

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Simo Mikkonen

TYÖKONEKÄYTTÖISEN ETUAURAN SUUNNITTELU JA LUJUUS-
TARKASTELU

Opinnäytetyö
Helmikuu 2014



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p.(013) 260 6700

Tekijä
Simo Mikkonen

Nimeke
Työkonekäyttöisen etuauran suunnittelu ja lujuustarkastelu

Toimeksiantaja
Lari Sistonen

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella, tehdä lujuustarkasteluita sekä tuottaa tarvittavat valmistuspiirustukset työkonekäyttöiselle etuauralle. Auran rakenteissa pyrittiin uusiokäyttämään mahdollisimman paljon rautatavaraa ja komponentteja. Suunnittelun lähtökohtana olivat tilaajan toiveet sekä tilaajan oma romurautavarasto.

Suunnittelu aloitettiin kartoittamalla tilaajan toiveet sekä tilaajalla olemassa oleva rauta- ja komponenttivarasto. Esisuunnitteluvaiheessa selvitettiin mahdollisia ratkaisuja auran rakentamiseen yhdessä toimeksiantajan kanssa. Muutamista eri vaihtoehdosta valittiin parhaat ominaisuudet, joita alettiin suunnitella toimivaksi kokonaisuudeksi. Kun aura oli lähes kokonaan suunniteltu, tehtiin auralle FEM-analyyseja. Analyyseilla pyrittiin kartoittamaan kriittisimpien kohtien kestävyyttä suurimpien jännitysten sekä väsymisen suhteen. Suunnittelussa käytettiin Creo Parametric 2.0 3D-suunnitteluohjelmistoa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin valmistuskuvat auralle sekä lujuusanalyyseja sen kriittisimmissä kohdissa. Lujuusanalyysien perusteella auraan tehtiin joitakin muutoksia. Muutosten jälkeen puskulevyn tulisi kestää kohtuullista räsitusta hyvin.

Kieli
suomi

Sivuja	47
Liitteet	1
Liitesivumäärä	25

Asiasanat
3D-mallinnus, hitsausliitos, tehollinen lovijännitysmenetelmä



THESIS
MAY 2014
Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p.(013) 260 6700

Author
Simo Mikkonen

Title
Engineering and strength calculations for for a tractor-operated front plough

Commissioned by
Lari Sistonen

Abstract

The aim of this thesis was to engineer, to do strength calculations, and to produce engineering drawings for a tractor-operated front plough. The customer's own steel and components were reused in the process of designing the structures of the plough as much as possible. The starting point for the engineering was the customer's initial request and the desire to use and to utilise the customer's own warehouse of scrap iron.

First, the engineering started by surveying the customer's wishes and by making an inventory of the customer's steel and component stock. Second, the possible solutions to the plough's construction were examined with the customer in the pre-engineering phase. As a result, the best features were picked out from a few different solutions, which were then compiled into a single functional entity. Last, when the design for the plough was almost finished it underwent a series of FEM-analyses which focused on the most critical points of its structure. These analyses were used to map the plough's highest tensions and also its fatigue resistance. The engineering was carried out with Creo Parametric 2.0 3D-product design program.

As a result of this thesis, the plough's engineering drawings and the FEM-analyses from the most critical points of the structure were produced. Based on the FEM-calculations, some changes on the structures of the plough were made. After these changes the structure was strengthened and, therefore, it should withstand a fair amount of strain.

Language	Pages	47
Finnish	Appendices	1
	Pages of Appendices	25

Keywords
3D-modeling, welding joint, effective notch stress method

SISÄLLYS

Tiivistelmä	
Abstract	
1 JOHDANTO	5
2 DYNAAMISESTI KUORMITETTUIEN KONEIDEN JA SEN OSIEN SUUNNITTELU	6
3 3D-SUUNNITTELUN PERUSTEET	7
4 LUJUUSTARKASTELUN PERUSTEET	10
4.1 Väsyminen	10
4.2 FEM-menetelmä.....	14
4.3 Tehollinen lovijännitysmenetelmä	15
5 HITSISAUMOJEN MITOITUS	17
5.1 Voimaliitokset.....	17
5.2 Kiinnityслиitokset.....	18
5.3 Sideliitos.....	19
5.4 Varusteliitos	19
6 PUSKULEVYN SUUNNITTELU JA 3D-MALLINNUS.....	20
6.1 Käytössä olevat materiaalit ja traktorista saatava teho	20
6.2 Puskulevyn 3D-mallinnus.....	22
6.3 Traktorin hydraulijärjestelmän päivittäminen	32
7 LASKELMAT	33
7.1 Hitsisaumojen laskelmat	33
7.2 FEM-analyysit	34
7.3 Väsyminen	38
7.4 Tulosten tarkastelu.....	39
8 AURAAAN TEHTÄVÄT MUUTOKSET	41
8.1 Kääntönivel	41
8.2 Kääntöeste.....	42
9 POHDINTA.....	44
9.1 Sisällön tarkastelu ja työn luotettavuus	44
9.2 Kehittämisideat ja ammatillinen kasvu	45
LÄHTEET	47
LIITTEET 1kpl	

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on suunnitella Valmet 502 -malliseen traktoriin puskulevy, tehdä puskulevyn rakenteelle lujuustarkastelu 3D-mallinnusohjelma Creoa käyttäen sekä laatia puskulevystä valmistuspiirustukset (liite 1). Puskulevyn rakentaminen ja testaaminen rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä se jää toimeksiantajan tehtäväksi.

Puskulevy on traktorin eteen kiinnitettävä aura, jolla voidaan tasata soramaata tai aurata lunta talvella teiltä ja pihamailta. Tämä puskulevy suunnitellaan lumentyöntämiseen pihamaalta sekä pieniltä teiltä, ei suurien teiden auraukseen. Puskulevyn suunnittelun lähtökohtana on, että levyn rakentamiseen hyödynnetään mahdollisimman paljon toimeksiantajalla varastossa olevaa materiaalia, romurautaa sekä ylimääräiseksi jääneitä hydraulikkakomponentteja. Puskulevyn valmistukseen käytettävää romurautaa saadaan maanrakennuksen romutettavaksi menevästä erittäin lujasta teräsprofiilista sekä romuttamoilta. Teräsprofiili soveltuu erittäin hyvin puskulevyn materiaaliksi muotonsa ja lujuutensa vuoksi. Toimeksiantaja haluaa uusiokäyttää materiaaleja puskulevyn rakentamisessa mahdollisimman paljon, joten myös materiaalikustannukset pysyvät kohtuullisina. Edellä mainitut vaatimukset liittyen rakennusmateriaaleihin asetavat suuria haasteita suunnittelutyölle.

Puskulevyn toimeksiantajana on yksityinen henkilö, joka asuu maaseudulla ja auraa itse pihatiensä sekä pihamaansa. Käytössä hänellä on Valmet 502 -mallinen traktori sekä siihen kiinnitettävä lumilinko. Puskulevyn tarpeen toimeksiantaja totesi viime talvena, kun linkouksen jälkeen hän joutui lapioimaan ovien

edustat puhtaiksi sekä puhdistamaan lingon jättämät lumikasat pihamaalta. Toimeksiantajan on tarkoitus valmistaa puskulevy itse, sillä hänellä on omat tilat ja välineet puskulevyn valmistusta varten. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon toimeksiantajalla puskulevyn valmistuksessa käytössä olevat välineet.

2 Dynaamisesti kuormitettujen koneiden ja sen osien suunnittelu

Koneensuunnittelussa pyritään laatimaan laite, joka täyttää sille annetut tavoitevaatimukset. Suunnittelijan tulee ennustaa rakenteen käyttäytymistä jo aivan suunnitteluprosessin alkuvaiheessa, jotta osataan käyttää oikeita suunnittelu-metodeita. Erilaisia metodeita on nykyisin tarjolla paljon ja liitosten kestävyyttä ja materiaalien käyttäytymistä dynaamisessa kuormituksessa testataan jatkuvasti väsytykskokeilla. Materiaali ei kuitenkaan ole koskaan täysin tasalaatuista ja valmistusvaiheessa tulee lähes aina pieniä poikkeavuuksia. Poikkeavuudet tekevät dynaamisen kuormituksen suunnittelusta erään vaikeimmista suunnittelukohteista. (Airila 2003, 23.)

Nykyisin suuri osa valmistettavan koneen hinnasta tulee materiaalikustannuksista, joten suunnittelijan tulee pyrkiä mahdollisimman kestävään rakenteeseen mahdollisimman pienellä materiaalimäärällä. Periaatteessa koneen suunnittelu ”ikuisiksi” olisi joissain kohteissa mahdollista, mutta tarpeettoman pitkä kestoikä tarkoittaa kohtuuttoman suuria valmistuskustannuksia. Dynaamisen kuormituksen suunnittelussa käytettävät menetelmät ovat jonkinlainen yhdistelmä kaikista staattisista tarkasteluista, standardeista, väsytykskokeiden tuloksista, perinteisistä suunnittelumenetelmistä sekä suunnittelijan arvailuista. Monesti juuri arvailut ja pitkä suunnittelukokemus tuovat suunnittelijalle tuntuman, jonka

mukaan laite saadaan tarpeeksi kestäväksi kohtuullisilla kustannuksilla. (Airila 2003, 23–24.)

Mitoitukseen käytettäviä menetelmiä ovat muun muassa mitoitus väsymisrajaan nähden, mitoitus kestorajaan nähden, varman kestämissen periaate sekä rajoitetun vahingon periaate. Mitoituksella väsymisrajaan nähden tarkoitetaan sitä, että suunnittelujännitykset pysyvät väsymislujuuden alapuolella. Suunnittelujännitys määrätään varmuusluvun avulla. Periaatteessa rakenteen kestävyys määritellään äärettömän pitkäksi. Tämä menetelmä vaatii materiaalilta selvän väsymisrajan, eikä sitä siksi voida käyttää esimerkiksi alumiinille. Mitoitettaessa kestorajaan nähden voidaan suunniteltavalle kohteelle laatia laskennallinen kestoikä, esimerkiksi Wöhler-käyrän avulla. Varman kestämissen periaatteessa rakenne suunnitellaan kestäväksi varmasti (yli 90 % tilanteista) määritellyn ajan. Rajoitetun vahingon periaate tukee varman kestämissen periaatteen epäkohtaa, jolloin rakenne mahdollisesti hajoaa. Tätä menetelmää käytettäessä pyritään pienentämään vaurio-tilanteesta aiheutuvaa rikkoo. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että koneenosien siirtämät tai kannattelemat voimat siirretään vaihtoehtoista reittiä, jolloin vältetään totaalinen tuho. (Airila 2003, 23–24.)

3 3D-suunnittelun perusteet

3D tulee englannin kielen sanoista 'three dimensional'. Suomeksi tämä tarkoittaa kolmiulotteista. 3D-grafiikka perustuu matemaattisiin malleihin ja matriiseihin, joilla pystytään luomaan kolmiulotteinen kuva esimerkiksi tietokoneen 2D-ruudulle. Aihe sinänsä on erittäin laaja ja monimutkainen. Tässä opinnäytetyössä 3D-grafiikka kokonaisuutena rajattiin aiheen ulkopuolelle, sillä opinnäytetyön

kannalta olennaisia ovat perusasiat nykyaikaisesta koneensuunnittelusta tietokoneohjelmia apuna käyttäen.

Aiemmin suunnitteluun käytettiin erilaisia kaksiulotteisia (2D) sovelluksia, joilla piirrettiin kappaleet tietyssä tasossa kuvattuna. Asioilla oli siis kaksi ulottuvuutta: korkeus ja leveys. Kolmiulotteisessa maailmassa asioilla on kolme ulottuvuutta: korkeus, leveys sekä syvyys. Nykyaikainen koneensuunnittelu tapahtuu lähes täysin 3D-mallinnusohjelmia hyödyntäen. Näin voidaan rakentaa koneet ja laitteet ensin virtuaalisesti toimivaksi kokonaisuudeksi. Todenmukaisten kolmiulotteisten mallien avulla suunnittelijat voivat ottaa helpommin ongelmakohtia huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jolloin virheiden korjaaminen on helpompaa ja halvempaa kuin toteutusvaiheessa. (Puhakka 2008, 24.)

Suunnittelijalta vaaditaan hyvää kolmiulotteista hahmottamiskykyä. Suuret kokonaisuudet, kuten monimutkaiset laitteet tai laajat yleiskuva- eli layout-mallit, tulee jakaa pienempiin osakokonaisuuksiin. Suurien ja monimutkaisten mallien hahmotteleminen yhdellä kertaa on liian raskasta koneelle ja suunnittelijalle. Kun malleja suunnitellaan pienempi kokonaisuus kerrallaan ja lisätään osakokonaisuuksia kokonaiskuvaan, pystyy suunnittelija helpommin hahmottamaan tulevaa tuotetta. Myös osien revisiointi eli muokkaaminen helpottuu. (Lehtovirta & Nuutinen 2000, 22.)

3D-mallinnuksissa kokoonpanot näyttävät todenmukaisilta ja niille voidaan antaa kaikki fysikaaliset sekä mekaaniset ominaisuudet vastaamaan todellista tilannetta. Mallinnuksen avulla mahdollistuu osien fyysinen tarkastelu, toisiinsa sopivuuden tarkastelu sekä liityntärakenteiden toimivuuden tutkiminen jo suunnittelupöydällä. Suunnittelun aikana huomatu virheet ovat helpompia ja nopeampia korjata. Korjatut virheet päivittyvät automaattisesti kaikkiin tuleviin tietoihin ja piirustuksiin. Vasta tuotannossa huomatu virheet aiheuttavat huomattavasti enemmän työtä ja kustannuksia. Suunnitteluvaiheessa virheiden huomaaminen ja korjaaminen nousee erittäin tärkeäksi nykyaikaisessa tuotannos-

sa, sillä asiakkaat vaativat tuotteita toimittajilta yhä lyhyemmillä toimitusajoilla. Näin ollen tuotannossa työskentelevät voivat keskittyä kokonaisuuksien rakentamiseen ilman, että heidän tarvitsee miettiä kokonaisuuksien toimintaa. (Tuhola & Viitanen 2008, 33.)

Suunnittelun tuloksena syntyy lähes poikkeuksetta 2D-piirustukset, joiden avulla osat valmistetaan ja kokoonpano suoritetaan. Suoraan 2D-ympäristössä osien ja kokoonpanojen hahmottaminen on monesti erittäin vaikeaa, monimutkaista ja aikaa vievää. Kaikki malleihin tehtävät muutokset joudutaan piirtämään viiva kerrallaan kaikkiin projektiioihin ja piirustuksiin. Jos johonkin osaan halutaan tulevaisuudessa tehdä päivityksiä ja parannuksia, joudutaan käymään läpi kaikki kokoonpanot, joissa kuva esiintyy. Tämä on yksi oleellinen syy, minkä vuoksi nykyisin käytetään kehittyneitä 3D-mallinnusohjelmia. Kun johonkin osaan tai piirteeseen tehdään muutos, se päivittyy automaattisesti kaikkiin kyseistä osaa koskevaan dataan. (Tuhola & Viitanen 2008, 34.)

3D-mallinnukseen on tarjolla monia ohjelmistokokonaisuuksia riippuen käyttötarkoituksesta sekä suunnittelijoiden tottumuksesta. Pääosin ohjelmat ovat samantyyppisiä ja niillä voi tehdä samanlaisia muotoja ja piirteitä. Suurimpia eroavaisuuksia on ohjelmien käyttöliittymissä ja syötteiden antamisessa. Nämä vaikuttavat suoraan työskentelytapoihin. Suunnittelijoiden mieltymykset eri ohjelmiin johtuvat suurimmaksi osaksi totutuista työskentelytavoista, eivät jonkin ohjelman paremmuudesta. (Tuhola & Viitanen 2008, 35.) Yleisimpiä Suomessa käytettäviä 3D-mallinnusohjelmia koneenrakennukseen ovat AutoDesk Inventor, SolidWorks sekä Vertex. Tässä työssä käytetään suunnitteluohjelmistona PTC:n Creo 2.0, jossa on lisäosana lujoustarkasteluun sopiva FEM-laajennus.

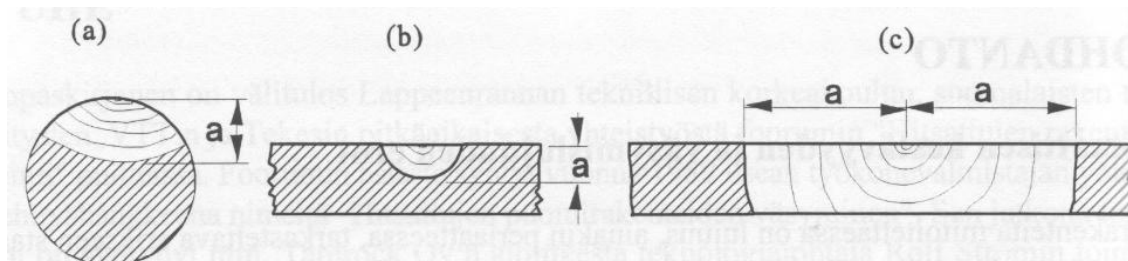
4 Lujuustarkastelun perusteet

Tässä luvussa esitellään teoriapohjaa, jonka mukaan puskulevylle tehtiin lujuusanalyyseja. Creo 2.0:n FEM-analyyseilla tarkasteltiin puskulevyn törmäysten kestävyyttä sen kriittisissä kohdissa. Väsymisellä kartoitettiin puskulevyn teoreettista käyttöikää.

4.1 Väsyminen

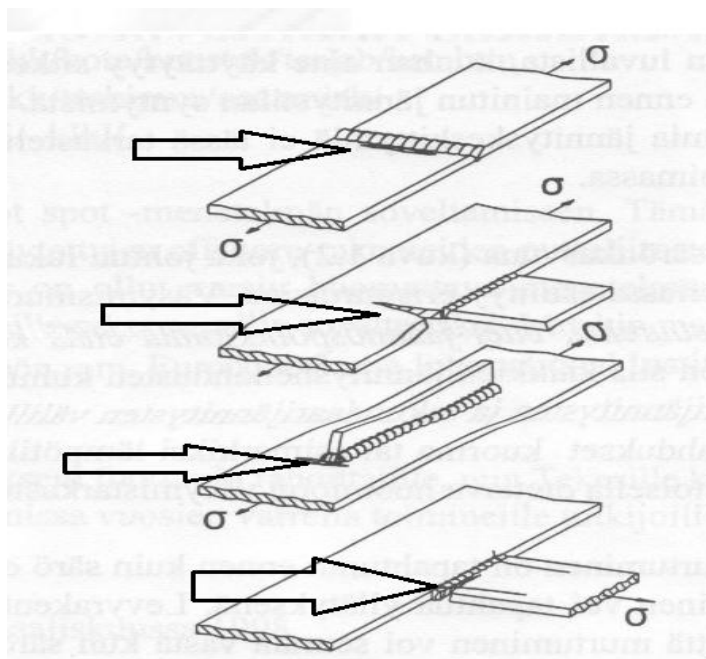
Kun koneen osaa rasittaa vaihteleva kuormitus tai tykytyskuormitus koneen osa voi murtua, vaikkei yksittäisen jännitysjakson aikainen jännityshuippu ylittäisi materiaalille määrättyä murtolujuutta. Tällaista murtumaa kutsutaan väsymismurtumaksi. Väsymismurtuma voi syntyä, vaikka kuormittava jännitysvoima olisi huomattavasti pienempi kuin materiaalille määrätty murtolujuus. Väsymismurtumat poikkeavat staattisen jännityksen aiheuttamista murtumista siinä, etteivät ne varoita murtumasta etukäteen plastisella muodonmuutoksella, vaan rakenne vaurioituu kerralla. Väsymismurtuma johtuu metallin epätasaisesta raemaisesta rakenteesta, jossa rakeiden väliset jännitykset poikkeavat toisistaan. Tämä tarkoittaa sitä, että joihinkin rakenteen osiin syntyy jännityshuippuja, joissa murtumat syntyvät ja alkavat edetä. Murtuma etenee hiljalleen, riippuen rasittavasta jännityksestä sekä jännitysten vaihteluvälistä eli amplitudista. Kun murtuma on edennyt niin pitkälle, ettei jäännöspoikkipinta kestä kuormitustilanteessa, rakenne murtuu täysin. Kuvassa 1 on esitetty väsymismurtumia ja sen eri alueita ak-

selissa sekä levyssä. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomikoski 2008, 24; Niemi, Kilkki, Poutiainen & Lihavainen 1998, 20.)



Kuva 1. Kolme erilaista särönkasvutapausta: a) Väsymisen aiheuttama vaurio akselissa, b) murtuminen tapahtunut pintasärön vuoksi, c) murtuminen tapahtunut särön kasvettua läpi rakenteesta. (Niemi ym. 1998, 20)

Väsyminen on syytä ottaa huomioon suunniteltaessa hitsattavia rakenteita, sillä on esitetty arvioita, joiden mukaan jopa 90 % kaikista metallirakenteiden murtumista johtuu juuri väsymisestä (Niemi & Kemppi 1993, 229). Väsymiselle altistaa rakenteen epäjatkuvuus, kuten reiät, lovet, ulokkeet tai hitsisaumat. Hitsausliitoksissa säröt alkavat kasvaa yleensä hitsin sekä hitsattavan materiaalin rajapinnoilla kohti perusmateriaalia. Hitsausliitokset sijaitsevat monesti pahimman jännityskeskittymän kohdalla, kuten korvakkeita kiinnitettäessä. (Niemi ym. 1998, 20.) Tällaisissa tilanteissa vaaditaan ammattitaitoa myös hitsarilta, jotta liitoksesta tulisi mahdollisimman kestävä. Hitsausseaman tulee olla mahdollisimman tasainen eikä se saa sisältää huokosia. Hitsausvirheiden määrää pyritään kontrolloimaan hitsisaumojen kuvauksilla, joissa nähdään koko liitoksen rakenne. Kuvaukset vievät aikaa ja laitteet maksavat melko paljon, joten yleensä tyydytään pistokokeisiin. Todellisuus on, että hitsausliitokseen jää lähes aina pieniä alkusäröjä, jotka käytössä kasvavat suuremmiksi. Alkusäröjä voidaan pyrkiä poistamaan valmistamalla kappale koneistamalla. (Niemi & Kemppi 1993, 229.) Kuvassa 2 on esitetty yleisiä kohtia särön alkamiselle hitsausliitoksissa.

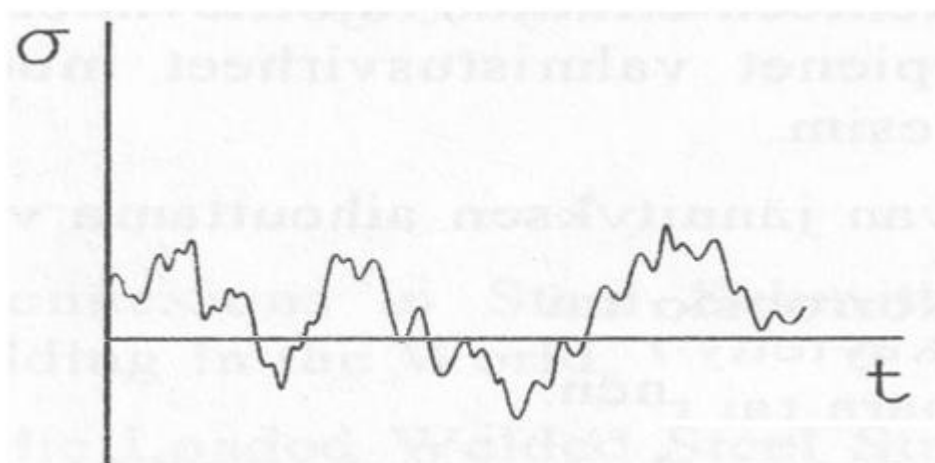


Kuva 2. Yleisiä alkusärön syntymäkohtia hitsatussa rakenteessa (Niemi ym. 1998, 20)

Nykyisin on laadittu rakenteiden suunnittelun tueksi paljon standardeja, joissa määritellään mitoituksessa käytettävät kuormat, jännityshuiput sekä varmuusluvut. Standardeja on etenkin henkilönostimille ja muille nostureille, silloille, halleille sekä muille kohteille, joissa ihmishenkiä on vaarassa. Kaikille työkonetyypeille, kuten tässä työssä käsiteltävälle puskulevyille, ei ole standardeja ja väsyminen tulee tarkemmin ottaa huomioon suunniteltaessa konetta. Kuormitus voi olla vakioamplitudista, jolloin kuormitus vaihtelee tasaisesti ja rasituskohtaan vaikuttaa aina lähes yhtä suuri voima. Yleensä, kuten tässä työssä, rasitus on muuttuva-amplitudista. Tämä tarkoittaa sitä, että amplitudien suuruus ja määrä vaihtelevat aikayksikössä. Kuormitus on yhtä rasittavaa riippumatta siitä, onko rasitus vetoa vai puristusta. Tämä on syytä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Laskettaessa tehollisella lovijännitysmenetelmällä kappaleen käyttöikää jännitys huomioidaan jännitysheilahduksessa. (Niemi 2003, 92.)

Työkoneiden ja muiden rakenteiden suunnitteluvaiheessa suunnittelija pyrkii huomioimaan rakenteen eri osien altistumista jännityksille ja laatii tarvittaessa tilanteesta niin kutsutun jännityshistoriakuvaajan. Esimerkkikuvaaja on esitetty

kuvassa 3. Kuvaajassa pyritään kuvaamaan rakenteen eri osiin kohdistuvia jännityshuippuja ja sitä, kuinka usein rakenne altistuu kuormitukselle. Maksimi jännitysheilahdus eli amplitudi on suurimman puristusjännityksen ja suurimman vetojännityksen erotuksen itseisarvo. Jännityshistoriaa laadittaessa voidaan käyttää apuna aiempia testituloksia ja kokemuksia, mutta tarkasti muuttuva-amplitudista kuormitusta on lähes mahdoton kuvata laskennallisesti.



Kuva 3. Muuttuva-amplitudinen jännityshistoria, jossa kappaleeseen kohdistuu puristusta ja vetoa. σ = jännitys ja t = aika (Niemi & Kemppi 1993, 230)

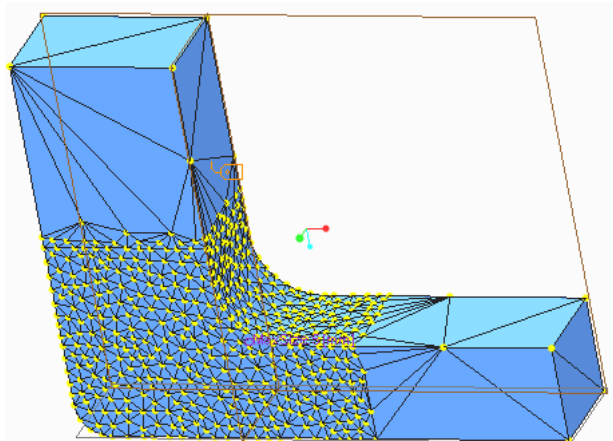
Teollisessa tuotannossa, jossa valmistetaan paljon samantyyppisiä koneita ja halutaan varmistua hyvästä laadusta, voidaan valmistaa prototyyppisiä. Prototyyppisiä pyritään testaamaan mahdollisimman todenmukaisissa olosuhteissa, jolloin todelliset rasitukset kuormittavat rakenteiden eri osia. Jännityksien määrittämiseen käytetään yleensä venymäliuskoja, joilla saadaan oikein sijoitettuna erittäin tarkkaa tietoa kuormituksista. Prototyypin mahdollisimman hyvä todellisen käytön vastaavuus pienentää rakenteen osavarmuuslukua. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus valmistaa vain yksi puskulevy, joten testaukseen ei syvennytä lainkaan. Kuormituksia huomioidaan mahdollisimman hyvin laskennallisesti. (Niemi 2003, 92.)

4.2 FEM-menetelmä

FEM on yleisesti käytetty lyhenne englanninkielien sanoista 'finite element method', ja tarkoittaa suomeksi elementtimenetelmää. Menetelmän käyttö juontaa juurensa 1950-luvun alkupuolelle, jolloin sen käyttö keksittiin ja sitä alettiin kehittää lentokoneiteollisuudessa. Elementtimenetelmää käytetään hyväksi tehtäessä lujuusanalyysijä. Elementtimenetelmässä rakenne jaetaan pienempiin osiin ja tarkastellaan rasituksia niissä käyttäen hyväksi matriiseja sekä monimutkaisia integraalifunktioita. (Hakala 1997, 13.)

Vaikka elementtimenetelmä on kehitetty jo yli 50 vuotta sitten, sen käyttö on yleistynyt vasta tietokoneiden kehittyessä. Käsien laskiessa yksinkertaisistakin rakenteista tuli erittäin laajoja matriiseja, joten laskentatapaa oli vaikea käyttää. Nykyajan tehokkaat tietokoneet mahdollistavat nopean analyysin tekemisen monimutkaisistakin rakenteista, joten FEM-menetelmästä on tullut yksi suunnittelijoiden tärkeimmistä työkaluista liitettynä kolmiulotteisen suunnittelun työkaluihin. (Hakala 1997, 13–14.)

Tietokoneiden ja tietokoneohjelmien kehitys on mahdollistanut rakenteiden tarkemman tarkastelun. Kappaleen jakamista pienempiin osiin kutsutaan kappaleen verkottamiseksi. Verkotuksen tiheyttä voidaan säätää rakenteeseen kohdistuvien rasitusten mukaan. Mitä tiheämpi verkotus on, eli mitä pienempiä palasia tarkastellaan, sitä tarkempia tuloksia saadaan. Toisaalta taas koko kappaleen tiheä verkottaminen tekee lujuustarkastelusta kohtuuttoman raskaan tietokoneelle ja analyysien laskemiseen kuluu paljon aikaa. Ettei mallista tulisi kohtuuttoman raskas, mutta saataisiin kuitenkin tarpeeksi tarkkoja tuloksia, voidaan rakenteen eri osia verkottaa tiheämmin kuin toisia. Yleensä kriittiset kohdat, kuten hitsausseamat, reikien ympärykset ja rakenteessa olevien ulokkeiden ympärykset verkotetaan tasopintaa tiheämmin. (Hakala 1997, 13.) Kuvassa 4 on esitetty tässä työssä käytettävän Creo-suunnitteluohjelman mallia verkotuksesta.



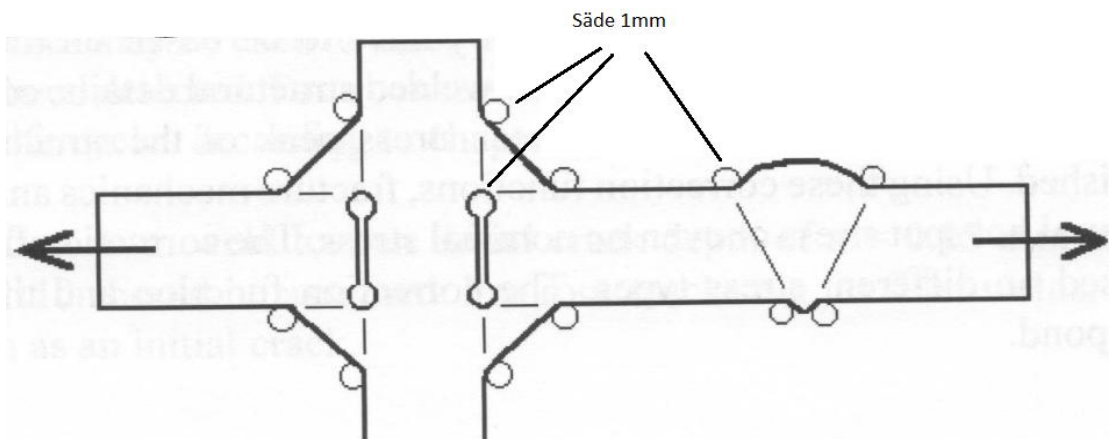
Kuva 4. Esimerkki verkotuksesta. Keskellä on tiheämpi verkotus ja laidoilla suurempi raekoko.

4.3 Tehollinen loviännitysmenetelmä

Tehollisen loviännitysmenetelmän avulla kuvataan hitsausliitosten kokonaisjännityksiä ja väsymiskestävyyttä aivan ulokkeen juurella, kun oletetaan, että materiaali muuttuu muotoaan lineaarisesti. Todellisuudessa kuitenkin ulokkeen juuri käyttäytyy epälineaarisesti. Epälineaarisuus ja hitsisauman muoto otetaan huomioon korvaamalla oikean hitsaussauman muoto tehollisella muodolla. Tässä menetelmässä ei ole huomioitu liitettävien kappaleiden pinnankarheuksia eikä mahdollisia hitsausvirheitä. Hobbacherin (2007) mukaan luotettavan tuloksen saamiseksi loven juuren kaarevuussäteen tulee olla 1 mm ja ainepaksuuden vähintään 5 mm. Pienahitseissä hitsaussauman kaltevuuskulman tulee olla 45 astetta ja päittäishitseillä 30 astetta. (Hobbacher 2007, 34.)

Tehollista loviännitysmenetelmää käytetään yhdessä FEM-laskennan kanssa. FEM-laskentaa varten rakenne tulee mallintaa niin, että liitettävien kappaleiden väliin jää 1 mm paksuinen rako. Hitsaussaumot mallinnetaan todenmukaisesti liitettävien kappaleiden välille. Sekä hitsisaumojen juuret että kappaleiden väliin

jäävien rakojen nurkat pyöristetään aiemmin mainitulla 1 mm pyöristyksellä. (Hobbacher 2007, 34–35.) Esimerkki mallinnuksesta on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Kappaleen mallintaminen tehollista lovijännitysmenetelmää varten (Hobbacher 2007, 35).

Kun mallit analysoidaan FEM:in avulla, tuloksista voidaan laskea hitsisaumojen kestoikää. Kestoiän yhtälöllä saadaan arvo, jolla rakenne kestää 95 % todennäköisyydellä kaksi miljoonaa heilahdusta. Kestoikä saadaan laskettua yhtälöllä

$$N = \frac{C}{(\Delta\sigma)^3}$$

Tässä yhtälössä N on kestoian ominaisarvo, σ jännitysheilahdus ja C tarkoittaa väsymiskapasiteettia. Jännitysheilahdus on suurimman ja pienimmän jännitysarvon vaihteluväli. (Hobbacher 2007, 40–42, 80.) Väsymiskapasiteetti saadaan laskettua kaavasta

$$C = 2 * 10^6 * (FAT)^3$$

FAT tarkoittaa väsytyluokkaa ja tehollisesta lovijännitysmenetelmää käytettäessä arvo tälle on 225 MPa. Muissa tapauksissa FAT arvo katsotaan IIW:n (International Institute of Welding) väsymiskokeiden avulla laadituista taulukoista. (Hobbacher 2007, 80.)

5 Hitsisaumojen mitoitus

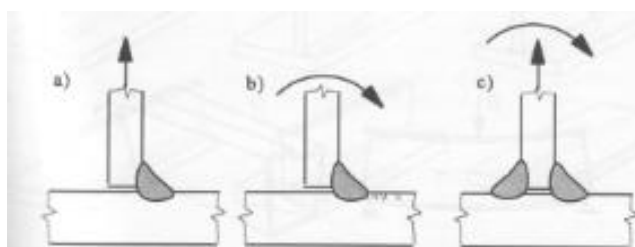
Tässä osiossa esitellään neljää liitostyyppiä, jotka pohjautuvat pohjoismaiseen käytäntöön. Neljä päätyyppiä on voimaliitokset, kiinnitysliitokset, sideliitokset sekä varusteliitokset.

5.1 Voimaliitokset

Voimaliitoksilla liitetään osia sarjaan, eli liitokset siirtävät normaalivoimia, leikkausvoimia sekä momenttia rakenteesta toiseen. Tyypillisiä voimaliitoksia ovat vetopyörän tai telan päähän hitsattavat akselit tai hihna- ja ketjupyörät, paineastian vaipan saumat, erilaisten vipujen liittäminen käyttökohteeseen sekä palkkien liitokset pilareihin. Kaikissa edellä mainituissa tilanteissa siirretään voimia tai momenteja eri osien välillä. (Niemi ym. 1998, 34; Niemi & Kemppi 1993, 16; Niemi 2003, 62.)

Hitsausliitokset suunnitellaan voimaliitoksissa yleensä tasalujiksi ympäröivän materiaalin kanssa. Esimerkkinä mainittakoon nostokorvakkeen liittäminen nostettavaan rakenteeseen: ei ole mitään hyötyä tehdä hitsisaumasta kestävämpää kuin nostokorvakkeen lujuus. Kestävämpi sauma tarkoittaa yleensä suurempaa hitsin paksuutta ja tuo lisää hintaa liitokselle. Voimaliitoksia suunnitellessa tulee ottaa huomioon valmistusmenetelmät ja mahdollisuudet. Esimerkiksi pienahitsiä

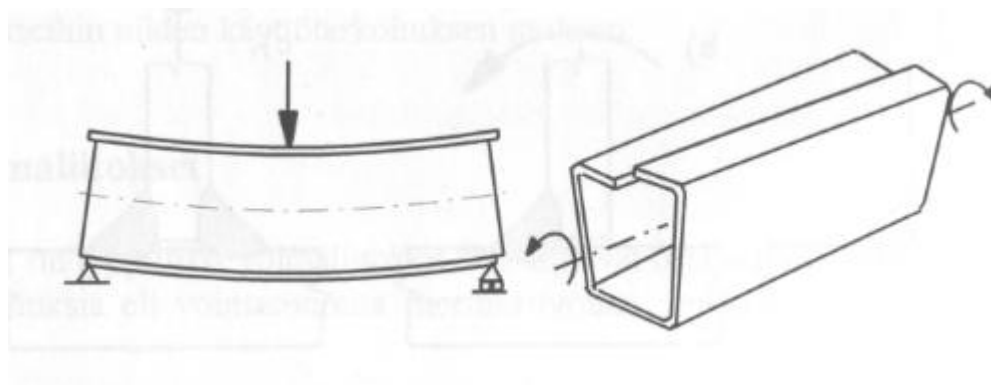
käytettäessä on liitos pystyttävä hitsaamaan liitettävän kappaleen molemmin puolin, sillä hitsaamattomalle puolelle jäävä rako muodostaa särön, johon kohdistuu kohtuuttoman suuri jännitysintensiiteetti. Kuten aiemmin on todettu, säröjä tulee pyrkiä välttämään, että liitos kestäisi mahdollisimman hyvin vaihtelevaa kuormitusta. (Niemi ym. 1998, 34; Niemi & Kemppi 1993, 16; Niemi 2003, 62.) Alla olevassa kuvassa 6 on selvennetty tilannetta.



Kuva 6. Erilaisia pienahitsimalleja. C-kohdassa hyväksytty malli, a ja b ovat herkkiä rikkoontumaan (Niemi ym. 1998, 35).

5.2 Kiinnitysliitokset

Kiinnitysliitoksilla voidaan valmistaa yksinkertaisia tai monimutkaisia poikkileikkausprofiileja, esimerkiksi I-palkkeja, T-tankoja tai rivoilla vahvistettua rakenneputkea. Yleensä kiinnitysliitokset hitsataan koko rakenteen matkalta, joten ei ole välttämättä hyötyä suunnitella liitosta tasalujaksi ympäröivän materiaalin kanssa. Kun käyttökohde tiedetään ja profiilia rasittavat voimat tunnetaan tarkasti, saadaan liitoksen rasitus laskennallisesti vastaamaan hyvin todellisuutta. Monesti tällaisissa tilanteissa pärjätään pienellä a-mitalla, mikä tarkoittaa säästöjä valmistuskustannuksissa sekä valmistusajassa. Esimerkiksi kuvassa 7 esitetystä ohutlevystä valmistetussa profiilissa hitsausaumalta vaadittavan vahvuuden määrittelee profiilin tuleva käyttötarkoitus. Mitä suuremmille voimille ja momenteille profiili altistuu, sitä suurempaa kestävyyttä vaaditaan liitokselta. (Niemi ym. 1998, 35–37; Niemi & Kemppi 1993, 16–20; Niemi 2003, 62–63.)



Kuva 7. Ohutlevystä valmistettu profiili ja sen käyttäytyminen rasituksessa (Niemi ym. 1998, 36).

5.3 Sideliitos

Sideliitoksia käytetään esimerkiksi puristussauvoissa, joissa halutaan vahvistaa rakennetta siihen hitsattavilla jäykisteillä. Jäykisteillä pyritään siihen, ettei mikään rakenteen osa anna periksi yksinään, vaan koko rakenne ottaa tasaisesti rasituksia vastaan. Todellisuudessa kuitenkin rakenteessa on jonkinlaista alkukäyryyttä tai puristuksen aiheuttamaa käyryyttä, jolloin puristuskuormitus aiheuttaa rakenteeseen hitsejä rasittavia poikittaisia voimakomponentteja. Nämä voimat tulee ottaa huomioon liitoksia suunniteltaessa ja niille on useasti ilmoitettu ohjearvo suunnitteluohjeessa. Niemen (2003, 64) mukaan ohjearvona voidaan käyttää 2 % puristuskuormituksesta, olettaen, että rakenne on suora. (Niemi 2003, 64.)

5.4 Varusteliitos

Varusteluhitseillä tarkoitetaan kantaviin rakenteisiin hitsattavia lisäosia, kuten putkien kiinnikkeitä, kaiteita, tikkaita tai antureiden kiinnikkeitä. Näiden liitosten suunnittelu tulee ensiarvoisen tärkeäksi etenkin, kun erikoisluihin teräksiin liitetään lisäosia. Liian pieni hitsauslämpötila voi aiheuttaa rakenteeseen murtumia ja rasittavassa kuormituksessa tästä voi olla vakavat seuraukset. Kuten aiem-

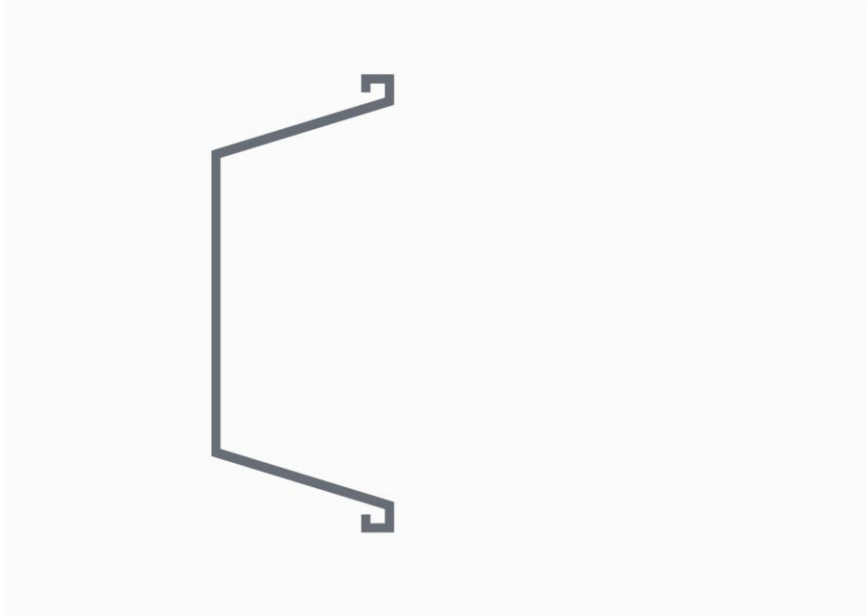
min on todettu, myös pienet säröt ja huonosti hitsatut liitokset altistavat rakenteen rasitusmurtumille, vaikkei sauma sinänsä kantaisikaan suurta kuormaa. Tämä tulee tehdä selväksi valmistusvaiheessa hitsareille ja suunnittelijan tulisi laatia monimutkaisiin rakenteisiin liitettäville osille tarkat valmistusohjeet. (Niemi ym. 1998, 34; Niemi & Kemppi 1993, 16; Niemi 2003, 62.)

6 Puskulevyn suunnittelu ja 3d-mallinnus

Tässä luvussa esitellään käytössä olevia materiaaleja ja niiden mahdollisia käyttökohteita sekä toimeksiantajan kanssa pohdittuja erilaisia ratkaisuja puskulevyn rakentamiseen. Puskulevyn 3D-mallintaminen on esitetty vaihe vaiheelta tässä luvussa.

6.1 Käytössä olevat materiaalit ja traktorista saatava teho

Puskulevy on tarkoitus tehdä maanrakennuksessa käytettävästä larsusta. Larsu on lujasta 10 mm paksusta teräslevystä särmätty profiili, jota käytetään muun muassa estämään maanvyörymää rakennustyömaalla. Larsut on tehty niin, että ne voidaan liittää toisiinsa. Liitosten avulla niistä saadaan rakennettua helposti pitkiäkin seinämiä. Larsun profiili on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Larsun profiili

Noin 3000 mm pitkä larsu on jäänyt ylimääräiseksi toimeksiantajan varastoon, joten sitä on päätetty hyödyntää puskulevyn rakentamisessa. Lumen juoksevuuden parantamiseksi toimeksiantaja yritti pyöristää larsun alempaa takakulmaa auraavalta sivulta. Larsun selkäosaa painettiin 23 t kaivurilla ja 22 t pyöräkuormaajalla yhtä aikaa, mutta profiili ei muuttanut muotoaan. Toimeksiantaja päätti käyttää larsua sellaisenaan.

Käytössä on erikokoisia paloja 20 mm ja 15 mm paksuisista teräslevyistä, joita hyödynnetään kiinnityskorvakkeissa sekä puskulevyä tukevissa rakenteissa. Toimeksiantajan varastosta löytyy lisäksi jonkin verran 50 x 50 x 4 mm sekä 60 x 60 x 5 mm rakenneputkea, joista tehdään nostovarret sekä tukia puskulevyn runkoon. Ylimääräiseksi on jäänyt myös 60 mm paksu ja 800 mm pitkä, mutta toisesta päästä nurjahtanut hydraulisylinteri. Suoraa osuutta sylinterivarresta käytetään kääntönivelessä. Toimivia hydraulisylintereitä on käytössä kaksi. Nämä sylinterit ovat jostain syystä joskus jääneet ylimääräisiksi: ehkä vuotaneet hieman öljyä ja tilalle on ostettu uudet tai ne ovat jääneet ehjiksi jostain muuten käyttökelvottomaksi menneestä työkoneesta. Puskulevyyn sylinterit sopivat mainiosti, kun niihin uusitaan tiivisteet öljyvuotojen poistamiseksi. Muita ulkoisia vuotoja sylintereissä ei ole. Sylinterien mitat on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Sylinterien mitat.

	Sylinteri 1	Sylinteri 2
Isku	190 mm	275 mm
Kokonaispituus	610 mm	915 mm
Minimipituus	420 mm	640 mm
Männänvarren halkaisija	25 mm	40 mm
Kuoren halkaisija	50 mm	130 mm
Männänvarren tapin halkaisija	25 mm	40 mm
Sylinteriputken tapin halkaisija	20 mm	50 mm

Uusiokäytetyn larsun ja toimeksiantajan varastossa olevan romuraudan lisäksi pieniä määriä raaka-aineita joudutaan ostamaan kaupasta. Pääosin puskulevy tehdään muuhun käyttöön kelpaamattomasta ja varastoja täyttävästä romuraudasta. Toimeksiantajalla on käytössä hiekkapuhallus- sekä maalausvälineet, joten pienellä ruosteella ei ole puskulevyn rakentamisessa merkitystä.

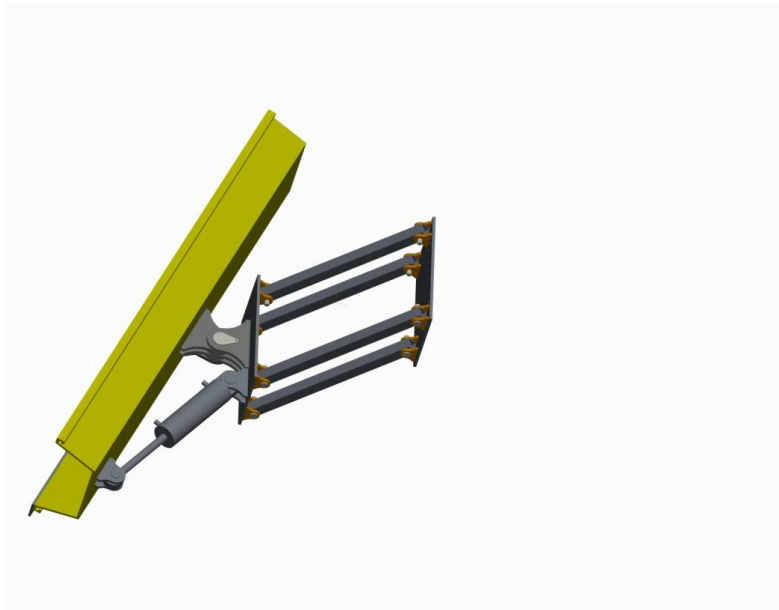
Traktorin öljyntuotto hydraulikalle on 27 l/minuutissa ja paine 210 bar. Traktorin massa on noin 2700 kg. Traktorissa on vain yksi 4/3 suuntaventtiili hydraulikan ohjaukseen, joten hydraulijärjestelmää tulee päivittää niin, että voidaan ohjata kahta sylinteriä samanaikaisesti. Nämä komponentit toimeksiantaja joutuu luultavasti ostamaan.

6.2 Puskulevyn 3D-mallinnus

Aluksi keskustelimme toimeksiantajan kanssa siitä, minkälaisia innovaatioita hänellä on puskulevyn rakentamiseen. Ideana oli, että traktorin keulaan kiinnitetään kiinteästi teräksinen kiinnityslevy, josta tehdään nostovarret auran kiinnityvään teräslevyyn. Näin saataisiin aura nousemaan ja laskemaan tasaisesti, jolloin lumen auraaminen suuremmiksi kinoksiksi olisi helpompaa. Auran ja kiin-

nityslevyn välille tulisi kääntönivel sekä kääntösynterin kiinnitys. Puskulevyn tulisi olla helposti irrotettava, joten nostovarret tulisi kiinnittää irrotettavilla työkonetapeilla teräslevyihin.

Levyn hahmottelun aloitettiin mallintamalla karkea versio puskulevystä ja sen rungosta Creolla. Puskulevyn ensimmäinen versio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Ensimmäinen luonnos puskulevystä

Seuraavaksi mallinnettiin traktori. Puskulevyn suunnittelun kannalta olennaista oli etenkin etupään ja etuakseliston tuennan mallintaminen mahdollisimman tarkasti. Tarkoista 3D-malleista nähdään eri osien mahdolliset törmäykset sekä voidaan suunnitella puskulevyn tuenta etuakseliston alta traktorin rungon keski-osaan. Traktori on esitetty mallinnettuna kuvassa 10.



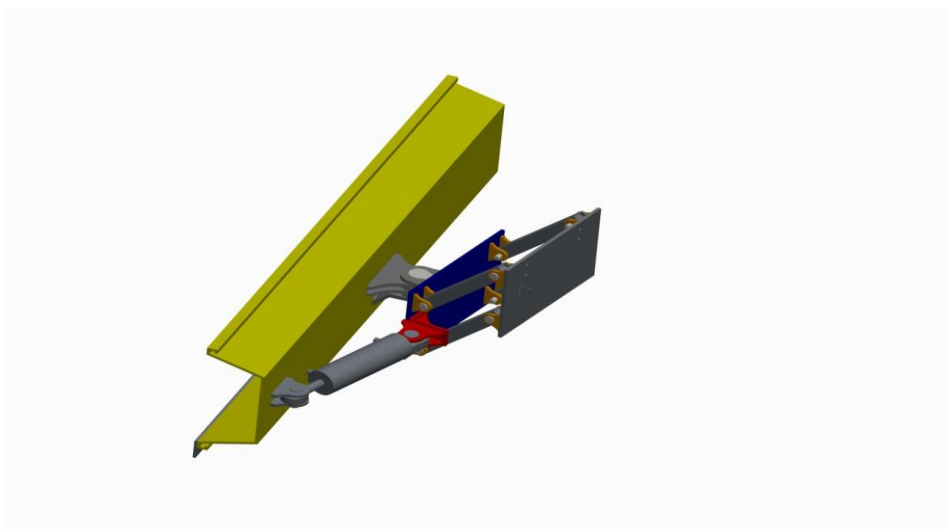
Kuva 10. Traktori mallinnettuna

Traktorin mallinnuksen jälkeen aloitettiin puskulevyn ensimmäisen version sovittaminen traktorinkeulaan. Kun levyn runko ja traktorin runko olivat kiinni toisissaan, voitiin aloittaa sylintereiden liikeratojen suunnittelu sekä päättää levyn leveys. Levyn pitää yltää molemmilta puolilta renkaiden ohi, myös auran ollessa vinossa. Levyn leveydeksi päätettiin 2500 mm, jolloin se ylittää traktorin renkaat molemmilta puolilta noin 200 mm. Puskulevy haluttiin saada kääntymään 30 astetta molempiin suuntiin sekä nousemaan 400–500 mm maasta.

Kun auran leveys ja halutut kääntökulmat oli alustavasti hahmoteltu, alettiin suunnitella sylintereiden kiinnitystä. Kiinnityksen suunnittelun aikana auran kääntökulmista jouduttiin joustamaan ja kääntösylinterin alkuperäistä paikkaa muokkaamaan. Alkuperäisellä paikalla sylinteri ei olisi mekaanisesti mahtunut olemaan, eivätkä halutut puskulevyn liikeradat olisi mahdollistuneet. Sylinteri päätettiin siirtää kiinnityslevyn sivulle, jotta sylinterin koko liikerata saataisiin käyttöön ja välttyttäisiin mekaanisilta törmäyksiltä. Sylinterille suunniteltiin järeä L-kirjaimen muotoinen kiinnitystuki, joka vielä vahvistettiin sisäpuolelle hitsattavilla kolmion muotoisilla teräslevyillä.

Jos olisi ollut mahdollisuus vaikuttaa sylintereiden tehoon ja iskun pituuteen, halutut liikeradat olisi ollut helppo toteuttaa. Myös käytettävissä olevilla sylintereillä olisi saatu puskulevy kääntymään jopa 180 astetta, jos nivelen ja sylinterin välille olisi rakennettu jonkinlainen vipusysteemi. Vipusysteemin valmistus olisi ollut monimutkaista eikä olisi vastannut toimeksiantajan vaatimusta. Lisäksi ilman vipusysteemiä sylinteristä saadaan yksi tukipiste puskulevyn laitaan, jotta mahdollisissa törmäyksissä kaikki voima ei kohdistuisi keskellä olevaan nivelehen.

Seuraavaksi alettiin suunnitella nostovarsien pituutta. Pidemmällä nostovarsilla voimat saataisiin kohdistettua suuremmin traktorin runkoon ja vältyttäisiin törmäystilanteessa puskulevyn kääntymiseltä traktorin alle. Pitkillä nostovarsilla toteutettuna yhdistelmästä tulisi liian pitkä. Tämä tarkoittaa kääntösäteen kasvamista, mikä tekee yhdistelmästä epäkäytännöllisen. Myös puskulevyn nostamiseen olisi tarvittu enemmän voimaa ja tukia painopisteen siirtyessä kauemmas traktorista. Pitkät aisat nurjahtavat lyhyitä helpommin. Lopuksi päädyttiin 500 mm pitkiin nostovarsiin, koska näillä saataisiin aura riittävän lähelle traktoria. Lisäksi puskulevyn nostoliikkeet saataisiin toimimaan käytössä olevilla sylintereillä. Nostovarret ja kääntösynterinin lopullinen paikka kokoonpanossa on esitelty kuvassa 11.



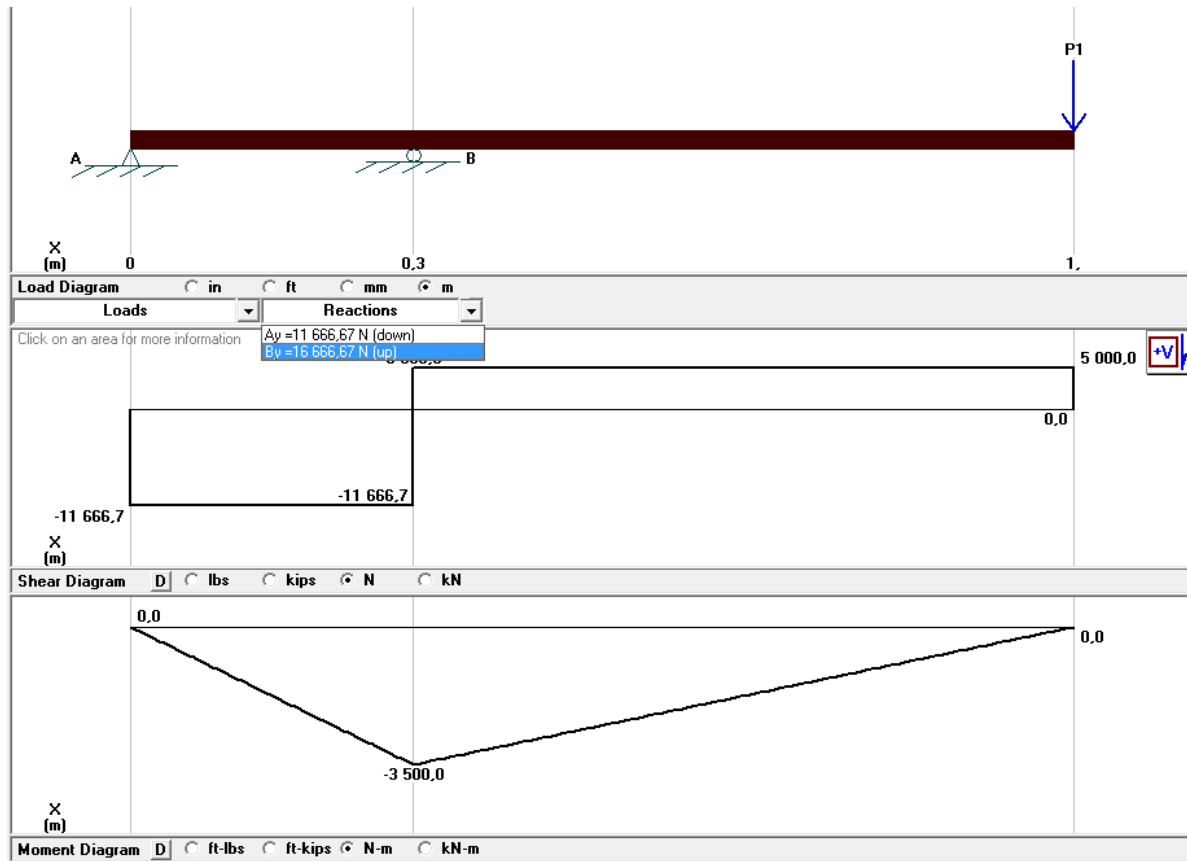
Kuva 11. Puskulevyn kokoonpano

Nostovarsien pituuden määrittämisen jälkeen laskettiin nostosylinterin tehoa. Tehoa laskettiin Internetistä löytyviltä sivuilta, kuten Hydrauliiikkapumpusta (Hydrauliiikkapumppu 2013) ja Salhydrosta (Salhydro Oy 2013) ja kaikki laskurit antoivat lähes saman tuloksen. Tässä nostosylinterin tehoa laskemaan päätettiin käyttää Tehohydro Oy:n laskuria (Tehohydro Oy 2013). Laskurilla sylinterille saatiin traktorin hydrauliiikka huomioiden työntövoimaksi 2,6 t. Tarkemmat tiedot sylinteristä nähdään taulukosta 2. Tiedot on saatu Tehohydro OY:n laskurista.

Taulukko 2. Nostosylinterin tekniset tiedot

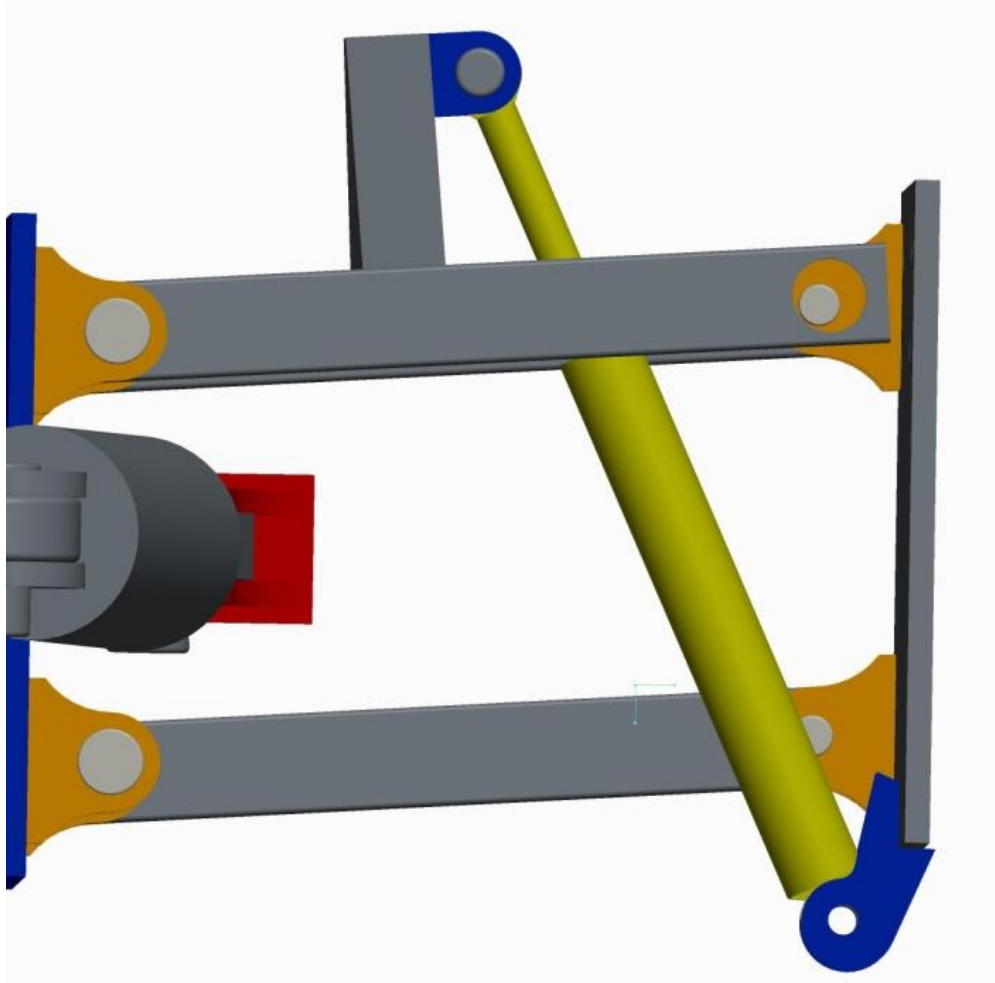
Varren halkaisija	25 mm
Männän halkaisija	40 mm
Iskupituus	190 mm
Paine	210 bar
Pumpun tuotto	27 l/min
Voima ulos	26 kN/2,6 tn
Voima sisään	16 kN/1,6 tn
Nopeus ulos	0.37 m/s
Nopeus sisään	0.6 m/s

Tässä vaiheessa vielä ei ole tiedossa tarkkaa massaa puskulevyille, mutta luultavasti se ei ylitä 500 kg. Tällä tiedolla alustavaa tehontarvetta laskettiin MDSolids-ohjelmalla. Mikäli sylinteri sijoitettaisiin 30cm päähän kiinnityslevystä, koko systeemi olisi metrin mittainen, painopiste olisi metrin päässä traktorin kiinnityspisteestä ja se painaisi 500 kg. Edellisillä arvoilla tehontarve olisi n.16700 Newtonia. Tulos saatiin simuloimalla puskulevyn nostotilannetta kaksitukisella palkilla, joka on tuettu toisesta päästä nivelellä, keskeltä kiinteästi sylinterillä, ja toisessa päässä on puskulevyn kokonaismassan aiheuttama voima. Laskelma on arvio ja antaa suuntaa tehotarpeelle, sillä todellisuudessa painopiste on lähempänä sylinteriä ja tehontarve pienempi. Tästä pääteltiin, että sylinteri riittää hyvin nostamaan puskulevyä. MDSolids-ohjelman antamat kuvaajat on esitetty kuvassa 12.



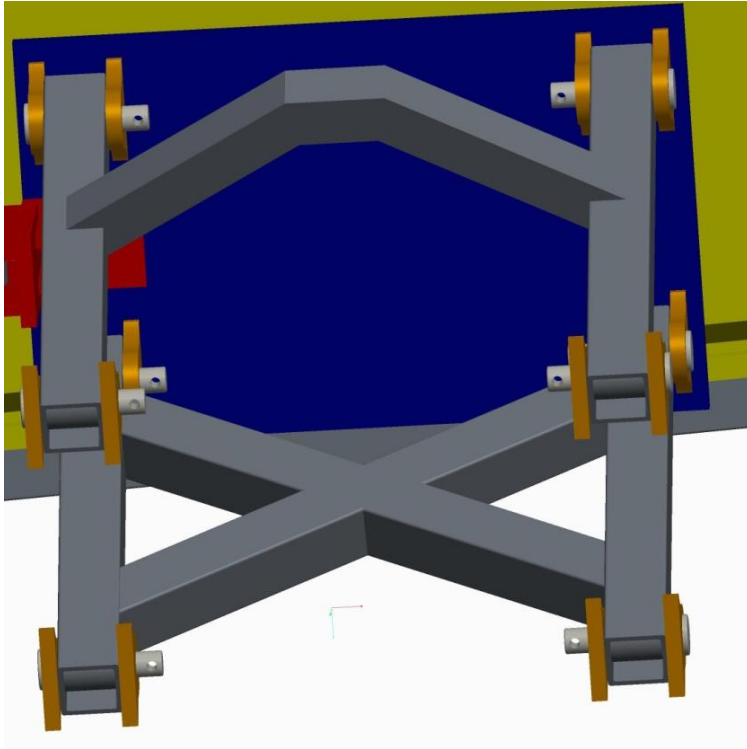
Kuva 12. MDSolids-kuvaaja nostotilanteesta

Jotta MDSolids-ohjelmalla tehdyt laskelmat pitäisivät paikkaansa, tulisi sylinteri sijoittaa mahdollisimman pystyyn. Sylinterin sijoittamiseen liittyy ongelmia sylinterin pituuden takia. Seuraavaksi testattiin, mikä olisi paras paikka sylinterille haluttujen liikeratojen saavuttamiseksi. Testauksen perusteella sylinteri sijoitettiin keskelle kiinnityslevyä, nostovarsien väliin. Ylemmät nostovarret sidottiin toisiinsa rakenneputkesta tehdyllä tuella, johon saatiin sijoitettua helposti myös nostosylinterin kiinnityskorvakkeet. Kiinnityslevyn alaosaan hitsattiin sylinterille kiinnityskorvakkeet. Alakorvakkeita jouduttiin muotoilemaan, jotta saataisiin sylinteri toimimaan ilman törmäyksiä. Seuraavalla sivulla on esitetty nostosylinteri ja sen kiinnitys kuvassa 13.



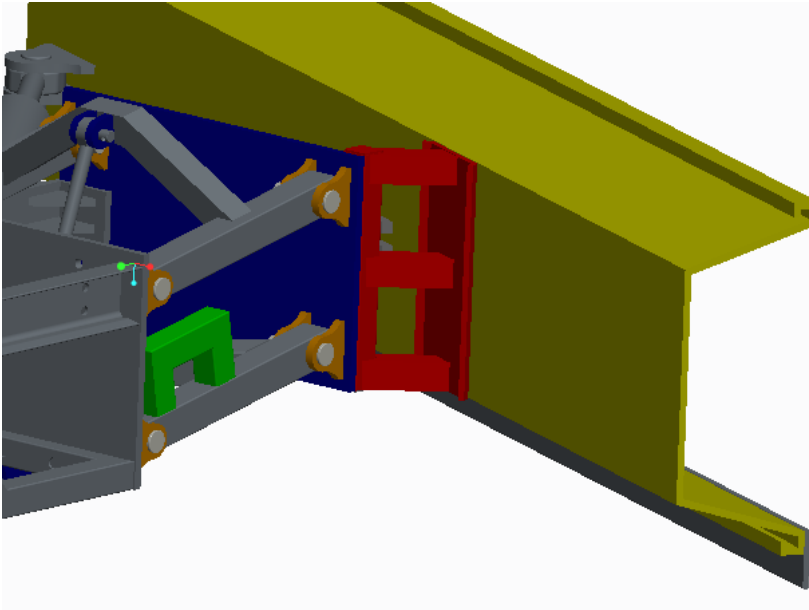
Kuva 13. Nostosylinterin kiinnitys

Kun sylinterit saatiin paikoitettua niin, että liikeradat saatiin mahdollisimman laajoiksi, suunniteltiin kiinnityslevyn tuentoja. Alempien nostovarsien väliin suunniteltiin 50x50x4mm rakenneputkesta ristituki, joka ottaisi tehokkaasti vastaan iskuja ja estäisi nostovarsia vääntymästä. Sivusuunnassa nostovarsille voi tulla tilapäisesti erittäin kova rasitus, jos puskulevy törmää jäiseen penkkaan tai katukivetyksen reunaan. Yläpuolelle ei suunniteltu tukia, sillä alemmat nostovarret ottavat suurimman osa iskuista vastaan. Lisäksi ylempien nostovarsien välillä on jo yksi poikkituki, johon sylinteri kiinnittyy. Tuennat on esitetty kuvassa 14.



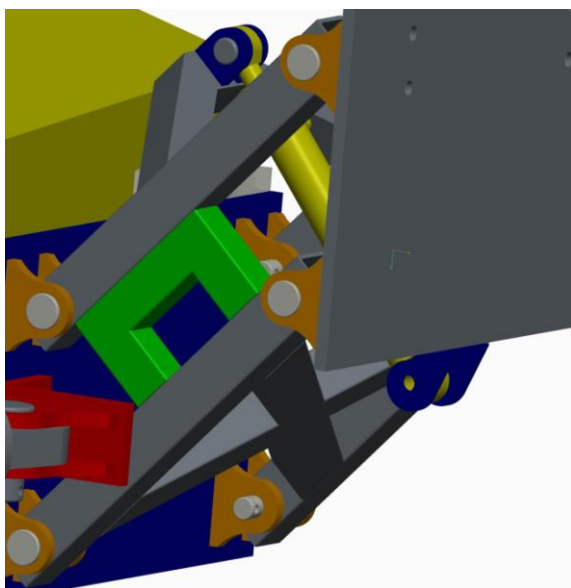
Kuva 14. Nostovarsien tuennat

Tämän jälkeen päätettiin tehdä kääntösynterinin suojaksi kääntöeste tilanteita varten, joissa isku kohdistuu vastakkaiseen pätyyn puskulevyä synteristä katsottuna. Jos vastakkaisella kulmalla ei olisi tukea, synteri luultavasti hajoaisi melko helposti. Tämä johtuu siitä, että koko puskulevy olisi tämän synterinin varassa ja kaikki iskut rasittaisivat synteriä. Kääntöeste päätettiin tehdä 50 x 50 x 4 mm rakenneputkesta sekä 10 mm teräslevystä. Kääntöeste on lisättyä kuvassa 15.



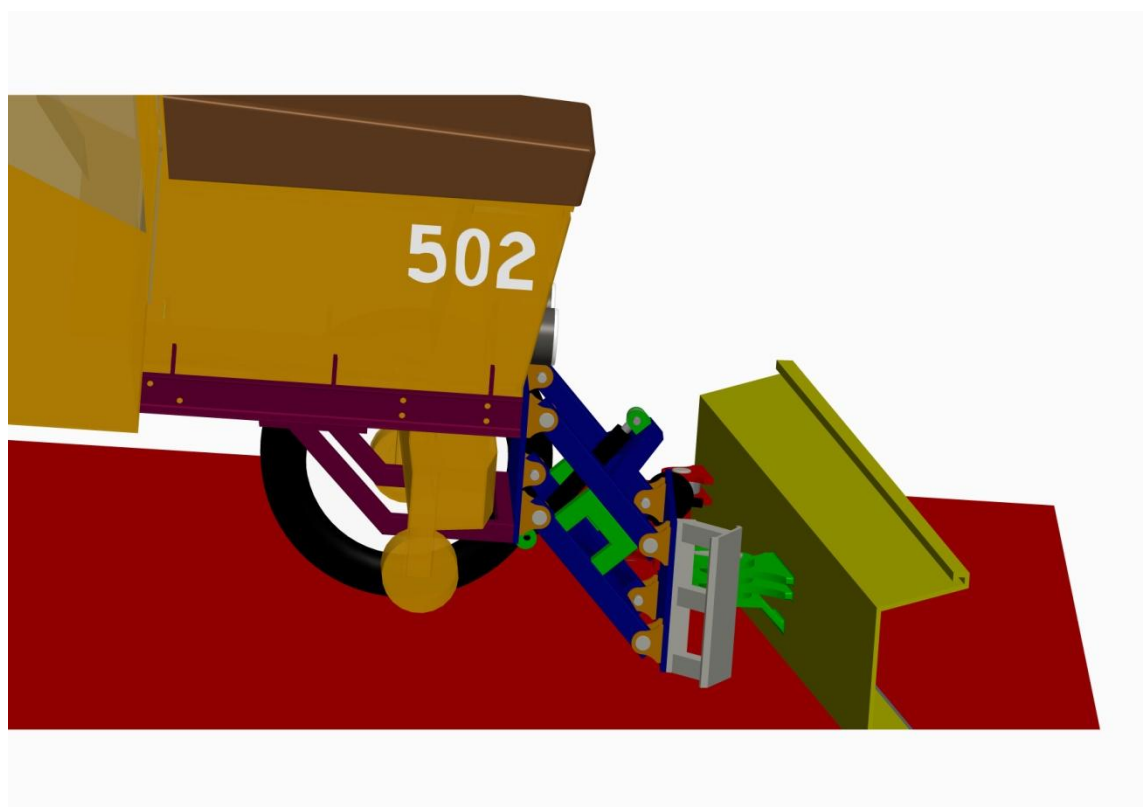
Kuva 15. Kääntöeste kuvassa punaisena

Seuraavaksi suunniteltiin tuki, joka estää puskulevyä kääntymästä traktorin alle. Tuki päätettiin tehdä nostovarsien väliin, sillä ylä- ja alanostovarren väli on pienimmillään silloin, kun aura on ala-asennossa. Tuki suunniteltiin niin, että kun aura on ala-asennossa, se lepää nostovarsien eikä sylinterin varassa. Tällöin sylinterin rasitus saadaan minimoitua ja aura on sylinterin varassa ainoastaan nostettaessa puskulevyä. Nostovarsien väliin tehtävä tuki näkyy vihreänä kuvassa 16.



Kuva 16. Nostovarsien väliin tehtävä tuki vihreällä

Tässä vaiheessa puskulevy on saanut lopullisen muotonsa. Lopuksi suunniteltiin traktorin kiinnityslevyn tuenta alareunasta traktorin runkoon. Tuenta toteutettiin viemällä traktorin molemmilta laidoilta yksi rakenneputki traktorin etuakselin alta. Kun etuakseli ohitettiin, tehtiin putkeen 45 asteen kulma, ja vietiin tuki traktorin kylkeen asennettavaan U-palkkiin. Alatuki laitettiin U-palkkiin kiinni pulttiliitoksella, jotta runko saadaan purettua pois ilman putkien katkomista. U-palkki saatiin hyvin pulttikiinnityksellä kiinni traktorin runkoon, sillä rungossa on reiät valmiina etukuormaimen kiinnitystä varten. Kun tuenta toteutetaan näin, törmäystilanteessa koko traktorin runko ottaa iskuja vastaan, pelkän edessä olevan levyn sijaan. Tukia taakse viedessä tulee huomioida se, että traktorin etuakselisto on kallistuva ja sen tulee mahtua kallistumaan tukien ollessa paikallaan. Tämä otettiin suunnitelmissa huomioon tekemällä etuakselisto kallistuksen verran todellista akselia paksummaksi. U-palkin yläreunaa pitkin tuotiin hydrauliletkut traktorin takaosasta eteen. Tuenta on esitetty violettina kuvassa 17.



Kuva 17. Puskulevyn tuenta runkoon violettina.

6.3 Traktorin hydraulijärjestelmän päivittäminen

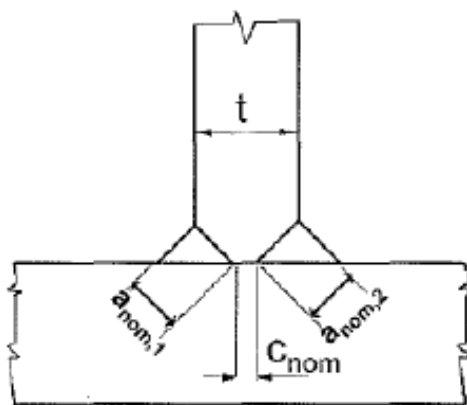
Kuten aiemmin on jo mainittu, kyseisessä traktorissa on vain yksi hydraulikka-lohko ja lohkoja tarvittaisiin kaksi. Traktoriin on mahdollista asentaa lisälohko melko helposti, sillä siellä on kaikki kiinnikkeet ja ulostulot valmiina. Hydraulikkalohkot kyseiseen traktoriin tuntuvat olevan kysyttyä tavaraa, eikä niitä löytynyt yhdeltäkään purkamolta koko Suomesta, niitä ei myöskään saa helposti mistään uutenakaan. Joillain yksityisillä saattaisi olla jossain varaosatraktorissa ylimääräinen lohko, mutta tämän etsintään ei käytetty sen enempää aikaa. Jos toinen lohko olisi asennettu taakse, olisi eteen täytynyt viedä kaksi paria hydraulikkaletkuja, joka olisi tullut melko kalliiksi. Ratkaisuksi keksittiin sähköisesti esiohjattu, jousipalautteinen 6/2 suuntaventtiili. Nostoa ja kääntöä tuskin tarvitsee liikuttaa samaan aikaan, joten tämä sopisi tarkoitukseen erittäin hyvin. Kun venttiili sijoitetaan traktorin etuosaan, ei tarvitse vetää putkiakaan kun kaksi kappaletta venttiilille, josta sitten vedetään putket nosto- ja kääntösynterille. Tällainen sähköohjattu venttiili ei maksanut kovinkaan paljoa ja asennustyö helpottuu erittäin paljon. Jos joskus sitten tarvitsee käyttää kahta lohkoa takana, sähköohjattu venttiili on erittäin helppo siirtää traktorin taka-osaan. Suuntaventtiilin ohjaus tulee toteuttaa niin, että sen käyttö on helppoa. Venttiilin ohjaus päätettiin toteuttaa releellä niin, että releen ohjaus vedetään koppiin, traktorin oman hydraulilohkon käyttövipuun. Vivun päähän tehdään sopiva reikä jousipalautteiselle painokytkimelle niin, että kun painiketta painaa, venttiilin kela on vaikutettuna ja kun painikkeen vapauttaa, kela vapautuu.

7 Laskelmat

Tässä luvussa on esitetty puskulevystä tehdyt laskelmat sekä tehdyt lujuustarkastelut. Laskelmia tehtiin hitsisaumoille, joille suoritettiin FEM-analyysit tietokoneohjelmistoa apuna käyttäen. Analyysien tuloksista laskettiin käsin rakenteen väsymiskestävyyttä.

7.1 Hitsisaumojen laskelmat

Hitsisaumat mitoitettiin Eurokoodin mukaisesti. Kaikki liitokset mitoitettiin voimaliitoksiksi niin, että liitos on yhtä luja leikkausvoiman, väännön ja taivutuksen suhteen verrattaessa ympäröivään materiaaliin. Auran hitsattavien levy materiaalien ainepaksuudet ovat 20 mm, 15000 mm, 10 mm sekä hitsattavien putkien ainepaksuudet 4 mm ja 5 mm. Seuraavaksi on laskettu liitettävään materiaaliin tehtävä hitsausviisteen koko alla olevien kaavojen avulla.



$$a_{nom.1} + a_{nom.2} \geq t$$

$$c_{nom} \leq \frac{t}{5}$$

$$c_{nom} \leq 3mm$$

Kuvio 1. Hitsaussaumojen mitoituseriaate

Jotta liitos on tasaluja, tulee käyttää pienempää arvoa laskettaessa arvoa c_{nom} . Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että arvo ei ole koskaan 3 mm suurempi. Hitsisauman a-mitta, eli hitsisauman paksuus, katsotaan alla olevasta taulukosta 3. A-mitan valintaan vaikuttaa hitsattava materiaali sekä materiaalin paksuus.

Taulukko 3. Hitsausauman a-mitan valinta

Teräslaatu (S)	235	275	355	420	460-700
a/t	0,42	0,44	0,5	0,64	0,066

Saadut tulokset hitsausviisteiden koosta sekä a-mitoista on esitetty taulukossa 4. Saadut tulokset merkataan valmistuskuviin.

Taulukko 4. Hitsausliitosten mitoituksen tulokset

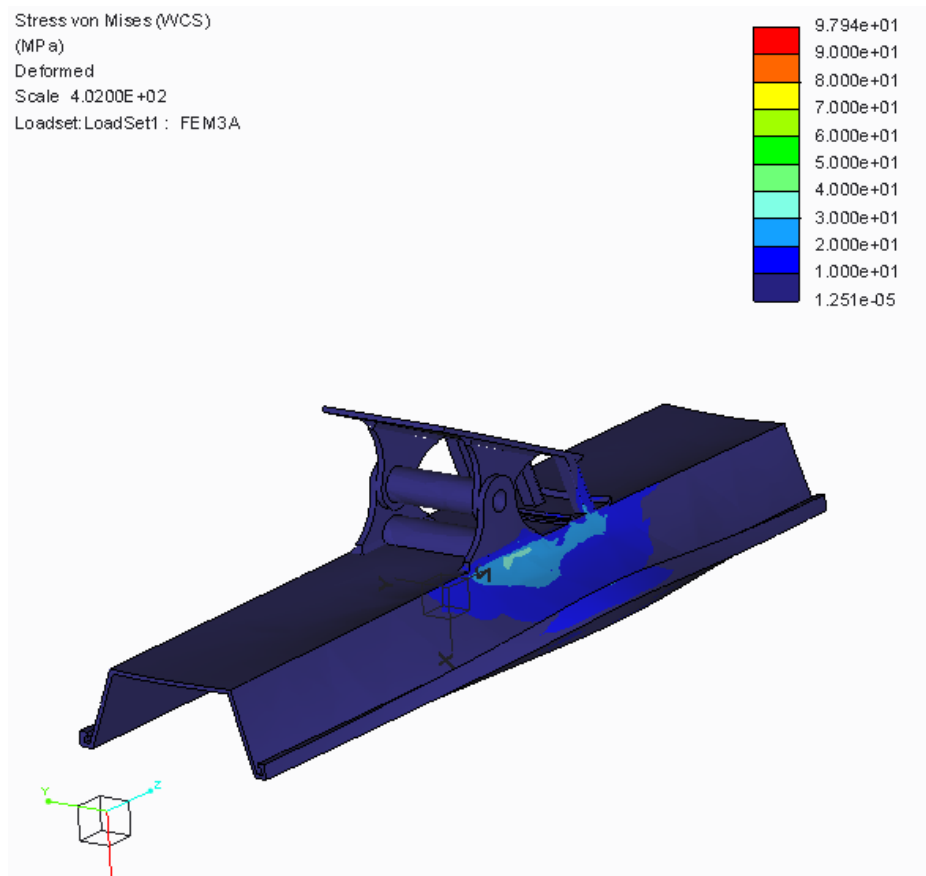
Mitta	$a_{nom.1} / a_{nom.2} (\geq)$	$c_{nom} (\leq)$	a-mitta
Teräslevy 20 mm	10	3 mm	10
Teräslevy 15 mm	7,5	3 mm	7,5
Teräslevy 10 mm	5	2 mm	5
RP 60 x 60 x 5 mm	2,5	1 mm	3
RP 50 x 50 x 4 mm	2	0.8 mm	3

7.2 FEM-analyysit

FEM-analysointi aloitettiin ajamalla auralle kaksi analyysiä ilman tiheämpää verkotusta. Näin voitiin valita tarkastelukohteiksi kriittisimmät kohdat aurasta, joita tarkasteltiin tarkemmin. Toisessa analyysissä kuormittava voima sijoitettiin auran keskiosaan ja toisessa aivan auran toiseen laitaan, jolloin törmäyksen aiheuttama voima rakenteisiin on suurimmillaan.

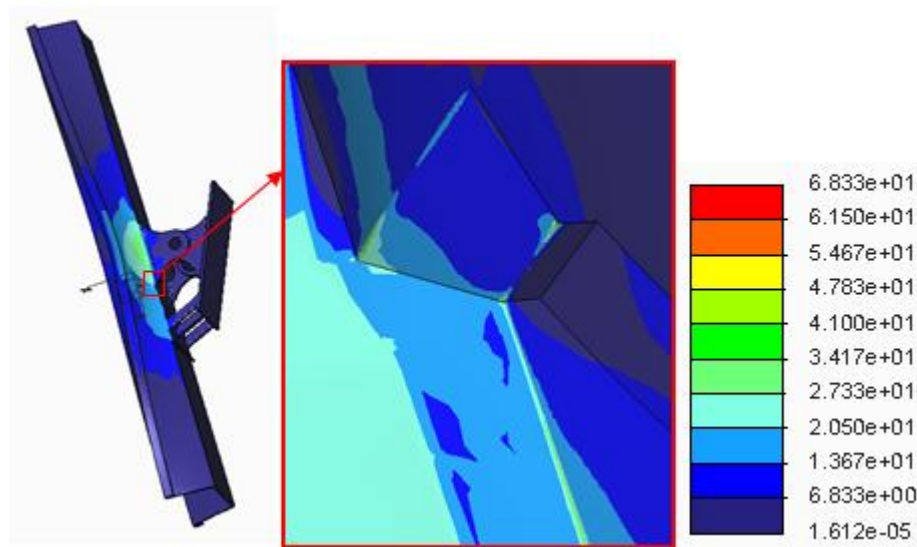
Analyysejä tehdessä huomattiin, että aluksi suunniteltu nivel ei tulisi kestäämään törmäystilanteessa kovinkaan suuria voimia. Nivelen hitsisaumoihin kohdistui kohtuuttoman suuria jännityksiä, koska nivel sijaitsee melko kaukana törmäyskohdasta ja siihen kohdistuu täten suuri vääntömomentti. Niveltä muutettiin niin, että sen alapuoli olisi lähempänä törmäyskohtaa ja yläpuoli mahdollisimman kaukana siitä. Näin auran tuentaa saatiin hieman tasapainotettua ja hitsausaumojen rasituksia pienennettyä. Myös kääntöestettä muutettiin hieman jännitysten pienentämiseksi.

Kuvassa 18 on esitetty tilanne, jossa auran keskiosasta 150 mm törmää johonkin esteeseen 10 kN voimalla. Kuvasta huomaa, että suurimmalle rasitukselle tällaisessa tilanteessa altistuu nivelen alempi hitsisauma sekä kohta, jossa kääntöeste liittyy kiinnityslevyyn. Nämä hitsausaumat on syytä verkottaa tiheämmin. Syntyviä jännityksiä tarkastellaan tarkemmin luvussa 7.4.

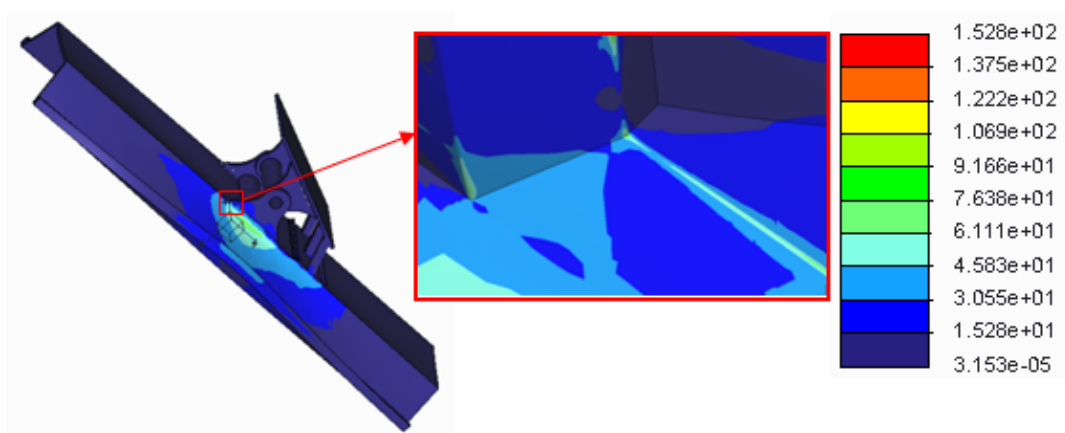


Kuva 18. Tilanne, jossa auran keskiosa törmää

Kun kääntönivelen hitsausaumat verkotettiin niin, että suurin raekoko on 0,5 mm, huomattiin maksimijännitysten hieman laskevan. Analyysi tehtiin myös 20 kN voimalla, mikä on jo melko kova törmäys 150 mm matkalle. Törmäysvoimat jäivät myös 20 kN voimalla alle materiaalin myötörajan, joten luultavasti periksi antaa maassa oleva epätasaisuus kuin aura. Tilanteet on kuvattu kuvissa 19 ja 20.

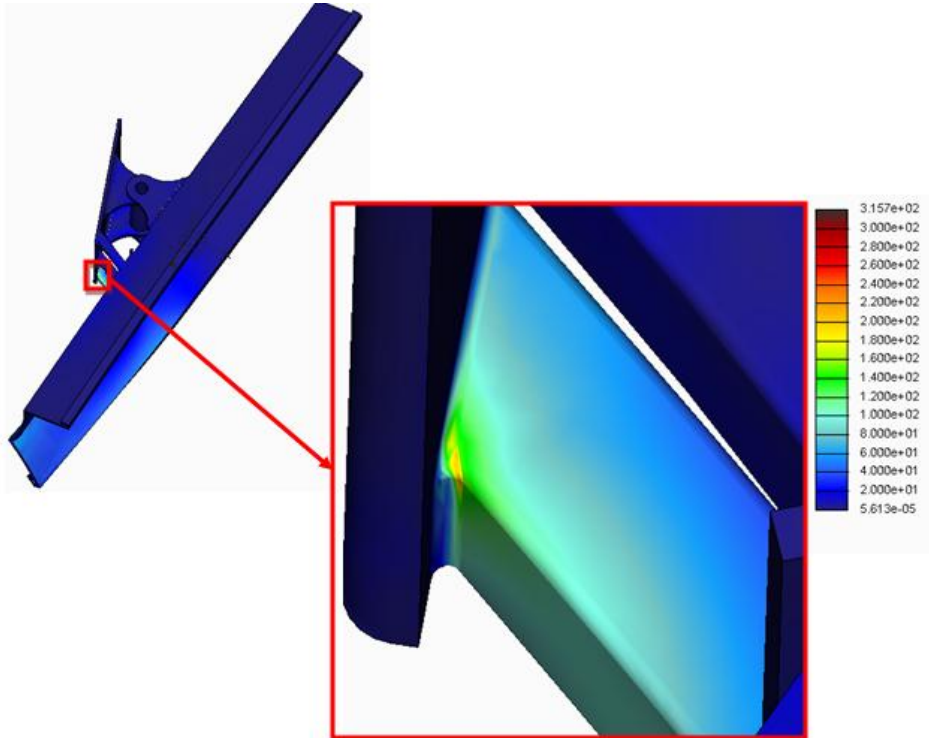


Kuva 19. Analyysi tiheästi verkotetuilla hitsisaumoilla tilanteesta, jossa auran keskiosa törmää 10kN voimalla. Suurennettu kuva on suurimman rasituksen alueelta. Asteikon arvot MPa.



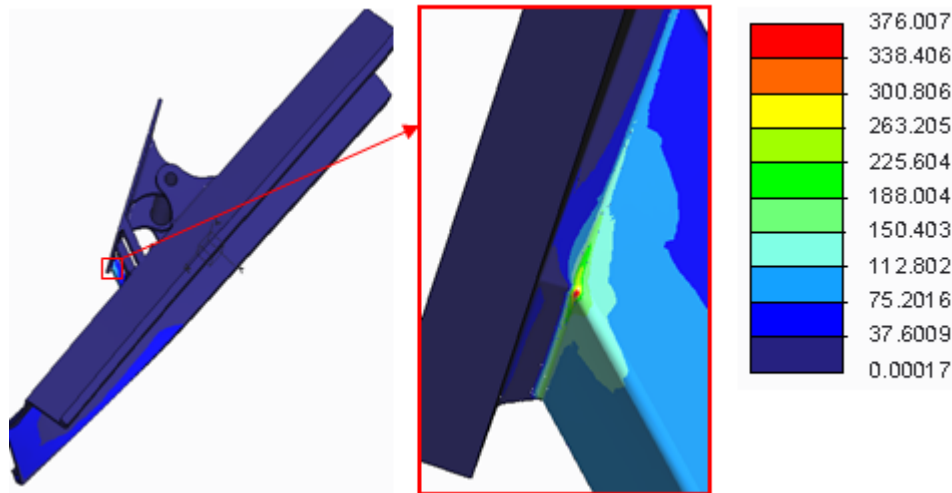
Kuva 20. Analyysi tiheästi verkotetuilla hitsisaumoilla tilanteesta, jossa auran keskiosa törmää 20kN voimalla. Suurennettu kuva on suurimman rasituksen alueelta. Asteikon arvon MPa.

Toisena rasituksena testasin tilanteen, jossa auran reuna törmää johonkin 10 kN voimalla 100 mm matkalta (kuva 21). Tällaisessa tilanteessa etenkin kääntöesteen ja kiinnityslevyn liitoskohta altistuu suurimmalle rasitukselle. Liitoskohta verkotetaan tiheämmin, ja tarkastellaan saatuja tuloksia luvussa 7.4.



Kuva 21. Tilanne, jossa reuna törmää. Suurimman rasituksen alue on suurennettu.

Kun kääntöesteen ja kiinnityslevyn liitoskohta verkotettiin niin, että suurin rae-
koko on 0,5 mm, huomattiin maksimijännitysten hieman laskevan. Analyysi teh-
tiin myös 20 kN voimalla, mikä on jo melko kova törmäys 100 mm matkalle.
Törmäysvoimat jäivät myös 20 kN voimalla alle materiaalin myötörajan, joten
luultavasti periksi antaa maassa oleva epätasaisuus kuin aura. Tilanteet on ku-
vattu kuvassa 22.



Kuva 22. Analyysi tiheästi verkotetuilla hitsisaumoilla tilanteesta, jossa auran reuna törmää 10kN voimalla. Suurennettu kuva on suurimman rasituksen alueelta. Asteikko MPa.

7.3 Väsyminen

Vuodessa aurattava aika on keskimäärin noin 24 viikkoa (Ilmatieteenlaitos 2013) ja toimeksiantajan mukaan piha-alueita aurataan noin joka toinen viikko, jolloin auraukset vuodelle kertyy noin 12. Keväällä kuitenkin pihalle kerääntyy paljon sohjoa ja sitä aurataan pois päivittäin, eli voidaan laskea, että yhteensä talven aikana auraukset tulee noin 18. Aurattavaa aluetta on sata metriä pitkä pihatie sekä piha-alue (500m²). Lasketaan, että tehokas aurausleveys auralla on 2 m, jolloin ajoa tulee piha-alueella noin 250 m. Yhteensä pihatien ja piha-alueella yhdellä aurauksella kertyy aurattavaa 350–400 m.

Aura altistuu auratessa koko ajan jonkinlaiselle tärinälle, kun lumen alla olevat jäätyneet hiekkamöyköt ja ajourat rasittavat auraa. Auran kestävyyttä tarkastellaan hitsisaumojen väsymisen suhteen. Pahimmaksi mahdolliseksi tilanteeksi ajatellaan väsymistä ajatellen tie, jossa on suhteellisen paljon epätasaisuuksia ajourista ja jäätyneistä lumimökyistä johtuen. Lasketaan, että jokaisen auratun

metrin matkalla auraan kohdistuu kymmenen kovaa iskuja. Tällöin iskuja kertyy yhdellä auras-kerralla noin 4000 ja koko auras-kautena 72000. Iskut kohdistuvat eri puolille auraa pistemäisesti, joten ne kuormittavat tasaisesti koko pusku-levyä.

Auran kestävyttä voidaan laskennallisesti arvioida teholliseen lovijännitys-menetelmään liittyvällä kaavalla

$$N = \frac{C}{(\Delta\sigma)^3}$$

Kaava on avattu tarkemmin kohdassa 4.3. Oletetaan, että normaalitilanteessa jännitys on 0, joten jännitys-heilahduksen arvoksi tulee FEM-analyysistä saatu maksimijännitys.

Ensimmäiseksi lasketaan tilanne, jossa auran keskiosa törmää 10kN voimalla 150 mm matkalla. Tällöin suurin rasitus kohdistuu aiemmin tehdyn FEM-analyysin perusteella auran kääntönive- len hitsaus-saumoihin. Arvo C on vakio ($C=2.27 \cdot 10^{13}$), koska käytetään lovijännitys-menetelmää. Näin ollen N arvoksi saadaan $3.560 \cdot 10^8$. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että varmuusluku väsymisen suhteen on erittäin suuri. Auran keskiosan törmätessä 20 kN voimalla N arvoksi saadaan $2.60 \cdot 10^7$. Auran reunan törmätessä 10kN voimalla 100 mm matkalla, N arvoksi saadaan $4,06 \cdot 10^7$.

7.4 Tulosten tarkastelu

Tässä luvussa tarkastellaan laskelmista saatuja tuloksia. Tarkastelun kohteena ovat hitsisaumojen mitoitus- kset ja väsymiskestävyys sekä FEM-analyysit.

Hitsausseamat on mitoitettu tasalujiksi ympäröivän materiaalin kanssa yleisen standardin mukaan, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina. Saumojen kestävyteen vaikuttaa erittäin moni asia ja se pitää ottaa huomioon, kun tarkastellaan hitsausten kestävyttä. Laskelmat on tehty tietyllä varmuuskertoimella täysin puhtaalle materiaalille niin, että myös hitsausseamat ovat täydellisiä eikä niissä ole huokosia. Varmuuskerroin kuitenkin huomioi valmistuksessa tapahtuvia virheitä. Väsymisen kannalta erittäin tärkeää on huolellisesti puhdistetut pinnat ja hyvä hitsausjälki, ettei sauman sisään jää huokosia eikä reunahaavoja, joista repeämät lähtevät liikkeelle.

FEM-analyysit on tehty asianmukaisesti käyttäen hyväksi IIW:n laatimaa lovi-jännitysmenetelmää ja siihen liittyviä mallinnusvaatimuksia. Tietokoneella tehdyt analyysit perustuvat laskentaan, joten niitä ei aivan suoraan voi yhdistää käytäntöön, mutta suurimpien auran kohdistuvien jännityskeskittymien sijainnit on mielestäni löydetty. Jos pystyttäisiin laatimaan täydellinen jännityshistoria, saataisiin tuloksista melko tarkkoja liittyen laskettuun tilanteeseen. Todellisuudessa pienetkin muutokset törmäyskulmissa tai ajonopeuksissa voivat vaikuttaa merkittävästi auran kestävyteen. FEM-analyysien tarkoituksena on pienentää komponenttirikkoja ja ennustaa mahdollisia heikkoja kohtia rakenteessa. Vaikka FEM-analyysit tekisi perusteellisesti, jouduttaisiin monimutkaisissa koneissa ja kokonaisuuksissa rakentamaan prototyyppi ja testaamaan sitä ennen kuin voidaan todeta laite kestäväksi.

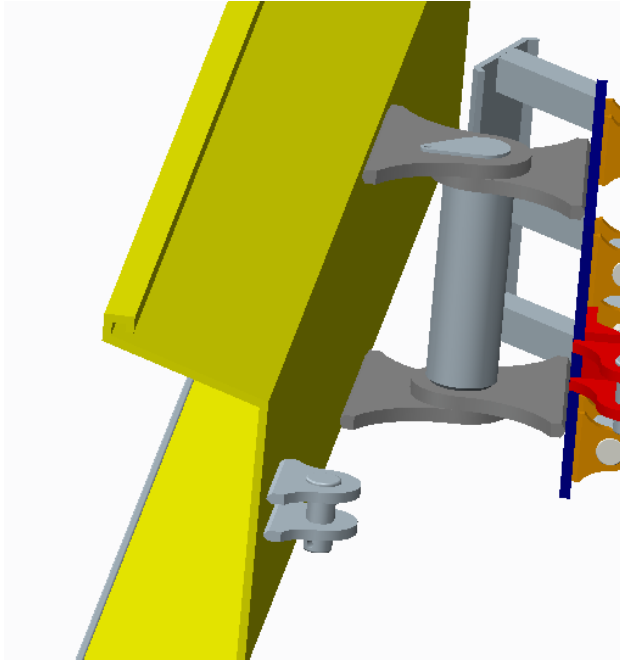
Väsymisen suhteen aurasta tarkasteltavat hitsausliitokset kestävät erittäin hyvin. Yleisesti ajatellaan, että rakenteen kestäessä kaksi miljoonaa iskua se kestää ikuisesti. Jos halutaan täysin tarkkoja tuloksia, pitää olla tiedossa tarkka jännityshistoria koko aurasta ja sen tuennoista. Voidaan kuitenkin todeta, että aura ei tule tarkastelukohdista hajoamaan väsymisen takia, vaan mahdolliseen rikkoontumiseen voi johtaa suuri jännityshuippu, esimerkiksi törmäystilanteessa.

8 Auraan tehtävät muutokset

Tässä luvussa esitellään auraan tehtävät muutokset. Muutosten tarve huomattiin FEM-analyyseiden perusteella. Kääntöniveleen sekä kääntöesteeseen kohdistui kohtuuttoman suuria voimia, joten niitä päätettiin muuttaa.

8.1 Kääntönivel

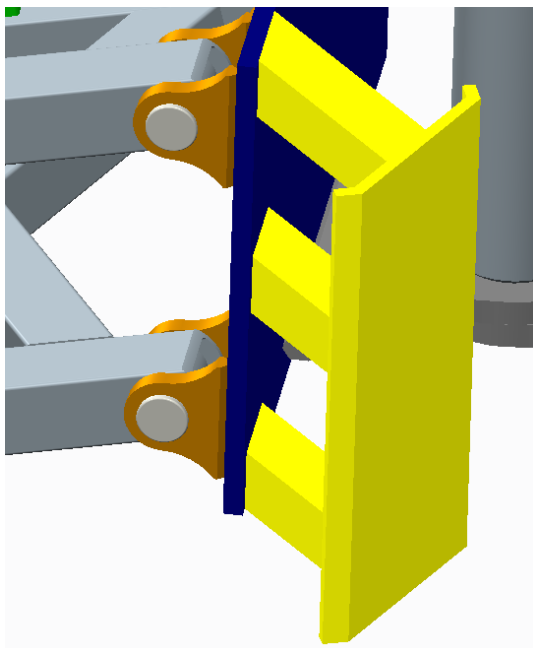
FEM-analyseista saatujen suurten jännitysten vuoksi auran alkuperäistä limpuniveltä päätettiin muuttaa. Alkuperäisessä nivelessä korvakkeet olivat kaukana rasituskohdasta, mikä aiheuttaa niveleen suurempia vääntömomenteja törmäystilanteissa. Nivel päätettiin toteuttaa neljällä korvakkeella niin, että yksi korvake sijoitettiin larsun selkäosan alareunaan ja yksi selkäosan yläreunaan. Toiset kaksi korvakeita sijoitettiin kiinnityslevyyn larsun korvakkeiden sisäpuolelle. Kiinnityslevyn korvakkeiden väliin päätettiin lisätä putki tukevoittamaan liitosta. Uusi kääntönivel on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Uusi kääntönivel.

8.2 Kääntöeste

Myös kääntöesteen rakennetta päätettiin vahvistaa, sillä levyn reunan tueksi suunniteltuun rakenneputkeen kohdistui erittäin suuria pistemäisiä rasituksia. Rakennetta päätettiin yksinkertaistaa niin, että pystyssä oleva putki jätetään kokonaan pois, jolloin kääntöesteen rungon putket törmäävät suoraan kiinnityslevyyn. Muutosten jälkeen tehdyistä analyyseistä huomattiin, että rasitukset pienenevät huomattavasti. Jos kiinnityslevyn reunaa halutaan vielä erikseen tukea, voi takapuolelle hitsata esimerkiksi rakenneputkea tai vielä jäykempää I-palkkia. Toimeksiantajan kanssa päätettiin jättää reunan vahvistus tekemättä, koska auraa ei käytetä kovissa nopeuksissa. Uusi kääntöeste ja sen kiinnitys on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Vahvempi kääntöesteen rakenne ja kiinnitys.

9 Pohdinta

Työn tarkoituksena oli suunnitella toimeksiantajalle työkonekäyttöinen etuaura, tehdä uralle lujoustarkasteluita kriittisimmissä kohdissa sekä tehdä aurasta valmistuspiirustukset. Työhön käytettiin kaiken kaikkiaan aikaa yli neljä kuukautta. Toimeksiantajan kanssa oltiin tiiviissä yhteistyössä ja ideoitiin yhdessä. Mielestäni työtä oli mielekäs tehdä, koska yhteistyö toimeksiantajan kanssa toimi moitteettomasti ja tarvittavia lisätietoja sai helposti.

9.1 Sisällön tarkastelu ja työn luotettavuus

Uusiomateriaaleista rakentaminen toi työlle aivan uudenlaisen perspektiivin. Nykyään halutaan panostaa materiaalien sekä komponenttien uusiokäyttöön. Todellisuutta kuitenkin on, ettei uusiokäytön mahdollisuuksiin käytetä tarpeeksi aikaa ja uusiokäyttö koetaan yleensä aikaa vievänä ja monimutkaisena ”entisöintiprosessina”. On paljon helpompaa ostaa uusi komponentti kaupasta kuin alkaa korjaamaan vanhaa ja kulunutta osaa. Olen sitä mieltä, että tulevaisuudessa tullaan olemaan entistäkin tarkempia materiaalien kulutuksesta ja tämän tyyppiset projektit ovat jonain päivänä arkipäivää paljon suuremmassa mittakaavassa. Vanhasta rakennettaessa suunnitteluun kuluu paljon aikaa, mutta materiaalien hintojen noustessa siihen kannattaa panostaa.

Tämän tyyppisessä suunnittelutyössä tulee muistaa, että törmäysvoimat ja käyttöolosuhteet perustuvat suunnittelijan omaan harkintaan, koska ei ole lainkaan kerättyjä tuloksia realistisesta käytöstä. Lujuustarkastelun osalta olen käyttänyt paljon aikaa tiedon hankintaan ja keskustellut opettajien ja toimeksiantajan kanssa tiiviisti laskentaperusteista. Sitä, kuinka kauan aura todellisuudessa kestää, ei voida varmuudella sanoa, koska siihen vaikuttaa moni asia. Jos auralla aurataan rauhallisesti ja pyritään minimoimaan törmäykset, se kestää luultavasti kymmeniä vuosia. Jos kuljettajasta johtuen aura altistuu kohtuuttomille törmäyksille, voi aura vioittua jo lyhyenkin ajan sisällä.

Valmistuspiirustusten osalta pidän työtä erittäin luotettavana, sillä olen pyrkinyt tekemään kuvat erityisellä huolellisuudella. Olen myös kysynyt paljon neuvoja ja mittojen ilmoitustapoja toimeksiantajalta sekä koulun opettajilta. Minulla on myös työkokemusta kuvien tulkimisesta, joten uskon sen auttaneen minua tässä työssä paljon. Olen pyrkinyt tekemään kuvat valmistusystävällisiksi niin, ettei valmistusvaiheessa kuluisi turhaa aikaa kuvien tulkintaan.

Auran kiinnitys on pyritty suunnittelemaan niin, että pienillä muutoksilla se saadaan kiinnitettyä mihin tahansa työkoneeseen. Aura saadaan kiinnitettyä esimerkiksi traktorin etukuormaimen tai nostolaitteisiin, jossa ei välttämättä tarvita auran omaa nostoa. Auran nivelen kiinnikkeisiin on helppo hitsata korvakkeet, joista sen saa kiinni etukuormaimen kiinnikkeisiin tai nostolaitteisiin. Näitä kiinni hitsattavia korvakkeita saa ostettua varaosaliikkeistä.

9.2 Kehittämisideat ja ammatillinen kasvu

Jos työtä haluaisi viedä eteenpäin ja alkaa esimerkiksi valmistaa tuotetta myyntiin, kannattaisi nyt tehdylle prototyypille tehdä lujuustarkastelua sen käytössä

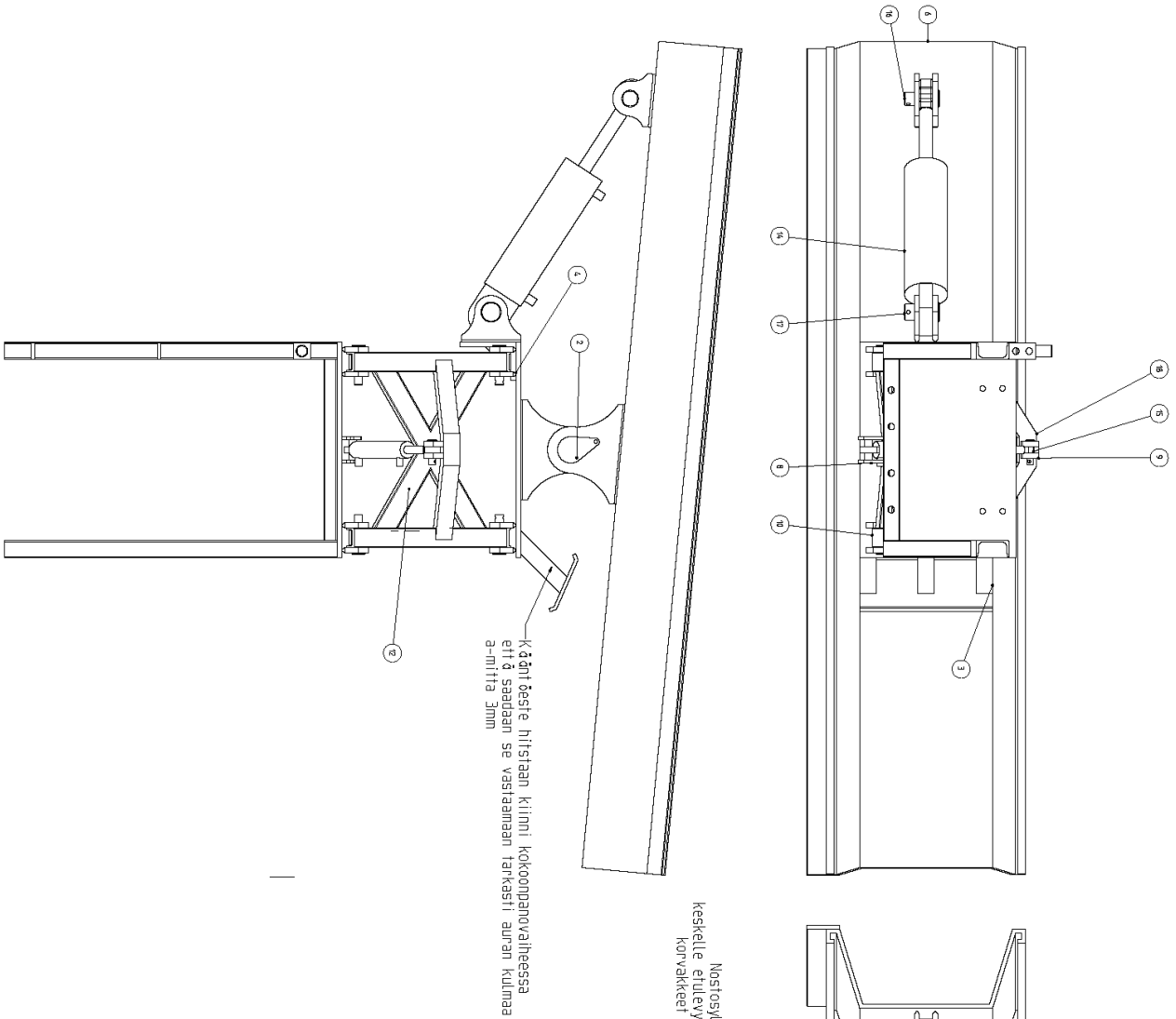
ollessa ja laatia käytöstä jännityshistoria. Mahdollisuutena olisivat esimerkiksi venymäliuskamittaukset, joilla voitaisiin tarkentaa rasituskohtia ja rasitusvoimia. Heikkoja kohtia voitaisiin tarkastella tarkemmin FEM-analyysin avulla. Näin voitaisiin optimoida materiaalin käyttöä sekä mahdollisesti alentaa valmistuskustannuksia ja nopeuttaa valmistusta laadusta tinkimättä. Jos valmistuksessa voitaisiin hyödyntää nykyaikaisia koneita, kuten särmäyskoneita tai mankeliä, saataisiin rakenteesta profiloimalla kestävämpi pienemmillä materiaalivahvuuksilla. Tästä olisi hyötynä materiaalikustannusten pieneneminen sekä auran keveneminen.

Tämä työ on ollut mielestäni erittäin opettavainen. Tässä työssä erityisen tärkeäksi huomasin toimeksiantajan ja suunnittelijan välisen yhteistyö, jota en olisi osannut odottaa aiemmin. On todella tärkeää, että tieto liikkuu puolin ja toisin, jotta kumpikaan ei tule tehneeksi turhaa työtä. Huomasin myös työtä tehdessäni, että kaikki osat, kokonaisuudet, analyysit ja muut tiedostot kannattaa nimeätä ja eritellä tarkasti. Tiedostojen etsiminen myöhemmissä työvaiheissa on helppompaa, jos eri tiedostot on merkitty huolellisesti. Auran suunnittelu kehitti suunnittelutaitojani. Lisäksi 3D-mallinnusohjelma Creon käyttö tuli entistä luontevammaksi sekä opin monia asioita, joilla suunnittelua ja mallinnusta voi nopeuttaa hyödyntäen ohjelmiston lisäominaisuuksia.

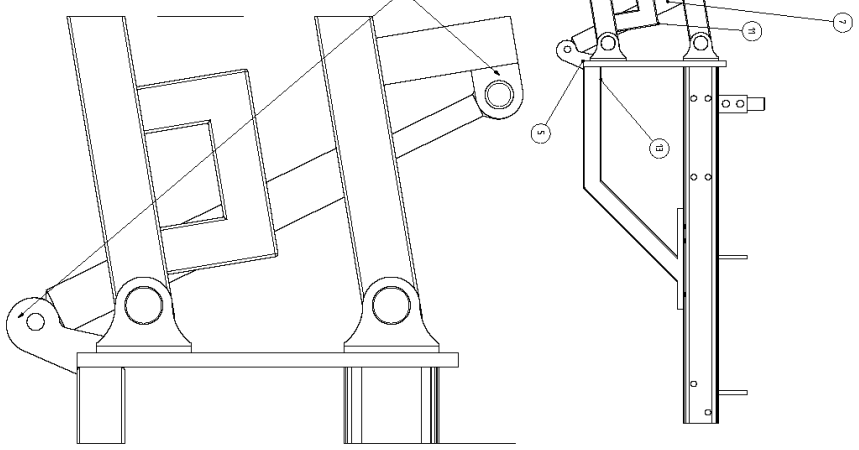
LÄHTEET

- Airila, M. 2003. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: WSOY.
- Hakala, M.K., 1997. Lujuusopin elementtimenetelmä, Espoo: Libella Painopalvelu Oy
- Hobbacher, A., 2007. Recommendations for fatigue design of welded joints and components. Vilhelmshaven, Germany: International institute of Welding.
- Hydrauliikkapumppu.fi. 2013. Sylinterin työntö- ja vetovoima.
<http://www.hydrauliikkapumppu.fi/kauppa/sylinteri.html> [luettu 15.11.2013]
- Ilmatieteenlaitos. 2013. Lumitilastot ajalta 1981–2010.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lumitilastot> [luettu 13.11.2013]
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomiokoski, J. 2008. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Laakko, T. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Helsinki: WSOY.
- Lehtovirta, P. & Nuutinen, K. 2000. 3D-sisältötuotannon peruskirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Niemi, E. & Kemppe, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
- Niemi, E. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Helsinki: Teknologainfo Teknova Oy.
- Niemi, E., Kilkki, J., Poutiainen, I. & Lihavainen, V-M. 1998. Väsymättömän hitsausliitoksen suunnittelu. Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu, Konetekniikan osasto/Konstruktitekniikan laitos.
- Puhakka, A. 2008. 3D-grafiikka. Helsinki: Talentum
- Salhydro Oy. 2013. Sylinterin mitoitus.
<http://www.salhydro.fi/fi/sylinterin-mitoitus>. [luettu 15.11.2013]
- Tehohydro Oy. 2013. Sylinterin perusmitoitus.
<http://www.hydrauliikka.eu/index.php?kieli=fin&sivu=laskurit&alasiivu=sylinterit>. [luettu 15.11.2013]
- Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

LIITE 1. Auran valmistuspiirustukset

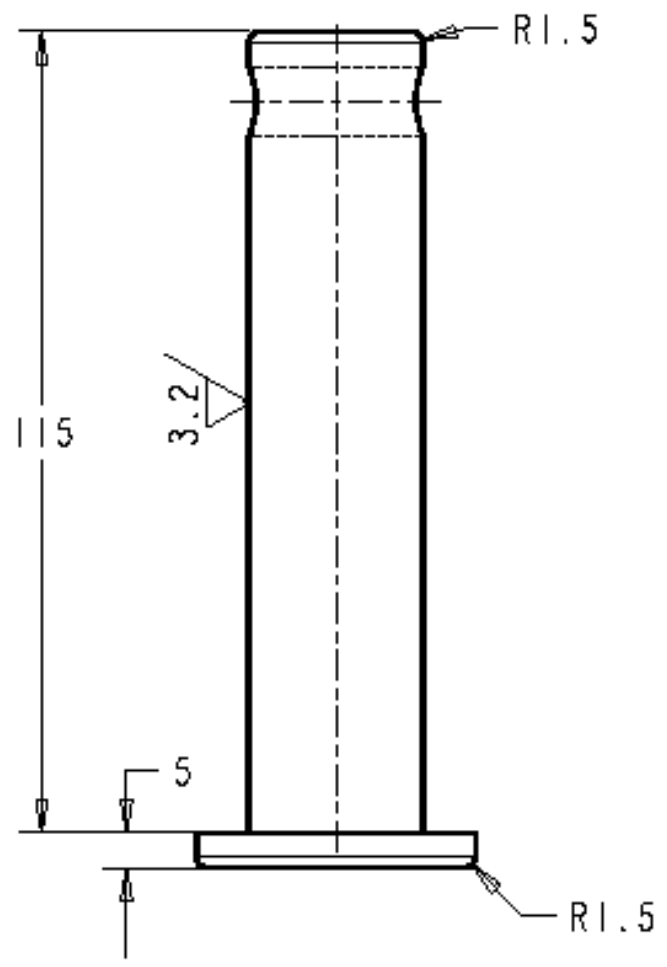
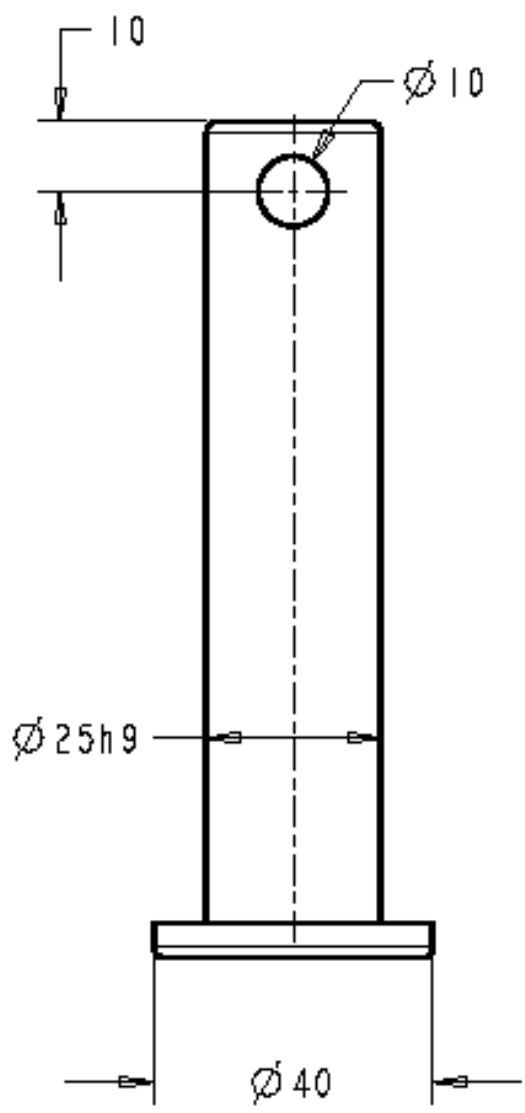


Nostrosylinterin korvakkeet mitoitetaan keskelle etulevyä sekä nostrosylinterin ylädukan korvakkeet hitsataan a-mitalla 3m ympäri

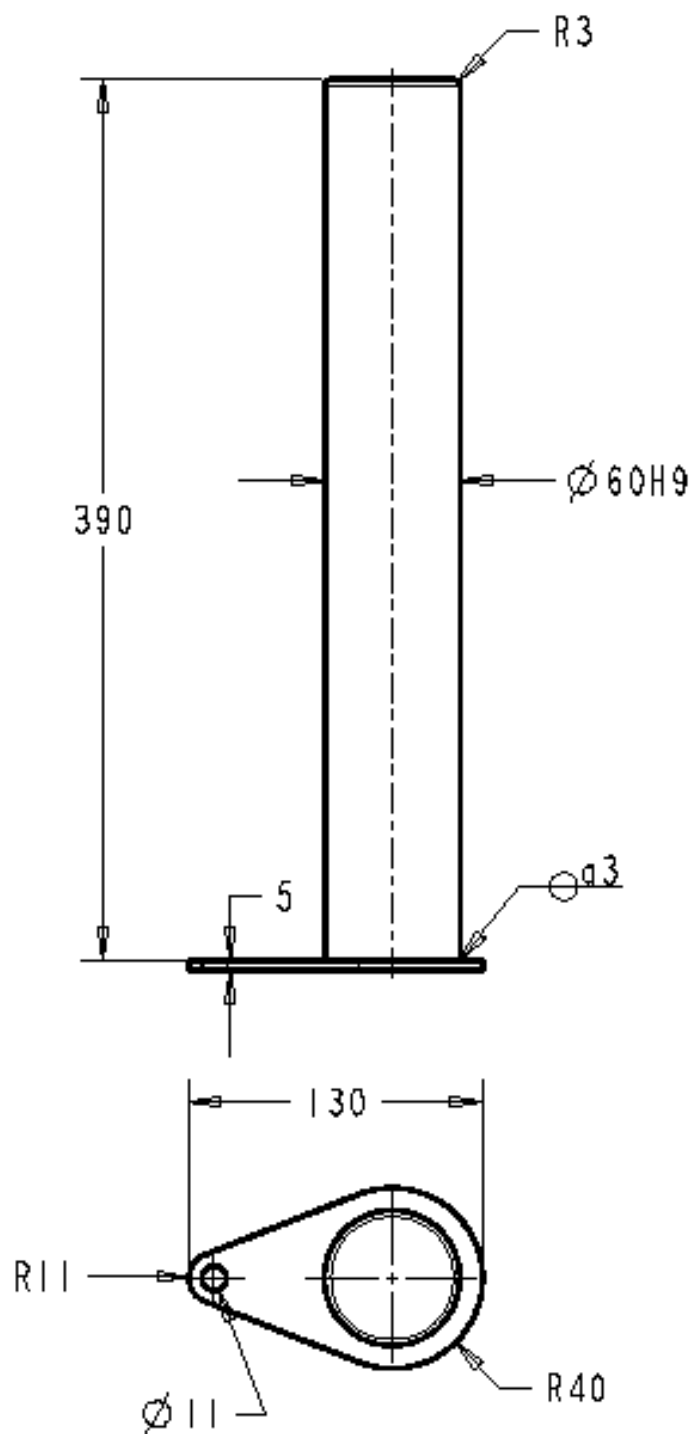


Nro	Yksikkö	Nimi	Materiaali	Yksikkö	Määrä
1	1005	227/101	Alumiini	1	1
2	1007	49/101	Alumiini	1	1
3	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
4	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
5	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
6	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
7	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
8	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
9	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
10	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
11	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
12	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
13	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
14	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
15	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
16	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
17	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
18	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
19	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
20	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
21	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
22	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
23	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
24	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
25	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
26	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
27	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
28	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
29	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
30	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
31	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
32	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
33	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
34	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
35	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
36	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
37	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
38	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
39	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
40	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
41	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
42	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
43	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
44	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
45	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
46	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
47	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
48	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
49	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
50	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
51	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
52	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
53	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
54	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
55	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
56	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
57	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
58	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
59	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
60	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
61	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
62	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
63	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
64	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
65	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
66	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
67	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
68	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
69	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
70	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
71	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
72	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
73	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
74	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
75	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
76	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
77	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
78	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
79	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
80	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
81	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
82	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
83	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
84	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
85	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
86	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
87	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
88	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
89	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
90	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
91	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
92	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
93	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
94	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
95	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
96	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
97	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
98	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
99	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1
100	1030	Kaapereet 2	Alumiini	1	1

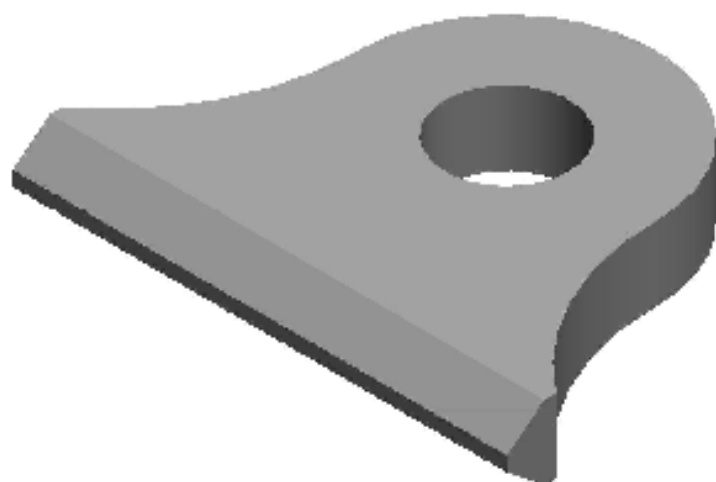
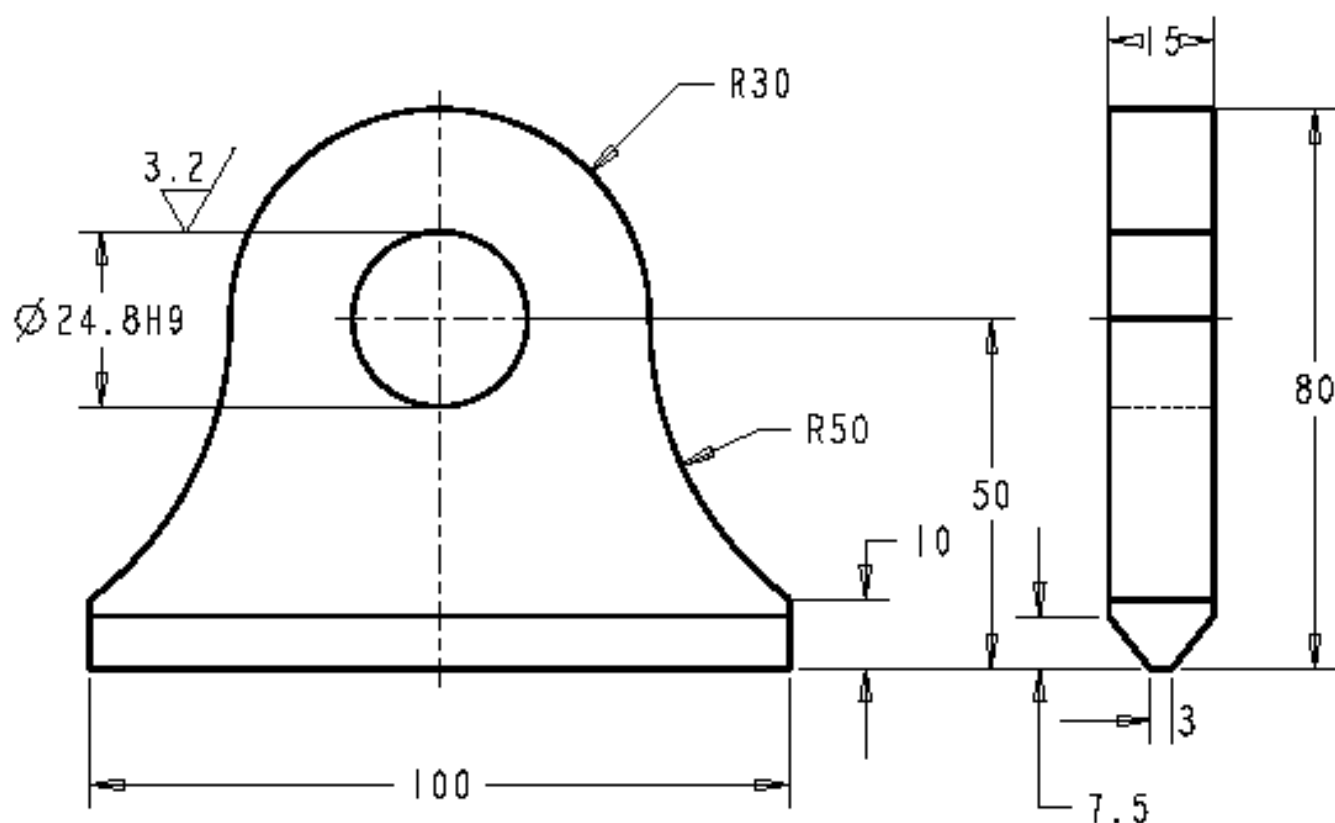
PKAMK LARSENKOMP 1033



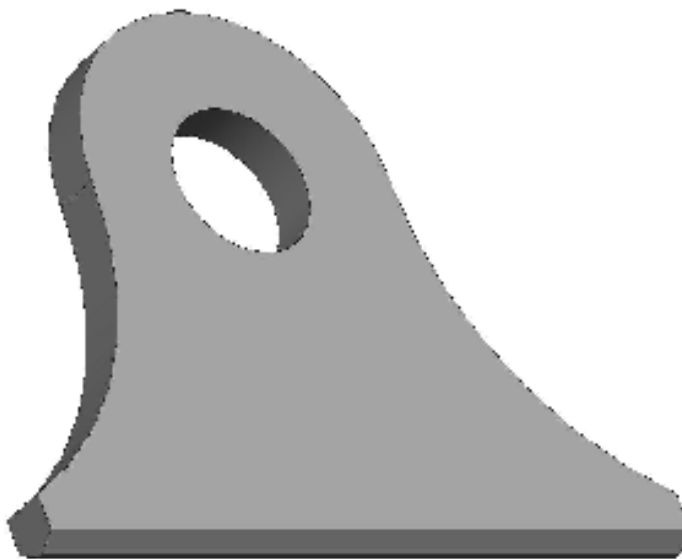
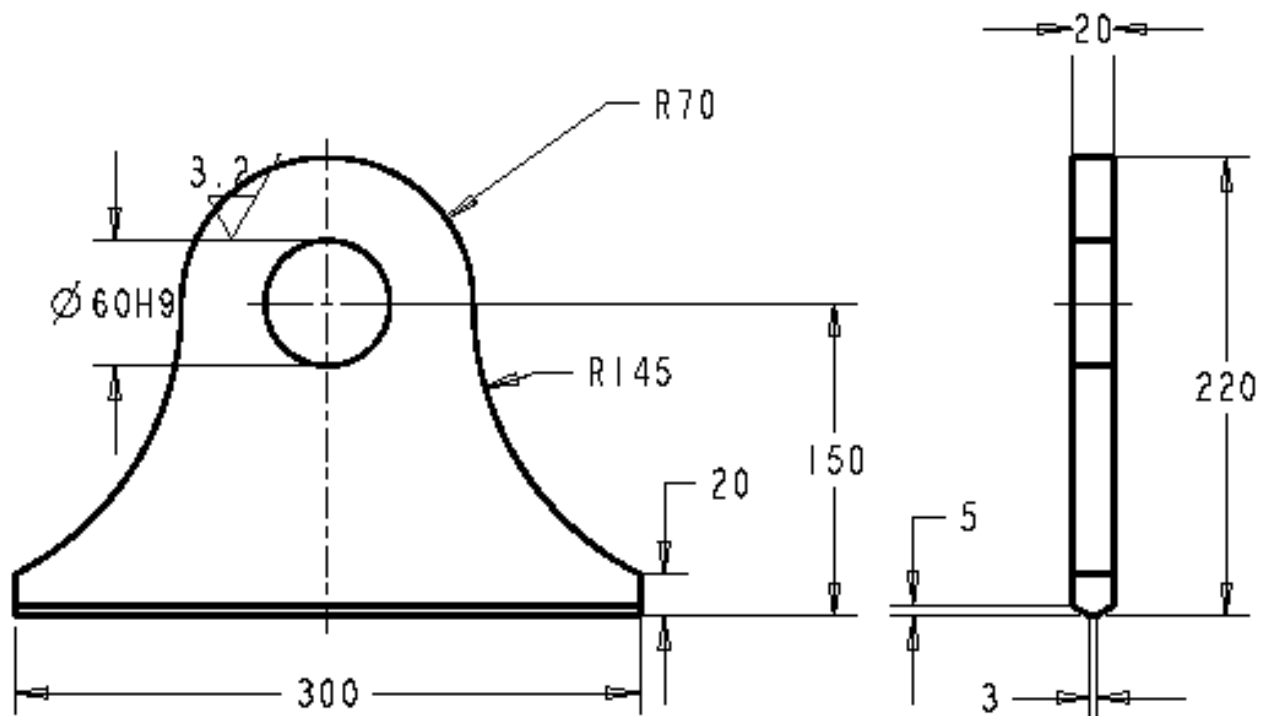
I	1005	25-tappi		ISO	Ø40	Imetra550	8	
Qaa	Piirustusnumero	Osan tai kokonaisuusryhmän nimitys		Standardi tai laettele	Nuoto, malli, mitat Lajimerkki	Laeta	Kpl	
Yleisetoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys			
ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		1000	Tappi Ø25	Larsen	25TAPPI			
Piirt	Sep-27-13 Sino	PKAMK			Ent	Uusi	Rev	
Suun					Piirustusnumero			
Tark	Massa Ø.48kg				1005			
Hyr								



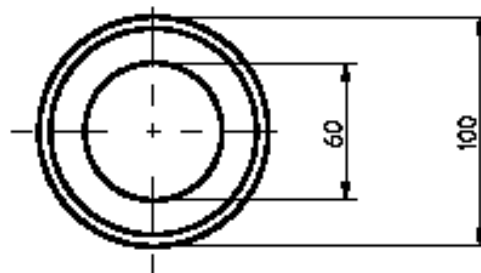
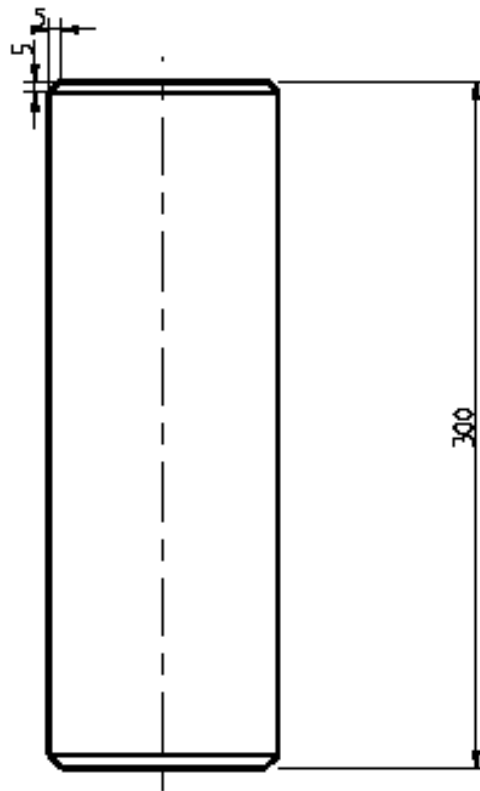
I	1007	Tappi Ø60		Roud bar 60	S355	I
Qaa	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanosarjahan nimitys	Standardi tai isotele	Muoto, malli, mitat Leijmerkki	Luokka	Kpl
Yleisetoleranssit DIN-EN 1883-1-B (2005) ISO 2768-1:1988 EN 22768-1:1993		Mittakaava 0,333	Tuote Tappi	Liittyy Läpse	Nimitys 60TAPPI	
Piirt	Sep-27-13 Sino		<h1>PKAMK</h1>	Ent	Uusi	Rev
Suun				Piirustusnumero		
Tark	Massa 3,1			<h2>1007</h2>		
Hyr						



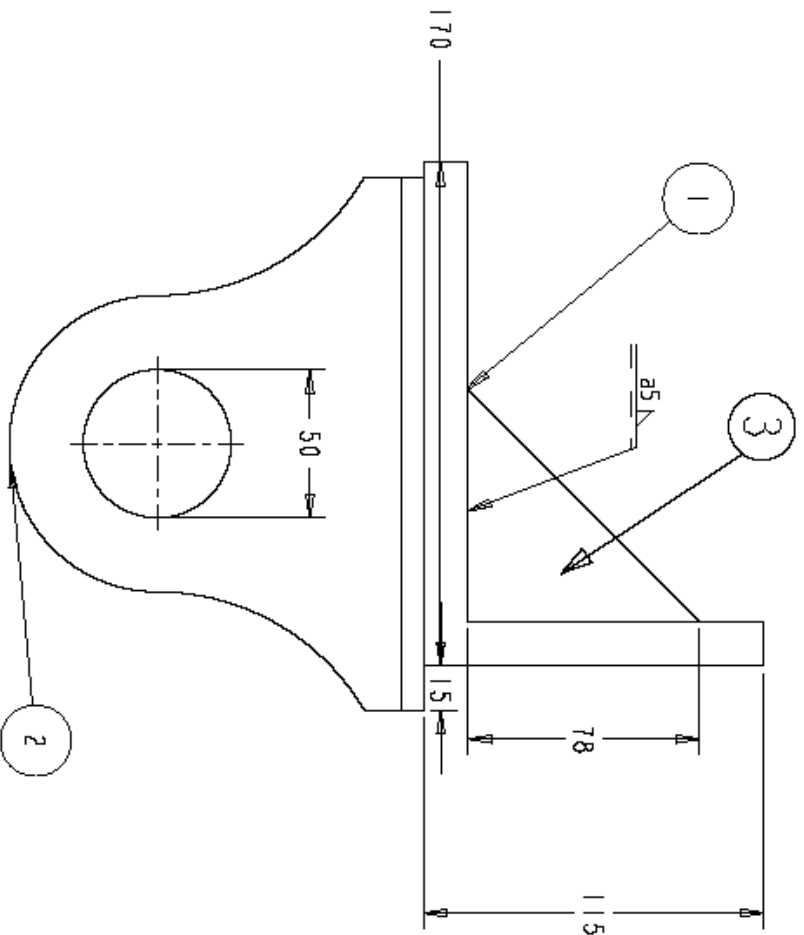
I	1002	Kiinnityslevy-keräkke	ISO	PL15 100x80	S355	16
Geo	Piirustusnumero	Osaan tai kokoennusryhmän nimitys	Standardi tai laettele	Muoto, malli, mitat	Luokka	Kpl
Tietotoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys	
ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		1000		Lärsen	KINNITYSLEVYKORVAKOT	
Piirt	Sep-23-13 Sino		PKAMK		Ent	Uusi
Suun	Sino				Piirustusnumero	
Tark		Massa $\varnothing.56kg$			1002	
Hyr						



I	1001	Korvakko	ISO	PL20 220x300	S355	5	
Qsa	Piirustusnumero	Osa tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai isäntä	Kuoto, malli, mitat Lajimerkki	Luokka	Kpl	
Yleistoleranssit ISO 2768-1:1989		Mittakaava 0,400	Tuote Korvakko	Liittyy Larsen	Nimitys KORVAKKO		
Piirt	Simo	PKAMK		Ent	Uusi	Rev	
Suun	Simo			Piirustusnumero 1001			
Tark							
Hyr							
		Massa 5,5kg					

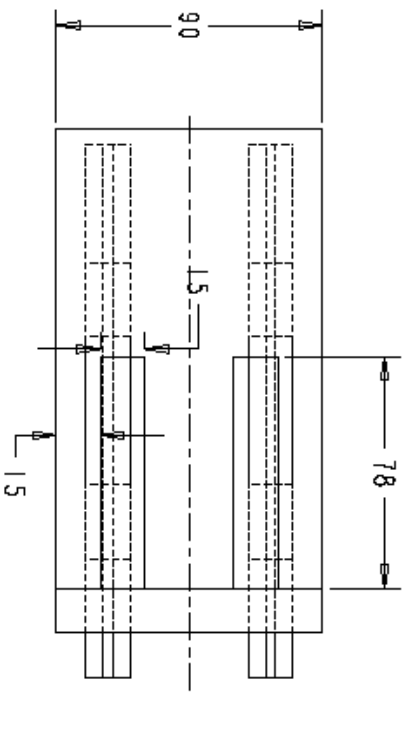


1	1029	Putki 100X20		Sylinteriputki 100X20	4355	1	
Geo	Piirustussuunnitelma	Osan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai laetelo	luoto, malli, mitat Lajimerkki	Laatu	Kpl	
Yleisohjeet		Liitetaulukko	Tuote	Liittyy	Pimitys		
		E3	Putki 100X20	Larsen nivel	PUTKI_100X20		
Piirustussuunnitelma	250111 91m		PKAMK		Ennen	Pii	
Suunn.					Jälkeen		
Tark.		Massa 12 kg			Piirustussuunnitelma		
Hyr.					1029		

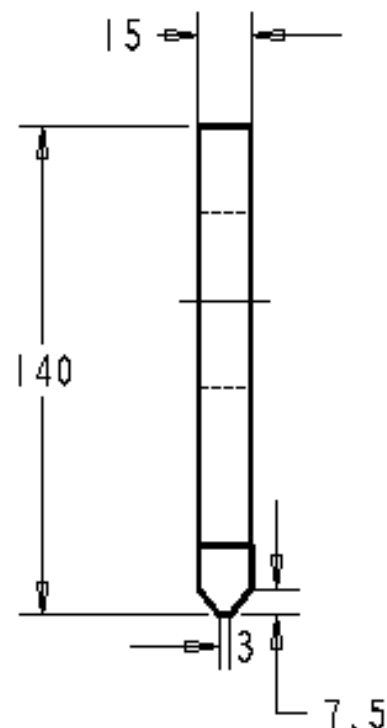
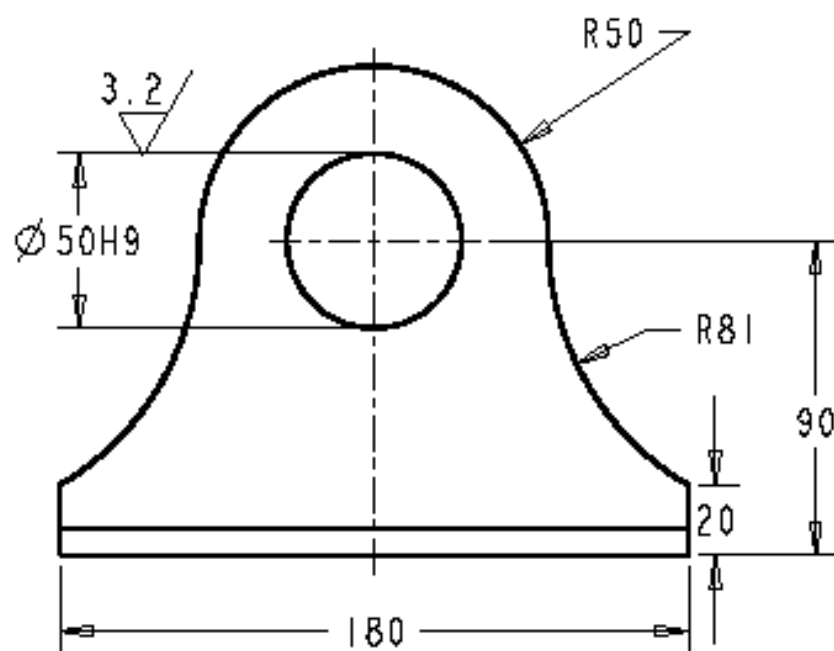


Korvakaaket
hittataan
ympäri annetuilla
a-mitalla

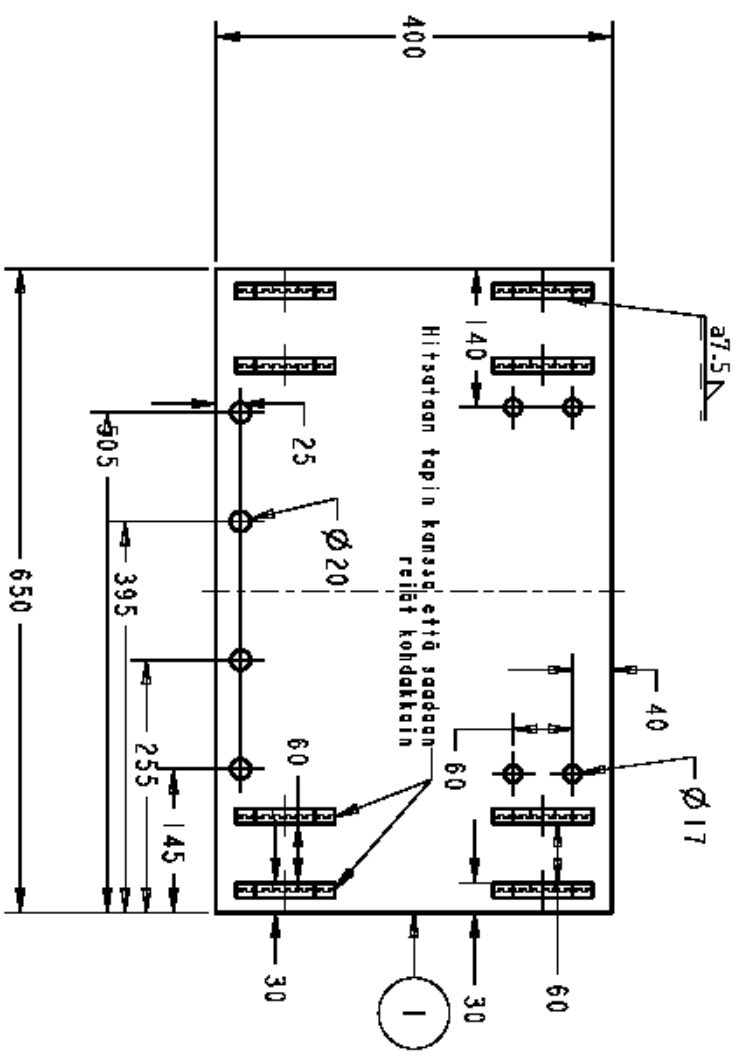
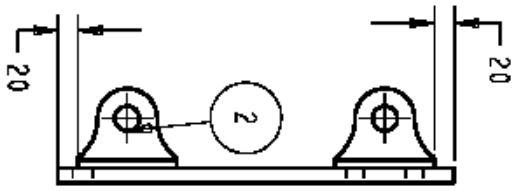
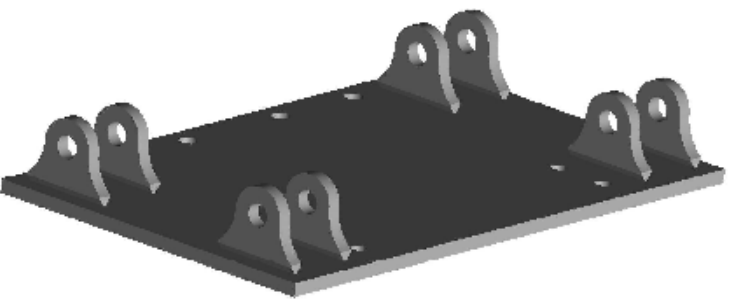
Hittataan tapin kanssa



3	1003	TUKI	SYLINTERIHOIRAKKO	PL15	78x78	S355	2
2		L80X15				S355	2
1		Osan tai keko-osajärjelmän nimi	Sinteridi tai teattika	Muoto, malli, mitat			
Yleistiedot		Mittakoodi	Tuote	Liittyy	Nimitys		
SFS-EN 1993-1-9 (2005)		0600	Sylinterikorkotuki	Larsen	SYLINTERIKORVAKKOTUKI		
Piiitt 9ap-28-13 Sino							
Suun							
Tork							
Hyr							
		Massa 7kg					
PKAMK						Piiistunumero	
						1015	
						Eri	
						Uusi	
						Res	



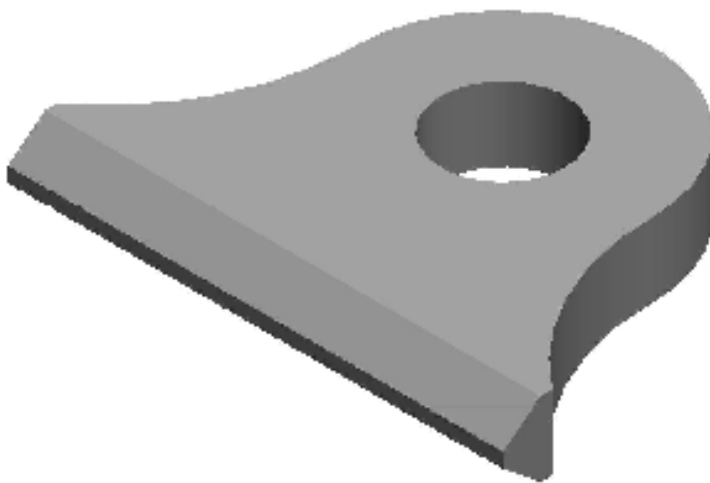
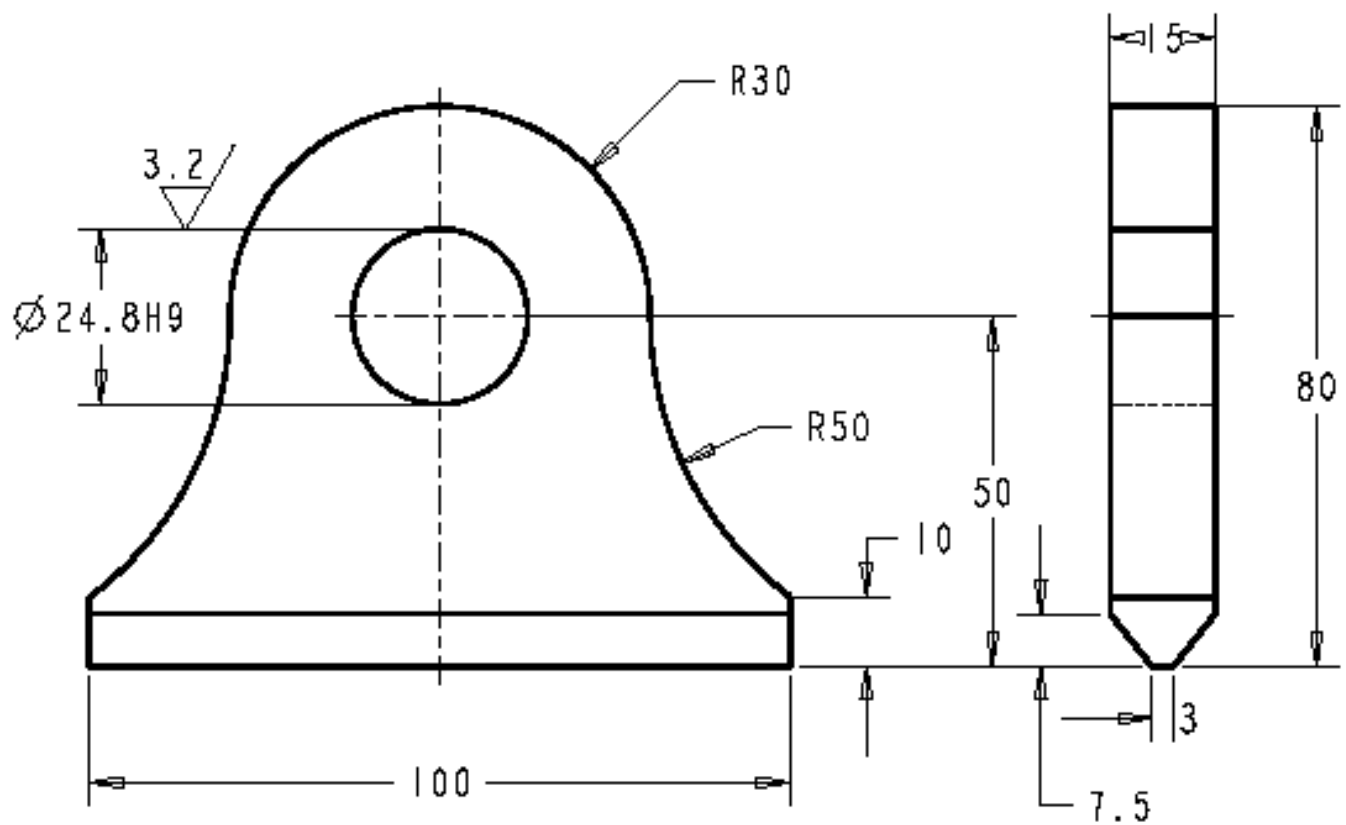
I	1003	sylinterikorvakko		ISO	PL15 180x140	S355	2
Qtd	Piirustusnumero	Osaan tai kokoennosryhmän nimitys		Standardi tai laettele	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Luokka	Kpl
Yleisötoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		0,500		Larsen	SYLINTERIKORVAKKO		
Piirt	Simo	PKAMK			Ent	Uusi	Rev
Suun	Simo				Piirustusnumero		
Tark	Massa l. Tkg				1003		
Hyr							



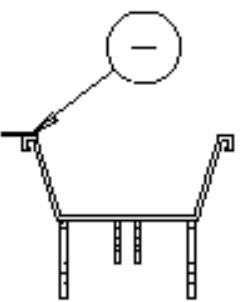
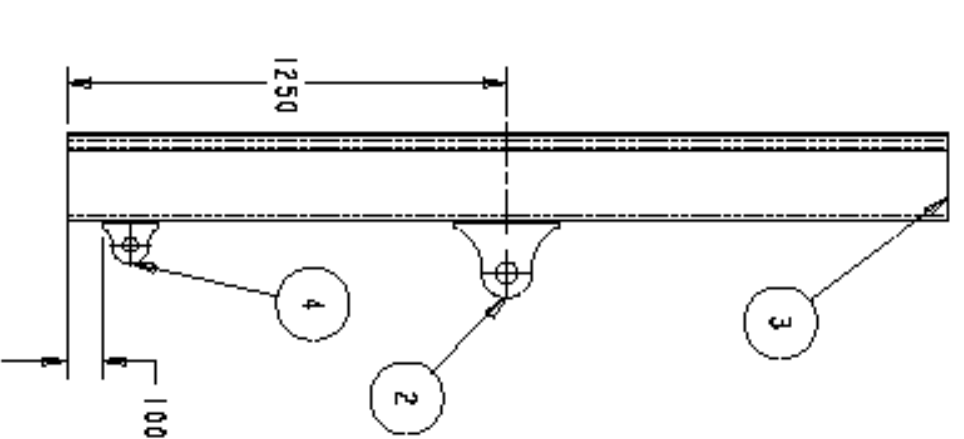
Korvakaheet hitsataan merkattulla a-mittalla korvakaheen ympäri

Tämän leyn korkeus pitää katsoa traktorikohtaisesti!!!
 Jos leyn on liian matala, ei etuakselisto mahdu liikkumaan tarpeeksi!

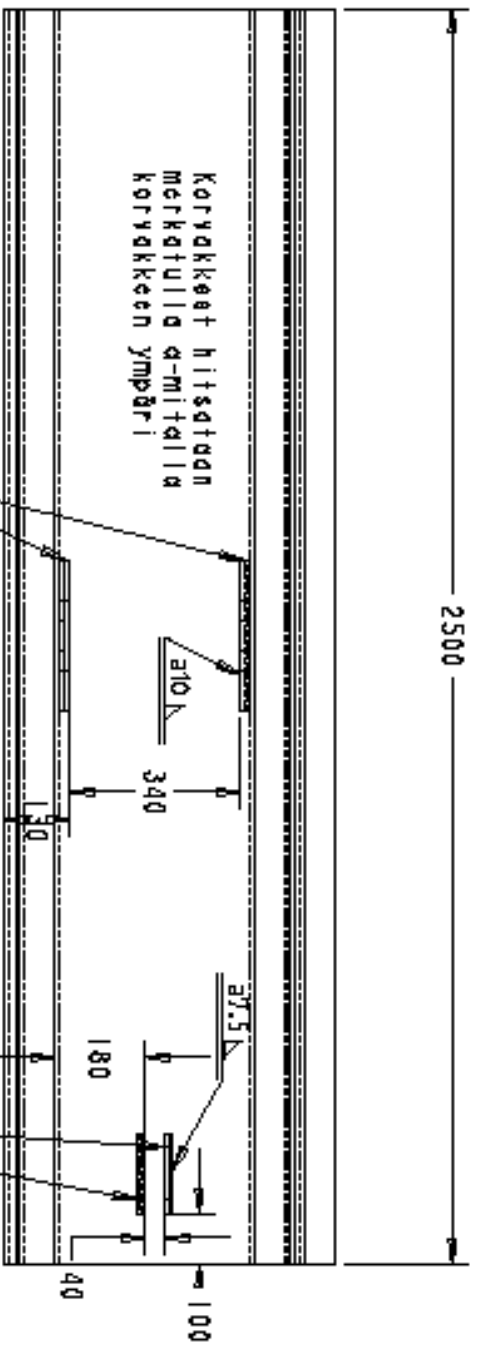
2	002	KIINNITYSLEHYKORVA	PL15 100X80	S355	6
1	011	KIINNITYSLEHTY	PL15 400X650	S355	1
One	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimi	Standardi	Muoto, malli, mittatunnus	Leveys
		Mittaus	Leveys	Leveys	Kp
	Tuoteselvennässä	Mittaus	Leveys		
	SFS-EN 1992-1-9 (2005)				
	0200	Kinnityslevy vakuutti	Larsen	KIINNITYSLEVYVALMIEETTI	
Pii-1	Sap-29-13 SIM			Est	Uusi
Suun				Piirustusnumero	
Tark					
Mys		Määrä 24 kpl			
PKAMIK					
			1011		



I	1002	Kiinnityslasy_korvakko	ISO	PLIS 100x80	S355	16		
Qtd	Piirustusnumero	Osan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai laettele	Kuoto, malli, mitat Leijmerkki	Laeta	Kpl		
Yleistalotekniset		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys			
ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		1000		Lärsen	KIINNITYSLEVYKORVAKOT			
Piirt	Sep-23-13 Sino	Massa 0.56kg	PKAMK		Ent	Uusi	Rev	
Suun	Sino				Piirustusnumero			
Tark					1002			
Hyr								



Korvakkheet hitsataan
merkatulla 4-mittalla
korvakkeen ympärillä

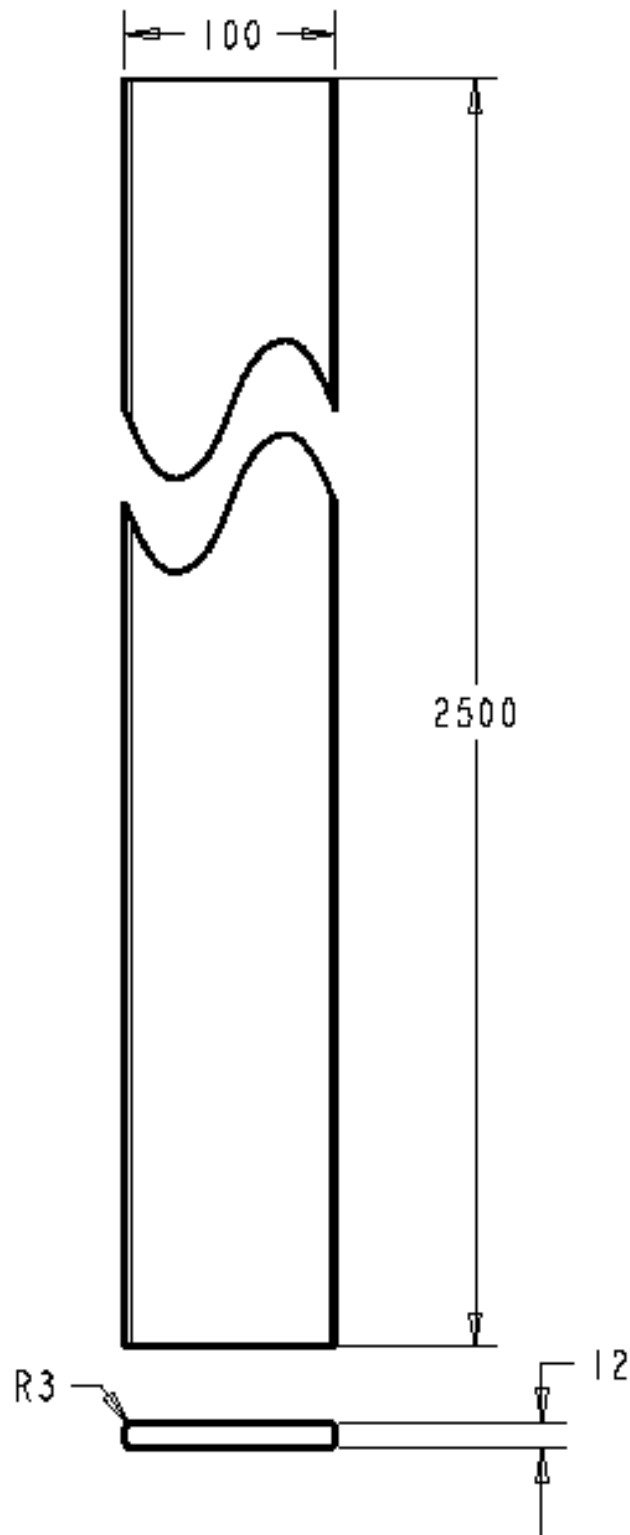


SCALE 0.100

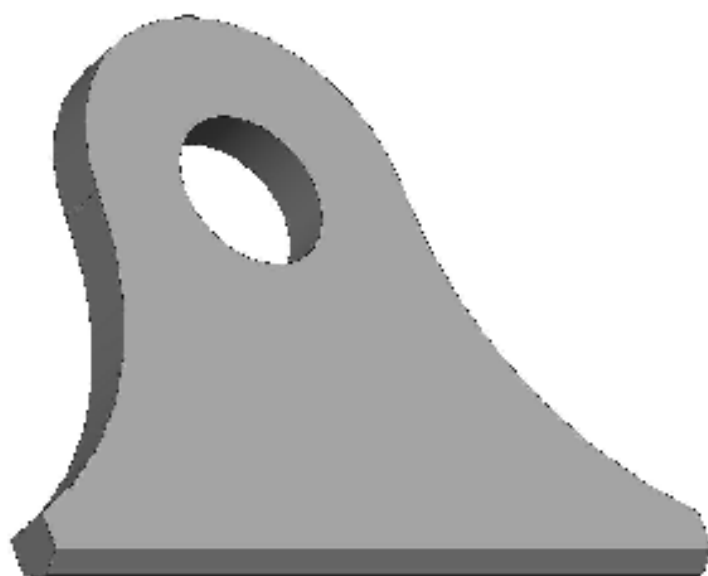
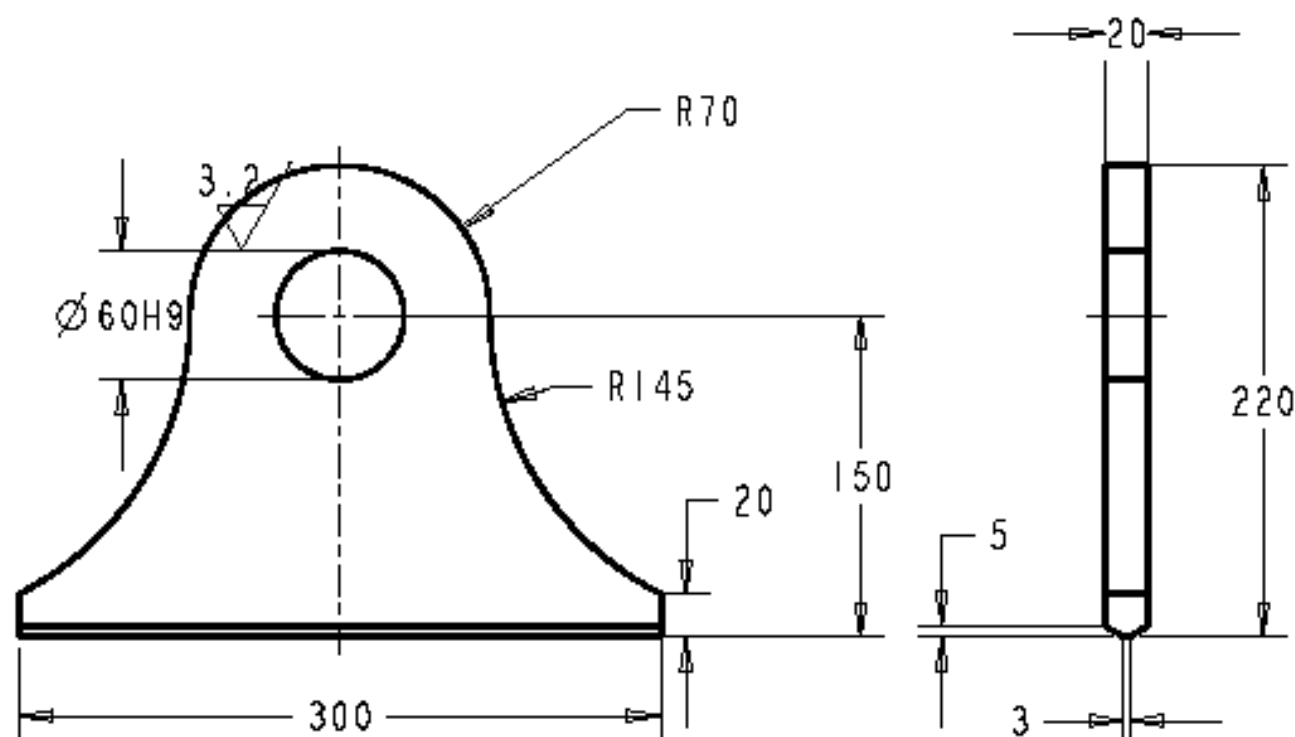
Hitsataan tapin
ja kiinnityselvyn kanssa
että saadaan reitit kohdakkain
ja korvakot oikealle
etäisyydelle toisistaan

Hitsataan tapin kanssa
että saadaan tarkemmin
reitit kohdakkain
ja korvakot oikealle
etäisyydelle toisistaan

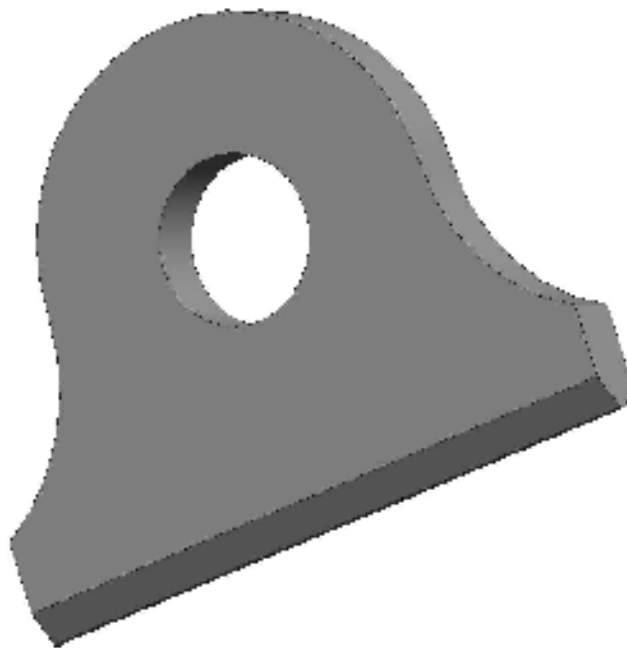
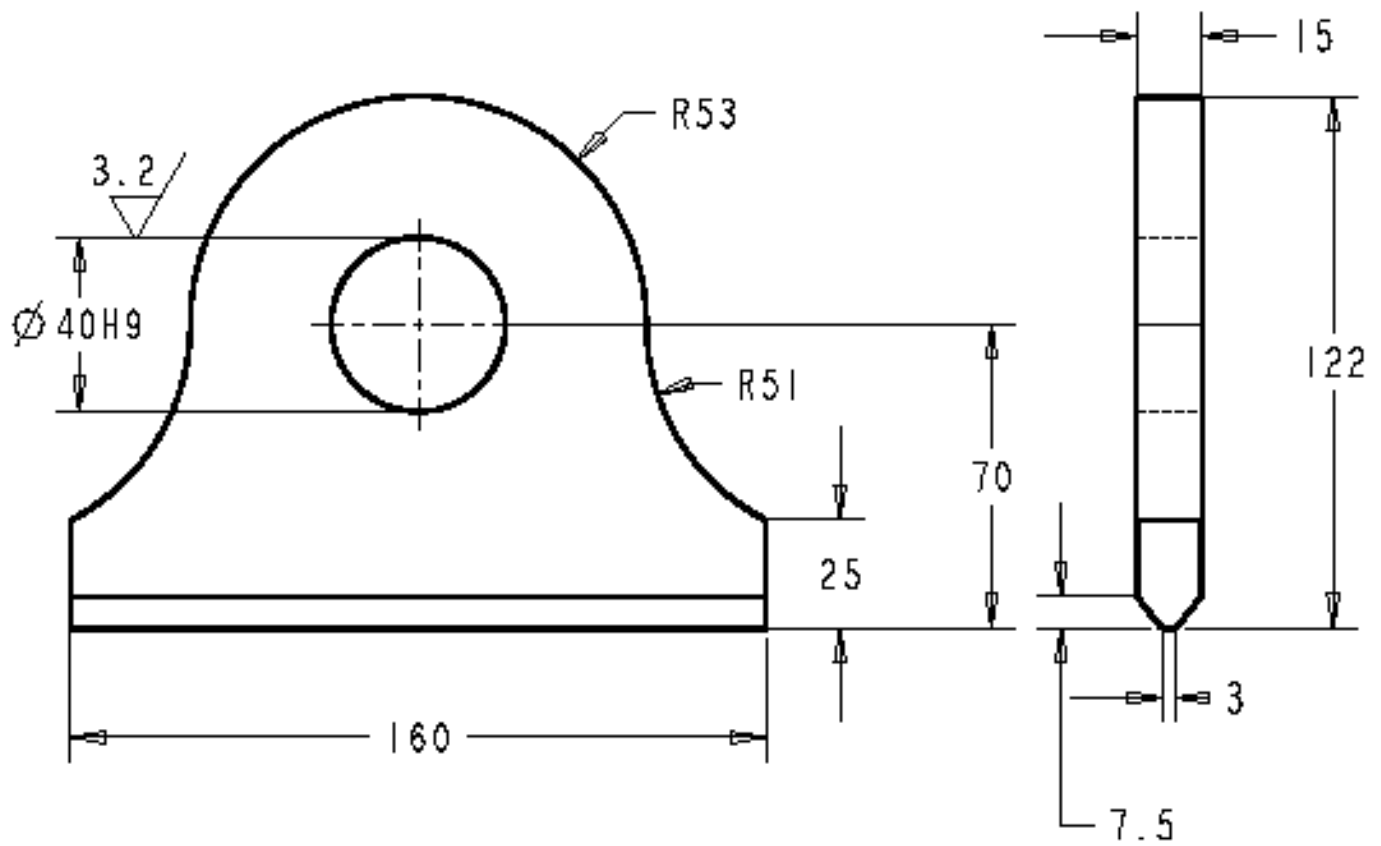
4	1004	SILINTERIHÄMÖALAIKU						2	
3	1001	PERUULEY			LARJU	L=2500		1	
2	1001	NOVAIDA						2	
1	1009	HEILILEY						1	
004	Pilvusturvo	0009	Gen. tai tekn. suunnittelu	Standardi: tai laatu	Materiaali:	mitat laajuus	Luokka	001	
Viikkilaskenta		Mittaus	Tarko	Liittely					
SFS-EN 1023-1-9 (2005)		0070	LARJU	LARJU	LARJU				
Pilvit	00-20-13 6 km	PKAMK					Enn.		
Kasa									
Tark						Pilvusturvo			
tyr						1012			



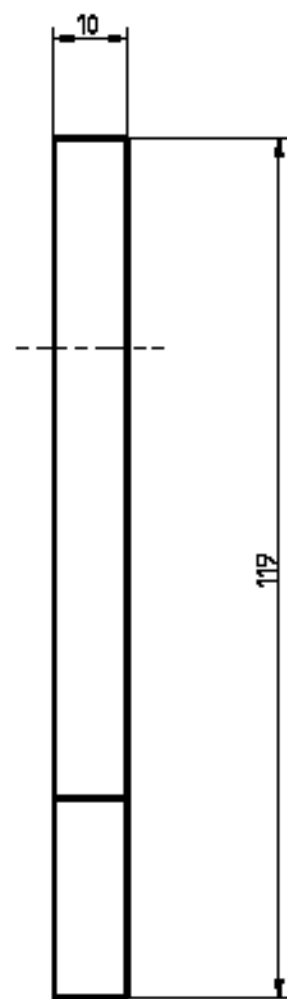
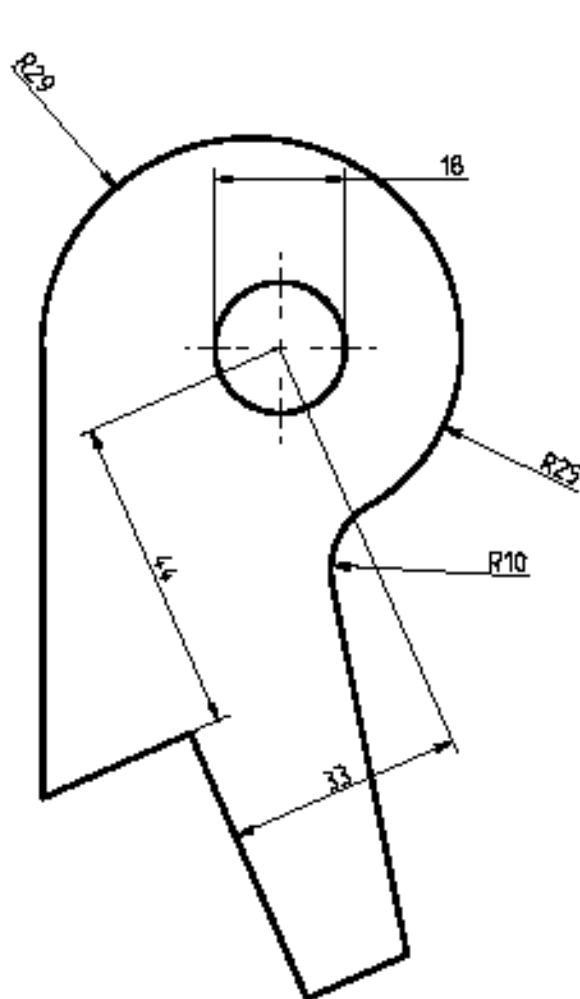
I	1008	Huulilevy		PL12 2500x100	Imetra MS 418	I	
Qsa	Piirustusnumero	Osaan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai isettele	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Laeta	Kpl	
Yliaiotoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
BFS-EM 1883-1-B (2005) ISO 2768-1:1988 EN 22748-1:1993		0,300	Huulilevy	Larsen	HUULILEVY		
Piir+	Sep-28-13 Sino	Määrä 23kg	PKAMK		Ent	Uusi	Rsp
Suun	Piirustusnumero						
Tark	1009						
Hyr							



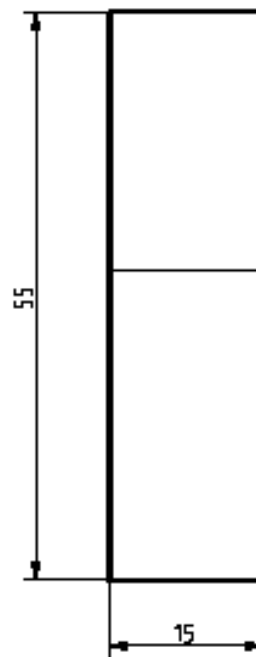
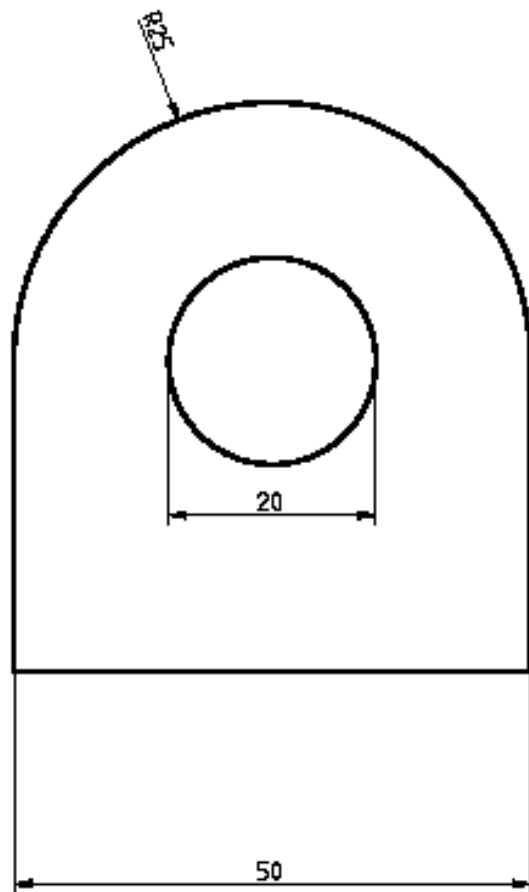
I	1001	Korvakko	ISO	PL20 220x300	S355	5	
Qaa	Piirustusnumero	Osaan tai kokoonpanosarjahan nimitys	Standardi tai laettele	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Laeta	Kpl	
Yleisetoleranssit ISO 2768-1:1989		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
		Q,400	Korvakko	Larsen	KORVAKKO		
Piirt	Simo	Massa 5,5kg	PKAMK		Ent	Uusi	Rev
Suun	Simo				Piirustusnumero		
Tark					1001		
Hyr							



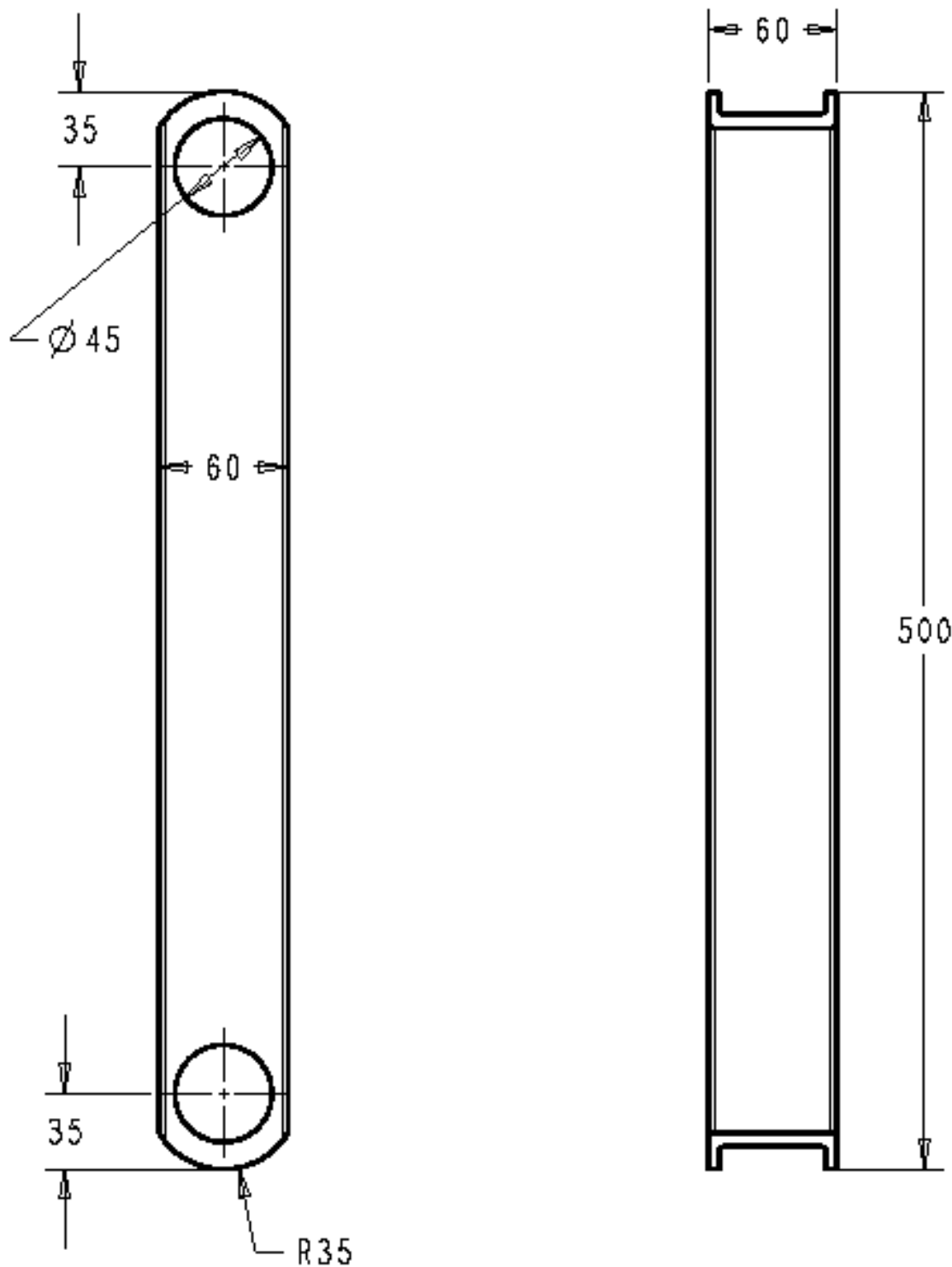
I	1004	Sylinterikorvakke	ISO	PL15 1801122	S355	2	
Geo	Piirustusnumero	Osaan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai laettele	Nuoto, malli, mitat Lajimerkki	Luotsi	Kpl	
Yleistalennusit ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
		0,800		Larsen	SYLINTERIKORVAKKO LARSU		
Piirt	Sep-23-13 Sino	PKAMK			Ent	Uusi	Rev
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa 1,5kg				1004		
Hyr							



I	1031	osasto_ala_korvakko		PLID	e355		
Qaa	Piirustusnumero	Osaan tai kokonaisuusryhmän silmitys	Standardi tai laettele	Nuoto, melli, mitat Leijimerkki	Laetu	Kpl	
Yleisohjeet ISO 2150-1:1999 EN 22788-1:1993		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
		1:1	Nostosylinterin alakorvakko	Larse	NOSTOSYLINTERIKORVAKKO		
Piirrt	250114 Simo		PKAMK		Ent	Uusi	Res
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa 0,2kg				1031		
Hyr							

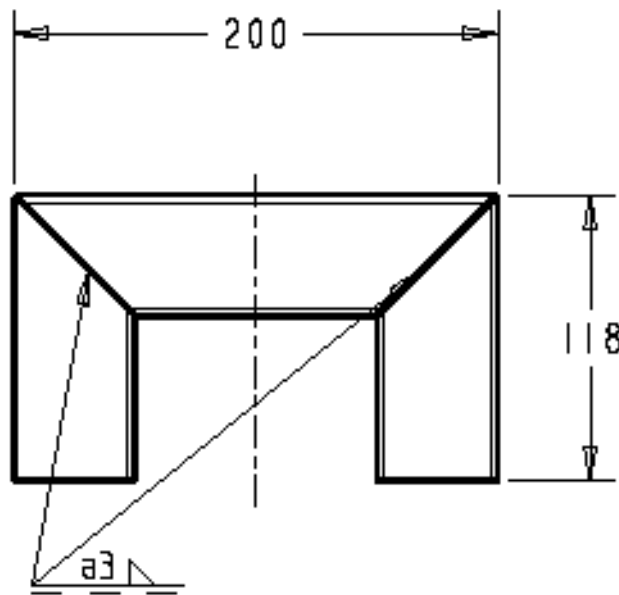


1	1032	synterikorvake		PLID	355	2
Qtd	Piirustusnumero	Osaan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai isettele	Kuoto, malli, mitat Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleisetoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys	
ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		32	Nostosylinteri yläkorvake	Lärsen	NOSTOSYLINTERIYLAKORVAKKO	
Piir+	250114 Piir+Ajä		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun				Piirustusnumero		
Tark	Massa 0,2kg			1032		
Hyr						

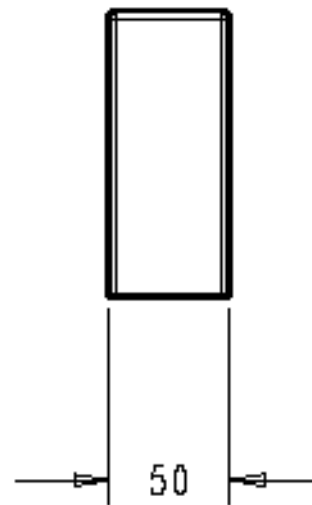


Päät pitää pyöristää tai viistää että varsi
mahtuu liikkumaan korvakoiden
välissä

I	1008	Nostevarsi		RP60x60x5	S355	4
Qtd	Piirustusnumero	Osaan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai laeettele	Nuoto, malli, mitat Leijlmerkki	Luokka	Kpl
Yleistaloteränsäät		Mittakuva	Tuote	Liittyy	Nimitys	
SFS-EN 10083-1-8 (2005) ISO 2168-1:1988 EN 22748-1:1993		0,360	RP60X60X5	Larsen	60X60X5	
Piirt	Sep-27-13 Sino		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun				Piirustusnumero		
Tark		Massa 4.1kg		1008		
Hyr						

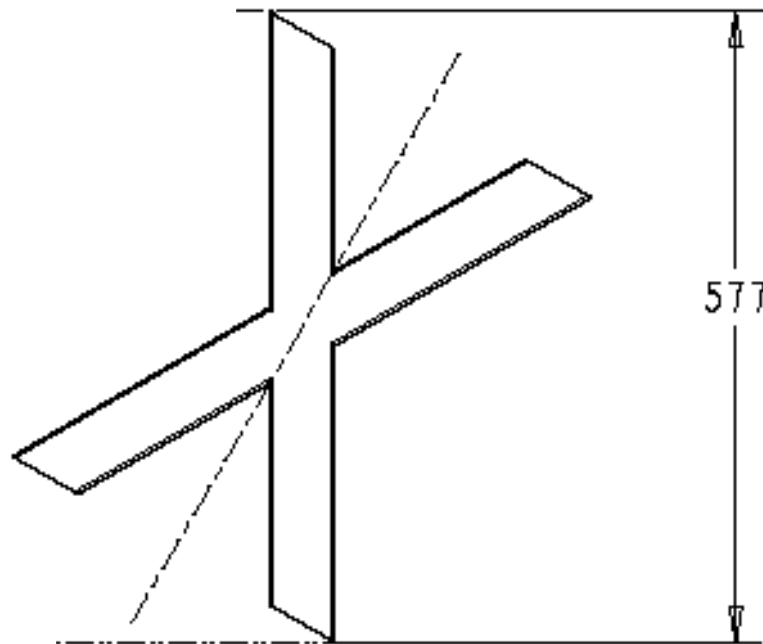
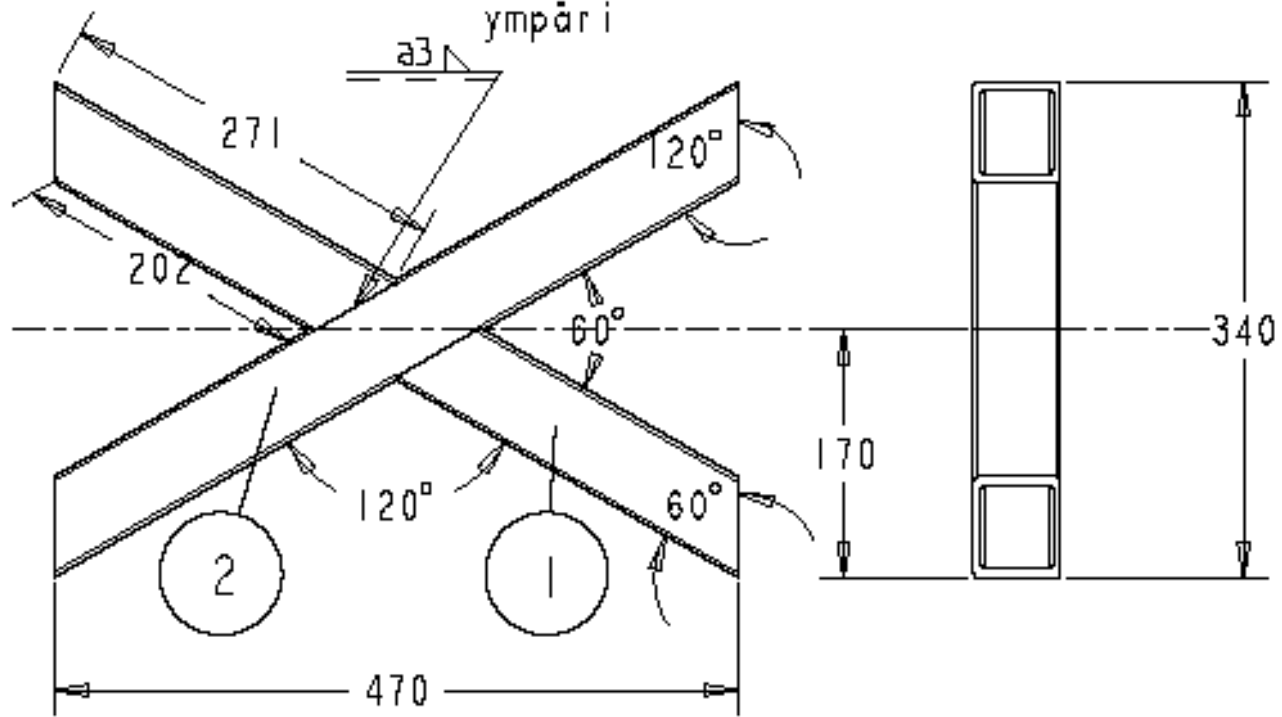


Hitsataan annetulla
α-mitalla ympäri



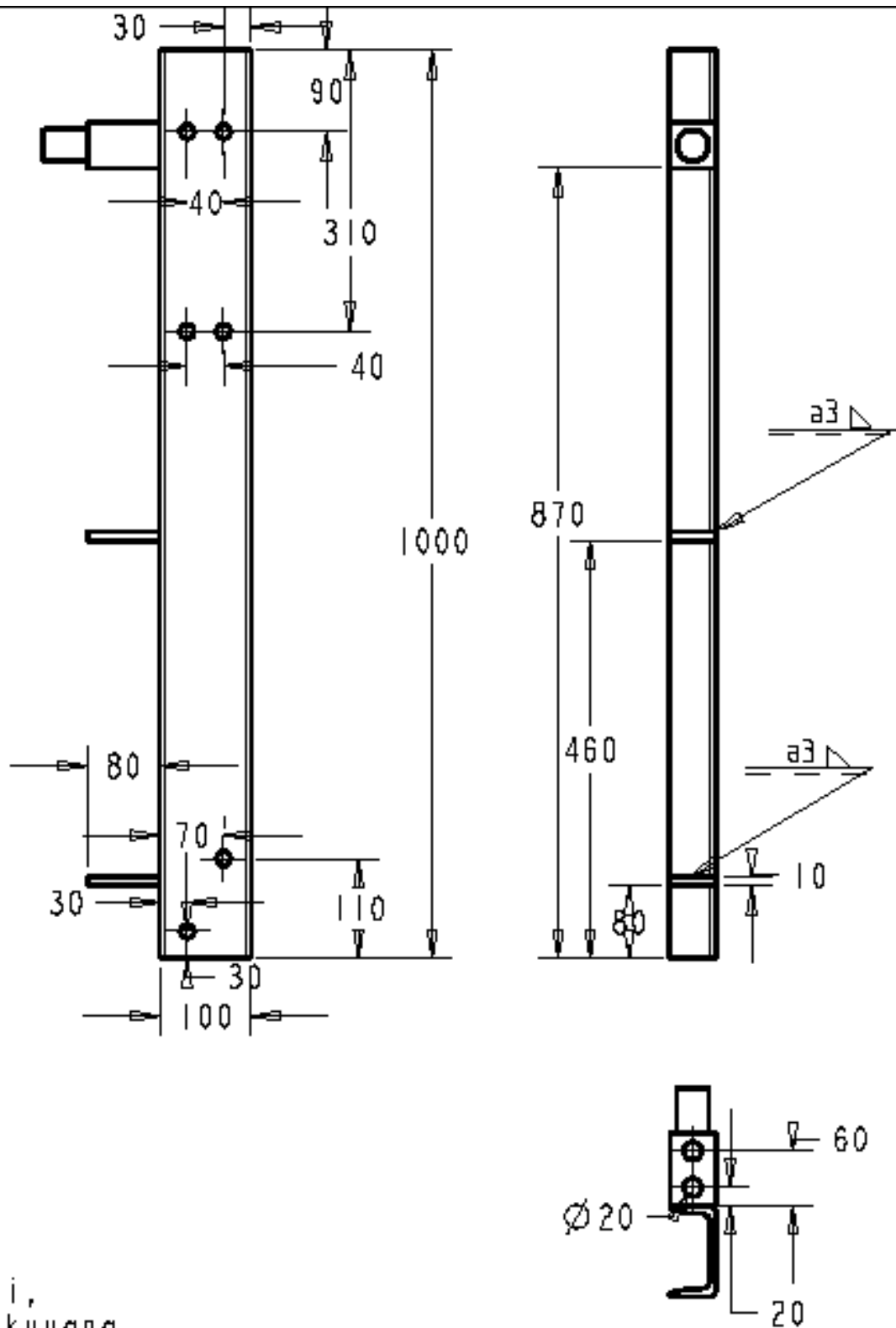
I	1020	nostovarsien valituki		RP 50x50x4	r355	I	
Geo	Piirustusnumero	Osaan tai kokonaisuusryhmän sijainti	Standardi tai laettele	Kuoto, malli, mitat Leijmerkki	Laeta	Kpi	
Yleisohjeet		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
BFS-EM 1883-1-B (2005)		0,333	Larsen	Nostovarret	NOSTOVARSIEN VALITUKI		
Piirt	Oct-23-13 Sino	Massa 2kg	PKAMK		Ent	Uusi	Rev
Suun	Piirustusnumero						
Tark	1020						
Hyr							

Putket hitsataan toisiinsa
annetulla a-mitalla
ympäri



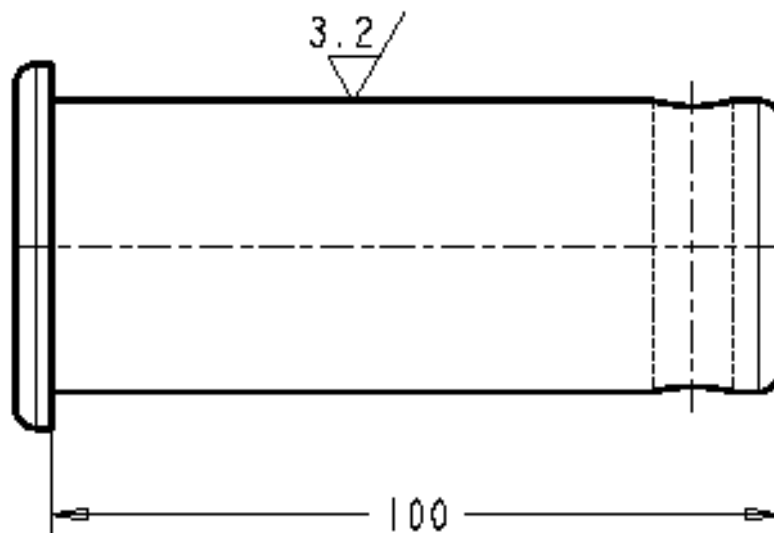
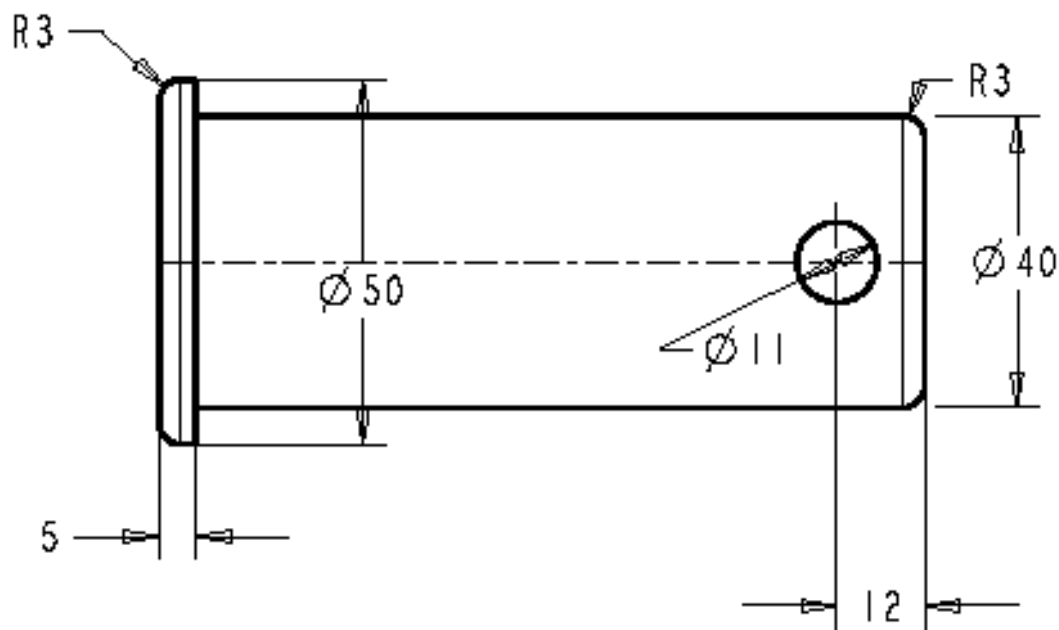
SCALE 0.150


2		RP 50x50x4		RP 50x50x4 - ST1	S355	1	
1		RP 50x50x4		RP 50x50x4 - 2T1	S355	2	
Geo	Piirustusnumero	Osen tai kotoenpääryhmä nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat Lajimerkki	Luotu	Kpl	
Tietotietokoneasi SFS-EN 1083-1-B (2005)		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
		0.200	Ristituki	Larsen	RISTITUKI		
Piirt	Sep-28-13 Sima	PKAMK			Ent	Uusi	Rea
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa				1016		
Hys							

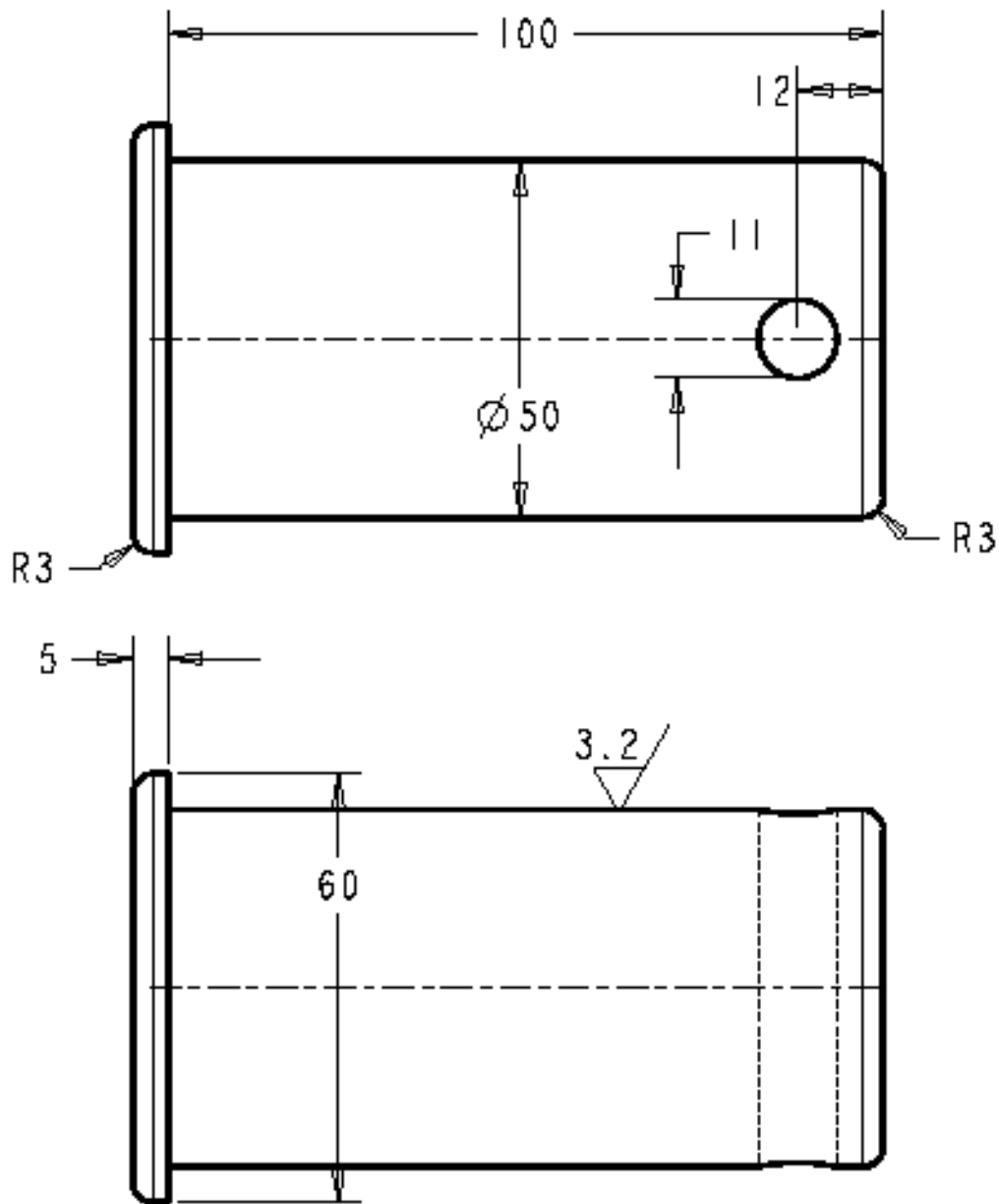


Tehdään kaksi,
 toinen peilikuvana
 ilman putkikorvakoita ja venttiiliä

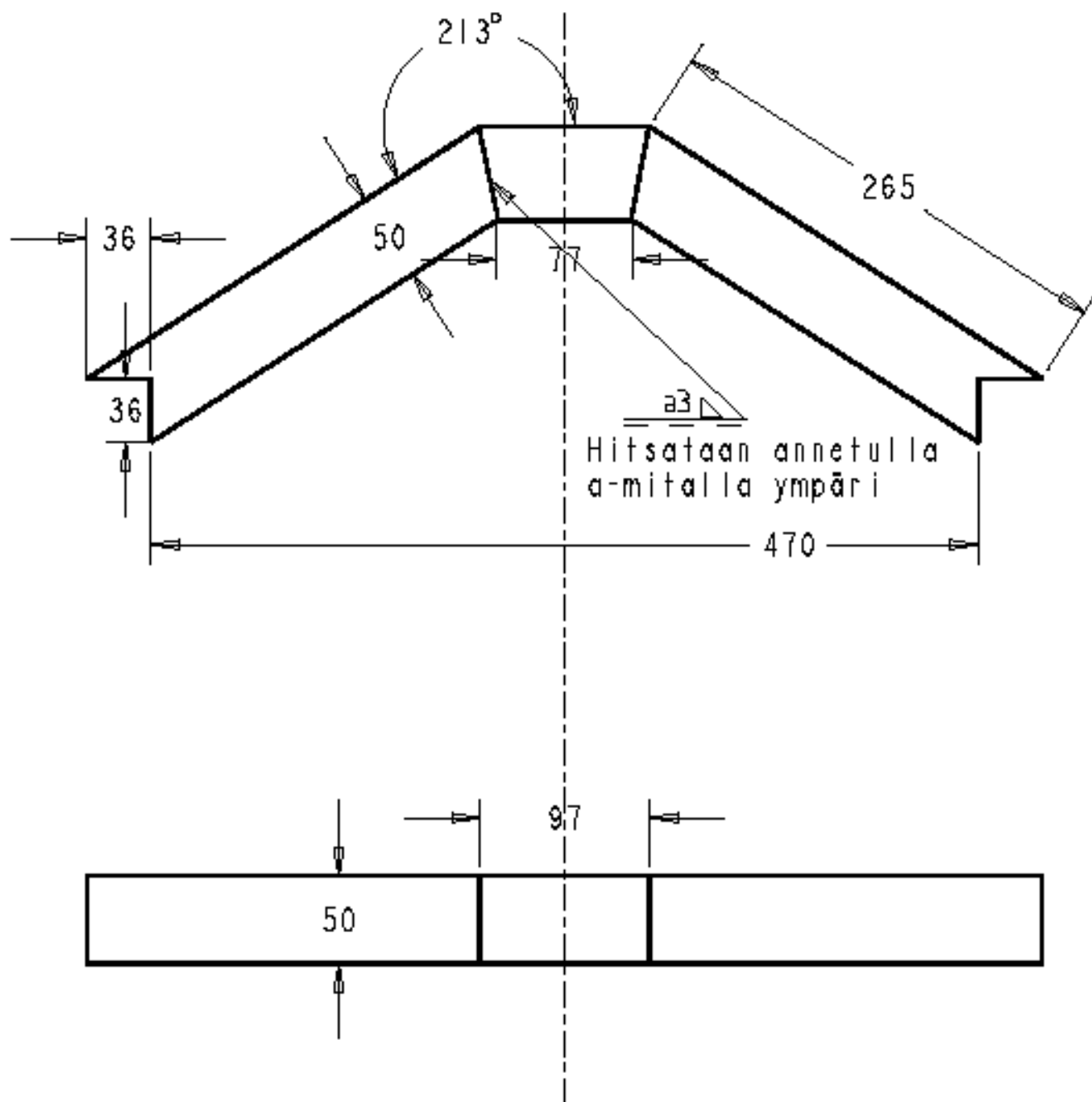
I	1022	UNP100		UNP100	±355		
Qso	Piirustusnumero	Osa tai kotoenpoisryhmän nimitys	Standardi tai laettele	Nuoto, malli, mitat Leijlimerkki	Loets	Kpl	
Yleistoleranssit SFS-EN 1883-1-B (2005)		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
		0,150	UNP100	Larsen	UNP100		
Piirt	Oct-23-13 Sino	PKAMK			Ent	Uusi	Rev
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa				1022		
Hyr	15kg						



I	1013			Reusd bar Ø50	Imetro550		
Gsa	Piirustusnumero	Osan tai kokonaisuusryhmän nimitys	Standardi tai laettele	Muoto, malli, mitat Lejimerkki	Laetu	Kpl	
Yleistoleranssit ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		Mittakaava 1000	Tuote	Liittyy Larsen	Nimitys TAPPI40		
Piirt Suun	Sep-23-13 Sino Sino		PKAMK		Ent	Uusi	Rev
Tark	Massa				Piirustusnumero 1013		
Hyr	1kg						



I	1014			Reusd bar Ø80	Imetra550	I
Geo	Piirustusnumero	Osaan tai kotoenpasoryhman nimitys	Standardi tai laettele	Wuoto, malli, mitat Lajimerkki	Laetu	Kpl
Yleistalranasit ISO 2768-1:1989 EN 22768-1:1993		Mittakaava 1000	Tuote	Liittyy Larsen	Nimitys TAPPI50	
Piirt	Sep-23-13 Sino		PKAMK	Ent	Uusi	Rev
Suun				Piirustussumero		
Tark		Massa 1.6		1006		
Hys						



I	1021	ylätuki		RP 50x50x4	±355		
Qtd	Piirustusnumero	Osaan tai kokoensarjoryhmän nimitys	Standardi tai laettele	Nuoto, malli, mitat Leijlmerkki	Laeta	Kpl	
Yleisohjeet SFS-EN 1883-1-B (2005)		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
		0,300	Larsen	nostovärit	YLATUKI1		
Piirrt	Oct-23-13 Sime	PKAMK			Ent	Uusi	Rev
Suun					Piirustusnumero		
Tark	Massa 3.5kg				1021		
Hyr							