset materiaalit kuten suolahydraatit ovat halvempia ja niillä on paremmat ominaisuudet verrattuna orgaanisiin faasimuutosmateriaaleihin. (14, s. 10–11; 12.)

Epäorgaanisilla materiaaleilla on paremmat lämmönsitomisoiminaisuudet suhteessa orgaanisiin materiaaleihin. Syklit pysyvät pitkällä aikavälillä samanlaisia tarkoittaen, että faasimuutosmateriaalin lämmönsitomisoiminaisuus ei heikkene huomattavasti syklien välillä. Epäorgaanisten materiaalien ongelmana ovat olleet faasisegregaatio ja alijäähtyminen. Faasisegregaatio tarkoittaa epäkongruenttia faasimuutosta, jossa aineen olomuodon vaihdoksen aikana ei enää tapahdu kunnollista sulamista tai kiteytymistä. Epäkongruentti faasimuutos edesauttaa negatiivisesti materiaalin kykyä sitoa energiaa. Alijäähtyminen tarkoittaa, että materiaalian ympäristön lämpötilan pitää muuttua normaalista sulamispisteestä, jotta saavutetaan aineen olomuodon vaihdoksen täydellinen muuttuminen. Näitä ongelmia valmistajat yrittävät usealla tavalla ehkäistä ja ovat erilaisilla sekoituksilla onnistuneet parantamaan huomattavasti faasimuutosmateriaalien ominaisuuksia. (14, s. 20–21; 12.)

### **3.4.3 Kapselointi**

Kapselointi on tapa hyödyntää faasimuutosmateriaalia monipuolisesti erilaisissa kohteissa. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää kapseloitua faasimuutosmateriaalia sisältävää muovista jääpalaa. Tämä jääpala ei sula jäähdytettävään aineeseen joten se voidaan käyttää uudelleen. (17, s. 1.) Kapseloinnin ansiosta faasimuu-

tosmateriaali on saatu sisällytettyä perusaineeseen ilman, että se liukenee tai tihkuu siitä ulos.

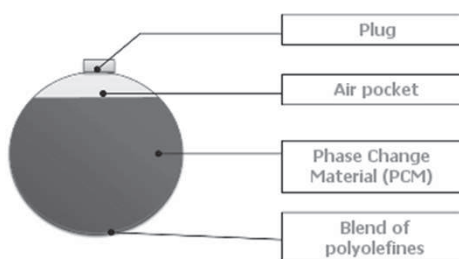
Kapselointi on tulevaisuudessa tapa hyödyntää faasimuutosaineen ominaisuuksia vaativissa käyttöympäristöissä. Valmistajat ovat tätä kehittäneet, ja markkinoilla on tällä hetkellä lukuisia tuotteita, joissa hyödynnetään kapseloitua faasimuutosmateriaalia. Kapseloinnin edut ovat huomattavia. Sillä saavutetaan esimerkiksi faasimuutosmateriaalin haluttu toiminta lämpöenergian varastoinnissa. Kapseloinnin avulla myös faasimuutos on paremmin hallittua. Esimerkiksi mikrokapseloinnin avulla ainetta voidaan sekoittaa melkein mihin tahansa muuhun aineeseen ja sen reagoiminen sekoitettavan aineen kanssa on epätodennäköistä. (11; 14, s.35–37.)

Kapseloinnilla ehkäistään myös faasimuutosmateriaalin kosketusta ulkoilman kanssa, joten aine ei pääse esimerkiksi tihkumaan ja valumaan hukkaan. Kapseloinnilla saadaan aikaseksi monenlaisia sovelluksia ja sen avulla voidaan hyödyntää faasimuutosmateriaalin ominaisuuksia paremmin.

Kapseloinnit jaetaan koon perusteella kahteen ryhmään, jotka ovat makro- ja mikrokapselointi. (14, s. 35.)

### **Makrokapselointi**

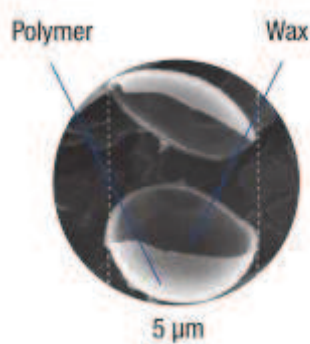
Kategoriaan kuuluvat yli 1 cm:n halkaisijan ylittävät kapselit. Näitä kutsutaan yleisesti faasimuutosmateriaalin säiliöiksi ja niiden massat voivat vaihdella grammasta kilogrammaan saakka. Makrokapselointia käytetään esimerkiksi erilaisissa pusseissa tai levymäisissä säiliöissä. (14, s. 35–36.) Kuvassa 2 on esitetty periaate makrokapseloinnista.



*KUVA 2. Makrokapselin rakennekaavio (14, s. 35)*

## Mikrokapselointi

Kapselit, joiden halkaisijat ovat alle 1 mm, kuuluvat mikrokapseleihin. Mikrokapseloinin kuorimateriaalina voidaan käyttää erilaisia luonnollisia tai synteettisiä polymeereja. Periaatteena on, että ydin koostuu faasimuutosmateriaalista ja kuori polymeeristä. Kuvassa 3 on esitetty Micronal-tuotteiden mikrokapseloitu faasimuutosmateriaali. Polymeerikuori voi sisältää useita ytimiä, jotka kuuluvat erilaisiin luokkiin. Luokkia ovat yksiytiminen, moniytiminen ja matriisityyppinen. Nimensä mukaisesti yksi- ja moniytiminen voi sisältää useita ytimiä. Taas matriisityypissä ydinmateriaali on jakaantunut tasaisesti kuoreen. (14, s. 36.)



*KUVA 3. Micronal-faasimuutosmateriaalia sisältävän tuotteen mikroskooppikuva, missä näkyy mikrokapseloitu rakenne (18, s. 4)*

Mikrokapseloinnilla voidaan toteuttaa usean erilaisen ytimen, toisin sanoen faasimuutosaineen käyttö samassa materiaalissa. Tämä mahdollistaa erilaisten faasimuutosmateriaalien ominaisuuksien hyödyntämisen yhdessä tuotteessa. Mikrokapseloinnin valmistusmenetelmät voidaan jakaa kolmeen ryhmään: fysikaaliset ja mekaaniset menetelmät, kemialliset menetelmät sekä fysikaaliskemialliset menetelmät. (14, s. 36–37.)

Faasimuutosmateriaalin käyttö mikrokapseloinnissa on turvallista ja yksinkertaista. Se kestää hyvin mekaanista kulutusta, liuottimia, kosteutta ja suuria syklimääriä. Mikrokapseloinnilla on hyvä lämmönjohtavuus ja edulliset valmistuskustannukset. Ydinmateriaalin mikroskooppisen koon takia jakaantuu se suurelle pinta-alalle, ja näin ollen lämmönsiirto on tehokkaampaa. (14, s. 36–37.)

### 3.4.4 Tuotteet

Markkinoilla on olemassa jo useita erilaisia tuotteita, jotka hyödyntävät faasimuutosmateriaalia. Tähän lukuun on kerätty tuotteita, jotka soveltuvat ominaisuuksien puolesta osaksi akkukotelon lämmönhallinta-järjestelmää. Faasimuutosaineen hyvinä ominaisuuksina akkukoteloinnissa voidaan pitää sulamislämpötilaa välillä 20–30 °C ja palamattomuutta.

#### **Micronal**

Micronal-rakenteet sisältävät mikrokapseloitua faasimuutosmateriaalia. Kapselit ovat kokoluokaltaan 2–20 µm ja ovat sekoitettuna perusaineeseen. Perusaine voi olla tavallisimpia eristemateriaaleja. Mikrokapseloinnin kuorikerros on toteutettu polymeerilla. Faasimuutosmateriaali on valmistajan kehittämää erikaisvahaseosta. (18, s. 3–5.)

Yhteen neliömetriin tuotetta on käytetty yksi kilo faasimuutosainetta. Faasimuutosainetta on saatavilla kolmella erilaisella sulamislämpötilalla, jotka ovat 21 °C, 23 °C ja 26 °C. Materiaalin sulamislämpö on 100 kJ/kg, sulamislämpötilalla 23 °C. Korkeammalla sulamislämpötilalla tuotteen sulamislämpö on hieman suurempi, 26 °C / 110 kJ/kg, ja alhaisemmalla se on pienempi, 21 °C / 90 kJ/kg. Tuotteita valmistaa yritys nimeltään BASF. (18, s. 3–5.)

Erilaiset sulamislämpötilalle kehitetyt faasimuutosaineet soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Korkeammalla sulamislämmöllä oleva faasimuutosaine soveltuu paremmin lämpötilapiikkien tasaamiseen esimerkiksi kesäkuumalla. Sulamislämpötilalla 23 °C oleva faasimuutosaine soveltuu yleiseen käyttöön tasamaan esimerkiksi huoneenlämpötilaa. Kyseinen aine on valmistajan suosituin tuote. Alhaisimman sulamislämmön faasimuutosaine soveltuu pintojen viilentämiseen. (18, s. 5.)

Micronal-rakenteissa käytettyä faasimuutosainetta saa myös pulverina ja nesteinä (kuva 4). Nestemäisessä tuotteessa pulveri on sekoituttuna veteen, joten tätä sekoitusta voidaan sanoa tarkemmin dispersioksi. Valmistajalla on kolmea erilaista pulveria ja nestettä. Näiden käyttölämpötilat sijoittuvat 10–30 °C:n välille. Pulvereilla on tiheyteen nähden paremmat lämmönsitominaisuudet, koska tuotteet sisältävät enemmän faasimuutosainetta kuin

vesiemulsiot. 30 kg Micronal PCM -faasimuutosainetta sitoo lämpöenergiaa 1 kWh. (18, s. 5.)



KUVA 4. Micronal PCM -vesiemulsiioseos vasemmallalla ja oikealla pulveri (18, s. 5)

### **K-Block**

Faasimuutosmateriaali on pakattu mattomaisen kuitukankaan taskuihin. Kangas sisältää kaksi kerrosta palosuoja-ainetta. Kangasmaisen rakenteen ansiosta tuotetta voidaan taitella ja rullata. Yritys käyttää faasimuutosmateriaalissa Thermusol-nimikettä. Tuotteen faasimuutosmateriaali koostuu erilaisista suolahydraateista. Thermusol-faasimuutosmateriaali on kapseloitu, joten sitä on saatavilla pulverina ja rakeisena. Tuotteella on seuraavanlaiset ominaisuudet (17):

- sulamislämpötila 22–28 °C
- jäähdytyskapasiteetti 164 Wh
- lämpökapasiteetti 590 kJ/m<sup>2</sup>
- kristallisointi lämpötila 22 °C
- mitat: pituus 2080 mm, leveys 510 mm, korkeus 10 mm
- lämpötilakesto –20...+40 °C
- B -paloluokitus luokka
- valmistaja Salca.

### **Energain® -paneeli**

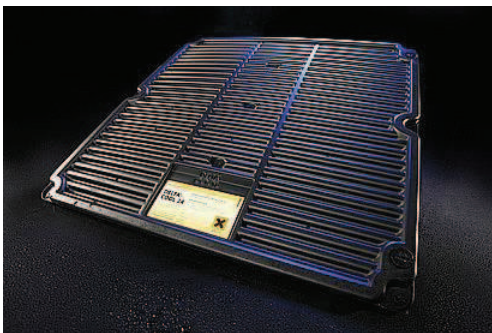
Tuotetta myydään ohuina levyinä, joiden paksuus on 5,26 mm. Levyt on lamiinoitu 100 µm paksuisella alumiinilla. Faasimuutosmateriaalina käytetään parafiinia, joka on sekoitettu polymeeri seokseen. Energainia valmistaa Dupoint yritys. Tuotteella on seuraavanlaiset ominaisuudet (19; 20):

- sulamislämpötila 21,7 °C
- jähmettymislämpötila 18 °C
- lämpökapasiteetti 515 kJ/m<sup>2</sup> tai 140 kJ/kg
- leveys 1000 mm, pituus 1198 mm
- tiheys 4,5 kg/m<sup>2</sup>
- paloluokitus EN 11925-2:n mukaan E.

### **Delta Cool 24**

Faasimuutosmateriaali on sisällytetty paneeliin, jossa on ripoja lämmönsiirtymisen tehostamiseksi (kuva 5). Paneelin materiaalina on käytetty kierrätettävää muovia. Faasimuutosmateriaali on epäorgaanista suolahydraattiseosta. Valmistaja käyttää siitä nimeä *DC 24 hydrated salt* (21). Tuotteella on seuraavanlaiset ominaisuudet (21, s, 3):

- sulamislämpötila 22–28°C
- jähmettymislämpötila 22 °C
- sulamisenergia 1264kJ / m<sup>2</sup> tai 352 Wh
- maksimi käyttölämpötila 60 °C
- sulamislämpö 2,2–2,7 kJ/kg K (neste-kiinteä)
- pituus 610 mm, leveys 610 mm, korkeus 17 mm.



*KUVA 5. Faasimuutosmateriaalia sisältävä paneeli, Delta Cool 24 (19)*

### **3.4.5 PCM-materiaalin sopivuus akkujen lämmönhallintaan**

PCM-materiaalia käytetään lämpimissä maissa rakennusteollisuudessa, talojen huoneenlämpötilojen tasaamiseksi. Päivällä kuuma auringonpaiste lämmittää taloa ja yöllä ulkoilman lämpötila laskee useita asteita. Akkukotelossa työpäivän aikana akuista purkautuva ylimääräinen lämpöenergian sitoutuisi faasimuutos-

materiaaliin ja luovuttaisi sitä, kun lämpötila laskisi optimialueelta. Toisena vaihtoehtona on ennen työpäivän alkamista varastoida faasimuutosmateriaaliin lämpöenergiaa, joka työpäivän aikana luovuttettaisiin. Tämä on mahdollista tässä, koska ajoneuvoa säilytetään lämpimässä hallissa työajan ulkopuolella.

Kapseloinnilla on saatu faasimuutosmateriaalia sisällytettyä erilaisiin kevyisiin eristemateriaaleihin. Tämän avulla eristeiden paino ei nouse niin paljon kuin muuhun materiaaliin sisällytettynä. Faasimuutosmateriaalia sisältäviä tuotteita voidaan hyvin korvata kotelossa olevat irrotettavissa olevat eristeet. Myös faasimuutosmateriaalin käyttäminen lämpöäsitovana materiaalina esimerkiksi keksällä on mahdollista. Tämä mahdollistaisi jopa sen, että ylimääräistä jäähdytystä ei tarvitse ollenkaan. Testeillä voitaisiin selvittää faasimuutosmateriaalin määrä ja käytön aikaiset lämpötilat.

Orgaaniset aineet ovat paloherkkiä. Useat tätä sisältävät tuotteet ovatkin suojattu jonkinlaisella palosuoja-aineella, jonka tarkoituksena on hidastaa aineen syttymistä ja vähentää leimahduserkkyyttä. Koska orgaanisilla ja epäorgaanisilla aineilla on omat vahvuudet, joudutaan usein tekemään kompromisseja tuotteen valinnassa.

### **3.5 Lämmitys**

Kevään 2013 testiajoissa akkulaatikkon lämmitys oli toteutettu lämmitysmattojen avulla. Matot on sijoitettu akkukotelon kanteen ja sivuseiniin. Kotelossa oli termostaatti, joka kytki lämmitysmatot päälle, kun kotelon sisälämpötila laski alle +15 °C:n.

Polar Heater markkinoi akun ympärille tulevaa akun lämmitysjärjestelmää siviili- ja ammattikäyttöön. Paketti koostuu lämmitysmatosta, yllilämpötermostaatista ja solumuovieristeestä. Akun ja lämmitysmaton ympärille tulee erikoissolumuovista valmistettu eristematto, joka sidotaan akun ja lämmitysmaton ympärille kiristysnauhalla eristämään lämpöä. Kyseinen ratkaisu on tehokas tapa lämmittää akkua, koska lämmitysenergia johtuu suoraan akkuun. Artic Heater valmistaa samantapaista tuotetta, mutta tuotteen erona on 12-voltin lämmitysjärjestelmä, kun toisessa järjestelmässä lämmitys on toteutettu verkkovirran avulla. (22, linkit -> Polar akkulämmitin; 23, linkit -> Tuotteet -> Artic Battery Heater.) Tuotteet

ovat hyväksytyt liikennekäyttöön erilaisten hyväksymisprosessien kautta. Siten niiden turvallisuus ja laillisuus akkujen lämmönhallinnassa tulevaisuudessa on todennäköisempää, kun käytetään hyväksytyjä tuotteita.

Akkujen lämmitys olisi myös mahdollista toteuttaa veden avulla, jolloin lämpöpumppu lämmittäisi kennon läpi kiertävää vettä. Kenno vapauttaisi lämpöenergian akkukotelon sisälle. Tämäntyyppisellä ratkaisulla voidaan toteuttaa myös jäähdytys. Lämmityksen sijasta vesi jäädytettäisiin kennolle. Ratkaisu on kuitenkin monimutkainen toteuttaa ja vaatii huolellista suunnittelua letkujen sijoittelusta ja niiden mahdollisten vuotojen eliminoinnista. Ratkaisu sopisi paremmin ajoneuvoille, jotka altistuvat jatkuvasti ulkoilmalle ja joilla ei ole mahdollisuutta lämpimään säilytykseen. Hilux säilytetään seuraavan työvuoron alkuun lämpimässä hallissa, jossa ajoneuvon lämpötila tasaantuu hallin lämpötilan tasolle.

On myös mahdollista käyttää ajoneuvon sisätilaa lämmittävää lämpöpuhallinta, joka saa käyttöenergian polttoaineesta. Lämpöpuhallin on tehokastapa lämmitellä koteloa mutta siihen liittyy muutamia ongelmia. Koteloon puhallettava lämmin ilma synnyttää kondesiovettä kotelon sisälle ja siihen tulisi löytää ratkaisu. Myös ylimääräiset osat lisäävät kotelon monimutkaisuutta ja huoltokustannuksia. Taka-akkukotelossa voitaisiin hyödyntää kabiinin sisäilman lämpöenergiaa mutta sen ongelmana on sisäilman vaihtuminen lukuisia kertoja työpäivän aikana. Tämä johtuu ajoneuvon ovien jatkuvista avaamisista työtehtävien aikana.

Tulevaan lämmitykseen on järkevin soveltaa samanlaisia lämpövastusmattoja, mitä taka-akkukotelon lämmitykseen käytetty. Näillä saadaan akustolle käytön aikana tarvitsema lämpöenergia ilman monimutkaisia järjestelmiä. Suunniteltaessa kotelo mahdollisimman suureksi, voidaan tulevaisuudessa erilaisten kursien yhteydessä kehittää paremmat lämmönhallinta järjestelmät.

### **3.6 Jäähdytys**

Pääasiassa työkoneen testitajot ovat suoritettu talviolosuhteissa, jossa jäähdytystä ei ole tarvittu. Tämän takia on vaikea määrittää jäähdytyksen tarvetta.

Edellisten testien perusteella todetaan, että akkujen luovuttama lämpöenergia ei lämmittänyt koteloa niin paljon, että jäähdytystä olisi tarvittu.

Kun pyritään pitämään akkujen lämpötila ajon aikana optimialueella, niin keskeisiä tekijöitä on kaksi. Nämä ovat akkujen lämpeneminen purkautuessa ja ulkoilman lämmittävä vaikutus akkuihin. Erilaiset faasimuutosmateriaalit pystyivät kompensoimaan ulkoilman lämpötilan rajauksen tietyissä rajoissa. Myös akuista purkautuva ylimääräinen energia voidaan sitouttaa faasimuutosmateriaaliin kohtuullisin määrin.

Kesällä ulkoilman lämpötila nousee hellepäivinä varjoissa Oulun seudulla maksimissaan +25...+30 °C:seen. Akkujen optimaalinen toimintalämpötila alue on +20...+35 °C ja sen käyttö on sallittu jopa +60 °C:ssa ja –25 °C:ssa (2, s. 37).

Faasimuutosmateriaalia käytettäessä ylimääräisen lämpöenergian sitouttamisessa edellyttää, että faasimuutosmateriaali on ennen työnalkamista viileämpää kuin ulkoilma. Tämä mahdollistaisi sen että materiaali pystyisi sitomaan itseensä lämpöenergiaa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin faasimuutosaineen tarvittava määrä suhteessa käytettävissä olevaan tilaan. Rajoitettuun tilaan suunniteltaessa muodostuu tämä varmasti yhdeksi ongelmaksi kohdaksi. Mitä vähemmän faasimuutosainetta saadaan koteloon mahtumaan, sitä lyhyempi on lämpötilan pysyminen faasimuutosmateriaalin sulamislämpötilan alueella ja sitä vähemmän siitä voidaan hyötyä.

## 4 AKKUKOTELOINNIN JA TUKIRAKENTEEN SUUNNITTELU

### 4.1 Akkukoteloinnin aikaisempia tietoja suunnittelun tueksi

Selvitetään työkohtaisesti akkujen suunnitteluun liittyvä pääkohtia. Näistä huomioidaan asioita, joita on tärkeää ottaa huomioon suunniteltaessa sähköauton akkukotelointia.

#### 4.1.1 Esiselvitys ja lavanmuokkausprojektit

Aikaisempina projekteina on ollut esiselvitystyö uusien akkujen koteloinnista ja lämmönhallinnasta. Näissä selvitettiin käytössä olevaa tilaa ja akkujen sijoittelua autoon. Projektissa käytiin myös läpi akkukotelorakennetta, tukirakennetta, materiaaleja, kaivoskelpoisuutta, turvallisuutta ja akkujen mahdollisia lämmönhallinta mahdollisuuksia. Projektissa syntyneet tuotokset ja ideat ovat osittain käytökelpoisia. Hyvänä esimerkkinä tästä on johtojen vieminen pohjan kautta ohjaamoon. Etuakkulaatikossa akkukaapelit tulevat kulkemaan pohjan kautta kaabiiniin. (3.)

Esiselvitystyössä päädyttiin selvitettyjen tietojen pohjalta käyttämään tukirakenteessa terästä materiaalina, koska alumiinin käyttäminen tukirakenteissa kasvattaisi ainevahvuuden liian suureksi. (3.)

Esiselvitys projektissa ei huomioitu kennorakenteiden käyttöä akkukotelossa. Työssä huomioitiin vain ohutlevy- ja putkirakenteen käyttökelpoisuutta ja soveltuvuutta. Työn kotelorakenne pohjautuu kokonaan kennorakenteesta ja vain tukirakenteen ideoita sovelletaan esiselvitysprojektista. (3.)

Taka-akkukotelon lavarakenteen muokkaukset ja kotelon suojaukset toteutettiin pääasiassa putkipalkkirakenteella. Rakenteisiin suoritettiin FEA-analyysseja, joilla haettiin maksimivoimaa, jonka rakenne kestää. Myös keskeisenä osana oli rakenteen testaus 980 N kuormituksella 200 mm x 200 mm alalle. Testit osoittivat, että putkipalkki rakenne on oikein suunniteltuna luja ja kestävä rakenne. (24.)

#### **4.1.2 Muita tietoja akkukotelointiin liittyen**

Tuomas Tihisen (2, s. 19–21) opinnäytetyössä oli käsitelty akkukoteloinnin vaatimuksia. Työssä olevat tiedot ovat peräisin Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission antamista säännöistä. (25; 26.)

##### **Kotelon vaatimukset**

Sähkö- ja hybridi-ajoneuvojen akkukoteloinnin vaatimuksille on olemassa oma yhdistyneiden kansakuntien sääntö numero 34. Tässä määritellään paloturvallisuudelle yhdenmukaiset vaatimukset. Säännössä käsitellään enimmäkseen polttoainejärjestelmän vaatimuksia. (25, s. 55; 2, s. 19.)

Akkujen osalta säännöstä numero E34 voidaan soveltaa kotelon törmäysvaatimuksia, jotka koskevat enimmäkseen akkujen kiinnitystä. Säännön kohdassa 9.4 kerrotaan seuraavaa ”*Akun kiinnityslaitteen on pidettävä akku paikallaan kohdassa 9 kuvattujen törmäysten aikana ja jälkeen.*” (25, s. 55; 2, s. 19).

Säännön numero E34 liitteessä 3 kerrotaan etutörmäystestin hyväksymisen edellytykset. Testiin kuuluu, että ajoneuvo törmäytetään teräsbetoniseen esteeseen nopeudella 48,3–53,1 km/h. (25, s. 55; 2, s. 19.)

Myös takatörmäykseen on olemassa omat testaukset. Näitä on käsitelty säännön 34 liitteessä 4. Testissä törmäytetään ajoneuvon takaosaan heilurilla tai liikkuvalla vaunusta koostuvaa rakennetta, jonka nopeus on 35–38 km/h välillä. Törmäyskappaleen massan tulee olla 1 100 kg +/- 20 kg. (25, s. 72; 2, s. 19.)

Muut vastaavat testausmenetelmät ovat sallittuja, mikäli niillä voidaan havaita alkuperäisen testiin liittyvät arvot tai todeta ne testiin perustuvilla laskelmilla. (25, s. 71; 2, s. 19.)

##### **Sähköturvallisuus**

Yhdistyneiden kansakuntien sääntö numero E100 käsittelee sähkö- ja hybridi-ajoneuvojen sähköturvallisuutta. Säännössä käsitellään yhdenmukaiset vaatimukset, ajoneuvon hyväksyntään sähköisen voimajärjestelmään soveltavien erikoisvaatimusten osalta. E100-säännössä käsitellään johtojen suojausta, jännitteellisten osien suoran kosketuksen välttämistä, matkustustilaan sijoitettujen

jännitteellisten osien suojausta, huoltokatkaisijaa, sähköjärjestelmän vaaran merkintää, galvaanisen erotuksen tarvetta ja akkujärjestelmän ylivirran estämistä. Säännöissä kerrotaan tarvittavan suojauksen luokka ja minkälaisilla toimenpiteillä se on toteutettavissa. (26; 2, s. 20–21.)

Ajoneuvon sähköjärjestelmä täyttää suurimman osan vaatimuksista. Seuraavat vaatimukset koskevat uuden ajoakuston suunnittelua (26, s. 58; 2, s. 20–21):

- säännön 5.1.1.5 mukaan akkukotelossa oltava suurjännitelaitteen merkintä
- säännön 5.1.2 mukaan galvaaninen erotus tulisi täyttyä
- akkukotelon johtojen läpivetoreikä suojattava säännön 5.1.1 mukaan.

## **4.2 Liittyviä standardeja**

Standardissa SFS-EN 50272-3 on käsittely ajovoima-akkuja. Kyseinen käsite tarkoittaa akkua, jonka tarkoitus on tuottaa sähköisen kulkuneuvon käyttövoimana tarvittava energia. Standardia voidaan soveltaa osin sähköajoneuvojen akkujen koteloinnin ja akkujen suojauksen vaatimuksiin. (27.)

Kyseisessä standardissa on kuitenkin esitetty samantyyllisiä vaatimuksia akkukotelointiin, kuin luvussa 4.1.2 esitetyissä säännöissä. Standardissa käsiteltiin myös akkujen turvalliseen huoltoonliittyviä toimenpiteitä mutta enimmäkseen akkuja, joista voi käytön aikana muodostua räjähdysriskiä tai terveydelle vaarallisia yhdisteitä. (27.) Hiluxin akusto koostuu litiumioni-akuista, joissa kaasujen muodostuminen on erittäin vähäistä tai olematonta.

## **4.3 Kotelorakenne**

### **4.3.1 Putkipalkki**

Mikäli kotelossa käytettäisiin putkirakennetta, olisivat sen vahvuudet etenkin valmistuksessa, koska rakentaminen onnistuisi koululla. Putkipalkkirakenteilla on hyvä saatavuus ja ne on todettu käytännölliseiksi rakenteiksi. Rakenteen heikkoutena voi olla kuitenkin liikapaino. Se saattaa kasvaa liikaa ja sähköautossa pienikin painon lasku on hyväksi.

### 4.3.2 Ohutlevy

Kokonaan ohutlevyrakenteeksi suunniteltaessa tulee rakenteen vahvistukset suunnitella hyvin. Vahvistusten sijainnilla on suuri merkitys ohutlevyrakenteen lujuusominaisuuksiin ja lommahduksen estämiseen. Tämän takia suunnittelu-  
minen vaatii perehtymistä ja aikaa.

Etuakkukoteloon tulee paljon suoraa sivua, joten vahvikkeet tulisivat viemään tilaa. Putkipalkkirakenteen ja ohutlevyrakenteen parhaimpien puolien yhdistämisestä saataisiin varmaan aikaiseksi onnistunut rakenne kokonaisuus. Kennorakenteet ovat yleensä ohutlevyrakenteita, mutta niitä käsitellään tässä työssä erillisessä luvussa.

### 4.3.3 Kennorakenteet

On olemassa monenlaisia kennorakenteita, joiden käyttökohteet vaihtelevat rakenteen mukaan. Erilaisia kennorakenteita voidaan soveltaa monenlaisissa kohteissa. Seuraaviin otsikoihin valittuja kennotyyppejä on ydin-, hunaja- ja kallotikennot. Jälkimmäiseen kennotekniikkaan perehdytään hieman enemmän, koska sitä tullaan käyttämään kotelon rakenteessa.

#### Ydinkenko

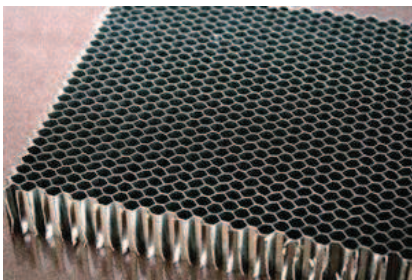
Ydinkenko koostuu kolmesta levystä, joita ovat pintalevyt ja ydinlevy. Ydinlevyn muoto voi olla yhtenäinen tai se voi koostua erilaisista elementeistä. Ydinmateriaalina voidaan käyttää putkipalkkia. (28, s. 7.) Ydinkennotekniikkaa on käytetty myös Hilux-sähkötyökoneen voimanlähteessä, Randaxin valmistamassa sähkömoottorissa, jossa sitä käytetään kuorimateriaalissa (29, s. 39). Kuvassa 6 on esitetty havainnollistava kuva ydinkennorakenteesta.



*KUVA 6. Ydinkennorakenne (28, s. 7)*

## Hunajakkenno

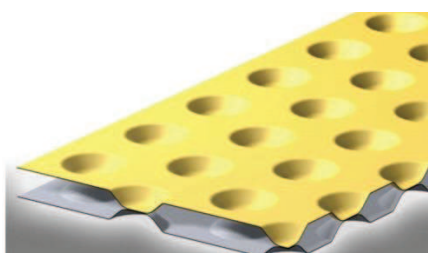
Hunajakennon ytimenä käytetään nimensä mukaisesti hunajakennomaista ydintä. Ydin on sijoitettu kahdenpintalevyn väliin. Hunajakennorakenne ottaa vastaan hyvin törmäysenergiaa ja soveltuu näin osaksi törmäysenergian vastaanottavana rakenteena. Markkinoilla onkin monenlaisia tuotteita, jotka pohjautuvat hunajakennorakenteeseen. Hunajakennorakenteen ydin on esitetty kuvassa 7. (30; 28, s. 10.)



*KUVA 7. Hunajakennorakenteen ydin (30)*

## Kalottikkenno

Kalottikennorakenne koostuu kahdesta levystä, joista vähintään toiseen on tehty katkaistun kartionmuotoisia painaumia. Näitä kartioita kutsutaan kaloteiksi. Kalottikennorakenne on painoonsa nähden jäykkä rakenne. Tämä johtuu sen ristikkomaisesta rakenteesta, joka ottaa hyvin vastaan ristivoimia. Kalottikennorakenne on esitetty kuvassa 8. (28, s. 13.)



*KUVA 8. Kaksipuoleinen kalottikennorakenne (31, s. 1)*

Ydinkennoon verrattuna kalottikennorakenne on kevyempi. Kalottikennot tehdään pääasiassa ohuemmasta levystä, kuin muut ydinkennon sisältävät kennorakenteet. Kalottikennossa olevat kevennykset, eivät heikennä juurikaan rakenteen jäykkyyttä. Kalottikennojen muunneltavuus ja soveltuvuus erilaisiin kohteisiin on erinomainen. (32, s. 28.)

Kalotit valmistetaan levyyn automaattisessa prosessissa, jolloin niiden valmistuskustannukset ovat alhaiset. Tässä samassa prosessi voidaan hoitaa myös muut leikkaukset ja rei'itykset. Ohutlevyn maksimiainevahvuudeksi on valmistaja ilmoittanut 2 mm, joten sitä suuremmilla ainevahvuuksilla kalotin paininvoima tulee nousee liian suureksi ja rajoittavaksi tekijäksi. (32, s. 28.)

Kalotit voidaan sijoittaa levyssä haluamaan paikkaan, kunhan jättää pidätintyökälulle tilaa 12 mm kalottien välille. Kuitenkin kalottien sijoituksessa täytyy huomioida, ettei kalottien välille jää suoraa, jossa ei esiinny kalottipainumia. Tämä siksi että voimalinjat olisivat yhtenäisiä. Kalotin korkeutta voidaan säätää työkaluilla, jotka eivät paina kalottia pohjaan saakka. Levyn reunoihin täytyy jättää työskentely tilaa särmäyskoneelle. (32, s. 29.)

Ominaisuuksien muokkaaminen kennorakenteeseen tapahtuu kalottien mittoja, jakoa ja levynpaksuutta muuttamalla. Kennorakenteen sisäosat voidaan täyttää lisäominaisuuksien saavuttamiseksi erilaisilla aineilla. Näitä aineita voi olla uretaanivahto, tilke tai jonkinlainen raemainen materiaali. Näiden avulla, rakennetta voidaan käyttää erilaisissa lämpö-, ääni- ja värinäsovelluksissa. (32, s. 29.)

Vetosyvyydellä ja ohutlevyn ainevahvuudella on myös rajoituksia. Kalottia liian syvälle painaessa, liian ohueen levyyn tai liian pienen myötörajan omaavaan teräkseen voi työkalu repiä ohutlevyä kalotin kohdalta. Tässä tilanteessa kalotin luominen epäonnistuu. Mikäli painintyökälun pidätin renkaiden pidättelemä ohutlevy alkaa luistaa ja liukuu kalottiin, aiheuttaa tämä myös kalotin epäonnistumisen. Kyseinen tilanne aiheuttaa myös levyn vääntymistä ja epäsuoruutta. (32, s. 29.)

Kennorakenteet kasataan pistehitsaamalla, laserhitsaamalla tai liimaamalla. Materiaali määrää kuitenkin pitkälle minkälaisella liittämistekniikalla kalottikennorakenne voidaan valmistaa. Liimaaminen soveltuu hyvin sellaisten materiaalien kiinnittämiseen, joilla on huono hitsattavuus. Kennojen liittämisestä liimaamisen avulla on tutkittu laajemmin ja se on tutkimusten mukaan potentiaalinen liittämismenetelmä. (32, s. 29; 33 s. 46.)

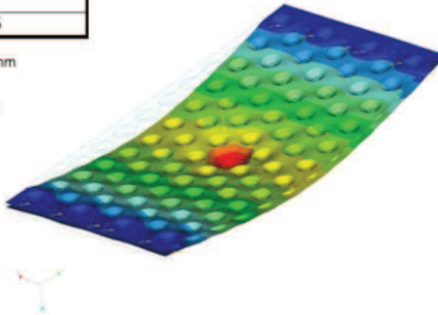
Kalottikennorakenteisiin tehtyjä lujuuustarkasteluita FEA-ohjelmistolla Compusteel Oy:ssä osoittavat, että rakenne voi olla, jopa 30 % vastaavan siirtymän

omaavasta umpilevyn painosta. Keveydestä huolimatta kennorakenne on yhtä taivutusjäykkä kuin umpilevyrakente. (31, s. 2.) Kuvassa 9 on esitetty testin tuloksia.

Kalottikennon vertailu umpilevyrakenteeseen nähden

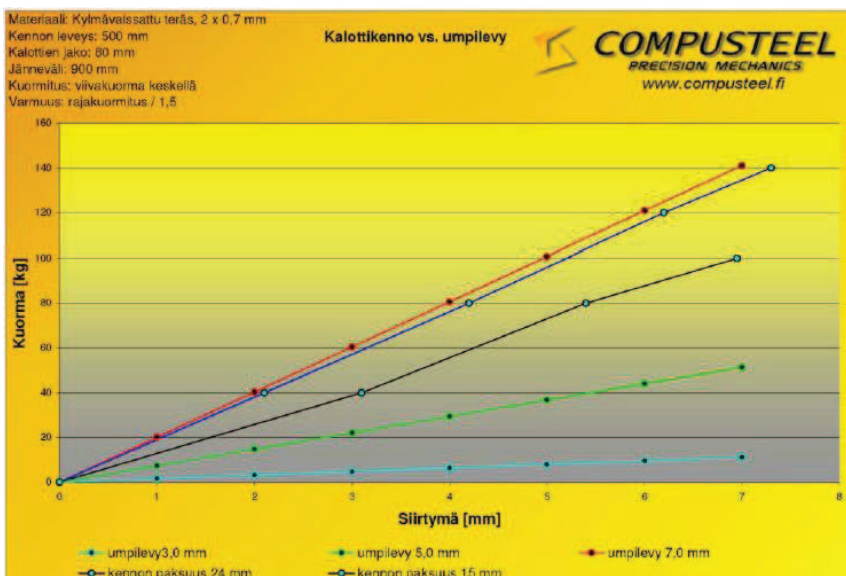
	Kalottikkenno	Umpilevy
Levyypinta-ala [m <sup>2</sup> ]	1,8	0,9
Massa [kg]	14,1	48,7
Siirtymä [mm]	5,4	5,4
Korkeus [mm]	24	6,9
Valmistusvaiheet:	2	1
materiaalikustannus:	1	3,5

**Kalottikennolevy:** 900 x 500 x 24, 2 x 07 mm, jako 80 mm  
**Materiaali:** Kylmävalssattu teräs  
**Umpilevy:** 900 x 500 x 6,9  
 (paksuus optimoitu FEA-ohjelmistolla siirtymän mukaan)  
**Kuormitus:** Symmetrisesti keskellä Ø70 alueella  
**Tuenta:** Jänneväli 900 mm, viivatuenta



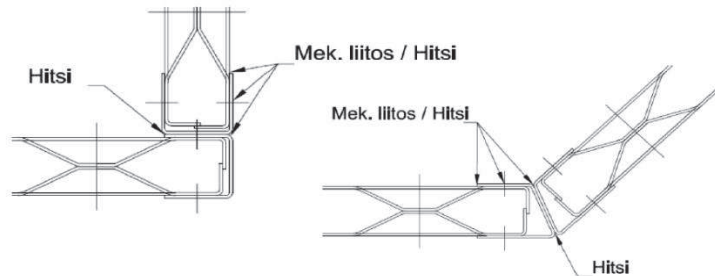
KUVA 9. Kalottikennolevyn vertailu umpilevyrakenteeseen nähden (31, s. 2)

Compusteel Oy:ssä on suoritettu myös kalottikennorakenteille kuormituskokeita, joissa vertailun kohteena oli eri ainevahvuuksisia umpilevyjä. Testissä kuormituksen varmuus oli 1,5 kalottikenttien raja-kuormituksesta. Huomataan, että kahdesta 0,7 mm paksuisesta levystä valmistetun 24 mm paksun kalottikennorakenteen kuorma ja siirtymä vastaa 7 mm umpilevyä. Testin tulokset on esitetty kuvassa 10. (31, s. 2.)



KUVA 10. Kalottikennorakenteen jäykkyyden vertailu umpilevyyn (31, s. 2)

Kennorakenteiden liittämisen toisiinsa on mahdollista hitsaamalla tai mekaanisella liitoksella. Kennorakenteiden kulmaliitos voidaan toteuttaa kuvan 11 mukaan. Kuvassa on käytetty kennorakenteen päissä U-profiilia.



*KUVA 11. Kalottikenttien kulmaliitos U-profiilein vasemmalla 90° ja oikealla 45° kulmassa (34, s. 34)*

Liittämistekniikoita on käsitelty enemmän Ville Laitisen kandidaatin työssä. Siinä käsitellään kennorakenteen erilaisia liittämismenetelmiä. (34.)

#### **4.4 Materiaalivaihtoehdot**

Materiaalien lopullinen valinta suoritetaan lujoustarkastelussa luvussa 6. Luvussa valitaan etenkin tukimateriaalien metallien ominaisuudet. Lujoustarkastelussa arvioidaan teräksen lujuusominaisuuksien riittävyyttä. Tässä luvussa on esitetty mahdollisia materiaaleja. Lopullinen valinta suoritetaan valmistajan saatavilla olemista materiaaleista, joiden lujuusominaisuudet ovat riittävät.

#### **Alumiini**

Alumiini on yksi vaihtoehtoinen metalli, jota voidaan soveltaa akkukoteloinnissa. Sen paino on 1/3 teräksen painosta ja se kestää korroosiota erinomaisesti. Teräksen ja alumiinin käyttäminen samassa rakenteessa vaatii kuitenkin lisätoimenpiteitä. Syynä tähän on teräksen aiheuttama galvaaninen korrosio hapettavissa olosuhteissa.

Alumiini on yleensä epäjalompaa metallia ollessaan sähköisessä kosketuksessa muun metallin kanssa. Sähköpari voi syntyä esimerkiksi suolaveden välityksellä. Alumiinin korrosio ei ole kuitenkaan ollenkaan niin vaarallista, mikäli siihen osataan oikein varautua. Oikeanlaisella suunnittelulla ehkäistään korroosioita tehokkaasti. (35, s. 71–72.)

Galvaanista korroosiota syntyy, kun kaksi metallia synnyttää samassa elektrolyytissä sähköparin. Korroosion voimakkuus on riippuvainen pinta-alan suuruudesta. Korroosio voidaan estää asentamalla yksinkertainen eriste metallien väliin. (35, s. 71–72.)

Alumiinia voidaan käyttää kotelossa kannen ja seinän materiaalina. Kennorakenteeseen voidaan käyttää myös alumiinia. Kennorakenne kantaa todennäköisesti osan akkujen painosta, joten käytettävän alumiinin lujuusominaisuudet tulee kiinnittää huomiota. Esimerkiksi kalottien sijainnilla ja alumiinilajin valinnalla saadaan aikaseksi lujuusominaisuuksiltaan soveltuva rakenne.

Alumiinien materiaalien ominaisuudet riippuvat lajista, tilasta ja paksuudesta. Taulukossa 8 on esitetty standardisoituja alumiineja, joita voidaan soveltaa akkukoteloinnissa.

*TAULUKKO 8. Akkukoteloon soveltuvat standardisoitujen alumiinien ominaisuudet (36)*

Alumiini	Tila	Paksuus	Vetolujuus $R_m$ (min) MPa	Vetolujuus $R_m$ (max) MPa	0,2 % myötö- lujuus $R_{p0,2}$ MPa	Venymä A %
EN AW-5083	O/H111	0,2–6,3 mm	275	350	125	11–15
EN AW-5754	O/H111	0,5–12,5 mm	190	240	80	12–18
	H22/32	0,2–12,5 mm	220	270	130	7–10
	H24/34	0,2–12,5 mm	240	280	160	6–10
EN AW-6082	T4	1,5–12,5 mm	205	-	110	12–15
	T651	1,5–6,5 mm	310	-	260	6–10

Myötölujuus on määrävänä tekijänä mitoittaessa niin teräs-, kuin alumiinirakenteita. Se tarkoittaa rajaa, jolloin materiaaliin alkaa tapahtua merkittävää plastista muodonmuutosta.

## Teräs

Mikäli kennorakenne valmistetaan kokonaan teräksestä, voidaan ohutlevyn materiaalina käyttää

- lujia kylmämuovattavia EN 10268 mukaisia teräksiä
- muovattavia EN 10130:n mukaisia teräksiä
- EN 1.4301/1.4307:n mukaiset ruostumattomia teräksiä, joko kuuma- tai kylmävalssattuja.

Lujista kylmämuovattavista EN 10268:n mukaisista teräksistä kennorakenteen valmistuksessa voidaan käyttää kaikkia saatavilla olevia teräslajeja. Näiden terästen ominaisuuksia on esitetty taulukossa 9.

*TAULUKKO 9. Lujien muovattavien EN 10268:n mukaiset terästen ominaisuuksia (37, linkit Tuotteet&Ratkaisut -> Kylmävalssatut teräsohutlevyt -> Lujat kylmämuovattavat teräkset EN 10268 -> PDF.)*

Teräslaji	Myötölujuus $R_e$ MPa	Murtolujuus $R_m$ MPa	Murto venymä $A_{80}$ %	
			Max 0,5 mm	>0,5–0,7 mm
HC260LA	260–330	350–430	22	24
HC300LA	300–380	380–480	19	21
HC340LA	340–420	410–510	17	19
HC380LA	380–480	440–580	15	17
HC420LA	420–520	470–600	13	15
HC500LA	500–620	550–710	8	10

Muovattavista EN 10130:n mukaisista teräksistä kennorakenteen valmistuksessa voidaan käyttää kaikkia saatavilla olevia teräslajeja. Näiden terästen ominaisuuksia on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Muovattavien EN 10130:n mukaisten terästen ominaisuuksia  
(37, linkit Tuotteet&Ratkaisut -> Terastuotteet -> Kylmävalssatut teräsohutlevyt  
-> muovattavat teräkset EN 10130 -> PDF.)

Teräslaji	Myötölujuus $R_e$ MPa		Murtolujuus $R_m$ MPa	Murto venymä $A_{80}$ %	
	>0,5–0,7 mm	>0,7 mm		>0,5–0,7 mm	>0,7 mm
DC01	300	280	270–410	26	28
DC03	260	240	270–370	32	34
DC04	230	210	270–350	36	38
DC05	220	180	270–330	38	40
DC06	210	170	270–330	39	41

Kennorakenne voidaan valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä. Nämä kestävät hyvin korroosiota, eivätkä tarvitse erillistä pintakäsittelyä, kuten aikaisemmin mainitut teräkset. Rakenteen paino pysyy samana ja sen lujuusominaisuudet ovat hieman paremmat kuin normaaleilla teräksillä. Huonona puolena ruostumattomassa teräksessä on sen korkeampi hinta.

Muissa kohteissa missä vaaditaan teräksistä ohutlevyä, voidaan käyttää kennorakenteeseen soveltuvia muokattavia teräksiä tai vaihtoehtoisesti standardin EN 10025–2:n mukaisia teräksiä.

Rakenneputkien materiaalina voidaan käyttää S235–S460 mukaisia EN 10219 rakenneputkia. Putket soveltuvat erilaisiin useisiin rakenteellisiin kokonaisuuksiin. Näiden tarkemmat ominaisuudet on esitetty taulukossa 11. Putkea on saatavilla useilla erilaisilla ulkomitoilla. Osa Ruukin valikoimassa olevista putkien profiileista on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 11. S235–S355 mukaisten EN 10219:n rakenneputkien ominaisuuksia (37, linkit Tuotteet&Ratkaisut -> Terastuotteet -> Rakenneputket -> Suorakaiteenmuotoiset-S235-S460-mukaiset-EN-10219-rakenneputket -> PDF)

Teräslaji	Myötölujuus $R_{p0,2}$ MPa	Murtolujuus $R_m$ MPa
		T<3 mm
S235JRH	235	360–510
S355J2H	355	510–680
S355MH	355	450–610
S355MLH	355	450–610
S420MH	420	500–660
S420MLH	420	500–660
S460MH	460	530–720
S460MLH	460	530–720

TAULUKKO 12. Osa valmistettavista rakenneputkien profiileista (37, linkit Tuotteet&Ratkaisut -> Terastuotteet -> Rakenneputket -> Suorakaiteenmuotoiset-S235-S460-mukaiset-EN-10219-rakenneputket -> PDF)

Ulkomitat H x B	Seinämän paksuus mm ja paino kg/m Tummennettu suositussarjat				
	2	2,5	3	4	5
40x20	1,68	2,03	2,36		
40x30	1,99	2,42	2,82		
50x30	2,31	2,82	3,3	4,2	
70x50	3,56	4,39	5,19	6,71	8,13
80x40	3,56	4,36	5,19	6,71	8,13
100x80		6,74	8,01	10,5	12,8
120x80		7,53	8,96	11,7	14,4
120x100		8,31	9,9	13	16

### Muut materiaalit

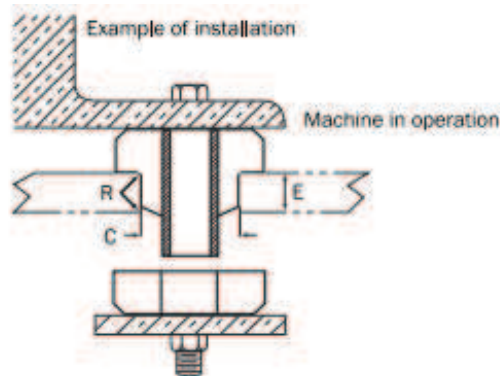
Muovilevyinä voidaan käyttää erilaisia polyeteeni tai vastaavia kulutus- ja suojamuoveja. Paksuus valitaan käyttökohteen mukaan. Esimerkiksi akkujen väliin voidaan asentaa 2 mm polyteenilevyt eristämään akkujen sivut toisistaan. Kyseisiä levyjä on käytetty aikaisemminkin akkujen eristämiseen.

## 4.5 Tukipisteet

Kotelon tuentapisteet vakauttavat kotelon ja tekevät siitä tukevan. Akkukotelo ei saa ajonaikana heilua hallitsemattomasti mihinkään suuntaan. Tuentapisteiltä vaaditaan ajonaikana syntyvien voimien kestämistä. Myös mahdollisessa kolaritilanteessa tai iskumaisessa rasituksessa tulee tukirakenteiden kestää suuria voimia menettämättä suuresti muotoa.

Ajoneuvonrungon ja akkukotelon eristäminen ajonaikana syntyviltä värähdyksiltä täytyy tukirakenteeseen suunnitella rakenne, joka lievittää tai eliminoi värähdykset kokonaan. Käytännössä yksinkertaisimmillaan tämän tyyppinen rakenne on kumielementti autonrungon ja kotelorakenteen välissä. Tämä on tehokas ja yleisesti käytetty menetelmä. Kumielementti ehkäisee kotelorakenteeseen tulevia haitallisia jännityksiä, jotka saattavat pitemmällä aikavälillä olla haitallisia esimerkiksi hitsaussaumoille tai ohutlevyrakenteille. Värinänvaimennuksen valmistettuja kumeja on markkinoilla saatavilla runsaasti eri käyttökohteisiin.

Kumielementin heikkoutena voidaan pitää huonoa leikkausjännityksen kestoja. Kolaritilanteessa tukipisteet leikkautuvat hyvin todennäköisesti irti kumielementtien kohdalta. Tämä ongelman vakavuus voidaan pienentää kumielementtien valinnalla tai akkukotelon tukirakenteen mekaniikka suunnittelulla. Kolaritilanteen kestoja parantaa huomattavasti esimerkiksi värinänvaimennuskumien läpipultti-kiinnitys, joka ottaa osan kolaritilanteessa syntyvästä voimasta vastaan. Tämäntyyppinen vaimennin on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Läpipulttiliitos, Novibra EH™ (38, s. 1)

Markkinoilla on lukuisia erilaisia tärinänvaimennukseen tarkoitettuja tuotteita. Näitä on kehitetty erilaisten sovelluksien tärinänvaimennukseen. Valittaessa vaimentimen kumea, tulisi sen olla normaalia kovempaa. Kovempi kumi soveltuu akkukoteloon tärinän vaimennukseen paremmin, koska akkukoteloon kohdistuu vain tiestä syntyvää vaihtelevaa taajuutta. Kumen tehtävänä ei ole suodattaa kaikkea tärinää vaan sen tehtävänä on toimia ehkäisevänä osana tiestä syntyville haitallisille ärsykeille. Näin on parempi valita hieman korkeammalla kuormankantavuudella oleva värinänvaimennin, koska sen kumimateriaali on todennäköisesti normaalia jäykempää.

Tärinänvaimennukseen soveltuisi esimerkiksi erilaiset kumimatot, lieriö- tai kel-loeristimet. Valinnassa tulee huomioida valitun kumirakenteen ominaistajuudet. Kumeja on saatavilla erilaisilla kovuuksilla ja se määrittelee niiden kuormankantokyvyn kuin ominaistajuuden.

#### **4.6 Akuston johtojen sijoitus**

Johtojen sijoittelussa akkukotelossa on tärkeää, että ne kulkevat kotelossa yhdenmukaisesti. Niiden ulostuloaukko olisi tärkeä sijoittaa etuakkukotelossa ajoneuvon tulipeltiä kohden, koska kaikki laitteet sijaitsevat kabiinissa. Johdot olisi järkevin vetää etuakkukotelosta ajoneuvon pohjaa myöten, kohti taaimmaista akkukoteloa. Taaimmaisesta akkukotelosta tulevat johdot voidaan vetää samasta reiästä kabiiniin etuakkukotelon johtojen kanssa.

Johdot vedettäessä ajoneuvon pohjaa myöten tulisi ne suojata asianmukaisesti. Luvussa kaksi on kerrottu autoon kohdistuvia rasitteita. Suojaus olisi paras toteuttaa esimerkiksi kaapelikourun avulla. Sähkötyökoneen turvallisuutta ja suojausjauksia tutkitaan enemmän Jari Matinniemen opinnäytetyössä (39).

#### **4.7 Akkujännitteen eristäminen ja turvallisuus**

Toisen kehitysversio akkukotelossa akkujen kosketus kotelonrunkoon on esitetty muovikotelon avulla. Kotelo peittää kauttaaltaan akut myös alapuolelta. Akkukotelon suunnittelussa onkin tärkeää, että vaaralliset akkujännitteet eivät joudu kosketuksiin rungon metallin kanssa.

Moottoritilan akkukotelon akkujen kosketus kotelonrakenteen täytyy saada eliminoiduksi. Tähän voidaan soveltaa samaa ratkaisua, kuin lavan alla sijaitsevassa kotelossa tai pinnoittaa metalli kumi- tai muovipohjaisella maalilla. Tämän ongelma on lähinnä pinnoitteen kuluminen pitkällä aikavälillä, mutta akkujen liikuttelun vähäisyyden kannalta se ei ole merkittävää. Pinnoitteen etuna muovilevyyn on ainevahvuus. Pinnoite on ainevahvuudeltaan ohut ratkaisu, verrattuna muovilevyyn, eikä näin vie tilaa akkukotelosta.

Akuissa on paljaat metalliset sivupinnat, jotka voivat olla jännitteelliset. Akut joudutaan kotelossa sijoittamaan vierekkäin, joten akkujen väliin tulee laittaa suojaeriste. Aikaisemmin akuissa on päädytty käyttämään akkujen välissä 2 mm polyeteenilevyä ja solumuovimattoa. Tämä eristää akut toisistaan ja solumuovi antaa asennuksessa tarvittavan asennusvaran. Polyeteenilevyä voidaan käyttää myös kotelon sisäpinnan eristämiseen akuista.

#### **4.8 PCM-materiaalin käyttö**

Valmiita tuotteita voidaan käyttää akkukotelossa eristeiden tilalla, kennorakenteen välissä tai kiinnitettynä kanteen. Parhaimpana käyttökohteena on kansirakenne, koska korkeussuunnassa akkukotelossa on enemmän tilaa kuin muissa suunnissa. Kanteen sijoitetut PCM-materiaali tuotteet ovat helposti vaihdettavissa ja muodostavat lämmönvaihdonkannalta parhaan sijoituspaikan pohjaa lukuunottamatta. Kennorakenteen väliin olisi mahdollista sijoittaa raemaista faasimuutomateriaalia, mutta sen sijainnista johtuen väliin sopii paremmin tavallinen eriste, koska faasimuutosmateriaali on käytännöllisempää sijoittaa lähemmäs akkuja.

Osa PCM-tuotteista soveltuu ainevahvuuden myötä myös korvaamaan eristeitä tai olemaan lisäeristeenä alkuperäisen kanssa. Lämpötilaominaisuuksien puolesta kaikki aikaisemmin luvussa 3.4.4 esitellyt tuotteet soveltuvat tähän käyttöön. Esimerkiksi tämän luokan lämmönsitomisoimaisuuksia voidaan hyödyntää lämmön varastoisessa. Faasimuutosmateriaalia ei koteloon suuria määriä mahdu, joten lämmönvaihtelun tasoittamisen lämpötila tulisi jäämään hyvin todennäköisesti pieneksi.

Ajonaikana akusta vapautuvan lämmön takia sopisi faasimuutosmateriaali sitomaan ylimääräistä lämpöä ja luovuttamaan sitä esimerkiksi tauoilla. Akkukotelon geometria määrittelee pitkälle kuinka paljon ainetta saadaan koteloon mahtumaan. Tämä määrittelee pitkälle kuinka kauon faasimuutosmateriaali pystyy ylläpitämään optimilämpötilan kotelossa.

Micronal-faasimuutosainetta tarvitaan 30 kg yhden kilowattitunnin varastoimiseen. Mikäli akunlämpöenergia halutaan nostaa noin 5 °C verran, kului siihen mittauksen perusteella energiaa noin 23 wattia, 155 min mittaisella ajanjaksolla. Tämä tarkoittaa ~8,8 Wh lämmitystehoa, jolloin Micronal-faasimuutosainetta tarvitaan sitouttamaan kyseinen lämpömäärä viidelle akulle 1,32 kg ja yhdeksälle akulle 2,39 kg.

#### **4.9 Huomioitavaa ohutlevyjien suunnittelussa**

Ohutlevyjien valmistusmenetelmiän tuntemus nopeuttaa tuotteeseen käytettävää aikaa. Kun valmistusmenetelmistä tiedetään sen perusasioita, niin osataan elimoida mahdollisia virheitä jo kappaleen suunnittelu vaiheessa. Se nopeuttaa tuotteeseen käytettävää aikaa. Valmistusystävälliseen suunnitteluun on hyvä tietää seuraavanlaisia asioita (35, s. 255–256):

- suunniteltavan kappaleen materiaalin ominaisuudet
- taivutukset ja niiden teoria
- osan geometria ja liitoskohdat
- mittatarkkuus
- voimaliitokset.

## 5 AKKUKOTELOIDEN MALLINNUS

Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan kursseilla on mahdollista suorittaa kolmen eri mallinnusohjelman kurssit. Osa näistä kursseista kuuluu opiskelussa suoritettaviin pakollisiin kursseihin. Yksi näistä kurssien ohjelmista on Solidworks, jonka avulla tässä työssä suoritetaan akkukoteloiden mallinnus ja FEA-analyysit.

Solidworks on Dassault Systemes -kehittämä piirreohjain mallinnusohjelma. Ohjelmisto sopii hyvin esimerkiksi erilaisten koneiden tai laitteiden suunnitteluun. Ohjelmalla voidaan tehdä hyvin erilaisia ja monimutkaisia kappaleita, joita voidaan helposti jälkikäteen muokata.

### 5.1 Moottoritilan määrittäminen etuakkukotelolle

Moottoritilaa oli esiselvitystyössä mitattu rullamittaa hyväksi käyttäen. Nämä mittaukset olivat suuntaa antavia ja lisätoimet siten välttämättömiä. Lisämittaukset suoritettiin laseretäisyysmittarin avulla. Taulukossa 13 on esitetty laseretäisyysmittarin tekniset tiedot.

TAULUKKO 13. Laseretäisyysmittarin tekniset tiedot (40, s. 13)

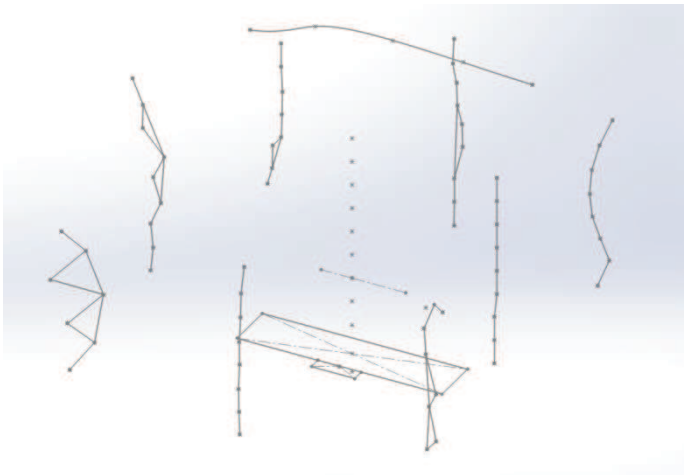
<b>Merkki</b>	Leica
<b>Malli</b>	Disto Plus
<b>Mittatarkkuus</b>	typ: +/- 1,5 mm      max: +/- 3 mm
<b>Mittauksen tarkkuus</b>	1 mm
<b>Mittaetäisyydet</b>	0,2 m-200 m

Moottoritila tehtiin eristelevyillä mahdollisimman yksinkertaiseksi rakenteeksi, mukailen todellisia käytettävissä olevia mittoja. Käytännössä moottoritila rakennettiin mahdollisimman neliönmuotoiseksi. Tilan keskelle asetettiin tanko, josta mittaukset suoritettiin erilaisilta korkeuksilta ympäri moottoritilaa. Mittausjärjestely on esitetty kuvassa 13.



*KUVA 13. Moottoritilan mittausjärjestely*

Jokaisesta mitatusta kohdasta kirjattiin ylös x-, y- ja z-koordinaatti. Mittauksen jälkeen tulokset voitiin koordinaatien avulla syöttää mallinnusohjelmaan, johon syntyi pisteverkko (kuva 14). Nurkkien pisteet eivät vastanneet todellisuutta, johtuen mitattavan kulman epäsymmetrisestä muodosta ja mittalaitteen kulman väärästä arvosta. Pitkittäis- ja poikittaispisteet vastasivat enemmän todellisuutta, jonka pohjalta voitiin lähtiä tekemään jatkotoimenpiteitä.



*KUVA 14. Moottoritilan mittauspisteet, jossa poikittainen yläpuolinen viiva edustaa tulipellin puoleista osaa*

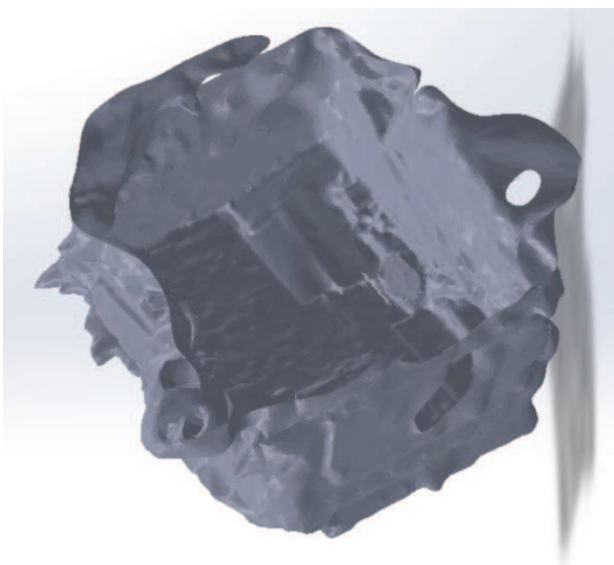
3D-mallissa origo on sijoitettu 38 mm korkeudelle tangon juuresta. Korkeus oli moottoritukien tasolla joten se helpottaa niiden paikoittamista 3D-mallissa. Moottoritukien etäisyys tangon keskipisteeseen mitattiin rullamitalla, koska lase-

retäisyys mittarin minimi mittaetäisyys täyttyi. Näiden pisteiden avulla voitiin läheteä mallintamaan moottoritukia. Mallintaminen alkoi moottoritukien mallilla, josta lähdettiin tukirakenteen kautta mallintamaan kotelon muotoja. Kotelon ääriimitat saatiin selville mitattujen pisteiden etäisyydestä toisiinsa.

## 5.2 3D-kuvan luonti moottorilasta

Moottorilinan yksinkertaistaminen helpottaa moottorilinan 3D-kuvan luomista. Kyseinen 3D-kuva tehtiin käyttäen hyväksi ilmaista Autodeskin 123D Catch -ohjelmaa. Tässä rekisteröity käyttäjä voi valokuvien pohjalta luoda kohteesta 3D-mallin. Valmis malli muokataan ohjelmassa ja se voidaan mallista riippuen tulostaa 3D-tulostimella. Valokuvat ladataan pilvipalveluun, jossa Autodeskin palvelimet suorittavat kuvien muuttamisen 3D-malleiksi. Sivuilta löytyy myös useita erilaisia harrastelijoiden tekemiä valmiita malleja. Ohjelmalla voidaan parantaa manuaalisesti 3D-kuvaa erilaisten toimintojen avulla. Kuvan julkaisun jälkeen voidaan se tallentaa useimpia mallinnusohjelmia tukevaan STL-formaattiin. STL-formaattia voidaan käyttää pikamallikoneiden tiedostomuotona. (41, linkit howto -> catch.)

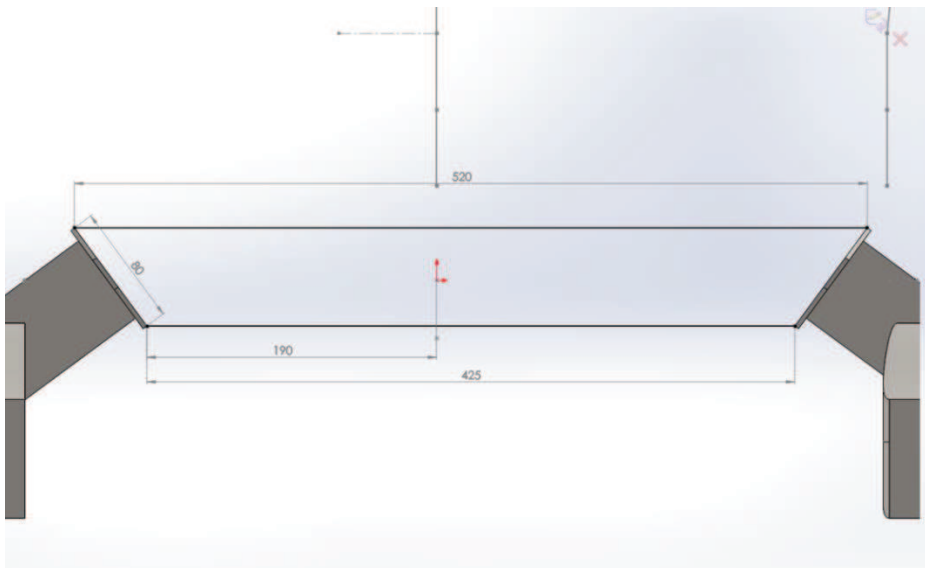
Moottorilasta otettiin useita kuvia, jotka ladattiin Autodeskin palvelimelle. Palvelimelta saatiin 3D-kuvanto, jota muokattiin valmistajan omalla ohjelmalla. Moottorilasta saatiin näin yksinkertainen 3D-malli, joka on esitetty kuvassa 15.



*KUVA 15. 123D catch -ohjelmalla luotu 3D-kuva moottorilasta*

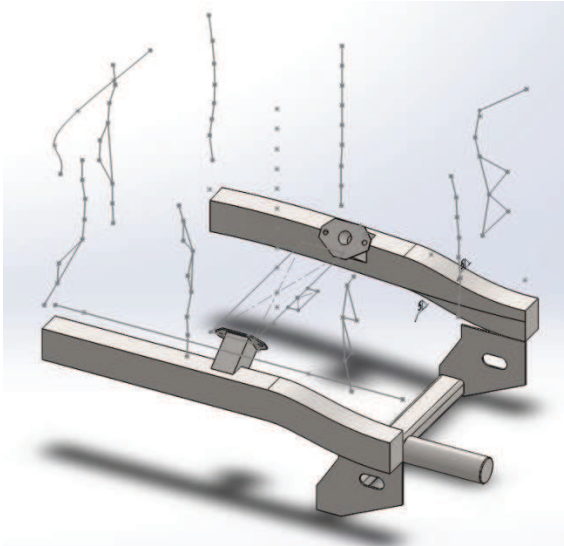
123D-Catchin luoma 3D-mallin mitat STL-tiedostossa olivat ylisuuria ja niitä jouduttiinkin reilusti skaalaamaan. Oikean mittasuhteen tekeminen tästä mallista oli haastavaa johtuen Solidworksin skaalaustyökalusta. Mallista voitiin näin muodostaa suuntaa antava 3D-kuva. Tarkempiin akkukotelon mitoituksiin sitä ei voinut käyttää vaan se oli enemmänkin kosmeettinen osa akkukotelon sovittamisessa virtuaalisesti moottoritilaan.

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, alkoi mallintaminen moottoritukien mallintamisella. Moottorituet mitattiin työntö- ja rullamitalla käyttäen apuna erilaisia välineitä. Kallistuskulma voitiin laskea mittaamalla tukien ylä- ja alareunojen etäisyyksiä toisiinsa. Määrittämiseen tarvittiin myös samanpuolen reunojen välinen etäisyys toisiinsa. Kuvassa 16 on esitetty havainnollistava kuva.



*KUVA16. Tuen kulman ja paikan määrittäminen mittausten perusteella*

Auton rungon etäisyys mittatangosta ja moottorituesta mitattiin. Myös pitkittäiset mitat runkopalkin ja tuen sijainnista mitattiin. Rungon palkkien etäisyys toisistaan ja moottorituesta määritettiin mittaamalla. Nämä arvot syötettiin 3D-malliin moottoritukien mitattujen pisteiden avulla. Auransylinterin tuen sijainti mitattiin rullamitalla ja se paikoitettiin mittatangon ja palkin avulla 3D-malliin. Näiden avulla voitiin mallintaa kuvan 17 rakenne, jota käytetään etuakkukotelon mallintamisen pohjana.



KUVA 17. Mitattujen pisteiden avulla laadittu 3D-malli

### 5.3 3D-ohutlevymallintamisen huomioitavia asioita

3D-ohutlevymallin suunnittelemisen enemmän todellisuutta vastaaviin mittoihin vaatii oikaisupituuden määrittämistä. Mallinnusohjelmat osaavat laskea ohutlevyrakenteen oikaistun pituuden, mikäli ohjelmaan on määritetty taivutuksen parametrit. K-kertoimen ja taivutussäteen tietäminen ohutlevyrakenteesta on perusedellytys valmistuksessa käytettävän pituuden määrittämiseksi.

K-kerroin kuvastaa ohutlevyn neutraalitason siirtymää. Taivutussäde on kappaleen kulman taivutuksessa syntyvä sisäsäde. Standardin DIN 6935:n mukaan k-kerroin voidaan määrittää kaavan 5 avulla, kun  $r/s \leq 5$ . Muulloin kun  $r/s > 5$  on k-kerroin 1. (42, s. 33.)

$$k = 0,65 + 0,5 * \lg\left(\frac{r}{s}\right) \quad \text{KAAVA 5.}$$

$r$  = taivutussäde

$s$  = ainevahvuus.

Kun suunniteltavan ohutlevyrakenteen ainevahvuus on tiedossa, voidaan taivutussäteen avulla määrittää teoreettinen k-kerroin. Lasketulla kertoimella saadaan ohutlevyrakenteen oikaisupituus enemmän todenmukaiseksi. Todellisudessa pituuteen vaikuttaa taivutuksessa käytettävän kappaleen materiaali ja

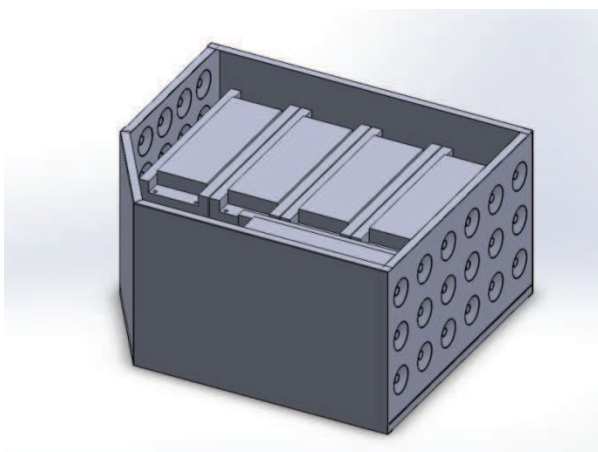
käytettävissä olevat työkalut. Tämän takia tarkat mitat saadaan vasta ohutlevyn taivutukseen käytettävän laitteiston tuntemuksella. Tämän takia kotelon ohutlevytuotteiden piirustuksissa ei ole määritetty levityskuvantoja, jossa tarvitsee aikaisemmin mainittuja arvoja.

#### **5.4 Etuakkukotelon versiot**

Akkukotelon pääasiallisena rakenteena on käytetty kalottikennorakennetta. Muiden tyyppisiä rakenteita ei ole mallinnettu vaan kaikki mallinnussuunnittelu pohjautuu tämän tyyppiseen rakenteeseen. Yhteenvedossa on kerrottu rakenteiden tarkemmat materiaalin ominaisuudet.

##### **5.4.1 Versio 1**

Ensimmäinen versio lähti liikkeelle mallintamalla rullamitasta saatujen mittojen avulla suuntaa antava 3D-malli. Mallilla haettiin kotelon muotoja, tukielimien rakenteiden geometriaa ja akkujen sijoittelua kotelossa. Tässä ensimmäisessä versiossa akut olivat sijoitettuna samaan tasoon mikä osoittautui toimivaksi ratkaisuksi. Aikaisemmin akut ajateltiin sijoittaa myös moottoritilan etupuolen upotukseen. Tätä upotusta ei joulukuun suunnittelupalaverin jälkeen tarvittu, koska siinä päätettiin yksinkertaisemmasta lämmönhallinta järjestelmästä ja akkujen sijoittelusta. Kotelosta tuli sen takia paljon yksinkertaisempi. Ensimmäinen versio akkukotelosta on esitetty kuvassa 18.

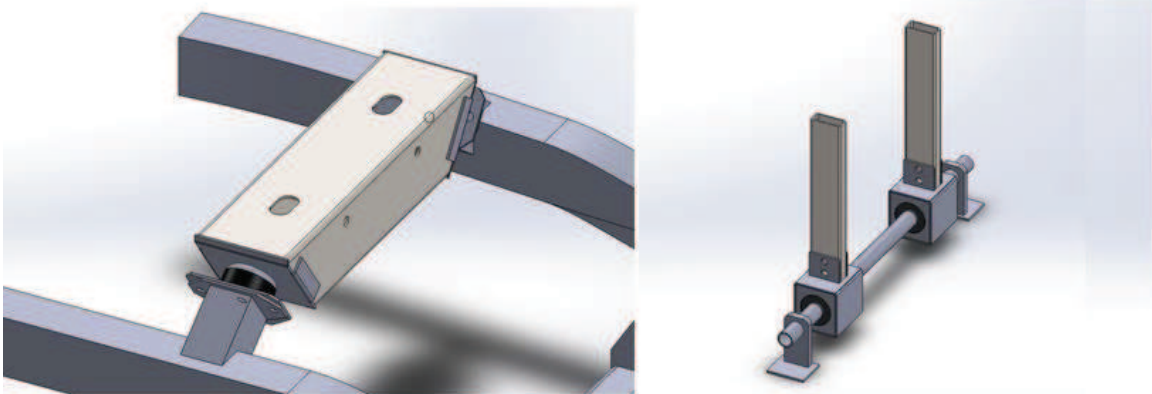


*KUVA 18. Etuakkukotelo HAK-1000 Ver. 1*

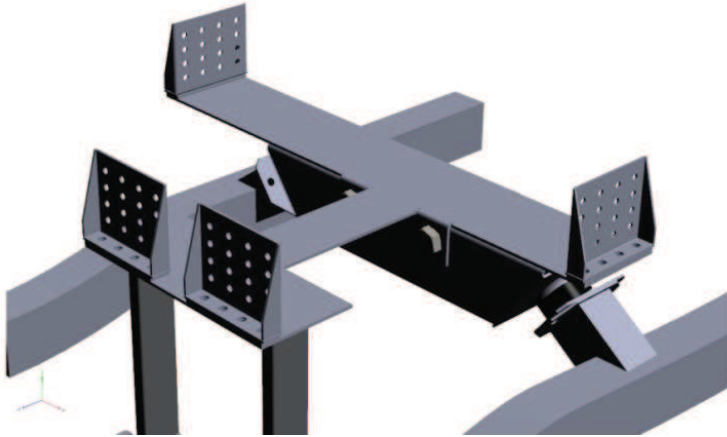
Akkukotelossa kennorakennetta päädyttiin käyttämään pohjassa, etuseinässä, takaseinässä ja kannessa. Kannen kennorakenne jäykistäisi koteloa. Sivut tulivat tähän versioon ohutlevystä, jotta saataisiin mahdollisimman paljon tilaa sivusuunnassa. Korkeussuunnassa ei ollut ongelmia tilan suhteen. Koteloon suunniteltiin sivuttainen väistö lämmittimen putken takia.

Tukirakenteen mallintamisessa päädyttiin neljään tukipisteeseen. Alkuperäisiin moottoritukiin saatiin sijoitettua kaksi kappaletta tukipisteitä. Loput tukipisteet sijoittuvat auran sylinterintukeen, jotka sijaitsevat moottorin edessä olevassa syvennyksessä. Runkorakenne päädyttiin tekemään putkiprofiilista ja ohutlevystä. Nämä ovat valmistusystävällisiä ja omaavat hyvät hitsausominaisuudet.

Tukirakenteen kaikki liitokset ovat pultti- ja hitsausliitoksia. Tukirakenteet on esitetty kuvassa 19 ja niitä yhdistävä konstruktio kuvassa 20. Moottoritukien välissä olevaan putkipalkkirakenteeseen suunniteltiin päälle reiät, jotta tukikumit olisi mahdollista kiristää asennusvaiheessa. Tämä havaitaan kuvassa 19 esitetyssä konstruktiossa, vasemmalla puolella.

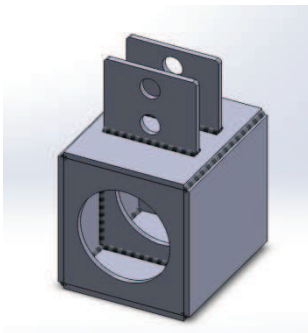


*KUVA 19. Moottoritukien välinen tuki- ja runkorakenne HAK-2300 (vasemmalla) ja etupään tuentakonstruktio HAK-2200 (oikealla)*



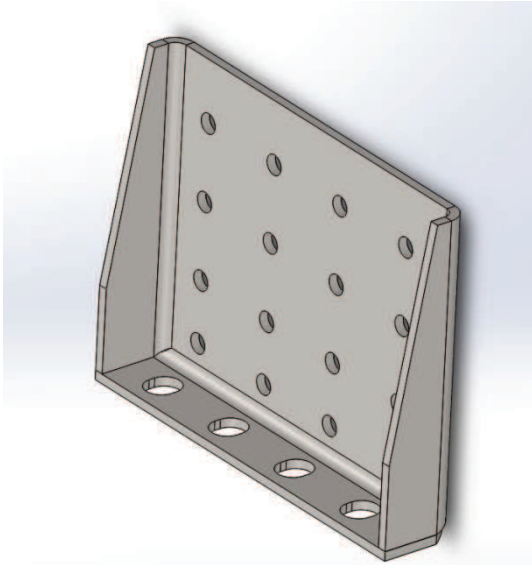
*KUVA 20. Kotelon ja runkorakenteen yhdistävä konstruktio HAK-2401*

Etupään tukien vaimennuskumielementit valittiin ensimmäiseen versioon sylinterimäiset. Näihin tuli suunnitella kotelo johon ne sijoitettaisiin. Kotelosta tuli melko monimutkainen rakenne (kuva 21).



*KUVA 21. Sylinterimäisen vaimennuselementin mallinnettu kotelo*

Akkukotelon ja runkorakenteen välinen kiinnityskappale kiinnitetään akkukotelon kylkeen. Tämän tarkoituksena on erottaa ja kiinnittää runkorakenne kotelorakenteesta. Koteloon kiinnitys tulee kiinni niiteillä koteloon ja runkorakenteeseen pulttiliitoksin. Pulttiliitokset mahdollistavat kotelon irrotuksen rungosta. Tämän avulla kasaaminen ja huoltaminen helpottuvat. Kiinnityskappale on esitetty kuvassa 22.



*KUVA 22. Kotelon ja rungon kiinnityskappale HAK-1600*

Tässä vaiheessa kotelossa oli vielä monia parantamisen varassa olevia kohteita. Äärimitat eivät vielä vastanneet todenmukaista ja itse osien mitoissa oli vielä parantamisen varaa.

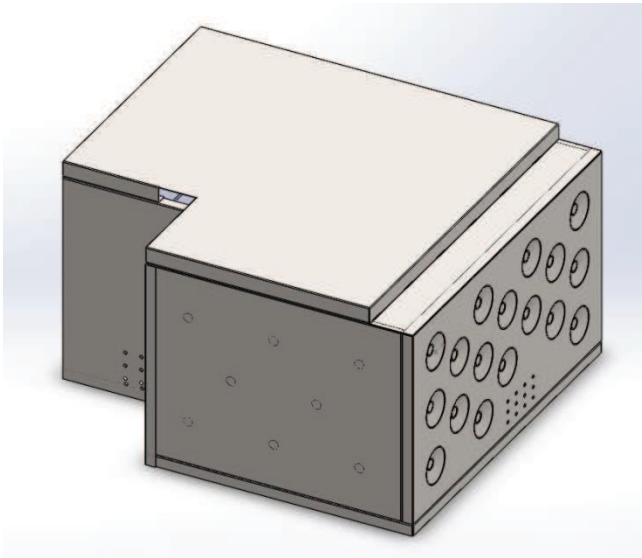
#### **5.4.2 Versio 2**

Toiseen versioon kotelon mitat pohjautuivat laseretäisyysmittarilla saatuihin tuloksiin. Tässä mitat olivat jo lähellä todellisuutta ja mallintamista voitiin jatkaa yksityiskohtaisemmin. Kalottikenttien sijoitus ja mitat muuttuivat merkittävästi. Sivuseinät korvattiin kalottikennolla ja takaseinä vaihtui ohutlevyksi. Sivuttaiset kalottikennorakenteet tukevat paremmin koteloa, eikä ohutlevyyn tarvitse suunnitella vahvikkeita. Myös kansi voitiin tehdä kalottikennon sijasta ohulevystä.

Kalottien paikkoja parannettiin kiinnitystukien tieltä. Lämmittimen putken väistö tehtiin kulmikkaaksi jonka johdosta akkukotelo yksinkertaistui. Tähän kulmaan sijoitettiin kaksi kappaletta kotelon ja rungon kiinnityspisteitä. Kiinnityspisteet eivät tässä tässä sijainnissa kasvata kotelon ulkomittoja.

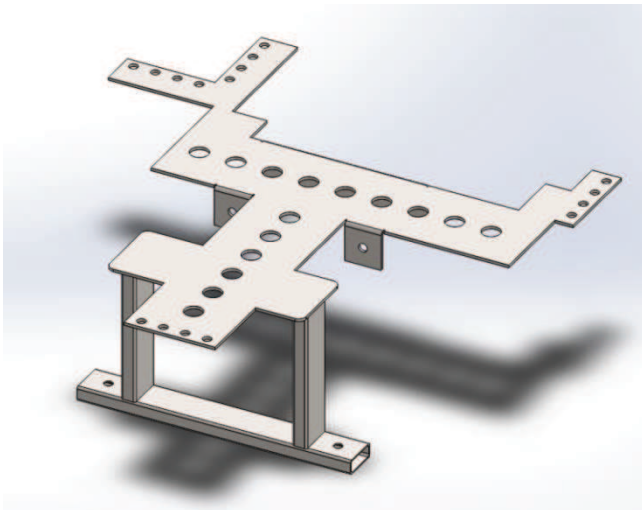
Kanteen tehtiin maksimikorkeuden rajaamiseksi moottoritalan etupäässä kulma. Tämän tarkoituksen on väistää konepellin alkupäätä joka on hieman alempana kuin loppuosa. Pääosin kotelon koko pieneni mittauksesta saatujen arvojen pe-

rusteella. Akkujen sijoitus kotelossa säilyi ennallaan, koska se todettiin ensimmäisessä versiossa toimivaksi. Akkukotelon versio 2 on esitetty kuvassa 23.



*KUVA 23. Etuakkukotelo HAK-1000 Ver. 2*

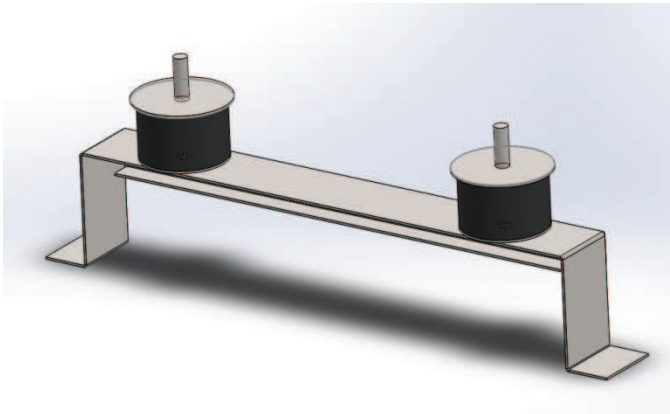
Tukirakenteet yhdistävään HAK-2400:n tehtiin useita parannuksia. Kotelon kiinnityspisteiden paikat vaihtuivat ja rakenteeseen tehtiin kevennyksiä (kuva 24).



*KUVA 24. Kotelon ja runkorakenteen yhdistävä tukikonstruktio HAK-2400 Ver. 2*

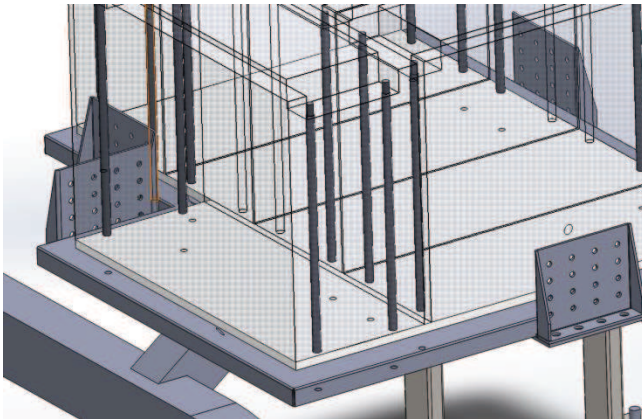
Moottoritukikonstruktio säilyi ennallaan lukuunottamatta pulttienreikiä, joita pienennettiin. Etupään tuentarakenne suunniteltiin kokonaan uusiksi. Putkirakenne vaihtui ohutlevyrakenteeksi ja suurimpana muutoksena voidaan pitää vaimennuskumien vaihtumista. Rakenteessa käytettiin nyt enemmän putkipalkkiraken-

teita ja kiinnitykset ovat pääosin hitsausliitoksia. Tällä rakenteella välttyttiin monimutkaisilta hitsauksilta. Etupääntukirakenteen versio 2 on esitetty kuvassa 25.

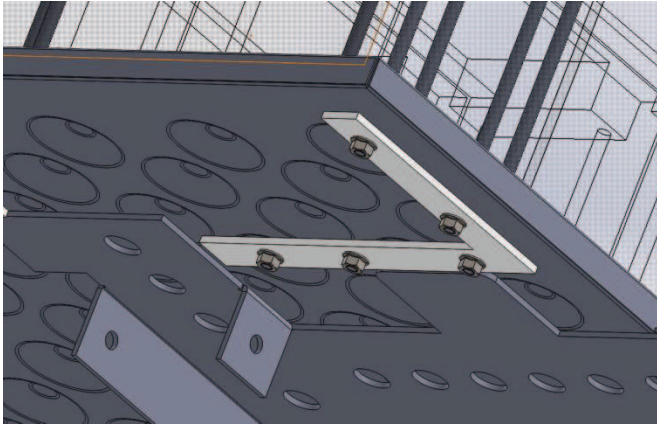


*KUVA 25. Etupään tuenkonstruktio HAK-2200 Ver. 2*

Akkujen alle sijoitettiin 10 mm muovilevy, jonka tarkoituksen on estää akkujen suoraa kosketusta kotelon runkoon. Akut tulevat kiinni 8 mm kierretangoilla pohjan rakenteeseen. Pohjassa on myös muovilevyt, jotka parantavat akkujen kierretankojen kiinnitystä. Muovit ehkäisevät kalottikenttien kuoppien aiheuttamaa epätasaisuutta ja jakavat paininvoiman suuremmalle alalle. Muovilevy ja kiinnitys on esitetty kuvissa 26 ja 27.



*KUVA 26. Akkujen kiinnitys ja muovinen aluslevy*



*KUVA 27. Pohjassa sijaitsevat akkujen kiinnitysten muoviset vastakappaleet*

### **5.4.3 Pikamalli**

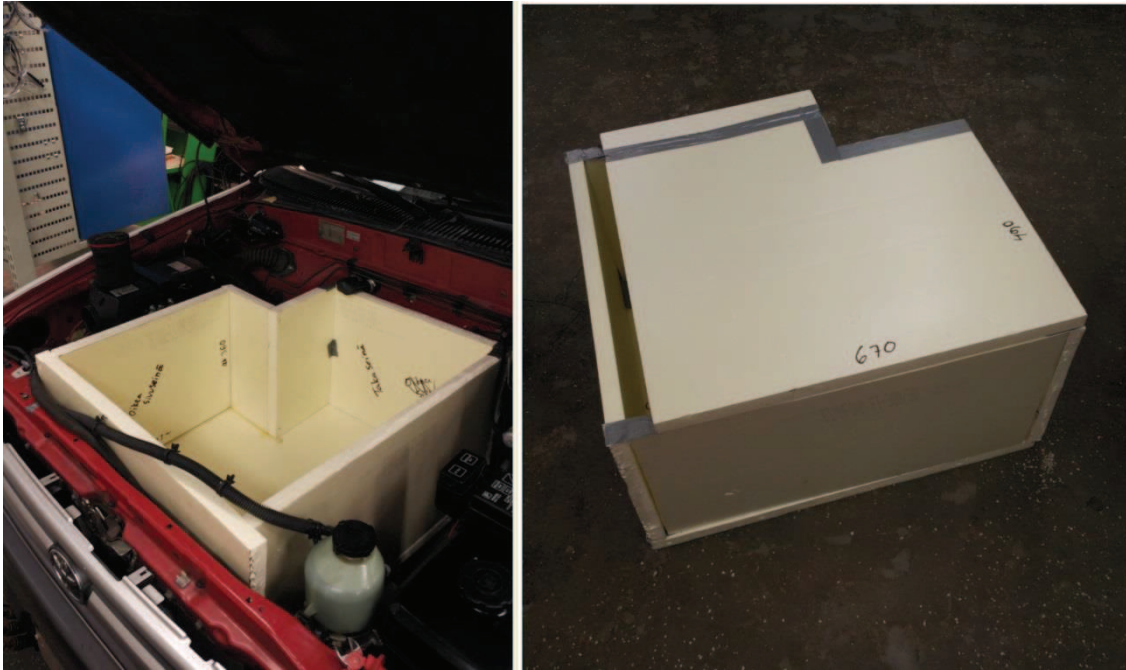
Pikamallikotelo tehtiin 30 mm paksuisesta Finnfoam eristelevystä. Kotelolla haettiin lähinnä kotelon äärimittoja ja paikoitusta. Kotelolla varmistettiin tämän mahtuminen moottoritilaan. Pikamalli tehtiin akkukotelon versiosta 2.

Pikamallin kotelon takia mittoja jouduttiin muuttamaan. Muutokset eivät olleet suuria. Niiden merkitys oli vain edesauttaa kotelon kiinnittämistä moottoritilaan. Kotelon paikka runkorakenteen päällä varmistui pikamallikotelon myötä.

Pikamallikotelosta saatiin tärkeitä mittoja kotelon paikoittamiseen. Mallin avulla voitiin myös varmistaa, mitkä osat moottoritilasta tulivat kotelon tielle. Näitä osia olivat lisälämmittimen pakoputki, sähköjohtoja ja käytöstä poistetun lämmityskennon tulipellissä sijaitsevat letkut.

Kotelo ei mahdu suoraan tiputtamalla tukien päälle, vaan se pitää laskea hieman lähempänä tulipeltiä. Tämä johtuu akkukotelon etuosaa tulevasta kotelon ja tukirakenteen kiinnityselimestä. Paikoitus tapahtuu tämän takia runkorakenteen päällä.

Eristelevystä rakennettu pikamallikotelo on esitetty kuvassa 28. Konetilassa oleva pikamallikotelon edessä oli kuvan ottohetkellä sähköjohtoja, josta johtuu eristelevyn taipuminen. Kuvissa ei ole esitetty tukirakenteen pikamallia.

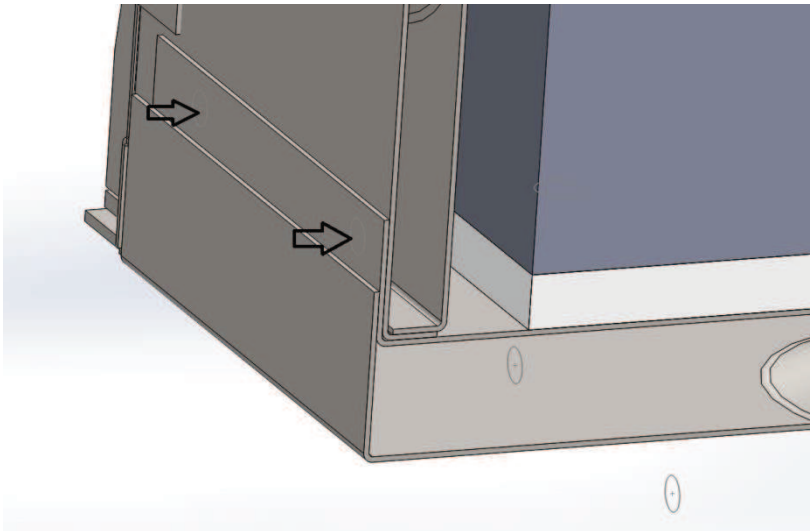


*KUVA 28. Pikamalli sovitettuna konetilaan (vasemmalla.) ja pikamallikotelo (oikealla)*

#### **5.4.4 Versio 3**

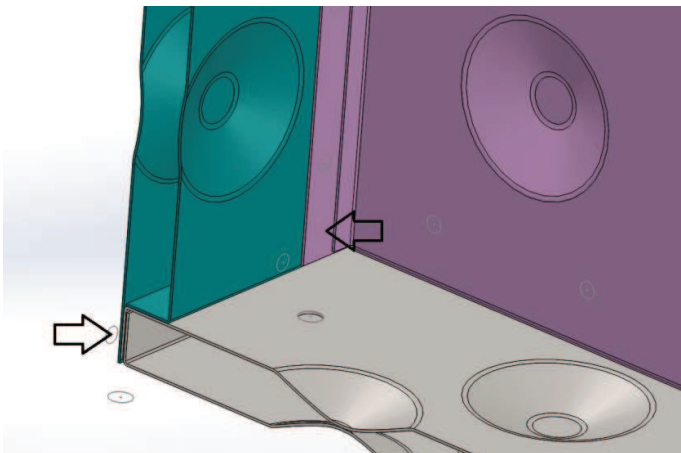
Aikaisempiin versioihin ei suunnitelmassa huomioitu kennorakenteiden kunnollista kiinnittämistä toisiinsa. Pääideana oli lähteä akkukotelon suunnittelu perusrakenteista ja suunnitella kiinnitysratkaisut kalottikennojen lopullisiin sijoituspaikoihin. Ideat kotelon version 3 kiinnitysratkaisuista pohjautuivat Ville Laitisen (34) kandidaatintyöhön, jossa käsitellään kalottikennorakenteiden välisiä liitoselementtejä. Työssä esitettyjä ratkaisuja on sovellettu akkukotelon kolmannessa versiossa.

Pohjan kennorakenteen yhdistäminen sivukennorakenteisiin on suunniteltu toteuttavan kuvan 29 mukaan. Niittiliitokset kiinnittäisivät pohjarakenteen päällimmäisen levyn sivulta kiinni sivurakenteeseen nuolien osoittamalla tasolla. Levyn välissä oleva liima lujittaa ja tiivistää liitoksen.



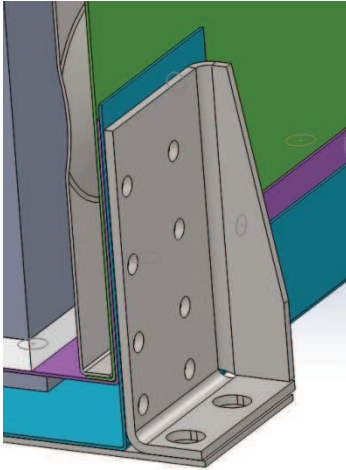
*KUVA 29. Kalottikenttien välinen liitos pohjarakenteessa*

Etummainen kalottikenttorakenne tulisi myös niittiliitoksilla pohjalevyyn. Sivurakenteiden taivutukset kiinnittyisivät etummaiseen kenttorakenteeseen. Kyseiset liitokset on esitetty nuolilla kuvassa 30.



*KUVA 30. Kalottikenttien välinen liitos etu- ja sivurakenteessa*

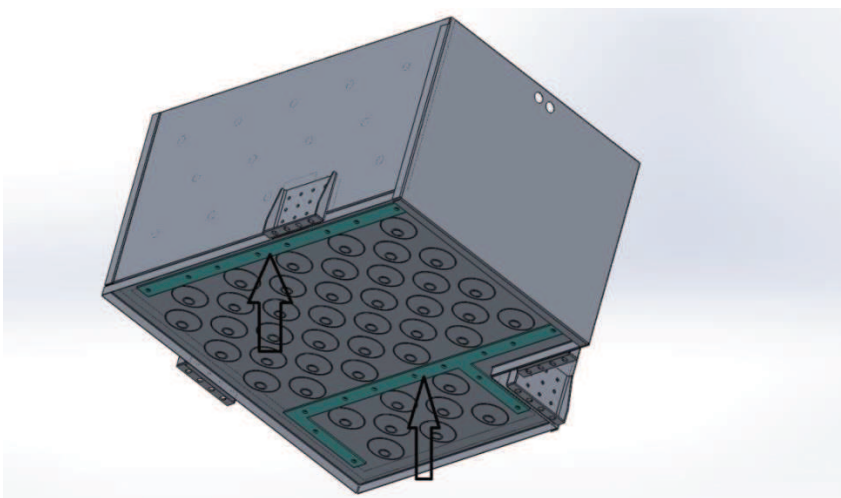
Kotelon ja tukirakenteen kiinnitys kappaleen HAK-1600 kiinnitys kotelon vasempaan sivuun on esitetty kuvassa 31. Kiinnitys on toteutetty kalottikenttolevyjen taivutusten suunnan ja pituuden säädön avulla.



*KUVA 31. Akkukotelon vasemmanpuoleinen HAK-1600:n liitos esitetty poikkileikkauskuvana*

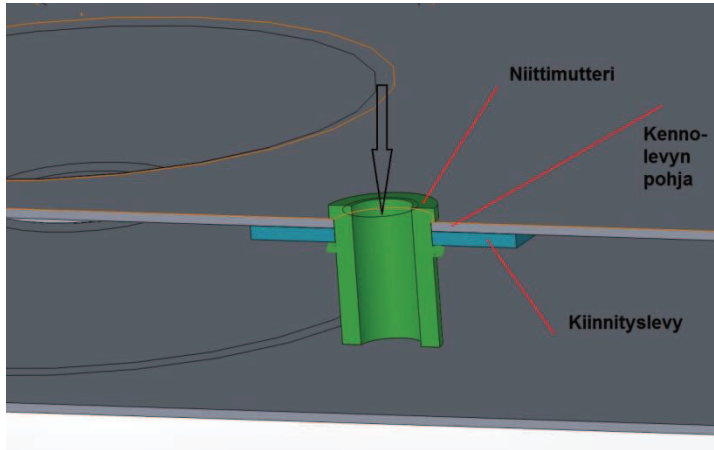
Muita muutoksia akkukoteloon oli kalottipainumien tarkempi sijoittelu. Pohjarakenteen kalotit sijoitettiin väistämään akkujen kiinnitysten reikiä, jotta kiinnitykset olisivat mahdollisimman tukevasti. Myös kalottien sijainnit suunniteltiin paremmin ottamaan vastaan ristivoimia.

Akkujen kierretankojen kiinnitykset kalottikennoon suunniteltiin uudelleen. Kalottikennorakenteen sisälle on mahdollista valmistusvaiheessa asentaa levyjä. Uudessa kiinnitysjärjestelmässä kennorakenteen sisälle asennetaan 1,5 mm paksuiset kiinnityslevyt, jotka jakavat akkujen kiinnityksessä syntyvät voimat isommalle pinta-alle (kuva 32).



*KUVA 32. Kiinnityslevyjen paikka kennorakenteen sisällä*

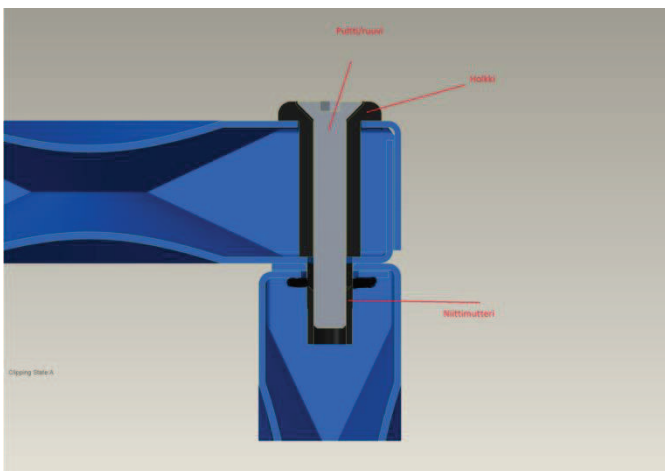
Reikään asennetaan M8 kierteillä olevat niittimutterit. Kierretanko kiinnitetään niittimutteriin ja kiristetään mutterin avulla akun päältä. Niittimutterin kiinnitys on esitetty kuvassa 33. Nuoli osoittaa kierretangon paikkaa ja asennussuuntaa.



KUVA 33. Niittimutterilla toteutettava akkujen kiinnitys

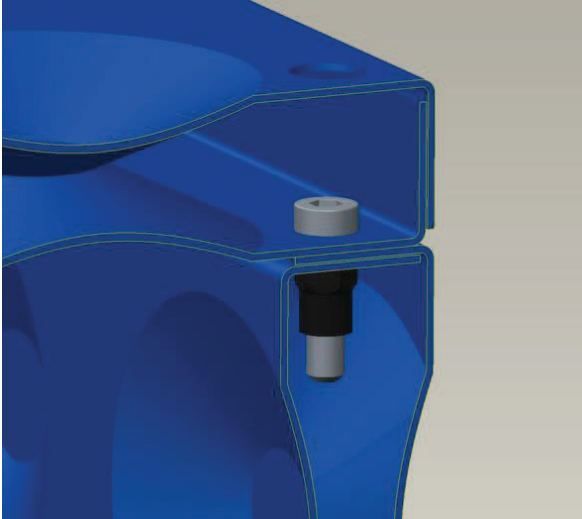
#### 5.4.5 Versio 4

Suunnittelun loppuvaiheessa kalottikennojen väliset liitosmenetelmät muuttuivat. Kalottikennoja valmistava Compusteel Oy:ltä saatiin tarkempia tietoja kalottikennojen välisistä liitoksista. Vaihtoehtoina oli kaksi liitosmenetelmää. Ensimmäisessä liitoksessa käytetään holkkia, niittimutteria ja pulttia tai ruuvia. Holkin tarkoituksena on estää ohutlevyn rutistumisen kirittäessä liitosta. Kyseinen liitosratkaisu on esitetty kuvassa 34. (43.)



KUVA 34. Kalottikennonvälinen liitos 1 (43)

Toinen liitostapa on samanlainen, mutta siinä ei ole käytetty holkkia. Tämä liitostapa ei ole yhtätukeva, kuin holkin kanssa toteutettava liitos. (43.) Tällä liitoksella voidaan toteuttaa esimerkiksi kansirakenteen kiinnitys. Toinen liitosratkaisu on esitetty kuvassa 35.



*KUVA 35. Kalottikennonvälinen liitos 2 (43)*

Holkkien avulla toteutettavaa liitosta käytetään kotelon neljännessä versiossa. Kiinnityksien paikat ovat pohjassa ja etummaisessa kennolevyssä. Pohjan kennolevyssä olevat liitokset tulevat kaikkien kennorakenteiden pohjaan. Etukennorakenteen liitokset kiinnittävä sivussa sijaitsevat kennolevyt kiinni toisiinsa.

#### **5.4.6 Standardiosat**

Kotelossa on useita liitoksia, jotka toteutetaan pulttien ja muttereiden avulla. Näihin liitoksiin voidaan käyttää seuraavanlaisia standardisoituja osia:

- kalottikenttien liitokset
  - kaksipuoleinen kalottikenttä (liitostapa 1)
    - uppokoloruuvit DIN 7991, koko M8
  - yksipuoleinen kalottikenttä (liitostapa 2)
    - kuusiokoloruuvit DIN 7984, koko M5
- kotelon HAK-1000 ja tukirakenteen kiinnitys
  - kuusiokoloruuvit DIN 7984, koko M8
- tukikumien kiinnitykset
  - laipparuuvit DIN 6921, koko M8 ja M12

- lukitusmutterit DIN 6926, koko M8
- tukiyhdistävän HAK-2401 rakenteen ja moottorituen putkipalkin HAK-2311 kiinnitys
  - kuusioruuvit DIN 931, koko M12
- etutukikonstruktion HAK-2200 kiinnitys ajoneuvon runkoon
  - kuusioruuvit DIN 931, koko M12
  - lukitusmutterit DIN 6926, koko M12
  - voidaan vaihtoehtoisesti hitsata runkoon
- akkujen kiinnitys
  - kierretangot DIN 975, koko M8
  - lukitusmutterit DIN 6926, koko M8
- kannen HAK-1700 kiinnitys.
  - kuusiokoloruuvit DIN 7984, koko M6.

#### **5.4.7 Yhteenveto kotelon materiaaleista**

##### **Materiaalit**

Kalottikennorakenteiden, kannen ja takaseinän ohutlevyjen ainevahvuus on 1 mm. Moottoritukien putkipalkin profiili on 120 x 100, jonka ainevahvuus on 3 mm. Muut tukirakenteen putkipalkit ovat profiililtaan 50 x 20 ja ainevahvuudeltaan 2 mm. Tukirakenteen putkipalkkien teräksen materiaalina käytetään lujuus-tarkasteluihin 355 MPa:n ja 235 MPa:n myötörajan teräslajeja. Pienemmät putkipalkit ovat pääasiassa 235 MPa:n myötörajan teräslajia.

Tukirakenteiden yhdistävään HAK-2401:n ohutlevyrakenteeseen käytetään 355 MPa:n myötörajan omaavaa teräslajia, jonka ainevahvuus on 2 mm. Välilevyt (HAK-2312) moottorituen putkipalkin kummassakin päädyssä on paksuudeltaan 3 mm. Kotelon ja rungon kiinnityskappale HAK-1600, on ohutlevystä taivutettu ja hitsaamalla kasattu rakenne. Tämän ainevahvuus on sama kuin putkipalkin ja välikappaleen. Kiinnityskappale tulee kiinteästi koteloon niittiliitoksilla ja siihen soveltuvalla liimalla. Niittien tarvittavat lujuusominaisuudet määritetään luvussa 6.1. Niittiliitoksia ei suoraan määritellä luvun 6 simuloinneissa.

Vaimennuskumiksi valittiin Novibran valmistamat RAB-0. Yhden tukikumen suurin sallittu massa on 130 kg. Kumet ovat läpipulttiliitoksia ja valmistaja lupaa

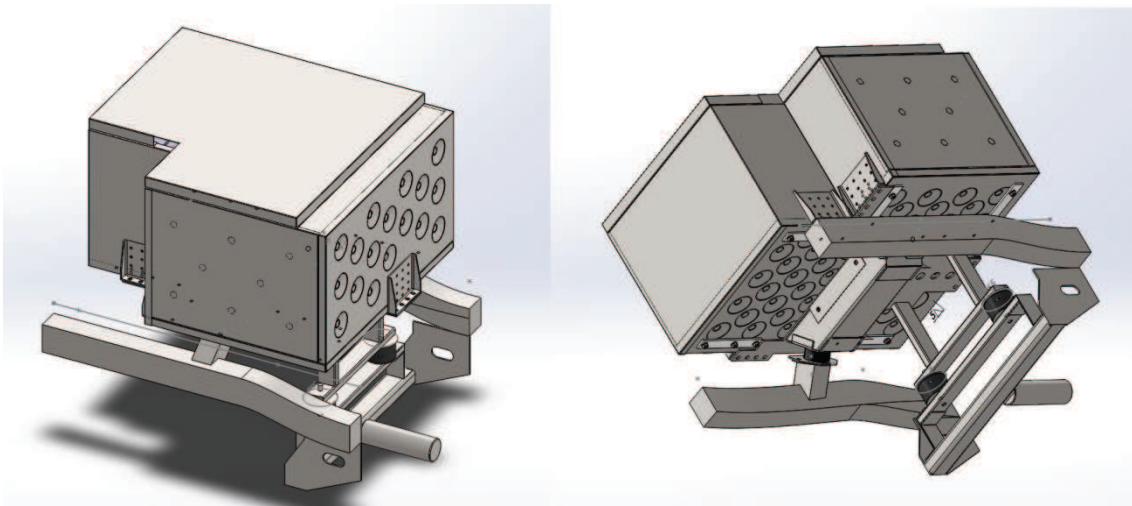
shokkikuormille 2G keston ilman plastisia muodonmuutoksia. Tukikumen tekni-  
set tiedot on esitetty liitteessä 5. (44, s. 66–67.)

### **Akkukotelon massa**

Kotelon HAK-1000 massa oli Solidworks-ohjelman mukaan 33,5 kg ja tukiraken-  
teen 12,9 kg, kun materiaalina on käytetty terästä. Mikäli kotelossa käytetään  
alumiinia, niin on sen massa 13 kg. Vetoniittien lujuusominaisuuksien valinnan  
laskuissa käytetään kotelon ja akkujen yhteenlaskettua massaa.

### **Lujuustarkastelun kokoonpano**

Moottoritilan akkukotelon pääkokoonpano, johon suoritetaan FEA-analyyseja,  
on esitetty kuvassa 36.



*KUVA 36. Etuakkukotelon kokoonpano FEA-analyyseihiin*

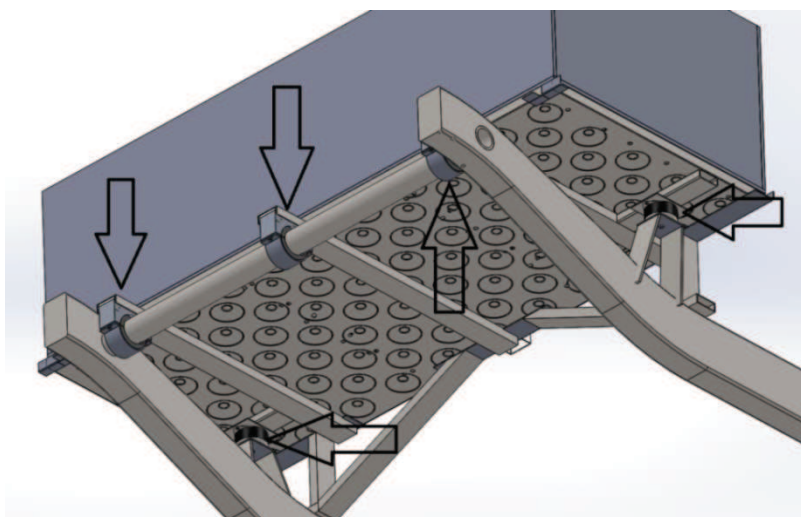
### **5.5 Taka-akkukotelo**

Pääasiassa taka-akkupakettin lähdettiin tekemään muutoksia, jotka säilyttivät  
mahdollisimman paljon vanhaa konstruktiota. Kotelon suurimpiin muutoksiin  
kuului putkipalkkirakenteen osittainen korvaaminen kalottikennolla ja tukipistei-  
den vaimennuskumien suunnittelu. Myös akkujen suojarakenteita parannettiin.

## Versio 1

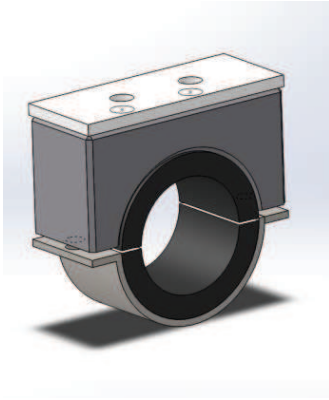
Ensimmäinen isompi muutos, jota koteloon lähdettiin tekemään, oli pohjarakenteen muuttaminen kalottikennorakenteeksi. Kennorakenteen ohutlevyn ainevahvuus on 1 mm ja rakenteen kokonaispaksuus 22 mm. Kalotit on sijoitettu kahdelle puolelle. Kotelon alapuoli voi altistua ajonaikana irtokappaleille, joten materiaalina käytetään terästä, koska sen iskukestävyys on parempi kuin alumiinilla. Vaihtoehtoisesti alumiinia käytettäessä, voidaan kennolevy varustaa iskuja suojaavalla levyllä.

Akkujen sijoittelu alkuperäiseen säilyi ennallaan, koska siinä oli huomioitu kahden ylimääräisen akun lisäys. Putkipalkkirakenteesta säilytettiin kantavat osat. Näihin kuului tukipisteiden myös pitkittäiset putket, jotka kiinnittyvät ajoneuvon rungon poikittaiseen putkeen. Kotelosta muokattiin yhteensä viittä tukipistettä, jotka on esitetty kuvassa 37.



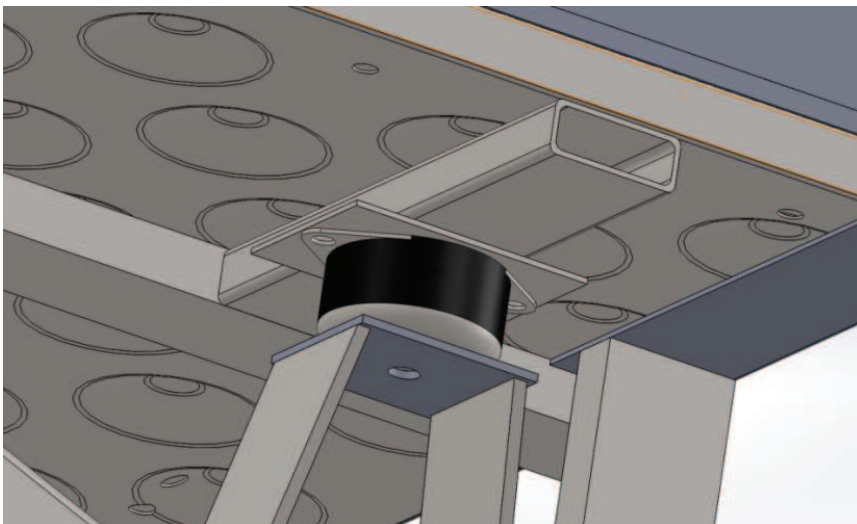
*KUVA 37. Taka-akkukotelon muokatut tukipisteet*

Ajoneuvon poikkiputkeen tulevien kiinnityspisteiden ratkaisusta oli akuston esiselvitysprojektista ideoita, joita tässä sovellettiin (3). Putkeen tuleva kiinnityselementti on esitetty kuvassa 38. Tässä on käytetty 10 mm paksuista kumi-mattoa, joka sijoitetaan putken ja kiinnityselimen väliin. Kiinnityselin on suunniteltu rakennettavaksi alumiinista ja sen suorakosketus putkipalkkirakenteeseen on estetty teknisellä muovilla.



*KUVA 38. Putkeen tuleva tukikonaisuus, jonka päällä tekninen muovi*

Muissa tukipisteissä päädyttiin käyttämään samanlaista kelloeristintä, kuin etupään tukikonstruktioissa. Eristin kiinnitetään olemassa olevaan kiinnityspisteeseen jota eristintä varten on muokattu. Tästä se kiinnittyy putkipalkkirakenteessa olevaan hitsattuun lattateräkseen jonka ainevahvuus on 2 mm (kuva 39).

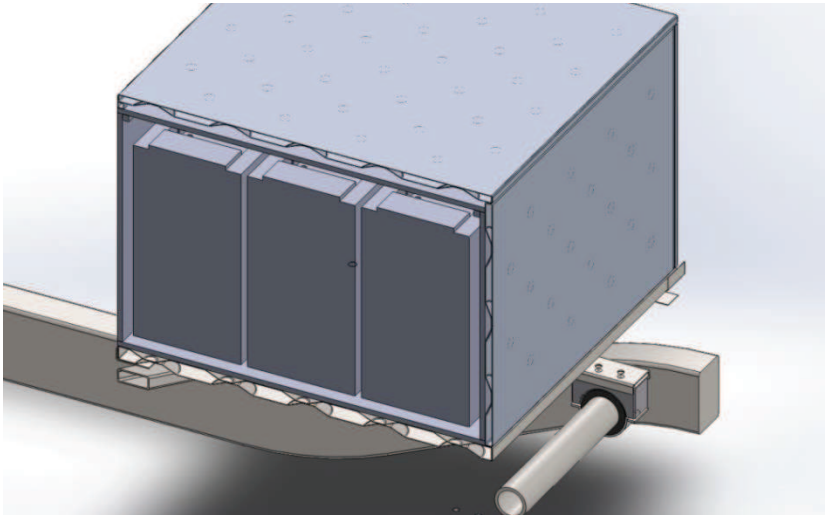


*KUVA 39. Toinen muokattu tukipiste*

## **Versio 2**

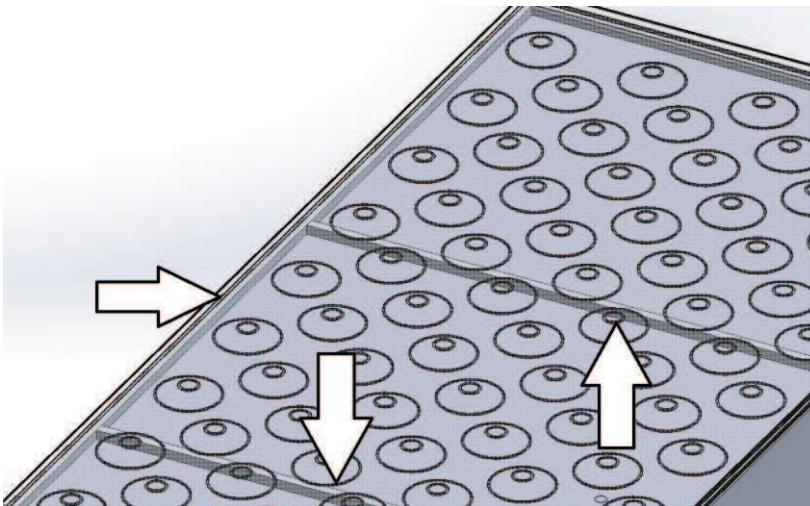
Akkukotelon suojaaminen lavan mahdollisilta liikkeiltä toteuttiin toiseen kokoonpano versioon. Muovikotelon ympärille suunniteltiin yksipuolisesta kalottikennosta kevyesti suojaava rakenne (kuva 40). Kalottikennon materiaalina on käytetty alumiinia sen keveyden takia. Suojarakenteeseen sovelletaan samoja liittämismenetelmiä kalottikentöjen välisissä liitoksissa, kuin etuakkukotelossa. Alumiini kosketusta teräkseen voidaan ehkäistä erilaisilla pinnoitteilla tai ohuilla

eristematoilla. Kosketusala on suhteellisen pieni, joten suojausta ei välttämättä tarvitse toteuttaa.



*KUVA 40. Akkuja kevyesti suojaava rakenne poikkileikkaus kuvantona*

Muovikotelon kansirakenteen salpakiinnitykset tulee poistaa ja asentaa kansimuoviin kahvat, jonka avulla kannen pystyy nostamaan. Kalottikennorakenteen kanteen asennetaan 10 x 10 mm profiiliset alumiiniputket, joiden tehtävänä on tukea päällimmäistä kennorakennetta ja pitää muovikotelon kansi paikallaan. Alumiiniputket liimataan kalottikennorakenteeseen asennusvaiheessa. Havainnollista kuva alumiiniprofiileista on esitetty nuolilla kuvassa 41.



*KUVA 41. Tukiprofiilit kansirakenteessa*

## **Standardiosat**

Taka-akkukotelossa voidaan käyttää samoja standardiosia mitä luvussa 5.4.6 on mainittu. Ainoa liitospaikka joka poikkeaa etuakkukotelon liitoksista, on tukikappaleen HAK-3201:n ja rakenneputken välinen kiinnitys. Siinä voidaan käyttää kuusiokoloruuveja DIN 7984 standardilla, joiden koot ovat M8 ja M10

## 6 LUJUUSTARKASTELU

Luvun alussa mitoitetaan vetoniitten tarvittavat ominaisuudet käyttämällä hyväksi kolaritestien nopeuksista laskettuja arvoja. Muissa luvuissa käsitellään rakenteen osakokonaisuuksien lujuusominaisuuksia. Ongelma kohtia pyritään parantamaan saadun testausdatan avulla. Lujuustarkastelun tuloksista voidaan havaita monen tyyppisiä arvoja. Pääasiassa näistä tarkastellaan Von Mises -hypoteesia ja kappaleessa tapahtuvaa siirtymää.

Von Mises -hypoteesi on kappaleen kohdassa vallitseva yhdistetty vertailujännitys. Vertailun kohtina käytetään materiaalin myötörajaa. Tämä on hyvin yleisesti käytetty menetelmä pisteessä vallitsevien jännitysten yhdistämiseen. On olemassa myös muunlaisia jännityksien yhdistämisen tapoja ja ne soveltuvat erityyppisille materiaaleille. (45.)

### 6.1 Vetoniittien mitoitus

Kohdassa 4.1.2 on esitetty kolaritesteissä käytettävät törmäysnopeudet. Arvioidaan pysähtymismatkaksi törmäyksessä 0,7 m. Näiden avulla voidaan laskea törmäyksessä syntyvät hidastuvuudet. Hidastuvuus voidaan laskea kaavalla 6, kun oletetaan sen olevan tasaisesti hidastuvaa liikettä (6, s. 191.)

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \rightarrow a = \frac{v^2 - v_0^2}{2} * s$$

KAAVA 6

$v$  = loppunopeus (m/s)

$v_0$  = alkunopeus pysähtymisen alkaessa (m/s)

$s$  = pysähtymismatka (m)

53,1 km/h alkunopeudesta loppunopeuden ollessa 0 km/h ja pysähtymismatkan ollessa 0,7 m, saadaan hidastuvuudeksi

$$a = \frac{\left(\frac{-53,1}{3,6} \text{ m/s}\right)^2}{2} * 0,7 \text{ m} \approx -76,15 \text{ m/s}^2$$

Laskettu hidastuvuus on karkeasti kahdeksan kertainen maanvetovoiman kiihtyvyyteen nähden. Ajoneuvossa syntyvät pystysuuntaiset kiihtyvyydet voidaan olettaa 2G-suuruiseksi. Aurasikäytössä syntyvät hidastuvuudet ovat samansuuruisia. Todellisuudessa arvot ovat pienempiä. Vetoniittien määrävänä mitoitus kohtana voidaan pitää törmäyksessä syntyvää noin 8G-hidastuvuutta jonka niittien tulee kestää.

Koteloon kiinnitettäviä tukirakenteita on neljä, joista kaksi on poikittain ja loput pitkittäin ajoneuvon suunnassa. Yhdessä tukirakenteessa on 16 kpl reikiä, joten niittien määrä kotelossa on yhteensä 64 kpl. Neljäsosa niiteistä etutörmäystilanteessa altistuu vetojännitykselle ja puolet leikkausjännitykselle. Etummaisen kiinnikkeen niitit, eivät ota kyseisessä törmäystilanteessa voimia vastaan. Kotelon kokonaispaino akkuineen on noin 181,9 kg. Kotelon materiaalina käytetään alumiinia. Laskuissa huomioidaan vain tukirakenteen päällä oleva massa.

Hidastuvuuden synnyttämä voima voidaan laskea Newtonin toisen lain mukaan kaavalla 7 (6, s. 193).

$$F = m * a$$

KAAVA 7

$m$  = hidastuva massa (kg)

$a$  = kiihtyvyys ( $m/s^2$ )

Kun hidastuva massa on  $181,9 \text{ kg}$  ja sen kiihtyvyys  $76,15 \text{ m/s}^2$ , syntyvä voima on suuruudeltaan

$$F = 181,9 \text{ kg} * 76,15 \text{ m/s}^2 = 13851,7 \text{ N}.$$

Tämän avulla voidaan laskea yhteen niittiin kohdistuva voima, joka on sen sijainnista riippuen joko veto- tai leikkausjännitystä.

$$\frac{13851,7 \text{ N}}{48} \approx 288,6 \text{ N}$$

Laskujen perusteella voidaan kotelossa käyttää esimerkiksi Wurth Zebra -vetoniittejä, joiden leikkaus- tai vetojännityksen kesto on riittävä. Kennoraken-

teen alumiiniin takia täytyy käyttää alumiinisia niittejä, koska niitit altistuvat meri-ilmastolle ja kosteudelle.

Niittien reikien määrä on selvästi ylimitoitettu. Se ei ole tässä tilanteessa merkittävää, koska niittien tehtävänä on pitää kotelo paikallaan. Niitit ovat edullisia, eikä ylimääräisistä niiteistä tule suuria kustannuksia.

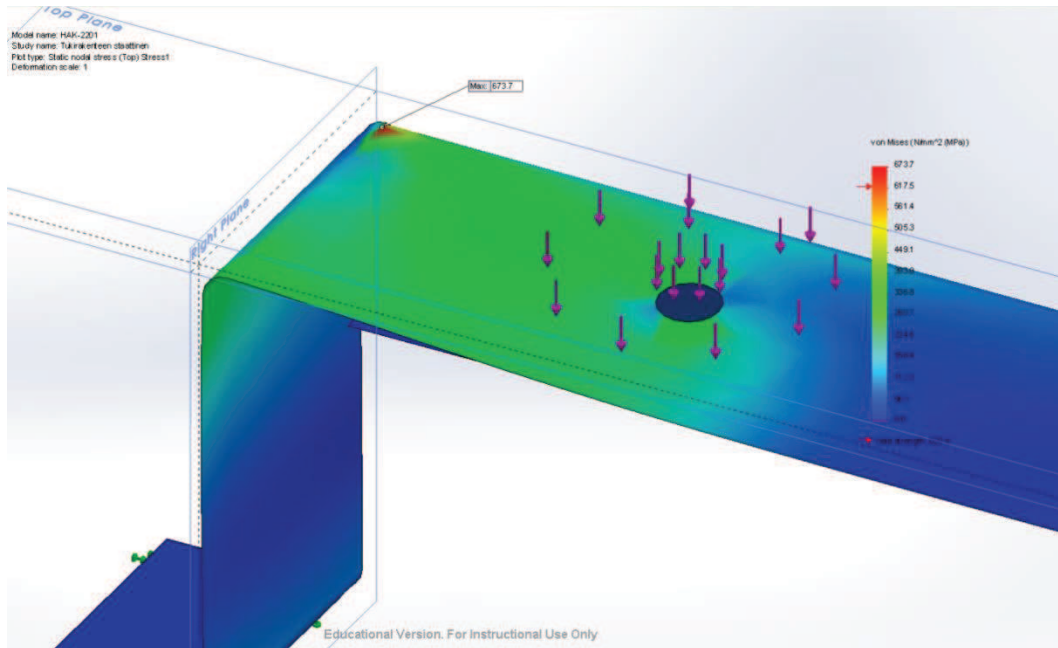
## **6.2 Erillisten osakokonaisuuksien tarkastelu etuakkukoteloon**

Tarkastellaan akkulaatikon osakokonaisuuksia arvioitujen voimien perusteella. Pääasiassa käsitellään staattista kuormitusta ja sen aiheuttamia jännityksiä rakenteeseen. Staattiset kuormat arvioidaan todellisuutta hieman suuremmiksi. Rakenteen omapaino huomioidaan simuloinnissa.

### **Etupään tuenta**

Tarkastellaan akuston kokonaisuutta synnyttävää voimaa rakenteeseen. Todellisuudessa näihin kahteen pisteeseen ei muodostu staattisessa tilassa arvioituja voimia vaan kuorma jakaantuu neljän tukipisteen kesken. Voiman jakaantuminen riippuu tukipisteiden sijainnista kotelossa, akkujen massakeskipisteestä ja etenkin kotelorakenteen tasomaisuudesta. Hyvin suurella todennäköisyydellä akkukotelon tukipisteille syntyy toisiinsa verrattava tasainen kuorma. Testattavalla kuormalla pyritään hakemaan rakenteesta kohtia, joihin syntyy liian suuria jännityksiä suhteessa kuormitettavaan voimaan.

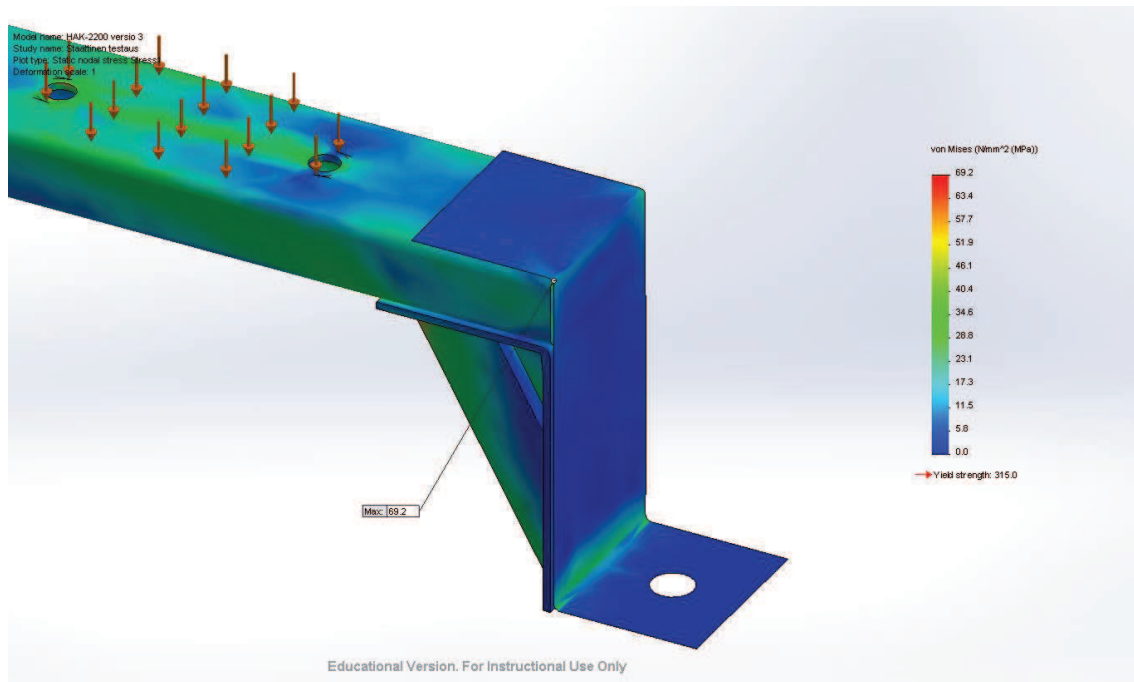
Etutuennan kokonaisuutta kuormitettiin 1 864 N (190 kg) suuruudella, kahdesta tukikumen pinta-alan suuruisesta kohdasta. Tämä vastaa noin 2G-suuruista voimaa etupään tuentapisteelle. Suurimmat jännitykset olivat 613,1 MPa mikä on materiaalille aivan liian suuri. Hyvin suurella todennäköisyydellä ohutlevy repeää maksimijännityksen kohdalta. Kuvassa 42 on esitetty rakenne ja siinä esiintyvän maksimijännityksen sijainti. Suurin siirtymä sijaitsee rakenteen keskellä ja sen suuruus oli 5,8 mm.



*KUVA 42. Etutuennan ensimmäisen testauksen maksimijännitys*

Konstruktio suunniteltiin tulosten takia kokonaan uusiksi. Tukikumet vaihdettiin samanlaiseksi kuin moottoritukirakenteessa, jolloin rakennekokonaisuuden osien määrä vähentyi. Uudessa rakenteessa käytettiin enemmän putkipalkkirakennetta ja monimutkaiset ohutlevyntaivutukset jätettiin pois. Samalla rakenteeseen suunniteltiin reilun kokoiset vahvikkeet sisätaivutuksen kohdalle.

Uuteen rakenteeseen suoritettiin samoilla arvoilla staattinen kuormitustesti. Rakenteen maksimi jännitys 69,2 MPa syntyy nurkkapisteessä (kuva 43) ja suurin siirtymä 0,14 mm oli rakenteen keskellä. Nurkan jännitystä alentaa todellisuudessa hitsausliitos.

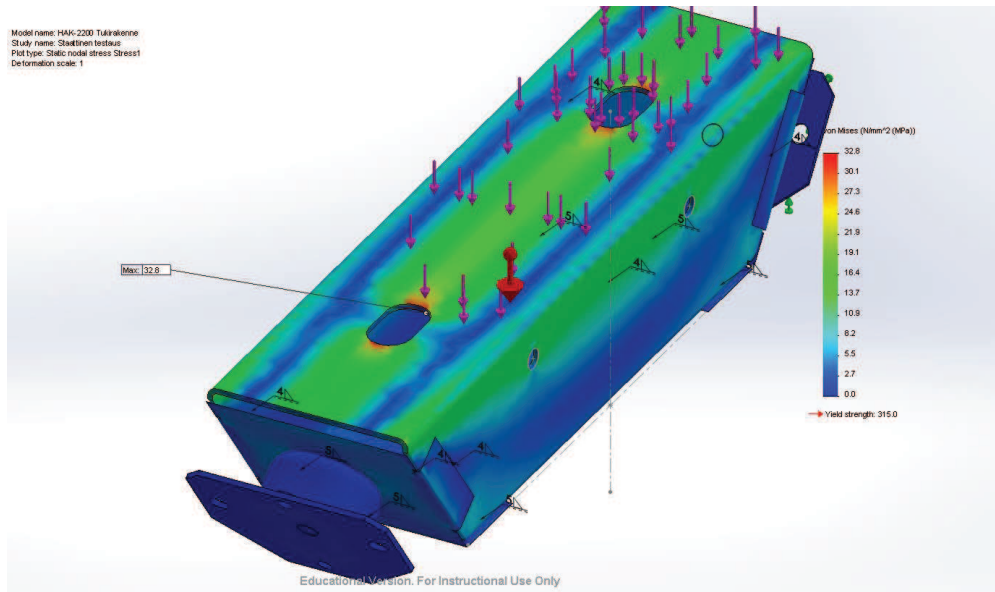


*KUVA 43. Muokatun rakenteen suurimman jännityksen sijainti*

### **Moottorituen välinen konstruktio**

Konstruktioa kuormitettiin yhtä suurella voimalla kuin etupään tuentaa. Tukipisteinä toimi moottoritukiin tulevat kiinnikkeet. Vaimennuselementti oli mallinnettu yhtenäiseksi rakenteeksi tarkkojen mallien puutteen takia, joten ne eivät vastaa todellisuutta. Todellisuudessa vaimennuselementin materiaali on suurimmaksi osaksi kumia. Vaimennuselementtien tekniset ominaisuudet määrävät niiden lujuuskeston ja painuman.

Suurin jännitys oli 32,8 MPa suuruinen ja se esiintyi putkipalkin työkalulle tarkoitettun reiän ympärillä (kuva 44). Siirtymät olivat hyvin pieniä, eivätkä siten merkittäviä. Rakenne on hyvin luja ja kestää suurempiakin voimia ilman plastisia muodonmuutoksia. Testin perusteella putkipalkkirakenteessa voidaan käyttää pienemmän myötörajan omaavaa teräslaatua.

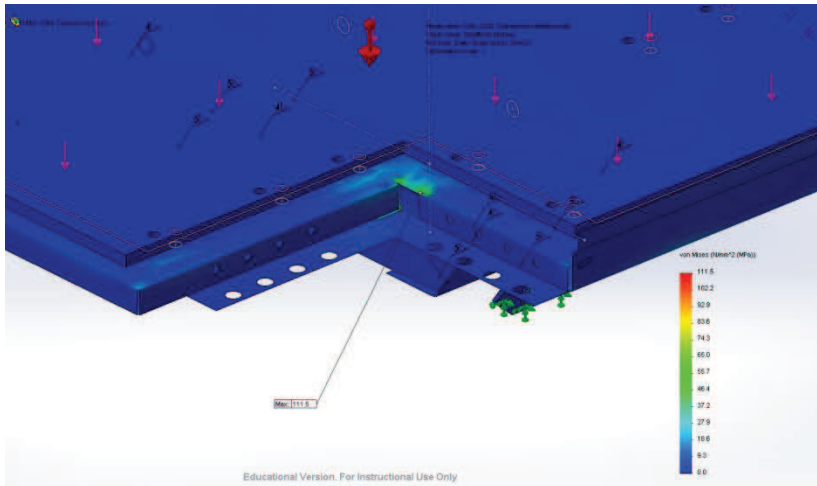


*KUVA 44. Moottoritukien välisen HAK-2300 tukikonstruktion staattinen testaus*

### **Pohjarakenteen ja moottoritukien välinen liitos**

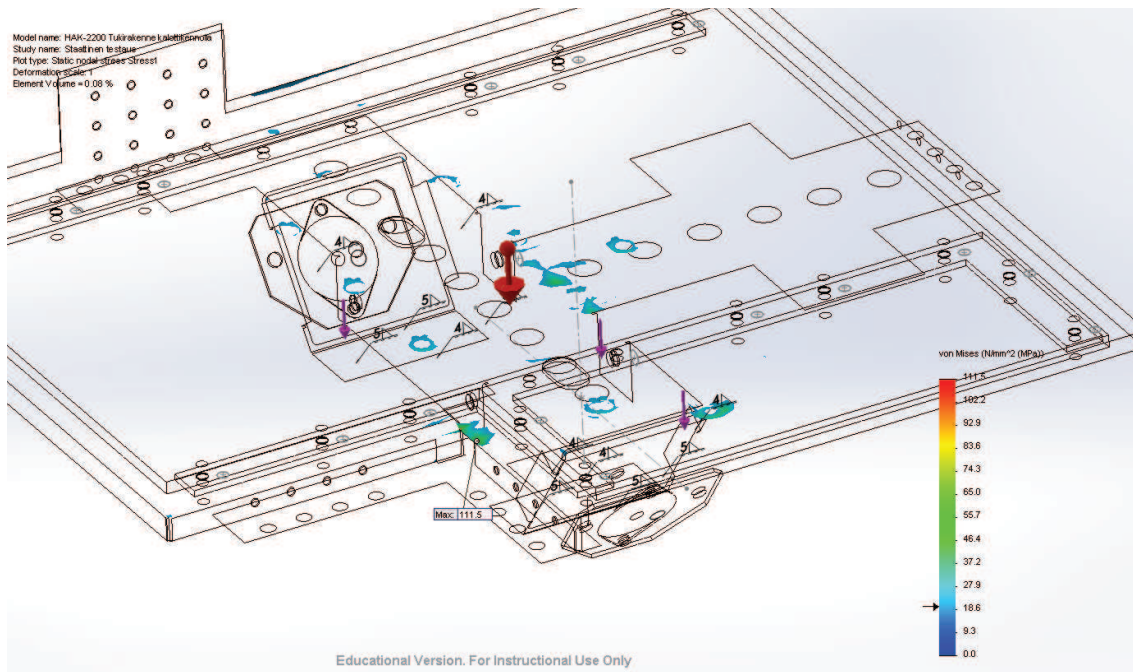
Kotelon ja moottoritukirakenteen osakokonaisuutta simuloitiin 1 864 N (190 kg) suuruisella voimalla. Voima kohdistettiin akkujen pinta-alan kokoiselle alalle. Simuloinnissa ei huomioitu etupääntuenta ratkaisua. Pohjakennorakenteen kalotin kartion ympyröiden halkaisijat ovat 65 mm ja 18 mm. Näiden etäisyys toisistaan on 10 mm. Kartion terävät kulmat pyöristettiin malliin. Kyseistä kalotin muotoa käytetään kaikissa seuraavissa lujuustarkasteluiden malleissa.

Suurinjännitys rakenteessa oli 111,5 MPa ja se muodostui kalottikennorakenteen nurkkaan (kuva 45). Kyseisen kohdan korjaaminen vaatii kennolevyn taivutuksen helpotuksen tasaamista. Suurin 0,68 mm siirtymä rakenteessa oli etupään tukikonstruktion puuttumisen takia kennorakenteen etupuolelle.



**KUVA 45. Pohjarakenteen maksimi jännitys**

Pohjarakenteen pienellä muokkauksella saadaan rakenteesta lujuusominaisuuksiltaan erittäin jäykkä. Rakenteessa esiintyi testin tulosten perusteella enimmäkseen, vain alle 20 MPa suuruisia jännityksiä. Nämä voidaan havaita kuvasta 46, jossa rakenteen tuloksista on suodatettu alle 20 MPa jännitykset.



**KUVA 46. Alle 20 MPa jännitykset suodatettuna**

Etupääntuennan puuttuminen aiheutti taipuman akkukotelon edessä. Taipumat eivät olleet suuria, joten ne eivät ole merkittäviä. Etupään tuennan lisäyksellä saadaan rakenteesta jäykempi, koska tuentakonstruktio tukee siltä puolelta,

missä siirtymä oli suurin. Myös tukirakenteita yhdistävän HAK-2401 ohutlevyrakenteen mittoja muuttaessa voidaan rakenteesta saada jäykempi. Rakenteen tukiessa suuremalta pinta-alalta se vahvistaisi kalottikennorakennetta. Näiden tulosten perusteella käytetään seuraavissa simuloinneissa kotelon materiaalina alumiinia. Testin perusteella kalottikennorakenteeseen ei syntynyt merkittäviä jännityksiä jotka ehkäisisivät alumiinin käyttämisen kotelorakenteessa.

### **6.3 Kokonaisuuksien tarkastelu**

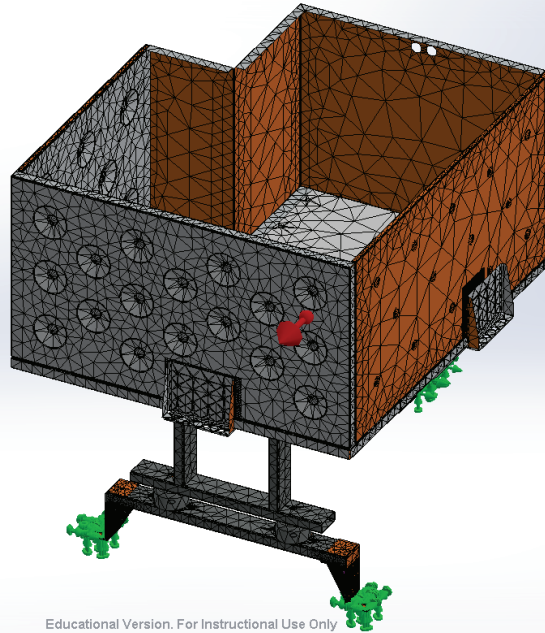
Osiassa simuloidaan pääkokoontaan syntyvää akkujen staattista kuormitusta. Myös radikaalien voimien vaikutusta etuakkukotelon rakenteeseen simuloidaan. Taka-akkukotelo kokonaisuuteen suoritetaan simulointi staattisen kuormituksen avulla.

#### **6.3.1 Etuakkukotelo**

##### **Kokonaisuuden tarkastelu**

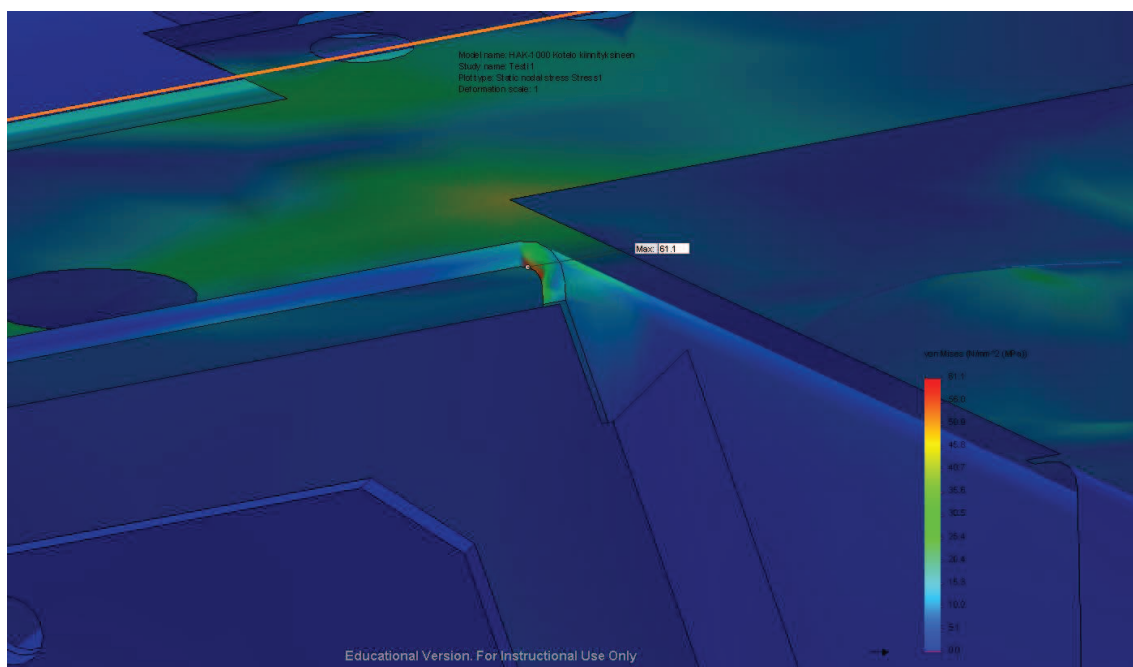
Staattisen kuormituksen testissä tukikokonaisuutta kuormitettiin akuston painolla (160 kg), joka vastaa 1 570 N suuruista voimaa. Kotelon materiaali vaihdettiin EN-AW 5754 -standardin mukaiseen alumiiniin. Staattisessa testauksessa oli tarkastelussa kaikki osat lukuunottamatta kansirakennetta. Simulointiin tarvittu elementtiverkkorakenne on esitetty kuvassa 47, josta voi nähdä testissä käytävät kotelon osat.

Model name: HAK-1000 Kotelo kiinnitykseen  
Study name: Testi 1  
Mesh type: Mixed mesh



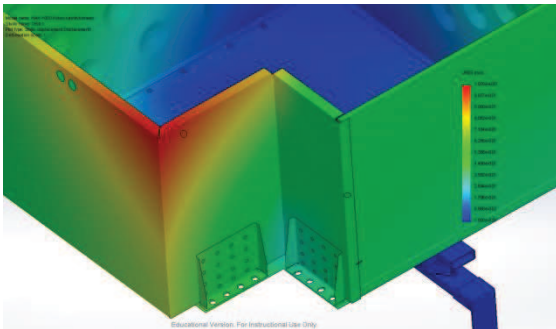
*KUVA 47. Simulointiin luoto elementtiverkkorakenne*

Testin tulosten perusteella suurin jännitys esiintyi moottoritukien välisen putkipalkin HAK-2301 vasemmassa yläkulmassa ja oli suurudeltaan 61,1 MPa. Kuvassa 48 on esitetty suurimman jännityksen sijainti.



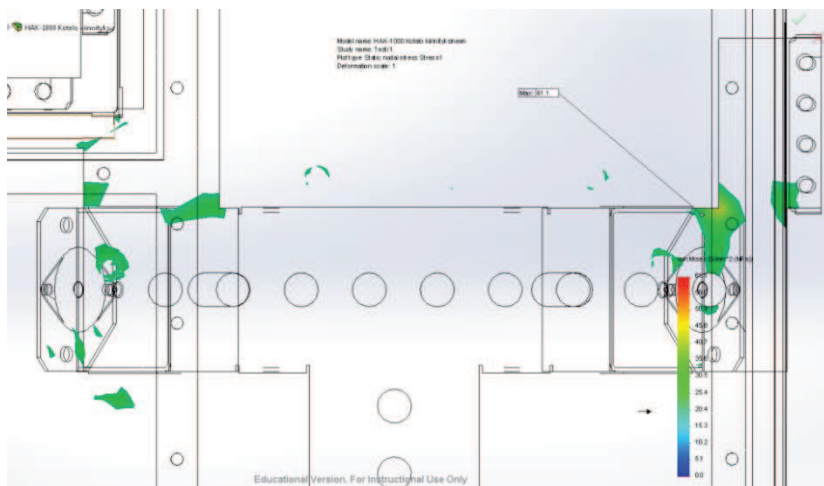
*KUVA 48. Maksijännityksen sijainti HAK-2301 kappaleessa*

Suurin siirtymä 1,1 mm esiintyi kotelon takaseinässä HAK-1500:ssa (kuva 49). Kulmaan voi lujuusominaisuuksien parantamiseksi asentaa vahvikkeita. Sen taipumista voidaan myös ehkäistä muokkaamalla tukikonstruktioita yhdistävää HAK- 2401 ohutlevyrakennetta samalla tavalla kuin aikaisemmin on mainittu. Muutokset olisivat mittojen muuttamista siten, että se kattaisi suuremman pinta-alan pohjasta. Pinta-alaa voidaan kasvattaa etenkin kotelon takaosan vasemmalta puolelta, jonka läheisyydessä sijaitsee maksimijännitys. Pinta-alan kasvattaminen todennäköisesti vähentäisi myös maksimijännityksen suuruutta.



*KUVA 49. Staattisen kuormitustestin suurin siirtymä punaisella*

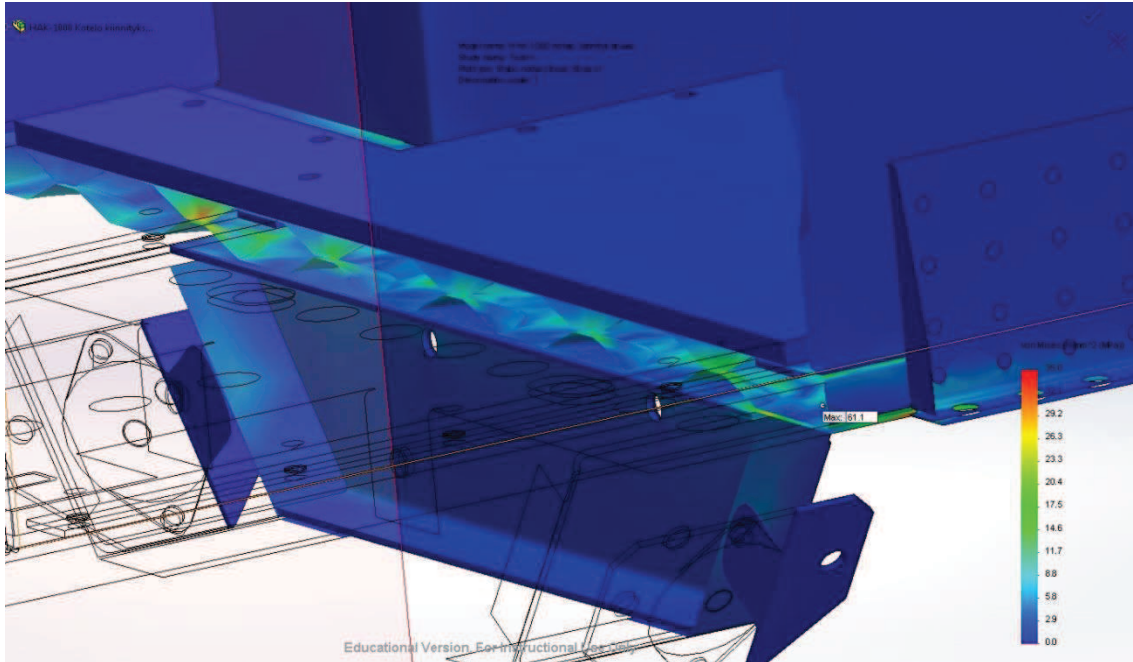
Kuvasta 50 on esitetty yläpuolinen kuva tukirakenteesta. Kyseisestä kuvasta on suodatettu alle 20 MPa jännitykset. Tästä havaitaan että suurimmat jännitykset ovat tukirakenteessa.



*KUVA 50. Alle 20 MPa jännitykset suodatettuna*

Rakenteessa esiintyi pääasiassa alle 25 MPa:n jännityksiä. Ne esiintyivät tasaisesti eripuolilla rakennetta. Esimerkiksi tukirakenteen poikkileikkauskuvasta 51

voidaan havaita rakenteen olevan lujuusominaisuuksiltaan riittävä kantamaan akkujen massan. Siinä on esitetty vihreällä 15–25 MPa jännitykset. Sinisemmät alueet ovat pienemmän jännityksen alueita ja punaiset maksimissaan 35 MPa alueita.

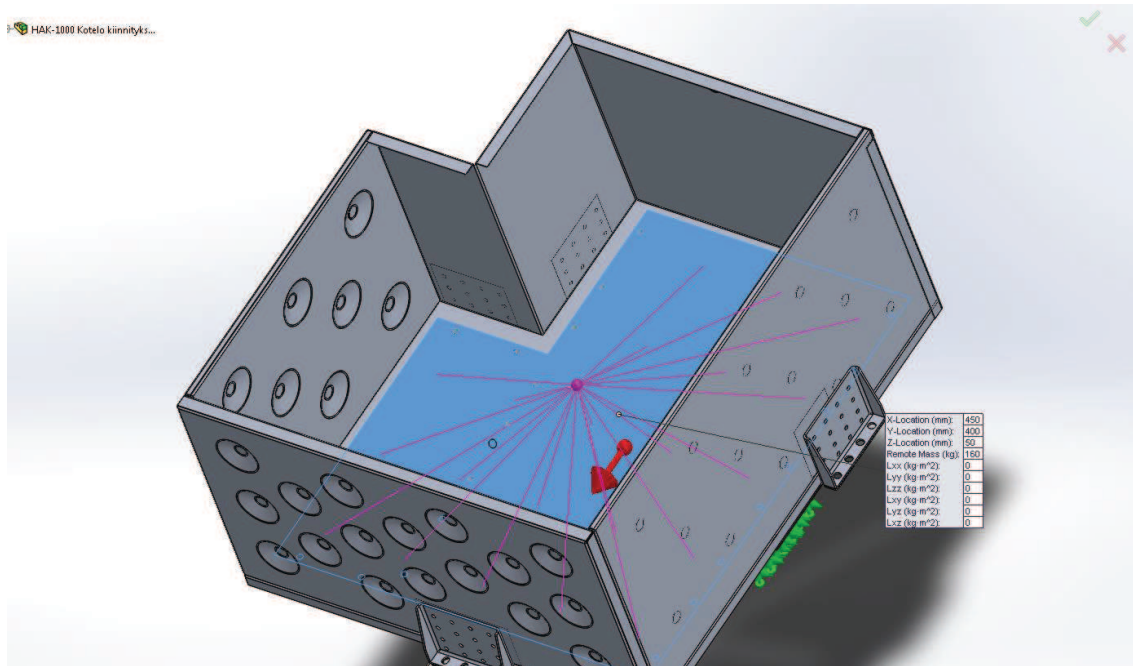


*KUVA 51. Kotelon ja tuen poikkileikkauskuva.*

Alumiinin tai teräksen yhdistetty jännitys ei ole simuloinnin tuloksissa missään kohdassa ollut liian suuri suhteessa metallin myötörajaan. Varmuuskerrointa kertyy alumiinirakenteessa suhteessa minimi 0,2 %:n myötörajaan yli neljänkertaisesti. Käytetyn alumiinin myötöraja on 130 MPa ja suurin jännitys kennorakenteessa oli 30 MPa:n luokkaa.

### **Äkillinen hidastuminen**

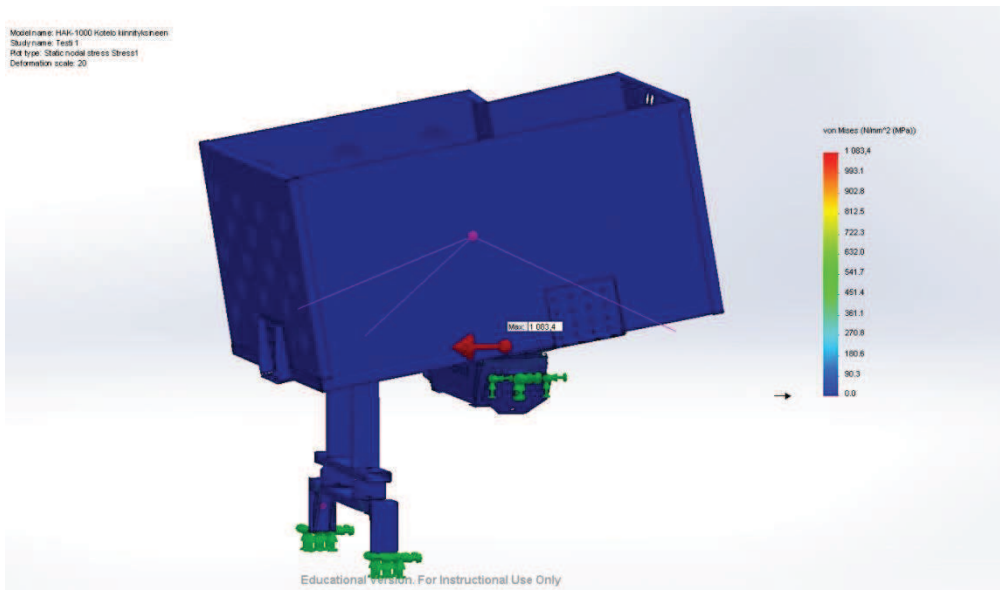
Simuloidaan tilannetta, jossa akut äkillisen pysähtymisen takia altistuu suurelle hidastuvuudelle. Tilanne on lujuustarkasteluun toteutettu niin, että kotelon sisälle on määritetty akkujen painoinen massa. Massalle on määritetty massakeskipiste, joka on esitetty kuvassa 52. Massakeskipiste on arvioitu sijainti akuston painopisteelle.



KUVA 52. Massakeskipisteen määrittäminen

Luvussa 6.1 laskettujen tulosten avulla määritetään Solidworks-ohjelman Gravit-toiminnolla kotelokokonaisuudelle hidastuvuuden arvot. Kyseisellä toiminnolla määritetään simulointiin rakenteelle painovoima. Testissä sitä käytetään hyväksi simuloimaan etutörmäystilannetta. Hidastuvuuden arvoksi luvussa 6.1 on laskettu  $76,15 \text{ m/s}^2$ . Simuloinnin tuloksia tulee arvioida kriittisesti. Äkillisessä pysähdyksessä on monta tekijää joita ei voida simuloinnissa huomioida.

Simuloinnin tuloksista voidaan nähdä, että kotelo pyrkii synnyttämään moottoritukien välisiin tukikumeihin vääntöä (kuva 53). Tukikumet todellisuudessa joustavat ja sitovat itseensä energiaa. Kumien myötämisen seurauksena kyseisessä tilanteessa kotelo tulee todennäköisesti osumaan moottoritalan etupeltiin. Sen seurauksena siirtymä pienenee ja voimat kulkevat etummaisen kalottikennon kautta muuhun rakenteeseen.

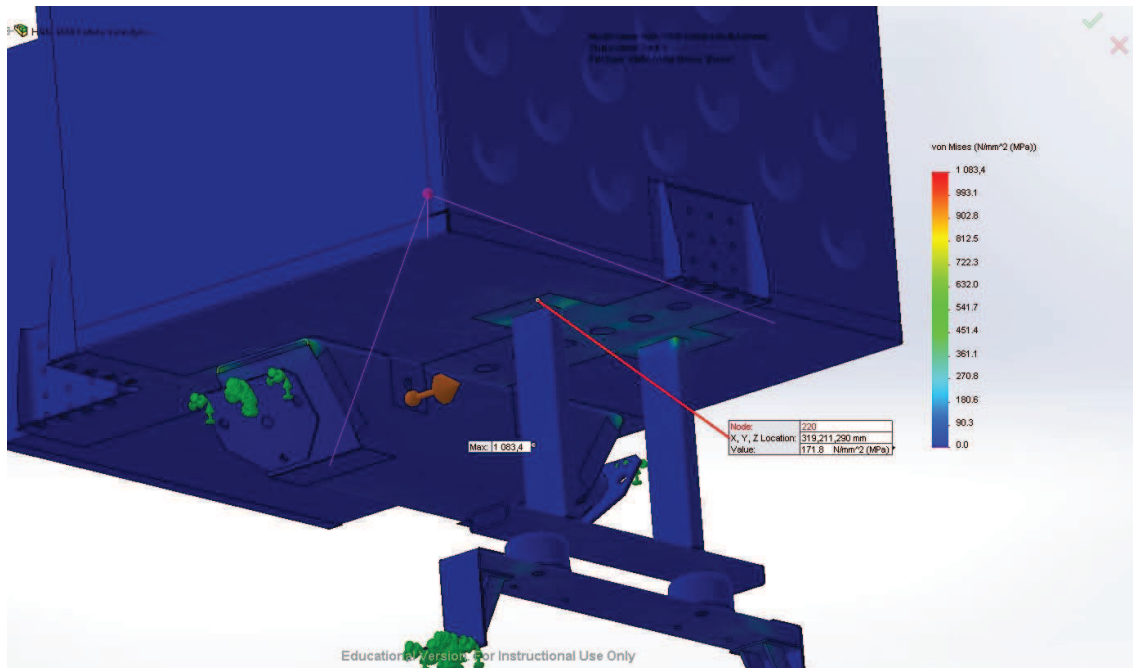


*KUVA 53. 20-kertaistettu siirtymä äkillisen hidastuvuuden simuloinnissa*

Etutukikonstruktio tukee kotelon nyökkäysliikettä ja ottaa vastaan kotelon liike-energiaa. Putkipalkkien kotelon puoleisessa kiinnityksessä esiintyy suuria jännityksiä, jotka ylittävät reilusti metallin myötö- ja murtorajat. Tukiyhdistävän konstruktion paremmat lujuusominaisuudet aiheuttavat putkipalkin myötäämisen ennen yhdistävää rakennetta.

Simuloidun törmäystilanteen suurimmat 5,8 mm siirtymät sijaitsivat takaseinän ohutlevyrakenteessa niinkuin aikaisemmissakin simuloinneissa. Siirtymät eivät olleet merkittäviä johtuen tukien simuloinnissa aiheuttamasta vääristymästä. Tukikumet todellisuudessa myötäisivät kumen kohdalta rajallisessa määrin ja näin siirtymää tulisi hieman enemmän.

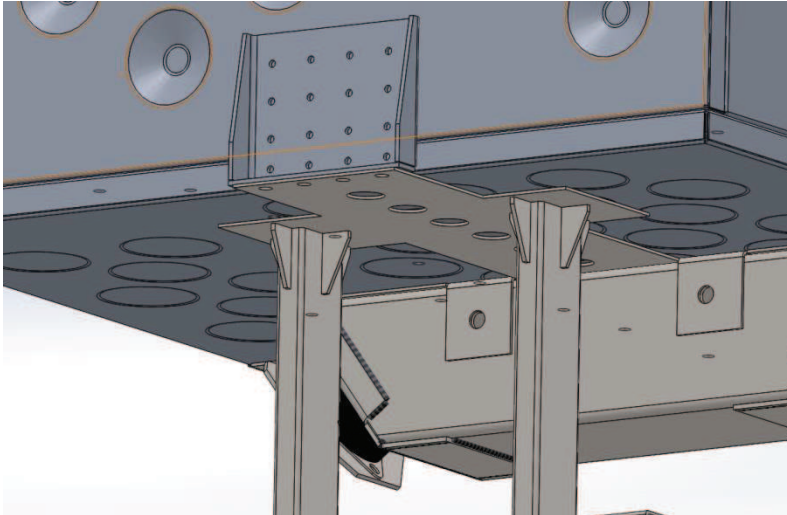
Kotelossa esiintyvät jännitykset simuloinnin tuloksissa pysyivät kohtuullisissa rajoissa. Pohjarakenteen kalottikennossa esiintyy suuria jännityksiä, jotka aiheuttavat alumiinin repeämisen. Jännitykset esiintyvät kotelon etuosassa, jonka sijainti on esitetty kuvassa 54. Myötäämisen takia HAK-2401 ja putkipalkit siirtyvät jonkin verran kennorakenteen sisäpuolelle. Kennorakenne pohjassa on kuitenkin suhteellisen paksu, joten sen takia on pieni todennäköisyys, että palkit osuisivat akkuihin.



*KUVA 54. Pohjan kalottikennorakenteen suurin jännitys ja sijainti*

Moottoritukien välisessä putkipalkissa esiintyi suuria jännityshuippuja, jotka aiheuttavat metallin repeämisen. Jännitys on todellisuudessa kuitenkin paljon pienempi, koska tukikumet ja etupelti ottavat voimaa vastaan hyvin suurella todennäköisyydellä. Akkukotelo tulee sen verran tiiviisti moottoritilaan, että ulko- ja sisäpuoliset rakenteet ottavat myös törmäysenergiaa vastaan. Putkipalkin kohtaa voidaan asennuksessa vahvistaa esimerkiksi hitsaamalla siihen ylimääräisen teräslevyn. Myös putkipalkin ainevahvuuden kasvattaminen pienentää repeämisen riskiä.

Etupääntukikonstruktion suunniteltiin yksinkertaiset vahvikkeet, jotka pienentävät putkipalkin synnyttämää jännitystä HAK-2401 rakenteeseen (kuva 55). Niiden tehtävänä on jakaa voimaa suuremmalle pinta-alalle.

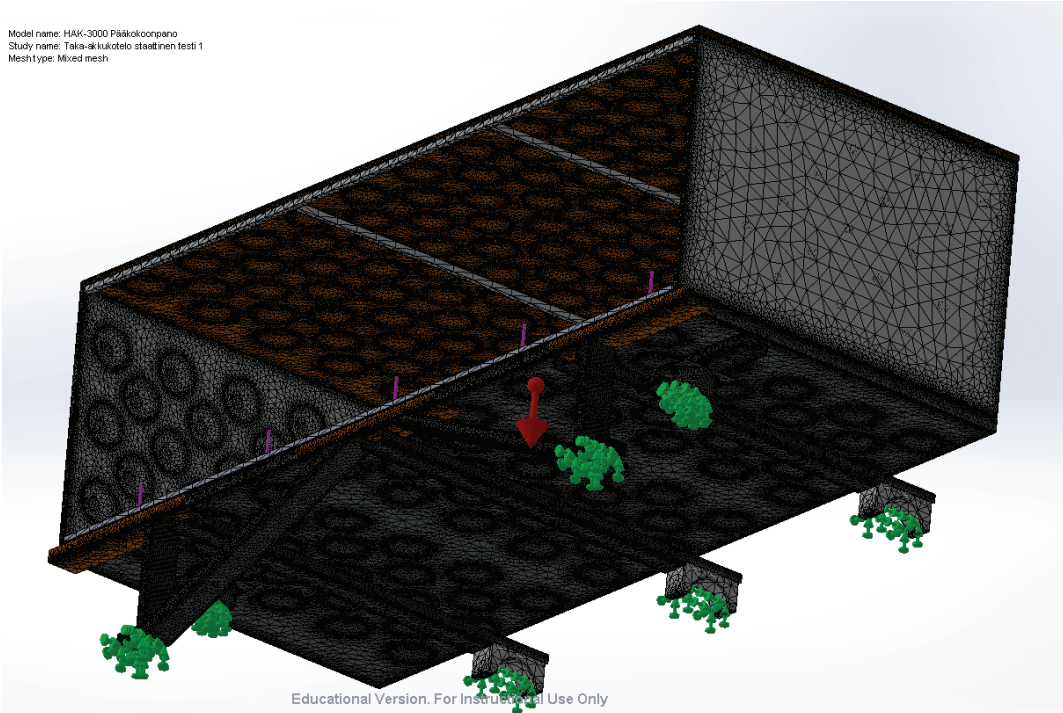


*KUVA 55. Vahvistukset HAK-2400 tukikonstruktioon*

### **6.3.2 Taka-akkukotelo**

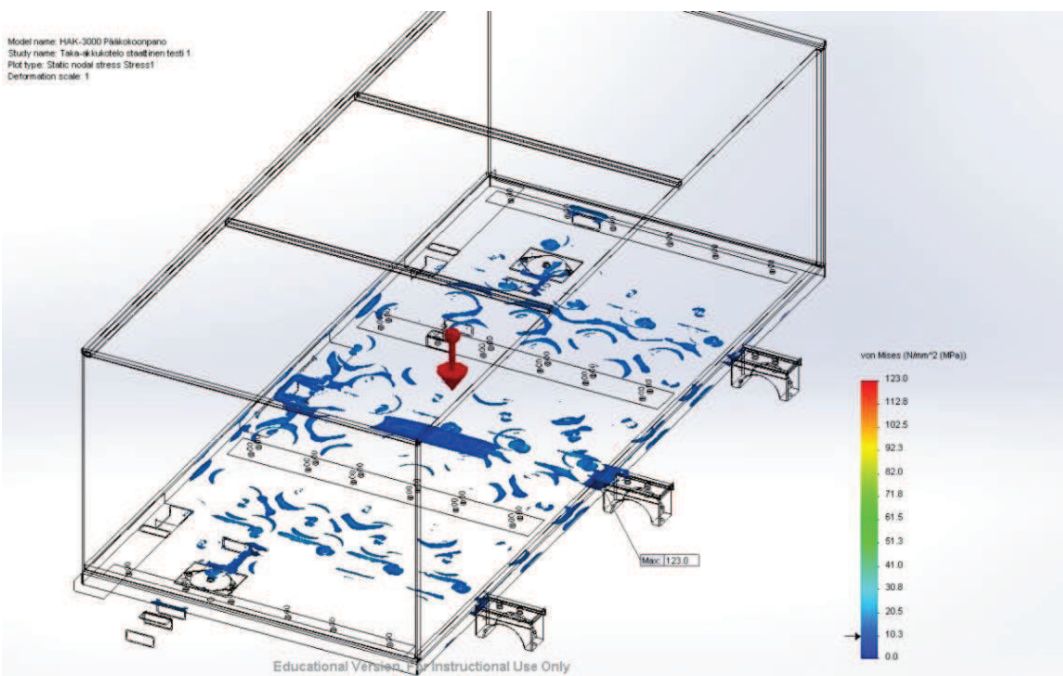
Taka-akkukoteloon suoritettiin vain staattisen kuorman simulointi. Siinä tukikonstruktiota kuormitettiin 2 943 N (300 kg) voimalla akkujen pinta-alan kokoiselta alueelta. Tukipisteitä taka-akkukotelon rakenteella on seitsemän kappaletta, joista kolme on ajoneuvon rungon putkipalkkirakenteessa (kuva 56). Kaikki pisteet ovat kumivaimennettuja mutta simulaatiossa kumimateriaalia ei otettu huomioon. Tukikumin rakenteelliset ominaisuudet määräävät niiden kuormankeston.

Model name: HAK-3000 Pääkokoontarvo  
Study name: Taka-akukotelo staattinen testi 1  
Mesh type: Mixed mesh



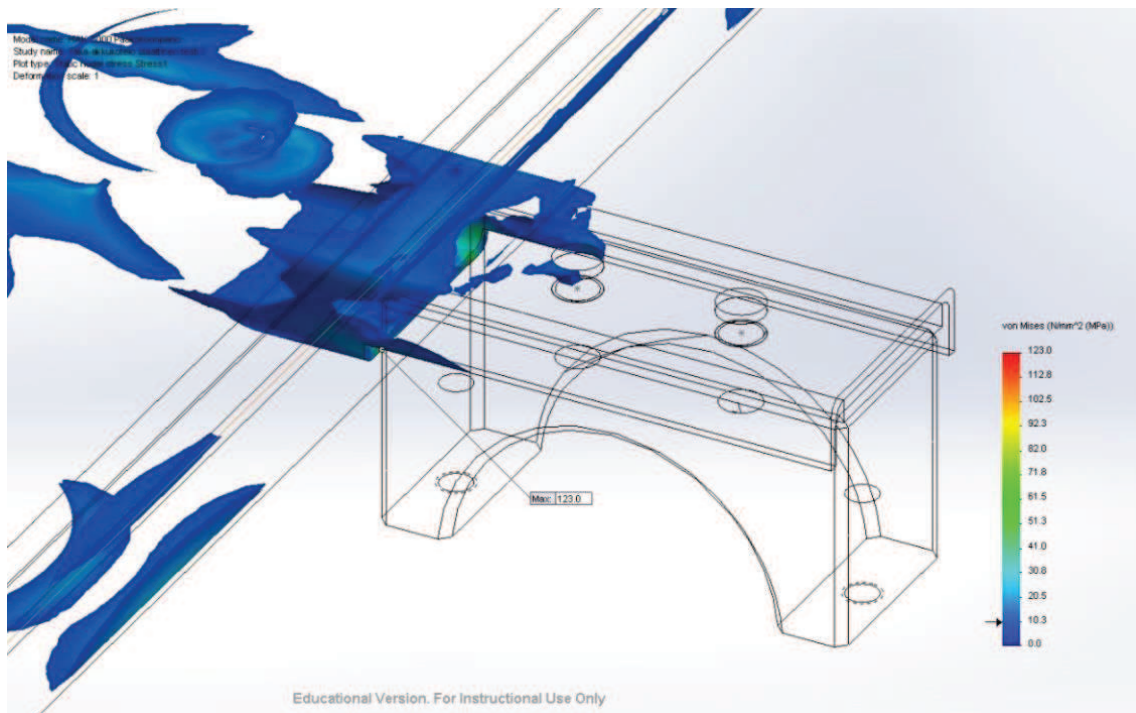
KUVA 56. Tukipisteet, kuormitusuunta ja Solidworksilla luotu elementtiverkko

Pääasiassa rakenteessa esiintyi alle 10 MPa jännityksiä (kuva 57). Suurin siirtymä 0,38 mm sijaitsi kannen rakenteessa ja eikä ole merkitsevä.



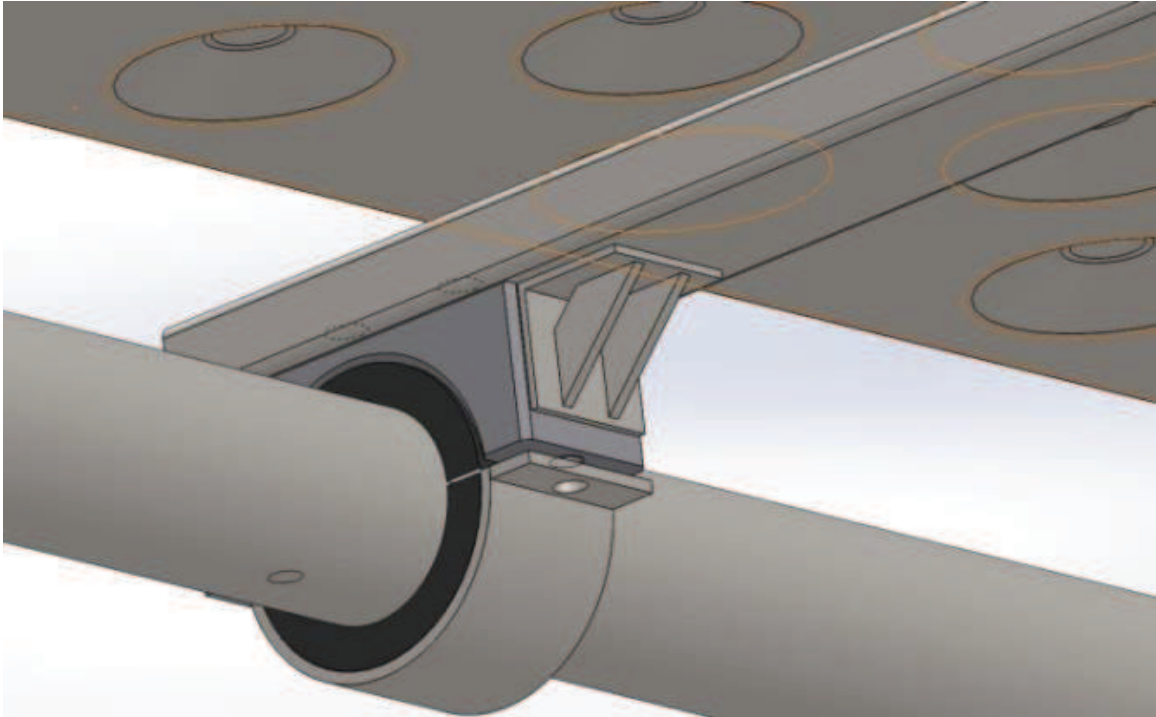
KUVA 57. Alle 10 MPa jännitykset suodatettuna

Suurin jännitys esiintyi keskimmäisen rakenneputken tukirakenteen puoleisessa päädyssä (kuva 58). Suuren jännityksen aiheuttaa rakenneputken leikkaus. Syntyvä jännitys on pääosin puristusjännitystä ja se voidaan ehkäistä yksinkertaisella toteutuksella. Se tapahtuu muokkaamalla rakenneputken leikkausta ja asentamalla vahvistettu kulmalevy rakenneputkeen. Näin saadaan sen lujuusominaisuuksia parannettua huomattavasti. Todellisuudessa näin pienellä alalle sijaitseva huippujännitys jakaantuu hyvin äkkiä muuhun rakenteeseen, eikä näin ollen lujuustarkastelun huippujännityksellä ole merkitystä.



*KUVA 58. Suodatettuna alle 10 MPa jännitykset ja suurimman jännityksen sijainti*

Simuloinnin tulosten perusteella muokattua rakenneputkea muokattiin kuitenkin (kuva 59). Vahvike on kulmapala jossa on vahvistukset. Alumiinin ja teräksen väliin voidaan tarvittaessa asentaa suoja. Se voidaan toteuttaa esimerkiksi 0,5 mm paksuisella muovilla, joka liimataan alumiiniin kiinni. Samaa vahviketta käytettäisiin myös viereisissä rakenneputkissa.



*KUVA 59. Rakenneputken vahvike HAK-3116*

Vahvikkeena voidaan käyttää myös rakenneputkea, joka on sijoitettuna aikaisemman vahvikkeen tilalle. Tämä ajaisi samanasian mutta se lisäisi rakenteen painoa enemmän kuin HAK-3116-vahvike.

## 7 YHTEENVETO

Päätarkoituksena työssä oli suunnitella uudelle ajoakustolle kotelointi-, tuki- ja lämmönhallintajärjestelmä tarvittavine työpiirustuksineen. Lämmönhallintajärjestelmään tarkoituksena oli tutkia erivalmistajien faasimuutosmateriaalia sisältävien tuotteiden soveltuvuutta. Akkukoteloinnin suunnittelussa tarkoituksena oli soveltaa nykyaikaista kennotekniikkaa.

### **Akkukotelonlämmönhallinta**

Akulle tehdyt lämpötilamittaukset osoittivat akun sitovan lämpöenergiaa suhteellisen paljon. Mitä enemmän akkuja kotelossa on, sitä kauemmin jäähtymiseen kuluu aikaa. Tämä toimii myös toisin päin, mikäli akut päästetään jäähtymään normaalia matalampaan lämpötilaan. Mittauksessa kotelo oli eristeestä valmistettu täysin suljettu kotelo. Kotelon ollessa tarpeeksi tiivis ei sen sisällä oleva ilmamassa pääse vaihtumaan. Näin ollen lämmönhaihtuminen on hitaampaa ja suurimmaksi osaksi lämmön siirtyminen tapahtuu eristeessä.

Faasimuutosmateriaaleja on tähän mennessä kehitetty paljon eteenpäin. Tämän takia niiden käyttö akkukoteloinnissa lämmönhallinnan osana on mahdollista. Niiden lämmönsitomusominaisuudet ovat parantuneet tuotekehityksen avulla. Faasimuutosmateriaaleja voidaan käyttää niin jäähdytyksessä kuin lämmityksessäkin. Käyttökohde määräytyy faasimuutosmateriaaleissa enimmäkseen sen ominaisuuksien perusteella. Faasimuutosmateriaalilta vaadittava ominaisuus akkujenlämmönhallinnajärjestelmässä on, että faasimuutosaineen sulamislämpötila on akkujen optimikäyttölämpötilan alueella. Pääasiassa työssä käytiin läpi huoneenlämpötilassa sulamislämmön saavuttavia faasimuutosmateriaaleja.

Huonona puolena faasimuutosmateriaalissa voidaan pitää sen tuomaa massan lisäystä sähköajoneuvoon. Liiallisella massan lisäyksellä se ei sovellu kokonaisuutena osana lämmönhallintajärjestelmään. Lämmönhallinnan osana faasimuutosmateriaali tuo lisäarvoa järjestelmään, sillä käytetään rakennuksien lämmönhallintajärjestelmissä faasimuutosmateriaalia kokonaisuuden osana.

Työssä tarkasteluissa olevista faasimuutosmateriaalia sisältävistä tuotteista soveltuisi parhaiten Micronal-yrityksen valmistamat tuotteet. Myös Dupont-yrityksen valmistama Energain-tuote soveltuu hyvin, koska sen ainevahvuus on vain 5 mm. Tuotteiden sulamislämpötilat ovat huoneenlämpötilan tuntumassa, mikä on optimaalinen lämpötila akkukotelossa.

Kotelon lämmöneristys olisi tehokkainta aerogeeli-pohjaisilla tuotteilla. Näiden tuotteiden lämmönjohtavuusarvot ovat huomattavasti pienemmät kuin muilla tuotteilla. Tuotteet ovat kalliimpia, mutta niiden avulla saavutetaan sama lämmöneristävyys, pienemmällä ainevahvuudella.

Osa aerogeeliä sisältävistä tuotteista on räätälöitävissä käyttökohteen mukaan. Aerogeelipohjaista tuotetta valittaessa tulee se ottaa huomioon. Mallinnusten perusteella kotelon käytettävissä olevat mitat puoltavat aerogeelipohjaisia tuotteita, koska niiden ainevahvuus ei ole suuri vain 10 mm. Pienemmällä ainevahvuudella ei tarvitse tinkiä lämmöneristävydestä, koska aerogeelipohjaisilla eristeillä on pienempi lämmönjohtavuus ( $\lambda$ ).

### **Akkukoteloiden suunnittelu**

Moottoritilan mittojen määrittämisessä ensimmäisenä ajatuksena oli käyttää 3D-mittalaitetta. Koululla käytettävissä oleva laite osoittautui kuitenkin varsin isokokoiseksi. Sen takia mittaukset suoritettiin laseretäisyysmittarin avulla ja pikamallikotelolla. Tämä osoittautui tehokkaaksi tavaksi, kunhan on vain huolellinen mittauksen ja pikamallikotelon rakentamisen aikana.

Kalottikennorakenteet soveltuvat simulaatioiden avulla erittäin hyvin akkukotelon materiaaliksi. Kennorakenne suojaa ja jäykistää koteloa kasvattamatta kuitenkaan painoa liikaa. Kotelorakenteen valmistaminen alumiinista mahdollistaa kevyen kotelon. Teräksisen ja alumiinisen kotelon painoero oli 20 kg. Mikäli kotelolta vaaditaan normaalia enemmän kestävyyttä, lujuusominaisuuksia tai erityisolosuhteita, voidaan kennorakenteen materiaalissa soveltaa hyvinkin monenlaisia teräslajeja.

Moottoritilan akkukotelo on mielestäni onnistunut kokonaisuus. Alumiinin käyttäminen kalottikennorakenteessa mahdollistaa kotelon kevyen rakenteen. Tuki-

rakenteissa käytettiin pääasiassa terästä, koska sen lujuusominaisuudet ovat paremmat kuin alumiinilla. Taka-akkukotelon pohjan kalottikennorakenteessa päädyttiin käyttämään terästä, koska kotelon pohjarakenne on alttiina tiestä lentäville kappaleille, jotka voivat vahingoittaa koteloa. Etuakkukotelon tukirakenteista saatiin huolellisessa suunnittelulla yksinkertaiset ja kestävät. Komponenttien yhtenäistäminen kummassakin kotelorakenteessa helposti saataviin materiaaleihin on valmistusystävällistä suunnittelua.

### **Lujuustarkastelu**

Rakenteeseen tehtävät simuloinnit auttoivat paikoittamaan rakenteen lujuustekniset heikkoudet. Lujuustarkastelun tulosten avulla voitiin tehdä muutamia parannuksia, joilla saatiin akkukoteloiden rakenteesta lujuudeltaan riittävät kantamaan akkujen massan ja mahdolliset suuremmat voimat. Simuloineissa ei kaikkia kiinnityksiä tarkasti mitoitettu mutta simulointien määritetyt kontaktit riittivät antamaan suuntaa antavia tuloksia. Etuakkukotelon ja tukirakenteen pulttikiinnitykset olisi ollut hyvä tarkastaa laskemalla. Kyseiset liitokset ovat tällä hetkellä hyvin suurella todennäköisyydellä ylimitoitettuja. Se ei kuitenkaan ole merkittävää liitosten yksinkertaisuudesta ja edullisten osien takia.

### **Aikataulu ja työnloppupäätelmät**

Työn tavoiteaikataulu suunnittelun ja mallinnuksen kohdalla hieman myöhästyi. Suunnittelu saatiin päätökseen reilu kuukautta arvioitua myöhemmin. Se ei kuitenkaan merkittävästi haitannut, koska sähkötyökoneessa esiintyi talven aikana ongelmia, jotka saatiin korjattua vasta kevään alkuun mennessä. Ongelmien takia ajoneuvo seisoj suurimman osan talvesta.

Työ oli aihealueellisesti hyvin laaja-alainen. Kaikkia työn kohtia ei ehtinyt tutkia kunnolla. Työn aihealueista olisi varmasti riittänyt tietoa toiseen opinnäytetyöhön. Esimerkiksi lämmönhallinnasta ja kotelorakenteista olisi mahdollista toteuttaa itsenäiset aihealueet. Sen takia tässä työssä ei laajuuden rajoittamisen takia käsitelty aihealueista kuin suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Lämmönhallinnan osio oli ainut, jossa käytiin hieman syvällisemmin asioita. Tulevaisuudessa rakennekokonaisuuteen olisi hyvä suorittaa tarkemmat lujuusanalyysit, joissa voisi arvioida tarkemmin esimerkiksi rakenteen kolariturvallisuutta. Myös lämmönhallintajärjestelmään on tällä kokoonpanolla hyvä ideoida erilaisia ratkaisuja.

## LÄHTEET

1. Varis, Lassi 2013. Dieselmoottorin korvaaminen täyssähköisellä voimansiirtojärjestelmällä hilux-sähkötyökoneprojektissa. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:  
[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56661/varis\\_lassi.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56661/varis_lassi.pdf?sequence=1). Hakupäivä 30.1.2014.
2. Tihinen, Tuomas 2013. Sähkökäyttöisen työkoneen akuston suunnittelu. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:  
[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66700/tihinen\\_tuomas.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66700/tihinen_tuomas.pdf?sequence=1). Hakupäivä 30.1.2014.
3. Matinniemi, Jari – Mukkala, Vesa – Similä, Juho 2013. Akuston esiselvitys projekti. Ammatillinen projektio-pinto -kurssi. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu.
4. EB\_brochure\_2011\_EN.pdf. 2011. European Batteries. Saatavissa:  
[www.europeanbatteries.com/brochures](http://www.europeanbatteries.com/brochures). Hakupäivä 21.4.2013.
5. Kauppinen, Toni 2010. Litium-ioniakkukemikaalien kierrätys. Opinnäytetyö. Kokkola: Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, kemiantekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:  
[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16735/Kauppinen\\_Toni.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16735/Kauppinen_Toni.pdf?sequence=1). Hakupäivä 30.1.2014.
6. Valtanen, Esko 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18., painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.
7. Woods, Tori. Aerogels: Thinner, Lighter, Stronger. NASA's Glenn Research Center. 2011. Saatavissa:  
[http://www.nasa.gov/topics/technology/features/aerogels.html#.Uz2ARvI\\_s0](http://www.nasa.gov/topics/technology/features/aerogels.html#.Uz2ARvI_s0)  
8. Hakupäivä 3.4.2014.

8. Aerogel - The Guinness Book of Records champion material. Human touch of chemistry. Saatavissa: <http://www.humantouchofchemistry.com/aerogel--the-guinness-book-of-records-champion-material.htm>. Hakupäivä 12.3.2014.
9. Aerogel-eristeet. 2010. Energiatehokas. Saatavissa: [http://www.energianerokas.fi/tuotteet?page=shop.browse&category\\_id=28](http://www.energianerokas.fi/tuotteet?page=shop.browse&category_id=28). Hakupäivä 12.3.2014.
10. Koostumus ja rakenne. Finnfoam. Saatavissa: <http://www.finnfoam.fi/finnfoam-eristelevyt/koostumus-ja-rakenne/>. Hakupäivä 12.3.2014.
11. PCM products. 2014. Sustainable in steel. Saatavissa: [http://www.sustainableinsteel.eu/p/556/pcm\\_products.html](http://www.sustainableinsteel.eu/p/556/pcm_products.html). Hakupäivä 9.2.2014.
12. PCMs for construction. 2014. Sustainable in steel. Saatavissa: [http://www.sustainableinsteel.eu/p/555/pcms\\_for\\_construction.html](http://www.sustainableinsteel.eu/p/555/pcms_for_construction.html). Hakupäivä 24.2.2014.
13. PCM technology - What is a pcm. 2014. Dupoint. Saatavissa: [http://energain.co.uk/Energain/en\\_GB/pcm\\_tech/index.html](http://energain.co.uk/Energain/en_GB/pcm_tech/index.html). Hakupäivä 24.3.2014.
14. Pönkä, Arttu 2012. Faasimuutosmateriaalien käyttö energian varastoinnissa. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, materiaalitekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21282>. Hakupäivä 30.1.2014.
15. Potential savings. 2013. BASF The Chemical Company. Saatavissa: [http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1\\_290819](http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_290819). Hakupäivä 24.3.2014.
16. PCM research: HATS (Hybrid Adaptable Thermal Storage). Sustainable in steel. 2014. Saatavissa:

- [http://www.sustainableinsteel.eu/p/557/pcm\\_research\\_hats.html](http://www.sustainableinsteel.eu/p/557/pcm_research_hats.html). Hakupäivä 24.2.2014.
17. K-Block the alternative free cooling and heating. Salca BV. Saatavissa: <http://www.salcabv.nl/images1/File/Brochure%20K-Block%2005-08-10%20EN.pdf>. Hakupäivä 24.2.2014.
18. Micronal® PCM. Intelligent Temperature Management for Buildings. BASF. Saatavissa: [http://www.micronal.de/portal/load/fid443847/BASF\\_Micronal\\_PCM\\_Brochure%202009\\_English.pdf](http://www.micronal.de/portal/load/fid443847/BASF_Micronal_PCM_Brochure%202009_English.pdf). Hakupäivä 24.2.2014.
19. Energain® thermal mass panel – for sustainable building solutions. 2014. Dupont. Saatavissa: [http://energain.co.uk/Energain/en\\_GB/products/thermal\\_mass\\_panel.html](http://energain.co.uk/Energain/en_GB/products/thermal_mass_panel.html). Hakupäivä 24.2.2014.
20. Dupont Energain – Energy-saving thermal mass systems. 2011. Dupont. Saatavissa: [http://energain.co.uk/Energain/en\\_GB/assets/downloads/documentation/download/Energain%C2%AE\\_Datasheet\\_UK.pdf](http://energain.co.uk/Energain/en_GB/assets/downloads/documentation/download/Energain%C2%AE_Datasheet_UK.pdf). Hakupäivä 24.2.2014.
21. Delta Cool®. Technical Documentation. Dörken. Saatavissa: <http://www.approvedbusiness.co.uk/files/companypdfs/11675/Delta%20Cool%204%20Board%20Installation.pdf>. Hakupäivä 24.2.2014.
22. Polar akkulämmitin. Polarheater. Saatavissa: <http://www.polarheater.fi/page/3/polar-akkulammitin>. Hakupäivä 3.2.2014.
23. Akkulämmitin Arctic Battery Heater. Articheat control. Saatavissa: <http://www.arcticheat.fi/arctic-battery-heater.html>. Hakupäivä 3.2.2014.
24. Karjalainen, Sami – Matinniemi, Jari – Mukkala, Vesa – Oikarainen, Tani – Ylipukki, Antti 2012. Lavan muokkausprojekti. Loppuraportti. Tuotekehityskurssi. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu.

25. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säätö nro 34. 2011. ENECE. Saatavissa:  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:109:0055:0079:FI:PDF>. Hakupäivä 27.3.2014.
26. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) säätö nro 100. 2011. ENECE. Saatavissa:  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:057:0054:0085:FI:PDF>. Hakupäivä 27.3.2014.
27. SFS-EN 50272-3. 2003. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 3: ajovoima-akut. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
28. Brunou, Jarkko 2006. Kennolevyjen eri käyttömahdollisuudet. Compusteel Oy. Saatavissa:  
<http://www.oulu.fi/fmt/FMT6/PDF/LaserWorkShop030406/JarkkoBrunou-KennolevyjenErikayttoMahdollisuudet.pdf>. Hakupäivä 31.3.2014.
29. Karjalainen, Aino – Huurinainen, Kimmo 2013. Ohutlevyrakenne mahdollistaa ruostumattomien terästen tehokkaan hyödyntämisen sähkökoneissa. Ohutlevy 2/2013 nro 2. S. 38–40. Saatavissa:  
[http://www.randax.fi/files/Randax\\_artikkeli\\_Ohutlevy\\_2013.pdf](http://www.randax.fi/files/Randax_artikkeli_Ohutlevy_2013.pdf). Hakupäivä 10.2.2014.
30. Coretex Honeycomb Cores. The Coretex Group. Saatavilla:  
<http://www.coretexgroup.co.uk/5.html>. Hakupäivä 24.1.2014.
31. Kalottikennot. CS Cell. Saatavilla: [http://www.cef.fi/wp-content/uploads/2013/07/CS\\_Cell.pdf](http://www.cef.fi/wp-content/uploads/2013/07/CS_Cell.pdf). Hakupäivä 10.3.2014.
32. Juutilainen, Timo 2012. Kennotekniikan sovellukset – kalottikenno. Ohutlevy 2/2012 nro 2. S. 28–30. Saatavissa:  
<http://www.ohutlevy.com/pdf/kalottikenno.pdf>. Hakupäivä 31.3.2014.
33. KENNO – Kevyet levyt -teknologiaohjelma 1998–2002. 2003. Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 2/2003. Helsinki: Tekes.

34. Laitinen, Ville 2013. Kalottikennorakenteiden väliset liitoselementit. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:  
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94342/Kalottikennorakenteiden%20valiset%20liitoselementit.pdf?sequence=2>. Hakupäivä 16.3.2014.
35. Matilainen, Jorma – Parviainen, Miikka – Havas, Taru – Hiitelä, Erja – Hultin, Sami. 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.
36. Mekaaniset ominaisuudet: Ohutlevyt ja paksut levyt. Alumenco. Saatavissa:  
[http://www.alumeco.fi/Tekninen\\_informaatio/Mekaaniset\\_ominaisuudet/Levyt.aspx](http://www.alumeco.fi/Tekninen_informaatio/Mekaaniset_ominaisuudet/Levyt.aspx). Hakupäivä 31.3.2014.
37. Ruukki. 2014. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/>. Hakupäivä 31.3.2014.
38. Novibra® EH™ -product data sheet. Trelleborg. Saatavissa:  
<http://www.trelleborg.com/upload/IndAVS/Files/Industrial%20PDF/38%20EH.pdf>. Hakupäivä 31.3.2014.
39. Matinniemi, Jari 2014. Hilux -sähkötyökoneen turvallisuus. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Valmisteilla oleva opinnäytetyö.
40. Leica Disto Plus user manual. 2003. Leica Geosystems AG. Saatavissa:  
[http://ptd.leica-geosystems.com/downloads123/cp/disto/plus/manuals/Manual\\_plus\\_en.pdf](http://ptd.leica-geosystems.com/downloads123/cp/disto/plus/manuals/Manual_plus_en.pdf). Hakupäivä 11.2.2014.
41. Autodesk 123D. 2014. Saatavissa: <http://www.123dapp.com>. Hakupäivä 27.1.2014.
42. Laherto, Anssi 2010. Ohjeita ohutlevytuotteiden valmistusystävälliseen suunnitteluun. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Saatavissa:  
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/59266/nbnfi-fe201002231402.pdf?sequence=3>. Hakupäivä 16.3.2014.

43. Markkanen, Pekka 2014. Re: Akkukotelo sähköautoon. Sähköpostiviesti.

Vastaanottaja: Mukkala Vesa, Palsa, Topi. 8.4.2014.

44. Industrial product catalogue. 2010. Trelleborg. Saatavissa:

<http://www.trelleborg.com/upload/IndAVS/Files/Industrial%20PDF/66%20RAB.pdf>. Hakupäivä 10.4.2014.

45. Arvind, S.A 2014. Von Mises Yield Criterion demystified. Saatavissa:

<http://www.mechlabs.in/articles/von-mises-yield-criterion-demystified/> Hakupäivä 10.4.2014.

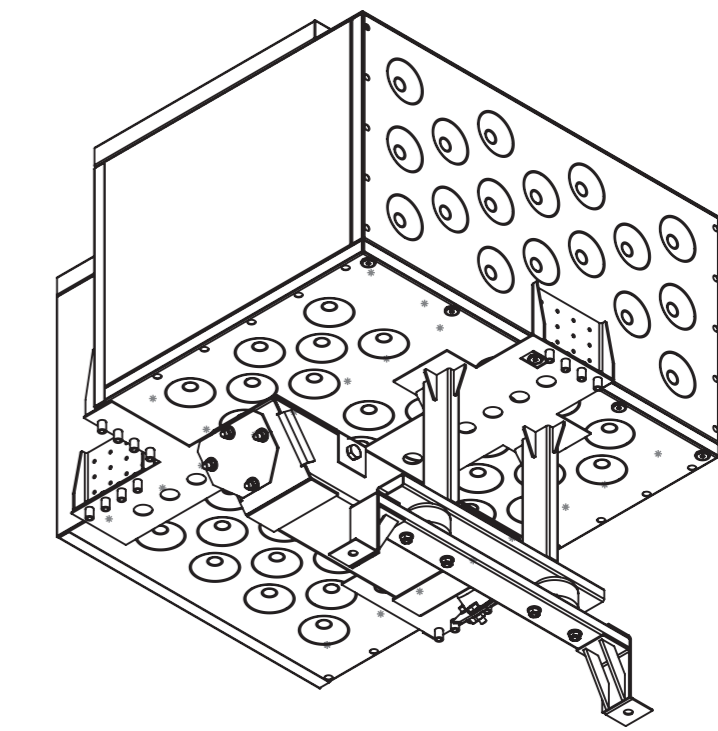
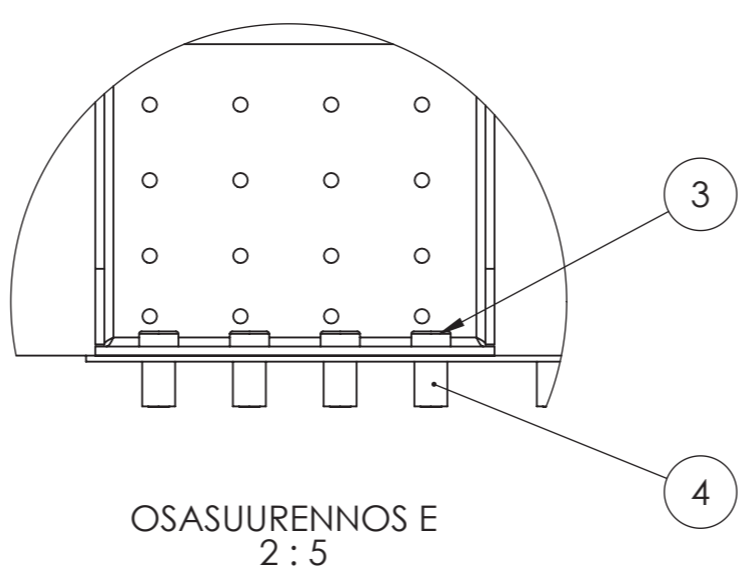
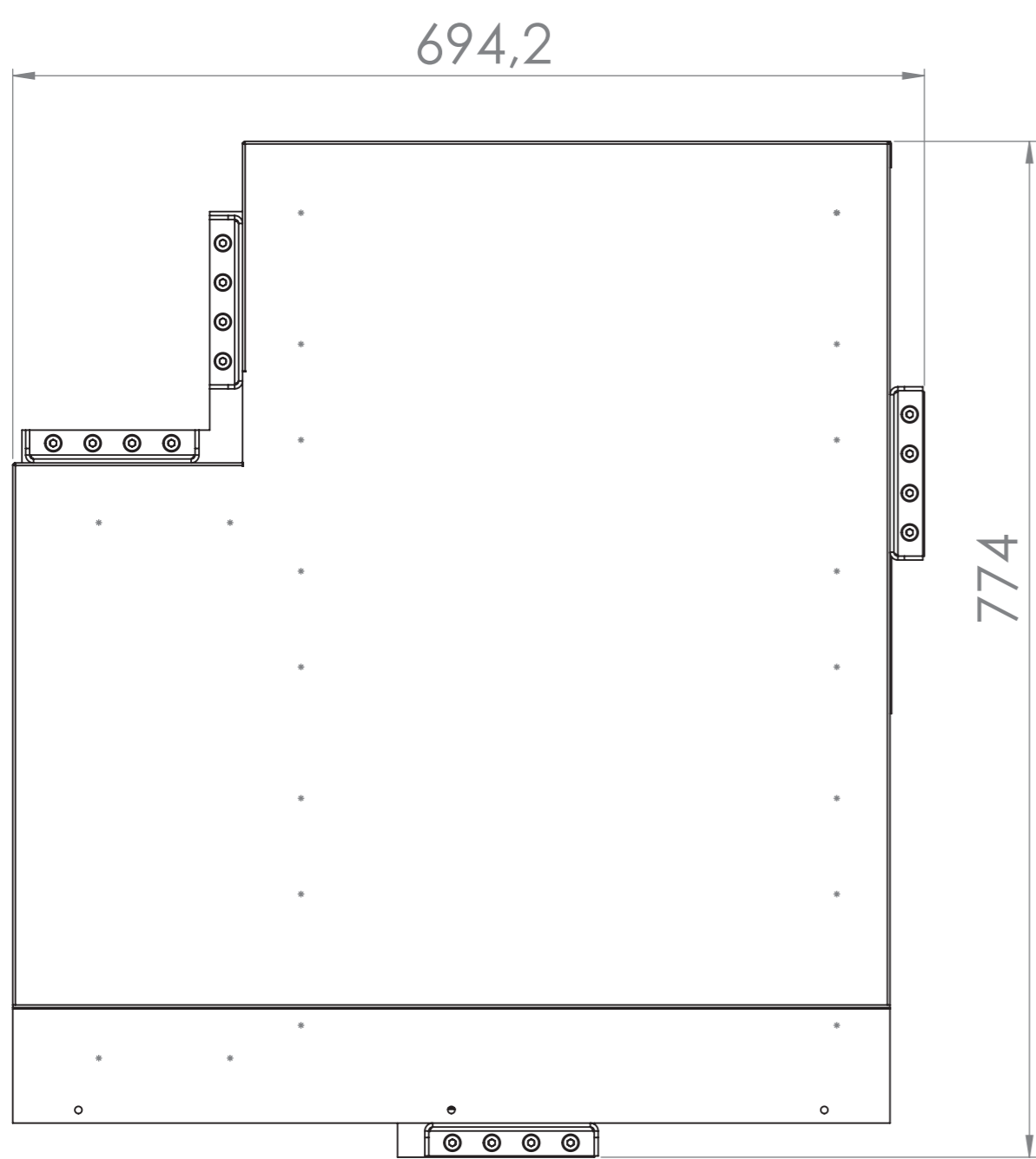
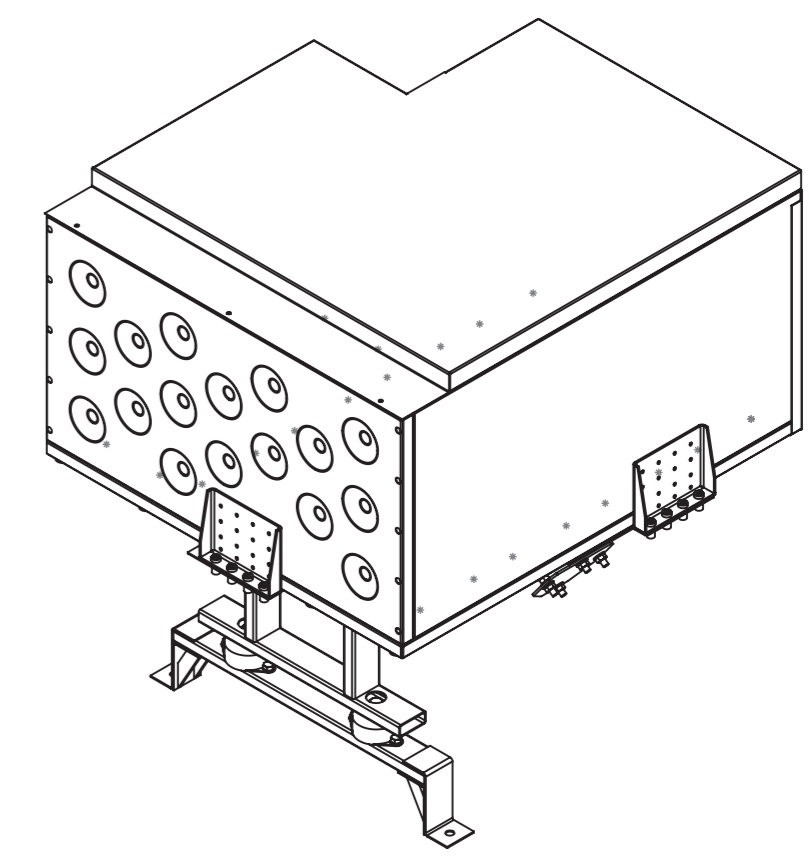
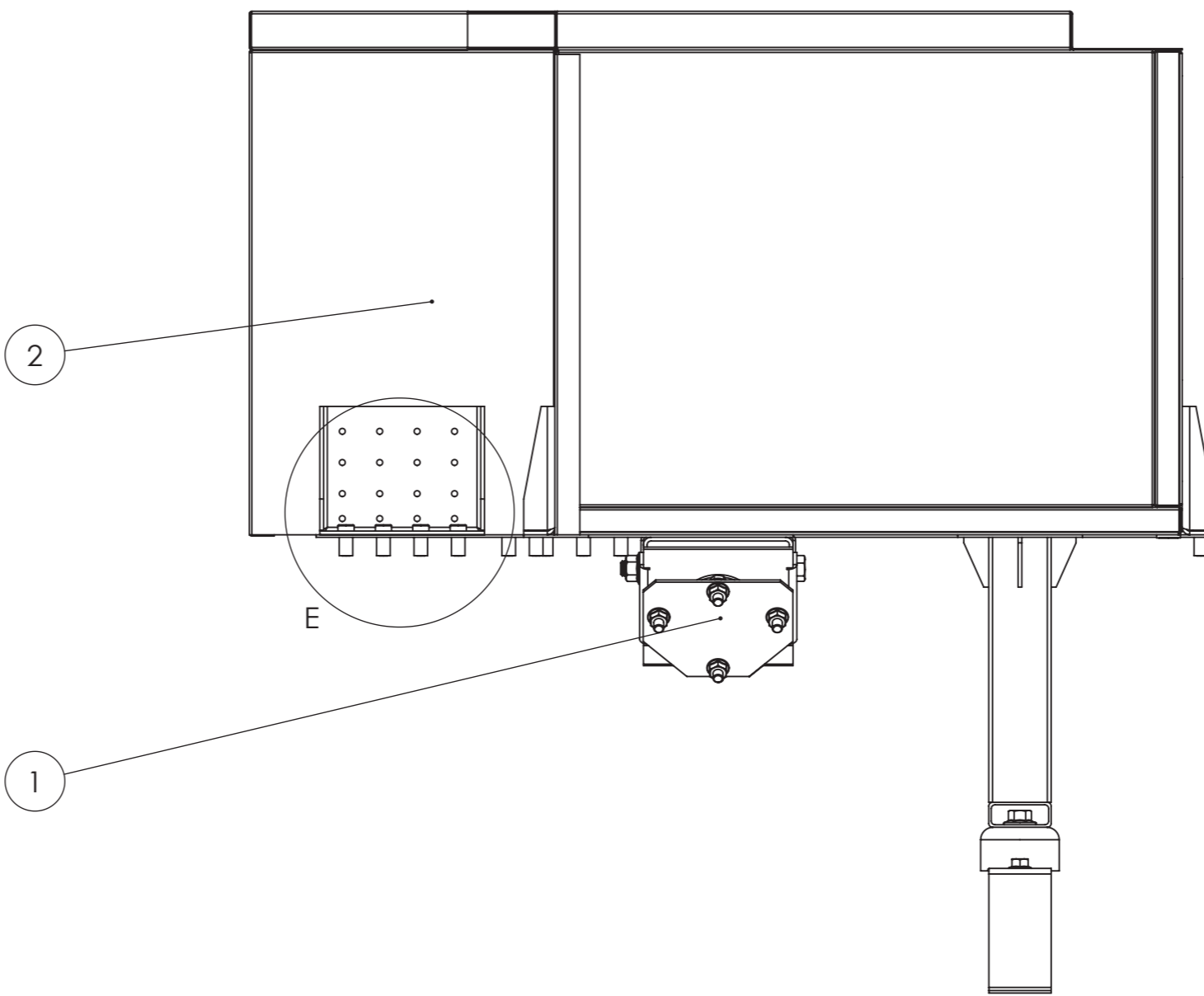
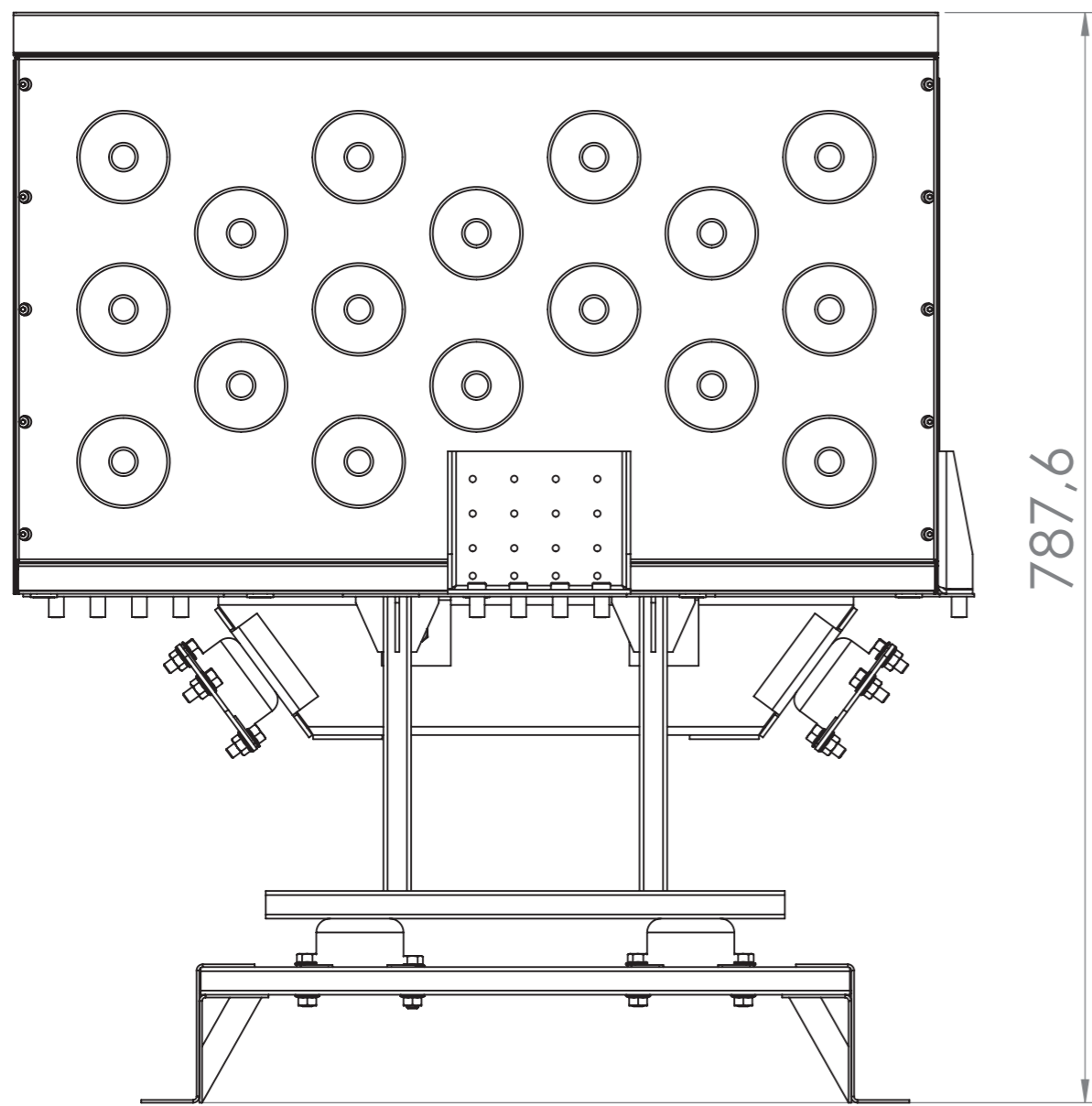
## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä <sup>1</sup>	Tilaaaja <sup>2</sup>
	Vesa Matti Mukkala	Oamk Autolaboratorio
	Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot <sup>3</sup>	
	Janne Ilomäki Kotkantie 1, 90250 Oulu	
	Työn nimi <sup>4</sup>	
	<b>Sähkötyökoneen ajoakuston kiinnitysrakenteen / lämmönhallinnan suunnittelu ja mallinnus.</b>	
	Työn kuvaus <sup>5</sup>	
Työssä suunnitellaan ajokuille kiinnitys- /tuentajärjestelmä ja lämmönhallinta järjestelmä. Työn pohjana on ajoakuston esiselvitys projektin dokumentit, jotka on kirjoitettu keväällä 2013.		
Työn tavoitteet <sup>6</sup>		
Tavoitteena on suunnittelun kautta tuottaa uusien ajoakkujen kiinnitys- /tuentajärjestelmä. Työssä tutkitaan myös tuennan vaihtoehtoisia materiaaleja. Työn tavoitteena olisi myös suunnittelun kautta tuottaa lämmönhallinta järjestelmä uusille akuille. Lämmönhallinta järjestelmää suunniteltaessa otetaan huomioon PCM-faasimuutos materiaalin käyttö. Tavoitteena on myös tutkia valmiin akkukokoonpanon lämpötiloja testikäytössä talvella 2014.		
Tavoiteaikataulu <sup>7</sup>		
Opinnäytetyö aloitetaan lokakuussa 2013. Suunnittelutyö olisi tarkoitus saada päätökseen tammikuun 2014 alkuun mennessä. Lämpötilamittaukset aloitetaan heti kokoonpanon valmistuttua. Työ olisi tarkoitus saada päätökseen ja lopullisiin dokumentteihin huhtikuun 2014 loppuun mennessä.		
Päiväys ja allekirjoitukset <sup>8</sup>		
3, 10, 2013	3, 10, 2013	
Tekijän allekirjoitus 	Tilaaajan allekirjoitus 	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.</li> <li>2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.</li> <li>3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.</li> <li>4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.</li> <li>5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.</li> <li>6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.</li> <li>7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.</li> <li>8. Lähtötietomuiستio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö</li> </ol>		

**PIIRUSTUKSET ETUAKKUKOTELOON**

HAK-0100.....	Pääkokoontapano.....	(A2)
HAK-1000.....	Kotelon kokoonpano.....	(A2)
HAK-1100.....	Kotelon pohjan osakokoonpano.....	(A3)
HAK-1101.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A3)
HAK-1102.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A3)
HAK-1102.....	Kennolevyn 2-puoli, niittimutteri reikien sijainti....	(A3)
HAK-1103.....	Akun kiinnityksen vahvistuslevy 1....	(A4)
HAK-1104.....	Akun kiinnityksen vahvistuslevy 2....	(A4)
HAK-1200.....	Kotelon etuseinän osakokoonpano.....	(A3)
HAK-1201.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A3)
HAK-1202.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A3)
HAK-1300.....	Kotelon vasemman seinän osakokoonpano.....	(A3)
HAK-1301.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A4)
HAK-1302.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A4)
HAK-1303.....	Kiinnityksen vahvistuslevy oikea.....	(A4)
HAK-1400.....	Kotelon oikean seinän osakokoonpano.....	(A3)
HAK-1401.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A4)
HAK-1402.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A4)
HAK-1500.....	Kotelon takaseinä.....	(A3)
HAK-1600.....	Kotelon tukirakenteen kiinnitys .....	(A4)
HAK-1700.....	Kotelon kansi .....	(A3)
HAK-1800.....	Akkujen pohjalevy.....	(A3)
HAK-2000.....	Tukirakenne, kokoonpano.....	(A2)
HAK-2200.....	Etutukikonstruktio, osakokoonpano.....	(A3)
HAK-2210.....	Hitsauskokoonpano.....	(A3)
HAK-2211.....	Etutuen kulmakappale.....	(A4)
HAK-2212.....	Kiinnitys kelloeristimelle.....	(A4)
HAK-2213.....	Vahvike.....	(A4)

HAK-2300...	Moottoritukien välinen tukikonstruktio, osakokoonpano.....	(A3)
HAK-2301.....	Moottorituen adapteri.....	(A4)
HAK-2310.....	Hitsauskokoonpano.....	(A3)
HAK-2311.....	Tukien välinen rakenneputki.....	(A4)
HAK-2312.....	Rakenneputken päätylevy.....	(A4)
HAK-2400.....	Hitsauskokoonpano yhdistävä rakenne.....	(A3)
HAK-2401.....	Ohutlevy rakenne.....	(A4)
HAK-2402.....	Kiinnitys vaimenninkumeille.....	(A4)
HAK-2403.....	Vahvike.....	(A4)

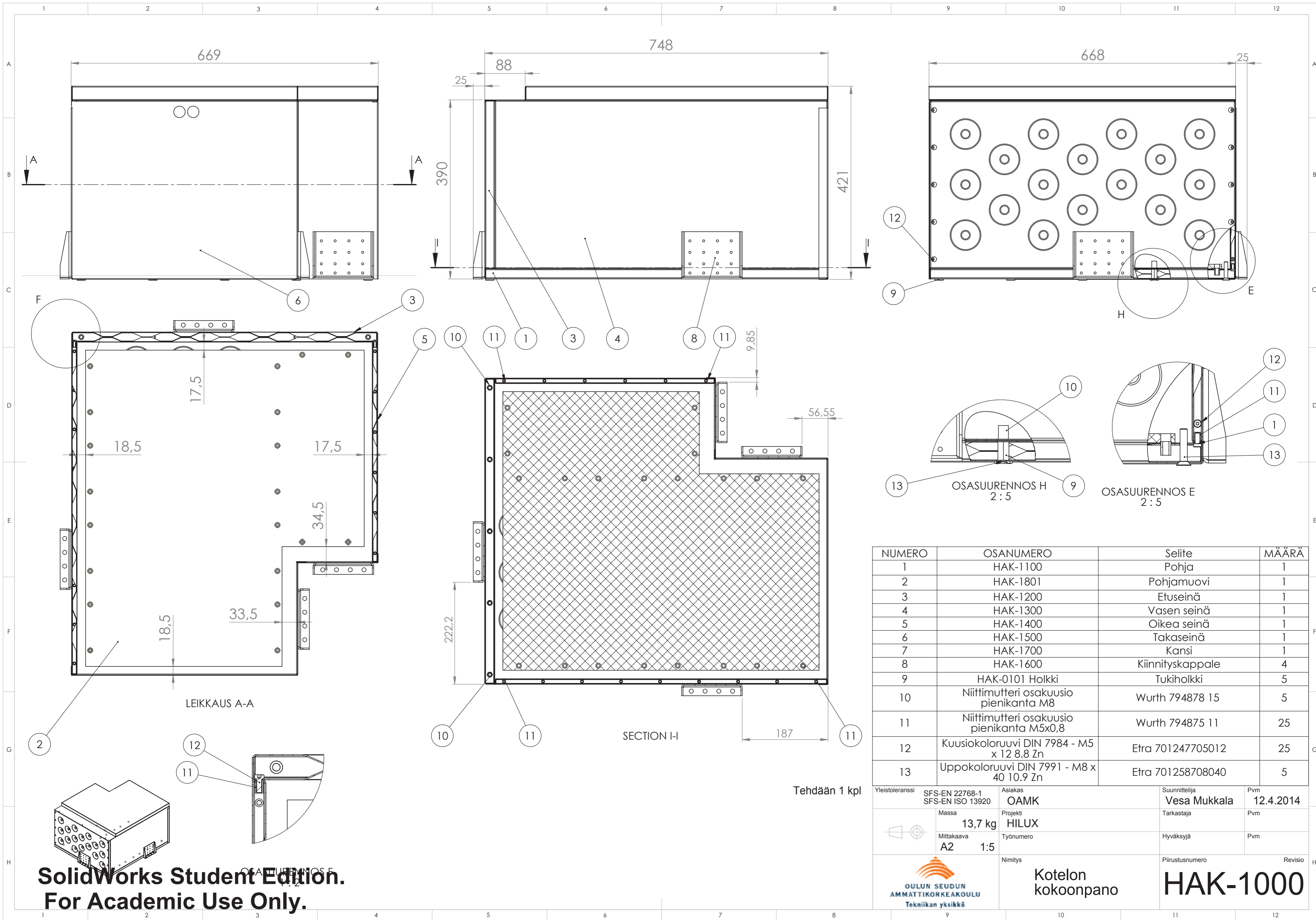


Tehdään 1 kpl


NUMERO	OSANUMERO	Selite	MÄÄRÄ
1	HAK-2000	Tukirakenteen kokoonpano	1
2	HAK-1000	Kotelon kokoonpano	1
3	DIN 7984 - M8 x 20 --- 16.25C	Etra 701247708020	16
4	Niittimutteri osakuusio pienikanta M8	Würth 794878 15	16

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
Massa	<b>26,08 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
Mittakaava	<b>A2 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Etu-akkukotelon pääkokoonpano</b>	Piirustusnumero <b>HAK-0100</b>	Revisio

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

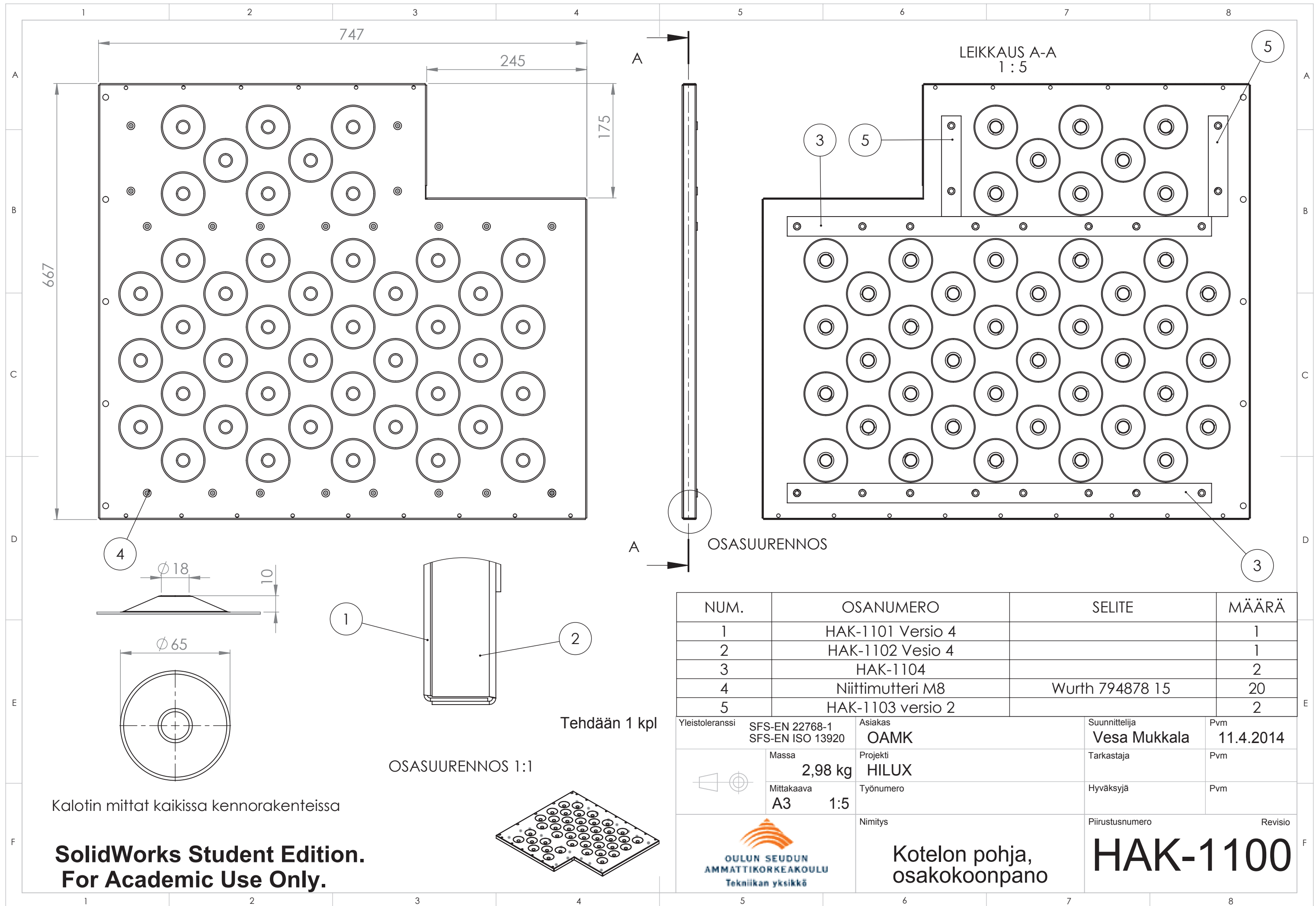


NUMERO	OSANUMERO	Selite	MÄÄRÄ
1	HAK-1100	Pohja	1
2	HAK-1801	Pohjamuovi	1
3	HAK-1200	Etuseinä	1
4	HAK-1300	Vasen seinä	1
5	HAK-1400	Oikea seinä	1
6	HAK-1500	Takaseinä	1
7	HAK-1700	Kansi	1
8	HAK-1600	Kiinnityskappale	4
9	HAK-0101 Holkki	Tukiholkki	5
10	Niittimutteri osakuusio pienikanta M8	Würth 794878 15	5
11	Niittimutteri osakuusio pienikanta M5x0,8	Würth 794875 11	25
12	Kuusiokoloruuvi DIN 7984 - M5 x 12 8.8 Zn	Etra 701247705012	25
13	Uppokoloruuvi DIN 7991 - M8 x 40 10.9 Zn	Etra 701258708040	5

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
Massa	<b>13,7 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
Mittakaava	<b>A2 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Kotelon kokoonpano</b>	Piirustusnumero <b>HAK-1000</b>	Revisio

Tehdään 1 kpl

**SolidWorks Student Edition.**  
For Academic Use Only.



NUM.	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-1101 Versio 4		1
2	HAK-1102 Vesio 4		1
3	HAK-1104		2
4	Niittimutteri M8	Wurth 794878 15	20
5	HAK-1103 versio 2		2

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>11.4.2014</b>
	Massa <b>2,98 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm

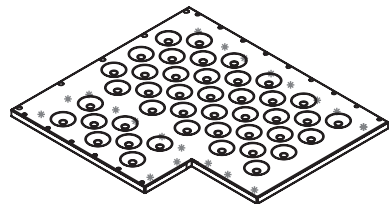
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>	Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
	<b>Kotelon pohja, osakokoonpano</b>	<b>HAK-1100</b>	

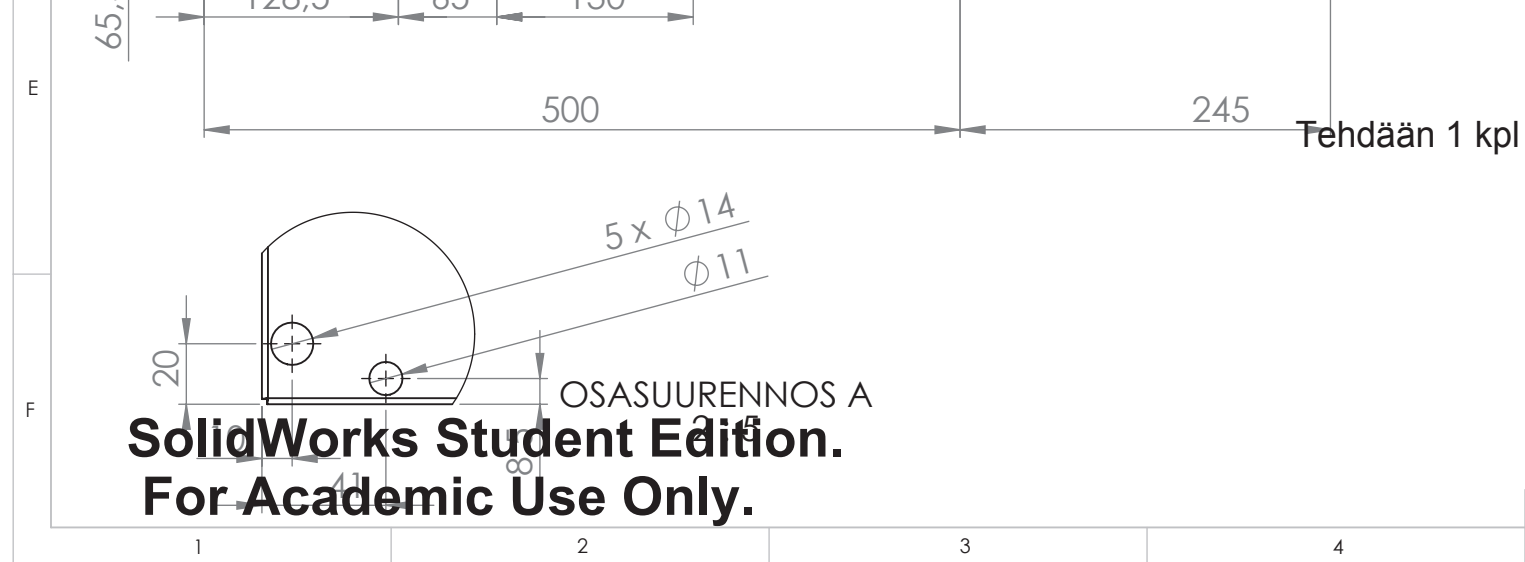
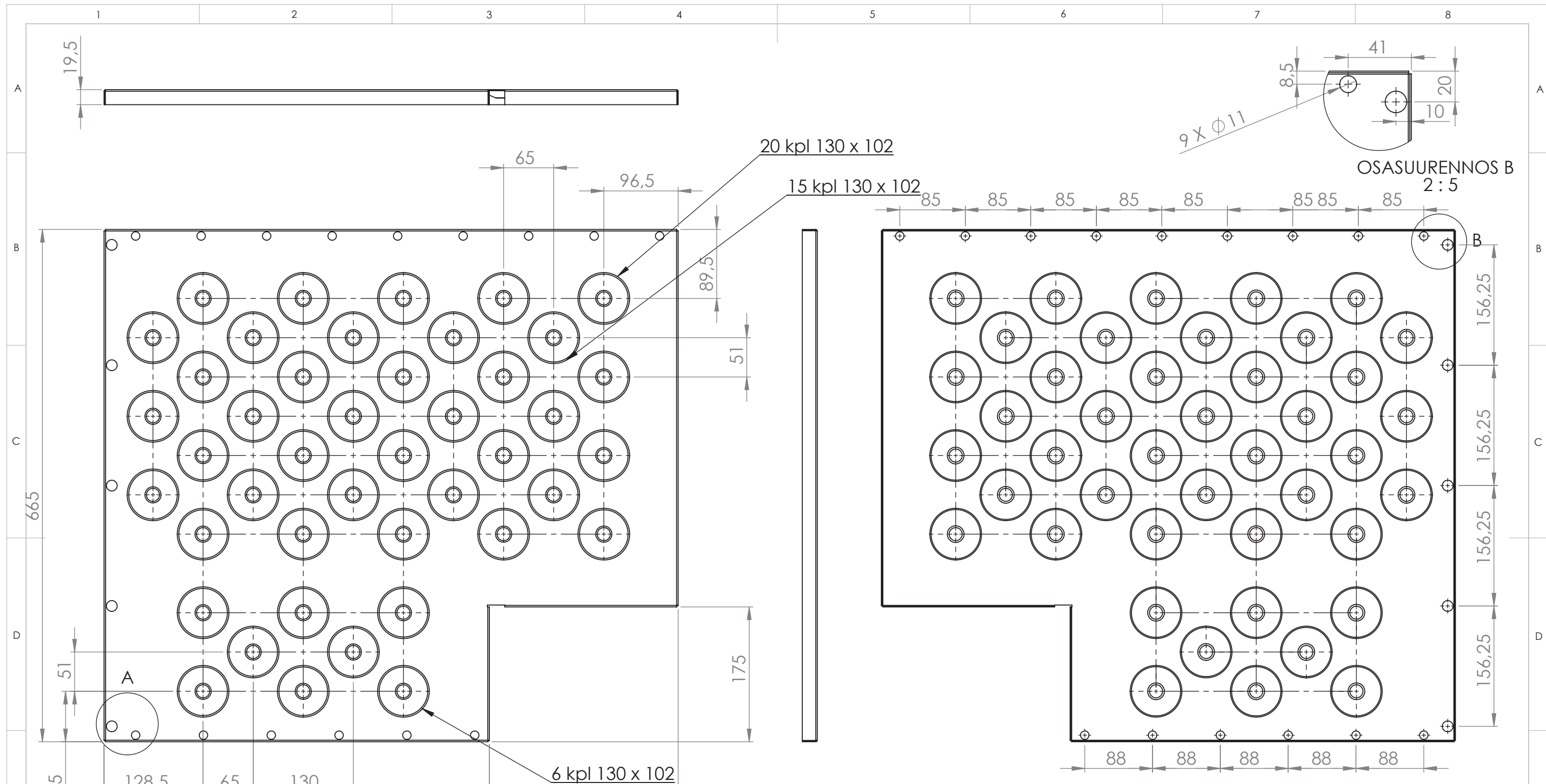
Kalotin mittat kaikissa kennorakenteissa


**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

Tehdään 1 kpl

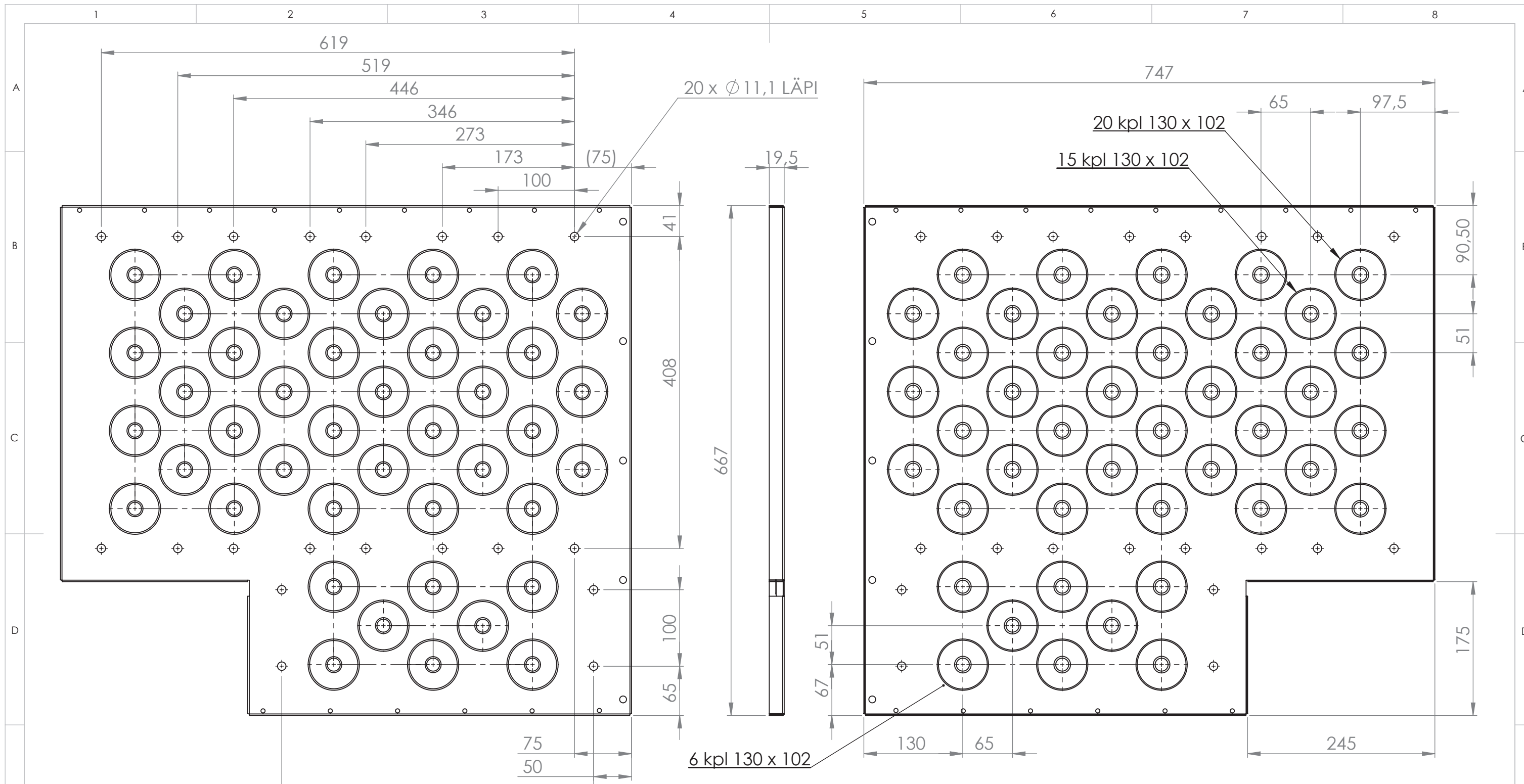
OSASUURENNOS 1:1





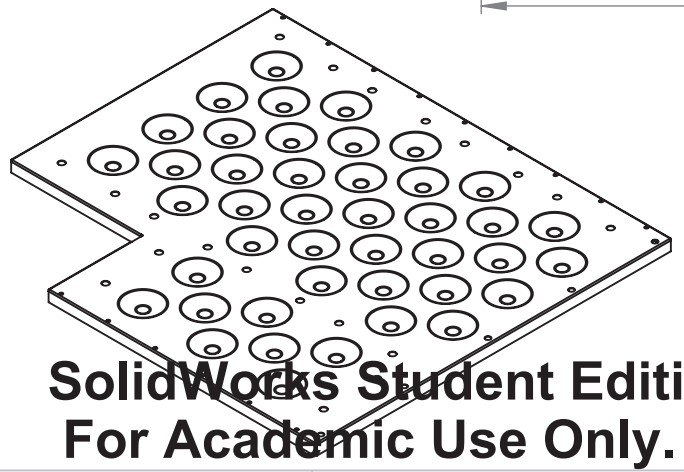
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	11.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	1,37 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5				
		Nimitys		Piirustusnumero	
		Kennolevyn 1-puoli		Revisio	
				<b>HAK-1101</b>	

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.

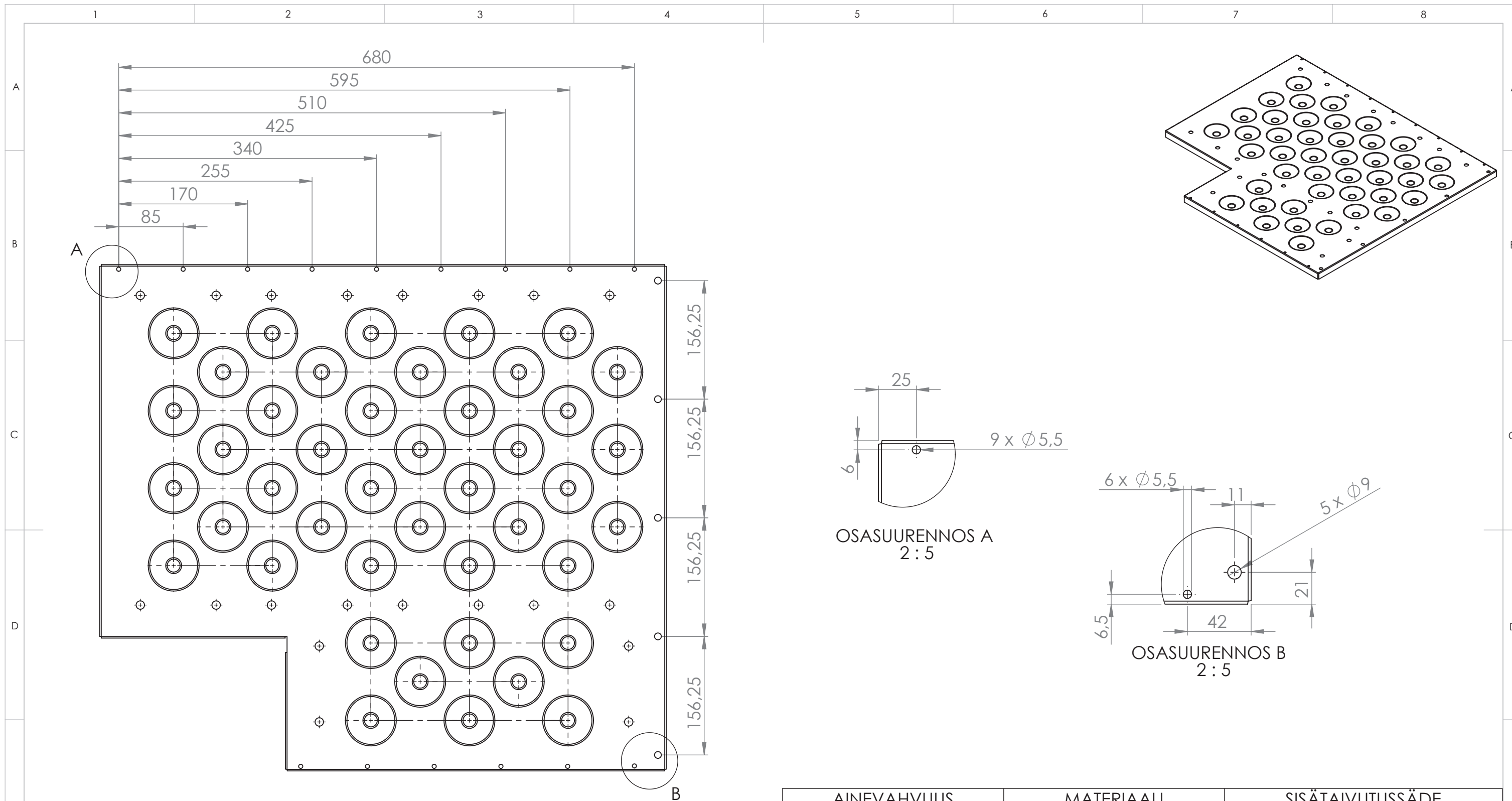


AINEVAHVUUS		MATERIAALI	SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)	Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>11.4.2014</b>
	Massa <b>1,37 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Kennolevyn 2-puoli</b>	Piirustusnumero	Revisio
		<b>HAK-1102</b>		

Tehdään 1 kpl



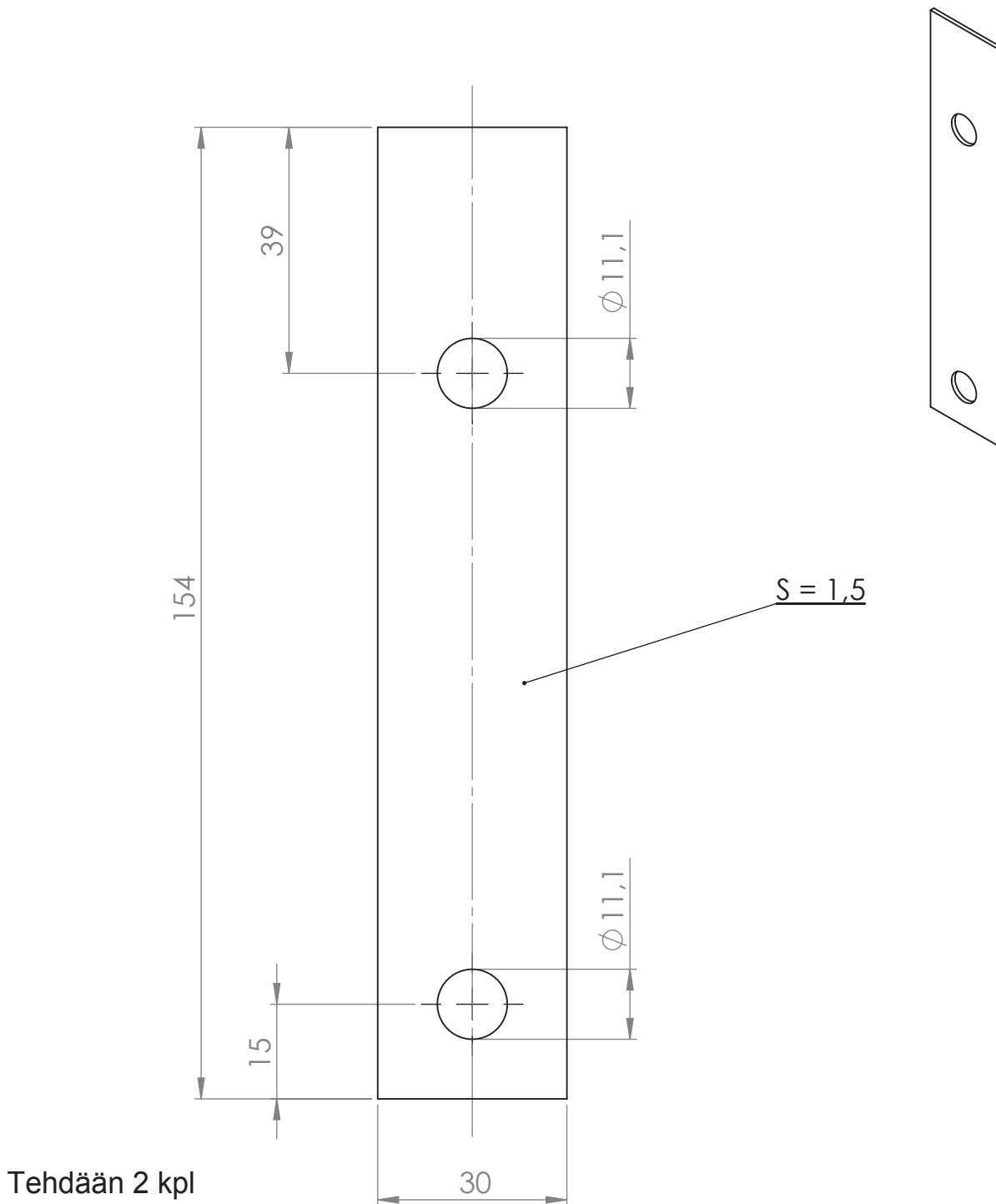
**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



Tehdään 1 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	11.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	1,37 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5				
		Nimitys	Kennolevyn 2-puoli Kiinnityksien reiät	Piirustusnumero	Revisio
				HAK-1102	

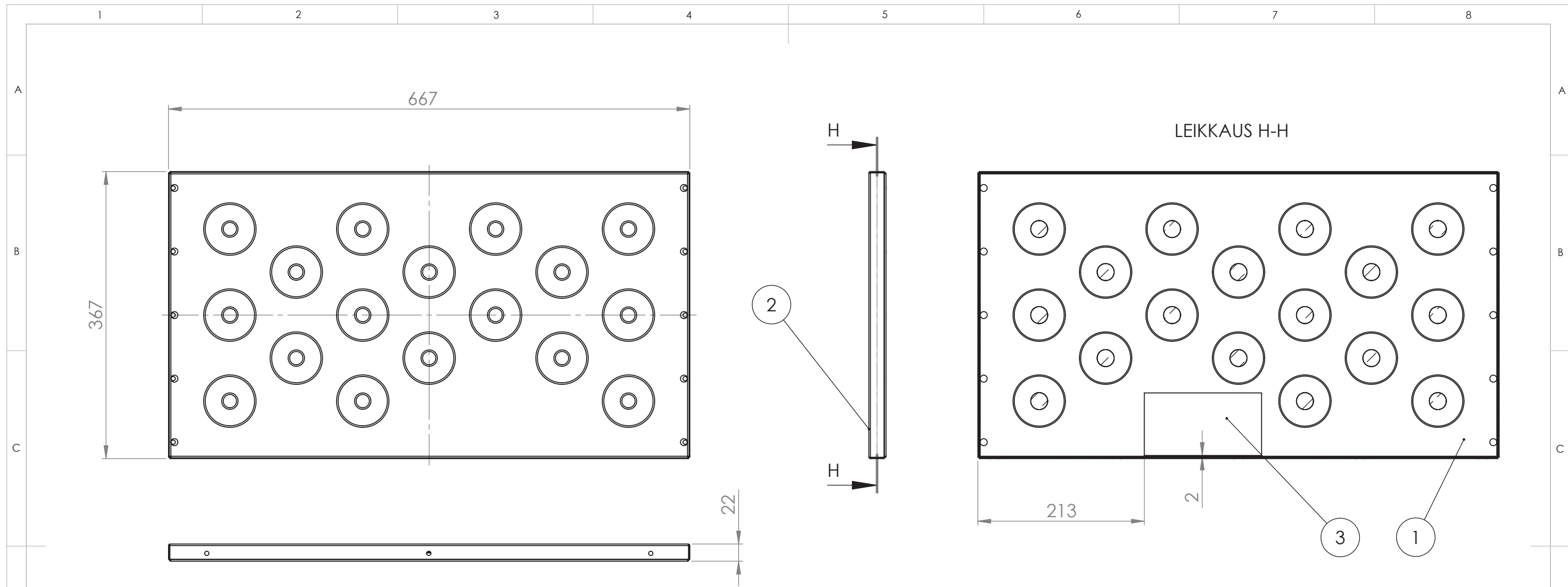
SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



Tehdään 2 kpl

		MATERIAALI	3.3535 (EN-AW 5754)	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		OAMK	Vesa Mukkala	11.4.2014
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	18 g	HILUX		
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	A4 1:1			
 <b>SolidWorks Student Edition</b> For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
		Akustiikkiteknologian vanvistuslevy 1	<b>HAK-1103</b>	





Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-1201	1-puoli	1
2	HAK-1202	2-puoli	1
3	HAK-1203	150 x 80 x 1 (EN -AW5754)	1

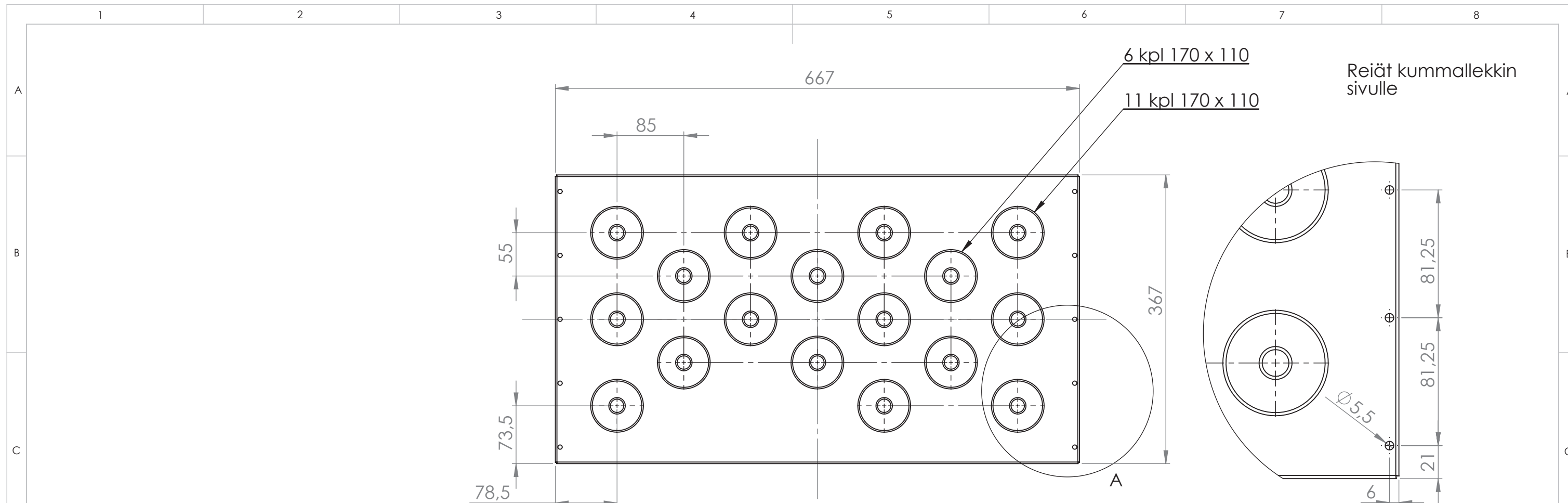
  

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>11.4.2014</b>
	Massa <b>1,55 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
 OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Nimitys <b>Kotelon etuseinä Osakokoonpano</b>	Piirustusnumero	Revisio

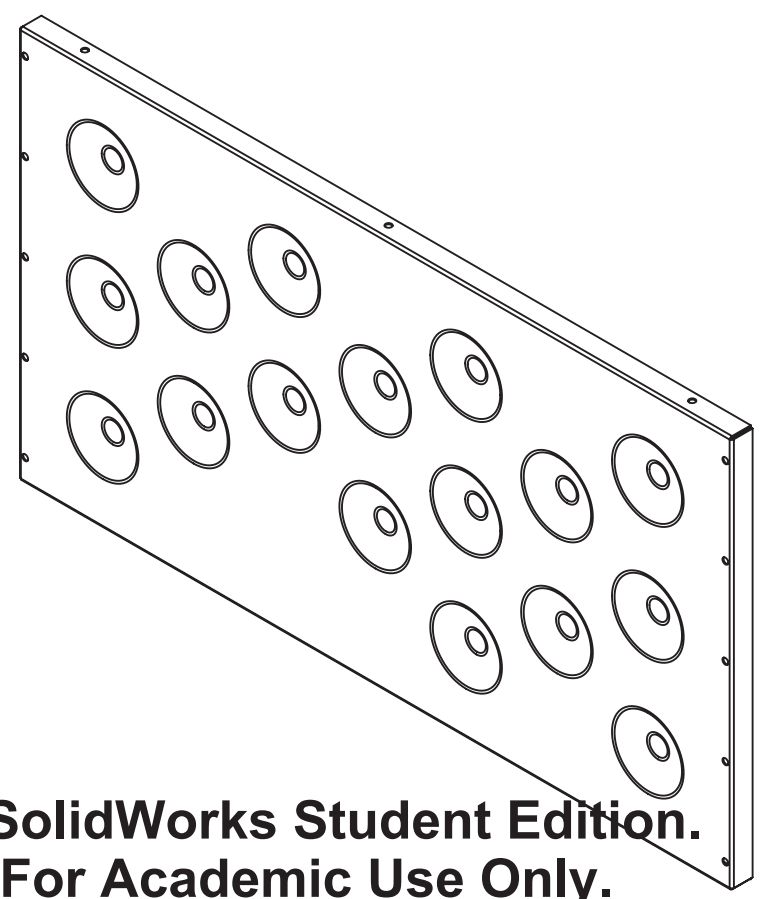
**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

**HAK-1200**





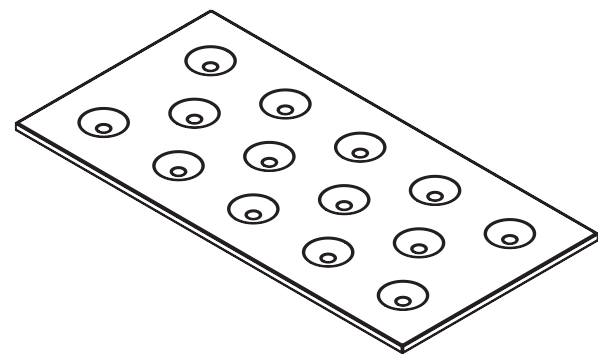
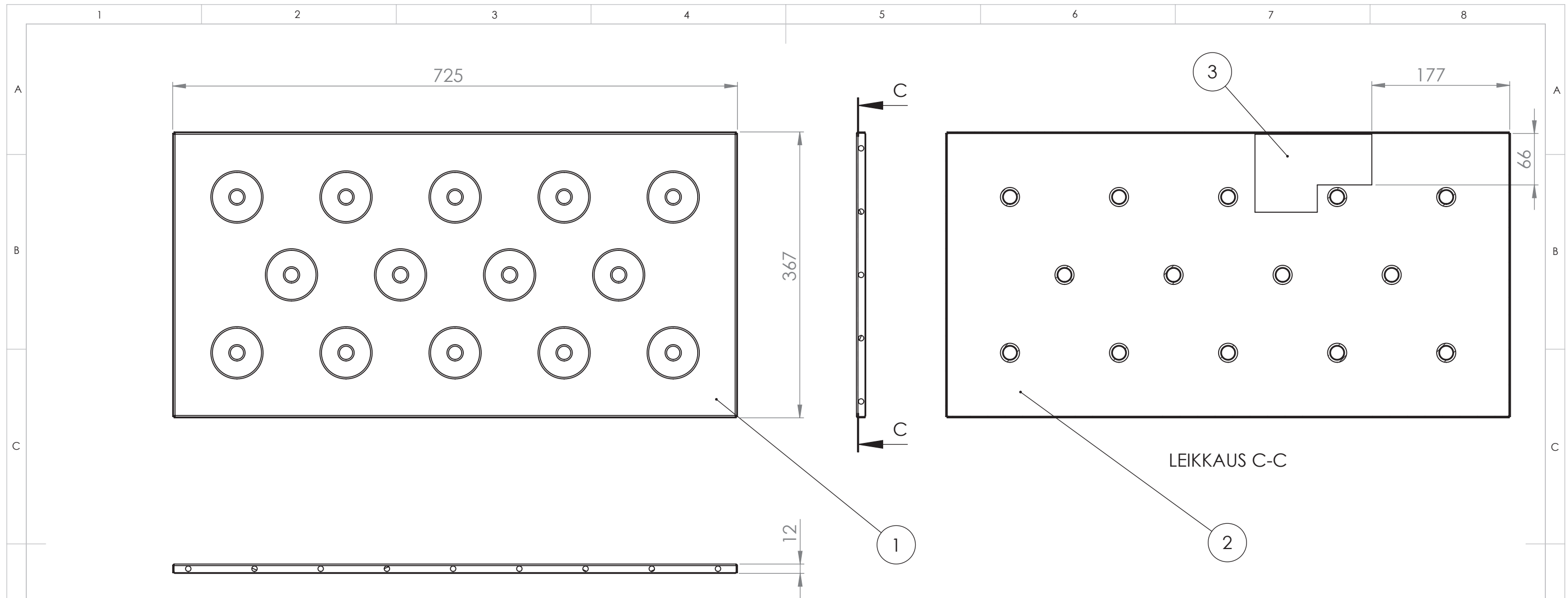
OSASUURENNOS A  
2:5



**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

Tehdään 1 kpl

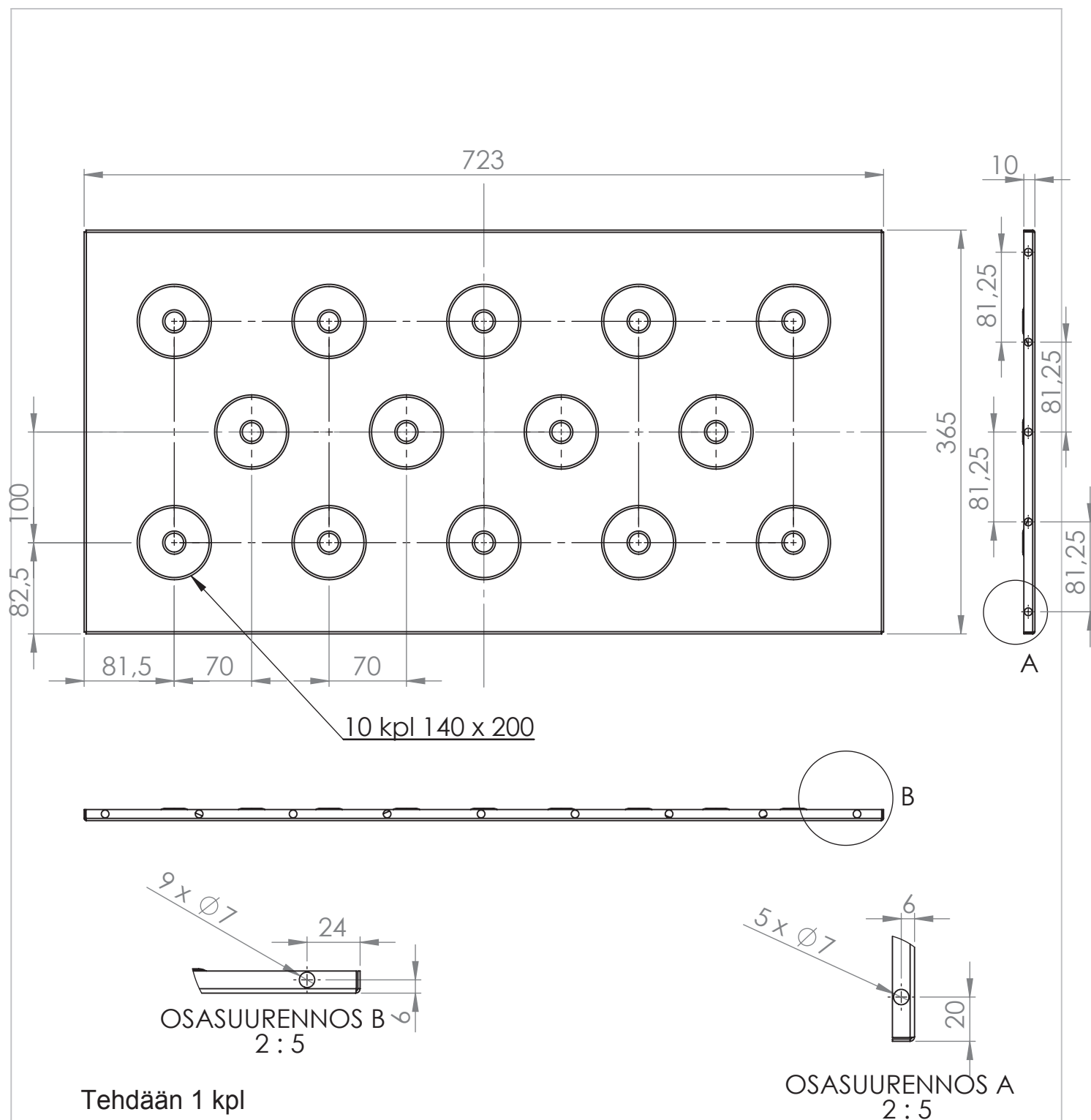
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min.1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1	Asiakas	Suunnittelija		
	SFS-EN ISO 13920		OAMK	Vesa Mukkala	Pvm
Mittakaava	0,76 kg	Projekt	Tarkastaja		
	A3 1:5		HILUX		Pvm
Nimitys		Työnumero		Hyväksyjä	
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		Kennolevyn 2-puoli		Piiustusnumero	
				Revisio	
				<b>HAK-1202</b>	



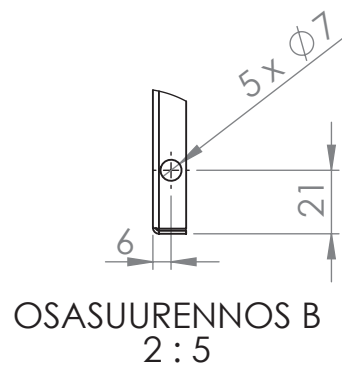
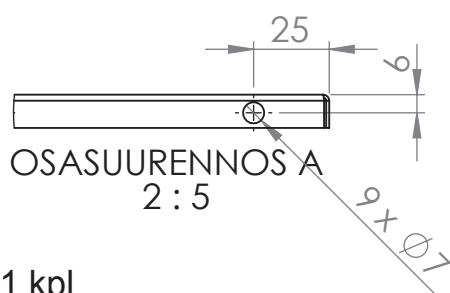
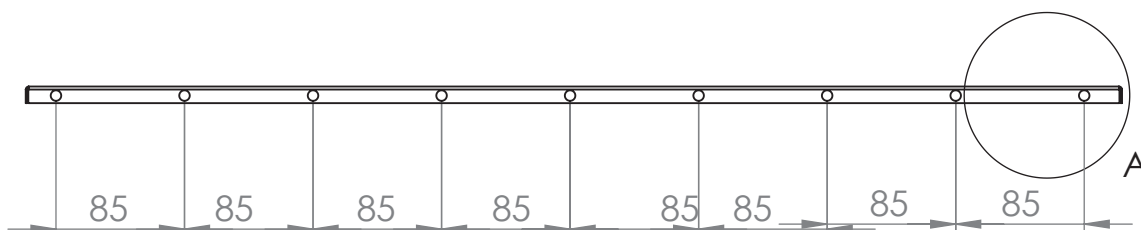
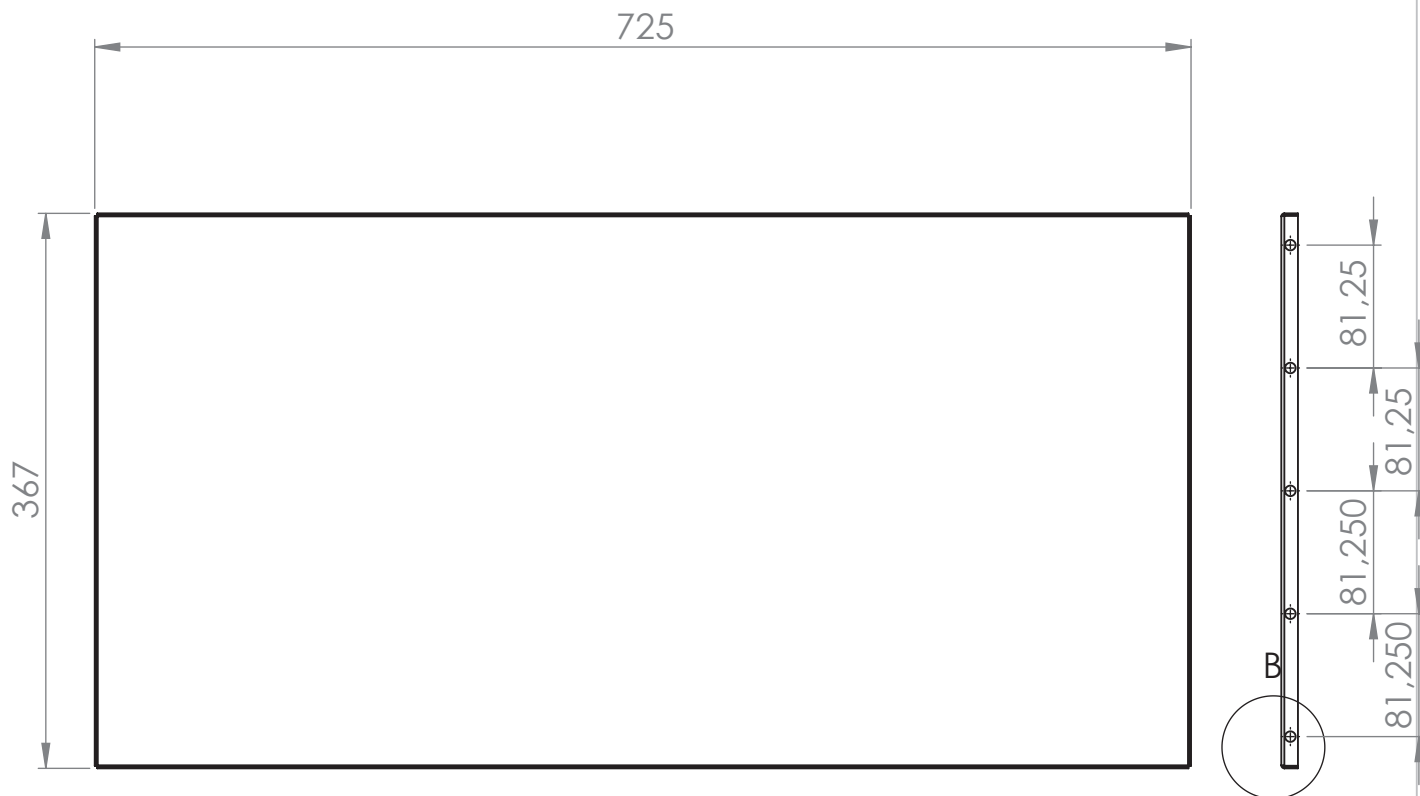
Tehdään 1 kpl

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-1301	1-puoli	1
2	HAK-1302	2-puoli	1
3	HAK-1303	Vahvistuslevy	1
Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b> Pvm <b>11.4.2014</b>
Massa <b>1,54 kg</b>		Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja Pvm
Mittakaava <b>A3 1:5</b>		Työnumero	Hyväksyjä Pvm
 OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Nimitys Kotelon vasemman seinän osakokoonpano	Piirustusnumero <b>HAK-1300</b> Revisio



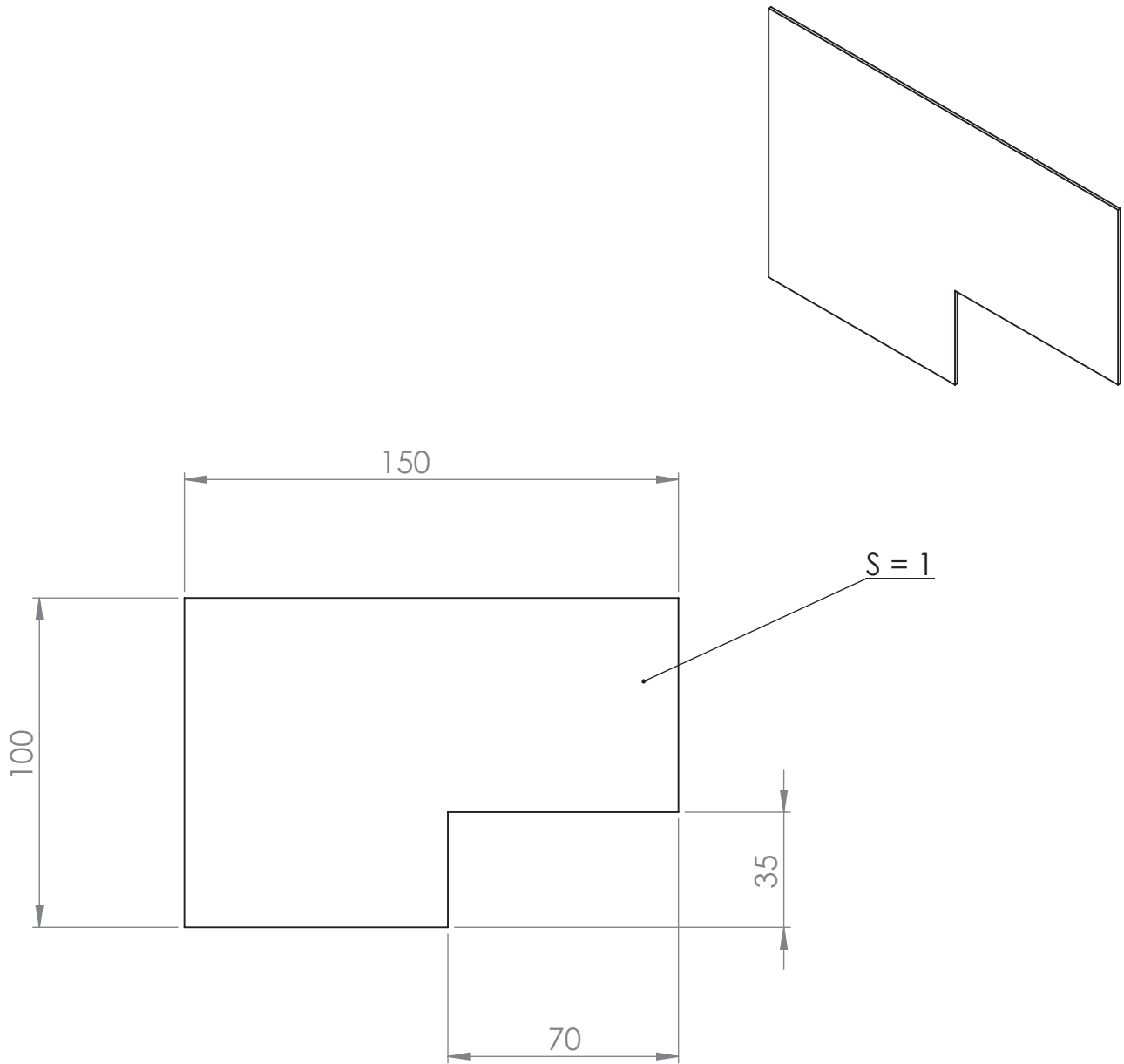
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi		Asiakas	Suunnittelija	Pvm	
SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		OAMK	Vesa Mukkala	12.4.2014	
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm	
	0,77 kg	HILUX			
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm	
	A4 1:5				
Nimitys			Piirustusnumero	Revisio	
 <b>SolidWorks Student Edition</b> For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö			Kennolevyn 1-puoli <b>HAK-1301</b>		



Tehdään 1 kpl

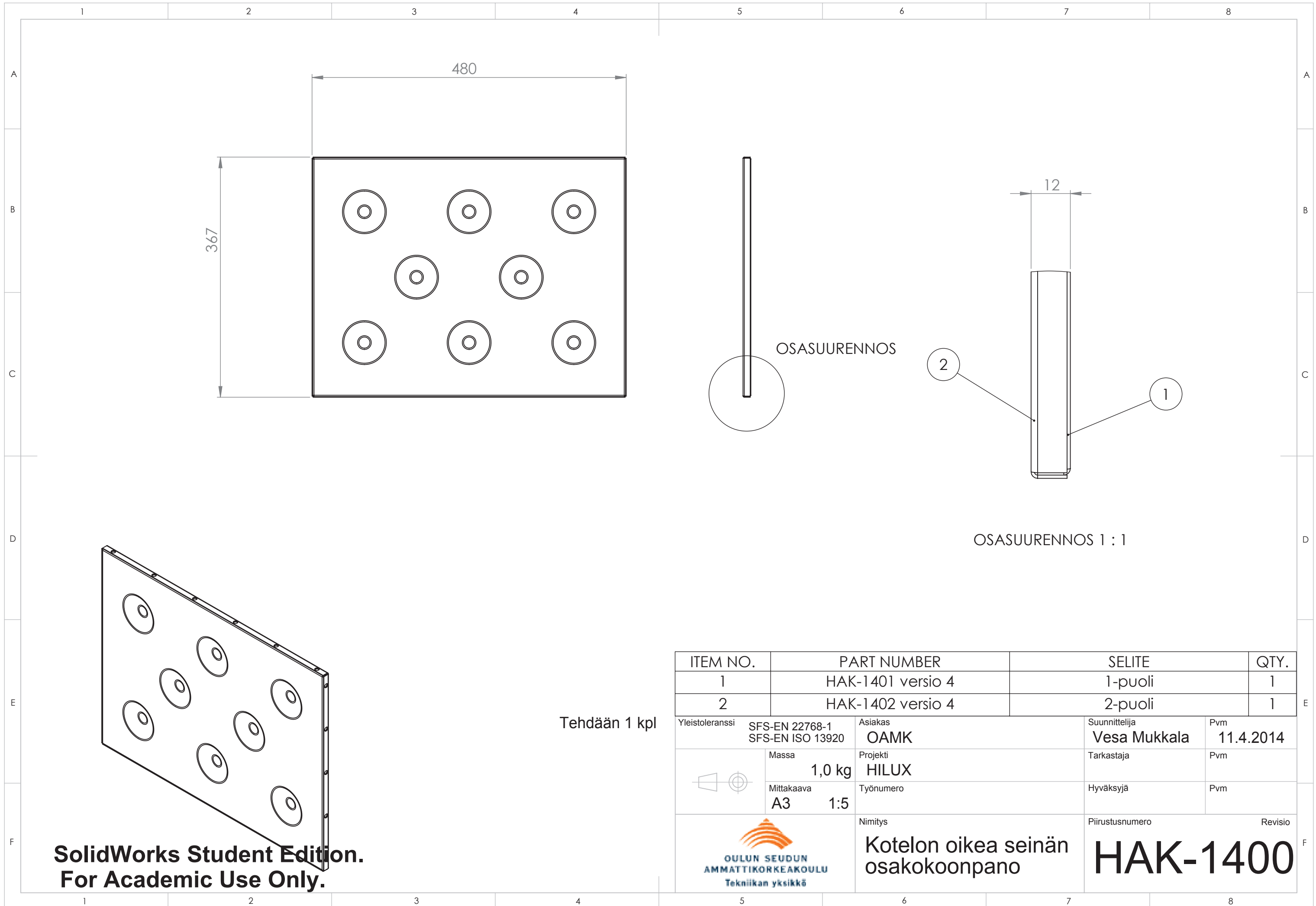
AINEVAAHVUUS	MATERIAALI	SISÄTAIVUTUSSÄDE
1	3.3535 (EN-AW 5754)	Min.1

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
	Massa <b>0,75 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A4 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Kennolevyn 2-puoli</b>	Piirustusnumero <b>HAK-1302</b>	Revisio



Tehdään 1 kpl

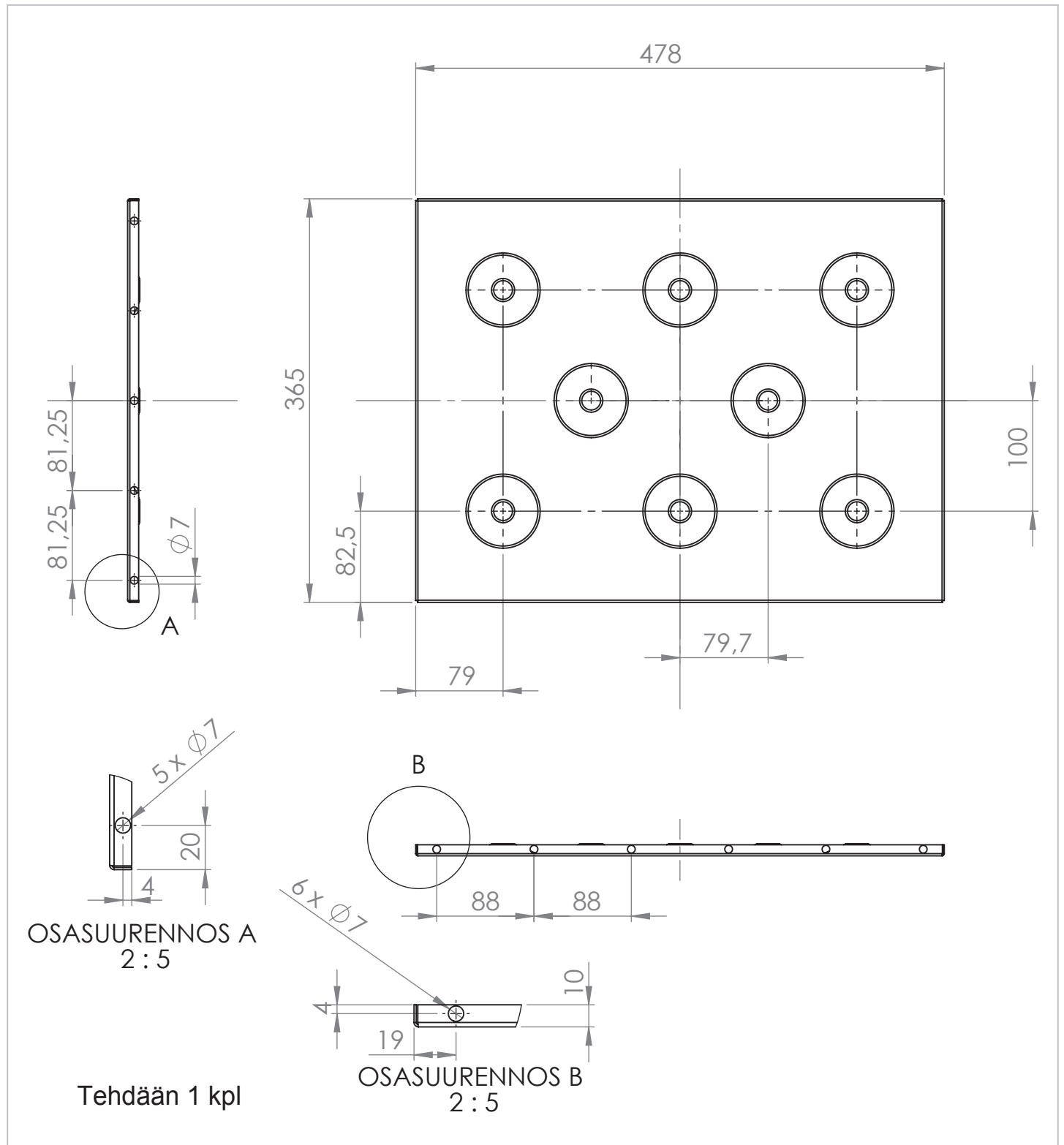
		MATERIAALI	3.3535 (EN-AW 5754)	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		OAMK	Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	33 g	HILUX		
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	A4 1:2			
		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
<b>SolidWorks Student Edition</b> <b>For Academic Use Only</b> AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Akun kiinnityksen vahvistuslevy		<b>HAK-1303</b>






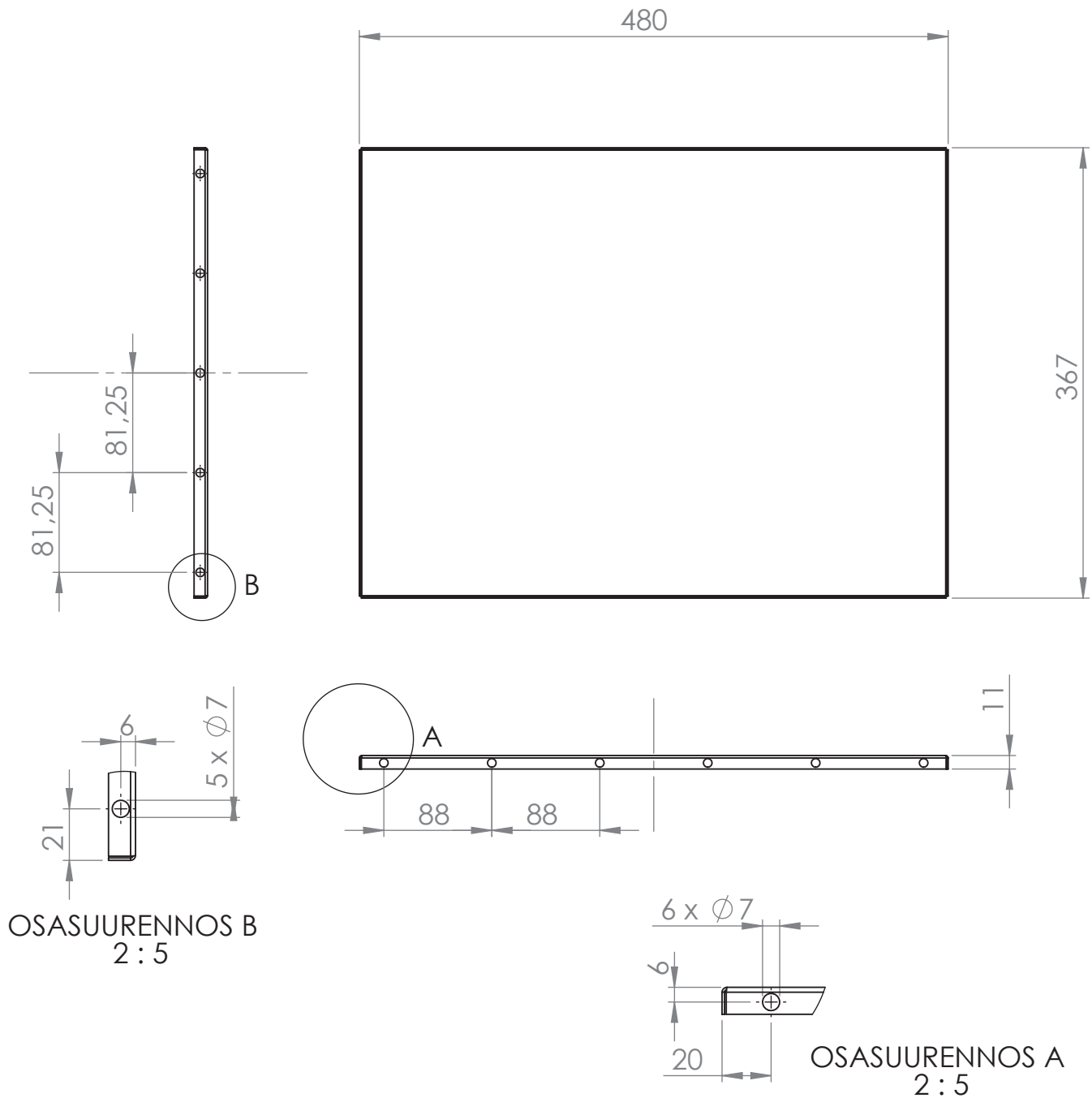
Tehdään 1 kpl

ITEM NO.	PART NUMBER	SELITE	QTY.
1	HAK-1401 versio 4	1-puoli	1
2	HAK-1402 versio 4	2-puoli	1
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b> Pvm <b>11.4.2014</b>
	Massa <b>1,0 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä Pvm
		Nimitys <b>Kotelon oikea seinän osakokoonpano</b>	Piirustusnumero <b>HAK-1400</b> Revisio

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

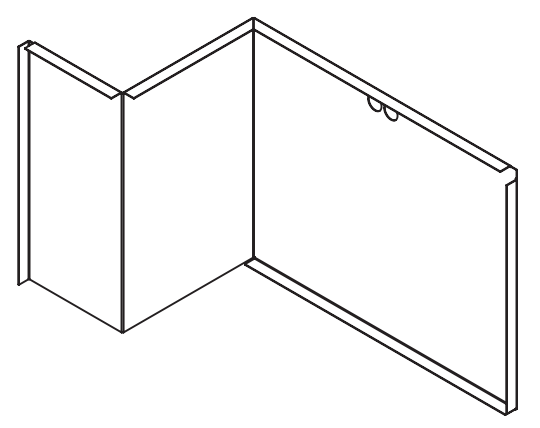
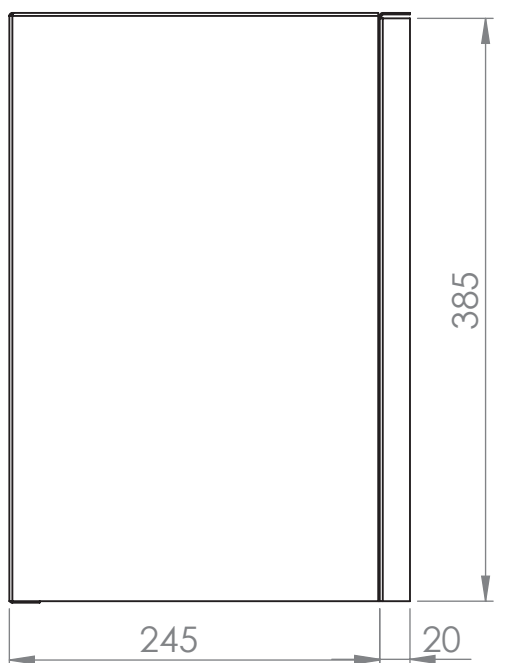
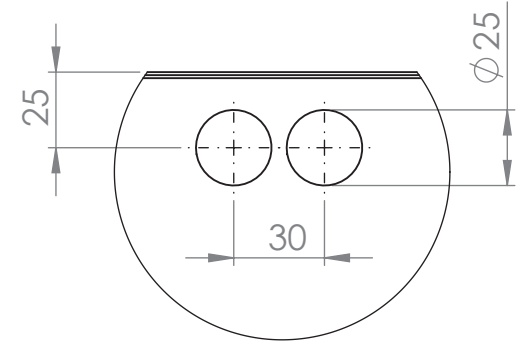
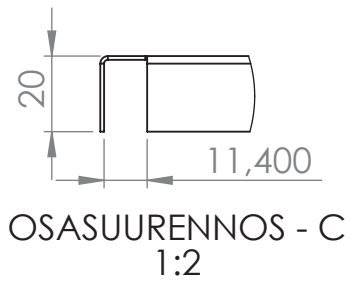
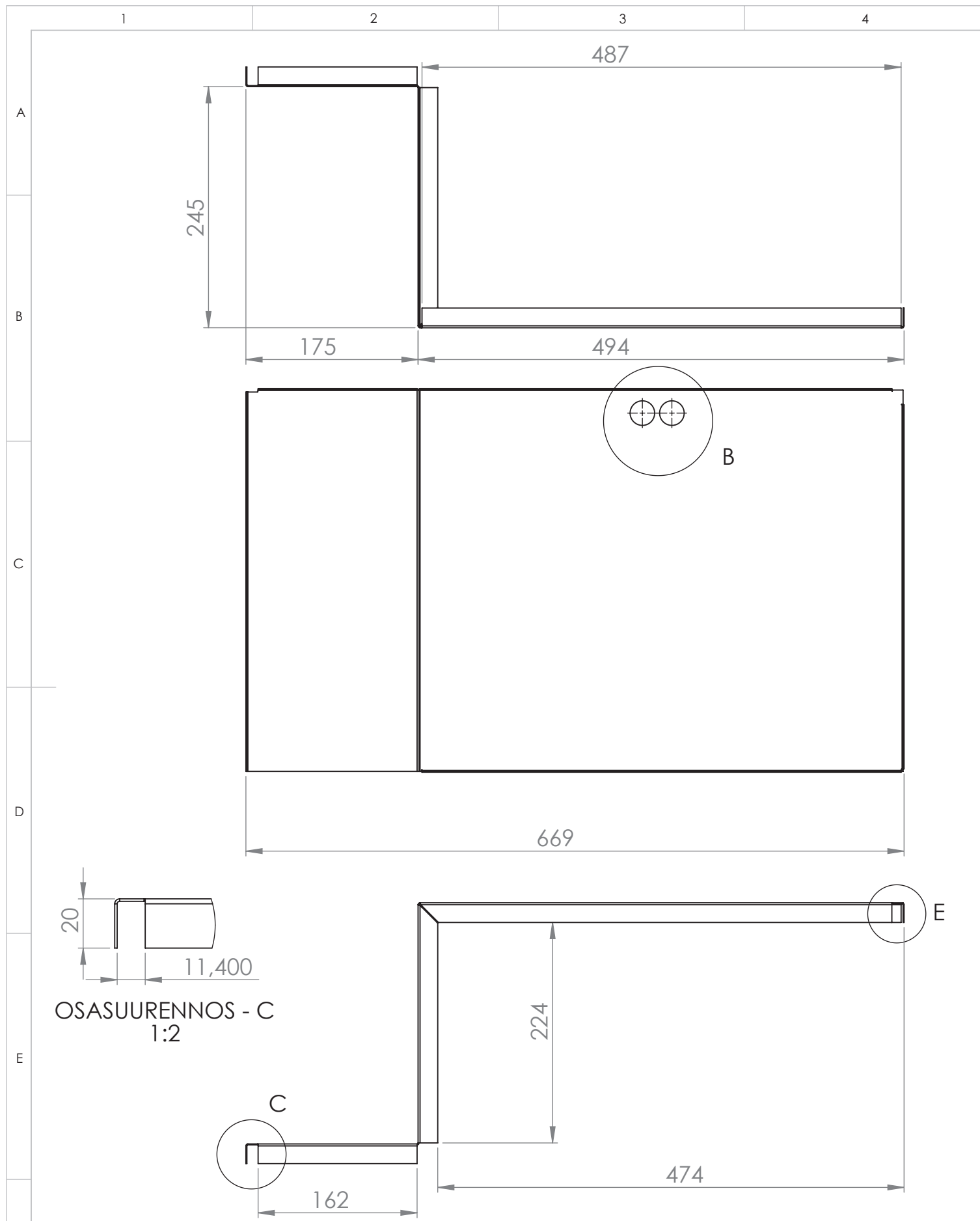


AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1	Asiakas	Suunnittelija		
	SFS-EN ISO 13920	OAMK	Vesa Mukkala	Pvm	12.4.2014
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm	
	0,5 kg	HILUX	Hyväksyjä	Pvm	
	Mittakaava	Työnumero	Piiustusnumero		
	A4 1:5		Revisio		
		Nimitys	HAK-1401		
AMMATTIKORKEAKOULU		Kennolevyn 1-puoli			
Tekniikan yksikkö					



Tehdään 1 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min.1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm 12.4.2014
	Massa	0,5 kg	Projekti	HILUX	Tarkastaja
	Mittakaava	A4 1:5	Työnumero		Hyväksyjä
			Nimitys	Piirustusnumero	
AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö			Kennolevyn 2-puoli		Revisio  <b>HAK-1402</b>

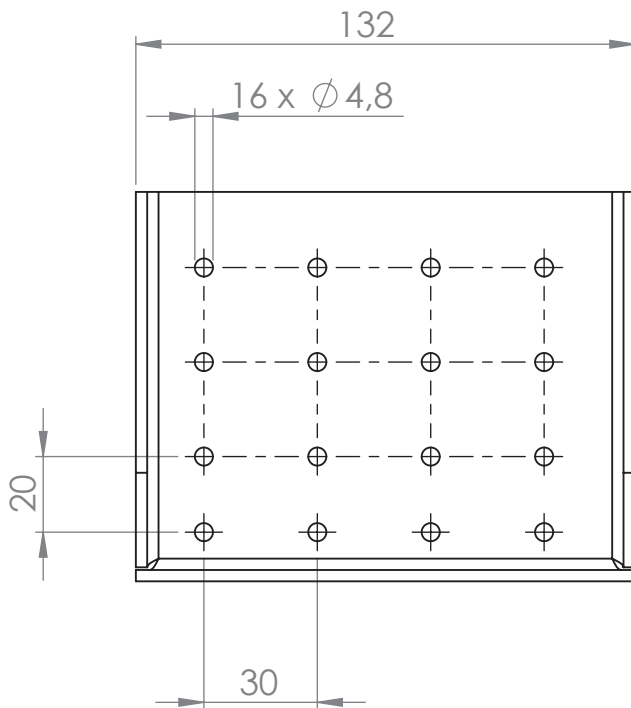
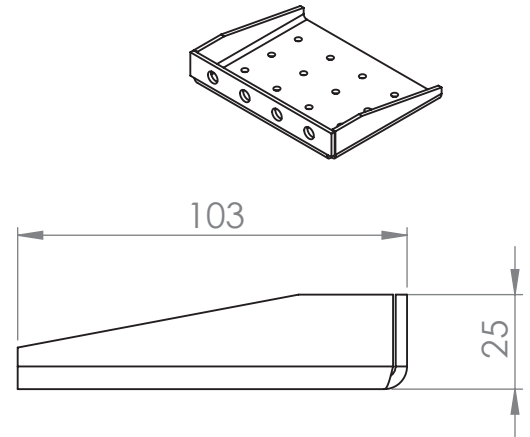
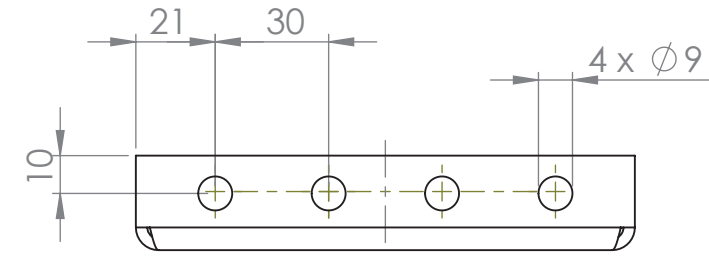


Tehdään 1 kpl

Voidaan tehdä tarvittavat helpotukset

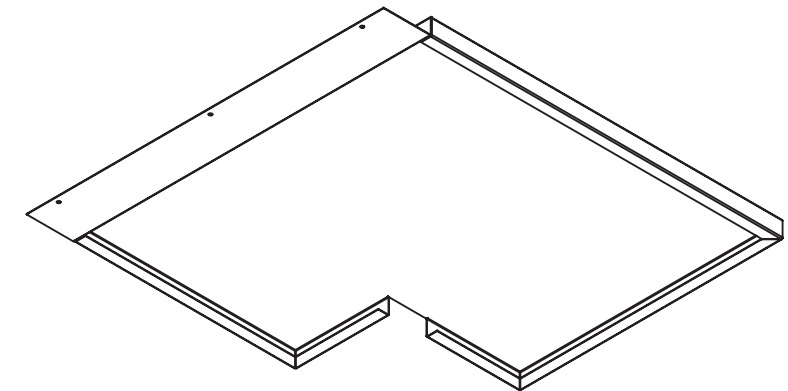
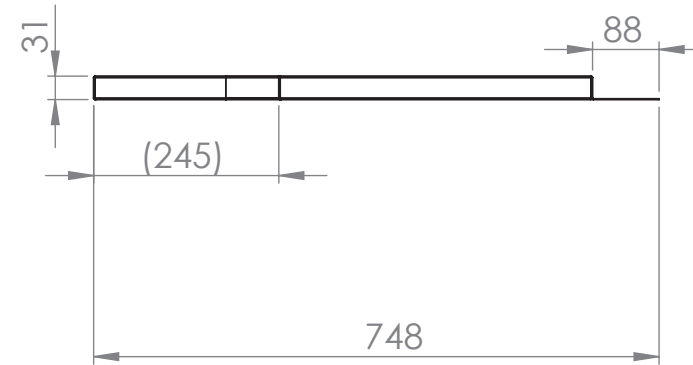
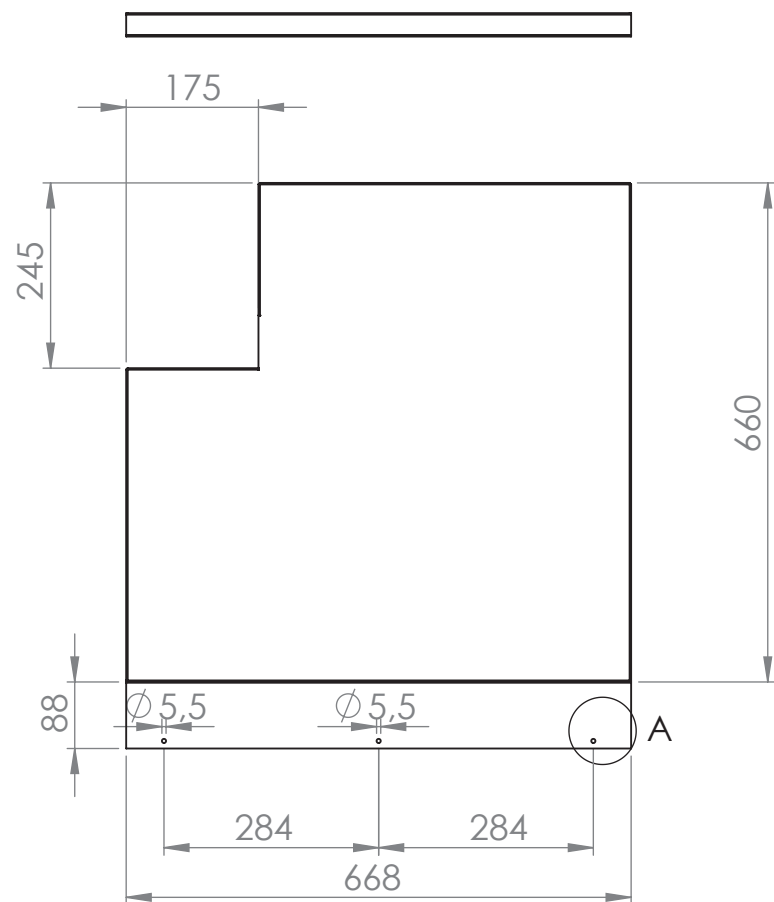
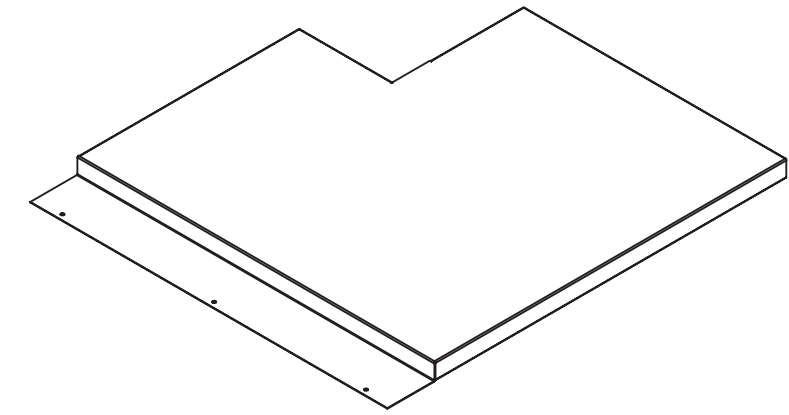
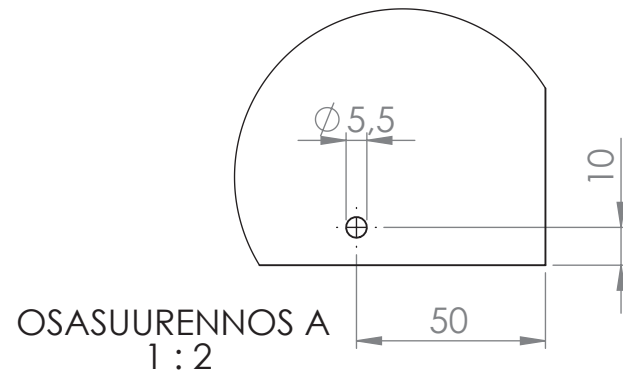
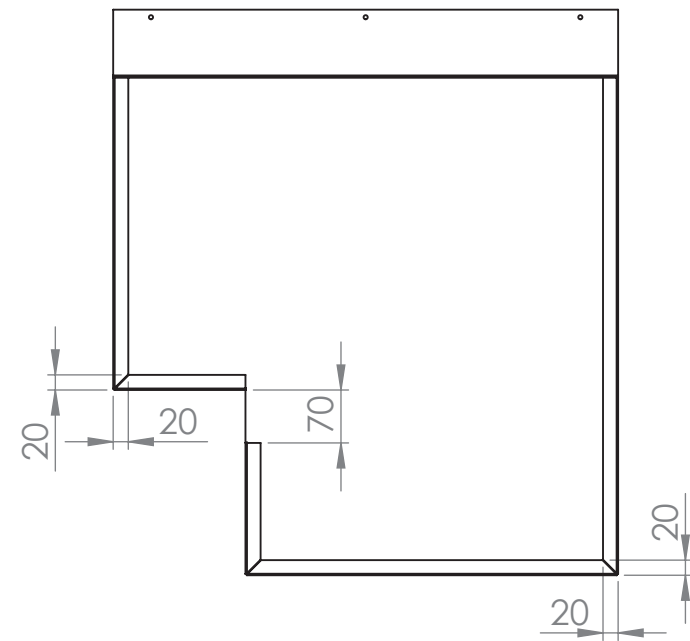
AINEVAHUUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min.1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	1 kg	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava	A3 1:5	HILUX		
		Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
			Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
			Kotelon takaseinä	HAK-1500	

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



Tehdään 4 kpl

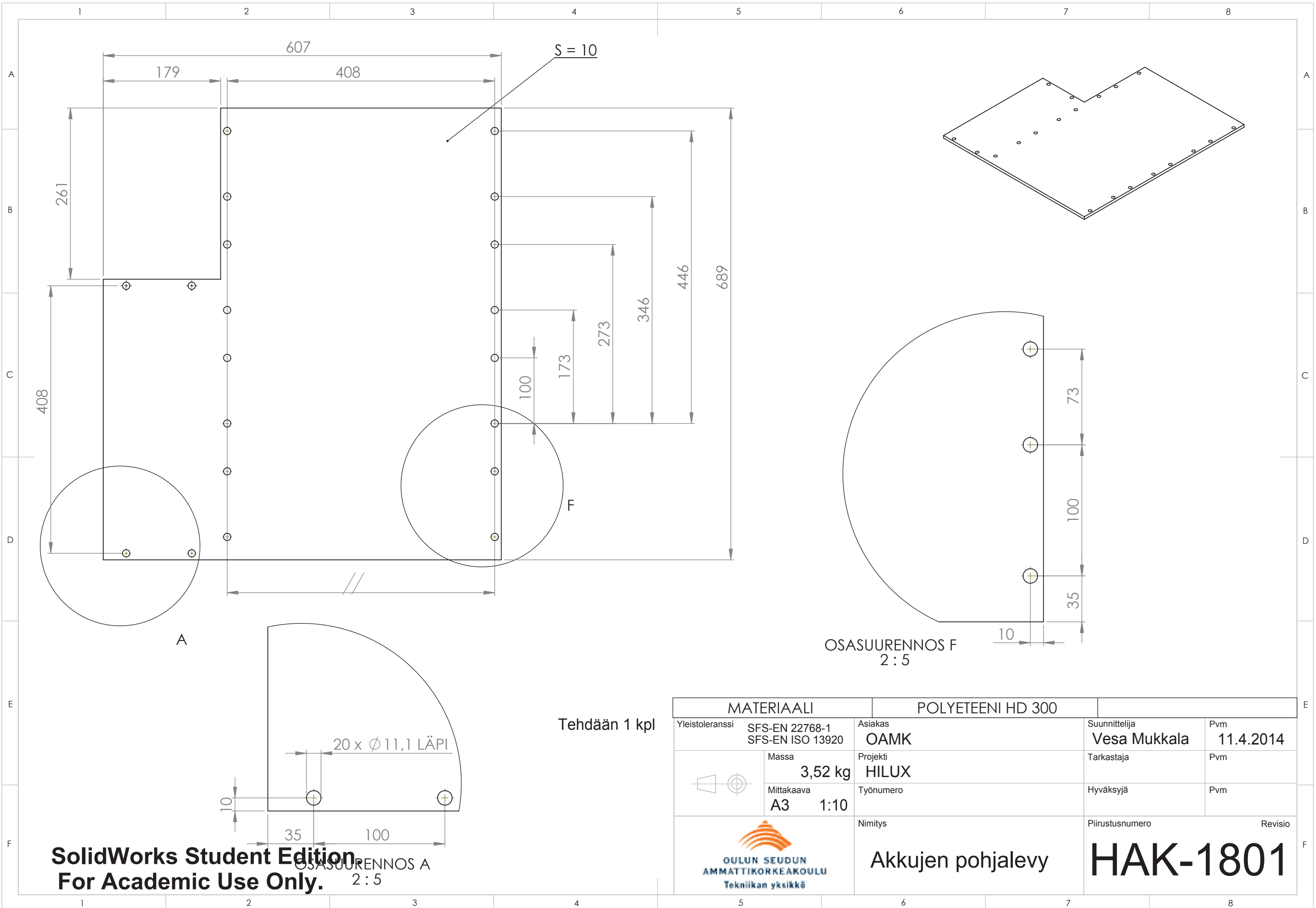
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SIÄSTÄIVUTUSSÄDE	
3		3.3535 (EN-AW 5754)		Min.3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK		
	Massa	Projekt	Suunnittelija	Pvm	
	0,15 kg	HILUX	Vesa Mukkala	12.4.2014	
	Mittakaava	Työnumero	Tarkastaja	Pvm	
	A4 1:2		Hyväksyjä	Pvm	
 SolidWorks Student Edition For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Nimitys	Piirustusnumero		
		Kotelon tukirakenteen kiinnitys		Revisio	
				HAK-1600	



Tehdään 1 kpl

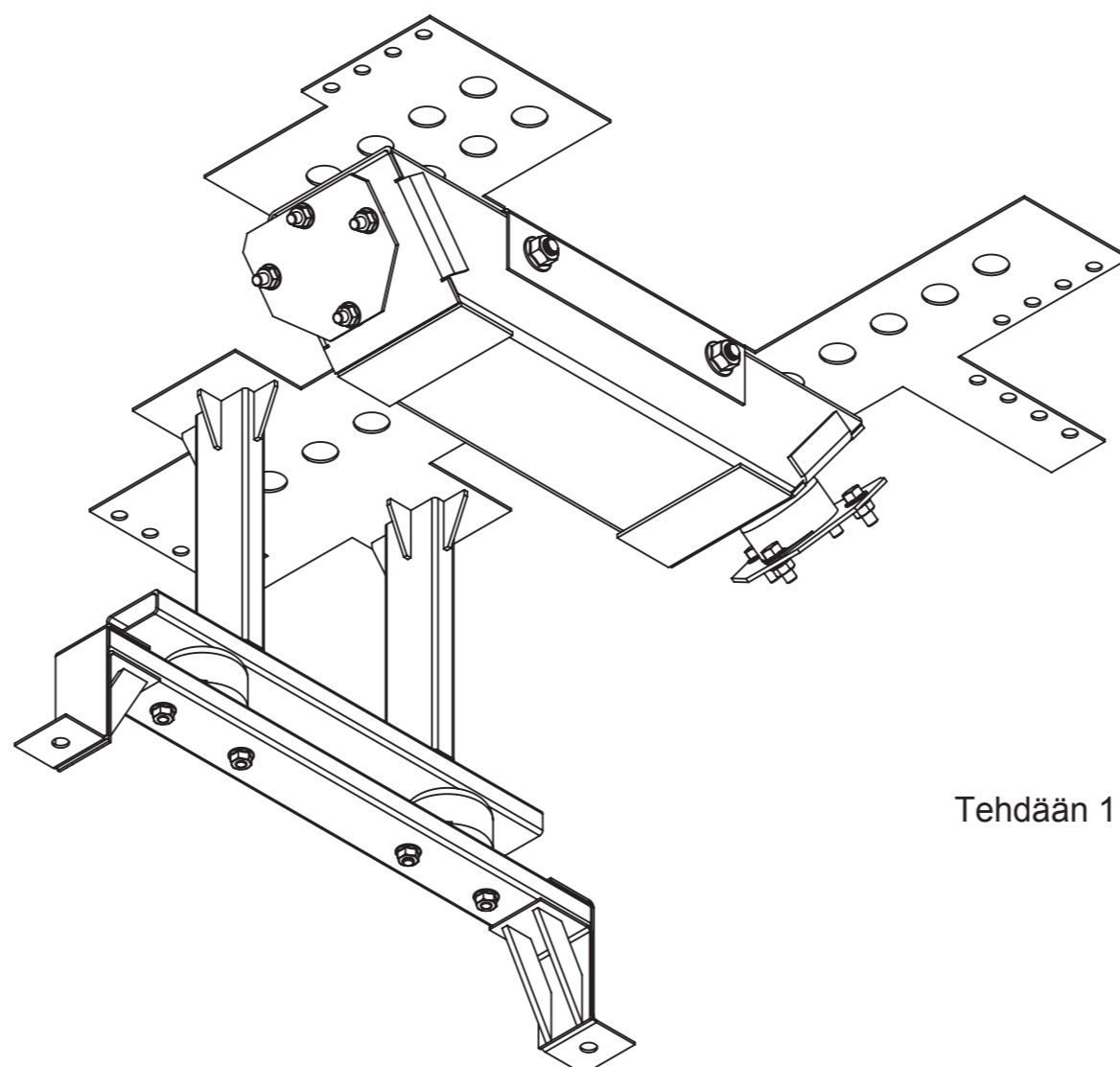
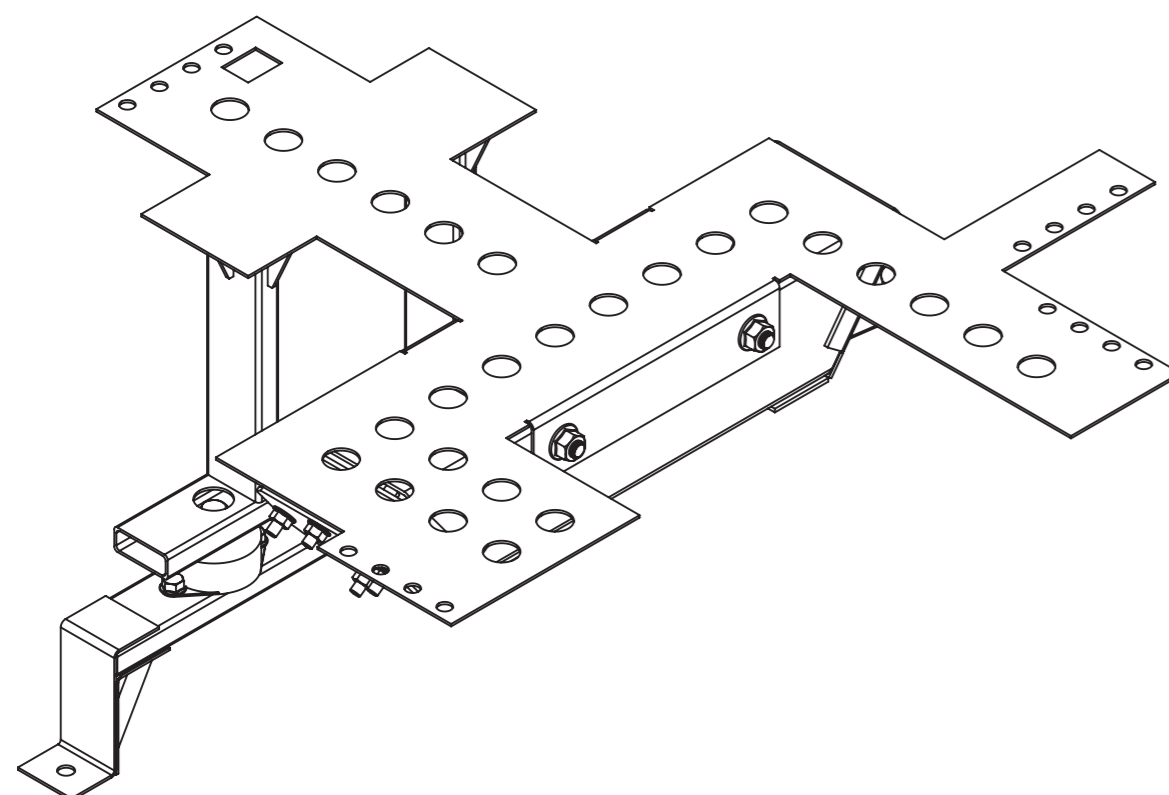
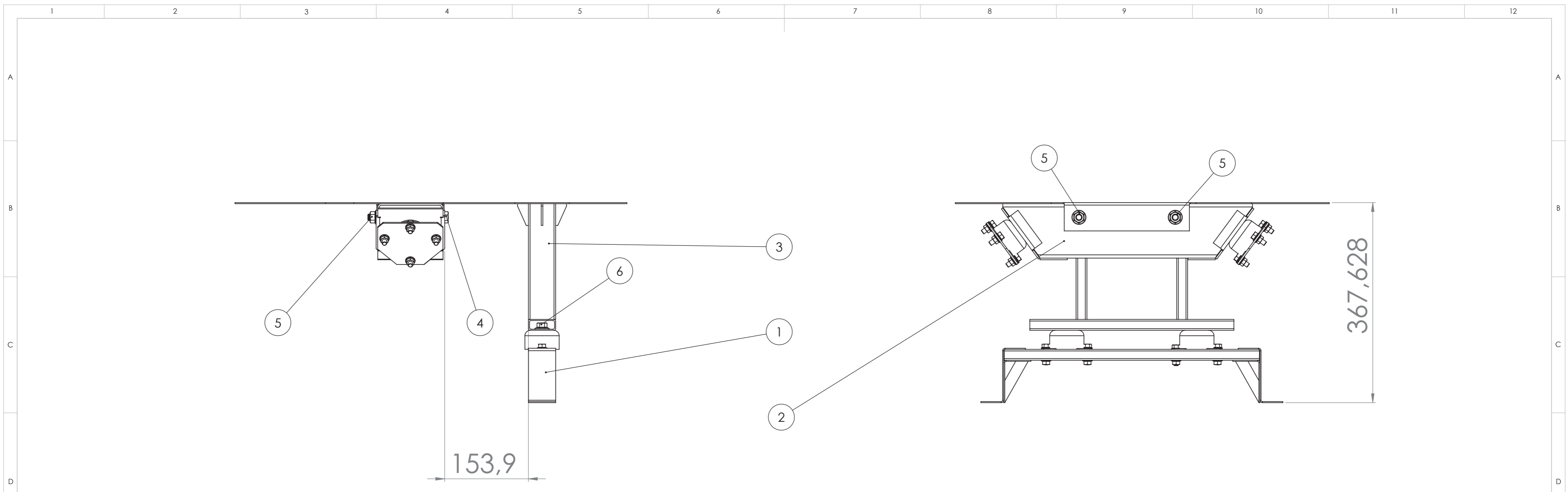
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min.1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	11.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	1,5 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:10				
		Nimitys	Kotelon kansi	Piirustusnumero	Revisio
				HAK-1700	

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



MATERIAALI		POLYETEENI HD 300	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija
		OAMK	Vesa Mukkala
	Massa	Projekti	Tarkastaja
	3,52 kg	HILUX	
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä
	A3 1:10		
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		Nimitys	Piirustusnumero
		Akkujen pohjalevy	Revisio
		<b>HAK-1801</b>	

SolidWorks Student Edition  
For Academic Use Only.

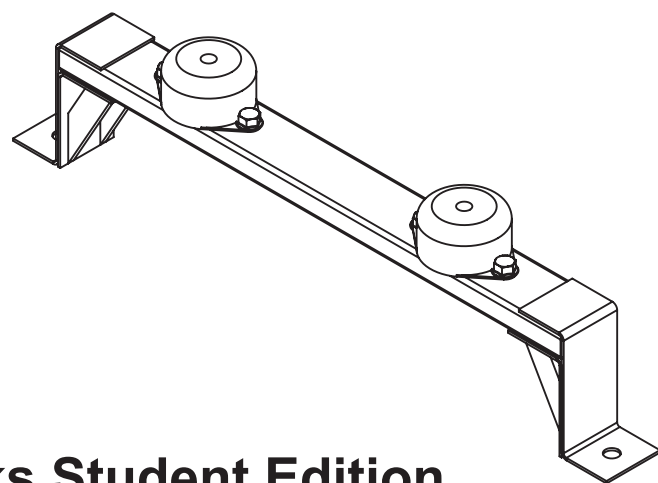
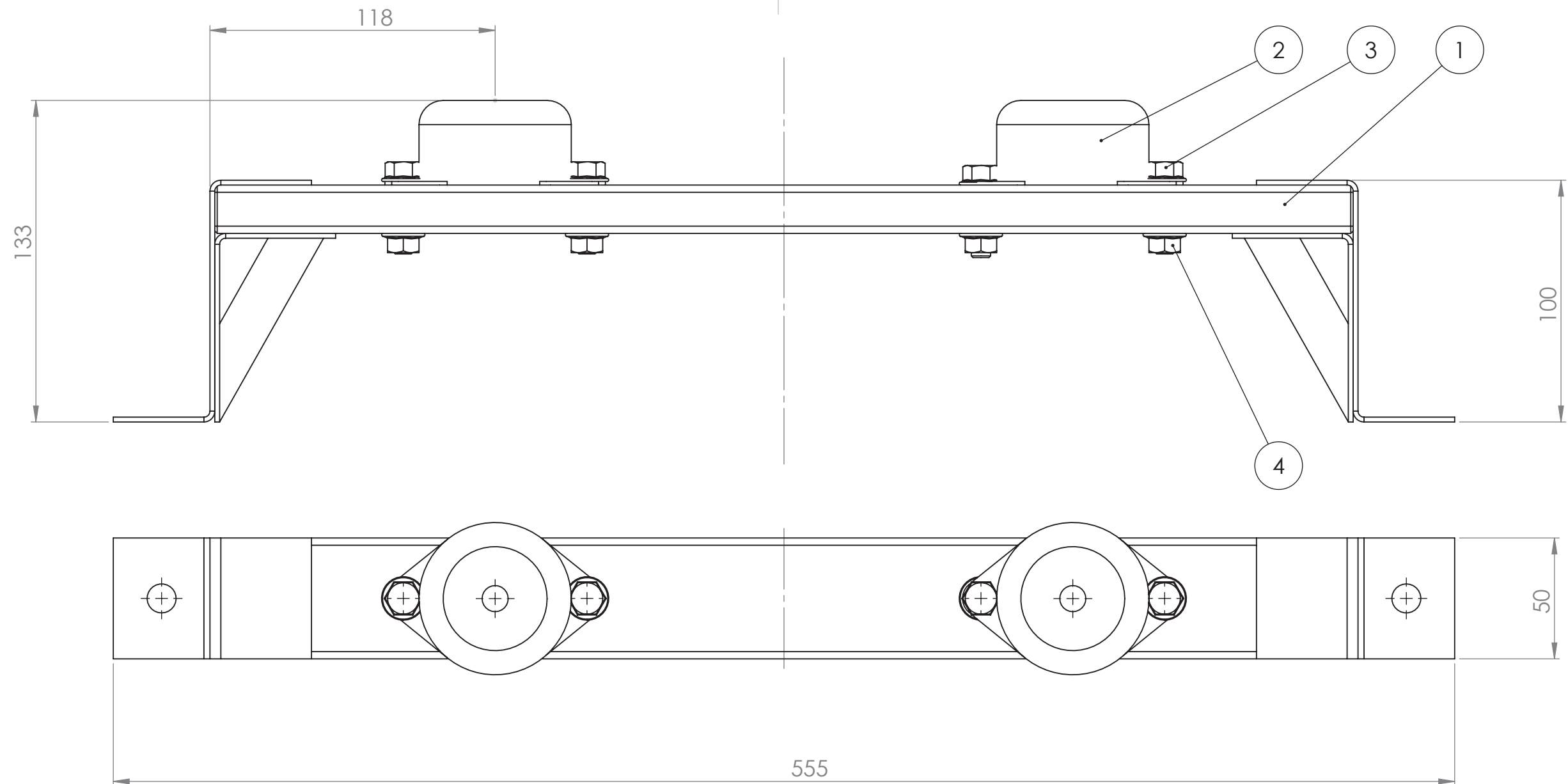


Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-2200	Etutukikonstruktio	1
2	HAK-2300	Moottoritukikonstruktio	1
3	HAK-2400	Yhdistävä rakenne	1
4	OSAKIERRERUUVI DIN 931 M12x140 8.8 Zn	Etra 701004112140	2
5	Hexagon Flange Nut DIN 6923 - M12x1.5 - C	Etra 701676212	2
6	Laipparuuvi DIN 6921 - M12x1.5 x 30 8.8 Zn	Etra 701155112030	2

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
Massa	<b>12,34 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
Mittakaava	<b>A2 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Tukirakenteiden kokoontulo</b>	Piirustusnumero <b>HAK-2000</b>	Revisio

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-2210		1
2		Novibra RAB-0	2
3	Laipparuuvi DIN 6921 - M8 x 30, 8 Zn	Etra 701155108030	4
4	Lukitusmutteri DIN 6926 - M8, 8 Zn	Etra 701676208	4

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>6.4.2014</b>
	Massa <b>3,67 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:2</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm

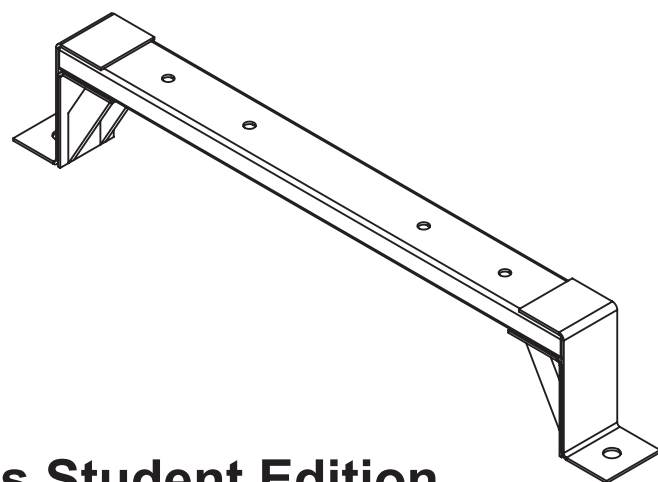
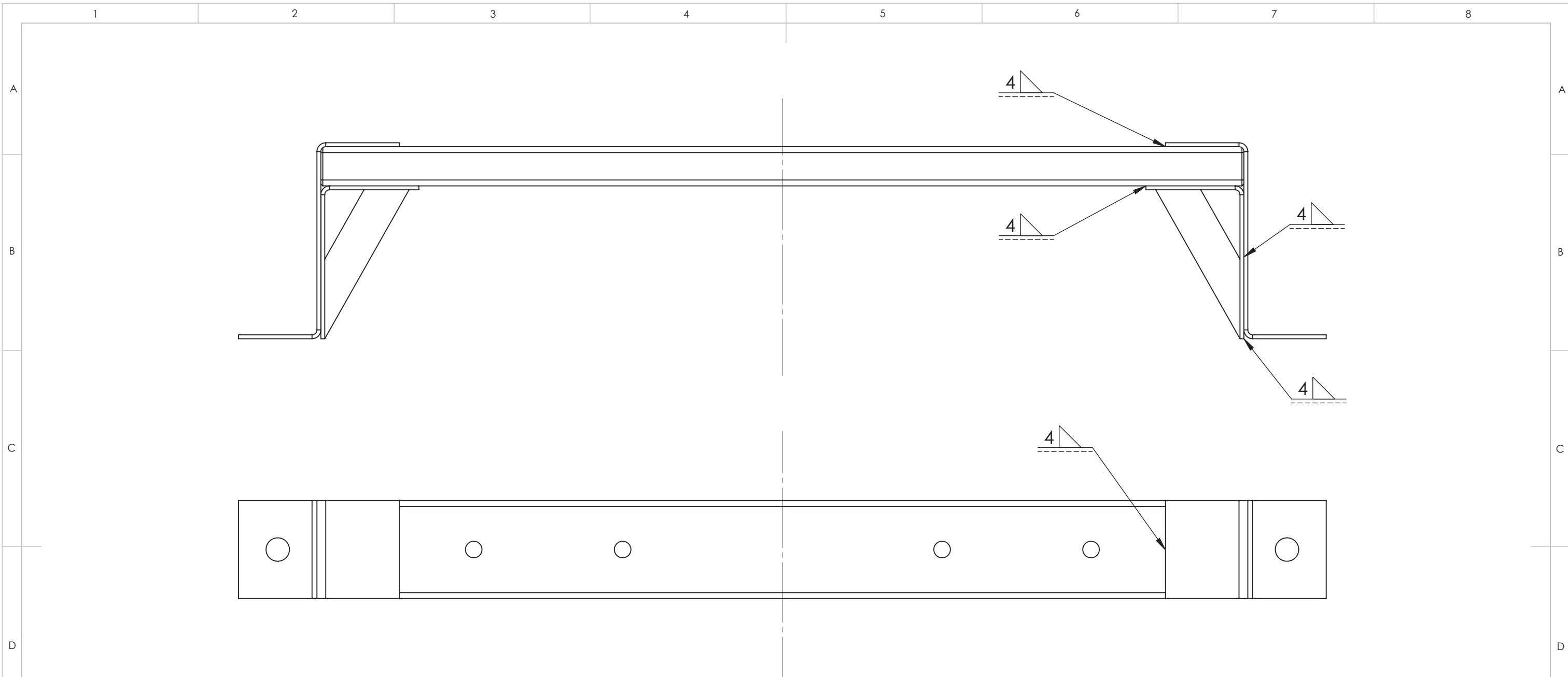


Nimitys  
**Etutukikonstruktion  
kokoontulo**

Piirustusnumero  
**HAK-2200**

Revisio

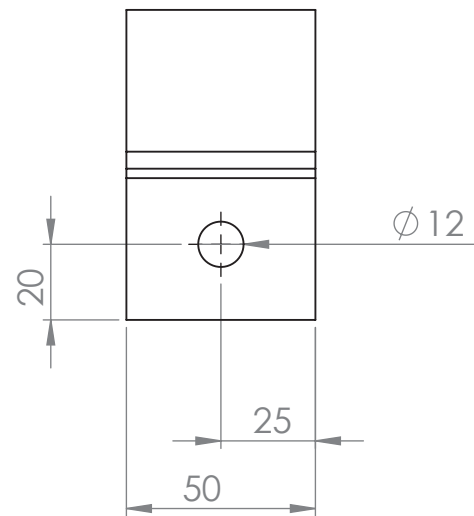
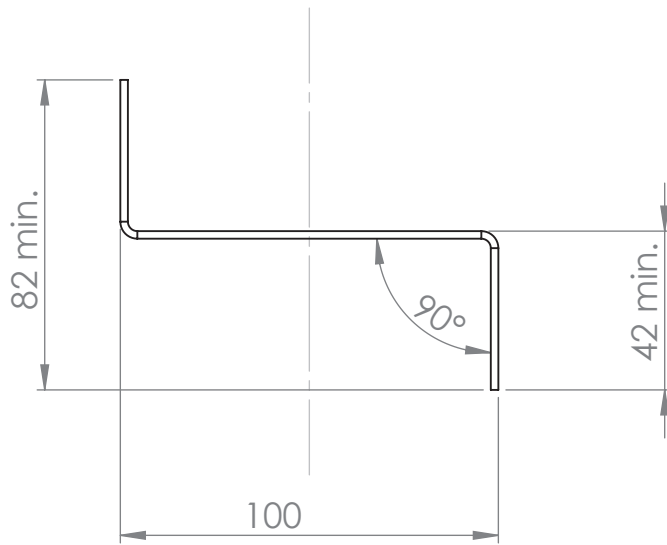
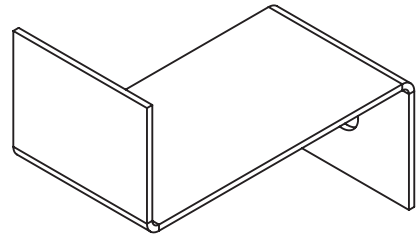
**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



Tehdään 1 kpl

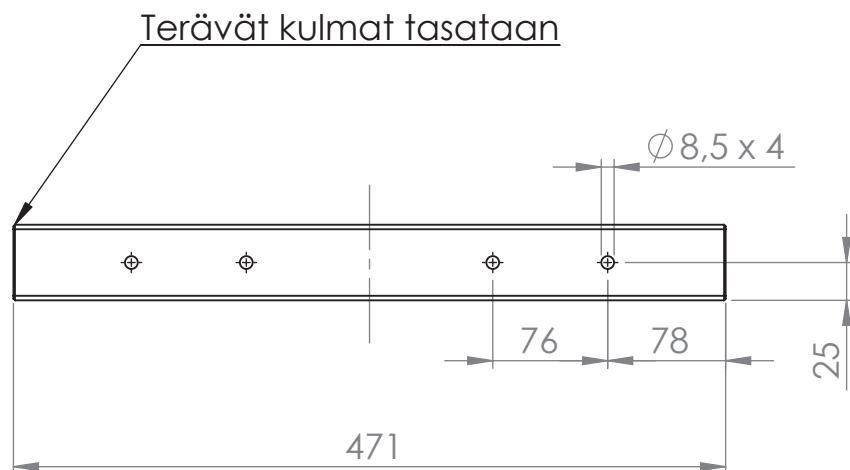
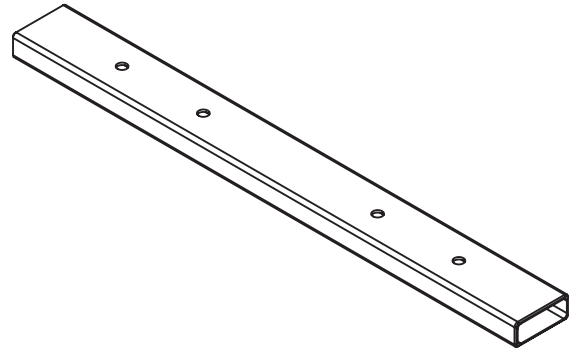
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala	Pvm	6.4.2014
	Massa	3,27 kg	Projekt	Hilux	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:2	Työnumero	Hyväksyjä		Pvm	
 OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö			Nimitys	Hitsauskoonpano	Piirustusnumero	Revisio	
					<h1>HAK-2210</h1>		

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



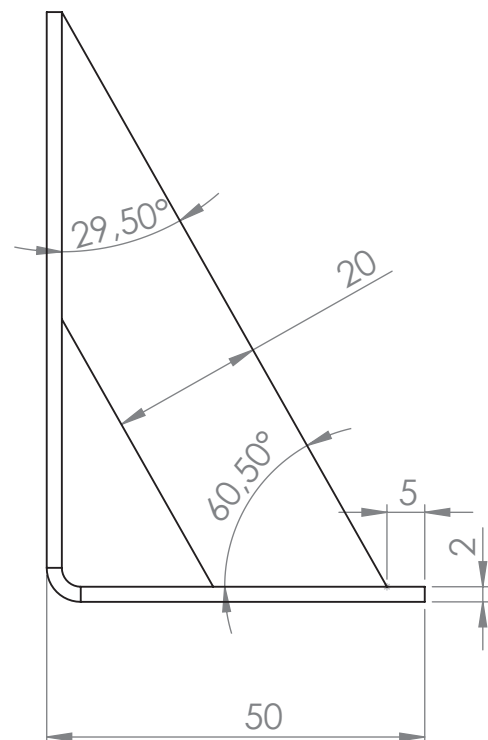
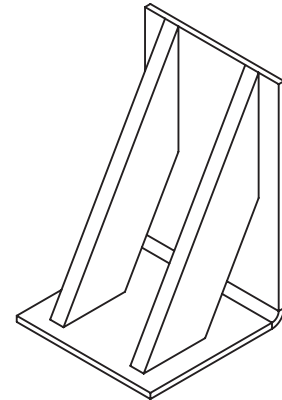
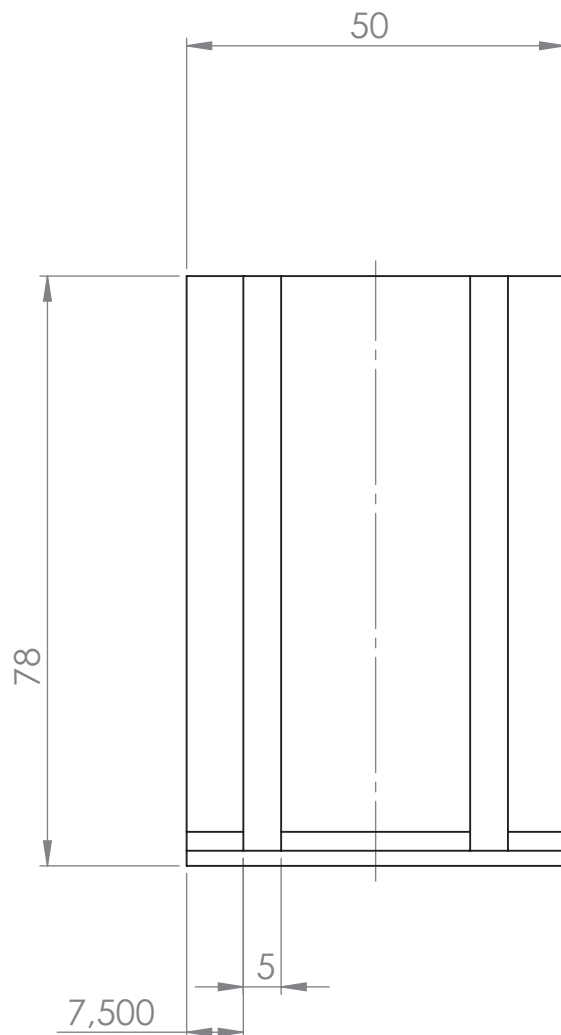
Tehdään 2 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
2		1.0570 (S355J2G3)		Min. 2,5	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	6.4.2014
	Massa	Projekti	Hilux	Tarkastaja	Pvm
	0,14 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A4 1:2				
 SolidWorks Student Edition. For Academic Use Only.			Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
 AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö			Erikoisen kulmakappale		HAK-2211



Tehdään 1 kpl


PART NUMBER			MATERIAALI	
Rakenneputki 50 x 20 x 2			S355J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>6.4.2014</b>
	Massa <b>0,96 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A4 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
 <b>SolidWorks Student Edition</b> <b>For Academic Use Only</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>		Nimitys <b>Kiinnitys kelloeristimelle</b>	Piirustusnumero <b>HAK-2212</b>	Revisio

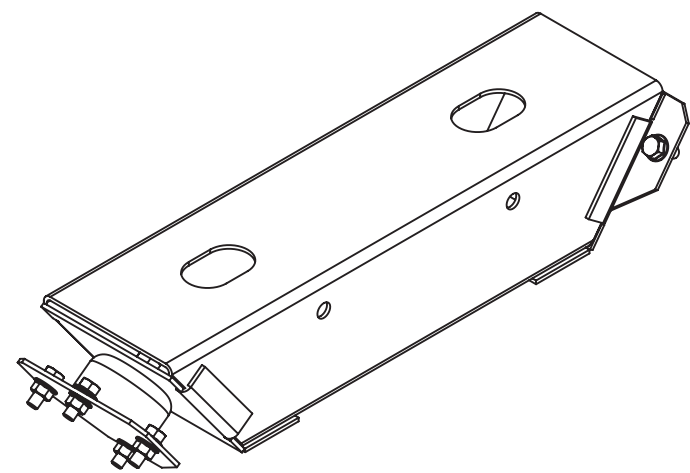
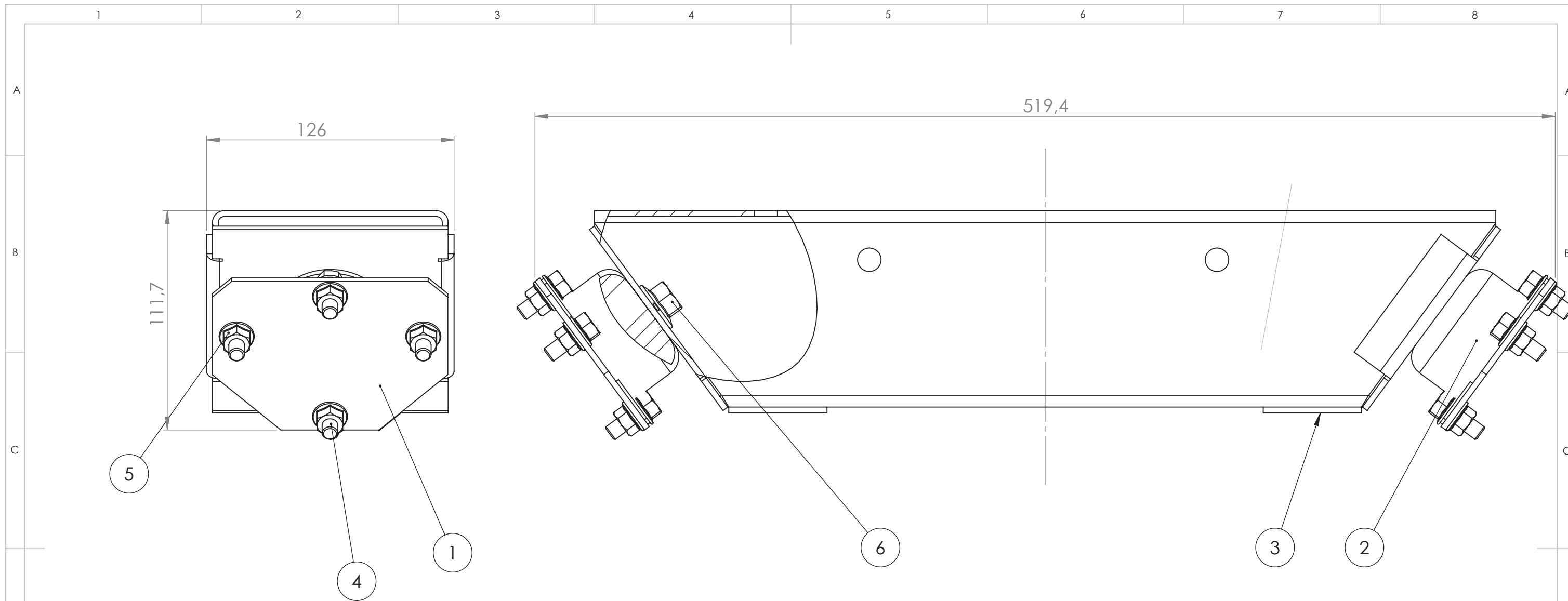


Tehdään 2 kpl

Vahvikkeen hitsaussaumamat



AINEVAHVUUS OHUTLEVY		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
2		1.0570 (S355J2G3)		Min. 2	
Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas <b>OAMK</b>		Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	
Massa <b>0,2 kg</b>		Projekti <b>HILUX</b>		Pvm <b>12.4.2014</b>	
Mittakaava <b>A4 1:1</b>		Työnumero		Tarkastaja Pvm	
Nimitys		Piirustusnumero		Revisio	
 <b>SolidWorks Student Edition.</b> <b>For Academic Use Only.</b> <b>Vahvike</b> <small>AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</small>		<b>HAK-2213</b>			



**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-2301	Välilevy vaimentimeen	2
2		NOVIBRA RAB-0	2
3	HAK-2310		1
4	Laipparuuvi DIN 6921 - M8 x 20 x 20	Etra 701155108020	8
5	Lukitusmutteri DIN 6923 - M8, 8 Zn	Etra 701676208	8
6	Laipparuuvi DIN 6921 - M12x1.5 x 30 8.8 Zn	Etra 701155112030	2

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala	Pvm	12.4.2014
	Massa	5,3 KG	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:2	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm	

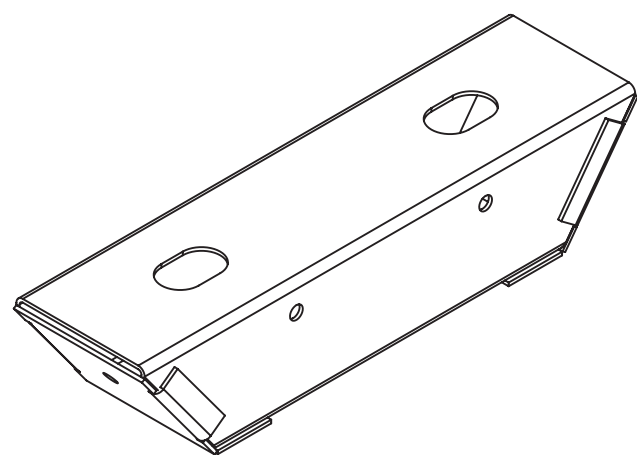
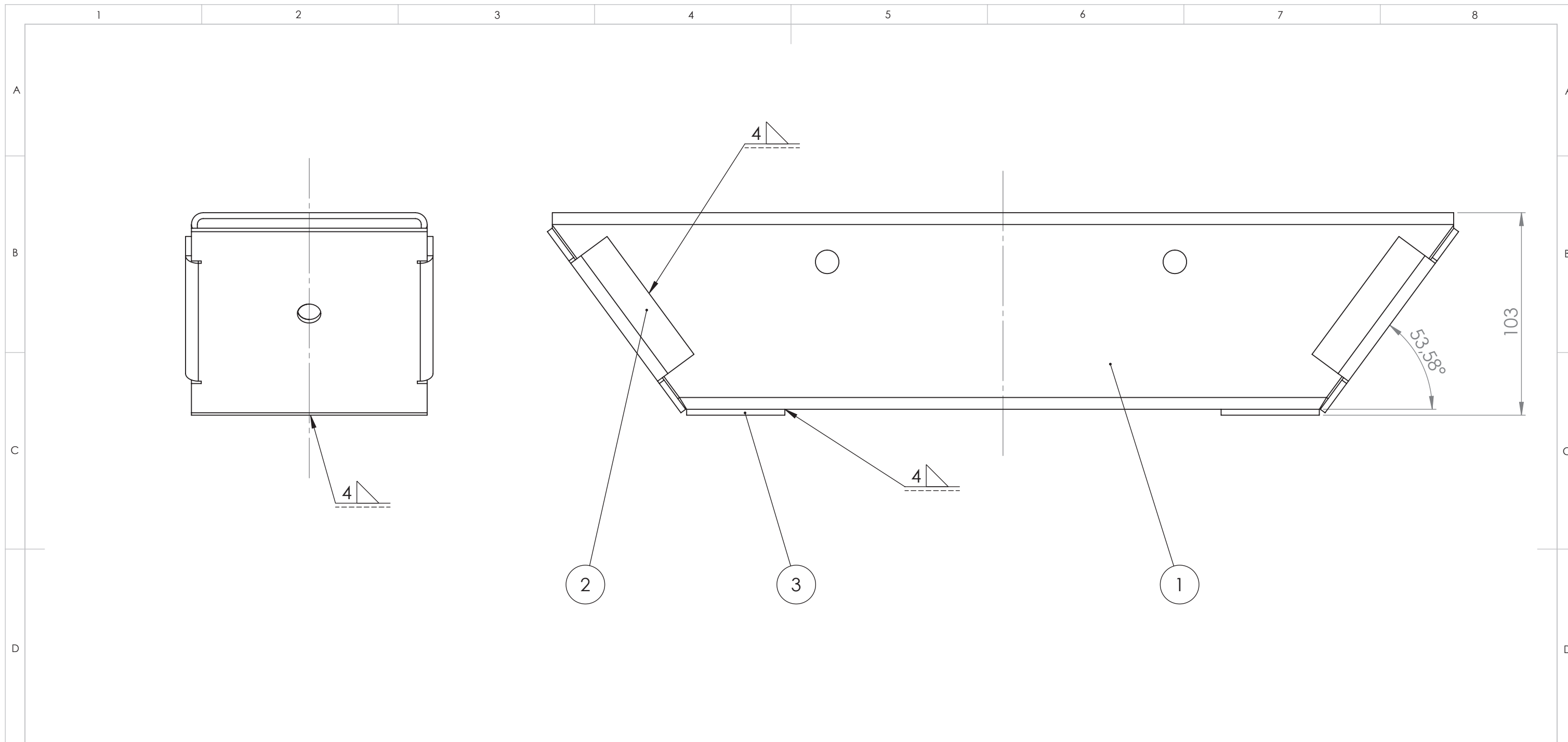


Nimitys  
**Moottoritukien välinen tukikonstruktio, osakokoonpano**

Piirustusnumero  
**HAK-2300**

Revisio



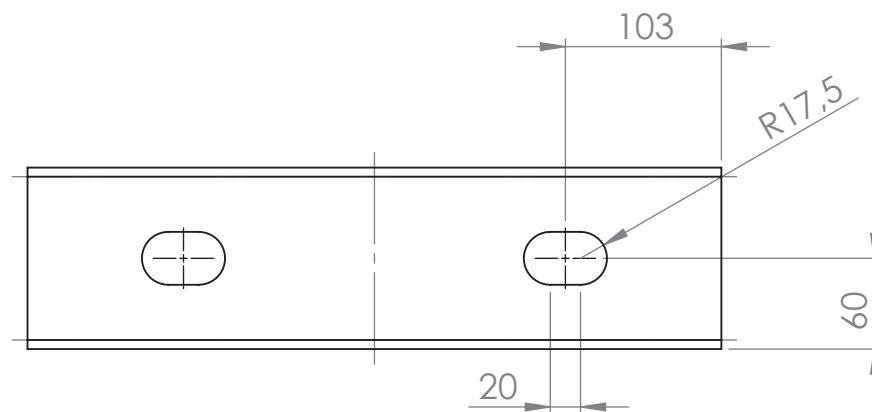
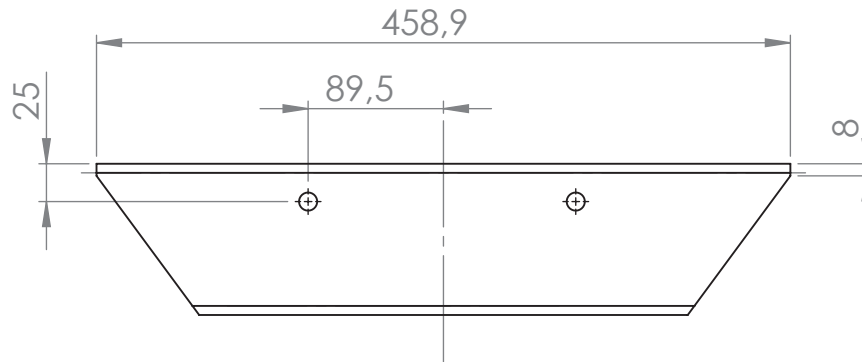
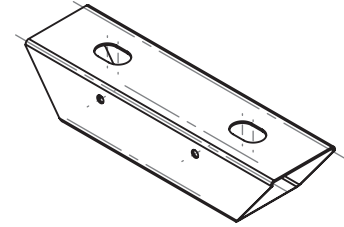


Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	Rakenneputki S355J2G3 tai S235J2G3	Tukien välinen rakenneputki	1
2	HAK-2312	Rakenneputken päätylevy	2
3	HAK-2313	120 x 50 x 3 (S355J2G3)	2

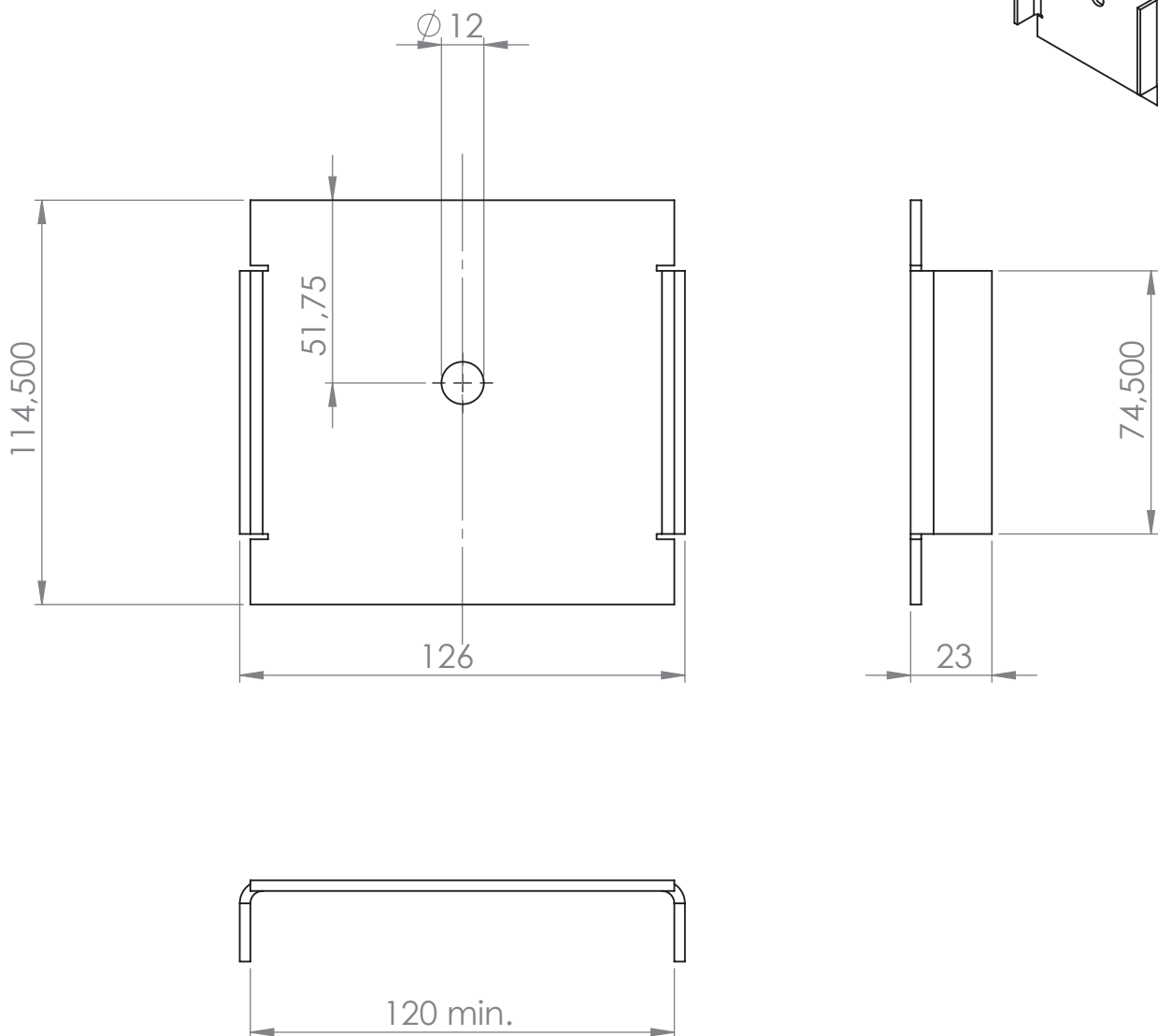
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
	Massa <b>4,88 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:2</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Hitsauskoonpano</b>	Piirustusnumero <b>HAK-2310</b>	Revisio

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



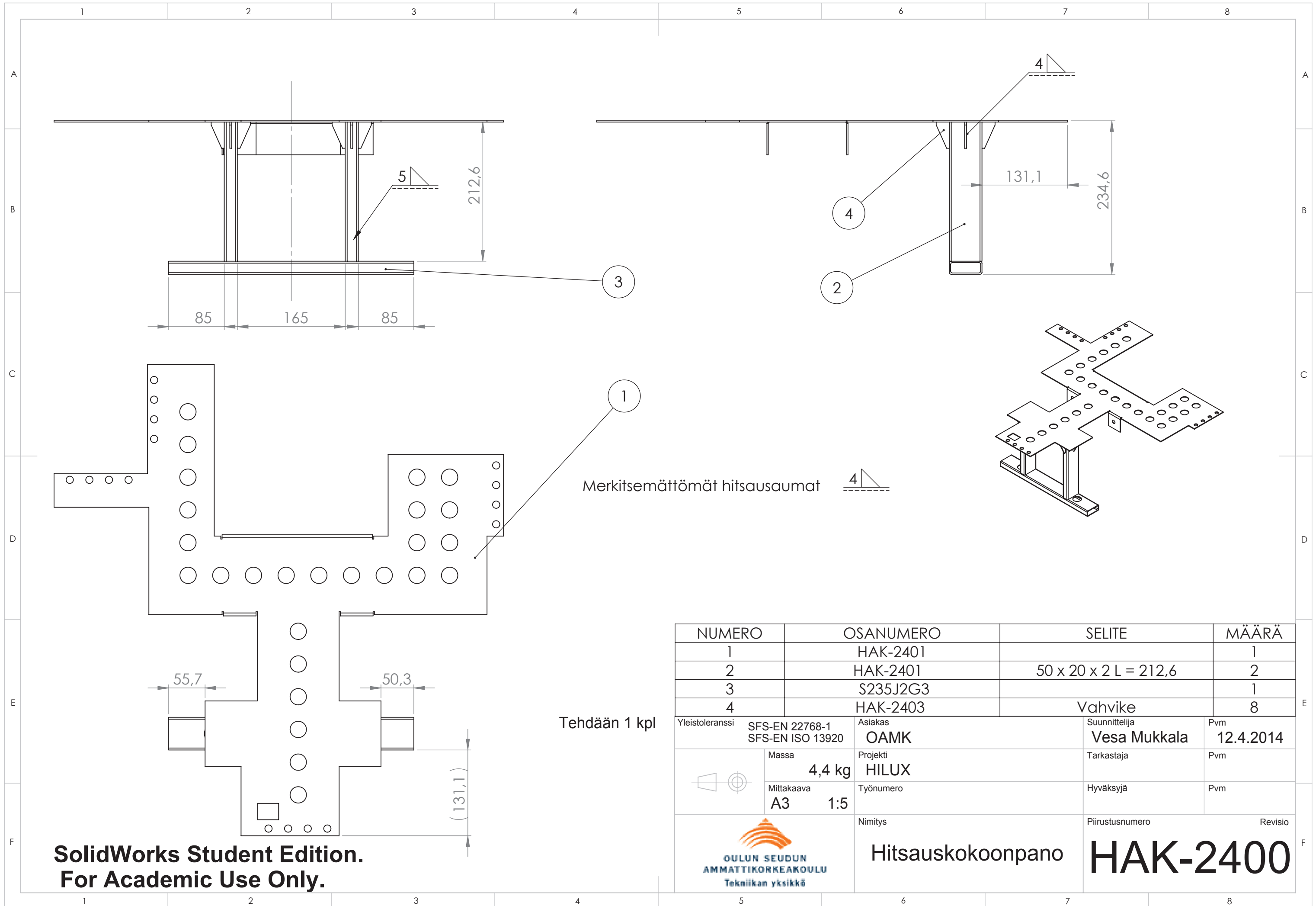
Tehdään 1 kpl Sivunreiät kummallekkin puolelle

PROFIILI		MATERIAALI	
100 x 120 x 3		Rakenneputki S355J2G3 tai S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija
		OAMK	Vesa Mukkala
	Massa	Projekt	Pvm
	3,82 kg	Hilux	6.4.2014
	Mittakaava	Työnumero	Tarkastaja
	A4 1:5		
		Nimitys	Hyväksyjä
			Pvm
 <b>SolidWorks Student Edition</b> For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero <b>HAK-2311</b> Revisio	
Tukkien välinen rakenneputki			



Tehdään 2 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
3		1.0570 (\$355J2G3)		Min. 3	
Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas <b>OAMK</b>		Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	
Massa <b>0,39 kg</b>		Projekti <b>HILUX</b>		Pvm <b>12.4.2014</b>	
Mittakaava <b>A4 1:2</b>		Työnumero		Tarkastaja	
Nimitys		Piirustusnumero		Pvm	
 <b>SolidWorks Student Edition</b> <b>For Academic Use Only</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>		<b>Rakenneputken</b> <b>päätylevy</b>		<b>HAK-2312</b> Revisio	



Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-2401		1
2	HAK-2401	50 x 20 x 2 L = 212,6	2
3	S235J2G3		1
4	HAK-2403	Vahvike	8

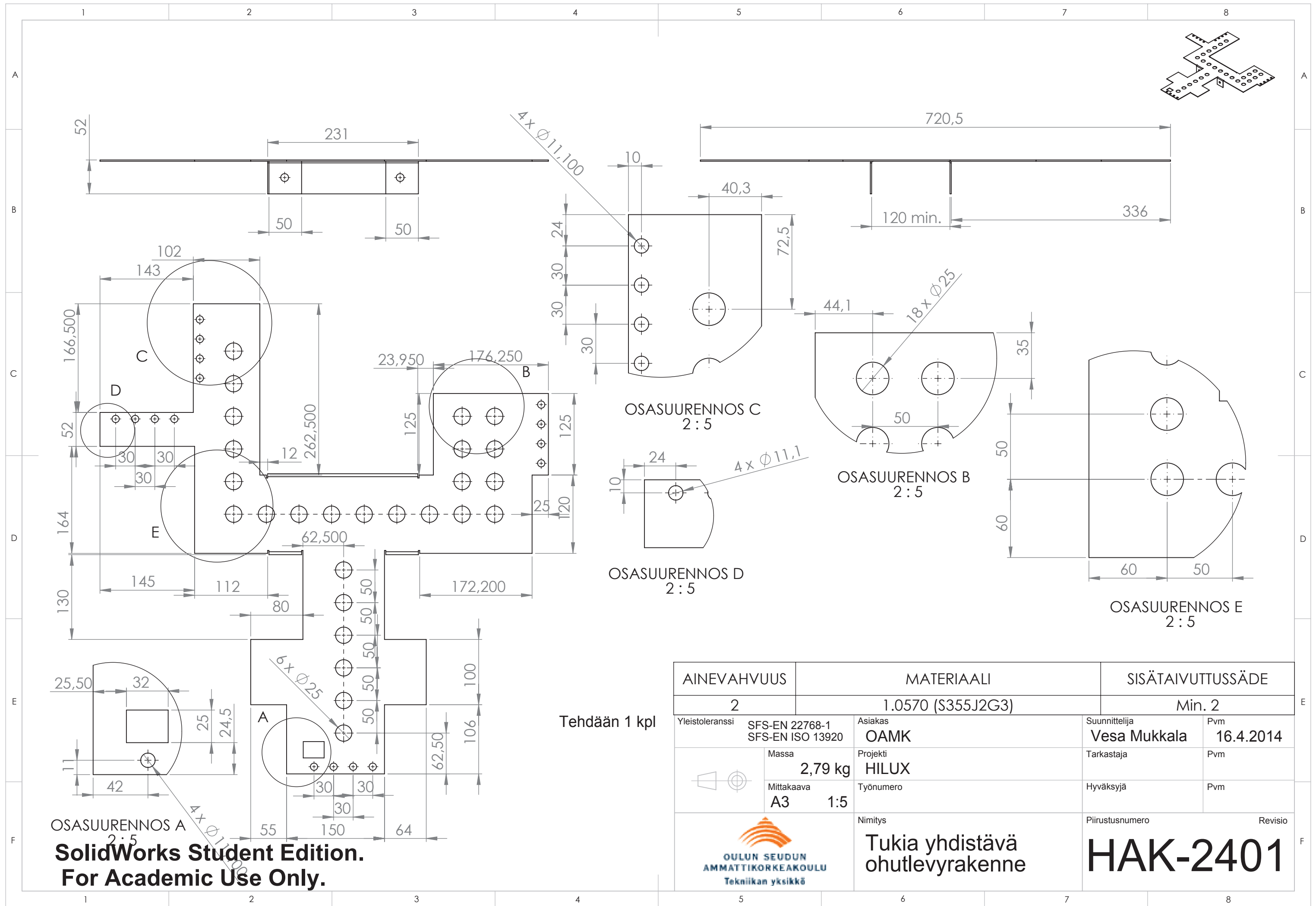
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
-----------------	------------------------------------	------------------------	--------------------------------------	-------------------------

	Massa <b>4,4 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm

	Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
--	---------	-----------------	---------

	Hitsauskoonpano	<b>HAK-2400</b>
--	-----------------	-----------------

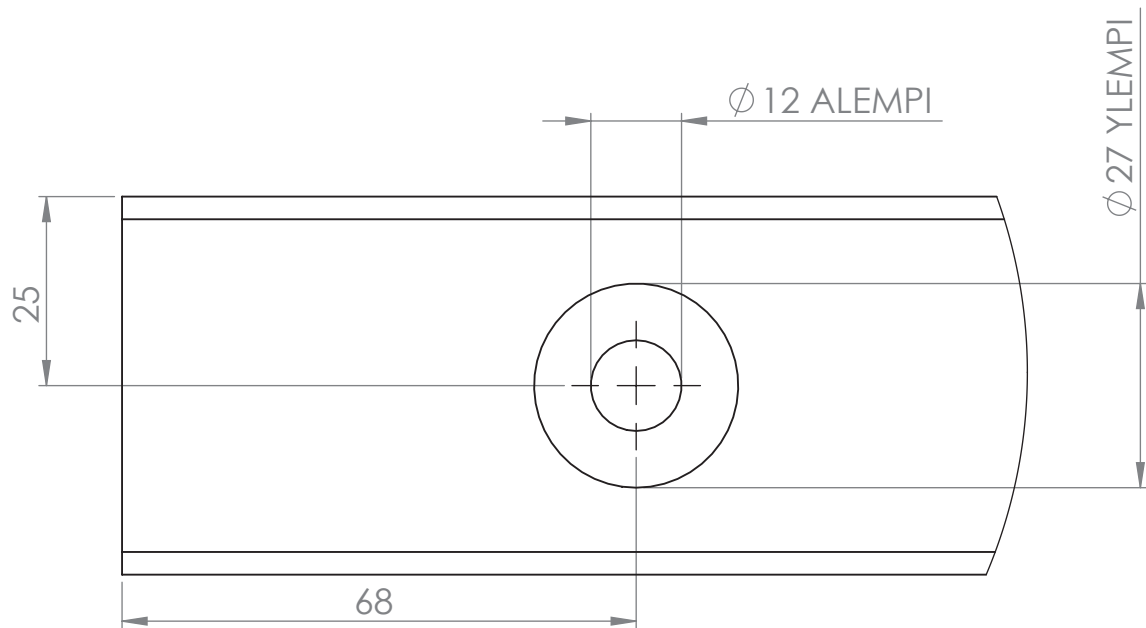
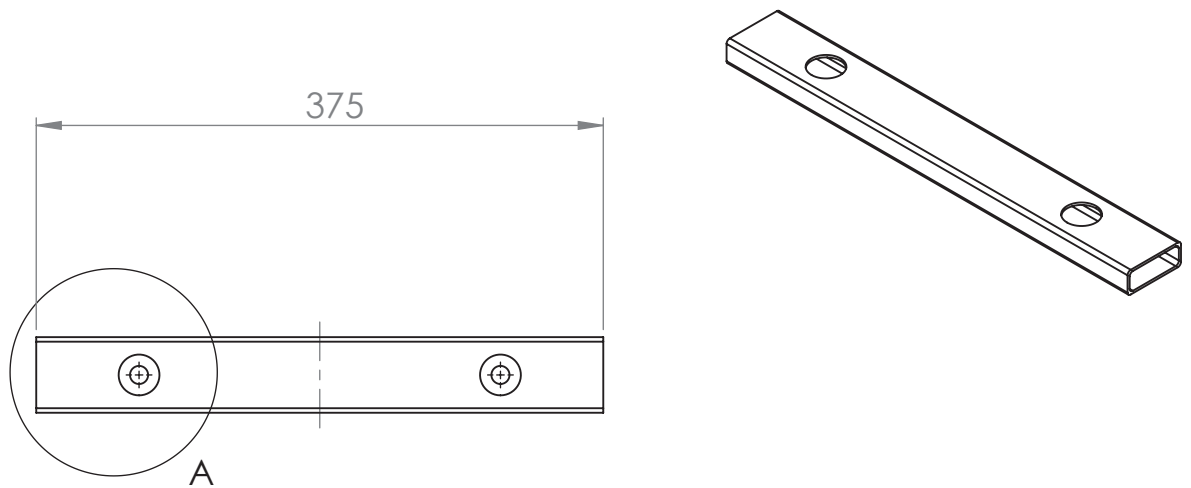
**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



Tehdään 1 kpl

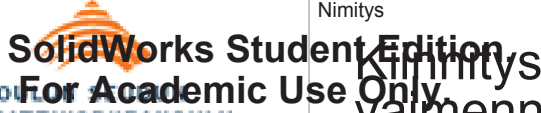
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTTUSSÄDE	
2		1.0570 (S355J2G3)		Min. 2	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	16.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	2,79 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5				
		Nimitys	Tukia yhdistävä ohutlevyrakenne	Piirustusnumero	Revisio
				HAK-2401	

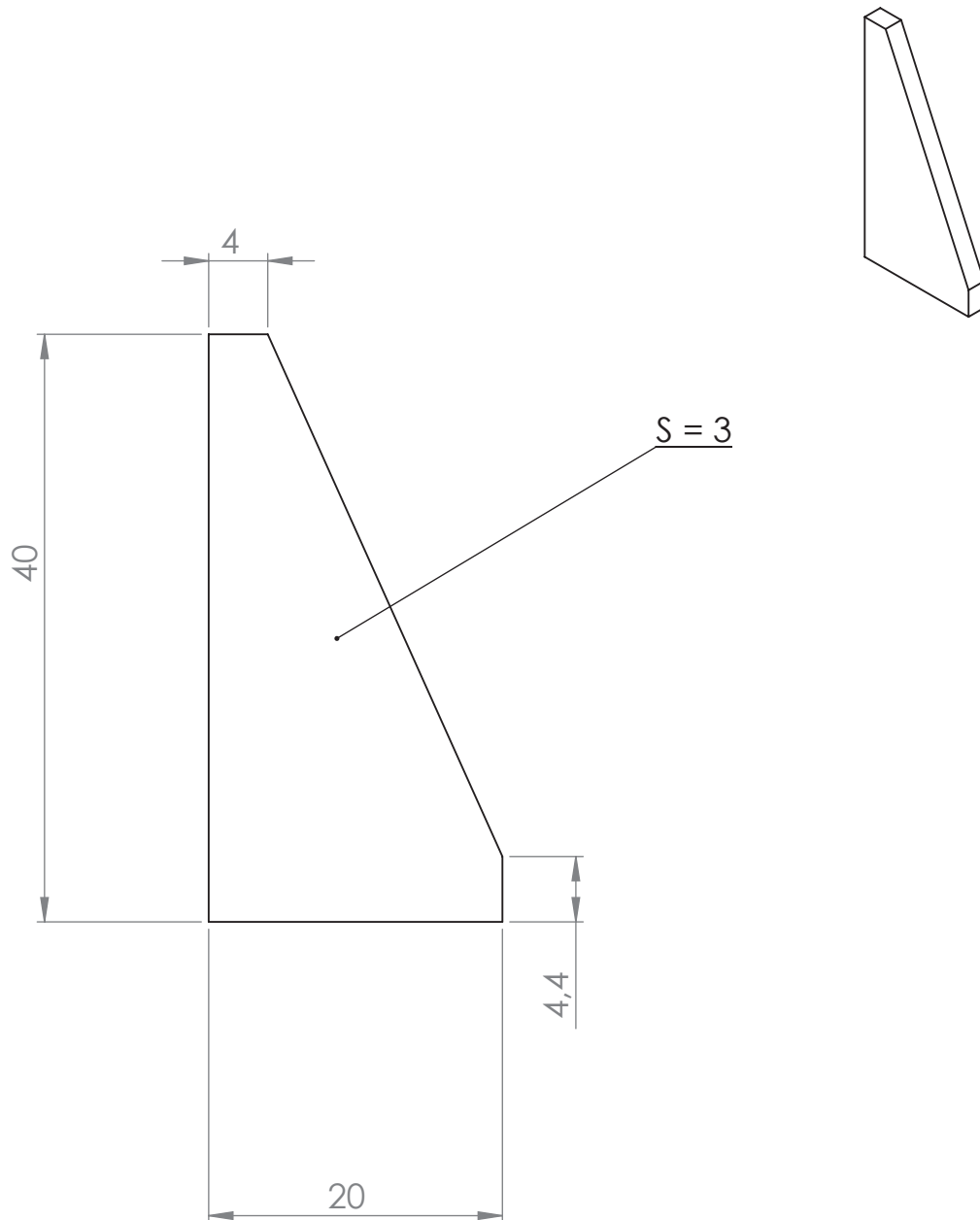
SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



OSSUURENNOS A  
1 : 1

Tehdään 1 kpl

PROFIILI		MATERIAALI	
50 x 20 x 2		S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija
		OAMK	Vesa Mukkala
	Massa	Projekti	Pvm
	0,77 kg	HILUX	12.4.2014
	Mittakaava	Työnumero	Tarkastaja
	A4 1:5		
		Nimitys	Hyväksyjä
			Pvm
 For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero <b>HAK-2402</b> Revisio	

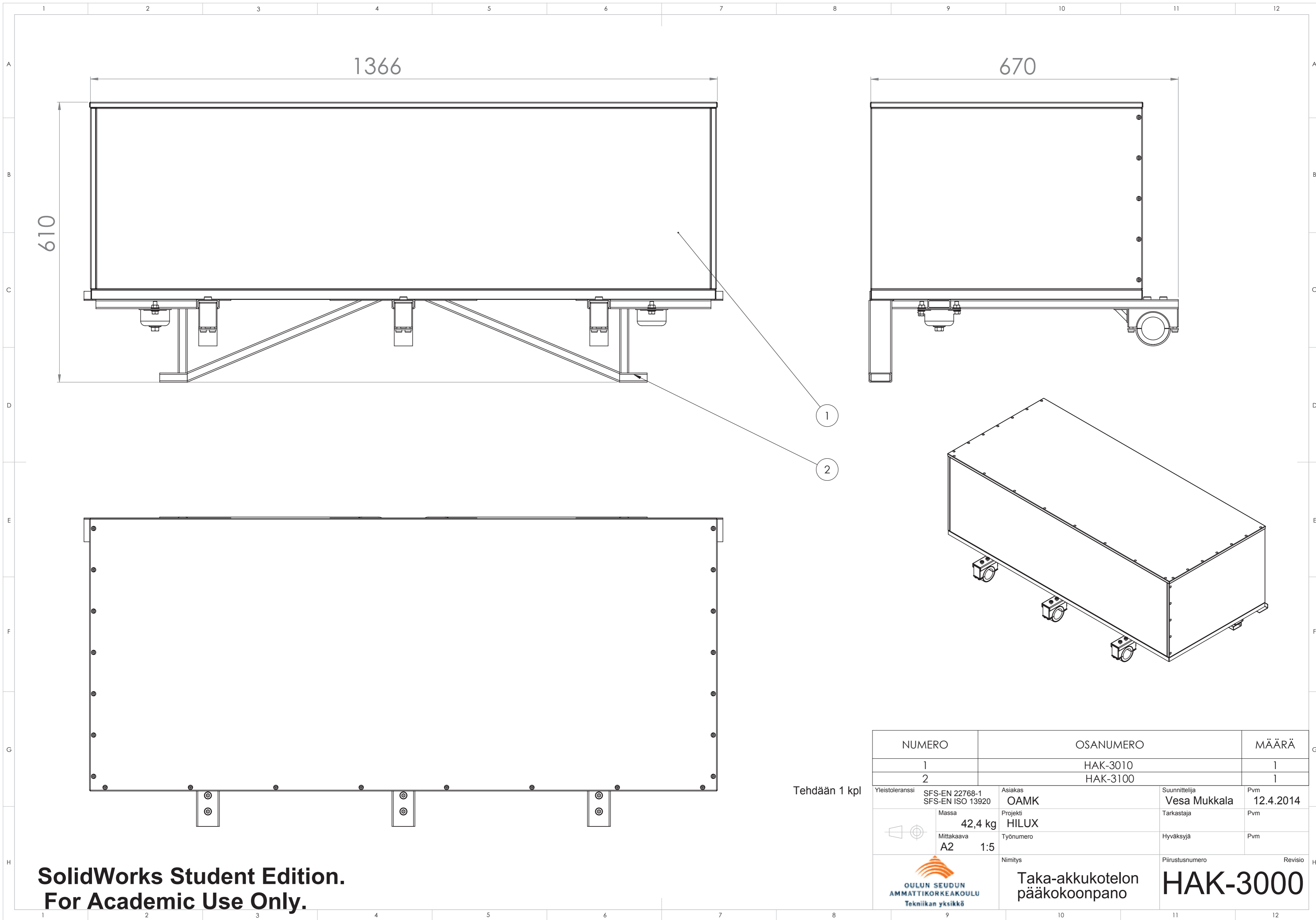


Tehdään 8 kpl

MATERIAALI		S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>
	Massa <b>12 g</b>	Projektisi <b>HILUX</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
	Mittakaava <b>A4 2:1</b>	Tarkastaja	Pvm
		Hyväksyjä	Pvm
 <b>SolidWorks Student Edition.</b> <b>For Academic Use Only</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>		Nimitys <b>Vahvistuspala</b>	Piirustusnumero <b>HAK-2403</b>
			Revisio

**PIIRUSTUKSET TAKA-AKKUKOTELOON**

HAK-3000.....	Pääkokoontapano.....	(A2)
HAK-3010.....	Kotelon kokoonpano.....	(A3)
HAK-3300.....	Pohjan osakokoonpano.....	(A3)
HAK-3301.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A2)
HAK-3302.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A2)
HAK-3303.....	Akun kiinnityksen vahvistuslevy....	(A4)
HAK-3304.....	Akun kiinnityksen vahvistuslevy....	(A4)
HAK-3400.....	Kotelon sivu, osakokoonpano.....	(A3)
HAK-3401.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A4)
HAK-3402.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A4)
HAK-3500.....	Kotelon kansi, osakokoonpano.....	(A3)
HAK-3501.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A4)
HAK-3502.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A3)
HAK-3600.....	Kotelon takaseinä, osakokoonpano.....	(A3)
HAK-3601.....	Kennolevyn 1-puoli.....	(A3)
HAK-3602.....	Kennolevyn 2-puoli.....	(A3)
HAK-3800.....	Pohjamuovi.....	(A3)
HAK-3100.....	Tukirakenteiden kokoonpano.....	(A2)
HAK-3110.....	Hitsaus- ja osakokoonpano (erikseen).....	(A2)
HAK-3111.....	Viistotuki.....	(A4)
HAK-3112.....	Kotelon pohjan tukiputki.....	(A4)
HAK-3113.....	Vaimentimen tukilevy.....	(A4)
HAK-3115.....	Kiinnityksen kulmalevy .....	(A4)
HAK-3116.....	Tukirakenteen vahvike.....	(A4)
HAK-3201.....	Tukirakenteen kiinnityskappale .....	(A4)
HAK-3202.....	Kiristyskappale.....	(A4)
HAK-3204.....	Suojamuovi alumiinille.....	(A4)

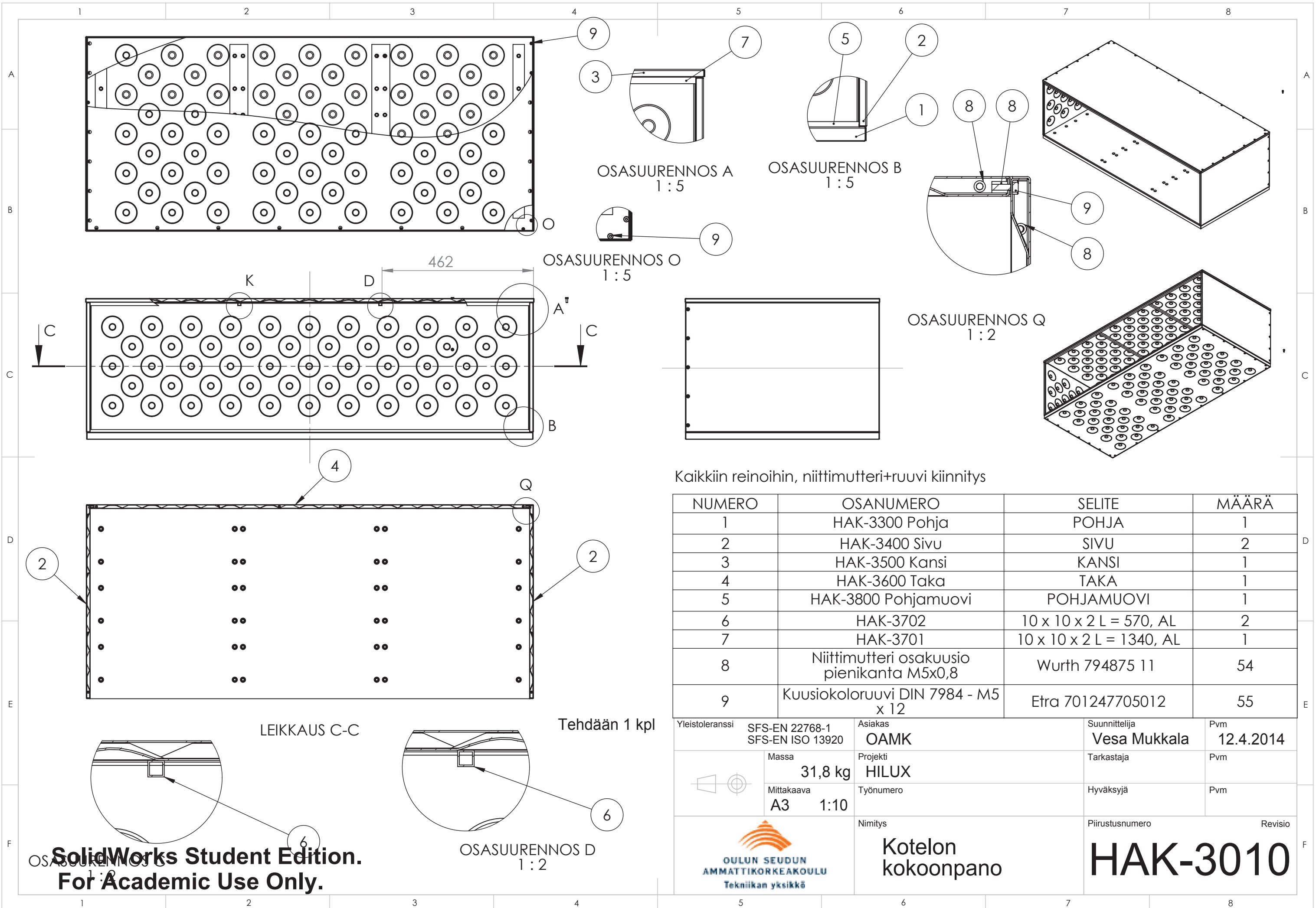


1  
2

Tehdään 1 kpl


NUMERO	OSANUMERO		MÄÄRÄ
1	HAK-3010		1
2	HAK-3100		1
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b> Pvm <b>12.4.2014</b>
Massa	<b>42,4 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja Pvm
Mittakaava	<b>A2 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä Pvm
<p><b>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Tekniikan yksikkö</p>		Nimitys <b>Taka-akkukotelon pääkokoontalo</b>	Piirustusnumero <b>HAK-3000</b> Revisio

**SolidWorks Student Edition.**  
**For Academic Use Only.**



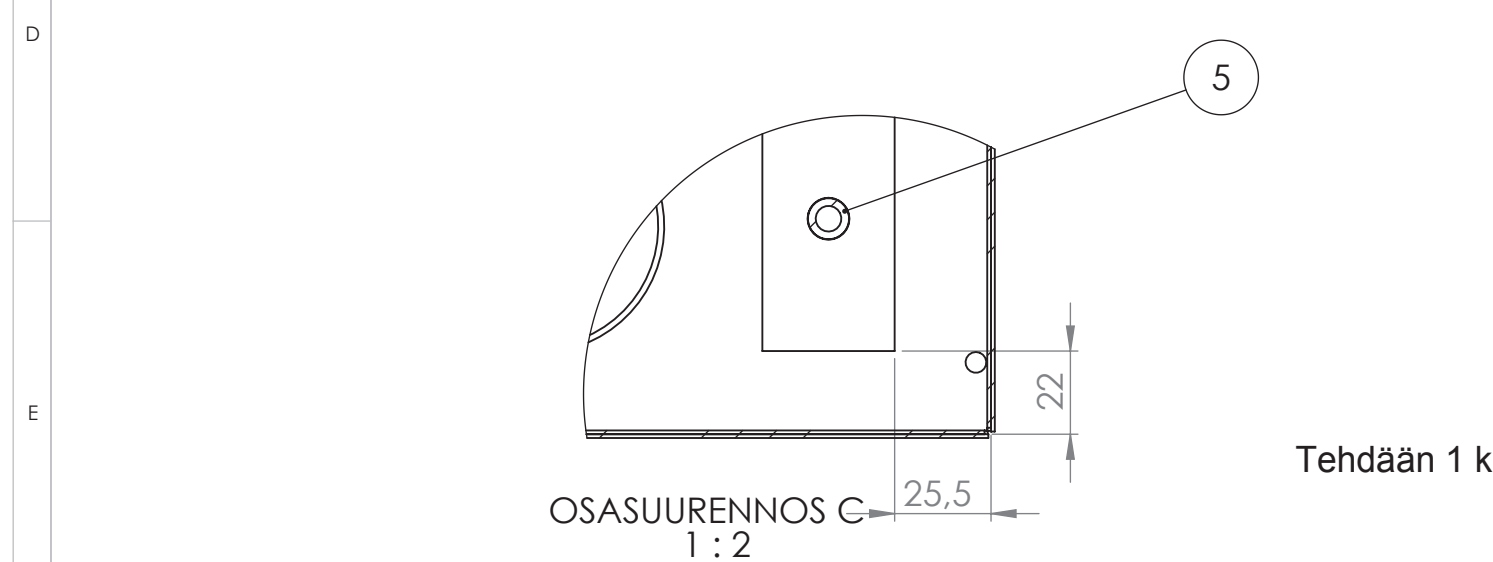
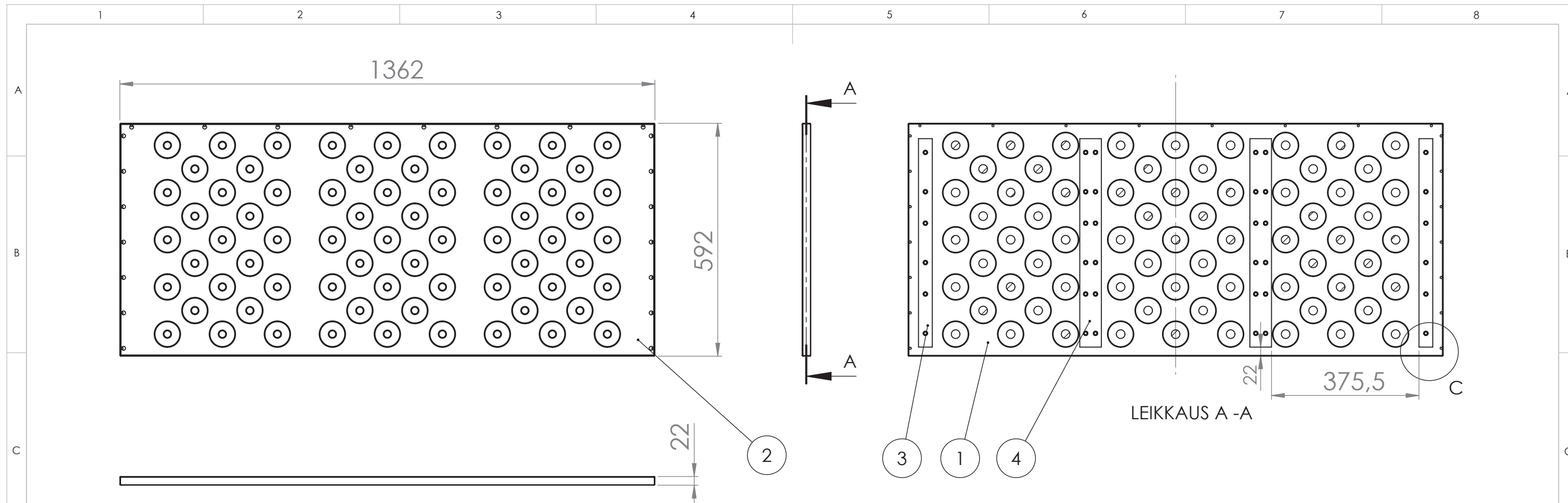
Kaikkiin reinoihin, niittimutteri+ruuvi kiinnitys

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-3300 Pohja	POHJA	1
2	HAK-3400 Sivut	SIVU	2
3	HAK-3500 Kansi	KANSI	1
4	HAK-3600 Taka	TAKA	1
5	HAK-3800 Pohjamuovi	POHJAMUOVI	1
6	HAK-3702	10 x 10 x 2 L = 570, AL	2
7	HAK-3701	10 x 10 x 2 L = 1340, AL	1
8	Niittimutteri osakuusio pienikanta M5x0,8	Wurth 794875 11	54
9	Kuusiokoloruuvi DIN 7984 - M5 x 12	Etra 701247705012	55

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala	Pvm	12.4.2014
Massa	31,8 kg	Projekti	HILUX	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A3 1:10	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
				Nimitys	Kotelon kokoonpano		
				Piirustusnumero	HAK-3010		
				Revisio			

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.

Tehdään 1 kpl



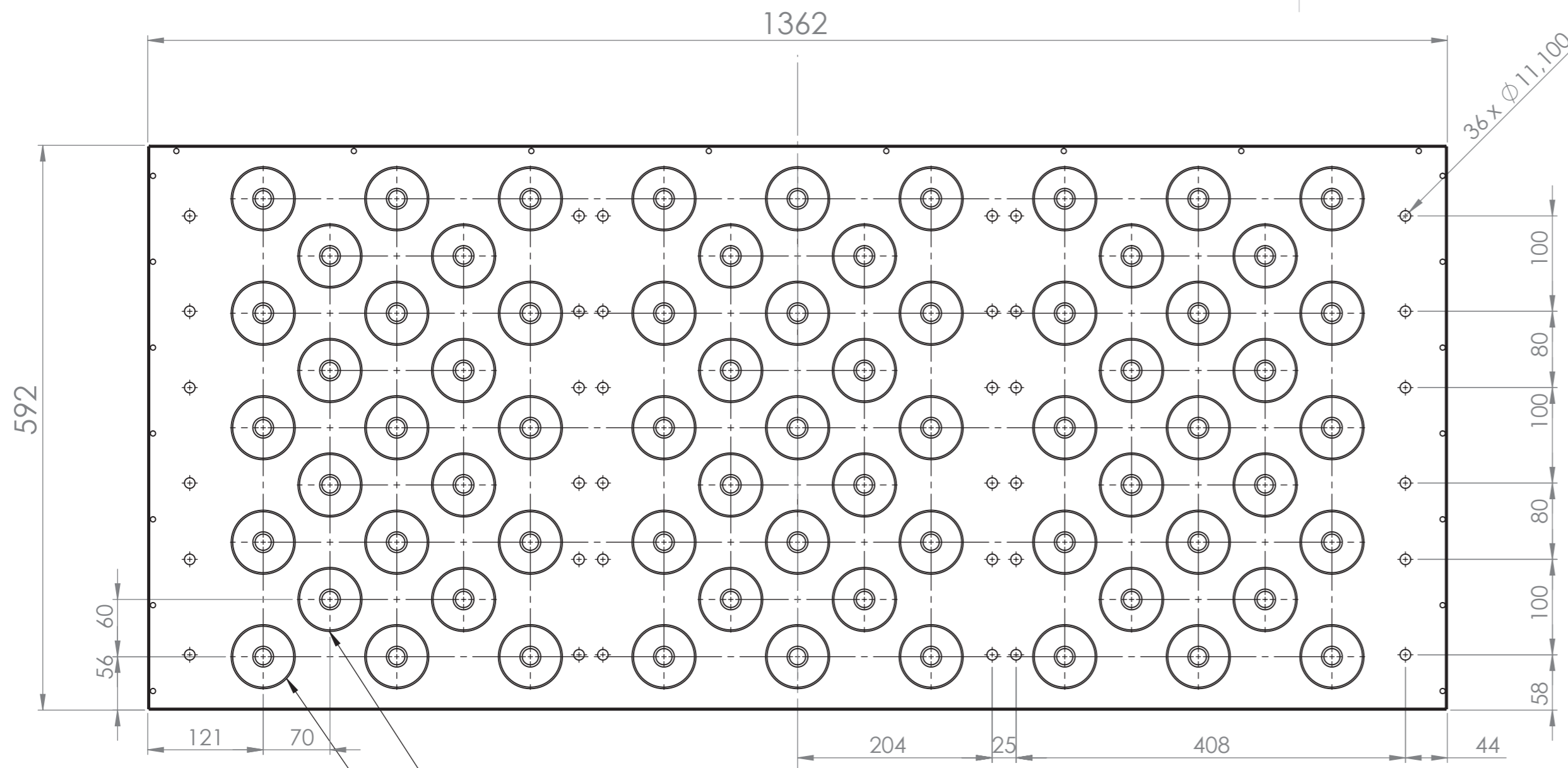
Tehdään 1 kpl

NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-3301	Kennolevyn 1-puoli	1
2	HAK-3302	Kennolevyn 2-puoli	1
3	HAK-3221	Akun kiinnityksen vahvistuslevy 1	2
4	HAK-3222	Akun kiinnityksen vahvistuslevy 2	2
5	Niittimutteri osakuusio pienikanta M8	Würth 794878 15	36

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala	Pvm	12.4.2014
	Massa	15 kg	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:10	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm	
		Nimitys	Pohjan osakokoonpano	Piirustusnumero	HAK-3300		
				Revisio			

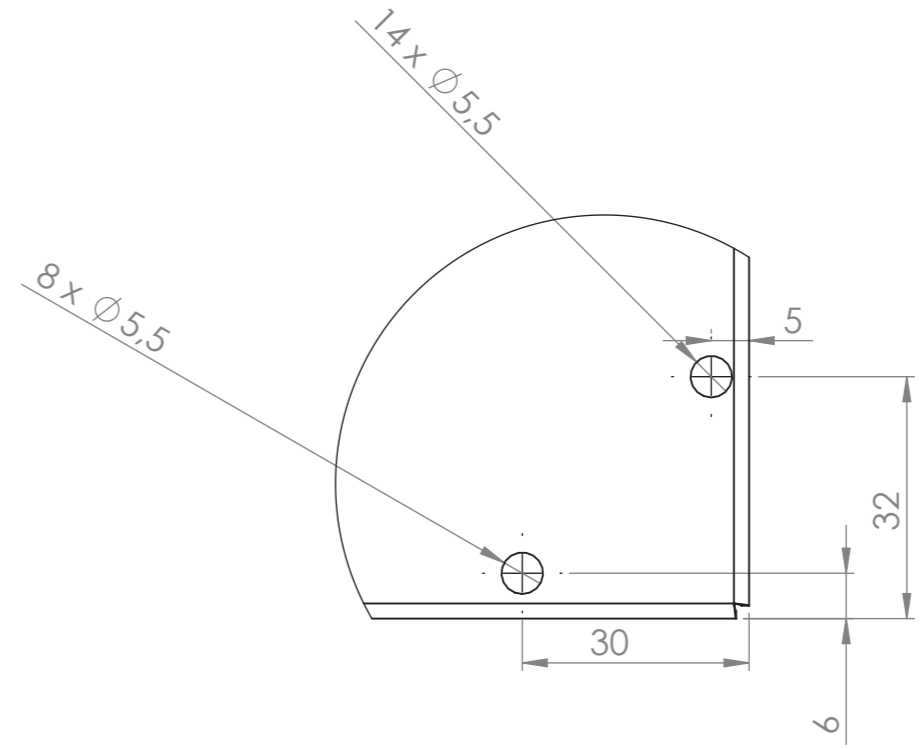
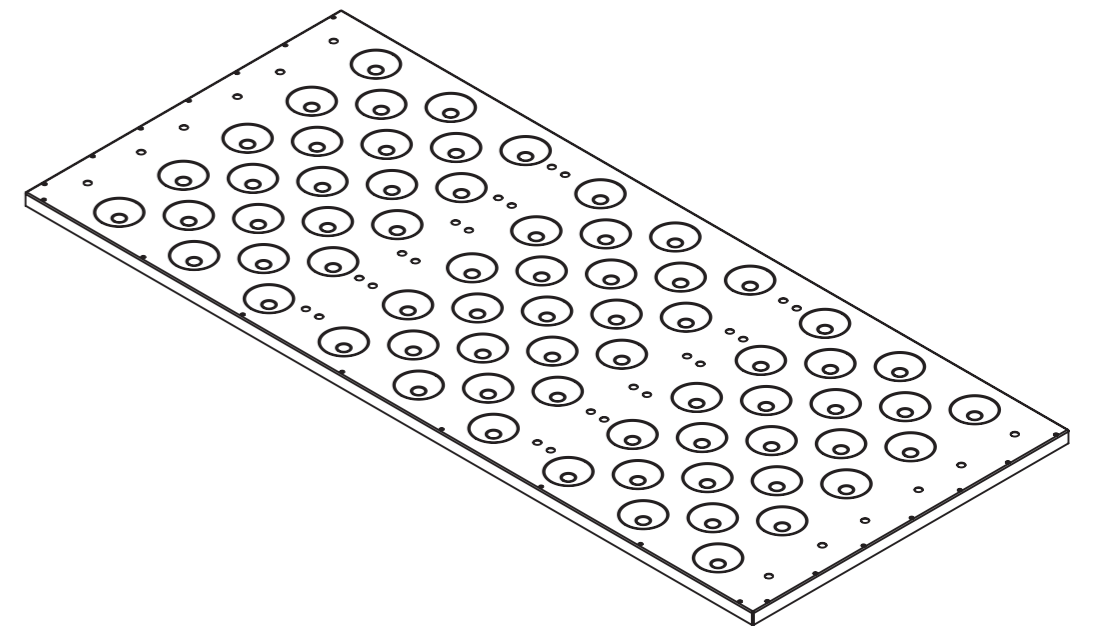
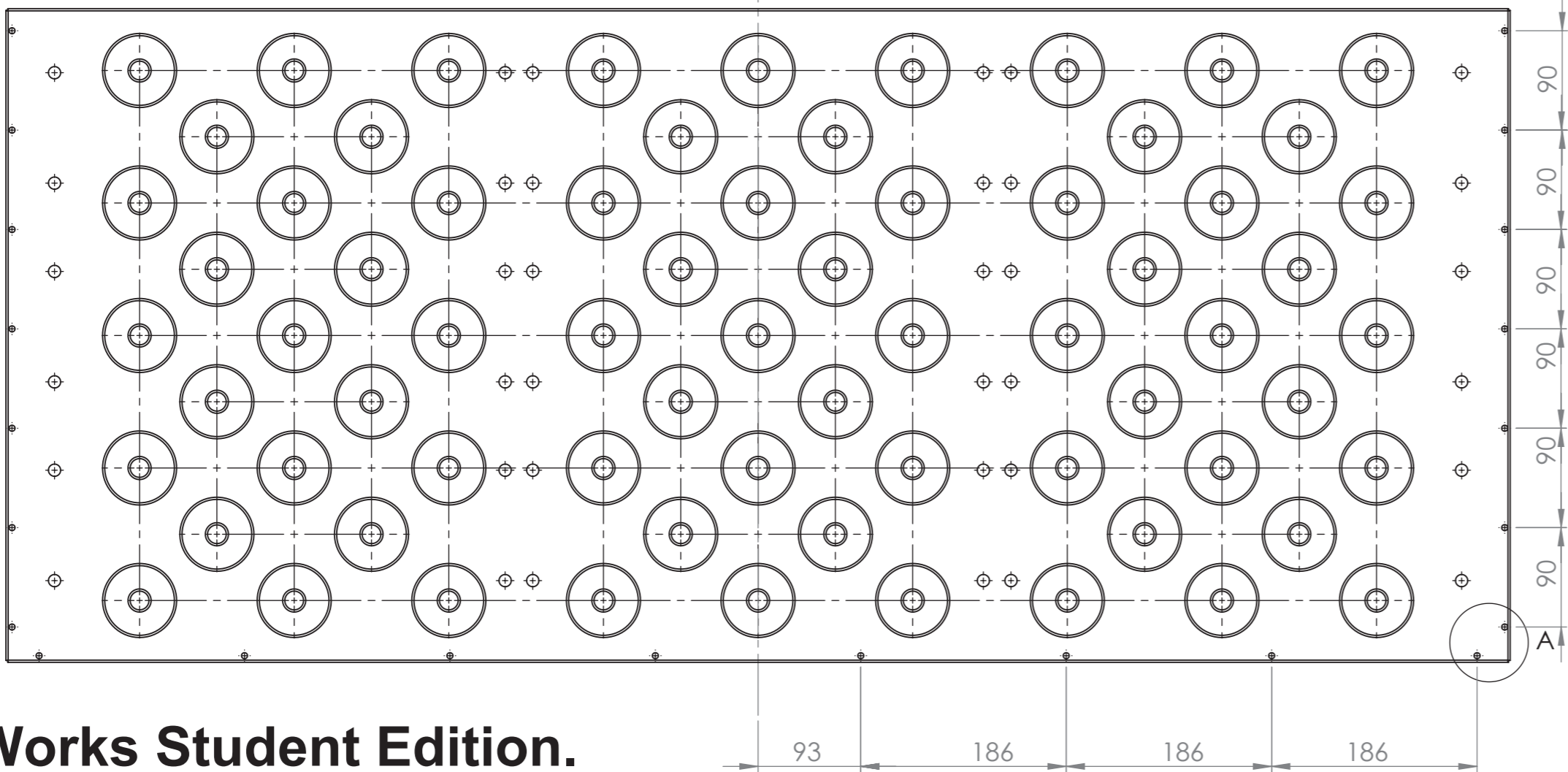
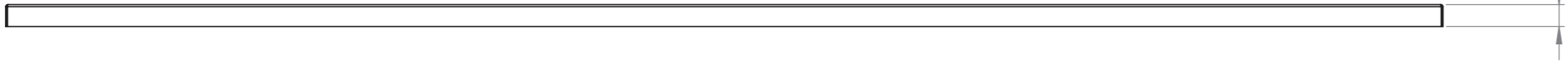
SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö



24 kpl 140 x 120 (Joka kolmas pois vaaka suunnassa)

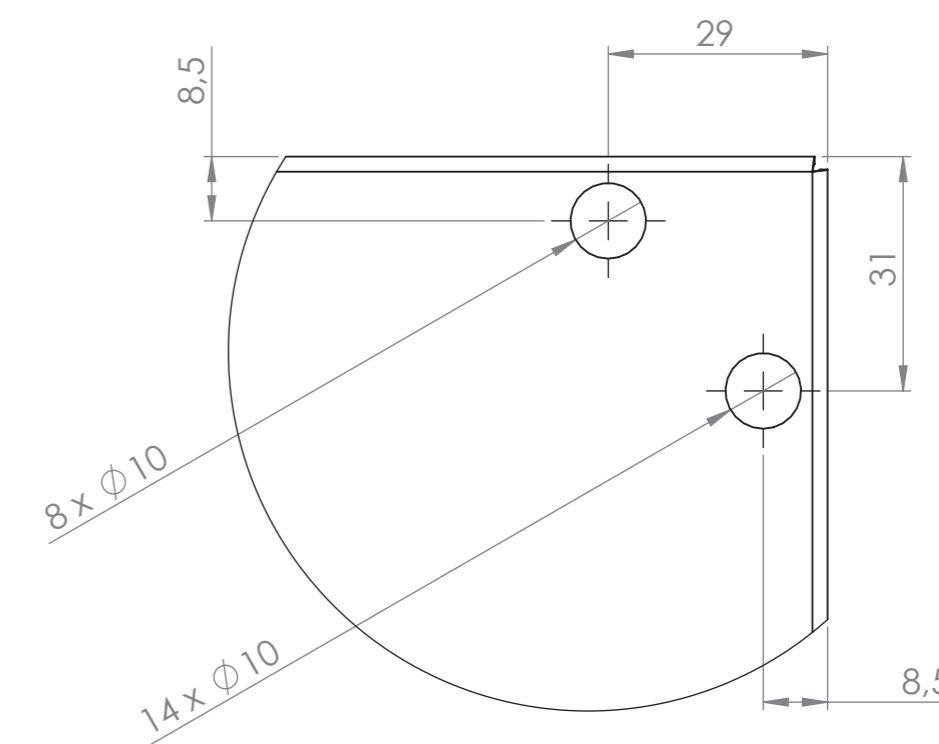
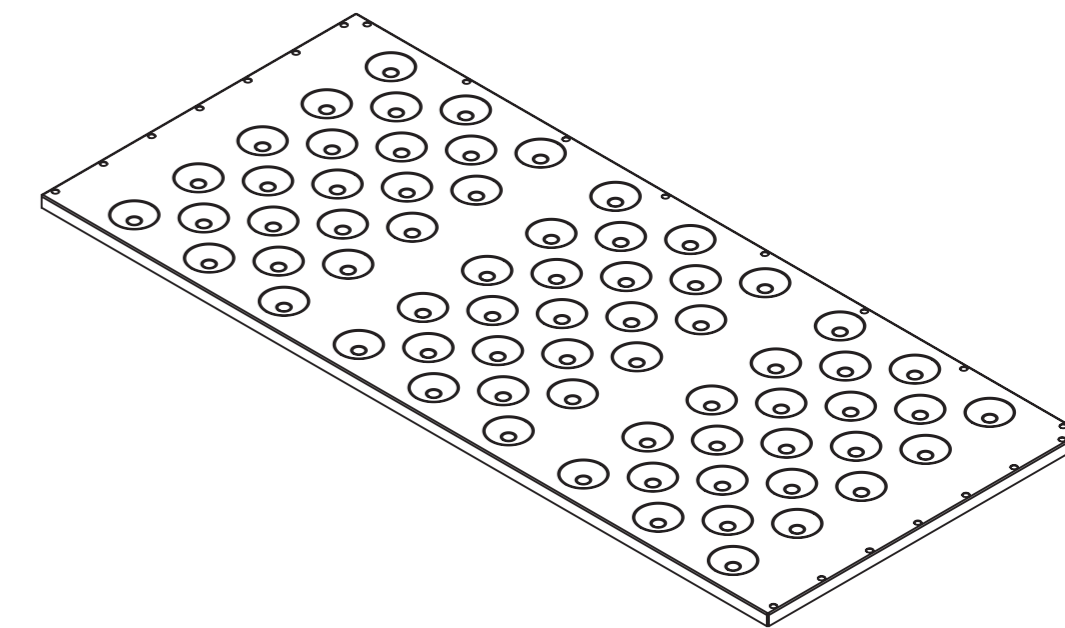
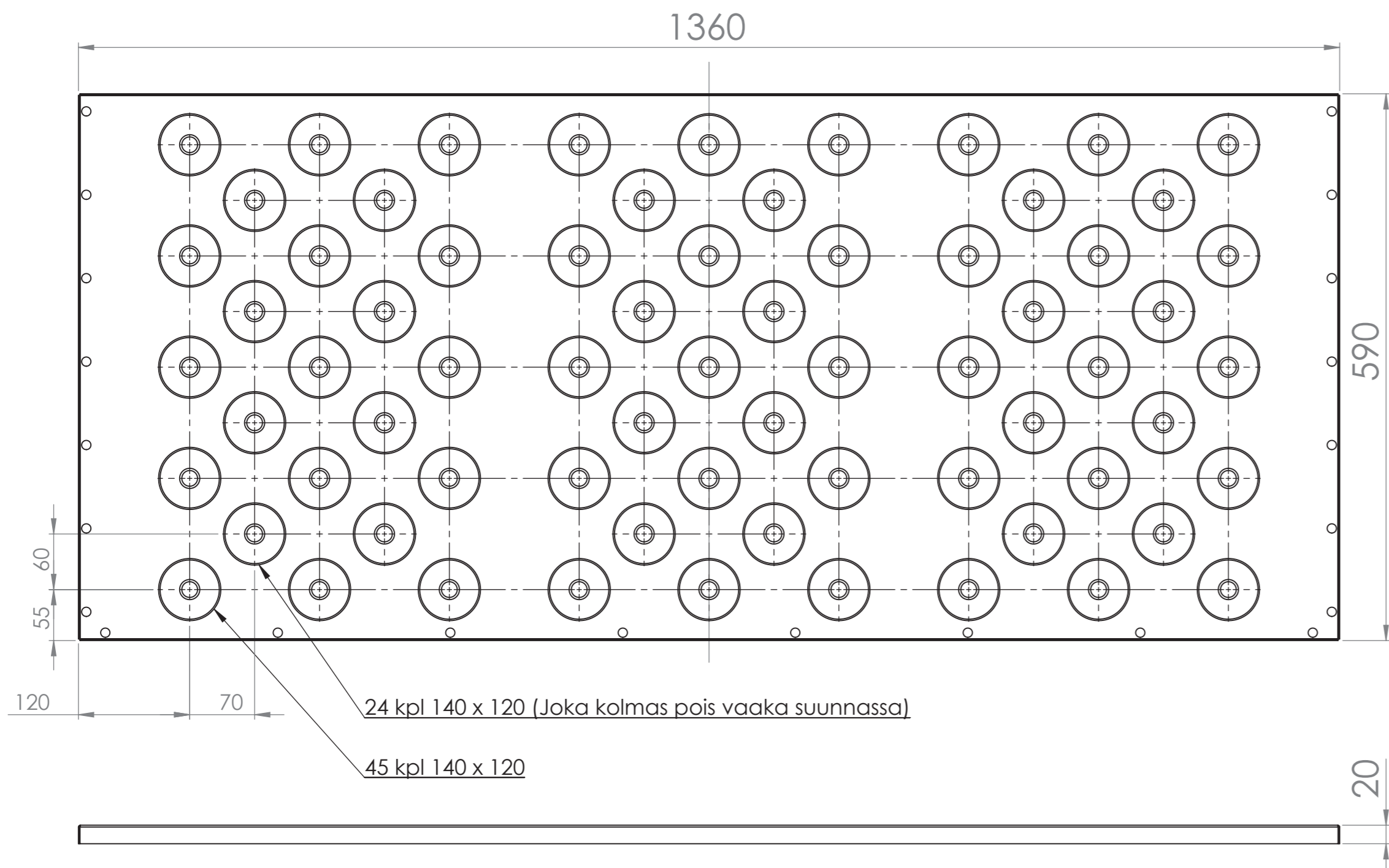
45 kpl 140 x 120



OSASUURENNOS A  
SCALE 1 : 1

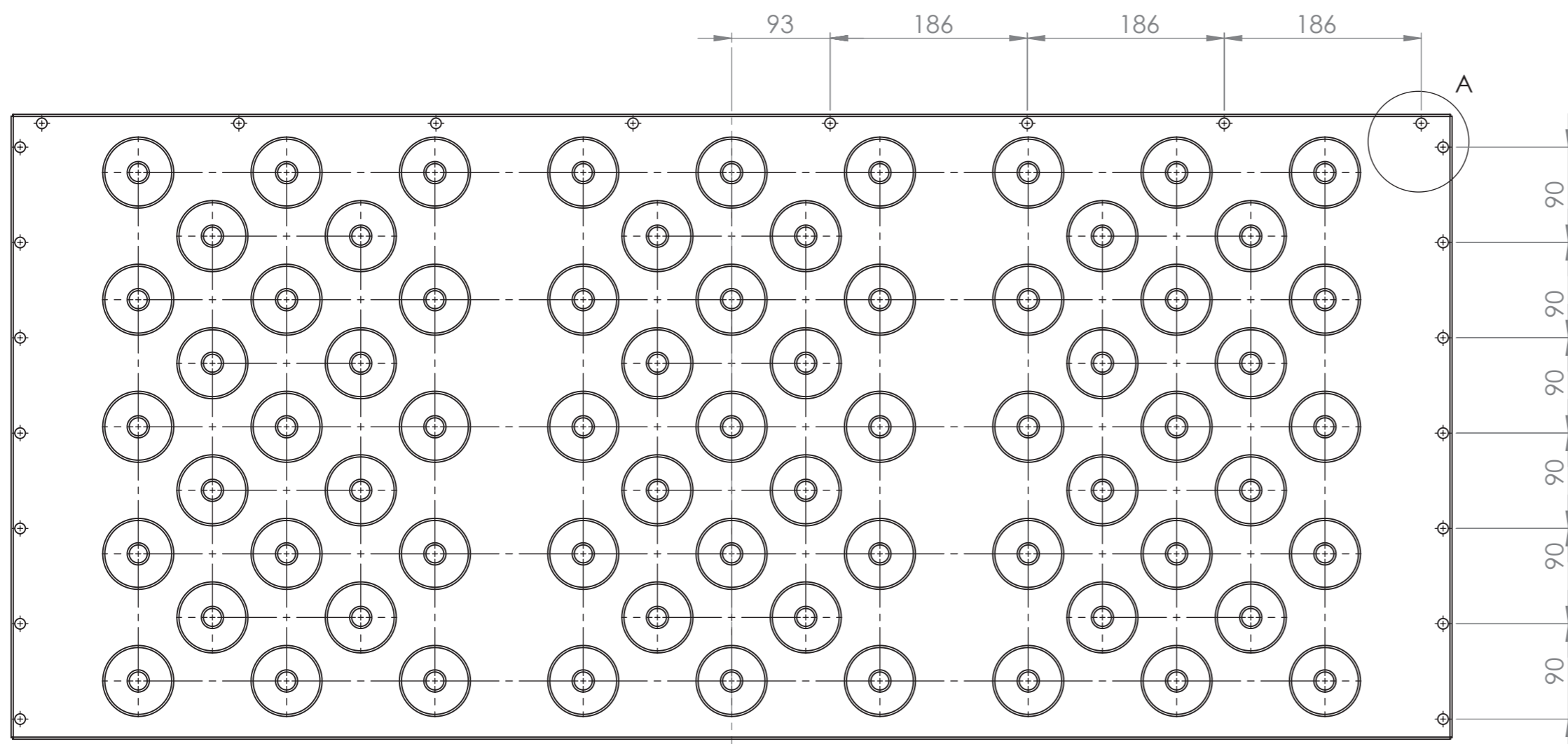
Tehdään 1 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		1.0570, S355J2G3 tai DC 1		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	16.4.2014
	Massa	7 kg	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava	A2	1:5	HILUX	
			Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
			Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
			Kennolevyn 1-puoli	HAK-3301	

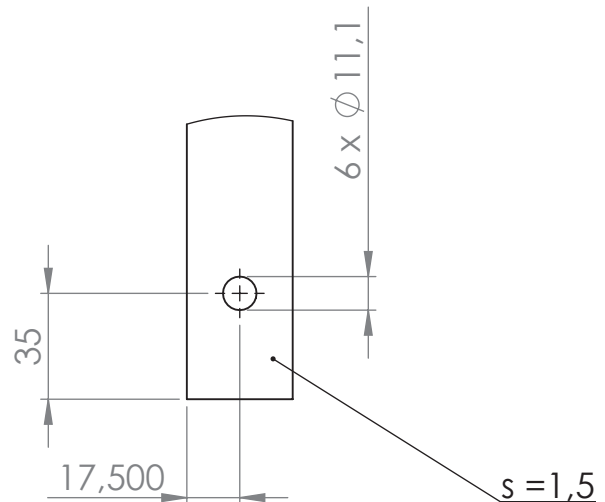
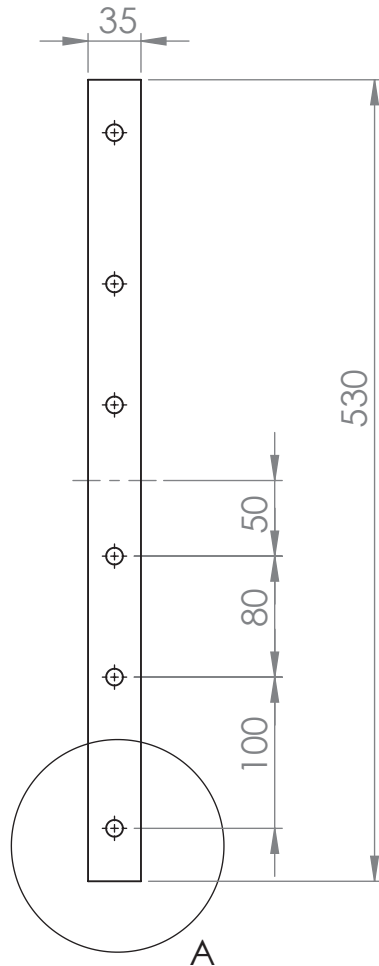


DETAIL A  
SCALE 1 : 1

Tehdään 1 kpl



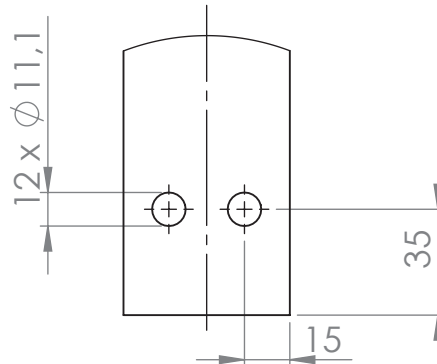
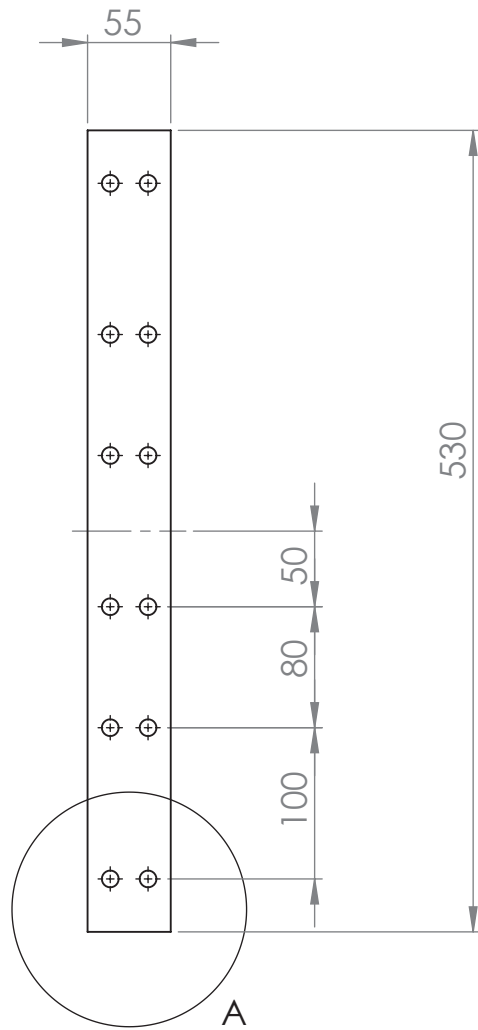
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTÄIVUTUSSÄDE	
1		1.0570, S355J2G3 tai DC 1		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
			HILUX	Tarkastaja	Pvm
	Massa 6,96 kg		Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	Mittakaava A2 1:5	Nimitys	Kennolevyn 2-puoli	Piirustusnumero	Revisio
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>				<p><b>HAK-3302</b></p>	



OSASUURENNOS A  
2 : 5

Tehdään 2 kpl

MATERIAL		1.0116 (S235J2G3)	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK
	Massa	Projekt	HILUX
	0,21 kg	Työnumero	
	Mittakaava	Nimitys	
	A4 1:5	Piirustusnumero	Revisio
 <b>SolidWorks Student Edition</b> For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b> Pvm <b>12.4.2014</b> Tarkastaja Hyväksyjä Pvm <b>HAK-3303</b>	

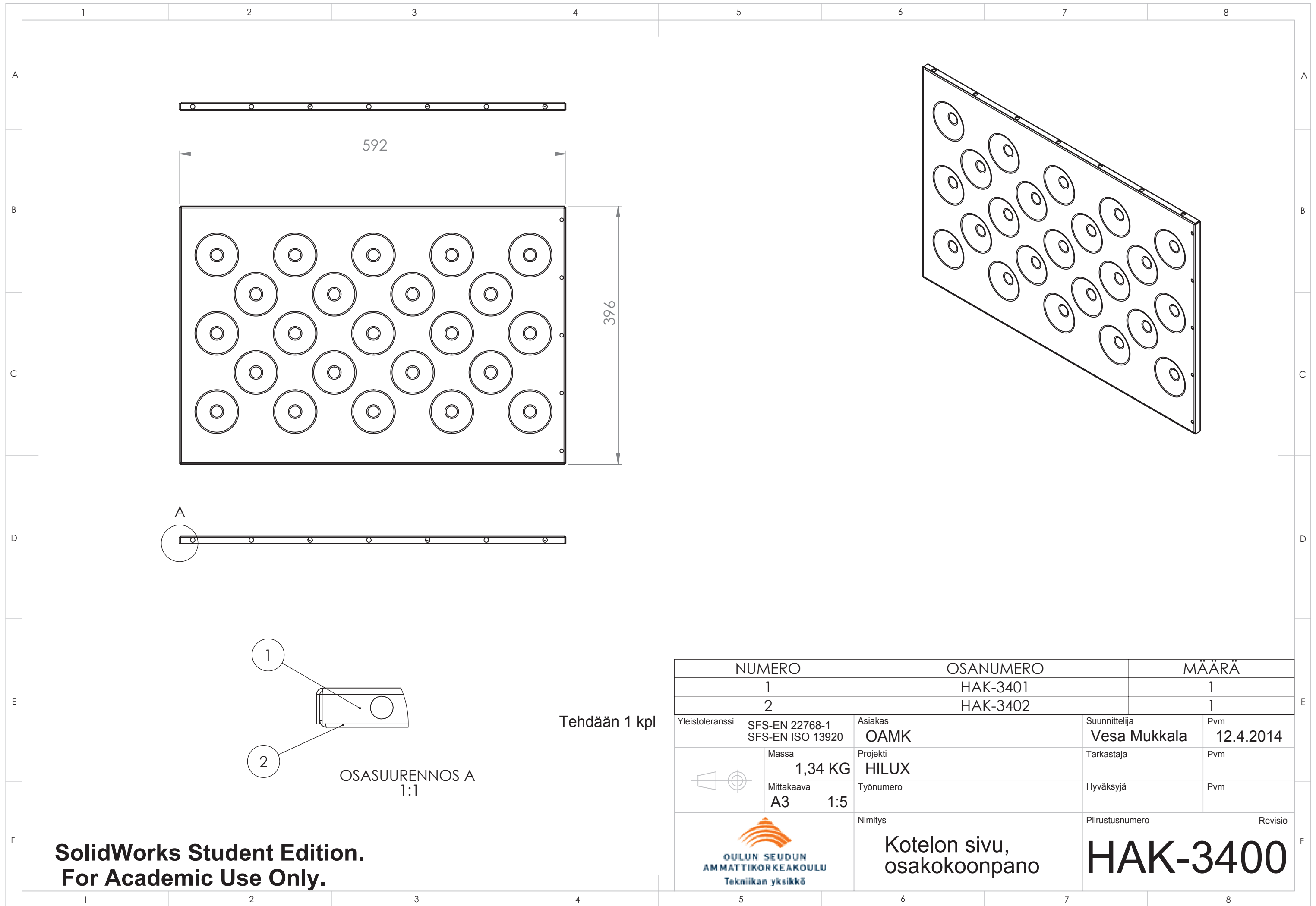


OSASUURENNOS A  
2 : 5



Tehdään 2 kpl

MATERIAL		1.0116 (S235J2G3)	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b> Pvm <b>12.4.2014</b>
	Massa <b>0,33 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja Pvm
	Mittakaava <b>A4 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä Pvm
 <b>SolidWorks Student Edition</b> <b>For Academic Use Only</b> AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Nimitys <b>Akun kiinnityksen vahvistuslevy</b>	Piirustusnumero <b>HAK-3304</b> Revisio

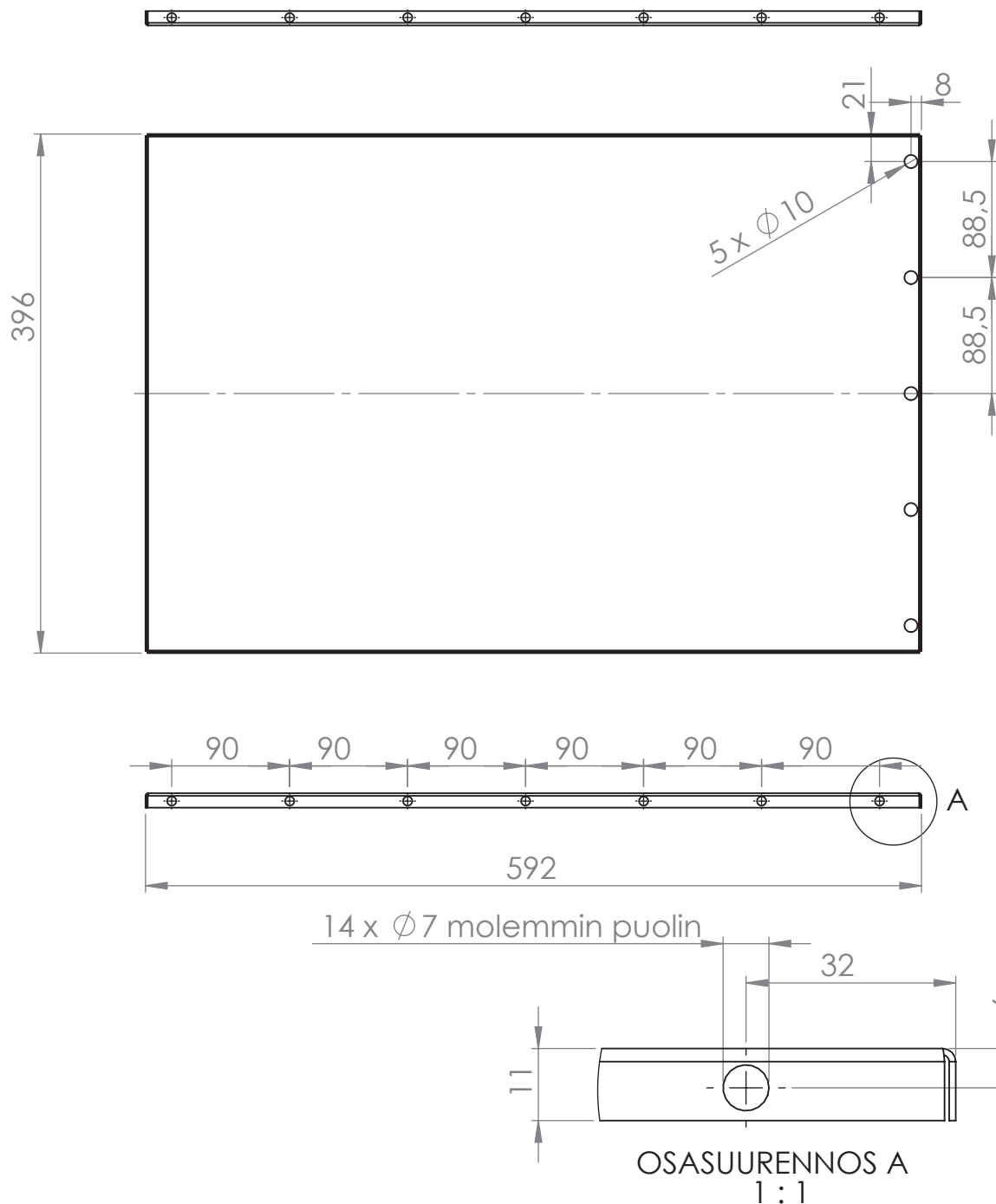


Tehdään 1 kpl

OSASUURENNOS A  
1:1

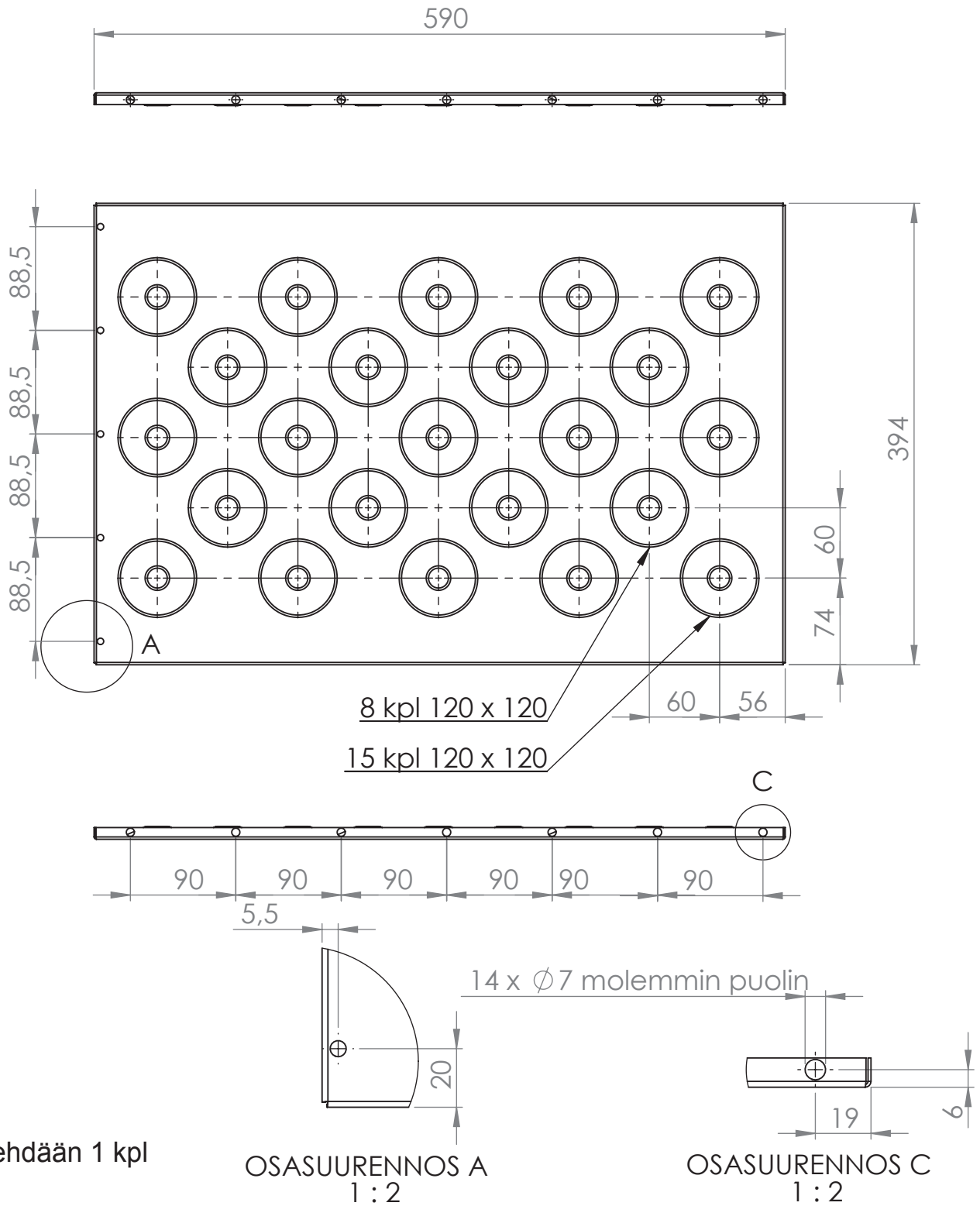
NUMERO		OSANUMERO		MÄÄRÄ	
1		HAK-3401		1	
2		HAK-3402		1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala
		Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	Massa 1,34 KG	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	Mittakaava A3 1:5	Nimitys	Kotelon sivu, osakokoonpano	Piirustusnumero	Revisio
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>				<p><b>HAK-3400</b></p>	

**SolidWorks Student Edition.**  
**For Academic Use Only.**

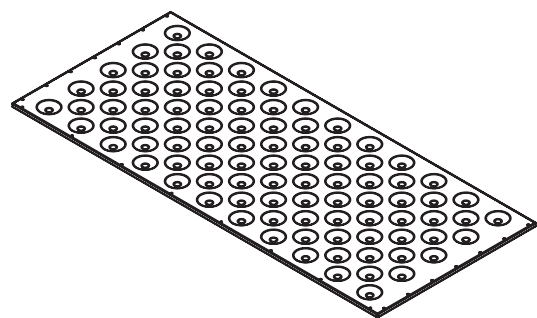
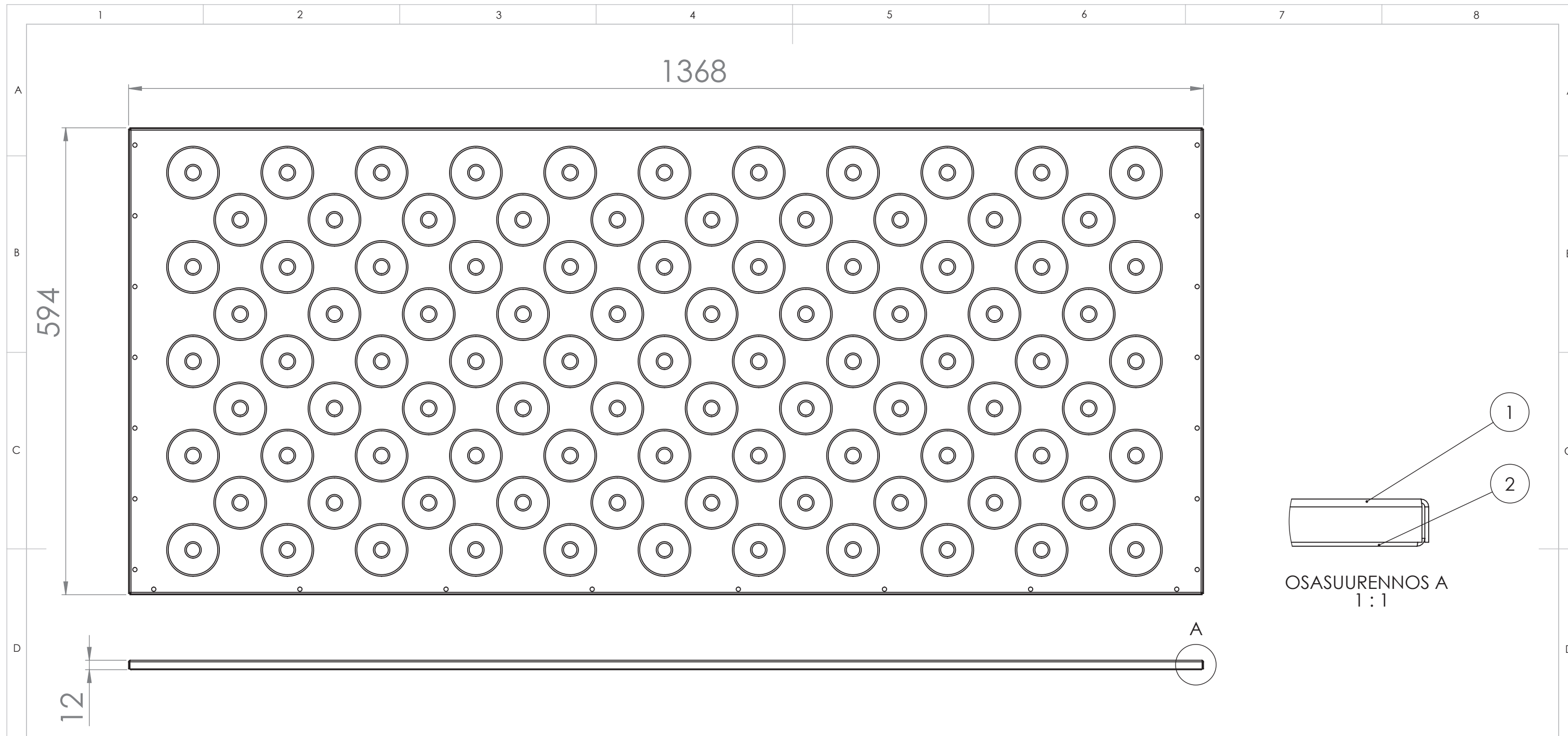


Tehdään 1 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
		Projekt	HILUX	Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	Tarkastaja			Pvm
	0,66 kg	Hyväksyjä			Pvm
	Mittakaava	Nimitys		Piirustusnumero	Revisio
	A4 1:5	Kennolevyn		HAK-3401	
		1-puoli			



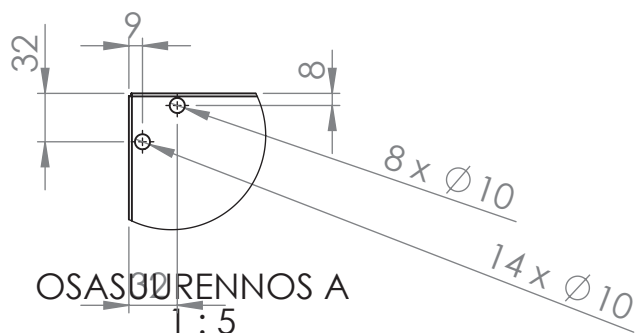
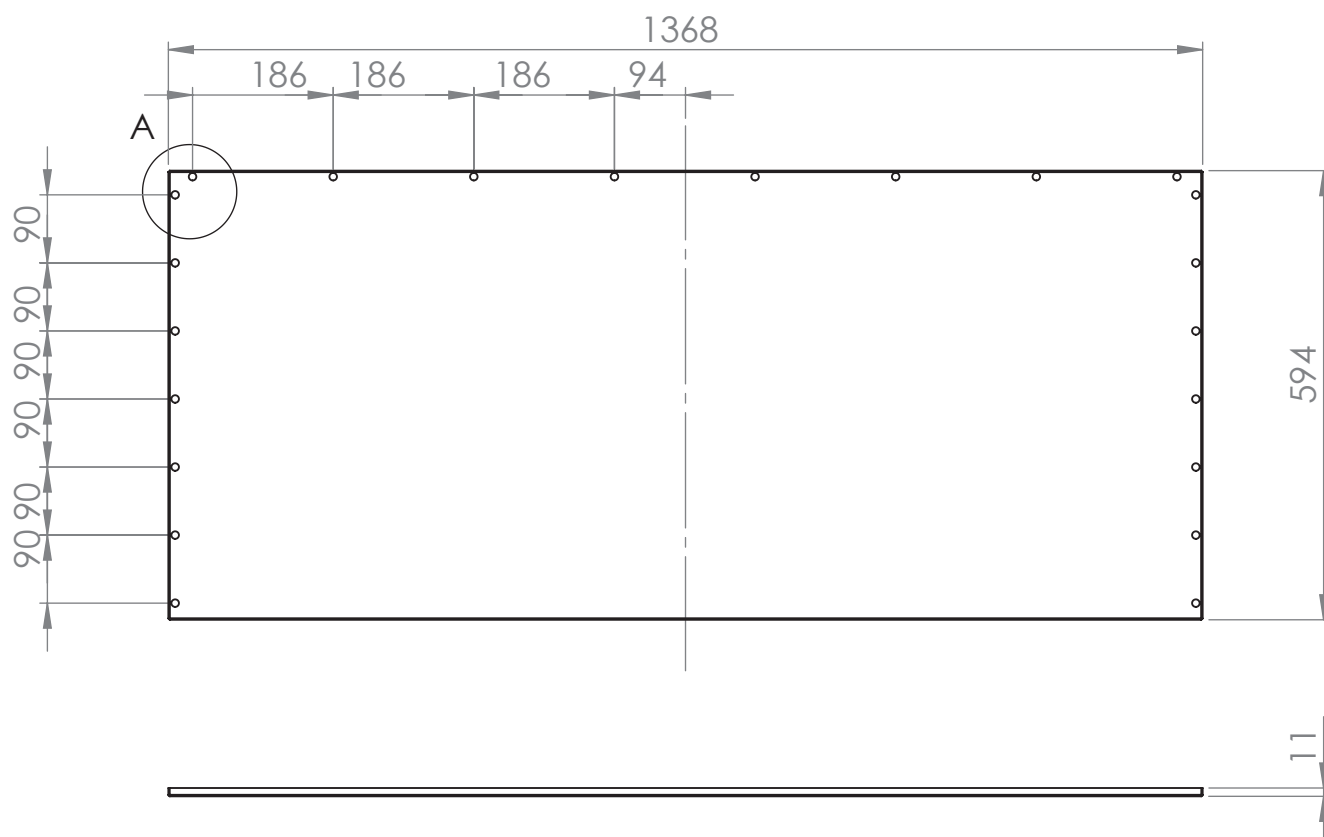
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi		Asiakas	Suunnittelija	Pvm	
SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		OAMK	Vesa Mukkala	12.4.2014	
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm	
	0,68 KG	HILUX			
Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm		
A4 1:5					
Nimitys		Piirustusnumero		Revisio	
<p>SolidWorks Student Edition For Academic Use Only</p> <p>AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		<p>Kennolevyn 2-puoli</p>		<p>HAK-3402</p>	



Tehdään 1 kpl

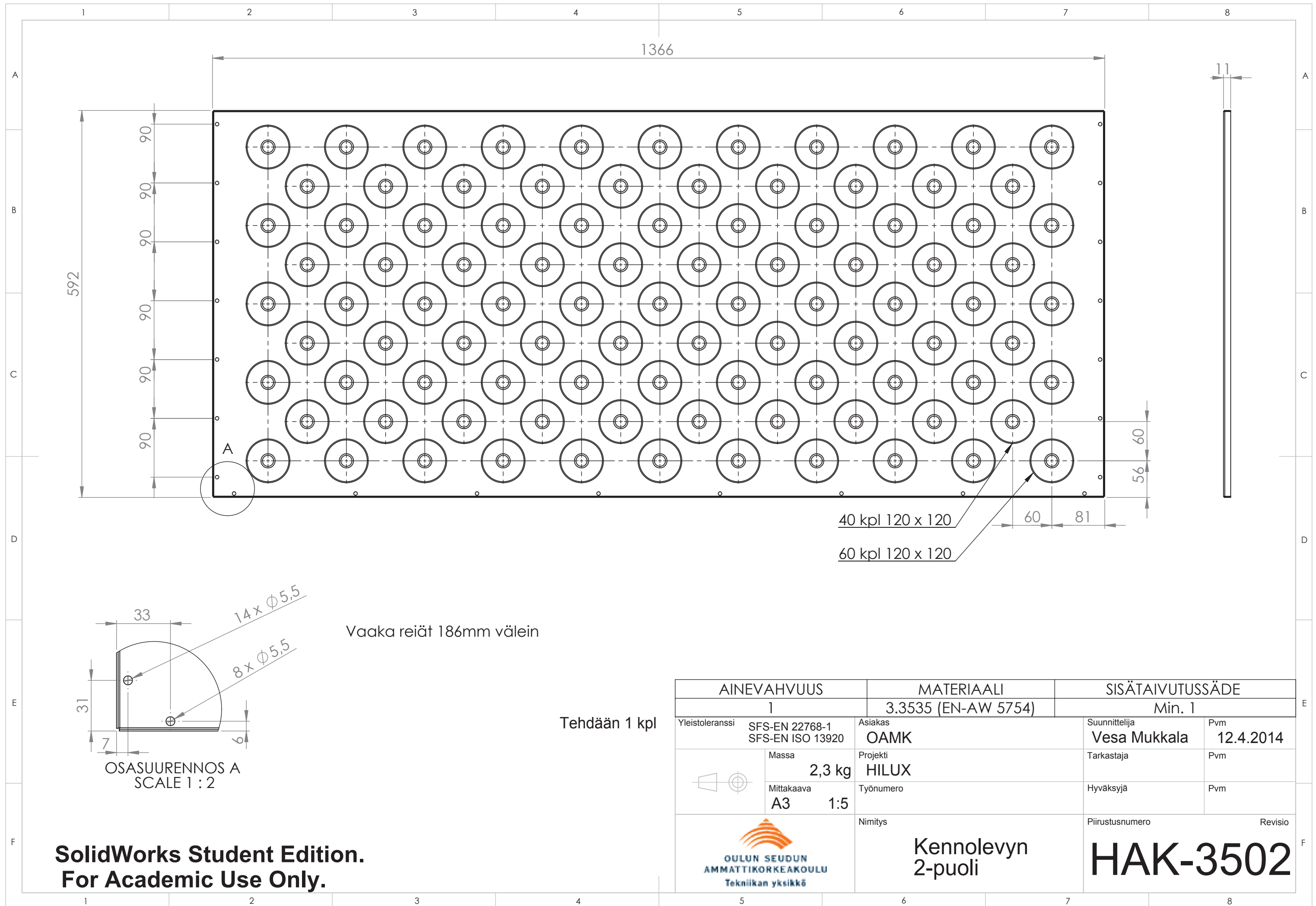
NUMERO		OSANUMERO		MÄÄRÄ	
1		HAK-3501		1	
2		HAK-3502		1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5	Nimitys	Taka-akkukotelon kansi, osakokoonpano	Piirustusnumero	Revisio
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>				<p><b>HAK-3500</b></p>	

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



Tehdään 1 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
		Projekt	HILUX	Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	2,24 kg	Työnumero	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava	A4 1:5		Hyväksyjä	Pvm
			Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö			Kennolevyn 1-puoli	HAK-3501	

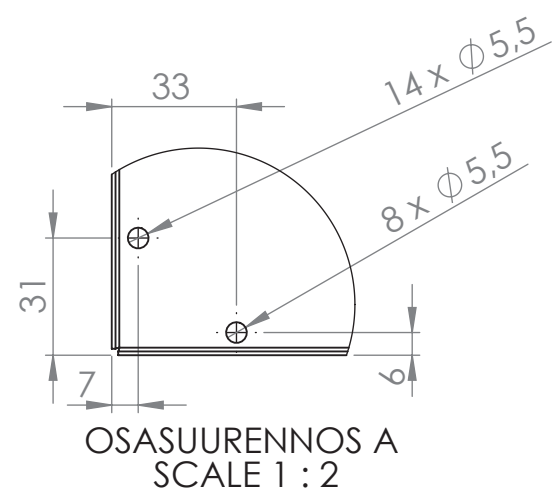


40 kpl 120 x 120

60 kpl 120 x 120

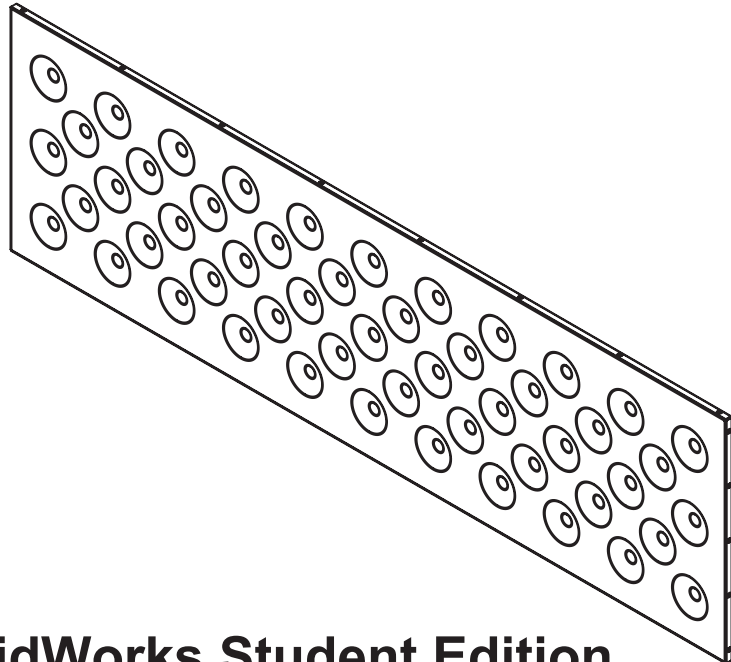
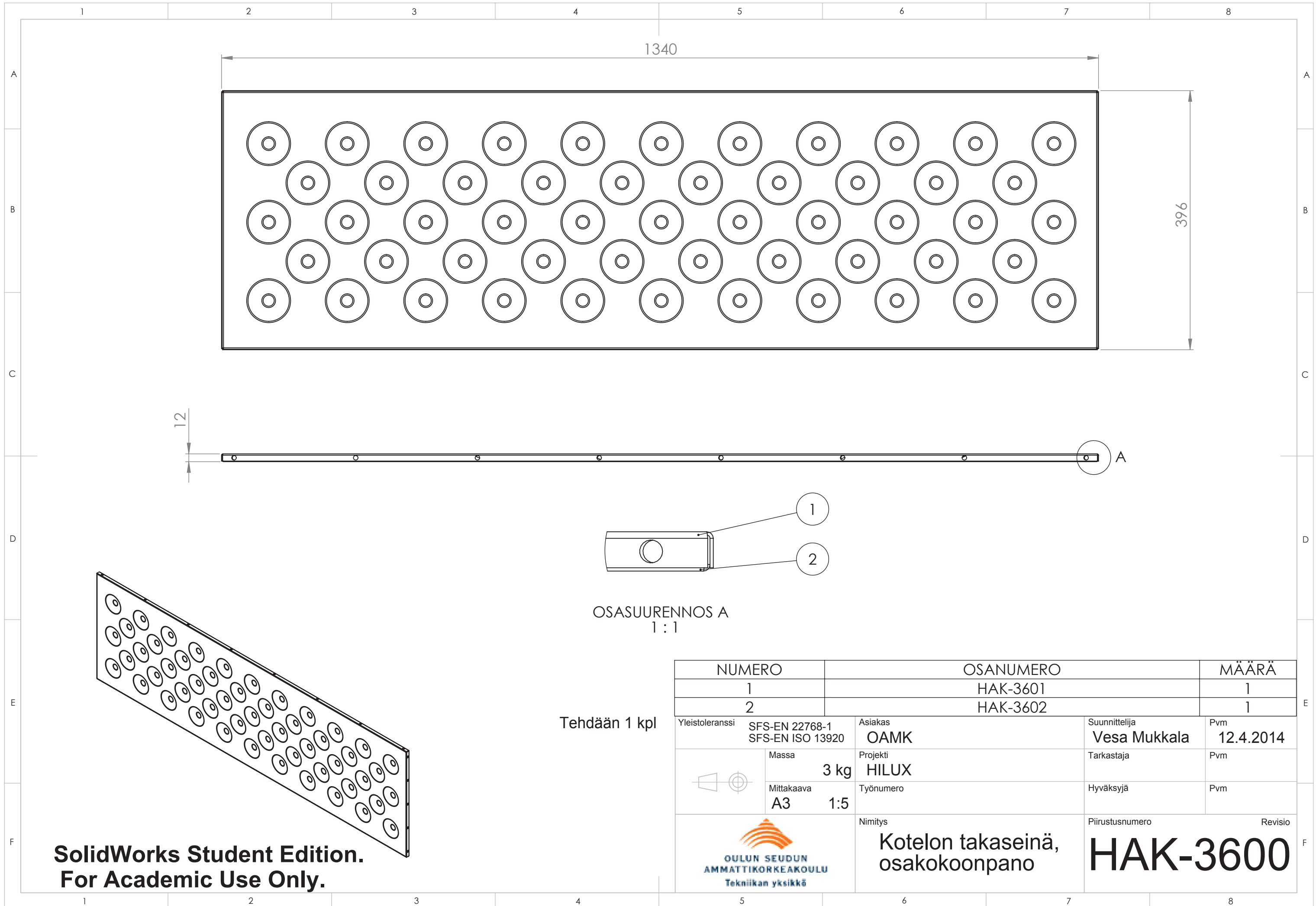
Vaaka reiät 186mm välein

Tehdään 1 kpl



AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	2,3 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5				
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		Nimitys	Piiustusnumero		Revisio
			Kennolevyn 2-puoli		<b>HAK-3502</b>

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

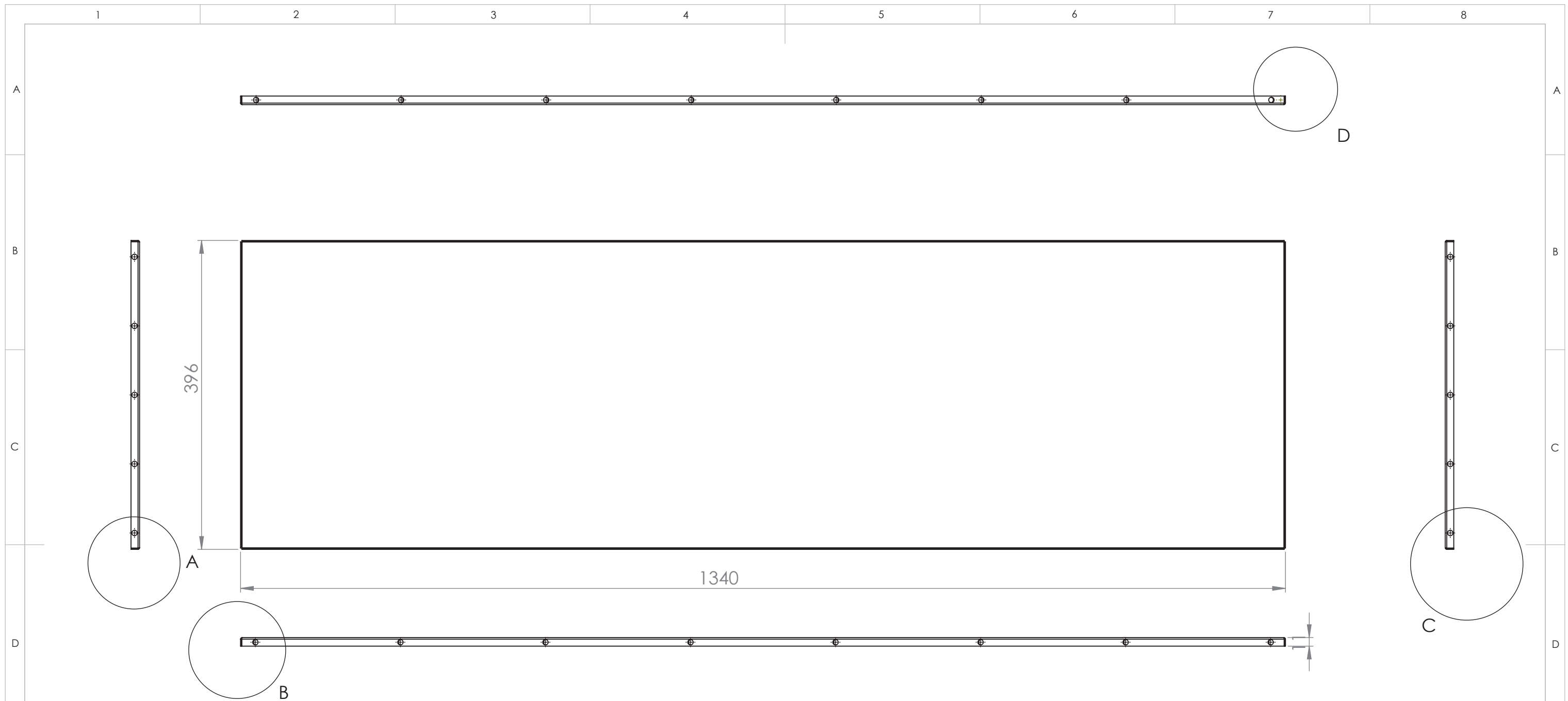


OSASUURENNOS A  
1:1

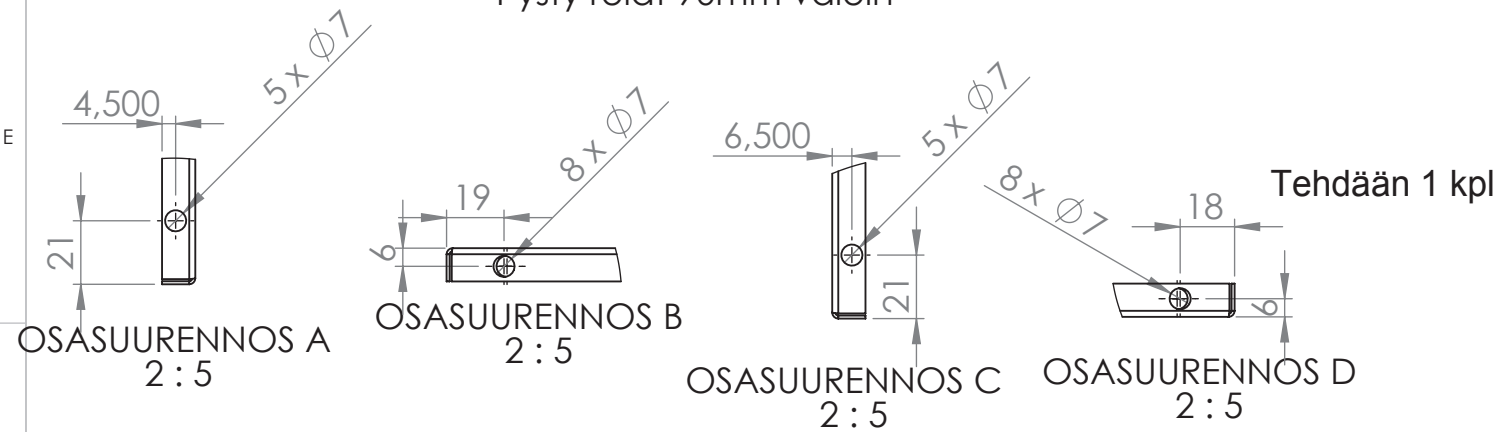
Tehdään 1 kpl

NUMERO		OSANUMERO		MÄÄRÄ
1		HAK-3601		1
2		HAK-3602		1
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
	Massa <b>3 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A3 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Kotelon takaseinä, osakokoonpano</b>	Piirustusnumero	Revisio
				<b>HAK-3600</b>

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**

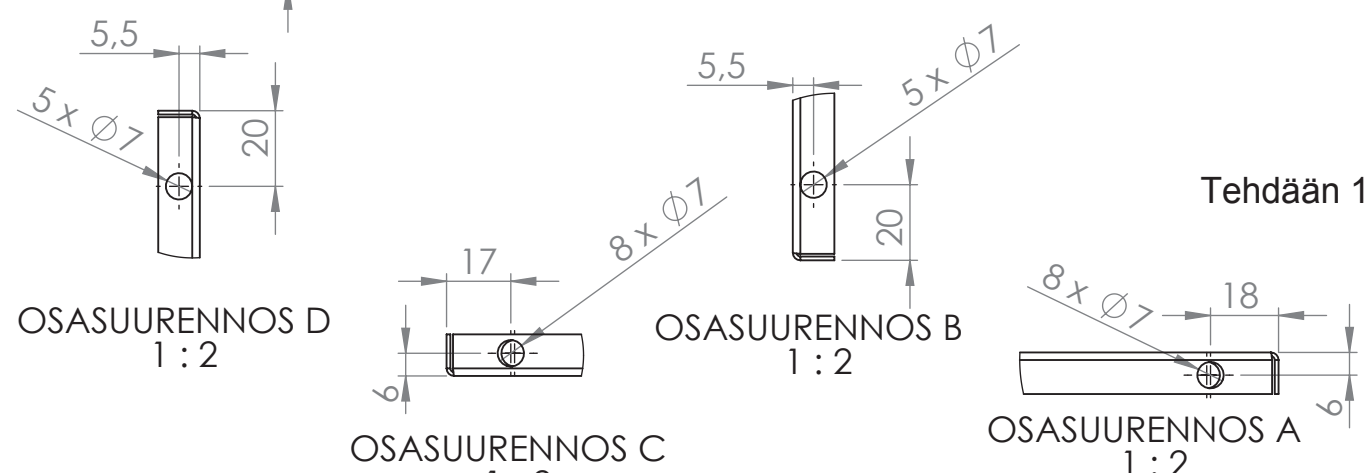
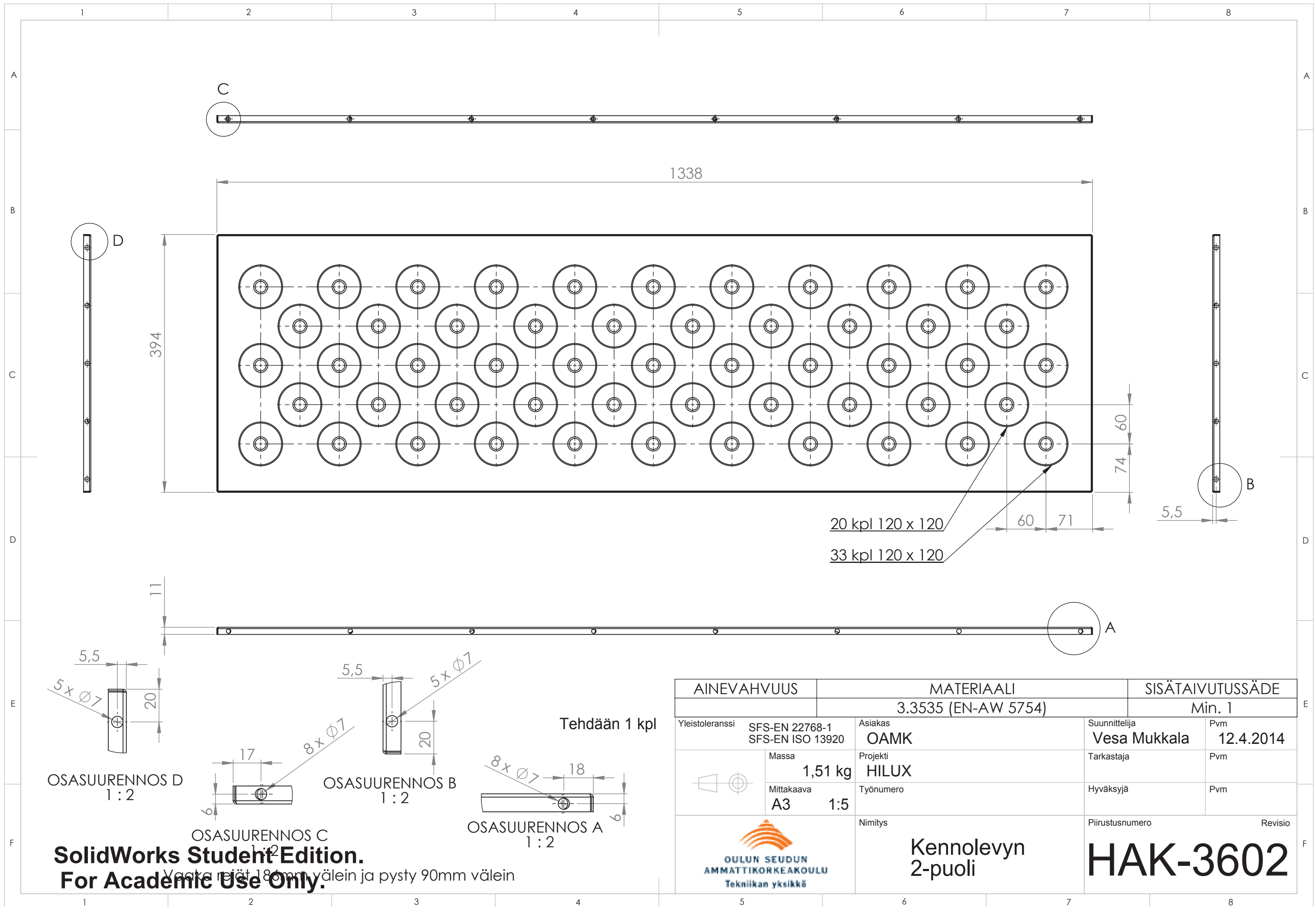


Vaaka reiät 186mm välein  
Pysty reiät 90mm välein



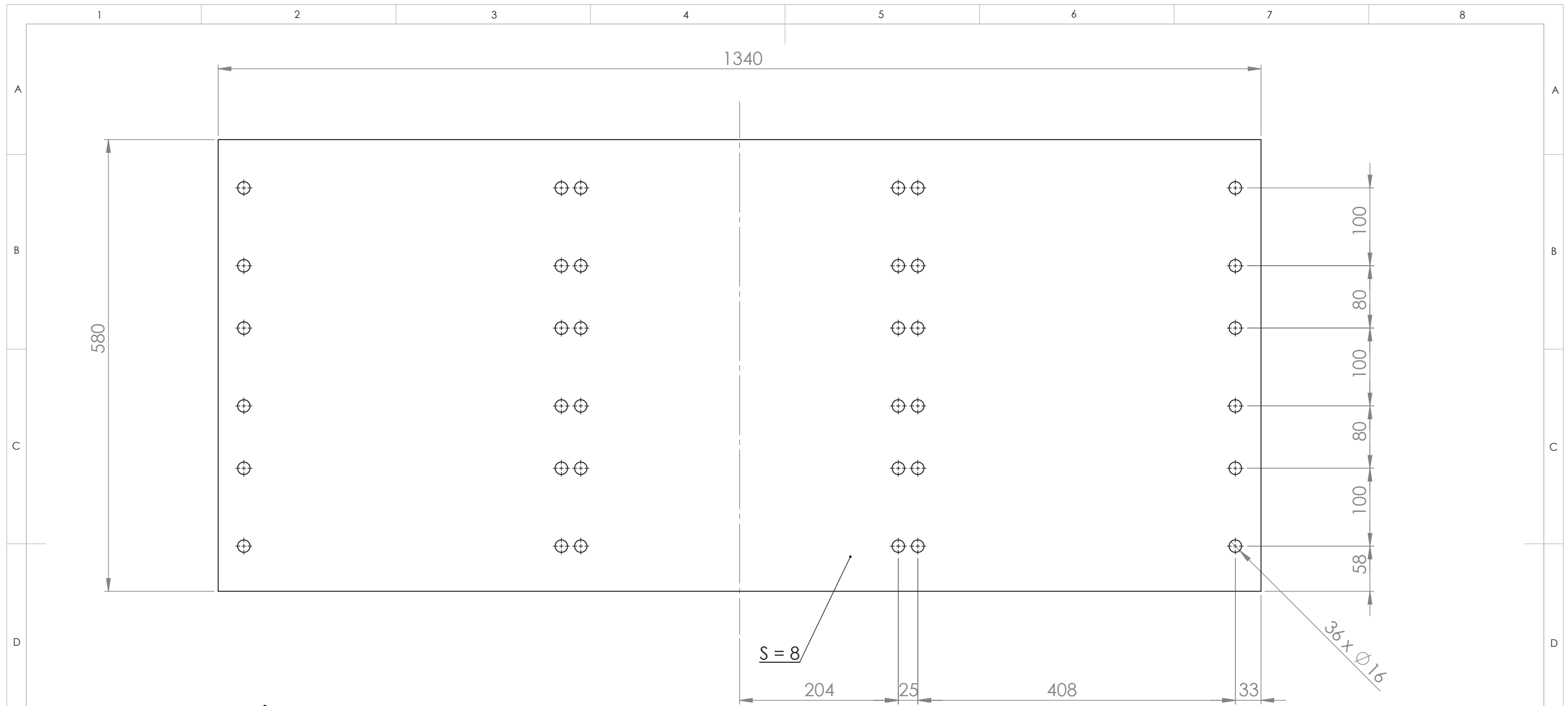
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
1		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	16.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	1,5 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5				
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		Nimitys	Piirustusnumero		Revisio
		Kennolevyn 1-puoli	<b>HAK-3601</b>		

**SolidWorks Student Edition.**  
**For Academic Use Only.**



**SolidWorks Student Edition.**  
**For Academic Use Only.**  
 Vaakamit 18mm välein ja pysty 90mm välein

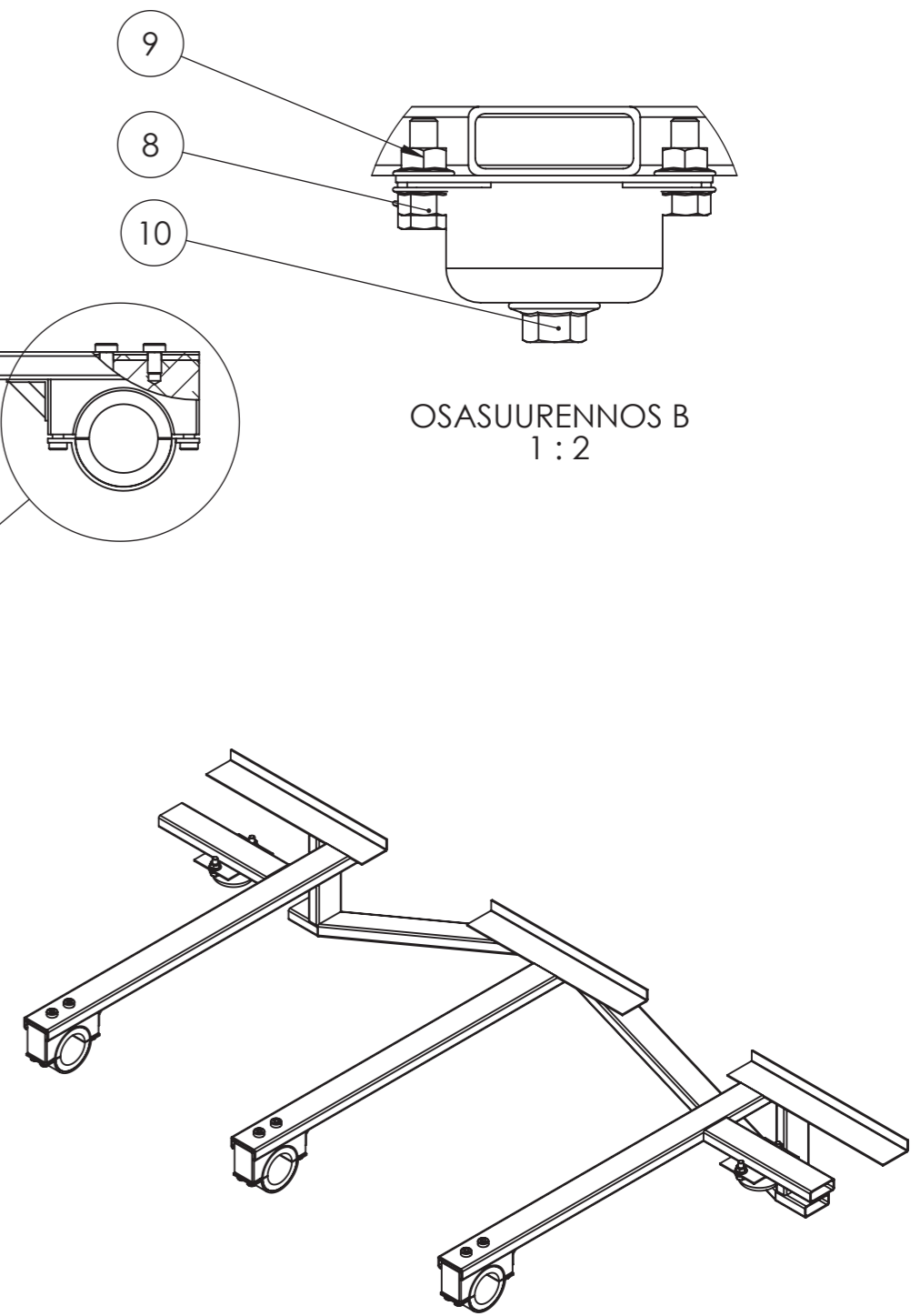
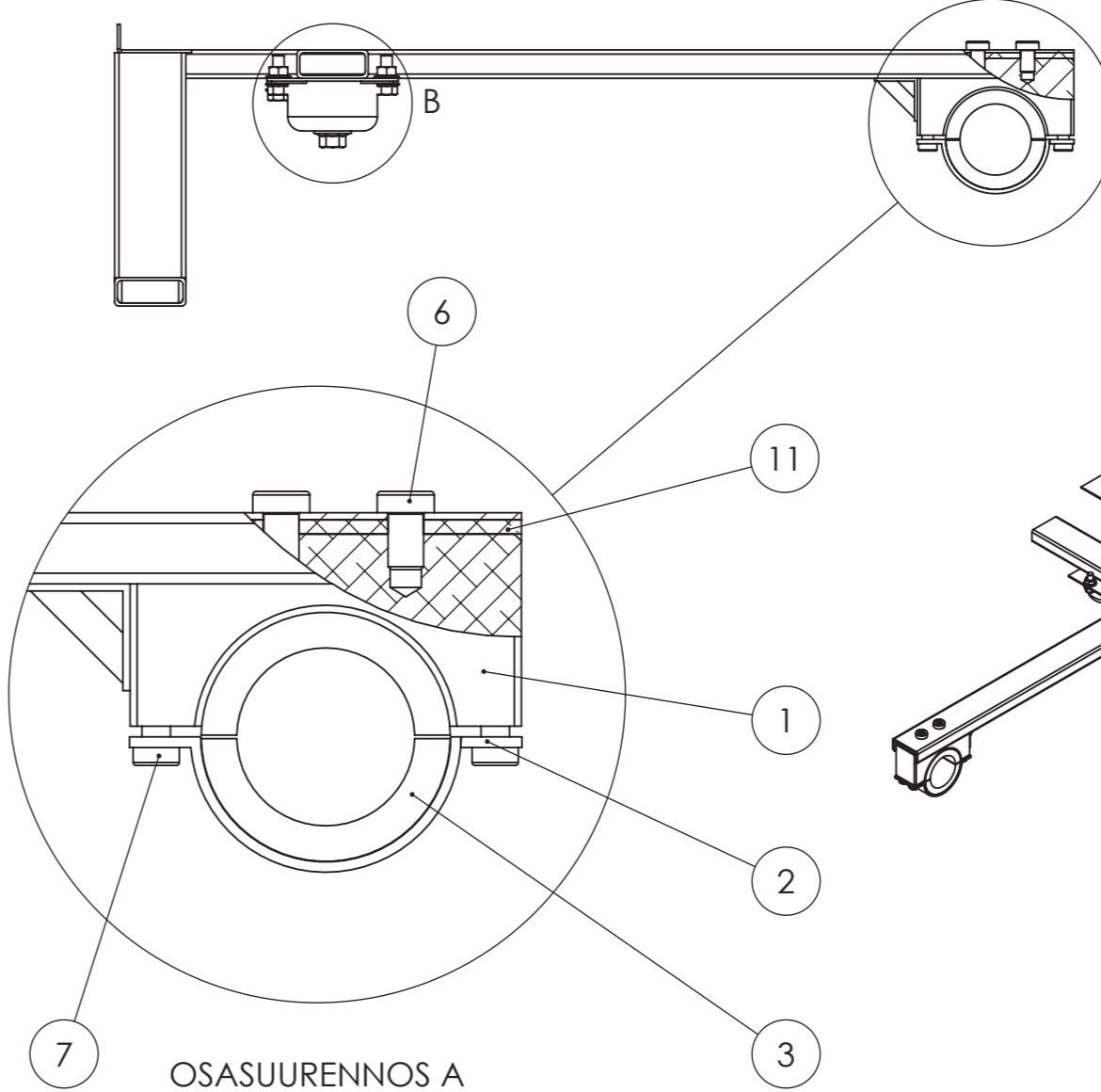
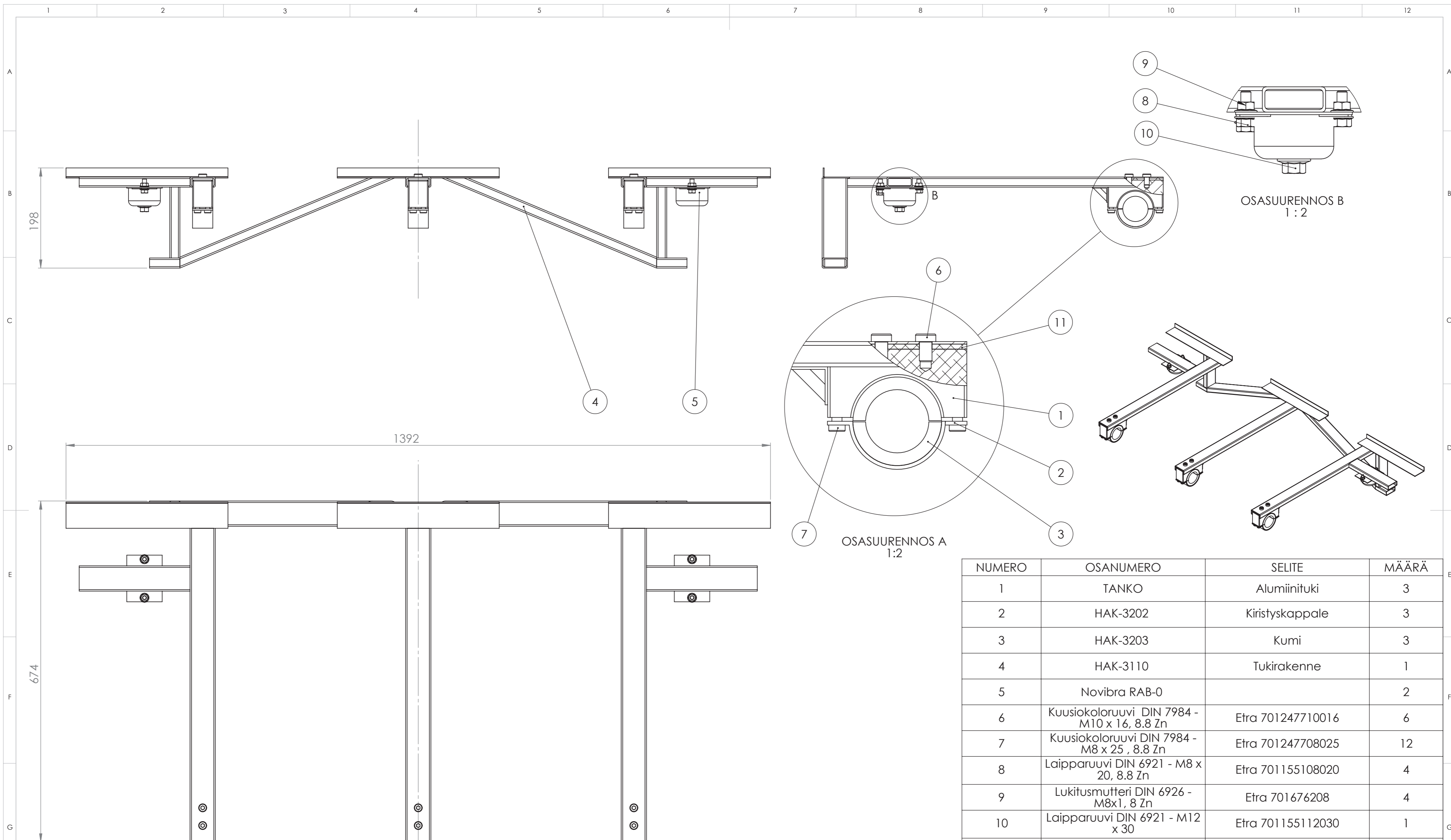
AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAVUTUSSÄDE	
		3.3535 (EN-AW 5754)		Min. 1	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Pvm
				Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	Projekti	HILUX	Tarkastaja	Pvm
	1,51 kg				
	Mittakaava	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:5				
		Nimitys	Kennolevyn 2-puoli	Piirustusnumero	Revisio
				HAK-3602	



Tehdään 1 kpl

MATERIAALI			PE HD 300	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		OAMK	Vesa Mukkala	12.4.2014
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	6,28 kg	HILUX		
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	A3 5			
<p>OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
		Pohjamuovi	HAK-3800	

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.

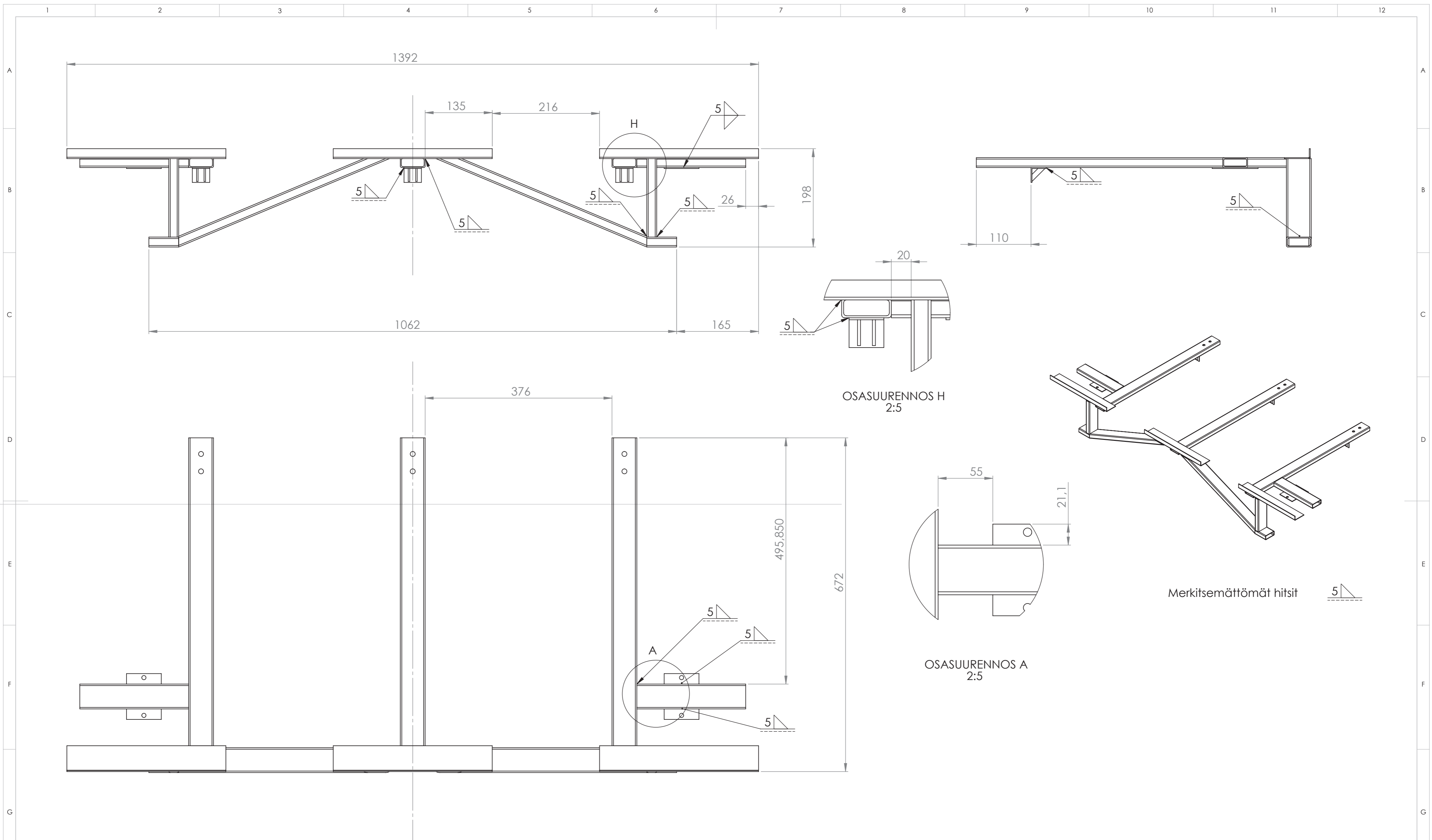


NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	TANKO	Alumiinituki	3
2	HAK-3202	Kiristyskappale	3
3	HAK-3203	Kumi	3
4	HAK-3110	Tukirakenne	1
5	Novibra RAB-0		2
6	Kuusiokoloruuvi DIN 7984 - M10 x 16, 8.8 Zn	Etra 701247710016	6
7	Kuusiokoloruuvi DIN 7984 - M8 x 25, 8.8 Zn	Etra 701247708025	12
8	Laipparuuvi DIN 6921 - M8 x 20, 8.8 Zn	Etra 701155108020	4
9	Lukitusmutteri DIN 6926 - M8x1, 8 Zn	Etra 701676208	4
10	Laipparuuvi DIN 6921 - M12 x 30	Etra 701155112030	1
11	HAK-3204	Suojamuovi	3

Tehdään 1 kpl

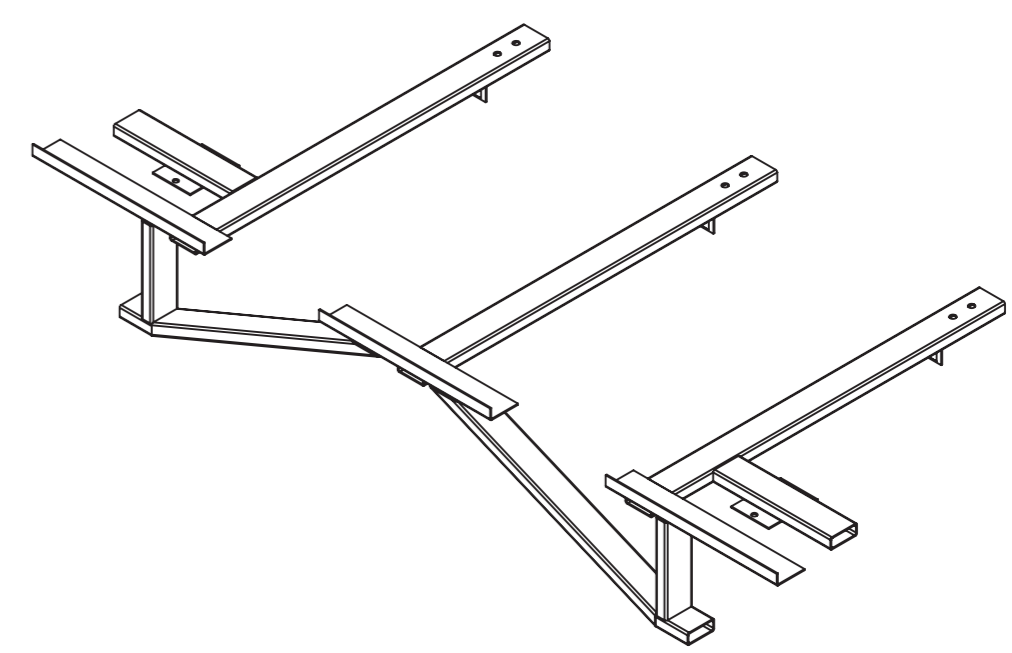
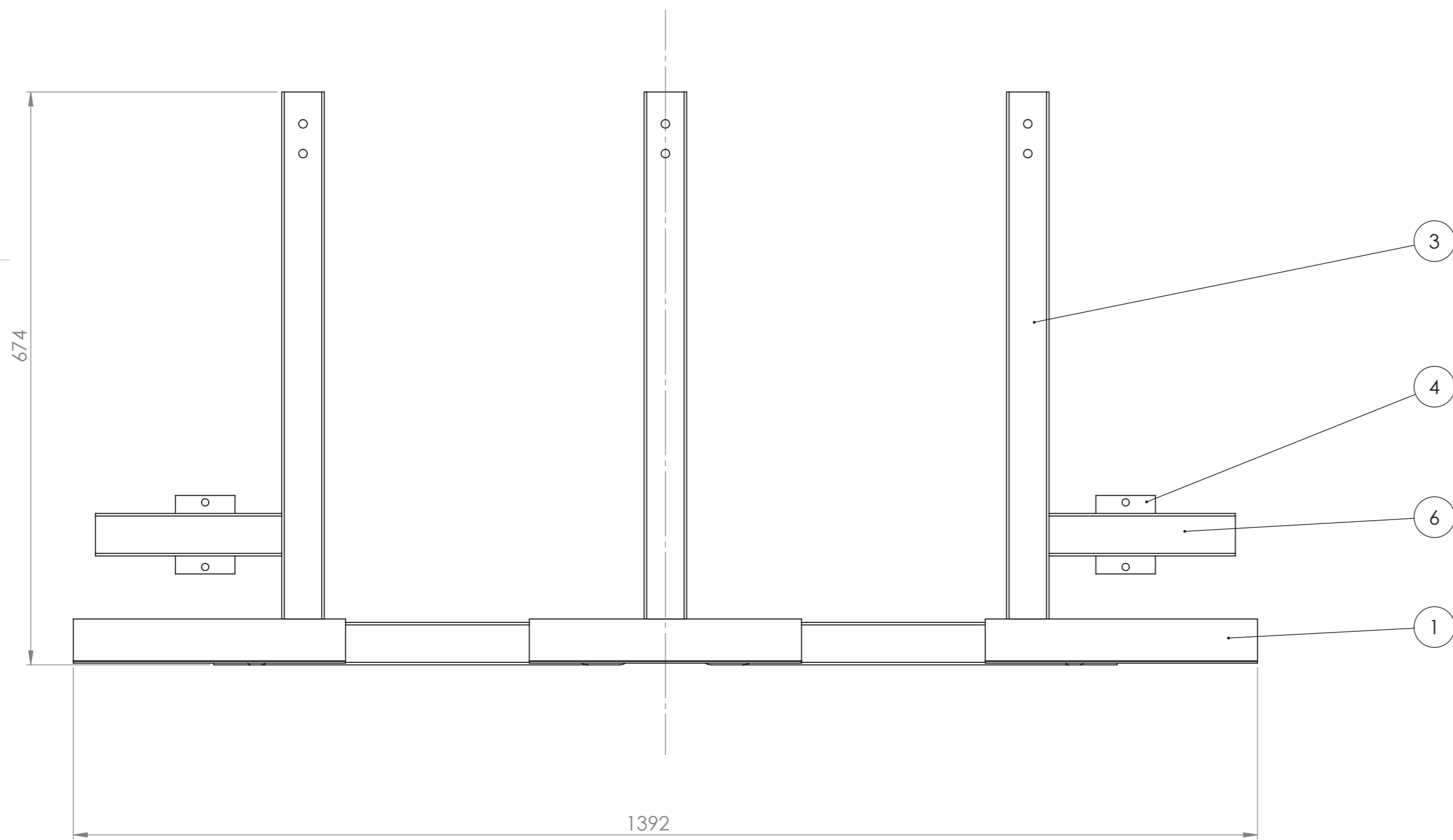
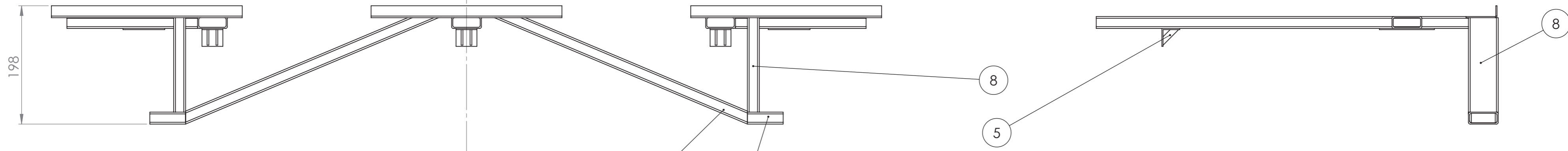
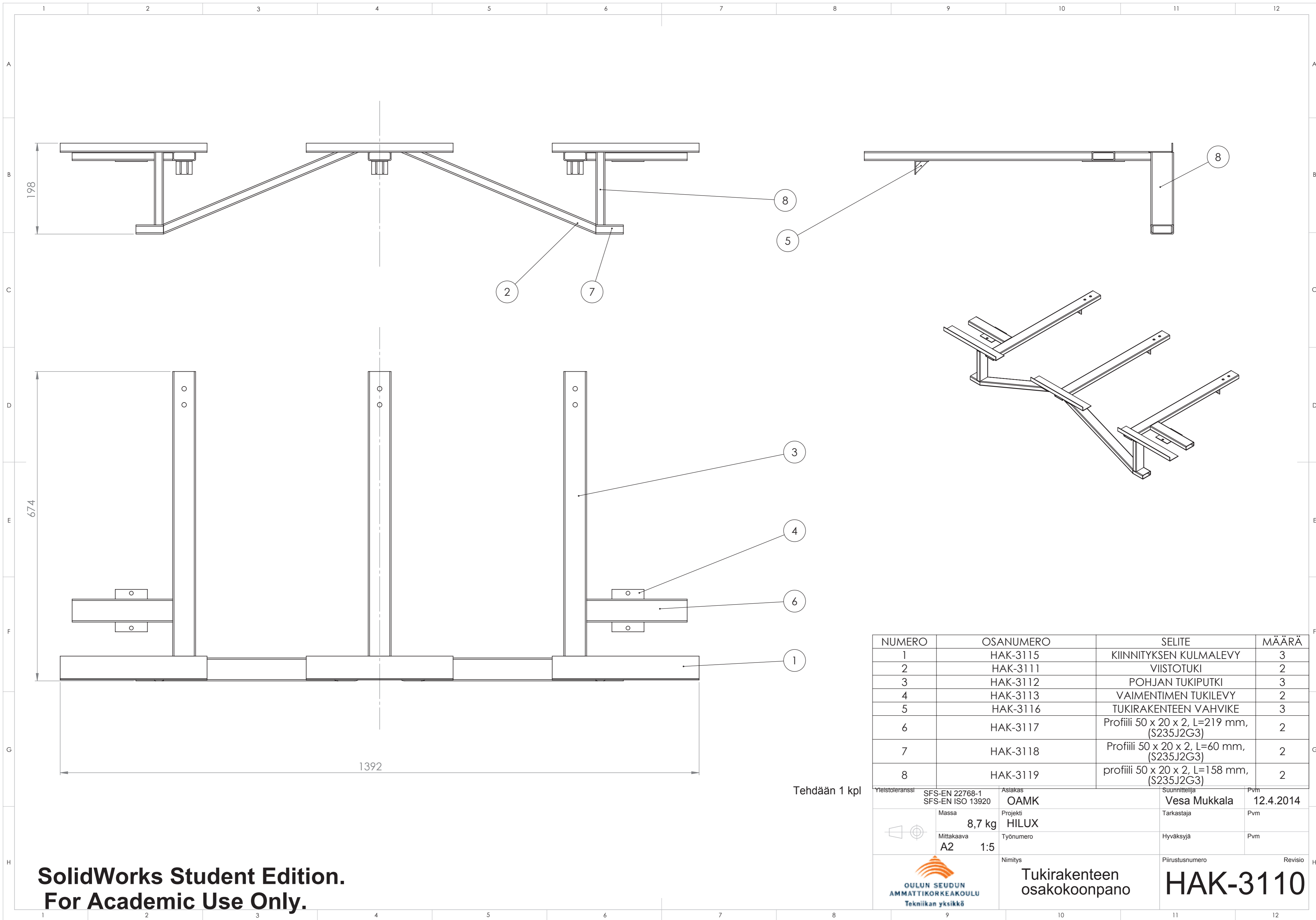
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
Massa	<b>10,65 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
Mittakaava	<b>A2 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Tukirakenteen kokoonpano</b>	Piirustusnumero <b>HAK-3100</b>	Revisio

**SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.**



Tehdään 1 kpl

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala	Pvm	12.4.2014
Massa	8,7 kg	Projekti	HILUX	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A2 1:5	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
		Nimitys	Tukirakenteen hitsauskokooppa	Piirustusnumero	Revisio		
				<b>HAK-3110</b>			

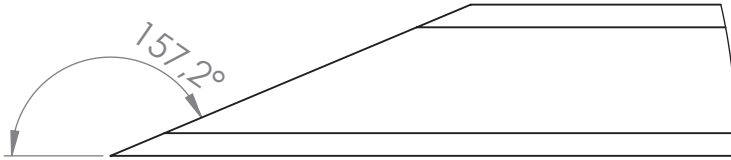
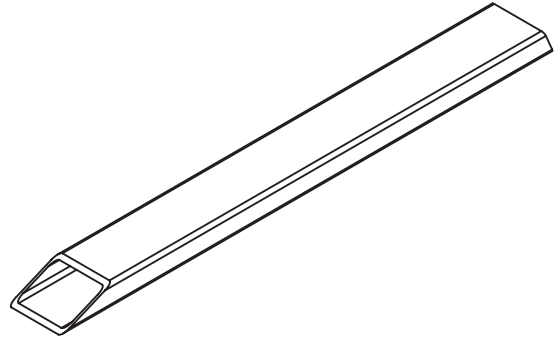


NUMERO	OSANUMERO	SELITE	MÄÄRÄ
1	HAK-3115	KIINNITYKSEN KULMALEVY	3
2	HAK-3111	VIISTOTUKI	2
3	HAK-3112	POHJAN TUKIPUTKI	3
4	HAK-3113	VAIMENTIMEN TUKILEVY	2
5	HAK-3116	TUKIRAKENTEEN VAHVIKE	3
6	HAK-3117	Profiili 50 x 20 x 2, L=219 mm, (S235J2G3)	2
7	HAK-3118	Profiili 50 x 20 x 2, L=60 mm, (S235J2G3)	2
8	HAK-3119	profiili 50 x 20 x 2, L=158 mm, (S235J2G3)	2

Tehdään 1 kpl

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK	Suunnittelija	Vesa Mukkala	Pvm	12.4.2014
Massa	8,7 kg	Projekti	HILUX	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A2 1:5	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
		Nimitys	Tukirakenteen osakokoonpano	Piirustusnumero	Revisio		HAK-3110

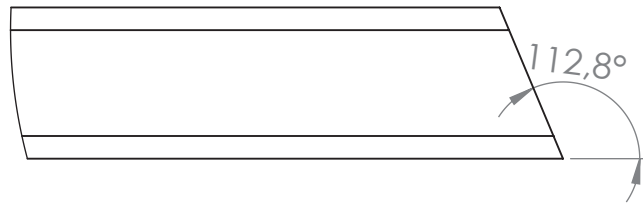
SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



OSASUURENNOS A  
1:1

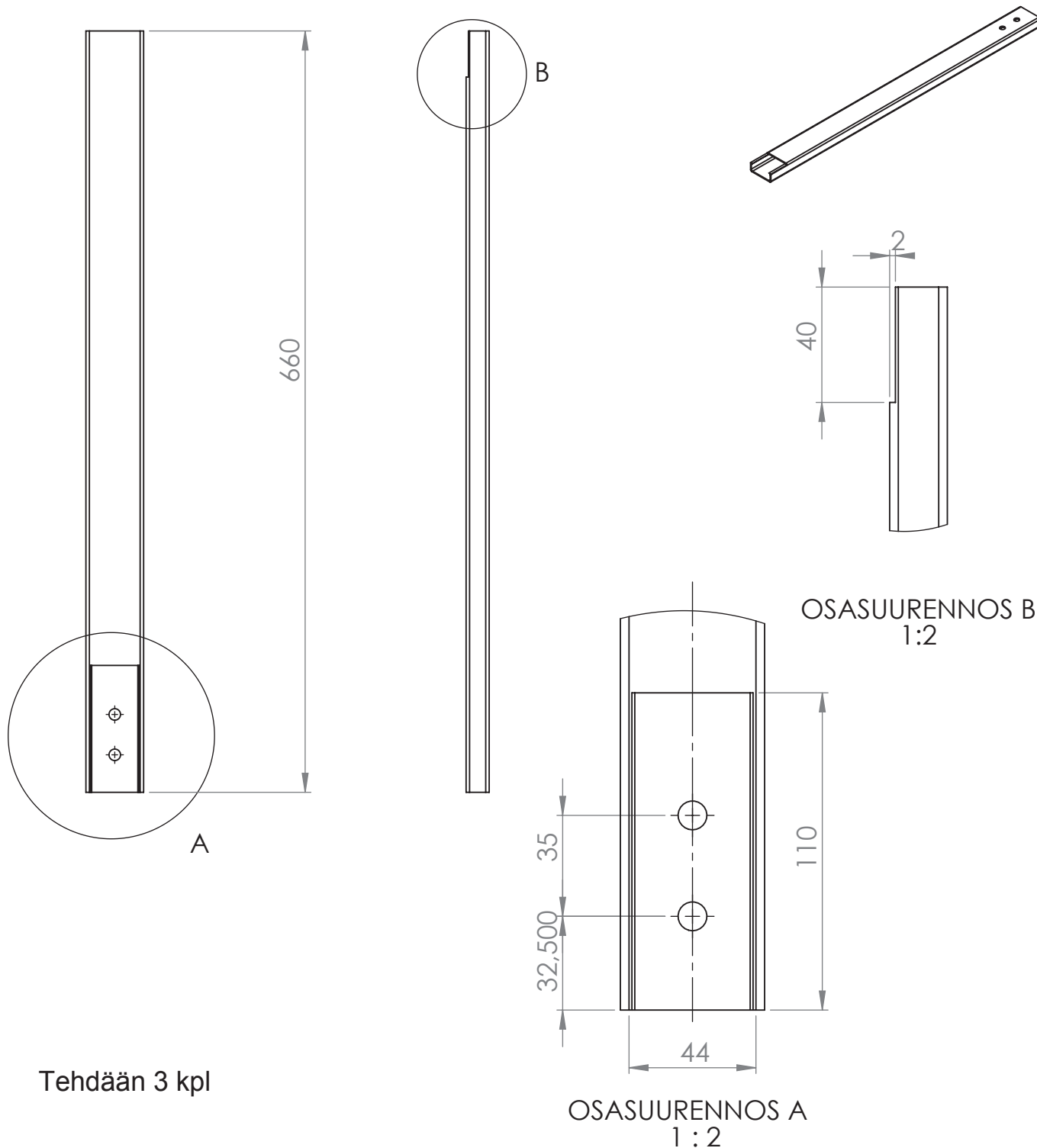



Tehdään 1 kpl

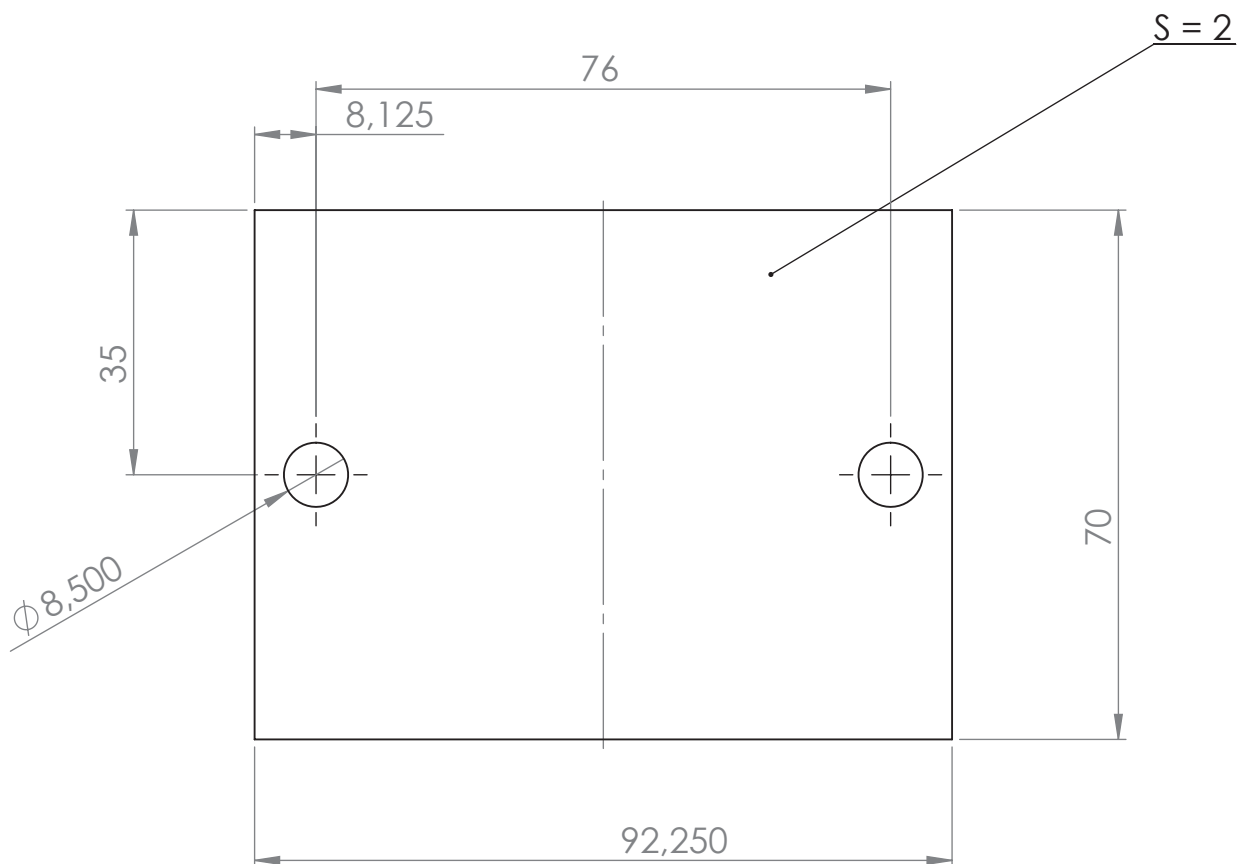
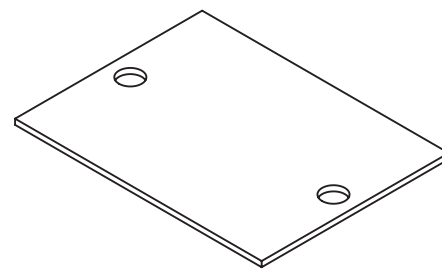


OSASUURENNOS B  
1:1

PROFIILI			MATERIAALI	
50 X 20 X 2			S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
	Massa <b>0,89 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A4 1:5</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
 <b>SolidWorks Student Edition</b> <b>For Academic Use Only.</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>			Nimitys <b>Viistotuki</b>	Piirustusnumero <b>HAK-3111</b>
			Revisio	

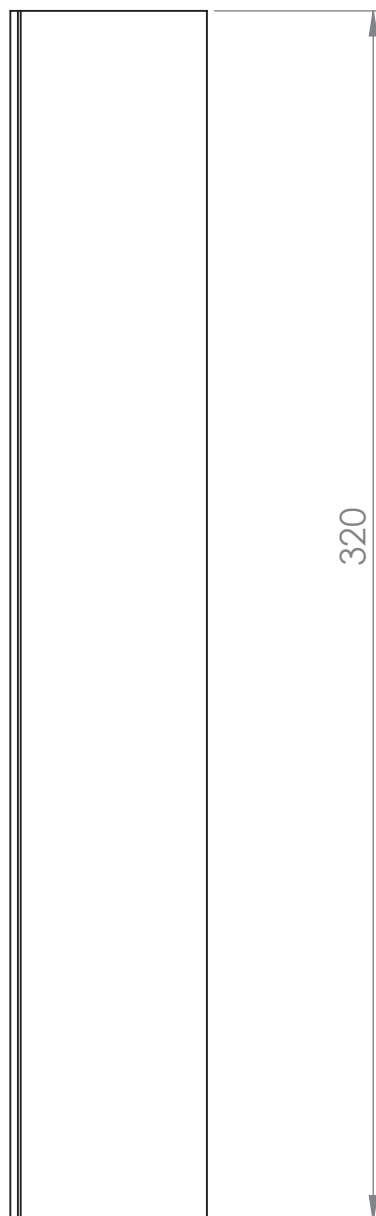
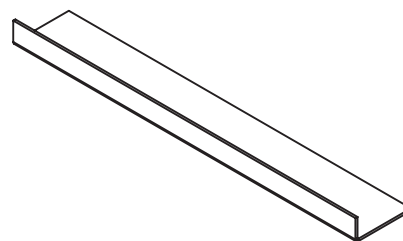
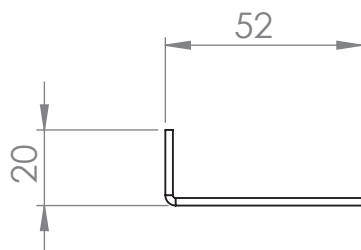


PROFIILI		MATERIAALI	
50 X 20 X 2		S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija
		OAMK	Vesa Mukkala
	Massa	Projekti	Pvm
	1,26 kg	HILUX	12.4.2014
	Mittakaava	Työnumero	Tarkastaja
	A4 1:5		Pvm
		Nimitys	Hyväksyjä
			Pvm
 SolidWorks Student Edition For Academic Use Only AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero <b>HAK-3112</b> Revisio	
Kotelon pohjan lukiputki			



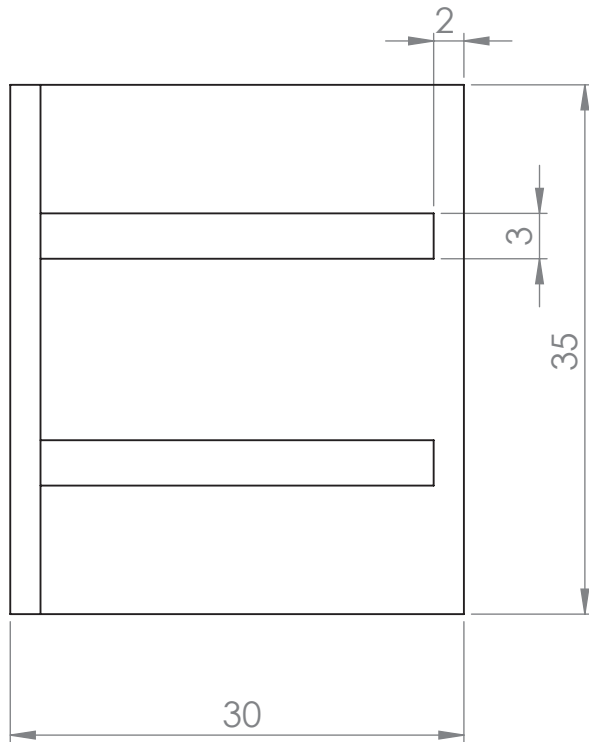
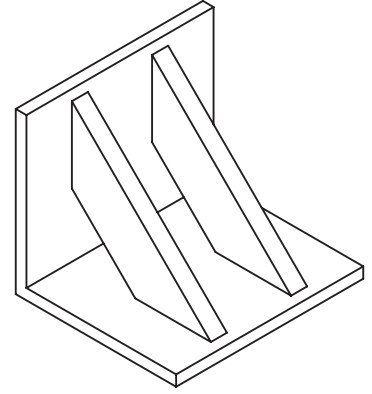
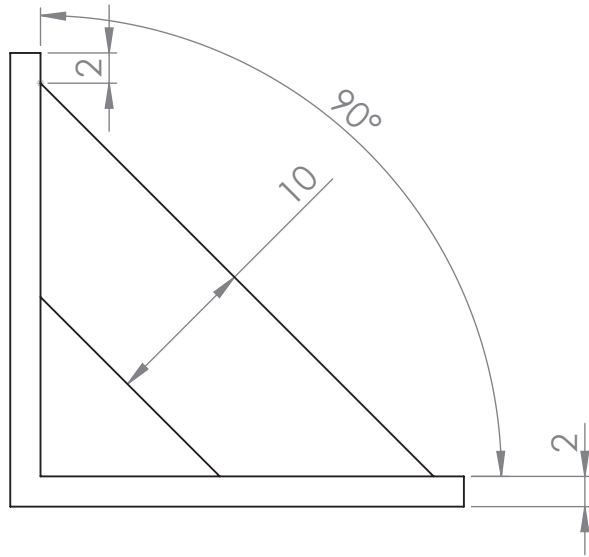
Tehdään 2 kpl

MATERIAALI		S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	OAMK
		Suunnittelija	Vesa Mukkala
		Pvm	12.4.2014
	Massa	Projekt	HILUX
	0,1 kg	Tarkastaja	
	Mittakaava	Hyväksyjä	Pvm
	A4 1:1		
<p>SolidWorks Student Edition For Academic Use Only</p> <p>AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		Nimitys	Varmennimen kiinnityslevy
		Piirustusnumero	HAK-3113
		Revisio	



Tehdään 3 kpl

AINEVAHVUUS		MATERIAALI		SISÄTAIVUTUSSÄDE	
2		1.0116 (S235J2G3)		Min. 2	
Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas <b>OAMK</b>		Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	
Massa <b>0,35 kg</b>		Projekti <b>HILUX</b>		Pvm <b>12.4.2014</b>	
Mittakaava <b>A4 1:2</b>		Työnumero		Tarkastaja	
Nimitys		Hyväksyjä		Pvm	
 <b>SolidWorks Student Edition</b> <b>For Academic Use Only</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>		<b>Kinnityksen</b> <b>kulmalevy</b>		Piirustusnumero <b>HAK-3115</b> Revisio	



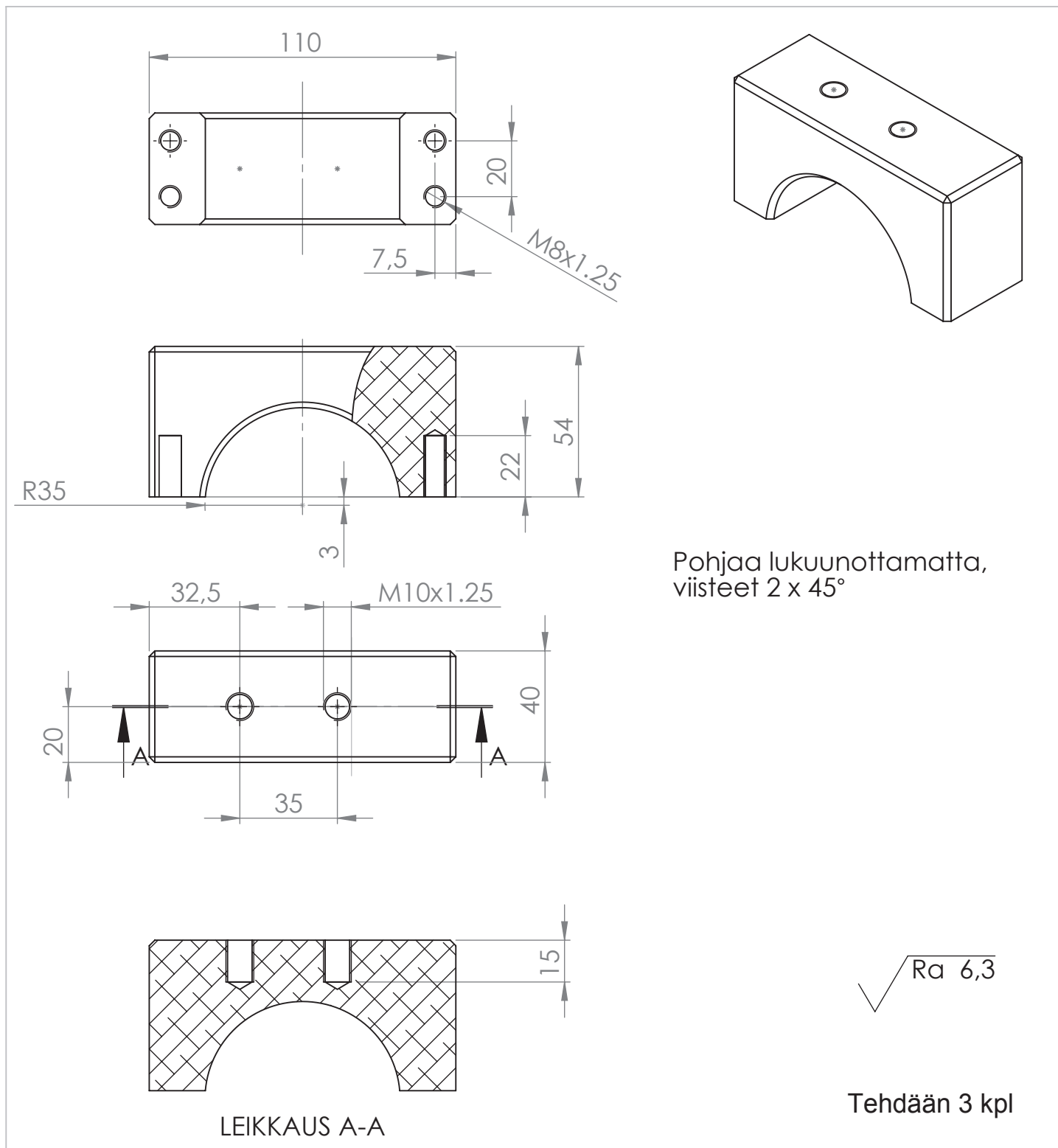
Tehdään 3 kpl

Kaikki hitsaussaumamat

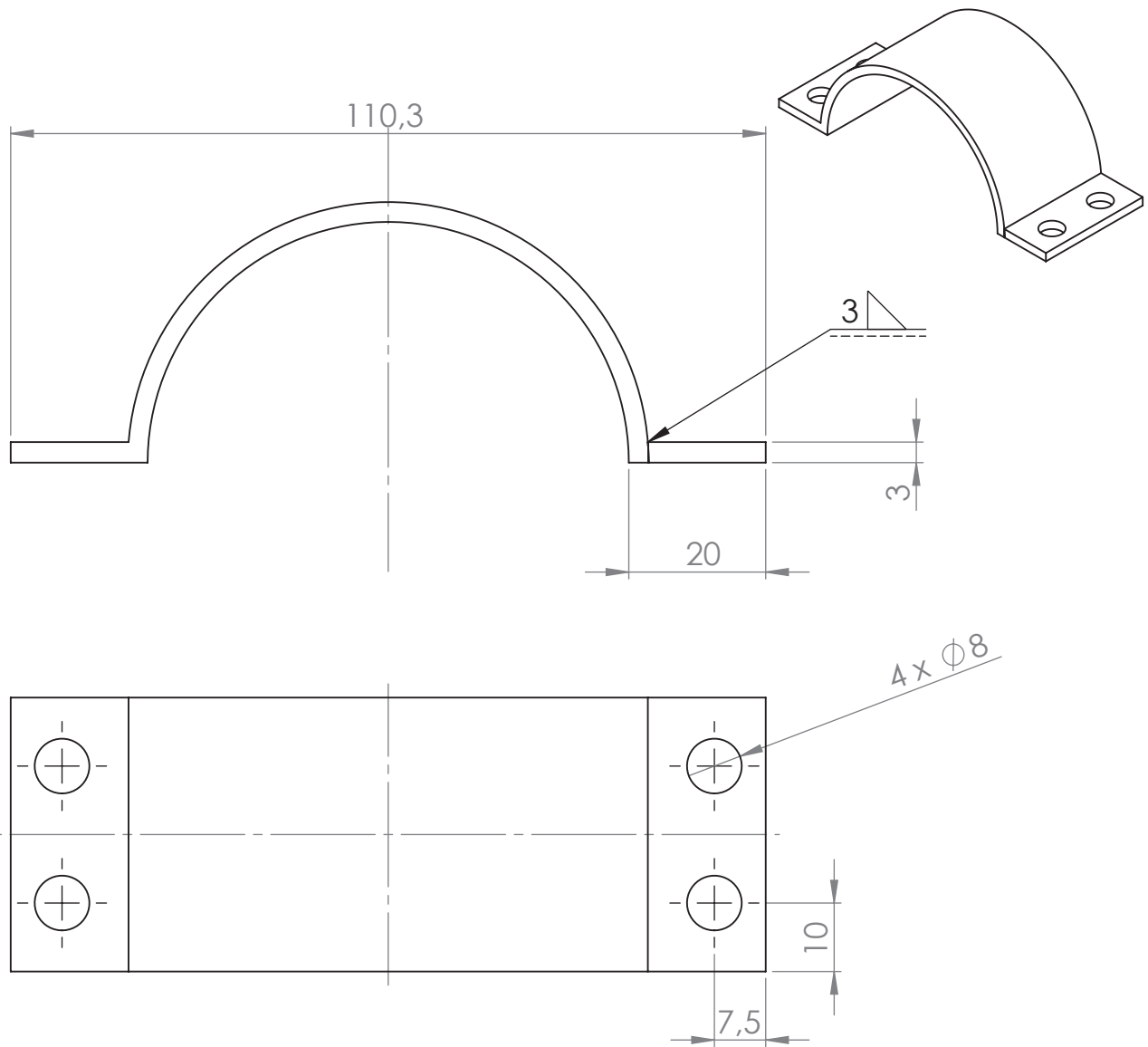


MATERIAALI		S235J2G3	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija
		OAMK	Vesa Mukkala
	Massa	Projekti	Pvm
	44 g	HILUX	12.4.2014
	Mittakaava	Työnumero	Tarkastaja
	A4 2:1		
		Nimitys	Hyväksyjä
			Pvm
<p>SolidWorks Student Edition For Academic Use Only</p>		Piirustusnumero	Revisio
<p>AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikan yksikkö</p>		<p>HAK-3116</p>	


Julkirakenteen vahvike

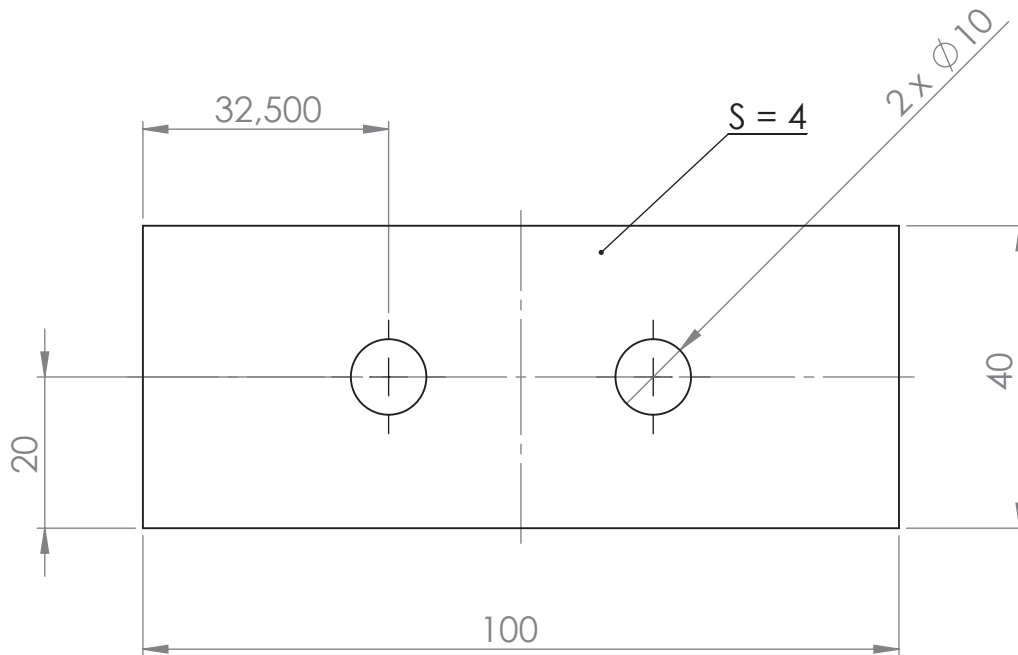
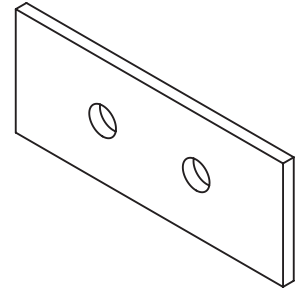


MATERIAALI	AIHIO	PROFIILI	MATERIAALIN STANDARDI
AW 6082 T6	TANKO	40 x 60	EN 573-3
Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.4.2014</b>
Massa <b>0,44 kg</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
Mittakaava <b>A4 1:2</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
Nimitys		Piirustusnumero	Revisio
<b>SolidWorks Student Edition.</b> <b>For Academic Use Only</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>		<b>HAK-3201</b>	



Tehdään 3 kpl

MATERIAALI		PUTKEN ULKOHALK. x PAKSUUS		Putken standardi	
EN 10219 S235JRH		76,1 x 2,9		EN 10219	
Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas <b>OAMK</b>		Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	
Massa <b>0,13 kg</b>		Projekt <b>HILUX</b>		Pvm <b>12.4.2014</b>	
Mittakaava <b>A4 1:1</b>		Työnumero		Tarkastaja Pvm	
Nimitys		Piirustusnumero		Revisio	
 <b>SolidWorks Student Edition.</b> <b>For Academic Use Only</b> <b>AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>Tekniikan yksikkö</b>		<b>Kristyskappale</b>		<b>HAK-3202</b>	



Tehdään 3 kpl

MATERIAALI			PE HD 300	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>OAMK</b>	Suunnittelija <b>Vesa Mukkala</b>	Pvm <b>12.2.2014</b>
	Massa <b>15 g</b>	Projekti <b>HILUX</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A4 1:1</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
 <b>Suojamuovi</b> <b>alumiinille</b>			Piirustusnumero	Revisio
			<b>HAK-3204</b>	

Materiaali / Eriste	Paksuus (mm)	Pituus (mm)/ Määrä	Leveys (mm)	Lämmönjohtavuus (l)	Paloluokka	Käyttölämpötila
Finfoam FI-300	20	2500	600	0,035	F (EN13501-1)	-150...+75
Aerogel-lisäeriste	10	5 m <sup>2</sup>		0,014	C-s1, d0	-200...+200
Spaceline Comfort	10	Tilauksesta	1450 mm	0,014	C-s1, d0	-200...+200
Vicover lämpönauha, erikoismitat	5 - 10	1450	5 - 300	0,014	C-s1, d0	-200...+200
Spacetec PE	10	Tilauksesta	1450 (rulla)	0,014	-	-50...+70
Spacetec PU	10	Tilauksesta	1450 (rulla)	0,014	-	-70..+120
Spacetec AL	10	Tilauksesta		0,014	-	-200..200
Spacetec FireResist	10	Tilauksesta	1450 (rulla)	0,014	-	-200..200
Spacetec Multi-layer	Räätälöitävissä käyttökohteen mukaan erilaisia kokoonpanoja.					

Aerogel-pohjaisien eristeiden hinnat alkavat n.65 € / 5 m<sup>2</sup>

Finfoam FI-300, 20 mm n.19 € / 5 m<sup>2</sup>



# RAB™



## Novibra® type RAB™

Effective isolation of vibration and noise on different machinery with rotating movements, e.g.

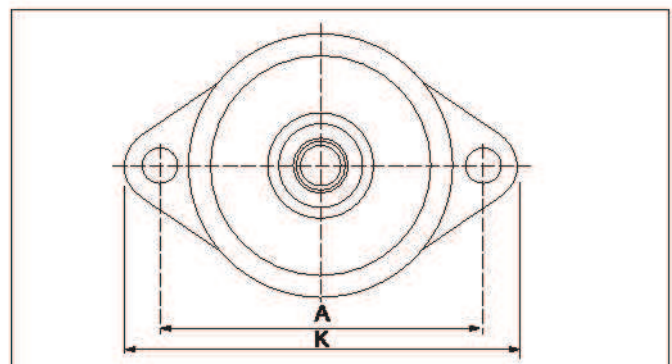
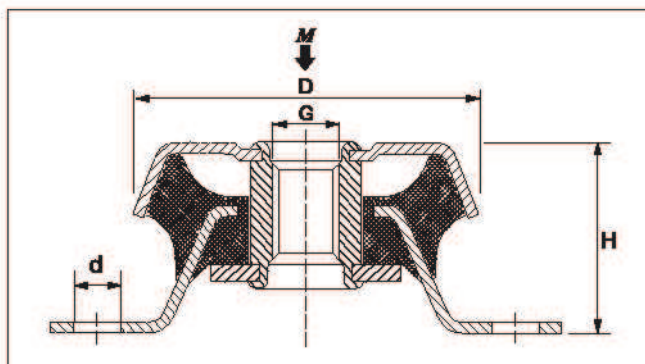
- ▼ Pumps
- ▼ Diesel engines
- ▼ Marine gensets
- ▼ Industrial gensets
- ▼ Emergency power packs

## Features

Similar in design to the RA/RAEM range, type RAB uses rubber in shear and compression for optimum stiffness characteristics and horizontal stability. Especially effective on small 1, 2 and 3 cylinder diesel engines where the special compound employed provides effective isolation of vibration while eliminating much of the excessive movement normally associated with 1–3 cylinder engines.

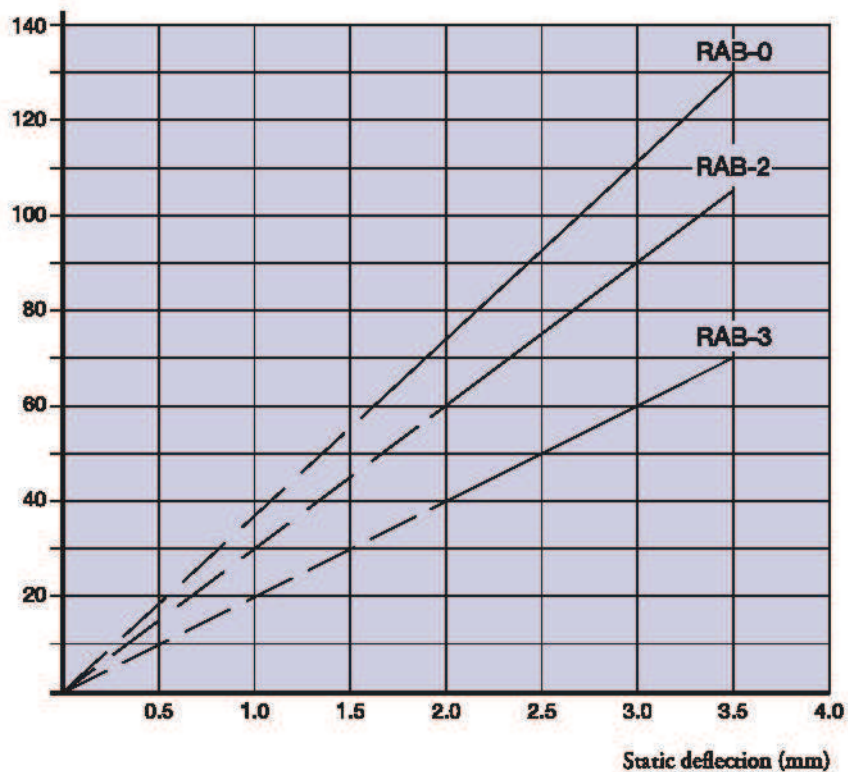
Its unique construction and the latest production methods make Novibra® type RAB a high performance mounting having a number of advantages:

- ▼ Rubber features are utilized effectively combining compression and shear.
- ▼ Tight tolerances on dynamic stiffness rate for accurate vibration calculations.
- ▼ Load rating options, 10-130 kg.
- ▼ Corrosion protected to cope with arduous environments on land or marine applications (Fe/Zn8C as per ISO 2081).
- ▼ Fitted as standard with a shock-proof device with resilient stop, ideal for mobile or marine use. The RAB mounts can accommodate occasional shock loads. The mount will withstand shock loads up to 2g without plastic deformation.
- ▼ Clear and durable product marking so that mountings can be identified even after several years in operation.
- ▼ Domed shape cover to protect against oil contamination.



Type	Drawing no.	Part no. 55°IRH	Dimensions in mm						M-Max (Kg)	Weight (Kg)
			D	A	H	K	d	G		
RAB-0	17-4092	10-00178	63	76	35	93,5	8,5	M12	130	0,22
RAB-2	17-4141	10-00179	63	76	35	93,5	8,5	M12	105	0,22
RAB-3	17-4004	10-00180	63	76	35	93,5	8,5	M12	70	0,22

Load per mounting (kg)



Fully approved by NATO and Europe's leading manufacturers of 1-2 and 3 cylinder versions of compact diesel engines.



Example of RAB installation on a 3 cylinder diesel engine power pack.