



Matti Ylitalo

# **ELEKTRODIEN KÄSITTELYPAIKAN MODERNISOINTISUUNNITTELU**

# **ELEKTRODIEN KÄSITTELYPAIKAN MODERNISOINTISUUNNITTELU**

Matti Ylitalo  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotalous, koneautomaatio

---

Tekijä: Matti Ylitalo

Opinnäytetyön nimi: Elektrodien käsittelypaikan modernisointisuunnittelu

Työn ohjaaja: Mikko Ylimaula

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012

Sivumäärä: 64 + 7 liitettä

---

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli saavuttaa aiempaa turvallisempi työnsuoritustapa valokaariuunin tasolla Tornion terästehtaalla. Työn toimeksiantaja oli Outokumpu Stainless Oy. Työturvallisuuden parantamiseksi valokaariuunin tasolle hankitaan elektrodinkääntölaitteisto, jolla vanhentunut toimintamalli saadaan modernisoitua vastaamaan nykypäivän normeja.

Opinnäytetyössä suunniteltiin kääntölaitteisto ja määritettiin kääntölaitteiston sijoituspaikka. Laitteisto suunniteltiin vaihtoehdoksi markkinoilla oleville valmiille laitteistokokonaisuuksille. Rakenteiden ja toimilaitteiden mitoituksessa hyödynnettiin erilaisia alan lähdeteoksia, kuten Tekniikan taulukkokirjaa ja valmistajien erikseen määrittämiä ohjeita sekä suunnittelumalleja. Laitteiston pääraakenneosat suunniteltiin kahdessa osassa, joita ovat elektrodipöytä ja kääntölaite. Elektrodipöydän perusrakenteet mitoitettiin lujuusopillisesti ja mitoitettuja rakenteita hyödynnettiin edelleen kääntölaitteen suunnittelussa. Kääntölaitteen rakennevaihtoehdot käytiin läpi perusteellisesti morfologisen analyysin avulla. Kääntötapahtuma jaettiin osatoimintoihin ja osatoiminnoille annettiin erilaiset toteuttamisvaihtoehdot, kuten käännölle tehonsiirtomuodon vaihtoehdoiksi pneumatiikka, hydraulikka, hammaspyörät ja ketju. Osatoiminnot koottiin kokonaisuuksiksi. Vaihtoehdoiset kokonaisuudet pisteytettiin ja eniten pisteitä saanut toteuttamisvaihtoehto valittiin kääntölaitteen suunnittelun lähtökohdaksi. Laitteiston suunnittelussa käytettiin Solidworks-3D-mallinnusohjelmaa. Laitteisto mallinnettiin kokonaisuudessaan ja rakenteiden kestävyyttä simuloitiin mallinnusohjelmalla. Kääntölaitteistoon mitoitettiin tarvittavat hydrauliset toimilaitteet, venttiilit ja iskunvaimennus. Laitteiston valmistamisesta aiheutuvista kustannuksista tehtiin kustannuslaskelma. Laitteen käytöstä laadittiin käyttöohjeet.

Työn tuloksena suunniteltiin teräsrakenteinen, hydraulitoiminen elektrodinkääntölaitteisto. Laitteisto on rakenteeltaan yksinkertainen, ja se voidaan toteuttaa sellaisenaan Tornion terästehtaalla. Kääntölaitteistosta tehtiin valmistuspiirustukset, kustannuslaskelma ja käyttöohjeet. Suunnitellun laitteiston avulla työturvallisuus elektrodien kääntötilanteessa paranee ja toimintamalli modernisoituu.

---

Asiasanat:

Laitteistot, lujuusoppi, mekaniikka, suunnittelu

## **ALKULAUSE**

Opinnäytetyö tehtiin Outokumpu Stainless Oy:lle keväällä 2012. Kiitän tilaajan edustajaa, jaloterässulon mekaanisen kunnossapidon vanhempaa työsuunnittelijaa Yrjö Sattaa käytännönläheisistä neuvoista suunnittelutyön eri vaiheissa. Haluan myös osoittaa kiitokseni Oulun seudun ammattikorkeakoulun opettajille, ja heistä erityisesti opinnäytetyöohjaajalleni lehtori Mikko Ylimaulalle ja lujuuslaskennan ekspertille lehtori Esa Kontiolle. Suurin kiitos perheelleni ja ystävilleni, erityisesti Johannalle tuesta ja ymmärryksestä menneen puolen vuoden aikana, jolloin vietin suuren osan vapaa-ajastani tämän opinnäytetyön parissa. Kiitos.

Oulussa 7.4.2012

Matti Ylitalo

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Outokumpu Stainless Oy	7
1.2 Työn tavoitteet	8
2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	9
2.1 Prosessi valokaariuunilla	9
2.2 Grafiittielektrodi	10
2.3 Laitteiston sijoittaminen	11
3 LAYOUT-SUUNNITTELU	12
4 ELEKTRODIPÖYDÄN SUUNNITTELU	13
4.1 Vaakapalkkien mitoitus	14
4.2 Pöydän kaltevuuden mitoitus	16
4.3 Pysäyttimen mitoitus	22
4.4 Pystypalkkien koon määrittäminen	23
4.5 Elektrodipöydän mallinnus	25
5 KÄÄNTÖLAITTEEN SUUNNITTELU	28
5.1 Kokonaistoimintamallin määrittäminen	28
5.1.1 Osatoimintojen yhdistäminen	30
5.1.2 Hyötyarvoanalyysi	32
5.2 Kääntölaitteen rakenteen mallinnus	33
5.3 Kääntölaakereiden mitoitus	38
6 TOIMILAITTEIDEN VALINTA	41
6.1 Elektrodien annostelusylinteri	42
6.2 Elektrodin kääntösylinteri	44
6.3 Elektrodin lukitusylinteri	47
6.4 Hydraulijärjestelmän venttiilit	49
6.5 Hydrauliputkien ja liittimien valinta	50
6.6 Iskunvaimentimen mitoitus	52
7 VAIHTOEHTOISET TOTEUTUSTAVAT	55

8 TULOKSET	56
9 YHTEENVETO	58
LÄHTEET	61
LIITTEET	64

# 1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa teknologiayrityksessä työturvallisuus on merkittävä osa yrityskokonaisuutta. Yrityksissä tiedostetaan tilastolliset tosiasiat, joiden mukaan puutteellisista työoloista aiheutuu vuosittain merkittäviä taloudellisia menetyksiä. Suomessa tapahtui vuonna 2008 yli 153 000 työtapaturmaa (1, s. 1). Työturvallisuuteen vaikuttavia investointeja tehdään jatkuvasti merkittävien panoksin, ja suurimmissa yrityksissä työskentelee henkilöitä, jotka on palkattu ainoastaan kehittämään työturvallisuutta.

## 1.1 Outokumpu Stainless Oy

Opinnäytetyön tilaajana on Outokumpu Stainless Oy. Tehdas valmistaa vuosittain erilaisia teräslaatuja laajasta laatuvalikoimasta asiakkaan vaatimusten mukaan nauha- ja levytuotteina. Terästehtaan asiakkaita ovat jakelijat, jälleenvälisaajat, jatkojalostajat, putkenvalmistajat sekä lopputuote- ja projektiasiakkaat eriteollisuuden aloilla. (2, s. 2.)

Outokumpu Stainless on osa Outokumpu Oy:n suuryritystä. Sen juuret ovat yli sadan vuoden takana vuodessa 1910, jolloin Kuusjärven pitäjältä löydettiin kuparimalmia. (3, s. 10.)

Sadan vuoden aikana yritys on kasvanut yhdeksi maailman suurimmista terästuottajista, ja vuonna 2010 Outokumpu työllisti maailmanlaajuisesti yli 8 000 työntekijää (2, s. 2). Outokumpu Stainless Oy:n tuotantolaitos Tornion Terästehtas sijaitsee Tornion Röntässä. Terästehtaan 1. linjalla tuotanto käynnistyi vuonna 1976 (3, s. 343).

## 1.2 Työn tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä selvitetään keinot, joilla pystytään parantamaan päivit-  
täisten töiden turvallisuutta ja työn sujuvuutta Tornion terästehtaan teräsulaton  
1-linjalla, valokaariuunin tasolla. Tasolle suunnitellaan elektrodinkääntölaitteisto,  
jonka avulla työtehokkuutta ja turvallisuutta saadaan parannettua merkittävästi.  
Työn alkuperäinen kuvaus, tavoitteet ja tavoiteaikataulu on esitetty lähtötieto-  
muistiossa liitteessä 1.

Opinnäytetyössä tutkitaan erilaisia toteutusvaihtoehtoja ja käydään läpi vaihto-  
ehtoiset elektrodin kääntämismenetelmät sekä suunnitellaan kääntölaitteisto,  
jolla elektrodien kääntäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Suunnittelutyöhön  
sisällytetään kääntölaitteiston rungon mitoitus ja lujuuslaskenta, tarvittavien toi-  
milaitteiden valinta ja kytkentöjen suunnittelu sekä laitteiston käyttöohjeiden laa-  
timinen.

Suunnittelutyöhön ei sisällytetä nosto-ohjeita, eikä työssä suunnitella erillistä  
nostinta elektrodien siirtelyyn. Laitteistolle lasketaan kustannusarvio ja sitä ver-  
rataan jo olemassa oleviin kääntölaitesovelluksiin. Kokonaistavoitteena on sel-  
vittää vaihtoehdot, joilla tilaaja voi luoda valokaariuunin tasolle turvallisemman  
työympäristön.



## 2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Suunnittelutyön lähtökohtana oli tarve laitteelle, jolla päivittäinen elektrodien jatkotoimenpide saadaan modernisoitua vastaamaan nykypäivän yleisiä turvallisuuskriteereitä ja toimintamalleja terässulaton 1-linjan valokaariuunilla. Tämänhetkisen toimintamallin mukaan elektrodit nostetaan trukilla pöytätasolla ja siitä edelleen käännetään pystyasentoon siltanosturilla. Siltanosturilla käännettäessä elektrodi lähtee helposti heilumaan, ja pahimmassa tapauksessa seurauksena voivat olla vakavat henkilö- tai aineelliset vahingot. Suunnittelutyön lähtötilanne on esitetty kuvassa 1.



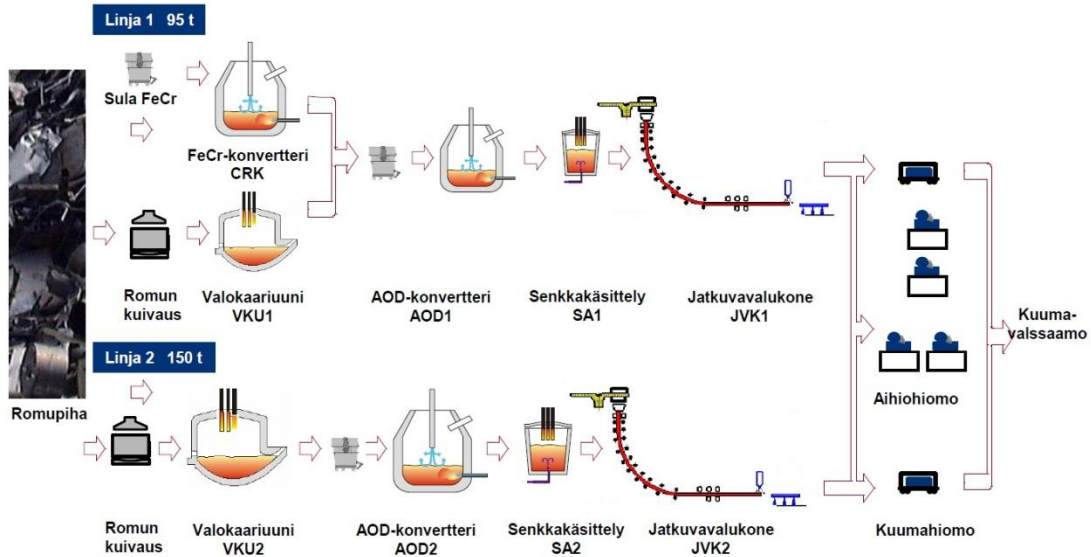
*KUVA 1. Lähtötilanne*

Kuvassa oikealla on tällä hetkellä käytössä oleva elektrodinsäilytyspöytä. Vasemmalla lattialla on elektrodien nostamiseen käytettäviä nostosilmukoita ja niiden takana näkyy kaksi elektrodien pystysäilytyspaikkaa.

### 2.1 Prosessi valokaariuunilla

Teräksen valmistus on jatkuva prosessi, jonka pääraaka-aineena käytetään ruostumatonta ja mustaa kierrätysromua. Tuotantolinjalla 1. pääraaka-aineena on musta kierrätysromu. Teräksen valmistus aloitetaan panostamalla kierrätys-

romu valokaariuuniin, jossa raaka-aine sulatetaan valokaaren avulla sulaan muotoon. Valokaari johdetaan kierrätysromuun grafiittihiilielektrodien välityksellä. Terästehtaan tuotantokaavio on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Terästehtaan tuotantokaavio (4, s. 42)

## 2.2 Grafiittielektrodi

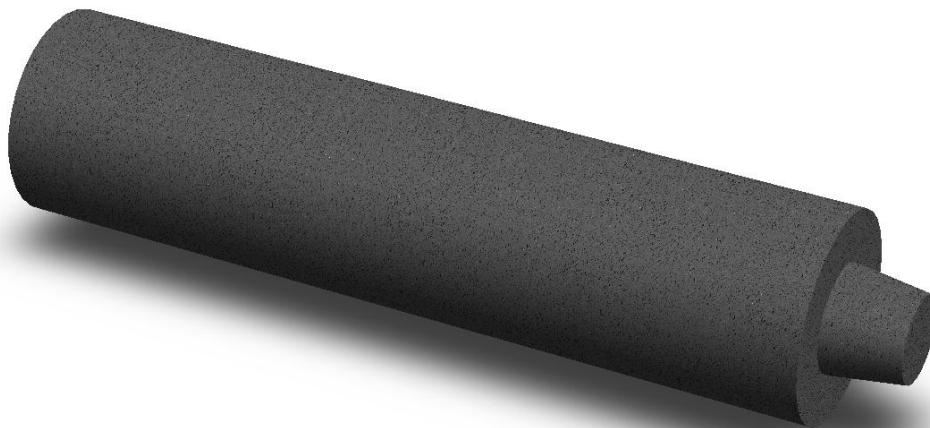
Terästä valmistetaan sulattamalla kierrätysteräs valokaariuunissa. Sulatukseen käytetään grafiittielektrodeja, joiden läpi kierrätysteräkseen johdetaan sähkövirta. Yhdessä valokaariuunissa elektrodeja on kolme.

Prosessin aikana elektrodien kärki kuluu ja elektrodien jatkaminen on välttämätön prosessin oheistoimi. Yhden normaalin prosessipäivän aikana jokaista elektrodia jatketaan kolmella elektrodisauvalla, eli kokonaisuudessaan päivän kokonaislukumääräksi tulee keskimäärin yhdeksän jatkotoimenpidettä. Kaikki jatkotoimenpiteet tehdään yleisesti yhdellä kertaa kerran päivässä. Elektrodeja jatketaan kiertämällä elektrodisauva toisen elektrodisauvan päähän.

Suunnittelutyön lähtökohtana käytetyt elektrodit ovat nimellismitoiltaan 2 400 millimetrin pituisia ja halkaisijaltaan 600 millimetriä. Yksi 24T4L-mallinen elektроди painaa 1 191 kilogrammaa. (5) Elektrodin halkaisijan toleranssi on 607 - 613 mm (6). Pituuden toleranssi on 2 275 - 2 475 mm (6).

Elektrodin kokonaismittoja määritettäessä otettiin huomioon sauvan pituutta ja painoa lisäävä, kierteellinen elektrodisauvojen liitososa. Tuotantolinjalla käytetyissä elektrodeissa voidaan käyttää kahta erityyppistä liitososaa, 24T4-perusmallia tai pidempää 24T4L-liitososaa, sauvan perusmallista riippuen. Suunnittelutyö tehtiin pidemmän 24T4L-mallisen liitososan mukaan, jolloin kääntölaitteella voidaan kääntää sekä perusmallisia elektrodeja että pidempiä 24T4L-mallisia elektrodisauvoja. Elektrodisauvan päähän kierrettävän liitososan pituus 24T4L-mallissa on 457,2 mm, josta puolet lisää elektrodisauvan kokonaispituutta (7). Liitososan paino on 48,4 kg (7).

Elektrodisauvan ja liitososan kokonaispaino on 1 239,4 kg. Suunnittelutyön lähtökohtana käytettävä elektrodisauva 24T4L mallinnettiin kuvan 3 mukaisesti. Kuvassa oleva elektrodisauva mallinnettiin äärimmäisten mittojen mukaan. Pituus on 2 475 mm ja halkaisijan 613 mm.



*KUVA 3. Grafiittielektrodi 24T4L*

### **2.3 Laitteiston sijoittaminen**

Lähtökohtaisesti uuden kääntölaitteen sijoituspaikka on vastaavalla paikalla kuin edeltävä elektrodinsäilytyspöytä. Tarkan sijoituspaikan määräävät muut tasolla tehtävät toimet, kuten trukki liikenne sekä erilaiset ajoittaiset huoltotoimenpiteet. Laitteisto pyrittiin suunnittelemaan niin, että se on tarvittaessa siirrettävissä pois tieltä.

### 3 LAYOUT-SUUNNITTELU

Suunnittelutyön alkuvaiheessa määriteltiin mahdollisimman tarkkaan kääntölaitteiston sijoituspaikka tuotantolinjalla. Alkuperäisen tason lattiarakenteiden lujuusmitoitusta ei suunnittelutyön aikana tarkasteltu, sillä tulevilla sijoituspaikalla sijaitsee vanhantyyppinen elektrodien säilytyspöytä ja kääntölaitteiston massa ei lisää lattiaan kohdistuvaa raskautta merkittävästi.

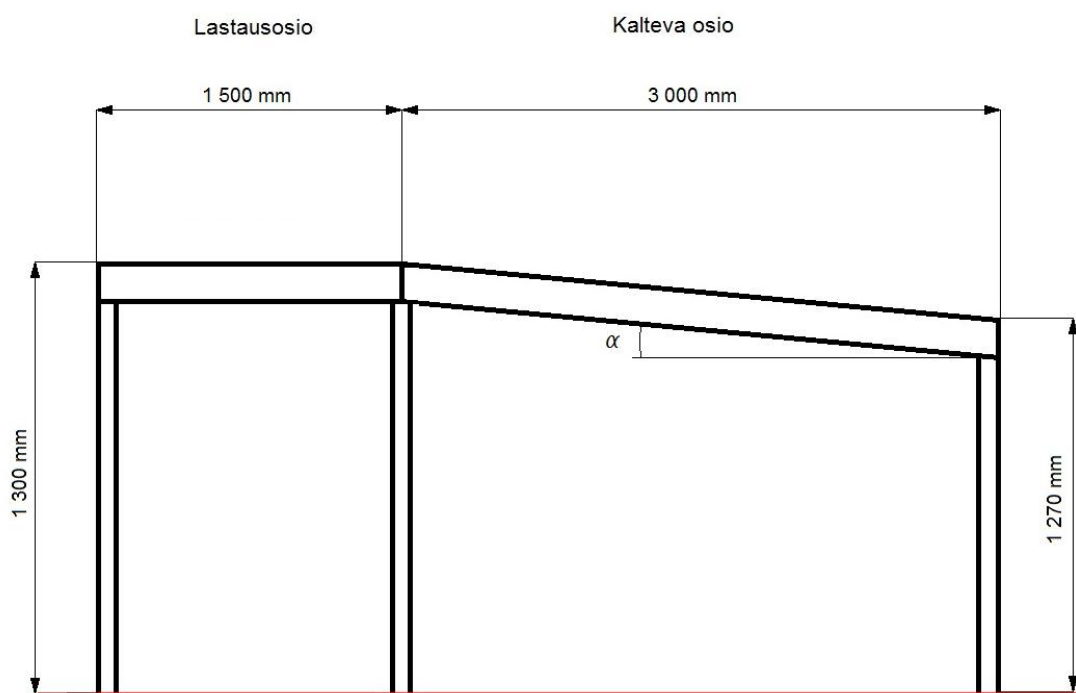
Valokaariuunin alueella on paljon laitteiston paikkaa rajoittavia tekijöitä, ja tilan tarve pyrittiin mitoittamaan niin, ettei laitteiston sijainti ole esteenä muulle toiminnalle tasolla. Laitteisto vaatii kokonaisuudessaan tilaa 3 x 6 metriä. Laitteiston suunniteltu sijainti on esitetty kuvassa 4.



*KUVA 4. Kääntölaitteiston sijainti uunin tasolla*

## 4 ELEKTRODIPÖYDÄN SUUNNITTELU

Elektrodipöydän suunnittelussa lähtökohtana käytettiin luvussa 2.2 esiteltyjä elektrodin mittoja. Pöydän vaatimukset käytön kannalta käytiin läpi suunnittelu-työn alkuvaiheessa kesällä 2011 (8). Merkittävin suunnitteluun vaikuttava tekijä on pöydälle vaatimuslistassa asetettu suurin sallittu lastauskorkeus 1,3 metriä, jonka mukaan pöydän suunnittelu aloitettiin. Vaatimusten mukaisesti elektrodipöytään suunniteltiin erillinen lastausosio sekä kalteva osio, jota pitkin elektrodit pyörivät omalla painollaan kääntölaitteelle (8). Rakenteen sivuprofiilista tehty luonnoskuva on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Elektrodipöydän sivuprofiililuonnos

Luonnoskuvan perusteella pöydän toimivuutta käytiin läpi tilaajan kanssa. Käydyssä keskustelussa mietittiin kaltevan osion iskuvaikutusta elektrodisauvaan. Keskustelun perusteella määritettiin kaltevan osion kaltevuuskulma luvun 4.2 mukaan. Luvussa tarkasteltiin vierinnästä aiheutuvan iskuvaikutuksen suuruutta elektrodisauvaan, sekä suunniteltiin elektrodien vierinnän pysäyttävä rakenne.

#### 4.1 Vaakapalkkien mitoitus

Mitoituslaskelmien lähtöarvoina käytettiin vaakapalkin pituusmittaa 3 000 mm, ja palkkia rasittavaksi kuormaksi valittiin viiden elektrodin kokonaisuudessa. Kokonaisuudessaan perustana käytettiin yksittäisen elektrodin ja liitososan yhteenlaskettua massaa 1 239,4 kg. Pöytää rasittavaksi kokonaisuudeksi laskettiin 6 197 kg.

Kokonaisuudessaan jakautuessa kahdelle kantavalle vaakapalkille käytettiin laskuissa puolta kokonaisuudesta. Laskuissa käytetty massan arvo pyöristettiin ylöspäin arvoon 3 100 kg. Vaakapalkkia rasittava voima ajateltiin tasaiseksi kuormaksi. Palkit mitoitettiin kaavoilla 1, 2, 3, 4 ja 5.

Vaakapalkki ajateltiin kaksitukiseksi palkiksi. Kaksitukiseen palkkiin kohdistuva suurin taivutusmomentti laskettiin tapauksen 4 mukaan kaavalla 1 (9, s. 408).

$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \quad \text{KAAVA 1}$$

$M_{max}$  = suurin taivutusmomentti (Nm)

$q$  = tasainen kuormitus (N/m)

$l$  = palkin pituus (mm)

Kaavassa 1 oleva tasainen kuormitus,  $q$  on massan aiheuttama kuormitus metriä kohti kaavan 2 mukaisesti.

$$q = \frac{g \cdot m}{l} \quad \text{KAAVA 2}$$

$m$  = massa (kg)

$g$  = putoamiskiihtyvyys ( $m/s^2$ )

Yhteen vaakapalkkiin aiheutuvan taivutusjännityksen arvo laskettiin suurimman taivutusmomentin avulla kaavalla 3 (9, s. 461).

$$\sigma_t = \frac{M_{max}}{W} \quad \text{KAAVA 3}$$

$\sigma_t$  = taivutusjännitys ( $N/mm^2$ )

$W$  = taivutusvastus ( $mm^3$ )

Palkkien mitoitukseen sisällytettiin varmuuskerroin. Varmuuskerroin on suurimman sallitun jännityksen ja todellisen materiaaliin aiheutuvan jännityksen suhde kaavan 4 mukaisesti.

$$\frac{\sigma_{sall}}{\sigma_t} = n \quad \text{KAAVA 4}$$

$\sigma_{sall}$  = suurin sallittu jännitys, alempi myötöraja (N/mm<sup>2</sup>)

$n$  = varmuuskerroin

Yhdistämällä kaavat 1, 2, 3 ja 4 saadaan kaava 5, jolla laskettiin pienin tarvittava taivutusvastuksen arvo. Kaava sisältää kaikki tarvittavat lähtöarvot ja varmuuskertoimen.

$$W = \frac{ql^2 * n}{8 * \sigma_{sall}} \quad \text{KAAVA 5}$$

Varmuuskertoimeksi palkille valittiin 1,5, koska pöytään aiheutuvat rasitukset ovat hyvin tiedossa (9, s. 491). Valittava vaakapalkki on standardin SFS-EN 10279 mukainen U-tanko (9, s. 766). Valittavan palkin ylempi myötöraja on standardin SFS-EN 10027 mukaan 235 N/mm<sup>2</sup> (9, s. 1113). Laskukaavassa käytetään alempaa myötörajaa yleisen mitoitusyylin mukaan ja valittava arvo on 215 N/mm<sup>2</sup> (235 - 20). Laskuissa käytetyn putoamiskihtiyyden arvo on 9,81 m/s<sup>2</sup> (9, s. 205). Kaavan 5 avulla laskettiin vaakapalkille pienin tarvittava taivutusvastuksen arvo.

$$W = \frac{\frac{3\,100\,kg * 9,81\,m/s^2}{3\,000\,m} * (3\,000\,m)^2 * 1,5}{8 * 215\,N/mm^2}$$

$$W \approx 79\,564\,mm^3$$

Vaakapalkin koko valittiin lasketun taivutusvastuksen perusteella vertaamalla arvoa taulukkoarvoihin. Palkiksi valittiin materiaalitalukosta U 140, jonka taivutusvastus on 86 400 mm<sup>3</sup> (9, s. 766).

## 4.2 Pöydän kaltevuuden mitoitus

Pöydän kaltevuudesta aiheutuvia rasituksia ja suunnittelun rajoituksia tarkastellaan tässä luvussa. Toiminnan kannalta pöydän tulee olla riittävän kalteva, jotta elektrodit pyörivät alas omalla painollaan. Pöytä ei kuitenkaan saa olla liian jyrkkä, jotta elektrodit eivät vaurioidu liian voimakkaan törmäyksen vuoksi. Kaltevan osion suunnittelun lähtökohtana oli 10 millimetrin lasku pöytämetriä kohti. Kun tiedetään pöydän korkeuden laskevan 30 mm kolmen metrin matkalla, laskeetaan kuvan 5 kaltevuuskulma  $\alpha$  kaavalla 6 (9, s. 43).

$$\sin\alpha = \frac{a}{c} \rightarrow \alpha = \sin^{-1} * \frac{a}{c} \quad \text{KAAVA 6}$$

$\alpha$  = kaltevuuskulma (°)

$$\alpha = \sin^{-1} * \frac{30 \text{ mm}}{3\,000 \text{ mm}}$$

$$\alpha \approx 0,57^\circ$$

Lasketusta kaltevuuskulmasta aiheutuu lieriömäiselle elektrodisauvalle pyörivä liike, jota hyödynnetään kääntölaitteen syöttöön. Ennen kääntölaitetta elektrodisauvan liike täytyy pysäyttää, ja tästä syystä rakenteeseen suunniteltiin erilliset pysäyttimet. Pysäyttimet mitoitettiin elektrodien pyörintästä syntyvän kokonaisenergian perusteella. Kokonaisenergia,  $E_{\text{kok}}$  laskettiin yhdistämällä kaltevuudesta syntyvä liike-energia  $E_k$  (9, s.195) ja kiertoliikkeen pyörimisenergia  $E_r$  (9, s. 195) kaavan 7 mukaisesti.

$$E_{\text{kok}} = E_k + E_r \quad \text{KAAVA 7}$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_r = \frac{1}{2}J_A\omega^2$$

$m$  = massa (kg)

$v$  = nopeus (m/s)

$J_A$  = kappaleen hitausmomentti pyörimisakselin suhteen (J)

$\omega$  = kulmanopeus (rad/s)



Energialaskun osat purettiin osiin laskukokonaisuuden hahmottamiseksi. Nopeus  $v$  lasketaan kaavalla 8 (9, s. 191).

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2 * s * a} \rightarrow v = \sqrt{2 * s * a} \quad \text{KAAVA 8}$$

$v_0$  = alkunopeus (m/s)

$s$  = kaltevan osion pituus (m)

$a$  = kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )

Kiihtyvyyden arvo  $a$  määritettiin trigonometrian avulla. Kiihtyvyyden arvo lasketaan käyttämällä kaavan 6 laskutapaa.

$$\sin \alpha = \frac{a}{g} \rightarrow a = \sin \alpha * g$$

Kappaleen hitausmomentti pyörimisakselin suhteen kiinteälle sylinterimäiselle kappaleelle lasketaan kaavalla 9 (9, s. 196).

$$J_A = \frac{1}{2} m r^2 \quad \text{KAAVA 9}$$

$m$  = massa (kg)

$r$  = elektrodin nimellismitan säde (m)

Kiertoliikkeen pyörimisenergian määrittämiseen tarvittava kulmanopeus lasketaan kaavan 10 mukaisesti (9, s. 199).

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \text{KAAVA 10}$$

$v$  = nopeus (m/s)

$r$  = elektrodin nimellismitan säde (m)

Kokonaisenergian kaavaan 7 sijoitettiin kaavojen 8-10 mukaiset osat. Kaavaa sievennettiin ja samat muuttujat yhdistettiin laskemisen helpottamiseksi.

$$E_k = \frac{1}{2} * m * \sqrt{2 * \sin \alpha * g * s}^2 \rightarrow m * g * s * \sin \alpha$$

$$E_r = \frac{1}{2} * \left( \frac{1}{2} * m * r^2 \right) * \omega^2 \rightarrow \frac{1}{4} * r^2 * \frac{v^2}{r^2} \rightarrow \frac{1}{2} * m * v^2 \rightarrow \frac{1}{2} * m * g * s * \sin \alpha$$

Lausekkeen sieventämisen jälkeen kokonaisenergian laskukaava sieventyy muotoon

$$E_{kok} = \frac{3}{2} * m * g * s * \sin \alpha.$$

Kokonaisenergia laskettiin kaavalla 7 sijoittamalla siihen tiedetyt lähtöarvot.

$$E_{kok} = \frac{3}{2} * 1\,239,4 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 3 \text{ m} * \sin 0,57$$

$$E_{kok} \approx 544 \text{ J}$$

Laskettu kokonaisenergia syntyy siis lieriön muotoisen elektrodisauvan hitausmomentista ja pöydän pinnan kaltevuuden aiheuttamasta kineettisestä energiasta. Kokonaisenergian lukuarvo 544 joulea on merkittävän pieni, mutta siitä huolimatta tulee huomioida keinot, joilla lieriön liike pysäytetään hallitusti ja ilman vaurioita kappaleessa tai laitteistossa.

Elektrodipöydän suunnittelutyön alkuvaiheessa suunniteltiin kaltevan osion päähän sijoitettavaksi pystypalkit, jotka omalla kimmoisuudellaan vastaanottaisivat lieriön kokonaisenergian. Tämän tyyppistä rakennetta käytetään muun muassa junien pysäyttämiseen, ja rakenteen yksinkertaisuus puolsi sen käyttöä myös tässä tapauksessa.

Suunnittelutyön edetessä käytettiin paljon aikaa pysäytinpalkkien mitoitukseen, mutta teoriaan sopivaa palkkia ei kuitenkaan löytynyt. Palkkien mitoituksessa päädyttiin poikkeukseen tuloksiin, joiden mukaan pysäyttäviin pystypalkkeihin kohdistui merkittävä ylikuorma, joka aiheuttaisi taivutusmurtuman.

Teoriaa käytiin läpi alan ammattilaisten kanssa ja todettiin sen olevan kokonaisuudessaan oikea, mutta tapaukseen nähden liian suppea. Kokonaisenergia siirtyy käytännössä kimmoisuuden lisäksi myös ääneksi ja pieniksi muodonmuutoksiksi kappaleissa. Laskuun käytetty teoria ei ota näitä seikkoja huomioon, ja koska toisaalta parempaa ja tarkkaa teoreettista lähestymistapaa ei ole saatavilla, palattiin suunnittelutyössä takaisin alkupisteeseen. Perustellusti alkuperäinen ajatus pystypalkeista pysäyttiminä asetettiin kyseenalaiseksi, koska luotettavaa laskutulosta ei pystytty todentamaan.

Vaihtoehtoiseksi pysäytinrakenteeksi päätyi kääntyvä rakenne, jossa lieriön kokonaisenergia ohjataan ylöspäin, toisin sanoen ylämäkeen. Vastamäen mitaksi asetettiin 30 senttimetriä ja tämän perusteella laskettiin pienin tarvittava kulma, joka tarvitaan kokonaisenergian pysäyttämiseen. Liikkeen pysäyttävän vastamäen kulma laskettiin hyödyntämällä tiedetyn kokonaisenergian arvoa.

$$E_{kok} = E_{vas}$$

$E_{vas}$  = vastamäen nousemiseen tarvittava kokonaisenergia (J)

$$E_{kok} = \frac{3}{2} * m * g * s * \sin \alpha$$

$$E_{vas} = \frac{3}{2} * m * g * s_{vas} * \sin \alpha_{vas}$$

$s_{vas}$  = vastamäen pituus (m)

$\alpha_{vas}$  = vastamäen kulma (°)

$$\alpha_{vas} = \sin^{-1} * \frac{\frac{3}{2} * 1\,239,4 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 3 \text{ m} * \sin 0,57}{\frac{3}{2} * 1\,239,4 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,3 \text{ m}}$$

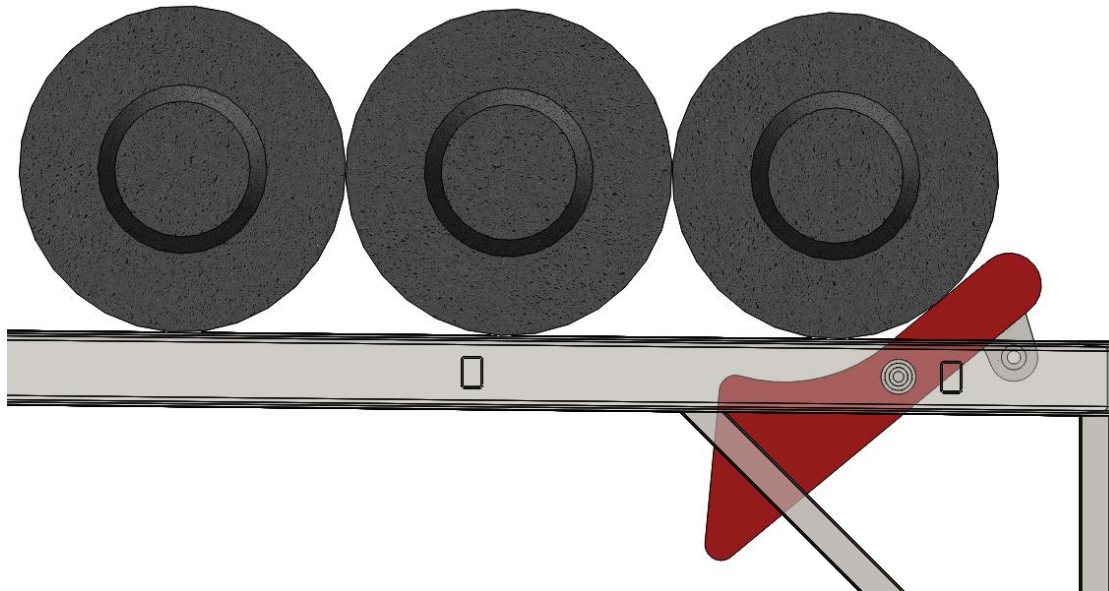
$$\alpha_{vas} \approx 5,7^\circ$$

Laskelman perusteella elektrodisauvan kokonaisenergian pysäyttää 0,3 metriä pitkä vastämäki, joka on 5,7 asteen kulmassa. Käytännössä kitkan ja ilmanvastuksen vuoksi lieriön kokonaisenergia ei riitä vastaavan suuruiseen ylämäkeen.

Koska elektrodisauva ei missään tilanteessa saa mennä niin sanotun vastamäen yli, asetettiin vastamäen kulma noin 40 asteeseen varmuuden vuoksi. Vastaanottavan pinnan kulma on tästä huolimatta suhteellisen loiva ja näin ollen elektrodi lähtee siihen osuessaan hieman ylöspäin vastämäkeä pitkin ja palaa takaisin pysähtyen lopulta pöydän alimpaan kohtaan kaltevan osion ja vastamäen väliin. Liikkeen pysähtyminen tapahtuu rauhallisesti, eikä iskumaista kuormitusta synny merkittävästi.

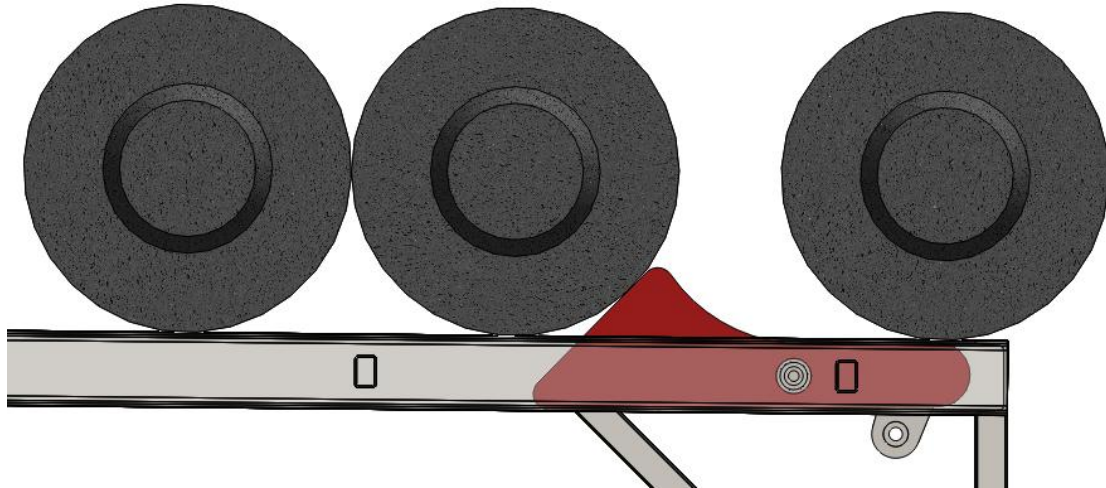
Kääntyvän pysäytinrakenteen merkittävimpana valintaperusteena oli sen suoma annostelun mahdollisuus. Alkuperäisen pystypalkki-idean heikkoutena pidettiin sen rakennetta joka vääränlaisella käytöllä aiheuttaa helposti tilanteen, jossa kaksi tai useampi elektrodisauva pääsee pysäyttimien ohitse yhtä aikaa. Vaihtoehtoisessa toimintamallissa pysäyttimien rakenne päästää ohitseen vain yhden elektrodisauvan kerrallaan. Rakenteen toimintaa on havainnollistettu kuvien 6 ja 7 avulla.

Pysäytin on esitetty kuvassa 6 punaisella värillä. Käyttötilanteessa kaltevasta pinnasta, ja elektrodin massasta syntyy kokonaisenenergia. Pysäyttimen rakenteen ansiosta kokonaisenenergia voidaan ottaa vastaan pysäyttimen ollessa sekä ylä- että ala-asennossaan.



*KUVA 6. Kääntyvä pysäytin yläasennossa*

Normaalissa käyttötilanteessa elektrodit johdetaan vuorollaan kääntölaitteelle kääntämällä pysäytintä hydraulisynterillä. Käännettäessä pysäytin ala-asentoon, se päästä ensimmäisen elektrodisauvan kierimään kääntölaitteeseen. Samanaikaisesti pysäytinrakenteen toinen pää estää seuraavien elektrodisauvojen samanaikaisen pääsyn pysäyttimen ohitse kuvan 7 mukaisella tavalla.



KUVA 7. Kääntyvä pysäytin ala-asennossa

Elektrodisauvan pysähtyessä pysäytintä vasten, on sauvaan kohdistuva voima elektrodisauvan massan ja lieriön loppunopeuden tulo Newtonin toisen lain mukaisesti (9, s. 193). Lieriön vierinnästä aiheutuva voima on

$$F = 1\,239,4 \text{ kg} * \sin 0,57 * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 120 \text{ N}.$$

Vierinnästä aiheutuvaa voimaa verrataan sauvan kestäväseen voimaan, jotta voidaan varmistua, ettei elektrodisauva vaurioidu pysähtyessään pysäytintä vasten. Elektrodisauvan kestävä voima laskettaessa ajateltiin elektrodisauvan olevan tapauksen 1 mukainen kaksitukinen palkki (9, s. 407). Todellisessa tilanteessa laskettu voiman arvo  $F$  jakautuu kahden pysäyttimen varaan ja on näin ollen pienempi. Tarkastuslaskussa tätä ei otettu huomioon, vaan koko voiman ajateltiin kohdistuvan yhteen pisteeseen.

Suurin sallittu elektrodisauvaan kohdistuva voima  $F_{sall}$  laskettiin tiedetyn elektrodisauvan taivutuslujuusarvon  $\sigma$  avulla, joka on 10–15 N/mm<sup>2</sup> (10). Voima lasketaan kaavalla 11 johon on sisällytetty taivutusmomentin (9, s. 407) ja taivutusjännityksen laskukaava (9, s. 461). Suurin elektrodisauvan kestävä voima on

$$F_{sall} = \frac{\sigma * W * 2}{x}$$

KAAVA 11

$\sigma$  = elektrodisauvan taivutuslujuus (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  = taivutusvastus (9, s. 463) (mm<sup>3</sup>)

$x$  = voiman etäisyys tukipisteestä (mm)

$$F_{sall} = \frac{10 \text{ N/mm}^2 * \frac{\pi * 300^3 \text{ mm}^3}{4} * 2}{2475 \text{ mm}/2}$$

$$F_{sall} \approx 342\,719 \text{ N.}$$

Laskettuja arvoja vertaamalla voidaan todeta elektrodisauvan kestävän törmäyksestä aiheutuva voima. Rakenne hyväksytään näiltä osin sellaisenaan. Pysäyttimen rakenne on mitoitettu luvussa 4.3.

### 4.3 Pysäyttimen mitoitus

Pysäyttimen perusrakenne mitoitettiin hydraulisynterin aiheuttaman voiman perusteella. Pysäytinrakenteen perusosana on vaakapalkki, joka ohjaa päihin hitsattuja, kääntyviä pysäytinlevyjä. Rakenteeseen kohdistuu teoreettisesti suurin jännitys silloin, kun hydraulisynteriä ajetaan plusliikkeellä ja pysäyttimen päihin kohdistuu yhtä suuri, vastakkaisesta suunnasta tuleva vastavoima. Taivutusjännityksen kannalta merkittävää on palkin pituus, joka on tässä tapauksessa 1,65 metriä pöydän leveyden vuoksi.

Pysäyttimen vaakapalkin mitoituskriteerinä on kaksitukiseen palkkiin syntyvä maksimijännitys, jonka tulee olla alle myötörajan. Vaakapalkkiin kohdistuva suurin taivutusjännitys laskettiin kaavalla 3. Palkkiprofiiliksi valittiin 120\*60 suorakaitteen muotoinen rakenneputki 5 mm:n seinämävahvuudella. Palkin mitoituksessa käytettiin elastista taivutusvastuksen arvoa (9, s. 816). Palkkeja laitettiin kaksi vierekkäin tarvittavan lujuuden aikaansaamiseksi. Kun rakenteeseen kohdistetaan hydraulisynterin aikaansaama voima, joka on luvussa 6.1 määritetty 32 000 newtonia, on suurin taivutusjännityksen arvo

$$\sigma_t = \frac{M_{max}}{W} \rightarrow \frac{F * l}{2 * W}$$

$$\sigma_t = \frac{32\,000\text{ N} * 1\,610\text{ mm}}{2 * 2 * 47\,800\text{ N/mm}^3\text{ W}}$$

$$\sigma_t \approx 269\text{ N/mm}^2.$$

Laskelman perusteella pysäytinrakenteeseen syntyy noin 269 Mpa:n suuruinen jännitys. Koska mitoituksessa käytettiin palkkiprofiilin elastista taivutusvastuksen arvoa ja palkkiprofiili on valmistettu S355 rakenneteräksestä, todetaan rakenteen kestävän. Kääntyvien sivulevyjen katsotaan kestävän yleiseen mitoituskokemukseen perustuen, ja näin kokonaisrakenne hyväksytään sellaiseenaan.

#### 4.4 Pystypalkkien koon määrittäminen

Elektrodipöydän pystypalkkien mitoitus tehtiin pöydän jalkoihin kohdistuvan kuuden elektrodin kokonaismassan, 7 436,4 kg mukaan. Pystypalkin tyypiksi valittiin SFS-EN 10219-2 mukainen neliön muotoinen rakenneputki (9, s. 809). Valitun palkin alempi myötöraja on kuten luvussa 4.1, 215 N/mm<sup>2</sup>. Alempi myötörajan arvo on tässä tapauksessa suurin sallittu puristusjännitys. Pystypalkkeihin kohdistuva voima on puristusvoima suoraan ylhäältä alaspäin. Varmuuskerrotimeksi palkille valittiin 1,5 (9, s. 491). Laskutoimituksen lähtökohtana käytettiin puristusjännityksen kaavaa 12 (9, s. 459).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{KAAVA 12}$$

$\sigma$  = suurin sallittu puristusjännitys (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = voima (N)

$A$  = pinta-ala (mm<sup>2</sup>)

Kaavassa 12 oleva voima  $F$  purettiin pienempiin osiin kaavan 13 mukaisesti (9, s.193).

$$F = m * g \quad \text{KAAVA 13}$$

Yhdelle palkille laskettiin vaadittu pinta-ala, jonka perusteella valittiin neliöputki. Laskussa massan ajateltiin kohdistuvan kokonaisuudessaan yhden palkin vaaraan, jotta rakenne varmasti kestää kovassakin käytössä. Laskukaavana käytettiin kaavaa 14, joka on käännetty kaavasta 12. Samaan kaavaan lisättiin varmuuskerroin  $n$ . Pienin tarvittava neliöputken pinta-ala on

$$A = \frac{m \cdot g \cdot n}{\sigma} \quad \text{KAAVA 14}$$

$$A = \frac{7\,436,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s} \cdot 1,5}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$A \approx 509 \text{ mm}^2.$$

Pinta-alan perusteella pystypalkiksi valittiin neliöputki 60 x 2,5, jonka pinta-ala  $A$  on 559 mm<sup>2</sup>.

Koska neliöputki on suhteellisen ohut, tarkastettiin palkin nurjahdusvoima kaavan 15 mukaan. Tarkastelu tehtiin Eulerin 2. tapauksen mukaisesti. (9, s. 471)

$$F_n = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_n^2} \quad \text{KAAVA 15}$$

$F_n$  = nurjahdusvoima (N)

$E$  = kimmokerroin (N/mm<sup>2</sup>)

$I$  = jäyhyysmomentti (mm<sup>4</sup>)

$l_n$  = nurjahduspituus (mm)

$$F_n = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 30\,300 \text{ mm}^4}{1\,300^2 \text{ mm}^2}$$

$$F_n \approx 37\,159 \text{ N}$$

Nurjahdusvoiman  $F_n$  havaittiin olevan merkittävästi pienempi kuin alkuperäinen palkkia rasittava voima  $F$ , joka on  $7\,436,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 72\,951 \text{ N}$ . Nurjahduspituuden puolittaminen lisää nurjahtamiseen tarvittavan voiman nelinkertaiseksi (9, s. 471). Tästä syystä pystypalkeille lisättiin vaakajäykisteet.



Vaakajäykisteiden profiilikeskilinjat mitoitettiin 400 mm:n korkeuteen lattiatasosta, jolloin uudeksi nurjahduspituudeksi  $F_{n2}$  tuli 870 mm. Vaakajäykisteiden materiaaliksi valittiin pystypalkeissakin käytetty neliöputki 60 x 2,5. Nurjahdustarkastelu tehtiin uudelleen uudella nurjahduspituuden arvolla. Nurjahdusvoimaksi saatiin

$$F_{n2} = \frac{\pi^2 * 210\,000 \text{ N/mm}^2 * 30\,300 \text{ mm}^4}{870^2 \text{ mm}^2}$$

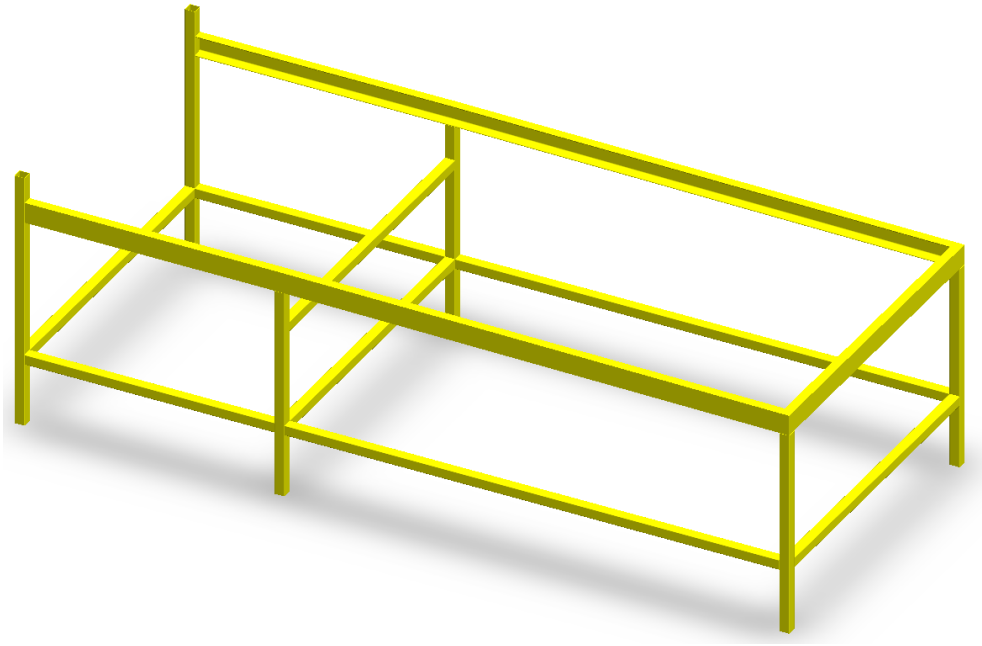
$$F_{n2} \approx 82\,970 \text{ N.}$$

Toisessa nurjahdustarkastelussa nurjahdusvoima  $F_n$  on suurempi kuin palkkeihin kohdistuva pystysuora voima  $F$ , ja rakenne hyväksytään sellaisenaan. Pystypalkit on mitoitettu niin, että jokainen niistä kestää tarvittaessa kuuden elektrodisauvan kokonaismassan aiheuttaman rasituksen.

#### 4.5 Elektrodipöydän mallinnus

Elektrodipöydän mallinnus toteutettiin Solidworks-3D-mallinnusohjelmalla. Mallinnuksen lähtökohtana käytettiin luvussa 2.2 esiteltyä elektrodisauva-mallia, ja rakenteen muoto määräytyi toiminnallisten mittojen mukaan, käyttäen lujuusopillisesti tarkasteltuja rakenneprofiileja. Mallinnustyön ensimmäisessä vaiheessa mallinnettiin pöytä rakenteen perusmuoto, jota muokattiin useaan otteeseen suunnittelutyön edetessä.

Lastatessa elektrodeja pöydälle ne eivät missään tilanteessa saa pudota pöydältä. Tästä syystä lastausosan eteen suunniteltiin ja mallinnettiin korkeammat pystypalkit, jotka estävät elektrodien pyörimisen pöydältä lastaustilanteessa. Korkeampia pystypalkkeja käytetään lisäksi elektrodisauvojen linjaamiseen pöydän lastaamisen yhteydessä. Linjaaminen tapahtuu trukilla niin, että pöydälle lastattavat elektrodit vedetään taaksepäin pystypalkkeja vasten ja ne laskeetaan pöydälle vasta tämän jälkeen. Elektrodisauvojen tulee olla pöydällä suorassa linjassa, jotta ne vierivät suoraan kääntölaitteelle, eivätkä takertele pyöriessään. Pöydän perusrakenne ja korkeammat pystypalkit näkyvät kuvassa 8.



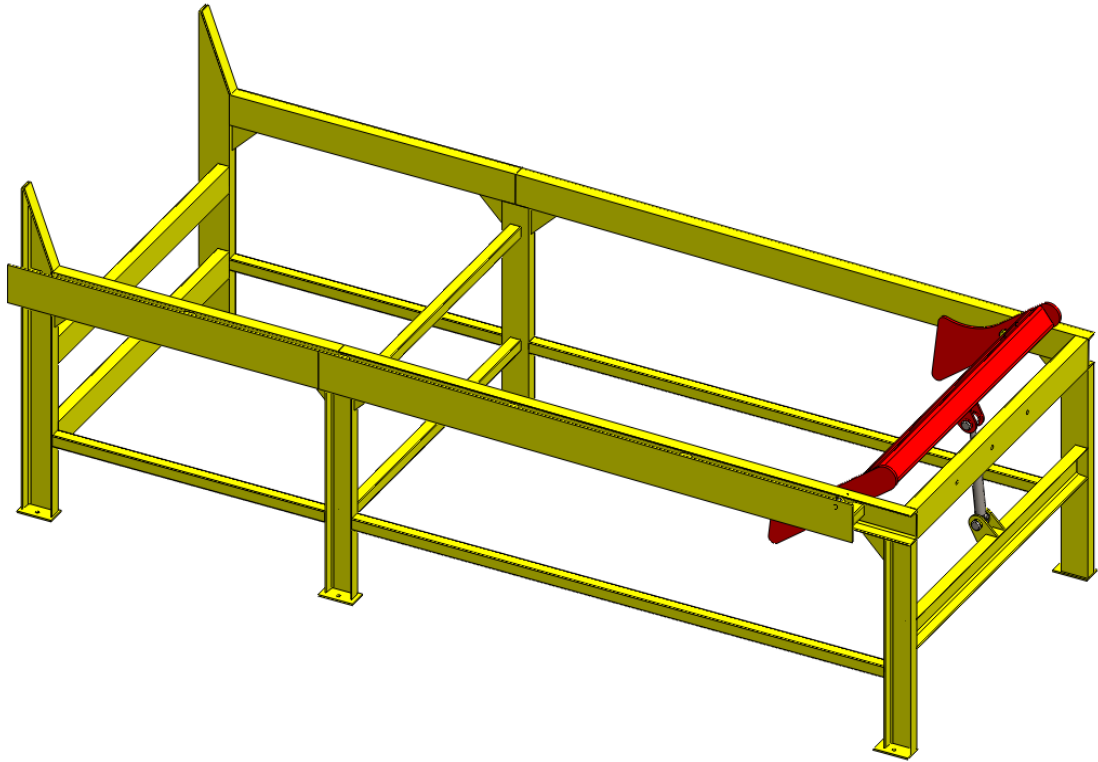
*KUVA 8. Elektrodipöydän perusrakenne*

Suunnittelutyön edetessä päädyttiin vaihtamaan korkeampien pystypalkkien profiili, koska yläosasta tehtiin viisto lastauksen helpottamiseksi, ja toisaalta alkuperäisten palkkien viistäminen heikentäisi niiden rakennetta liaksi. Vaihdetuissa palkeissa käytettiin samaa U-tanko-profiilia kuin vaakapalkeissa, jotta erilaisten teräsprofiilien määrä pysyy pienenä. Lujuusopillisen tarkastelun puolesta U-tanko sopii pystypalkiksi hyvin, koska palkin poikkipinta-ala  $A$  on  $2\,040\text{ mm}^2$ , joka on noin nelinkertainen mitoitettuun tarpeeseen verrattuna.

Mallinnustyön edetessä mallinnettiin ohjaava reunalevy, jonka tarkoituksena on pitää elektrodisauvojen päät samalla tasalla. Tämän lisäksi rakenteeseen tehtiin erilaisia muutoksia ennen lopullisen version aikaansaamista.

Tilaaajan vaatimuksesta elektrodipöydän lopulliseen rakenteeseen vaihdettiin järeämmät vaaka- ja pystypalkit. Perusteena palkkien vaihdolle on trukin käyttäjien vaihtelevat ajotyylit, mistä johtuen elektrodisauvojen rauhallisen lastaamisen sijaan ne pudotetaan toisinaan hyvinkin korkealta, jolloin pöytään kohdistuu merkittäviä rasituksia. Käytännössä vaatimus toteutettiin korvaamalla 140-milliset U-tangot 160 millisillä vastaavilla tangoilla, joiden vääntövastus on 34 prosenttia suurempi. Pystypalkit korvattiin 140 mm U-tangoilla.

Pöydän mallinnuksessa yhteydessä mallinnettiin myös pöydän rakenteeseen sisältyvät muut komponentit. Lopulliseen elektrodipöydän rakenteeseen on mallinnettu luvussa 6.1 mitoitettu hydraulisylinteri. Viimeistely elektrodipöytä on esitetty kuvassa 9. Elektrodipöydän valmistuspiirustukset ovat liitteessä 4, piirustuksessa EKL200.



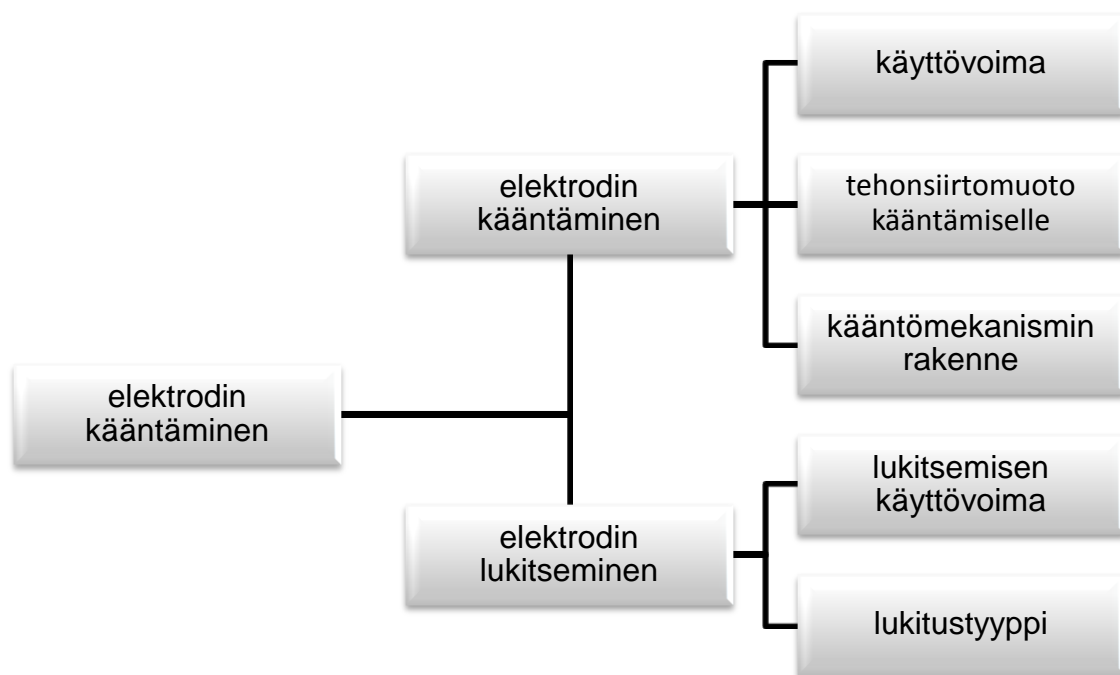
*KUVA 9. Valmis elektrodipöytä*

## 5 KÄÄNTÖLAITTEEN SUUNNITTELU

Kääntölaitteen suunnittelun lähtökohtana käytettiin työn alussa tehtyä liitteenä 2 olevaa vaatimuslistaa. Vaatimuslistan toteuttamiseksi kokonaistoimintamalli määritettiin luvun 5.1 mukaan.

### 5.1 Kokonaistoimintamallin määrittäminen

Tiedettyjen vaatimusten perusteella aloitettiin laitteiston suunnittelu määrittämällä laitteen kokonaistoimintamalli. Laitteen kokonaistoimintamallin selvittämiseen käytettiin morfologista analyysia. Laitteen kokonaistoiminto, eli elektrodin kääntäminen, jaettiin osatoimintoihin kuvan 10 mukaisesti.



KUVA 10. Osatoimintoihin jakaminen

Kääntölaitteen kokonaistoiminta jaettiin seitsemäksi osatoiminnoksi, joista jokainen yhdessä mahdollistaa elektrodin kääntämisen. Osatoiminnoille annettiin erilaiset toteutusvaihtoehdot ja ne listattiin taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Morfologinen analyysitaulukko

ratkaisu osatoiminto		1	2	3	6	5
		1	elektrodin kääntäminen	alhaalta	ylhäältä	keskeltä
2	käyttövoima	sähkö	polttomoottori			
3	tehonsiirtomuoto kääntämiselle	pneumatiikka	hydrauliikka	hammaspyörät	ketju	vaijeri
4	kääntömekanismin rakenne	pallonivel	akseli			
5	elektrodin lukitseminen	alhaalta	ylhäältä	yhdistelmä		
6	tehonsiirtomuoto lukitsemiselle	pneumatiikka	hydrauliikka	hammastus	ketju	vaijeri
7	lukitustyyppi	salpa	pihdit	konstruktio		

Taulukon sisältö on esitelty seuraavaksi.

### 1 Elektrodin kääntäminen

Elektrodisauva voidaan kääntää vaaka-asennosta pystyasentoon kääntöakselin ollessa sauvan eri kohdissa. Vaihtoehtoiksi elektrodisauvan kääntämiselle valittiin kolme erilaista vaihtoehtoa. Kääntäminen voidaan tehdä joko alhaalta, keskeltä tai ylhäältä.

### 2 Käyttövoima

Elektrodin kallistamiseen ja sen lukitsemiseen tarvitaan käyttövoimaa. Käyttövoimavaihtoehtoja rajaa liikuteltavan massan koko, ja näin ollen muun muassa lihasvoima suljettiin pois jo erilaisia käyttövoimavaihtoehtoja miettiessä. Mahdollisiksi käyttövoimavaihtoehtoiksi valittiin sähkö ja polttomoottori.

### 3 Tehonsiirtomuoto kääntämiselle

Elektrodin kääntämiselle valittiin erilaisia kääntämisen mahdollistavia tehonsiirtomuotoja. Kääntämisen mahdollistaviksi tehonsiirtomuodoiksi valittiin pneumatiikka, hydrauliikka, hammaspyörät, ketju ja vaijeri.

#### **4 Kääntömekanismin rakenne**

Elektrodisauvan kääntäminen tapahtuu yhden akselin ympäri. Yhden akselin ympäri kääntäessä toteutusvaihtoehtoja ovat erilaiset saranat ja akselit. Kääntämisen mahdollistaviksi rakenteiksi valittiin akseli ja pienen sivuttaisliikkeen mahdollistava pallonivel.

#### **5 Elektroodin lukitseminen**

Kääntämisen ajaksi elektrodi lukitaan kääntölaitteen kääntyvään elimeen. Erilaisiksi lukituskohdan vaihtoehdoiksi valittiin lukitseminen alhaalta, ylhäältä tai yhdistelmäratkaisu, jossa käytetään ylä- ja alalukituspisteen yhdistelmää.

#### **6 Tehonsiirtomuoto lukitsemiselle**

Lukitusmekanismin käyttöä varten tarvitaan tehonsiirtomuoto, jolla lukituksesta saadaan tehokas ja varmatoiminen. Lukitsemisen mahdollistaviksi tehonsiirtomuodoiksi valittiin pneumatiikka, hydraulikka, hammaspyörät, ketju ja vaijeri.

#### **7 Lukitustyyppi**

Elektrodisauvan lukituskohdan- ja tehonsiirtomuodon lisäksi tarvitaan lukitustyyppi, jolla lukitus voidaan suorittaa. Lukitusvaihtoehdoiksi valittiin tappilukitus, pihdit ja erityinen konstruktio, joka lukitsee elektrodisauvan käännön ajaksi.

##### **5.1.1 Osatoimintojen yhdistäminen**

Ennen osatoimintojen yhdistämistä erilaisiksi kokonaisuuksiksi valikoitiin taulukosta 1 pois toteutuskelvottomat vaihtoehdot. Toteutuskelvottomat vaihtoehdot hylättiin seuraavien perusteluiden mukaisesti.

Elektrodisauvaa kääntäessä sauvan suuri massa aiheuttaa rakenteelle räsituksia. Kun suhteellisen pitkää sauvaa käännetään vaaka-asennosta pystyyn, syntyy momentti. Momentti on sitä suurempi, mitä kauempana kääntöakseli on sauvan painopisteestä. Suurempi momentti vaatii kääntölaitteelta enemmän voimaa, ja lisäksi syntynyt momentti rasittaa laitteiston rakennetta. Kääntämisen vaihtoehdoista hylättiin vaihtoehdot ”alhaalta” ja ”ylhäältä”. Perusteena hylkäykselle on suurten momenttien välttäminen kääntötilanteessa.

Käyttövoimavaihtoehdoista polttomoottori on toimivin ratkaisu ulkotiloissa tai tiloissa, joissa sähkövoimaa ei ole helposti saatavilla. Koska kumpikaan edellä mainituista ehdoista ei toteudu, suljettiin polttomoottorivaihtoehto pois.

Tehonsiirrossa tärkeäksi ajateltiin täsmällinen ja tehokas toiminta. Viidestä erilaisesta tehonsiirtomuodosta hylättiin pneumatiikka ja vaijeri. Perusteena pneumatiikkavaihtoehdon hylkäykselle on laitteiston vaatima erillinen kompressori ja pneumaattisen sylinterin suhteellinen epätarkkuus ja viive. Perusteena vaijerivaihtoehdon hylkäämiselle on vaijereiden vaativuus huoltojen kannalta. Tehonsiirtoa koskevat hylkäykset toteutettiin niin kääntämistä kuin lukitsemista koskeville tehonsiirtomuodoille.

Kolmesta lukitustyyppistä hylättiin salpalukitus. Salpalukituksen etuna pidettiin yksinkertaista toteutusta, mutta vaihtoehto hylättiin työlään käytettävyyden vuoksi. Toisena raskaana hylkäysperusteena pidettiin sitä, että käsikäyttöinen salpalukitus voi helposti unohtua, jolloin kääntämistilanteessa syntyy vakava vaaratilanne sekä loukkaantumisriski.

Hylätyt toteutusvaihtoehdot on merkitty harmaina taulukkoon 2. Osatoiminoista koottiin kolme vaihtoehtoista kokonaistoimintamallia taulukon 2 mukaan.

TAULUKKO 2. Jäsentelykaavio

ratkaisu \ osatoiminto		ratkaisu				
		1	2	3	4	5
1	elektrodin kääntäminen	alhaalta	ylhäältä	keskeltä		
2	käyttövoima	polttomoottori	sähkö			
3	tehonsiirtomuoto kääntämiselle	pneumatiikka	hydrauliikka	hammaspyörät	ketju	vaijeri
4	kääntömekanismin rakenne	pallonivel	akseli			
5	elektrodin lukitseminen	alhaalta	ylhäältä	yhdistelmä		
6	tehonsiirtomuoto lukitsemiselle	pneumatiikka	hydrauliikka	hammastus	ketju	vaijeri
7	lukitustyyppi	salpa	yhdistelmä	konstruktio	pihdit	

Taulukossa 2 olevat kokonaistoimintojen valintaviivat nimettiin seuraavasti.

Vaihtoehto 1 - - - - -

Vaihtoehto 2 - - - - -

Vaihtoehto 3 - - - - -

Vaihtoehtoista tehtiin luonnoskuvat, jotta erilaisten kokonaismallien arviointi olisi helpompaa. Ensimmäiset kääntölaitteen luonnoskuvat ovat liitteessä 3.

### 5.1.2 Hyötyarvoanalyysi

Erilaisille toteutusvaihtoehtoille tehtiin hyötyarvoanalyysi. Hyötyarvoanalyysissä toteutusvaihtoehtoja verrattiin toisiinsa. Arvostelukriteereinä olivat vaatimuslistalta liitteestä 2 löytyvät vaatimuskohdat. Pisteytettävillä kriteereillä annettiin painoarvot parivertailun avulla taulukon 3 mukaisesti.

TAULUKKO 3. Parivertailutaulukko

										esiintymiä painoarvo	
sijoitettavuus	<b>A</b>	B	C	D	E	A	G	H	A	2	0,056
kestävyys		<b>B</b>	C	D	B	B	G	B	B	5	0,139
toimivuus			<b>C</b>	D	C	C	G	C	C	6	0,167
turvallisuus				<b>D</b>	D	D	D	D	D	8	0,222
valmistettavuus					<b>E</b>	E	G	H	I	2	0,056
siirrettävyys						<b>F</b>	G	H	F	1	0,028
käytettävyys							<b>G</b>	G	G	7	0,194
huollettavuus								<b>H</b>	H	4	0,111
hinta									<b>I</b>	1	0,028
	yhteensä									36	1

Parivertailutaulukossa verrattiin erilaisia arvostelukriteereitä toisiinsa. Vaihtoehtoista parempi valittiin ja merkittiin taulukkoon. Esimerkiksi kun vertailtiin, onko sijoitettavuus A tärkeämpi kuin kestävyys B, valittiin B, eli kestävyys. Painoarvojen yhteenlaskettu summa on 1. Parivertailussa painoarvot laskettiin kaavalla 16.



$$\text{painoarvo} = \frac{\text{esiintymä}}{\text{esiintymä yhteensä}}$$

KAAVA 16

Kokonaistoiminnon toteutustapoja verrattiin toisiinsa pisteyttämällä ne sen mukaan, kuinka hyvin ne täyttävät halutut vaatimukset. Kokonaistoimintojen pisteytykset tehtiin taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Vaihtoehtoisten kokonaistoimintojen pisteytys

	painoarvo	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
sijoitettavuus	0,056	7	6	6
kestävyys	0,139	8	6	7
toimivuus	0,167	9	8	8
turvallisuus	0,222	9	9	8
valmistettavuus	0,056	8	6	7
siirrettävyys	0,028	7	7	7
käytettävyys	0,194	8	7	6
huollettavuus	0,111	8	7	5
hinta	0,028	8	6	7
	yleisarvosana	8,3	7,3	6,9

Pisteytykset tehtiin kouluarvosanoin 4 - 10, jossa 4 tarkoittaa, ettei malli ole toteuttamiskelpoinen, ja 10 tarkoittaa täydellistä ratkaisua. Arvosanoja annettaessa huomioitiin laitteiston sijoituspaikan olosuhteet. Yleisarvosana laskettiin kaavalla 17.

$$\text{yleisarvosana} = \sum(\text{painoarvo} * \text{arvosana})$$

KAAVA 17

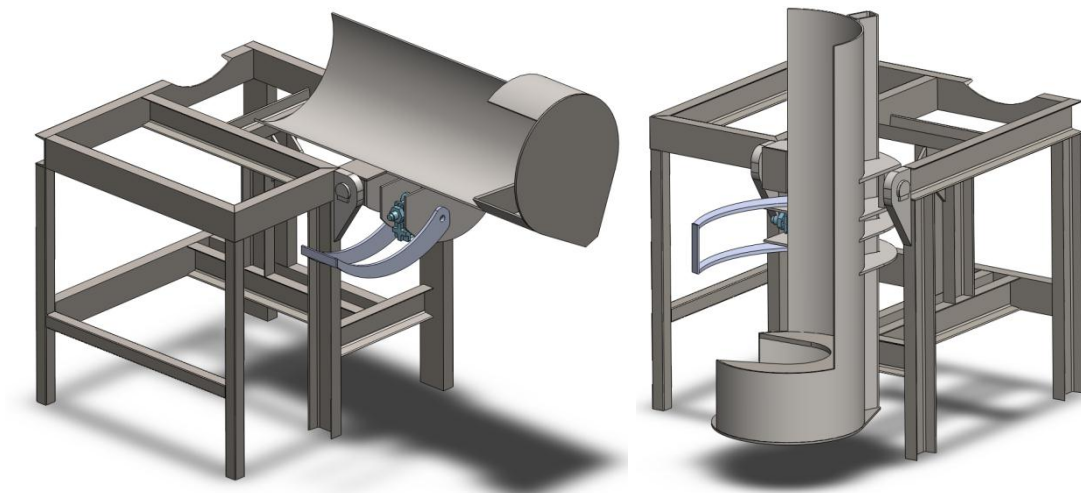
Taulukon 3 perusteella suunniteltavaksi kokonaistoimintamalliksi valittiin vaihtoehto yksi, jota lähdettiin jatkokehittämään luvun 5.2 mukaan.

## 5.2 Kääntölaitteen rakenteen mallinnus

Kääntölaitteen suunnittelussa lähtökohtana käytettiin luonnoskuvia ja toiminnallisia mittoja, joiden ympärille kääntölaitteen kokonaisrakenne muodostui. Kuten elektrodipöydän suunnittelutyössä, myös työn tässä vaiheessa hyödynnettiin mallinnettua elektrodisauvaa.

Mallinnetun kääntölaitteen perusrakenteessa käytettiin elektrodipöydässä hyväksi havaittuja palkkimateriaaleja, yhtenevän kokonaisuuden aikaansaamiseksi. Toisaalta voidaan ajatella, että rakennetta voitaisiin mahdollisesti keventää, mutta käytännössä säästö materiaalikustannuksissa ei ole merkittävä, sillä kyseessä on yksittäiskappaleena valmistettava tuote, jonka päätehtävänä on turvallisuuden parantaminen.

Suunnittelutyön edetessä tehtiin kääntölaitteen rakenteesta useita erilaisia toteuttamismalleja. Luonnoskuvien perusteella tehtiin alustava kääntölaittekokonaisuus, jossa elektrodin lukitus poikkeaa lopullisesta kääntölaitteesta merkittävästi. Elektrodisauvan paikallaan pitämiseksi laitteen ensimmäisessä versiossa on hydraulinen, kääntyvä toimilaite, jolla elektrodin pysyminen kehdoissa varmistetaan. Ensimmäinen versio kääntölaitteesta on esitetty kuvassa 11.



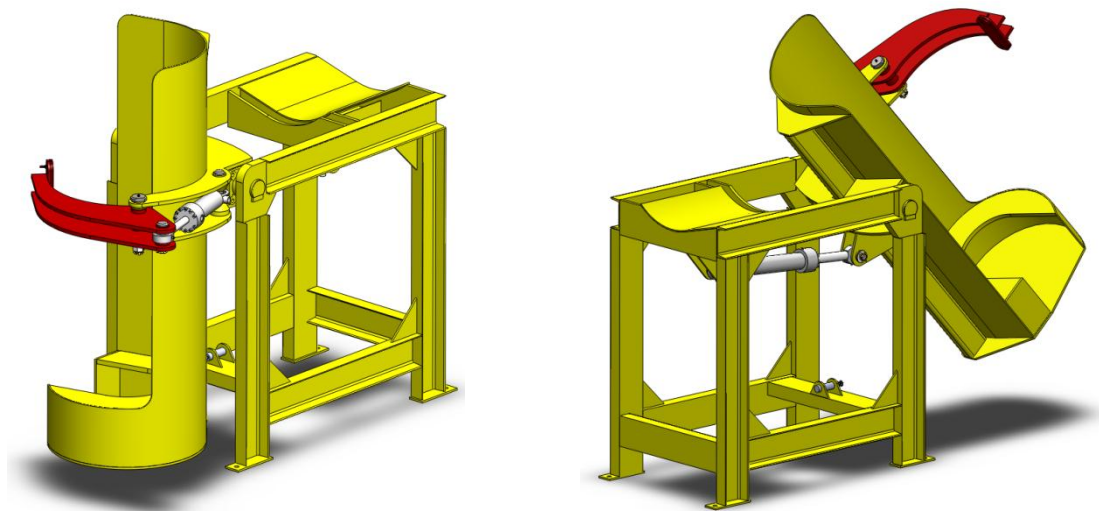
*KUVA 11. Ensimmäinen versio elektrodinkääntölaitteesta*

Kuvan 11 mukainen laite on toiminnallisesti toimiva, joskin rakenteeltaan monimutkainen ja elektrodin lukitukseen käytettävä toimilaite kallis suhteessa normaaliin työsylinteriin. Toisaalta myös kääntölaitteen ohjaaman lukitusvarren tukipiste on suhteellisen alhaalla verrattaessa tuettavan elektrodin kokonaispituuteen.

Edellä mainituista syistä rakennetta muutettiin useaan otteeseen ja lopputuloksena syntyi alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen ratkaisumalli, jossa elektrodisauvaa pitää paikoillaan hydraulisynterin ohjaama lukitusvarsi. Rakennetta

muutettiin myös siksi, että kokonaisrakenne pysyisi yhtenäisempänä ja yksinkertaisena toteuttaa. Muita edesauttavana tekijöitä muutoksille ovat komponenttien edullisempi hankintahinta ja varaosien saatavuus sekä huollettavuus.

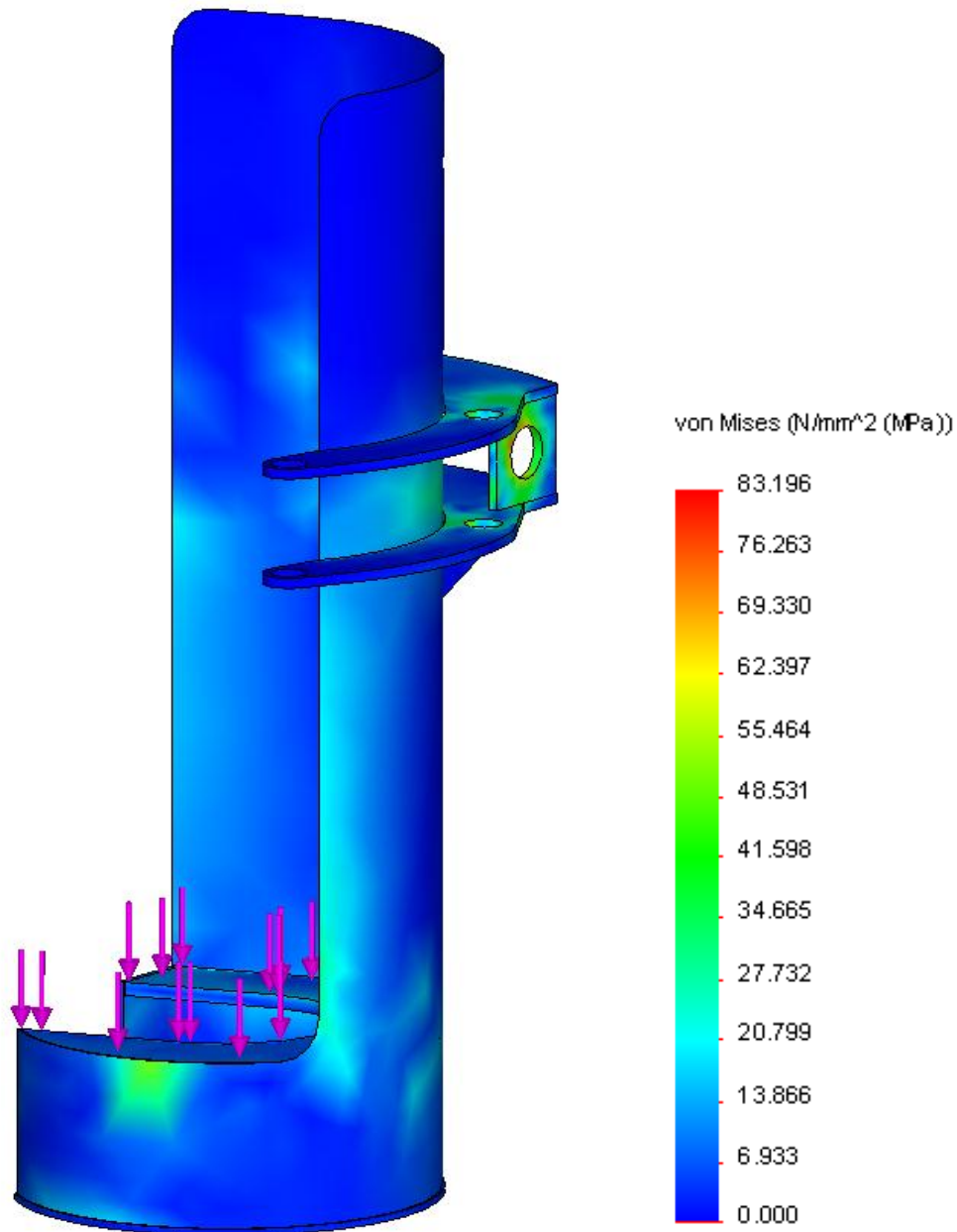
Elektrodinkääntölaitteeseen sijoitettiin mallinnetut Norrhydro Oy:n hydrauliset toimilaitteet, jotka on mitoitettu luvussa 6. Laskettujen iskunpituuksien perusteella laitteistoon mitoitettiin sylinterien kiinnityspisteet ja laitteiston kokonaistoiminta hiottiin toimivaksi sylinterien liikkeiden sallimissa rajoissa. Kääntölaitteen lopullinen rakenne on esitetty kuvassa 12. Kääntölaitteen valmistuspiirustukset ovat liitteessä 4, piirustuksessa EKL300.



*KUVA 12. Lopullinen versio elektrodinkääntölaitteesta*

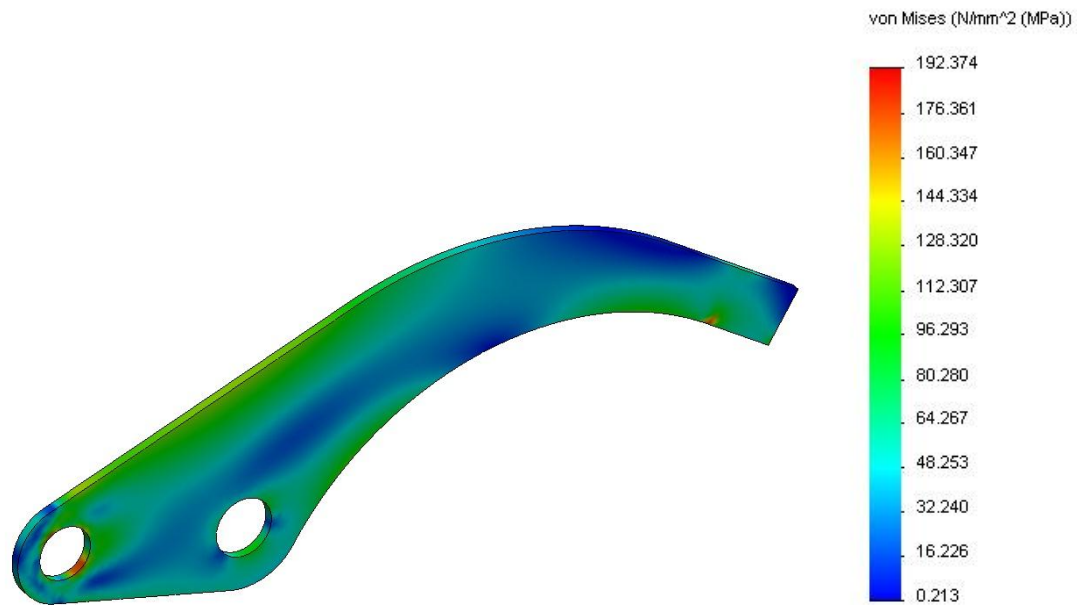
Suunnittelun kääntölaitteen niissä osissa, joissa lujuusanalyysi katsottiin tarpeelliseksi, tehtiin ne SolidWorks-3D-mallinnusohjelman simulaatio-ohjelmalla. Tehdyt rakennesimulaatiot eivät huomioi hitsausseamien vahvistavaa vaikutusta, joten todellinen rakenne on vielä simuloituja tuloksia vahvempi.

Yksi simuloitavista kokonaisuuksista oli kääntökehdo, joka simuloitiin kuvan 13 mukaisin tuloksin. Kuvassa 13 oleva kääntökehdon simulaatiotulos näyttää rakenteeseen kohdistuvat suurimmat jännitykset, kun kehoa kuormittava voima on 25 000 newtonin suuruinen.



*KUVA 13. Kääntökehdon jännitysjauma 25 000 newtonin kuormalla*

Muita simuloituja osia olivat muun muassa lukitusvarren sivulevyt. Kuvassa 14 näkyvässä simulaatiokuvassa on lukitusvarren toinen sivulevy. Simuloitaessa sivulevyä kuormitettiin 45 000 newtonin voimalla, joka on lukitussylinteriltä saatava suurin kokonaisvoima. Lopullisessa rakenteessa voima jakautuu kahden sivunlevyn kanssa tasan, jolloin rakenteeseen syntyvä jännitys on puolet simuloidusta tuloksesta. Lisäksi rakenteeseen lisättävät holkit ja tukilaippa rakenteen päässä vahvistavat lopullista lukitusvarren rakennetta.



*KUVA 14. Lukitusvarren simulaatiotulos*

Kääntölaitteen käytön kannalta laitteiston lisäksi tarvitaan myös työtaso, jolta elektrodisauvojen nostamiseen käytettävät nostosilmukat voidaan kiertää elektrodisauvan päähän. Kääntölaitteen suunnittelutyön yhteydessä suunniteltiin tähän käyttötarkoitukseen soveltuvat portaat ja työtaso. Suunniteltu työtaso portaineen on esitetty kuvassa 15. Työtason valmistuspiirustukset ovat liitteessä 4, piirustuksessa EKL400.



*KUVA 15. Työtaso portaineen*

### 5.3 Kääntölaakereiden mitoitus

Kääntölaitteen päälaakereiksi valittiin terästehtaan omasta valikoimasta löytyvät kuulalaakeroidut UCF-laippalaakerit. Laakerien mitoitus tehtiin laakereihin kohdistuvan dynaamisen ja staattisen rasituksen perusteella. Mitoitus tehtiin taulukoissa esiintyvien laakerilujuuksien mukaan, ja eri laakerivalmistajien laippalaakereiden lujuusarvoja verrattiin toisiinsa internetlähteiden luotettavuuden varmistamiseksi.

Dynaamisia eli liikkeestä johtuvia voimia ei suunnitellussa laitteessa juurikaan ole pienen pyörimisnopeuden vuoksi. Laskelma kuitenkin tehtiin normaalilla laakerinmitoituseriaatteella, jossa huomioidaan oletettu käyttötuntimäärä sekä laakerin pyörimisnopeus. Laakerien käyttötuntimäärä on suorassa suhteessa laitteiston käyttöön. Päivittäin laitteistoa käytetään kääntämiseen yhdeksän kertaa, kuten luvussa 2.2 on mainittu. Kääntökehoa käännetään kaksi kertaa jokaista kääntöä kohti ja näin ollen keskimääräiseksi päivittäiseksi käyttömääräksi tulee 18 kääntöä. Kääntötapahuman kestäessä 3 sekuntia yhteen suuntaan, kuten luvussa 6.2 määritettiin, tulee päivittäiseksi kokonaiskäyttömääräksi noin yksi minuutti. Vuodessa käyttömääräksi tulee 365 minuuttia, eli noin 6 tuntia.

Yleisesti laakereiden käyttöikä mitoitetaan useiden tuhansien käyttötuntien perusteella (11, s. 129). Kuten kokonaiskäyttömäärästä voidaan havaita, on laakerin pyörimismäärä hyvin pieni ja mikäli laakerille asetetaan alhainen 1 000 tunnin nimelliskäyttöikä, kestää se teoriassa noin 167 vuotta. Laskelma tehtiin 1 000 tunnin nimelliskäyttöiän mukaan ja laskennallinen laakerin pyörimisnopeus oli 5 kierrosta minuutissa.

Laakeriin kohdistuvia voimia ovat elektrodin massasta ja kääntökehdon massasta aiheutuva pystysuuntainen voima. Lisäksi elektrodin vierinnästä aiheutuu pieni sivuttaisvoima, jota laskelmassa ei huomioitu sivuttaisvoiman pienuudesta johtuen. Alaspäin kohdistuva voima on suuruudeltaan noin 15 000 newtonia, sisältäen grafiittielektrodin ja kääntökehdon massan.

Dynaamisia voimia tarkasteltiin määrittämällä käyttötilanteelle väsymisvoimaluku, eli dynaaminen kantavuusluku. Väsymisvoimaluku ilmaisee kuormitusvoiman, jolla laakerin nimelliskestoikä on  $10^6$  kierrosta (11, s. 125). Laakerin mitoitusta tehtiin määritetyn nimelliskäyttöiän perusteella. Laskennallinen väsymisvoimaluku laskettiin kaavalla 18 (11, s. 125).

$$C \geq L_{10}^{1/p} * P$$

KAAVA 18

$C$  = väsymisvoimaluku (N)

$L_{10}$  = nimelliskestoikä ( $10^6$  kierrosta)

$p$  = vaikutuskerroin laakerityypin mukaan (kuulalaakerilla 3)

$P$  = tehollisvoima (N)

Kaavassa 18 esiintyvä laskennallinen nimelliskestoikä lasketaan kaavan 19 (11, s. 130) mukaisesti.

$$L_{10} = 60 * n * \frac{L_{10}}{10^6}$$

KAAVA 19

$L_{10}$  = käyttötuntimäärä (h)

$n$  = keskimääräinen pyörimisnopeus (r/min)

Edellä mainitut kaavat yhdistämällä laskettiin väsymisvoimaluku, joka on

$$C \geq \left( 60 * n * \frac{L_{10}}{10^6} \right)^{1/3} * P$$

$$C \geq \left( 60 * 5 * \frac{1\,000}{10^6} \right)^{1/3} * P$$

$$C \geq 0,67 P.$$

Verrattaessa erilaisten kuulalaakereiden kantavuuslukuja voidaan poikkeuksetta todeta dynaamisen kantavuusluvun olevan suurempi kuin staattinen kantavuusluku (11, s. 136). Lasketun väsymisvoimaluvun ollessa alle 1, voidaan todeta laakerin kestävän rasitustilanne aina kun laakerin staattinen kantavuusluku, eli myötövoimaluku on suurempi kuin laakeriin kohdistuva staattinen rasitus. Koska väsymisvoimaluku on alle 1, ei tehollisvoimaa määritetty erikseen.

Vertaamalla elektrodin ja kääntökehdon aiheuttamaa pystysuuntaisen rasituksen voimaa laakereiden myötövoimalukuun valittiin kääntökehdomassa käytettäväksi laakeriksi UCF210-laippalaakeri. Valitun laakerin myötövoimaluku on 23,3 kN. Kahden laakerin kokonaisvarmuuskerroin on

$$n = \frac{2 * 23\,300\, N}{15\,000\, N}$$

$$n \approx 3,1.$$



## 6 TOIMILAITTEIDEN VALINTA

Elektrodinkääntölaitteiston toimilaitteet ja muut osat pyrittiin valitsemaan yleisesti käytössä olevista komponenteista ja tarvikkeista, jolloin mahdollinen varaosien saatavuus tulevaisuudessa on parempi. Toisena valintoihin vaikuttavana tekijänä pidettiin Outokummun tehtaalla jo mahdollisesti olevien komponenttien hyödyntämistä hydraulijärjestelmän suunnittelussa. Komponentit, joita tehdasalueella ei ole, pyrittiin löytämään Ahlsellin valikoimasta, jolloin laitteiston vaatimien osien hankinta on helpompaa, kun kaikki komponentit ovat saatavilla samasta yrityksestä.

Elektrodinkääntölaitteen tehonsiirtomuodoksi valittiin luvun 5.1 mukaisesti hydrauliset toimilaitteet. Suunnittelutyön edetessä työn tilaaja esitti, että toimilaitteiden tarvitsema hydraulipaine tuotettaisiin laitteiston sijoituspaikan läheisyydessä jo sijaitsevalla hydraulikoneikolla.

Työtä jatkettiin esityksen mukaisesti ja näin ollen vältetään uuden koneikon aiheuttamilta hankintakustannuksilta. Toimilaitteiden mitoituksen kannalta merkittävää on hydraulipumpun tuottama paine ja tuotto. Tasolla sijaitseva hydraulikoneikko tuottaa 210 baarin paineen ja sen tarjoama tuotto on 24 litraa minuutissa. Järjestelmän käyttöpaineeksi valittiin yleisesti käytetty 160 baaria ja se toteutetaan alentamalla tasolla sijaitsevan hydraulikoneikon painetta.

Hydraulitoimilaitteiden iskupituudet mitoitettiin luvuissa 4 ja 5.2 suunniteltujen laitteiden toiminnallisten mittojen mukaan. Hydraulisynterierien tuottaman voiman tarve on laskettu kolmelle erilaiselle työsynterille luvuissa 6.1–6.3. Synterit mitoitettiin tuottamaan tarvittavat lineaarivoimat ja liikenopeudet tapauskohtaisesti. Toimilaitteiden mitoituslähtökohtana käytettiin järjestelmän painetta. Hydraulisynterierien liikkeille asetettiin alustavat liikenopeusarvot ja niiden perusteella toimilaitteille laskettiin tarvittavat tilavuusvirrat. Lopulliset toimilaitteiden liikenopeudet voidaan säätää tarpeen mukaan.

Tilaaajan toivomuksesta käytettäväksi synterityypiksi valittiin Norrhydro Oy:n valmistama, kevyeen teollisuuskäyttöön suunniteltu A-synterisarja (liite 5). A-sarjan synterierien suurin sallittu käyttöpaine on 250 baaria.

Toimilaitteiden mitoituksessa käytettiin hyötysuhdetta  $\eta$ , joka kompensoi venttiilien, putkistojen ja muiden hydraulijärjestelmän osien aiheuttamia painehäviöitä. Hyötysuhteen arvoksi valittiin yleisesti käytetty 0,9.

Hydraulijärjestelmästä tehtiin hydraulikaavio, joka on liitteessä 4, piirustuksessa EKL500. Hydraulikaavion lisäksi järjestelmän vaatimasta sähköjärjestelmästä tehtiin yleispiirikaavio, joka on liitteessä 4, piirustuksessa EKL600. Tehdystä yleispiirikaaviosta selviää järjestelmän perustoiminta. Lopullisten sähkökomponenttien valinta ja kytkentöjen laatiminen jäävät tilaajan vastuulle.

### 6.1 Elektrodien annostelusylinteri

Elektrodipöydässä oleva annostelusylinteri ohjaa kääntyvän pysäyttimen liikettä. Pysäyttimen tulee pysyä ylhäällä sylinterin voimalla, ja toisaalta pysäyttimen tulee myös pystyä nousemaan ylös sylinterin voimalla teoreettisessa tilanteessa, jossa elektrodisauvan massa kohdistuu kokonaisuudessaan pysäyttimen päälle. Mitoitusperustaksi valittiin edellä mainituin perustein elektrodisauvan massan aiheuttama pystysuuntainen voima, eli noin 12 400 newtonia. Sylinteri mitoitettiin niin, että vaadittu minimivoima voidaan tuottaa sylinterin miinusliikkeellä. Tiedetyn voiman tarpeen perusteella laskettiin sylinterin männän halkaisija kaavalla 20 (9, s. 931). Kaavaan sisällytettiin sylinterin männänvarresta aiheutuva pinta-ala ja hyötysuhde  $\eta$ . Männänvarren halkaisijaksi valittiin alustavasti 28 mm. Pienin tarvittava männän halkaisija on

$$D = \sqrt{\frac{\left(\frac{F}{p} + \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \cdot 4}{\pi \cdot \eta}} \quad \text{KAAVA 20}$$

$$D = \sqrt{\frac{\left(\frac{12\,400\text{ N}}{16\text{ N/mm}^2} + \frac{\pi \cdot 28^2\text{ mm}^2}{4}\right) \cdot 4}{\pi \cdot 0,9}}$$

$$D \approx 44,4\text{ mm.}$$

Kaksitoimiseksi hydraulisynteriksi valittiin lasketun männän halkaisijan perusteella Norrhydron A-sarjan hydraulisynteri 50 mm männän halkaisijalla. Valitul-

le sylinterille tehtiin nurjahdustarkastelu liitteessä 5 olevan nurjahdusdiagrammin avulla. Diagrammin perusteella sylinterin kokonaispituuden ollessa 0,54 m on suurin nurjahduksen aiheuttama voima 50 kN varmuuskertoimen ollessa 4.

Vertaamalla diagrammista saatua nurjahdusvoimaa 50 mm männällä varustetun hydraulisynterinin aikaansaamaan voimaan, joka on 160 baarin paineella noin 32 000 newtonia nomogrammin mukaan (9, s. 931), todetaan 28 mm männänvarren kestävän rasitus nurjahtamatta. Laskelmien perusteella lopulliseksi annostelusynteriksi valittiin A0050/28\*150AA (liite 5).

### Tilavuusvirran tarve annostelusynterille

Annostelusynterinin tilavuusvirran tarve mitoitettiin haluttujen liikenopeuksien aikaansaamiseksi. Synterinin liikenopeus mitoitettiin siten, että synterinin ohjaama kääntyvä pysäytin, laskee alas kahdessa sekunnissa. Synterinin iskupituuden ollessa 150 millimetriä, on synterinin liikenopeus 0,075 m/s. Synterinin tarvitsema tilavuusvirta laskettiin kaavalla 21.

$$q_{\text{synterini}} = v_{\text{liikenopeus}} * A_{\text{männä}} * 60\ 000 \quad \text{KAAVA 21}$$

$$q_{\text{synterini}} = \text{tilavuusvirta (l/min)}$$

$$v_{\text{liikenopeus}} = \text{liikenopeus (m/s)}$$

$$A_{\text{männä}} = \text{männän pinta-ala (m}^2\text{)}$$

Synterinin tarvitsema tilavuusvirran tarve laskettiin erikseen, sekä synterinin miinus-, että plusliikkeelle, jotta tarvittavien tilavuusvirran säätöjen tekeminen olisi mahdollisimman yksinkertaista. Tilavuusvirran tarve annostelusynterinin plusliikkeelle on

$$q_{\text{annostelusynterini}(+) } = 0,075 \text{ m/s} * \frac{\pi * (0,050 \text{ m})^2}{4} * 60\ 000$$

$$q_{\text{annostelusynterini}(+) } \approx 8,8 \text{ l/min}$$

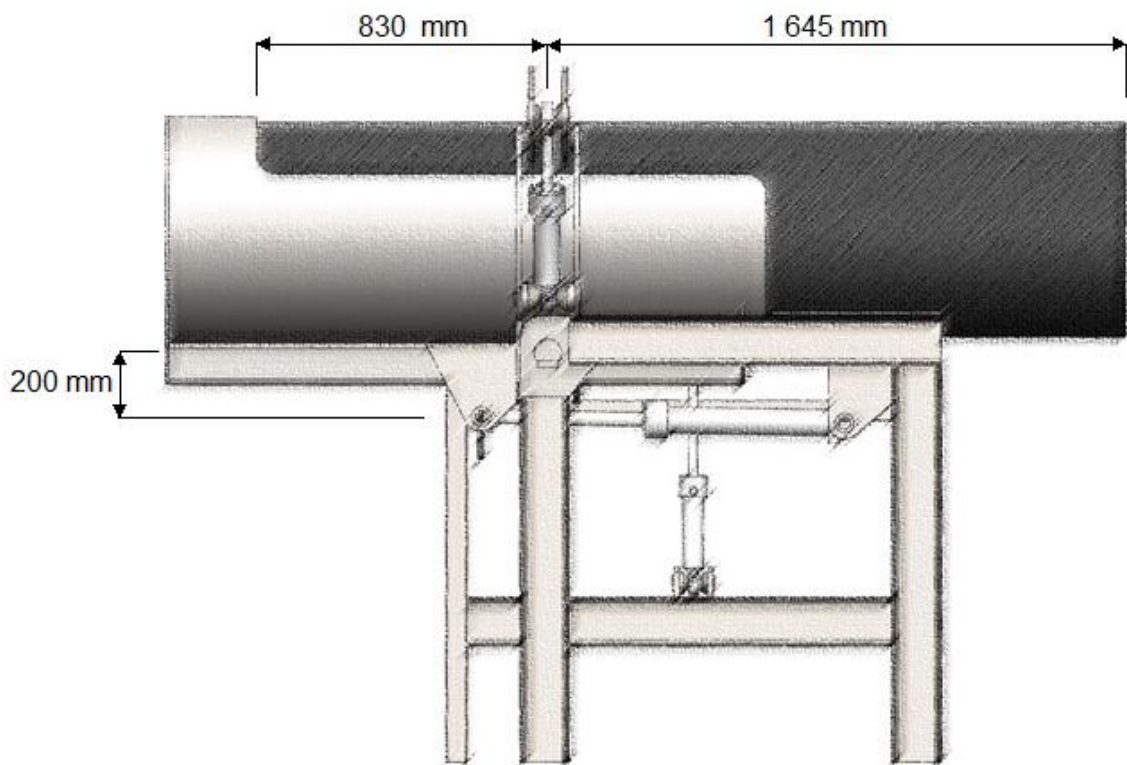
Tilavuusvirran tarve annostelusynterinin miinusliikkeelle on

$$q_{\text{annostelusynterini}(-) } = 0,075 \text{ m/s} * \frac{\pi * (0,050 \text{ m} - 0,028 \text{ m})^2}{4} * 60\ 000$$

$$q_{\text{annostelusynterini}(-) } \approx 1,7 \text{ l/min}$$

## 6.2 Elektroodin kääntösyylinteri

Elektroodin kääntämiseen käytettävän hydraulisyylinterin mitoituksen perustana käytettiin laskennallista kääntämiseen tarvittavaa momenttia. Elektroodin kääntäminen vaatii sylinterin tuottaman momentin, joka on suurempi kuin kääntömomenttia vastustava voima. Kääntömomenttia vastustava voima syntyy elektrodinsauvan massasta. Momentin määrittämiseen käytettyä mitoitusperiaatetta on havainnollistettu kuvan 16 avulla.



*KUVA 16. Kääntösyylinterin mitoituskuva*

Kuvan 16 mukaisessa tilanteessa kääntämistä vastustava momentti syntyy kääntöpisteen suhteen sen oikealle puolelle. Koska elektrodin massa vaikuttaa kääntötapahintaan positiivisesti kääntöpisteen vasemmalla puolella, vähennetään sen aiheuttama positiivinen momentti kokonaismomentin tarpeesta. Kääntökehdon rakenteen massaa ei laskelmassa huomioitu, koska sen painopiste on kääntöpisteen vasemmalla puolella, eli sen vaikutus kääntötoimenpiteeseen on keventävä. Momentin tarve elektrodinsauvan kääntämiseksi laskettiin kaavalla 22 (9, s. 409).

$$M_{\text{kääntö}} = F * l$$

KAAVA 22

Kaavassa 22 kääntämistä vastustava momentti syntyy elektrodisauvan massasta, joka on tietyn etäisyyden päässä kääntöpisteestä. Laskukaavassa on huomioitu kääntämistä helpottava kääntöpisteen vasemmalla puolella sijaitseva elektrodisauvan massa, joka on vähennetty vastaavan suuruisena kääntöpisteen oikealta puolelta. Elektrodisauvan kääntämiseen tarvittavan momentin suuruus on

$$M_{\text{kääntö}} = \left| \frac{12\,400\text{ N}}{2,475\text{ m}} * 0,83\text{ m} - \frac{12\,400\text{ N}}{2,475\text{ m}} * 0,83\text{ m} - \frac{12\,400\text{ N}}{2,475\text{ m}} * 0,815\text{ m} * \left( 2,475\text{ m} - (2 * 0,83\text{ m}) - \frac{0,815\text{ m}}{2} \right) \right|$$

$$M_{\text{kääntö}} \approx 1\,664\text{ Nm.}$$

Laskelman perusteella tarvittava kääntömomentti elektrodisauvan kääntämiseksi on 1 664 Nm. Kääntämistilanteessa suurin momentin tarve on alkutilanteessa, jolloin elektrodisauvaa aletaan kääntää pystyasentoon. Sylinterin voimalla saatava momentti tehdään momenttivarren avulla. Rakenteen mitoista syntyvä momenttivarren mitta on tässä tapauksessa sylinterin kiinnityspisteen pystysuuntainen etäisyys kääntöpisteen akselilta. Kiinnityspiste on 200 mm:n etäisyydellä kääntöpisteestä. Sylinteriltä saatavan voiman tarve on laskettu kaavalla 22.

$$F_{\text{kääntö}} = \frac{M_{\text{kääntö}}}{l_{\text{etäisyys}}}$$

$$F_{\text{kääntö}} = \frac{1\,664\text{ Nm}}{0,2\text{ m}}$$

$$F_{\text{kääntö}} = 8\,320\text{ N}$$

Laskelman perusteella sylinteriltä tarvittavan voiman suuruus on 8 320 newtonia. Luvussa 5.2 mallinnetun kääntölaitteen rakenne toteutettiin niin, että kääntökehdon liike olisi pienimmillään elektrodisauvan saavuttaessa pystyasennon. Pienin liikenopeus tarkoittaa käytännössä sylinterin sijoittamista kohtisuoraan

käännettävään kappaleeseen nähden, ja tästä syystä sylinteri sijoitettiin niin, että pääliike tapahtuu niin sanotulla sylinterin miinusliikkeellä.

Sylinterin männän halkaisija mitoitettiin miinusliikkeen mukaan, tiedetyn voiman tarpeen perusteella kaavalla 20. Kaavaan sisällytettiin männän varren aiheuttama pinta-ala ja hyötysuhde  $\eta$ . Männänvarren halkaisijaksi valittiin alustavasti 36 mm nurjahdusherkkyuden välttämiseksi suuren iskupituuden vuoksi. Pienin tarvittava männän halkaisija on

$$D = \sqrt{\frac{\left(\frac{8\,320\text{ N}}{16\text{ N/mm}^2} + \frac{\pi * 36^2\text{ mm}^2}{4}\right) * 4}{\pi * 0,9}}$$

$$D \approx 46,6\text{ mm.}$$

Kaksitoimiseksi hydraulisynteriksi valittiin lasketun männän halkaisijan perusteella Norrhydron A-sarjan hydraulisynteri 50 mm männän halkaisijalla. Valitulle synterille tehtiin nurjahdustarkastelu liitteessä 5 olevan nurjahdusdiagrammin avulla. Diagrammin perusteella synterin kokonaispituuden ollessa 1,04 m on suurin nurjahduksen aiheuttama voima noin 40 kN varmuuskertoimen ollessa 4.

Vertaamalla laskettua nurjahdusvoimaa 50 mm männällä varustetun hydraulisynterin aikaansaamaan voimaan, joka on 160 baarin paineella noin 32 000 newtonia nomogrammin mukaan, todetaan 36 mm männänvarren kestävä rasitus nurjahtamatta. Laskelmien perusteella lopulliseksi kääntösynteriksi valittiin A0050/36\*400AA (liite 5).

### **Tilavuusvirran tarve kääntösynterille**

Kääntösynterin tilavuusvirran tarve mitoitettiin samalla periaatteella, jota käytettiin annostelusynterin mitoituksessa. Kääntösynterin liikenopeus mitoitettiin siten, että synterin ohjaama kääntökehto liikkuu ääriasennosta ääriasentoon kolmessa sekunnissa. Synterin iskupituuden ollessa 400 millimetriä, on synterin liikenopeus noin 0,13 m/s. Synterin tarvitsema tilavuusvirta laskettiin kaavalla 23.

Tilavuusvirran tarve kääntösynterinin plusliikkeelle on

$$q_{\text{kääntösynterini}(+)} = 0,13 \text{ m/s} * \frac{\pi * (0,050 \text{ m})^2}{4} * 60\,000$$

$$q_{\text{kääntösynterini}(+)} \approx 15,4 \text{ l/min.}$$

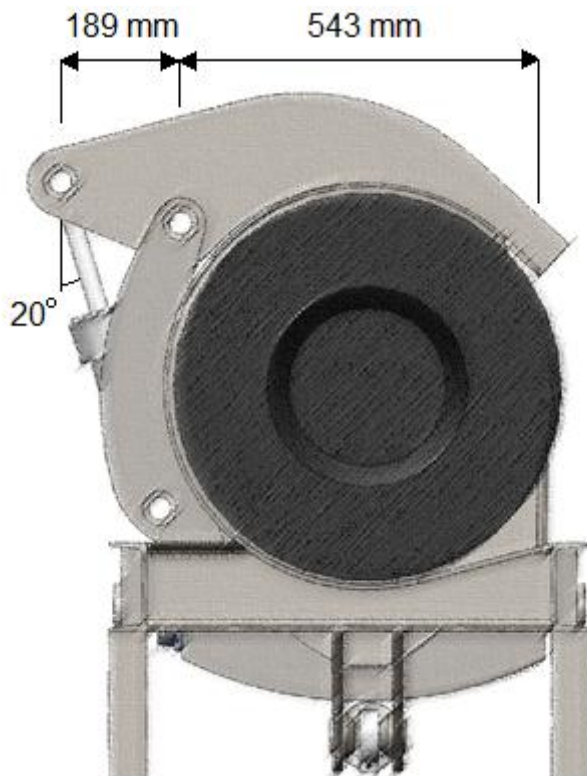
Tilavuusvirran tarve kääntösynterinin miinusliikkeelle on

$$q_{\text{kääntösynterini}(-)} = 0,13 \text{ m/s} * \frac{\pi * (0,050 \text{ m} - 0,036 \text{ m})^2}{4} * 60\,000$$

$$q_{\text{kääntösynterini}(-)} \approx 1,2 \text{ l/min.}$$

### 6.3 Elektrodin lukitussynterini

Kääntölaitteen rakenteeseen suunniteltiin elektrodin kiinnittämiseksi lukitusvarsi, joka estää elektrodin putoamisen laitteesta kääntötilanteessa. Lukitusvarrtta ohjaavan synterinin mitoitus toteutettiin mallinnetun laitteen toiminnallisten mittojen mukaan, kuten aiempienkin synterinin osalla. Synterinin mitoituksessa hyödynnettiin kuvaa 17.



KUVA 17. Lukitussynterinin mitoituskuva

Perustaksi lukitussylinterin mitoitukselle asetettiin elektrodisauvan tukemiseen tarvittava voima. Lukitusvarsi on mitoitettu niin että se voi ottaa vastaan koko elektrodisauvan massan, näin ollen tarvittava voima varren päässä on noin 12 400 newtonia. Laitteiston rakenteesta johtuen sylinteri on asetettu noin 20 asteen kulmaan, ja tämä mitta on huomioitu voiman tarvetta laskettaessa. Sylinteriltä tarvittava voima laskettiin kuvassa 17 olevien mittojen avulla.

$$F_{lukitus} = \frac{12\,400\text{ N} * 543\text{ mm}}{189\text{ mm} * \cos 20}$$

$$F_{lukitus} \approx 37\,912\text{ N}$$

Lukitusvoiman perusteella mitoitettiin hydraulisylinterin männän halkaisija kuten luvuissa 6.1 ja 6.2. Laskelmaan sisällytettiin hyötysuhde  $\eta$ . Pienin tarvittava männän halkaisija on

$$D = \sqrt{\frac{37\,912\text{ N} * 4}{16\text{ N/mm}^2 * \pi * 0,9}}$$

$$D \approx 57,9\text{ mm}.$$

Kaksitoimiseksi hydraulisylinteriksi valittiin lasketun männän halkaisijan perusteella Norrhydron A-sarjan hydraulisylinteri 60 mm männän halkaisijalla. Sylinteriin valittiin 32 mm männänvarsi ja iskunpituuden ollessa 150 mm. Valitulle sylinterille tehtiin nurjahdustarkastelu liitteessä 5 olevan nurjahdusdiagrammin avulla. Diagrammin perusteella sylinterin kokonaispituuden ollessa 0,545 m on suurin nurjahduksen aiheuttama voima noin 80 kN varmuuskertoimen ollessa 4.

Vertaamalla laskettua nurjahdusvoimaa 60 mm männällä varustetun hydraulisylinterin aikaansaamaan voimaan, joka on 160 baarin paineella noin 45 000 newtonia nomogrammin mukaan, todetaan 32 mm männänvarren kestävä rasitus nurjahtamatta. Laskelmien perusteella lopulliseksi lukitussylinteriksi valittiin A0060/32\*150AA (liite 5).



### Tilavuusvirran tarve lukitussylinterille

Lukitussylinterin tilavuusvirran tarve mitoitettiin samalla periaatteella, jota käytettiin annostelusylinterin ja kääntösylinterin mitoituksessa. Lukitussylinterin liikenopeus mitoitettiin siten, että sylinterin ohjaama lukitusvarsi liikkuu ääriasennosta ääriasentoon kahdessa sekunnissa. Sylinterin iskupituuden ollessa 150 millimetriä, on sylinterin liikenopeus 0,075 m/s. Tilavuusvirran tarve lukitussylinterin plusliikkeelle on

$$q_{\text{lukitussylinteri}(+)} = 0,075 \text{ m/s} * \frac{\pi * (0,060 \text{ m})^2}{4} * 60\,000$$

$$q_{\text{lukitussylinteri}(+)} \approx 12,7 \text{ l/min}$$

Tilavuusvirran tarve lukitussylinterin miinusliikkeelle on

$$q_{\text{lukitussylinteri}(-)} = 0,075 \text{ m/s} * \frac{\pi * (0,060 \text{ m} - 0,032 \text{ m})^2}{4} * 60\,000$$

$$q_{\text{lukitussylinteri}(-)} \approx 2,8 \text{ l/min}$$

### 6.4 Hydraulijärjestelmän venttiilit

Hydraulijärjestelmään mitoitettiin venttiilit valitun käyttöpaineen, ja mitoitettujen tilavuusvirtojen mukaan. Venttiilit valittiin Bosch Rexrothin valikoimasta, koska kyseisen valmistajan tuotteita on käytössä Tornion terästehtaalla yleisesti ja työtilaaja erikseen niin vaati. Venttiilien nimelliskooksi valittiin 6 ja venttiililohkoksi valittiin PLATTE3HSR06-2X/01C-tyyppinen 3-paikkainen venttiililohko (12), johon tarvittavat venttiilit asennetaan. Valitun venttiililohkon paine- ja paluulinjan liitännät ovat ½ tuumaiset ja A- ja B-linjojen liitännät ovat 3/8 tuumaiset ISO 228-normin mukaiset putkikierriliitännät.

#### Paineenrajoitusventtiili

Laitteiston käyttöpaineen säätämiseksi hydraulijärjestelmään valittiin paineenrajoitusventtiili, jolla laitteiston käyttöpaine voidaan säätää halutulle tasolle. Järjestelmän paineenrajoitusventtiiliksi valittiin ZDB6VP1-4X/200V-tyyppinen venttiili (13). Valitun paineenrajoitusventtiilin paineenkesto on 315 baaria ja suurin sallittu tilavuusvirta 80 l/min.

### **Suuntaventtiilit**

Haluttujen liikkeiden aikaansaamiseksi järjestelmään valittiin suuntaventtiilit. Sylinterejä ohjaamaan valittiin 24 voltin jännitteellä toimivat 4/3-suuntaventtiilit suljetulla keskiasennolla. Valitun suuntaventtiilin tyyppi on 4WE6 E6X/EG24N9K4 (14). Valitun suuntaventtiilin paineenkesto on 350 baaria ja suurin sallittu tilavuusvirta 80 l/min.

### **Kaksoisvastusvastaventtiilit**

Hydraulijärjestelmään valittiin kolme kaksoisvastusvastaventtiiliä, joilla ohjataan sylintereiden liikenopeuksia. Kuristusventtiileillä säädetään sylintereiden liikenopeudet halutulle tasolle. Kaksoisvastusvastaventtiiliksi valittiin Bosch Rexrothin Z2FS6-2-4X/2Q-tyyppinen venttiili (15). Kaksoisvastusvastaventtiilin suurin sallittu järjestelmän paine on 315 baaria ja suurin sallittu tilavuusvirta 80 l/min.

### **Sulkuventtiilit**

Hydraulijärjestelmän jokaiselle sylinterille valittiin sulkuventtiilit. Sulkuventtiili pysäyttää kunkin sylinterin liikkeen, mikäli järjestelmässä ei ole painetta. Sulkuventtiiliksi järjestelmään valittiin Bosch Rexrothin Z2S6-1-6X (16). Sulkuventtiilien suurin sallima järjestelmän paine on 315 baaria ja suurin sallittu tilavuusvirta 60 l/min.

## **6.5 Hydrauliputkien ja liittimien valinta**

Hydraulijärjestelmään mitoitettiin kaikki tarvittavat putket, letkut ja liittimet. Paineputken virtausnopeudeksi valittiin suositeltu 5 m/s (17, s. 35). Paineputkisto mitoitettiin suurimman tarvittavan tilavuusvirran mukaan. Suurin tilavuusvirran tarve on 15,4 litraa minuutissa, ja se esiintyy kääntösylinterin plusliikkeellä. Paineputken sisähalkaisija lasketaan kaavalla 23 (9, s. 912).

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v \cdot 60 \, 000}}$$

KAAVA 23

$d$  = putken sisähalkaisija (m)

$q$  = tilavuusvirta (l/min)

Paineputken pienin tarvittava sisähalkaisija on

$$d = \sqrt{\frac{4 * 15,4 \text{ l/min}}{\pi * 5 \text{ m/s} * 60\ 000}}$$

$$d \approx 0,0081 \text{ m} \rightarrow 8,1 \text{ mm.}$$

Paluuputken sisähalkaisija lasketaan kaavalla 23. Paluuputken virtausnopeuden arvoksi valittiin suositeltu 3 m/s (17, s.34). Paluuputken pienin tarvittava sisähalkaisija on

$$d = \sqrt{\frac{4 * 15,4 \text{ l/min}}{\pi * 3 \text{ m/s} * 60\ 000}}$$

$$d \approx 0,010 \text{ m} \rightarrow 10 \text{ mm.}$$

Laskelmien perusteella paine- ja paluulinjan putkiksi valittiin 15x2-kokoinen, standardin DIN 2391 mukainen tarkkuusteräsputki (18, s. 141). Valitun tarkkuusteräsputken sisähalkaisija on 11 mm (15 mm - 2\*2 mm). Linjalähtöjen putkikooksi valittiin sama putkikoko. Perusteena samalle putkikoolle on se, ettei tilavuusvirtojen suuruuksissa ole merkittäviä eroja, ja toisaalta hydraulijärjestelmä on helpompi toteuttaa, kun putkien ja letkujen koot ovat yhteneväiset.

### **Hydrauliletkujen valinta**

Hydrauliletkuksi järjestelmään valittiin ½ tuumainen standardin ISO 1436-1 mukainen teräspunosletku. Teräspunosletkun tyypiksi valittiin kahdella teräskudoksella varustettu 222T-08-tyyppinen (18, s. 4) letku. Kaksikudoksinen letku valittiin, koska ½-tuumaisen, yksikudoksisen letkun sallittu työpaine on 160 baaria (18, s. 3), ja hydraulijärjestelmä tulee mitoittaa niin, että 15 % työpaineen lisäys on mahdollista (17, s.34). Hydrauliletkujen liittimiksi valittiin ½ tuumaiset, R-kierteelliset sisäkierriliittimet, joka ovat A99001-08-08-tyyppisiä (18, s. 12).

### **Hydraulijärjestelmän liittimien valinta**

Järjestelmän teräsputkiliittimiksi valittiin 15 mm:n putkelle sopiva 2S leikkuurengasliitin, joka soveltuu normaaleihin olosuhteisiin (18, s. 113). Leikkuurengasliittimen leikkuurengas on tyyppiltään 24-S-16 (18, s. 114), ja vaippamutteri R-kierteellinen ½ tuumainen kierreltiin(18, s. 111). Valitun leikkuurengasliittimen ja vaippamutterin paineluokka on PN 400.

Paine-, paluu- ja lähtölinjojen liittämiseksi venttiililohkoon, valittiin kaksoisnipat. Samoilla kaksoisnipoilla liitetään myös työsylinterien paine- ja paluuletkut linjaputkiin, sekä työsylinterit letkuihin. Kaksoisnipaksi valittiin ulkokierteellinen kaksoisnipa, jonka molemmissa päissä on paine- ja paluulinjaan sopiva ½ tuuman R-kierre. Kaksoisnipan tyyppi Dunlophiflexin kuvastossa on 26-04000-08 (18, s. 101).

Linjalähtöjen liittämiseksi järjestelmään valittiin supistusliittimet, joilla venttiililohkon 3/8 tuumaisten liittimien koko muunnetaan kokoon ½ tuumaa. Valitun supistusliittimen tyyppi Dunlophiflexin kuvastossa on 24-RSI-06-08 (18, s. 132).

## 6.6 Iskunvaimentimen mitoitus

Suunnittelutyön edetessä kääntölaitteeseen mitoitettiin iskunvaimennin, joka vastaanottaa kääntökehdon ja käännettävän elektrodisauvan massan kääntötilanteessa. Vaimentimen mitoituksessa hyödynnettiin teollisuuskäyttöön suunniteltujen iskunvaimenninvalmistajien omia mitoitusohjeita ja taulukoita. Vaimennintyyppiä valittiin itsesäätyvä vaimennin, koska laitteiston liikenopeudet eivät muutu eri tilanteissa, ja näin ollen rakenteisiin kohdistuvat rasitukset ovat yhdenmukaisia. Iskunvaimenninvalmistajaksi valittiin Forkardt, jonka valmistamat iskunvaimentimet löytyvät Ahlsellin valikoimasta. Vaimennin mitoitettiin tiedettyjen massojen, etäisyyksien ja liikenopeuksien mukaan. Mitoitusperustana iskunvaimentimille on iskunvaimentimeen vaikuttava kokonaismomentti  $W_g$ , ja sen lisäksi ekvivalenttimassa. Ekvivalenttimassa lasketaan kaavan 24 (19, s. 5) mukaisesti.

$$m_W = \frac{W_G * 2}{v^2}$$

KAAVA 24

$m_W$  = ekvivalenttimassa (kg)

$v$  = kääntökehdon ulomman pään liikenopeus (m/s)

Kaavassa 24 oleva kokonaismomentti  $W_g$  on kahden erilaisen momentin summa. Kokonaismomenttiin sisältyvät osatekijät ovat  $W_k$  ja  $A$ .

Kokonaismomentin osatekijä  $W_k$  on kääntökehän ja elektrodisauvan massan, sekä nopeuden tulo kaavan 25 mukaisesti.

$$W_K = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

KAAVA 25

$m$  = kääntökehdon ja elektrodisauvan kokonaismassa (kg)

$v$  = kääntökehdon ulomman pään liikenopeus (m/s)

Kokonaismomentin toinen osatekijä  $A$  on kääntökehän kääntämiseen käytetyn momentin, iskuetäisyyden ja iskunvaimentimen iskupituuden tulo kaavan 26 mukaisesti.

$$A = \frac{m_D}{R} * s$$

KAAVA 26

$m_D$  = kääntökehdon kääntämiseen käytetty momentti (Nm)

$R$  = vaimentimeen osuvan pisteen etäisyys kääntöpisteestä (m)

$s$  = iskunvaimentimen iskupituus (m)

Kokonaismomentin laskukaavaan sijoitettiin kääntämiseen käytetty todellinen momentti, joka sijoitettiin suoraan kaavaan muuttujan  $m_D$  tilalle. Todellinen kääntömomentti on sylinterin männän pinta-alan ja paineen tulo kerrottuna momenttivarren pituudella. Kääntökehdon ulomman pään liikenopeus  $v$  on kääntötapahtumaan käytetyn ajan ja kääntökehdon pään kulkeman matkan jakojäännös. Tiedettäessä kääntökehdon pään etäisyys kääntöpisteestä lasketaan liikematka kertomalla etäisyys kahdella ja piillä, ja sen jälkeen jakamalla tulos neljällä. Näin huomioidaan kääntökehdon kulkema neljänneskierroksen matka. Kääntökehdon pään nopeuden arvo on

$$v = \left( \frac{R * 2 * \pi}{4 * s_{\text{kääntöaika}}} \right) \rightarrow v = \left( \frac{0,85 \text{ m} * 2 * \pi}{4 * 3 \text{ s}} \right)$$

$$v \approx 0,445 \text{ m/s.}$$

Laskuissa käytettävän todellisen momentin arvo on

$$m_D = \pi * (r_{\text{mäntä}}^2 - r_{\text{männänvarsi}}^2) * \text{paine} * \text{momenttivarssi} \rightarrow$$

$$m_D = \pi * (25^2 - 18^2) \text{ mm}^2 * 16 \text{ N/mm}^2 * 0,2 \text{ m}$$

$$m_D \approx 3056 \text{ Nm.}$$

Kokonaismomentin arvon laskemiseksi kaavaan sijoitettiin elektrodisauvan ja kääntökehdon kokonaismassa, joka on 1500 kg. Iskunvaimentimen pituudeksi valittiin 50 mm, eli 0,05 m. Kokonaismomentin arvo on

$$W_g = \frac{1\,500\text{ kg} * (0,445\text{ m/s})^2}{2} + \frac{3\,056\text{ Nm}}{0,85\text{ m}} * 0,05\text{ m}$$

$$W_g \approx 329\text{ Nm}.$$

Laskettu kokonaismomentti sijoitettiin kaavaan 24. Kaavalla laskettiin ekvivalenttimassa, jonka suuruus on

$$m_w = \frac{329\text{ Nm} * 2}{(0,445\text{ m/s})^2}$$

$$m_w \approx 3\,323\text{ kg}.$$

Iskunvaimentimelle kohdistuvaa tuntikuormitusta ei erikseen laskettu, koska elektrodeja käännetään keskimäärin vain yhdeksän kertaa päivässä. Lasketun kokonaismomentin ja ekvivalenttimassan perusteella iskunvaimentimeksi valittiin SDC 18-50 M-tyyppinen iskunvaimennin (19, s. 3).

## 7 VAIHTOEHTOISET TOTEUTUSTAVAT

Turvalliseen työympäristöön pyrittäessä tulee huomioida kääntölaitteen tuoma kokonaisuhyöty. Valinnassa tulee huomioida ja punnita eri vaihtoehdot tarkasti sekä perustellusti. Käytännössä vaihtoehtoiksi muodostuvat tässä opinnäytetyössä suunniteltu elektrodinkääntölaitteisto ja jo olemassa olevat valmiit sovellukset. Jo olemassa olevista elektrodinkääntösovelluksista verrattavaksi vaihtoehdoksi otettiin laitteisto, jonka rakenteen yleisideaa hyödynnettiin myös suunnitellussa laitteistossa. Kyseessä oleva kääntölaitteisto on italialaisen yrityksen Picardin valmistama. Picardin valmistama kääntölaite on tarkoitettu saman yrityksen valmistamien elektrodinkiristyslaitteiden oheislaitteeksi (20).

Picardin valmistamaa sovellusta tutkittiin suunnittelutyön aikana monista eri näkökulmista. Tutkitussa sovelluksessa on vastaava hydraulinen kääntömenetelmä ja perusrakenne kuin suunnitellussa laitteistossa. Muilta osin laitteiston rakenne poikkeaa suunnitellusta ja esimerkiksi lukitusrakenne on toteutettu kalliimmalla ja monimutkaisemmalla menetelmällä.

Toinen merkittävä ero suunniteltuun laitteeseen verrattuna on laitteen käytössä. Suunnitellussa elektrodin kääntölaitteessa on kalteva pöytätaaso ja sen päässä annosteleva pysäytin, jota ohjataan hydraulisesti. Vastaavasti Picardin valmistamassa tuotteessa pöytä on vaakatasossa ja elektrodit täytyy kiertää kääntölaitteeseen käsin.

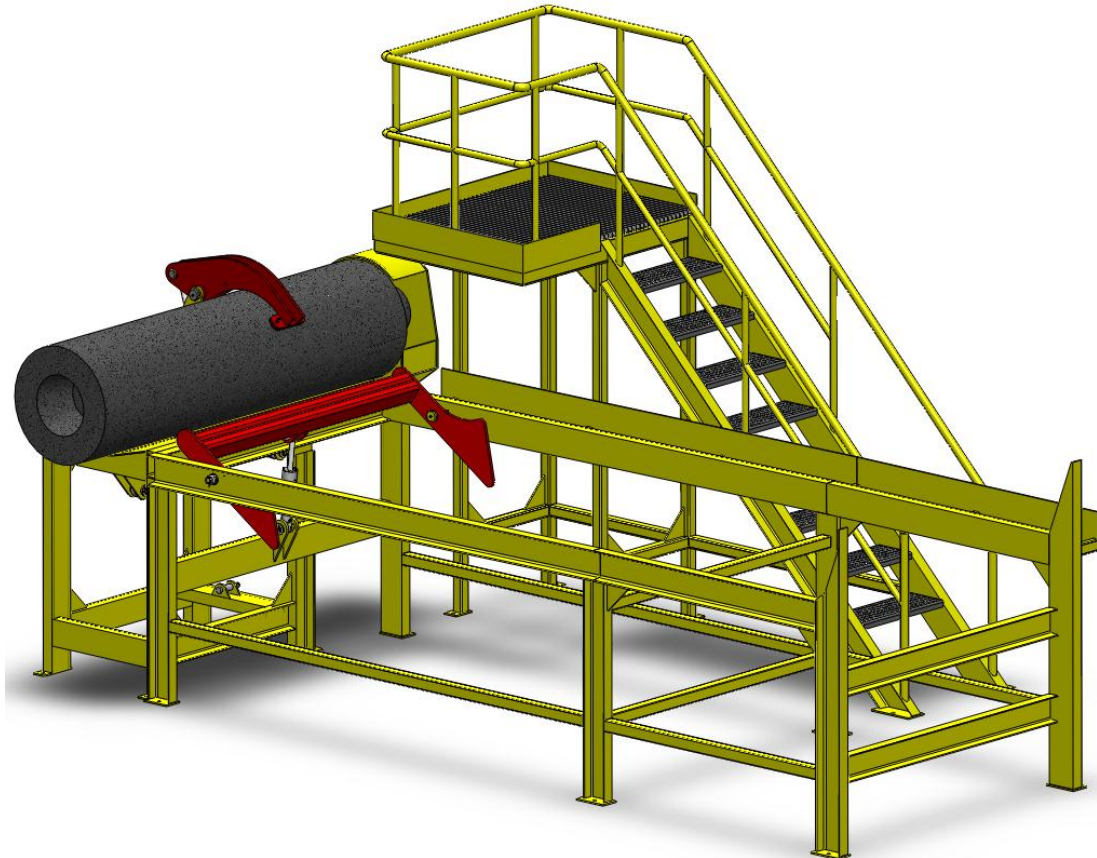
Koska laitteiston käyttö vaatii käyttäjältään fyysistä, käsin tehtävää työtä, vähentää se laitteiston kokonaisturvallisuutta. Käsin tehtävässä työvaiheessa piilee muun muassa sormien litistymisvaara elektrodisauvojen väliin tai elektrodisauvan ja kääntölaitteen rakenteen väliin.

## 8 TULOKSET

Opinnäytetyössä tehdyn suunnittelutyön tuloksena suunniteltiin elektrodinkääntölaitteisto. Suunnittelutyössä sovellettiin erilaisia suunnittelumenetelmiä ja toteutusmuotoja. Perustana työlle pidettiin käännettävän kappaleen ulkomittoja ja sen massaa. Mittojen ja massan perusteella laskettiin rakenteelle perusrakenne lujuusopillisia laskuperiaatteita käyttäen. Laitteiston erilaiset rakennevaihtoehdot käytiin perusteellisesti läpi ja vaihtoehdot pisteytettiin vaatimuslistassa esiteltyjen vaatimusten täyttämiseksi.

Mallinnus aloitettiin alkuperäisten luonnoskuvien perusteella tilanteesta, jossa suunnittelupöydällä oli vain mallinnettu elektrodisauva. Suunnittelutyön edetessä laitteiston kokonaisrakenne mallinnettiin Solidworks-3D-mallinnusohjelmalla. Mallinnettua rakennetta hyödyntäen rakenteeseen tehtiin useita erilaisia muutoksia ja lopulliseen rakenteeseen päädyttiin useiden eri variaatioiden jälkeen. Laitteiston lopullinen rakenne on kokonaisuudessaan onnistunut, ja erityisesti elektrodien annostelun toteutus on yksinkertaisuudessaan toimiva ja markkinoilla olevista laitteista poikkeava. Suunniteltu elektrodinkääntölaitteisto on esitetty kokonaisuutena kuvassa 18.





*KUVA 18. Elektrodinkääntölaitteisto*

Työn yhtenä tavoitteena oli luoda perusteellinen kustannusvertailu, jossa verrataan suunnitellun laitteiston aiheuttamia kokonaiskustannuksia vastaavaan valmiiseen laitteistoon. Suunnitellun kääntölaitteiston kustannukset on laskettu liitteessä 6. Laitteiston käyttämiseksi määritettiin käyttöohjeet, joiden avulla laitteistoa voidaan käyttää turvallisesti. Laitteen käyttöohjeet ovat liitteessä 7.

Opinnäytetyön edetessä työn tilaajan kanssa sovittiin niin, että tilaajan oma edustaja tekee markkinoilla olevista valmiista sovelluksista tarjouspyynnön. Edellä mainittuun ratkaisuun päädyttiin, jotta laitteistovalmistajalta saatavaa tarjousta voidaan pitää totuudenmukaisena kun tarjouksen pyytäjänä on yrityksen edustaja, eikä yksityinen henkilö. Päätökseen perustuen kustannusvertailu jää tilaajan vastuulle.

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa työturvallisuutta Outokummun terästehtaalla. Työturvallisuuteen vaikuttava suunnittelutyö tehtiin terässulaton valokaariuunin tasolle. Tasolla päivittäin tapahtuva elektrodien kääntötoimenpide on todettu ajoittain vaaralliseksi tapahtumaksi. Elektrodien kääntäminen tehdään tällä hetkellä siltanosturin avulla ja kääntötilanteessa käännettävä elektrodisauva lähtee helposti heilumaan, mikä voi aiheuttaa merkittäviä aineellisia vahinkoja tai henkilövahinkoja.

Tilanteen parantamiseksi tasolle hankitaan laitteisto, jonka avulla elektrodien kääntäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin laitteiston sijoituspaikka ja elektrodinkääntölaitteisto, jolla elektrodisauvojen kääntäminen voidaan suorittaa turvallisesti.

Suunnittelutyössä edettiin johdonmukaisesti lähtien liikkeelle käännettävän elektrodisauvan ominaisuuksista ja mitoista. Suunniteltu laitteistokokonaisuus koostuu kahdesta osasta, jotka ovat luvussa 4 suunniteltu elektrodipöytä ja luvussa 5 suunniteltu kääntölaite.

Elektrodipöydän suunnittelussa otettiin huomioon vaatimuslistassa annetut ehdot ja toivomukset. Pöydän perusrakenteelle laskettiin vaadittavien rakenneprofiilien koot. Laskettujen rakenneprofiilien pohjalta suunniteltiin pöydän perusrakenne. Pöytä suunniteltiin kuudelle elektrodisauvalle tilaajan toivomusten mukaisesti. Perusrakenteen lisäksi pöytään suunniteltiin annostelumekanismi, jolla elektrodit voidaan syöttää kääntölaitteelle hydraulitoimilaitteen avulla. Annostelumekanismin osalta suunniteltu rakennekokonaisuus poikkeaa kaikista markkinoilla olevista sovelluksista.

Kääntölaitteen suunnittelussa hyödynnettiin elektrodipöytään mitoitettuja rakenneprofiileja. Kääntölaitteen suunnittelu aloitettiin kartoittamalla kaikki mahdolliseksi koetut vaihtoehdot, joilla elektrodien kääntäminen olisi mahdollista. Vaihtoehdot osatoiminnot käytiin läpi tarkasti kohta kohdalta, ja osatoiminnoista koottiin kolme erilaista kokonaisuutta, jotka arvioitiin ja pisteytettiin parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Pisteytyksen perusteella valittiin kokonaisratkaisu, jota edelleen kehitettiin suunnittelutyön edetessä. Kokonaisrakenteesta tehtiin useita erilaisia versioita ja toimintamalleja, ja lopullinen rakenne poikkeaa alkuperäisistä luonnoksista merkittävästi. Rakenteen suunnittelussa pyrittiin mahdollisimman yksinkertaiseen rakenteeseen, joka olisi helppo ja mahdollisimman edullinen toteuttaa. Työturvallisuuteen tähtäävää kokonaistavoitetta ei kuitenkaan sivuutettu missään vaiheessa, vaan kokonaistoimintamalli on suunniteltu toimintavarmaksi ja kestäväksi.

Sekä elektrodipöydän että kääntölaitteen rakenteet ylimitoitettiin tilaajan toivomuksesta. Rakenteet ylimitoitettiin, koska laitteiston käyttö vaihtelee käyttäjien mukaan merkittävästi ja kokonaisrakenteen tulee kestää varmasti kovassakin käytössä. Toisaalta ylimitoitusta tukee myös se, että suunniteltava laitteisto on yksittäiskappale, eikä sitä tulla myymään edelleen asiakkaille. Näin ollen rakennemittojen loputonta optimointia ei katsottu tarpeelliseksi, vaikka ylimitoitus aiheuttaakin pieniä, joskin tässä tapauksessa merkityksettömän pieniä kustannuksia.

Perusrakenteiden lisäksi elektrodinkääntölaitteistoon mitoitettiin tarvittavat hydraulitoimilaitteet ja venttiilit, joilla laitteiston käyttö mahdollistetaan. Jotta kääntötilanne tapahtuisi jouhevasti ja rakenne olisi pitkäikäinen, mitoitettiin kääntölaitteeseen iskunvaimennin. Iskunvaimentimella vastaanotetaan kääntökehdon aiheuttama iskumainen kuormitus runkorakennetta vasten. Laitteiston turvallisen käytön varmistamiseksi laitteistolle määritettiin käyttöohjeet. Suunnitellulle laitteistolle laskettiin kustannusarvio ja laitteistoa verrattiin jo olemassa oleviin sovelluksiin.

Suunnittelutyön aikana oli monia haasteita. Haasteiksi tässä suunnittelutyössä, kuten muissakin vastaavissa suunnittelutyöissä, muodostuivat erilaiset rajoitteet. Rajoitteita ovat muun muassa tilaajan asettamat rajoitteet rakenteille, tilojen aiheuttamat fyysiset rajoitteet, laitteiston hankintahinnan rajoitteet ja rakennelujuuksien aiheuttamat rajoitteet. Edellä mainittujen lisäksi myös suunnittelija itse aiheuttaa rajoitteita kapeakatseisuudellaan.

Työn aikana huomattiin useasti, että etäisyys itse suunnittelutyöhön parantaa lopputulosta huomattavasti. Usein parhaat ideat muodostuivat mieleen vasta myöhemmin, kun itse työ ei ollut enää käsillä. Hyvänä esimerkkinä tässä opinäytetyössä kapean ajattelutavan aiheuttamista ongelmista on elektrodipöydän annostelumekanismien suunnittelu. Mekanismien suunnittelussa pyrittiin toteuttamaan rakenne, jolla elektrodien liike voidaan pysäyttää ja annostella kääntölaitteeseen halutulla syklillä. Alkuperäisen ajatuksen mukainen pystysuunnassa toimiva pysäytinmekanismi osoittautui kuitenkin suunnittelutyön edetessä toteutuskelvottomaksi, ja vaihtoehtoinen merkittävästi parempi vaihtoehto keksittiin vasta, kun alkuperäistä ideaa oli työstetty useita päiviä ilman tulosta. Tulevien suunnitteluprojektien kannalta parempi vaihtoehto on ottaa suunnitteluongelmaan etäisyyttä, kun ratkaisua ei kohtuudella löydy. Parhaat ajatukset syntyvät itsekseen, kun niitä vähiten odottaa.

Yleisesti ottaen suunnittelutyö sujui kokonaisuutena hyvin. Syntyneitä ongelmatilanteita oli vähän, ja niistäkin useimmat koskivat erilaisia laskennallisia ongelmia, joihin ratkaisu löytyi erilaisista alan lähdeeteoksista. Lähteitä pyrittiin käyttämään monipuolisesti parhaiden mahdollisten teorioiden löytämiseksi ja näin parhaan tuloksen aikaansaamiseksi.

Lopputuloksena suunniteltua laitekokonaisuutta voidaan pitää onnistuneena. Laitteisto mahdollistaa elektrodien kääntämisen ilman fyysistä työtä, eli asetettu perusvaatimus täyttyy. Turvalliseen työympäristöön pyrittäessä suunniteltu laitteisto ja vastaavat valmiit kääntölaitesovellukset soveltuvat elektrodin kääntämiseen hyvin. Lopullinen kääntölaitteiston valinta jää tilaajan päätettäväksi.

Tehdyn opinäytetyön pohjalta työn tilaaja voi verrata suunnitellun laitteiston aiheuttamia kustannuksia valmiiden sovellusten aiheuttamiin kustannuksiin. Mikäli tilaaja päättää toteuttaa suunnitellun laitteen, voidaan laitteisto valmistaa tehtyjen piirustusten avulla. Tarvittaessa työn tilaaja voi edelleen kehittää kääntölaitetta, jos katsoo sen tarpeelliseksi. Toisaalta tilaaja voi tämän työn perusteella myös sijoittaa uunin tasolle ulkopuolisen toimittajan valmistaman elektrodinkääntölaitteen työssä määritetyille paikalle.

## LÄHTEET

1. Työtaturmat 2008. 2010. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa:  
[http://www.stat.fi/til/ttap/2008/ttap\\_2008\\_2010-11-30\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/ttap/2008/ttap_2008_2010-11-30_fi.pdf). Hakupäivä  
13.8.2011.
2. Taloudellinen katsaus 2010. 2010. Outokumpu. Saatavissa:  
<http://www.outokumpu.com/51001.epibrw>. Hakupäivä 13.10.2011.
3. Kuisma, Markku 1985. Outokumpu 1910–1985. Forssa: Forssan kirjapaino  
Oy.
4. Outokumpu Tornio Works esittelykalvot. 2011. Outokumpu Tornio Works.  
Saatavissa: Sisäinen intranet www-dokumentti. Hakupäivä 15.8.2011.
5. Standard Sizes and Weights of Electrodes. 2011. Tokai Carbon. Saatavissa:  
<http://www.tokaicarbon.co.jp/en/products/graphite/electrodes.html>.  
Hakupäivä 11.10.2011.
6. Dimensional Tolerance. 2011. Tokai Carbon. Saatavissa:  
<http://www.tokaicarbon.co.jp/en/products/graphite/tolerance.html>. Hakupäivä  
11.10.2011.
7. Standard sizes and Weight of Nipples. 2011. Tokai Carbon. Saatavissa:  
<http://www.tokaicarbon.co.jp/en/products/graphite/nipples.html>. Hakupäivä  
11.10.2011.
8. Harri, Onni. 2011. Päivämies, Outokumpu Stainless Oy, Tornion terästeh-  
das. Keskustelu kesällä 2011.
9. Valtanen, Esko 2010. Tekniikan taulukkokirja. 18. painos. Mikkeli: Genesis-  
Kirjat Oy.
10. Typical Properties. 2011. Tokai Carbon. Saatavissa:  
<http://www.tokaicarbon.co.jp/en/products/graphite/properties.html>.  
Hakupäivä 16.11.2011.

11. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkonen, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Arto – Seppänen, Pekka - Suosara, Eero 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.
12. Multi-station manifold blocks. 2006. Bosch Rexroth. Saatavissa:  
<http://www.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload.dll?db=brmv2&lvid=1098215&mvid=5737&clid=20&sid=A1BDCE3275C4D4EAB753CEF7AF44EFCA&sch=M>. Hakupäivä 11.2.2012.
13. Pressure relief valve, pilot operated. 2005. Bosch Rexroth. Saatavissa:  
<http://www.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload.dll?db=brmv2&lvid=1097060&mvid=5737&clid=20&sid=A1BDCE3275C4D4EAB753CEF7AF44EFCA&sch=M>. Hakupäivä 11.2.2012.
14. 4/3, 4/2 and 3/2 directional valve with wet-pin DC solenoids. 2005. Bosch Rexroth. Saatavissa:  
<http://www.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload.dll?db=brmv2&lvid=1144895&mvid=5737&clid=20&sid=A1BDCE3275C4D4EAB753CEF7AF44EFCA&sch=M>. Hakupäivä 11.2.2012.
15. Twin throttle check valve. 2011. Bosch Rexroth. Saatavissa:  
<http://www.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload.dll?db=brmv2&lvid=1156805&mvid=5737&clid=20&sid=A1BDCE3275C4D4EAB753CEF7AF44EFCA&sch=M>. Hakupäivä 11.2.2012.
16. Check valve, pilot operated. 2011. Bosch Rexroth. Saatavissa:  
<http://www.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload.dll?db=brmv2&lvid=1150552&mvid=5737&clid=20&sid=A1BDCE3275C4D4EAB753CEF7AF44EFCA&sch=M>. Hakupäivä 11.2.2012.
17. Teollisuushydraulijärjestelmien suunnittelu- ja hankintaohje, osa 1 Hydraulijärjestelmän mitoitus. 2004. Kunnossapito 4. Saatavissa:  
<http://www.promaint.net/downloader.asp?id=483&type=1>. Hakupäivä 19.2.2012.

18. Hydraulikkatuotteet luettelo. 2009. Dunlop Hiflex Oy. Saatavissa:  
[http://www.dunlophiflex.ee/kataloogid/hydro\\_020.pdf](http://www.dunlophiflex.ee/kataloogid/hydro_020.pdf). Hakupäivä 19.2.2012.
19. Industrial shock absorbers. 2008. Forkhardt. Saatavissa:  
[http://www.forkardt-gefitec.com/products/sdc/gefitec\\_sdc\\_gb.pdf](http://www.forkardt-gefitec.com/products/sdc/gefitec_sdc_gb.pdf). Hakupäivä 11.2.2012.
20. Deposit and hoisting station with clamping arm. 2006. Picardi. Saatavissa:  
[http://www.piccardi-srl.com/prodotti/04c\\_deposito.htm](http://www.piccardi-srl.com/prodotti/04c_deposito.htm). Hakupäivä 23.1.2012

## **LIITTEET**

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Vaatimuslista

Liite 3 Luonnoskuvat

Liite 4 Valmistuspiirustukset

Liite 5 Työsylinterit

Liite 6 Kustannuslaskelma

Liite 7 Käyttöohjeet



## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Matti Ylitalo

Tilaja Outokumpu Stainless Oy

Tilajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Yrjö Satta, Terästie 1, 95490 Tornio  
yrjo.satta@outokumpu.com  
puh: 0400-468609

Työn nimi Elektrodien käsittelypaikan modernisointi,  
elektrodinkäntölaitteen suunnittelu

Työn kuvaus Elektrodeja jatketaan nykyään käsin siltanosturia apuna käyttäen. Edellä mainittu työ korvataan manipulaattorilla, jossa on oma hydraulikka. Opinnäytetyössä suunnitellaan laitteisto, jolla elektrodien kääntäminen voidaan toteuttaa turvallisesti.

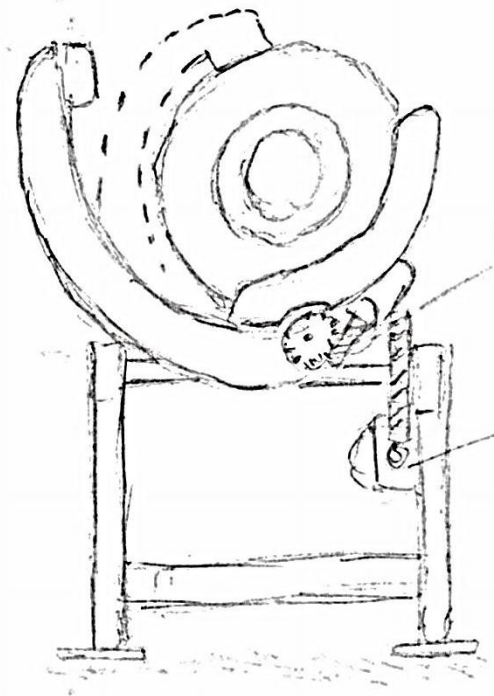
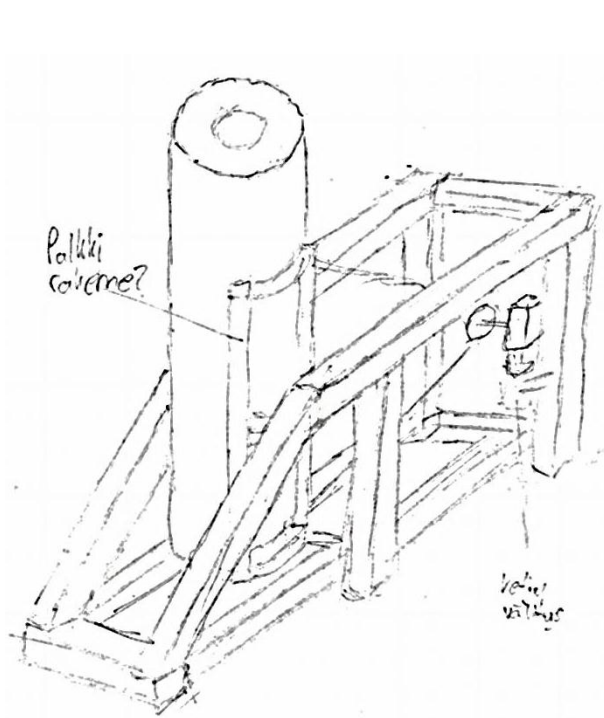
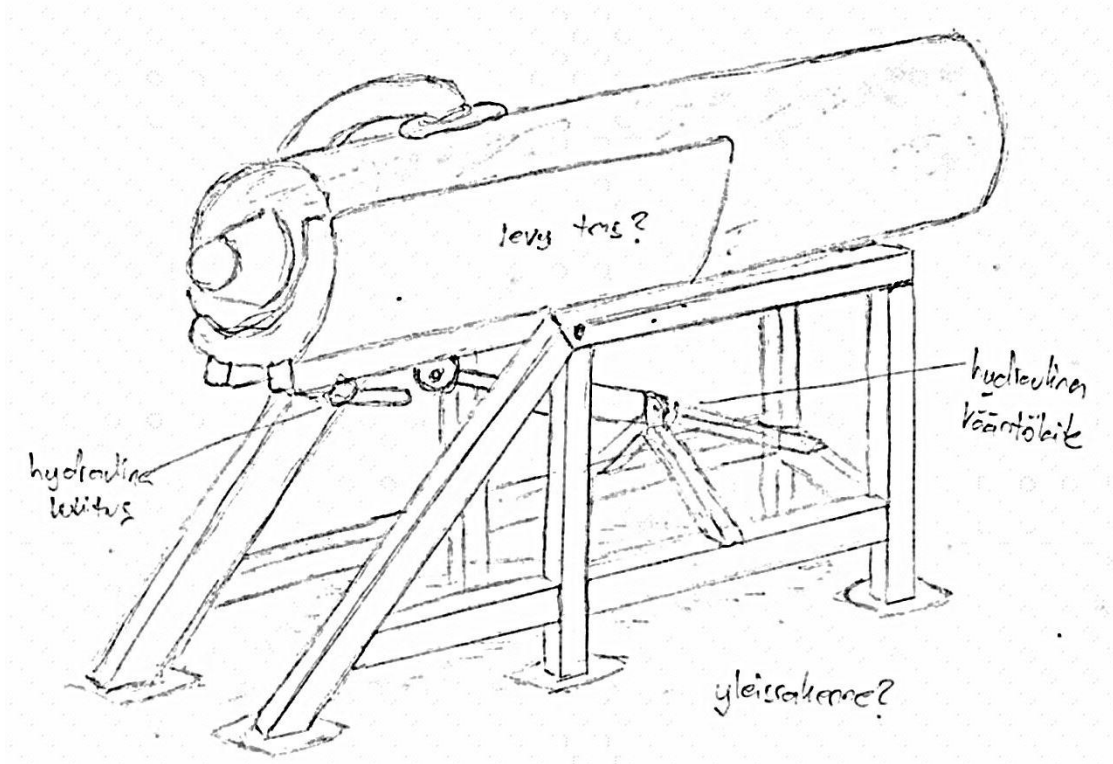
Työn tavoitteet Työn päätavoite on työturvallisuuden ja tehokkuuden parantaminen. Tavoitteena on suunnitella laite, jolla päivittäinen elektrodien jatkoimenpide voidaan suorittaa turvallisesti.

Tavoiteaikataulu Laitteiston suunnittelu aloitetaan syyskuussa lähtötietojen keruulla. Mekaniikkasuunnittelu tehdään loka-, marras-, joulukuussa. Kirjallinen osuus ja tarvittavat laitevalinnat ja piirustukset tehdään tammi- ja helmikuussa. Työ on valmis helmikuun loppuun mennessä.

Päiväys ja allekirjoitukset

10.10.2011 

Muutos pvm	KV VV T	VAATIMUS
	KV T  VV  KV  KV KV KV  KV T T  T T  KV T T T  KV  VV	<p><b>1. Sijoitettavuus</b> Sovittava terässulaton 1-linjan valokaariuunin tasolle Helppo siirtää pois tieltä</p> <p><b>2. Kestävyys</b> Oltava rakenteeltaan pitkäikäinen</p> <p><b>3. Luotettavuus</b> On pystyttävä toistamaan kääntötoimenpide</p> <p><b>4. Turvallisuus</b> Elektrodin tulee kääntyä koneellisesti, ilman että sitä joudutaan tukemaan käsin. Elektrodi ei saa pudota Elektrodin nostopisteelle tulee olla kaiteelliset portaat</p> <p><b>5. Valmistettavuus</b> On pystyttävä valmistamaan kokonaan terästehtaalla. Terästehtaan alueelta löytyvät standardimateriaalit ja toimilaitteet On käytettävä mahdollisimman paljon standardiosia</p> <p><b>6. Siirrettävyys</b> On pystyttävä siirtämään trukilla. On pystyttävä siirtämään katonosturilla.</p> <p><b>7. Käytettävyys</b> On pystyttävä käyttämään kahden miehen toimesta</p> <p>Pystyttävä käyttämään yhden hallintapaneelin takaa Lastauskorkeus tulee olla korkeintaan 1,3 metriä Hydraulinen elektrodien säännöstely kääntölaitteelle</p> <p><b>8. Huollettavuus</b> Mahdollisimman vähän huoltoa vaativa</p> <p><b>9. Hinta</b> On halvempi kuin valmis laitteisto ulkopuoliselta toimittajalta.</p>
	KV VV T	<p>Kiinteä vaatimus Vähimmäisvaatimus Toivomus</p>

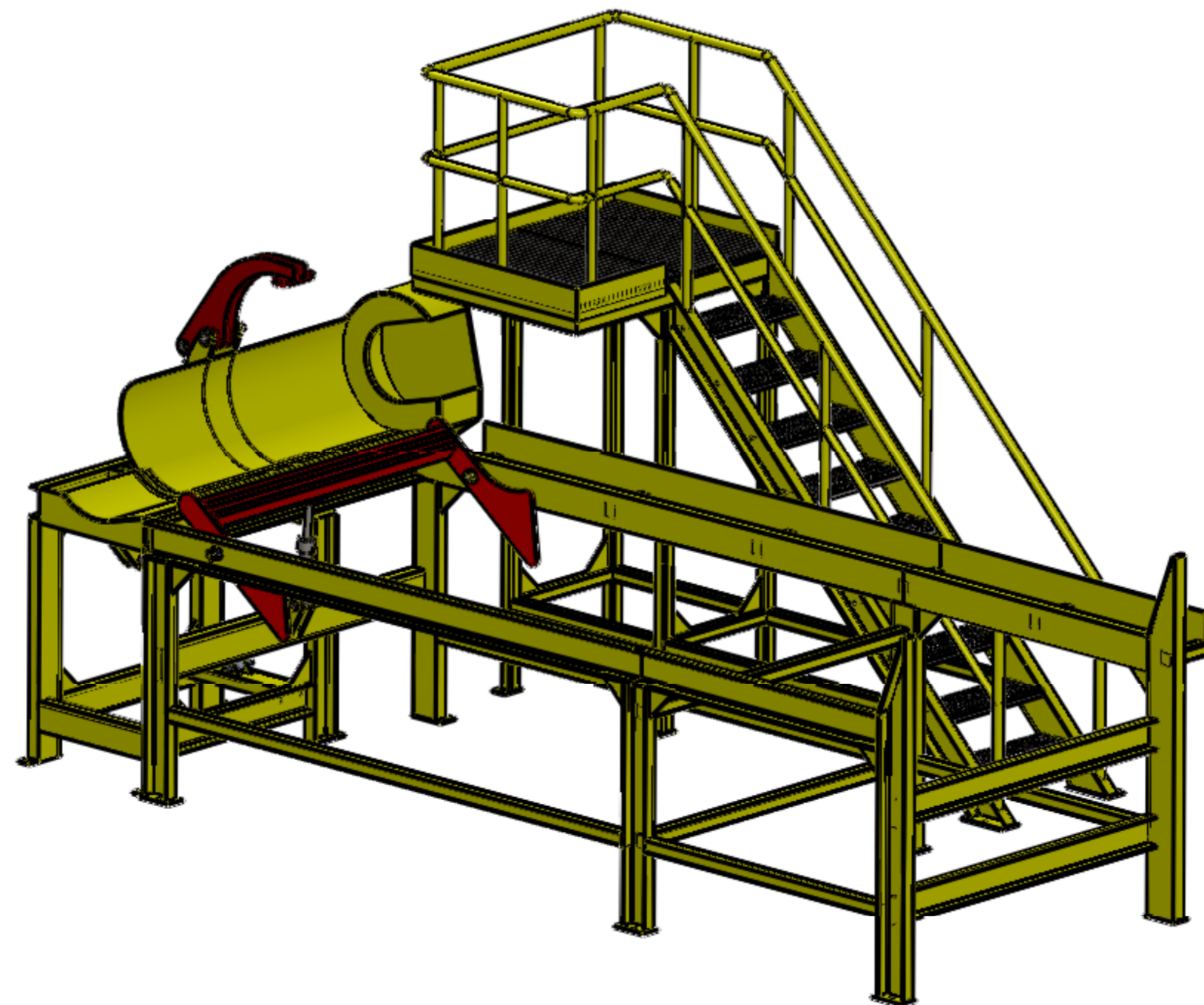
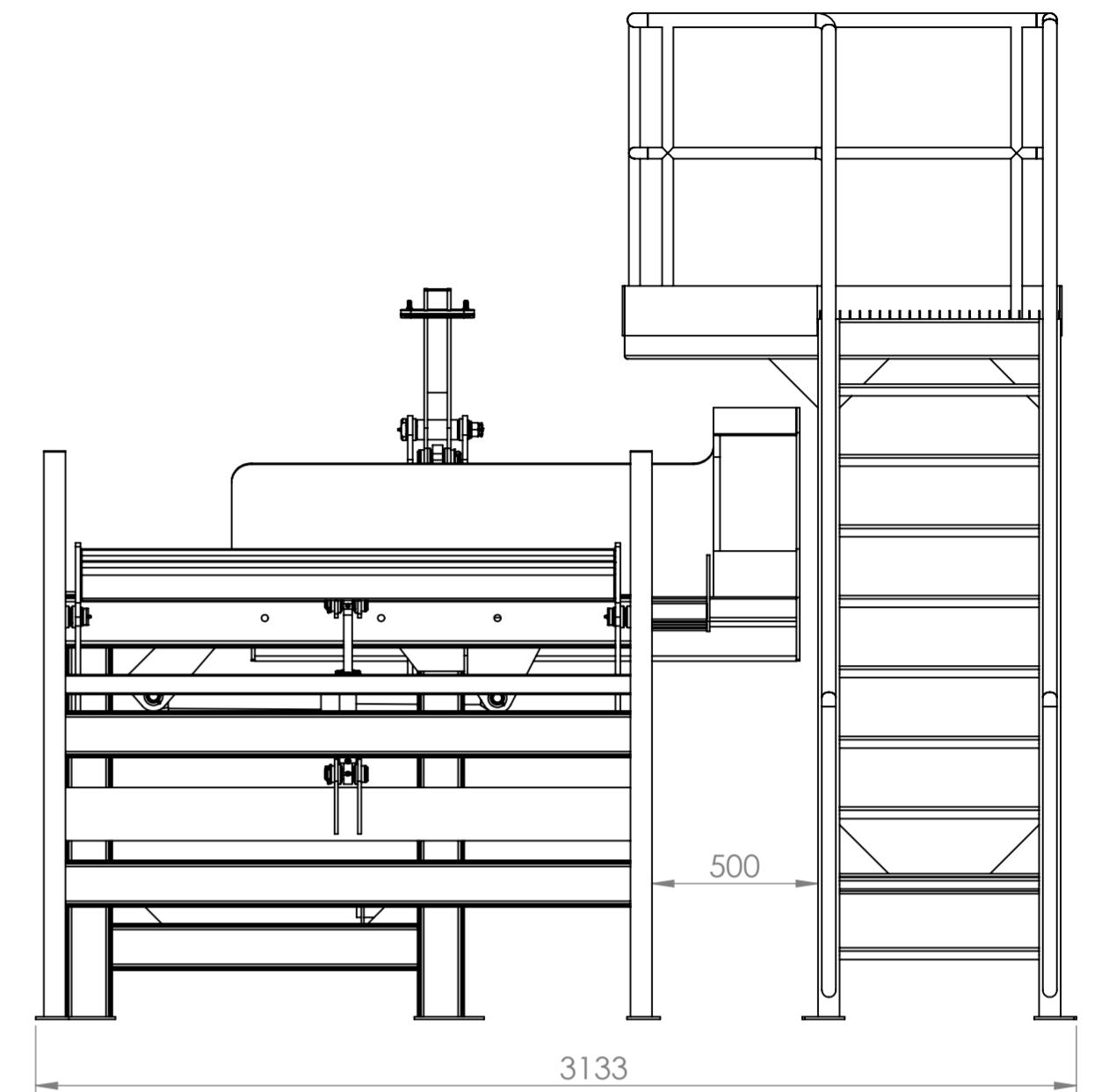
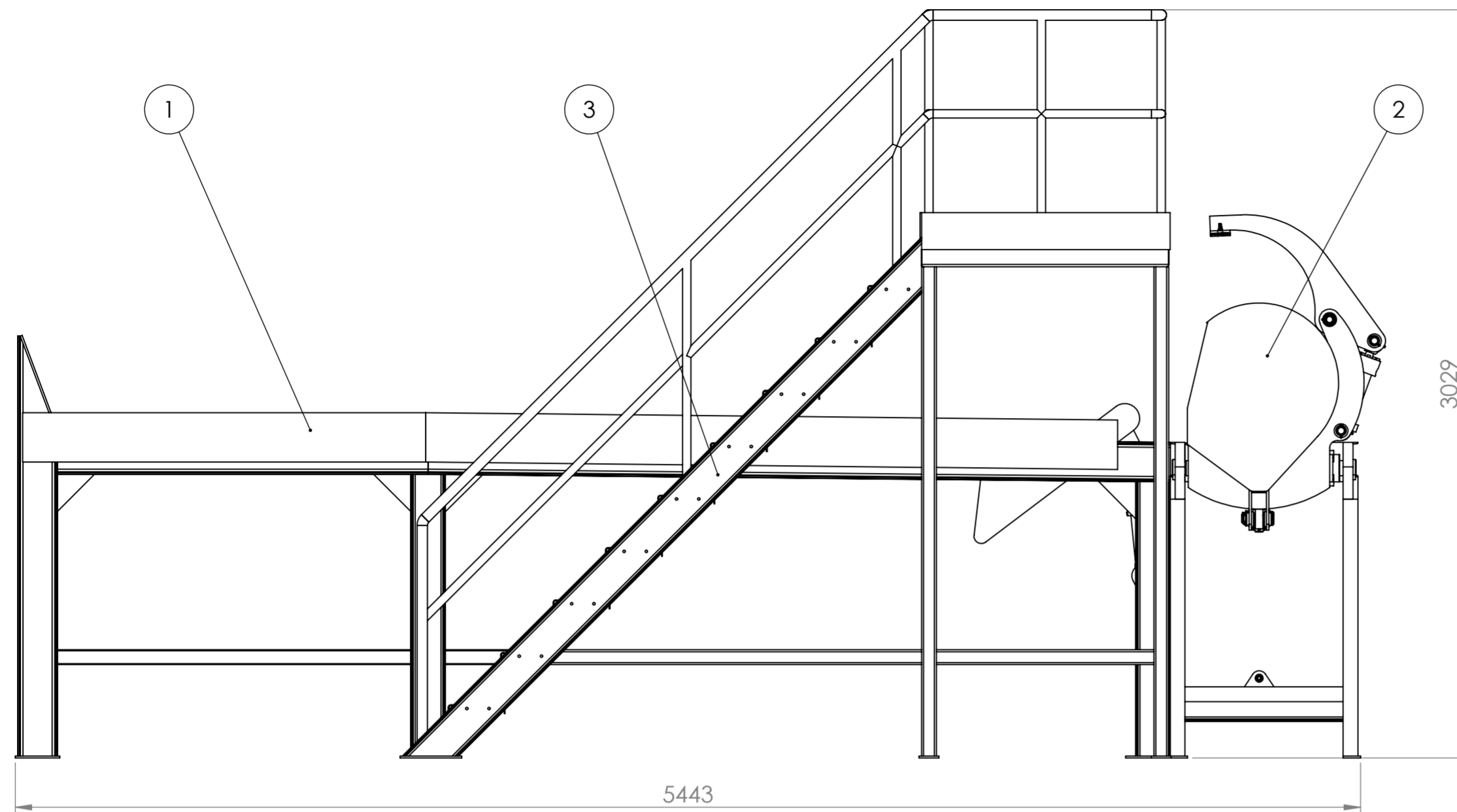



Valmistuspiirustukset on jaoteltu yhdeksi pääkokoonpanoksi EKL100, johon sisältyy kolme alikokoonpanoa EKL200, EKL300 ja EKL400 ja lisäksi hydraulikaavio EKL500, ja yleispiirikaavio EKL600. Kukin alikokoonpano on esitetty erillisinä piirustuksina. Alikokoonpanoissa esiintyvät osat ja pienemmät alikokoonpanot on mainittu piirustuksissa.

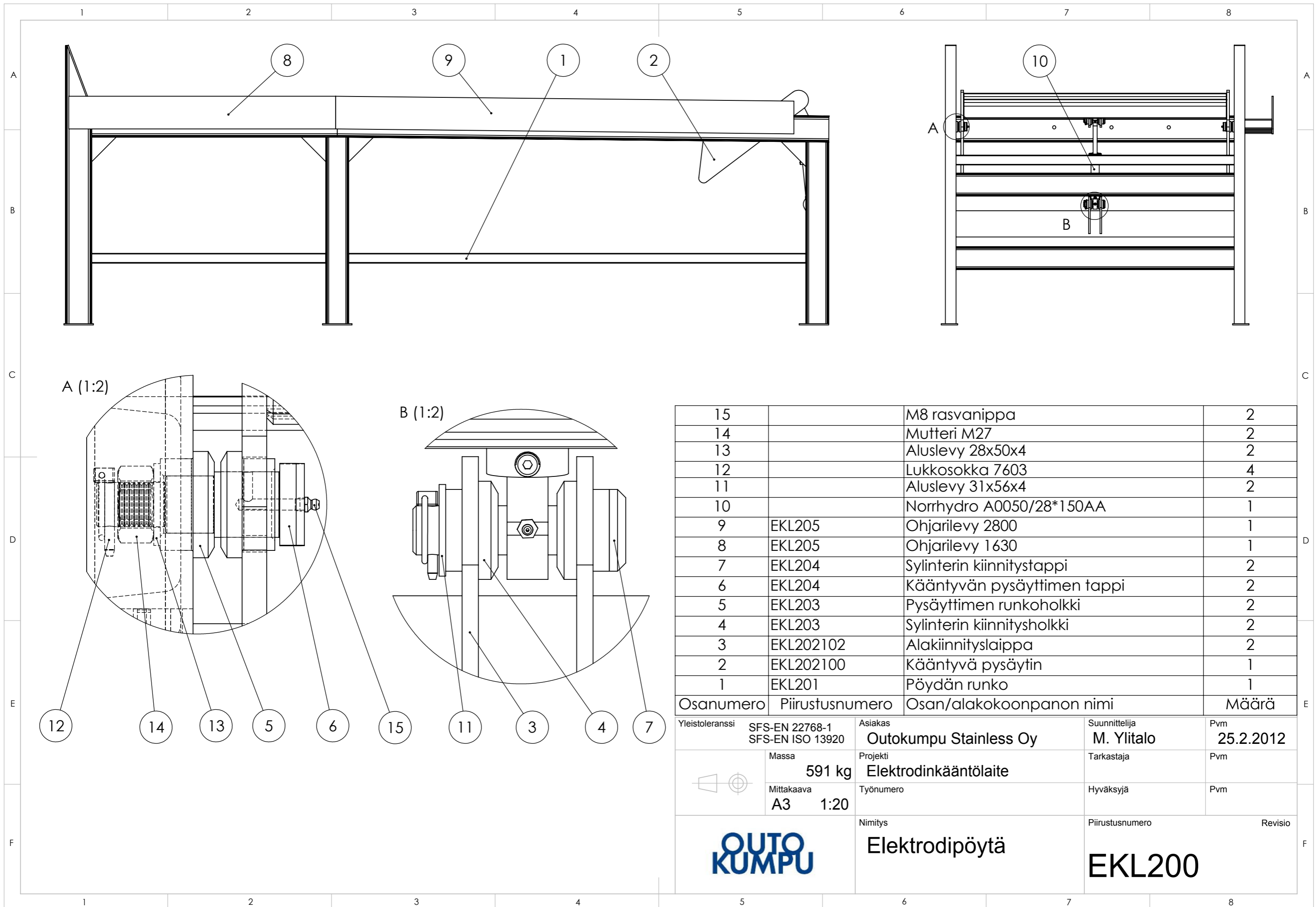
Teräsrakenteiden valmistuksessa noudatetaan ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssistandardia SFS-EN 22768-1 ja hitsattuja rakenteita koskevaa standardia SFS-EN ISO 13920.

Piirustukset on numeroitu seuraavasti:

EKL100	Elektrodinkääntölaite
1. EKL200	Elektrodipöytä
a. EKL201	Pöydän runko
b. EKL201h	Pöydän hitsauspiirros
c. EKL202100	Kääntyvä pysäytin
d. EKL202101	Pysäyttimen sivulevy
e. EKL202102	Sylinterin kiinnityslevyt
f. EKL203	Holkit
g. EKL204	Tapit
2. EKL300	Kääntölaite
a. EKL301	Kääntölaitteen runko
b. EKL301h	Kääntölaitteen rungon hitsauspiirros
c. EKL302100	Kääntökehto
d. EKL302100h	Kääntökehdon hitsauspiirros
e. EKL302101	Kääntökehdon pintalevy
f. EKL302102	Kääntökehdon levyosia
g. EKL303100	Lukitsin
h. EKL303100h	Lukitsimen hitsauspiirros
i. EKL303101	Lukitsimen levyosat
j. EKL304	Kääntölaitteen levyjä
k. EKL305	Kääntötappi
l. EKL306	Tukipintalevy
3. EKL400	Työtaso
a. EKL401	Työtason runko
b. EKL401h	Työtason hitsauspiirros
4. EKL500	Hydraulikaavio
5. EKL600	Yleispiirikaavio



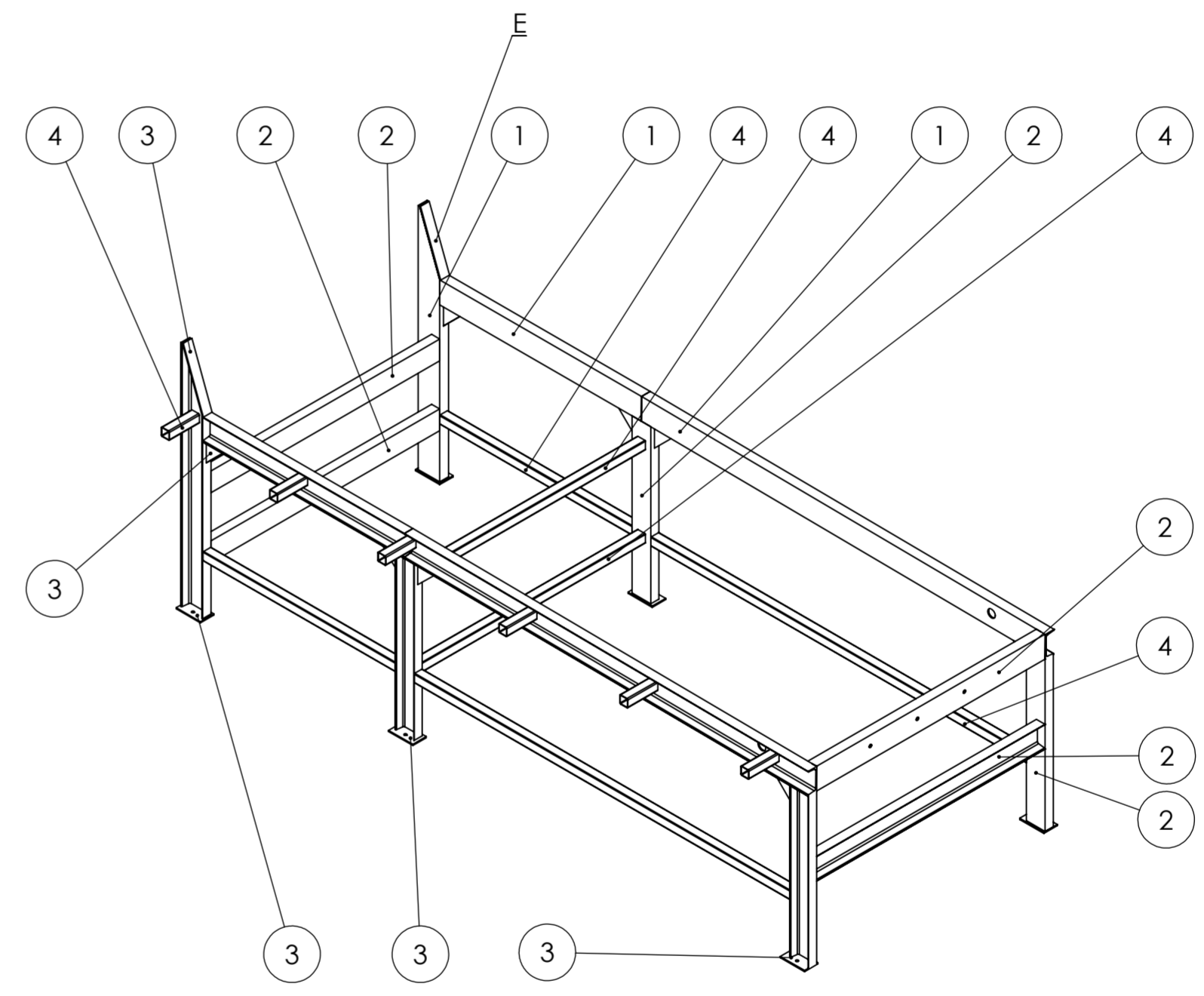
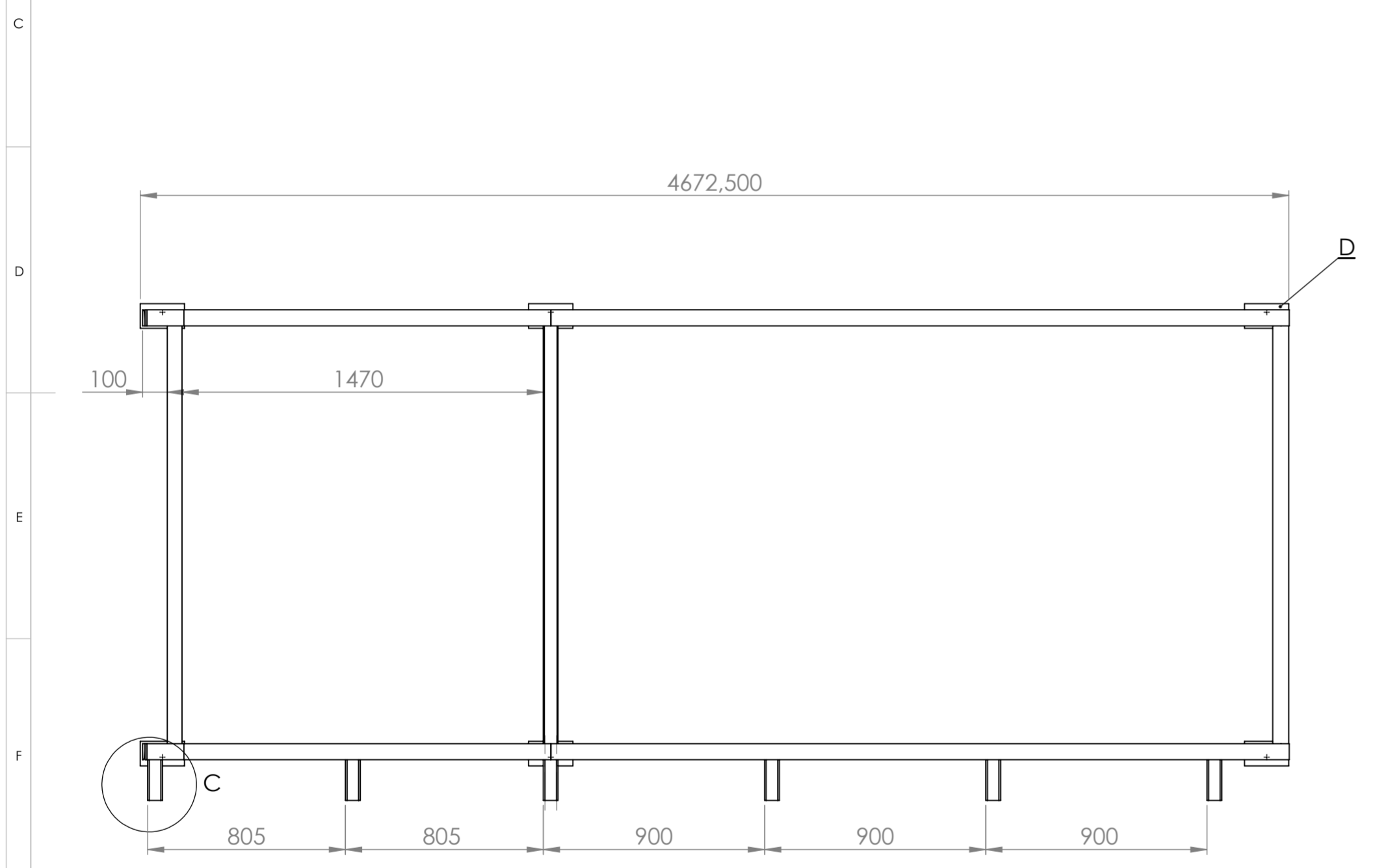
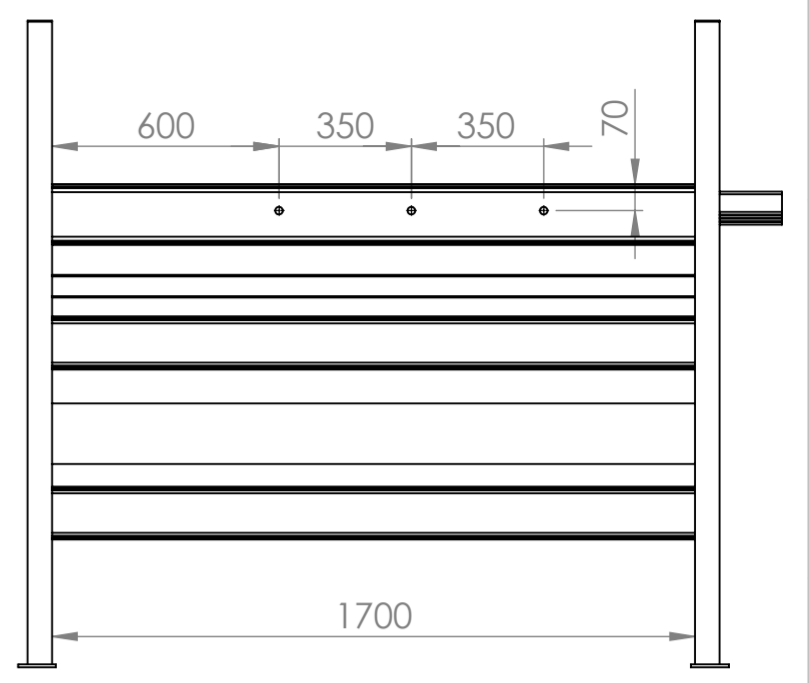
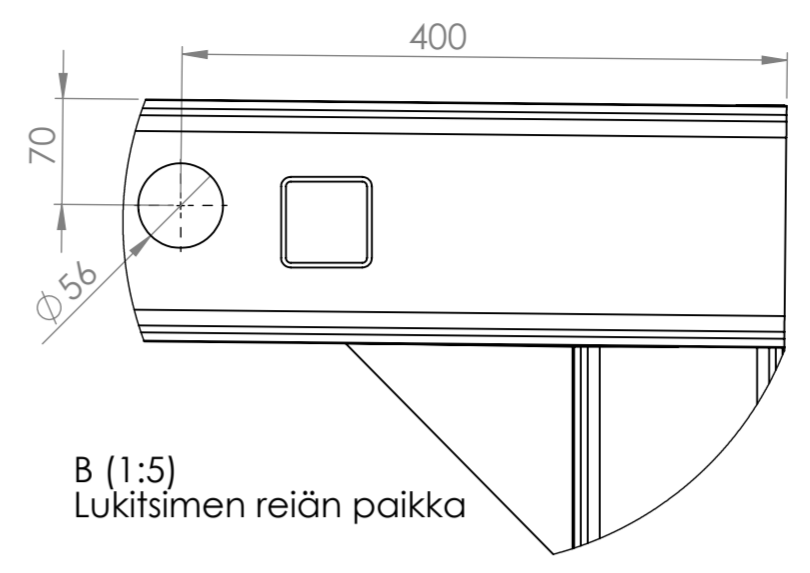
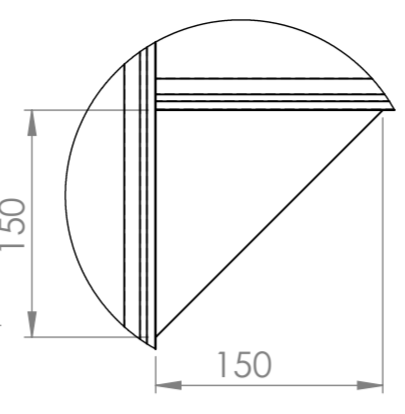
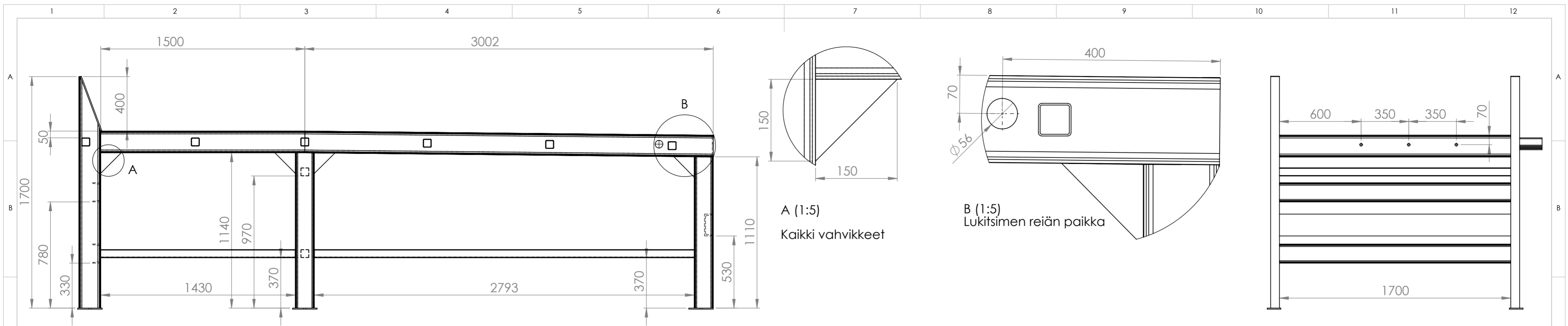
3	EKL400	Työtaso		
2	EKL300	Käntölaite		
1	EKL200	Elektrodipöytä		
Osanumero	Piirustusnumero	Osakokoonpanon nimi		
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>Outokumpu Stainless Oy</b>	Suunnittelija <b>M. Ylitalo</b>	Pvm <b>24.2.2012</b>
	Massa <b>1 455 kg</b>	Projekti <b>Elektrodinkäntölaite</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A2 1:20</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Elektrodinkäntölaite</b>	Piirustusnumero <b>EKL100</b>	Revisio



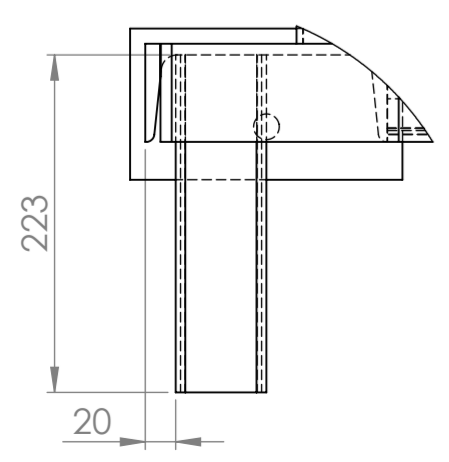
15		M8 rasvanippa	2
14		Mutteri M27	2
13		Aluslevy 28x50x4	2
12		Lukkosokka 7603	4
11		Aluslevy 31x56x4	2
10		Norrhydro A0050/28*150AA	1
9	EKL205	Ohjarilevy 2800	1
8	EKL205	Ohjarilevy 1630	1
7	EKL204	Sylinterin kiinnitystappi	2
6	EKL204	Kääntyvän pysäyttimen tappi	2
5	EKL203	Pysäyttimen runkoholkki	2
4	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
3	EKL202102	Alakiinnityslaippa	2
2	EKL202100	Kääntyvä pysäytin	1
1	EKL201	Pöydän runko	1
Osanumero	Piirustusnumero	Osan/alakokoonpanon nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
	Massa	591 kg	Projekti	Elektrodinkäntölaite	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:20	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm	
			Nimitys	Elektrodipöytä	Piirustusnumero	Revisio	
					<b>EKL200</b>		

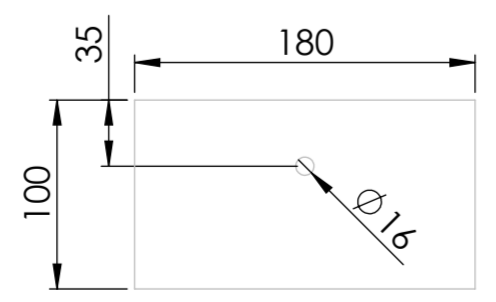
**OUTO  
KUMPU**



C(1:5)  
Kaikki kiinnikepalkit



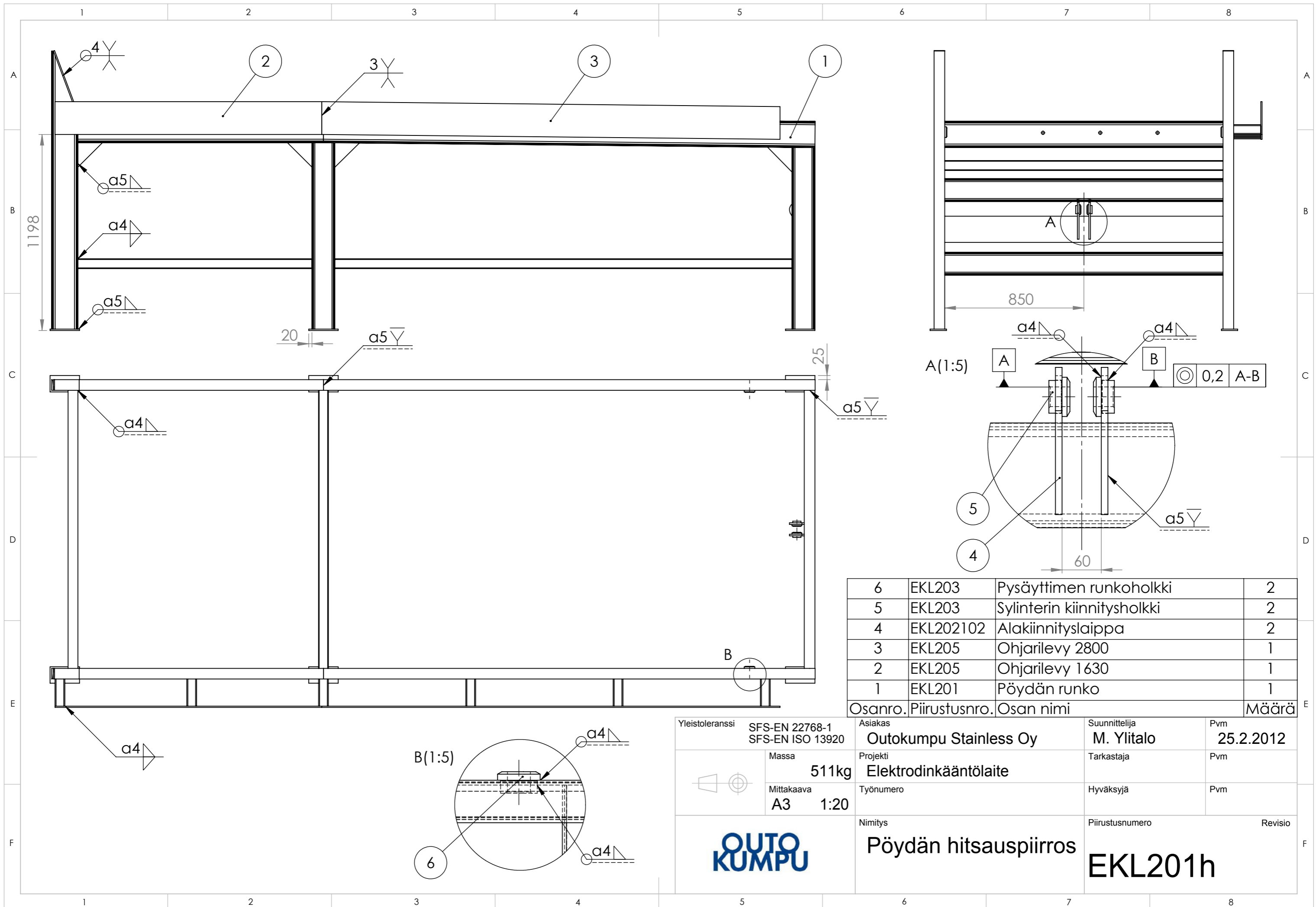
D(1:5)  
Kaikki kiinnityslevyt



E(1:5)  
Molemmat ohjainlevyt



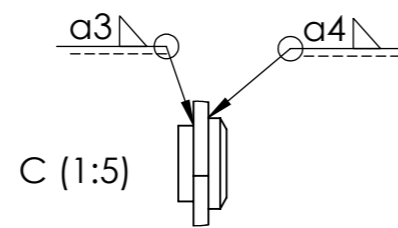
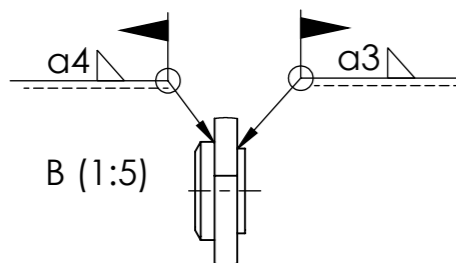
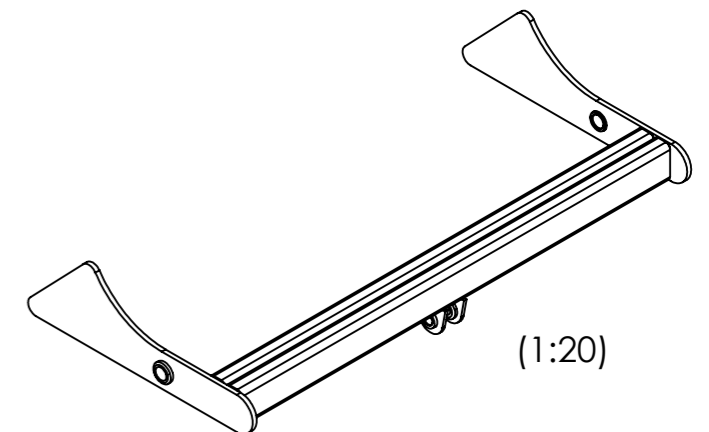
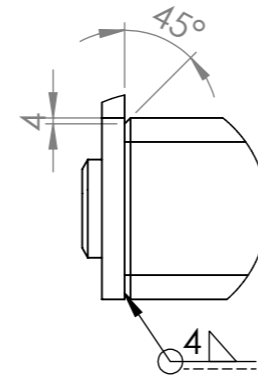
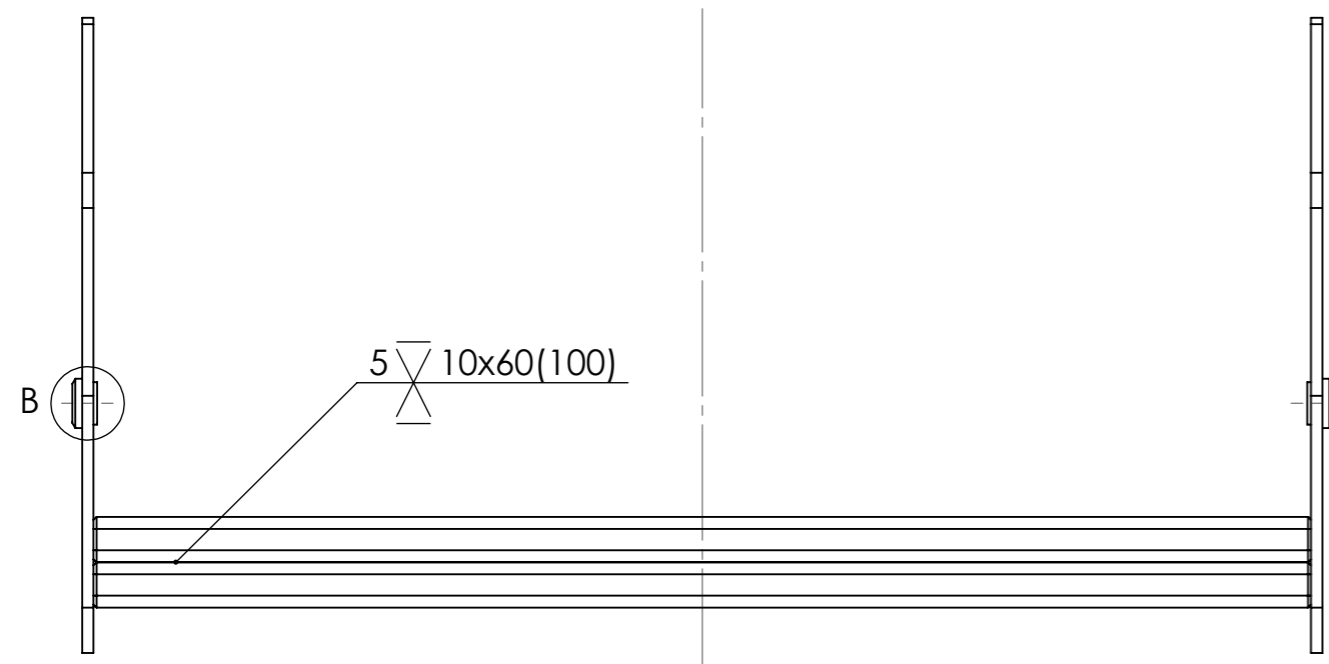
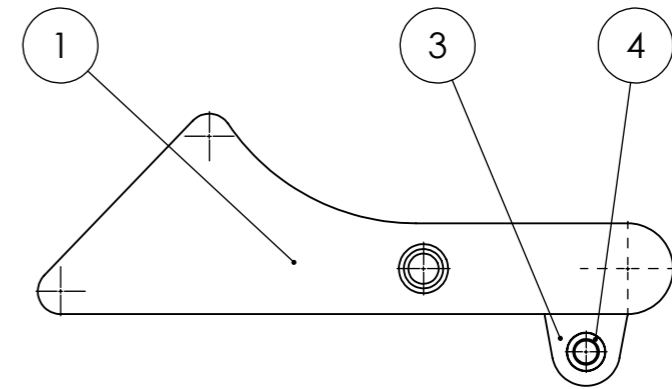
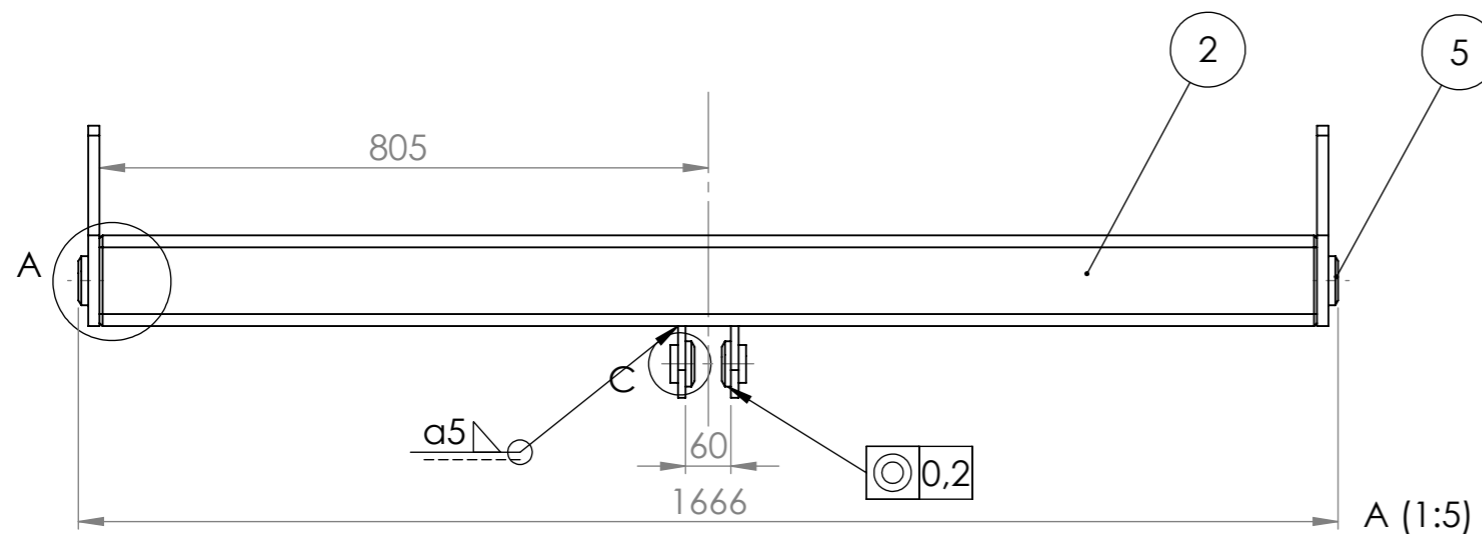
4	PUTKIPALKKI 60X60X4MM S355J2H	538195	12 metriä
3	TERÄSLEVY 8 MM S355J2G3 EN 10029	597397	600x500 mm
2	U-TANKO 140 S235JRG2 DIN 1026	532739	11,5 metriä
1	U-TANKO 160 S235JRG2 DIN 1026	532740	12,5 metriä
Osanumero	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas <b>Outokumpu Stainless Oy</b>	Suunnittelija <b>M. Ylitalo</b>
Massa	452 kg	Projekti <b>Elektrodinkääntölaite</b>	Tarkastaja Pvm
Mittakaava	A2 1:20	Työnumero -	Hyväksyjä Pvm
		Nimitys <b>Pöydän runko</b>	Piirustusnumero <b>EKL201</b>
			Revisio



6	EKL203	Pysäyttimen runkoholkki	2
5	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
4	EKL202102	Alakiinnityslaippa	2
3	EKL205	Ohjarilevy 2800	1
2	EKL205	Ohjarilevy 1630	1
1	EKL201	Pöydän runko	1
Osanro. Piirustusno. Osan nimi			Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
	Massa	511kg	Projekti	Elektrodinkäyttölaite	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:20	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm	
Nimitys				Piirustusnumero	Revisio		
				Pöydän hitsauspiirros		EKL201h	





5	EKL203	Pysäyttimen runkoholkki		2
4	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki		2
3	EKL202102	Sylinterin yläkiinnityslaippa		2
2	Pituus 1610 mm	PUTKIPALKKI 120x60x5MM S355J2H	538196	3,3 metriä
1	EKL202101	Pysäyttimen sivulevy		2
Osanumero	Piirustusnumero	Osan nimi	Tunnus	Määrä

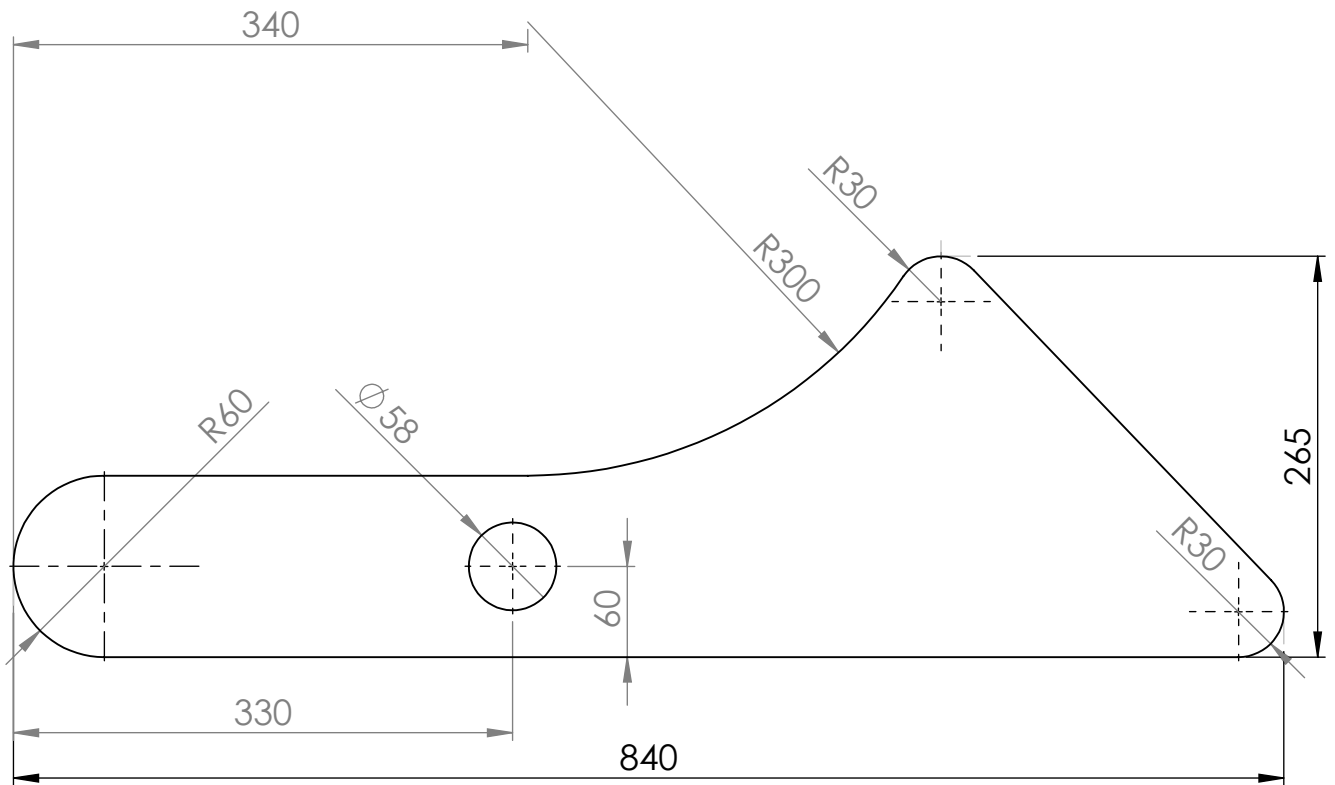
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.02.2012
	Massa	70,5 kg	Projekti	Tarkastaja		Pvm	
	Mittakaava	A3 1:10	Työnumero	Hyväksyjä		Pvm	

**OUTOKUMPU**

Nimitys  
**Kääntyvä pysäytin**

Piirustusnumero  
**EKL202100**

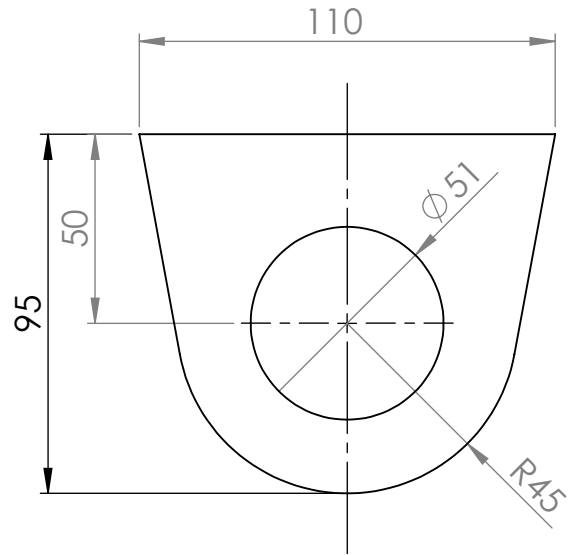
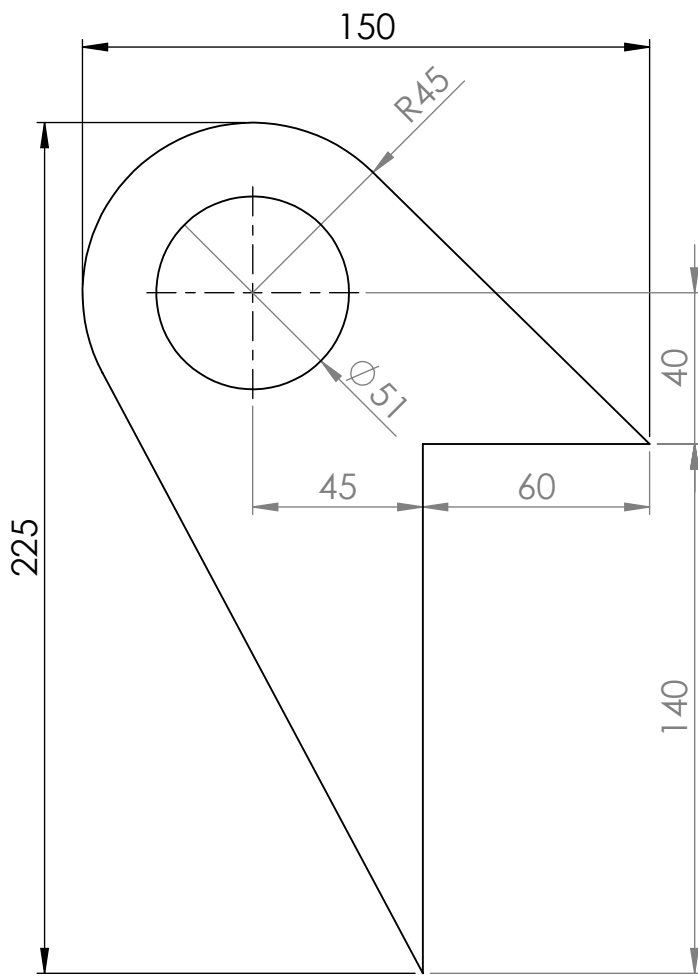
Revisio



Tehdään 2 kpl

Polttoleikattava osa.

Teräslevy 15MM S355J2G3 EN 10029		592824	840 x 530 mm	
Materiaali		Tunnus	Kokonaismäärä	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		Outokumpu Stainless Oy	M. Ylitalo	25.2.2012
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	14 kg	Elektrodinkääntölaite		
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	A4 1:5			
		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
		Pysäyttimen sivulevy	EKL202101	

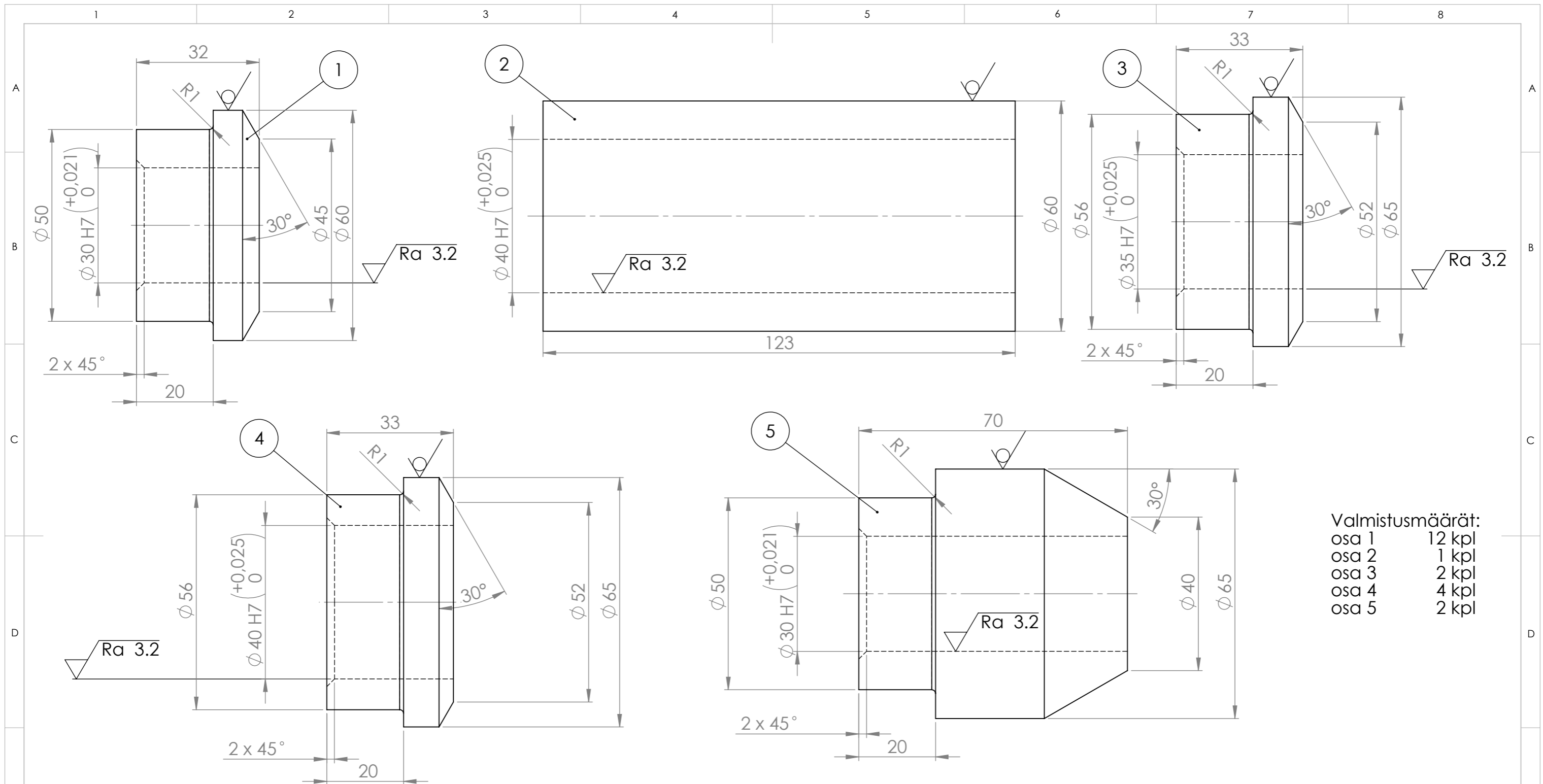


Tehdään 2 kpl molempia

Polttoleikattavia osia.

2	Yläkiinnityslevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583969	230 x 400 mm
1	Alakiinnityslevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583969	-
Osanumero	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä

Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas <b>Outokumpu Stainless Oy</b>	Suunnittelija <b>M. Ylitälo</b>	Pvm <b>25.2.2012</b>
	Massa	Projekti <b>Elektrodinkääntölaite</b>	Tarkastaja	Pvm
	Mittakaava <b>A4 1:2</b>	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Sylinterin kiinnityslevyt</b>	Piirustusnumero <b>EKL202102</b>	Revisio

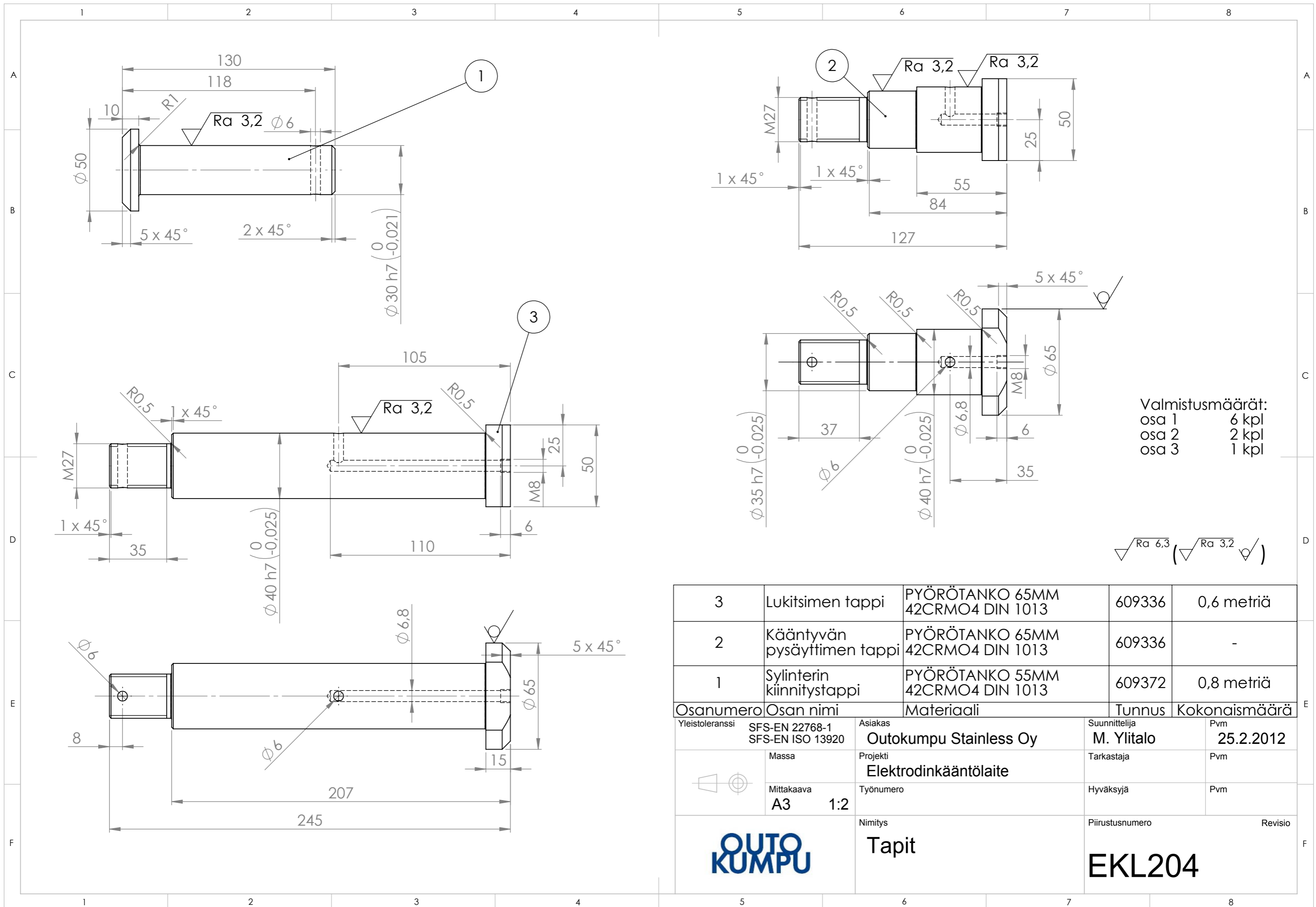


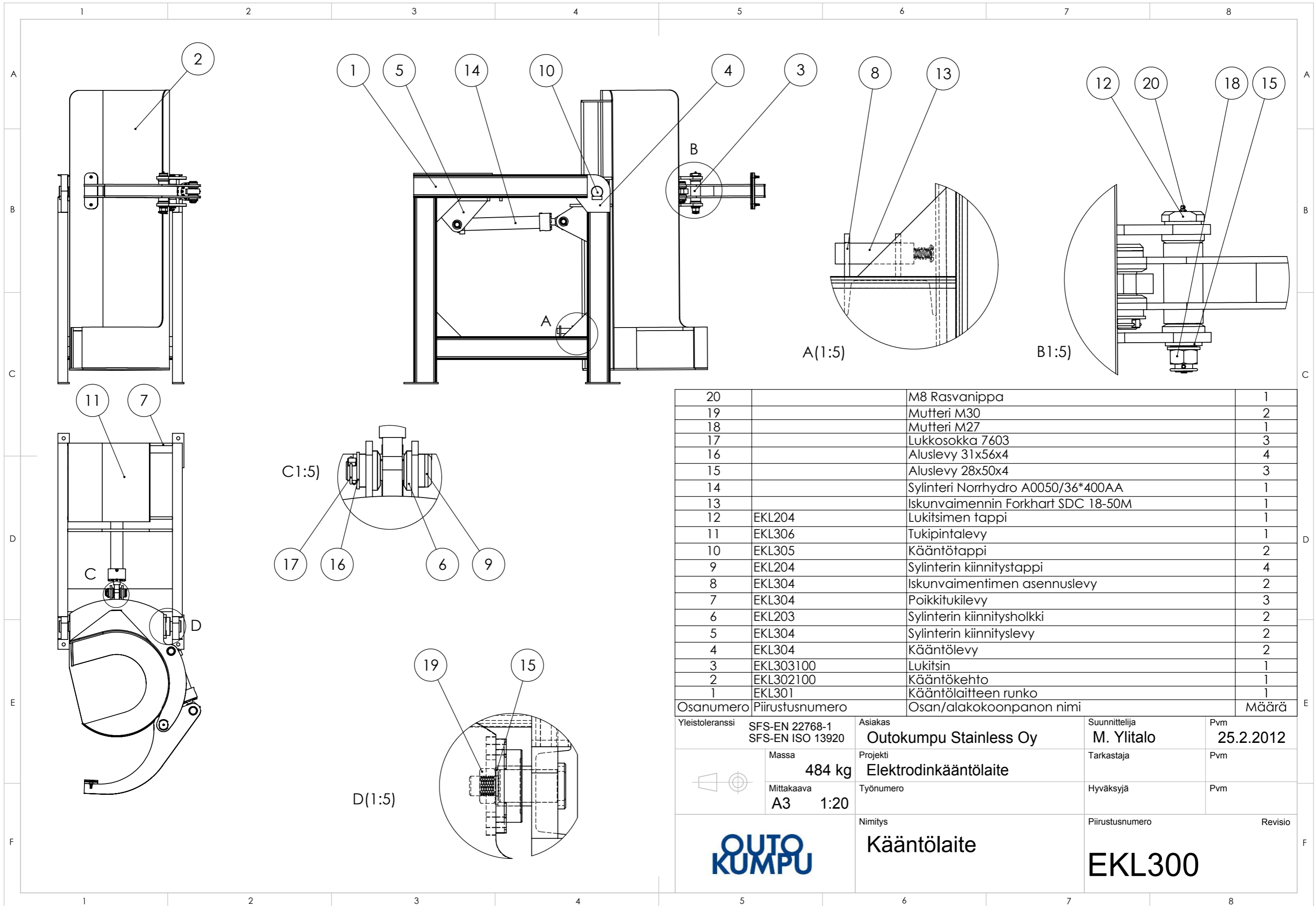
- Valmistusmäärät:
- osa 1 12 kpl
  - osa 2 1 kpl
  - osa 3 2 kpl
  - osa 4 4 kpl
  - osa 5 2 kpl

$\sqrt{Ra\ 6,3}$  (  $\sqrt{Ra\ 3,2}$  )

5	Lukitsimen holkki	PYÖRÖTANKO 65MM S355J0 DIN 1013	530680	0,4 metriä
4	Akseliholkki	PYÖRÖTANKO 65MM S355J0 DIN 1013	530680	-
3	Pysäyttimen runkoholkki	PYÖRÖTANKO 65MM S355J0 DIN 1013	530680	-
2	Putkiholkki	PYÖRÖTANKO 60MM S355J0 DIN 1013	609372	0,6 metriä
1	Sylinterin kiinnitysholkki	PYÖRÖTANKO 60MM S355J0 DIN 1013	609372	-
Osanumero	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä

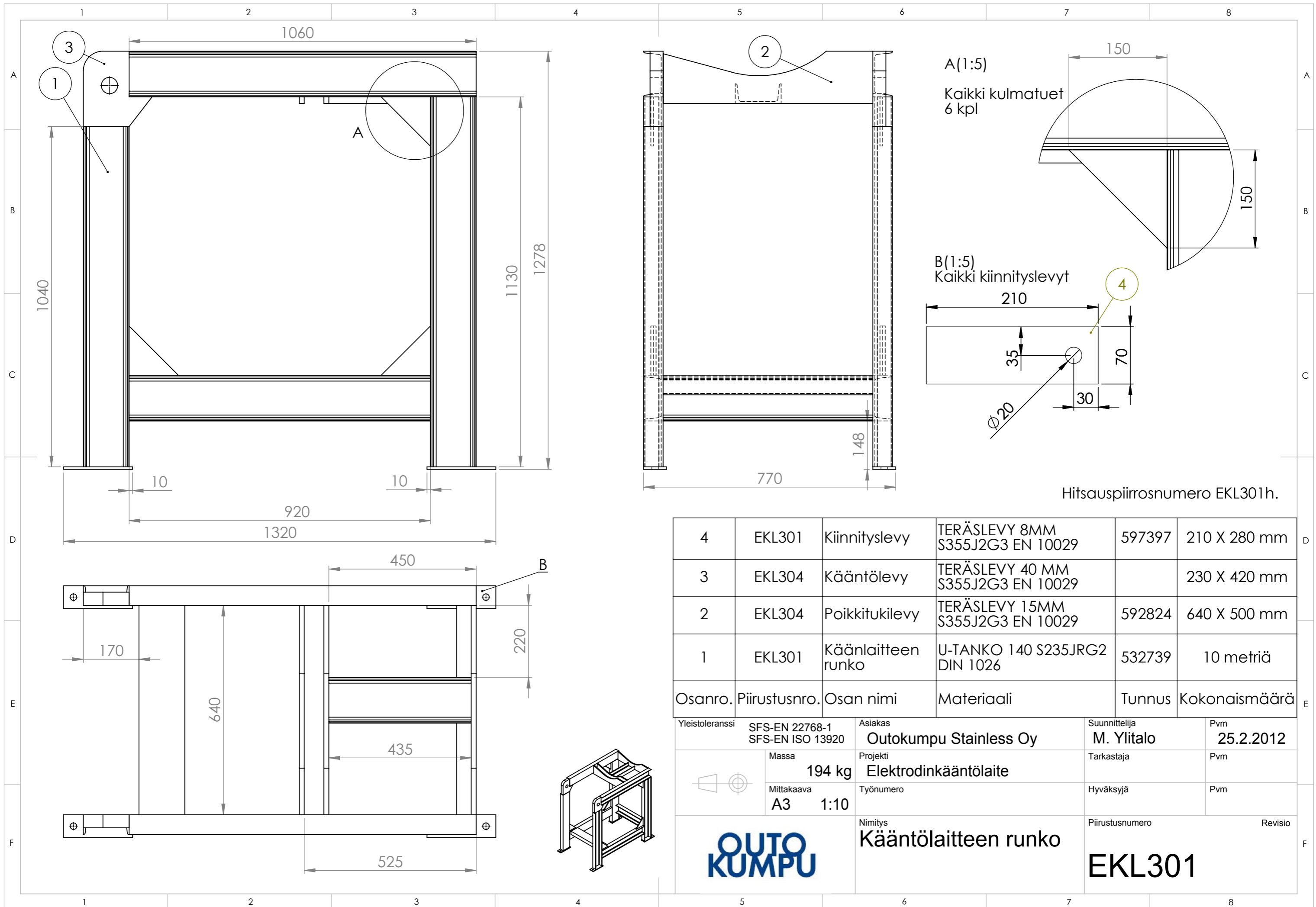
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
Massa		Projekti	Elektrodinkäyttölaite	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A3 1:1	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
		Nimitys	Holkit	Piirustusnumero	Revisio		
				EKL203			





20		M8 Rasvanippa	1
19		Mutteri M30	2
18		Mutteri M27	1
17		Lukkosokka 7603	3
16		Aluslevy 31x56x4	4
15		Aluslevy 28x50x4	3
14		Sylinteri Norrhydro A0050/36*400AA	1
13		Iskunvaimennin Forkhart SDC 18-50M	1
12	EKL204	Lukitsimen tappi	1
11	EKL306	Tukipintalevy	1
10	EKL305	Kääntötappi	2
9	EKL204	Sylinterin kiinnitystappi	4
8	EKL304	Iskunvaimentimen asennuslevy	2
7	EKL304	Poikkitukilevy	3
6	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
5	EKL304	Sylinterin kiinnityslevy	2
4	EKL304	Kääntölevy	2
3	EKL303100	Lukitsin	1
2	EKL302100	Kääntökehto	1
1	EKL301	Kääntölaitteen runko	1
Osanumero	Piirustusnumero	Osan/alakokoonpanon nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
	Massa	484 kg	Projekti	Tarkastaja		Pvm	
	Mittakaava	A3 1:20	Työnumero	Hyväksyjä		Pvm	
		Nimitys	Kääntölaite	Piirustusnumero	Revisio		
					EKL300		



A(1:5)

Kaikki kulmatuet  
6 kpl

B(1:5)

Kaikki kiinnityslevyt

Hitsauspiirrosnumero EKL301h.

4	EKL301	Kiinnityslevy	TERÄSLEVY 8MM S355J2G3 EN 10029	597397	210 X 280 mm
3	EKL304	Kääntölevy	TERÄSLEVY 40 MM S355J2G3 EN 10029		230 X 420 mm
2	EKL304	Poikkitukilevy	TERÄSLEVY 15MM S355J2G3 EN 10029	592824	640 X 500 mm
1	EKL301	Käänlaitteen runko	U-TANKO 140 S235JRG2 DIN 1026	532739	10 metriä
Osanro.	Piirustusnro.	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
-----------------	------------------------------------	---------	------------------------	---------------	------------	-----	-----------

Massa	194 kg	Projekti	Elektrodinkääntölaite	Tarkastaja		Pvm	
-------	--------	----------	-----------------------	------------	--	-----	--

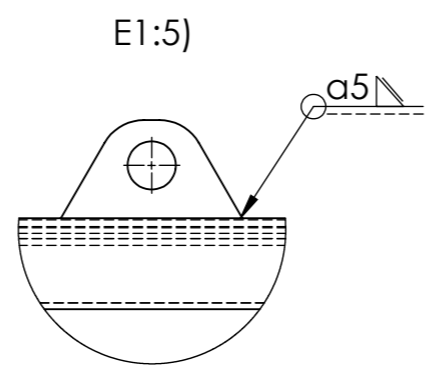
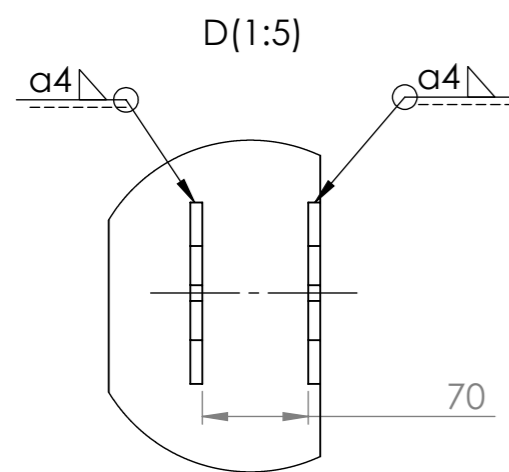
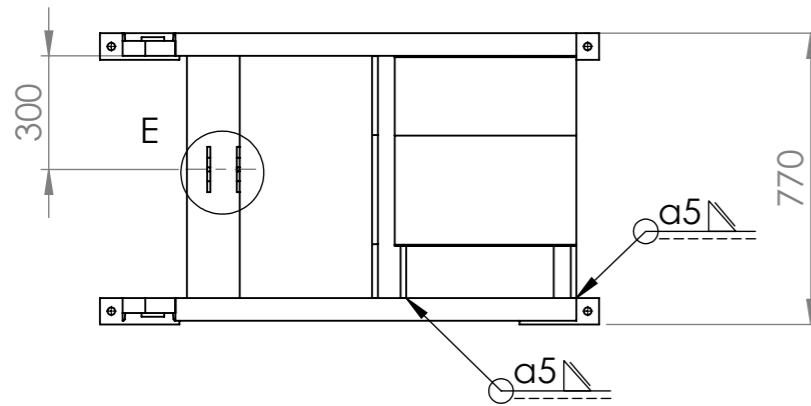
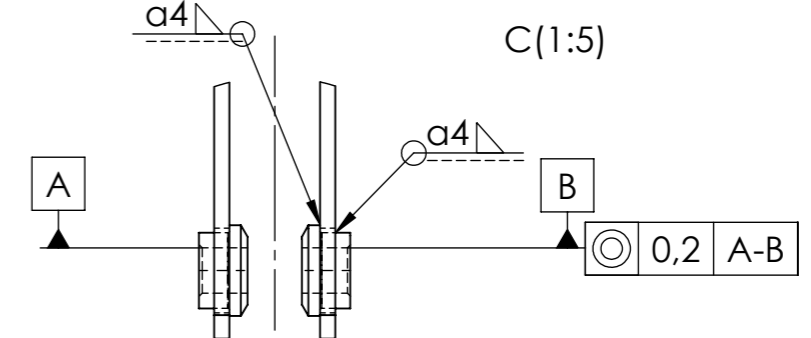
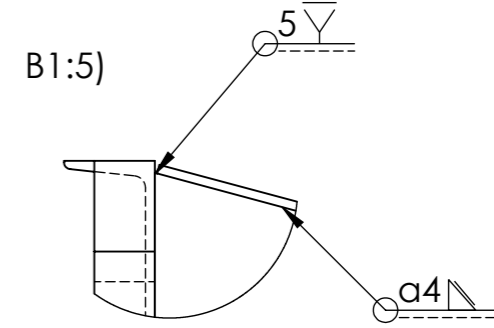
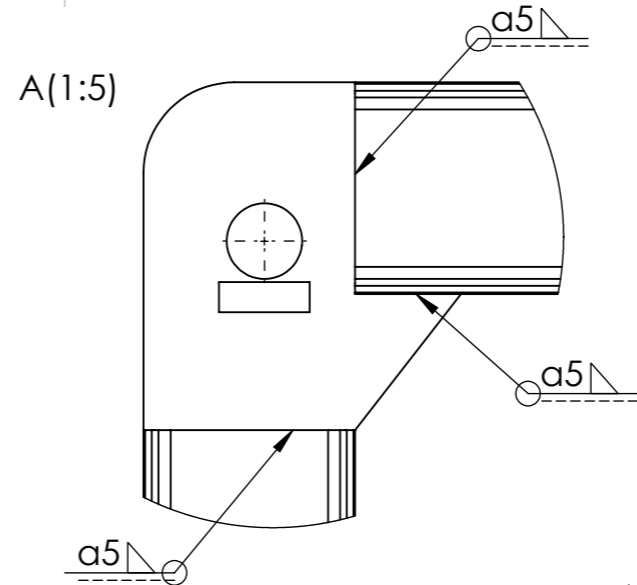
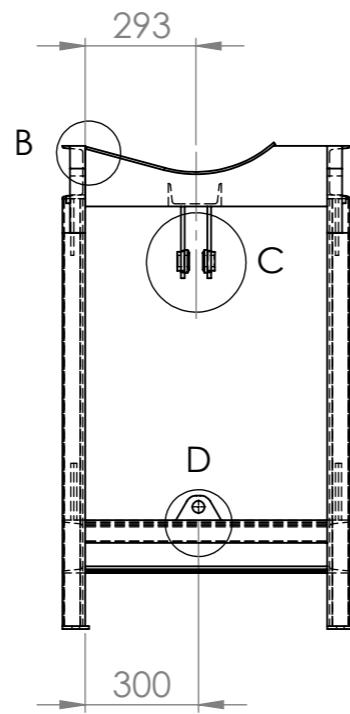
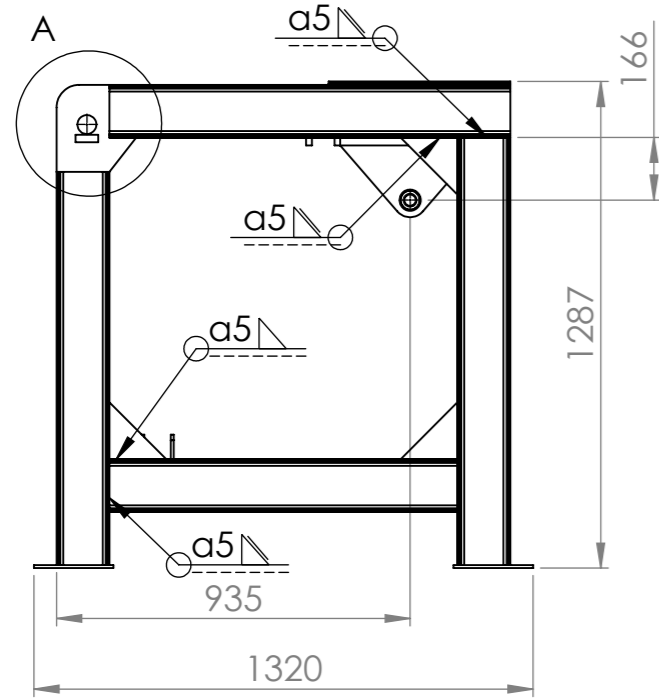
Mittakaava	A3 1:10	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
------------	---------	-----------	--	-----------	--	-----	--

	Nimitys	Kääntölaitteen runko	Piirustusnumero	EKL301	Revisio	
--	---------	----------------------	-----------------	--------	---------	--

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F

A  
B  
C  
D  
E  
F



7	EKL302101	Tukipintalevy	1
6	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
5	EKL304	Poikkitikilevy	3
4	EKL304	Iskunvaimentimen asennuslevy	2
3	EKL304	Sylinterin kiinnityslevy	2
2	EKL304	Kääntölevy	2
1	EKL301	Kääntölaitteen runko	1
Osanumero	Piirustusnumero	Osan nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
Massa	213 kg	Projekti	Elektrodinkääntölaite	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A3 1:20	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	



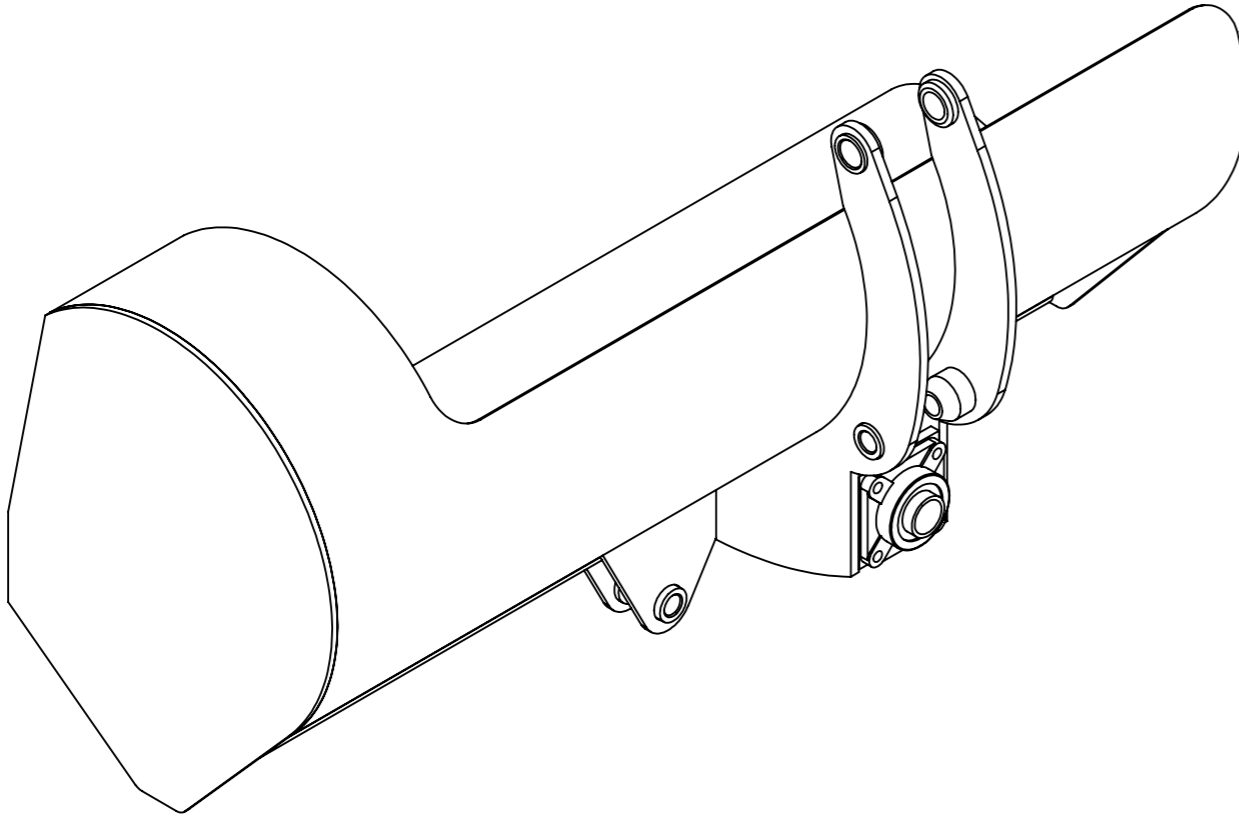
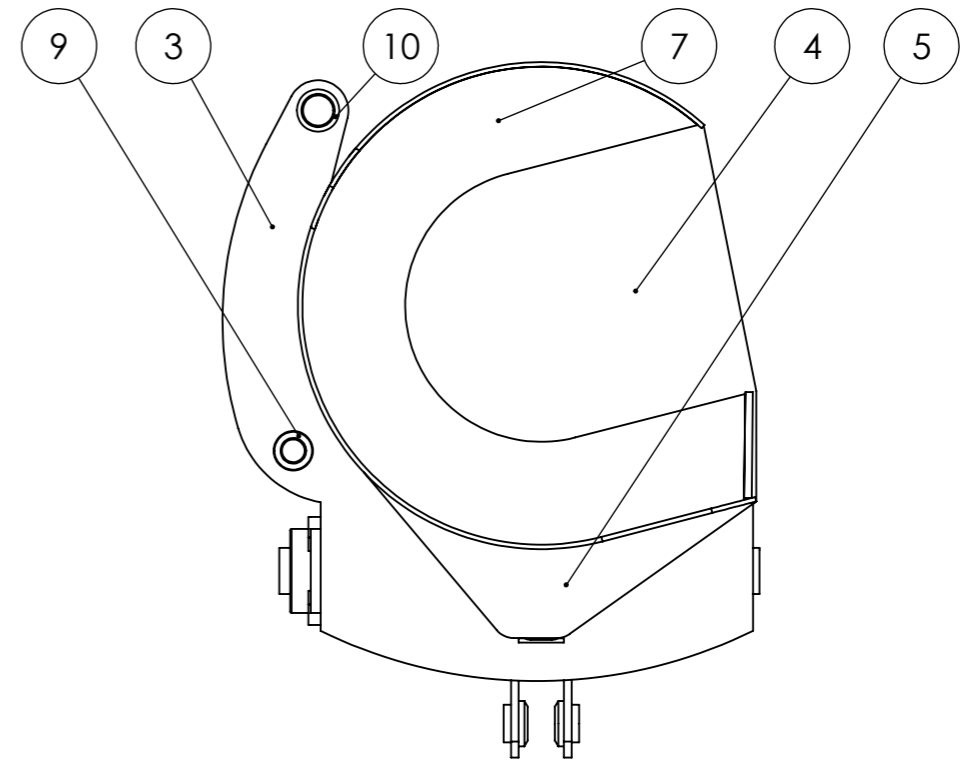
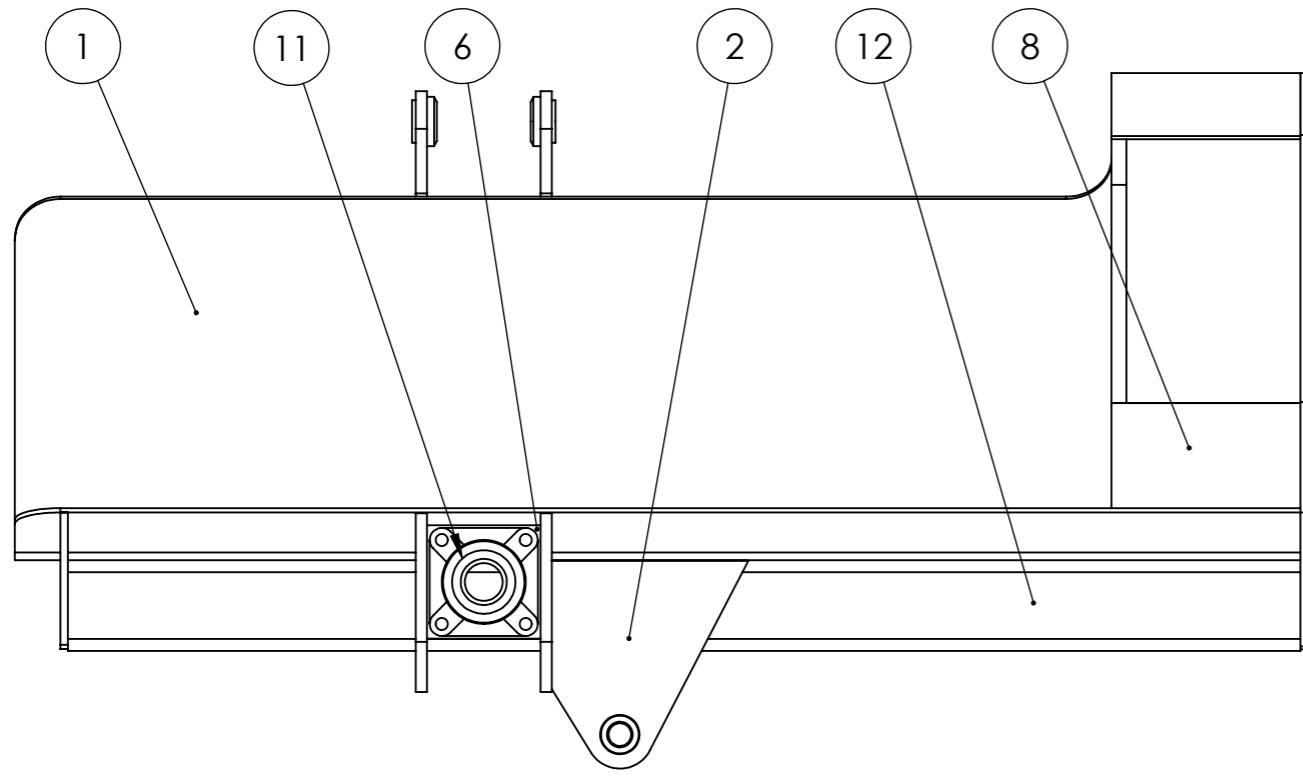
Nimitys  
**Kääntölaitteen rungon  
hittauspiirros**

Piirustusnumero  
**EKL301h**

Revisio

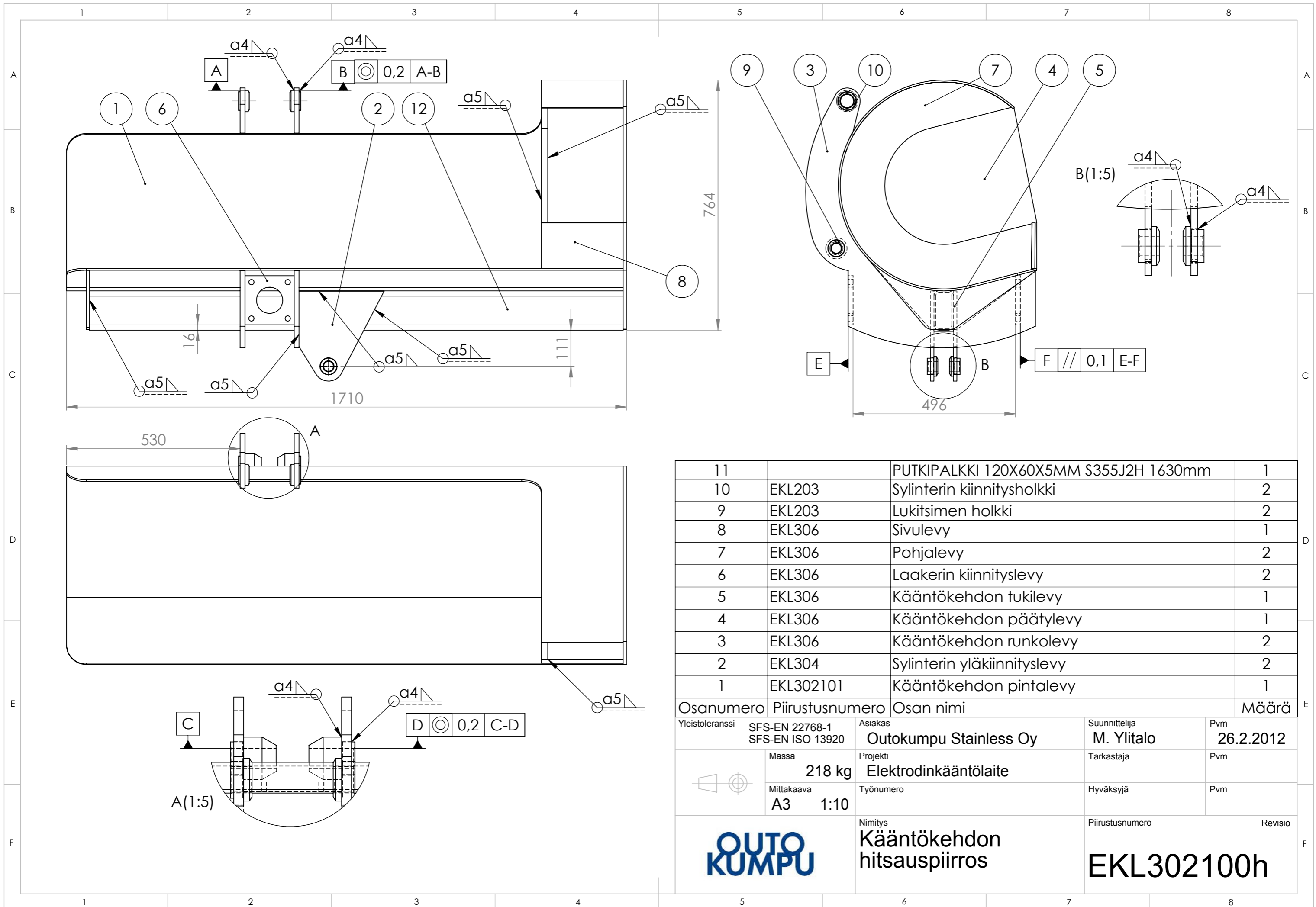
1 2 3 4 5 6 7 8





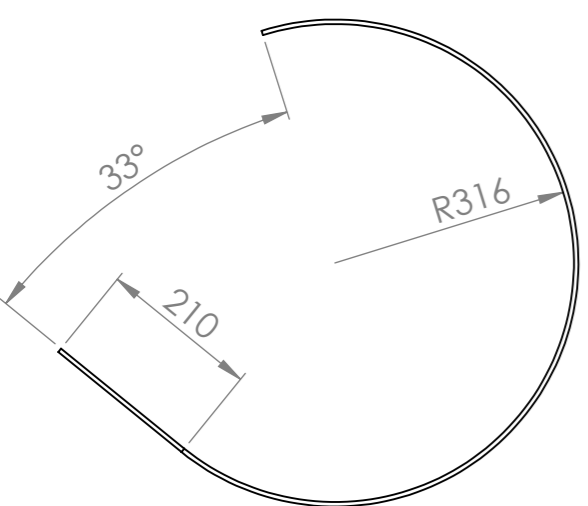
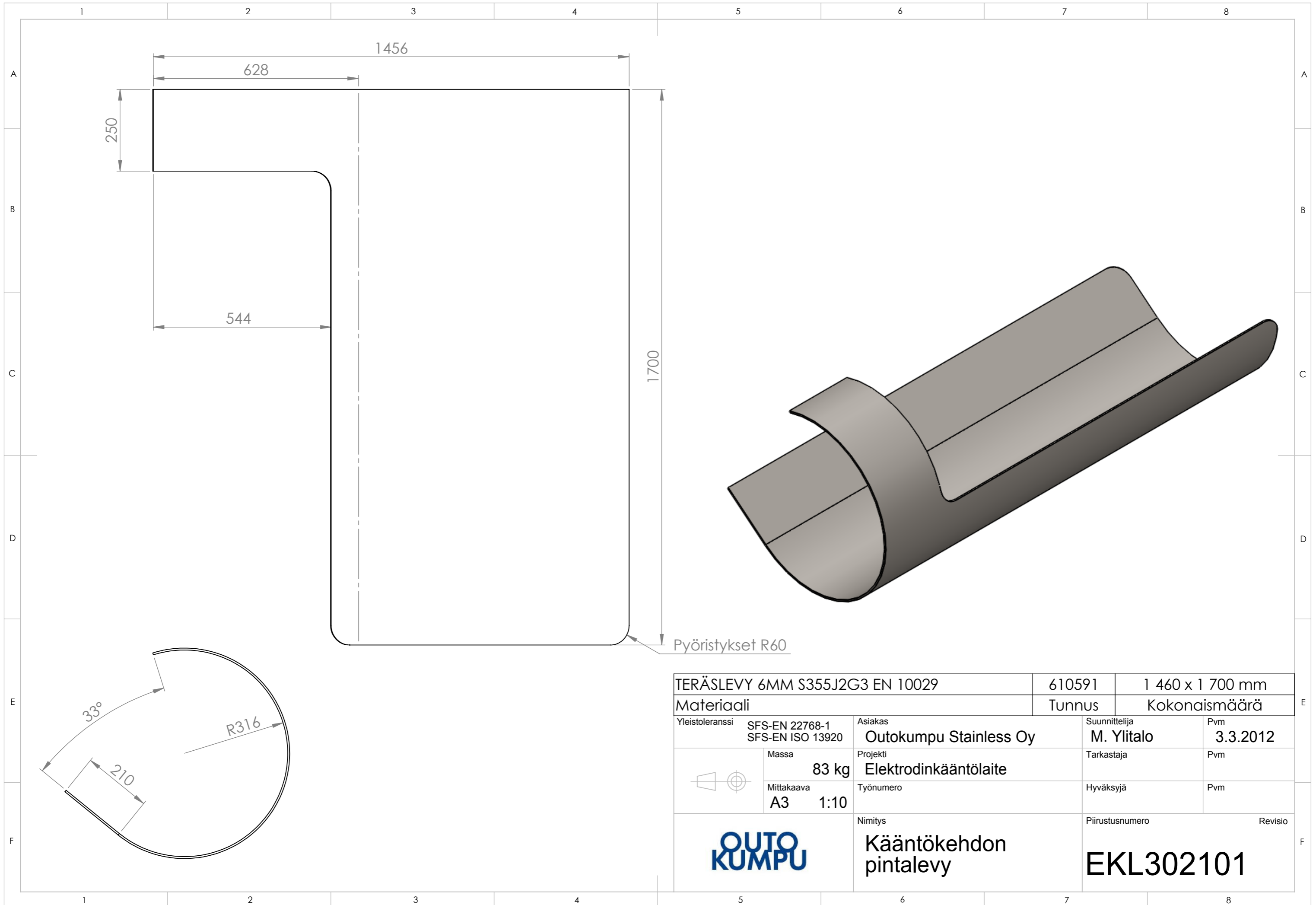
12		PUTKIPALKKI 120X60X5MM S355J2H 1630mm	1
11		Laippalaakeri UCF-210, tunnus 527391	2
10	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
9	EKL203	Lukitsimen holkki	2
8	EKL302102	Sivulevy	1
7	EKL302102	Pohjalevy	2
6	EKL302102	Laakerin kiinnityslevy	2
5	EKL302102	Kääntökehdon tukilevy	1
4	EKL302102	Kääntökehdon pätylevy	1
3	EKL302102	Kääntökehdon runkolevy	2
2	EKL304	Sylinterin yläkiinnityslevy	2
1	EKL302101	Kääntökehdon pintalevy	1
Osanumero	Piirustusnumero	Osan nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	26.2.2012
	Massa	218 kg	Projekti	Elektrodinkääntölaite	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:10	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm	
		Nimitys	Kääntökehto	Piirustusnumero	EKL302100		Revisio



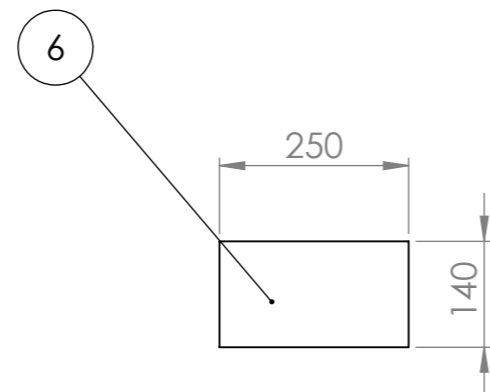
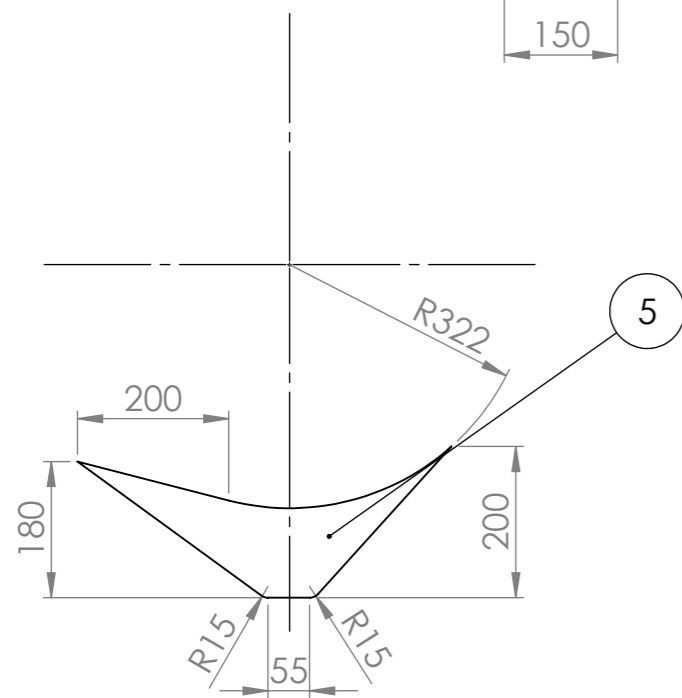
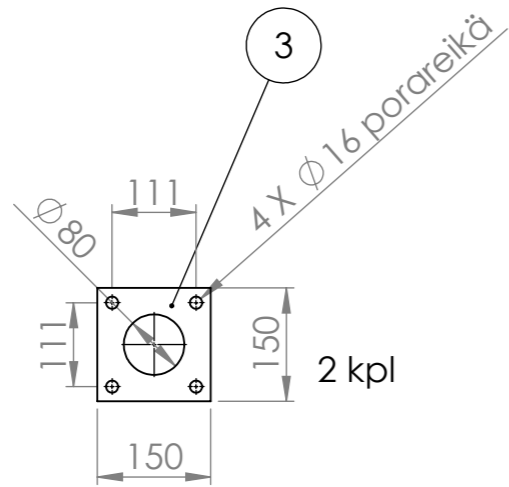
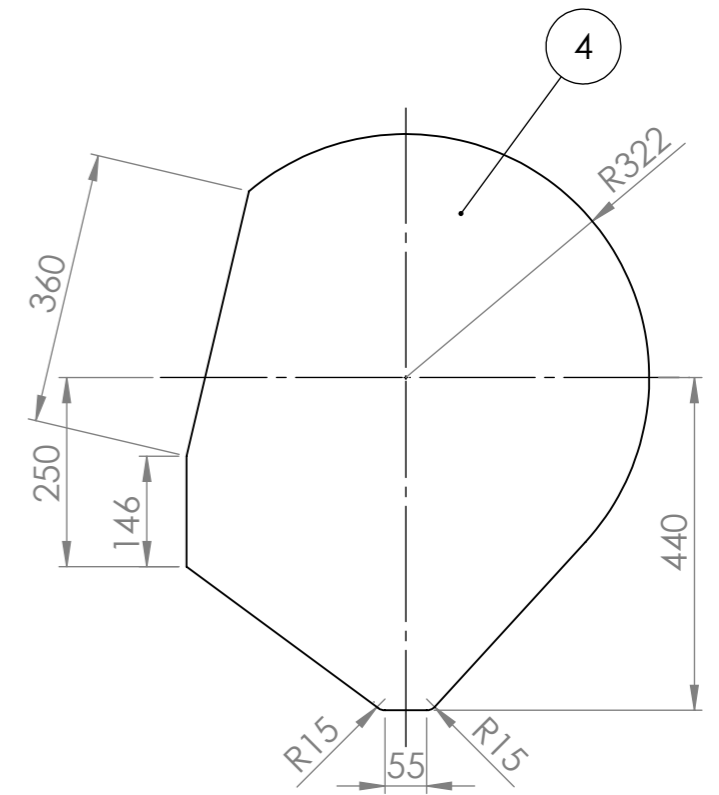
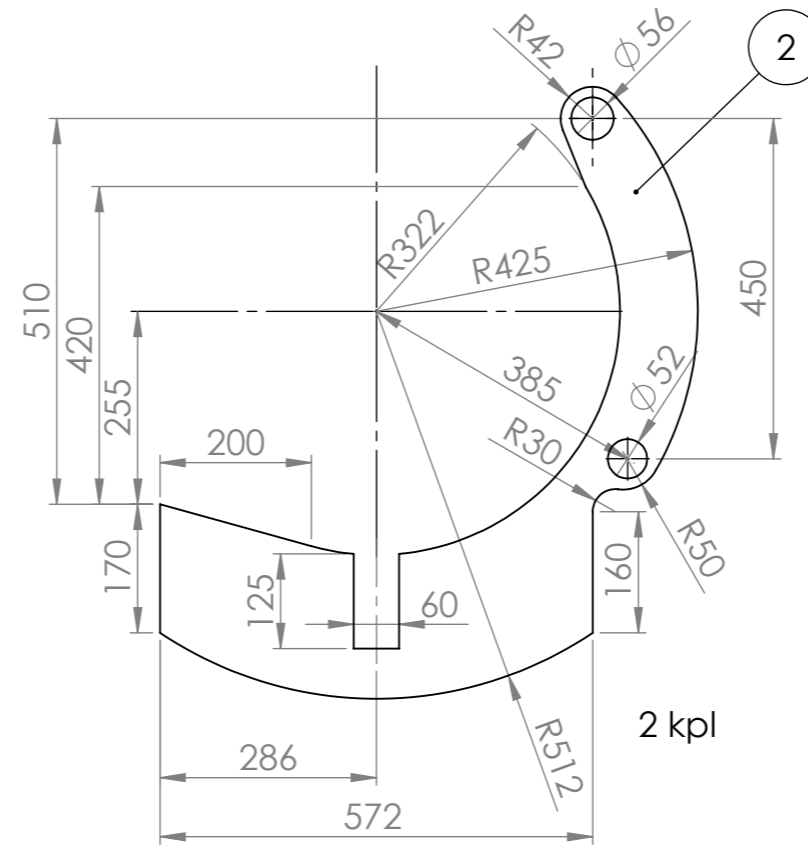
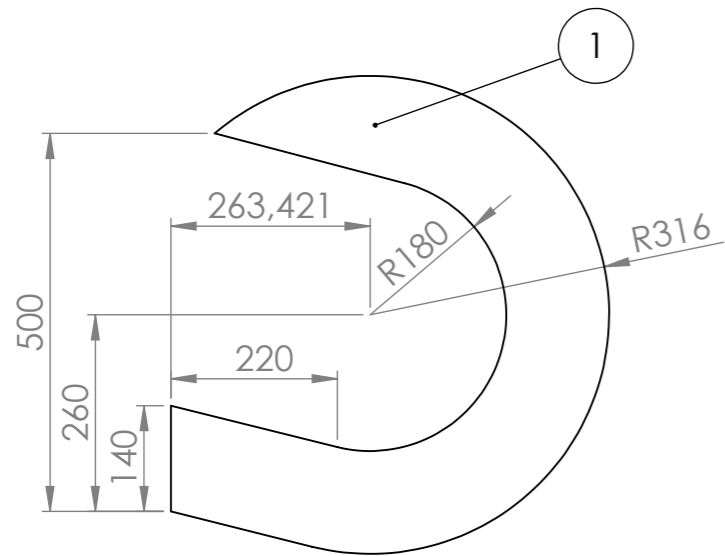
Osanumero	Piirustusnumero	Osan nimi	Määrä
11		PUTKIPALKKI 120X60X5MM S355J2H 1630mm	1
10	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
9	EKL203	Lukitsimen holkki	2
8	EKL306	Sivulevy	1
7	EKL306	Pohjalevy	2
6	EKL306	Laakerin kiinnityslevy	2
5	EKL306	Kääntökehdon tukilevy	1
4	EKL306	Kääntökehdon päätylevy	1
3	EKL306	Kääntökehdon runkolevy	2
2	EKL304	Sylinterin yläkiinnityslevy	2
1	EKL302101	Kääntökehdon pintalevy	1

Yleistoleranssi		SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	26.2.2012
	Massa	218 kg	Projekti	Elektrodinkääntölaite	Tarkastaja		Pvm	
	Mittakaava	A3 1:10	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
		Nimitys	Kääntökehdon hitsauspiirros		Piirustusnumero	EKL302100h		
						Revisio		



Pyöritykset R60

TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029		610591	1 460 x 1 700 mm	
Materiaali		Tunnus	Kokonaismäärä	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		Outokumpu Stainless Oy	M. Ylitalo	3.3.2012
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	83 kg	Elektrodinkäyttölaite		
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:10			
		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
		Kääntökehdon pintalevy	EKL302101	



2 kpl

2 kpl

Polttoleikattavia osia.

Osan numero	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä
6	Sivulevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	700 x 1400 mm
5	Käätökehdon tukilevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	-
4	Käätökehdon päätylevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	-
3	Laakerin kiinnityslevy	TERÄSLEVY 15MM S355J2G3 EN 10029	592824	700 x 1400 mm
2	Käätökehdon runkolevy	TERÄSLEVY 15MM S355J2G3 EN 10029	592824	-
1	Pohjalevy	TERÄSLEVY 20MM S355J2G3 EN 10029		700 x 700 mm

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	25.2.2012
Massa		Projekti	Elektrodinkäätölaite	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A3 1:10	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	

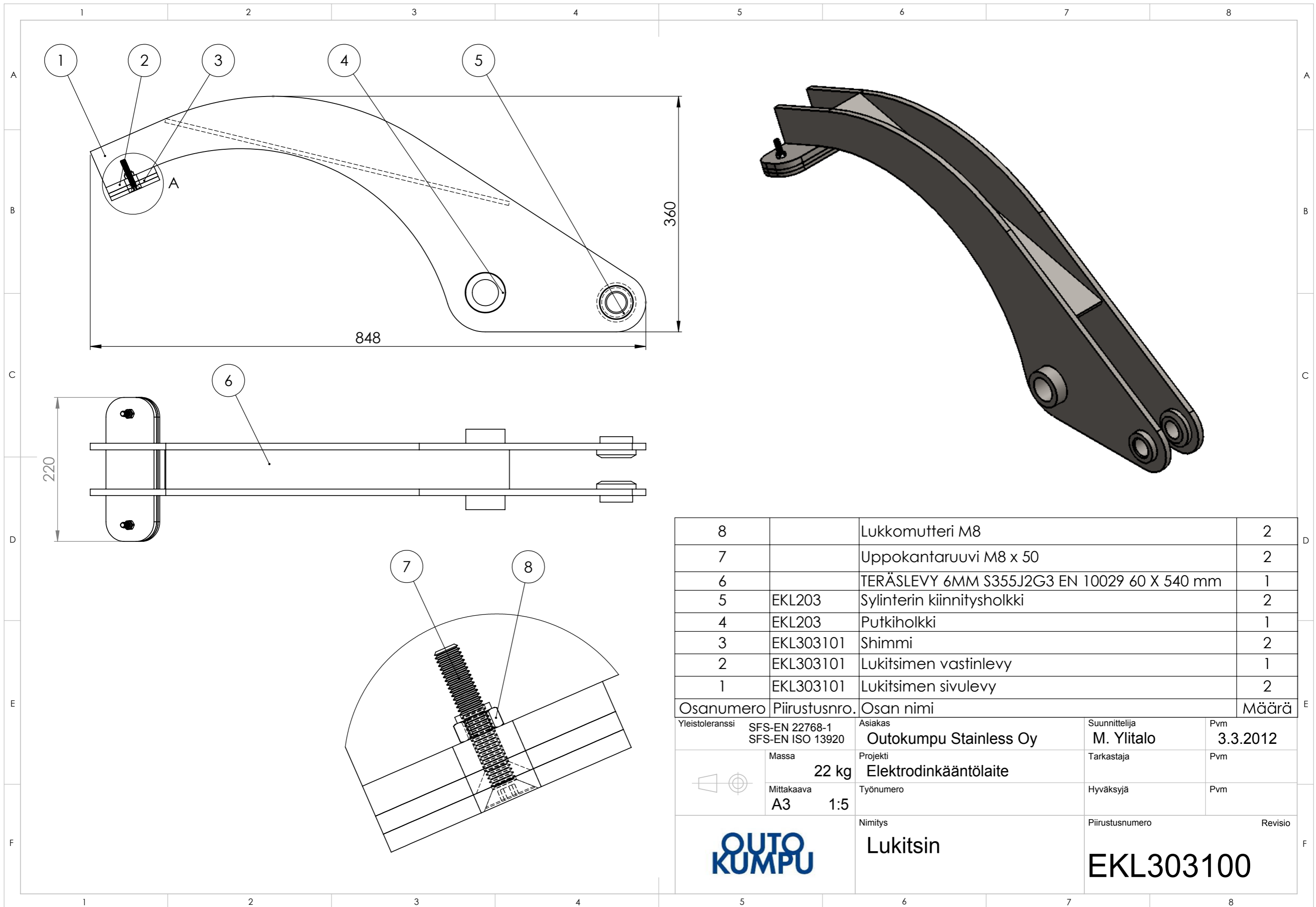
**OUTOKUMPU**

Nimitys  
**Käätökehdon  
levyosia**

Piirustusnumero

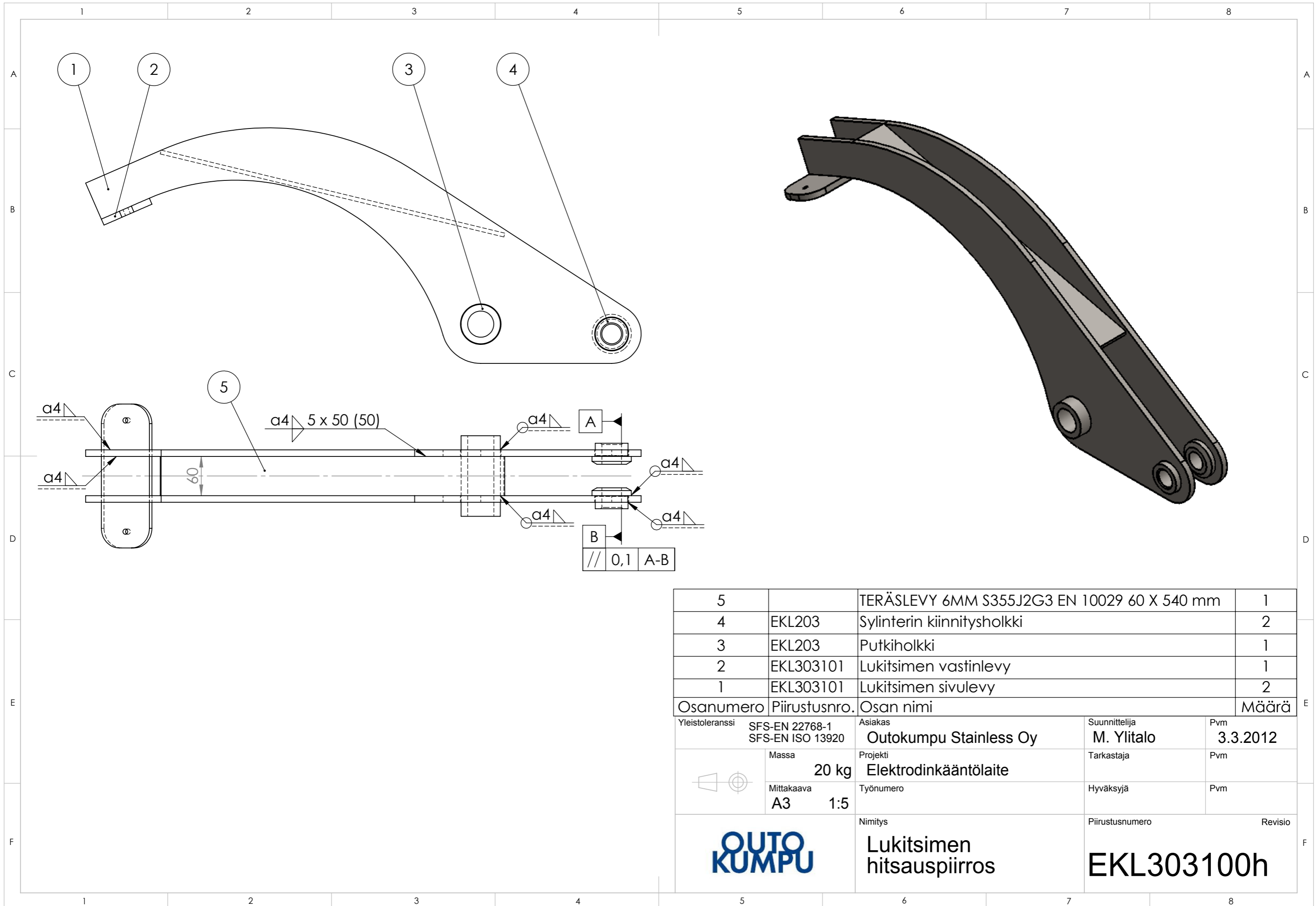
**EKL302102**

Revisio



8		Lukkomutteri M8	2
7		Uppokantaruuvi M8 x 50	2
6		TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029 60 X 540 mm	1
5	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
4	EKL203	Putkiholkki	1
3	EKL303101	Shimmi	2
2	EKL303101	Lukitsimen vastinlevy	1
1	EKL303101	Lukitsimen sivulevy	2
Osanumero	Piirustusno.	Osan nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	3.3.2012
Massa	22 kg	Projekti	Elektrodinkäyttölaite	Tarkastaja		Pvm	
Mittakaava	A3 1:5	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
		Nimitys	Lukitsin	Piirustusnumero	EKL303100		
					Revisio		



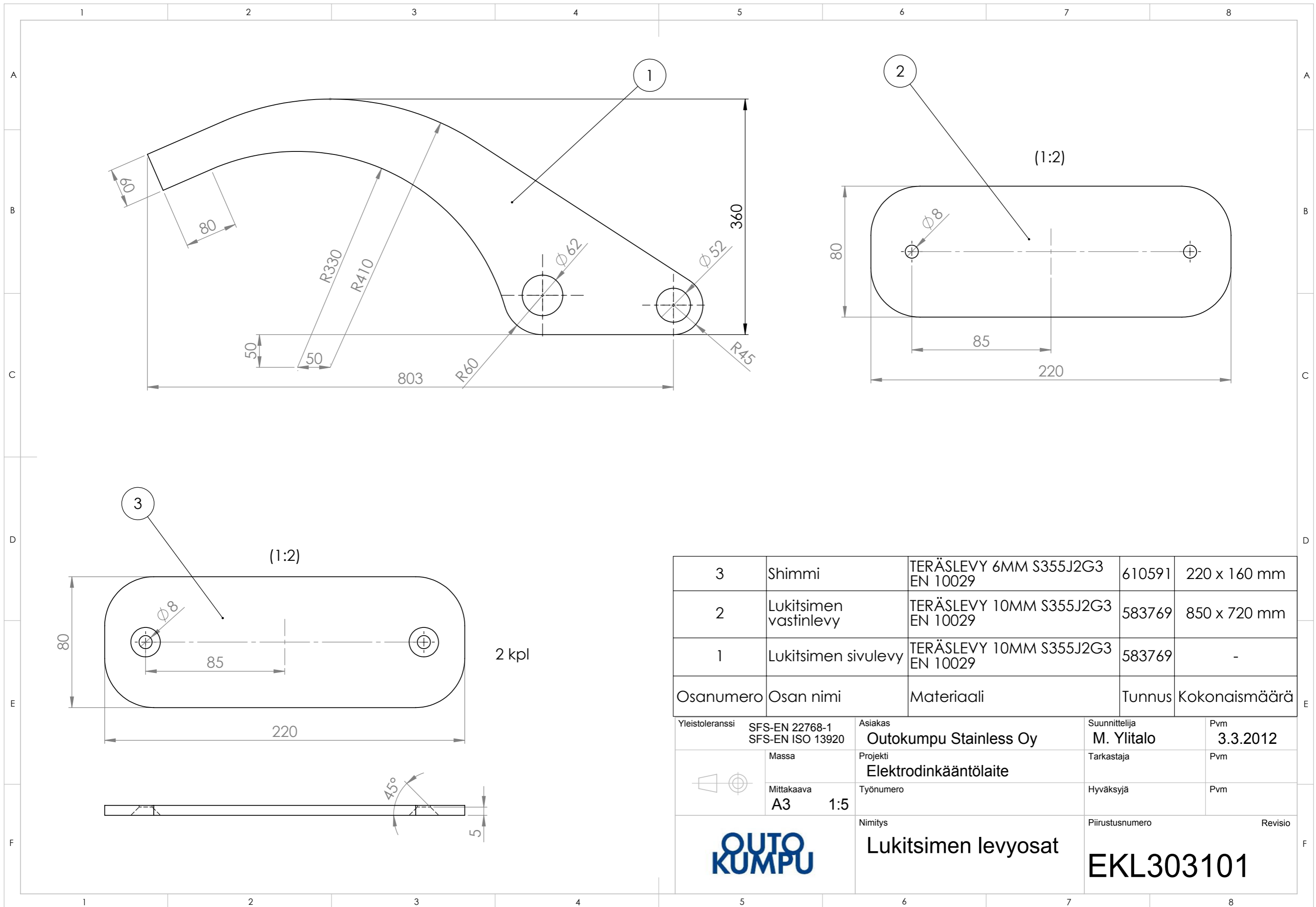
5		TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029 60 X 540 mm	1
4	EKL203	Sylinterin kiinnitysholkki	2
3	EKL203	Putkiholkki	1
2	EKL303101	Lukitsimen vastinlevy	1
1	EKL303101	Lukitsimen sivulevy	2
Osanumero	Piirustusno.	Osan nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	3.3.2012
-----------------	------------------------------------	---------	------------------------	---------------	------------	-----	----------

	Massa	20 kg	Projekti	Elektrodinkäyttölaite	Tarkastaja	Pvm
--	-------	-------	----------	-----------------------	------------	-----

Mittakaava	A3 1:5	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
------------	--------	-----------	-----------	-----

	Nimitys	Lukitsimen hitsauspiirros	Piirustusnumero	EKL303100h	Revisio
--	---------	---------------------------	-----------------	------------	---------



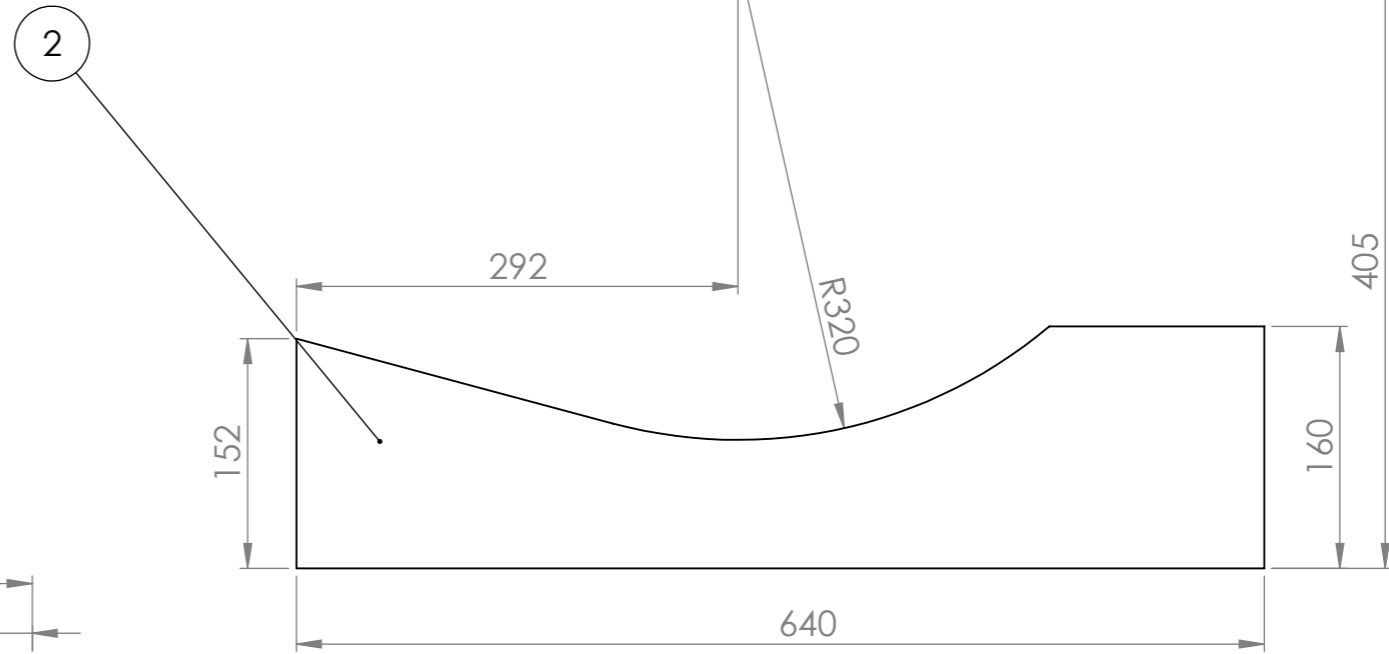
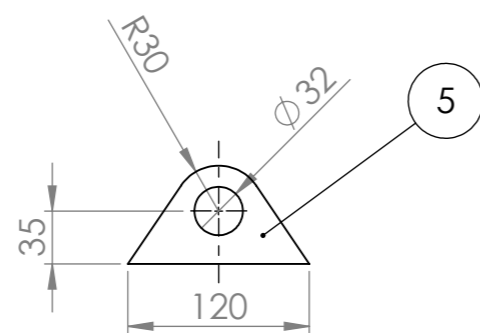
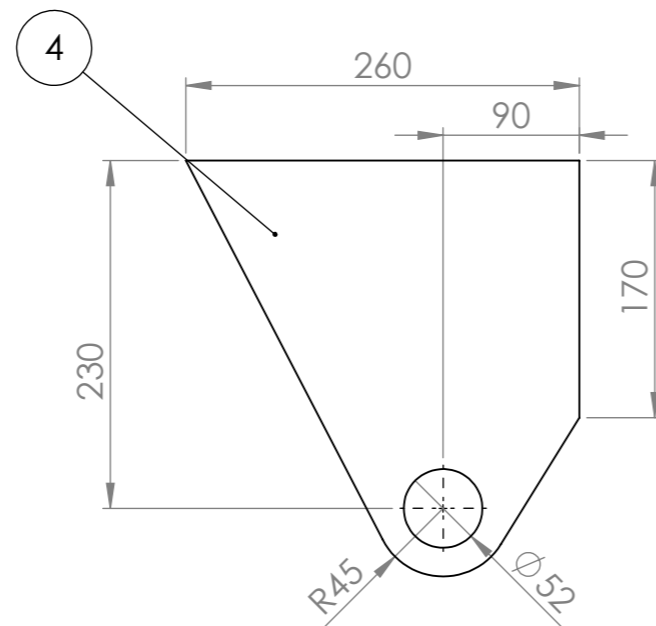
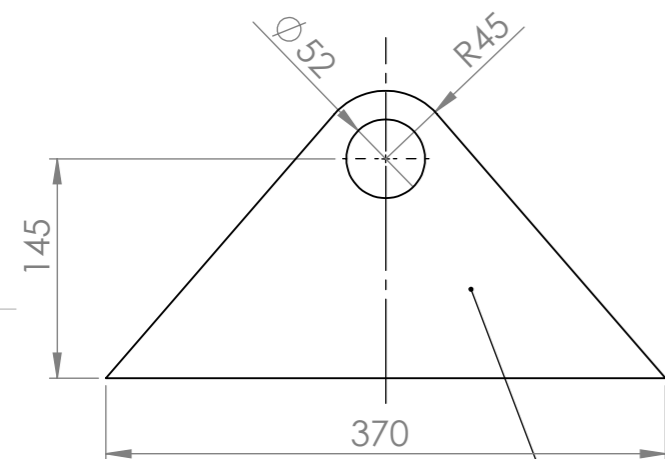
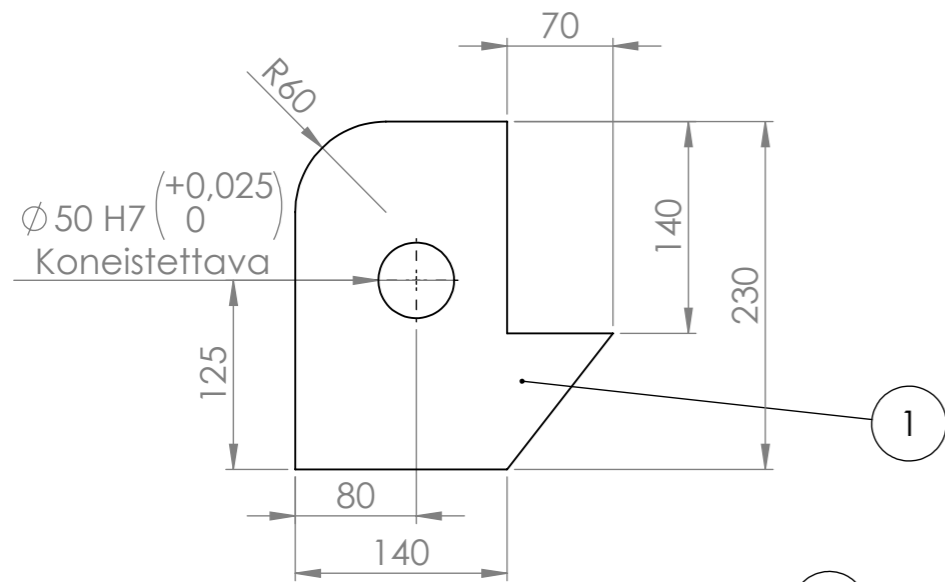
3	Shimmi	TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029	610591	220 x 160 mm
2	Lukitsimen vastinlevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	850 x 720 mm
1	Lukitsimen sivulevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	-
Osanumero	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	3.3.2012
-----------------	------------------------------------	---------	------------------------	---------------	------------	-----	----------

Massa		Projekti	Elektrodinkäyttölaite	Tarkastaja		Pvm	
-------	--	----------	-----------------------	------------	--	-----	--

Mittakaava	A3 1:5	Työnumero		Hyväksyjä		Pvm	
------------	--------	-----------	--	-----------	--	-----	--

		Nimitys	Lukitsimen levyosat	Piirustusnumero	EKL303101	Revisio	
--	--	---------	---------------------	-----------------	-----------	---------	--



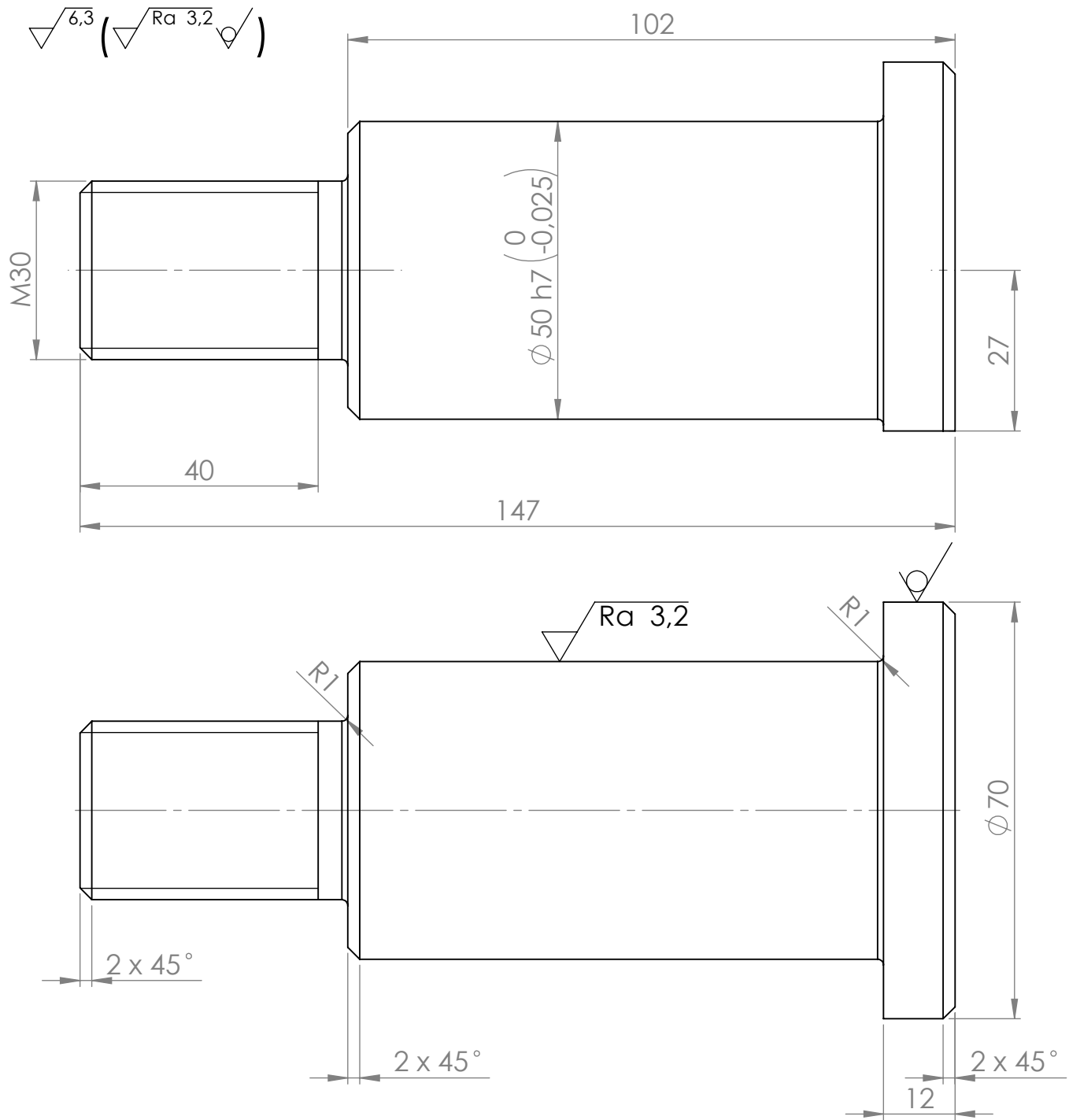
Valmistusmäärät:  
 osa 1 2 kpl  
 osa 2 3 kpl  
 osa 3 2 kpl  
 osa 4 2 kpl  
 osa 5 2 kpl

Polttoleikattavia osia.

Osanumero	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä
5	Iskunvaimentimen asennuslevy	TERÄSLEVY 8MM S355J2G3 EN 10029	597397	150 x 120 mm
4	Sylinterin yläkiinnityslevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	370 x 1000 mm
3	Sylinterin kiinnityslevy	TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	-
2	Tukipintalevy	TERÄSLEVY 15MM S355J2G3 EN 10029	592824	640 x 500 mm
1	Käntölevy	TERÄSLEVY 40MM S355J2G3 EN 10029		420 x 230 mm

Yleistoleranssi SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920		Asiakas Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija M. Ylitalo	Pvm 26.2.2012
Massa		Projektii Elektrodinkäntölaite	Tarkastaja	Pvm
Mittakaava A3 1:5		Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
Nimitys Käntölaitteen levyjä		Piirustusnumero	Revisio	
		<b>EKL304</b>		

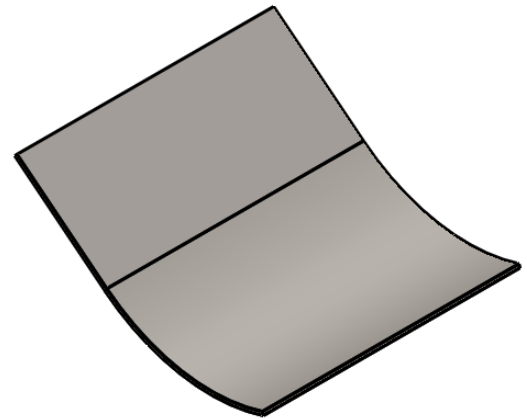
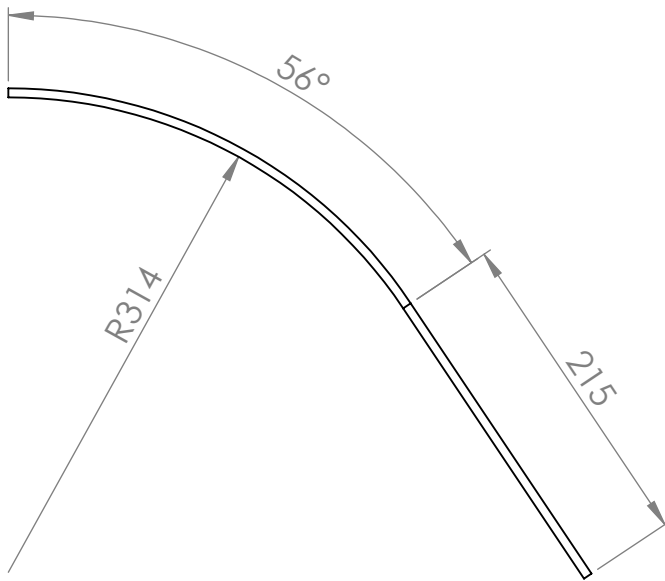
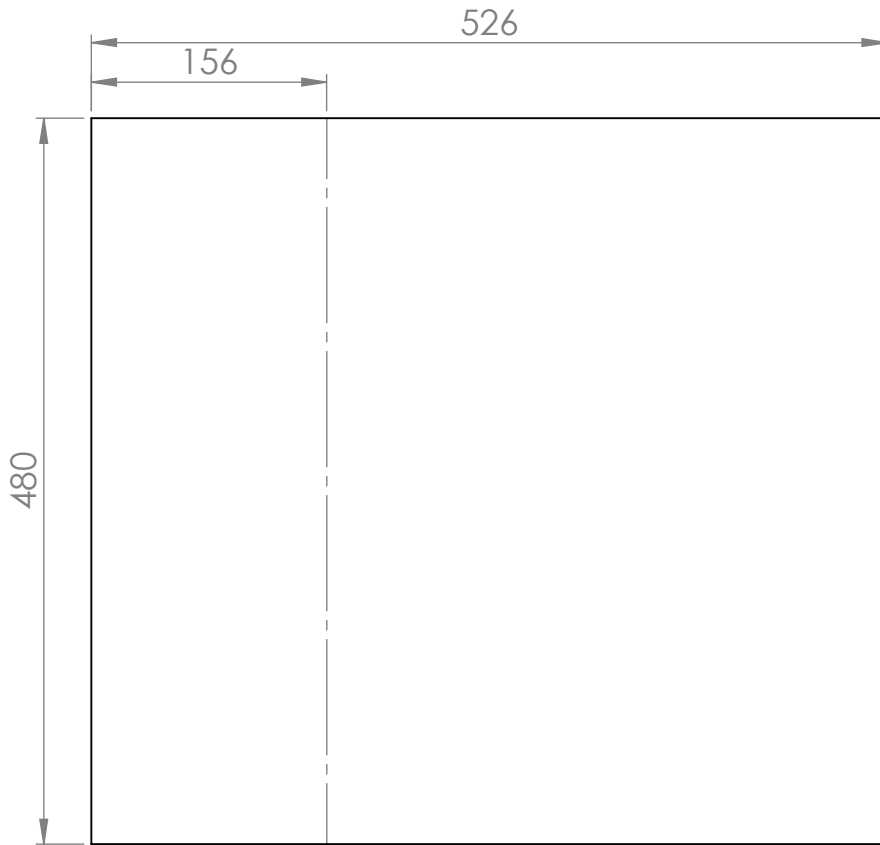




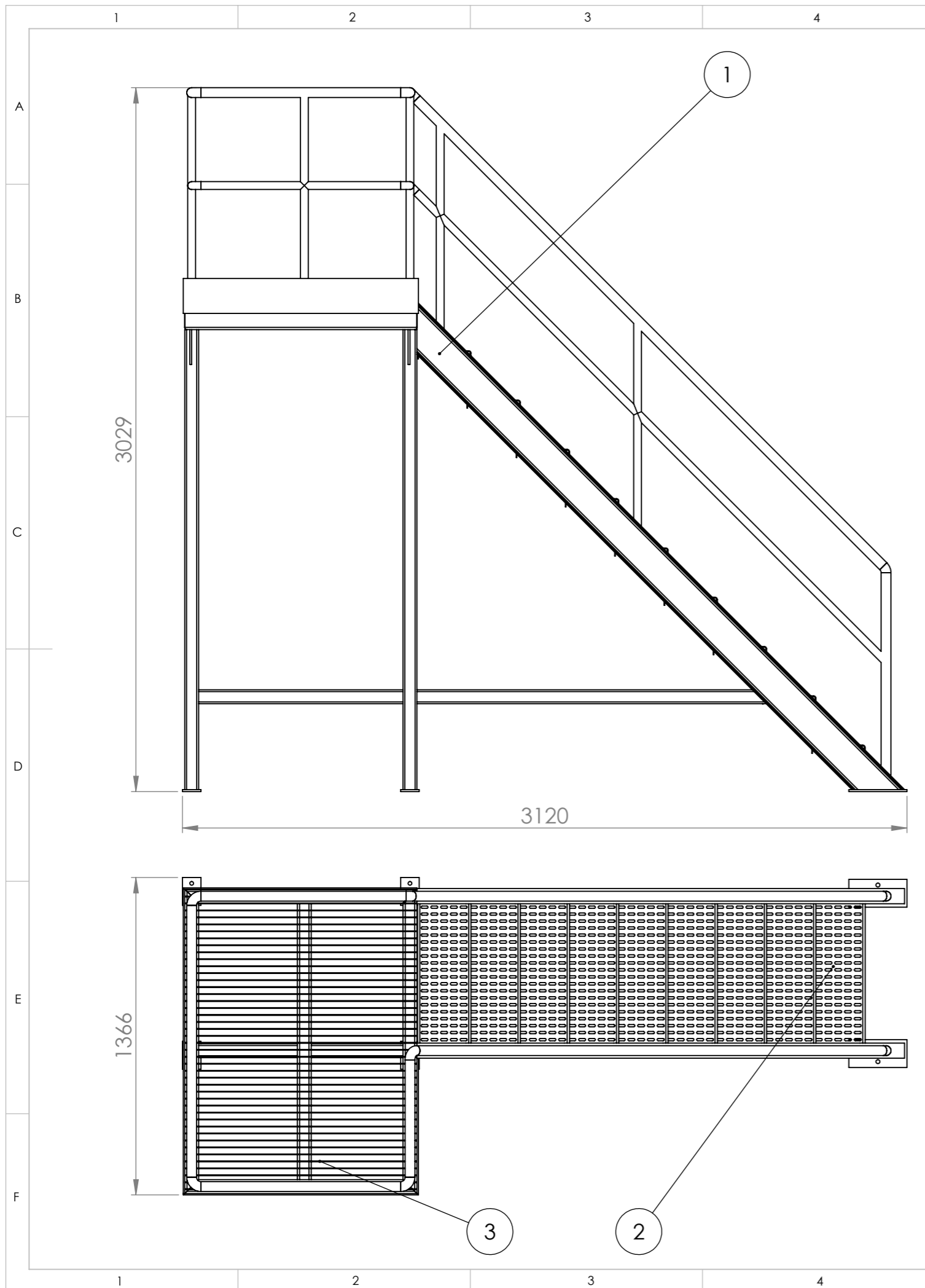
Tehdään 2 kpl

Käntötappi	PYÖRÖTANKO 70MM 42CRMO4 DIN 1013	609382	300 mm
Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija
		Outokumpu Stainless Oy	M. Ylitalo
		Projekt	Pvm
		Elektrodinkäntölaite	26.2.2012
	Massa	Tarkastaja	Pvm
	2 kg	Hyväksyjä	Pvm
	Mittakaava		
	A4 1:1		
	Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
	Käntötappi	EKL305	

**OUTO  
KUMPU**



TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029		610591	480 X 530 mm	
Materiaali		Tunnus	Kokonaismäärä	
Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		Outokumpu Stainless Oy	M. Ylitalo	3.3.2012
	Massa	Projekti	Tarkastaja	Pvm
	12 kg	Elektrodinkääntölaite		
	Mittakaava	Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
	A3 1:10			
		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
		Tukipintalevy	EKL306	

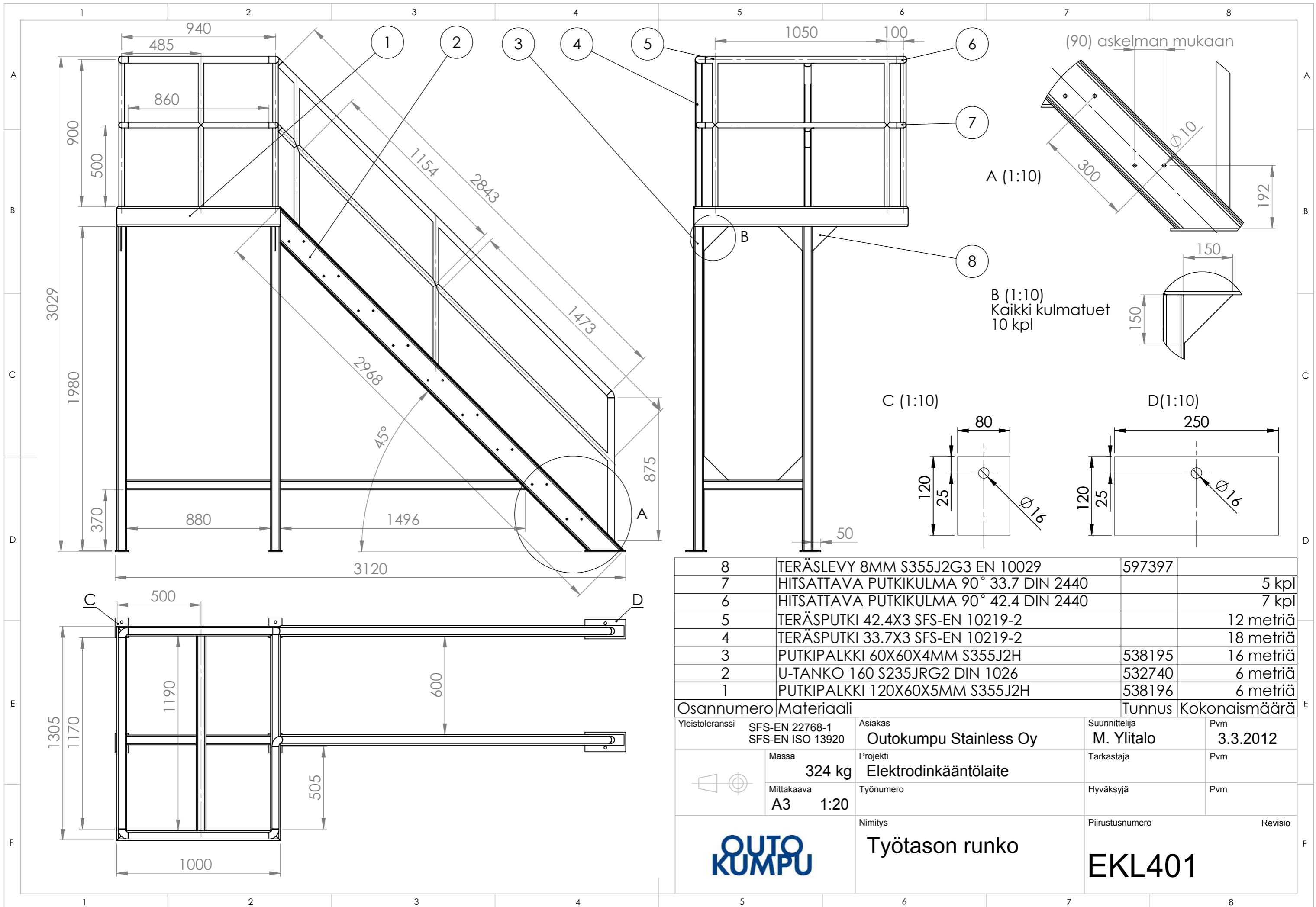


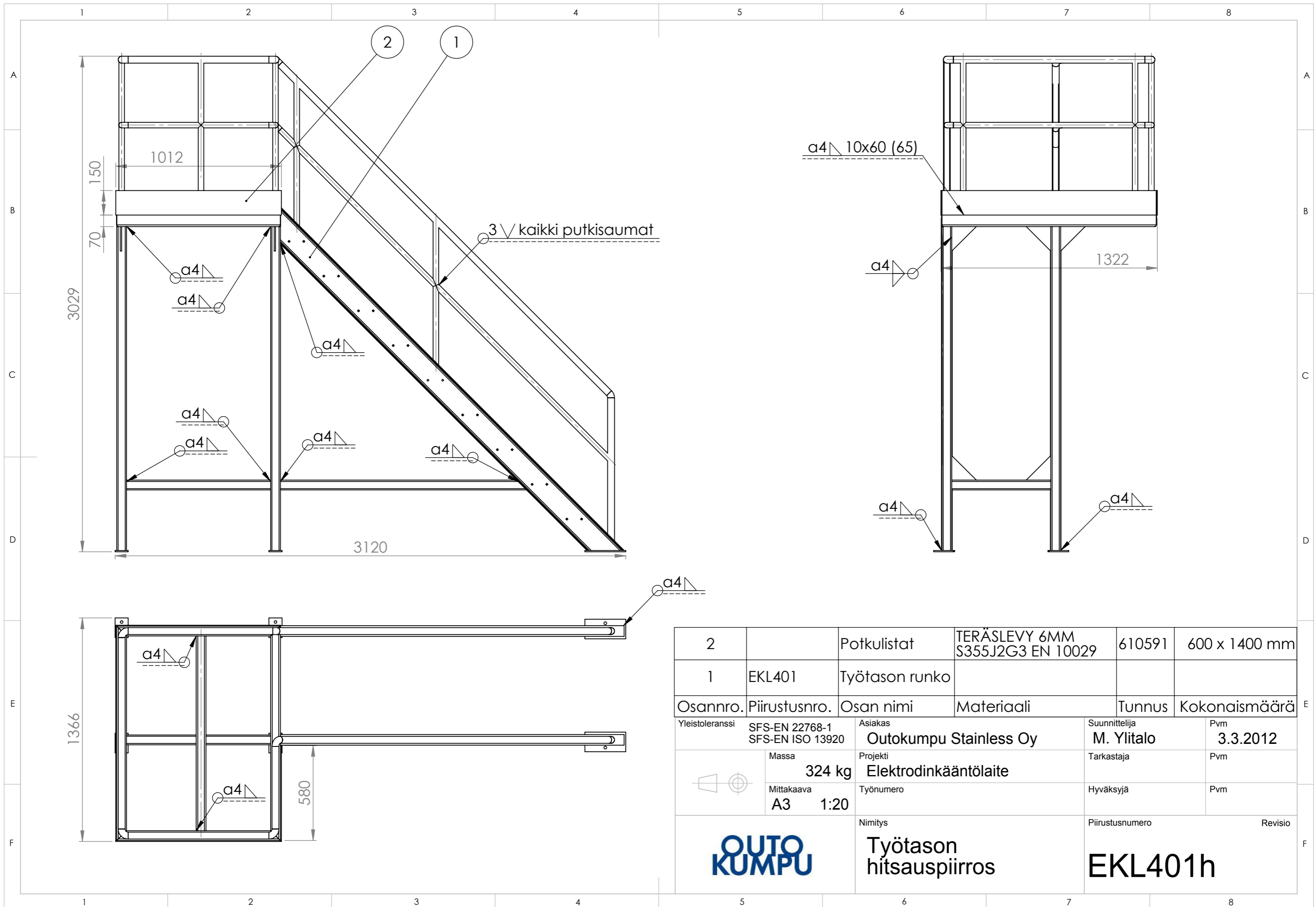
3		TASORITILÄ LT 1300X1000X30MM ZN	1
2		RITILÄASKELMA LT 600X230X30MM ZN	9
1	EKL301	Työtason runko	1
Osannumero	Piirustusnumero	Osan nimi	Määrä

Yleistoleranssi	SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Outokumpu Stainless Oy	Suunnittelija	M. Ylitalo	Pvm	3.3.2012
	Massa	380 kg	Projekti	Elektrodinkäyttölaite	Tarkastaja	Pvm	
	Mittakaava	A3 1:20	Työnumero		Hyväksyjä	Pvm	



Nimitys	Työtaso	Piirustusnumero	EKL400	Revisio	
---------	---------	-----------------	--------	---------	--

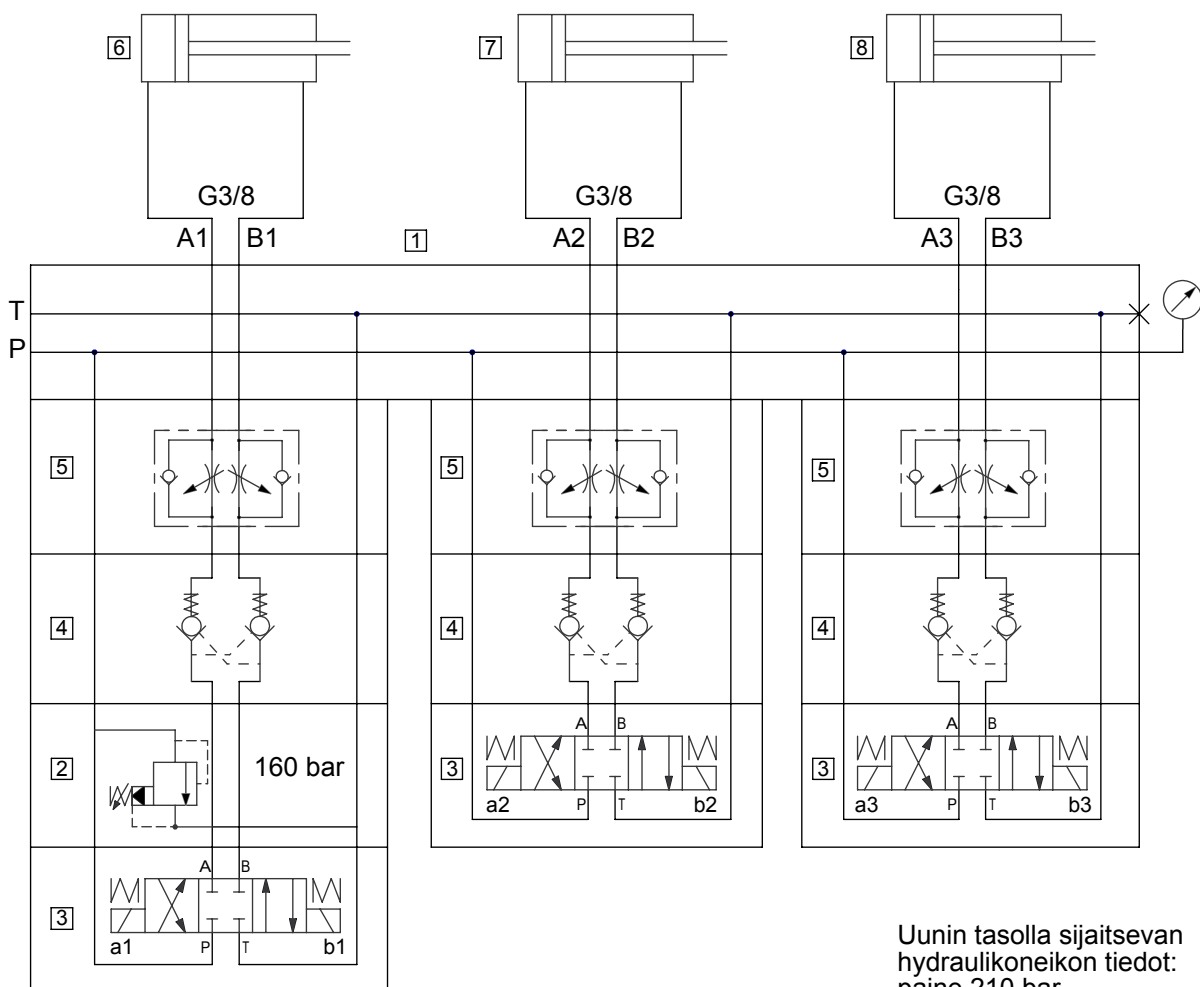




2		Potkulistat	TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029	610591	600 x 1400 mm
1	EKL401	Työtason runko			
Osannro.	Piirustusno.	Osan nimi	Materiaali	Tunnus	Kokonaismäärä
Yleistoleranssi		SFS-EN 22768-1 SFS-EN ISO 13920	Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		324 kg	Outokumpu Stainless Oy	M. Ylitalo	3.3.2012
		Mittakaava A3 1:20	Projekti	Tarkastaja	Pvm
			Elektrodinkäyttölaite		
			Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
			Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
			Työtason hitsauspiirros	EKL401h	



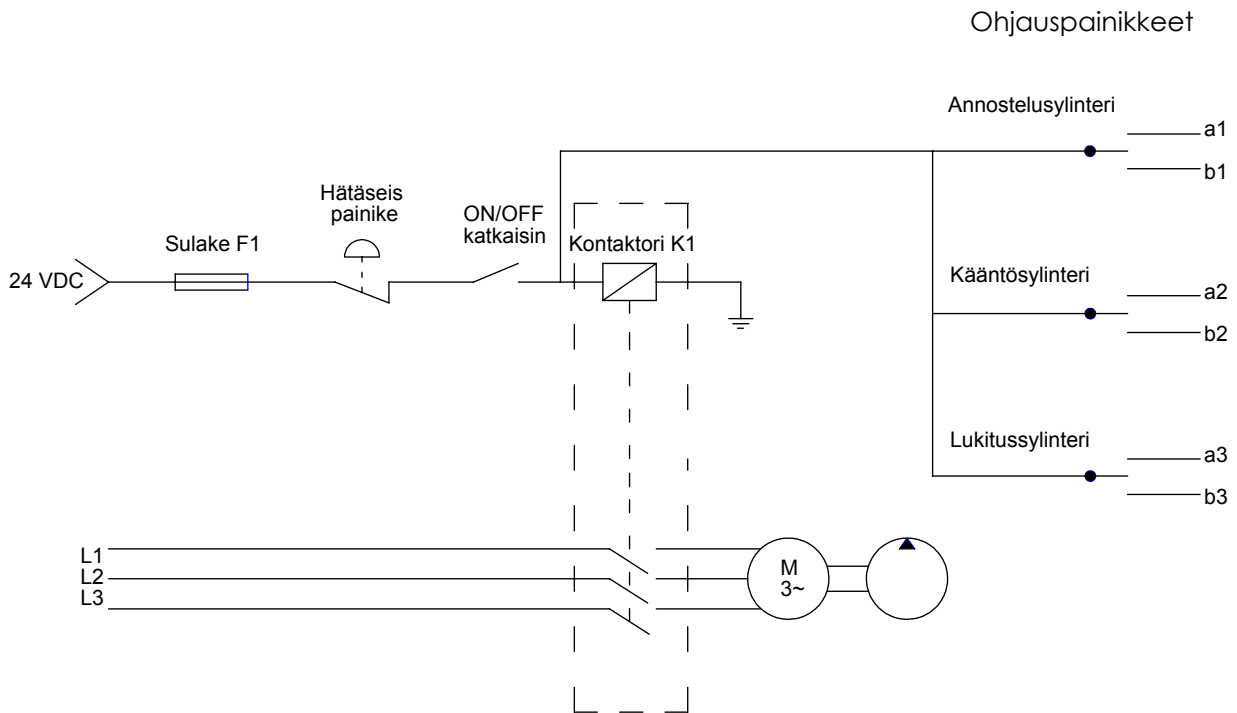
Tilavuusvirrat	plusliike	miinusliike
Annostelusylinteri	8,8 l/min	1,7 l/min
Kääntösylinteri	15,4 l/min	1,2 l/min
Lukituslinteri	12,7 l/min	2,8 l/min




Uunin tasolla sijaitsevan  
hydraulikoneikon tiedot:  
paine 210 bar  
tuotto 24 l/min

1	1	Venttiililohko	PLATTE 3HSR06-2X/01C	BoschRexroth
2	1	Paineenrajoitusventtiili	ZDB6VP1-4X/200V	BoschRexroth
3	3	Suuntaventtiili	4WE6 E6X/EG24N9XNK4	BoschRexroth
4	3	Sulkuventtiili	Z2S6-1-6X	BoschRexroth
5	3	Kaksoisvastusvastaventtiili	Z2FS6-2-4X/2Q	BoschRexroth
6	1	Lukituslinteri	A0060/32*150AA	Norrhydro
7	1	Kääntösylinteri	A0050/36*400AA	Norrhydro
8	1	Annostelusylinteri	A0050/28*150AA	Norrhydro
Numero	Määrä	Osan nimi	Tyyppi	Valmistaja

		Asiakas	Suunnittelija	Pvm
		Outokumpu Stainless Oy	M.Ylitalo	10.2.2012
		Projekti	Tarkastaja	Pvm
		Elektrodinkääntölaite		
Mittakaava		Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		-		
		Nimitys	Piirustusnumero	Revisio
		Hydraulikaavio	EKL 500	



Yleistoleranssi		Asiakas <b>Outokumpu Stainless Oy</b>	Suunnittelija <b>M. Ylitalo</b>	Pvm <b>19.2.2012</b>
Massa	Mittakaava	Projekti <b>Elektrodinkääntölaite</b>	Tarkastaja	Pvm
		Työnumero	Hyväksyjä	Pvm
		Nimitys <b>Yleispiirikaavio</b>	Piirustusnumero	Revisio
		<b>EKL 600</b>		

MOBILE•  
SYLINTERIT

## *Kaksitoiminen hydraulisyylinteri*



Mobile-sarjan A-sylintereitä käytetään työkoneissa, joissa työpaine on enintään 250 bar.

Käyttökohteita ovat mm:

- metsäkoneet
- maansiirtokoneet
- teollisuuden kevyt käyttö

Käyttöpaine max. 25 Mpa

Sylinterin halkaisijat  
25-160 mm

Putken pinnankarheus  
max. Ra 0,4 µm

Varren kovakromaus

- vahvuus 20-30 µm

- pinnankarheus  
max. 0,3 µm

Saatavana myös

- ilmauksin
- päätyvaimennuksin
- erikoiskiinnityksin

**NH NORRHYDRO**

Teollisuustie 30

FIN-96300 ROVANIEMI

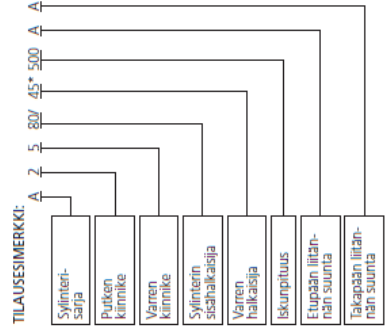
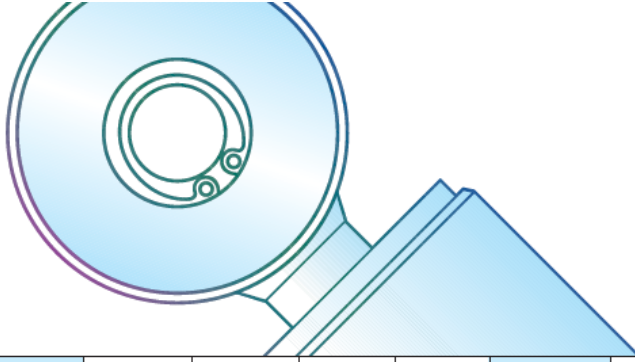
Puh. 960-344 621\*)

Fax 960-311 520 \*)

\*) Uusi suuntanumero 12.10.'96 alkaen 016



PUTKEN KIINNIKKEET		VARREN KIINNIKKEET	
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			



MITTATAULUKKO A-SARJA

	ø	25	32	40	50	60	63	70	80	90	100	110	125	140	160
0	øC1 øC2 øG øH I J K L M øO I	14 18 20 26 35 35 13 31 48 35 15 12	18 20 51 40 G3/8 14 41 60 40 20 16	32 26 50 50 70 G1/2 19 47 62 25 20	28 36 82 60 G1/2 22 46 68 57 30 22	32 41 81 70 G1/2 19 47 62 57 30 22	36 46 86 73 G1/2 21 50 70 60 35 25	40 50 92 80 G3/4 23 52 75 62 40 28	45 56 108 100 G1/2 22 53 75 68 45 32	50 63 114 100 G1/2 23 53 78 73 60 35	56 70 127 115 G3/4 26 76 92 83 60 44	63 82 142 125 G3/4 28 80 92 90 104 44	70 90 162 140 G1 34 90 110 104 70 49	80 100 183 160 G1 51 90 125 115 80 55	90 110 203 180 G1 1/4 61 95 140 132 90 60
1	A1 *	140	165	184	198	200	207	212	226	238	262	262	-	-	-
2	A2 B2 D2 E2 L2 *	8 10 15 15 107	8 12 16 16 125	10 12 16 22 138	10 13 22 147	M22*1,5 M22*1,5	M28*1,5 M35*1,5	12 13 35 40	13 17 M36*2 156	13 17 M42*3 158	13 17 M42*3 178	M42*3 M48*3	M56*3 M48*3	M64*3 M56*3	M72*3 M64*3
3	A3 *	125	145	160	170	177	177	177	188	193	213	213	245	280	305
4	AA BB CC øDD øEE øFF GG	70 9 3 55 75 9 9 12	75 13 3 60 80 9 11 14	90 14 2 90 90 11 16	110 16 4 90 110 117 20	M22*1,5 M22*1,5	M35*1,5 M35*1,5	12 13 35 40	13 17 M36*2 156	13 17 M42*3 158	13 17 M42*3 178	M42*3 M48*3	M56*3 M48*3	M64*3 M56*3	M72*3 M64*3
5	AA BB CC øDD øEE øFF GG	70 9 3 55 75 9 9 12	75 13 3 60 80 9 11 14	90 14 2 90 90 11 16	110 16 4 90 110 117 20	M22*1,5 M22*1,5	M35*1,5 M35*1,5	12 13 35 40	13 17 M36*2 156	13 17 M42*3 158	13 17 M42*3 178	M42*3 M48*3	M56*3 M48*3	M64*3 M56*3	M72*3 M64*3
6	HH øII JJ KK LL	50 15 20 28 20	60 20 15 30 30	70 25 20 35 30	80 30 20 40 40	100 30 20 48 40	110 35 20 52 45	120 40 40 56 50	140 40 30 62 50	160 40 30 67 50	170 40 30 77 50	170 50 60 82 60	190 60 70 92 70	210 70 80 105 80	240 75 75 122 90
7	A7 *	115	133	148	157	159	161	161	171	171	191	191	223	255	280
8	B7	10	11	8	7	10	12	12	13	15	15	15	15	20	20
9	I	10	10	10	12	20	20	15	20	20	20	20	30	30	40

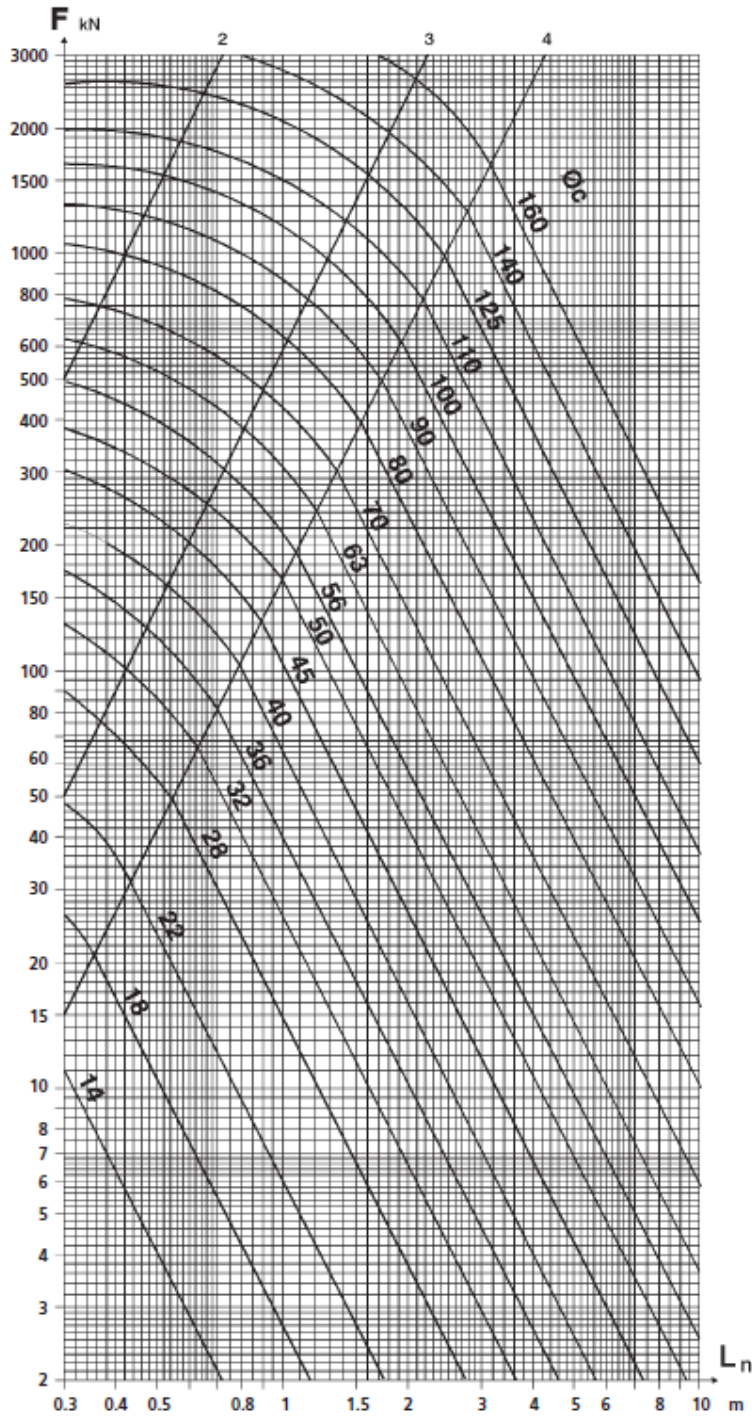
\* - liikkeeseen päätyväimennuksen lisäksi rakennettuaan  
 - liikkeeseen päätyväimennus ei lisää rakennettua

# NURJAHDUKDIAGRAMMI

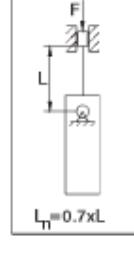
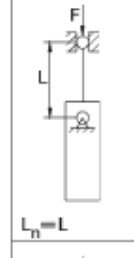
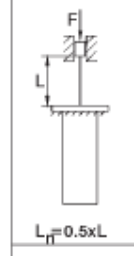
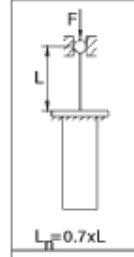
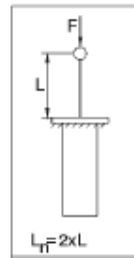
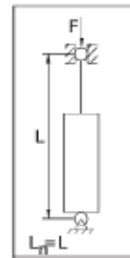
Varmuuskertoimet

$L=2x$ isku+A+B

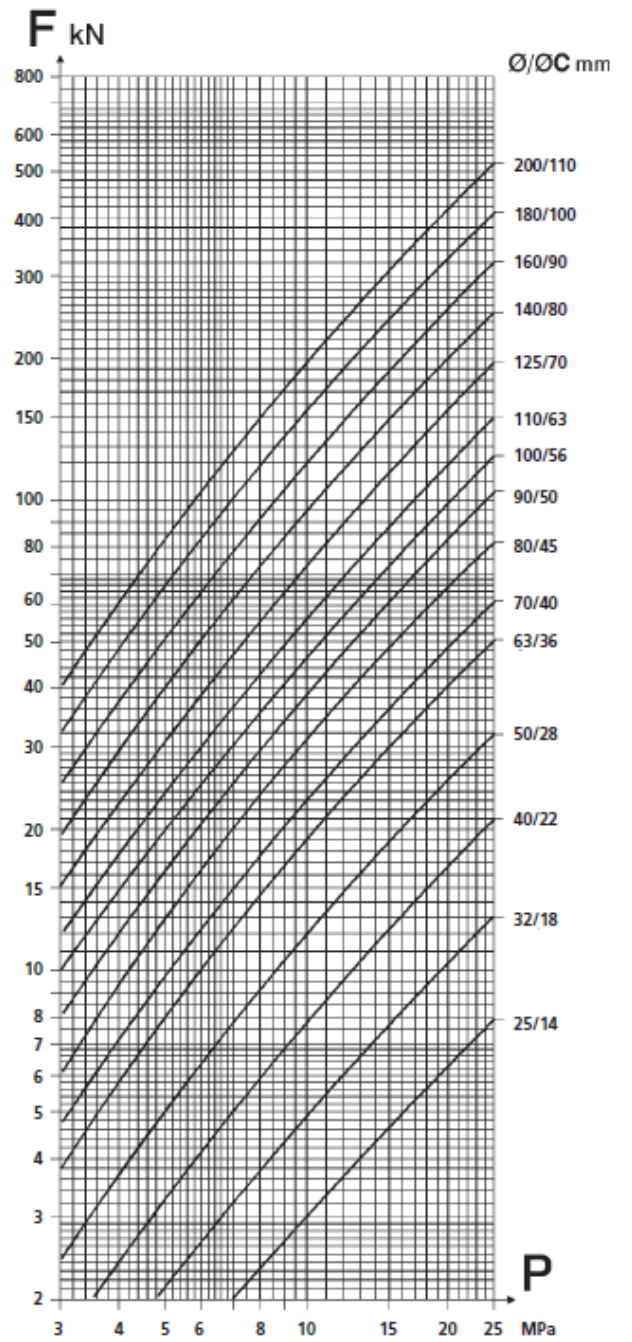
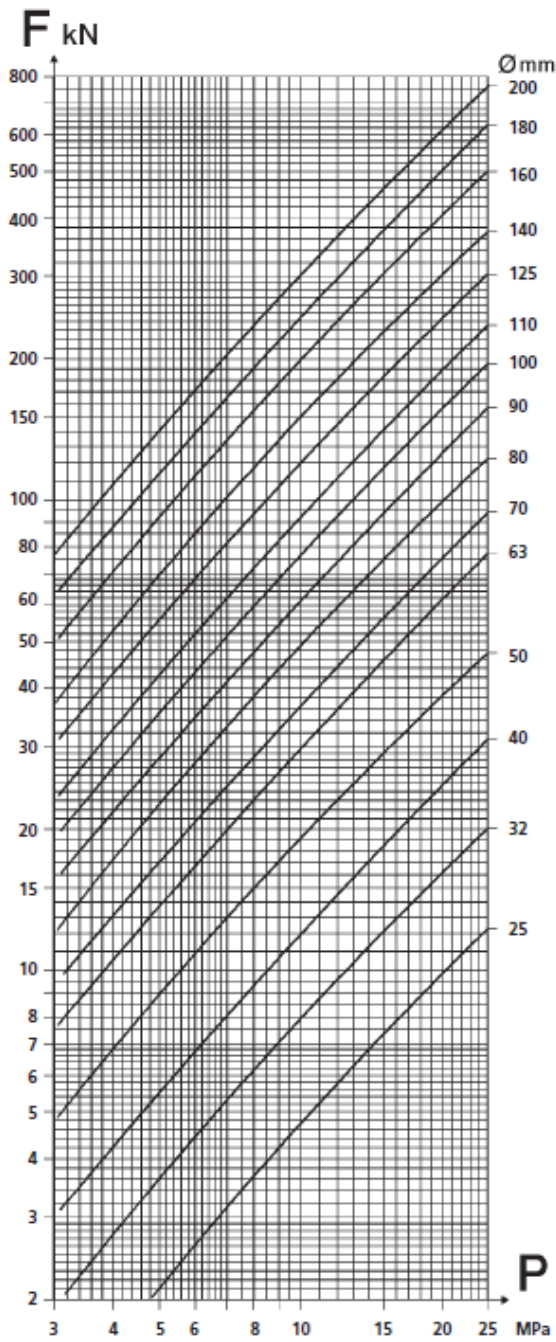
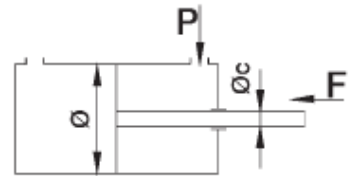
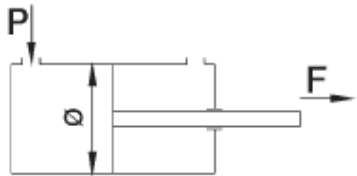
$L=$ isku+A+B



1kN=100kp



# VOIMADIAGRAMMIT



1kN=100kp  
1MPa=10bar

## Elektrodinkääntölaite

Tähän kustannuslaskelmaan on koottu elektrodinkääntölaitteen toteuttamisesta aiheutuvat kustannukset. Laskelma sisältää laitteiston teräsrakenteiden kustannukset, hydraulikomponentit, ja valmistamiseen käytettyjen työtuntien kustannukset. Sähkökomponenttien hinta on arvioitu mukaan kustannuksiin. Lopullinen sähkökomponenttien hinnoittelu jää sähköjärjestelmän suunnittelijan tehtäväksi.

Laitteiston valmistamisesta aiheutuvat kustannukset on pyritty arvioimaan yläkanttiin. Erityisesti hydraulikomponenttien hinta nostaa laitteiston kokonaishintaa, koska tarjouspyyntö tehtiin yksityishenkilönä, ja todellinen hankintahinta on tilaajalle edullisempi.

Laitteiston kokonaiskustannus muodostuu seuraavasti:

Kustannukset osa-alueittain	
Materiaaleista aiheutuvat kustannukset	4 156,31 €
Hydraulikomponenttien kustannukset	4 763,28 €
Asennus- ja muista töistä aiheutuvat kustannukset	7 998,00 €
Laitteiston Kokonaishinta	16 917,59 €

Laitteiston kokonaiskustannukset on esitetty erikseen seuraavissa taulukoissa.

1. Materiaaleista aiheutuvat kustannukset
2. Hydraulikomponenttien kustannukset
3. Asennus- ja muista töistä aiheutuvat kustannukset

## 1. MATERIAALEISTA AIHEUTUVAT KUSTANNUKSET

Materiaali	Tunnus	Määrä	Luovutushinta	Hinta
U-TANKO 160 S235JRG2 DIN 1026	532740	18,5 m	0,81 € /kg	281,72 €
U-TANKO 140 S235JRG2 DIN 1026	532739	21,5 m	1,03 € /kg	354,32 €
PUTKIPALKKI 60X60X4MM S355J2H	538195	28 m	0,98 € /kg	183,85 €
PUTKIPALKKI 120X60X4MM S355J2H	538196	12 m	0,76 € /kg	95,76 €
TERÄSLEVY 6MM S355J2G3 EN 10029	610591	6 m <sup>2</sup>	0,91 € /kg	255,53 €
TERÄSLEVY 8MM S355J2G3 EN 10029	597397	1 m <sup>2</sup>	0,84 € /kg	52,42 €
TERÄSLEVY 10MM S355J2G3 EN 10029	583769	6 m <sup>2</sup>	0,80 € /kg	374,40 €
TERÄSLEVY 15MM S355J2G3 EN 10029	592824	6 m <sup>2</sup>	0,85 € /kg	596,70 €
TERÄSLEVY 20MM S355J2G3 EN 10029		0,49 m <sup>2</sup>	1,50 € /kg*	114,66 €
TERÄSLEVY 40MM S355J2G3 EN 10029		0,11 m <sup>2</sup>	1,50 € /kg*	51,48 €
PYÖRÖTANKO 55MM 42CRMO4 DIN 1013	653059	0,8 m	1,57 € /kg	23,42 €
PYÖRÖTANKO 65MM 42CRMO4 DIN 1013	609336	0,6 m	1,49 € /kg	23,29 €
PYÖRÖTANKO 70MM 42CRMO4 DIN 1013	609382	0,3 m	1,56 € /kg	14,14 €
PYÖRÖTANKO 60MM S355J0 DIN 1013	520276	0,6 m	0,65 € /kg	8,66 €
PYÖRÖTANKO 65MM S355J0 DIN 1013	530680	0,4 m	0,73 € /kg	7,61 €
TERÄSPUTKI 33,7X3MM SFS-EN 10219-2		18 m	3,50 € /m*	63,00 €
TERÄSPUTKI 42,4X3MM SFS-EN 10219-2		12 m	4,55 € /m*	54,60 €
PUTKIKULMA 90° HITSATTAVA 33,7 DIN 2440		5 kpl	1,50 € /kpl *	7,50 €
PUTKIKULMA 90° HITSATTAVA 42,4 DIN 2441		7 kpl	1,80 € /kpl *	12,60 €
TASORITILÄ LT 6000X1000X30MM ZN	624727	1,3 m <sup>2</sup>	283,90 € /arkki	61,51 €
RITILÄASKELMA LT 600X230X30MM ZN	624773	9 kpl	15,47 € /kpl	139,23 €
LAIPPALAAKERI UFC 210	527391	2 kpl	40,40 € /kpl	80,80 €
PERUSMAALI FUTURA 90 VÄRI 814 KELTAINEN	636751	2 kpl	17,36 € /kpl	34,72 €
HITSAUSPUIKKO OK 46.00 3.2X350		8 kg	16,80 € /kg**	134,40 €
Aluslevy, mutterit, pultit, sokat			80,00 € ***	80,00 €
Iskunvaimennin Forkardt SDC 18-50 M			450,00 € ****	450,00 €
Sähkökomponentit			700,00 € *****	600,00 €

Hinta yhteensä 4 156,31 €

*	Materiaalien hintatiedot internetlähteestä osoitteessa: <a href="http://files.kotisivukone.com/riihonrauta.kotisivukone.com/terasvalitys_katalogi_1.pdf">http://files.kotisivukone.com/riihonrauta.kotisivukone.com/terasvalitys_katalogi_1.pdf</a>
**	Hitsauspuikkojen hinnat Etran nettisivuilla osoitteessa: <a href="http://tuotteet.etra.fi/main.html?nodeUid=3211534&amp;catalogUid=2224442&amp;parents=%7C3211530%7C3211531%7C3211532&amp;path=1">http://tuotteet.etra.fi/main.html?nodeUid=3211534&amp;catalogUid=2224442&amp;parents=%7C3211530%7C3211531%7C3211532&amp;path=1</a>
***	Ylhinnoiteltu arvio kiinnittimien kokonaishinnasta
****	Ahlsellin tarjous nro 729956-1-2, sisältää toimituksen
*****	Yhinnoiteltu arvio sähkökomponenttien hinnasta

## 2. HYDRAULIKOMPONENTTIEN KUSTANNUKSET

Osa	Määrä	Luovutushinta	Hinta
Hydraulisylinteri A00063/032*0150 A-A	1 kpl	410,67 € /kpl*	410,67 €
Hydraulisylinteri A00050/036*0400 A-A	1 kpl	380,00 € /kpl*	380,00 €
Hydraulisylinteri A00050/028*0150 A-A	1 kpl	360,00 € /kpl*	360,00 €
Kaksoisvastusvastaventtiili Z2FS6-2-4X/2Q	3 kpl	220,00 € /kpl*	660,00 €
Sulkuventtiili Z2S6-1-6X	3 kpl	260,00 € /kpl*	780,00 €
Suuntaventtiili 4WE6 E6X/EG24N9XNK4	3 kpl	366,00 € /kpl*	1 098,00 €
Paineenrajoitusventtiili ZDB6VP1-4X/200V	1 kpl	294,00 € /kpl*	294,00 €
Venttiililohko NK6308SRFX POHJALAATTA NK6/3 SIVULÄHTÖ R1/2	1 kpl	250,00 € /kpl*	250,00 €
TARKKUUSTERÄPUTKI 16X2 ST52.4 DIN 2391	10 m	7,23 € /kg	50,61 €
Letkuasennemat 222T-08, A99001-08-08 päällä	6 kpl	60,00 € /kpl**	360,00 €
Liittimet, nipat, tarvikkeet		120,00 € ***	120,00 €

Hinta yhteensä 4 763,28 €

*	Ahlsellin tarjous nro 729956-1-2, sisältää toimituksen
**	Hinta-arvio Outokummulla puristeille letkuille. Arvion perustana nettisivu: <a href="http://kotisivukone.fi/files/hydropiste.kotisivukone.com/hop_hydrauliikkatuoteluettelo_2009_web.pdf">http://kotisivukone.fi/files/hydropiste.kotisivukone.com/hop_hydrauliikkatuoteluettelo_2009_web.pdf</a>
***	Ylihinnoiteltu arvio liittimien, nippojen ja tarvikkeiden kokonaishinnasta

## 3. ASENNUS- JA MUISTA TÖISTÄ AIHEUTUVAT KUSTANNUKSET

Työ	Tunnit	Tuntihinta	Hinta
Levyosien polttoleikkaus korjaamalla	16 h	43,00 € /tunti*	688,00 €
Palkkien saahaminen määrämitta	36 h	43,00 € /tunti*	1 548,00 €
Rakenteiden hitsaaminen	42 h	43,00 € /tunti*	1 806,00 €
Laitteiston kokoonpano	24 h	43,00 € /tunti*	1 032,00 €
Laitteiston maalaus	8 h	43,00 € /tunti*	344,00 €
Hydrauliikan asennus	12 h	43,00 € /tunti*	516,00 €
Sähköjärjestelmän suunnittelu	24 h	43,00 € /tunti*	1 032,00 €
Sähköjärjestelmän toteutus	12 h	43,00 € /tunti*	516,00 €
Laitteiston testaus- ja säätö	12 h	43,00 € /tunti*	516,00 €

Työtunnit yhteensä 186 h    Hinta yhteensä 7 998,00 €

Arvidoidut työtuntimäärät miestyötunteja, tilaaja voi tarvittaessa tarkentaa tuntimääriä

\* Laskennallinen tuntikustannus Outokummulla

**LUE KÄYTTÖOHJEET KOKONAISUUDESSAAN  
HUOLELLISESTI ENNEN LAITTEISTON KÄYTTÖÄ!**

## **Elektrodinkääntölaitteisto (EKL)**

Elektrodinkääntölaitteisto on suunniteltu elektrodisauvojen kääntämiseen. Laitteistossa käännettäväksi soveltuvia elektrodisauvoja ovat 24T4-malliset, 600 mm nimellishalkaisijaltaan olevat elektrodisauvat, ja pidemmällä liitososalla varustetut 24T4L-malliset elektrodisauvat.

Laitteiston turvallisen käytön kannalta on oleellista että laitteiston käyttäjä ymmärtää ja noudattaa annettuja käyttöohjeita yksityiskohtaisesti. Käyttäessäsi laitteistoa noudata seuraavia käyttöohjeita

1. Ennen laitteiston käyttöä käyttäjän tulee varmistaa että laitteisto on kokonaisuudessaan ehjä, eikä esimerkiksi rakenteessa ole murtumia tai hydraulijärjestelmässä vuotoja. Mikäli laitteistossa havaitaan puutteita tai vikoja, ei laitteistoa saa käyttää. Käyttäjän on varmistettava, ettei laitteistossa, tai sen välittömässä läheisyydessä ole sinne kuulumatonta materiaalia, kuten työkaluja tai muita laitteistoon kuulumattomia esineitä.
2. Nosta elektrodipakkaus (2 elektrodia) elektrodipöydälle, niin että elektrodien liitososa osoittaa oikealle. Aja elektrodisauvojen päät rauhallisesti trukin piikkien sivuttaisliikkeellä vasten oikealla olevaa ohjainlevyä. Laske elektrodisauvat rauhallisesti lähelle elektrodipöydän pintaa. Vedä elektrodisauvat rauhallisesti pystytolppia vasten ja varmista että elektrodit jäävät suoraan linjaan pöydän etuosaan nähden. Pura elektrodipakkaus. Ota elektrodin kierteellisestä päästä tukeva ote ja kierrä rauhallisesti elektrodit yksi kerrallaan kaltevalle pinnalle.
3. Toista vaihe 2 tarvittaessa. Elektrodipöydällä saa olla kerrallaan korkeintaan 6 elektrodisauvaa.



4. Tarkista että turvapainike on nostettuna. Kytke hydraulikoneikkoon sähkövirta kääntämällä päävirtakatkaisija ON-asentoon.
5. Aja kääntökehto vaaka-asentoon painamalla painiketta Kääntökehto / Vaakaan. Aja liikettä pitämällä painiketta pohjassa, kunnes kääntökehto ei enää liiku ja kääntökehto on vaakatasossa vasten ylätukea.
6. Avaa lukitusvarsi painamalla painiketta Lukitusvarsi / Auki. Pidä painiketta painettuna kunnes lukitusvarsi on täysin auki, eikä se enää liiku.
7. Vapauta ensimmäinen elektrodisauva painamalla painiketta Pysäytin / Alas. Pidä painiketta painettuna kunnes pysäytin on ala-asennossaan, ja elektrodisauva on vierinyt kääntökehtoon. Kun elektrodisauva on kehossa, paina painiketta Pysäytin / Ylös, ja pidä painiketta painettuna, kunnes pysäytin on yläasennossa.
8. Laske lukitusvarsi vasten elektrodisauvaa painamalla painiketta Lukitusvarsi / Kiinni. Pidä painiketta painettuna, kunnes lukitusvarsi on täysin kiinni.
9. Käännä elektrodi pystyasentoon painamalla painiketta Kääntökehto / Pystyyn. Pidä painiketta painettuna, kunnes kääntökehto on pystyasennossa, vasten alatukea.