

Kaapelivaunun suunnittelu ja tuotekehitys

Elias Typpö

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka

Koneensuunnittelu

| | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Tekijä(t) Typpö, Elias | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä Toukokuu 2016 |
| | Sivumäärä 32 | Julkaisun kieli Suomi |
| | | Verkojulkaisulupa myönnetty: x |
| Työn nimi Kaapelivaunun suunnittelu ja tuotekehitys | | |
| Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | | |
| Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen, Markku Ström | | |
| Toimeksiantaja(t) Koneurakointi M. Typpö, Matti Typpö | | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön taustalla oli työn tilaajan tarve kehittää maakaapelin asennustyötä. Opinnäytetyön tarkoitus on kehittää asennustyössä käytettävän laitteen toimivuutta ja näin työn tehokkuutta. Konkreettinen tavoite oli siis suunnitella optimaalisesti toimiva ja käytettävä, maahan asennettavan kaapelin asennusvaunu. Lähtötilanteessa asetettu tavoite oli, että lopputuloksen pohjalta tuote pystytään toteuttamaan. Työn motiivina on halu kehittää ja parantaa laitteen käytettävyyttä. Motiivia vahvistaa tieto siitä, että laite tullaan toteuttamaan opinnäytetyön pohjalta. Tietoperustaan tuo monipuolisuutta työn tilaajan ammattitaito ja käytännön tuntemus.</p> <p>Pääpaino opinnäytetyössä keskittyy suunnittelutyöhön. Suunnittelutyötä ohjailee jo olemassa olevien laitteiden heikkojen alueiden kehittäminen. Tuotekehityksen apuna käytettiin vastaavien laitteiden käyttäjiltä kerättyjä kehitysideoita. Prosessin aikaansaama ideointi siirrettiin käytännön toteutukseen mallintamalla tuote Solidworks- mallinnusohjelmalla.</p> <p>Laite valmistetaan ja tilaaja testaa sen toimivuuden. Työn onnistumista mitataan vertaamalla prototyypin käytettävyyttä aikaisempiin käyttökokemuksiin. Testitulosten perusteella arvioidaan tuotekehityksen onnistuminen.</p> <p>Työssä käsitellään myös tuotekehityksen teoriaa, maanrakennuksessa tehtävän kaapeloinnin taustoja sekä sähköverkon rakennetta Suomessa.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) | | |
| Kaapelivaunu, koneensuunnittelu, tuotekehitys | | |
| Muut tiedot Maanrakennus, sähköverkko, säävarma | | |

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| Author(s) Typpö, Elias | Type of publication Bachelor's thesis | Date May 2016 |
| | | Language of publication: Finnish |
| | Number of pages 32 | Permission for web publication |
| Title of publication Title Designing and developing cable trailer | | |
| Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Technology | | |
| Supervisor(s) Matilainen Jorma, Ström Markku | | |
| Assigned by Koneurakointi M. Typpö, Typpö Matti | | |
| <p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to develop cable trailer for Koneurakointi M. Typpö. Cable trailer is used in construction worksites where installed electric cable. Customer was noticed some weaknesses which were the main reasons to start product developing and re-designing. The purpose was to increase the productivity of the working method. The meaning was to design completely new product, what enable working more productively.</p> <p>The main point of this thesis is designing. I helped my designing and developing by interviewing people who have used the same kind of device, because they have experience with the usability.</p> | | |
| Keywords/tags (subjects) | | |
| cable, trailer, product design, developing | | |
| Miscellaneous | | |

Sisältö

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 3 |
| 1.1 | Työn tilaaja | 3 |
| 1.2 | Elenia Oy | 4 |
| 1.3 | Opinnäytetyön aihe | 4 |
| 2 | Tuotekehitys | 5 |
| 2.1 | Tuotteen käsite | 5 |
| 2.2 | Tuotekehitysprosessi | 6 |
| 2.3 | Tulosten suojaaminen | 7 |
| 3 | Sähkönsiirtotekniikka | 8 |
| 3.1 | Energian asema Suomen kansantaloudessa | 8 |
| 3.2 | Kaapelivaunu maakaapeloinnissa | 10 |
| 4 | Työn toteutus | 11 |
| 4.1 | Tarpeen tunnistaminen | 11 |
| 4.2 | Ongelman määrittely | 12 |
| 4.3 | Synteesi | 12 |
| 4.3.1 | Erikokoisten kelojen käsittely | 12 |
| 4.3.2 | Kaapelikelan pyöritys | 14 |
| 4.4 | Analyysi | 16 |
| 4.4.1 | Rakenteen kestävyys | 16 |
| 4.4.2 | Hydrauliikka | 17 |
| 4.4.3 | Kelan kiinnitys | 18 |
| 4.4.4 | Kelan nostaminen | 19 |
| 4.4.5 | Kelan pyöritys | 20 |
| 4.4.6 | Akselit | 22 |
| 4.4.7 | Laakerit | 25 |
| 5 | Kustannukset | 28 |

| | | |
|---|------------------|----|
| 6 | Yhteenveto | 29 |
| | Lähteet..... | 30 |
| | Liitteet | 31 |

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. Tuotteen määritelmä. (Hietikko, 2008)..... | 6 |
| Kuvio 2. Primäärienergian lähteet. (Elovaara & Haarla 2010, 12). | 9 |
| Kuvio 3. Kaapelivaunu.(totea.fi) | 11 |
| Kuvio 4. K30 -kelan kiinnitys..... | 13 |
| Kuvio 5. K14 -kelan kiinnitys..... | 14 |
| Kuvio 6. Kelan pyöritys tapahtuu hydraulikkamoottorilla. | 15 |
| Kuvio 7. Umpikumirenkaiden säätö. | 15 |
| Kuvio 8. Jännitys kelan nostopalkin yläpäässä..... | 17 |
| Kuvio 9. Kaapelikelan pyöritysakseli. | 23 |
| Kuvio 10. Mittakerroin. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu) | 24 |
| Kuvio 11. Koon ja pinnanlaadun huomiointi. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu) .. | 24 |
| Kuvio 12. Materiaali. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu) | 24 |
| Kuvio 13. Lovenvaikutusluku. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu)..... | 24 |
| Kuvio 14. Keskiakselin laakeri 22212 E. (www.SKF.fi) | 26 |
| Kuvio 15. Pyöritinakselin laakeri 22210E. (www.SKF.fi)..... | 27 |
| Taulukko 1. Kelatyypit. (www.reka.fi) | 10 |
| Taulukko 2. Geroottorimoottorit (hytar.fi). | 22 |
| Taulukko 3. Materiaalikustannukset..... | 28 |
| Taulukko 4. Valmisosien kustannukset. | 28 |

1 Johdanto

Opinnäytetyö koostuu maakaapelin asennusvaunun tuotekehitys- ja suunnittelu-työstä. Työn keskeisimmät aihealueet ovat tuotekehitys ja tuotesuunnittelu. Tuotekehitys on luonteeltaan markkinavetoinen prosessi. Motiivina opinnäytetyön tekemiseen on työn tilaajan tarve kehittää omaa toimintaansa. Koneurakointi M. Typpö on havainnut yritystoiminnassaan kyseisen laitteen osalta heikkouksia. Havaittujen heikkouksien sekä tuotekehitysprosessin aikana esiin tulleiden ideoiden pohjalta suunnitellaan toteutuskelpoinen ja mahdollisimman hyvin toimiva laite.

Tehtävä on hyvä opinnäytetyön aiheeksi, koska se on konkreettinen ja sen tavoite ja onnistuminen ovat selkeästi määriteltävissä. Lopputulos on täysin vertailukelpoinen jo olemassa olevien laitteiden kanssa.

Jokaisen yrityksen toiminta perustuu sen koko organisaation toiminnan tuloksena syntyvään voittoon. Voiton syntyminen riippuu usein siitä, kuinka tehokkaasti yritys on kykenevä toimimaan. Näin ollen kehitystyö, joka parantaa tehokkuutta on arvokasta.

Innovaatioiden tehtävänä on uuden osaamisen tuottaminen ja yhdistäminen niin, että lopputuloksena on voittoa tuottavia uusia tuotteita tai tuottavuutta lisääviä uusia prosesseja (Hietikko 2008, 12).

1.1 Työn tilaaja

Työn tilaaja on Koneurakointi M. Typpö. Yritys tekee pääosin Elenia Oy:n alihankintatöitä (ks. kohta 2.2). Suuri osa työnkuvasta painottuu nykyisin Elenian säävarma-projektiin, jossa ilmaitse vedetyt sähkökaapelit vaihdetaan maakaapelointiin. Maanrakennustyötä yritys tekee myös tuulivoimahankkeiden sekä omakotitalojen maanrakennuksen parissa. Yrityksen toiminta on suhteellisen pientä, koska yritys on aloittanut toimintansa 2013. Kasvavan pienen yrityksen elinehtona onkin toimivat ja tehokkaat työvälineet ja -tavat. Sen takia työn tilaaja on halukas kehittämään tässä työssä esitettyjen asioiden pohjalta omaa tehokkuuttaan ja tuottavuuttaan työssään.

1.2 Elenia Oy

Elenia Oy on sähköverkkoyhtiö, joka palvelee 417 000 kotitalous-, yritys- ja yhteiskunta-asiakasta yli sadan kunnan alueella Kanta- ja Päijät-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla. Elenia Oy huolehtii sähköverkon toimivuudesta ja uudistamisesta ja rakennuttaa sähköverkkoa ja -liittymiä kumppaniyhtiöiden kanssa. Yritys mittaa asiakkaiden sähkönkulutuksen ja toimittaa energiatiedot sähkönmyyjille. Elenia kehittää tulevaisuuden älykästä sähköverkkoa uutta teknologiaa hyödyntäen. Yrityksen tavoitteena on edistää Suomen sähkömarkkinoiden toimintaa.

1.3 Opinnäytetyön aihe

Opinnäytetyön aiheena on maahan sijoitettavan sähkökaapelin asennuksessa käytettävän kaapelivaunun kehitys- ja suunnittelutyö. Kehittäminen tapahtuu jo olemassa olevien mallien ongelma- ja kehityskohtiin paneutumalla. Kehitysalueet tutkitaan käyttäjäkokemusten pohjalta. Tuotekehitys ja ideointi suoritetaan siten, että olemassa olevien laitteiden käytettävyyttä tutkitaan haastattelemalla laitteiden käyttäjiä ja keräämällä mahdollisimman paljon informaatiota. Kerätyn käytettävyyssinformaation pohjalta aloitetaan ideointi ja tarvittava suunnittelutyö havaittujen tuotekehitystarpeiden toteuttamiseksi.

Kehitysideat esitellään työn tilaajalle ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista. Kun työn tilaaja on hyväksynyt kehitysideat, tuote mallinnetaan Solidworks – mallinnusohjelmalla. Kriittisten kohtien mitoitus ja lujuustarkastelut tehdään osittain mallinnusohjelmalla sekä osittain analyyttisesti.

2 Tuotekehitys

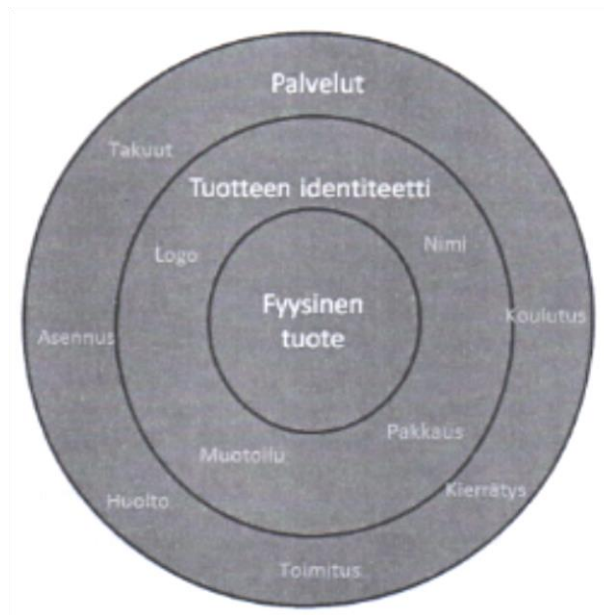
Ympärillämme on koko ajan esineitä: pöytä, kynä, tietokone, auto. Nämä ovat kaikki tuotteita, jotka joku (tai paremminkin jotkut) on kehittänyt. Jokaisen tuotteen takana on prosessi, josta käytetään nimitystä tuotekehitys- tai innovaatioprosessi. Itse asiassa pitää mennä aika kauas luonnon keskelle viikunanlehtiin verhoutuneena ennen kuin voi välttää kontaktilta jonkun kehittämään tuotteeseen (Hietikko 2008, 15). Tuotekehitys käsittää kuitenkin myös muitakin kokonaisuuksia kuin konkreettiset esineet. Tällaisia ovat esimerkiksi jotkut toiminnalliset kokonaisuudet tai järjestelmät.

Tuotteen valmistaminen vaatii ensimmäiseksi vastauksen kysymykseen; miksi tuotetta tarvitaan? Tuotteita valmistetaan asiakkaan tarpeiden takia, tai tuotteen kehittäjä voi luoda tuotteen jonka olemassaoloa asiakas ei olisi osannut edes ennustaa. Jälkimmäisessä tapauksessa tuotteen kehittäjä määrittelee tarpeen itse.

Joka tapauksessa tuotetta on kyettävä kehittämään. Suurin osa innovaatioista tuottaa pieniä edistysaskelia ja parannuksia vanhoihin teknologioihin, tuotteisiin, palveluihin tai toimintatapoihin (Hietikko 2008, 11). Markkinoille tulee jatkuvasti uusia tuotteita ja teknologioita, jotka vaativat jatkuvaa kehittymistä kaikilta toimijoilta. Ensimmäiseksi on kuitenkin hyvä määritellä, mikä on tuote.

2.1 Tuotteen käsite

On tärkeää huomata, että tuote voi olla muutakin kuin konkreettinen esine tai tarvike. Esa Hietikko (2008: 16) määrittelee tuotteen olevan esimerkiksi tarvike, raaka-aine, palvelu tai tietoa. Voidaan siis ajatella, että tuote on kaikkea mitä yritys myy. Tuotteen ympärillä on monia muitakin asioita, kuin pelkkä fyysinen tuote. Tuotemerkki, brändi, asiakastuki ja jälkimarkkinointi ovat esimerkiksi osa tuotteen kokonaisuutta (kuvio 1).



Kuvio 1. Tuotteen määritelmä. (Hietikko, 2008)

2.2 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosesseja on erilaisia. Muutamia niistä ovat esimerkiksi:

- Markkinavetoinen prosessi, jossa kehitys aloitetaan markkinoilla havaitun ongelman tai tarpeen korjaamiseksi.
- Teknologia-työntöprosessi, jossa kehitys aloitetaan jonkin innovaation pohjalta.
- Paranteluprosessi, jossa parannetaan jo olemassa olevaa tuotetta.
- Räättälöintiprosessi, joka on kertaluontoinen asiakkaan tarpeeseen pohjautuva prosessimuoto.

Tässä työssä kaapelivaunun tuotekehitys voidaan luokitella markkinavetoiseksi tuotekehitysprosessiksi. Laitteen käytettävyydessä on havaittu markkinoilla parannusideoita, jotka pyritään prosessin avulla korjaamaan.

Paljon käytetty tuotekehityksen prosessimalli sisältää kahdeksan kohtaa:

- Tarpeen tunnistaminen
- Ongelman määrittely
- Synteesi
- Analyysi
- Optimointi
- Testaus
- Tuotannon käynnistäminen
- Arviointi

Tässä työssä edetään lähes edellä mainitun mallin mukaisesti, mutta testaus ja tuotannon käynnistäminen eivät kuulu työhön.

2.3 Tulosten suojaaminen

Tuotteen kehittäminen ei ole ilmaista. Se kuluttaa aikaa ja resursseja. Sen takia on määriteltävä miten tuotekehittäjä voi suojata tuloksensa. Yksinoikeussuojan hakeminen tekniselle ja taiteelliselle keitystyölle on tehty mahdolliseksi lainsäädännön avulla. Suojajärjestelmiä ovat esimerkiksi:

1. Patentsuoja, jolla suojataan teollisesti hyödynnettävissä oleva keksintö.
2. Mallisuoja, jolla suojataan esineen ja koristeen ulkomuoto.
3. Integroidun piirin piirimallisuoja.
4. Tekijänoikeussuoja, joka antaa suojan kirjallisille ja taiteellisille teoksille.
5. Tavaramerkkisuoja, jolla saadaan yksinoikeus tunnuksen, millä erotetaan omat tuotteet muiden tuotteista.
6. Toiminimisuoja, jolla suojataan yrityksen nimi.
7. Laki sopimattomasta menettelystä elinkeinotoiminnassa. Laki kieltää harhaanjohtavan mainonnan ja jäljittelyn.

(Jokinen 2001, 137)

Tässä opinnäytetyössä suunnitellulle laitteelle ei ole tarkoitus hakea mitään edellä mainittua suojaa. Laite valmistetaan omaan käyttöön eikä sitä ole tarkoitus valmistaa kaupalliseen tarkoitukseen.

3 Sähkönsiirtotekniikka

Suomi sähköistettiin vuosien 1950 – 1970 välisenä aikana. Sähköverkkoa asennettiin yhteensä noin 360 000 kilometriä kahdenkymmenen vuoden aikana. Sähköverkosta 75 % kulkee ilmajohtoja pitkin ja noin neljännes maakaapeleita pitkin. Ilmajohtoja vedettiin pääasiassa maaseudulle ja maakaapeleita kaupunkeihin. Ilmajohdinten edullisuuden vuoksi saatiin sähkö myös harvaanasutuille alueille ja näin ollen sähkö koko maahan.

Ilmajohdinten elinikä on kuitenkin paljon lyhyempi kuin maakaapelin elinikä. Ilmajohdintella se on noin 50 vuotta, joten ilmajohtoverkostot alkavat nyt saavuttaa elinkaarensa pään. Sääolojen ääri-ilmiöiden lisääntyminen haastaa nykyisen sähköverkon käyttövarmuutta, koska ilmajohtimet ovat vanhoja ja alttiita sääoloille. Erityisesti ilmajohtimet ovat alttiita myrskyille, lumikuormille sekä ukkosille.

Tästä johtuen esimerkiksi sähkönjakeluyhtiö Elenia Oy on tehnyt vuonna 2009 päätöksen rakentaa kaikki uudistettavat ja uudet sähköverkot maakaapeloinnilla. Päätöksen taustalla on yliopistojen, laitevalmistajien, urakoitsijoiden ja Elenia Oy:n yhteistyössä toteutettu kehittämishanke.

3.1 Energian asema Suomen kansantaloudessa

Teollisuusyhteiskunnassa kaikki toiminta perustuu hyvin laajalti energian käytön vaaraan. Yhteiskunnan elintason mittarina käytetty bruttokansantuote (BKT, engl. GDP, *gross domestic product*) on lähes täysin verrannollinen energian käyttöön. Energian käyttöä mitataan sellaisen energian määrällä, joka on muutettavissa käyttökelpoiseen muotoon. Energiaa joka on muutettavissa käytettävään muotoon, nimitetään primäärienergiaksi. Lähteitä ovat mm. polttoaineet, ydinvoima, vesivoima ja uusiutuvat energialähteet (kuva 1).

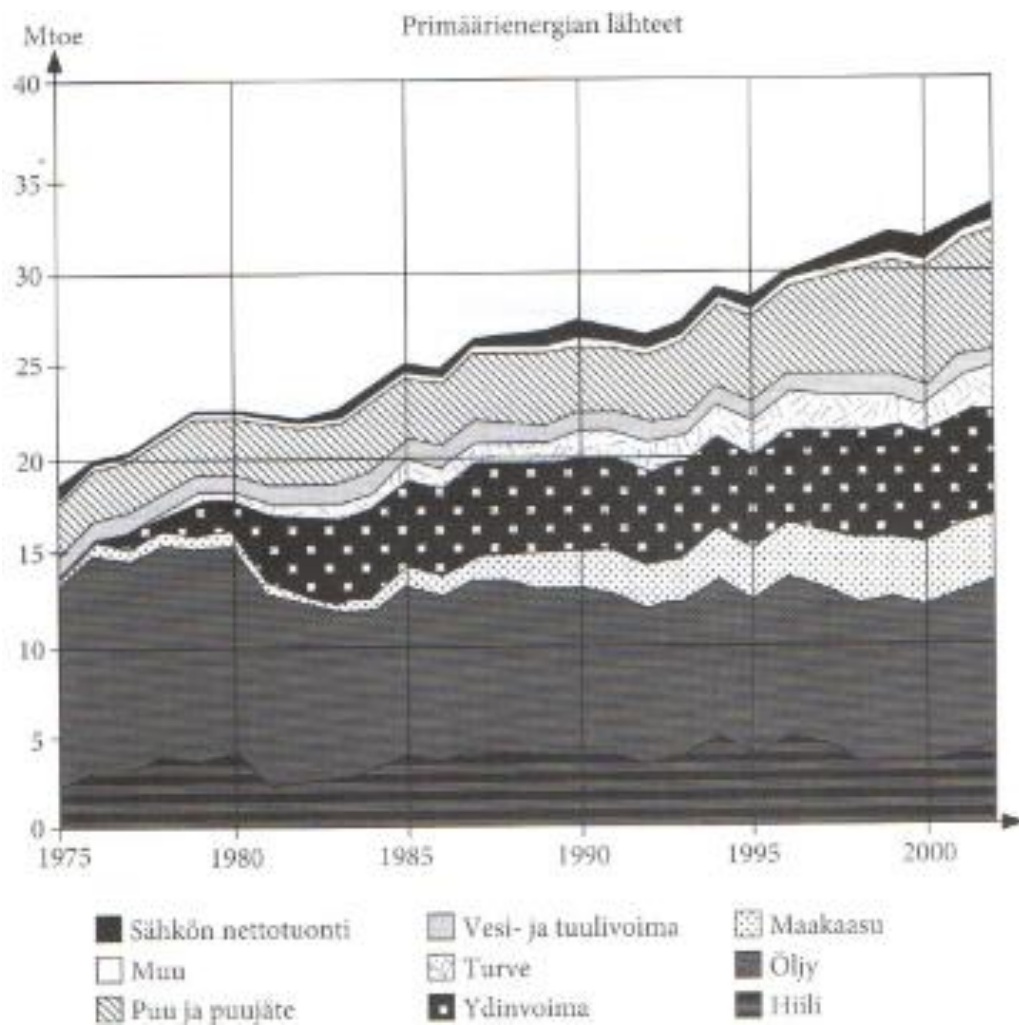
Maailmanlaajuisesti katsottuna primäärienergian tarve on kasvanut viimeisen 35 vuoden aikana noin 2,3 prosenttia vuodessa ja Suomessa tarve on kasvanut 1,95 % vuodessa. Vuonna 2005 globaali energiantarve oli 11435 Mtoe¹. Tästä tarpeesta 80 % katettiin fossiilisilla polttoaineilla, joista suurimmat lähteet olivat öljy (35 %), hiili

¹ 1 toe = 41,686 GJ = 11 630 MWh (IEA/OECD:n arvo).

(23,5 %) ja maakaasu (20,7 %). Ydinvoiman ja vesivoiman osuus primäärienergian lähteinä on edelleen globaalisti pieni (6,3 % ja 2,2 %). (IEA 2007.)

Kotimaiset energialähteet, kuten puu, puujäte, turve ja vesi sekä 1970-luvulla käyttöönotettu ydinvoima tuottavat noin puolet suomen energiasta ja toisesta puolesta vastaa fossiiliset tuontipolttoaineet. Tärkein yksittäinen energialähde on öljy (26 %). Hiilen osuus on pysynyt samana ja maakaasun osuus hieman kasvanut.

Kaikkea primäärienergiaa ei pystytä käyttämään hyödyksi. Käyttökelpoista osaa primäärienergiasta kutsutaan sekundäärienergiaksi. Sekundäärienergiaa on esimerkiksi sähköenergia.

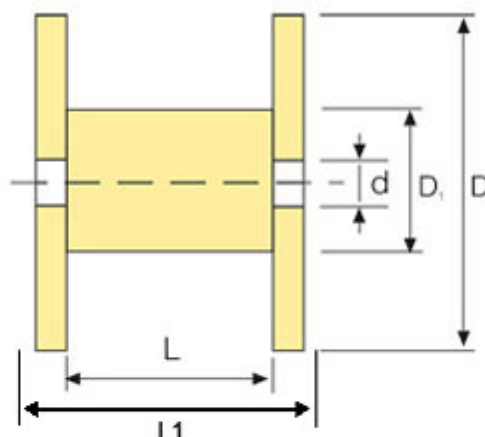


Kuvio 2. Primäärienergian lähteet. (Elovaara & Haarla 2010, 12).

3.2 Kaapelivaunu maakaapeloinnissa

Kaapelin asennuksessa käytetään traktorin tai kuorma-auton perässä vedettävää kaapelivaunua. Kaapelivaunun tehtävänä on kuljettaa kaapelikelaa siten, että kelalta voidaan syöttää kaapelia maahan kaivettuun uraan. Kaapelivaunun avulla kaapelikelan siirtely työmaalla tulisi olla helppoa ja nopeaa. Kaapeleita ja kaapelikeloja on useita eri kokoja. Tarkoituksena on kuitenkin suunnitella vaunu, jonka korkein kapasiteetti riittää massaltaan 5000kg ja halkaisijaltaan 3m kelojen käsittelyyn. Tässä työssä suunniteltavalla kaapelivaunulla pystytään suorittamaan myös massaltaan ja halkaisijaltaan pienempien kelojen asennusta. Kelatyyppien K14 – K30 mitat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kelatyyppit. (www.reka.fi)



| KELATYYPPI | K14 | K16 | K18 | K20 | K22 | K24 | K26 | K28 | K30 |
|---|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Laipan halkaisija mm, D | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | 2800 | 3000 |
| Rummun halkaisija mm, D1 | 800 | 950 | 1100 | 1300 | 1400 | 1400 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Sisäleveys mm, L | 850 | 850 | 850 | 1000 | 1000 | 1000 | 1200 | 1350 | 1500 |
| Keskireikä mm, d | 104 | 104 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| Ulkoleveys mm, L1 | 982 | 1018 | 1075 | 1188 | 1188 | 1200 | 1448 | 1650 | 1800 |
| Kulj. tilav. m ³ ilman laud. | 1,92 | 2,61 | 3,48 | 4,75 | 5,75 | 6,91 | 9,79 | 12,94 | 16,20 |
| Kulj. tilav. m ³ laudoitettu | 2,07 | 2,78 | 3,69 | 5,00 | 6,02 | 7,21 | 10,18 | 13,42 | 16,77 |
| Omapaino kg | 115 | 195 | 230 | 340 | 410 | 450 | 900 | 1180 | 1500 |

4 Työn toteutus

4.1 Tarpeen tunnistaminen

Kaapelivaunun kehittämistyö aloitettiin keräämällä laitteita käyttäviltä henkilöiltä heidän havaintojaan ja ideoitaan laitteen toiminnan parantamiseksi. Käyttäjiltä saadun palautteen mukaan tulisi keskittyä seuraavien kohtien parantamiseen:

1. Kaapelikelan kiinnittämistä tulee helpottaa
2. Kaapelikelan pyöritys hydrauliseksi
3. Hydrauliikan toiminta kauko-ohjatuksi
4. Erikokoisten kelojen käsittely
5. Kaapelin ohjaus kelalta syötettäessä



Kuvio 3. Kaapelivaunu.(totea.fi)

Kuviossa 3 näkyvässä vaunussa kela kiinnitetään samaan tyyliin kuin useissa vaunuissa. Poikittain oleva musta akseli asetetaan käsin kelan keskireiästä sisään ja vaunu peruutetaan akselille. Tämän jälkeen kela nostetaan sylintereillä ilmaan.

Tässä työssä tuotekehityksen tarkoitus on luoda uudenlainen kiinnitystapa kelalle. Myös kelan pyöritystä ja hydrauliikan toimintaa kehitetään.

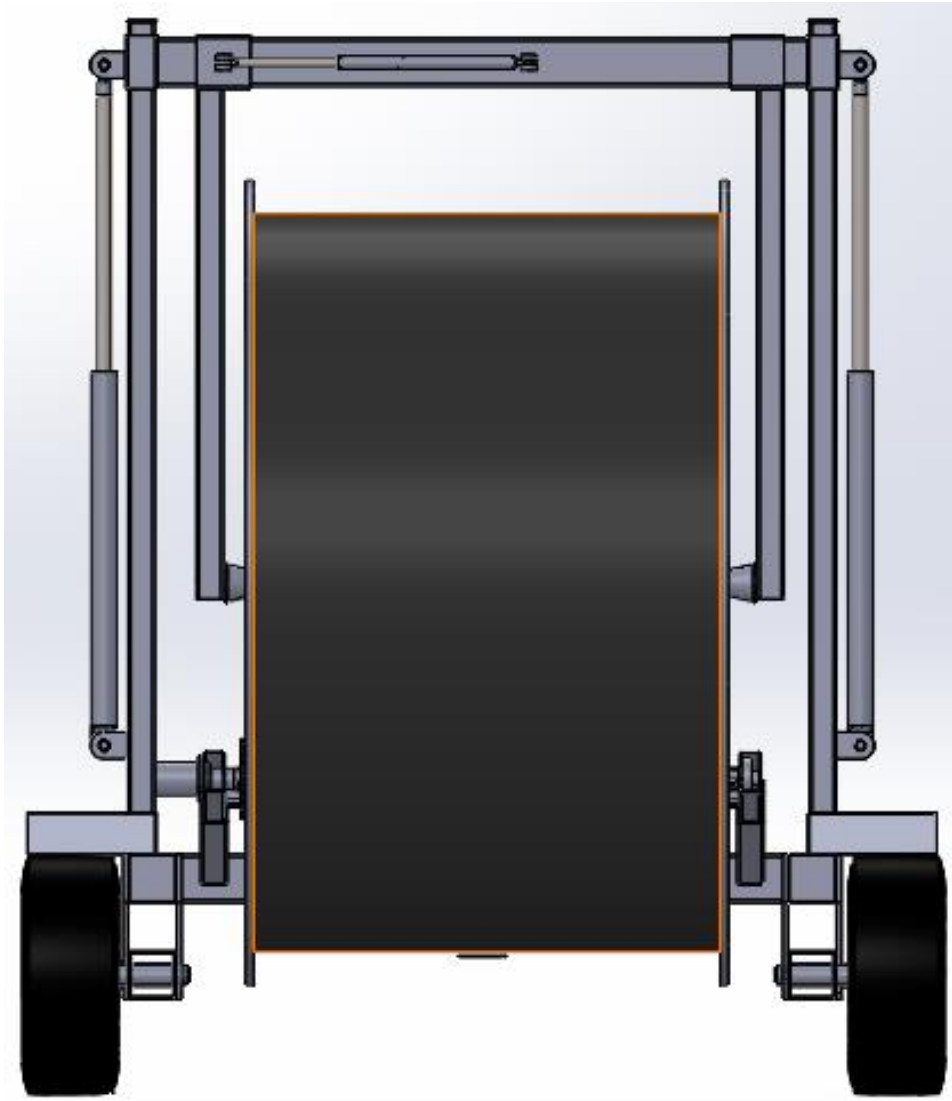
4.2 Ongelman määrittely

Kaapelivaunun toiminnan vaatimuksena on, että sillä pystytään kuljettamaan erikoisia keloja. Kelojen kiinnittäminen sekä kelan pyöritys tulee tapahtua mahdollisimman sujuvasti. Jo olemassa olevien laitteiden heikkoutena on mm. se, että kelan kiinnittäminen vaunuun on hankalaa. Kelan pyöritys akseli on erittäin raskas. Kelan kiinnittäminen olisi hyvä suunnitella jollain toisella tavalla kuin esimerkiksi kuviossa 3. Kelan pyöritys tulee olla mahdollista muulla kuin käsivoimalla. Suurin kela on halkaisijaltaan 3m, joten sen pyörittäminen täytyy suunnitella esimerkiksi hydrauliseksi. Kela täytyy pyörittää, jotta kaapelin asennus onnistuu.

4.3 Synteesi

4.3.1 Erikokoisten kelojen käsittely

Kaapelivaunun suunnittelussa tärkeä asia oli mahdollistaa erikokoisten kelojen käsittely. Vaunun rakenteeseen on suunniteltu liikelaajudet, jotka riittävät sekä pienten että isojen kelojen käsittelyyn (kuviot 6 ja 7).

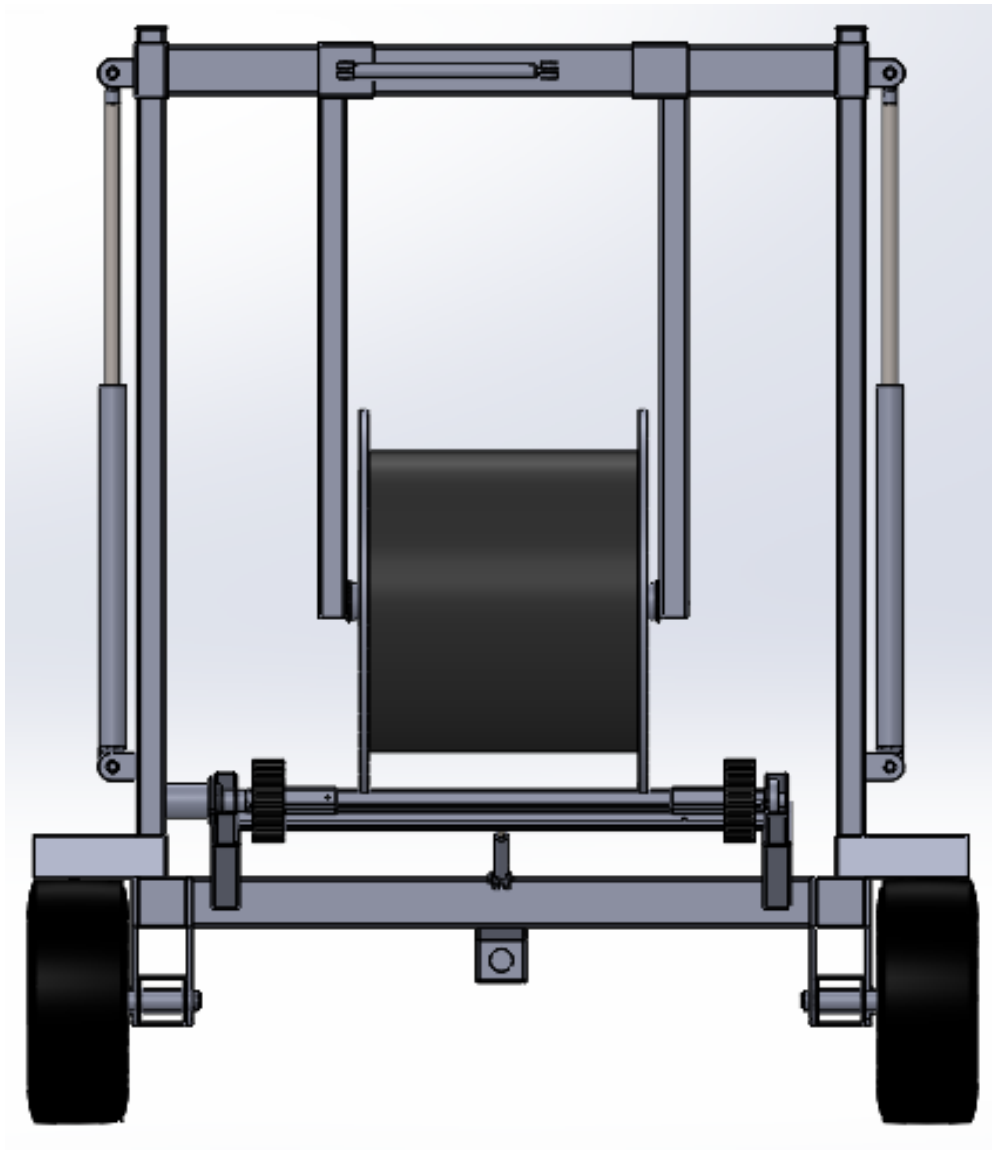


Kuvio 4. K30 -kelan kiinnitys.

Pysty- ja vaakasuuntaiset liukukiskot mahdollistavat korkeintaan K30 – kelatyypin kuljettamisen.

Kiinnitys tapahtuu sähköohjatusti hydraulikalla. Kuvassa 3 ylhäällä näkyvä poikittaispalkki toimii liukukiskona pystyputkille, joiden alapäissä ovat laakeroidut akselit. Ylhäällä näkyy poikittaissuunnan tekevä hydraulikkasyylinteri. Toinen sylinteri on vastakkaisella puolella. Kaapelikela otetaan poikittaissuuntaan liikkuvien sylintereiden puristamana keskiöstään kiinni vaunuun. Kuvassa 3 sivuilla näkyvät pystypalkit toimivat liukukiskoina kelan ylös nostamisessa.

Liikelaajuudet on mitoitettu niin, että sekä x- ja y-suunnassa liikelaajuus riittää kelojen K14 – K30 (taulukko 1) kuljettamiseen.

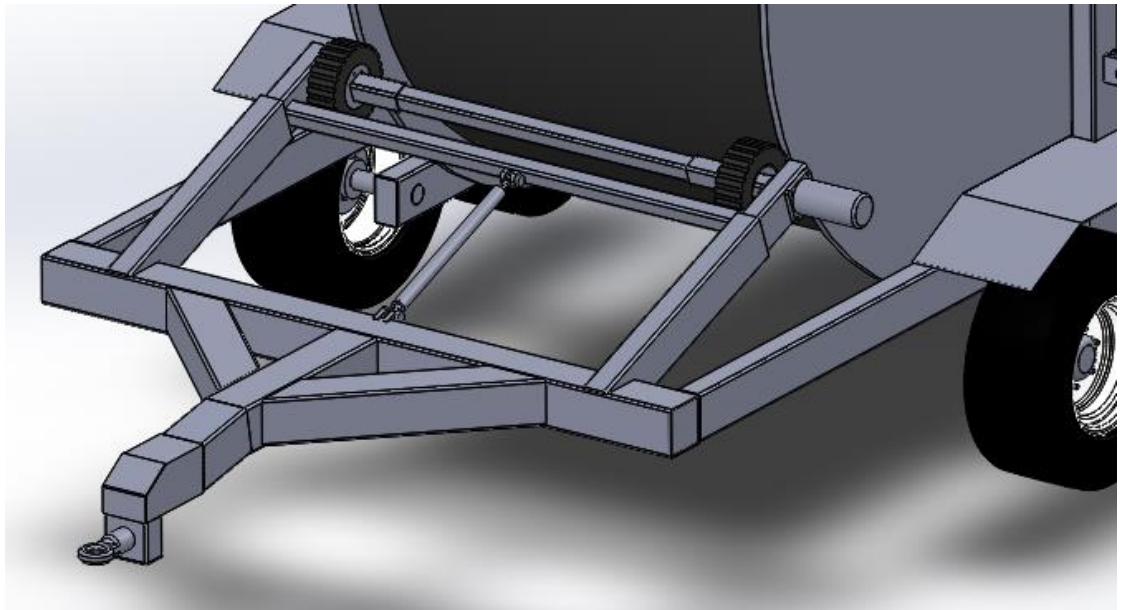


Kuvio 5. K14 -kelan kiinnitys.

Pienimmillään vaunulla voi kuljettaa K14 – kelatyyppin kela. Pienempiäkin keloja voidaan tarvittaessa kuljettaa asentamalla kelan keskiöreikään jatkopalat. Niiden avulla myös kapeampia keloja voidaan kiinnittää ilman, että x-suuntainen liikevara loppuu.

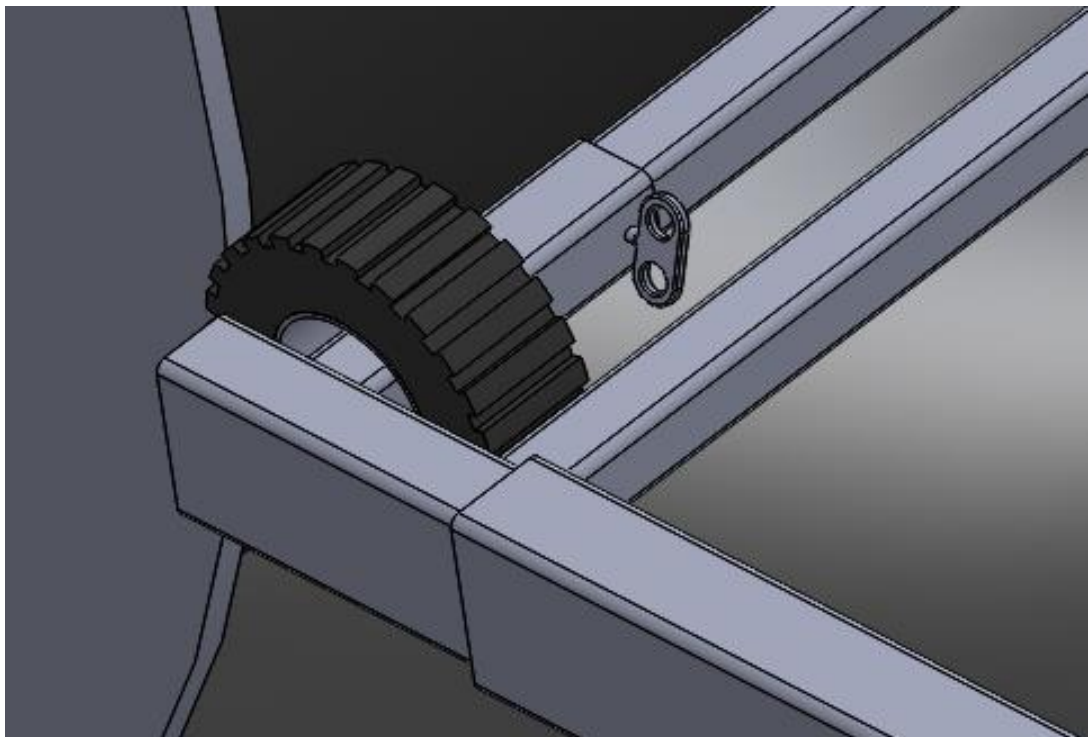
4.3.2 Kaapelikelan pyöritys

Kaapelin vetämisen helpottamiseksi asennetaan vaunuun hydraulikalla toimiva moottori, jolla kela pyöritetään. Hydrauliikkamoottorilla kelan pyörittäminen onnistuu molempiin suuntiin, joten laitteella on mahdollista kaapelin maahan asentamisen lisäksi myös kaapelin vetäminen takaisin kelalle.



Kuvio 6. Kelan pyöritys tapahtuu hydraulikkamootorilla.

Kaapelikelan pyörittäminen tapahtuu umpikumirenkaiden avulla. Renkaat painetaan kelan reunojen pintaa vasten ja ne voidaan säätää halutun kelakoon mukaiselle leveydelle, kuvan 4 mukaisesti. Renkaiden lukitseminen haluttuun leveyteen onnistuu käsin kiristämällä (kuvio 5).



Kuvio 7. Umpikumirenkaiden säätö.

4.4 Analyysi

Kaapelivaunun suunnittelu lähtee vaatimuksesta, että vaunun käytettävyys ja tehokkuus on optimaalista. Kaapelivaunun mekaniikan suunnittelu pohjautuu käyttäjiltä saatujen kehitysideoiden toteuttamiseen, sekä suunnitteluvaiheen ideointiin. Pääasiassa vaunun vaatimuksista tärkeimmät ovat kaapelikelan kiinnitys eli kyytiin ottaminen, sekä kaapelikelan pyörimisen ja lukitsemisen toiminta.

Kaapelivaunun mekaniikkaa määrittää hyvin paljon vaatimus siitä, että vaunulla tulee pystyä käsittelemään kelatyyppejä K14 – K30. Se asettaa mekaniikalle tiettyjä vaatimuksia. Kaapelikelan kiinnitys tulee tapahtua hydraulisesti niin, että kela puristetaan kahden laakeroidun akselin väliin. Näin ollen vaunussa tulee olla poikittaissuuntaiset liikeradat. Kun kaapelikela on puristettu keskiöstään vaunuun, se pitää pystyä nostamaan tarpeeksi korkealle liikuttamista varten.

4.4.1 Rakenteen kestävyys

Liikeratojen toteuttamiseksi vaunuun on tehtävä kiskot, joita pitkin x – ja y-suunta saadaan aikaan. Kiskoja tulee kestää suurimman kelan massan, sekä jarrutusvoiman traktorin huippunopeudesta.

Lasketaan suurimman kelan massasta aiheutuva voima, kun traktorilla ajetaan 40 km/h ja jarruttaminen pysähdyksiin asti tapahtuu 2 sekunnin aikana.

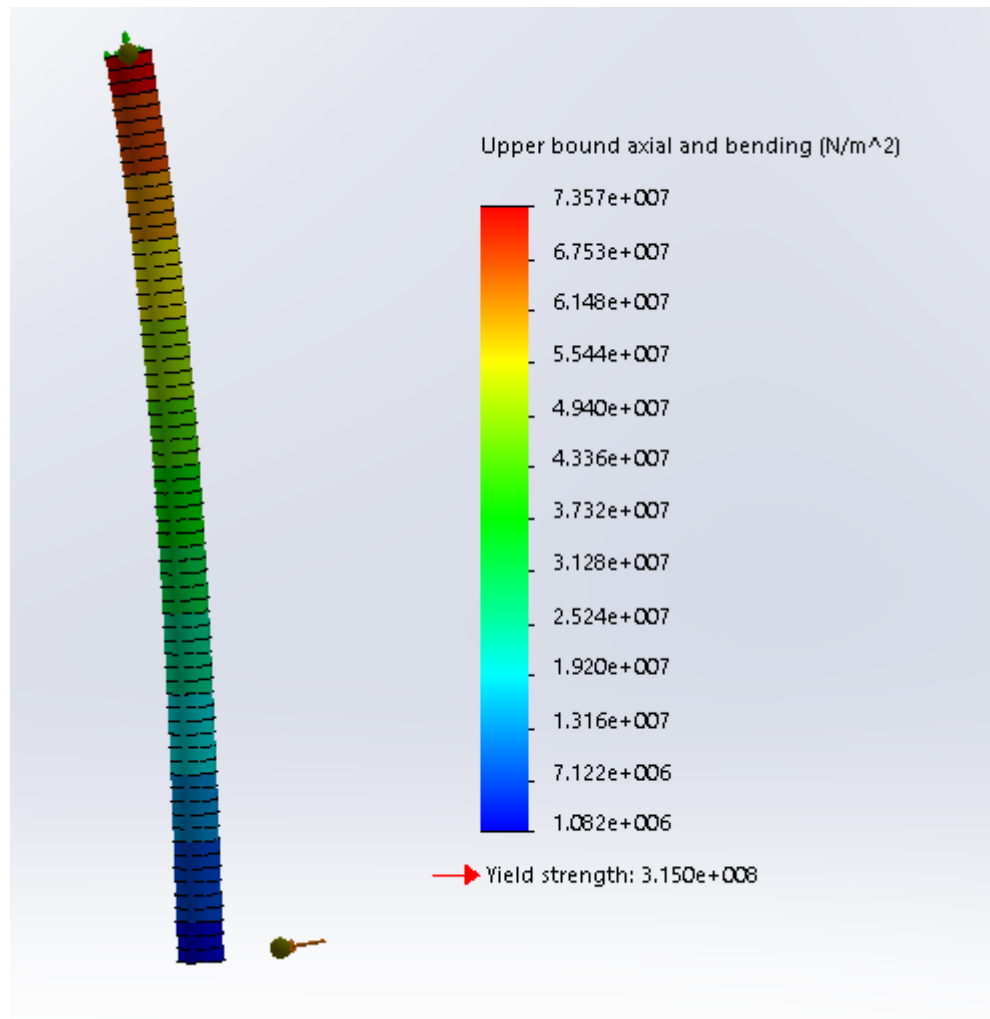
$$F = ma = 27\,800\,N$$

missä,

m on kelan massa, $m = 5000\,kg$

a on kiihtyvyys, $a = 5,6\,m/s^2$

Tarkastellaan voiman vaikutusta kriittisessä kohdassa. Kriittisin kohta on kelan nostopalkin yläpäässä, jonne kelan massa aiheuttaa momentin. (Kuvio 8)



Kuvio 8. Jännitys kelan nostopalkin yläpäässä.

Kuviossa 8 on Solidworksin FEM-ohjelmalla testattu kelan nostopalkin kestävyys. Kuten kuvasta näkyy, suurin sallittu jännitys on 315 MPa ja voima aiheuttaa palkkiin 73,6 MPa jännityksen. Näin ollen tilanteessa, jossa vaunu pysähtyy kahdessa sekunnissa traktorin huippunopeudesta, varmuus myötöön on noin 4,2.

4.4.2 Hydraulikka

Kaapelivaunuun tulee kolme hydraulista toimintoa:

1. Kelan kiinnitys
2. Kelan nostaminen
3. Kelan pyöritys

Kelan kiinnitykseen tarvitaan kaksi sylinteriä, jotka liikkuvat vaunuun nähden poikittaissuuntaisesti. Kelan kiinnitykseen tarvittavilta sylintereiltä ei vaadita kovin suurta

kuormaa, koska sylinterit ainoastaan puristavat kelan vaunun laakeroitujen akseleiden väliin. Näin ollen kelan kiinnityssylintereiltä vaadittava voima voidaan arvioida summittaisesti. Kelan kiinnittämisessä sylintereiltä vaaditaan iskunpituutta niin paljon, että on mahdollista kiinnittää kelakokoja K14 – K30 (kuva 2).

Kelan nostamiseen tarvitaan kaksi sylinteriä. Sylinterit mitoitetaan massaltaan suurimman kelan mukaisesti. Suurin kela painaa 5000 kg, joten kahdella sylinterillä nostettuna kuormaa jää 2500kg per sylinteri. Nostosylintereiden liikelaajuus tulee olla niin suuri, että vaunulla pystytään nostamaan edellä mainitut kelakoot.

Kelan pyöritys tapahtuu hydraulimoottorilla. Sen jälkeen kun kela on kiinnitetty vaunuun ja nostettu kuljetusasentoon, kelan pintaan painetaan hydraulisesti umpikumi-pyörät. Umpikumipyöriä pyöritetään hydraulimoottorilla. Hydraulimoottori pyörii ainoastaan venttiilit avaamalla, joten se toimii myös jarruna estäen kelan pyörimisen muulloin kuin pyöritettäessä.

Traktorin hydraulikkajärjestelmän paine on n. 200 bar ja tilavuusvirta noin 100l/min.

4.4.3 Kelan kiinnitys

Arvioidaan kelan kiinnittämiseen tarvittavaksi voimaksi 10kN per sylinteri. Pienimmän kelan leveys on 982 mm ja isoimman kelan leveys on 1800 mm, joten yhden sylinterin iskunpituus tulee olla vähintään $(1800 \text{ mm} - 982 \text{ mm})/2 = 409 \text{ mm}$

Sylinterin männän pinta-ala A_m saadaan jakamalla voima järjestelmän paineella, joka traktorissa on noin 200 bar. Yksikköinä käytetään Newtonia ja Pascalia, jolloin tulos saadaan neliömetreinä.

$$A_m = 10000\text{N}/(200 \cdot 10^5\text{Pa}) = 0,00125\text{m}^2 \quad (7.1)$$

missä,

A_m on männän pinta-ala, $A_m = \pi r^2$, joten $r = 0,0126\text{m}$

d on männän halkaisija, d on 2r = 25mm

Valitaan kelan kiinnityssylintereiksi sylinterit TT40/25-550, jossa:

| | |
|----------------------|--------------|
| männän halkaisija | 40mm |
| männänvarren paksuus | 25mm |
| iskunpituus | 550mm |

Kelan kiinnityssylintereille ei kohdistuu vain vähäisiä voimia, joten ei tehdä nurjahdustarkastelua.

4.4.4 Kelan nostaminen

Kelan nostamiseen tarvittavat sylinterit mitoitetaan raskaimman kelan mukaan. Raskain kela painaa 5000 kg, joten kahdelle sylinterille jakautuneena kuorma on 2500 kg/sylinteri. Pienimmän kelan säde on 700 mm ja suurimman kelan säde on 1500 mm. Jotta kaapelivaunulla voidaan käsitellä sekä pieniä että isoja keloja, täytyy nostosylintereiden iskunpituus olla vähintään 1500 mm – 700 mm = 800mm.

Jotta kela saadaan nostettua ilmaan, sylinterin iskunpituuteen täytyy lisätä halutun nostokorkeuden verran pituutta.

Lasketaan männän halkaisija voimalle $2500\text{kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 25000\text{N}$. Käytetään samaa kaavaa, kuin kohdassa 7.1.

d = 40mm

Valitaan kelan nostosylintereiksi sylinterit TT80/50 - 1200, jossa

| | |
|-------------------------|---------------|
| männän halkaisija | 80mm |
| männänvarren halkaisija | 50mm |
| sylinterin iskunpituus | 1200mm |

Sylinterin käytössä kriittisin kohta on silloin kun mäntä on liikkeensä lopussa. Tehdään nurjahdustarkastelu valitulle nostosylinterille. Nurjahdusvoima F_n saadaan kaavasta 7.2.

$$F_n = \frac{\pi^2 \times E \times I}{n \times l n^2} \quad (7.2)$$

missä,

E on kimmomoduuli, $E = 21 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

I on männänvarren neliömomentti, $I = 3,07 \times 10^4 \text{ mm}^4$

l_n on männänvarren nurjahduspituus, $l_n = 2500 \text{ mm}$

n on varmuusluku, $n = 2$

Männänvarren neliömomentti saadaan kaavasta 7.3.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (7.3)$$

missä,

d = männänvarren halkaisija

Nurjahdusvoimaksi saadaan

$$Fn = \frac{\pi^2 \times E \times I}{n \times l_n^2} = 26,5 \text{ kN}$$

Sylinterille käytössä tuleva voima $25 \text{ kN} < \text{nurjahdusvoima } 26,5 \text{ kN}$.

Valittu sylinteri kestää nurjahtamatta.

4.4.5 Kelan pyöritys

Kelaa täytyy pyörittää, jotta kaapelin vetäminen kelalta onnistuu. Kelan ollessa kiinnitettynä vaunuun, se lepää laakereiden päällä. Laakeroinnin takia kelan pyörimään saava voima ei ole suuri. Isoimman kelan massa ja halkaisija aiheuttavat kuitenkin ulkokehälle voiman, joka tulee ottaa huomioon kelan pyöritysmoottorin valinnassa.

Mitoitetaan pyöritinmoottorille tuleva vääntömomentti tilanteen mukaan, jossa kela pyörii 60rpm ja se pysäytetään viidessä sekunnissa. Kelan ulkokehälle muodostuva voima saadaan kaavasta 7.4.

$$F = \frac{M}{r} \quad (7.4)$$

missä,

M on Kelan pyörimisestä aiheutuva momentti, $M = 7069 \text{ Nm}$

r on suurimman kelan säde, $r = 1,5 \text{ m}$

Kelan pyörimisestä aiheutuva momentti saadaan kaavasta 7.5

$$M = J \times \alpha = 7069 \text{ Nm} \quad (7.5)$$

missä,

J on Kelan hitausmomentti, kaavasta 7.6

α on Kelan kulmakiihtyvyys, kaavasta 7.7

$$J = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{2} \times 5000 \text{ kg} \times 1,5 \text{ m}^2 = 5625 \quad (7.6)$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = 1,25 \quad (7.7)$$

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1 \text{ s}}$$

$$\Delta t = 5 \text{ s}$$

Kelan momentista lasketaan ulkokehälle muodostuva voima F, kaavasta 7.8

$$F = \frac{M}{r} = \frac{7069 \text{ Nm}}{1,5 \text{ m}} = 4713 \text{ N} \quad (7.8)$$

Voimaa vastaava momentti moottorille, kun moottorin akselilla olevan kumirenkaan halkaisija on 300mm, saadaan kaavasta 7.9

$$M = Fr = 4713N \times 0,15m = \mathbf{707Nm} \quad (7.9)$$

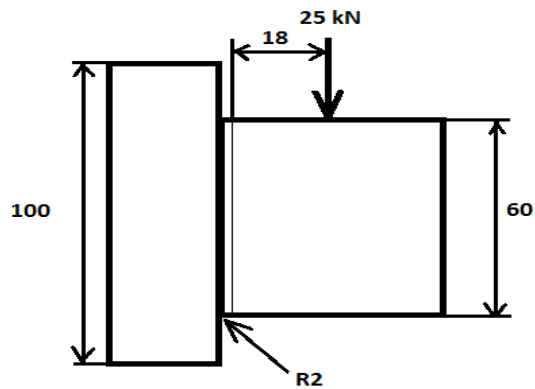
Valitaan moottoriksi hydraulinen Geroottorimoottori BMT-500P3A4Y/T7. Moottorissa jatkuva vääntömomentin tuotto on 1121Nm. Hetkellinen vääntömomentti 1377Nm, mikä on melkein 2 kertaa suurempi kuin laskennallinen vääntömomentin tarve.

Taulukko 2. Geroottorimoottorit (hytar.fi).

| Malli | Kierros-tilavuus cm ³ /r | Max. paine-ero bar | | | Max. vääntömomentti Nm | | | Nopeus-alue rpm | Max. virtaus l/min | Max. teho kW | Paino kg | L | L1 | B |
|-----------------|--|-----------------------|-------|--------|---------------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------------|-------|-----|------|
| | | Jatk. | Hetk. | Piikki | Jatk. | Hetk. | Piikki | | | | | | | |
| BMT-160P3A4Y/T7 | 158,8 | 200 | 240 | 280 | 450 | 559 | 663 | 10-625 | 100 | 20,1 | 20,3 | 212 | 150 | 12 |
| BMT-200P3A4Y/T7 | 200,8 | 200 | 240 | 280 | 561 | 714 | 818 | 9-625 | 125 | 25,2 | 20,8 | 216,5 | 155 | 16,5 |
| BMT-250P3A4Y/T7 | 252,2 | 200 | 240 | 280 | 710 | 883 | 1021 | 8-500 | 125 | 25,2 | 21,4 | 222 | 160 | 22 |
| BMT-320P3A4Y/T7 | 317,5 | 200 | 240 | 280 | 902 | 1143 | 1322 | 7-380 | 125 | 25,2 | 22,4 | 229 | 167 | 29 |
| BMT-400P3A4Y/T7 | 401,6 | 200 | 210 | 240 | 1008 | 1255 | 1431 | 6-305 | 125 | 22 | 23 | 238 | 176 | 38 |
| BMT-500P3A4Y/T7 | 535,3 | 160 | 180 | 210 | 1121 | 1377 | 1598 | 5-240 | 125 | 31 | 24 | 257 | 195 | 56,5 |

4.4.6 Akselit

Kela pyörii kahden laakeroidun akselin varassa. Mitat näkyvät kuvassa 4. Akselin väsymisrajamitoitus tehdään käyttäen mitoittavana tekijänä suurimman kelan massaa. Suurimman kelan massa on 5000kg, josta aiheutuu 25kN tukivoimat akseleille. Tuki-voima aiheuttaa momentin M, joka on 18 mm etäisyydellä voimasta 25kN.



Kuvio 9. Kaapelikelan pyöritysakseli.

$$M = 25000\text{N} \times 0,018\text{m} = \mathbf{450\text{ Nm}}$$

Lasketaan akselille varmuusluku n kaavasta 7.11.

$$n = \frac{m \times K \times \sigma_{tw}}{K_{ft} \times \sigma_{nim}} \quad (7.11)$$

missä,

$$m = 0,73 \text{ (taulukosta 2)}$$

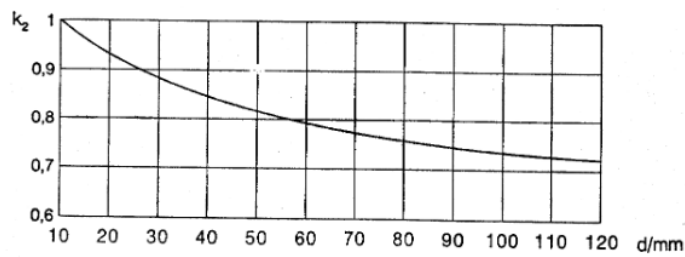
$$K = 0,87 \text{ (taulukosta 3)}$$

$$\sigma_{tw} = 260 \text{ Mpa (taulukosta 4)}$$

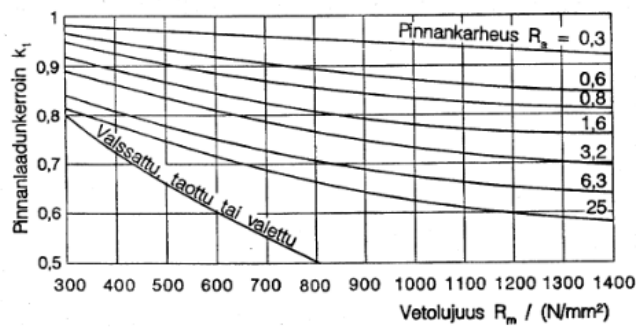
$$K_{ft} = 1 + q(K_t - 1) = 2,62 \text{ (} K_t \text{ taulukosta 5)}$$

Nimellinen taivutusjännitys saadaan kaavasta 7.12.

$$\sigma_{nim} = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3} = 21,22 \text{ MPa} \quad (7.12)$$



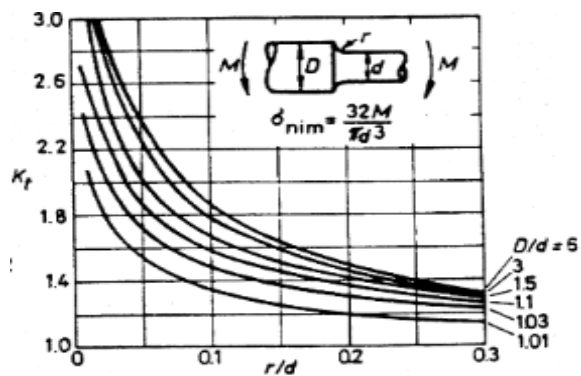
Kuvio 10. Mittakerroin. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu)



Kuvio 11. Koon ja pinnanlaadun huomiointi. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu)

| Teräksen tyyppi | Merkintä | Halkaisija (mm) | R_m (MPa) | R_e (MPa) | σ_{tw} (MPa) |
|-----------------|----------|---------------------|-------------|-------------|---------------------|
| Rakenne-teräs | S355J2 | ...70 (70)...200 | 490 490 | 380 350 | 260 |

Kuvio 12. Materiaali. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu)



Kuvio 13. Lovenvaikutusluku. (Airila ym., Koneenosien suunnittelu)

Sijoittamalla arvot kaavaan 7.11 saadaan:

$$n = 2,96$$

Varmuusluvun tulisi olla $(1,5 \dots) 2 \dots$, joten hyväksytään akselin mitoiksi kuvan 4 mukaiset mitat.

4.4.7 Laakerit

4.4.7.1 Kaapelikelan keskiakseli

Valitaan kuvan 4 akselille sopivat laakerit. Laakereiden mitoituksessa käytetään suurimman kelan massaa, joka on 5000 kg. Massa aiheuttaa laakereihin säteiskuormaa 25 kN yhtä laakeria kohden. Koska laakereihin kohdistuu kelan kiinnityksestä johtuen myös aksiaalisuuntaista kuormitusta, valitaan molempiin päihin ohjaavat laakerit. Arvioidaan aksiaalisuuntaiseksi kuormitukseksi 3 kN.

Kelan pyörimisnopeus on noin 10 rpm, ja laskennallinen elinikä 25000 h.

Laakerin valinnassa huomioitava:

| | |
|----------------|---------------------------|
| Sisähalkaisija | $d = 60\text{mm}$ |
| Ulkohalkaisija | $D = 110\text{mm}$ |
| Säteiskuorma | $F_r = 25\text{kN}$ |
| Aksiaalikuorma | $F_a = 3\text{kN}$ |
| Pyörimisnopeus | $n = 10\text{rpm}$ |
| Elinikä | $L_{10h} = 25000\text{h}$ |

Ratkaistaan eliniän kaavasta 7.13 laakerin dynaaminen kantavuus:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \rightarrow \frac{C}{P} = \left(\frac{L_{10h} \times 60n}{10^6}\right)^{\frac{1}{p}} = \mathbf{2,25} \quad (7.13)$$

$$p = 10/3$$

Dynaaminen ekvivalenttikuorma $P = 25 \text{ kN}$

$$\rightarrow C = 56,33\text{kN}$$

Valitaan SKF:n laakeritaulukosta laakeri **22212 E** ja tarkistetaan sen kestävyys.

Laakerin tiedot:

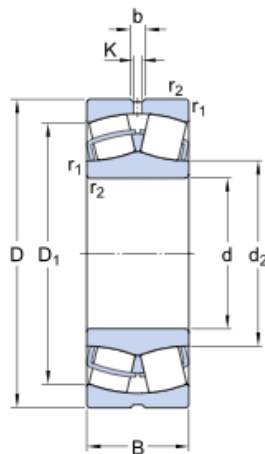
| | |
|--------------------|----------------------|
| $d = 60\text{mm}$ | $C_0 = 169\text{kN}$ |
| $D = 110\text{mm}$ | $B = 28\text{mm}$ |
| $C = 159\text{kN}$ | $e = 0,24$ |
| $Y_1 = 2,8$ | $Y_2 = 4,2$ |
| $Y_0 = 2,8$ | |

Koska $F_a/F_r = 0,12 < e$, dynaaminen ekvivalenttikuorma $P = F_r + Y_1 F_a = \mathbf{33,4\text{ kN}}$

Tarkistetaan laakerin dynaaminen kantavuus C .

$$\frac{C}{P} = 2,25 \rightarrow C = 75,3\text{kN} < 159\text{kN}, \text{ joten OK}$$

Valitaan kaapelikelan keskiakseleille laakerit 22212 E



| | | |
|------------------|----------|----|
| d | 60 | mm |
| D | 110 | mm |
| B | 28 | mm |
| d ₂ | ≈ 72.7 | mm |
| D ₁ | ≈ 96.5 | mm |
| b | 6 | mm |
| K | 3 | mm |
| r _{1,2} | min. 1.5 | mm |

Kuvio 14. Keskiakselin laakeri 22212 E. (www.SKF.fi)

4.4.7.2 Kaapelikelan pyöritys

Kaapelikelan pyöritys tapahtuu kelan ulkokehältä. Kelan ulkoreunoihin painetaan umpikumirullat, joita pyöritetään hydraulimoottorilla. Arvioidaan tarvittavaksi voimaksi 3 kN. Näin ollen laakereihin kohdistuu 3 kN säteiskuorma. Käytetään laskennallisena elinikänä 25000 h ja pyörimisnopeutena 10 rpm.

Laakerin valinnassa huomioitava:

Sisähalkaisija $d = 50\text{mm}$

Ulkohalkaisija $D = 90\text{mm}$

Säteiskuorma $Fr = 3\text{kN}$

$L10h = 25000\text{ h}$

$n = 10\text{ rpm}$

Ratkaistaan eliniän kaavasta dynaaminen kantavuus:

$$L10h = \left(\frac{C}{P}\right)^p \rightarrow \frac{C}{P} = \left(\frac{L10h \times 60n}{10^6}\right)^{\frac{1}{p}} = \mathbf{2,25} ; p = 10/3$$

Dynaaminen ekvivalenttikuorma $P = 3\text{kN}$

$$\rightarrow C = 6,76$$

Valitaan SKF:n laakeritaulukosta laakeri 22210 E

$d = 50\text{mm}$ $C_0 = 108\text{kN}$

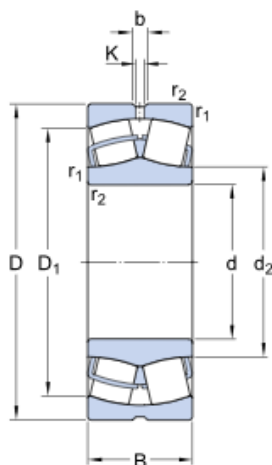
$D = 90\text{mm}$ $B = 23\text{mm}$

$C = 107\text{kN}$ $e = 0,24$

$Y_1 = 2,8$ $Y_2 = 4,2$

$Y_0 = 2,8$

Valitun laakerin dynaaminen kantavuus on reilusti suurempi kuin laskettu kantavuus, joten valitaan laakeri **22210E**.



| | | |
|------------------|----------|----|
| d | 50 | mm |
| D | 90 | mm |
| B | 23 | mm |
| d ₂ | ≈ 60 | mm |
| D ₁ | ≈ 79 | mm |
| b | 5.5 | mm |
| K | 3 | mm |
| r _{1,2} | min. 1.1 | mm |

Kuvio 15. Pyöritinakselin laakeri 22210E. (www.SKF.fi)

5 Kustannukset

Kaapelivaunun kustannukset koostuvat materiaalin hinnasta ja valmisosien hinnasta.

Taulukossa 6 on eritelty eri putkiprofiilien metrihinta, lopullinen menekki ja hinta.

Taulukossa 7 on eritelty valmisosien hinnat. Kokoonpano-, sekä muut valmistuskustannukset on arvioitu viimeisenä.

Taulukko 3. Materiaalikustannukset.

| Profiili | Pituus (m) | à-hinta (€/m) | Yht. |
|----------------|------------|---------------|------|
| 180x180x10 | 5,5 | 80 | 440 |
| 180x180x5 | 12 | 45 | 540 |
| 180x100x10 | 14 | 54 | 756 |
| 160x80x5 | 2 | 28 | 56 |
| 70x70x10 | 2 | 28 | 56 |
| 70x70x5 | 2 | 15 | 30 |
| Yhteensä (€) | | | 1878 |

Taulukko 4. Valmisosien kustannukset.

| Osa | Määrä (kpl) | Hinta (€) | Yht. |
|--------------------------------|-------------|-----------|--------|
| Hydraulimoottori | 1 | 300 | 300 |
| Laakeri 22212 E | 2 | 89,7 | 179,4 |
| Laakeri 22210 E | 2 | 58,2 | 116,4 |
| Hydraulisylinteri TT40/25-550 | 3 | 120 | 360 |
| Hydraulisylinteri TT80/50-1200 | 2 | 316 | 632 |
| Vetosilmukka pyörivä 11 ton | 1 | 30 | 30 |
| Peräkärryn napa | 4 | 169 | 676 |
| Hydrauliletku 16 metriä | 1 | 160 | 160 |
| Yhteensä (€) | | | 2453,8 |

6 Yhteenveto

Kokonaisuutena työ oli mielenkiintoinen. Itseäni kiinnosti erityisesti työn käytännöllisyys ja se että opinnäytetyön tuloksena saadaan konkreettinen tuote. Löysin kehitystarpeisiin ratkaisut ja mitoitin tarvittavat komponentit. Laitteesta tehtyjen piirustusten perusteella laite voidaan valmistaa ja sen käytettävyyden arviointi voidaan suorittaa testauksen jälkeen. Työn aloitusvaiheessa oli tarkoitus saada opinnäytetyöhön myös testaustulokset, mutta laitteen valmistus viivästyi.

Pidän työn tulosta ja sen sisältämiä asioita luotettavana. Kehitetyt asiat perustuvat osalta ideointiin ja osalta laskentaan. Ideoidut kehitysideat on suunniteltu käyttämällä lujuuslaskentaa kestävyuden varmistamiseen. Uskon että suunniteltu laite on käytettävyydeltään parempi, kuin markkinoilla olevat. Laitteen kustannukset ovat suhteellisen pienet verrattuna markkinoilla olevien laitteiden hintoihin, joten myös kustannustehokkuus on onnistunut.

Kehitettävää jäi kuitenkin vielä ja uskon, että laitteen testauksen jälkeen mahdolliset kehityskohteet ovat selkeämmin nähtävissä. Jo tässä vaiheessa voidaan kuitenkin todeta, että esimerkiksi kaapelin ohjaus kelalta syötettäessä vaatisi vielä kehitystä. Jatkokehitysideana ongelmaan voisi olla esimerkiksi hydraulisen ohjainpuomin asentaminen vaunun takaosaan. Prosessin alkuvaiheessa tunnistetut kehitystarpeet on kuitenkin huomioitu ja niihin on ratkaisut.

Kokonaisuutena ajatellen mekaniikan suunnittelu työllisti eniten. Laitteen rakenteen yleinen suunnittelu toiminnalliseksi kokonaisuudeksi oli suurin kokonaisuus. Yhteenvetona voidaan sanoa, että työn tavoite saavutettiin.

Lähteet

Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä

Elovaara & Haarla 2011. Sähköverkot 1. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: University Press Finland

www.hytar.fi/moottorit

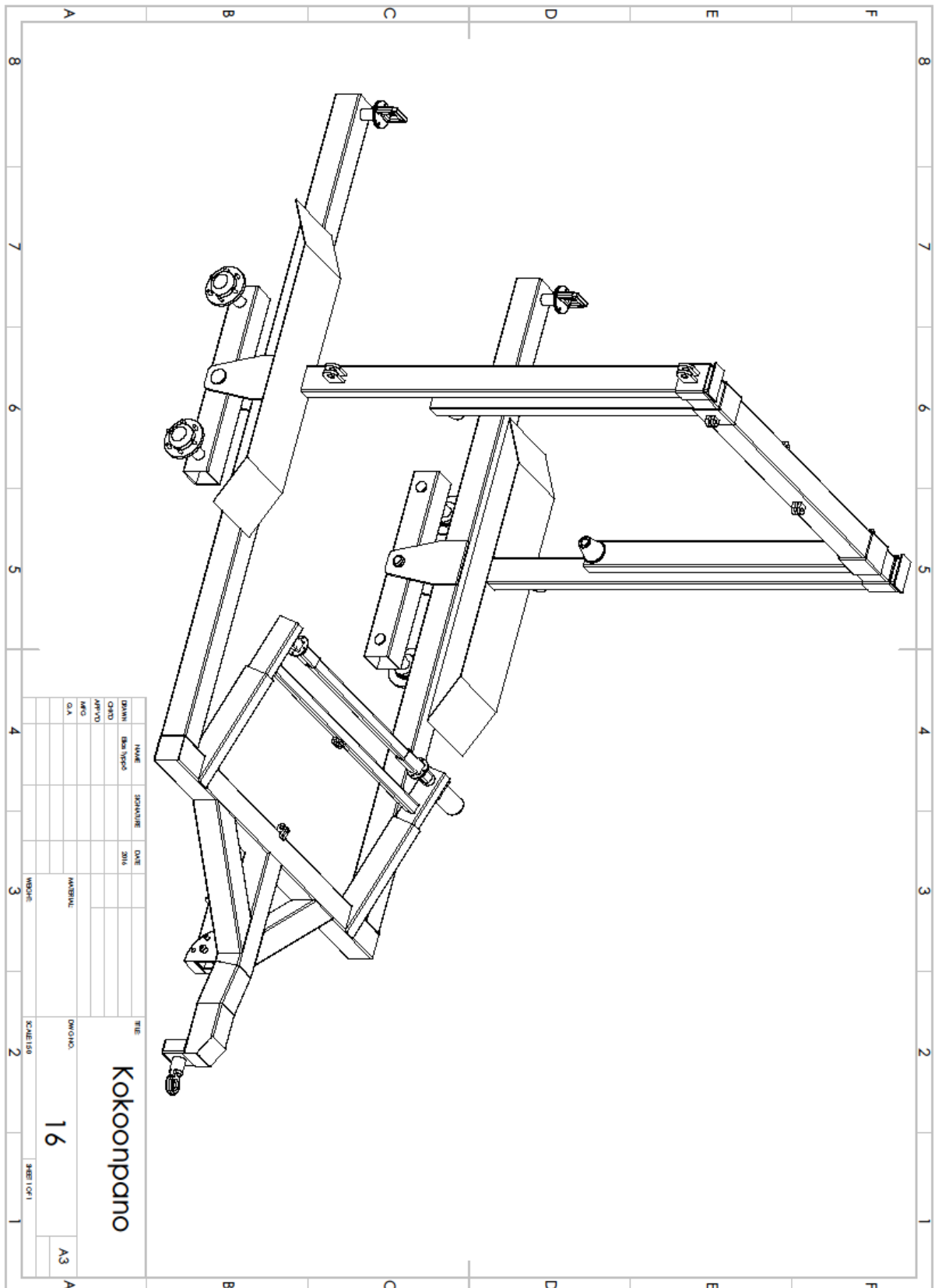
www.skf.fi/laakerit

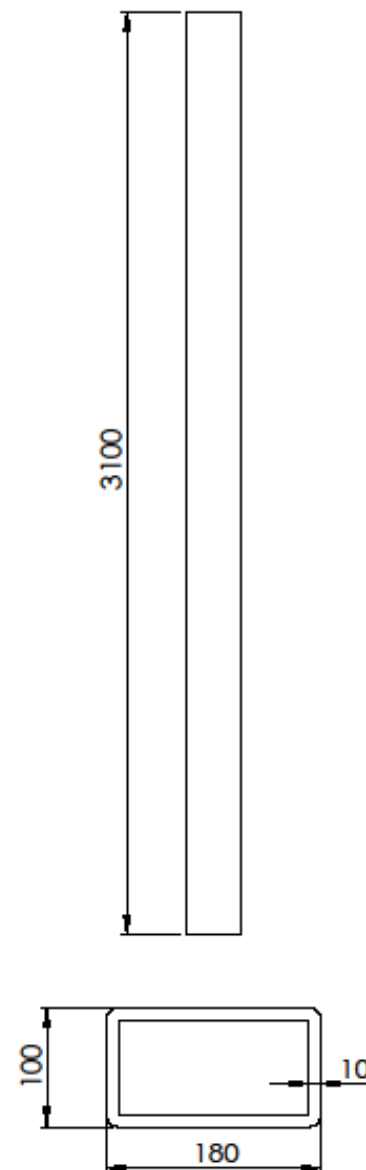
www.agropoint.fi/products

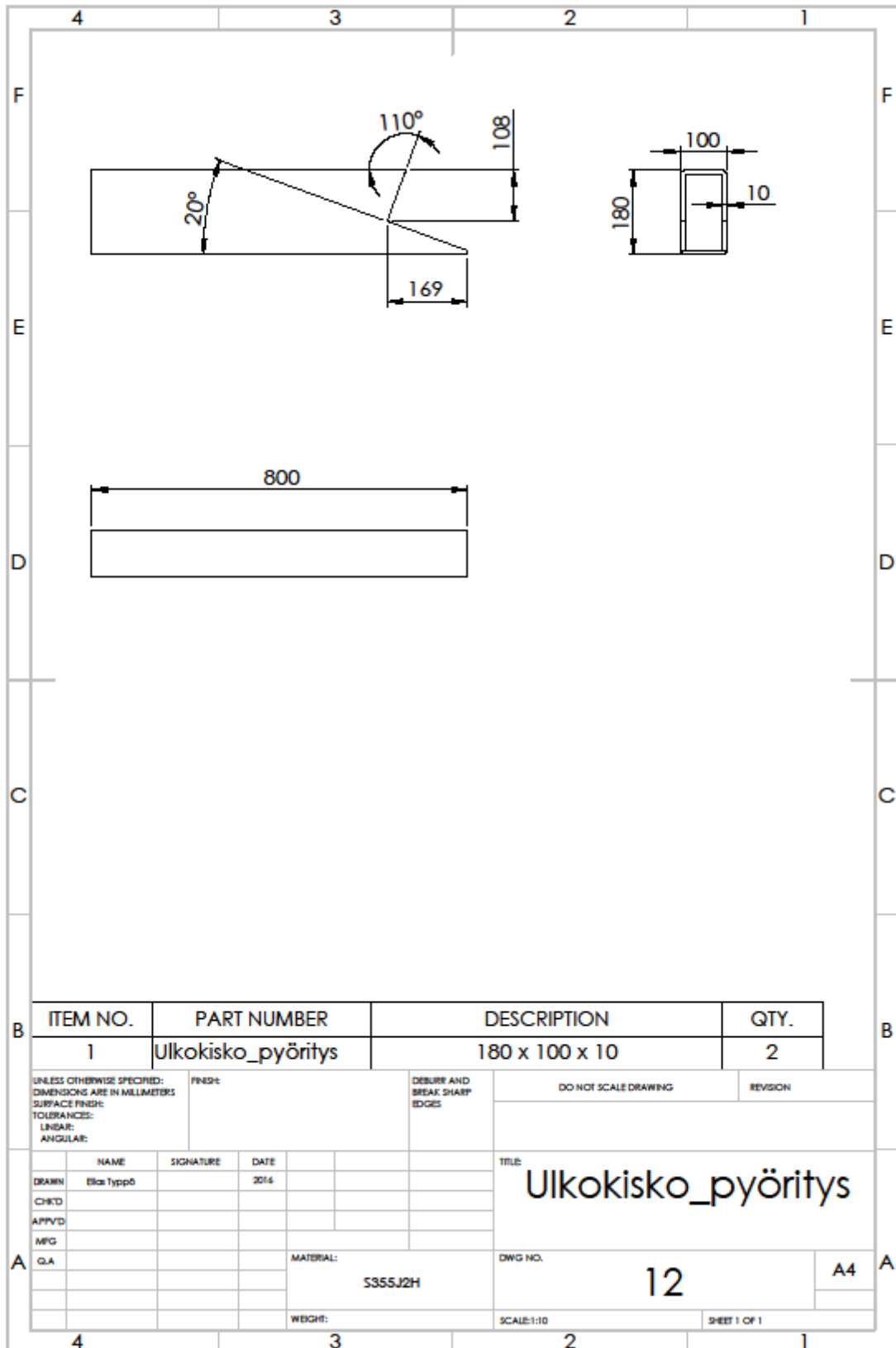
Airila, M. 2003. Koneenosien suunnittelu WSOY

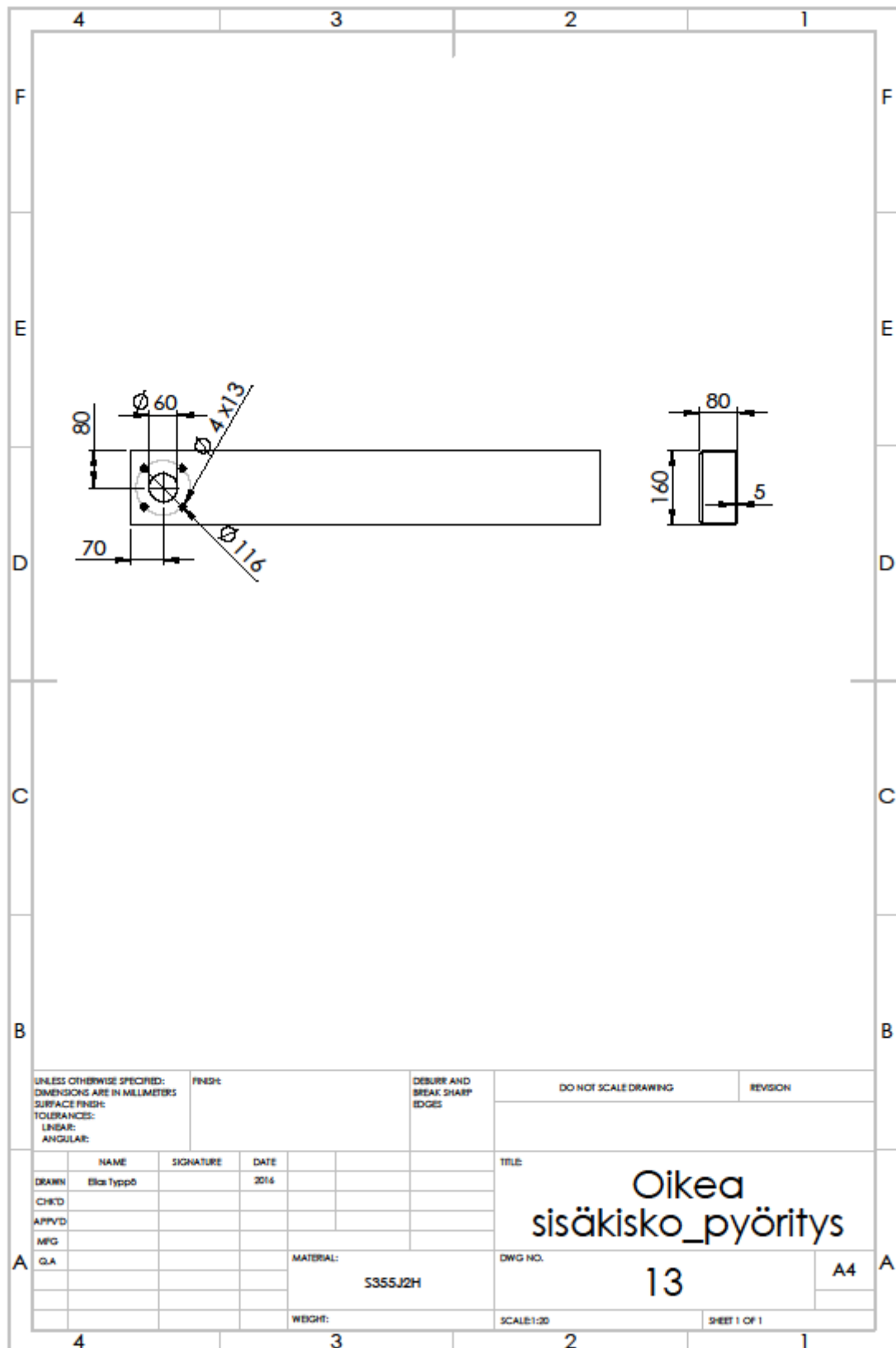
www.reka.fi

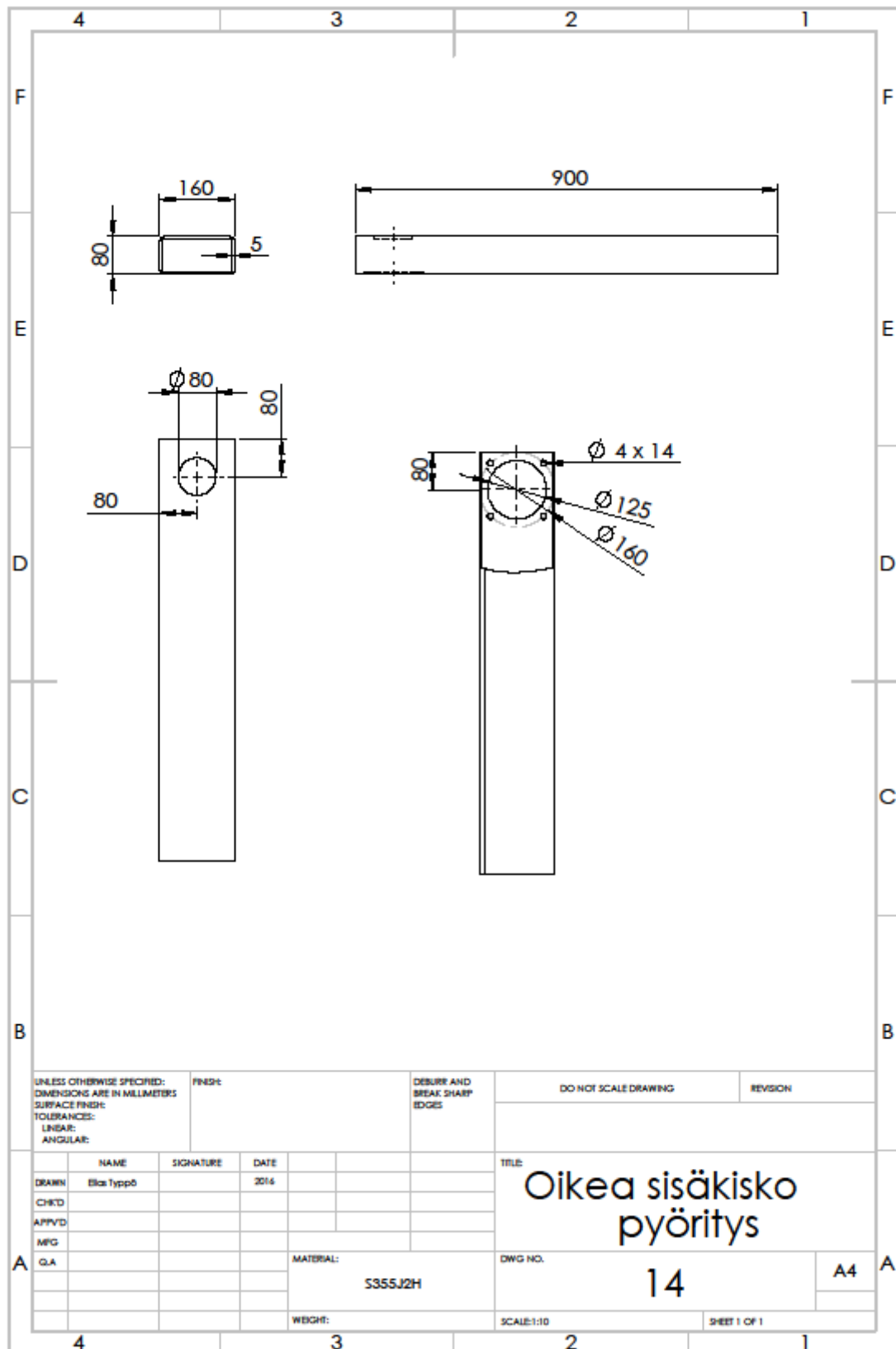
Liitteet

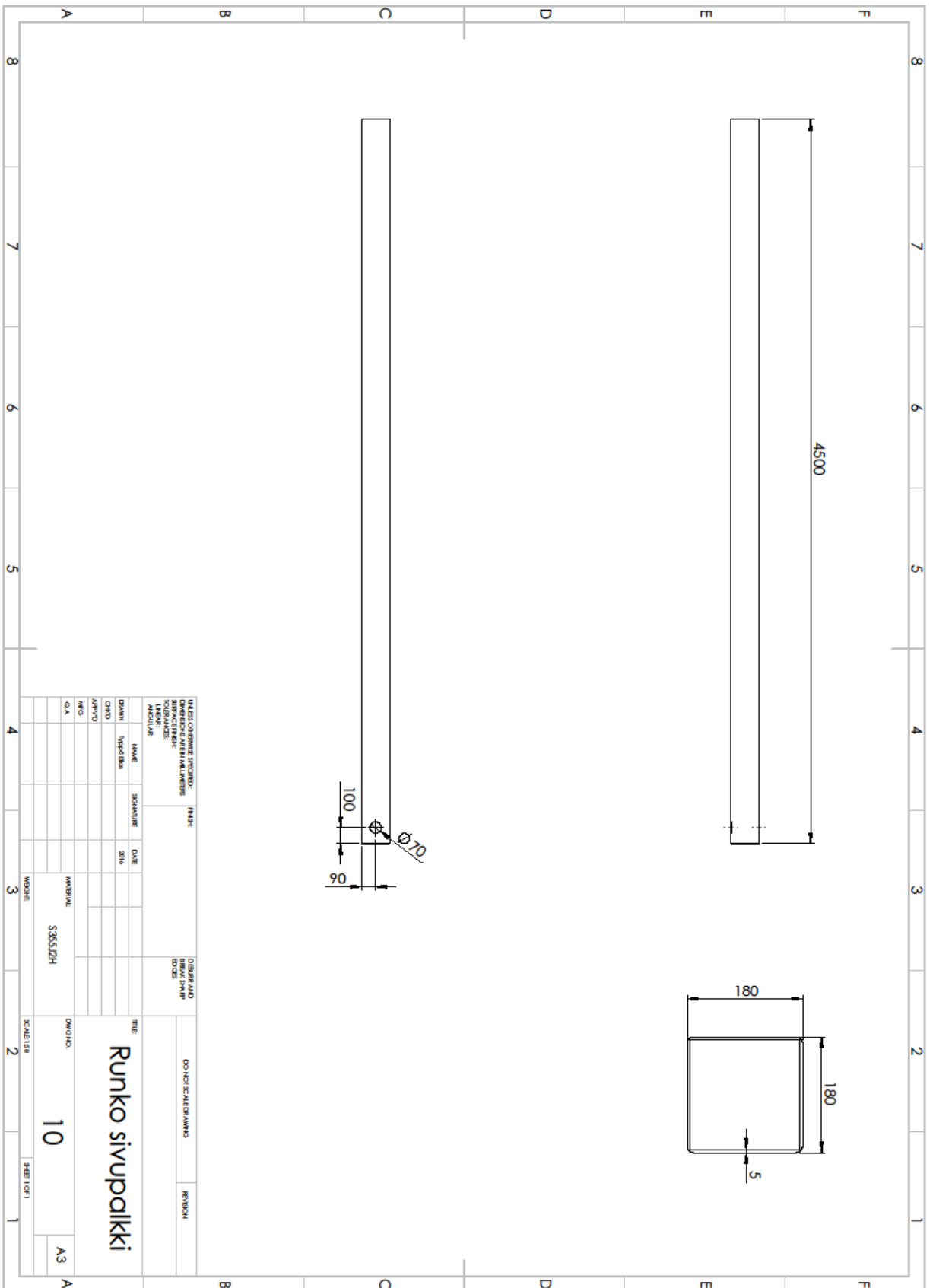


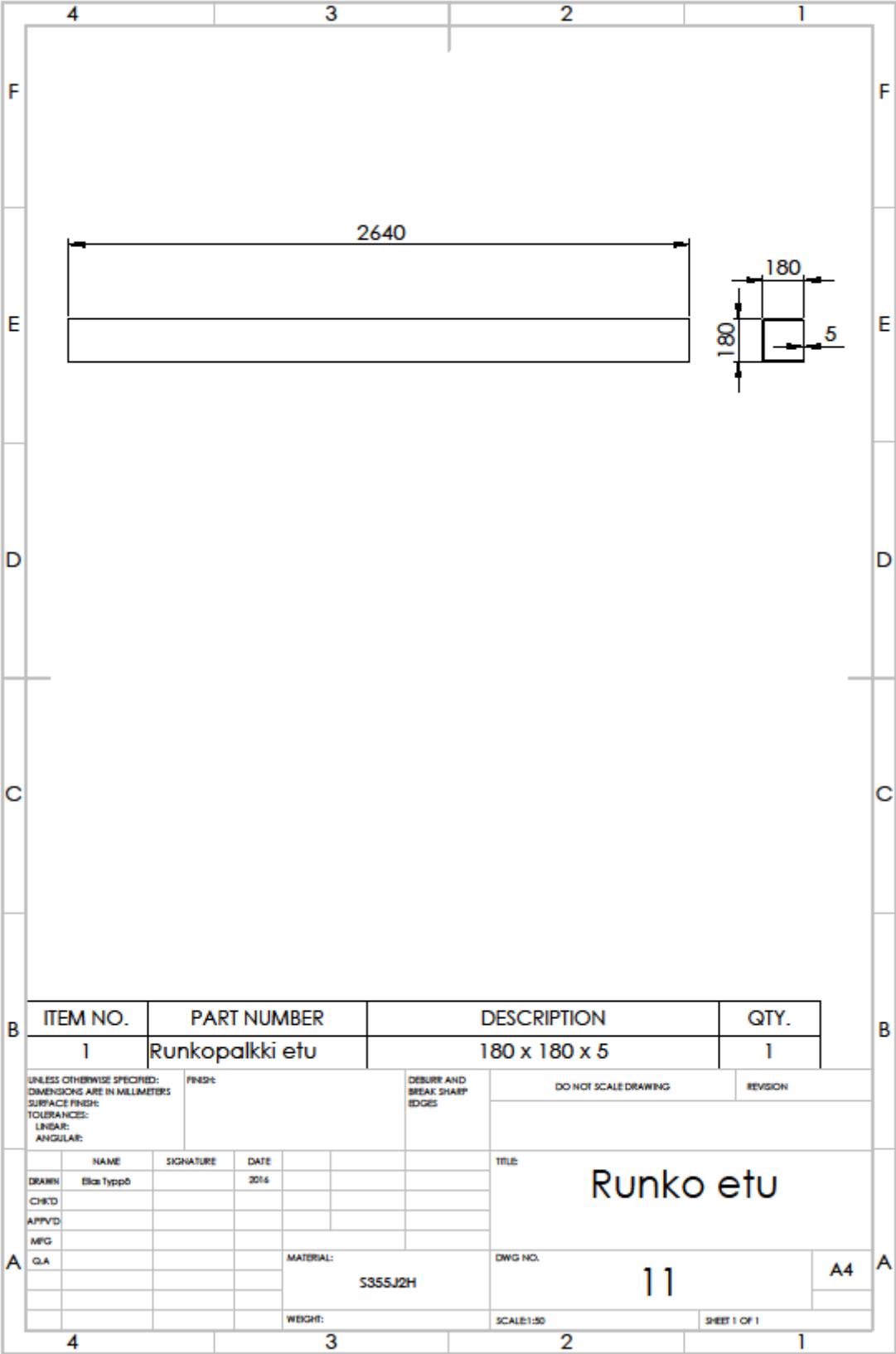
| 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|---|------------------|------------|----------------|---|---|--|------------------|--|------|--|--|--|--------|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|---|-------------------|--|--|--|--|---|-------------------|------------------------|--|--|----------------------------|--|--|---|
| F |  | | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | | | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | | | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">ITEM NO.</th> <th style="width: 25%;">PART NUMBER</th> <th style="width: 45%;">DESCRIPTION</th> <th style="width: 15%;">QTY.</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Nostokisko</td> <td>180 x 100 x 10</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> </table> | | ITEM NO. | PART NUMBER | DESCRIPTION | QTY. | 1 | Nostokisko | 180 x 100 x 10 | 2 | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ITEM NO. | PART NUMBER | DESCRIPTION | QTY. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Nostokisko | 180 x 100 x 10 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <small>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:</small> </td> <td style="width: 25%; vertical-align: top;"> <small>FINISH:</small> <small>DEBURR AND BREAK SHARP EDGES</small> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <small>DO NOT SCALE DRAWING</small> <small>REVISION</small> <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;"> Kelan nostokisko </div> </td> </tr> <tr> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">NAME</th> <th style="width: 15%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 15%;">DATE</th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> </tr> <tr> <td>DRWN: Elia Typpö</td> <td></td> <td>2016</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHK'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APP'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QA:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </td> <td colspan="2" style="vertical-align: top;"> <small>MATERIAL:</small> <div style="text-align: center;">S355J2H</div> </td> <td style="vertical-align: top;"> <small>DWG NO.</small> <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;">12</div> </td> <td style="vertical-align: top;"> <small>A4</small> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="vertical-align: top;"> <small>WEIGHT:</small> </td> <td colspan="3" style="vertical-align: top;"> <small>SCALE: 1:20</small> </td> </tr> </table> | | <small>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:</small> | <small>FINISH:</small> <small>DEBURR AND BREAK SHARP EDGES</small> | <small>DO NOT SCALE DRAWING</small> <small>REVISION</small> <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;"> Kelan nostokisko </div> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">NAME</th> <th style="width: 15%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 15%;">DATE</th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> </tr> <tr> <td>DRWN: Elia Typpö</td> <td></td> <td>2016</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHK'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APP'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QA:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | NAME | SIGNATURE | DATE | | | | DRWN: Elia Typpö | | 2016 | | | | CHK'D: | | | | | | APP'D: | | | | | | MFG: | | | | | | QA: | | | | | | <small>MATERIAL:</small> <div style="text-align: center;">S355J2H</div> | | <small>DWG NO.</small> <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;">12</div> | <small>A4</small> | <small>WEIGHT:</small> | | | <small>SCALE: 1:20</small> | | | A |
| <small>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:</small> | <small>FINISH:</small> <small>DEBURR AND BREAK SHARP EDGES</small> | <small>DO NOT SCALE DRAWING</small> <small>REVISION</small> <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;"> Kelan nostokisko </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">NAME</th> <th style="width: 15%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 15%;">DATE</th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;"></th> </tr> <tr> <td>DRWN: Elia Typpö</td> <td></td> <td>2016</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHK'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APP'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QA:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | NAME | SIGNATURE | DATE | | | | DRWN: Elia Typpö | | 2016 | | | | CHK'D: | | | | | | APP'D: | | | | | | MFG: | | | | | | QA: | | | | | | <small>MATERIAL:</small> <div style="text-align: center;">S355J2H</div> | | <small>DWG NO.</small> <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;">12</div> | <small>A4</small> | | | | | | | | | | | | | |
| NAME | SIGNATURE | DATE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DRWN: Elia Typpö | | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CHK'D: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APP'D: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MFG: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| QA: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <small>WEIGHT:</small> | | | <small>SCALE: 1:20</small> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

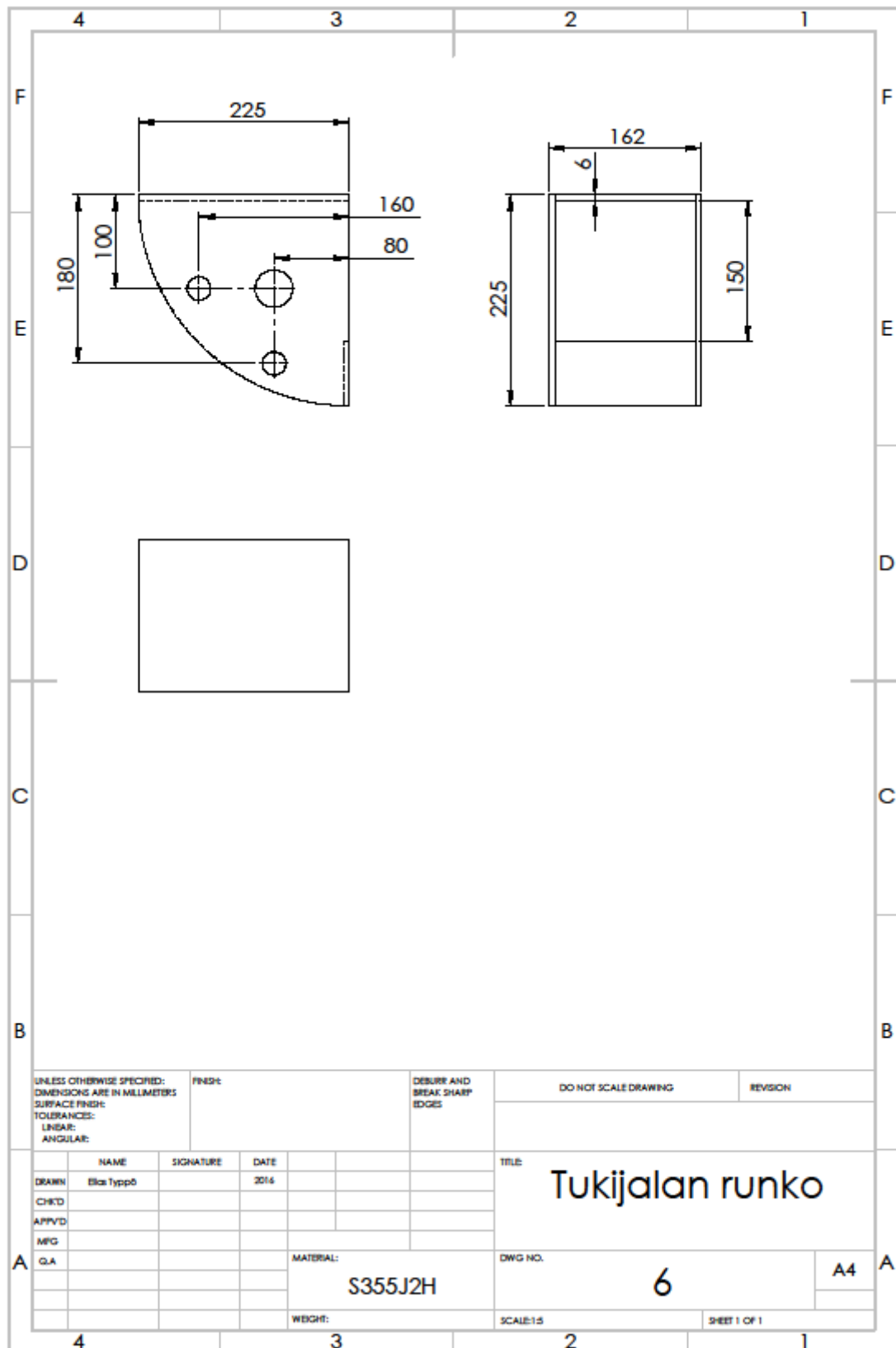


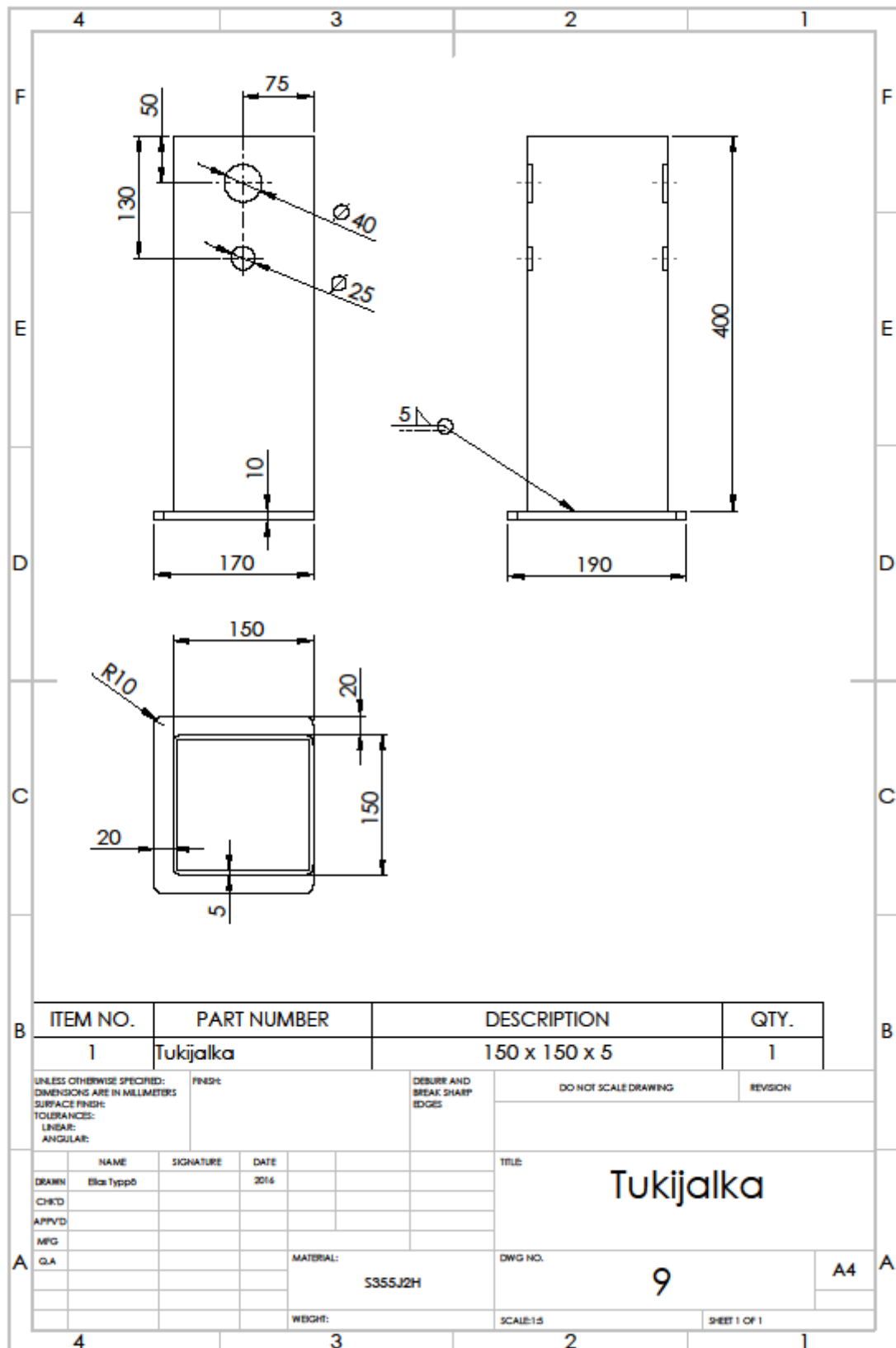












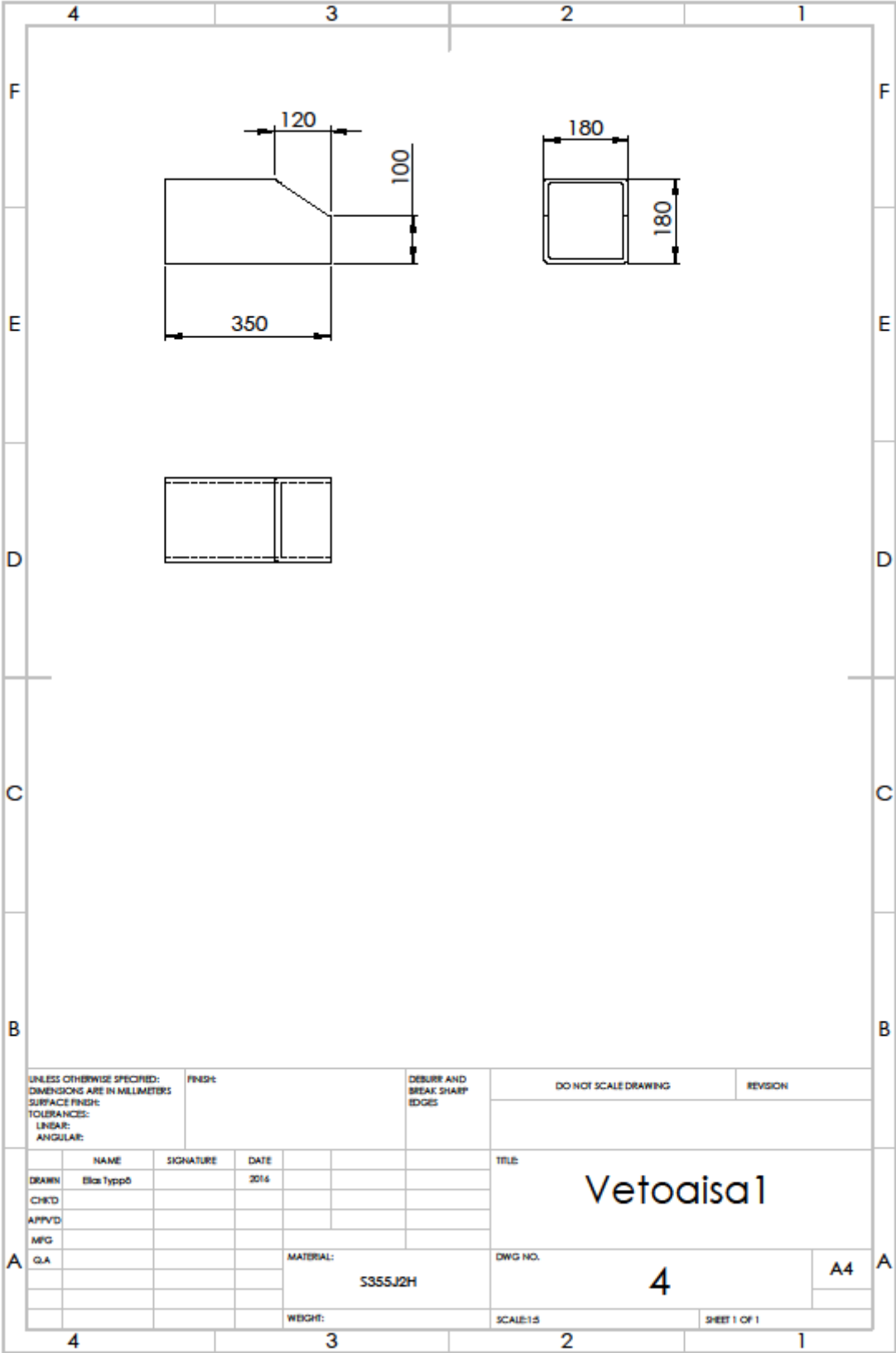
| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | 3 | 2 | 1 |
| F | | | F |
| E | | | E |
| D | | | D |
| C | | | C |
| B | | | B |
| A | | | A |
| 4 | 3 | 2 | 1 |

| ITEM NO. | PART NUMBER | DESCRIPTION | QTY. |
|----------|-------------|--------------------|------|
| 1 | Vetoaisa3 | RHS 180 x 180 x 10 | 1 |

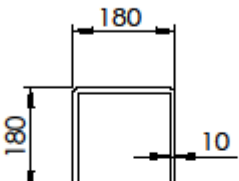
| | | | | |
|---|---------|------------------------------------|----------------------|----------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR: | FINISH: | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
|---|---------|------------------------------------|----------------------|----------|

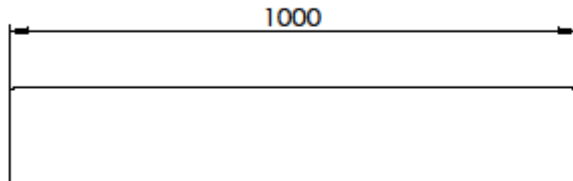
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NAME</th> <th style="width: 15%;">SIGNATURE</th> <th style="width: 15%;">DATE</th> <th style="width: 10%;">DATE</th> <th style="width: 10%;">DATE</th> <th style="width: 10%;">DATE</th> </tr> <tr> <td>DRWN: Eka Typo</td> <td></td> <td>2016</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHKD:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APP'D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q.A:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | NAME | SIGNATURE | DATE | DATE | DATE | DATE | DRWN: Eka Typo | | 2016 | | | | CHKD: | | | | | | APP'D: | | | | | | MFG: | | | | | | Q.A: | | | | | | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"> MATERIAL: S355J2H </td> <td style="width: 50%;"> DWG NO. 7 </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> SCALE: 1:10 </td> </tr> </table> | MATERIAL: S355J2H | DWG NO. 7 | SCALE: 1:10 | |
|---|-----------|-----------|------|------|------|------|----------------|--|------|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|-------------------|-----------|-------------|--|
| NAME | SIGNATURE | DATE | DATE | DATE | DATE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DRWN: Eka Typo | | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CHKD: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APP'D: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MFG: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q.A: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL: S355J2H | DWG NO. 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SCALE: 1:10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

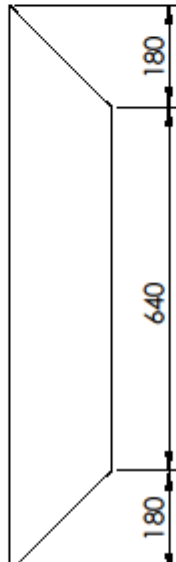
| | |
|------------------|----|
| TITLE: Vetoaisa3 | A4 |
|------------------|----|

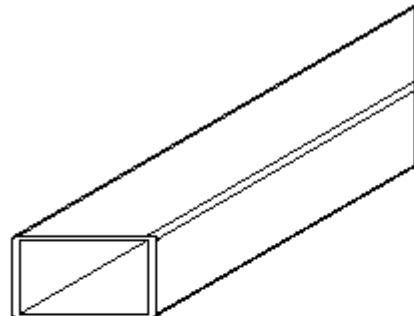


| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | 3 | 2 | 1 |
| F | | | F |
| | E | | E |
| | D | | D |
| | C | | C |
| | B | | B |
| | A | | A |
| 4 | 3 | 2 | 1 |









| ITEM NO. | PART NUMBER | DESCRIPTION | QTY. |
|----------|----------------|--------------------|------|
| 1 | Vetoaisan tuki | RHS 180 x 180 x 10 | 2 |

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

| | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|--|--|--|----------------|
| <small>NAME</small> | <small>SIGNATURE</small> | <small>DATE</small> | | | | Vetoaisan tuki |
| <small>DRAWN</small> | Ela Typpö | 2016 | | | | |
| <small>CHECKED</small> | | | | | | |
| <small>APPROVED</small> | | | | | | |
| <small>MFG</small> | | | | | | |
| <small>Q.A.</small> | | | | | | |

MATERIAL:

S355J2H

WEIGHT:

DWG NO.

8

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1

A4

