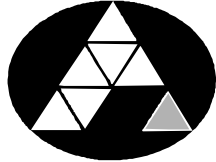


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Olli Romppanen ja Sauli Timoskainen

RAKENNUSNOSTURIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Joulukuu 2011



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2011
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)

Olli Romppanen, Sauli Timoskainen

Nimeke

Rakennusnosturin suunnittelu

Toimeksiantaja

Pielisen Puutaikurit Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella rakennusnosturi Pielisen Puutaikurit Oy:lle. Nosturia käytettäisiin lähinnä hirsitalotyömailla tapahtuviin nostotöihin. Nosturi on suunniteltu maksimissaan 500 kg kuorman nostamiseen. Nosturin pitää olla helposti siirrettävissä, suhteellisen yksinkertainen ja edullinen valmistaa.

Työssä käytettiin apuna osia systemaattisesta ja intuitiivisesta suunnittelumetodeista. Mallinnuksessa käytettiin PTC-PRO/ENGINEER-suunnitteluohjelmaa. Alustavat lujuuslaskut tehtiin käsin ja lopulliset PRO/Mechanica-lujuuslaskentaohjelmaa apuna käyttäen.

Lopputuloksena saatiin nosturin valmistuspiirustukset ja lujuuslaskelmat. Ennen lopullista tuotetta nosturista valmistetaan prototyyppi, jota ei ehditty valmistaa tämän opinnäytetyön aikana. Tästä syystä nosturin toimivuudesta käytännössä ei ole vielä kokemusta. Nosturista saatiin toimeksiantajaa tyydyttävä kokonaisuus, vaikka jouduimmekin tekemään joitakin myönnytyksiä.

Lopputulos on vasta prototyyppi, koska käytännön kokeita nosturille ei ole vielä tehty. Opinnäytetyö antaa hyvän pohjan mahdollista tuotteen jatkokehitystä ajatellen.

Kieli

suomi

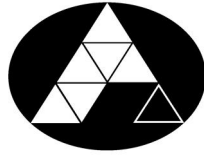
Sivuja 71

Liitteet 2

Liitesivumäärä 55

Asiasanat

nosturi, tuotekehitys, lujuuslaskut



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS

December 2011

**Degree Programme in Mechanical
and Production Engineering**

Karjalankatu 3

80200 JOENSUU

Tel. (013) 260 6800

Author(s)

Olli Romppanen, Sauli Timoskainen

Title

Designing a construction crane

Commissioned by

Pielisen Puutaikurit Oy

Abstract

The goal of this thesis was to design a construction crane for Pielisen Puutaikurit Oy. The crane is mainly to be used for lifting in log house construction sites. The crane is designed for maximum of 500 kg loads. The crane is to be easily moved, relatively simple and inexpensive to make.

We used parts of systematic and intuitive designing methods. In modelling we used PTC- PRO/ENGINEER designing program. Preliminary strength calculations were made by hand and finally by PRO/Mechanica program.

As a final product we got drawings for the crane and strength calculations. Before final product a prototype of the crane will be built, which we didn't get to make for the thesis. For this reason there is no practical information about the functionality of the crane. The commissioner was pleased with the crane, even though we had to let some things go.

The end result is only a prototype because practical trials are not performed. The thesis offers a good base for further product development.

Language

Finnish

Pages 71

Appendices 2

Pages of Appendices 55

Keywords

crane, structural analysis, research and development

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto.....	5
1.1 Opinnäytetyön tavoite ja rajaus.....	5
1.2 Yritysesittely	6
3 Nosturiin liittyvät vaatimukset	7
4 Tuotekehitys	8
4.1 Intuitiivinen koneensuunnittelu	8
4.2 Systemaattinen suunnittelumetodi.....	10
5 Ratkaisuvaihtoehtojen etsiminen osatoiminnoille	18
6 Lujuuslaskut.....	23
6.1 Nosturin tasapaino ja vastapainot.....	46
6.2 Laakerin valitseminen nosturiin	52
7 FEM-lujuuslaskentamenetelmä	59
8 FEM-lujuuslaskut.....	61
9 Nosturin kustannukset.....	65
10 Pohdinta.....	68
Lähteet.....	70

LIITTEET

Liite 1 Kokoamisohjeet

Liite 2 Piirustukset

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella käsikäyttöinen rakennusnosturi, pääasiassa hirsitalotyömailla tapahtuviin nostotöihin. Työn toimeksiantaja on Pielisen Puutaikurit Oy. Aikaisemmin yritys on vuokrannut autonosturin tarvittaessa. Yrityksen tarpeisiin soveltuvien nostureiden tarjonta on erittäin vähäinen ja niiden hinta on todella korkea. Tarkoitukseen soveltuvat valmiit nosturit ovat myös hieman liian isoja yrityksen tarpeisiin. Tehtäväksi muodostui nosturi joka pystyi nostamaan suhteellisen kevyen kuorman korkealle.

Työhön kuului kokonaistoimintojen jako osatoimintoihin ja parhaiden toimintovaihtoehtojen vertailu ja valinta. Kun mielestämme parhaat vaihtoehdot oli valittu, alkoi suunnittelu, lujuuslaskenta ja mallintaminen.

Suunnittelussa käytettiin systemaattisen suunnittelun metodologia VDI 2222. Toteutimme suunnittelun neljässä vaiheessa: suunnittelun käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Mallintamiseen ja lujuuslaskentaan käytettiin Pro/ENGINEER 3D –mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa.

Toimeksiantajan kanssa sovimme, että keskitymme suunnittelussa nosturin runkoon ja nostolaitteisto hankitaan mahdollisuuksien mukaan valmiina. Nosturiin vaadittavien vastapainojen tarkempia mittoja tai piirustuksia ei tässä opinnäytetyössä nähty tarkoituksenmukaiseksi tehdä. Toimeksiantajalle riitti pelkkä vaadittava vastapainojen massa. Koska nosturi on suhteellisen suuri ja kallis valmistaa, toimeksiantaja katsoi parhaaksi valmistaa prototyypin pienemmässä mittakaavassa varmistuakseen, että nosturi soveltuu käyttötarkoitukseen.

1.2 Yritysesittely

Yritys on aloittanut toimintansa vuonna 2007 nimellä Osuuskunta Puutaikurit. Loppuvuodesta 2007 yhtiömuoto jouduttiin muuttamaan osakeyhtiöksi yhden osakkaan erottua ja nimi muutettiin Pielisen Puutaikurit Oy:ksi. Yhtiön toimialana on rakennuspuusepän asennukset, erilaiset tilauspuusepäntuotteet ja rakentamispalvelut. Yrityksen valmistamia tuotteita ovat mm. erilaiset massiivipuukalusteet, keittiökalusteet ja rakennuspuusepäntuotteet. Tämän lisäksi yrityksen palveluihin kuuluvat pinnankäsittelypalvelut, erikoispuunkaadot sekä pientaloelementti- ja hirsitalojen asennustyöt. Yrityksen kotipaikkana on Lieksa. Yrityksen toiminta on painottunut nykyisin enemmän rakennustyöpalveluihin n. 70 % ja tilauspuusepäntuotteisiin n. 30 %.

3 Nosturiin liittyvät vaatimukset

Suunnittelutyö aloitettiin selvittämällä nosturia koskevat vaatimukset ja toivomukset toimeksiantajalta. Nostokorkeus maanpinnasta tuli olla noin 8000 mm ja sivuulottuvuus noin 6000 mm. Tämän lisäksi nosturin pitäisi pystyä nostamaan 250 kg - 500 kg kuorma. Nosturi piti suunnitella niin, että sen kokoaminen olisi mahdollisimman yksinkertaista ja sen osien kuljettaminen olisi mahdollista henkilöauton peräkärryllä. Nosturia käytetään sekä kesällä että talvella ulkokäytössä, joten suunnittelussa täytyy ottaa huomioon mahdolliset sääoloista aiheutuvat ongelmat. Nosturin piti tietenkin olla mahdollisimman käyttövarma ja turvallinen, että mahdolliset vaaratilanteet voidaan välttää.

Työnjako

Seuraava työnjako on melko karkea, mutta kertoo kuka teki suurimman osan kustakin osa-alueesta. Teimme yhteistyötä varsin paljon kaikissa tehtävissä. Listasta puuttuvat ideointi ja viimeistely, koska teimme ne täysin yhteistyönä

- tiedonhaku Olli
- mallintaminen Olli & Sauli
- lujuuslaskut Olli & Sauli
- FEM Sauli
- teksti Olli & Sauli
- laakerilaskut Olli
- piirustukset Olli & Sauli
- ohjeet Sauli

4 Tuotekehitys

Tuotekehityksellä on todella tärkeä rooli yrityksen markkina-aseman ja kilpailukyvyn säilyttämisessä nykyisin jatkuvasti muuttuvilla markkinoilla. On tärkeää, että yritykset panostavat tuotekehitykseen, sillä uudet ja nykyaikaiset tuotteet varmistavat suuren asiakaskunnan kiinnostuksen. Tuotekehitystyö on toimintaa, jossa pyritään kehittämään täysin uusi tuote, tai parantamaan jo ennestään valmiina olevaa tuotetta niin, että siitä tulee entistä parempi teknisesti ja kustannustehokkaampi. Tuotekehitykseen sisältyy useita eri vaiheita ja prosesseja ennen kuin tuoteideasta saadaan tehtyä valmis tuote. Vaiheita ovat muun muassa: markkinatutkimukset, tuotteen luonnostelu, yksityiskohtainen suunnittelu, työpiirustusten ja käyttöohjeiden laatiminen sekä tuotantomenetelmien kehittäminen. Tuotteen kehitystyötä voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta, esim. suunnittelijan, asiakkaan ja tuotannon näkökulmasta. Kaikkia tyydyttävän lopputuloksen saavuttamiseksi on kuitenkin tärkeää, että kaikki osapuolet osallistuvat tuotteen kehitykseen. [1, s. 4-7.]

Tuotekehityksessä ja koneensuunnittelussa käytetään yleensä pääasiassa kahta erilaista suunnittelumetodia, jotka ovat intuitiivinen luova suunnittelumetodi ja systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222. Seuraavaksi vertaillaan hieman näitä kahta erilaista lähestymistapaa tuotekehitysongelman ratkaisemiseen.

4.1 Intuitiivinen koneensuunnittelu

Intuitiivinen luovan työn malli perustuu alitajunnan tehokkaaseen käyttöön. Ajattelumalli lähtee ajatuksesta, että alitajunta on joka tapauksessa se alue, missä oivallus tapahtuu. Ominaista intuitiiviselle suunnittelulle on se, että siinä pyritään välttämään kaikin tavoin liian pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Oivallukset tapahtuvat alitajunnassa. Ihminen ei voi tietoisesti ohjata alitajuntaansa, mutta voi luoda suotuisat olosuhteet oivalluksen synnylle. Syntyäkseen oivallus tarvitsee jännitteen, jota kutsutaan intuitiiviseksi jännitteeksi. Edellytyksenä tämän jännitteen muodostamiselle vaaditaan tehtävän riittävä määrittely, vastaanottaminen, analysointi ja sisäistäminen. [2, s. 4–10.]

Työn alkaessa on tietämys tehtävästä aluksi hyvin puutteellinen. Analysoimalla ja perehtymällä tehtävän ratkaisuperusteisiin suunnittelijalle rakentuu alitajuntaan tietotihentymiä eli ns.heuristisia pisteitä. Intuitiivinen metodi ei tyydy valitsemaan pelkästään valmiita ennalta keksittyjä ratkaisuja, vaan pyrkii oppimaan niistä lisää. Intuitiivinen toiminta tarkoittaa alitajunnan käyttöä tietoisien tajunnan rinnalla. Ihminen voi lisätä kykyään ohjata alitajuntaansa aktiivisesti ja tällä tavalla lisätä luovuuttaan. Voidaan myös sanoa, että kaikissa oivalluksissa on kyse tapahtumasta alitajunnassa. Tuomaalaan mukaan tieto on alitajunnassa lyhyinä alkioina. Nämä alkiot saattavat muodostaa verkkoja kytkeytymällä toisiinsa. Tämä muodostuva verkko edustaa oivallusta, ja mitä laajempi tämä verkko on, sitä laajempi kokonaisuus on oivallettu. Kun meillä on tarkoituksena ratkaista jokin ongelma, tarvitsemme siihen jännitteen, jonka ansiosta tietoalkiot pyrkivät rakentumaan verkoksi, ja tätä kautta muodostamaan oivalletun ratkaisun ongelmaan. [2, s. 13–20.]

Tämä jännite aikaansaadaan asettamalla jokin tavoite ja kehittämällä tahto tavoitteen saavuttamiseksi. Yleensä nämä tietoalkiot ovat jo valmiina alitajunnassamme. Joskus kuitenkin varsinkin nuorilla tietoalkioita ei löydy riittävästi, jolloin jännityksen myötä syntyvä ratkaisu voi olla epäkypsä ja väkinäinen. Oivallus ei synny itsestään vaan sen syntymiseen tarvitaan myös työtä ja aikaa. Verkkoa on useasti täydennettävä hankkimalla lisätietoja ongelmasta. Kaikkein vaativimmissa ongelmissa reitille on rakennettava tietotihentymiä, joita kutsutaan heuristisiksi pisteiksi. Heuristinen piste on tietotihentymä, joka muodostetaan tutkimalla jotain kokonaisuuteen liittyvää yksityiskohtaa. Pistettä ei pyritä liittämään tietoisesti mihinkään. [2, s.14–15.]

Yleensä jokainen tehtävä aloitetaan matalassa jännityksessä, joka vaatii lisää tiedonhankintaa. Määräajan lähestyessä tämä jännite ja oivalluksen todennäköisyys kasvavat. Hätätilanteessa on normaalia, että jännitys kohoaa nopeasti liian suureksi ja oivallus syntyy käyttäen sillä hetkellä käytettävissä olevia reittejä. Tästä on esimerkkinä auton lähteminen yllättäen sivuluisuun. Jos oivallukselle ei löydy reittiä, ainoa tulos on paniikki, josta seuraa lukkojarrutus. Monesti tehtävässä muodostuu ongelmaksi juuri sopivan jännitteen luominen. Tämä on normaalia varsinkin silloin jos tehtävän tekijä on kokematon, tehtävä on vieras eikä siinä ole mitään tuttuja kohtia mistä ottaa kiinni. Tällöin apuna voi yrittää lisätiedon hankintaa, jonka kautta muodostuu ensimmäinen heuristinen piste, joka voi synnyttää tarvittavan jännitteen. On pidettävä mielessä myös se, että mikään suunnittelutyö ei valmistu pelkästään oivallusta odottelemalla, vaan siihen vaaditaan

myös paljon perinteistä ns. rutiiniväitöä. Oivallusta on turha odotella, jos sille ei ole annettu tarvittavia edellytyksiä toteutua etsimällä ja analysoimalla tietoa tarvittavalta alueelta. [2, s. 29–34.]

4.2 Systemaattinen suunnittelumetodi

Systemaattinen suunnittelumetodi VDI 2222 jakautuu neljään perusvaiheeseen :

- 1) tehtävän asettelu
- 2) luonnostelu
- 3) kehittäminen
- 4) viimeistely.

Tämän jaottelun tarkoituksena on varmistaa kypsän ratkaisun syntyminen. Tarkoituksena on estää tapaus, jossa työn valmistettua siinä havaitaan selviä puutteita. Systemaattinen suunnittelumetodi sai alkunsa Saksan metalliteollisuudessa ja korkeakouluissa, joissa 1960-1970-luvulla tutkittiin paljon tuotekehitystä ja sen kehittämistä. Teollisuudessa oli pulaa ammattitaitoisista suunnittelijoista ja haluttiin löytää keinoja, joilla nuorten insinöörien suunnittelun laatua voitiin tehostaa. Tuloksena syntyi standardit VDI 2221 ja VDI 2222. Aikaisemmin yritysjohto ei ollut saanut minkäänlaista otetta koneiden suunnitteluun, jolloin suunnitteluun menevää aikaa ja työmäärää ei osattu arvioida. Koneen suunnittelutyö systemoitiin, varustettiin arviointimenetelmin ja vaiheistettiin. [3, s. 48-52.]

Metodille on ominaista, että jokaisen päävaiheen välillä päätetään kehitetäänkö tuotetta vielä, vai siirrytäänkö jo seuraavaan vaiheeseen. Jos tehdyt ratkaisut eivät tunnu oikeilta, jokaisen vaiheen jälkeen työ voidaan keskeyttää tai palata takaisin aiempiin vaiheisiin. Perusajatus on se, että kehitettävä tuote on ylimmällä tasolla mitä sanotaan kokonaistoiminnoiksi. Tämän jälkeen osatoiminto jaetaan osatoiminnoiksi.

Tehtävänasettelu

Ensimmäinen vaihe tuotteen järjestelmällisessä suunnittelussa on tehtävänasettelu. Tällöin tehdään asiakaskyselyjä ja markkinatutkimuksia yrittäen ottaa selvää, mitä asiakas todella haluaa, ja minkälaisia vaihtoehtoja markkinoilla on tällä hetkellä asiakkaalle. Myös projektia koskeviin standardeihin ja lainsäädäntöön tutustutaan. Tehtävänasetteluvaiheessa asetetaan ja esitetään tuotteelle kaikki tavoitteet ja vaatimukset. Tuloksena näistä toimista syntyy sanallinen kuvaus kehitettävästä tuotteesta, vaatimusluettelo, laatukaavio ja päätös projektin jatkamisesta. Olennaista tässä vaiheessa on, että kaikille tuotekehitysprojektiin osallistuville on määritetty yhteinen tavoite. Teknisten vaatimusten lisäksi pitää huomioida projektin yleiset tavoitteet, kuten esimerkiksi projektin taloudellinen tavoite, sillä se määrää rajan lopputuotekustannukselle. Teknisten rajoitusten ohella on otettava huomioon myös kuljetuksen, valmistuksen, asennuksen ja käytön asettamat rajoitukset. [1, s.14.]

Nykyisin yritys on joutunut vuokraamaan autonosturin työmaalle aina sitä tarvittaessa. Markkinoilla on kyllä monentyyppisiä ja kokoisia nostureita, mutta juuri tämän kokoluokan laitetta on vaikea löytyä. Suurin osa valmiista nostureista on tarpeettoman isoja yrityksen tarpeisiin ja tämän myötä myös hinta on liian korkea.

Vaatimuslista

Vaatimuslista sisältää tuotteen kuvauksen ja erittelyn niin, että lopullinen tulos vastaa kaikkia sille annettuja odotuksia. Päätarkoituksena on, että vaatimuslistasta selviää mitä tavoitteita tuotteen tulee täyttää, mitä ominaisuuksia siinä tulee olla ja mitä ominaisuuksia sillä ei saa olla.

Listassa luokitellaan vaatimukset kolmeen ryhmään. Kiinteät vaatimukset (KV) on pysyttävä täyttämään kaikissa tilanteissa. Vähimmäisvaatimuksilla on jokin raja-arvo, jonka ylittäminen on suositeltavaa. Toivomukset (T) huomioidaan mahdollisuuksien mukaan. Vaatimuslista on tärkeä osa systemaattista metodia, varsinkin jos työ jakautuu suuremman ryhmän kesken. Sillä varmistetaan, että suunnittelu todella keskittyy tavoitteiden mukaiseksi. [3, s. 64; 2, s.80–81.]

Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa muodostetaan kokonaiskuva tuotteesta tehtävän asettelun erittelyn ja luonnosteluvaiheen luovan työskentelyn pohjalta ja yritetään tuottaa useita mahdollisia tuotevaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi ja yrittää hyödyntää jo olemassa olevia ratkaisuja ja kokemuksia mahdollisimman monipuolisesti. Luonnosteluvaiheessa keskitytään käsiteltävien ongelmien abstrahointiin ja toimintorakenteiden laadintaan ja hyödynnetään tuotekehityksen tekniikoita. Luonnosteluvaiheessa voidaan käyttää apuna intuitiivisia menetelmiä. Näissä menetelmissä hyödynnetään muilla aloilla esiintyvien ilmiöiden samankaltaisuutta ja alitajunnasta tulevien mielleyhtymien tietoisuuteen tuleamista. Näille menetelmillä on normaalia, että ratkaisut tulevat yhtäkkiä kuin salama kirkkaalta taivaalta. Tärkeää on, että ei tyydytä ensimmäiseen käyttökelpoiseen ideaan, vaan ideoita tulee etsiä runsaasti. Tällöin hyvien ideoiden todennäköisyys kasvaa. Ideoiden etsiminen ja arvostelu on pidettävä erillään toisistaan ja on pyrittävä tietoisesti irtautumaan totutuista ratkaisuista. [1, s. 26–28.]

Abstrahointi

Monesti uutta tuotetta kehittäessä syntyy ennakkoluuloja ja tottumuksia, jotka voivat vaikeuttaa kehitystyötä. Vanhoissa ratkaisuissa pysyminen ja riskien välttäminen voi kuitenkin pahimmassa tapauksessa estää hyvän, mutta jollakin tapaa epätavallisen ratkaisun läpimurron, vaikka tämä voisi hyvinkin olla parempi kuin jo vanhat totut ratkaisuperiaatteet. Tämän takia optimiratkaisua hakiessa ei tule pitäytyä vanhoissa ennakkoluuloissa ja vanhoissa ”turvallisissa” ratkaisuissa vaan kannattaa ehdottomasti harkita uudenaikaisia ratkaisuja ongelman ratkaisuun. Näin ennakkokäsityksistä päästään eroon ja tavanomaisista ratkaisuista päästään eroon abstrahoinnin avulla [3, s. 72-73.]

Abstrahoinnissa tarkoituksena on yksinkertaistaa ongelmien tavoitteet niin, että tehtävän ydinolemus tulee esille mahdollisimman selvästi. Vasta tämän jälkeen kun tehtävän ydinolemus ja sen toiminnalliset yhteydet ja vaatimukset on selvitetty saadaan selvitettyä todellinen ongelma, jolle etsitään ratkaisua. Menetelmän avulla pyritään löytämään ongelman ydinolemus abstraktilla tasolla sitoutumatta tässä vaiheessa mihinkään ratkaisuun. Tämän avulla pyritään tuomaan luonnosteluvaiheeseen lisää intuitiivisuutta ja heuristisuutta. [1, s. 24–25.]

Abstrahointiprosessi:

Aluksi analysoidaan vaatimuslistan toiminnot ja reunaehdot tehtävän ydinolemuksen täsmentämiseksi.

Tämän jälkeen otetaan seuraavat askeleet:

1. Jätetään ajatuksista toivomukset pois.
2. Jätetään pois sellaiset vaatimukset, jotka eivät välittömästi koske toimintaa ja oleellisia ehtoja.
3. Määrälliset toteamukset muutetaan laadullisiksi ja supistetaan oleelliseen pitäytyviksi lausumiksi.
4. Laajennetaan mielekkäästi tähän saakka tunnettua.
5. Muotoillaan ongelma ratkaisun nähden neutraalisti.
6. Käytännön tuloksena abstrahoinnissa on määritelmä kehitettävän tuotteen kokonaistoiminnoksi.

[1, s. 25.]

Luonnostelun työaskeleet

Aluksi muodostetaan toimintorakenne jakamalla kokonaistoiminto päätoiminnoiksi ja edelleen osatoimintoihin. Tämän jälkeen mietitään osatoiminnoille erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, joista laaditaan ns. morfologinen matriisi. Ratkaisuvaihtoehtoista yhdistellään osatoiminnoille järkeviä kokonaistoimintoja. [2, s. 80–85.]

Näin saatuja kokonaisratkaisuja arvioidaan seuraavaksi valintataulukon avulla, jonka tuloksena valitaan muutama kokonaisratkaisu eteenpäin kehitettäväksi. Näistä valituista ratkaisuista laaditaan näköisluonnoksia, jonka jälkeen kehitelmät arvioidaan jatkokehittelyyn menevän ratkaisun valitsemiseksi. Lopuksi näiden vaiheiden jälkeen saadaan tuoteluonnos, jota aletaan seuraavassa vaiheessa kehittää lopulliseksi tuotteeksi. [1, s. 26–28.]

Kehittely

Kehittelyvaiheessa rakennetaan kehitettävän tuotteen rakenne lopulliseksi ja täydelliseksi rakennemuodoksi, joka saa alkunsa vaikutusrakenteista tai periaateratkaisuista. Tällöin rakenne saa lopullisen muotonsa. Kehittelyvaiheen lähtökohtana on luonnosteluvaiheessa tehdyt periaateratkaisut. Viimeistään tässä vaiheessa valitaan :

- materiaalit
- valmistusmenetelmät ja
- lopullisen kokonaistuotteen päämitat.

Kehittelyvaiheessa syntyy mittakaavaan piirretty luonnos, jossa kaikki osarakenteet ovat tarkasti oikeassa mittakaavassa ja yhdistettynä toisiinsa kokoonpanokuvaksi. Selvillä pitää olla täydellinen mitoitus toleransseineen sekä materiaalit ja käsittelyt. [1, s. 43.]

Rakennemuotoilu

Rakennemuotoilussa tulisi noudattaa kolmea pääsääntöä. Nämä pääsäännöt ovat yksikäsitteinen, yksinkertainen ja turvallinen. Näiden pääsääntöjen huomiotta jättäminen voi johtaa erinäisiin haittoihin, vahinkoihin ja virheisiin. Tämän takia näitä sääntöjä voidaan pitää tärkeänä perustana jokaiselle kehittelyn työaskeleelle.[3, s. 184.]

Pääsäännöt yksikäsitteinen, yksinkertainen ja turvallinen voidaan johtaa yleisistä tavoitteen asettelusta:

- teknisen toiminnon toteuttaminen
- taloudellinen toteuttaminen ja
- ihmisen ja ympäristön turvallisuus. [3, s. 184.]

Yksikäsitteisyyden huomioonottaminen auttaa vaikutuksen ja käyttäytymisen luotettavaa ennakkointia ja säästää monissa tapauksissa aikaa ja laajoja tutkimuksia.

Yksinkertaisuus varmistaa monesti tuotteen taloudellisuuden. Yksinkertaiset rakennemuodot ja osien pieni lukumäärä helpottavat nopeaa ja kunnollista valmistusta.

Turvallisuuden vaatimus pakottaa käsittelemään johdonmukaisesti kestävyys, luotettavuuden, tapaturmavaarattomuuden sekä ympäristön suojelun kysymyksiä.

Näiden kolmen pääsäännön toteuttaminen luo monia hyviä toteuttamismahdollisuuksia. Näillä säännöillä vastataan toiminnon toteuttamisesta, taloudellisuudesta ja turvallisuuden vaatimuksista ja sidotaan nämä asiat toisiinsa. Ilman näiden asioiden yhdistämistä tuskin saavutetaan tyydyttävää ratkaisua. [3, s. 184.]

Yksikäsitteisydessä pyritään kokonaisuuteen, jossa osatoiminnoilla ja niiden tulo- ja lähtösuureilla on selkeä tehtävänjako. [3, s. 184.]

Yksinkertaisuudella pyritään toteuttamaan toimintorakenne mahdollisimman pienellä osatoimintojen lukumäärällä. Yksinkertainen rakenne on monesti myös turvallinen. Valmistuksen kannalta yksinkertaisuus tarkoittaa sujuvia geometrisia muotoja ja mahdollisimman vähäisiä valmistusvaiheita. Yksinkertaisuudella varmistetaan monesti myös ratkaisun taloudellisuus.[1, s. 47.]

Konedirektiivin mukaan turvallisuus tarkoittaa teknisen toiminnon toteuttamista siten, että ihmiseen ja hänen ympäristöönsä kohdistuvat vaarat pienenevät kolmiasteisen metodin mukaisesti:

1. Sovellettava tekniikka itsessään on turvallista, eli kone on rakennettu turvallisuusperiaatteiden mukaisesti.
2. Tarkoittaa suojalaitteita ja – järjestelmiä, joita käytetään, kun vaaroja ei pystytä edellisen kohdan keinoin poistamaan.
3. Jos edellisten kohtien toimenpiteistä huolimatta jää vaaratekijöitä, järjestelmän tulee itse antaa varoituksia tai opasteita vaarallisista alueista esimerkiksi varoitusäänien –tarrojen ja merkkivalojen avulla. [1, s. 49–50.]

Viimeistely

Viimeistelyllä tarkoitetaan sitä osaa rakentamisessa, jossa teknisen kehitelmän kokoonpanorakenne täydennetään lopullisilla määräyksillä, jotka koskevat kaikkien yksittäisosien muotoa, mitoitusta, pinnan laatua ja työaineksia. Lisäksi mietitään valmistus- ja käyttömahdollisuudet, lopulliset kustannukset ja laaditaan piirustukset ja muut tarpeelliset asiakirjat tuotteen toteuttamista varten. Viimeistelyn tuloksena on valmistusteknillisten asioiden kiinnilyöminen ja tuotedokumentointi muun muassa käyttöohjeet. [3, s. 458.]

Viimeistelyvaiheessa painopiste on valmistusasiakirjoissa eli pääasiassa osapiirustusten, kokoonpanopiirustusten ja osaluetteloiden laatimisessa. Tuotteesta riippuen voidaan tarvittaessa laatia myös muita valmistusasiakirjoja kuten esimerkiksi asennus- ja kuljetusohjeita ja myöhempää käyttöä varten käyttö-, huolto- ja kunnostusohjeita. [3, s. 458.]

Myös viimeistelyvaiheessa on monia työaskeleita. Kyseessä ei ole vaan yksityisten osien puhtaaksi piirtämisestä, vaan samalla optimoidaan myös osien muoto, työaines, pinnanlaatu, toleranssit ja sovitteet. Tavoitteena on mahdollisimman hyvä materiaalin hyväksikäyttö ja osien tekeminen valmistuksen ja kustannuksen kannalta mahdollisimman edulliseksi, ottaen samalla huomioon standardien ja saatavissa olevien osien käyttö. [3, s. 458–459.]

Nosturin vaatimusluettelo

Vaatimusluetteloon on listattu kaikki nosturille asetettavat vaatimukset ja toiveet. Vaatimusluettelo on kasattu yhteistyössä toimeksiantajan kanssa ja se on toiminut lähtökohdana suunnittelulle. (Kuvio 1). KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus.

KV,VV,T	Vaatimus, toivomus
	1. GEOMETRIA
KV	-sivu-ulottuvuus 6000 mm
	2. KINEMATIikka
VV	-nostaa kuorman 8000 mm korkeudelle
	3. VOIMAT
VV	-Nosturin kyettävä nostamaan 250 -
	500 kg kuorma
	4. ENERGIA
T	-käyttöenergia sähkö
	5. AINES
VV	-raaka-aine teräs
	6. TURVALLISUUS
KV	-kuorma ei saa pudota vaikka vinssi hajoaisi
KV	-tuenta maahan riittävän laaja
	7. KULJETUS
KV	-kuljetus mahdollista henkilöauton peräkärjellä
	8. KÄYTTÖ
T	-mahdollisimman helppo kasata ja purkaa
KV	-soveltuva ympärivuotiseen ulkokäyttöön.
	9. KUNNOSSAPITO
T	-edullinen ja yksinkertainen huolto
	10. MUUT
T	-mahdollisimman vähän vastapainoja

Kuvio 1. Nosturin vaatimusluettelo

5 Ratkaisuvaihtoehtojen etsiminen osatoiminnoille

Nosturin käyttövoimaksi päätimme valita sähkön. Valitsimme sen koska sähköä on aina saatavilla rakennustyömaalla. Lisäksi toimeksiantajan yksi vaatimus oli, että nosturi toimisi sähköllä.

Käsi­käytön käyttövoimana hylkäsimme lähes suoraan siitä yksinkertaisesta syystä, että nosturilla nostettavat kuormat ovat sen verran suuria, että käsi­käyttöisen nosturin käyttäminen tulisi aivan liian raskaaksi.

Pneumaattisen ja hydraulisen käyttövoiman hylkäsimme, koska molemmat olisivat tarvinneet erillisen laitteen paineen tuottamiseen: pneumatiikassa kompressorin ja hydraulikassa hydraulikkapumpun. Lisäksi pneumatiikkaa käytettäessä voisi nostettavat kuormat olla liian painavia saatavaan voimaan verratessa.

Nostomekanismiksi valitsimme vinssin. Etuja olivat laaja valikoima ja riittävä nostokorkeus. Ketjutalja hylättiin, koska emme löytäneet miltään valmistajalta sopivaa mallia käyttötarkoitukseemme. Nostokorkeus oli liian matala, mutta muuten taljat olivat useasti ylimitoitettuja meidän tarkoitukseemme. Myös nostonopeus olisi ollut melko hidas.

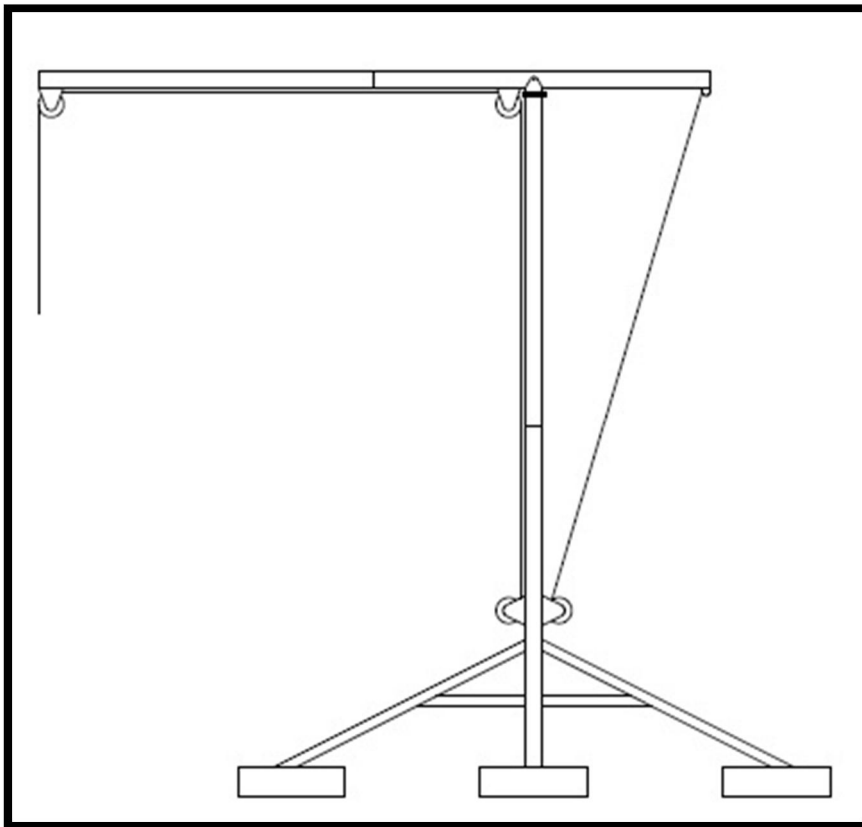
Kuorman liikuttamiseksi vaakasuunnassa päätimme valita ratkaisun, jossa nosturi pyörii akselinsa ympäri. Muita vaihtoehtoja olivat pyörät ja kiskot. Pyörillä kulkevan nosturi ei todennäköisesti olisi ollut kovin tukeva, varsinkin niissä tilanteissa, joissa nosturia käytettäisiin hieman epätasaisella alustalla. Kiskoilla kulkeva nosturi olisi teettänyt paljon ylimääräistä työtä kuten esimerkiksi kiskojen rakentamisen ja nosturin niille asentamisen. Akselin ympäri pyörivä rakenne on varma ja tukeva ratkaisu, joka helpotti valintaamme sen kohdalla. Myöhemmin luonnosteluvaiheessa päätimme lisätä nosturin puomiin kiskon, jota pitkin vinssi liikkuisi. Taulukosta 1. sivulla 19 nähdään tehdyt valinnat ja hylätyt ratkaisut osatoiminnoille.

Taulukko 1. Ratkaisuvaihtoehtojen etsiminen osatoiminnoille

		Ratkaisuperiaate→			
		1	2	3	4
↓Osatoiminto					
1	Käyttövoima	Sähkö	Käsi käyttö	Pneumaattinen	Hydraulinen
2	Muuttaa käyttövoiman nostovoimaksi	Ketjutilja	Vinssi	Hydraulisylinteri	-
3	Liikuttaa kuormaa vaakasuunnassa	Pyörät	Kiskot	Akselin ympäri pyörivä	-
4	Pitää kuorman ylhäällä	Voimatoimisesti avautuva (sähköinen)	Voimatoimisesti avautuva (Pneumaattinen)	Ketjutilja	Kitkajarru

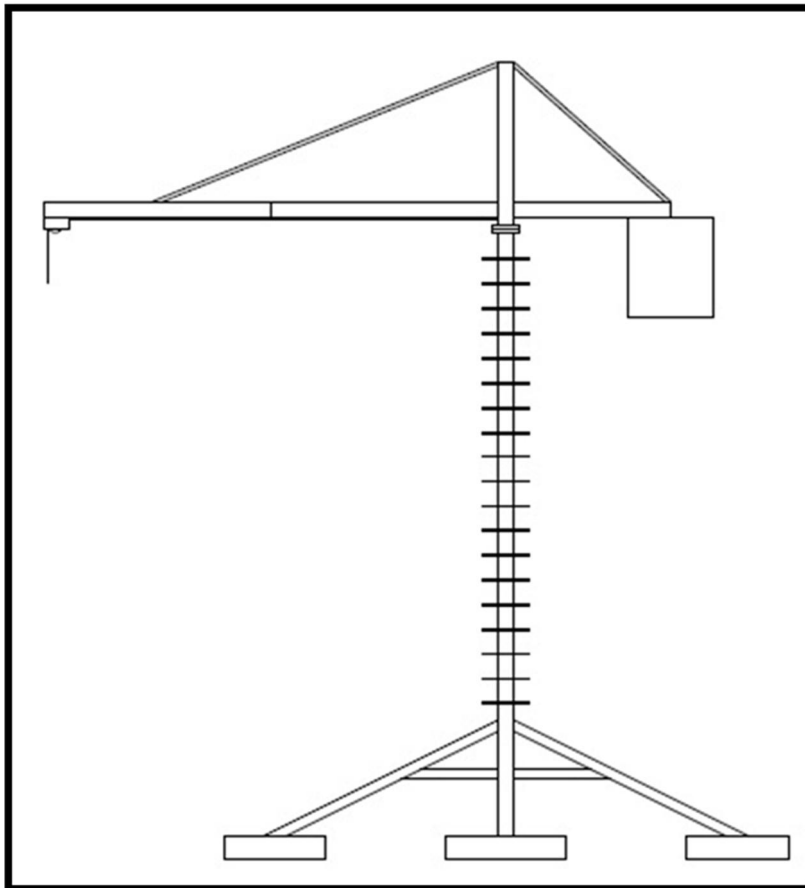
Luonnokset

Nosturin alaosa on kaikissa luonnoksissa lähes samanlainen. Tietenkin pieniä muutoksia olisi varmasti tullut jokaisessa versiossa johtuen siitä, miten voimat olisivat jakautuneet kussakin versiossa nosturin ylä- ja alaosan välillä. Ensimmäisessä luonnoksessa nosturin alaosaan asennettaisiin vinssi, jonka avulla nosturin vaakapuomi saataisiin nostettua paikalleen alhaalta käsin. Kääntökehä sijaitsee heti jalkojen yläpuolella. Kuorman nostamiseen tarvittava vinssi oli lähellä maata ja vaijeri ohjattiin puomin päähän väkipyörien kautta. Muutimme vinssin puomin päähän kiskolle niin, että kuormaa voitaisiin siirtää myös puomin suuntaisesti ja vaijerin ei tarvitse olla niin pitkä. Puomin vaakatasossa pitämisestä vastasi maston alaosassa oleva toinen vinssi, mutta vinssin olisi täytynyt olla todella järeä (kuva 1).



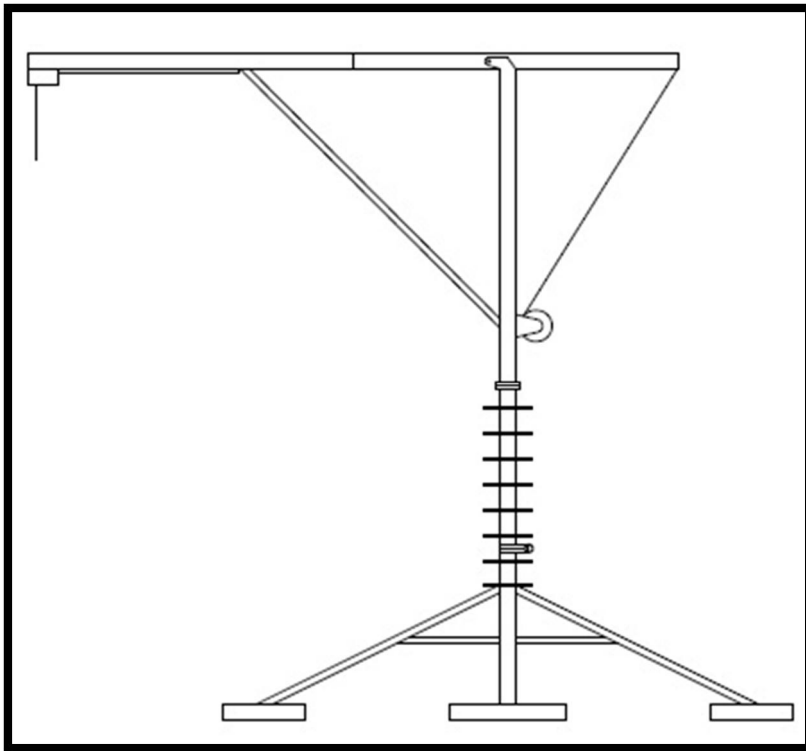
Kuva 1. Ensimmäinen lunnos

Toinen luonnos näyttää hyvin perinteiseltä torninosturilta. Kääntökehä sijaitsee aivan nosturin yläosassa ja maston huipulta lähtee vaakapuomin kannattajat molempiin suuntiin. Alavastapainojen lisäksi nosturissa on vastapaino myös vaakapuomin toisessa päässä. Tämän tyyppisen nosturin kasaaminen olisi ollut luultavasti kaikkein vaikein vaihtoehto. Ylös tuleva vastapaino koettiin loppujen lopuksi liian hankalaksi. Jos nosturia joutuu kasaamaan/purkamaan paljon, voi vastapainon saaminen paikoilleen koitua jossakin vaiheessa liian raskaaksi varsinkin yksin työskennellessä. Suuren vastapainon käyttö nosturin yläosassa koettiin myös jonkinasteiseksi turvallisuus-uhkaksi, koska pahimmassa tilanteessa eli painon pudotessa se saattaisi aiheuttaa hengenvaarallisen vaaratilanteen (kuva 2).



Kuva 2. Toinen luonnos

Kolmannessa luonnoksessa on myös kaksi vinssiä kuten ensimmäisessäkin, mutta toisen vinssin ainoa tehtävä on nostaa vaakapuomi vaakasuuntaan. Kaikki painot sijoitetaan maahan, että niitä ei tarvitse nostella suuria matkoja ja ne eivät voi aiheuttaa vaaratilanteita. Kääntökehä sijaitsee maston puolella välissä. Näin masto saadaan kätevästi kahteen osaan kuljetusta varten. Tähän luonnokseen on tullut vielä joitakin muutoksia, mutta lopullinen tuote on tehty tämän luonnoksen pohjalta (kuva 3).



Kuva 3. Kolmas luonnos

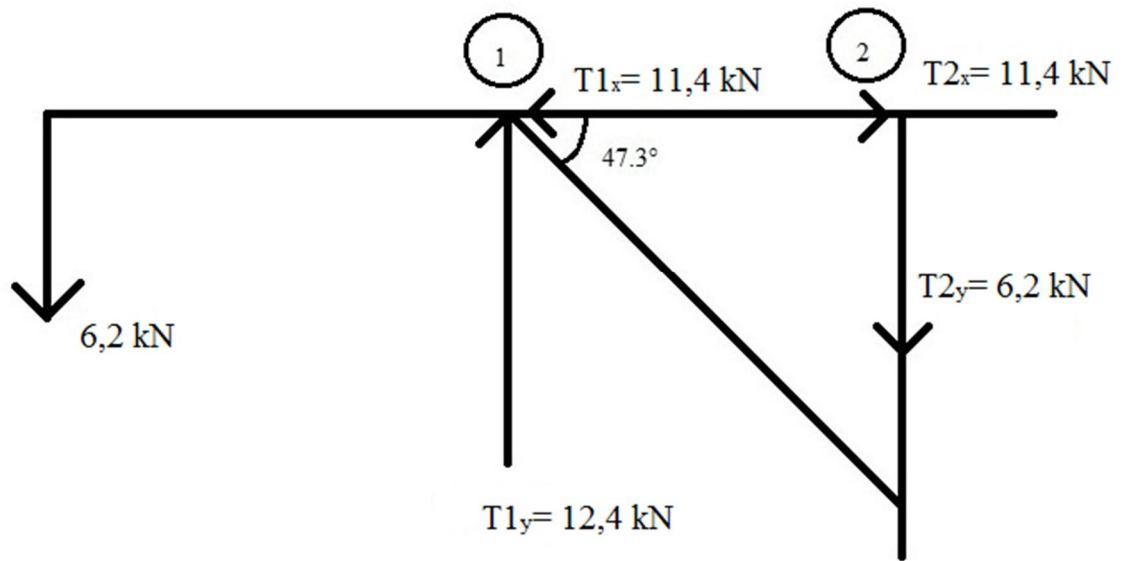
6 Lujuuslaskut

Standardi SFS-EN 13001-2: Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 2: Kuormitukset määrittää nosturille asetettavan staattisen koekuorman. Koekuorman suuruus on vähintään 125 % suurimmasta nostokuormasta. Lujuuslaskujen lähtökohtana käytettiin tällöin kuormana 6200 N, koska $500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,25 = 6131 \text{ N}$. Materiaalina käytimme aluksi rakenne-terästä S235, mutta vaihdoimme materiaaliksi S355, koska nosturin massa olisi noussut liian suureksi.

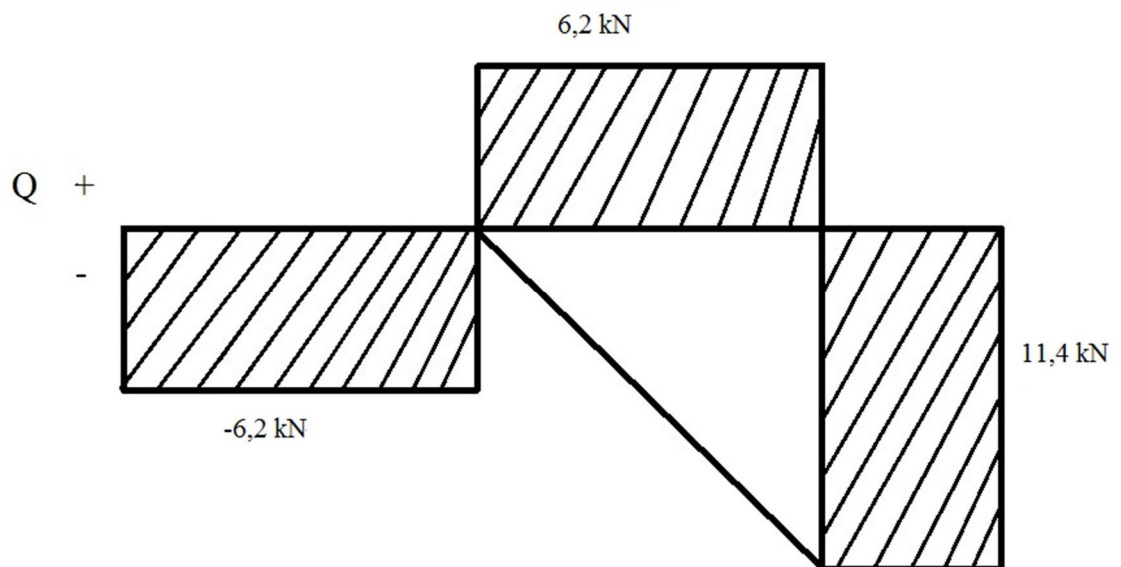
Aloitimme laskemalla vaakapuomin tukireaktiot (kuva 4). Vaakapuomin pituus vasemmasta reunasta pisteeseen 1 on 3 m ja pisteeseen 2 6 m. Suurin tukivoima tulee pisteeseen 1, jonka pystysuora komponentti on 12,4 kN. Suurin momentti tulee mastolle vino-tuen kiinnityksen alapuolelle (kuva 7). Käytimme maston momenttia 37,2 kNm voimana suuressa osassa nosturin alaosan lujuuslaskuissa. Palkkien leikkaus-, normaali- ja momenttivoimakuviot laskimme Winrami-ohjelmaa apunakäyttäen (kuvat 5, -6, -7).

WinRami

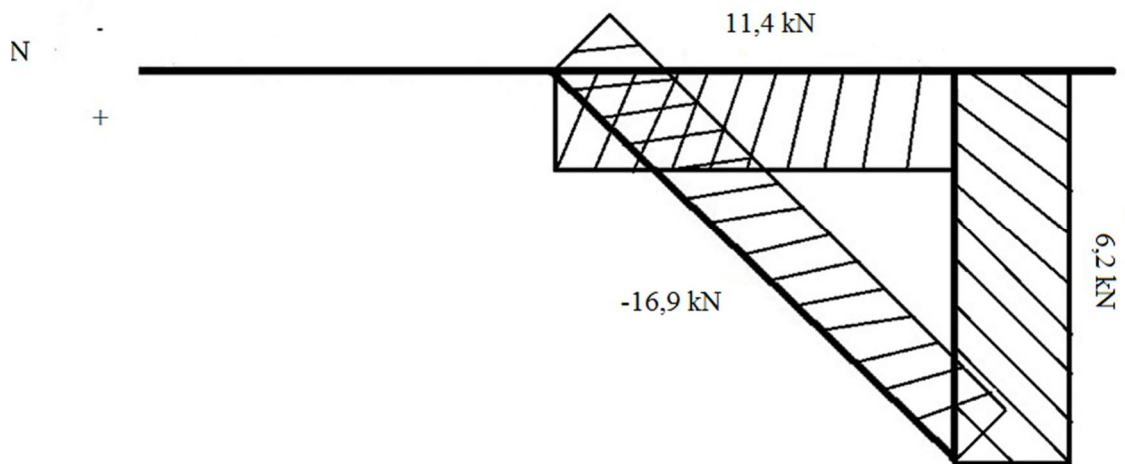
WinRami on rakenteiden laskentaan luotu FEM-ohjelma. Ohjelma sisältää teräspilareiden, -palkkien ja ristikoiden mitoituksen. Ohjelma pystyy ratkaisemaan siirtymät, tukireaktiot ja voimasuureet rakenteen eri osissa. Rautaruukki on kehittänyt ohjelman 1980-luvun lopulla sekä ylläpitänyt ja päivittänyt ohjelmaa tämän jälkeen. Ohjelmaa on päivitetty vuosien varrella vastaamaan muuttuneisiin mitoitusarpeisiin kuten myös muuttuneeseen tietotekniikka-ympäristöön. [4.]



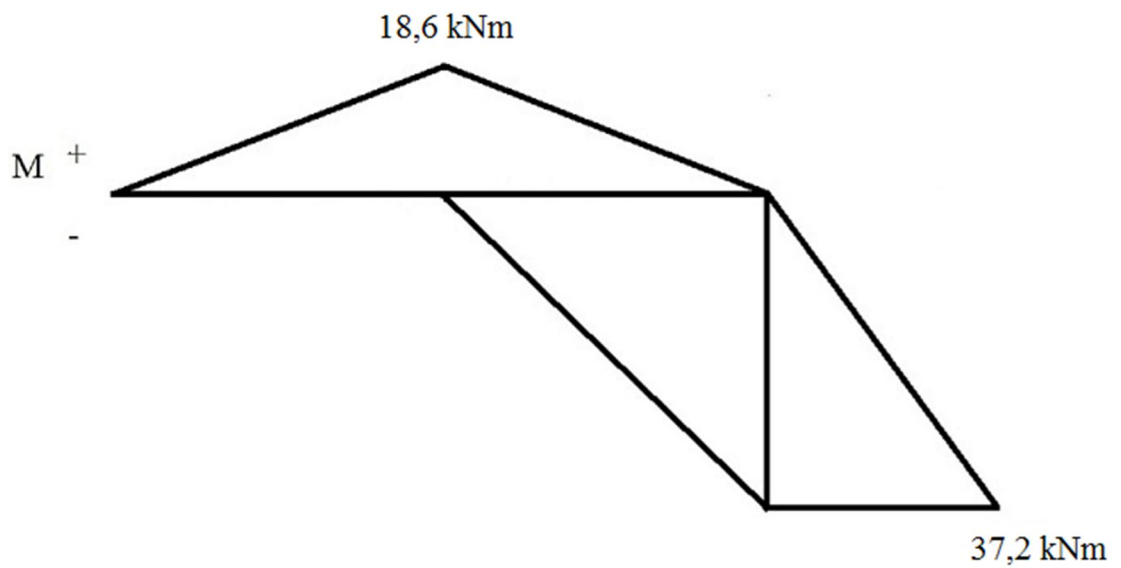
Kuva 4. Tukivoimat



Kuva 5. Leikkausvoimakuvio



Kuva 6. Normaalivoimakuvio



Kuva 7. Nosturin momenttikuvio

Aluksi laskimme momentin nosturin vaakapuomin pisteeseen 2.

$$M_2 = 6 \text{ m} \cdot -6,2 \text{ kN} + 3 \text{ m} \cdot T_{1y} = 0$$

Josta saamme ratkaistua kohdan 1. tukivoiman

$$T_{1y} = +12,4 \text{ kN}$$

Tämän jälkeen laskimme samalla tavalla momentin vaakapuomin pisteeseen 1.

$$M_1 3 \text{ m} \cdot -6,2 \text{ kN} + 3 \text{ m} \cdot T_{2y} = 0$$

$$T_{2y} = -6,2 \text{ kN}$$

$$\cos 42,7^\circ = \frac{12,4 \text{ kN}}{T_1} \rightarrow T_1 = \frac{12,4 \text{ kN}}{\cos 42,7^\circ} = 16,9 \text{ kN}$$

Kaikki lujuuslaskuissa käytetyt sallittujen jännitysten arvot ovat taulukossa 2. Taulukossa materiaali S355 merkintään on käytetty vanhaa tapaa eli Fe 52.[5, s. 59]

Taulukko 2. Sallitut jännitykset.[5, s. 59]

	Lujuusarvot SFS 200 mukaan			Sallitut jännitykset MPa SFS 3200							
	Teräksen lujuus ja laatu	Aineen paksuus r mm	R_{eL} MPa	Veto-, puristus ja taivutus		Leikkaus		Reunapuristus ²		HERTZin jännitys	
				Kuormitustapa		Kuormitustapa		Kuormitustapa		Kuormitustapa	
				Tav.	Harv.	Tav.	Harv.	Tav.	Harv.	Tav.	Harv.
Rakemeteräkset	Fe 33 ¹			100	120	60	70	210	240		
	Fe 37A, Fe 37B	≤16	220	147	169	88	101				
	Fe 37C, Fe 37D	17...40	210	140	162	85	97	260	300	650	750
		41...100	200	133	153	80	92				
	Fe 44B, Fe 44C	≤16	270	180	207	108	124				
Fe 44D	17...40	260	173	200	103	120	310	360	800	900	
	41...100	250	167	192	100	115					
	Fe 52C, Fe 52D	≤16	340	227	261	136	157				
Koneteräkset	Fe 50	17...40	270	170	190	100	115			800	900
		41...100	260								
		≤16	320								
	Fe 60	17...40	310	200	220	120	140			900	1000
		41...100	300								
	Fe 70	≤16	350								
17...40		340	220	240	130	150			1000	1100	
	41...100	330									

Kun olimme saaneet laskettua nosturiin vaikuttavat voimat, rupesimme laskemaan liitokseen (piste 1) tarvittavan sokan minimi halkaisijaa. Kuvassa 8 näkyy laskettavan liitoksen rakenne.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad S355 \tau_{sall} = 136 \text{ MPa}$$

$$2A = \frac{F}{\tau} = \frac{16900 \text{ N}}{136 \text{ MPa}}$$

$$2A = 124 \text{ mm}^2$$

$$A = 62 \text{ mm}^2$$

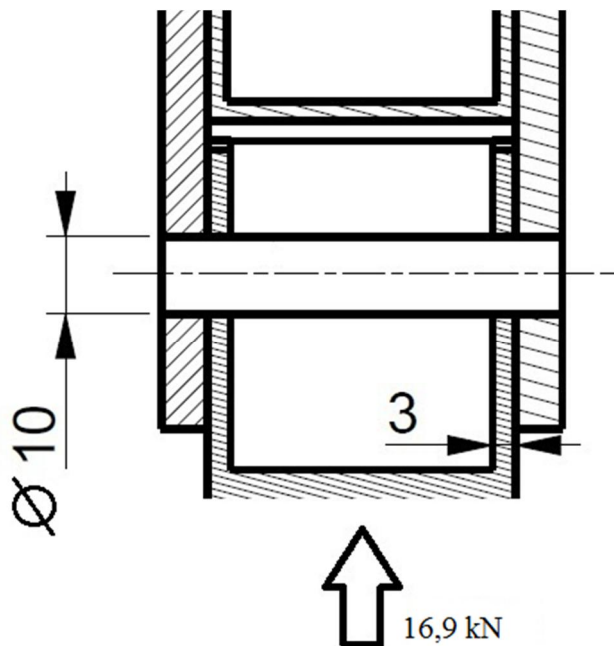
$$\frac{\pi * D^2}{4} = A$$

$$\frac{\pi * D^2}{4} = 62 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 62 \text{ mm}^2}{\pi}} = 8,9 \text{ mm} \Rightarrow 10 \text{ mm}$$

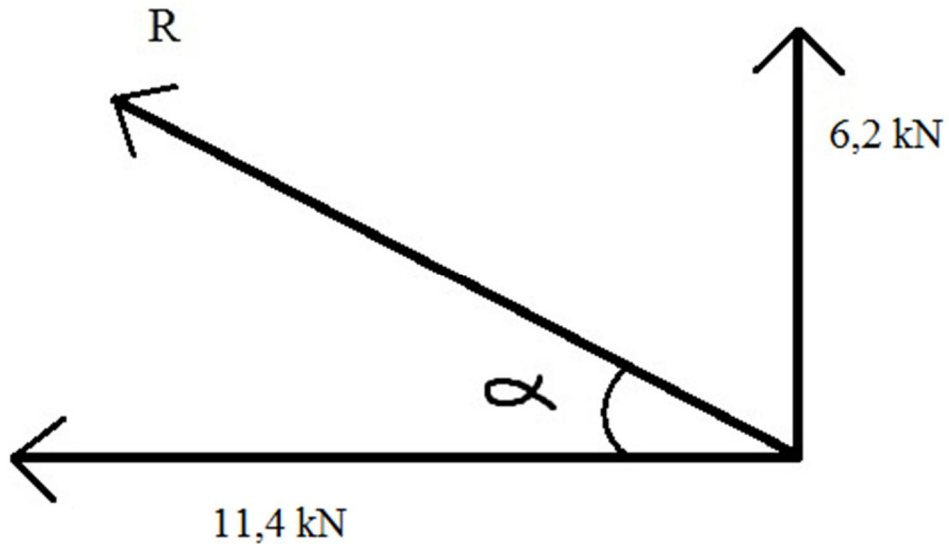
Pintapaine ($p_{\text{sall}}=380 \text{ MPa}$)

$$P = \frac{F}{A} = \frac{16900 \text{ N}}{10 \text{ mm} * 6 \text{ mm}} = 281,3 \text{ MPa}$$



Kuva 8. Pisteen 1. liitos

Tämän jälkeen laskimme liitokseen 2 tarvittavan sokan minimihalkaisijan.



Kuva 9. Pisteen 2 voiman komponentit.

Kuvasta 9 saamme ratkaistua kulman α .

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{6,2 \text{ kN}}{11,4 \text{ kN}} = 28,5^\circ$$

Ratkaisemme voimien resultantin Pythagoraan lauseen avulla.

$$R = \sqrt{(6,2 \text{ kN})^2 + (11,4 \text{ kN})^2}$$

$$R = 13 \text{ kN}$$

Koska voima on pienempi kuin liitoksessa 1, sama sokka käy molempiin liitoksiin.

Veto (S355 $\sigma_{sall} = 227 \text{ MPa}$)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{sall}} = \frac{13 \text{ kN}}{227 \text{ MPa}}$$

$$A = 57,3 \text{ mm}^2$$

Muutimme myöhemmin sokan suuremmaksi, koska talvella hanskat kädessä pieniä sokkia on hankala käsitellä ja sokan täytyy olla niin pitkä, että halkaisijaltaan pienten sokkien standardi pituudet eivät riittäneet.

Hitsin mitoitus

Hitsausliitoksen laskentaohjeet on esitetty seuraavissa standardeissa: SFS 2373 Hitsaus staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta -ja SFS 2378 Hitsaus väsyttävästi kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. Yksittäistilanteessa jännityksen jakaminen useampaan komponenttiin ja tämän jälkeen komponenttien yhdistäminen vertailujännitysten määräämiseksi johtaa monimutkaiseen laskentamenettelyyn. Standardi SFS 2373 suosittelee tämän tilalle yksinkertaista laskentatapaa. Tällöin sallitulle jännitykselle annetaan hitsiaineen leikkausta vastaava arvo σ_{wsall} . [6, s. 19.]

$$\sigma_w = \frac{F}{a * l} \leq \sigma_{wsall}$$

σ_w on hitsin jännitys

F on hitsiin kohdistuva kuorma

a on hitsin a-mitta

l on hitsin pituus

$$\sigma_w = \frac{13000 \text{ N}}{3 \text{ mm} * 2 * 80 \text{ mm}}$$

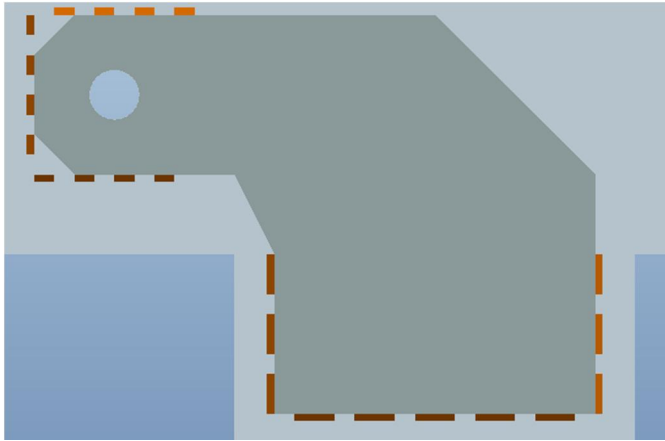
$$\sigma_w = 27,1 \text{ MPa}$$

Taulukossa 3 näkyy standardin SFS 2373 mukaiset sallitut jännitykset. Taulukossa on käytössä vielä vanhat terästen laatumerkinnot, joten rakenneteräs S355 esitetään Fe 52:na. Taulukosta nähdään, että kyseiselle teräkselle ainepaksuudeltaan alle 16 mm kappaleelle suurin sallittu hitsiin kohdistuva jännitys on 145 N/mm^2 , joten hitsiin kohdistuva jännitys ei ole liian suuri.

Taulukko 3. Sallitut jännitykset hitseille. [7, s. 20.]

Fe	s mm	σ_{sall} N/mm ²	σ_{wsall} N/mm ²
37	≤ 16	147	120
	17 ... 40	140	115
	> 40	133	110
44	≤ 16	180	130
	17 ... 40	173	125
	> 40	167	120
52	≤ 16	227	145
	17 ... 30	220	140
	> 30	213	135

Myöhemmin FEM-laskuissa kasvatimme hieman hitsin pituutta ja muutimme sen katkokohtiseksi (kuva 10).



Kuva 10. Korvakko 6 hitsi

Vinotuen nurjahdus

Vinotuen nurjahdus on Eulerin nurjahdustapaus n:o 2 (kuva 11). Eli nurjahduspituus on palkin todellinen pituus.

N:o	I	II	III	IV
Tuenta	jäykkä - vapaa	nivel - nivel	jäykkä - nivel	jäykkä - jäykkä
L_n	$2L$	L	$0,699L$	$0,5L$
μ	$0,25$	1	$2,05$	4

Kuva 11. Nurjahdustapaukset

Nurjahduskestävyys

Nurjahdukset on laskettu standardin SFS-EN 1993-1-1: Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu mukaisesti.

Puristetut sauvat mitoitetaan siten, että seuraava nurjahdusehto on voimassa.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad [8, s.53.]$$

missä N_{Ed} on puristusvoiman mitoitusarvo;

$N_{b,Rd}$ on puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $N_{b,Rd}$ lasketaan seuraavasti kun sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 1, 2 tai 3. (Taulukko 4)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{m1}} \quad [8, s.53.]$$

ja jos sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 4

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A_{eff} * f_y}{\gamma_{m1}} \quad [8, s.53.]$$

Alku-arvot

Nurjahduspituus $L_{cr} = 4420 \text{ mm}$

$$I_y = \frac{60 \text{ mm} * 80 \text{ mm}^3 - 52 \text{ mm} * 72 \text{ mm}^3}{12} = 942592 \text{ mm}^4$$

Pinta-ala $A = (60 \text{ mm} * 80 \text{ mm}) - (52 \text{ mm} * 72 \text{ mm}) = 1056 \text{ mm}^2$

$\gamma_{m0} = 1$ (taulukko 5)

$\gamma_{m2} = 1,25$ (taulukko 5)

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ (taulukko 6)

Kimmoerotoin $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$c/t = 60/4 = 15$$

$$33 \varepsilon = 33 * 0,81 = 26,7, c/t < 33 \varepsilon \Rightarrow \text{luokka 1 (taulukko 4)}$$

Taulukko 4. Puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet SFS-EN 1993-1-1 taulukon 5.2 mukaisesti. [8, s. 45.]

Kahdelta reunalta tuetut puristetut taso-osat						
					Taivutus ko. akselin suhteen	
					Taivutus ko. akselin suhteen	
Poikkileik-kausluokka	Taivutetut taso-osat	Puristetut taso-osat	Taivutetut ja puristetut taso-osat			
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	$\text{kun } \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\text{kun } \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	$\text{kun } \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\text{kun } \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$ ¹⁾	$c/t \leq 42\varepsilon$ ²⁾	$\text{kun } \psi > -1: c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ ³⁾ $\text{kun } \psi \leq -1^{3)}: c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Taulukko 5. Kestävyyden osavarmuuslukuja. [8.]

Standardi	Tarkastelutilanne	Osavarmuus- luku	Osavarmuusluvun arvo	
			Eurocoden suositusarvo	Suomi
EN 1993-1-1:	Teräsrakenteiden yleiset säännöt:			
	Poikkileikkauksen kestävyys poikkileikkau- luokasta riippumatta, mukaan lukien paikallinen lommahdus ja vinoutumisnurjahdus	γ_{M0}	1,0	1,0
	Sauvan kestävyys stabiiliuden suhteen, kun laskelmat tehdään sauvan tarkastuksena	γ_{M1}	1,0	1,0
	Nettopoikkileikkauksen kestävyys vetomurtumisen suhteen (reikien osuus vähennetty bruttopoikkileikkauksesta)	γ_{M2}	1,25	1,25
	Liitosten kestävyys	ks. EN 1993-1-8		

Taulukko 6. Rakenneputkien myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_u nimellisarvot. SFS-EN 1993-1-1 taulukon 3.1 mukaisesti. [8, s. 27.]

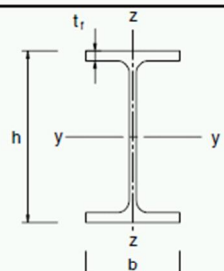
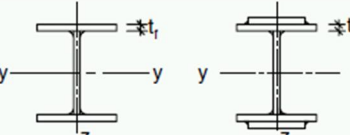

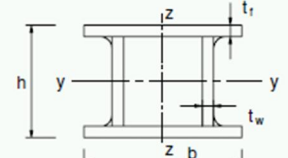


Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 65$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Palkin puristuskestävyys

$$N_{c,Rd} = \frac{A^* f_y}{\gamma_{m0}} \quad [8, s. 53.]$$

$$N_{c,Rd} = \frac{1056 \text{ mm}^2 * 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 374,9 \text{ kN}$$

Taulukko 7. Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen SFS-EN 1993-1-1 taulukon 6.1 mukaisesti. [8, s. 63.]

Poikkileikkaus	Rajat	Nurjahdus ko. akselin suhteen	Nurjahduskäyrä	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
 Valssatut profiilit	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d c
 Hitsatut I-profiilit	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	
 Rakennepuutket	Kuumamuovattu	Kaikki	a	
	Kylmämuovattu	Kaikki	c	
 Hitsatut kotelo-profiilit	Yleensä (poikkeus, ks. alla)	Kaikki	b	
	Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	
 U-, T- ja umpi-profiilit		Kaikki	c	
 L-teräkset		Kaikki	b	

Taulukosta 7 nähdään, että nurjahduskäyrä kylmämuovatuille S355- rakenneputkelle on c. Tätä tietoa tullaan myöhemmin tarvitsemaan kun valitaan nurjahduskäyrän epätarkkuustekijä. Kriittinen nurjahduskuorma y-akselin suhteen

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * 210000 \text{ N/mm}^2 * 942592 \text{ mm}^4}{4420 \text{ mm}^2} = 100 \text{ kN}$$

muunnettu hoikkuus

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} \quad [8, \text{ s. 64.}]$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{1056 \text{ mm}^2 * 355 \text{ N/mm}^2}{100000 \text{ N}}} = 1,9 > 0,2$$

Taulukko 8. Nurjahduskäyrien epätarkkuustekijät SFS-EN 1993-1-1 taulukon 6.1 mukaisesti. [8, s. 62.]

Nurjahduskäyrä	a ₀	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Aikaisemmin saatiin kyseiselle putkelle nurjahduskäyrä c jonka takia epätarkkuustekijäksi saadaan taulukosta 8 α:n arvoksi 0,49

Pienennystekijä χ, missä

$$\Phi = 0,5 * (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 0,5 * (1 + 0,49(1,93 - 0,2) + 1,93^2) = 2,8$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \quad [8, \text{ s. 61.}]$$

$$\chi = \frac{1}{2,8 + \sqrt{2,8^2 - 1,9^2}} = 0,2 \leq 1,0$$

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

$$N_{b.Rd} = \frac{0,2 * 1056 \text{ mm}^2 * 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 75 \text{ kN}$$

$$\frac{16,9 \text{ kN}}{75 \text{ kN}} = 0,22 \leq 1$$

Vaikka tämän kokoinen vinotuki kestää nurjahduksen, muutimme sen myöhemmin kokoon 80x80x6 kiinnityksen helpottamiseksi ja maksimoidaksemme sokan kosketuspinta-alan

Vaakapuomin taivutus

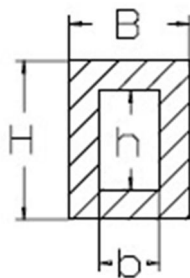
Vaakapuomiksi testasimme kestääkö siinä 160x80x4 mm suorakaideputkipalkki.

$$\sigma_t = \frac{M}{W} \text{ [9, s. 439.]}$$

W on taivutusvastus

M on taivutusmomentti

σ_t on taivutusjännitys



Kuva 12. Suorakaideputkipalkin poikkileikkaus

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} \text{ [9, s. 302.]}$$

$$W = \frac{(80 \text{ mm} * 160 \text{ mm}^3) - (72 \text{ mm} * 152 \text{ mm}^3)}{6 * 160 \text{ mm}} = 77948 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_t = \frac{18600000 \text{ Nm}}{77948 \text{ mm}^3} = 238,6 \text{ MPa}$$

Koska edellä mainittu palkki ei kestä, testasimme 160x80x5 mm suorakaideputkipalkkia.

160x80x5 mm (8m painaa noin 145 kg)

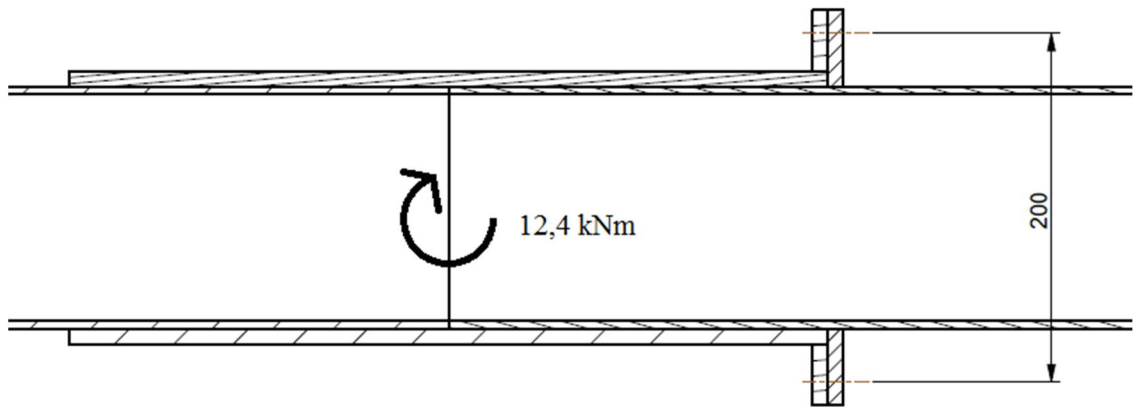
$$W = \frac{(80 \text{ mm} * 160 \text{ mm}^3) - (70 \text{ mm} * 150 \text{ mm}^3)}{6 * 160 \text{ mm}} = 95239,6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_T = \frac{18600000 \text{ Nm}}{95239,6 \text{ mm}^3} = 195 \text{ MPa}$$

FEM- laskujen jälkeen vaihdoimme seinämänvahvuudeksi 10mm, muodonmuutosten pienentämiseksi.

Vaakapuomin liitos

Vaakapuomi koostuu kahdesta 4 m pitkästä osasta. Osat liitetään toisiinsa kuvan 13 mukaisella liitoksella. Kuvan momentti on laskettu kuvasta 7 sivulla 24. Liitos kiinnitetään ruuveilla kuvassa näkyvistä laipoista. Laipassa olevien kiinnitysreikien etäisyys palkin keskilinjasta on 100 mm.



Kuva 13. Vaakapuomin liitos

Ruuviliitoksen laskuissa käytimme ruuveille normaalivoimana voimaa 124kN, joka saatiin laskettua momentilla (kuva 13). Kokeilimme aluksi kestääkö liitos viidellä ruuvilla.

Ruuvien veto

$$F_N = \frac{N}{n} \text{ [6, s. 57]}$$

F_N on yksittäiseen ruuviin kohdistuva veto

n on ruuvien lukumäärä

N on normaalivoima

$$N = \frac{12,4 \text{ kNm}}{0,1 \text{ m}} = 124 \text{ kN}$$

$$F_n = \frac{N}{n} = \frac{124 \text{ kN}}{5} = 24,8 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{24,8 \text{ kN}}{640 \text{ MPa}} = 38,8 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\pi * D^2}{4} = A$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 38,8 \text{ mm}^2}{\pi}} = 7 \text{ mm} \Rightarrow M8 \text{ pultit}$$

Maston lujuuslaskuissa testasimme kahta erilaista palkkia, joista molemmat olisivat kestäneet pelkän taivutuksen.

200x100x10x mm (4m painaa 174,7 kg)

$$W = \frac{100 \text{ mm} * 200 \text{ mm}^3 - 80 \text{ mm} * 180 \text{ mm}^3}{6 * 200 \text{ mm}} = 277867 \text{ mm}^3$$

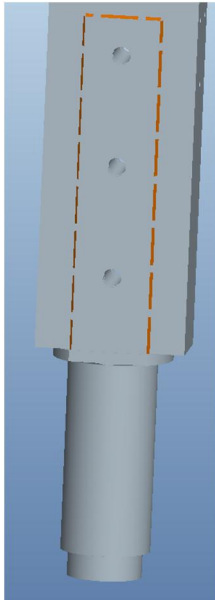
$$\sigma_t = \frac{37200000 \text{ Nm}}{277867 \text{ mm}^3} = 133,9 \text{ MPa}$$

200x100x6 mm (4m painaa n.109kg)

$$W = \frac{100 \text{ mm} * 200 \text{ mm}^3 - 88 \text{ mm} * 188 \text{ mm}^3}{6 * 200 \text{ mm}} = 179391 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_t = \frac{37200000 \text{ Nm}}{179391 \text{ mm}^3} = 207,4 \text{ MPa}$$

FEM-laskujen jälkeen valitsimme 200x100x10 kotelopalkin, koska akseliliitos (kuva 14) vaati suuremman seinämänpaksuuden. Maston alaosaksi valitsimme 200x200x10 kotelopalkin koska sen sisään täytyi mahtua laakeripesä.



Kuva 14. Akseliliitos

Jalkaan vaikuttavat voimat

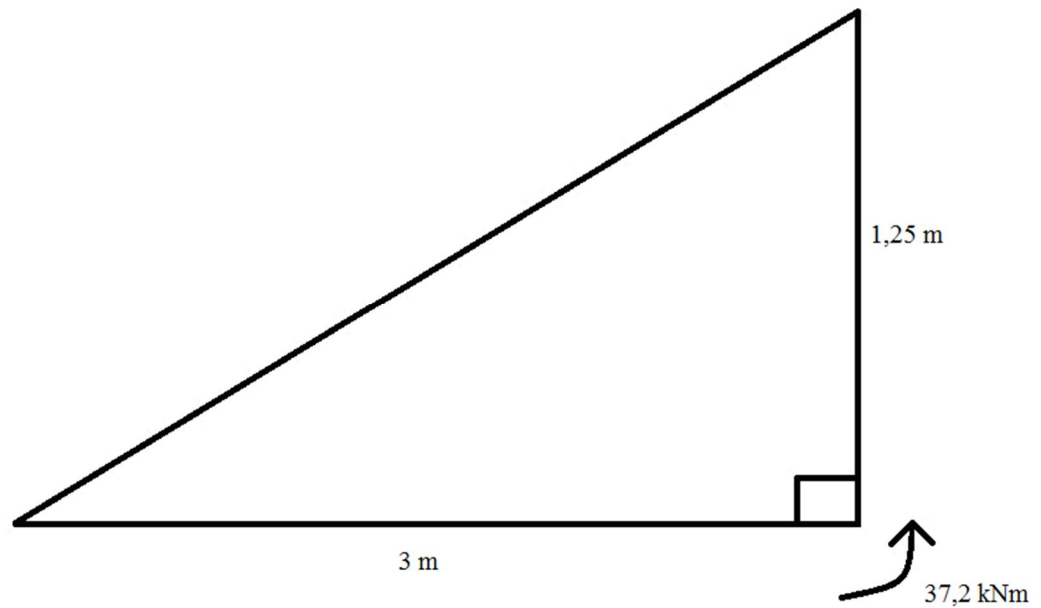
Tästä kappaleesta saatuja tuloksia on käytetty myöhemmin apuna FEM- lujuuslaskennassa. Seuraavissa laskuissa ei ole otettu huomioon vastapainojen tuomaa rasiitusta. Myös jalan mitat ovat hieman muuttuneet.

Laskimme jalkaan vaikuttavat voimat käyttäen apuna mastoon kohdistuvaa taivutusmomenttia (kuva 15). Kolmion hypotenuusa esittää nosturin jalkaa. Lyhyempi kateetti esittää jalan kiinnityspisteen paikkaa jalustassa ja pitempi kateetti jalan vaakasuoraa etäisyyttä nosturin mastosta (kuvat 15, -16 ja 17). Muutimme momentin vaakasuoraksi voimaksi joka vaikuttaa jalan yläpäässä

$$\frac{37,2 \text{ kNm}}{1,25 \text{ m}} = 29,8 \text{ kN}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1,25}{3}$$

$$\alpha = 22,6^\circ$$



Kuva 15. Jalan mitat ja jalkaan vaikuttava momentti.

Tukivoimat

Seuraavaksi laskimme tukivoimat (kuva 16) ja kulman (kuva 17). Seuraavaksi selvitimme, kuinka suuri normaalivoima jalkaan kohdistuu. Sen avulla saimme selville jalan poikkileikkauksen minimi pinta-alan.

T on jalan suuntainen tukivoima

T_x on jalan suuntaisen tukivoiman x-komponentti

$$T_x = 29,8 \text{ kN}$$

$$\cos \alpha = \frac{29,8 \text{ kN}}{T}$$

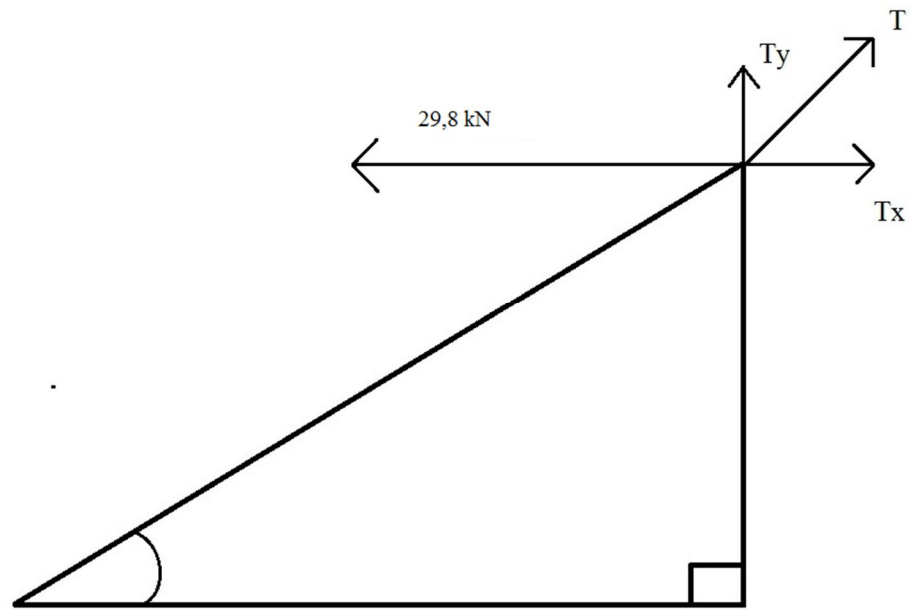
$$T = \frac{29,8 \text{ kN}}{\cos 22,6^\circ}$$

$$T = 32,2 \text{ kN}$$

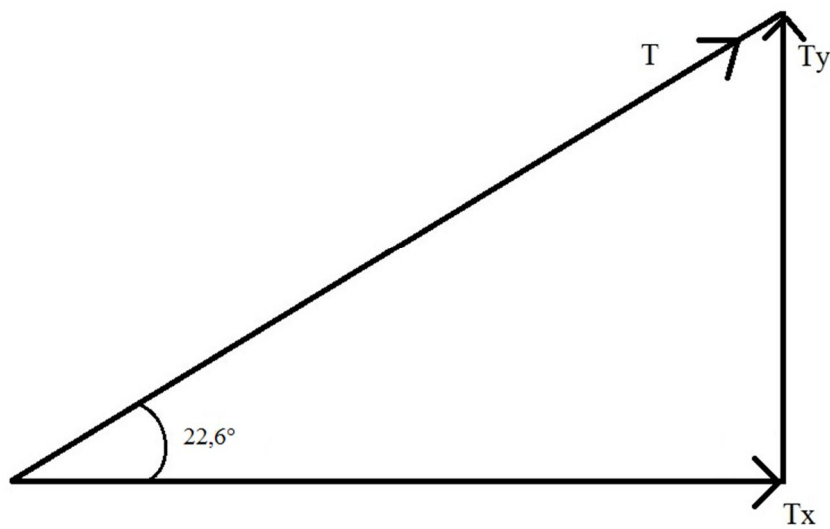
$$T_y \sqrt{(32,2 \text{ kN})^2 - (29,8 \text{ kN})^2} = 12,4 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{32200 \text{ N}}{227 \text{ MPa}} = 142 \text{ mm}^2$$



Kuva 16. Tukivoimat

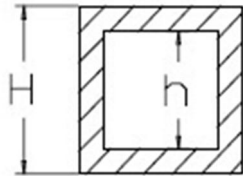


Kuva 17. kulma

Jalan 60x60x3 mm nurjahdus

Testasimme kestääkö 60x60x3 mm neliöputkipalkki normaalivoiman nurjahtamatta.

$$I_z = \frac{H^4 - h^4}{12}$$



Kuva 18. Neliöputken neliömomentti

$$I_z = \frac{60\text{ mm}^4 - 54\text{ mm}^4}{12} = 371412\text{ mm}^4$$

$$c = \sqrt{(3\text{ m})^2 + (1,25\text{ m})^2} = 3,25\text{ m}$$

Nurjahduspituus $L_{cr} = 3250\text{ mm}$

$$\text{Pinta-ala } A = (60\text{ mm} * 60\text{ mm}) - (54\text{ mm} * 54\text{ mm}) = 684\text{ mm}^2$$

$$f_y = 355\text{ N/mm}^2 \text{ (taulukko 6 s. 34)}$$

$$\text{Kimmokerroin } E = 210000\text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{m0} = 1 \text{ (taulukko 5 s. 34)}$$

$$\gamma_{m2} = 1,25 \text{ (taulukko 5)}$$

$$c / t = 60/3 = 20$$

$$33 \varepsilon = 33 * 0,81 = 26,7, c/t < 33 \varepsilon \Rightarrow \text{luokka 1 (taulukko 4 s.33)}$$

Palkin puristuskestävyys

$$N_{c,Rd} = \frac{684\text{ mm}^2 * 355\text{ N/mm}^2}{1,0} = 242,8\text{ kN}$$

Taulukosta 7 (s. 35) nähdään, että nurjahduskäyrä kylmämuovatuille S355- rakenneputkelle on c.

Kriittinen nurjahduskuorma y-akselin suhteen

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * 210000 \text{ N/mm}^2 * 371412 \text{ mm}^4}{(3250 \text{ mm})^2} = 72,9 \text{ kN}$$

muunnettu hoikkuus

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{684 \text{ mm}^2 * 355 \text{ N/mm}^2}{72900 \text{ N}}} = 1,8 > 0,2$$

taulukosta 8 (s. 36) α :n arvoksi 0,49

$$\Phi = 0,5 * (1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2) = 0,5 * (1 + 0,49(1,8 - 0,2) + 1,8^2) = 2,5$$

$$\chi = \frac{1}{2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1,8^2}} = 0,2 \leq 1,0$$

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo

$$N_{b,Rd} = \frac{0,2 * 684 \text{ mm}^2 * 355 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 48,5 \text{ kN}$$

$$\frac{32,2 \text{ kN}}{48,5 \text{ kN}} = 0,6 \leq 1$$

Jalan yläpään sokka

Koska jalka pitää olla helppo kasata ja purkaa kiinnitämme sen sokilla kiinni mastoon. Tässä laskemme kuinka suuri sokan täytyy olla.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau_{sall} = 136 \text{ MPa}$$

$$136 \text{ MPa} = \frac{32200 \text{ N}}{A}$$

$$A = \frac{32200 \text{ N}}{136 \text{ MPa}} = 237 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 237 \text{ mm}^2}{\pi}} = 17,4 \text{ mm}$$

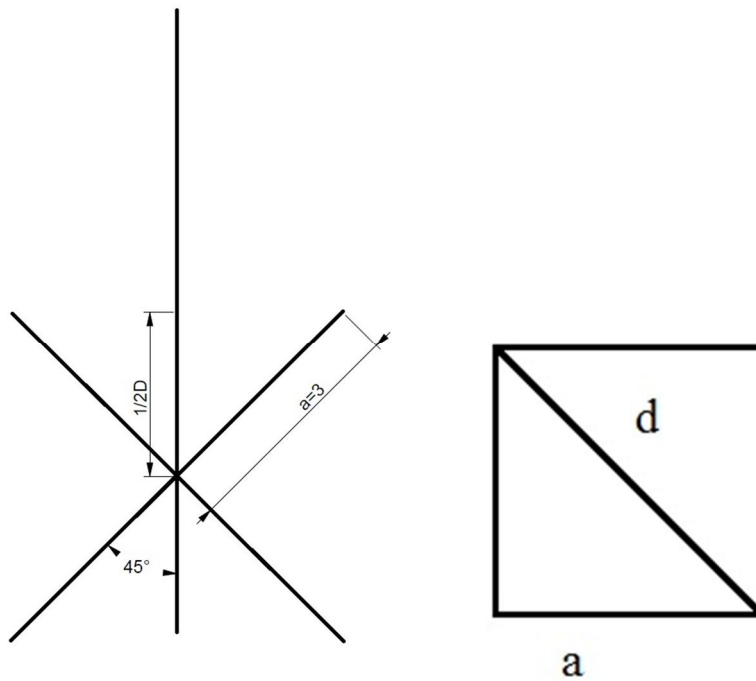
$$\text{Pintapaine } p = \frac{F}{A} = \frac{32200 \text{ N}}{20 \text{ mm} * 6 \text{ mm}} = 268,6 \text{ MPa}$$

Kun myöhemmin otimme huomioon jalkojen päihin tulevan painon, ja voimien jakautumisen jalkojen kesken, jalan kiinnityksen rakenne muuttui ja sokan halkaisija D muuttui 30 milliseksi.

6.1 Nosturin tasapaino ja vastapainot

Tässä kappaleessa käymme läpi nosturiin liittyvät tasapainolaskut. Emme ota laskuissa nosturin omaa massaa huomioon, koska sen painopiste sijoittuu tukipinnan sisälle. Laskemme tasapainon pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen eli silloin, kun nosturin puomi on 45-asteen kulmassa jalkoihin ja kuorma on maksimi (kuva 19).

Aluksi laskemme kuinka etäällä kuorma on tukipinta-alasta.



Kuva 19. Tukipinta-ala (mitat metreinä) Kuva 20. Neliön lävistäjä

Laskimme momenttivarren käyttämällä neliönlävistäjän kaavaa (kuva 20).

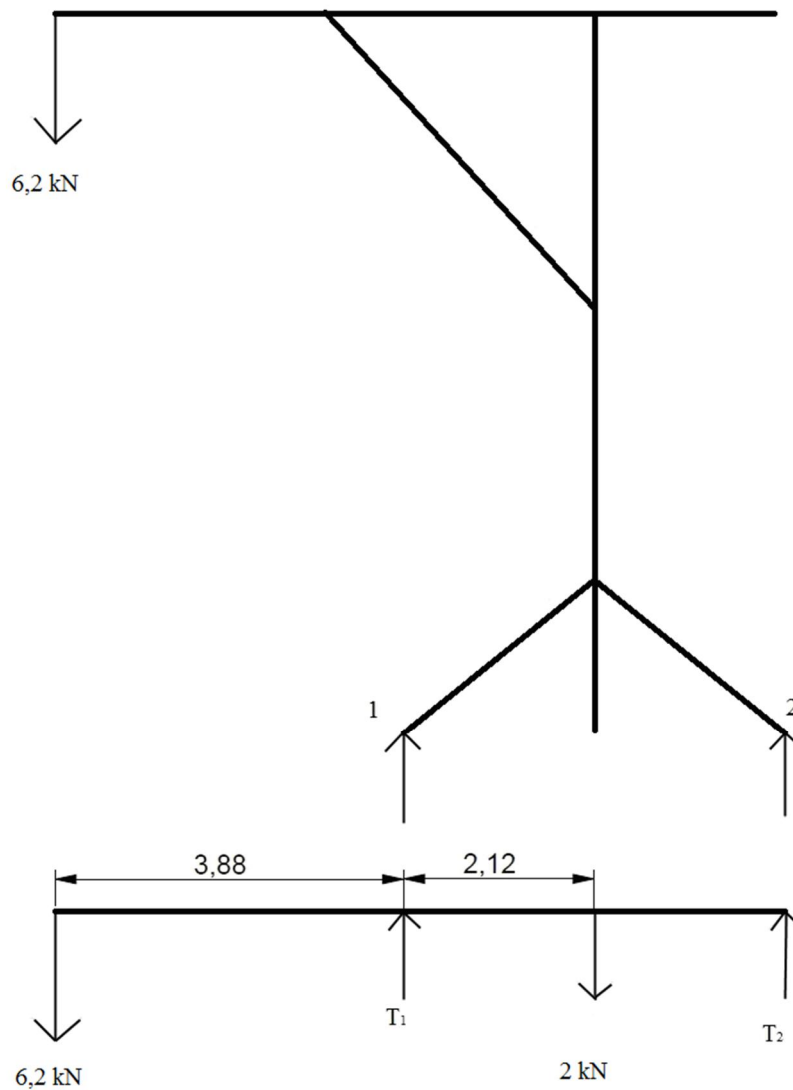
$$d = a\sqrt{2}$$

$$\frac{1}{2}d = \frac{a\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{3000 \text{ mm}\sqrt{2}}{2} = 2121,3 \text{ mm}$$

Kun kuorman sijainti on määritetty suhteessa tukipisteisiin, voimme laskea tukireaktiot

momenttilausekkeella (kuva 21).



Kuva 21. Nosturin tasapaino

$$M_1 \quad 6,2 \text{ kN} \cdot 3,9 \text{ m} - 2 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m} + T_2 \cdot 4,2 \text{ m} = 0$$

$$T_2 = \frac{-6,2 \text{ kN} \cdot 3,9 \text{ m} + 2 \text{ kN} \cdot 2,1 \text{ m}}{4,2 \text{ m}} = -4,7 \text{ kN}$$

Tulos on kahdelle vierekkäiselle jalalle. Eli yhdelle jalalle täytyy olla minimissään 2,35 kN painoa. Jokaiselle jalalle tulee 240 kg paino ja jalustan juureen 210 kg.

Standardit

Nostoapuvälineitä koskien on olemassa standardeja ja lainsäädäntöä joiden huomioon ottaminen ja soveltaminen edellyttää suunnittelijalta ja rakentajalta perehtyneisyyttä asiaan. Rakennuksilla ja teollisuudessa tavaroiden nostaminen ja siirtäminen ovat joka-päiväistä toimintaa. Hyvin usein nostettavien tavaroiden läheisyydessä työskentelee

myös ihmisiä, jolloin nostotilanteessa voi helposti siirtyä vaaratilanteita. Nosturin käyttäjä, taakan kiinnittäjä sekä nostovälineillä on suuri merkitys siihen miten turvallisesti nostotyö tulee sujumaan. Turvallisen käytön kannalta on tärkeää, että nosturi pidetään kunnossa koko käyttöikänsä ajan. Varsinkin työpaikalla työskennellessä on tärkeää, että työnantaja on huolehtinut siitä että kaikilla työntekijöillä on riittävä tietotaito nosturin käyttämistä varten. Olisi myös hyvä jos nosturin kuntoa valvottaisiin muulloinkin kuin ennalta määrätyissä määräaikaistarkastuksissa. Jotta voitaisiin varmistaa oikea käyttö ja turvallisuus on oleellista, että vastuussa oleva valmistaja ja suunnittelija laatii nosturille kunnolliset ohjeet. Nosturin mukana tulee siis toimittaa hyvät käyttö-, tarkastus ja huolto-ohjeet. [10, s. 1–5.]

Kuormitukset

Nosturia suunniteltaessa ja mitoittaessa on otettava huomioon, että siihen voi kohdistua monia muitakin kuormia kuin vain nostokuormasta tuleva kuormitus. Seuraavassa muutamia mahdollisia kuormitusyhdistelmiä:

- poikkeukselliset kuormitukset, kuten törmäykset
- koekuormituksen aiheuttamat kuormitukset
- lumen ja jään aiheuttama kuormitus
- tuulen aiheuttama kuormitus
- kuorman kiihtyvyydestä aiheutuva kuormitus
- rakenneosien ja kuorman omasta painosta aiheutuva kuormitus. [10, s. 23.]

Pintapaineet

On tärkeää, että nosturia suunniteltaessa tarkastetaan rakenneosien kuten niveltappien ja kiinnityskorvakkeiden pintapaineet. Pintapaineiden tarkastaminen on oleellinen osa kosketuksissa toisiinsa olevien kantavien rakenneosien mitoitusta. Jos osien välinen pintapaine kasvaa liian suureksi, voi seurauksena olla pintojen muokkautumista. Pintapaineen maksimiarvo ei saa ylittää materiaalin myötörajaa. [10, s. 27.]

Ruuviliitokset

Ruuviliitosten suunnittelussa tulee ottaa huomioon muutamia peruseriaatteita:

- olosuhteiden vaikutus otettava huomioon ruuvien valinnassa
- ruuvien aukikiertyminen estettävä
- taivutusmomentti joka kohdistuu ruuviin saatava mahdollisimman pieneksi
- leikkausvoimat siirrettävä kitkan avulla liitoksen yli
- alusta jossa ruuvit ovat oltava mahdollisimman jäykkä
- ruuvien kohdistuvat rasitukset oltava sallittujen arvojen alapuolella.

Yhtenä hyvänä periaatteena voidaan pitää myös sitä, että ruuvit kantaisivat mahdollisimman vähän kuormaa. Olisi hyvä jos teräsrakenteet ottaisivat mahdollisimman paljon kuormaa vastaan, ja ruuviliitos pitäisi vain osat keskenään paikallaan. [10, s. 27.]

Rakenneosien liitosten kiinnipysymisen varmistus

Nosturi rakennetaan usein monista erillisistä rakenneosista, jotka liitetään lopuksi toisiinsa erillisillä kiinnityselimillä, kuten esimerkiksi ruuveilla. Liitokset voivat olla pysyväkiinnitteisiä tai uudelleen avattavia. Jotkut näistä liitoksista voivat olla jopa sellaisia, joita ei ole tarkoitukseen avata koko nosturin eliniän aikana. Sellaiset liitokset, jotka ovat alttiita kulumiselle tulee tehdä avattavaksi. [10, s. 28.]

Ohjeet

Nosturin käyttöön ja käsittelyyn tarvittavat ohjeet tulee olla yksikäsitteiset ja helposti ymmärrettävissä. Ohjeet laaditaan sen maan kielellä, jossa nosturi otetaan käyttöön. Nosturin käyttäjälle pitää ilmoittaa niistä vaaroista, jotka jäävät jäljelle suojaustoimenpiteistä huolimatta. Samoin jos jokin erikoiskoulutus on tarpeen ja tarvittavat henkilösuojaimet on tarve ilmoittaa ohjeissa. Ohjeilla ei saa kuitenkaan missään tapauksessa yrittää korjata suunnittelun puutteita tai virheitä.

Seuraavassa on listattu muutamia asioita joita ohjeiden tulisi sisältää :

Nosturia koskevat tiedot

- nosturia koskevat yksityiskohdat tiedot, varusteista, suojuksista ja turvalaitteista
- kaaviot (sähkö, hydraulikka ja pneumatiikka)
- suurin sallittu kuorma
- vaatimustenmukaisuusvakuutus
- käyttötarkoitus. [10, s.32.]

Nosturin käyttöön liittyvät tiedot

- kokoonpano ja asennusohjeet
- tarkastusohjeet
- ohjeet energiansyötön liittämistä varten
- sallitut käyttöolosuhteet (esim. sallittu lämpötila-alue). [10, s.32.]

Kuljetukseen, käsittelyyn ja varastointiin liittyvät tiedot

- varastointiolosuhteet
- tarvittaessa painopisteen sijainti
- käsittelyohjeet. [10, s.32.]

Kunnossapito ja tarkastusohjeet

- huoltotoimenpiteiden kuvauksen, luettelon tarvittavista työkaluista ja huoltovälin
- kuluvien osien vaihto- ja tarkastusperusteet. [10, s.32.]

Nosturin tarkastaminen

Nosturin tarkastaminen on pakollista ja se tulee tehdä vuoden välein. Tarkastuksen tekijän tulee olla riittävän hyvin perehtynyt nostureiden rakenteeseen, käyttöön ja tietenkin tarkastamiseen. Tarkastajan tulee pystyä havaitsemaan mahdolliset viat ja puutteet ja arvioida niiden mahdollinen vaikutus työturvallisuuteen. Tarkastus voidaan teettää esim. nostureiden valmistajalla tai tarkastuksen voi tehdä myös itse, jos yrityksestä löytyy joku, jolla on sopiva ammattitaito tähän työhön. [11, s. 11.]

6.2 Laakerin valitseminen nosturiin

Laakereiden tehtävänä on ohjata akselin liikettä ja vastaanottaa akselin ja rungon välillä vaikuttavat voimat. Tässä nosturissa laakerointi on suunniteltu niin, että akselista ja laakereista syntyy staattisesti määrätty rakenne. Tämä tarkoittaa sitä, että säteissuunnassa akseli on tuettu kahdella laakerilla ja aksiaalivoimat vastaanotetaan yhdellä laakerilla. Ohjaava laakeri ottaa vastaan säteis- ja aksiaalivoimia, vapaa laakeri vain säteisvoimia.

Akselimateriaaliksi valitsimme rakenneteräksen S355, koska se on edullinen, luja, tasalaatuinen ja tasaluja eri suuntiin. Sitä on myös helppo hitsata, koneistaa ja se on ”yllätyksetön” materiaali. Kannatinakseli ei siirrä tehoa vaan ottaa vastaan ja siirtää laakereille ulkoisen kuormituksen, joka aiheuttaa akseliin pääasiassa taivutusta

Laakerointitavan valinta

Laakerin valintaan vaikuttavia asioita ovat kuormitustilanne, tilantarve, lämpötila, voitelun järjestäminen, rakenteen värähtelyt, ympäristöolosuhteet, säteily, tarkkuusvaatimukset, huollon järjestäminen, melunäkökohdat ja kustannukset. Yleensä rullalaakereita voidaan kuormittaa enemmän kuin kuulalaakereita. Yhtäaikaiselle radiaali- ja aksiaali-kuorma kuormitukselle sopivat erityisen hyvin viistokuula- ja kartiorullalaakerit. Laakerin pyörintänopeus ei tule olemaan rajoittava tekijä nosturissa, koska nosturilla tehtävät liikkeet ovat sen verran hitaita. Myöskään äänetön käynti ei ole työmaalla kovin ratkaisevassa asemassa.

Laakerin asennuksen ja irrotuksen kannalta on merkitystä sillä, voidaanko laakerin osat erottaa toisistaan. Esimerkiksi kartiorullalaakereissa tämä on mahdollista, ja ne ovat tämän ansiosta asennuksen kannalta helpompia kun itsestään koossa pysyvät esim. urakuulalaakerit. Merkittävin ominaisuus laakereita valittaessa on riittävä kuormituksen kesto. Nosturi on kuitenkin melko iso ja vaakapuomi sen verran pitkä, että voimat ja momentit kasvavat nopeasti varsin suuriksi. Laakerit ovat myös purettavaa mallia, jotka mahdollistavat helpomman asennuksen ja huollon.

Laakerien tukivoimat

Aluksi laskemme laakereille tulevat maksimivoimat. Laakereiden välinen etäisyys on 300 mm ja ylimmän laakerin ja akselin kiinnityskohdan välinen etäisyys on 50 mm (kuva 22). Tiedämme, että akseliin vaikuttaa 37,2 kNm taivutusmomentti. Tämän perusteella ratkaisemme laakereille kohdistuvat säteisvoimat.

$$M = F * r$$

missä

M on voiman momentti

F on voima

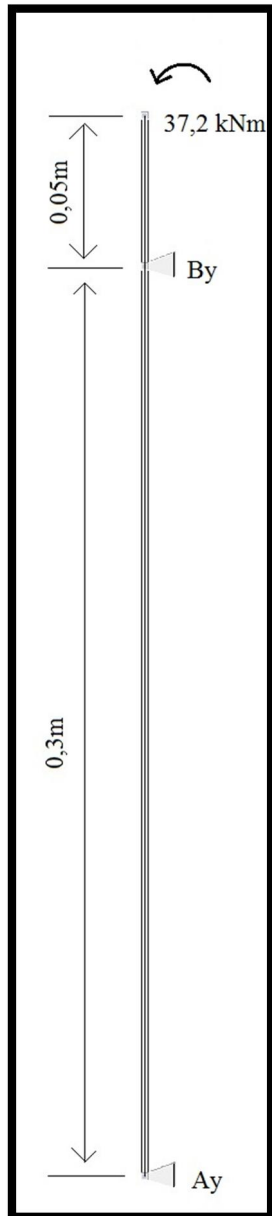
r on pyörimisakselin ja voiman vaikutuspisteen välinen etäisyys

$$37,2 \text{ kNm} = A_y * 0,3 \text{ m}$$

$$A_y = \frac{37,2 \text{ kNm}}{0,3 \text{ m}} = 124 \text{ kN}$$

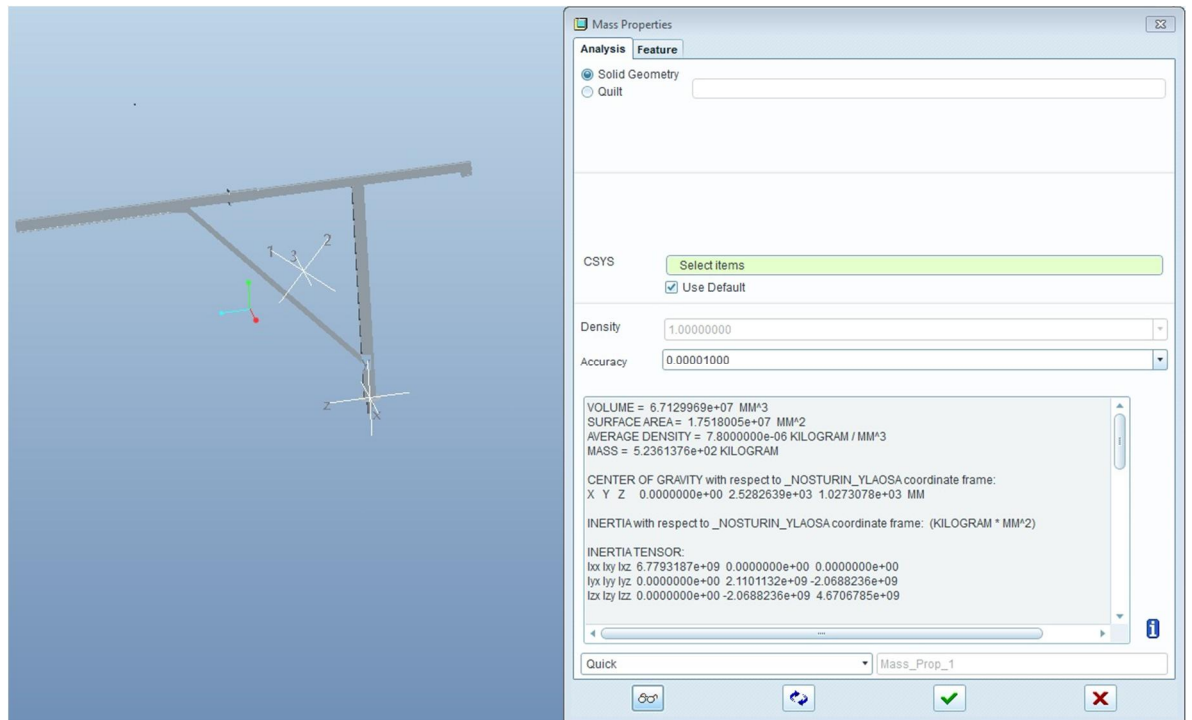
$$B_y = 124 \text{ kN}$$

Molemmille laakereille kohdistuu siis 124 kN säteisvoima



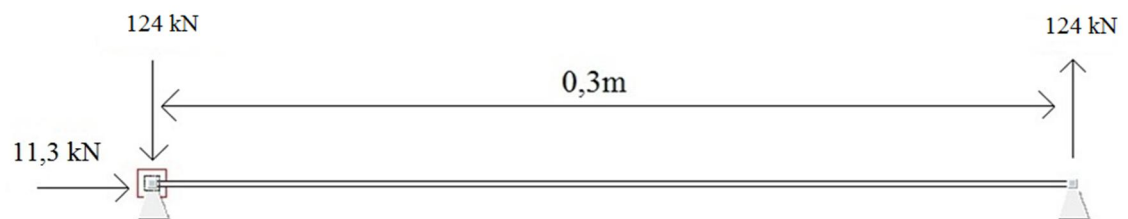
Kuva 22. Laakereiden tukireaktiot

Tämän jälkeen laskemme ohjaavalle laakerille tulevan aksiaalivoiman. Aksiaalivoiman suuruudeksi tulee kuorman paino eli 6,2 kN + nosturin yläosan paino, jonka suuruudeksi Pro/ENGINEER ilmoittaa 523,6 kg (Kuva 23) eli 5,1 kN Tällöin kokonaisaksaali-voimaksi tulee 6,2 kN + 5,1 kN = 11,3 kN



Kuva 23. Nosturin yläosan paino 524 kg.

Kuvasta 24 näemme laakereille kohdistuvat voimat. Molemmille laakereille kohdistuu 106,3 kN säteisvoima ja tämän lisäksi ohjaavalle laakerille 11,3 kN aksiaalivoima.



Kuva 24. Lopulliset laakereille kohdistuvat voimat.

Vapaa laakeri

Vapaa laakeriksi valitsimme kartiorullalaakerin, koska se soveltuu hyvin korkeille säteis- ja aksiaalikuormille. Kartiorullalaakeri koostuu ulko- ja sisärenkaista, joissa on kartiomainen vierintärata ja pidin kartiorullineen. Nämä laakerit ovat purkautuvia, jonka

ansioista sisärengas rullineen ja pitimineen voidaan asentaa erikseen ja ulkorengas erikseen.

$$P = F_r$$

$$P = 124 \text{ kN}$$

Vapaa-laakeriksi valitsimme SKF 32020 X/Q kartiorullalaakerin. Kartiorullalaakeri tukee akselia kallistusta vastaan selvästi paremmin kuin yksirivinen kuulalaakeri.

Laakerin dynaaminen kantavuusluku C on 172 kN ja staattinen kantavuusluku C_0 280 kN

Vierintälaakerin kestoikä

Vierintälaakerien nimellisellä kestoikäällä L_{10} tarkoitetaan kestoikää, jonka 90 % samantyyppisiä laakereita saavuttaa tai jopa ylittää. L_{10} ratkaistaan kaavasta

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^{\frac{10}{p}} \quad [6, \text{s.125.}]$$

missä L_{10} on nimellinen kestoikä miljoonina kierroksina

C on dynaaminen kantavuusluku, joka ilmaisee kuormitusvoiman, jolla laakerin nimelliskestoikä on 10^6 kierrosta. Kuormitusvoima on tällöin säteislaakerille säteittäinen ja aksiaalilaakerille aksiaalinen.

P on laakerin ekvivalenttikuormitus

p on eksponentti; kuulalaakereille $p = 3$ ja rullalaakereille $p = 10/3$

$$L_{10} = \left(\frac{172000 \text{ N}}{124000 \text{ N}} \right)^{\frac{10}{3}} = 2,9(10^6 \text{ kierrosta})$$

Ohjaava laakeri

Ohjaavaksi laakeriksi valitsimme SKF T4CB 120 kartiorullalaakerin. Laakerin dynaaminen kantavuusluku C on 157 kN ja staattinen kantavuusluku C_0 250 kN

$$F_{Ar} = 124 \text{ kN} \quad F_{Aa} = 11,3 \text{ kN}$$

$$P = F_r \quad \text{kun } F_a / F_r \leq e$$

$$P = 0,4 * F_r + Y * F_a \quad \text{kun } F_a / F_r > e$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{11,3 \text{ kN}}{124 \text{ kN}} = 0,09$$

$$e = 0,46$$

$$L_{10} = \left(\frac{157000 \text{ N}}{124000 \text{ N}} \right)^{\frac{10}{3}} = 2,2(10^6 \text{ kierrosta})$$

Staattinen laakerin kuormitus

Laakerin staattinen kantokyky on tarkastettava, jos laakeri on kuormituksen alaisena paikallaan, pyörii hitaasti edestakaisin tai pyörii hyvin pienellä nopeudella. Staattinen ekvivalenttikuormitus P_0 on

$$P_0 = X_0 * F_r + Y_0 * F_a \quad [12, \text{ s. } 612.]$$

missä X_0 on laakerin säteiskerroin

Y_0 on laakerin aksiaalikerroin

Kertoimet X_0 ja Y_0 löytyvät laakerivalmistajien luettelosta.

$$P_0 = 0,5 * 124 \text{ kN} + 0,8 * 11,3 \text{ kN} = 71 \text{ kN}$$

Kelkan laakerin laskenta

Siirtokelkka sähkövinssille rakennetaan L-kulmatangosta, josta leikataan tarvittavan mittainen pala. Kelkan pyörän halkaisija on 47 mm. Pyörän kehän pituus on tällöin $\pi * D = \pi * 46 \text{ mm} = 147,7 \text{ mm}$

Kiskon pituus, missä kelkka on kiinni on 3000 mm pitkä. Oletetaan, että kuorman ollessa kiinni kelkan maksiminopeus olisi 1 m/s. Tällöin kelkan matka kiskon päästä päähän kestäisi 3s.

Tällä matkalla pyörä pyörähtää

$$\frac{300 \text{ cm}}{14,765 \text{ cm / kierr}} = 20,3 \text{ kierrosta}$$

$$\text{Sekunnissa pyörä pyörähtää } \frac{20,3 \text{ kierr}}{3 \text{ s}} = 6,8 \text{ kierr / s}$$

$$\text{Minuutissa pyörä pyörii } 6,76 \text{ kierr/s} * 60 \text{ s} = 406 \text{ kierr/min}$$

Alaspäin kohdistuva voima 6,2kN jakautuu tasan neljälle laakerille, jolloin yhdelle laakerille tuleva säteisvoima on 1,55kN.

Laakerin nimelliskestoiän L_{10} tyypillinen vaatimus lyhytaikaisesti tai ajoittain käyville koneille, joilta vaaditaan suuri käyttövarmuus on 8000...12 000h. [6, s. 129.]

$$L_{10} = 60 * n * L_{10h} / 10^6 \quad [6, \text{ s. } 130.]$$

L_{10} on laakerin kestoikä [10^6 kierrosta]

n on keskimääräinen pyörimisnopeus [kierr/min]

L_{10h} on laakerin kestoikä [h]

Lasketaan laakerin kestoikä kierroksina

$$L_{10} = 60 * 414 \text{kierr} / \text{min} * 8000 \text{h} / 10^6 = 198 [10^6 \text{kierr}]$$

Laakerin väsymisvoimaluku C:

$$C \geq L_{10}^{\frac{1}{p}} * P [6, \text{s.125.}]$$

C [N], P [N]

L_{10} [10^6 kierrosta]

$p = 3$ (kuulalaakeri) tai $10/3$ (rullalaakeri)

$$C \geq L_{10}^{\frac{1}{p}} * P = 198^{\frac{1}{3}} * 1,55 \text{ kN} = 9 \text{ kN}$$

Laakeriksi valitaan SKF 6301 urakuulalaakeri, jonka dynaaminen kantavuusluku C on 10,1 kN

7 FEM-lujuuslaskentamenetelmä

Tässä kappaleessa käydään läpi Pro/ENGINEER-ohjelmalla tehdyt lujuuslaskelmat. Elementtimenetelmä (engl. Finite Element Method) on numeerinen tekniikka, joka löytää ratkaisuja differentiaaliyhtälöön samoin kuin integraaliyhtälöön. Monet fyysiset ilmiöt tekniikassa ja tieteessä voidaan kuvata osittaisdifferentiaaliyhtälöillä (engl. Partial Differential Equations (PDE)). Monesti näiden yhtälöiden ratkaiseminen klassisilla menetelmillä sattumanvaraisille muodoille on lähes mahdotonta. FEM- analyysiä käytetään laajasti eri aloilla staattisten ja dynaamisten ongelmien ratkaisemiseen. [13.]

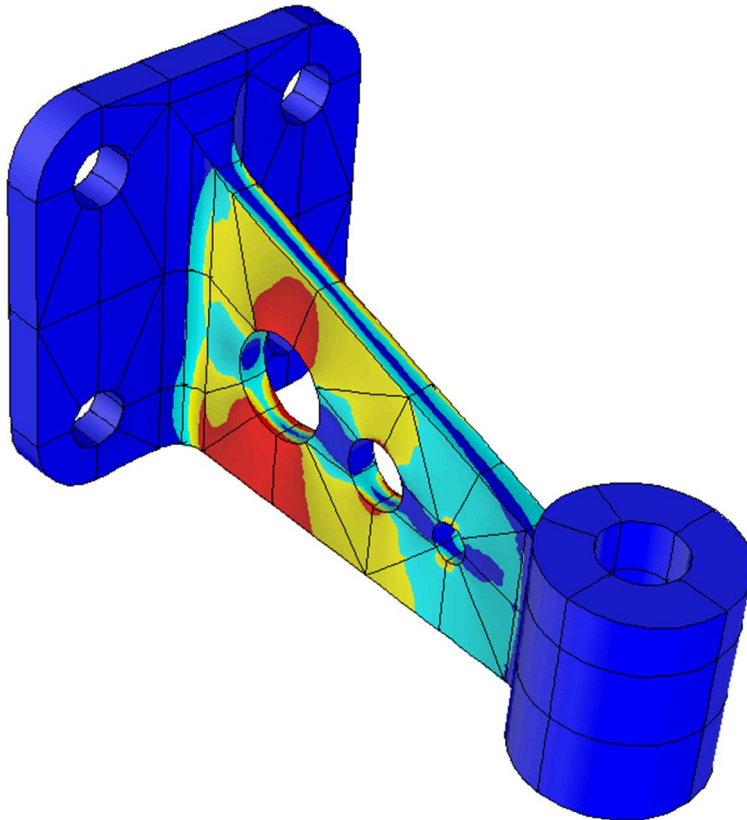
70-luvulla FEM-laskentaa rajoitti siihen tarvittavien kalliiden ja tehokkaiden tietokoneiden vähäinen määrä. Tällaisia tietokoneita oli silloin ainoastaan ilmailu-, auto-, puolustus- ja ydinteollisuudella. Nykypäivän koneet voivat nyt tarjota todella tarkkoja tuloksia kaikenlaisille parametreille. Menetelmää käytetään uuden tuotteen suunnittelussa tai jo olemassa olevan tuotteen parantelemiseen. [14.]

On olemassa kahdenlaisia menetelmiä joita teollisuudessa käytetään seuraavasti: 2-D mallinnus ja 3D-mallinnus. 2-D mallinnus on yksinkertaisempi ja nopeampi suorittaa se antaa yleensä myös vähemmän tarkkoja tuloksia verrattuna 3D-mallinnukseen. Elementtimenetelmä on yleistynyt viime vuosina teollisuudessa todella paljon. Monimutkaisiin rasitusongelmiin voidaan nyt saada ratkaisu FEM-analyysin avulla. Elementtimenetelmässä malli hajotetaan pienempiin osiin (elementteihin), joihin sitten sovelletaan suoria kaavoja, differentiaali, osittaisdifferentiaaliyhtälöitä tai näistä yksinkertaisempia versioita, koska joitakin pieniä osa-alueita laskettaessa oikeanlaiset yksinkertaistukset vähentävät merkittävästi laskenta-aikaa tarkkuuden juurikaan kärsimättä. [15.]

Laskemisen ensimmäinen vaihe on kappaleen mallintaminen. Kappaleelle annetaan myös haluttu materiaali, jonka ansioista voidaan myöhemmin seurata kappaleelle mahdollisesti aiheutuvia muodonmuutoksia. Elementeille on tyypistä riippuen määritettävä yleensä ainakin kimmokertoimen ja Poissonin vakion arvot. Joissakin tapauksissa kannattaa myös miettiä tarpeettoman monimutkaisen rakenteen yksinkertaistamista, ettei laskentaprosessista tule kohtuuttoman pitkää. Kuten aiemmin todettiin kappale voi olla 2- tai 3-ulotteinen. Ennen laskemisen aloittamista kappale pitää vielä tukea kiinni jostakin halutusta kohdasta, ettei se pääse voimien vaikutuksesta pyörimään ympäriinsä, jolloin tulokset eivät olisi todellisia. Viimeinen vaihe on voimien määrittäminen. Kappaleeseen määritetään siihen vaikuttavat voimat ja momentit ja tämän jälkeen voidaan aloittaa simulaation ajaminen.

Ennen varsinaista laskelmaa tehtävät toimenpiteet ovat todella tärkeitä, ja niiden määrittämiseen pitää kiinnittää erityisen suurta huomiota. Reunaehdot ovat useasti syynä FEM-laskennalla saatuihin virheellisiin tuloksiin. Pienetkin virheet, jotka tehdään ennen laskennan aloittamista voivat aiheuttaa suuria muutoksia lopputulokseen. Mallin määrittelyä seuraa analysointi, joka mallin koon mukaan saattaa kestää muutamista sekunneista tunteihin. Jo tavallisella tietokoneella kyetään nykyisin analysoimaan hyvinkin mutkikkaita ja isoja malleja. Analyysin jälkeen tuloksia tarkastellaan jälkikäsitteilyllä. Yleisimmin kiinnitetään huomiota rakenteen muodonmuutoksiin ja jännityksiin.

Tuloksena tästä on lujuusanalyysi, josta nähdään kappaleeseen vaikuttavat jännitykset. Yleensä kuvassa punaisena näkyvät kohdat kertovat suurimmasta positiivisesta jännityksestä ja sininen taas negatiivisesta jännityksestä (kuva 25).



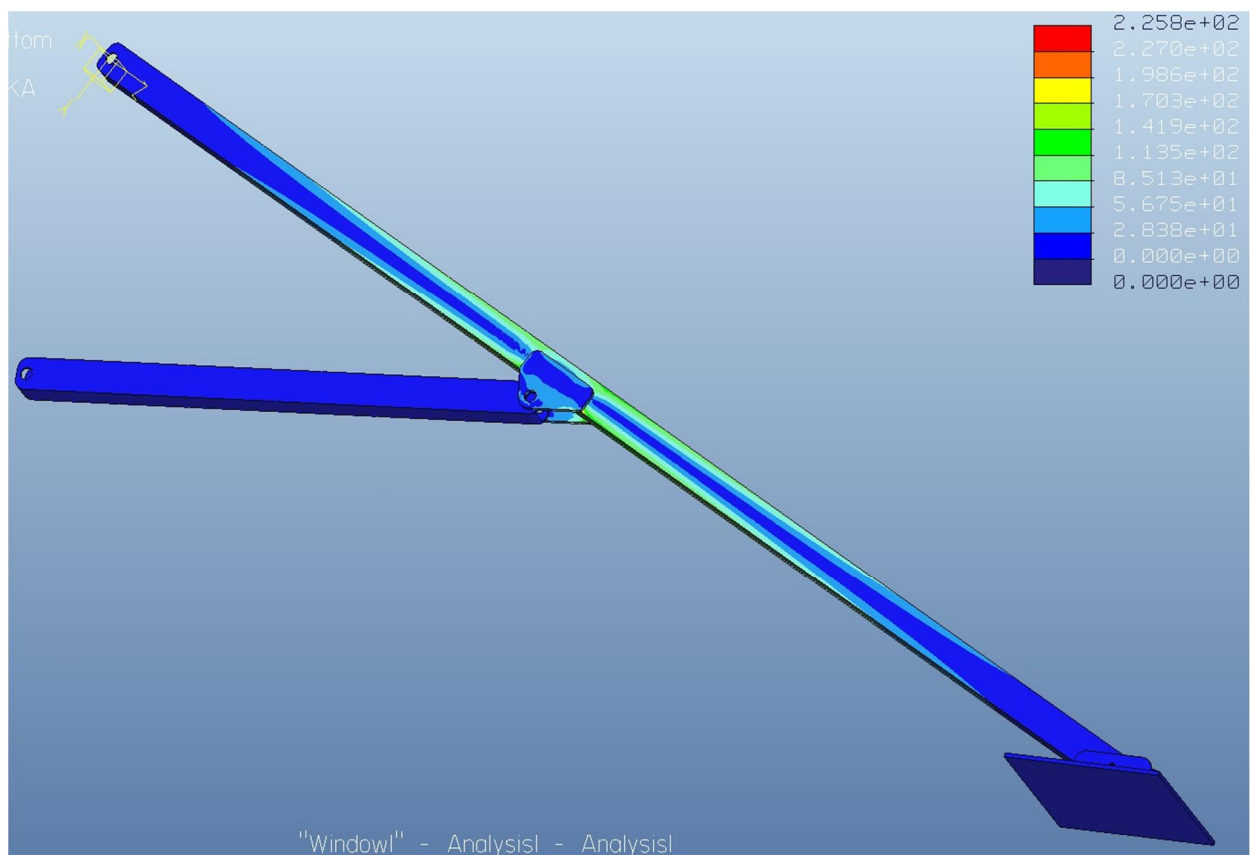
Kuva 25. Kuva korvakon FEM- analyysista

8 FEM-lujuuslaskut

Todella suuri osa nosturin suunnitteluun kuluneesta ajasta kului lujuuslaskuihin. Tässä kappaleessa esittelemme osan FEM:llä lasketuista lujuuslaskuista. Emme esittele kuvilla kaikkia laskuja, koska kuvauksesta tulisi liian laaja. Varmistimme kaikki käsin lasketut laskut tietokoneella ja alkuperäisiin mittoihin tulikin paljon muutoksia. Tämä johtui siitä, koska emme ottaneet tietoisesti joitakin kuormia huomioon käsin laskiessa ja osittain, koska nosturin rakenne muuttui vielä melkoisesti. Kuvat FEM-laskuista ovat lopullisilla mitoilla. Kaikki FEM-laskut on laskettu 10 % konvergenssilla. Konvergenssiaste tarkoittaa pienintä suhteellista muutosta, jonka ohjelma sallii ratkaisuun. Toisin sanoen ohjelma jatkaa laskemista niin pitkään kunnes ratkaisujen suhteellinen muutos on pie-

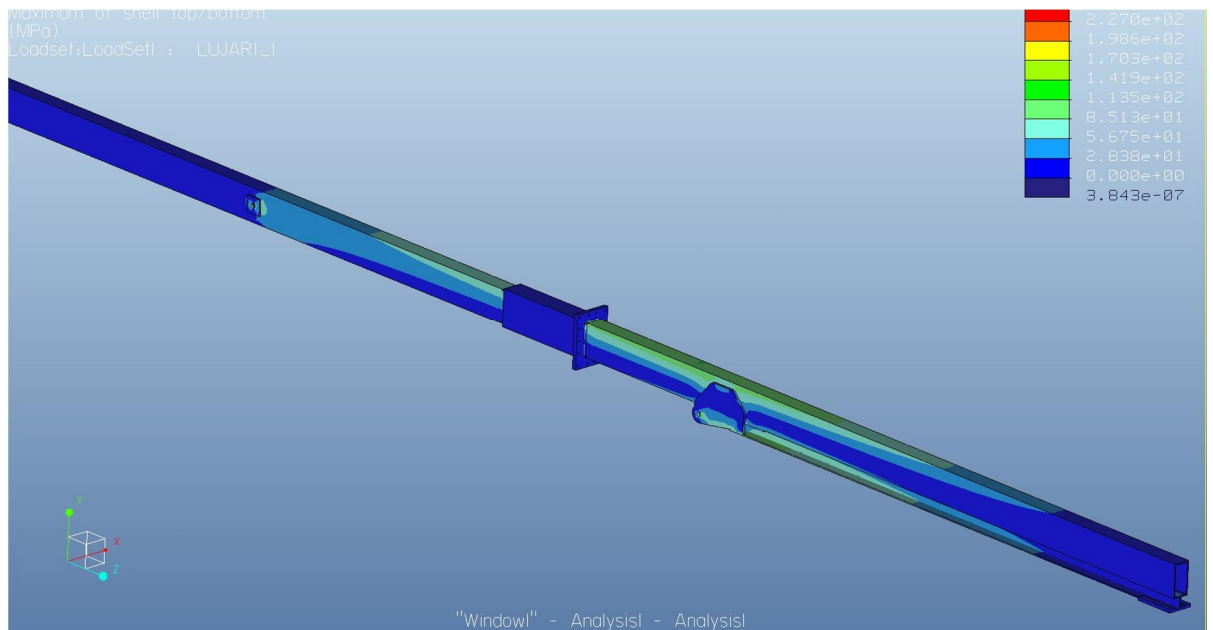
nempi tai yhtä suuri kun tämä arvo. Toisin sanoen mitä pienempi konvergenssi sitä tarkempi tulos.

Kuvassa 26 on yksittäisen jalan kokoonpanon jännitys. Voimana on käytetty jalan alaosaan vaikuttavaa maan tukivoimaa 2.4 kN ja jalan yläosa ja vinotuki on kiinnitetty.



Kuva 26. Jalan FEM-analyysi: Suurin Von Mises jännitys 225 MPa.

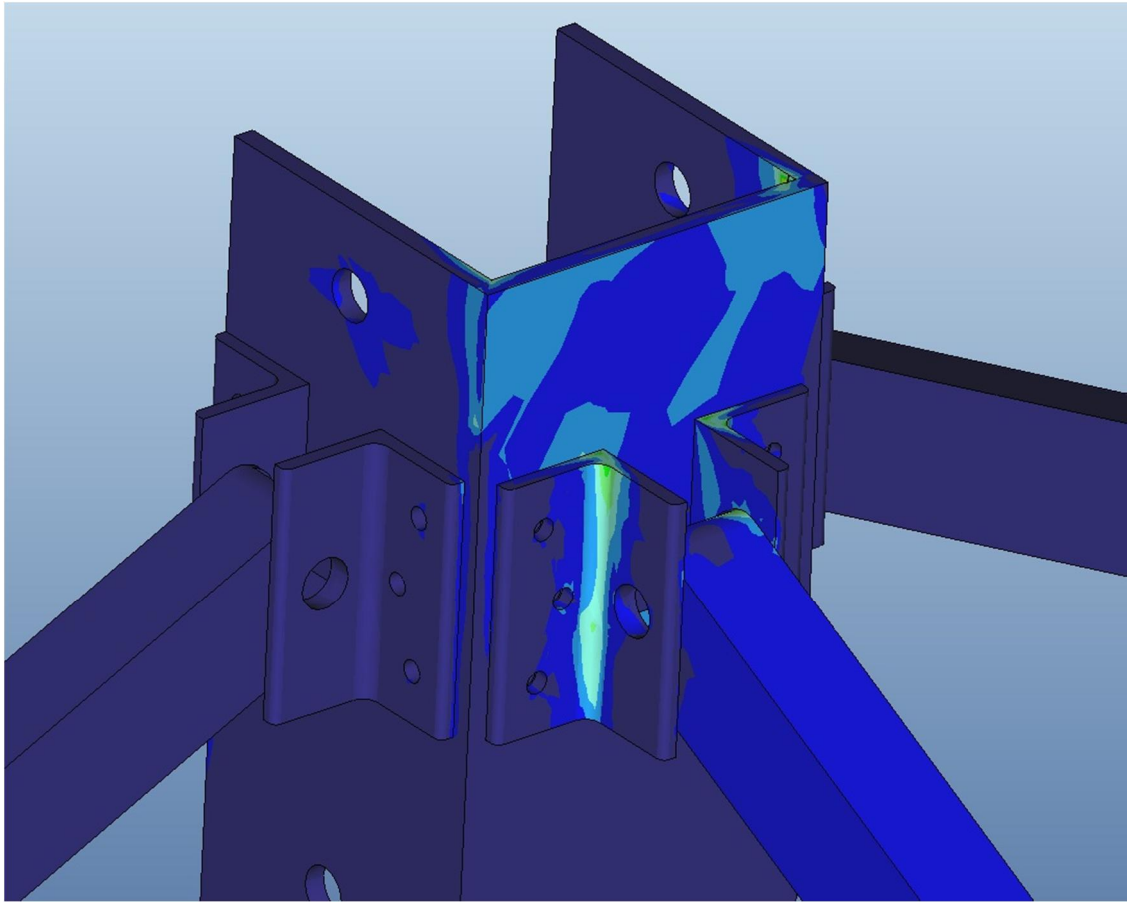
Nosturin vaakapuomin mittoihin tuli vain vähän muutoksia käsinlaskennan jälkeen. Ainoastaan vinssille tarkoitetun kiskon lisääminen tuotti hankaluuksia, koska kiskon pää aiheutti jännitystä puomin alapintaan, kun kiskon päässä oli kuorma. Jännitys pieni, kun kiskon ja palkin väliin asetettiin levike kappale tasaamaan kuormaa ja vinotuen korvakkoa levitettiin tukemaan myös kiskoja. Palkki on tuettu vinotuen ja maston sokan rei'istä ja voimana on maston päässä 6.2 kN. (Kuva 27.)



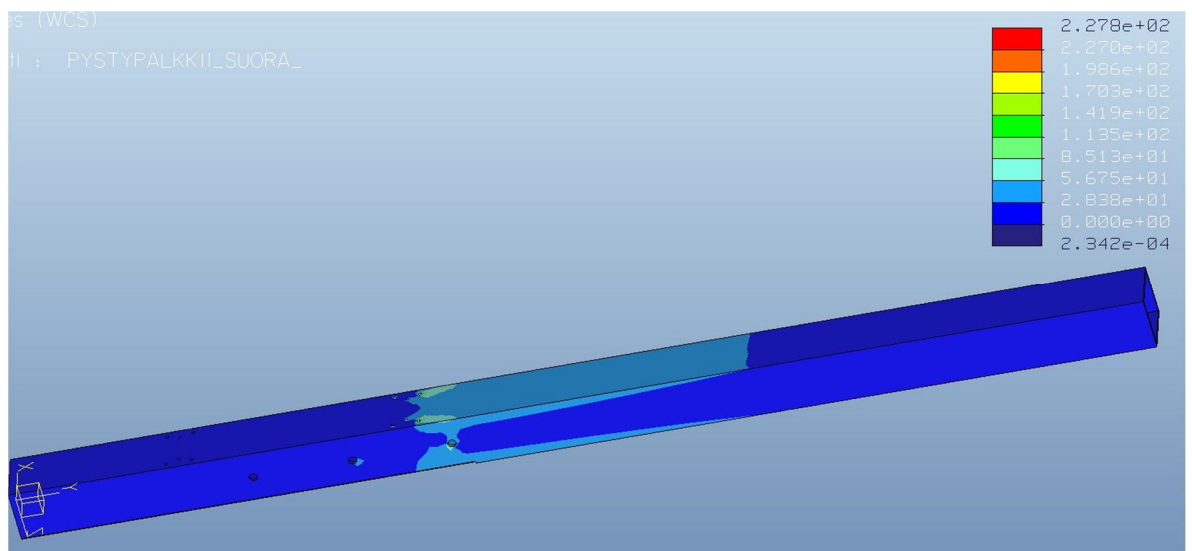
Kuva 27. Vaakapuomin FEM-analyysi: Suurin Von Mises jännitys 203 MPa.

Jalan kiinnitys jalustaan tuotti melkoisesti päänvaivaa, mutta ongelma ratkesi, kun kiinnitimme korvakon ruuvilla hitsin sijaan. Kuva 28 näyttää jännityksen, jos kuorma tulisi pääosin vain yhden korvakon kohdalle. Todellisuudessa vastapainojen ansiosta kaikki jalat ottavat kuormaa vastaan ja jännitys ei nouse niinkään suureksi. Jalustaa laskiessa käytimme tuentaan jalkojen päitä ja jalustan alaosaa, momentti oli vapaa. Voimana käytimme mastoon vaikuttavaa momenttia siirrettynä jalustan yläosaan sivulle päin vaikuttavana voimana.

Maston alaosan jännitys pysyy pienenä, koska valitsimme suuremman palkin kun olisimme lujisuuden puitteissa tarvinneet. Palkin sisään täytyi saada sopimaan laakeripesä, jolle tuli suuria voimia, joten se vei melko paljon tilaa (kuva 29). Masto oli kiinnitetty sokan rei'istä ja voimana oli mastoon vaikuttava momentti.



Kuva 28. Jalustan FEM-analyysi: Suurin Von Mises jännitys on 168 Mpa.

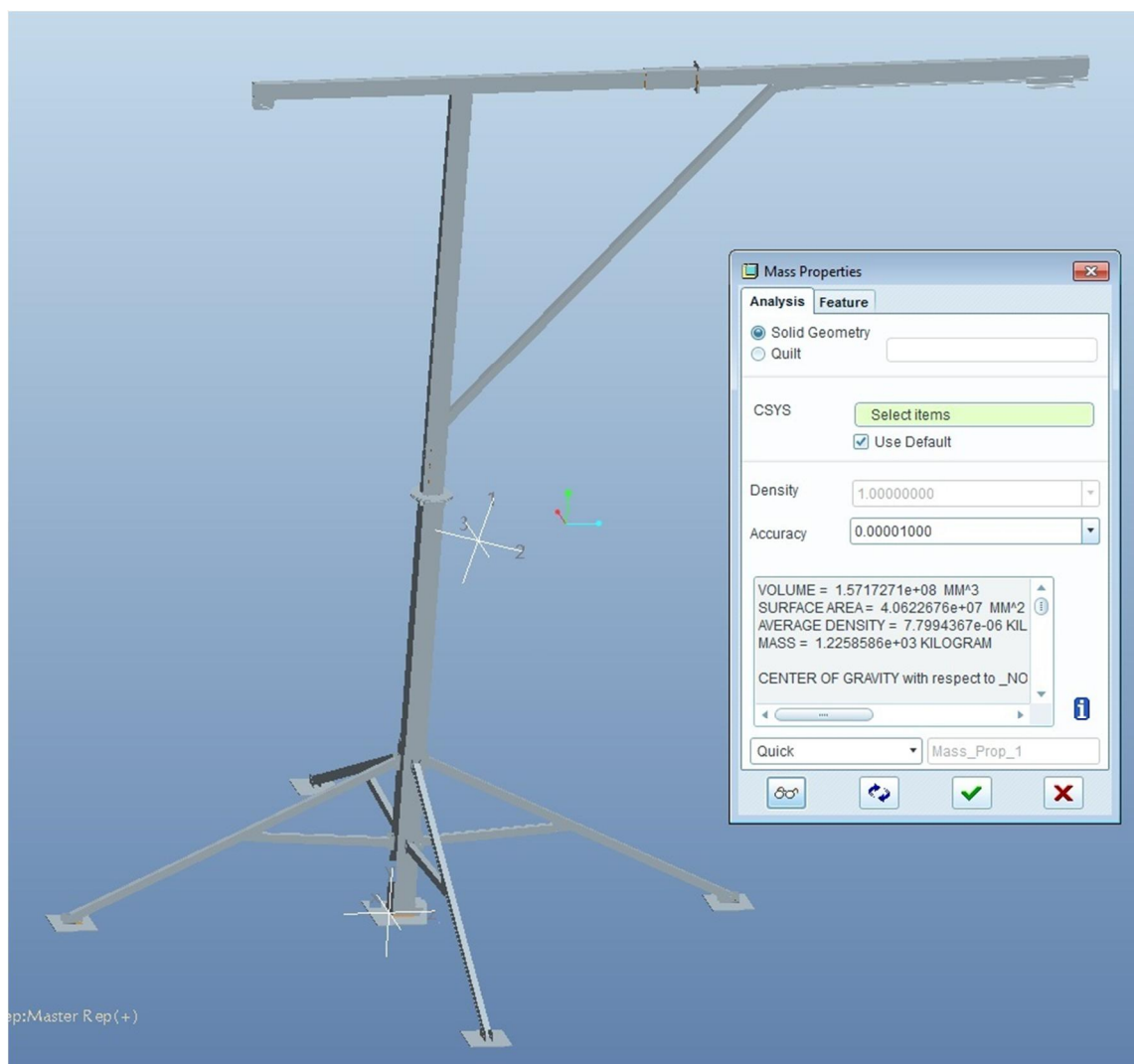


Kuva 29. Maston FEM-analyysi: Suurin Von Mises jännitys 141 MPa

9 Nosturin kustannukset

Koska nosturi valmistetaan varsin pienelle yritykselle, oli yhtenä nosturin vaatimuksista suhteellisen edulliset kustannukset. Tämä on yksi syy, minkä takia nosturi päätettiin suunnitella S355JH2-teräksestä.

Kustannusarvioon ei ole laskettu mukaan työnoisuutta ja hitsauskustannuksia. Teräksen hinnat elävät paljon kysynnän mukaan. Hintaan vaikuttaa myös tilattava määrä, isomille määrille hinta voi pudota hieman. 17.10.2011 tehdyssä kyselyssä Rautaruukki ilmoitti S355J2H teräksen hinnaksi 1,1 €/kg. Ohjelma ilmoittaa nosturin kokonaispainoksi ilman laakereita 1225 kg (kuva 30).



Kuva 30. Nosturin paino

Taulukkoon 9 on kerätty nosturiin vaadittavien ruuvien, muttereiden, sokkien ja aluslaattojen hintatiedot. Hinnat on katsottu ruuvi.net-verkkokaupasta, jossa hinnat ovat kappalehintoina. Suurempia määriä ostaettaessa hinnat voi pudota hieman.

Taulukko 9. Ruuvituotteiden kustannukset

Kuusioruuvi DIN 8676	48 kpl * 0,52 €/kpl	24,9 €
Kuusiomutteri DIN 985	36 kpl * 0,37 €/kpl	13,3 €
Saksisokka ISO 1234	14 kpl * 0,05 €/kpl	0,7 €
Kuusioruuvi DIN 931	20 kpl * 0,83 €/kpl	16,6 €
Aluslaatta DIN 6340	36 kpl * 1,5 €/kpl	54 €
Kuusioruuvi DIN 7991	16 kpl * 0,68 €/kpl	10,8 €
Aluslaatta DIN 1441	4 kpl * 0,15 €/kpl	0,6 €
Korialuslevy DIN 9021	4 kpl * 0,78 €/kpl	3,1 €
Kuusioruuvi DIN 558	9 kpl * 0,56 €/kpl	5 €
Sokkapultti DIN EN 22341	16kpl * 6,9 €/kpl	110,4 €
	YHTEENSÄ	240 €

Taulukkoon 10 on tehty nosturin alustava kustannuslaskelma. Hinnat on tarkastettu 31.10.2011. Kallein yksittäinen kustannus terästen lisäksi on ohjaava laakeri.

Taulukko 10. Nosturin kustannuslaskelma

Rakenneteräs 1225 kg * 1,1 €/kg	13478 €
Kartiorullalaakeri T4CB 120	302 €
Kartiorullalaakeri 32020 X/Q	200 €
Einhell sähkövinssi BT-EH 1000	279 €
Kelkan laakerit SKF 6301 4kpl	35 €
Käsiwinssi	25 €
Ruuvit, mutterit, aluslaatat, sokat	240 €
KOKONAISHINTA	2400 €

10 Pohdinta

Opinnäytetyössä oli tavoitteena kehittää suhteellisen yksinkertainen ja turvallinen rakenneosturi. Joitakin vaatimusluettelon kohtia oli hankala toteuttaa, esimerkiksi vastapainoja tuli lopulta aika paljon enemmän mitä aluksi toivoimme. Koska nosturia ei ole vielä rakennettu, sen kokoonpano on vielä teoreettisella tasolla, ja ei voi sanoa varmaksi, onnistuuko se ilman autonosturin apua. Lopputulokseen olemme kuitenkin suhteellisen tyytyväisiä. Suunnitteluprosessin aikana olemme olleet aktiivisesti yhteydessä toimeksiantajan kanssa, ja jos emme ole pystyneet toteuttamaan jotakin vaatimusluettelon kohtaa olemme aina ensin varmistaneet toimeksiantajalta käykö vaihtoehtoinen ratkaisu hänelle. Työn edetessä toimeksiantaja on myös välillä tarjonnut omia ratkaisuvaihtoehtoja, joita olemme yrittäneet ottaa huomioon suunnittelussa. On todennäköistä, että nosturi vaatii vielä muutoksia ennen kuin viimeinen oikea versio on saatu valmistettua. Tämä työ on enemmänkin ohjeistusta ns. prototyypin valmistusta varten, jonka jälkeen voidaan tehdä tarvittavat muutokset ja parannukset.

Opinnäytetyössä oli paljon erilaisia vaiheita suunnittelun aloittamisesta siihen vaiheeseen, kun lopullinen versio saatiin valmiiksi. Tehtävät vaihtelivat käsinlaskemisesta tietokonepohjaiseen lujuuslaskentaan. Olisi ollut hienoa nähdä myös nosturin valmistuminen laskennan ohessa, mutta valitettavasti tällä kertaa se olisi vienyt aivan liikaa aikaa. Nosturin suunnittelu onnistui mielestämme hyvin, mutta kuten jo aiemmin sanottu, todellinen lopputulos saadaan selville vasta, kun oikea versio nosturista on rakennettua ja todettu käytössä toimivaksi.

Vaikeuksia työssä aiheuttivat useammatkin lujuuslaskut kuten esim. saranan laskeminen. Edullisuuden takia nosturi päätettiin valmistaa S355J2H-rakenneteräksestä. Monet kohdat olisi varmasti saanut kestävämmällä suunnittelulla ja yksinkertaisimmilla ratkaisuilla, jos käytettävissä olisi ollut kalliimpia kestäviä teräksiä. Tämä olisi luonnollisesti nostanut nosturin hintaa jonkin verran, koska jo nyt teräkset muodostavat ison osan nosturin kokonaiskustannuksista. Valittua terästä käyttämällä jouduimme suunnittelemaan ja käyttämään hieman erikoisempia ratkaisuja joissakin paikoissa. Tuotekehityksen kannalta on hyvä, ettei suunnittelussa kaikki pitäydy aina vanhoissa ratkaisuissa.

Eniten aikaa työssä vei suunnittelu. Vaikka nosturin perusrakenne on melko perinteinen, tuotti joidenkin osien yhteensovittaminen hieman ongelmia. Välillä työssä jouduttiin

ottamaan hieman takapakkia ja palata muuttamaan jo valmiita osia, koska niitä ei saatu sopimaan järkevästi keskenään uusien osien kanssa. Yritimme myös käyttää nosturin osissa niin paljon standardimittaisia teräsprofiileja kuin mahdollista, koska halusimme välttää materiaalin työstämisestä koituvat lisäkustannukset. Jos materiaaleja olisi voinut muokata miten tahtoi, olisi työ varmasti helpottunut jonkun verran. Kyseessä oli kuitenkin melko normaali tilanne tuotekehityksen kannalta, jossa tehdään kustannuslaskelmat ja tavoitehinnoittelu jo hyvin varhaisessa vaiheessa projektia. Suunnittelija joutuu siis työssään miettimään tapoja miten tuote saadaan suunniteltua siten ettei suunnittelusta koidu lisäkustannuksia huonon suunnitelun takia.

Koulun kurssitarjonnasta eniten apua työhön toivat ehdottomasti lujusopin ja FEM-laskemisen kurssit. Myös tuotekehityksen ja statiikan kursseista oli iso apu työhön. Jos aloittaisimme vastaavanlaisen tehtävän tekemisen uudestaan, käyttäisimme alussa enemmän aikaa nosturin tarkempaan luonnosteluun. Nyt luonnosteleminen oli ehkä hieman liian hätäistä, josta seurasi myöhemmin se, että työn edetessä jouduimme pysähtymään miettimään joitakin yksityiskohtia tarkemmin. Jos olisimme olleet luonnostelussa huolellisempia ei tällaisia ongelmia olisi mahdollisesti tullut niin paljon eteen ja aikaa olisi säästynyt lopulta enemmän, vaikka sitä olisikin alussa luonnosteluvaiheeseen kulunut enemmän.

Opinnäytetyö oli varsin laaja ja siinä oli riittävästi tekemistä kahdelle henkilölle. Työn aikana teimme paljon yhteistyötä keskenämme, joka toi hyvää oppia työelämää ajatellen. Nykyisin hyvin moneen työpaikkaan halutaan hyviä vuorovaikutustaitoja omaavia ja ryhmätyöhön soveltuvia ihmisiä.

Lähteet

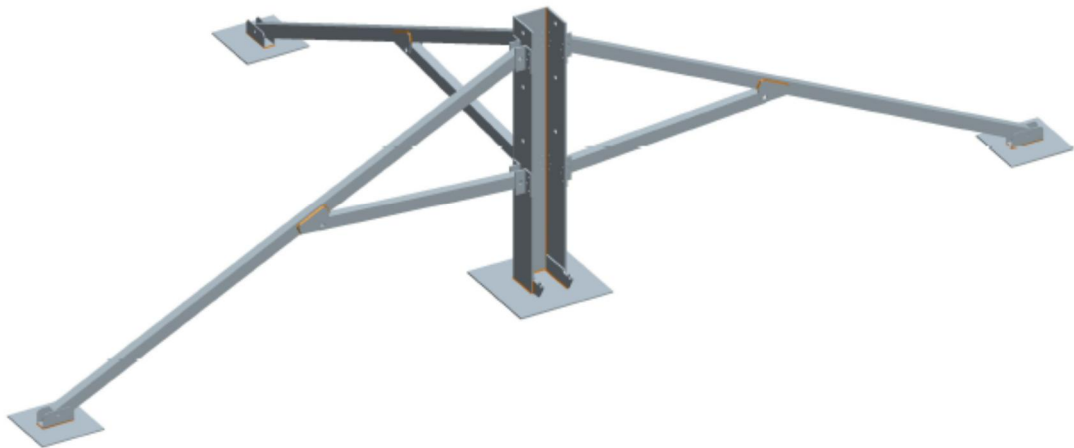
1. Rautiainen, U. 2005. Asiakaslähtöinen ja nopea tuotekehitys. Opintojakson WK 2950 aihepiirien sisältö ja luentorunko. Joensuu: Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu
2. Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy
3. Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy
4. Winrami- ohjelman käyttö ruostumattomille rakenneputkille. http://oci oulu.fi/OuluConstructionInnovations/Tiedostot/Terasseminaari/Pekka_Yrjola1.pdf. 1.11.2011
5. Outinen, H., Salmi T. 2004 Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy
6. Blom, S., Lehtinen, P., Nuutio E., Pekkola K., Pyy S., Rautiainen H., Sampo A., Seppänen P., Suosara E. 1999 Koneenelimet ja mekanismit 5.-6. painos: Helsinki: Edita Prima Oy
7. SFS 2373. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. 31.12.1980
8. EUROCODE 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. SFS-EN 1993-1-1. 15.8.2005
9. Valtanen E. 2007. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
10. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Turvallisuuden huomiointi nostoapuvälineiden suunnittelussa ja käytössä. http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/tutkimusraportti_nostoapu_1.pdf. 7.12.2011
11. Teollisuuden nosturit. Yleisohjeet tarkastukselle. 30.8.2011 http://www.tyosuojelu.fi/upload/Teollisuusnosturit_tarkastusohje_20110830.pdf. 10.12.2011
12. SKF kartiorullalaakeriesite. Taper roller bearings. <http://www.skf.com/files/099989.pdf>. 11.12.2011
13. Roylance D. 2001. Finite Element Analysis. Department of Materials Science and Engineering. Massachusetts Institute of Technology Cambridge. <http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/fea.pdf>. 7.12.2011

14. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method.
18.11.2011
15. Finite Element Methods of Structural Analysis.
<http://www.scribd.com/doc/20734912/Finite-Element-Methods-of-Structural-Analysis>. 5.12.2011

Kokoamisohje

Nosturin pohjan tulisi olla kovaa ja tasaista maata. Alueen tulisi olla väh. 7x7m.

Kiinnitä jalat (3kpl) jalustaan ja aseta painot jalkojen päälle ja jalustan juureen. Varmista vatupassilla, että jalusta on pystysuunnassa (kuva 31.)



Kuva 31. Nosturin jalusta.

Kiinnitä mastoon (masto1_kok) laakeripesä ja kiinnityslaippa2. (Kuva 32.)



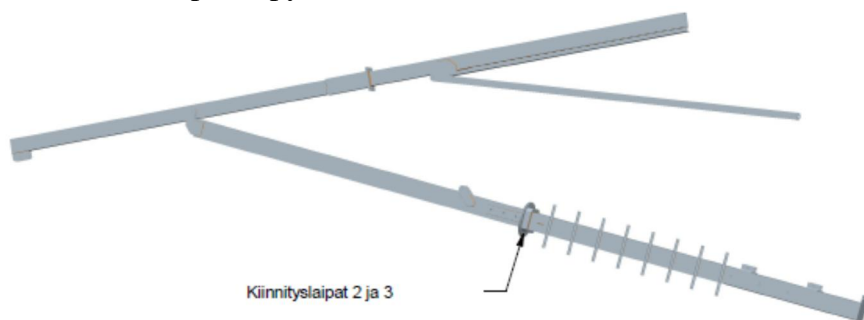
Kuva 32. Maston alaosa

Kokoa nosturin yläosa, mutta jätä vinotuki alapäästä irti ja kiinnitä käsivussin vaijeri vaakapuomi1 päähän korvakkoon1. (Kuva 33.)



Kuva 33. Nosturin yläosa (vinotuki alapäästä irrallaan).

Liitä nosturin yläosa mastoon ja kiinnitä kiinnityslaippa 2 ja 3 toisiinsa ruuvilla, että laakeriliitos ei pääse pyörimään. (Kuva 34.)



Kuva 34. Nosturin masto ja vaakapuomi

Kiinnitä masto jalustaan ja nosta pystyyn.

Lukitse masto paikoilleen sokilla ja kiinnitä neljäs jalka ja aseta vastapaino jalan päälle. (Kuva 35.)

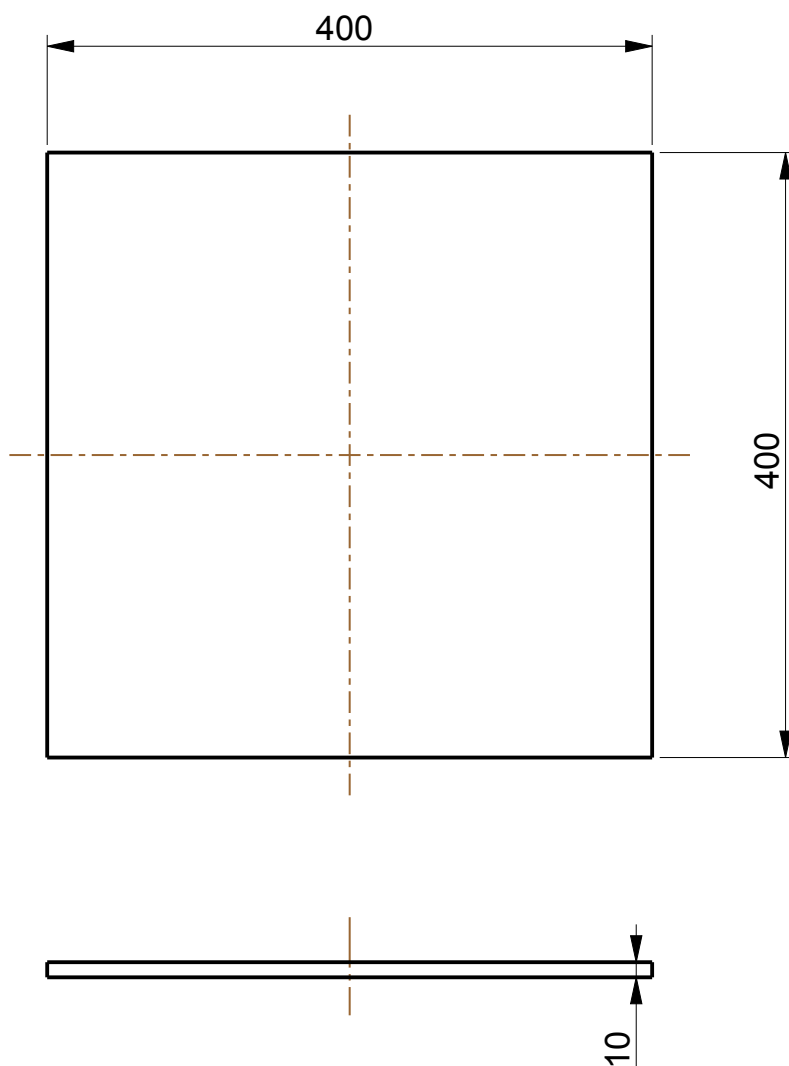



Kuva 35. Nosturin masto pystyasennossa.

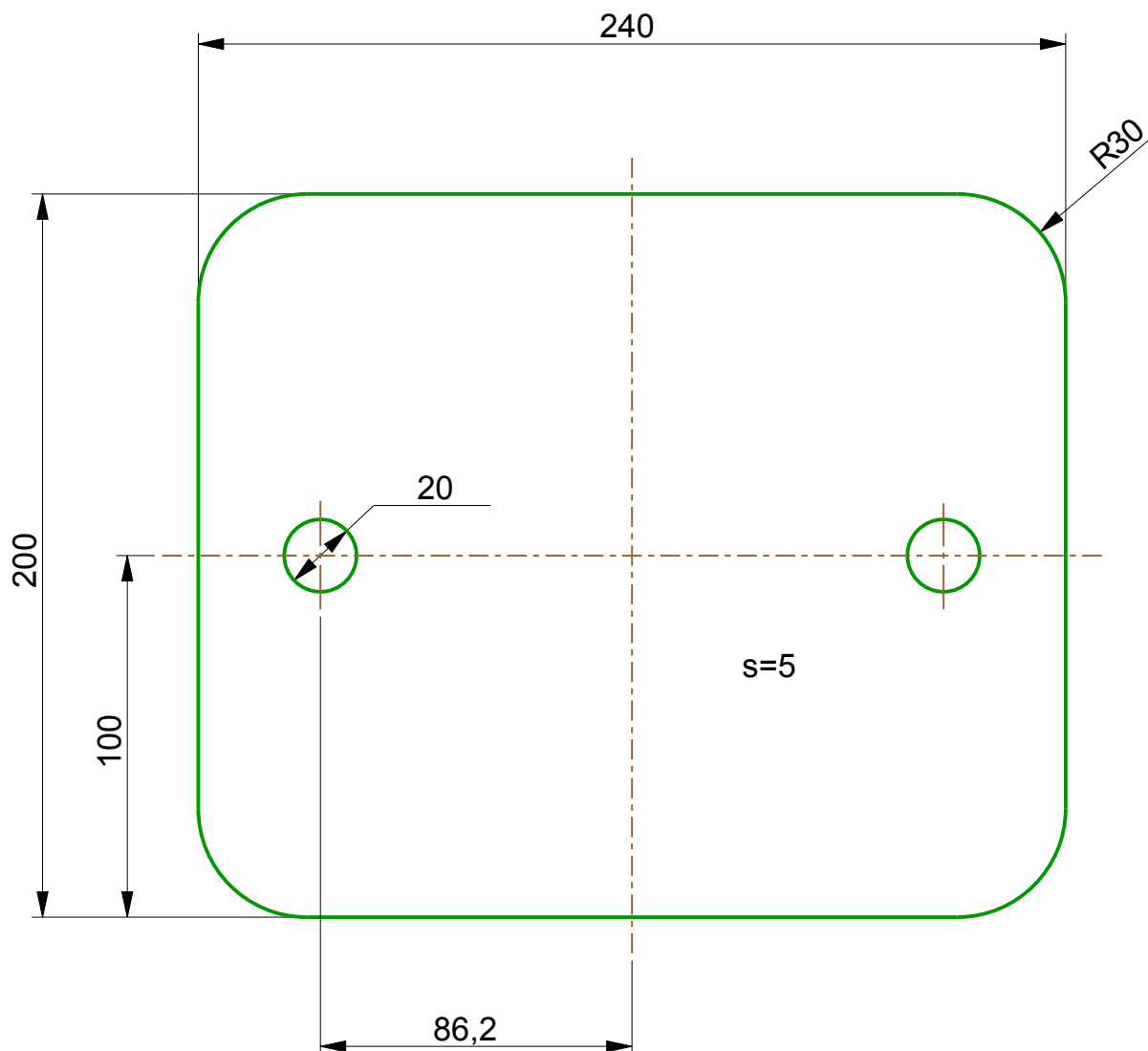
Kiipeä tikkaille ja kiinnitä valjaat turvalenkkiin
Nosta vaakapuomi vaaka-asentoon käyttämällä käsivinssiä, ja kiinnitä vinotuen alapää.
Avaa kiinnityslaippojen 2 ja 3 välinen kiinnitys. (Kuva 36.)



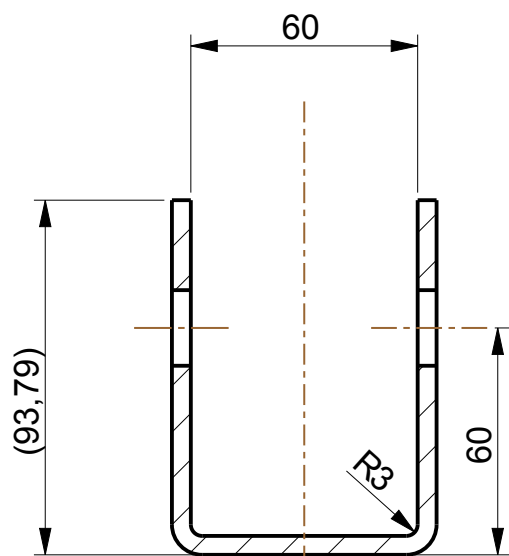
Kuva 36. Nosturi käyttövalmiina



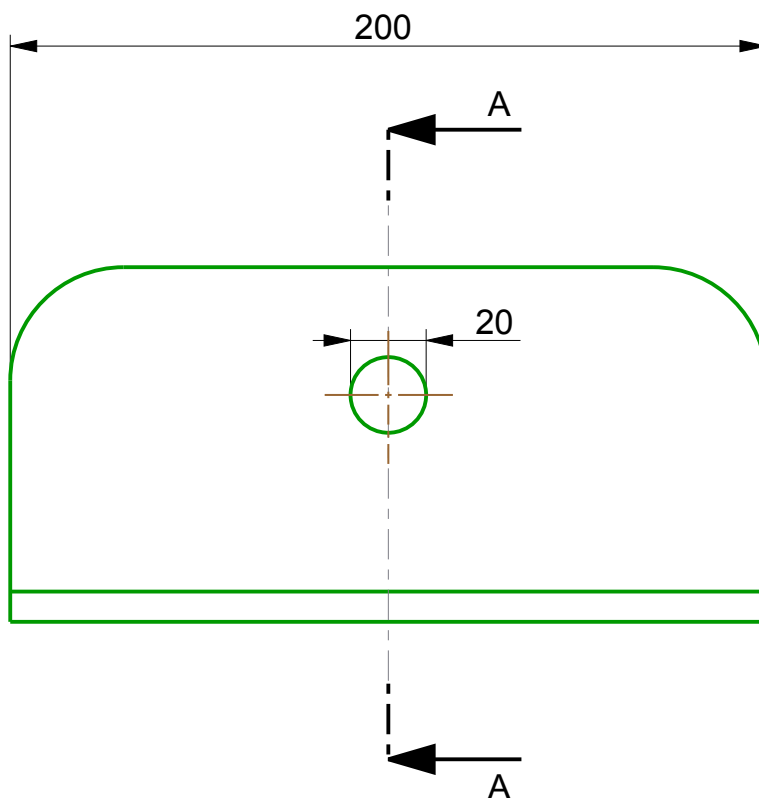
1	1	Pohjalevy			400x400x10	S355J2H	4			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys					
ISO 2768-m		1 : 5	Nosturi	Jalka	POHJALEVY					
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>			Ent	Uusi	Rev		
Suun	20.10.2011					Piirustusnumero			<h1>1</h1>	
Tark		Massa								
Hyv										




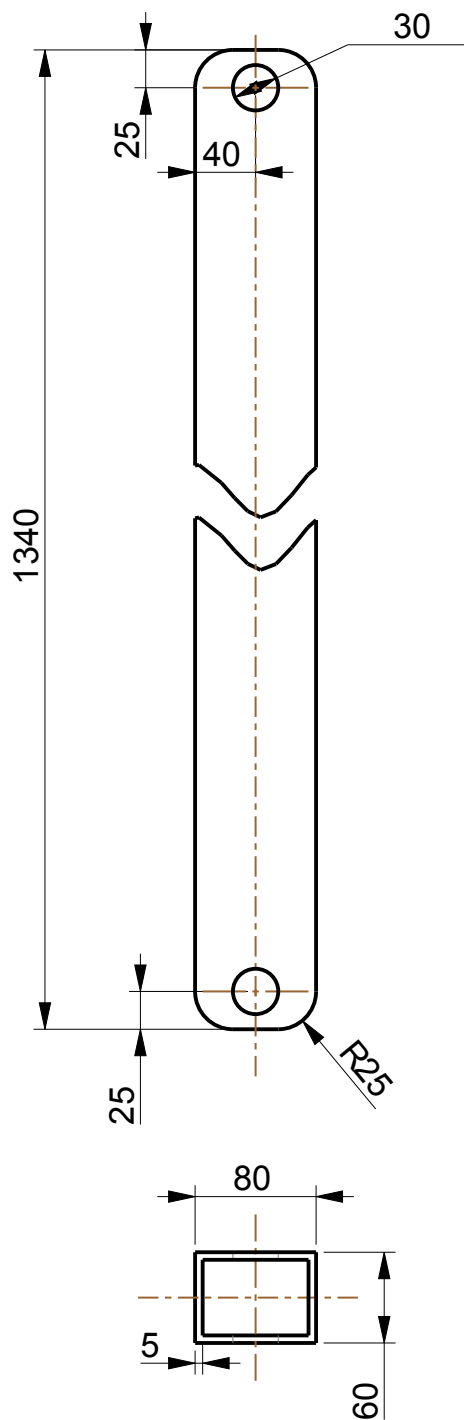
	2-1	Korvako1			240x200x5	S355J2H	5		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys				
ISO 2768-m		1 : 2	Nosturi	Jalka	KORVAKKO1				
Piirt	S Timoskainen		PKAMK			Ent	Uusi	Rev	
Suun	20.10.2011					Piirustusnumero			
Tark		Massa				2-1			
Hyv									



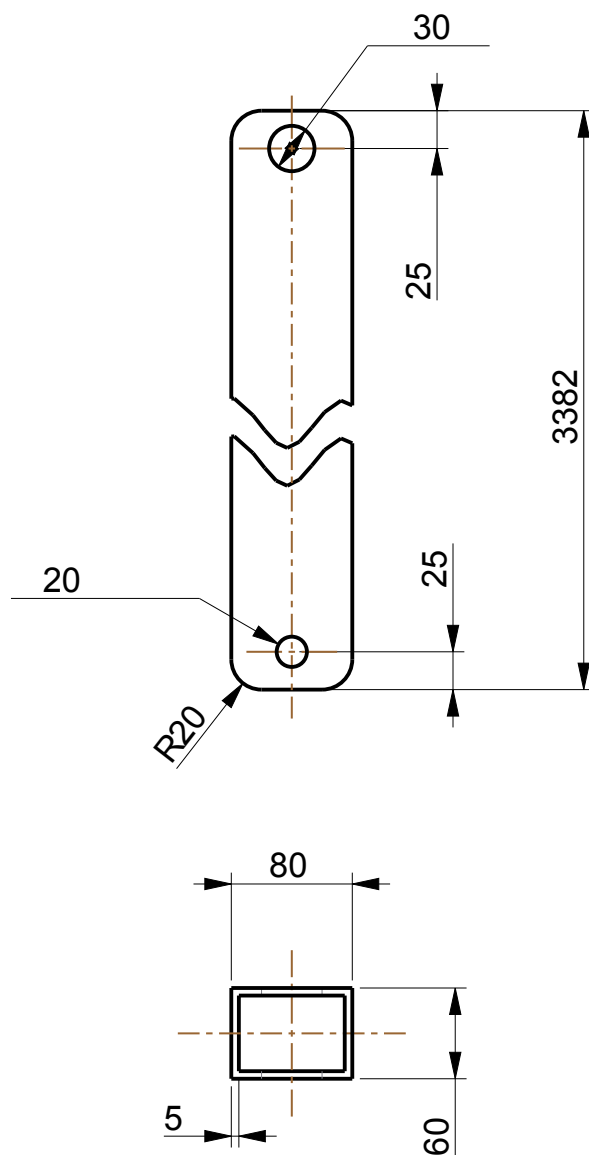
SECTION A-A



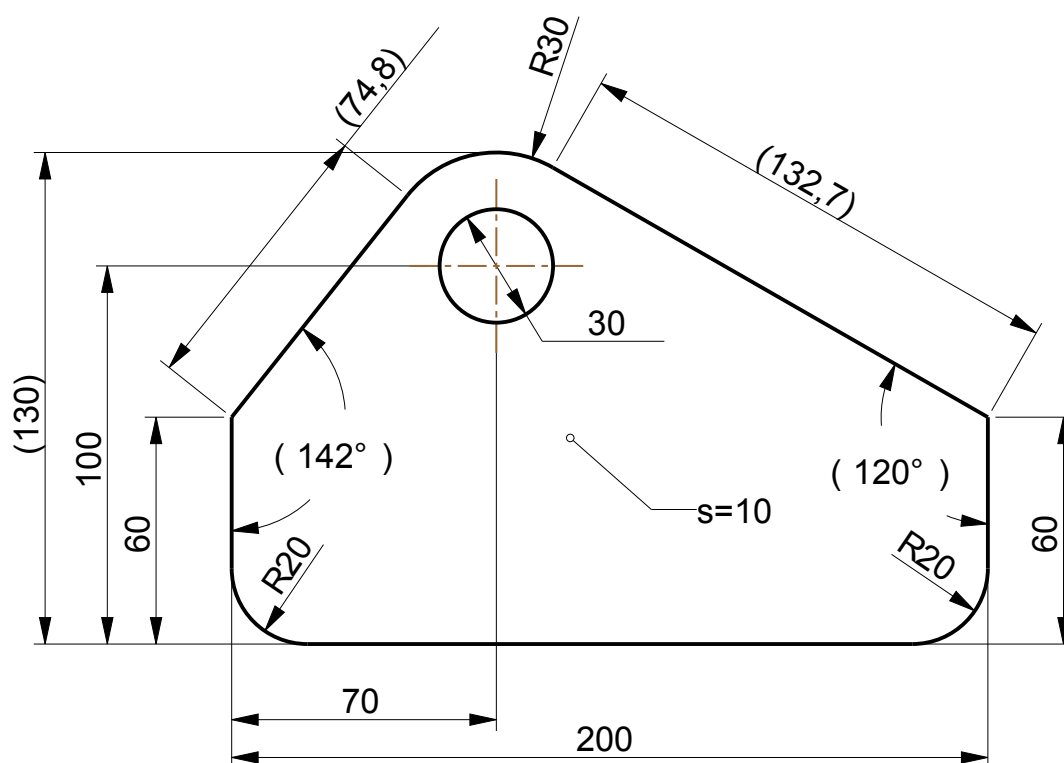
	2-2	Korvako1			240x200x5	S355J2H	5	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki			
ISO 2768-m		1 : 2	Nosturi	Jalka	Nimitys			
				KORVAKKO1				
Piirt	S Timoskainen		PKAMK			Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011					Piirustusnumero		
Tark		Massa				2-2		
Hyv								




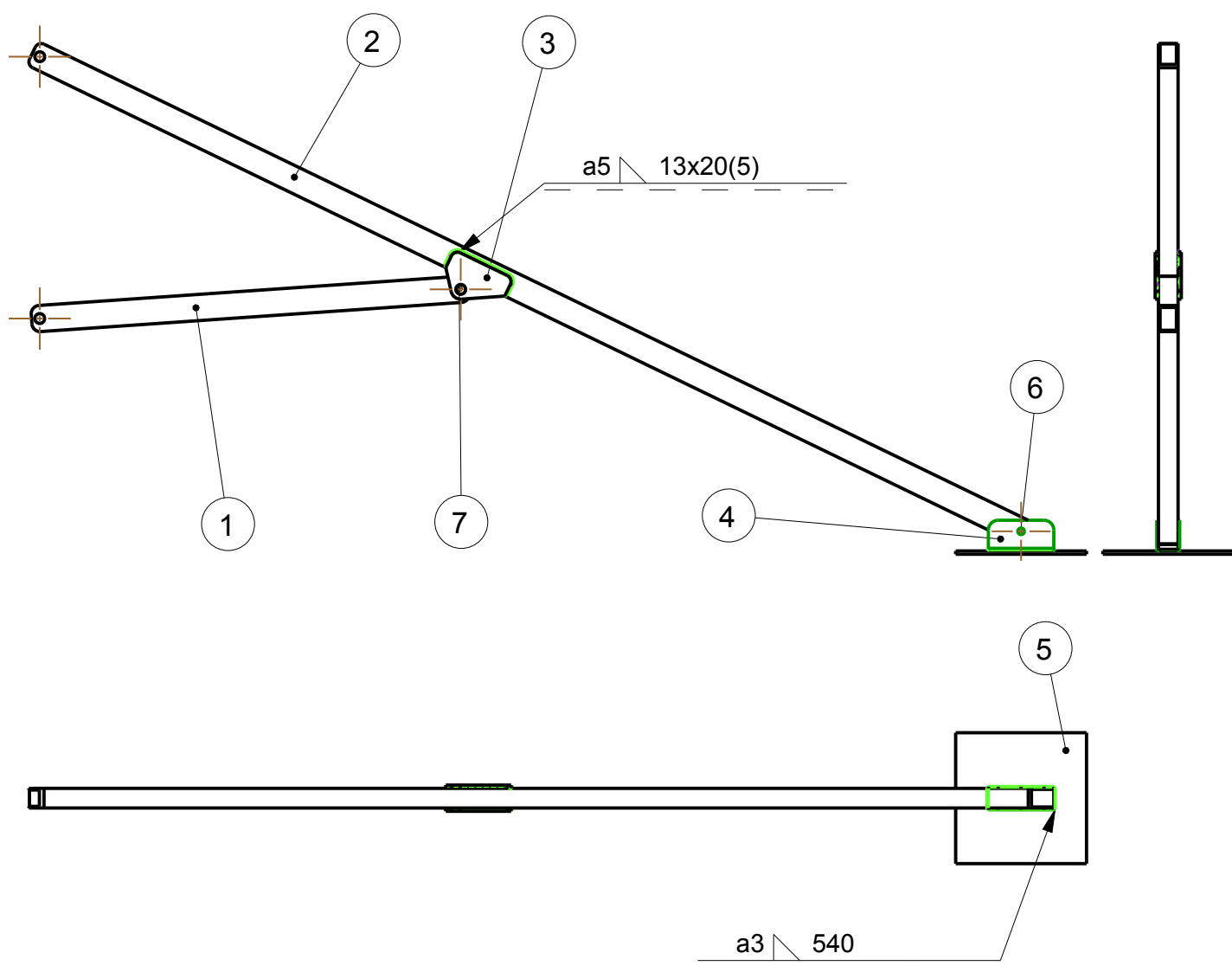
	3	jalan vinotuki			Suorakaideputkipalkki 80x60x5	S355J2H	4
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	ISO 2768-m	Mittakaava 1 : 5	Tuote Nosturi	Liittyy Jalka	Nimitys JALAN_VINOTUKI		
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011				Piirustusnumero		
Tark	Massa				<h1>3</h1>		
Hyv							



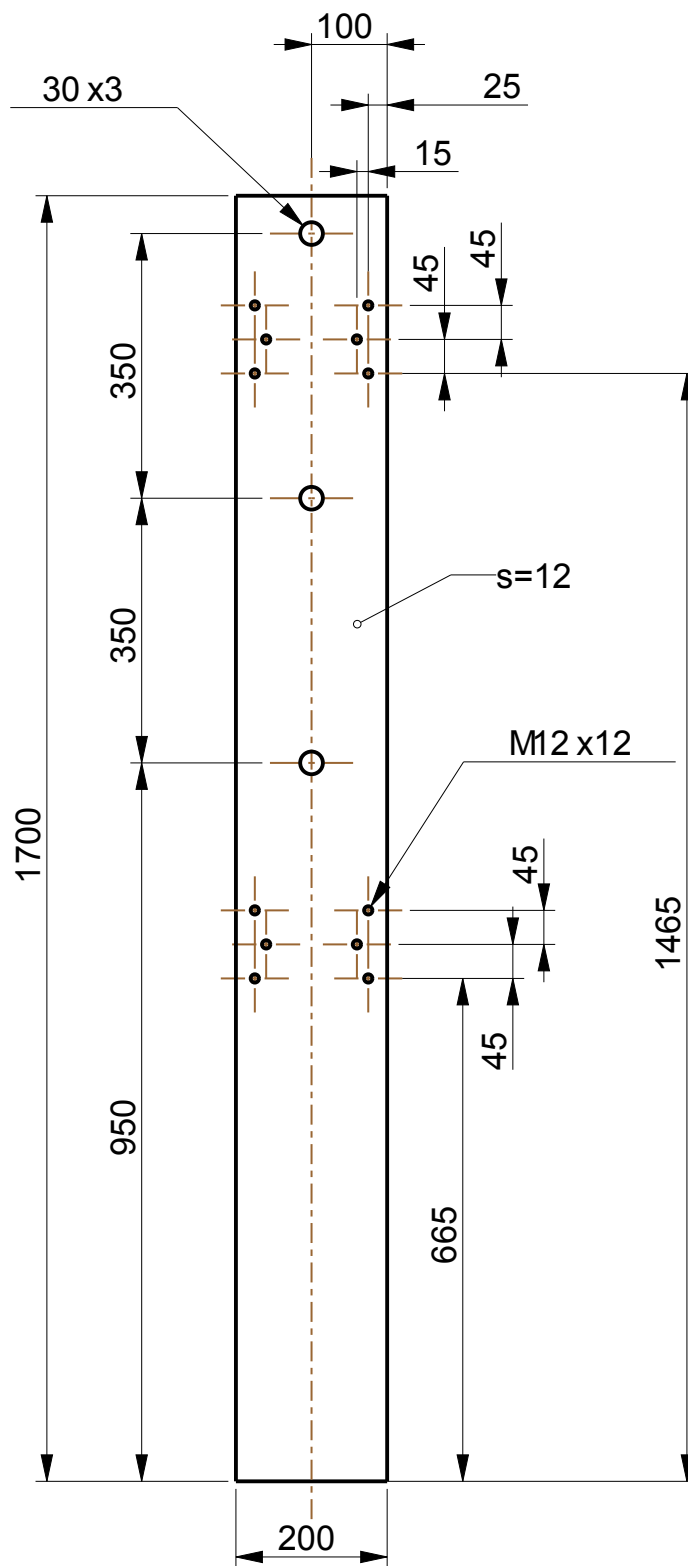
	4	Jalka suora		Suorakaideputkipalkki 80x60x5	S355J2H	4
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Jalka	JALKA_SUORA		
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			<h1>4</h1>		
Hyv						



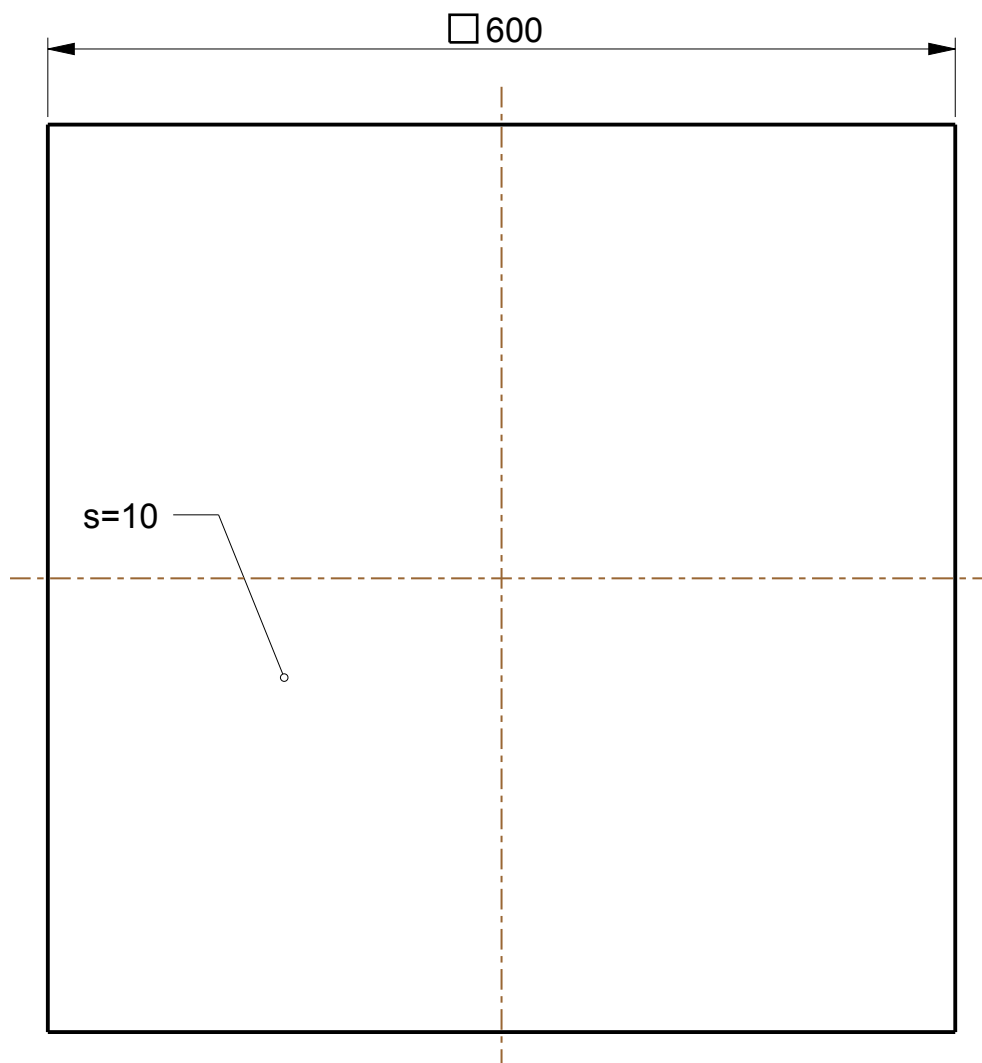
	5	Korvakko 2			200x130x10	S355J2H	8		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki				
ISO 2768-m		1 : 2	Nosturi	Jalka	KORVAKKO_2				
Piirt	S Timoskainen	 PKAMK			Ent	Uusi	Rev		
Suun	20.10.2011				Piirustusnumero				
Tark					Massa	5			
Hyv									



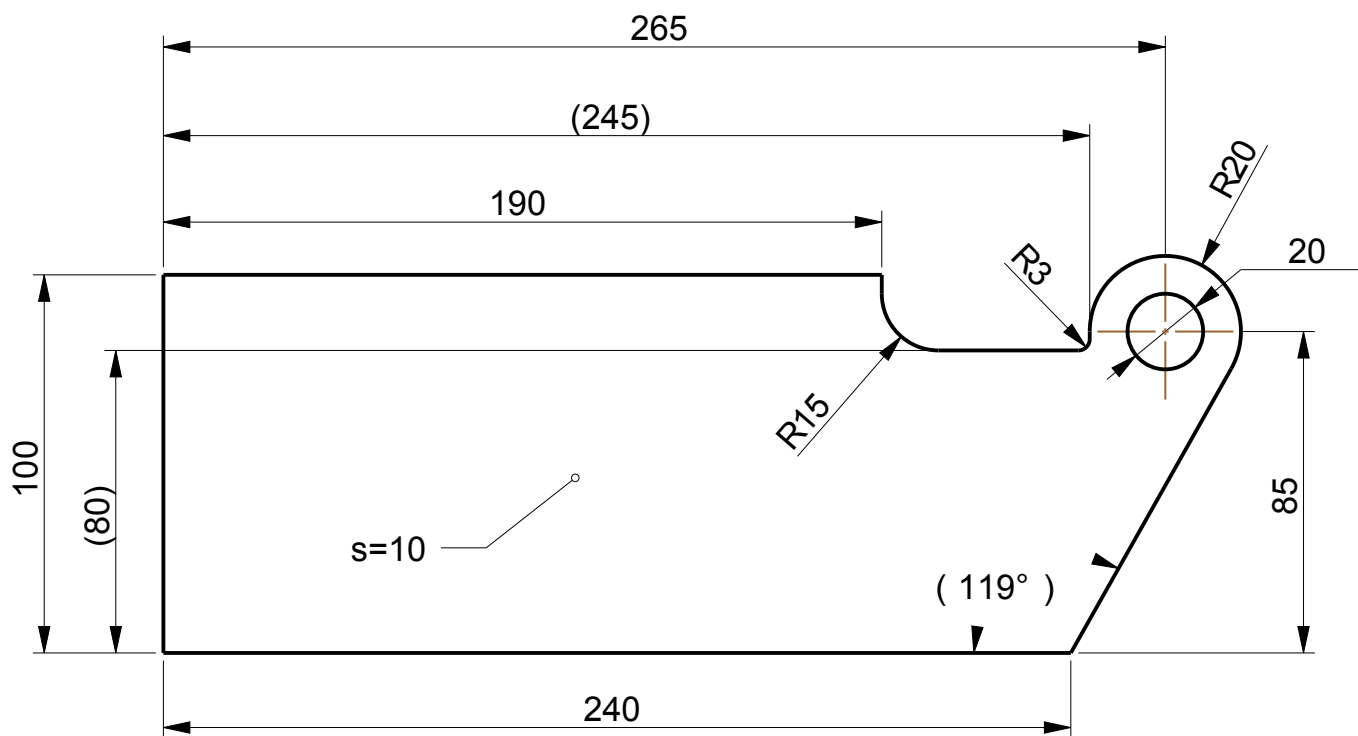
7		Sokkapultti	DIN EN 22341	D30 L100		1	
6		Sokkapultti	DIN EN 22341	D20 L80		1	
5		POHJALEVY				1	
4		KORVAKKO1				1	
3		KORVAKKO_2				2	
2		JALKA_SUORA				1	
1		JALAN_VINOTUKI				1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m		1 : 20	Nosturi	Jalka	JALKA		
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011				Piirustusnumero		
Tark		Massa			<h2>6</h2>		
Hyv							




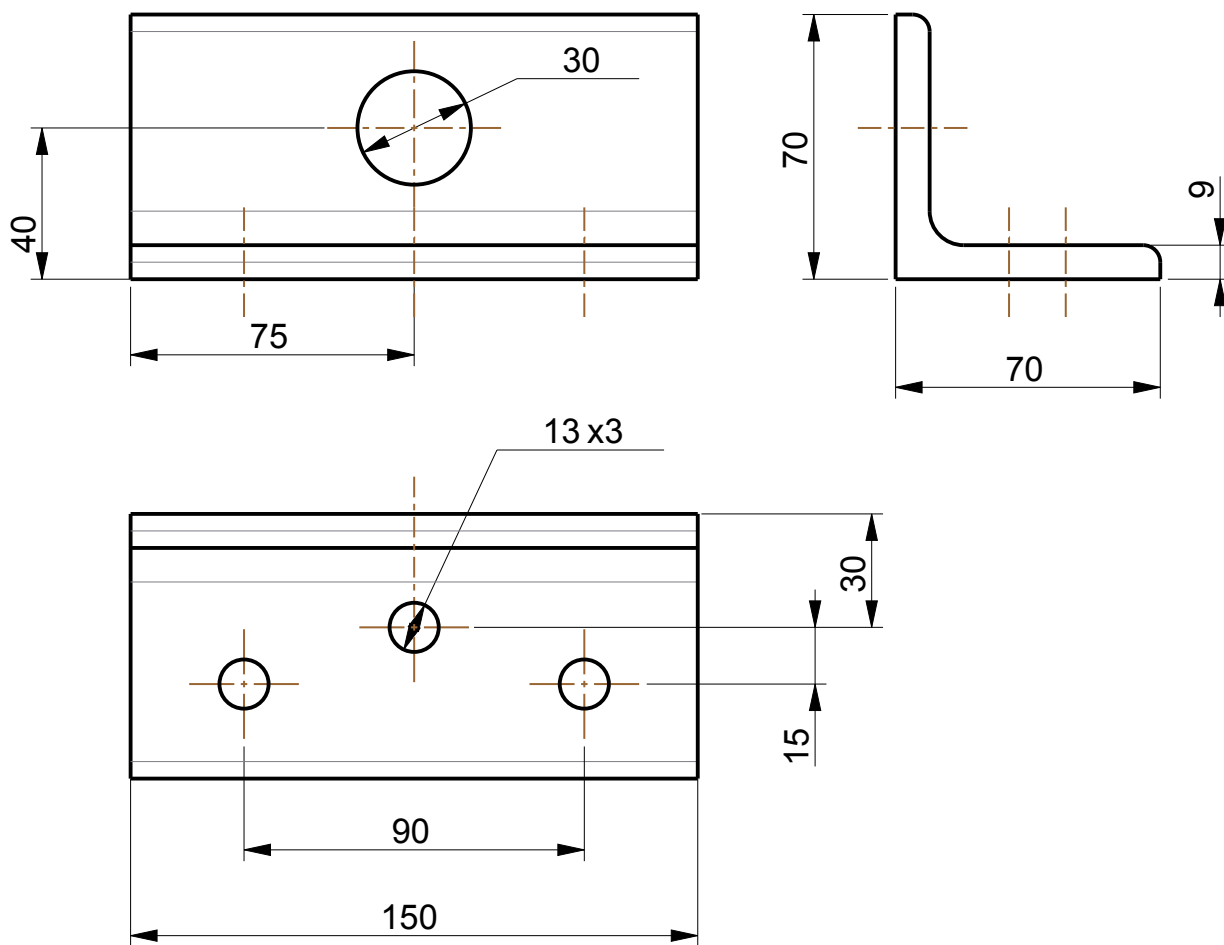
	8	Sivu		200x1700x12	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 10	Nosturi	Jalusta		Sivu	
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011			Piirustusnumero		8
Tark	Massa					
Hyv						



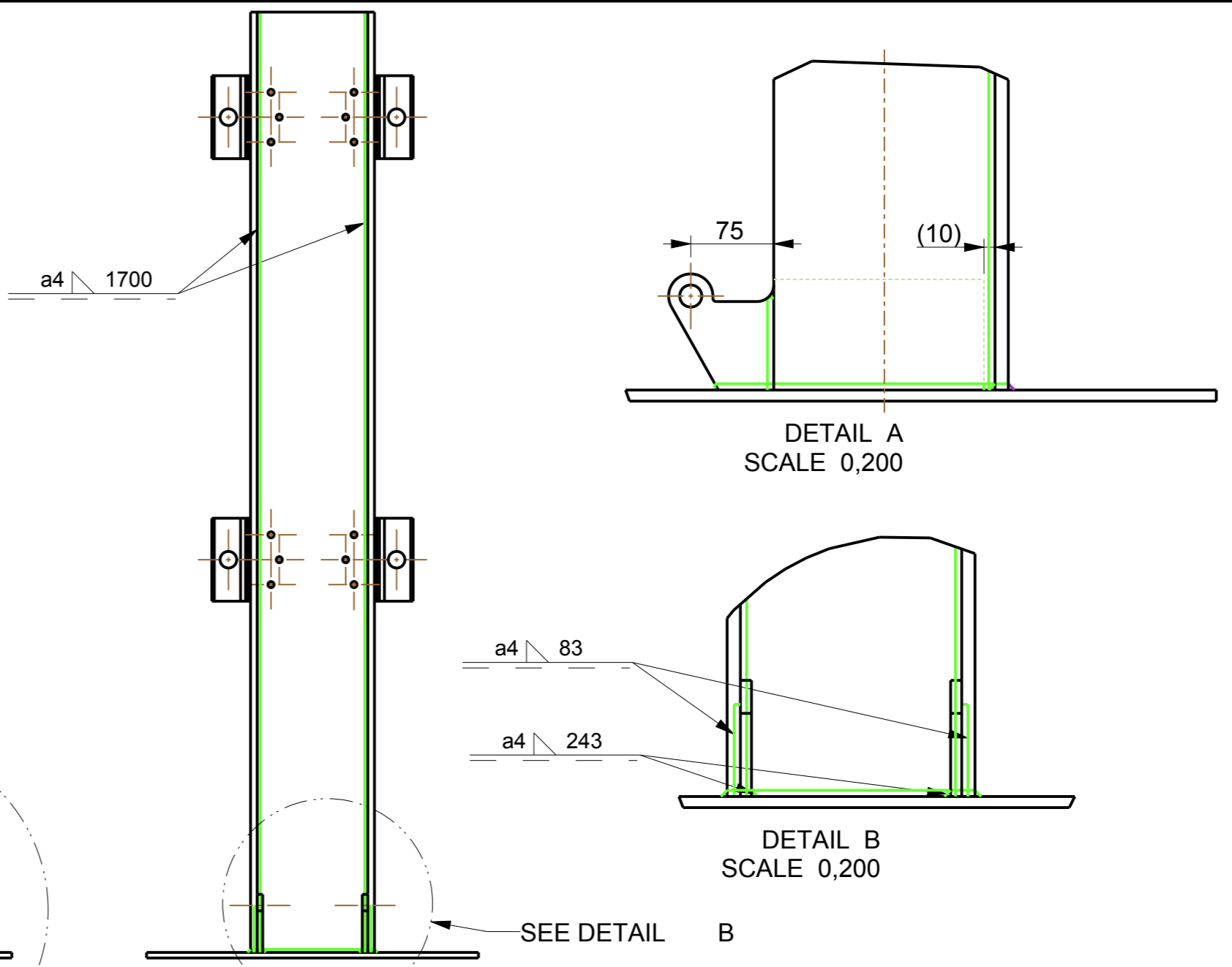
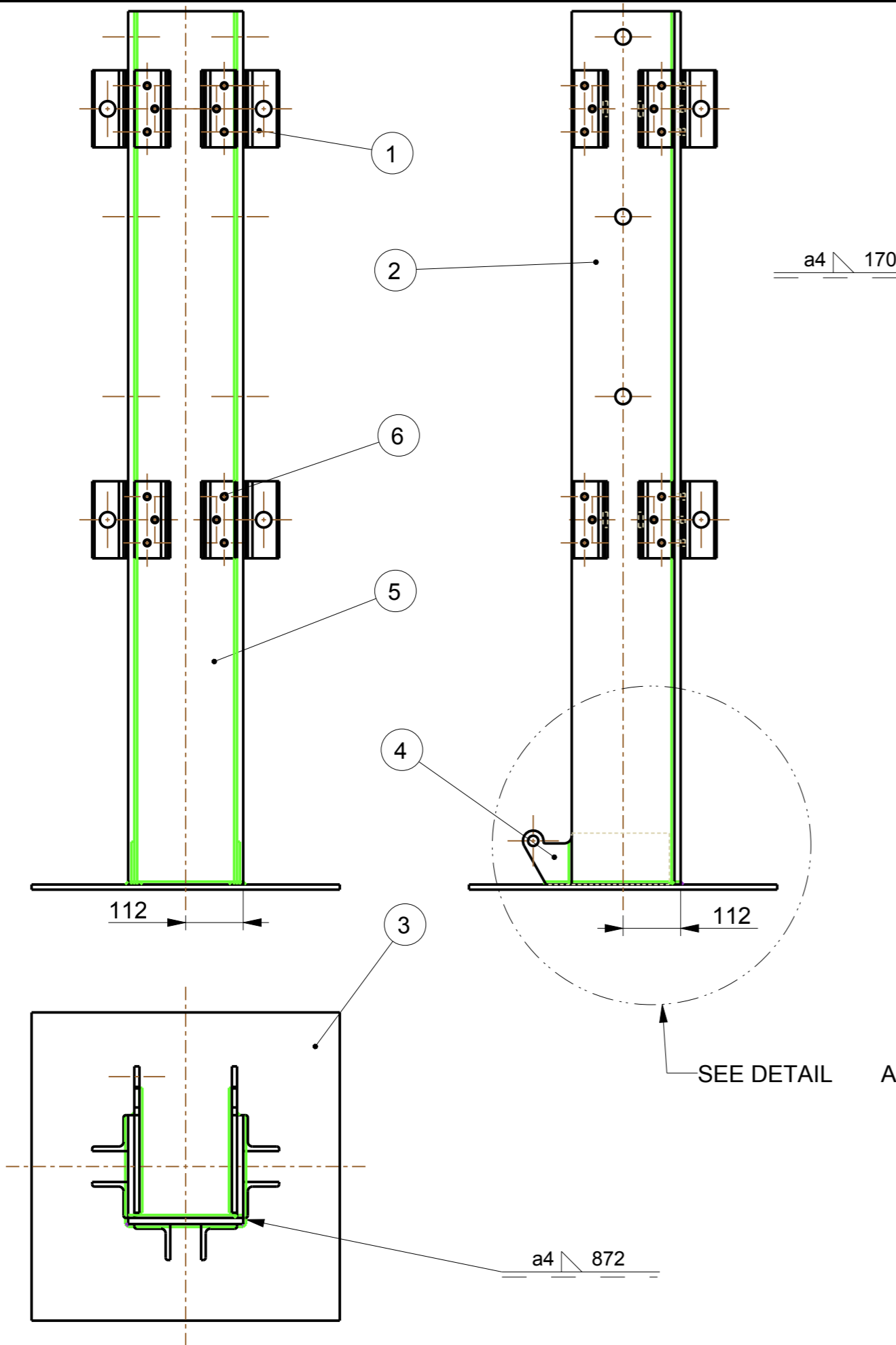
	9	Iso pohjalevy			600x600x10	S355J2H	1			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys					
ISO 2768-m		1 : 5	Nosturi	Jalusta	Iso_pohjalevy					
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>			Ent	Uusi	Rev		
Suun	20.10.2011					Piirustusnumero			<h1>9</h1>	
Tark		Massa								
Hyv										



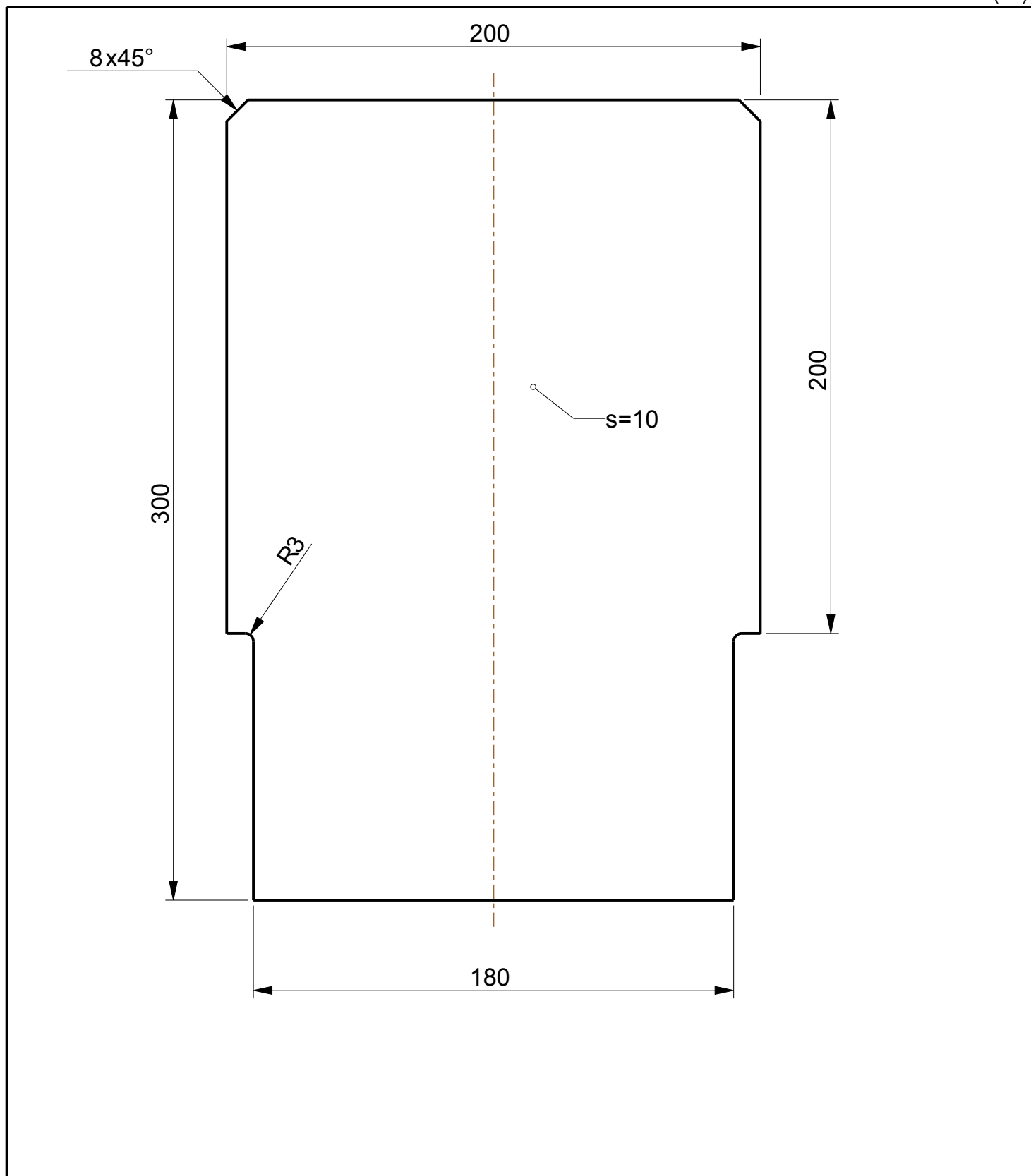
	10	Sarana			285x105x10	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m		1 : 2	Nosturi	Jalusta	Sarana		
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011				Piirustusnumero		
Tark		Massa			<h1>10</h1>		
Hyv							




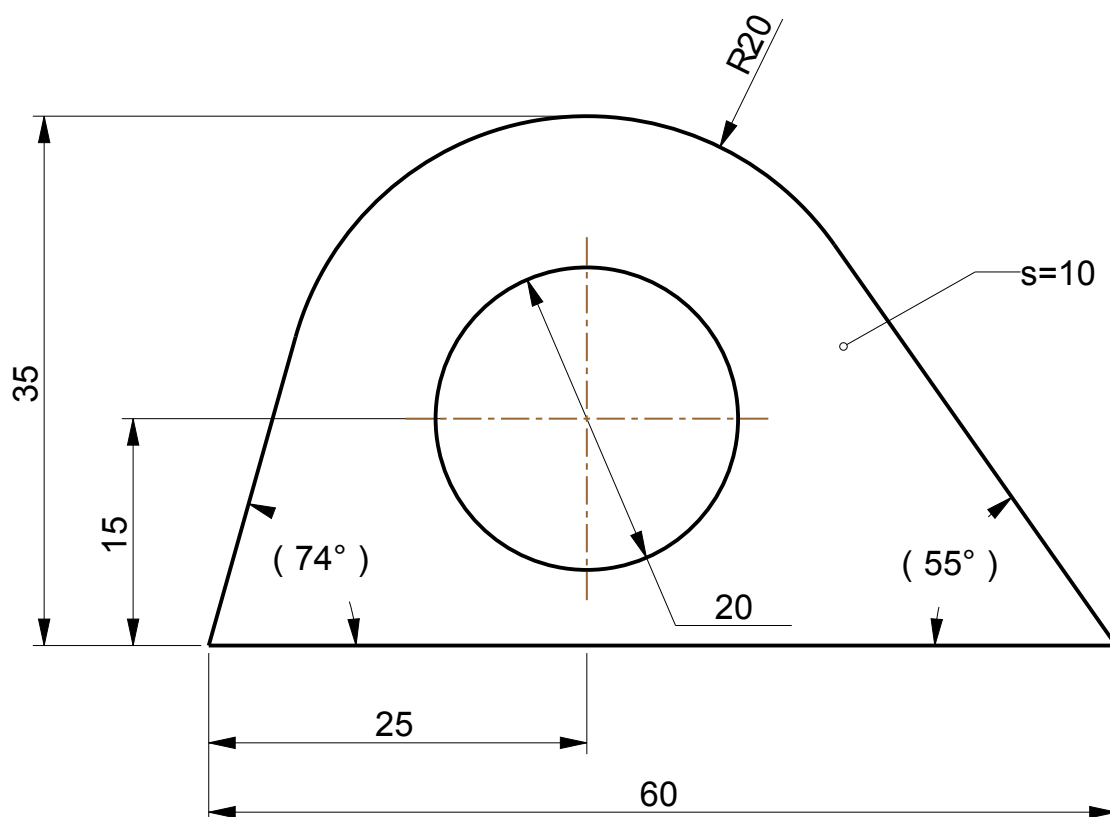
	11	Korvakko 3			L 70x70x9	S355J2H	16
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki		
ISO 2768-m		1 : 2	Nosturi	Jalusta	Nimitys		
					Korvakko_3		
Piirt	S Timoskainen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	20.10.2011				Piirustusnumero		
Tark		Massa			<h1>11</h1>		
Hyv							



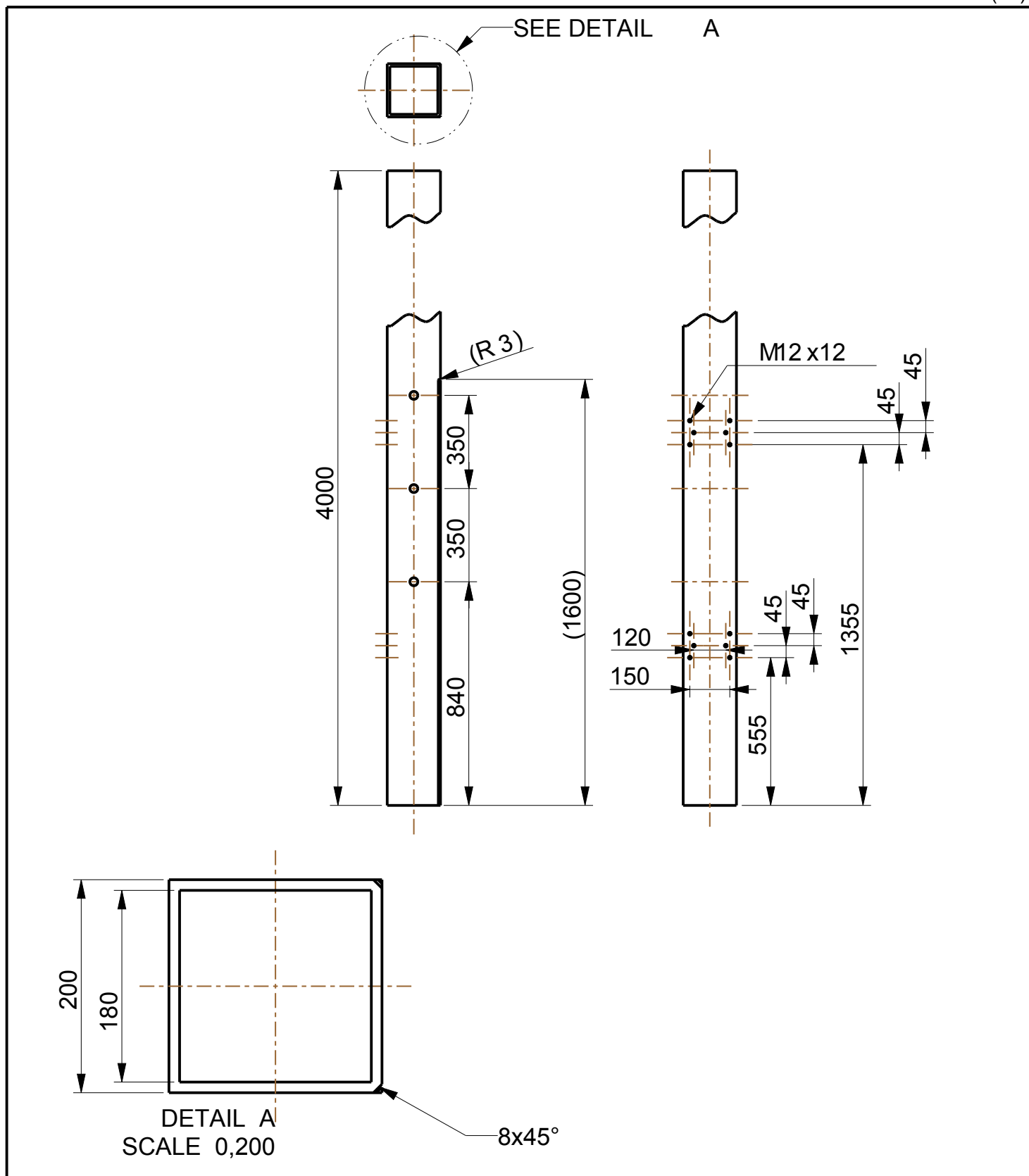
6		Kuusioruuvi	DIN 8676	M12 L20		36		
5		TAKASEINA	-	-	-	1		
4		SIVU	-	-	-	2		
3		SARANA	-	-	-	2		
2		KORVAKKO_3	-	-	-	12		
1		ISO_POHJALEVY	-	-	-	1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys			
ISO 2768-m		1 : 10	Nosturi	Jalusta	JALUSTA			
Piirt	S Timoskainen		PKAMK		Ent	Uusi	Rev	
Suun	20.10.2011				Piirustusnumero		12	
Tark					Massa			
Hyv								



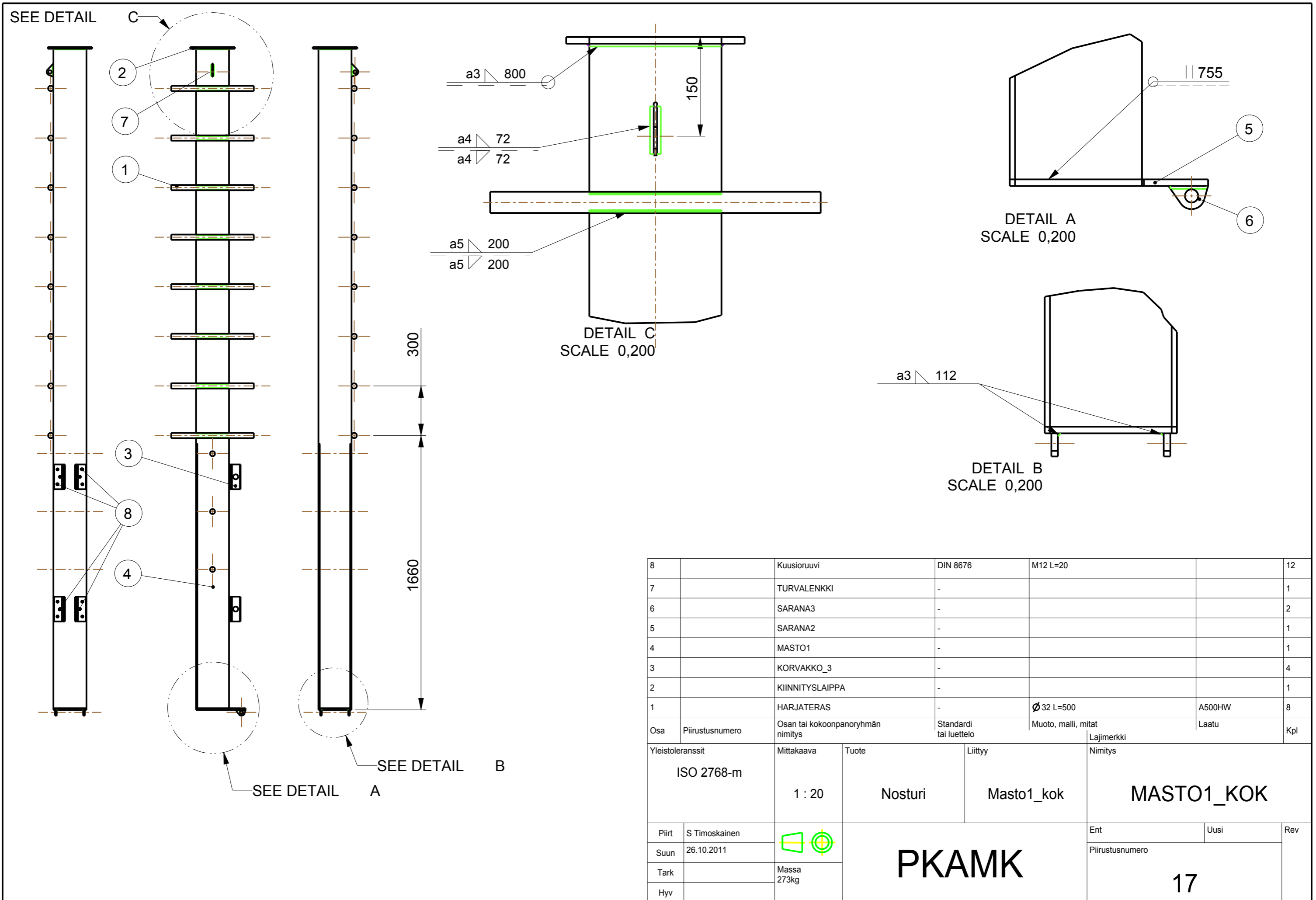
	13	Sarana2		200x300x10	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Masto1	Sarana2		
Piirt	S Timoskainen		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun	23.10.2011			Piirustusnumero		13
Tark						
Hyv						

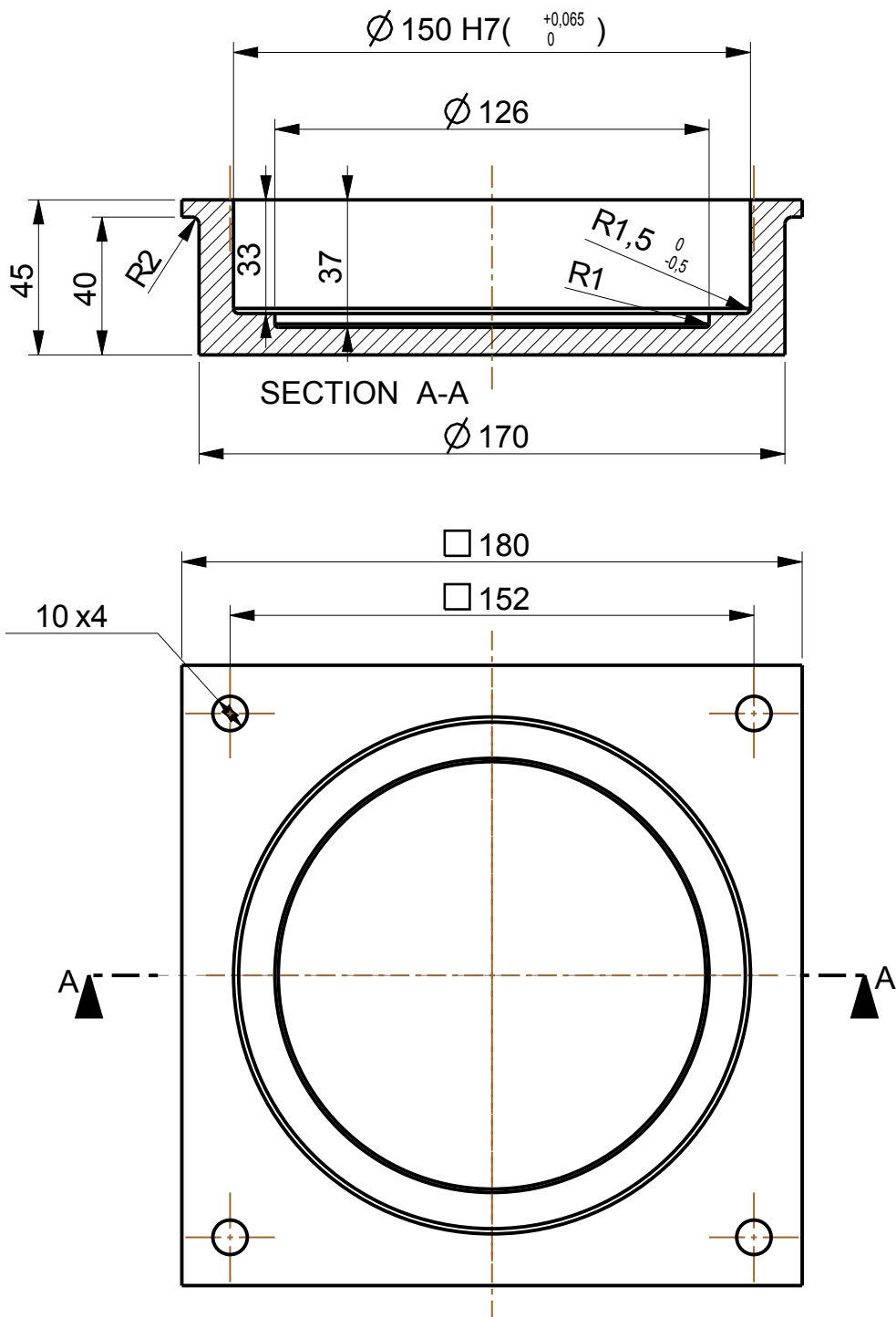



	14	Sarana3		60x35x10	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki		
ISO 2768-m	2 : 1	Nosturi	Masto1_kok	Nimitys		
				SARANA3		
Piirt	S Timoskainen			Ent	Uusi	Rev
Suun	23.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			<h1>PKAMK</h1>		
Hyv						

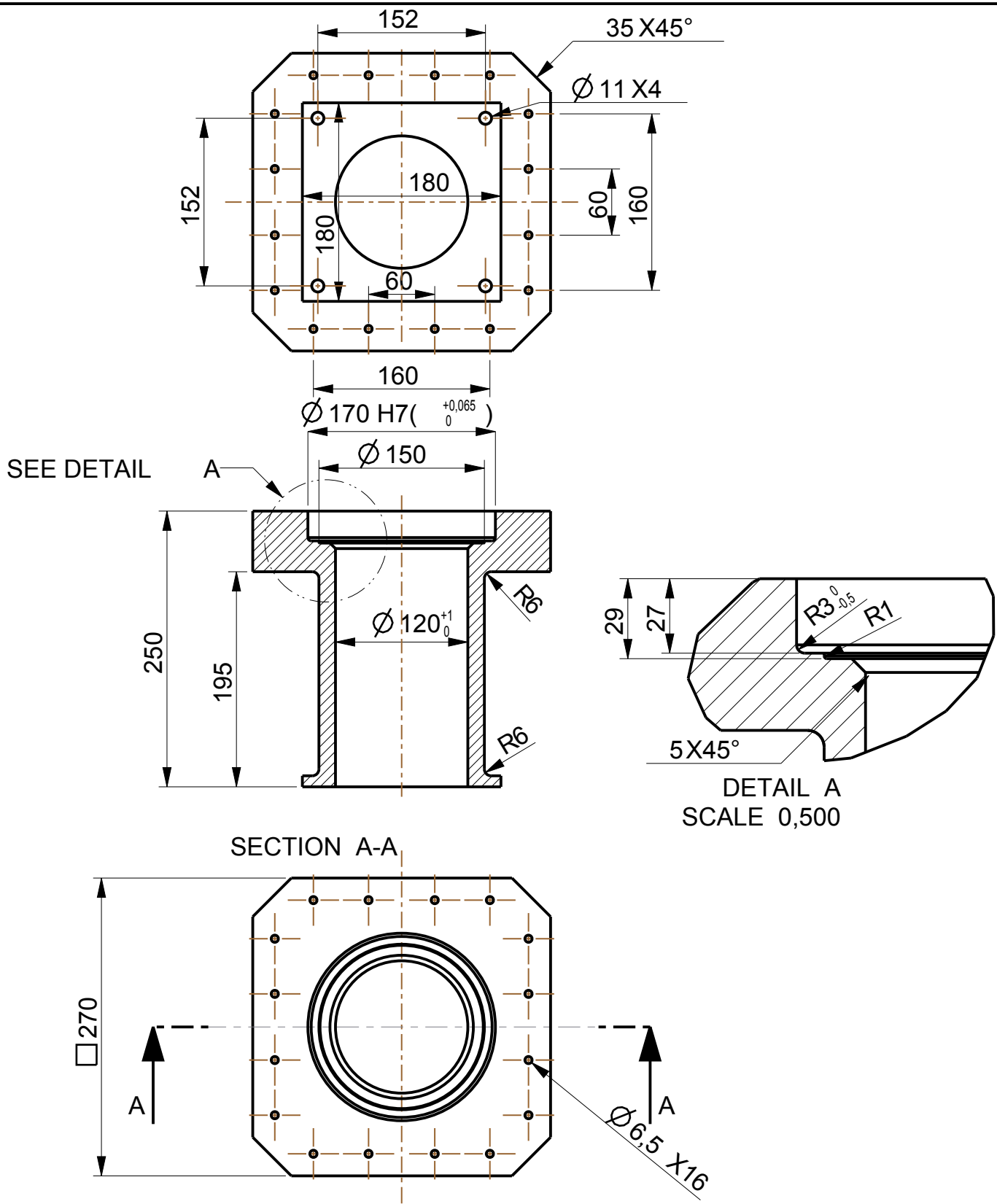


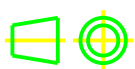
		Masto1	SFS 5001	Neliöputkipalkki 200x200x10	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 20	Nosturi	Masto1_kok		MASTO1	
Piirt	S Timoskainen		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun	23.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			15		
Hyv						

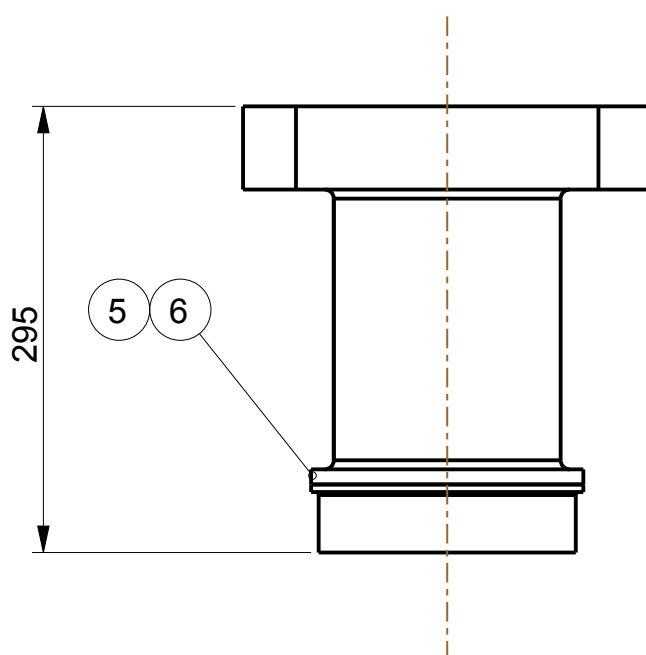
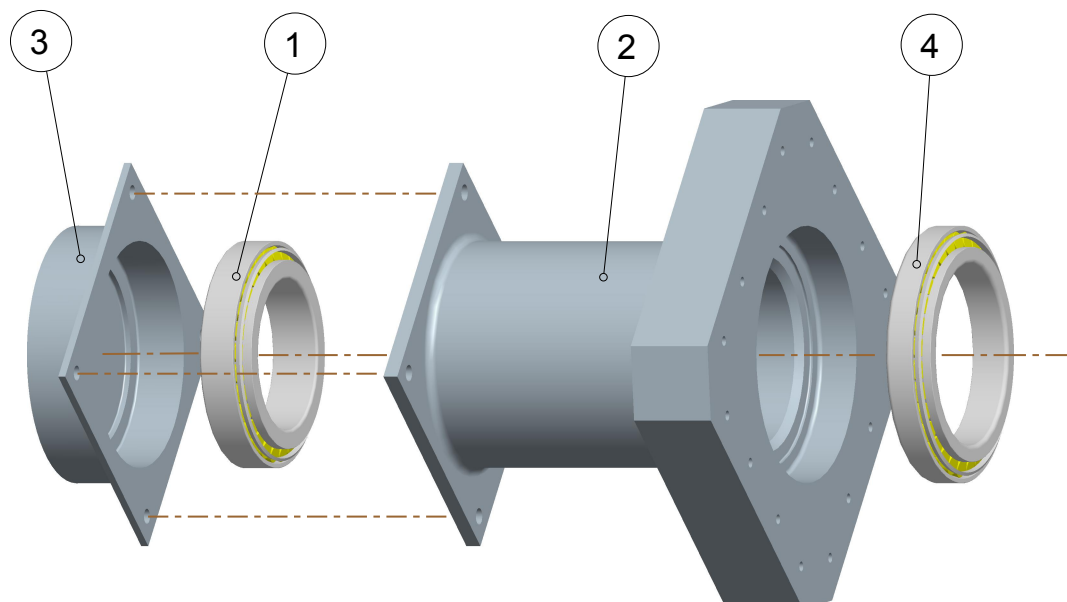





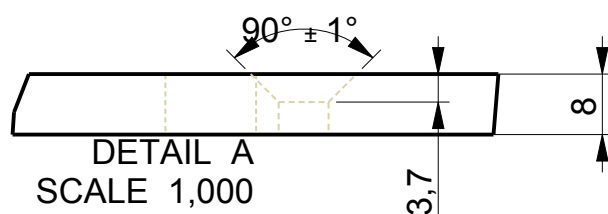
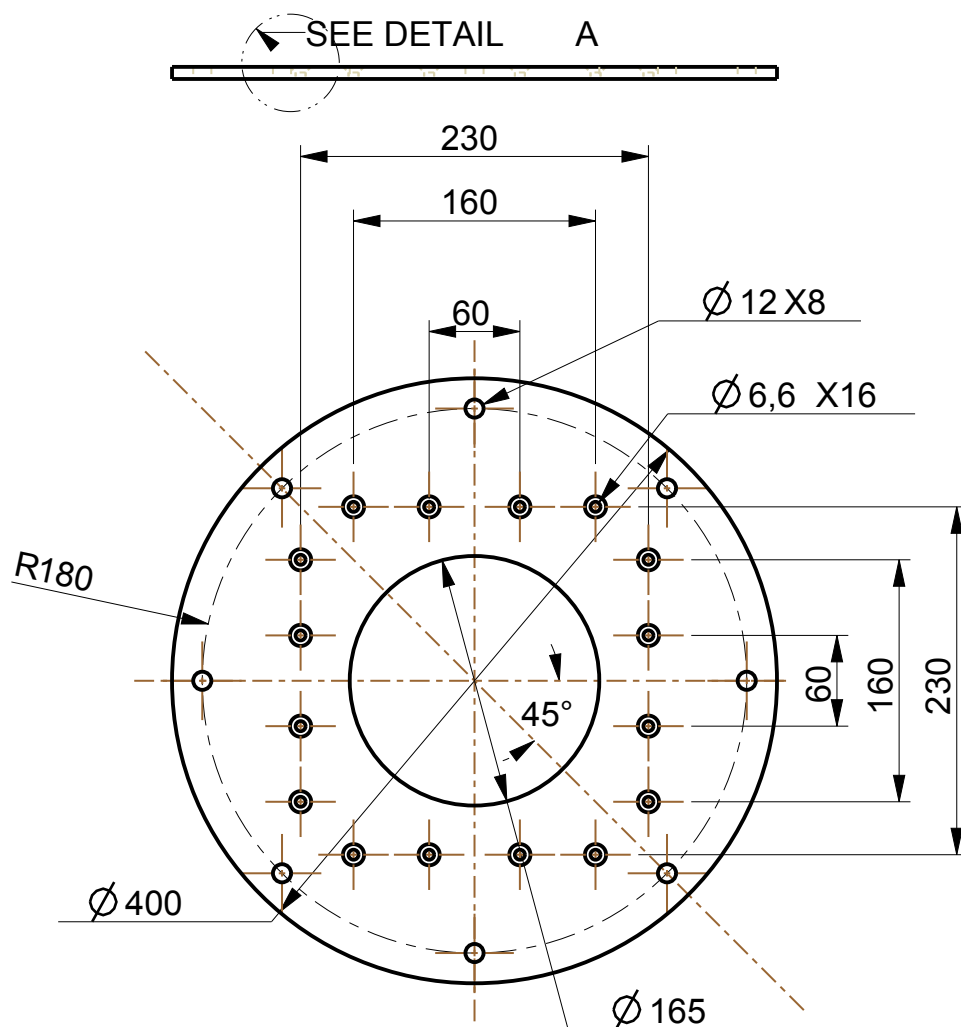
	18	Laakeripesä1		188x180x45	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Laakeripesä	LAAKERIPESA1		
Piirt	O Romppanen		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun	23.10.2011			Piirustusnumero		
Tark		Massa		18		
Hyv						



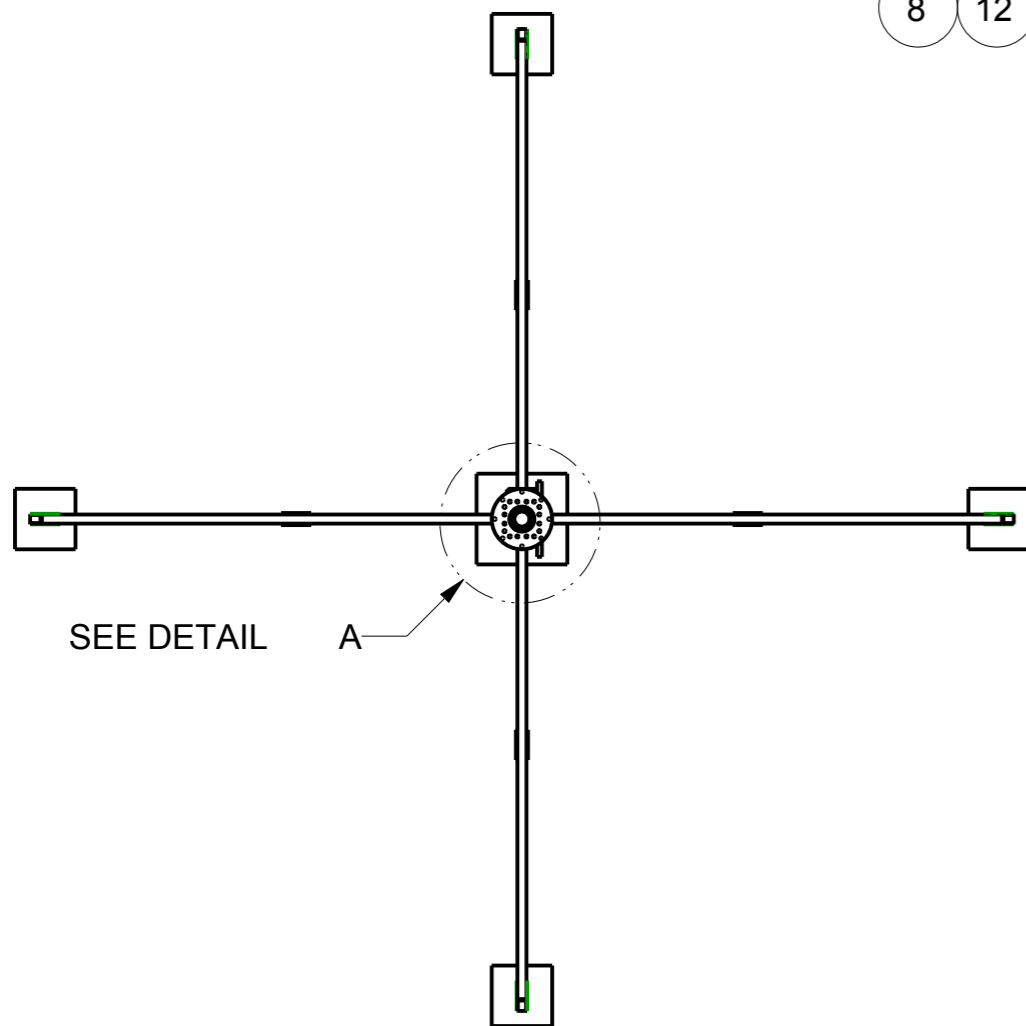
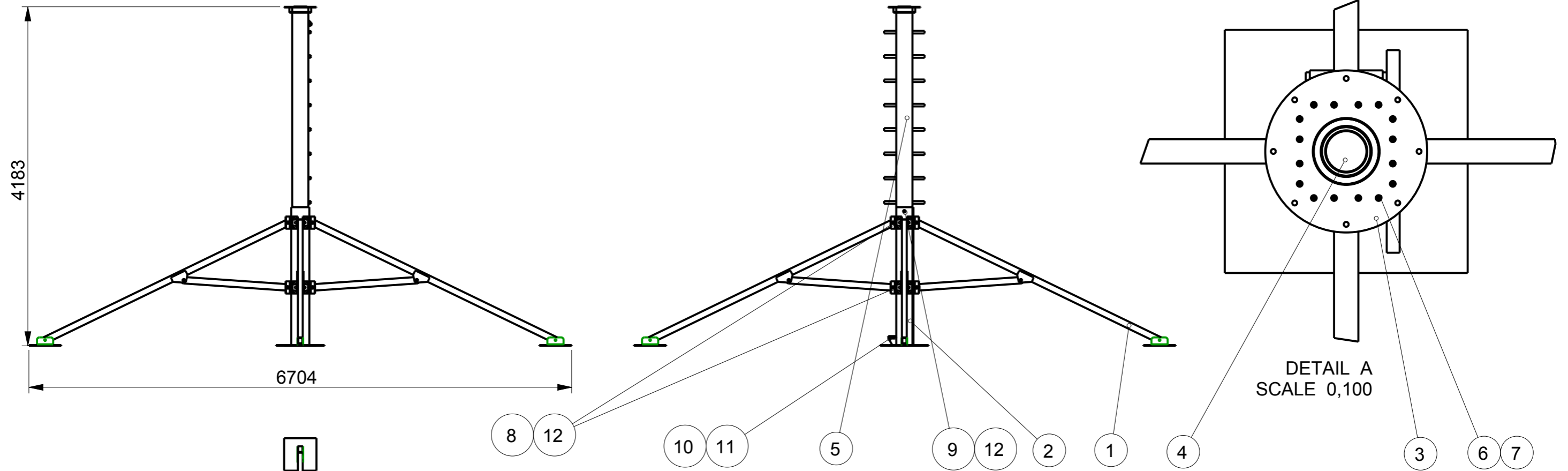
	19	Laakeripesä2		270x270x250	S355J2H	1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki Nimitys			
	ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Laakeripesä	LAAKERIPESA2		
Piirt	O Romppanen		PKAMK		Ent	Uusi	Rev
Suun	24.10.2011				Piirustusnumero		
Tark	Massa				19		
Hyv							



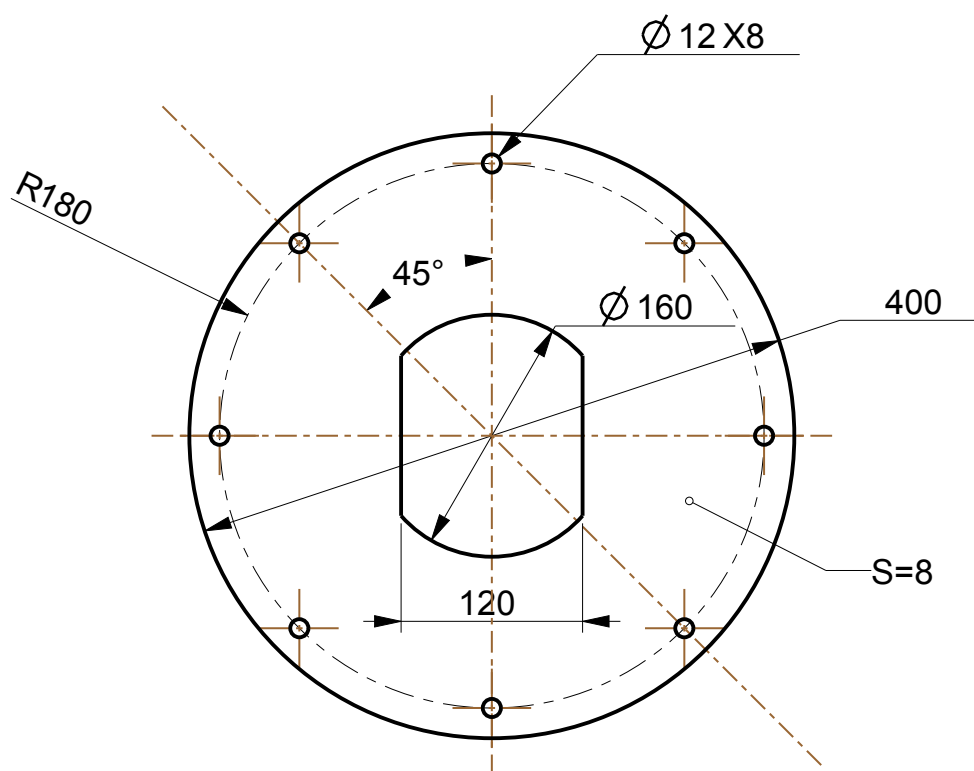
6		Kuusiomutteri (itsevarmistava)	DIN 985	M10		4		
5		Kuusioruuvi	DIN 8676	M10 L=25		4		
4		T4CB120				1		
3		LAAKERIPESA1				1		
2		LAAKERIPESA_2				1		
1		32020X_Q				1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys		
ISO 2768-m		1 : 5	Nosturi	Laakeripesä		LAAKERIPESA		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev	
Suun	24.10.2011				Piirustusnumero			
Tark		Massa						
Hyv							20	




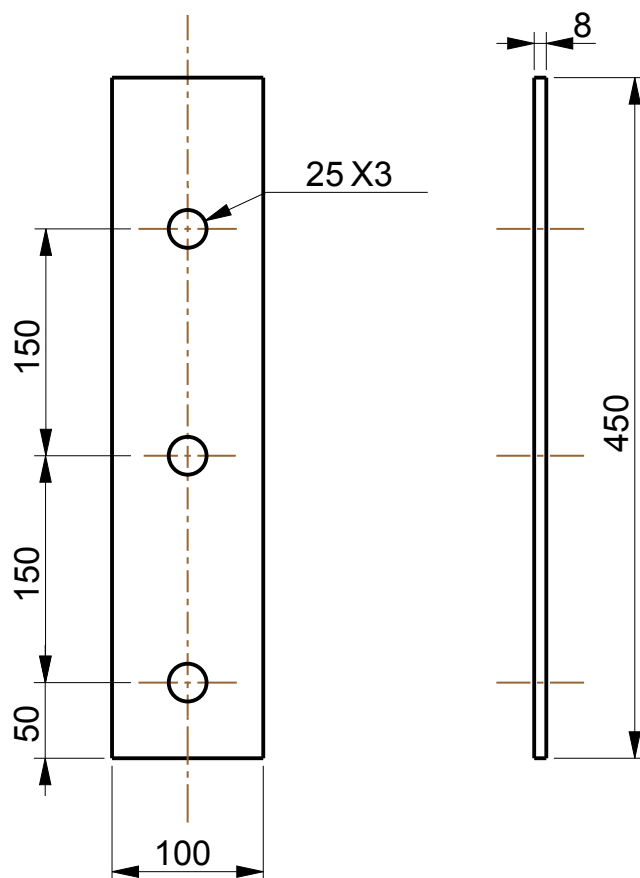
				400x400x8	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Nosturin_alaosa	PKAMK	KIINNITYSLAIPPA2	
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	24.10.2011			Piirustusnumero		21
Tark	Massa					
Hyv						



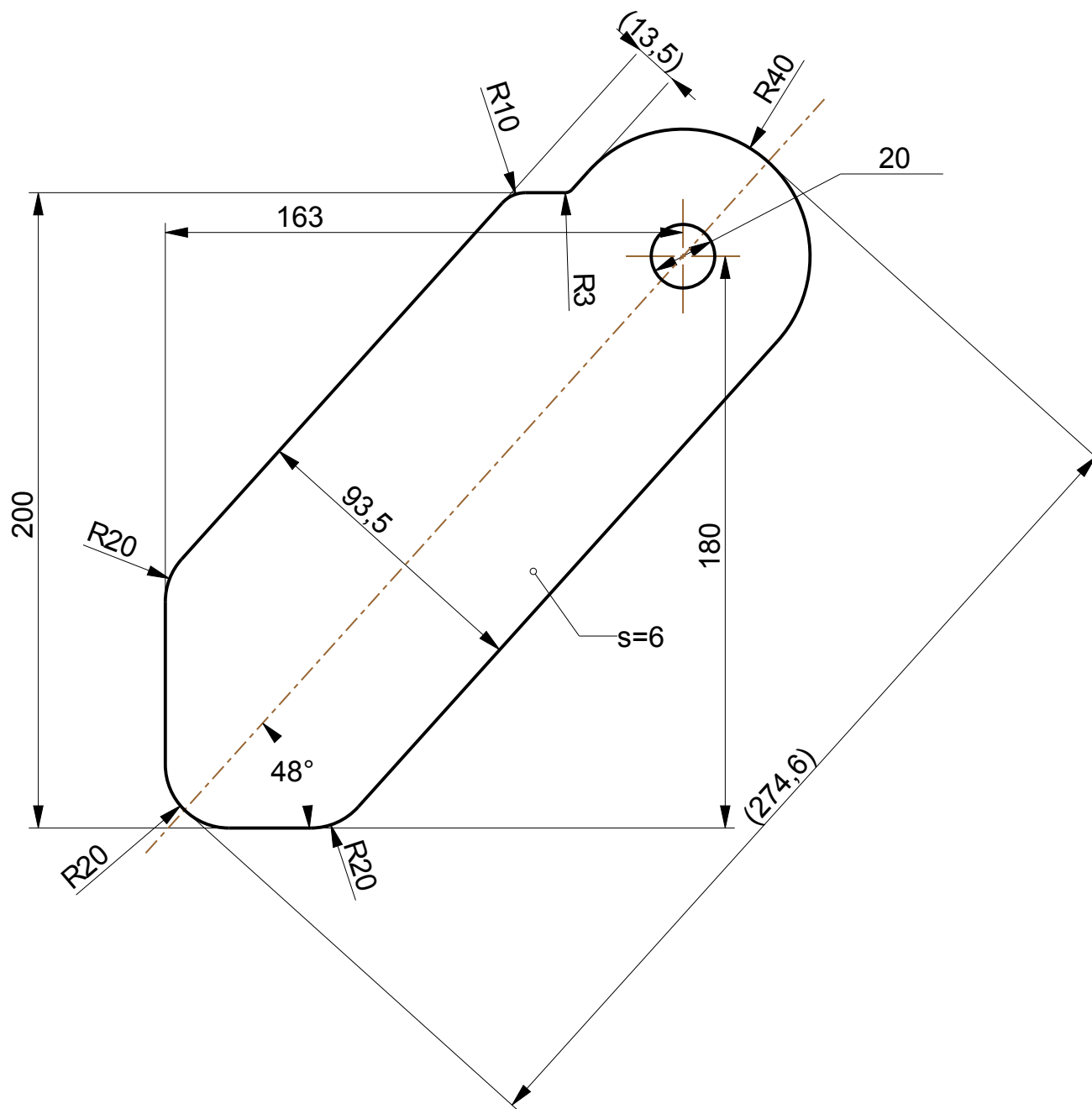
12		Saksisokka	DIN 1234	Ø 8 L=63		11			
11		Saksisokka	DIN 1234	Ø 5 L=45		1			
10		Sokkapultti	DIN 22341	Ø 20 L=220		1			
9		Sokkapultti	DIN 22341	Ø 30 L=240		3			
8		Sokkapultti	DIN 22341	Ø 30 L=100		8			
7		Kuusiomutteri(itsevarmistava)	DIN 985	M6		16			
6		Kuusiokoloruuvi	DIN 7991	M6 L=90		16			
5		MASTO1_KOK	-	-	-	1			
4		LAAKERIPESA	-	-	-	1			
3		KIINNITYSLAIPPA2	-	-	-	1			
2		JALUSTA	-	-	-	1			
1		JALKA	-	-	-	4			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys			
ISO 2768-m		1 : 50	Nosturi	Nosturin_alaosa		NOSTURIN_ALAOSA			
Piirt	S Timoskainen		PKAMK		Ent	Uusi	Rev		
Suun	24.10.2011				Piirustusnumero		22		
Tark					Massa				
Hyv									




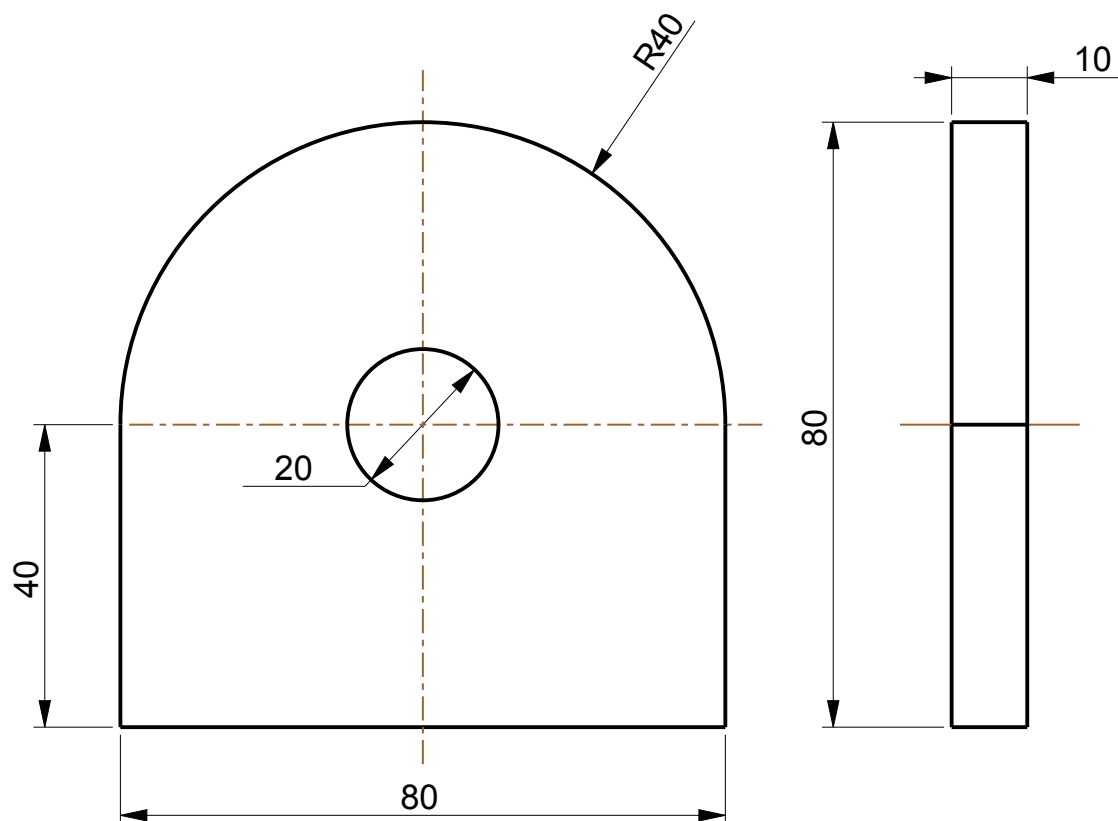
				400x400x8	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Masto2_kok		KIINNITYSLAIPPA3	
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	26.10.2011			Piirustusnumero		<h1>24</h1>
Tark	Massa					
Hyv						



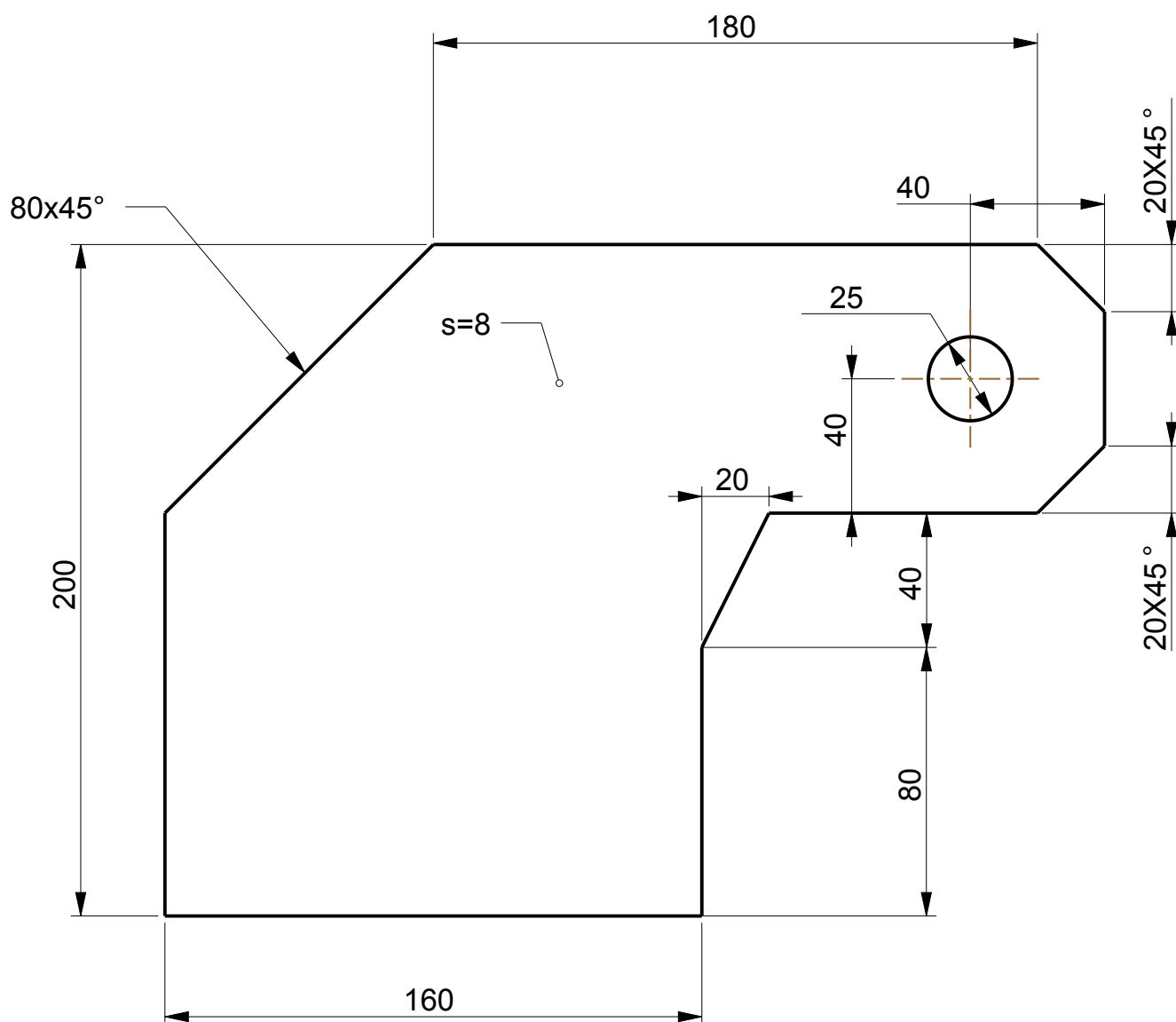
				450x100x8	S355	2	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki		
	ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Masto2_kok	VAHVIKE		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011				Piirustusnumero		
Tark		Massa			<h1>25</h1>		
Hyv							



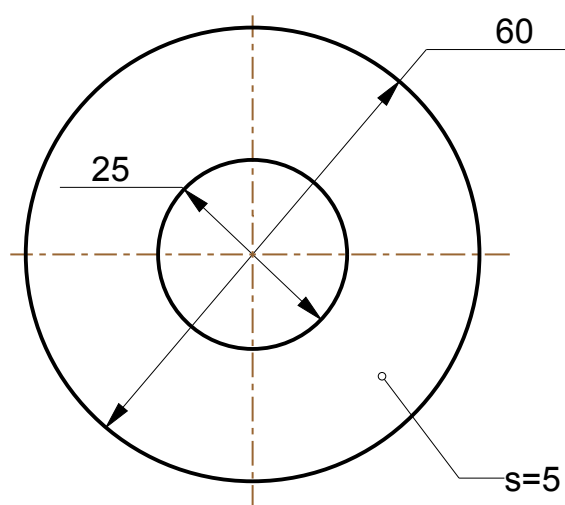
				280x94x6	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki		
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Masto2_kok	Nimitys		
				KORVAKKO_4		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		
Tark		Massa		<h1>26</h1>		
Hyv						



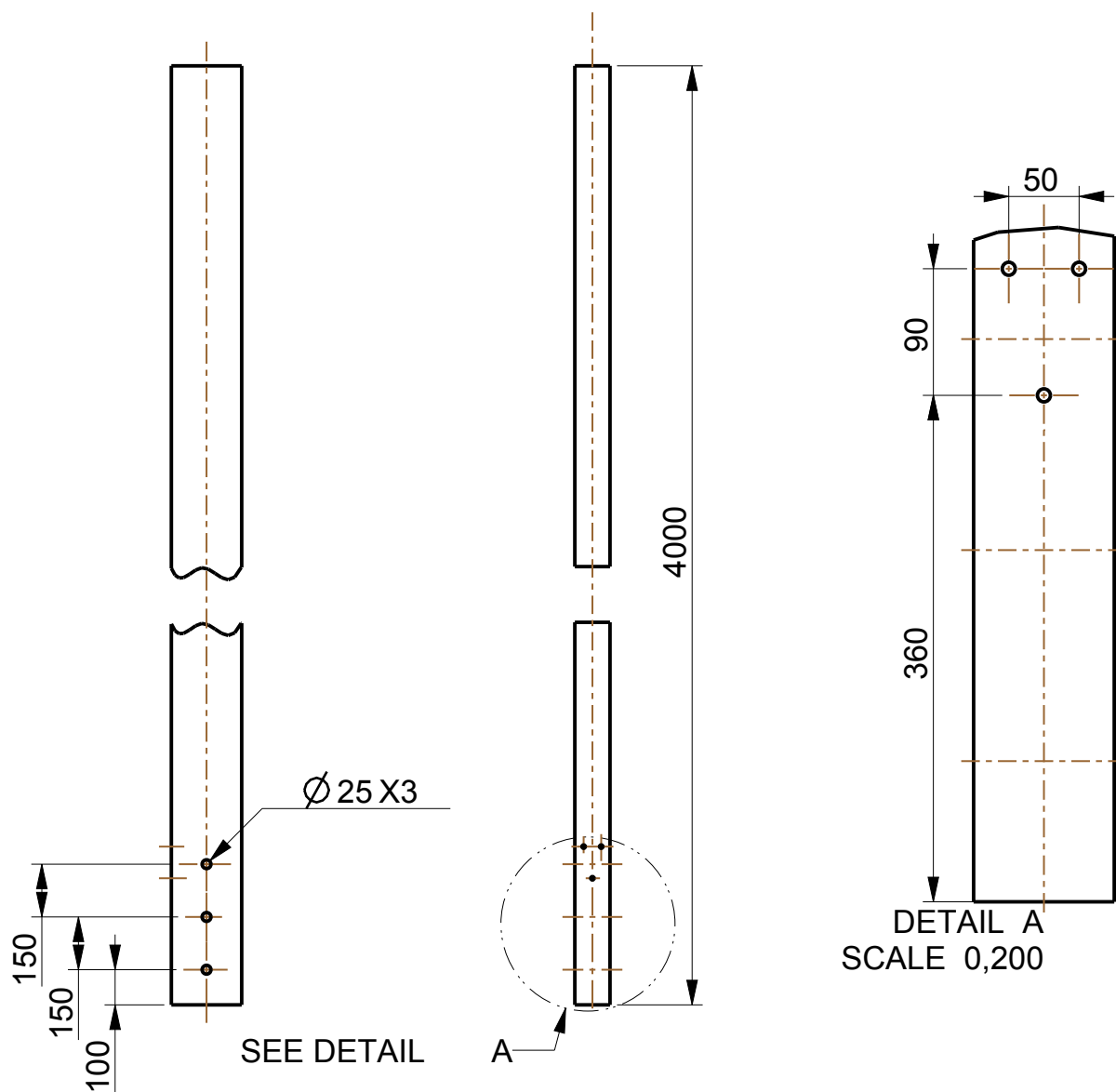
				80x80x10	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 1	Nosturi	Masto2_kok	KORVAKKO_5		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			27		
Hyv						

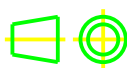


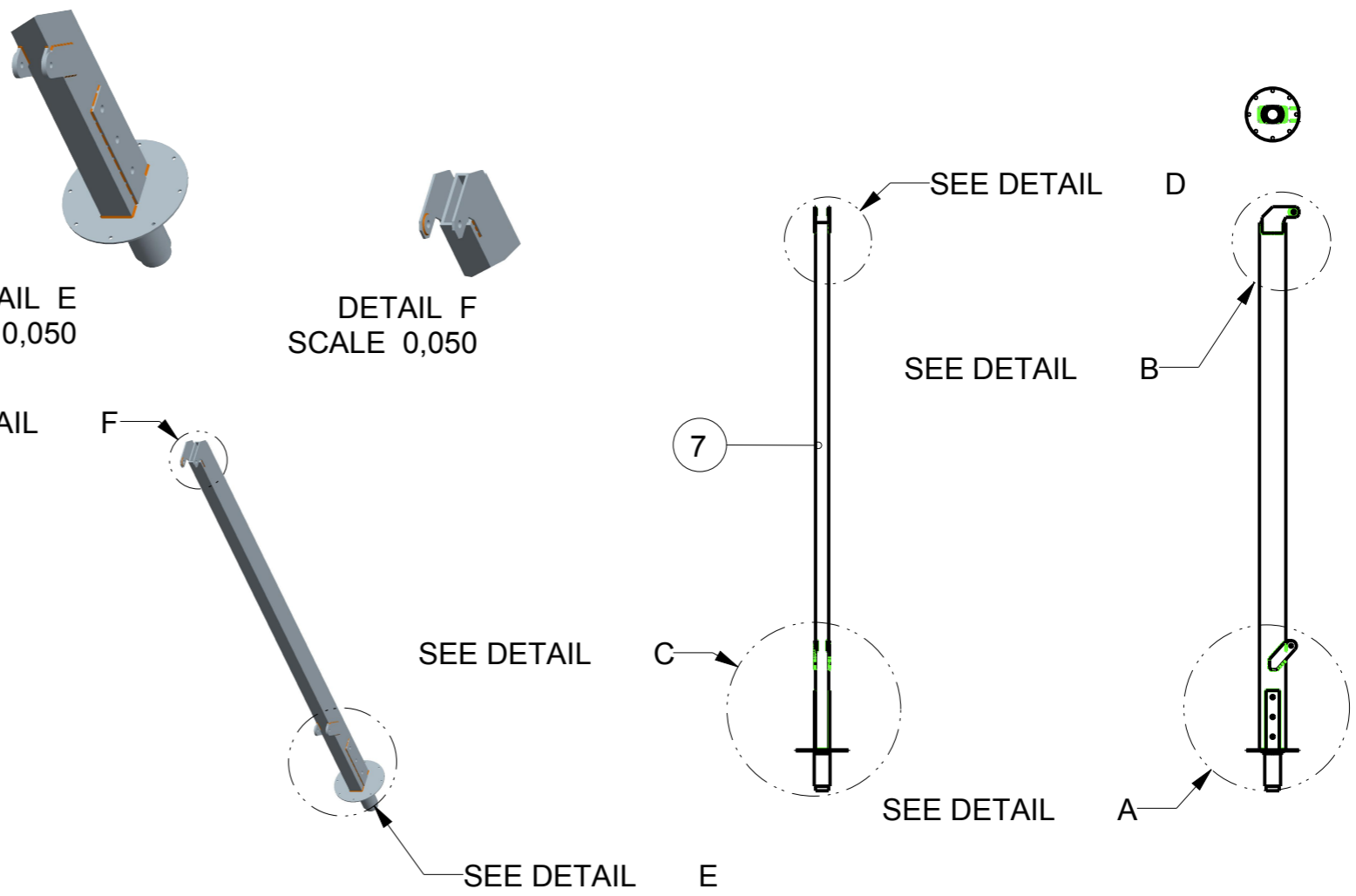
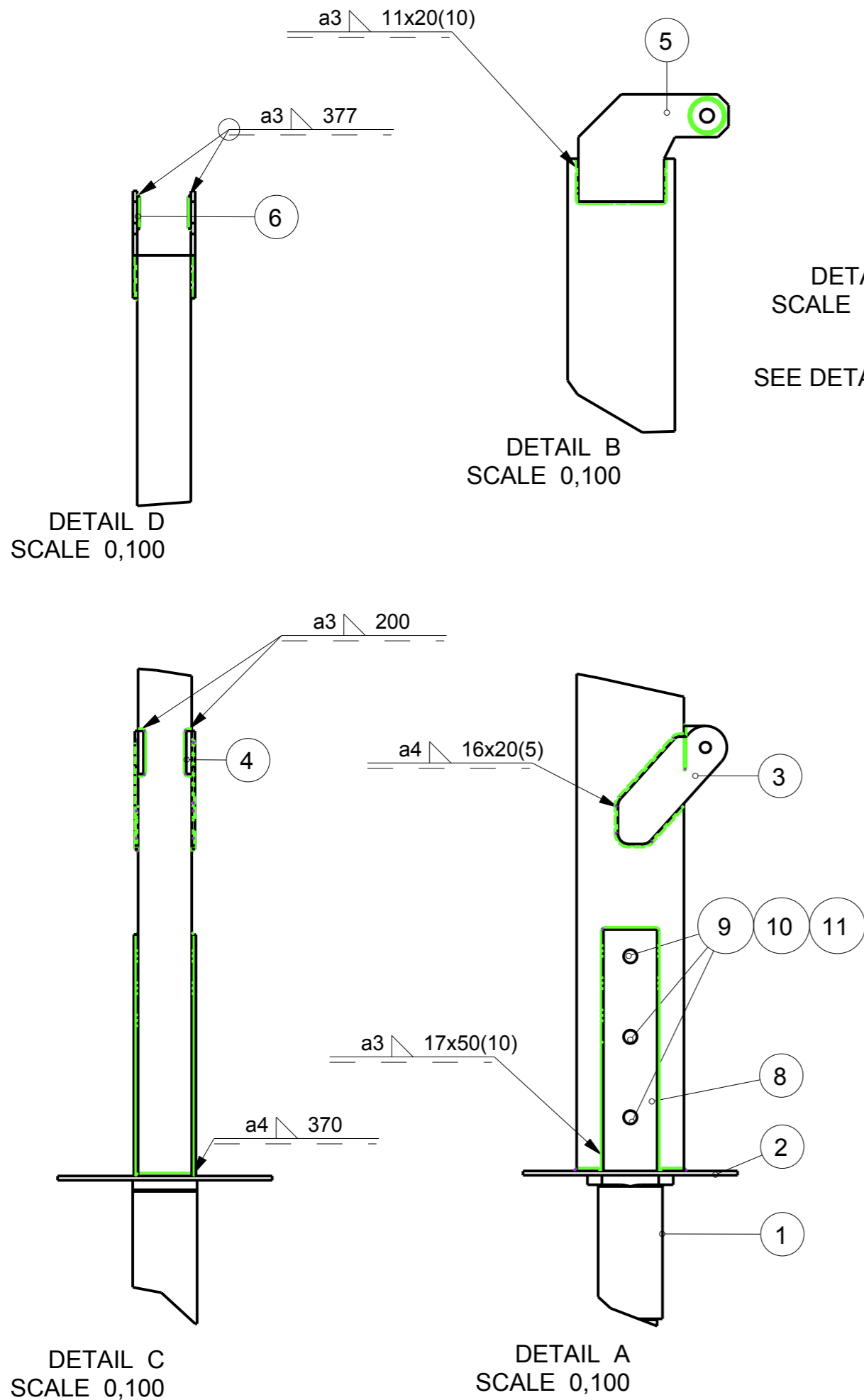
				280x200x8	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Masto2_kok		KORVAKKO_6	
Piirt	O Romppanen		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		
Tark				Massa		
Hyv						28



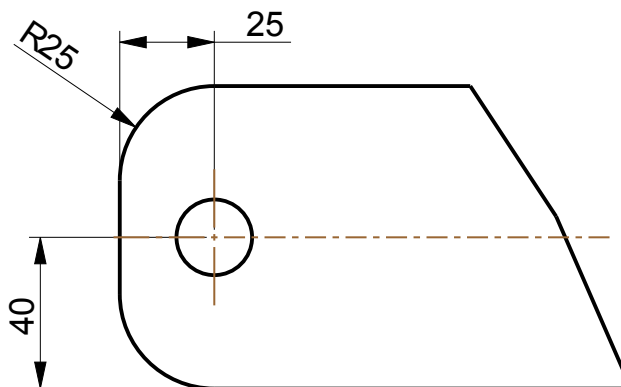
				60x60x5	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 1	Nosturi	Masto2_kok		LEVIKE	
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			29		
Hyv						



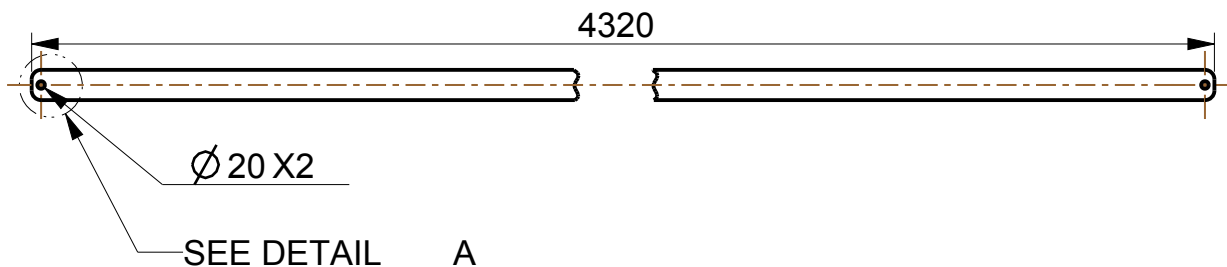
			SFS 5001	Suorakaideputkipalkki 200x100x10	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 20	Nosturi	Masto2_Kok	MASTO2		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			<h1>30</h1>		
Hyv						



11		Kuusiomutteri (itsevarmistava)	DIN 985	M24		3			
10		Aluslaatta	DIN 6340	24		6			
9		Kuusioruuvi	DIN 601	M24 L=150		3			
8		VAHVIKE	-	-	-	2			
7		MASTO2	-	-	-	1			
6		LEVIKE	-	-	-	2			
5		KORVAKKO_6	-	-	-	2			
4		KORVAKKO_5	-	-	-	2			
3		KORVAKKO_4	-	-	-	2			
2		KIINNITYSLAIPPA3	-	-	-	1			
1		AKSELI	-	-	-	1			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys				
ISO 2768-m		1 : 50	Nosturi	Nosturin_ylaosa	MASTO2_KOK				
Piirt	O Romppanen		PKAMK		Ent	Uusi	Rev		
Suun	25.10.2011				Piirustusnumero		31		
Tark					Massa				
Hyv									



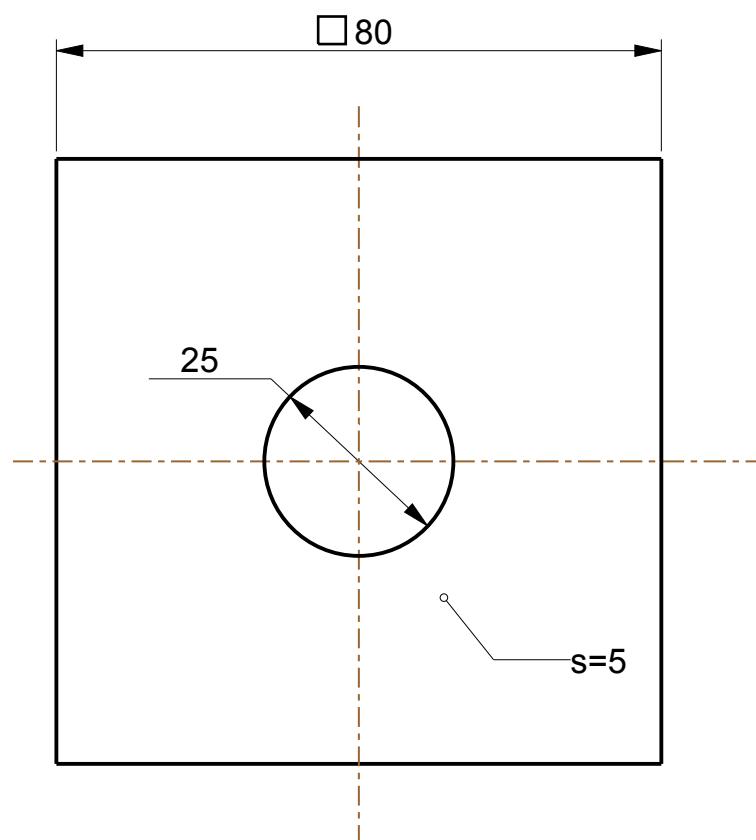
DETAIL A
SCALE 0,500



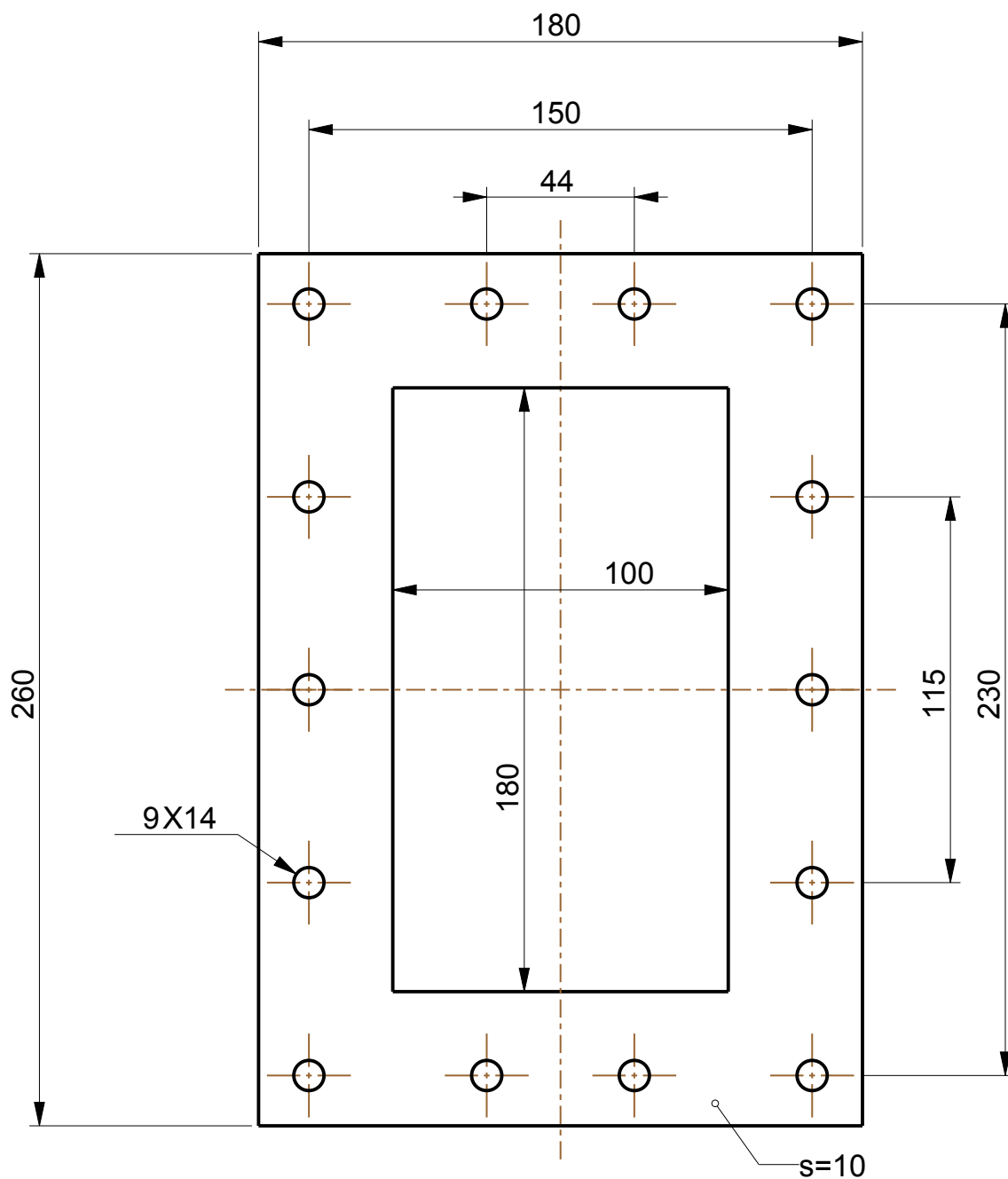
Ø 20 X 2


SEE DETAIL A

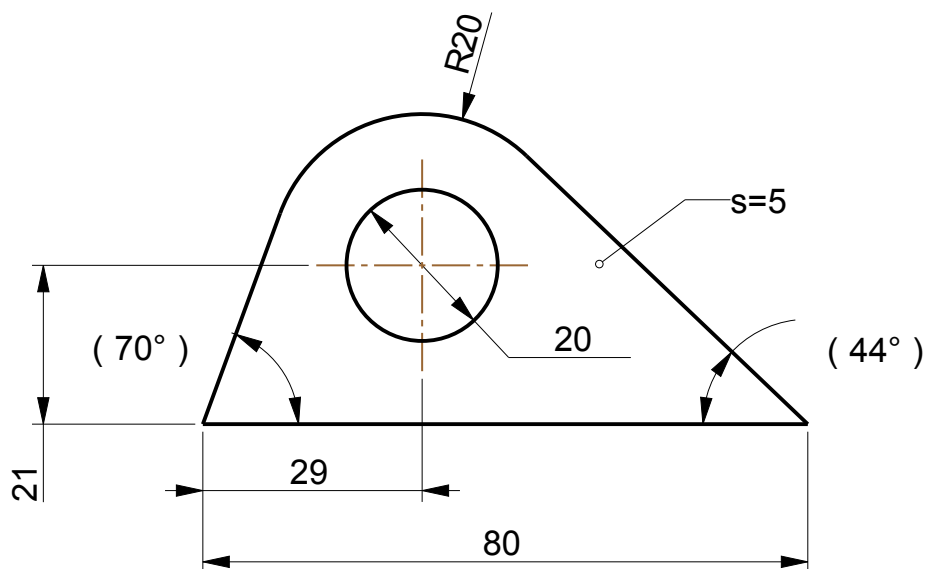
			SFS 5001	Neliöputkipalkki 80x80x6	S355J2H	1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	ISO 2768-m	Mittakaava	Tuote	Liitty	Nimitys		
		1 : 20	Nosturi	Nosturin_ylaosa	VINOTUKI		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011				Piirustusnumero		
Tark					Massa		
Hyv							
					32		




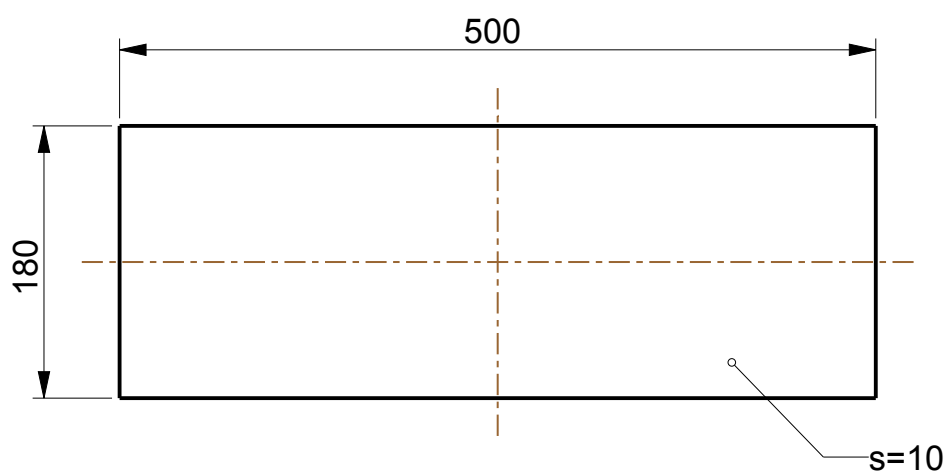
				80x80x6	S355J2H	2	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys			
ISO 2768-m	1 : 1	Nosturi	Vaakapuomi_1	LEVIKE_2			
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev	
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		33	
Tark	Massa						
Hyv							




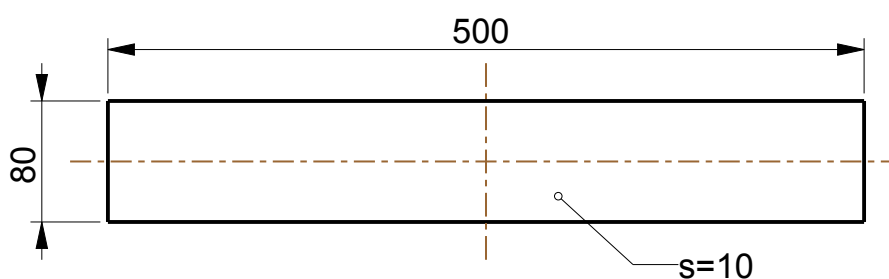
				260x180x10	S355J2H	1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys			
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Tukipalkki	KIINNITYSLAIPPA_4			
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev	
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		<h2>34</h2>	
Tark							
Hyv							




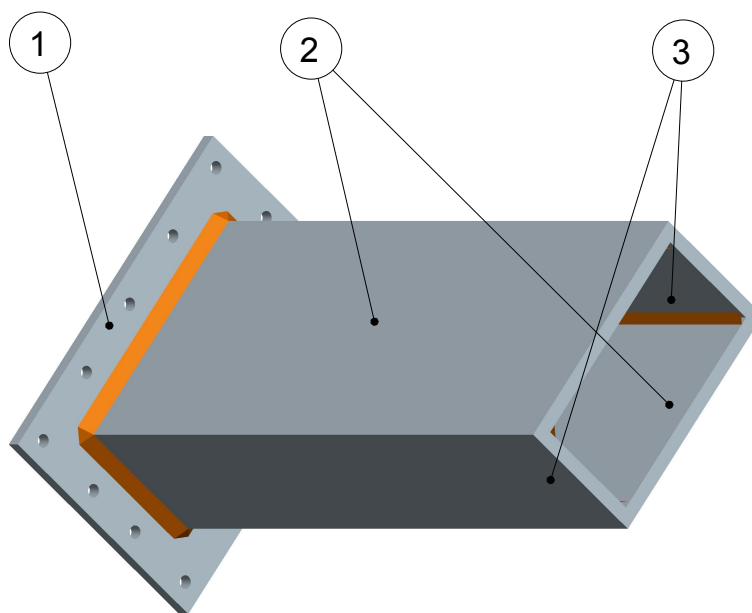
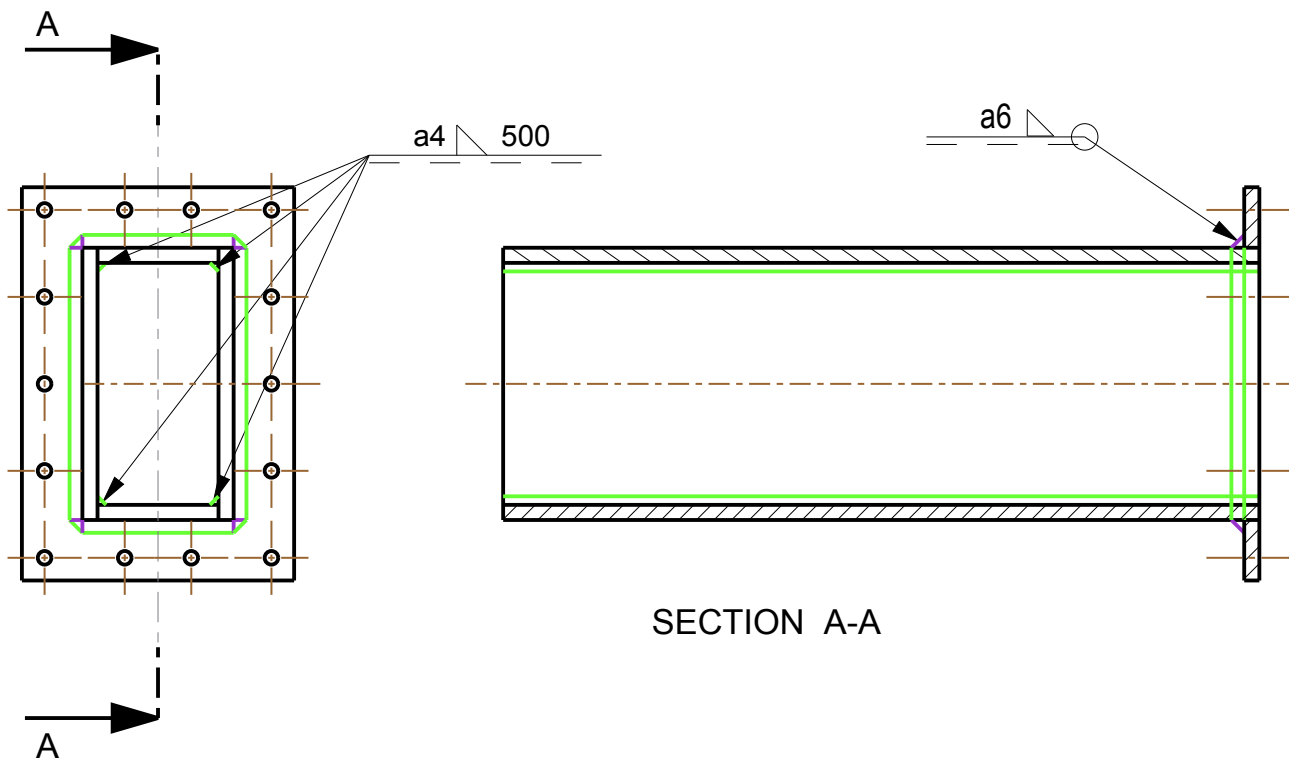
				80x41x5	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki		
ISO 2768-m	1 : 1	Nosturi	Masto1_kok	TURVALENKKI		
Piirt	S Timoskainen		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun	25.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			35		
Hyv						




				500x180x10	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Tukipalkki		TUKIPALKKI_SEINA_1	
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	26.10.2011			Piirustusnumero		<h1>36</h1>
Tark	Massa					
Hyv						

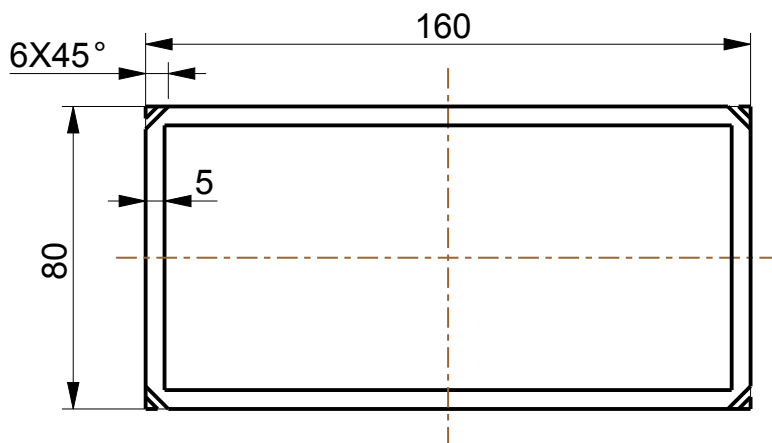
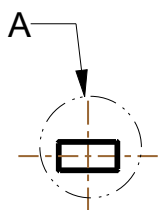


				500x80x10	S355J2H	2
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 5	Nosturi	Tukipalkki		TUKIPALKKI_SEINA_2	
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	26.10.2011			Piirustusnumero		37
Tark	Massa					
Hyv						

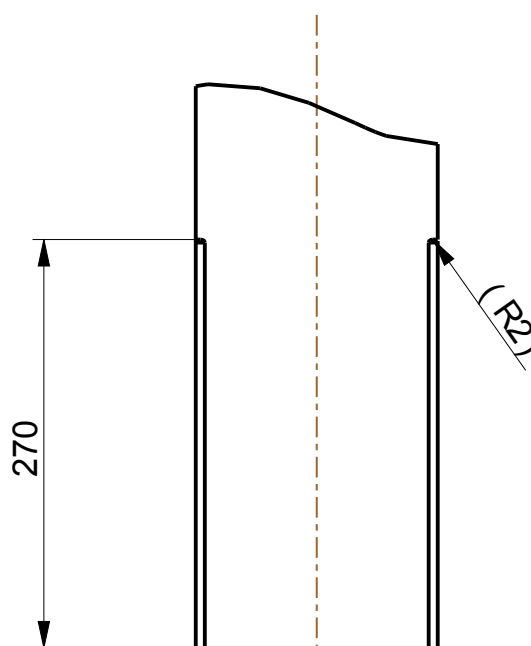
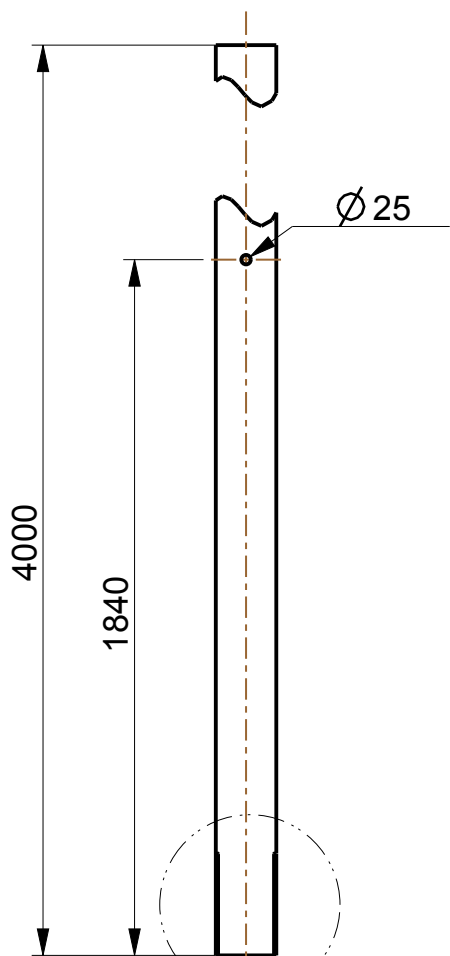


3		TUKIPALKKI_SEINA_2				2	
2		TUKIPALKKI_SEINA_1				2	
1		KIINNITYSLAIPPA_4				1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m		1 : 5	Nosturi	Vaakapuomi_1	TUKIPALKKI		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	26.10.2011				Piirustusnumero		
Tark		Massa			<h1>38</h1>		
Hyv							

SEE DETAIL



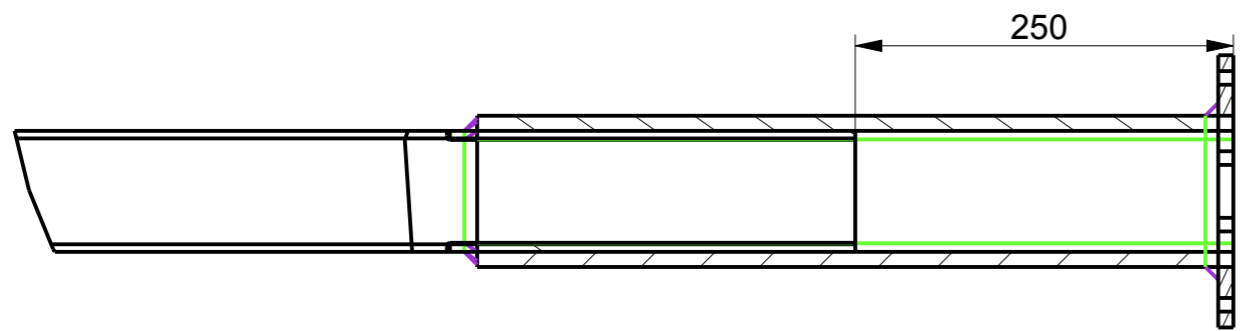
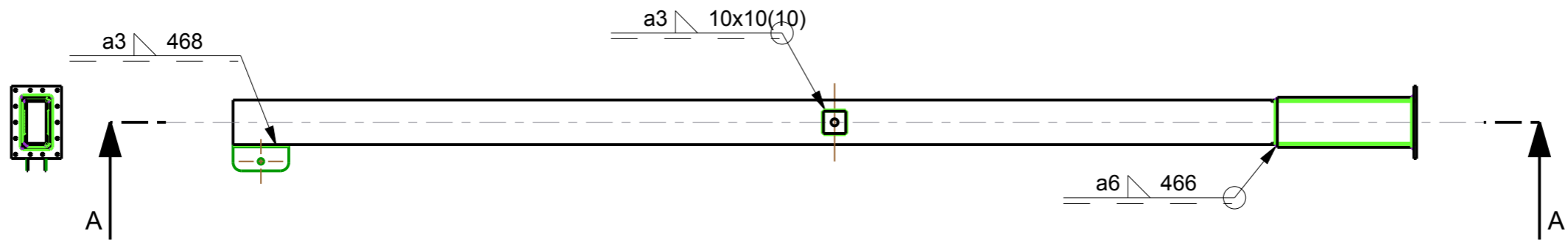
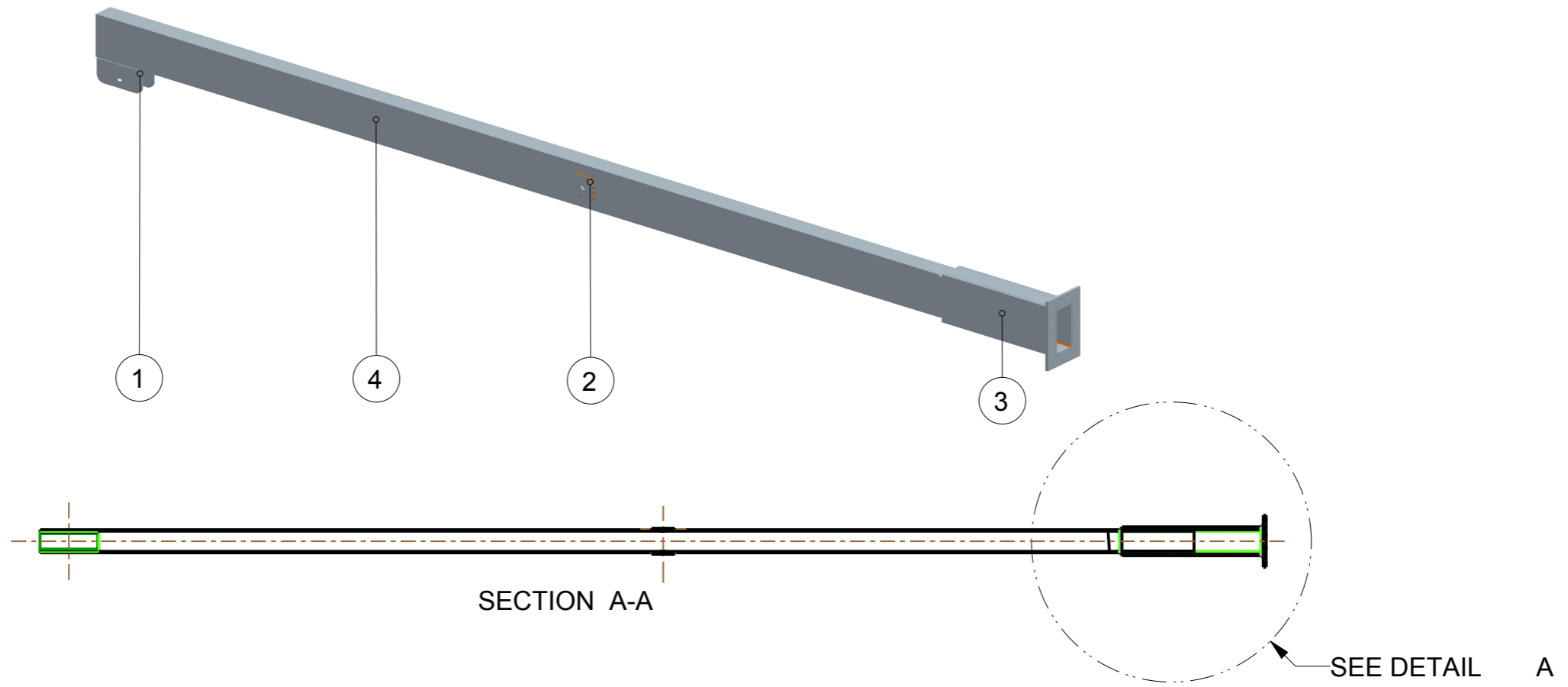
DETAIL A
SCALE 0,500



DETAIL B
SCALE 0,200

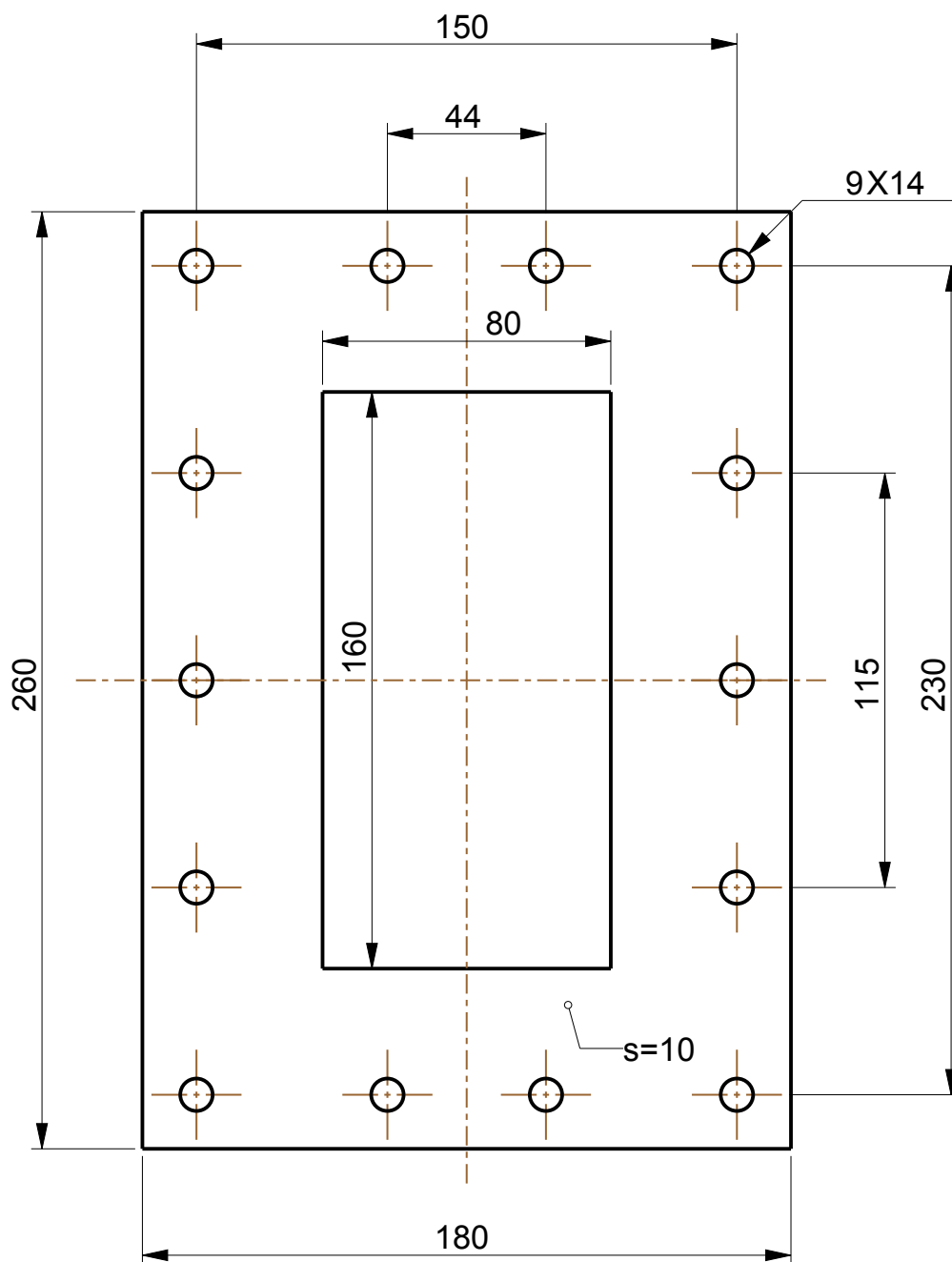
SEE DETAIL B

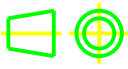
			SFS 5001	Suorakaideputkipalkki 160x80x5	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 20	Nosturi	Vaakapuomi1		VAAKAPUOMI1_PRT	
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	26.10.2011			Piirustusnumero		
Tark				<h1>39</h1>		
Hyv						

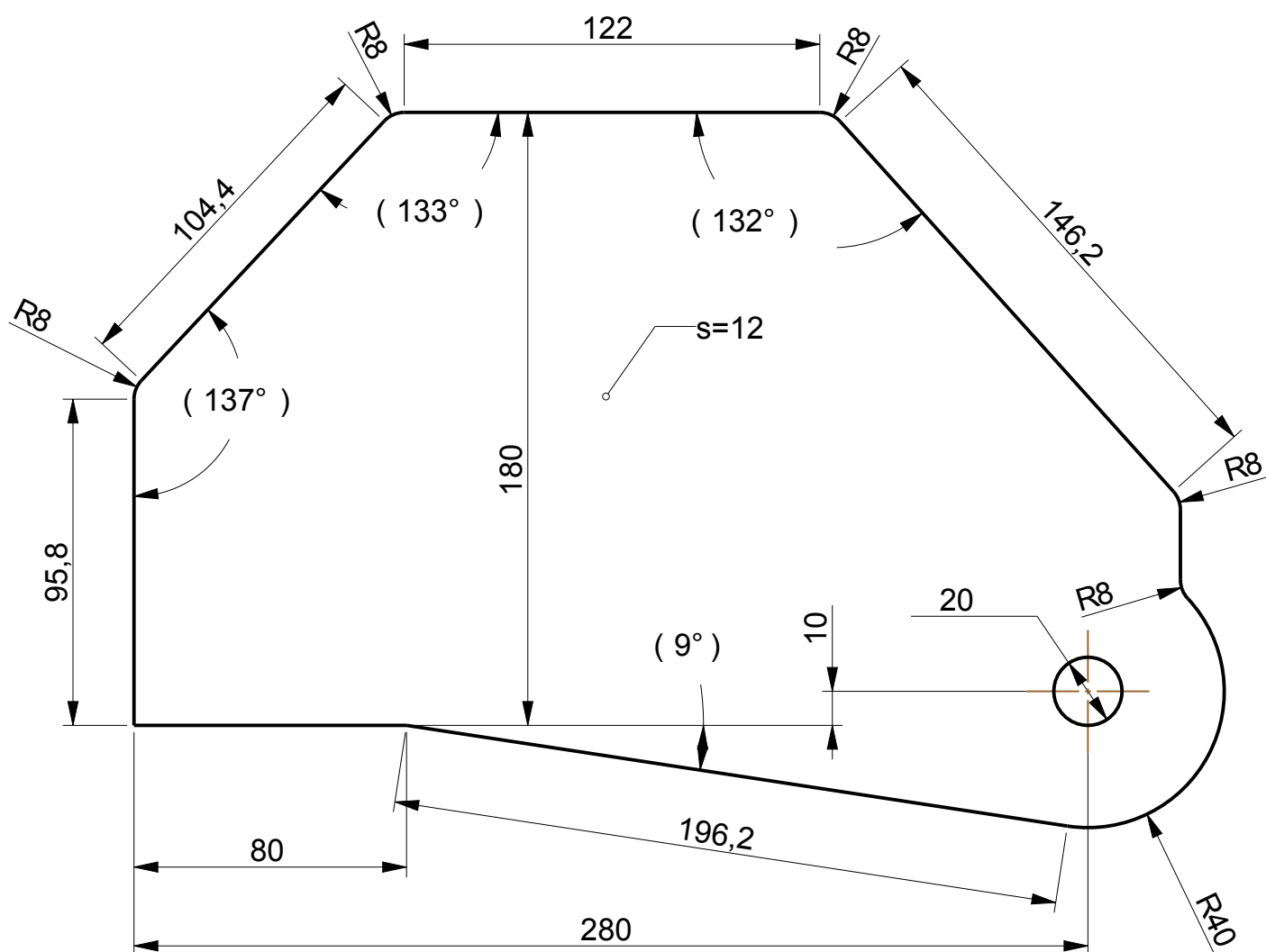


DETAIL A
SCALE 0,200

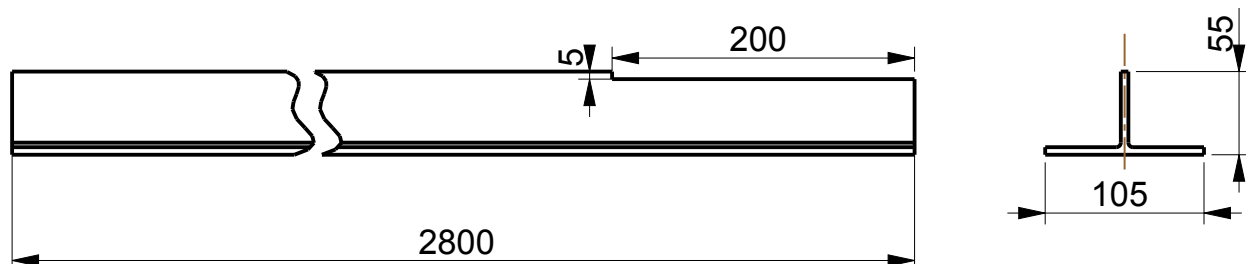
4		VAAKAPUOMI1_PRT	-	-	-	1		
3		TUKIPALKKI	-	-	-	1		
2		LEVIKE2	-	-	-	2		
1		KORVAKKO1	-	-	-	1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki			
ISO 2768-m		1 : 20	Nosturi	Nosturin ylaosa	Nimitys			
					VAAKAPUOMI1			
Piirt	O Romppanen		<p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">PKAMK</p>		Ent	Uusi	Rev	
Suun	27.10.2011				Piirustusnumero			
Tark					Massa	40		
Hyv								



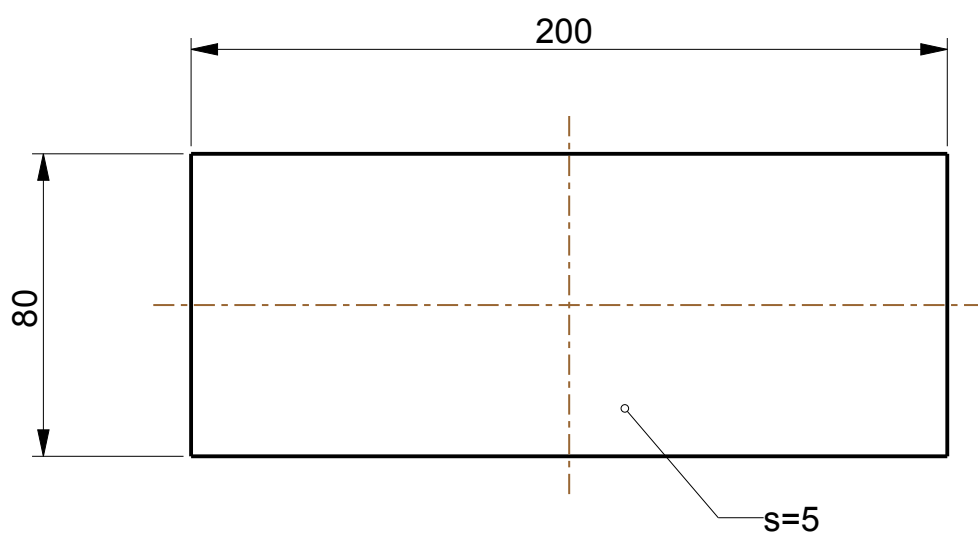
				260x180x10	S355J2H	1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Vaakapuomi2		KIINNITYSLAIPPA_5		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev	
Suun	26.10.2011			Piirustusnumero		<h1>41</h1>	
Tark							
Hyv							



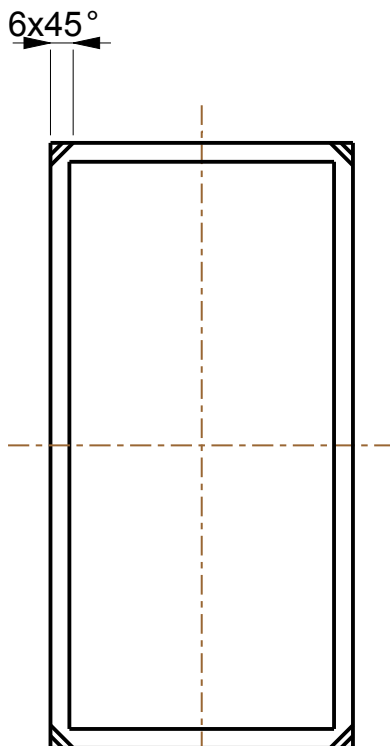
				320x210x12	S355J2H	2	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys		
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Vaakapuomi2		KORVAKKO_7		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev	
Suun	27.10.2011			Piirustusnumero		42	
Tark	Massa						
Hyv							



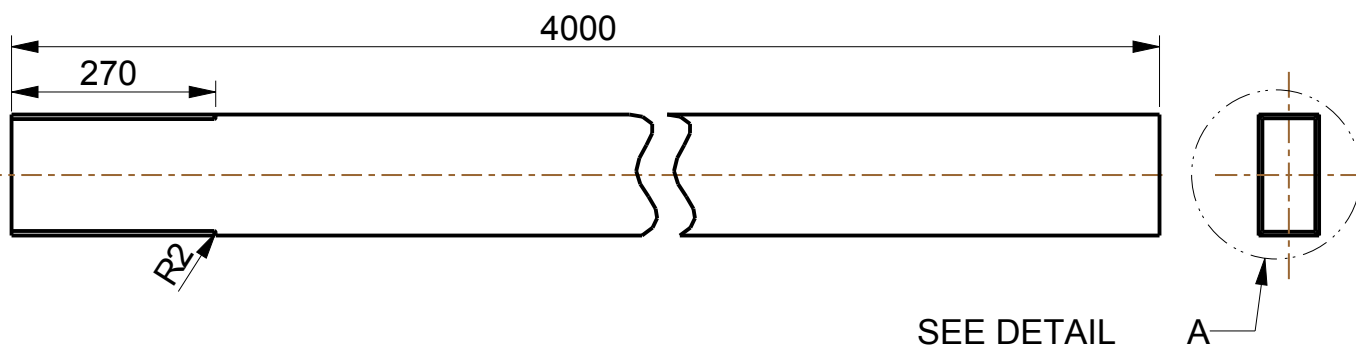
					T-tanko T 55x105	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	ISO 2768-m	Mittakaava 1 : 5	Tuote Nosturi	Liitty Vaakapuomi2	Nimitys KISKO		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	27.10.2011				Piirustusnumero		
Tark					43		
Hyv							



				200x80x5	S355J2H	1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys			
ISO 2768-m	1 : 2	Nosturi	Vaakapuomi2	KISKON_VAHVIKE			
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev	
Suun	27.10.2011			Piirustusnumero		44	
Tark							
Hyv							




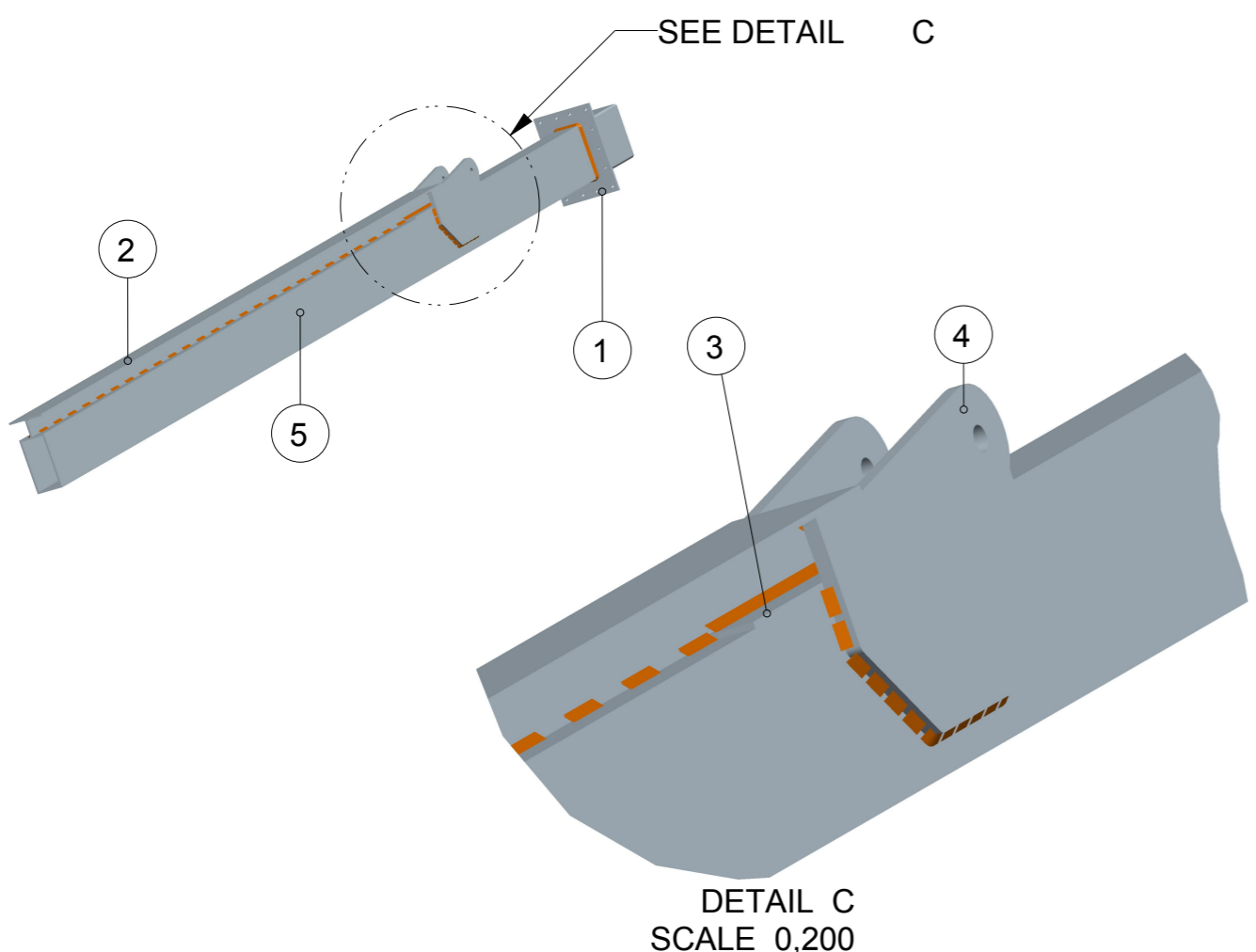
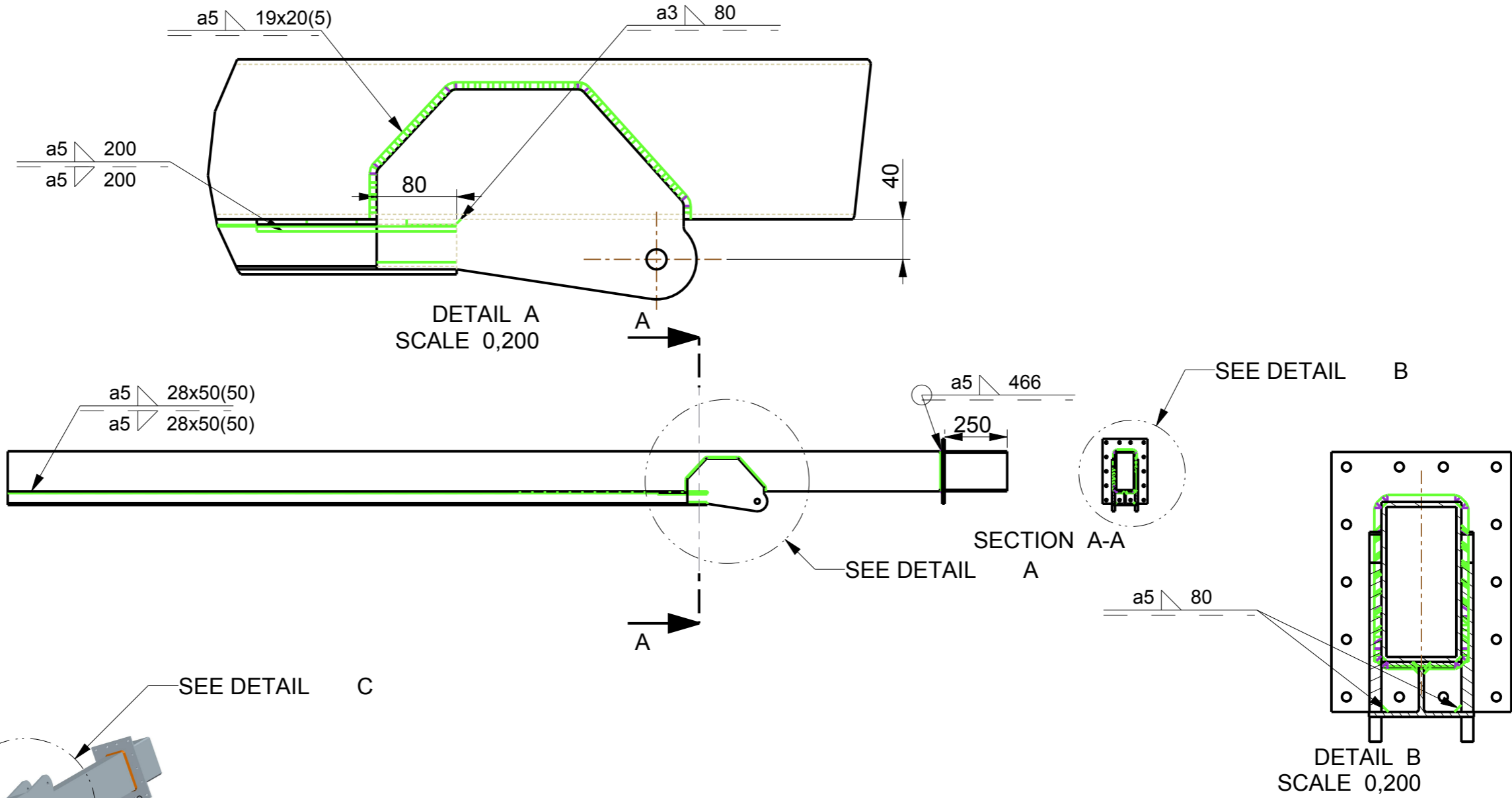
DETAIL A
SCALE 0,500



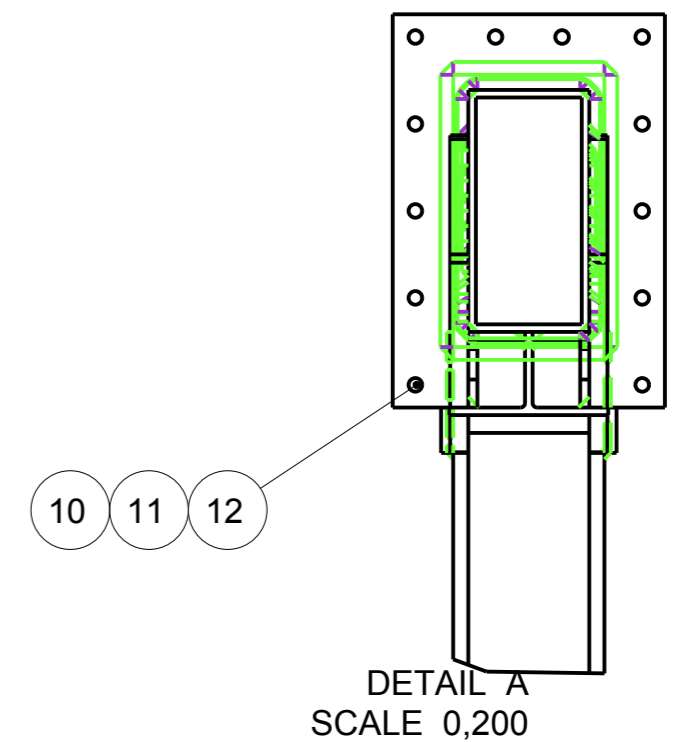
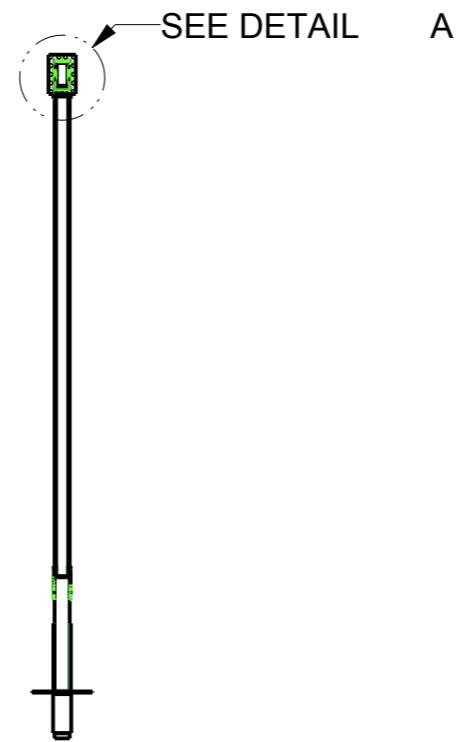
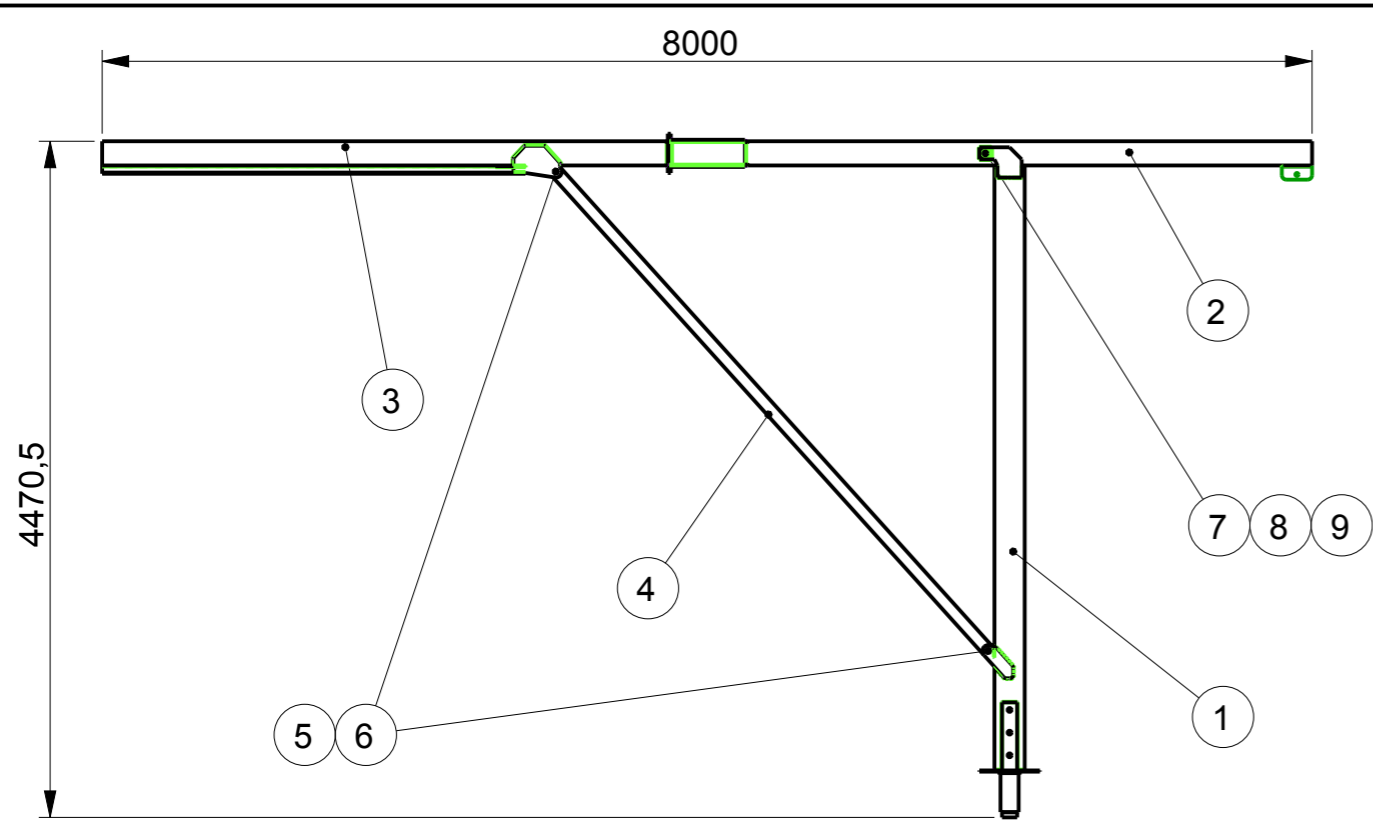
SEE DETAIL

A

			SFS 5001	Suorakaideputkipalkki 160x80x5	S355J2H	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	1 : 10	Nosturi	Vaakapuomi2	VAAKAPUOMI2_PRT		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun	27.10.2011			Piirustusnumero		<h1>45</h1>
Tark	Massa					
Hyv						

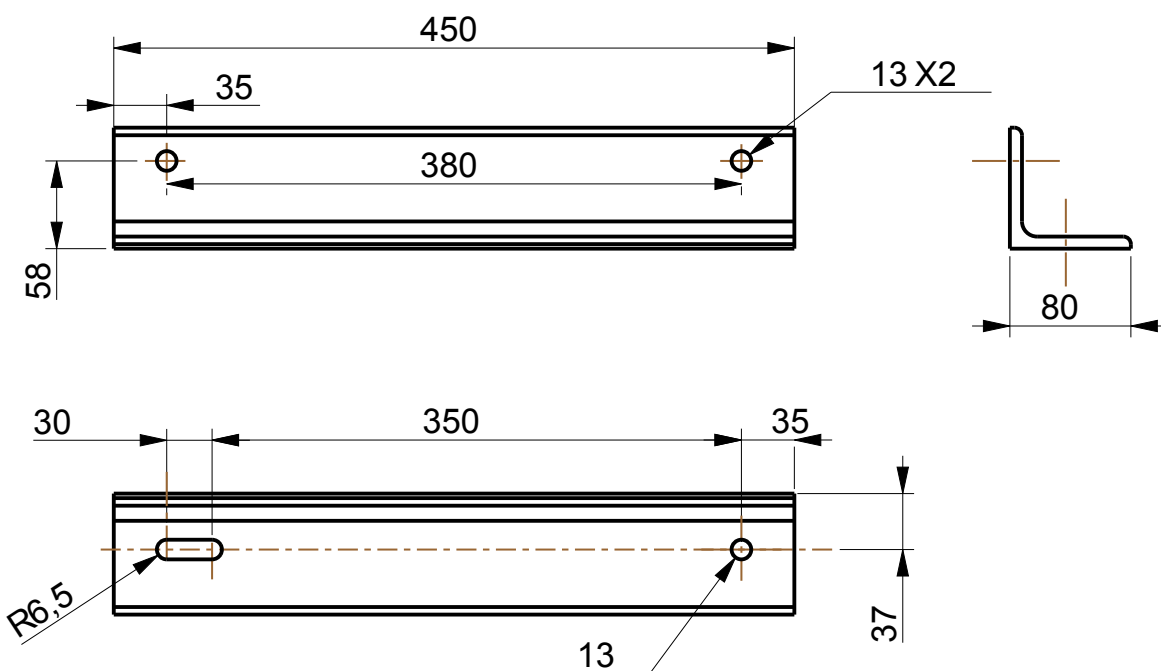


1		VAAKAPUOMI2_PRT	-	-	-	1		
1		KORVAKKO_7	-	-	-	2		
1		KISKON_VAHVIKE	-	-	-	1		
1		KISKO	-	-	-	1		
1		KIINNITYSLAIPPA_5	-	-	-	1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki			
ISO 2768-m		1 : 20	Nosturi	Vaakapuomi2	Nimitys			
					VAAKAPUOMI2			
Piirt	O Romppanen		PKAMK		Ent	Uusi	Rev	
Suun	27.10.2011				Piirustusnumero		46	
Tark					Massa			
Hyv								

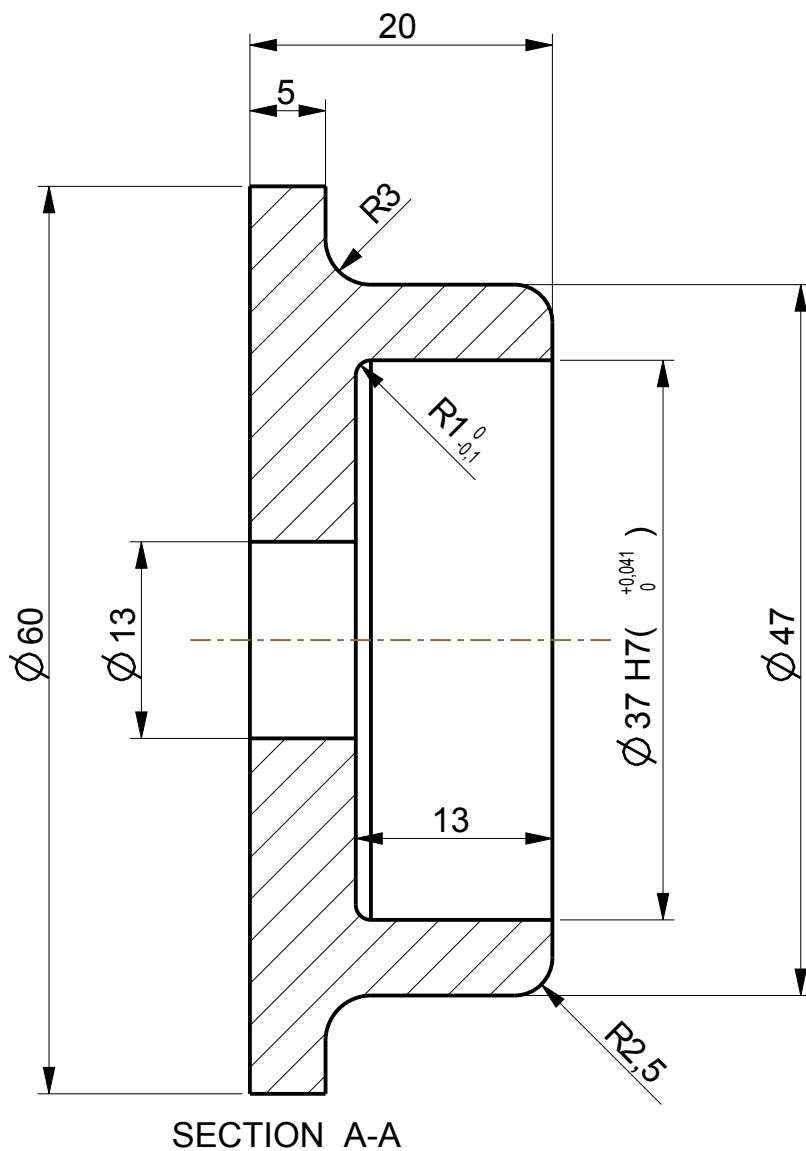



12		Kuusiomutteri (itsevarmistava)	DIN 985	M8		14
11		Aluslaatta	DIN 6340	8		28
10		Kuusioruuvi	DIN 601	M8 L=35		14
9		Kuusiomutteri (itsevarmistava)	DIN 985	M24		1
8		Aluslaatta	DIN 6340	24		2
7		Kuusioruuvi	DIN 601	M24 L=140		1
6		Saksisokka	ISO 1234	Ø 5 L=32		2
5		sokkapultti	DIN EN 22341	Ø 20 L=140		2
4		VINOTUKI	-	-	-	1
3		VAAKAPUOMI2	-	-	-	1
2		VAAKAPUOMI1	-	-	-	1
1		MASTO2_KOK	-	-	-	1

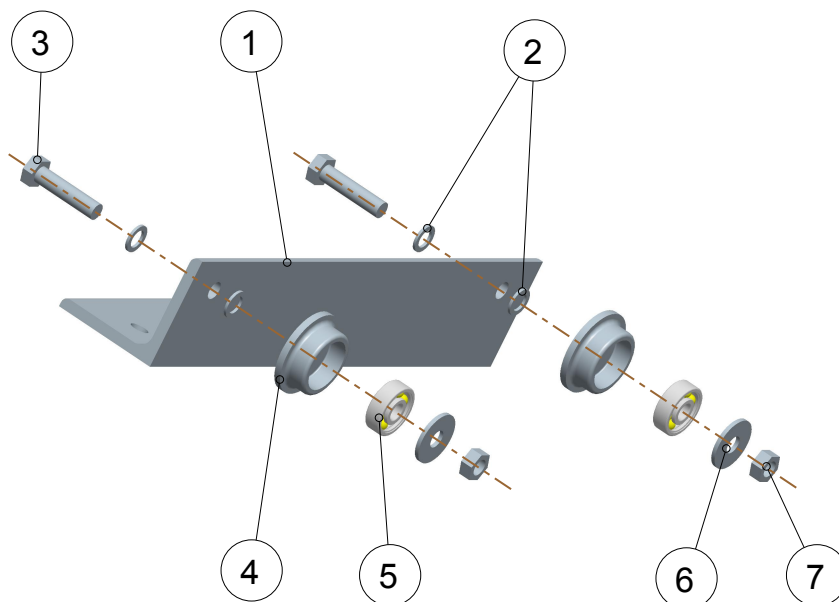
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki			
ISO 2768-m		1 : 50	Nosturi	Nosturi	NIMITYS			
					NOSTURIN_YLAOSA			
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev	
Suun	27.10.2011				Piirustusnumero			
Tark					Massa			
Hyv								




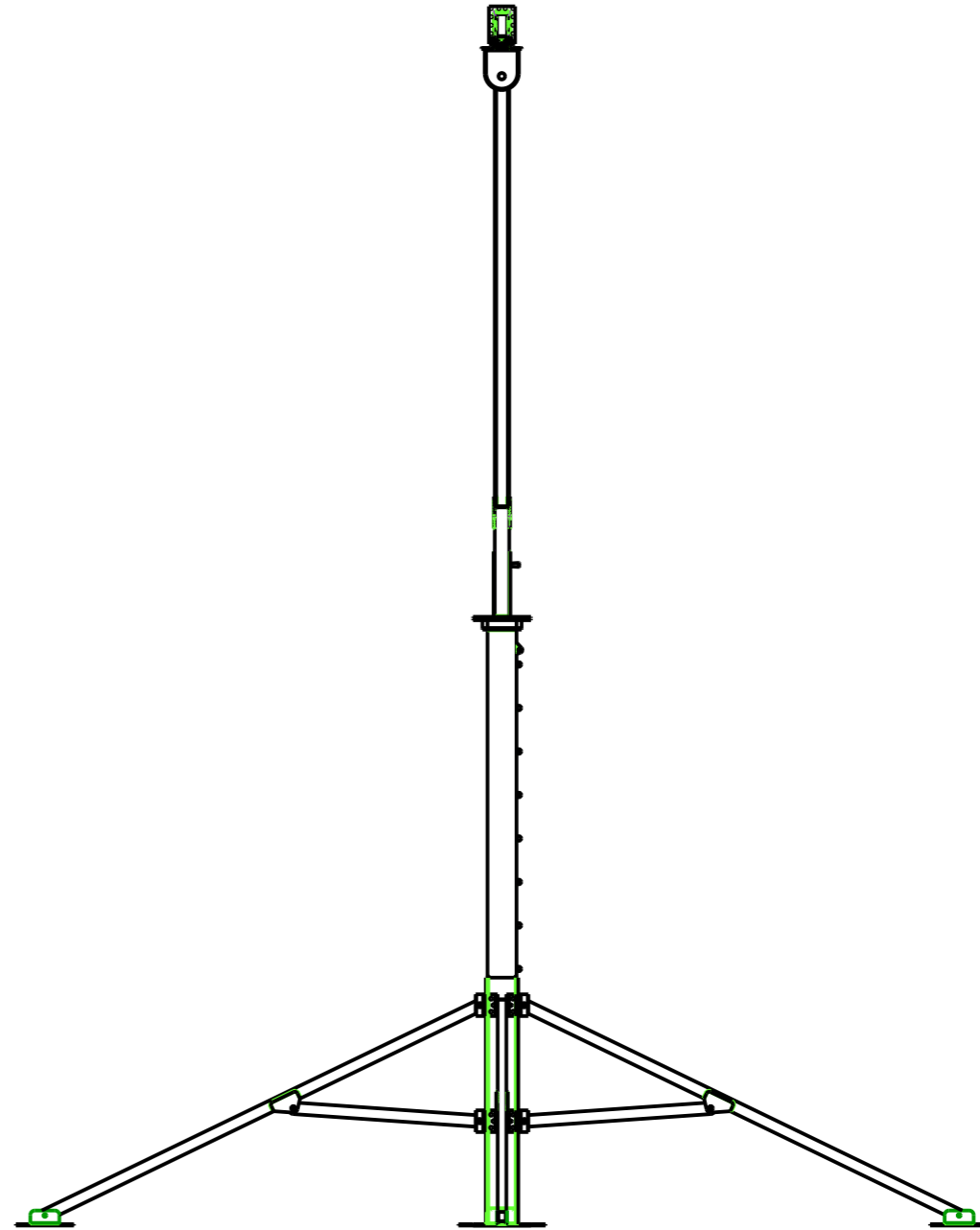
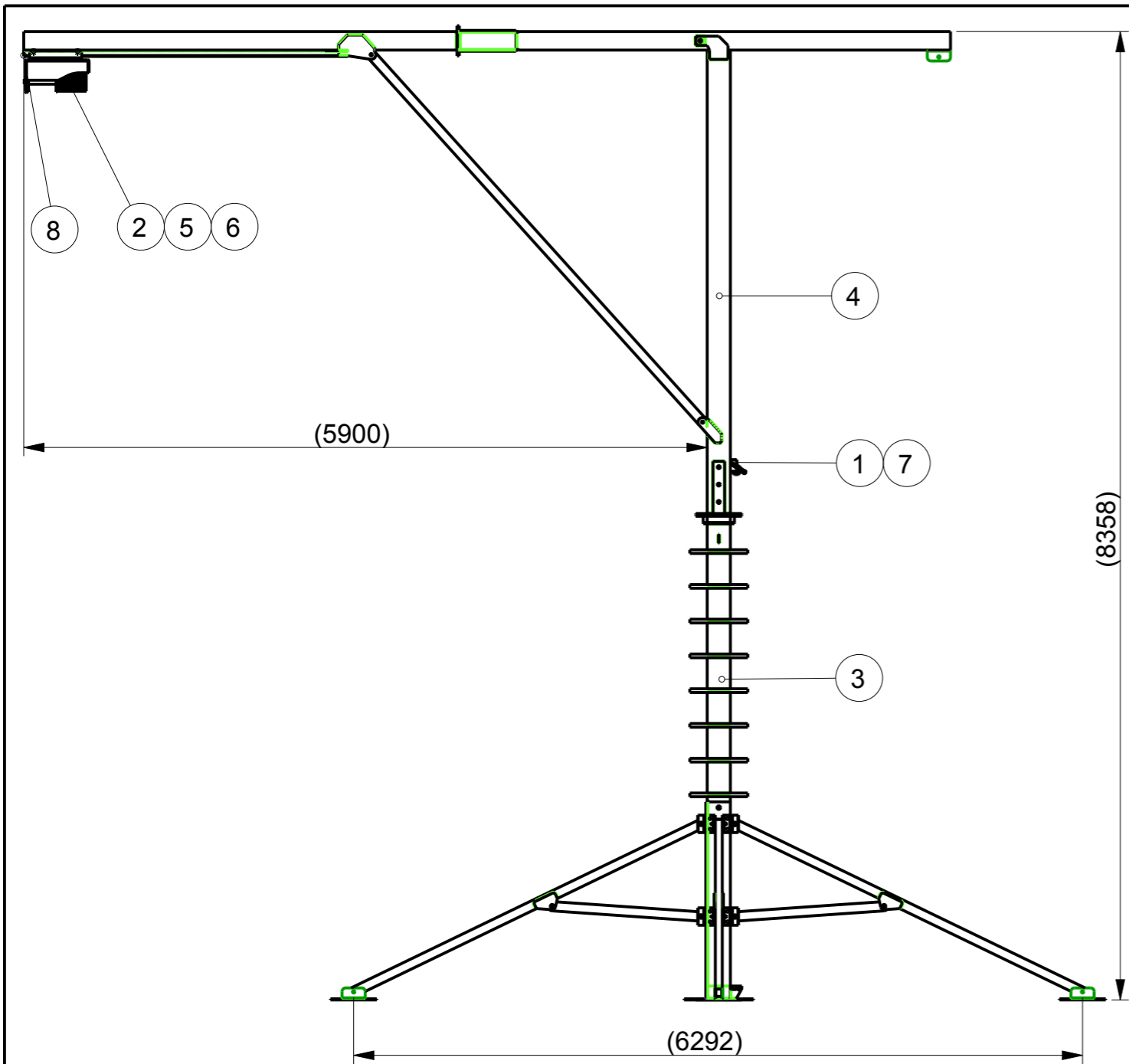
					Kulmatanko L 80x8	S355J2H	2		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit	ISO 2768-m	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys	KULMATANKO			
		1 : 5	Kelkka	Kelkka					
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>			Ent	Uusi	Rev	
Suun	31.10.2011					Piirustusnumero			<h2>48</h2>
Tark						Massa			
Hyv									



				60x60x20	S355J2H	4
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liitty	Lajimerkki	Nimitys	
ISO 2768-m	2 : 1	Kelkka	Kelkka		PYORA	
Piirt	O Romppanen		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun	31.10.2011			Piirustusnumero		
Tark	Massa			49		
Hyv						



7		Kuusiomutteri	DIN 985	M12		2	
6		Korialuslevy	DIN 9021	12		2	
5		Urakuulalaakeri		6301		2	
4		Pyora				2	
3		Kuusioruuvi	DIN 601	M12 L=50		2	
2		Aluslaatta	DIN 1441	12		4	
1		Kulmatanko				1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-m		1 : 5	Kelkka	Nosturi	KELKKA		
Piirt	O Romppanen		<h1>PKAMK</h1>		Ent	Uusi	Rev
Suun	31.10.2011				Piirustusnumero		
Tark	Massa				50		
Hyv							



8		Päätypuskuri				1			
7		Kuusioruuvi	DIN 8676	M10 L=20		3			
6		Kuusioruuvi	DIN 8676	M 12 L=20		4			
5		VINSSI	-	-	-	1			
4		NOSTURIN_YLAOSA	-	-	-	1			
3		NOSTURIN_ALAOSA	-	-	-	1			
2		KELKKA	-	-	-	2			
1		KASIVINSSI	-	-	-	1			
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lajimerkki				
ISO 2768-m		1 : 50	Nosturi		Nimitys				
						NOSTURI			
Piirt	S Timoskainen		PKAMK		Ent	Uusi	Rev		
Suun	31.10.2011						Piirustusnumero		
Tark					Massa			51	
Hyv					1225 kg				