

OIKAISULAITTEEN SUUNNITTELU VALAISINPYLVÄILLE

Jussi Saarimäki

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012

Paperikoneteknologian koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) SAARIMÄKI, Jussi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 23.04.2012
	Sivumäärä 35+34	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (x)
Työn nimi OIKAISULAITTEEN SUUNNITTELU VALAISINPYLVÄILLE		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologia		
Työn ohjaaja(t) Sällinen, Pekka		
Toimeksiantaja(t) Tehomet Oy Pasanen, Tomi Takkinen, Marko		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin valaisinpylväsvalmistaja Tehomet Oy:lle, joka sijaitsee Kangasniemellä. Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella oikaisulaite. Tavoitteena oli suunnitella oikaisulaitteelle sellainen konstruktio, joka mahdollistaisi putkien oikomisen mahdollisimman helposti. Aiemmin pylväitä oiottiin lähinnä trukkien ja katt nostureihin kiinnitettyjen vetoliinon avulla. Oikaisulaitteen odotetaan vähentävän työhön tällä hetkellä kuluva aikaa ja tuovan säästöjä viimeistely kustannuksissa, koska tuotannon prosessia saadaan tehostettua. Asiakkaille menevän tuotteiden laadun odotetaan myös paranevan, koska putkia pystytään oikomaan laitteen avulla hallitummin. Suunniteltavan laitteen tuli olla myös ergonominen ja turvallinen käyttäjälleen, mikä näin ollen edistää työhyvinvointia.</p> <p>Opinnäytetyö aloitettiin perehtymällä tuotteen järjestelmälliseen suunnitteluprosessiin VDI 2221 ja alan kirjallisuuteen. Ideoinnin ja tarvittavien alkutietojen jälkeen laitteesta tehtiin luonnoksia, minkä jälkeen edettiin järjestelmällisesti esisuunnittelusta, laitteen viimeistelyvaiheeseen asti.</p> <p>Suunnittelun työvaiheissa käytettiin laajasti erilaisia ohjelmia. Luonnostelussa mallinnettiin CATIA V5R17 -ohjelmalla erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja tulevan laitteen konstruktiolle. Kehittelyvaiheessa siirryttiin käyttämään Autodesk Inventor Professional 2012 -ohjelmaa, jonka avulla mallinnettiin laitteesta kuvia kehittelyvaiheesta aina tuotantokuviin asti. FEM-pohjaista lujuuslaskentaa tehtiin laitteen osille Abaqus CAE -ohjelmaa käyttäen, sen avulla laitteeseen kohdistuvat rasitukset saatiin selville. Koko prosessin ajan muiden ohjelmien rinnalla käytettiin Mathcad-laskentaohjelmaa ja AutoCAD Mechanical 2012 -ohjelmaa muun muassa laskujen, mittojen ja yksinkertaisten osien nopean hahmottamisen helpottamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin tuotettua koneen valmistukseen vaadittavat dokumentit kuten: osa- ja kokoonpanokuvat, asennuskuvat ja osaluettelot. Tuotettujen dokumenttien avulla saatiin kustannustehokkaasti suunniteltu oikaisulaite Tehomet Oy:n käyttöön.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Tuotekehitys, Tuotesuunnittelu, Valaisinpylväs		
Muut tiedot		



Author(s) SAARIMÄKI, Jussi	Type of publication Batchelor's Thesis	Date 23.04.2012
	Pages 35+34	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (x)
Title DESIGNING A STRAIGHTENING DEVICE FOR LIGHTING POLES		
Degree Programme Paper Machine Technology		
Tutor(s) Sällinen, Pekka		
Assigned by Tehomet Oy Pasanen, Tomi Takkinen, Marko		
Abstract <p>The thesis was made for a lighting pole manufacturer, Tehomet Oy which is located in Kangasniemi. The purpose of this thesis was to design a straightening device. The aim was to design such a construction which would enable the straightening of poles as easy as possible. Formerly the poles were straightened with the help of robes attached to trucks and roof cranes. The straightening device is expected to reduce the amount of time consuming at the moment for straightening and expected to bring savings in finishing costs because the manufacture process accelerates. The quality of the products delivered to customers is also expected to improve because the straightening device enables more controlled straightening of poles. The designed device was supposed to be ergonomic and safe to its users which under the circumstances advance workplace welfare.</p> <p>The thesis was started by familiarizing with the organized design process VDI 2221 of the products and the literature of the field. After creation and requisite beginning knowledge drafts were made from the device. After this it was preceded systematically from the predesign to the finishing state of the device.</p> <p>Different programs were widely used at the stages of the designing process. In the sketching process there were many alternative solutions for the construction of the device modeled with CATIA V5R17 program. In the development phase it was moved on to use Autodesk Inventor Professional 2012 program with which pictures were modeled from the development phase till production pictures. Strength calculations based on the Finite element method were made for the parts of the device using Abaqus CAE program. With the calculations the stresses focused on the device were found out. During the whole process Mathcad calculation program and AutoCAD Mechanical 2012 were used in addition to the other programs. These two programs were used to simplify the conceiving of the calculations, measures and simple parts of the device.</p> <p>The documents as part and assembly pictures, installation pictures and parts list demanded for the manufacture of the straightening device were gained as a result of the thesis. With the produced documents a cost-effective straightening device for the use of Tehomet Oy.</p>		
Keywords Lighting pole, Product design, Product development		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	4
1.1	Työn rajausta ja menetelmät.....	4
1.2	Työn tavoitteet	6
2	TOIMEKSIANTAJA TEHOMET OY	6
2.1	Yrityksen historia	7
2.2	Valaisinpylvään valmistus.....	8
2.3	Nykyinen menetelmä.....	8
3	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS	9
3.1	Tehtävänasettelu.....	9
3.2	Oikaisulaitteen ratkaisumallien ideointi	10
3.3	Oikaisulaitteen vaatimukset.....	10
4	RATKAISUMALLIEN LUONNOSTELU.....	11
4.1	Luonnostelun työvaiheet	11
4.2	Ratkaisumallit.....	13
4.2.1	Ratkaisumalli 1.....	14
4.2.2	Ratkaisumalli 2.....	15
4.2.3	Ratkaisumalli 3.....	16
4.2.4	Tukipukki	17
4.3	Ratkaisumallien arviointi.....	18
4.4	Ratkaisumallien yhdistäminen	18
4.5	Ratkaisumallin valinta	19
5	OIKAISULAITTEEN KEHITTELY	20
5.1	Kehittelyn työvaiheet.....	21
5.2	Oikaisulaitteen konstruktio	22
5.2.1	Runko	22
5.2.2	Takavaste.....	23
5.2.3	Vastintuki.....	24
5.2.4	Sylinteripesä	25
5.2.5	Puskin	26
5.2.6	Tukipukki	27
5.3	Oikaisulaitteen konstruktion arviointi	28
6	HYDRAULIIKKA.....	28
6.1	Oikaisulaitteen hydraulijärjestelmä.....	28

6.2	Toiminta	29
6.3	Mitoitus.....	30
6.3.1	Sylinteri.....	30
6.3.2	Hydraulipumppu	30
6.3.3	Sähkömoottori	30
6.3.4	Hydrauliputket ja letkut.....	31
7	LUJUUSLASKUT.....	31
8	VIIMEISTELY	32
9	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	
	Liite 1. Alustava vaatimusluettelo.....	36
	Liite 2. Lopullinen vaatimusluettelo.....	37
	Liite 3. Tuotantokuvat	38
	Liite 4. Takavasteen FEM-mallinnus.....	52
	Liite 5. Asennuskuvat.....	54
	Liite 6. Hydrauliikkakaavio	57
	Liite 7. Lujuuslaskut ja hydraulijärjestelmän laskut	58
	Liite 8. Tappi ja keskirullat	68
	Liite 9. Osaluettelo	69
	KUVIOT	
	KUVIO 1. Suunnitteluprosessin eteneminen	5
	KUVIO 2. Tehomet Oy:n tuotteita.....	7
	KUVIO 3. Nykyinen oikaisumenetelmä.....	8
	KUVIO 4. Luonnostelun työaskeleet	12
	KUVIO 5. Ratkaisumalli 1	14
	KUVIO 6. Ratkaisumalli 2	15
	KUVIO 7. Ratkaisumalli 3	16
	KUVIO 8. Tukipukin luonnos	17
	KUVIO 9. Kehittelyvaiheen 3D-malli.....	19
	KUVIO 10. Kehittelyn työaskeleet.....	21
	KUVIO 11. Laitteen runkorakenne	22
	KUVIO 12. Takavaste kiinnitettynä runkoon.....	23
	KUVIO 13. Vastintuki	24

KUVIO 14. Sylinteripesä.....	25
KUVIO 15. Puskin	26
KUVIO 16. Tukipukki.....	27
KUVIO 17. Viimeistelyn työskeleet.....	32

1 JOHDANTO

Tuotannon lisääntymisestä johtuvan kasvun ja asiakkaiden tuotteelta vaatiman laadun johdosta Tehomet Oy:n on etsittävä uusia näkökulmia tuotannon tehostamiseen. Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella sellaisen oikaisulaitteen konstruktio, joka pystyy oikaisemaan kuumasinkityksessä käyristyneitä putkia mahdollisimman hallitusti ja tehokkaasti. Työn aihe oli lähtöisin Tehomet Oy:n ehdottamana, koska tällaiselle laitteelle on tuotannon viimeistelyvaiheessa ilmennyt tarvetta. Ennen opinnäytetyössä suunniteltua laitetta pylväät oiottiin viimeistelyssä lähinnä trukkien ja kattonostureihin kiinnitettyjen vetoliinujen avulla. Laitteen avulla pyritään pääsemään eroon tästä vaikeasti hallittavasta tavasta oikoa pylväitä.

Työn tuloksena saatavan ratkaisun odotetaan vähentävän työhön aiemmin kulunutta aikaa ja tuovan säästöjä viimeistelykustannuksissa, koska tuotantoprosessia saadaan tehostettua. Asiakkaille menevän tuotteiden laadun odotetaan myös paranevan, koska putkia pystytään oikomaan laitteen avulla hallitummin. Suunniteltavan laitteen tuli olla myös ergonominen ja käyttäjälleen turvallinen, mikä edistää työhyvinvointia.

1.1 Työn rajaus ja menetelmät

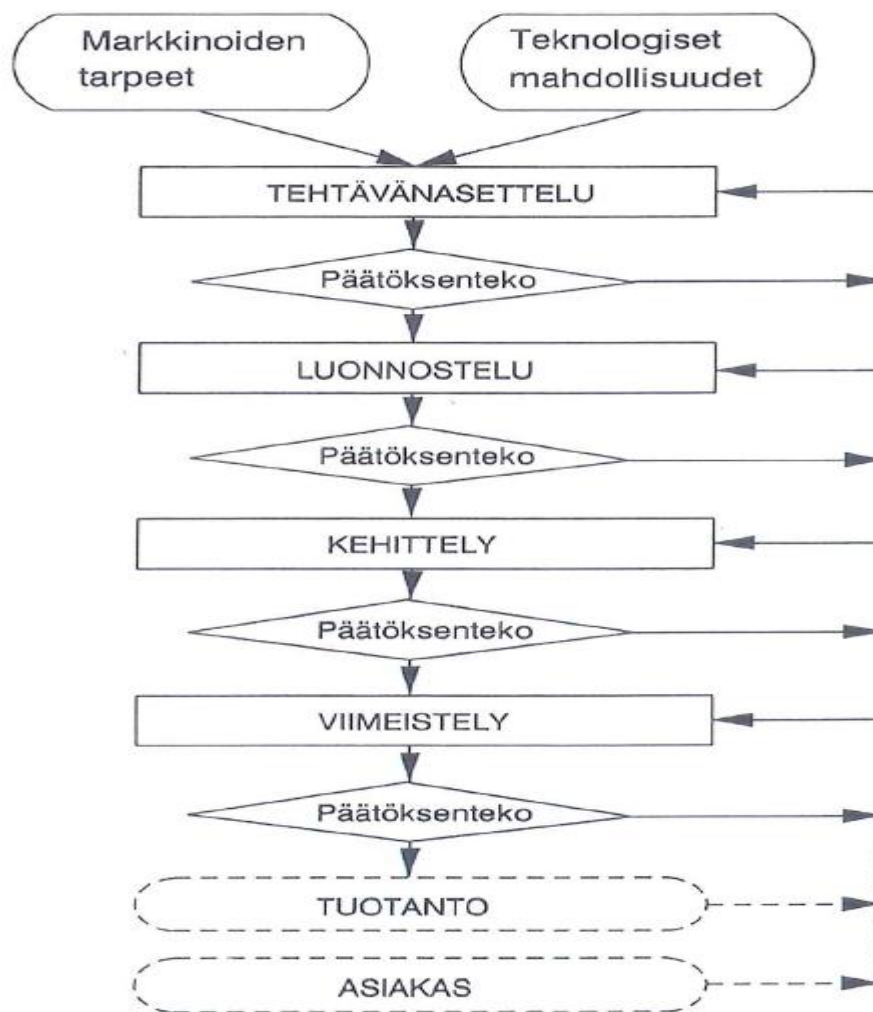
Työ rajattiin koskemaan vain laitteen konstruktion suunnittelua, johon kuuluivat itse laite ja kaksi kappaletta apupukkeja. Laitteeseen liittyvien oheislaitteiden suunnittelu, kuten hydrauliiikan liittimet, tankit, suodattimet ja ruuvitavarat, jätettiin laitteen rakentajalle. Laitteen suunnittelussa täytyi toki huomioida laitteen toiminta oheiskomponenttien kanssa, joten perehdyin komponenttien toimintaan muun muassa piirtämällä yksinkertaistetun hydrauliiikkakaavion ja laskemalla hydrauliiikassa tarvittavien komponenttien rasitukset, jonka pohjalta komponentit voidaan valita.

Opinnäytetyössä käytettiin tuotteen järjestelmällisen suunnitteluprosessin menetelmää VDI 2221, joka jakautuu neljään päävaiheeseen: tehtävänasettelu, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Työssä edettiin järjestelmällisesti metodin mukaan, ja jokaisen päävaiheen jälkeen käydään läpi tärkeimmät pääkohdat päätöksentekovaihees-

sa. Suunnitteluprosessin kulku on esitetty kuviossa 1. Tehtyjen päätösten mukaan edettiin prosessissa eteenpäin kohti valmista laitetta. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 8-9.)

Järjestelmällisellä suunnittelulla tehostetaan suunnittelun osuutta, parannetaan toiminnan ja tuotteen laatua, lyhennetään suunnitteluun käytettävää aikaa sekä helpotetaan suunnittelun organisointia. (Tuotteen järjestelmällinen suunnittelu 1991, 8.)

Suunnittelussa apuna käytettiin 3D-mallinnuksen työkaluja helpottamaan ratkaisujen tekemistä eri vaihtoehtojen välillä. Työssä käytetyt mallinnustyökalut olivat CATIA V5R17, Autodesk Inventor Professional 2012, Abaqus CAE ja AutoCAD Mechanical 2012.



KUVIO 1. Suunnitteluprosessin eteneminen (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 9)

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena voidaan pitää sellaisen ratkaisun löytämistä ongelmalle, joka soveltuu yrityksen tarpeisiin. Ratkaisun päämääränä on päästä tilanteeseen, jossa laitteesta on luotu tuotantokuvat joiden pohjalta koneen rakenne on mahdollista valmistaa. Lopullisen ratkaisun odotetaan vähentävän työhön tällä hetkellä kuluvaan aikaa ja tuovan säästöjä viimeistelykustannuksissa, koska tuotantoprosessia saadaan tehostettua. Säästöjä odotetaan myös tehokkaalta suunnittelulta, joka mahdollistaa laitteen valmistamisen edullisesti. Asiakkaille menevän tuotteiden laadun odotetaan myös paranevan, koska putkia pystytään oikomaan laitteen avulla hallitummin. Tavoitteena työssä on myös kehittää opinnäytetyöntekijän omia vahvuuksia ja laajentaa ammatillista osaamista suunnittelijan työssä.

2 TOIMEKSIANTAJA TEHOMET OY

Tehomet Oy on vuonna 1979 Kangasniemelle perustettu yritys, joka valmistaa metallisia ja puisia erikoisvalaisinpylväitä, mastorakenteita sekä komposiittipylväitä. Vuonna 2005 perustettiin Tehomet Baltic Viron tehdas palvelemaan paremmin Baltian asiakkaita. Tehometin erikoisosaaminen voidaan tiivistää yksilöllisten ja laadukkaiden tuotteiden suunnittelusta asiakkaan toiveiden mukaan aina jatkuvaan tuotekehitykseen asti. (Yritys 2012)

Tehometin asiakaskuntaan kuuluvat niin pienet kuin suuret yritykset sekä urakoitsijat maailman laajuisesti. Tärkeimpiä kauppakumppaneita ovat kuitenkin pohjoismaiden lisäksi Baltian maat ja Venäjä. Tehomet työllistään noin 50 henkilöä Suomessa ja Virossa. Valaisinpylväiden kokonaismäärä oli vuonna 2008 noin 60000 kappaletta, josta 80 % koostui kotimaan myynnistä ja loput viennistä. Teräksen käyttö vuositasolla on noin 3300 tonnia. (Konserni 2012)

Tehomet kuuluu nyt osaksi Valmont Industries -konsernia, joka osti kangasniemeläisen yrityksen keväällä 2007. Tehomet onkin tämän liitoksen myötä saanut maailmanlaajuisia markkina-alueitaan ja tuotevalikoimaansa kasvatettua. (Yritys 2012)

Tällä hetkellä Tehomet on Suomen suurin valaisinpylväiden ja -varsien valmistaja, kun otetaan huomioon yrityskoko ja markkinaosuus. Tehomet on saanut vuosien varrella tunnustusta hyvin tehdystä työstä myös erilaisten palkintojen myötä: Kangasniemen Vuoden Yrittäjä (1996), Vuoden Kuumasinkityspalkinto (1999), Maakunnallinen Vuoden Yrittäjä (2000) ja Valtakunnallinen Yrittäjäpalkinto (2007). (Historia 2012)



KUVIO 2. Tehomet Oy:n tuotteita (Tuotteet 2012)

2.1 Yrityksen historia

Tehometin historia alkaa vuonna 1979 jolloin Pentti ja Airi Ursin perustivat yrityksen Kangasniemelle. Aluksi yrityksen tarkoituksena oli valmistaa Upolle suomalaista Sini-viiri merkkistä pulsaattoripesukonetta ja toimia muiden kodinkone merkkien alihankkijana. Nopeasti huomattiin, ettei toiminta ollut riittävän kannattavaa, joten silloiselle laitteistolle piti etsiä uusia käyttötarkoituksia. Toimintaa laajennettiin ohutlevytuotteisiin, keittiökylmiöihin, lumilapioihin ja postilaatikoihin asti. (Historia 2012)

Ensimmäiset valaisinpylväät valmistettiin vuonna 1980, jolloin kylmiöiden ja pesukoneiden valmistuksesta hiljalleen luovuttiin, koska valaisinpylväiden tuotanto alkoi kasvaa Tielaitoksen suurten hankkeiden avulla. (Historia 2012)

2.2 Valaisinpylvään valmistus

Valaisinpylväät valmistetaan joko rakenneputkista tai kartioista. Pylväät kootaan erilaisia liitostekniikoita hyväksikäyttäen kokonaisiksi pylväiksi hitsaamalla tai laippaliitoksilla. Aihiot pylväiden valmistukseen saadaan suoraan alihankkijoilta toimitettuihin. Toimitetut putket ja kartiot voivat olla sinkittyjä tai niin sanotusti mustaa rautaa ilman mitään käsittelyä. Putket ja kartiot valmistetaan S235 tai S355-materiaalista. Pääsääntöisesti kartiot valmistetaan valmiiksi leikatusta levyaihiosta hitsaamalla pitkittäis-sauma kartion sivulle.

2.3 Nykyinen menetelmä

Nykyisin käytössä olevalla menetelmällä putkien suoristus tapahtuu asettelemalla putken käyrästynyt kohta terässilmukkaan ja katonosturin vetoliina putken toiseen päähän. Taivutus tapahtuu vetoliinaa kiristämällä. Kattonosturin käyttäjä taivuttaa putkea silmämääräisesti sopivan määrän ja putki oikeaa, huonoimmassa tapauksessa putki taipuu yli ja lommahtaa.



KUVIO 3. Nykyinen oikaisumenetelmä

3 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

Laitteen suunnittelun toteutus aloitettiin laskemalla laitteelta vaadittavat voimat, minkä jälkeen prosessissa edettiin luonnostelemalla CATIA V5R17 -ohjelmalla erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja tulevan laitteen konstruktiolle. Kehittelyvaiheessa siirryttiin käyttämään yrityksessä käytössä olevaa Inventor Professional 2012 -ohjelmaa, jonka avulla mallinnettiin laitteesta kuvia kehittelyvaiheesta aina tuotantokuvaan asti. FEM-pohjaista lujuuslaskentaa tehtiin koneen osille Abaqus CAE -ohjelmaa käyttäen, jonka avulla laitteeseen kohdistuvat rasitukset saatiin selville. Koko prosessin ajan muiden ohjelmien rinnalla käytettiin Mathcad-laskentaohjelmaa ja AutoCad Mechanical 2012 -ohjelmaa muun muassa mittojen ja yksinkertaisten osien nopean hahmottamisen helpottamiseksi.

3.1 Tehtävänasettelu

Tuotteen suunnittelu lähtee liikkeelle siitä hetkestä, jolloin on tehty periaatepäätös tuotekehityshankkeen käynnistämisestä. Tehtävänasetteluvaiheessa tuotekehitysprojektille asetetaan asiakkaan ja yrityksen välille yhteiset tavoitteet ja vaatimukset, joihin pyritään mahdollisuuksien mukaan. Tavoitteiden saavuttaminen vaatii molemmilta osapuolilta sitoutumista meneillään olevaa työtä kohtaan, koska muuten lopullisiin ratkaisuihin on mahdotonta päästä. Ratkaisuihin päätyminen edellyttää tehtävässä asetettujen reunaehtojen ja tavoitteiden molemminpuolista ymmärtämistä. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 11–12.)

Opinnäytetyössäni asetettuna tehtävänä oli suunnitella sellaisen oikaisulaitteen konstruktio, joka pystyy oikaisemaan kuumasinkityksessä käyristyneitä putkia mahdollisimman tehokkaasti ja hallitusti. Työlle asetettiin vaatimuksena tuotantokuvien piirtäminen laitteesta lopullista vaatimusluetteloa noudattaen yrityksen käyttöön.

3.2 Oikaisulaitteen ratkaisumallien ideointi

Erilaisia ideointimenetelmiä hyväksikäyttäen saadaan merkittävästi tehostettua prosessia, joka johtaa ratkaisun löytymiseen. Ideointimenetelmillä saadaan aikaan erilaisia ratkaisumalleja, joita voidaan hyödyntää tuotteen suunnittelun edetessä. (Tuotteen järjestelmällinen suunnittelu 1991, 40.)

Intuiitiivinen menetelmä käyttää hyväkseen tietoa, joka on jo käytössä samankaltaisella alalla ja pyrkii hyödyntämään sitä. Alitajunnasta syntyvä idea ongelman ratkaisemiseksi johtaa yleensä siihen, ettei ideaa voida kuvata jälkikäteen täysin tarkasti. Diskursiivinen menetelmä pyrkii analysoimaan ja yhdistelemään systemaattisesti erilaisia ideoita yhdeksi kokonaisuudeksi. Kaikille menetelmille voidaan löytää yhteisiä piirteitä:

- Ei tyydytä ensimmäiseen toteuttamiskelpoiseen ratkaisuun.
- Erotetaan ideoiden etsiminen ja arvostelu toisistaan.
- Pyritään pois totutuista ratkaisuista. (Tuotteen järjestelmällinen suunnittelu 1991, 40.)

Opinnäytetyössä ratkaisumallien ideointi aloitettiin jo syksyllä 2011 käyttäen aivoriihi-menetelmää, jossa pohdimme yhdessä yrityksen kanssa vaihtoehtoisia ratkaisuja laitteen toteutukselle. Aivoriihessä esiin tulleiden ideoiden ja vaatimusluettelon täyttämisen jälkeen päädyttiin yhdistelemään toteutetuista luonnoksista parhaimmat ominaisuudet yhdeksi kokonaisratkaisuksi.

3.3 Oikaisulaitteen vaatimukset

Oikaisulaitteelle määritettiin vaatimukset jo työn alkuvaiheessa alustavan vaatimusluettelon (liite 1) muodossa. Lopullinen vaatimusluettelo (liite 2) laadittiin koneen kehittelyvaiheessa, ja sen pohjalta edettiin aina laitteen viimeistelyvaiheeseen saakka. Vaatimusluettelossa laitteelta vaaditut ominaisuudet jakaantuvat kolmeen kohtaan, joita ovat kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset ja toivomukset (Tuomaala 1995, 80).

Kiinteillä vaatimuksilla tarkoitetaan laitteelta vaadittuja ominaisuuksia, joiden tulisi toteutua kaikissa tilanteissa. Jos tullaan tilanteeseen, jossa kiinteät vaatimukset eivät täyty, tulos ei ole hyväksyttävä. Vähimmäisvaatimuksilla tarkoitetaan laitteelle asetua arvoa tai ominaisuutta, joka pyritään saavuttamaan asetetun rajan mukaan. Toivomuksilla tarkoitetaan tarpeita, jotka pyritään saavuttamaan mahdollisuuksien mukaan, esimerkiksi valmistuksesta aiheutuvat kustannukset voidaan asettaa mahdollisimman pieniksi. Oikaisulaitteen keskeisimpiä vaatimuksia olivat: Vaakasunnassa nivelletty puskin, Sylinterin irrottamisen mahdollistaminen, laitteen käytön helppous ja vastintukien portaaton säädettävyys. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 13.)

4 RATKAISUMALLIEN LUONNOSTELU

Opinnäytetyössä lähdettiin alustavan vaatimusluettelon pohjalta luonnostelemaan ja hahmottelemaan tulevan laitteen rakennetta. Laitteen rakenteeseen vaikuttivat paljolti vaatimusluettelossa esitetyt kriteerit ja ne osaltaan ohjasivatkin laitteen rakennetta yksinkertaiseen suuntaan. Luonnostelua tehtiin nopeaan tahtiin CATIA V5R17 -ohjelmalla, ja 3D-mallien avulla pystyttiin paremmin hahmottamaan haluttavaa konstruktiota. Tutkin vastaavanlaisessa käytössä olevia laitteita ja otin mallia niiden toiminnasta ja pyrin soveltamaan tietoa suunnittelemalleni laitteelle optimaalisen ratkaisun löytämiseksi.

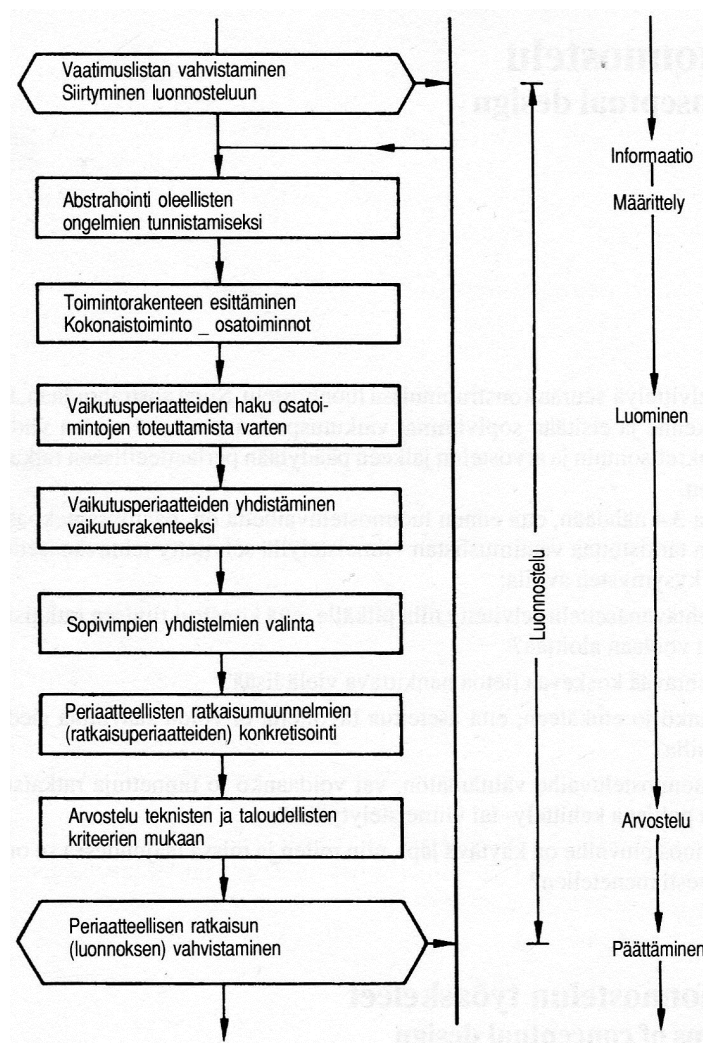
4.1 Luonnostelun työvaiheet

Luonnostelun työvaiheissa suunniteltavasta tuotteesta luodaan vaatimusluettelon pohjalta kokonaiskuva. Toimintojen ja järjestelmän toiminnan kuvauksen kautta päädytään kokonaisjärjestelmän luonnoksiin. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 18.)

Luonnostelu pitää sisällään paljolti luovaa toimintaa, jossa hyödynnetään eri teknikoiden mahdollisuuksia laitetta suunniteltaessa. Tuotesuunnitteluun osallistuvat henkilöt päättävät sen tason millä luonnostelua lähdetään viemään eteenpäin ja mikä sillä hetkellä soveltuu parhaiten käytettäväksi tasoksi. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 18.)

Luonnosteluvaiheen tärkein vaihe on järjestelmään kuuluvien toimintojen mallintaminen. Luonnosteluvaiheen lopuksi saadaan osatoiminnoille ratkaisut, joista valitaan yhdessä kokonaisjärjestelmän kanssa parhaimmat luonnokset kehittämissä vaiheeseen. Tavoitteena tässä vaiheessa on vielä tuottaa enemmän kuin yksi vaihtoehto tuotteen lopulliseksi ratkaisuksi. Muutamilla vaihtoehtoisilla ratkaisuilla vähennetään riskiä tehdä väärää valintaa. Jos kehittämissä- tai viimeistelyvaiheessa huomataan puutteita, on tarjolla vaihtoehtoisia ratkaisuja valmiina. (Mekatronikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 19.)

Järjestelmällisen suunnitteluprosessin VDI 2221 mukaan luonnosteluvaihe on jaettu selkeisiin kokonaisuuksiin, joissa apuna käytetään tuotekehityksen eri tekniikoita. Luonnosteluvaiheen eteneminen on esitetty alla olevassa kuviossa 4.



KUVIO 4. Luonnostelun työaskeleet (Koneensuunnitteluoppi 1990, 71–72)

4.2 Ratkaisumallit

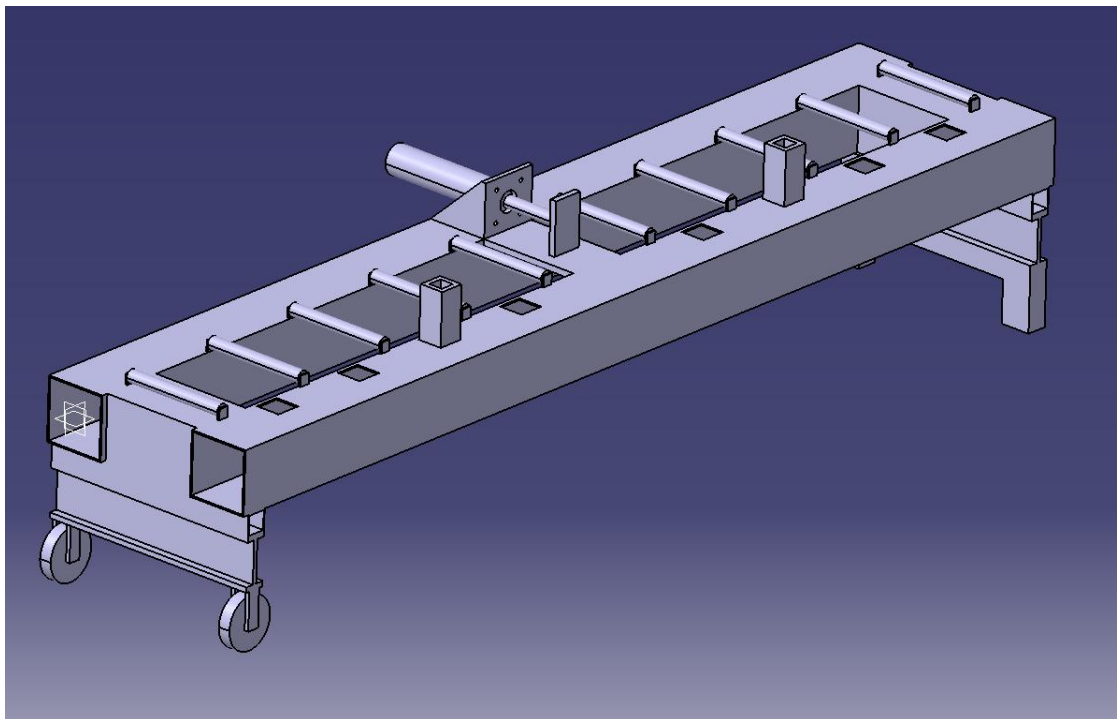
Ratkaisumallien ideointivaiheessa etsitään ratkaisuja osatoiminnoille, jotka muodostavat laitteen kokonaisuuden. Osatoiminnoille etsitään mahdollisimman monipuolisia ratkaisuja, jotka toteuttavat vaaditun toiminnan. Monipuolisen ideoinnin tarkoituksena on vielä tässä vaiheessa ylläpitää suunnitteluprosessin luovuutta, ettei turhalla kriittisyydellä suljeta pois potentiaalisia vaihtoehtoja ratkaisun löytymiseksi. Tässä vaiheessa ei vielä kannata karsita pois heikoimpia ideoita vaan pyrkiä pitämään niitäkin mukana, koska heikoimmilla ideoilla voi olla ratkaiseva merkitys suunniteltavan laitteen lopulliseen rakenteeseen. (Tuomaala 1995, 84–87.)

Luonnosteluvaiheessa tein kolme erilaista vaihtoehtoa vaatimusluettelon pohjalta koneen konstruktiolle ja pyrin löytämään jo tässä vaiheessa toteuttamiskelpoisimpia ideoita luonnoksiini.

4.2.1 Ratkaisumalli 1

Ratkaisumallissa 1 käytetään hydraulikkajärjestelmää, jossa voiman välittäjänä toimii hydraulikkasyylinteri. Sylinterillä aikaansaadaan vaadittu työntöliike putken oikaisemiseksi. Hydrauliikan käyttöä voidaan pitää järkevänä, koska voiman tarve saadaan aikaan suhteellisen pienellä järjestelmällä. Hydrauliikkajärjestelmän hyötynä nähdään myös sylinterin liikenopeuden helppo säädettävyys.

Tässä ratkaisumallissa putken oikaiseminen toteutetaan suorapintaisella puskinlevylä, joka on kiinnitetty työntävän sylinterin päähän. Suorapintaiset vastintuet ovat portaallisesti säädettävissä tietyin välein ja ottavat vastaan putken oikaisemiseksi vaadittavan voiman. Sylinteripesän asettelu on ajateltu koneen keskelle, jotta saadaan laitteen molemmista puolista symmetriset. Tässä mallissa yrityksen käyttöön tullutta vanhan prässin 5000 mm pitkää runkoa voitaisiin hyödyntää. Vanhan rungon hyödyntämisellä säästettäisiin materiaalikustannuksissa huomattavasti. Rungon alapuolelle on ajateltu kiinnittää toiseen päähän jalusta ja toiseen päähän pyörät, jolloin laitteen liikuteltavuus helpottuisi. Vanhan rungon keskellä oleviin väleihin rakennetaan kymmenestä liukurullasta rata, joka helpottaa putken käsittelyä oikaisuvaiheessa. Ratkaisumalli 1 on visualisoitu kuvioon 5.

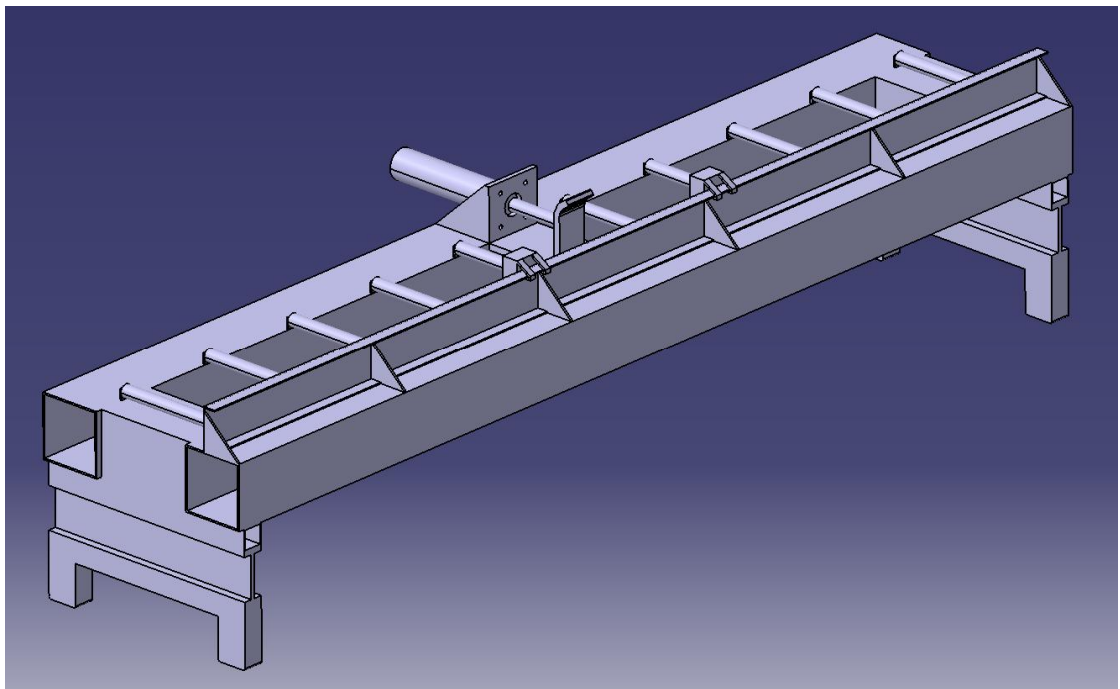


KUVIO 5. Ratkaisumalli 1

4.2.2 Ratkaisumalli 2

Ratkaisumallissa 2 käytetään myös hydraulikkajärjestelmää.

Putken oikaiseminen on ajateltu toteuttaa tässä mallissa muotoillulla puskinlevyllä, joka on kiinnitetty työntävän sylinterin päähän. Suorapintaiset vastintuet tukevat itsensä takavasteeseen, jolloin pystytään portaattomasti säätämään tukia tietyin välein. Portaattomalla tukien säädöllä mahdollistetaan putkien epäsymmetrinen oikaisu ja parhaan mahdollisen oikaisuvälin löytyminen. Sylinteripesän asettelu on ajateltu koneen keskelle, jotta saadaan laitteen molemmista puolista symmetriset. Myös tässä mallissa vanha runko pyritään hyödyntämään. Rungon alapuolelle on ajateltu kiinnittää molempiin päihin jalustat, koska oletetaan laitteen liikuteltavuustarpeen olevan vähäinen. Liukurata on toteutettu kuin mallissa 1. Ratkaisumalli on visualisoitu kuvioon 6.

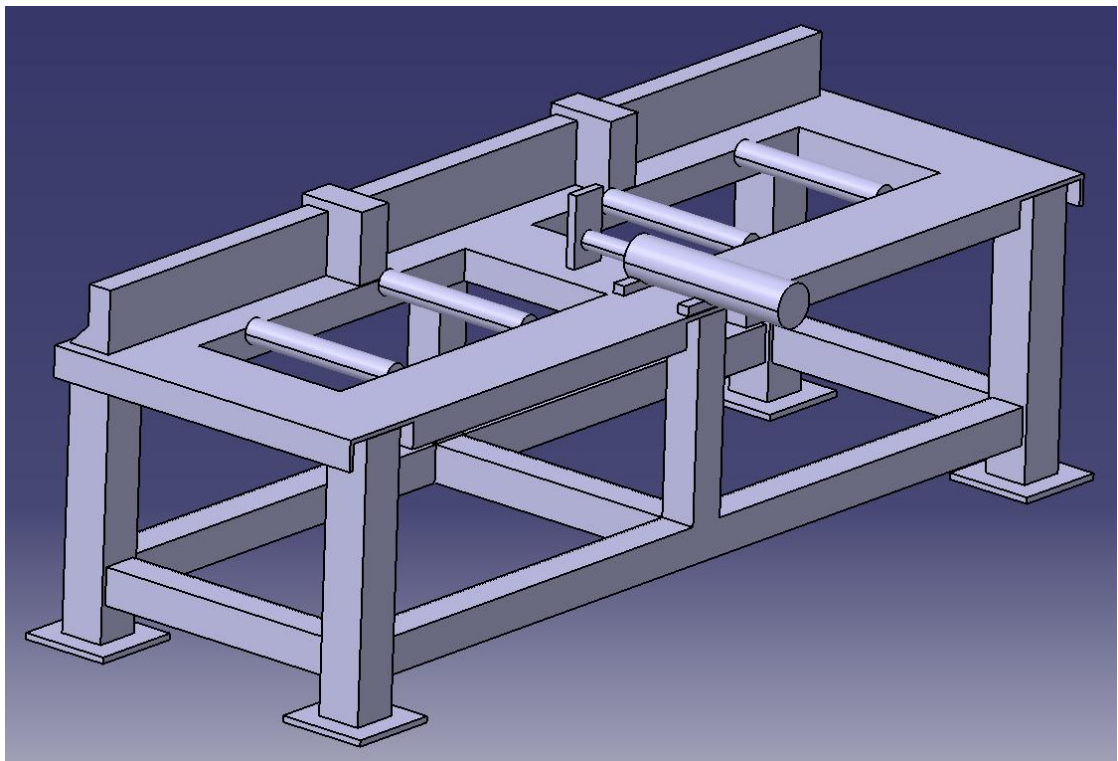


KUVIO 6. Ratkaisumalli 2

4.2.3 Ratkaisumalli 3

Ratkaisumallissa 3 käytetään myös hydraulikkajärjestelmää.

Putken oikaiseminen on ajateltu toteuttaa suorapintaisella puskinlevyllä, joka on kiinnitetty työntävän sylinterin päähän. Suorapintaiset vastintuet on toteutettu kuten mallissa 2. Sylinterin kiinnityspalojen asettelu on ajateltu koneen keskelle, jolloin saadaan laitteen molemmista puolista symmetriset. Teräksinen runkorakenne on ajateltu mitoittaa 3000 mm pitkäksi, jolloin laitteesta saadaan kompaktimpi, tosin valmistus- ja materiaalikustannukset nousevat. Rungon alapuolelle on ajateltu kiinnittää molempiin päihin jalustat, koska oletetaan laitteen liikuteltavuustarpeen olevan vähäinen. Teräksisen rungon suunniteltuihin väleihin rakennetaan liukurullarata, jossa on neljä kappaletta liukurullia kappaleen käsittelyä varten. Ratkaisumalli on visualisoitu kuvioon 7.

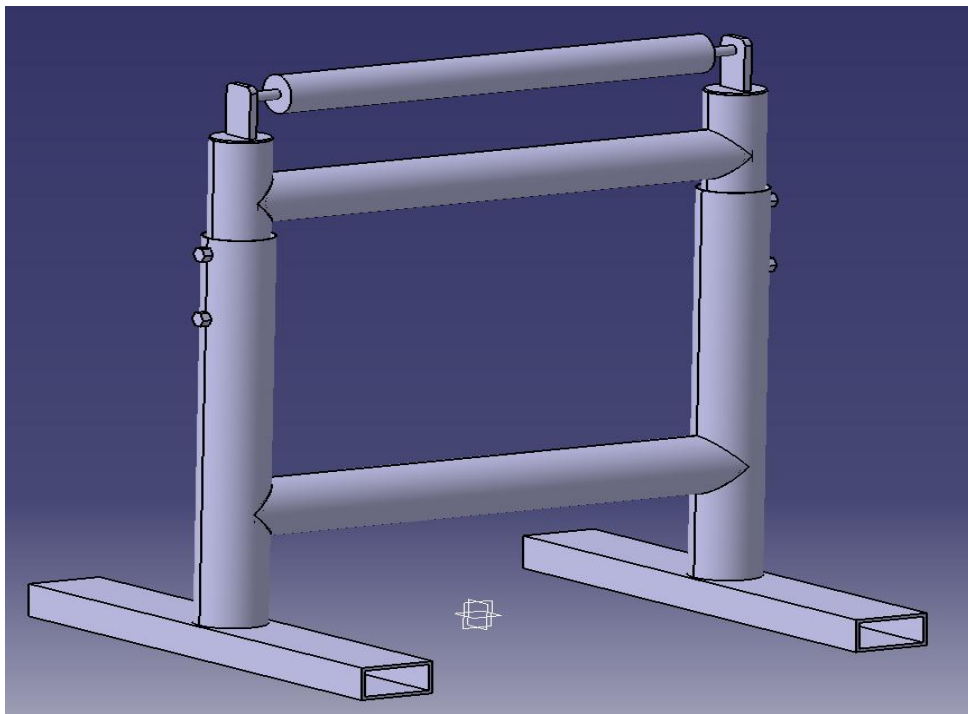


KUVIO 7. Ratkaisumalli 3

4.2.4 Tukipukki

Tukipukki on oikaisulaitteen päähän siirrettävä apuväline, joka mahdollistaa pitkien putkien hallitun oikaisemisen. Tukipukin tehtävänä on oikaisuvaiheessa tukea pitkän pylvään päätä, mikä auttaa pylvään käsittelyä oikaisussa.

Tukipukin työskentelyleveydeksi on ajateltu noin 960 mm, joka vastaa lähes suunniteltavan laitteen leveyttä. Leveyteen vaikutti myös kyseiseen käyttöön tarkoitettujen rullien helppo saatavuus kyseiselle leveydelle. Tukipukin työskentelykorkeus on säädettävissä 900–1400 mm:iin. Korkeudensäätö tapahtuu sisäputkia nostamalla ja uloimpien putkien kyljessä olevia kiristysruuveja kiristämällä. Tukipukin rakenteesta pyrittiin suunnittelemaan vankka ja massan painopiste pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman alas, jolloin rakenne ei kaatuisi niin helposti pienistä kolhaisuista. Tukipukin luonnos on visualisoitu kuvioon 8.



KUVIO 8. Tukipukin luonnos

4.3 Ratkaisumallien arviointi

Parhaimman ratkaisuyhdistelmän löytymiseksi on arvioinnin tueksi laadittava valintataulukko, jonka perusteella eri malleja voidaan vertailla. Valintataulukkoon kootaan tärkeimmät kriteerit, joiden pohjalta esivalintaa tehdään (Tuomaala 1995, 89–90.)

Opinnäytetyön tässä vaiheessa ratkaisumalleja arvioitaessa mallien yhteisiä piirteitä, kuten työskentelykorkeutta, putkien lastattavuutta ja rakenteen riittävää lujuutta ei otettu huomioon, jotta vältettiin turha toisto. Tässä vaiheessa keskityttiin vain mallien eroihin ja niiden arviointiin. Myös tukipukin arviointi jätettiin ulkopuolella sen yksinkertaisen rakenteen takia.

Ratkaisumalleja saatiin yhteensä kolme kappaletta, joiden soveltuvuus käyttöön arvioitiin yhdessä yrityksen kanssa. Jokaisen ehdotuksen kohdalla listattiin asiat mallien hyvistä ja huonoista puolista käyttöä ja valmistusta ajatellen. Laitteen materiaaleihin ja valmistamiseen kuluvat kustannukset otettiin myös huomioon malleja arvioitaessa. Tässä vaiheessa tehtiin jo joitakin karkeita arvioita siitä, mihin suuntaan työtä lähdetään viemään ja millaisia ratkaisuja koneen rakennevaihtoehtoisissa on syytä välttää.

4.4 Ratkaisumallien yhdistäminen

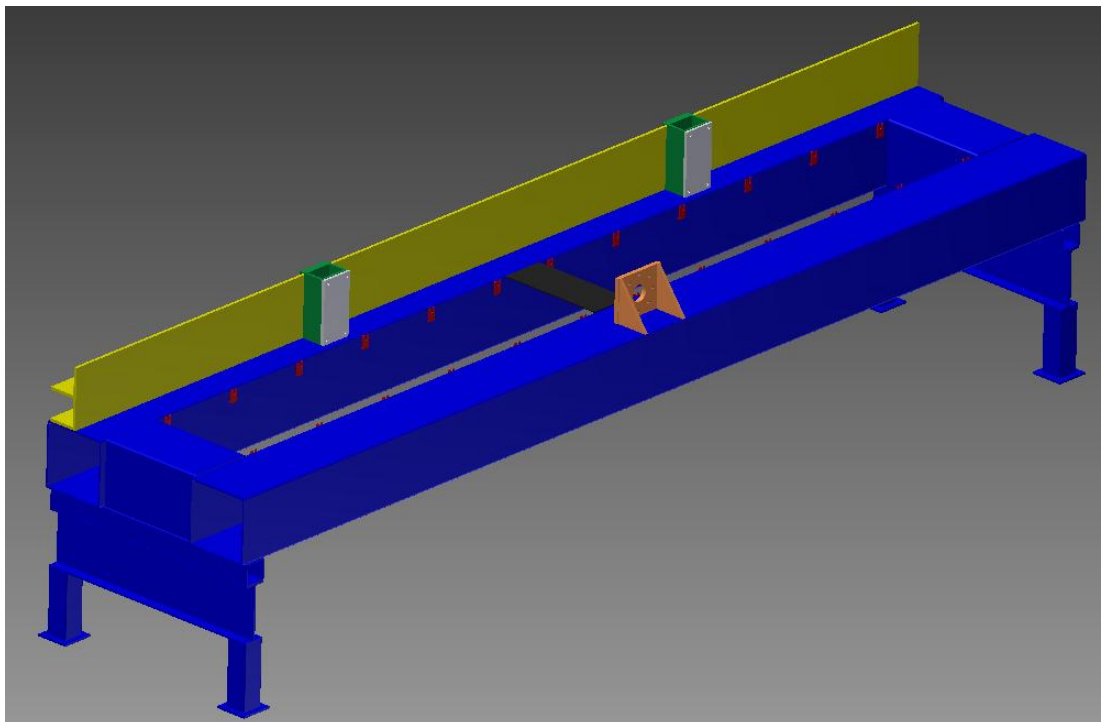
Ratkaisumallien käsittelyn ja arvioinnin jälkeen päästään vaiheeseen, jossa etsitään kokonaisratkaisua laitteen lopulliseksi toteuttamiseksi. Kun kaikki osatoiminnot on käyty läpi ja niiden sisältämät ratkaisuvaihtoehdot määritetty, järjestelmällisen metodin mukaan parhaimmat ratkaisut eri osatoiminnoille yhdistetään, jolloin saadaan laadukkaimmat ja yhteensopivimmat osatoiminnot sisältävä kokonaisratkaisu (Tuomaala 1995, 89–91).

Yrityksen kanssa läpikäydessä ratkaisuvaihtoehtoja tuli esille muutamia seikkoja joihin haluttiin kiinnittää erityistä huomiota. Esiin nousikin muutamia ideoita laitteen osatoimintojen toteuttamiseksi. Päädyimme päivittämään vaatimusluettelo (liite 2) seuraavilla täsmennyksillä: Vastintukien portaaton säätö ja lukitus, liukupinta työntimen alla ja puskimen työnninpinta oltava suora.

4.5 Ratkaisumallin valinta

Järjestelmällisessä menetelmässä tavoitellaan mahdollisimman laajaa ratkaisua, jossa on huomioitu erilaiset näkökulmat ja vaatimukset. Liian kalliit ratkaisut on rajoitettava pois mutta myös oltava varovainen, ettei laitteen toimintaan oleellisesti vaikuttavia ratkaisuja jätetä valinnan ulkopuolelle. Laitteen edullisuus tulee usein näkyviin vasta, kun toiminnot on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Ehdottoman varmaa menetelmää juuri oikean ratkaisun löytymiseksi ei ole, mutta järjestelmällistä menetelmää käytettäessä on jälkeenpäin helppo tarkastella, olivatko tehdyt valinnat oikeita. (Koneensuunnitteluoppi 1990, 133)

Työn tässä vaiheessa kokosimme yrityksen kanssa ennestään tutuista ja esiin tulleista uusista ideoista ”hylätä ja suosia” -menetelmää käyttäen yhtenäisen kokonaisuuden tulevan laitteen konstruktiolle lopullisen vaatimusluettelon pohjalta. Teimme päätöksen yhden ratkaisumallin viemisestä kehittelyvaiheeseen, jossa laite alkaa saavuttaa lopullista muotoaan. Kehittelyyn viety kokonaisuus vastaa pitkälti ratkaisumalleja 1 ja 2. Kehittelyvaiheen malli on visualisoitu kuvioon 9.



KUVIO 9. Kehittelyvaiheen 3D-malli

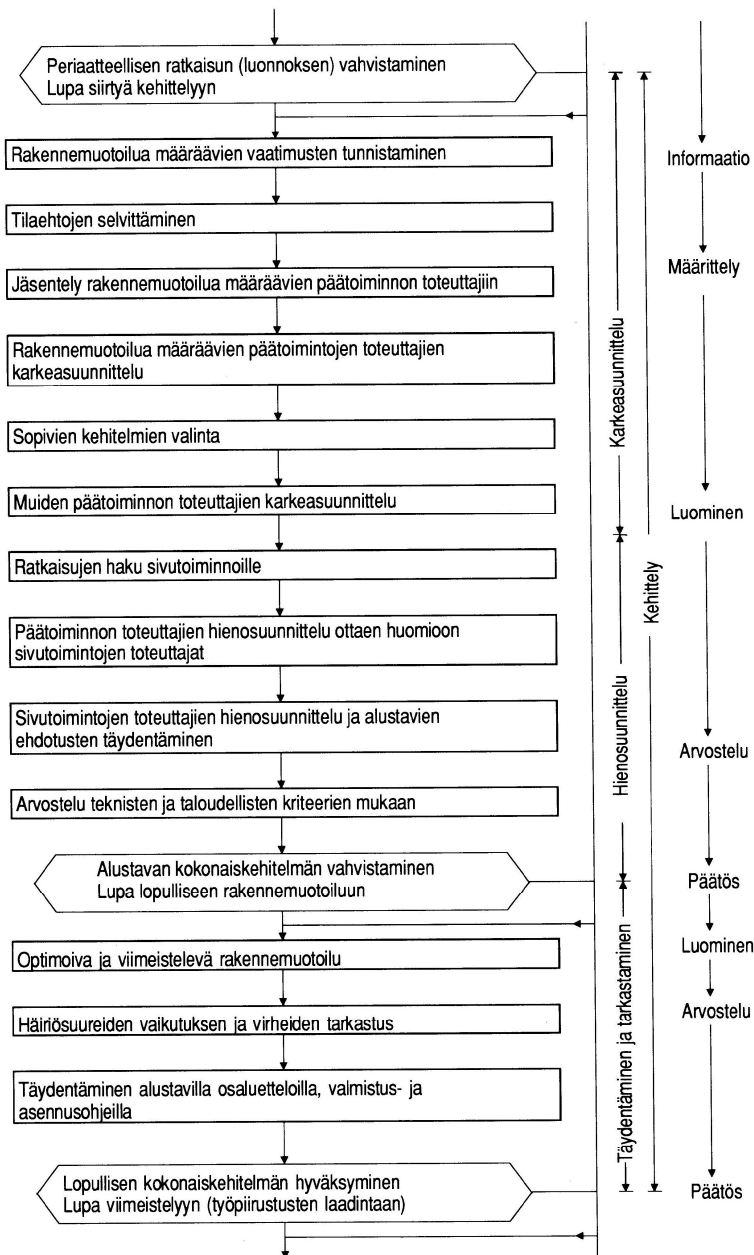
5 OIKAISULAITTEEN KEHITTELY

Luonnosteluvaiheessa valitun kokonaisuuden ratkaisut suunnitellaan kehittäelyvaiheessa yksityiskohtaisesti, jolloin huomioon otetaan tekniset ja taloudelliset näkökohdat. Vaihe sisältää järjestelmän luomisen, laitteen yksityiskohtien suunnittelun, alustavan optimoinnin ja mahdollisen testauksen. Laitte kehitetään jo niin pitkälle, että mahdolliset dokumentit, kuten tuotantokuvat, osaluettelot ja kytkentäkaaviot voidaan vaivatta laatia viimeistelyvaiheessa. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 42.)

Kehittäelyvaiheessa laitteesta luodaan 3D-malli, joka on luonnosteluvaiheessa päätettyjen ratkaisuiden mukainen. 3D-malli luodaan sopivassa mittakaavassa ja malli sisältää runkorakenteet, liikkuvien osien mekanismit ja toimilaitteiden sijoittelun. (Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu 1990, 42.)

5.1 Kehittelyn työvaiheet

Tuotekehitysprosessi on aina yksilöllinen ja etenee tiettyjen askelien mukaan. Yksilöllisyydestä johtuen varsinaista etenemistä työnkulkukaavion mukaan on miltei mahdotonta noudattaa. Työnkulku esitetään kuitenkin yksityiskohtaisesti menettelykaavion muodossa kuviossa 10. Kuviossa kehittäelyvaihe on jaettu erikseen kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat karkeasuunnittelu, hienosuunnittelu sekä suunnitelman täydennys ja tarkastus.



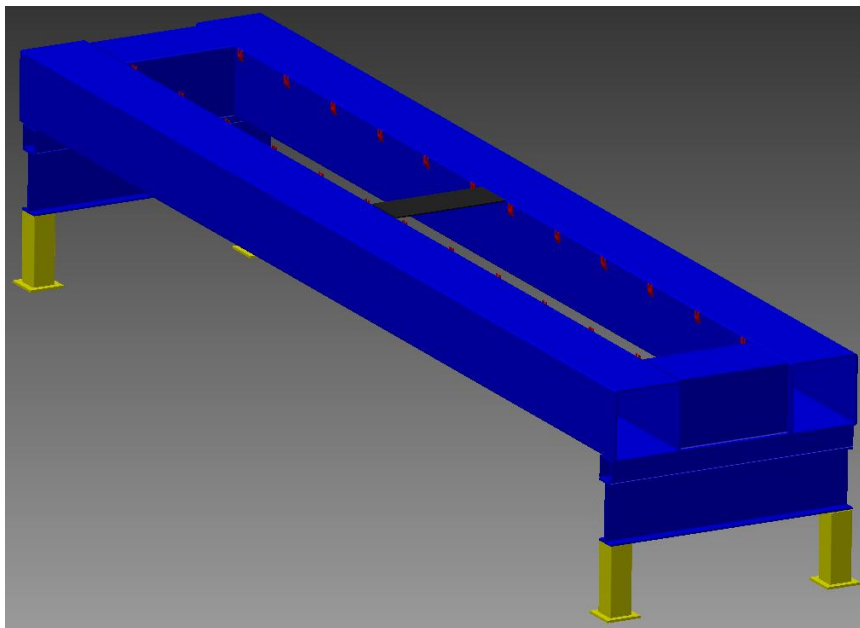
KUVIO 10. Kehittelyn työaskeleet (Koneasuunnitteluoppi 1990, 178)

5.2 Oikaisulaitteen konstruktio

Kehittelyvaiheessa ensimmäisenä on mietittävä rakenteelliseen muotoon vaikuttavat vaatimukset ja niiden huomioiminen karkeasuunnittelussa. Oikaisulaitteen rakenteellisen muodon suunnittelu voidaan jakaa kolmeen osaan: rungon, takavasteen ja sylinteripesän suunnitteluun. Suunniteltavan laitteen kokonaisuuden täydentää työskentelyä helpottavat tukipukit, joiden avulla pitkiä pylväitä on helpompi hallita.

5.2.1 Runko

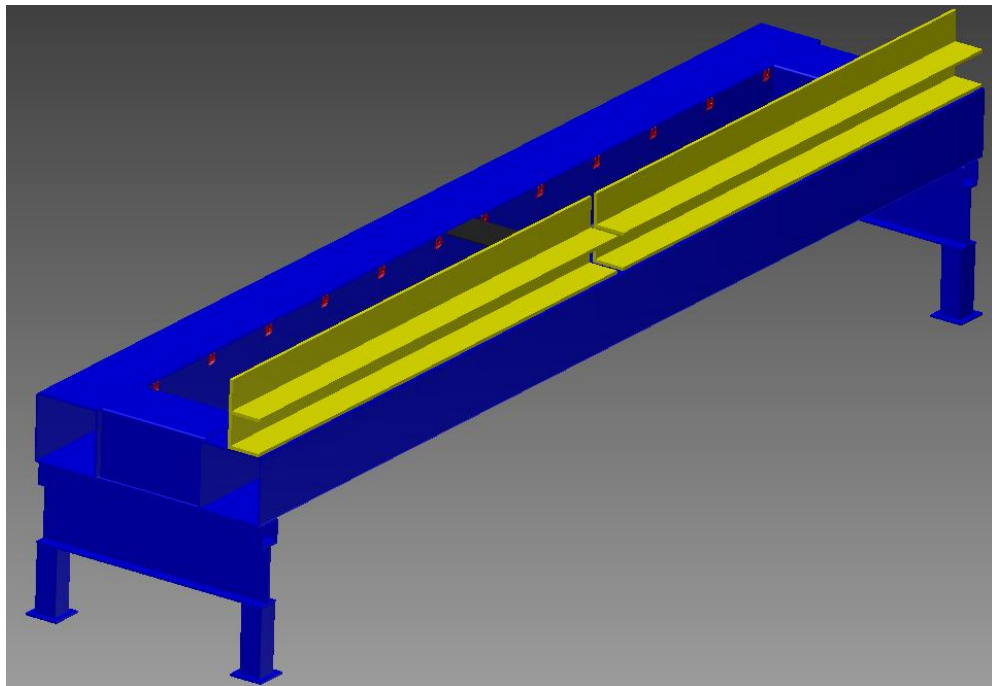
Rungon suunnittelussa oli otettava huomioon työergonomia työskentelykorkeuden osalta. Rungon työskentelykorkeudeksi asetui nykyisen menetelmän käyttäjiä haastattelemalla noin 1000 mm lattian tasosta. Rungon rakenteeksi valittiin yrityksen käyttöön tullut prässin aihio, jota muokkaamalla saadaan toimiva ratkaisu oikaisulaitteelle. Kuviossa 11 sinisellä esitetystä vanhasta rungosta luotiin mittojen mukaan 3D-malli, johon lisättiin neljä kappaletta jalustoja (liite 3) hitsaamalla, jolloin korkeus saadaan asetettua oikealle tasolle. Runkoon tehtiin myös rullapidinten (liite 3) avulla rullarata, joka koostuu 12 kappaleesta kuljetinrullia. Runkoon lisätään liukuradan keskelle S355 materiaalia oleva teräslevy (500 x 200 x 5), jonka tarkoituksena on toimia liukupintana puskimen alla (liite 3).



KUVIO 11. Laitteen runkorakenne

5.2.2 Takavaste

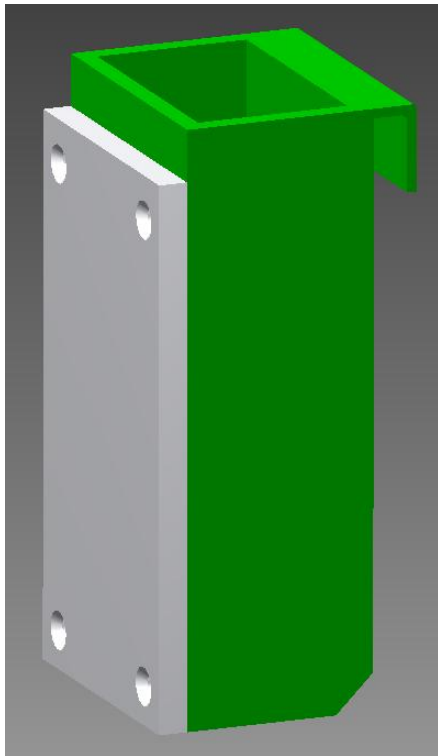
Takavasteen suunnittelussa oli huomioitava voimien ja rasitusten aiheuttamat kuormitukset. Takavasteen rakenteelle yritys ehdottikin edellisistä projekteista ylimääräiseksi jäänyttä järeää kulmarautaa, jonka mitat olivat 150 x 150 x 15 mm. Kulmaraudan hyödyntämiseksi mallinsin Abaqus CAE -ohjelmalla mallin, jonka perusteella pystyin varmistumaan rakenteen kestävydestä, ja kulmarautaa voitiin hyödyntää käyttöön. Abaquksella tehdyt rasituslaskelmat on esitetty liitteessä 4. Takavaste koottiin neljästä erillisestä palasta, joista valmistetaan kaksi paria hitsaamalla. Laitteen keskelle jätettiin 40 mm:n asennushahlo sylinterille, jotta sylinterin voidaan irrottaa huoltoa varten. Takavaste kiinnitettynä runkoon on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 12. Takavaste kiinnitettynä runkoon

5.2.3 Vastintuki

Vastintukien suunnittelussa lähdettiin liikkeelle niiltä vaadituista ominaisuuksista, joten tuet tehtiin riittävän vahvasta 10 mm:n suorakaideputkesta. Putkeen liitettiin hitsaamalla lattaraudasta tehty liuku-ura, jonka avulla vastintukia voidaan portaattomasti säätää takavasteen matkalla. Liuku-uraan tehtiin myös M10 kierrereikä, jotta vastintuet saadaan lukittua haluttuun asemaan. Putken alareunaan suunniteltiin 20 x 20 mm:n viiste, jotta takavasteen ja rungon välinen hitsisauma ei haittaisi tuen liikuttavuutta. Vastintuen pintaan asennetaan muovilevy, joka on kiinnitetty neljällä uppokantaisella ruuvilla. Vastintukien suunnittelussa huomioitiin myös mahdollinen taivutettavien putkien taipuma, joka otettiin huomioon vastintukien paksuuden suunnittelussa. Vastintukien muovilevyt ovat vaihdettavissa olevat, joten jos käytännön työssä huomataan tarvetta, voidaan muovilevyn paksuutta helposti säätää vaihtamalla siihen paksumpi levy. Vastintuki ja siihen asennettava muovilevy on esitetty kuviossa 13.

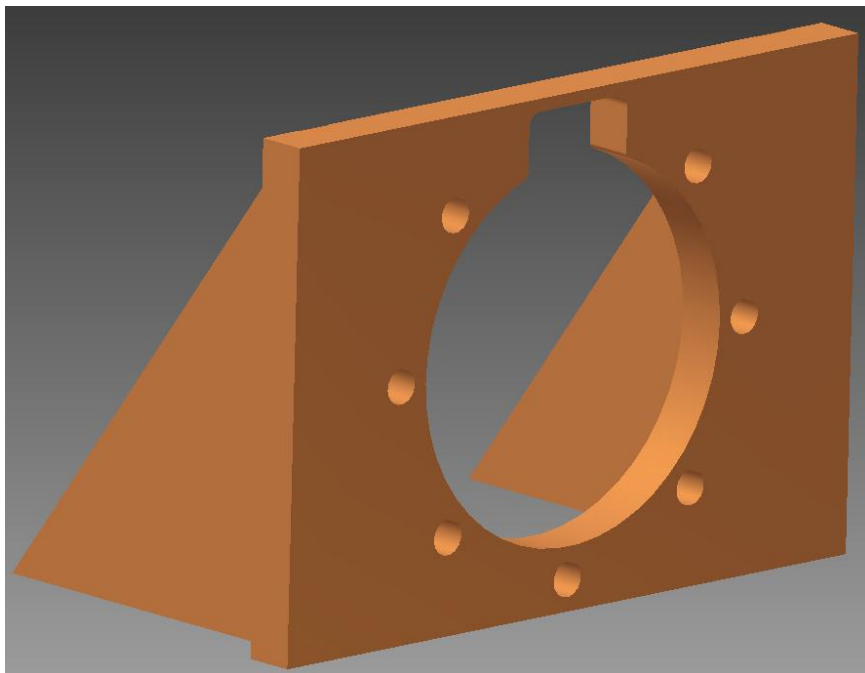


KUVIO 13. Vastintuki

5.2.4 Sylinteripesä

Sylinteripesän suunnittelussa lähdettiin liikkeelle mittojen ottamisella valitusta sylinteristä ja siinä olevasta kiinnityslaipasta. Kiinnityslaipan reikäjaon ja reikäkoon perusteella pystyin suunnittelemaan sylinteripesän etulevyn, joka valmistetaan 20 mm:n vahvasta S355 teräksestä vesileikkauksella. Sylinteripesän etulevyn yläreunaan suunniteltiin sylinterin asentamiseksi vaadittu hahlo, joka mahdollistaa myös sylinterin irrottamisen huoltoa varten.

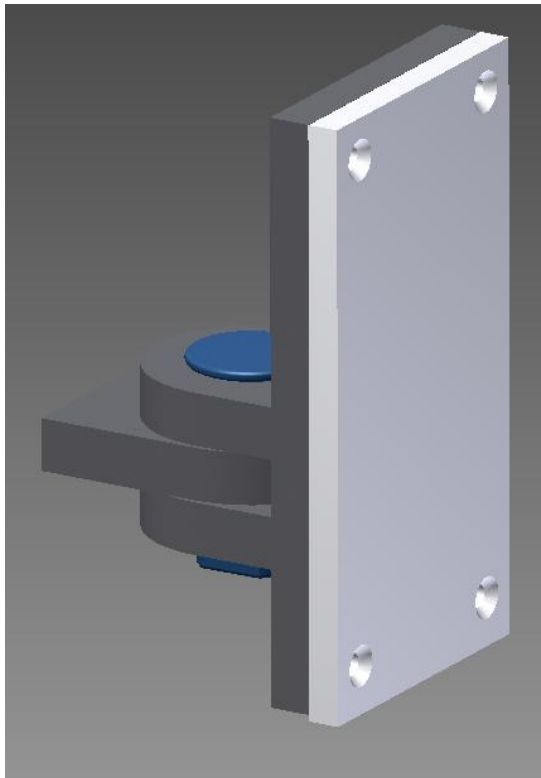
Sylinteripesän etulevyn kiinnitettävien sivulevyjen suunnittelussa huomioitiin leikkausvoimat, jotka kohdistuvat sylinteripesään. Sivulevyt suunniteltiin 15 mm:n paksusta S355 levystä, jolloin saatiin riittävän kestävä rakenne sylinteripesälle. Tarkemmat lujuuslaskelmat pesälle on esitetty lujuuslaskut osiossa. Sylinteripesän rakenne on esitetty kuviossa 14.



KUVIO 14. Sylinteripesä

5.2.5 Puskin

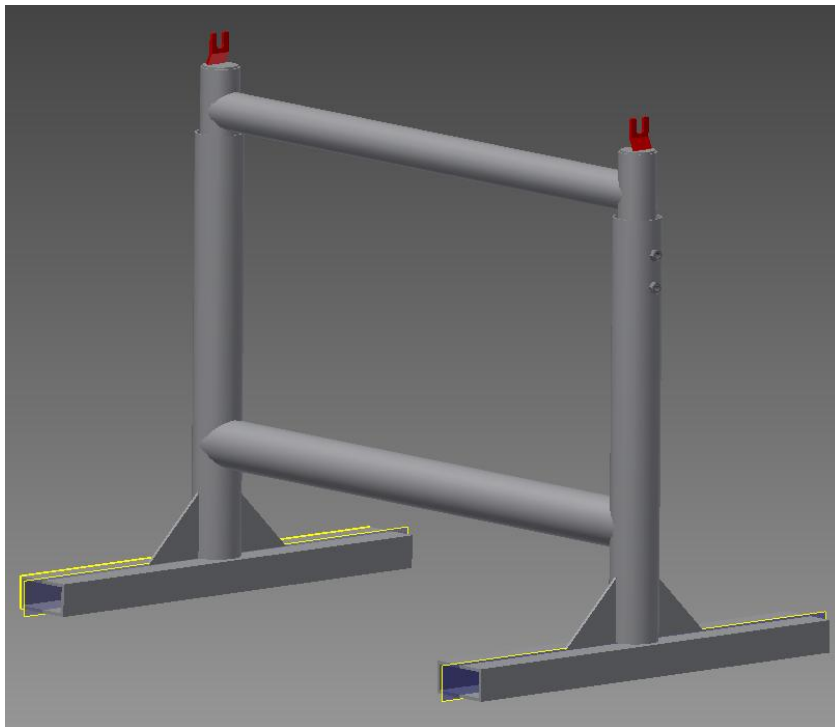
Puskimen suunnittelussa otettiin huomioon vaatimusluettelossa esitetty nivellys, joka toteutettiin tappinivelellä. Tapinnivellys toteutettiin kolmella tapinkiinnikkeellä, joista kaksi on hitsattu kiinni puskinlevyyn ja yksi hitsataan työntävän sylinterin päähän. Tapinkiinnikkeisiin on suunniteltu reiät, johon SFS-EN 22341-standardista löytyvä kannallinen lieriötappi mahtuu. Puskinlevy valmistetaan 20 mm:n paksusta S355 levyateriaalista ja siihen tehdään neljä kappaletta kierrereikiä, jotka mahdollistavat muovipuskimen asennuksen uppokantaisilla ruuveilla. Puskin havainnollistettu kuvioon 15.



KUVIO 15. Puskin

5.2.6 Tukipukki

Tukipukin suunnittelu lähti liikkeelle selvittämällä yrityksen käytössä olevat putkikoot ja miettimällä tukipukille tarpeeksi vankka rakenne. Tukipukki pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaiseksi ja helppokäyttöiseksi. Tukipukin rakenne suunniteltiin siten, että putkista muodostuva kehikko kiinnitetään kolmiotuilla suora-kaideputkiin, jotka pitävät tukipukin vankasti pystyssä. Sisäputkien päihin hitsataan päätylappu, jolloin saadaan tasainen pinta putken päähän. Päätylappuun hitsataan kuljetinrullanpidin, johon kuljetinrulla asennetaan. Sisäputkien kiristys tapahtuu uloimmissa putkissa olevien pidätinruuvien avulla. Tukipukin rakenne on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Tukipukki

5.3 Oikaisulaitteen konstruktion arviointi

Oikaisulaite on saatu suunniteltua liitteessä 5 esitettyyn muotoon, jonka perusteella arviointia voidaan tehdä. Konstruktio arvioidaan teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan, jolloin suunnitteluprosessista saatuja tuloksia arvioidaan kokonaisuudessaan. Laitteelle asetettua vaatimusluetteloa käydään läpi arvioitaessa laitetta ja verrataan siinä määriteltyjä asioita toteutuneeseen. (Koneensuunnitteluoppi 1990, 362)

Oikaisulaitteen konstruktio näyttää toimivalta, yksinkertaiselta ja helppokäyttöiseltä. Vaatimusluettelossa (liite 2) esitetyt vaatimukset täyttyvät kiinteiden ja vähimmäisvaatimusten osalta. Tärkeimpiä toteutuneita vaatimuksia ovat: nivelletty puskin, riittävän luja rakenne, puskimen suora työnninpinta, sylinteri koneen keskellä ja laitteen riittävä voimantuotto. Toivomusten osalta nähdään tulokset vasta koneen valmistuksen ja käyttäjäkokemuksen keräämisen jälkeen.

6 HYDRAULIIKKA

6.1 Oikaisulaitteen hydraulijärjestelmä

Hydraulijärjestelmät ovat monesta eri osasta koostuvia tehonsiirtoketjuja, joissa esimerkiksi sähkömoottorilla mekaanisesti tuotettu teho saadaan muunnettua hydraulisen tehon muotoon eli paineeksi nesteeseen. Nesteeseen sidottua tehoa voidaan käyttää siirtämällä sitä haluttuun kohteeseen ja muuntamalla takaisin mekaaniseksi tehoksi esimerkiksi sylinterin avulla.

Hydraulisen järjestelmän suurimpina etuina voidaan pitää komponenttien hyvää teho-painosuhdetta ja suunniteltavan järjestelmän muokkaamisen helppoutta verrattuna muihin tehonsiirtomenetelmiin verrattuna. Hydraulisen järjestelmän suunnittelussa teho voidaan siirtää putkia tai letkuja pitkin mahdollisimman helppoa reittiä pitkin käyttökohteeseen, joka onkin suuri etu verrattuna muihin järjestelmiin. Hydraulisen järjestelmällä on myös ominaisuuksia, joiden avulla järjestelmällä on helppo toteuttaa suoraviivaista sekä pyörivää liikettä helpommin kuin muilla järjestelmillä.

Hydraulisen järjestelmän etuina voidaan pitää liikenopeuksien, voimien ja momenttien helppoa säädeltävyyttä. Järjestelmän painetta kasvattamalla voidaan järjestelmää kuormittaa hieman enemmän kuin mitä on ajateltu, täytyy kuitenkin muistaa rajoittaa järjestelmän painetaso järjestelmässä olevien komponenttien keston mukaan. (Hydraulitekniikan perusteet 1999, 11–12)

Tässä työssä käytetään hydraulista järjestelmää tuottamaan suoraviivainen liike sylinterillä, joka suorittaa työntävän toiminnon putken oikaisemiseksi. Hydraulisen järjestelmän rakenteen perusteella laitteelle suunniteltava järjestelmä on avoin. Avoimella järjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jolle on ominaista tilavuudeltaan suuri nestesäiliö. Nestesäiliöstä imetään nestettä toimilaitteelle ja työliikkeen jälkeen neste palaa takaisin säiliöön. Avoimessa järjestelmässä on myös yleensä yksisuuntainen tilavuuspumppu, joka pumpkaa vain tiettyyn suuntaan eikä näin ollen toimilaitteita voida ohjailta pumpun avulla vaan toimilaitteiden ohjaaminen tapahtuu venttiileitä käyttäen. (Hydraulitekniikan perusteet 1999, 13)

6.2 Toiminta

Hydraulisen järjestelmän toiminta on esitetty yksinkertaistetussa muodossa hydraulikkakaaviossa liitteessä 6. Hydraulijärjestelmän toiminta alkaa kun sähkömoottori käynnistetään ja pumppu alkaa imeä öljyä nestesäiliöstä imusuodattimen läpi järjestelmän käyttöön. Imusuodattimen tehtävänä on estää järjestelmään mahdollisesti tankista kulkeutuvat hiukkaset, jotka haittaavat toiminnan suorittamista. Järjestelmään on suunniteltu vastaventtiili heti pumpun jälkeen, jolloin varmistetaan pumpun säilyminen ehjänä mahdollisissa paineisku tilanteissa. Järjestelmän maksimipaine rajoitetaan 200 bar:iin paineenrajoitusventtiilillä ja järjestelmän painetta voidaan seurata painemittarilla, joka on asennettu järjestelmään. Sylinterin liikkeitä ohjataan sähköisesti ohjattavalla 4/3-suuntaventtiilillä, joka avaa vasemman kanavan ja mahdollistaa sylinterin plus-liikkeen. Vasemman kanavan auetessa käyttöön kulkee neste virranvastusventtiilin läpi, jolla voidaan sylinterin liikenopeus säätää halutuksi. Suuntaventtiilin oikean kanavan auetessa sylinteri alkaa palautua takaisin lähtöpisteeseen ja tätä kutsutaankin miinus-liikkeeksi. Miinus-liikkeessä sylinteriltä palaava neste kulkeutuu ohivirtausventtiilillä varustetun suodattimen läpi takaisin tankkiin ja on valmiista käytettäväksi uudelleen pienen tasaantumisen jälkeen.

6.3 Mitoitus

Hydraulijärjestelmään mitoitettiin lähtöarvojen perusteella sylinteri, sähkömoottori, hydraulipumppu, hydrauliputket ja letkut. Muiden järjestelmään kuuluvien osien kuten venttiileiden, säiliöiden, liittimien ja suodattimien osuudesta laitteeseen vastaa koneen rakentaja. Hydraulijärjestelmälle tehdyt laskut on esitetty liitteessä 7.

6.3.1 Sylinteri

Sylinteri voidaan mitoittaa kun tiedetään järjestelmän paine ja sylinteriltä vaadittava voima. Kaksitoimisen sylinterin hyötysuhteena voidaan pitää 0,9. (Hydrauliikka ja pneumatiikka, 1997, 258). Laitteelle valitaan sylinteri standardin SFS 3958 mukaan. Laskuista saatujen arvojen perusteella halkaisijaksi tulisi 118 mm mutta seuraava sopiva koko standardissa on 125 millimetriä, joka valitaan. Yrityksen käyttöön tullessa vanhassa prässissä, ollutta sylinteriä voidaan soveltaa käytettäväksi, koska se on juuri halkaisijaltaan halutunlainen. Sylinterin muut ominaisuudet ovat männänvarren halkaisija 70 mm ja iskunpituus 320 mm. Sylinterin männänvarrelle suoritettiin nurjahdustarkastelu, joka osoitti sylinterin kestävän laitteesta tulevat rasitukset.

6.3.2 Hydraulipumppu

Hydraulipumppun valintaa tehtäessä on tiedettävä sitä käyttävän moottorin pyörimisnopeus, järjestelmän painetaso ja tilavuusvirta. (Hydrauliikka ja pneumatiikka, 1997, 267). Hydraulipumppu valitaan standardissa SFS 4556 esitetyn pumppujen kierrostilavuusluettelosta, josta valitaan seuraava tarkoitukseen sopiva koko. (Hydrauliikka ja pneumatiikka, 1997, 270)

6.3.3 Sähkömoottori

Käyttömoottoriksi valitaan laskuista saatujen arvojen perusteella Tekniikan taulukkokirjasta seuraava käyttöön sopiva oikosulkumoottori, jonka teho on 4 kW ja pyörimisnopeus 1430 kierrosta/min. (Tekniikan taulukkokirja, 2007, 811)

6.3.4 Hydrauliputket ja letkut

Hydrauliputkien ja letkujen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat järjestelmän paine ja tilavuusvirta. Järjestelmän paine määrittelee käytettävien putkien ja letkujen materiaalit sekä seinämävahvuudet. Virtausnopeus vaikuttaa putkien ja letkujen sisähalkaisijan kokoon. Hydrauliikassa putkien virtausnopeuksille on annettu suositukset, joita ovat imuputkelle 1 m/s, paineputkille 5 m/s ja paluuputkille 2 m/s. (Hydrauliikka ja pneumatiikka, 1997, 276–277). Putkien koko valittiin sisähalkaisijan perusteella ja näin ollen saatiin imuputkelle 15 mm, paineputkelle 8 mm ja paluuputkelle 12 mm sisähalkaisijaltaan olevat putket.

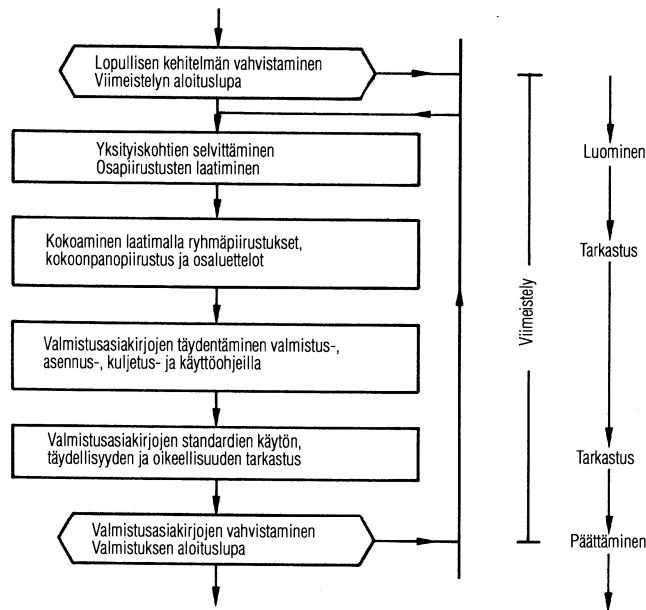
7 LUJUUSLASKUT

Tässä luvussa esitetyt lujuuslaskelmat perustuvat tekniikassa yleisesti käytössä oleviin kirjoihin ja standardeihin, kuten Erkki Pennalan Lujuusopin perusteet 1998, Esko Valtasen Tekniikan taulukkokirja 2007 ja standardeihin SFS 2373 Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta 1980, SFS-EN 1993-1-8 Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu. Lujuuslaskut on laskettu Mathcad-ohjelmalla. Lujuuslaskut on esitetty selostettuina liitteessä 7.

Lujuuslaskuissa on käsitelty vain oleellisimmat kohdat laitteen materiaalien ja rakenteiden kestävyyskannalta. Ensimmäisenä laitteelle laskettiin sylinteriltä vaadittava työntövoima putkien myötörajan ylittämiseksi. Työntövoimaksi saatiin halkaisijaltaan 273 mm:n ja 5 mm:n seinämällä olevalla S355-rakenneputkella ja vastintukien järkevällä oikaisuvälillä noin 20 tonnia. Laitteen kokonaismassan selvittyä laitteen jalustoille laskettiin vaatimukset, joiden pohjalta profiili valittiin. Seuraavaksi voitiin mitoitaa puskimen tapin halkaisija ja tapin kiinnikelevyjen paksuudet. Sylinteripesälle laskettiin leikkausjännitykset, jonka jälkeen laskettiin sylinteripesän ja takavasteen tarvitsemat hitsausliitokset.

8 VIIMEISTELY

Viimeistelyvaiheella tarkoitetaan järjestelmällisen suunnittelun mukaan teknisen kehittelyn lopullista täydentämistä, tietyillä määräyksillä. Määräyksillä tarkoitetaan-kin yksittäisten osien muotoa, pinnanlaatua, mitoitusta ja sitovien piirustusten tuottamista. Viimeistelyvaiheen kulku on esitetty kuviossa 17.



KUVIO 17. Viimeistelyn työaskeleet (Koneensuunnitteluoppi 1990, 459)

Viimeistelyvaihe ei ole vain osien puhtaaksi piirtämistä vaan samalla täytyisi miettiä osien muotoilua, materiaalien valintaa, pinnanlaatuja ja mahdollisesti sovitteita ja toleransseja. Viimeistelyllä pyritäänkin mahdollisimman tehokkaaseen materiaalien käyttöön. Viimeistelyvaiheen tärkeimpänä osana voidaan pitää laitteen rakentamista varten laadittavia asiakirjoja, kuten kokoonpanopiirustuksia ja osaluetteloita. (Koneensuunnitteluoppi 1990, 458–459)

Tässä vaiheessa laitteesta luotiin yksityiskohtaiset osa- ja kokoonpanopiirustukset, jotka toimivat laitteen rakentamisen perustana. Lopullisten tuotantokuvien (liite 3.) valmistumisen jälkeen luotiin kaikille laitteeseen kuuluville ryhmille osaluettelot (liite 9.), joiden mukaan kokoamiseen tarvittavat osat voidaan hankkia. Laitteen rakentamisen perustaksi luotiin kriittisimmistä kohdista asennuskuvat (liite 5.), joiden uskotaan helpottavan laitteen kokoamista.

9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella yrityksen käyttöön uniikki oikaisulaite ja laitteen kokoonpanoa täydentämään apupukit. Laitteen avulla pylväiden oikominen olisi aiempaa hallitumpaa ja tehokkaampaa. Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaan oikaisulaitteesta ja apupukista 3D-mallit, joiden pohjalta malleista luotiin valmistukseen vaadittavat tuotantokuvat. Suunnittelussa käytettiin hyväksi 3D-mallinnuksen tuomia etuja, ja niiden avulla oli helppo nähdä jo suunnitteluvaiheessa, toimiiko jokin osa kokoonpanossa vai ei. Suunnitteluprosessin edetessä laitteen rakennetta muunneltiin vaatimusluettelon mukaiseksi ja mietittiin vaihtoehtoisia ratkaisuja esiintyneille ongelmille. Rakenteellisten muutosten tekeminen onkin järkevää suunnitteluvaiheessa, koska kustannukset pysyvät tietyissä rajoissa, kun tehdään kerralla oikeat ratkaisut. Mielestäni työn aihe oli haastava ja monipuolinen. Monipuolisuus tuli esiin etenkin työssä vaadittavien tietojen hallitsemisella, joita suunnittelijan työssä tarvitaan. Työn edetessä suunnitteluprosessi vaati enemmän aikaa kuin olin kuvitellut. Oman haasteensa suunnitteluprosessissa asettikin ideoiden ja asioiden miettiminen yksin, jolloin laitteen rakenne ohjautui tiettyyn suuntaan. Isoin osa työhön käytetystä ajasta kului kuitenkin tuotantokuvien tekemiseen ja niiden hiomiseen lopulliseen muotoonsa. Toki ajankäytöllisesti resurssit ohjattiin oikean asian tekemiseen, koska tuotantokuvien laadinta onkin työn tärkein vaihe.

Työssä käsiteltiin työturvallisuus asioita melko pintapuolisesti ja päädyttiinkin antamaan ehdotuksia turvallisuuden parantamiseksi. Suunnitellut turvallisuustekijät huomioitiin laitteen suunnittelussa riittävän hitaalla liikenopeedella ja kahdella asennettavalla hätäpysäytyskatkaisimella. Ennen laitteen käyttöönottoa yrityksen olisikin hyvä käyttää ulkopuolista arvioijaa mahdollisten riskien kartoittamiseksi.

Oikaisulaitteen kriittisimmille osille tehtiin suunnitellut lujuuslaskelmat sekä laitteeseen liitettäville osille hitsausliitosten mitoitukset. Hydraulijärjestelmän mitoitusvaiheen laskutkin saatiin esitettyä työssä selvästi ja ne täydentävät työn kokonaisuuden.

Tehomet Oy:lle merkittävin etu työni tuloksista oli saada tuotantoon vaadittavat kuvat, joiden pohjalta laitteen valmistaminen on mahdollista. Työn lopullinen tulos ja yritykselle työn tuottama arvo saadaan selville vasta laitteen valmistamisen ja tietyn koekäyttöajan jälkeen.

Työhön käytettiin paljon aikaa ja se palkitsikin työntekijää monin eri tavoin. Opin työni kautta tuotteen suunnitteluprosessista, tuotekehityksen eri vaiheista ja 3D-mallinnuksesta lisää, koska työ tehtiin minulle ennestään tuntemattomalla Inventor Professional 2012 -ohjelmalla. Mielestäni onnistuin työssäni hyvin ja pysyin asettamassani aikataulussa. Työn lopullinen palaute itselleni selviää vasta laitteen valmistamisen jälkeen. Olen tyytyväinen antamaani työpanokseen ja siihen, mitä tällä työllä saavutin.

LÄHTEET

- Historia. 2012. Tehomet. Viitattu 24.2.2012
<http://www.tehomet.fi/www/fi/yritys/historia.php>
- Kauranne, H. 1999. Hydraulitekniikan perusteet. 2. p. Porvoo: WSOY.
- Keinänen, T. 1997. Hydrauliiikka ja pneumatiikka. Koneautomaatio 1. Porvoo: WSOY.
- Konserni. 2012. Tehomet. Viitattu 24.2.2012.
<http://www.tehomet.fi/www/fi/yritys/tehomet-konserni.php>
- Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Suomen Metalli-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden keskusliitto, MET.
- Pennala, E. 1998. Lujuusopin perusteet. 8.p. Espoo: Otatieto Oy.
- SFS 2373. 1980. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 19.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.
- SFS 3958. 1977. Hydrauliiikka- ja pneumatiikkasyylinterit. Sylinterin ja männänvarren halkaisija. Metrinen sarja. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 27.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.
- SFS 2230. 1968. Hydrauliputkistot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 27.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.
- SFS-EN 22341. 1992. Lieriötapit. Kannalliset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 15.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.
- SFS-EN 1993-1-8 Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 23.3.2012.
<http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.
- Tanskanen, K. 1991. Tuotteen järjestelmällinen suunnittelu. Metalliteollisuuden keskusliitto, Tekninen tiedotus 8/91.
- Tanskanen, K. 1990. Mekatroniikan järjestelmällinen suunnittelu. Helsinki: Suomen Metalli-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden keskusliitto, MET.
- Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Tuotteet. 2012. Tehomet. Viitattu 24.2.2012.
<http://www.tehomet.fi/www/fi/tuotteet/index.php>
- Valtanen, E. 2007. Tekniikan Taulukkokirja. 15.p. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.
- Yritys. 2012. Tehomet. Viitattu 24.2.2012.
<http://www.tehomet.fi/www/fi/yritys/index.php>

LIITTEET

Liite 1. Alustava vaatimusluettelo

Vaatimusluettelo

Pvm.

6.1.2012

Toiminto Oikaisulaite

Kiinteät vaatimukset

Pystyttävä soveltamaan erikokoisille putkille/kartioille
 Koneetta pystyttävä siirtelemään tarvittaessa
 Työskentelykorkeus noin 1000mm lattiatasosta
 Rakenne riittävän luja
 Käyttö: sähkö, hydraulikka ja lihasvoima
 Turvallinen käyttäjälleen
 Ergonomisesti helppokäyttöinen
 Valmistettavissa Tehomet Oy:n tiloissa
 Koneen käyttö oltava helppoa ja yksinkertaista
 Omien materiaalien ja vanhan rungon hyödynnettävyys selvitettävä

Vähimmäisvaatimukset

Mahduttava kyseiseen tilaan
 Yksinkertainen rakenne
 Kyettävä taivuttamaan isojakin pylväitä
 Päältä lastattavissa
 Riittävästi työskentelytilaa
 Huoltaminen helppoa ja halpaa

Toivomukset

Hiljainen käyntiääni
 Putkien helppo liikuteltavuus
 Pienet valmistuskustannukset

Tekijä Jussi Saarimäki

Liite 2. Lopullinen vaatimusluettelo

Vaatimusluettelo

Pvm 9.2.2012

Toiminto Oikaisulaite

Kiinteät vaatimukset

Pystyttävä soveltamaan erikokoisille putkille/kartioille
 Vaakasuunnassa nivelletty puskin
 Työskentelykorkeus noin 1000mm lattiatasosta
 Rakenne riittävän luja
 Käyttö: sähkö, hydraulikka ja lihasvoima
 Turvallinen ja ergonominen käyttäjälleen
 Sylinterin oltava irroitettavissa huoltoa varten
 Valmistettavissa Tehomet Oy:n tiloissa
 Koneen käyttö oltava helppoa ja yksinkertaista
 Omien materiaalien ja vanhan rungon hyödynnettävyys selvitettävä
 Vastintukien portaaton säätö ja lukitus
 Jalkakäyttöinen ohjauspedaali molemmissa päissä
 Liukupinta työntimen alla
 Puskimen työntinpinta suora
 Apupukit

Vähimmäisvaatimukset

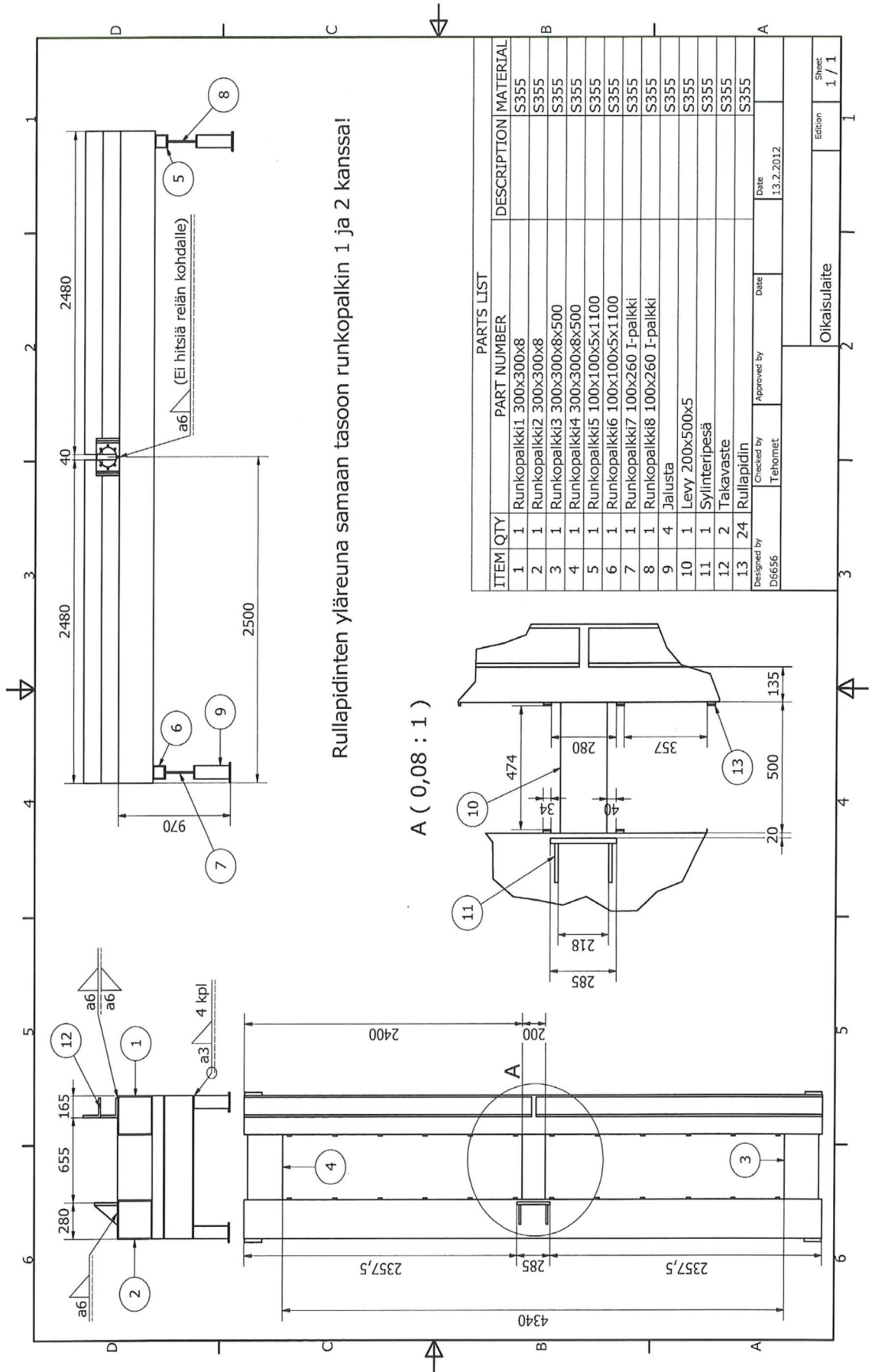
Mahduttava kyseiseen tilaan
 Yksinkertainen rakenne
 Kyettävä taivuttamaan isojakin pylväitä
 Päältä lastattavissa
 Riittävästi työskentelytilaa
 Huoltaminen helppoa ja halpaa
 Sylinteri koneen keskellä

Toivomukset

Hiljainen käyntiäänäni
 Putkien helppo liikuteltavuus
 Pienet valmistuskustannukset

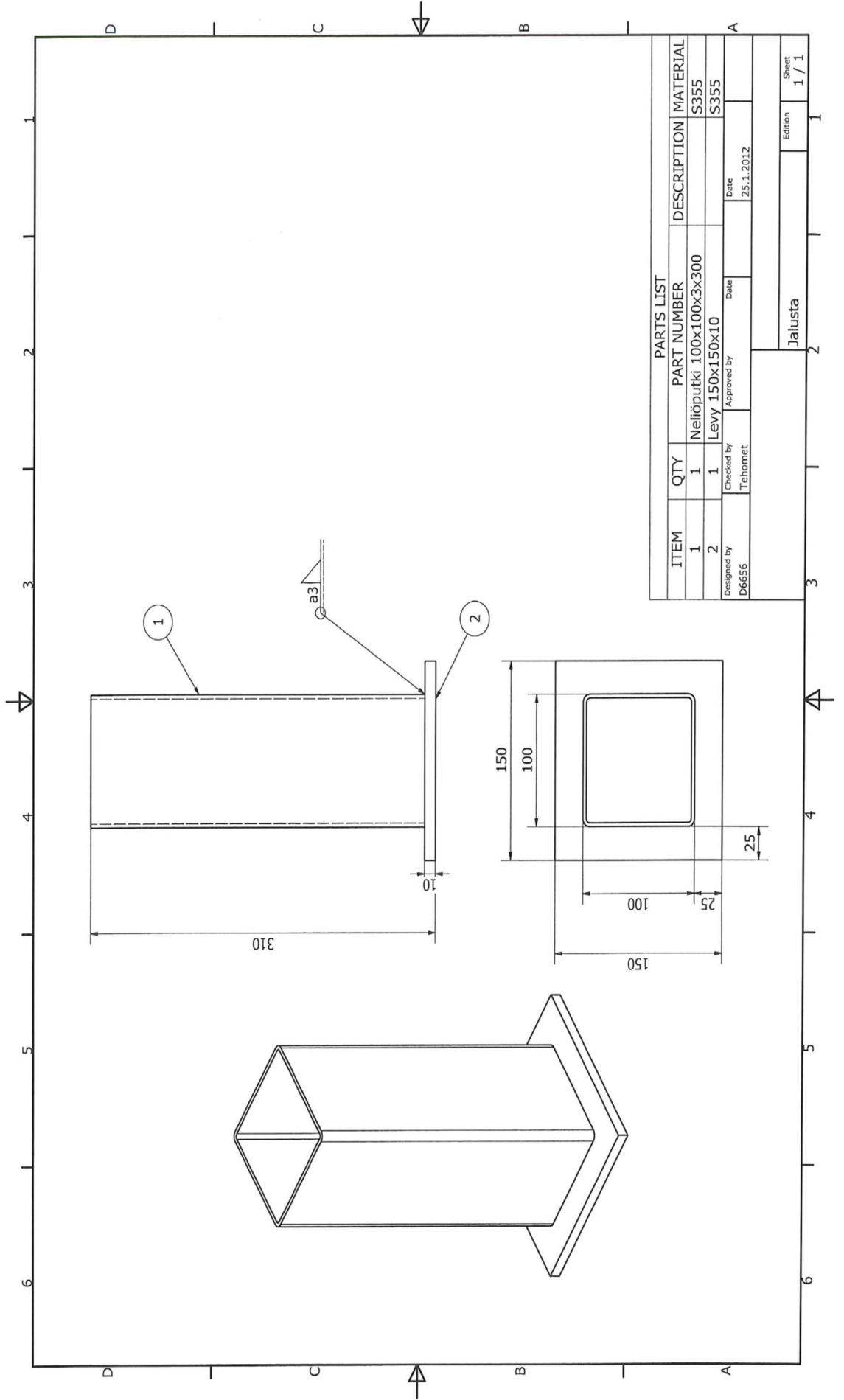
Tekijä Jussi Saarimäki

Liite 3. Tuotantokuvat

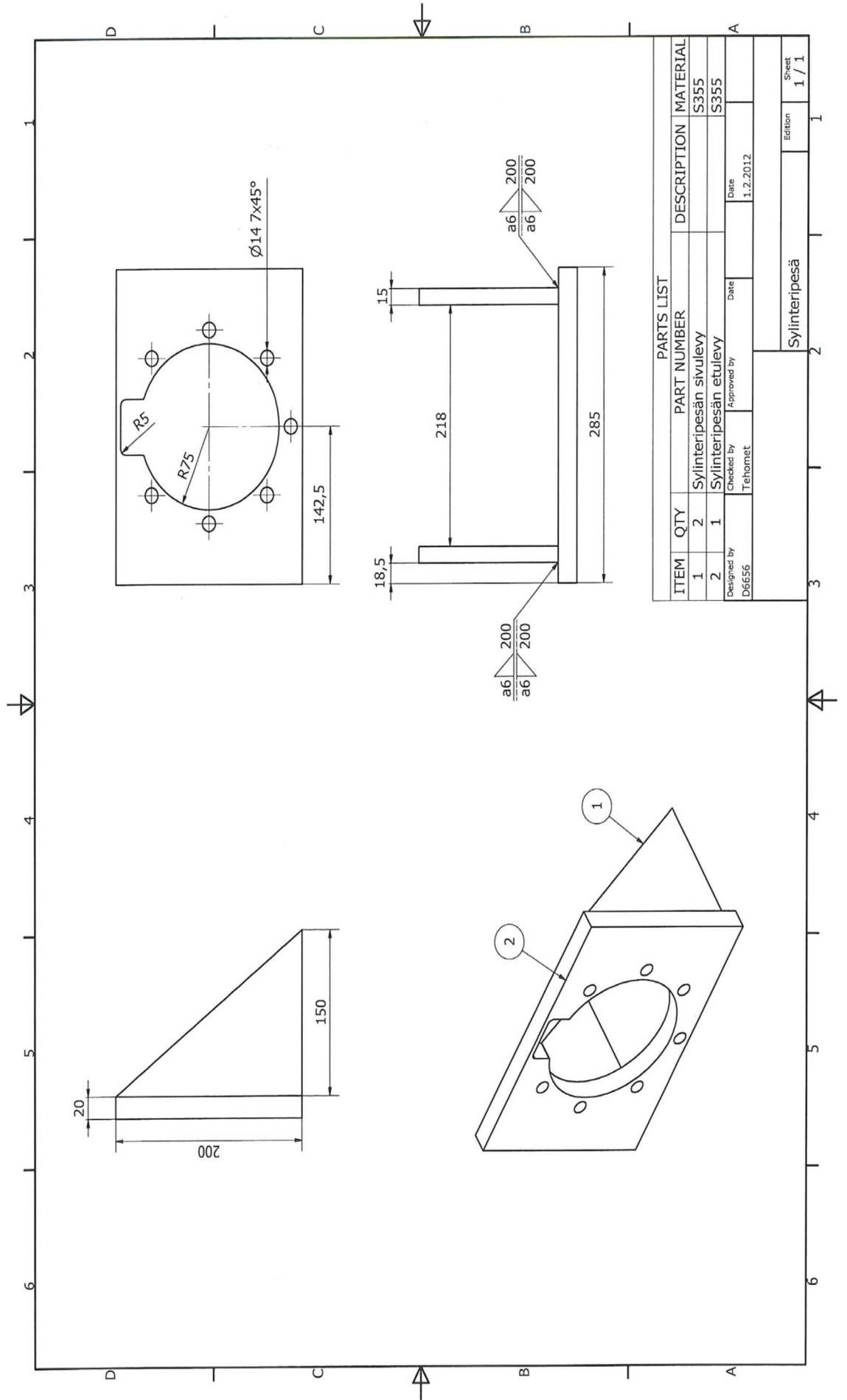


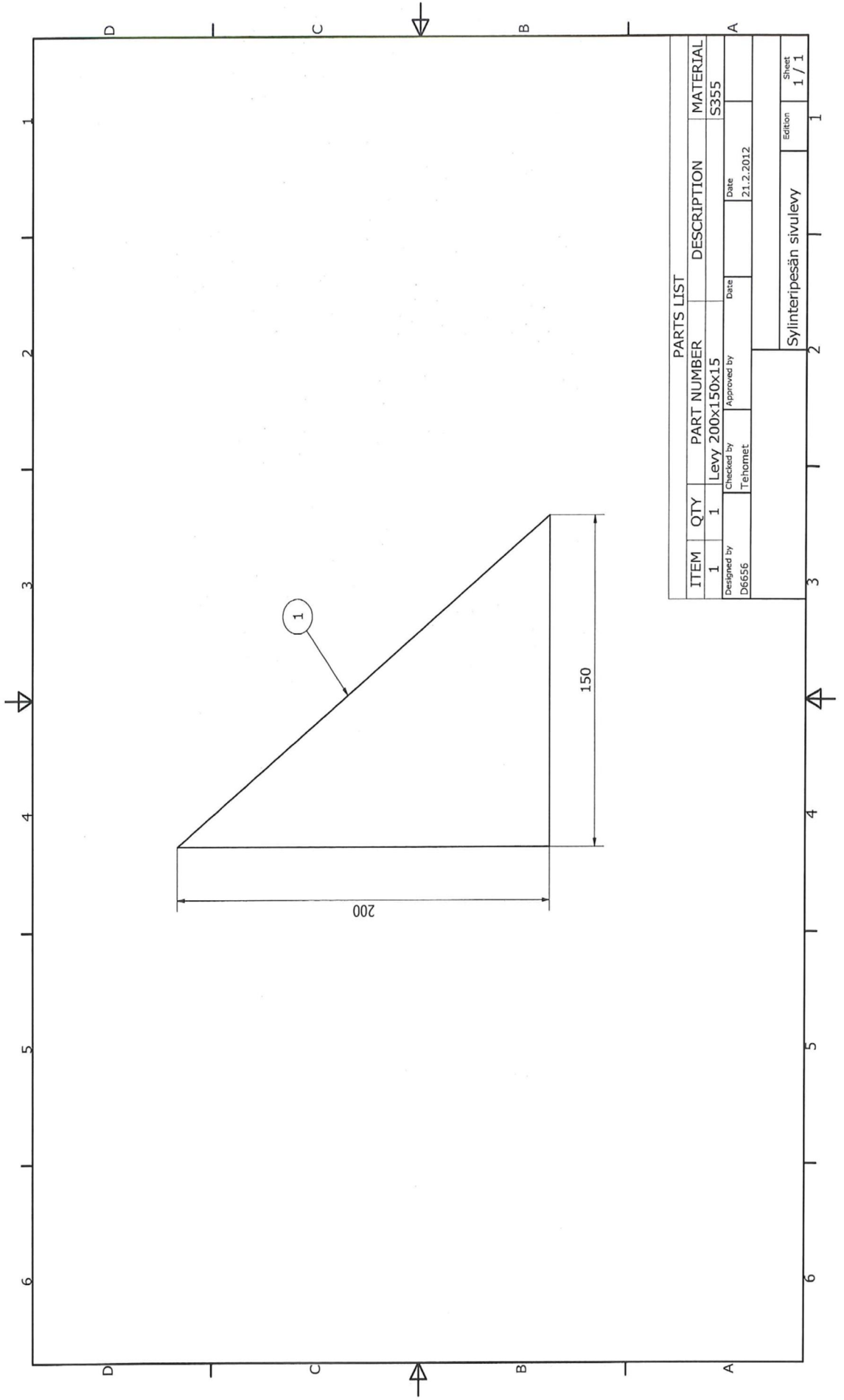
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Runkopalkki1	300x300x8	S355
2	1	Runkopalkki2	300x300x8	S355
3	1	Runkopalkki3	300x300x8x500	S355
4	1	Runkopalkki4	300x300x8x500	S355
5	1	Runkopalkki5	100x100x5x1100	S355
6	1	Runkopalkki6	100x100x5x1100	S355
7	1	Runkopalkki7	100x260 I-palkki	S355
8	1	Runkopalkki8	100x260 I-palkki	S355
9	4	Jalusta		S355
10	1	Levy	200x500x5	S355
11	1	Sylinteripesä		S355
12	2	Takavaste		S355
13	24	Rullapidin		S355

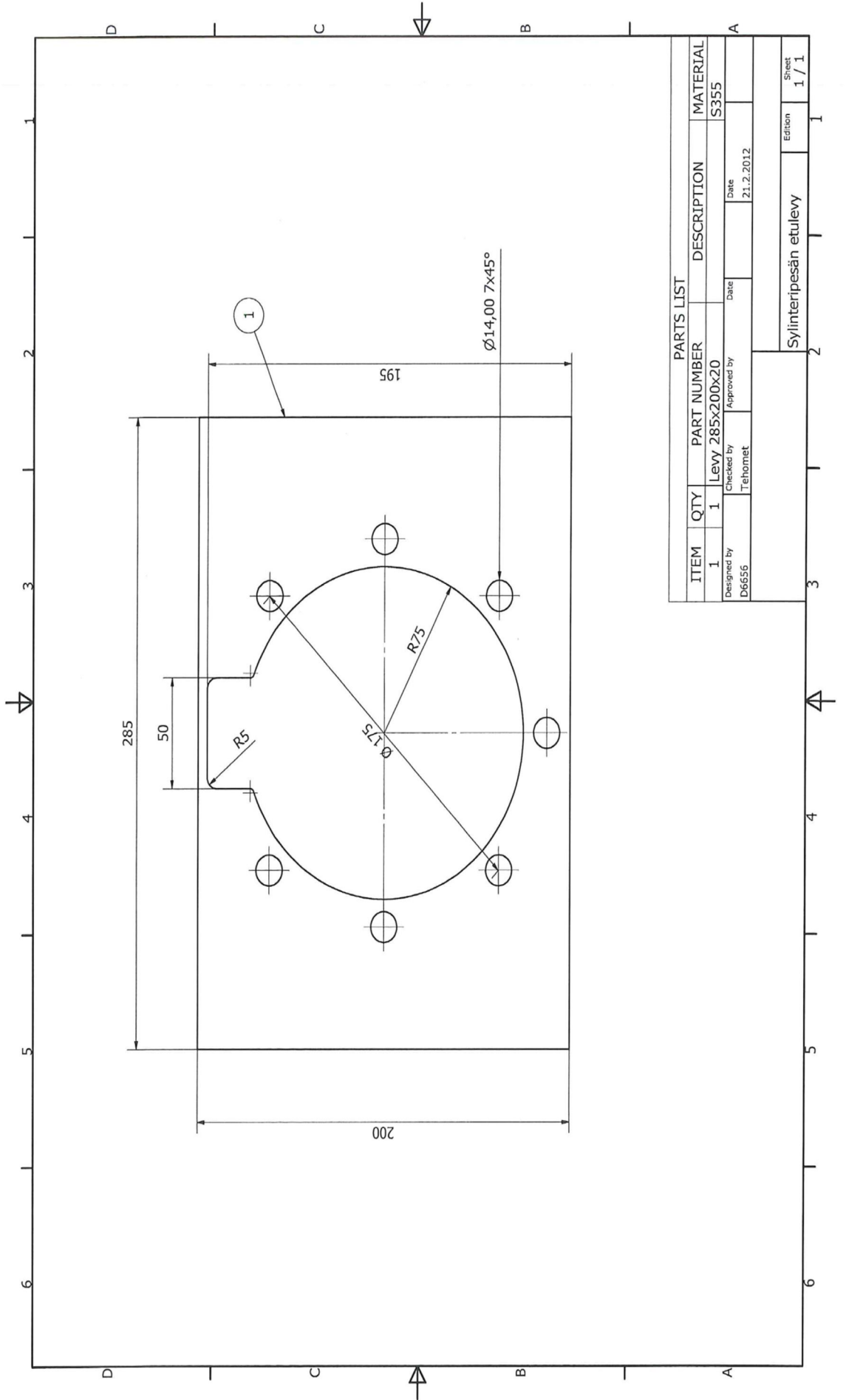
Designed by D6656	Checked by Tehomet	Approved by	Date 13.2.2012
Oikaisulaite			Sheet 1 / 1

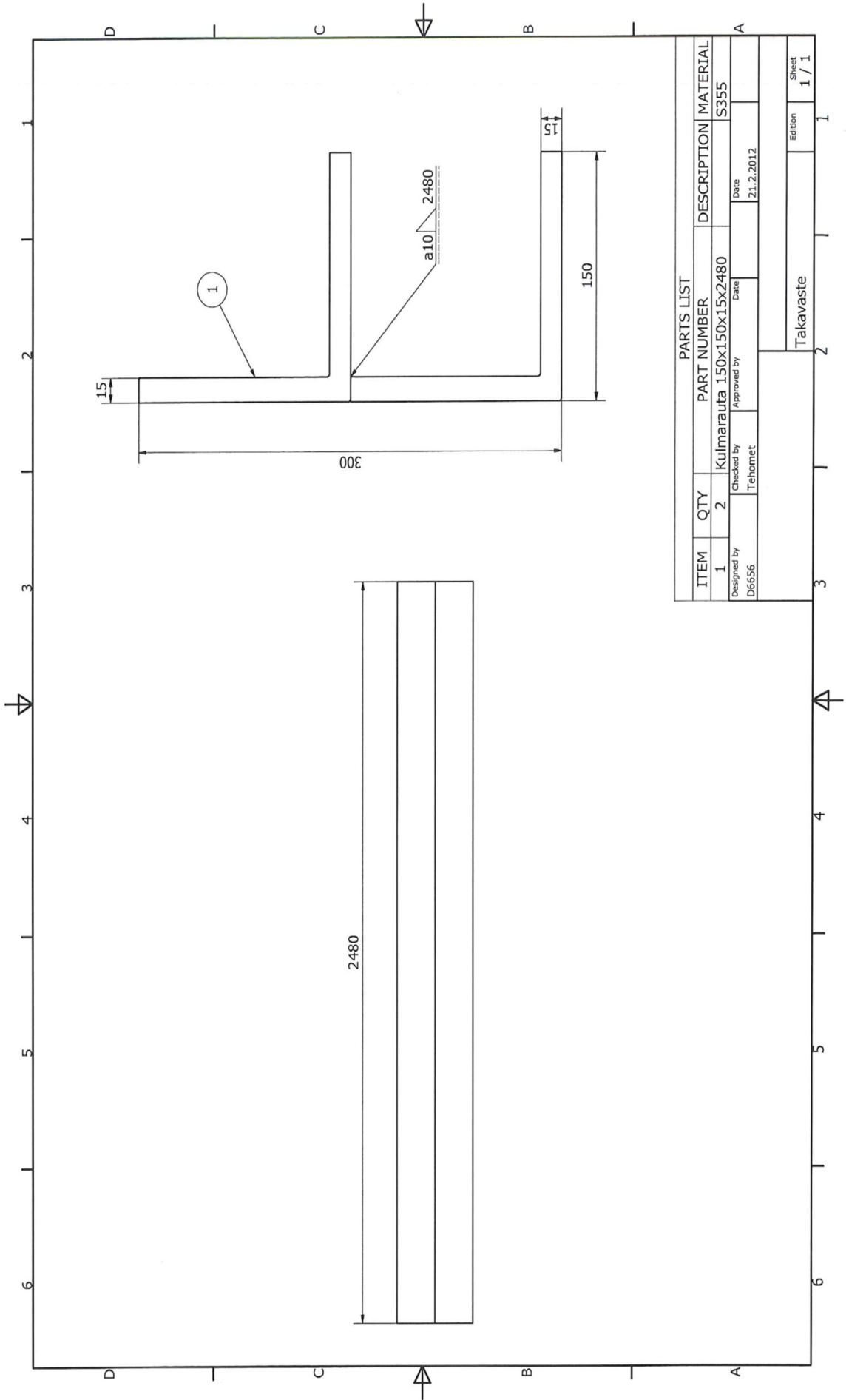


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION MATERIAL
1	1	Neliöputki 100x100x3x300	S355
2	1	Levy 150x150x10	S355
Designed by	Checked by	Approved by	Date
D6656	Tehomet		25.1.2012
Jalusta			Edition
			Sheet
			1 / 1

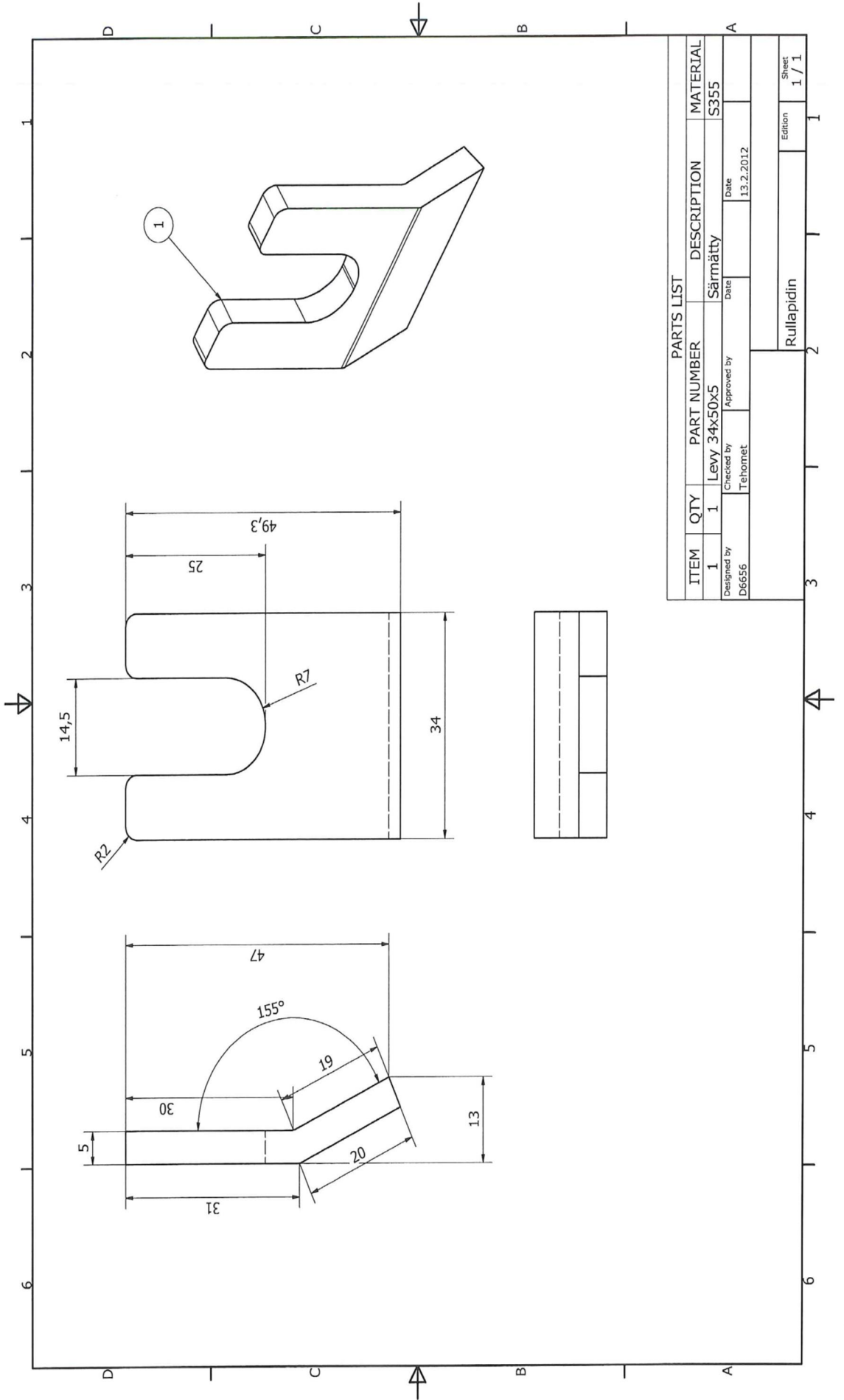


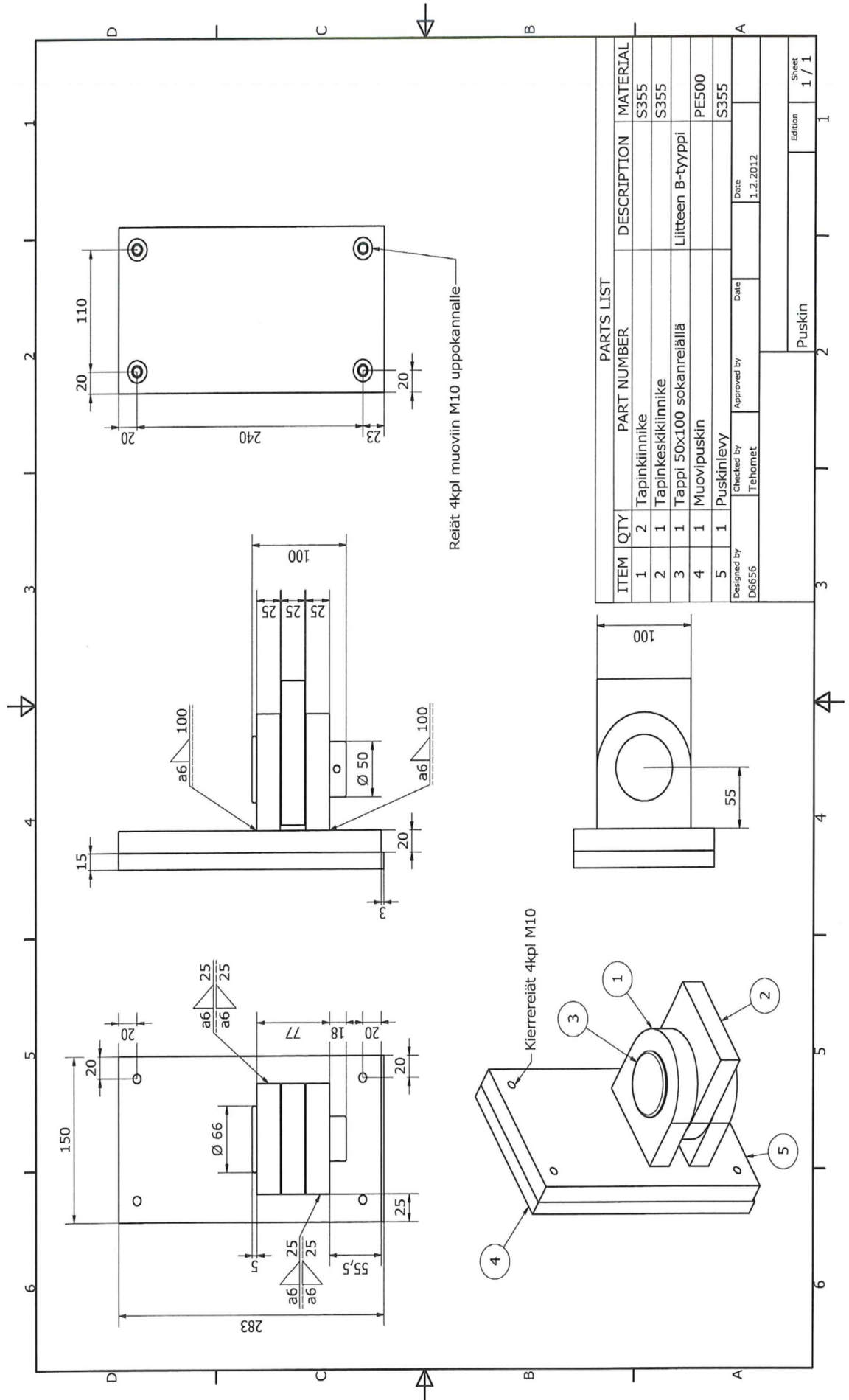






ITEM		QTY	PART NUMBER		DESCRIPTION		MATERIAL	
1	2	2	Kulmarauta 150x150x15x2480		S355		S355	
Designed by		Checked by		Approved by		Date		
D6656		Tehomet		Takavaste		21.2.2012		
							Edition	Sheet
								1 / 1



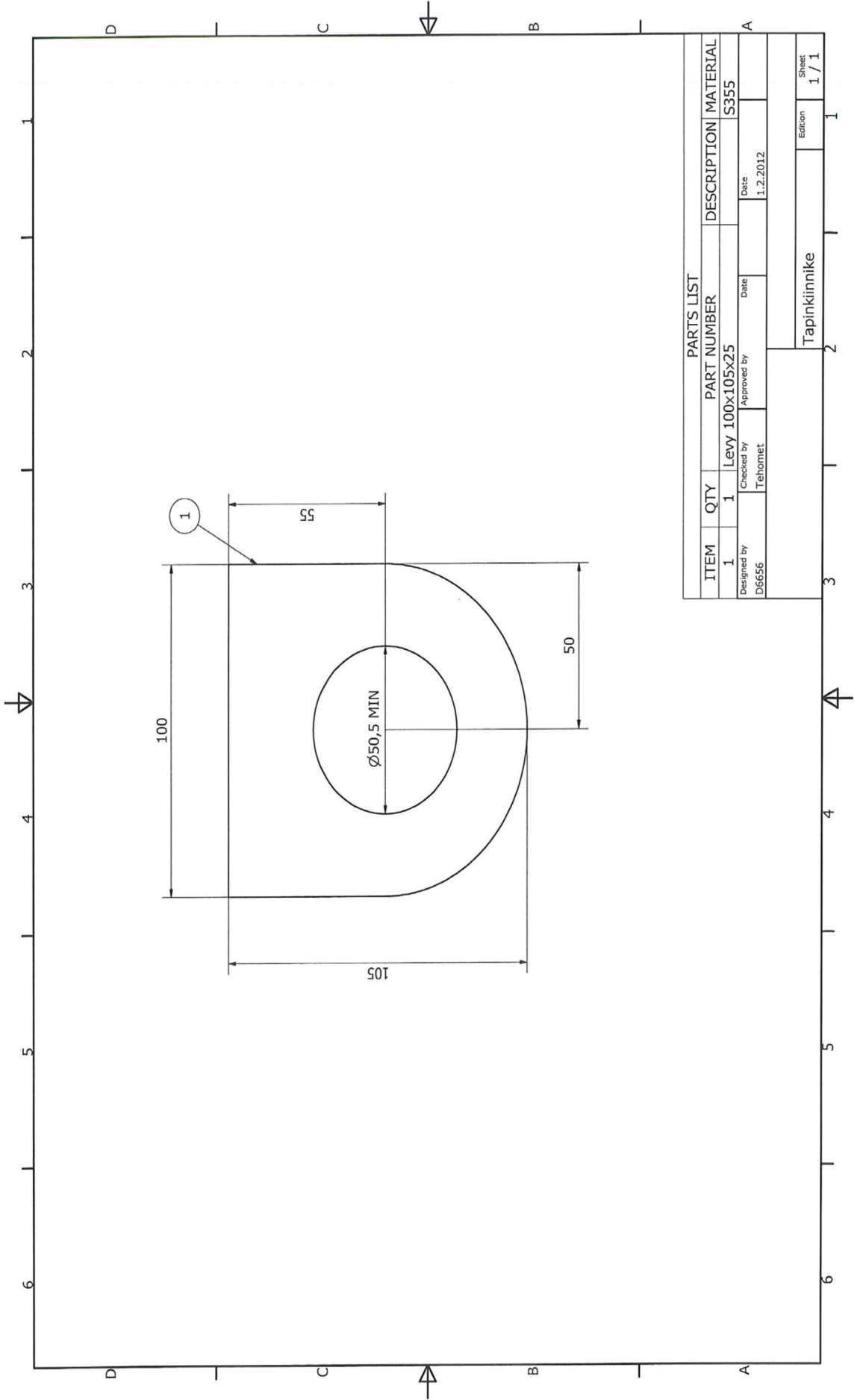


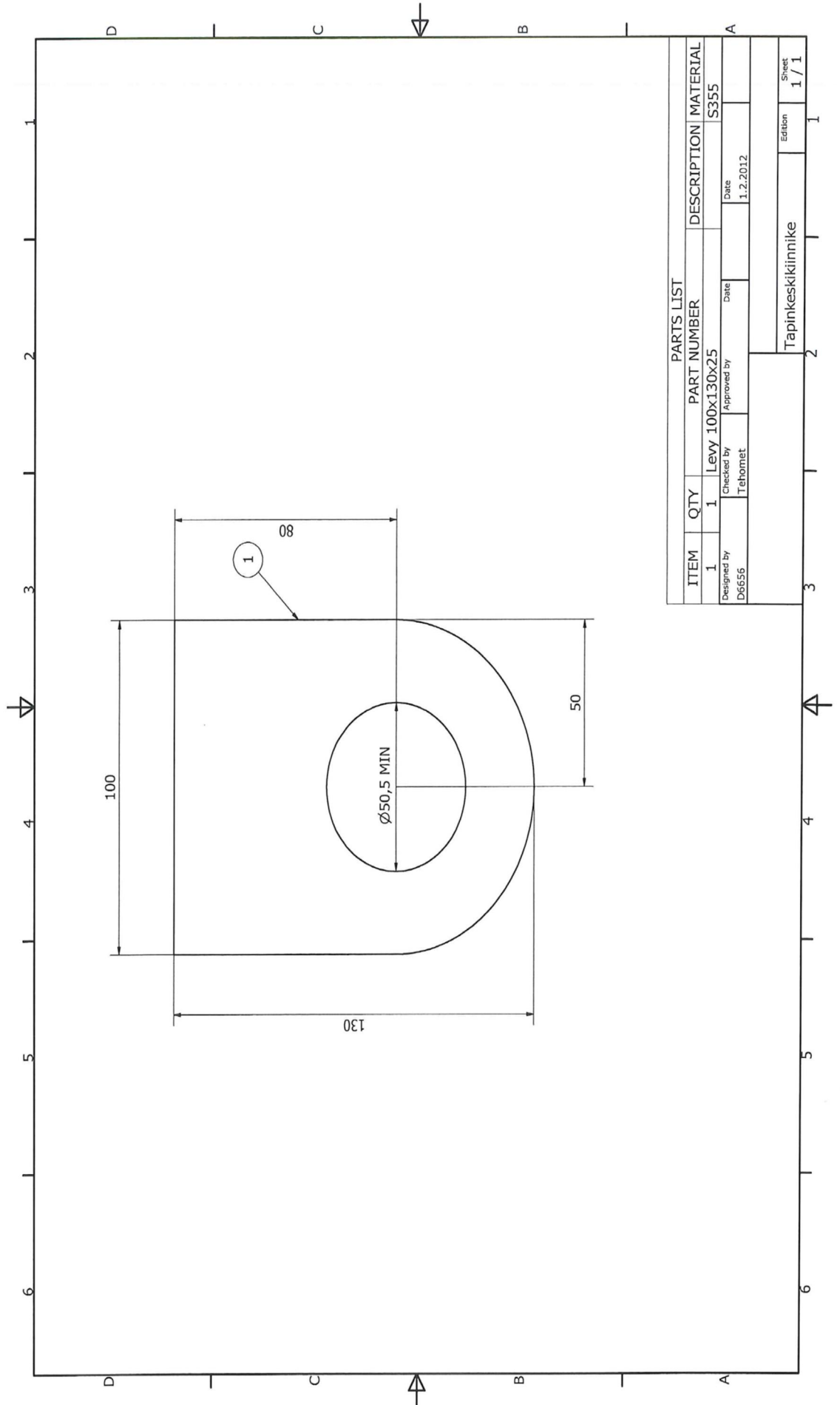
Reiät 4kpl muoviin M10 uppokannalle

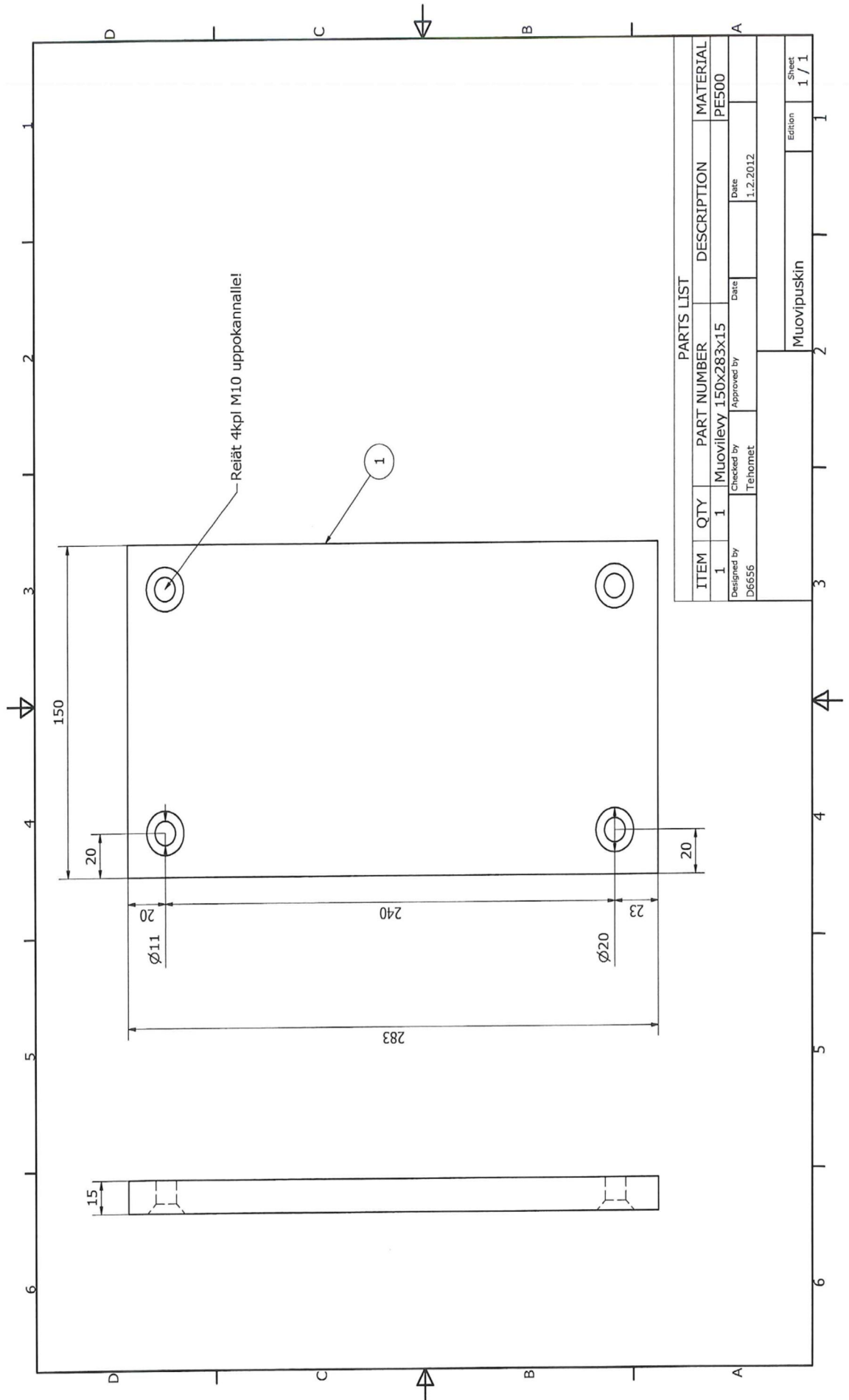
Kierrereiät 4kpl M10

Puskin

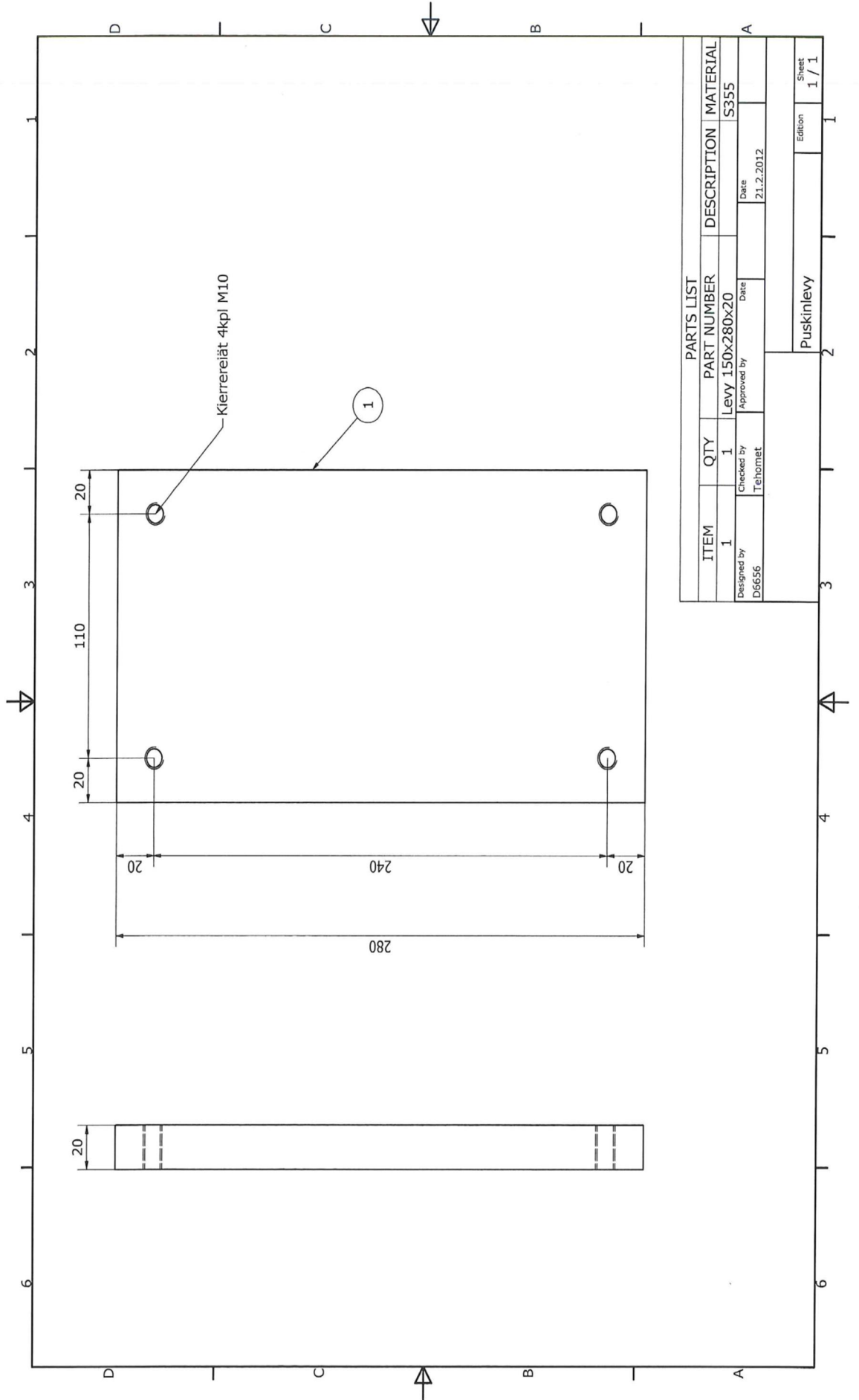
Sheet 1 / 1



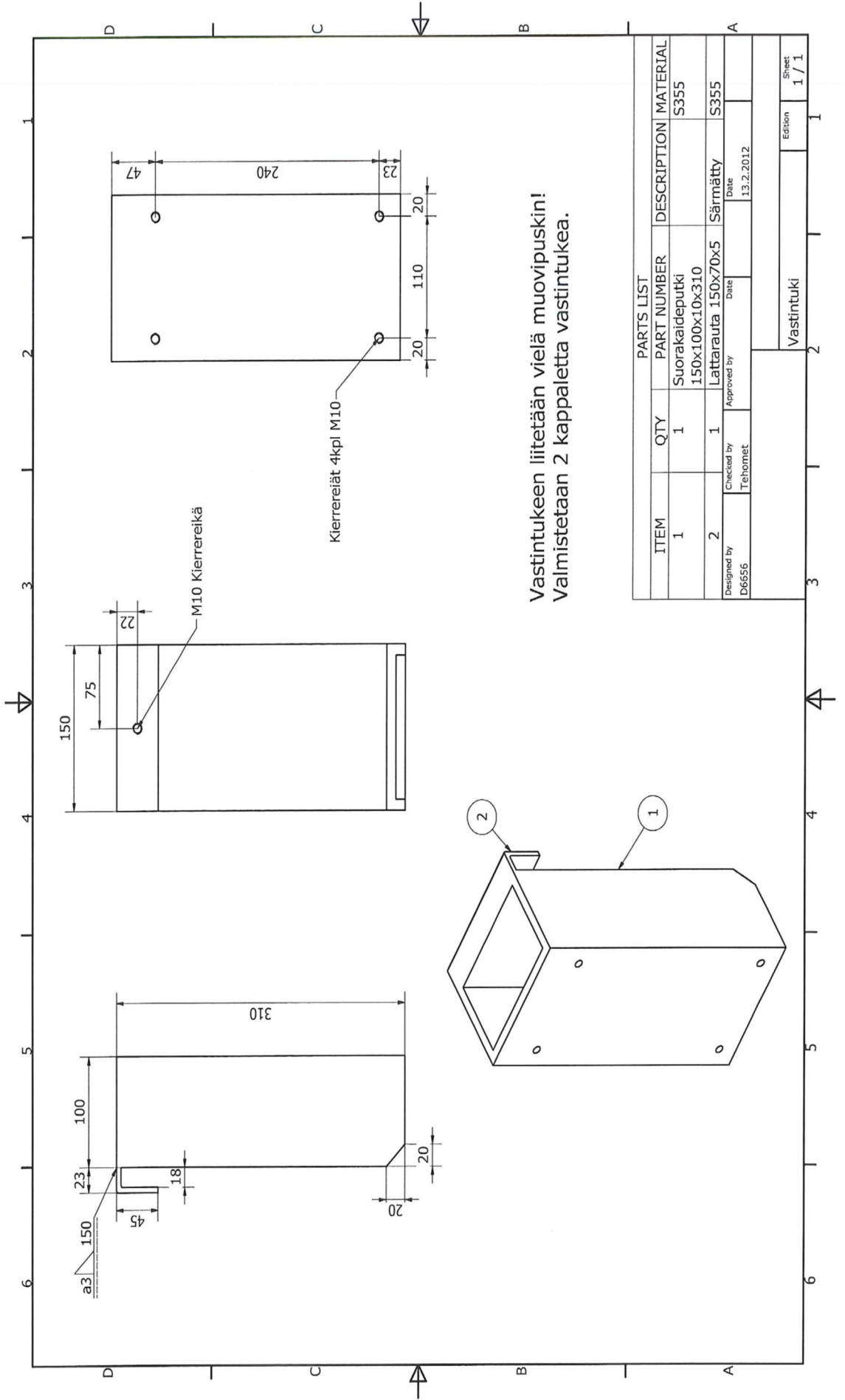




PARTS LIST				
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Muovilevy 150x283x15		PE500
Designed by		Checked by	Approved by	Date
D6656		Tehomet		1.2.2012
			Muovipuskin	Editen
				Sheet 1 / 1



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION MATERIAL
1	1	Levy 150x280x20	S355
Designed by D6656		Checked by Tehomet	Date 21.2.2012
		Approved by	Date
Puskinlevy			Edition 1 / 1



Vastintukeen liitetään vielä muovipuskin!
Valmistetaan 2 kappaletta vastintukea.

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION MATERIAL
1	1	Suorakaideputki 150x100x10x310	S355
2	1	Lattarauta 150x70x5	Särmätty S355
Designed by D6656	Checked by Tehomet	Approved by Date	Date 13.2.2012
Vastintuki			Edition 1 / 1

Liite 4. Takavasteen FEM-mallinnus

Lasketaan vastinpalkin jännitykset ja siirtymät Abaqus FEM-mallinnusohjelmalla.

Työntövoima := 20000 kg Sylinterin max työntövoima.

$$F_{\text{voima}} := \text{Työntövoima} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{voima}} = 1.962 \times 10^5 \text{ N}$$

$A_{\text{ala}} := 300 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}$ Vastintukien pinta-ala yhteensä.

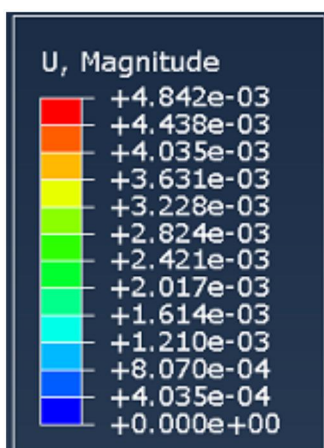
$$\text{Paine} := \frac{F_{\text{voima}}}{A_{\text{ala}}}$$

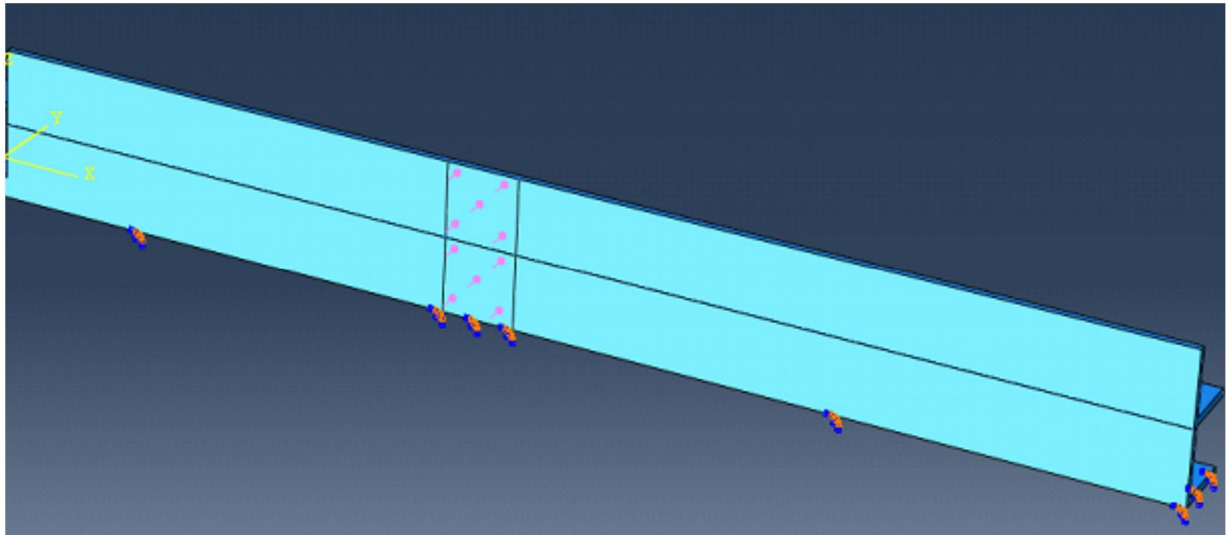
$$\text{Paine} = 2.18 \cdot \text{MPa}$$

Jännitykseksi palkille saadaan noin 220MPa < 355MPa eli jännitykset eivät ylitä myötörajaa, joten kulmarautaa voidaan käyttää takavasteena.

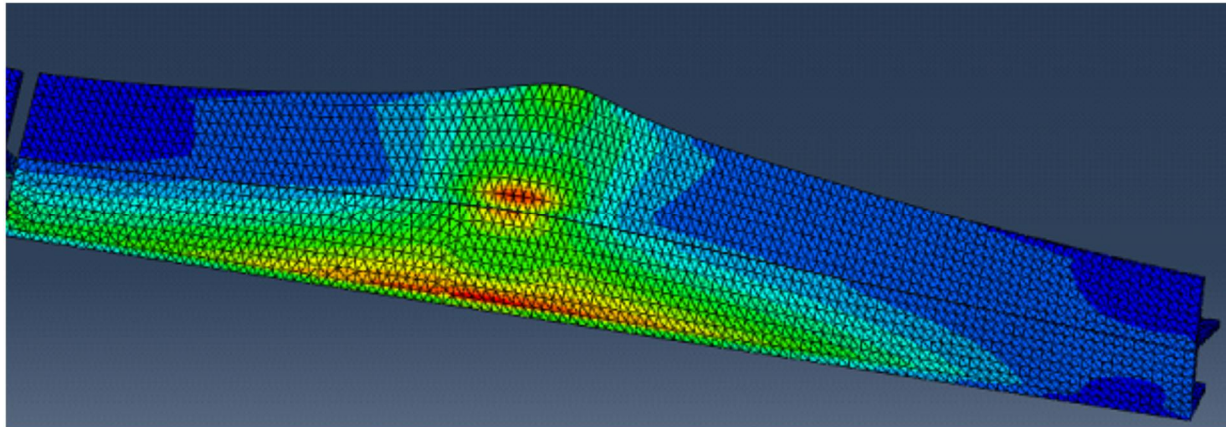


Laskennallinen siirtymä palkille on noin 4,9mm, joka sallitaan tässä tapauksessa.

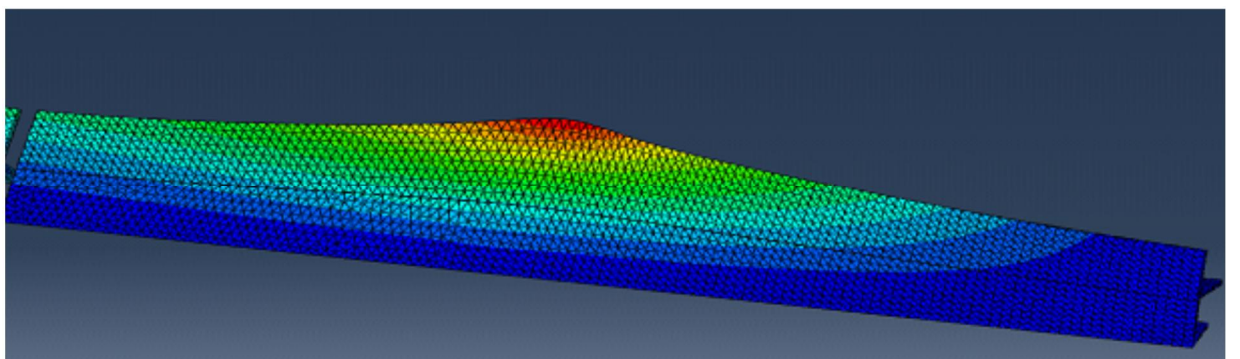




Paineen jakaminen vastintukea vastaavalle pinta-alalle on esitetty yllä olevassa kuviossa.



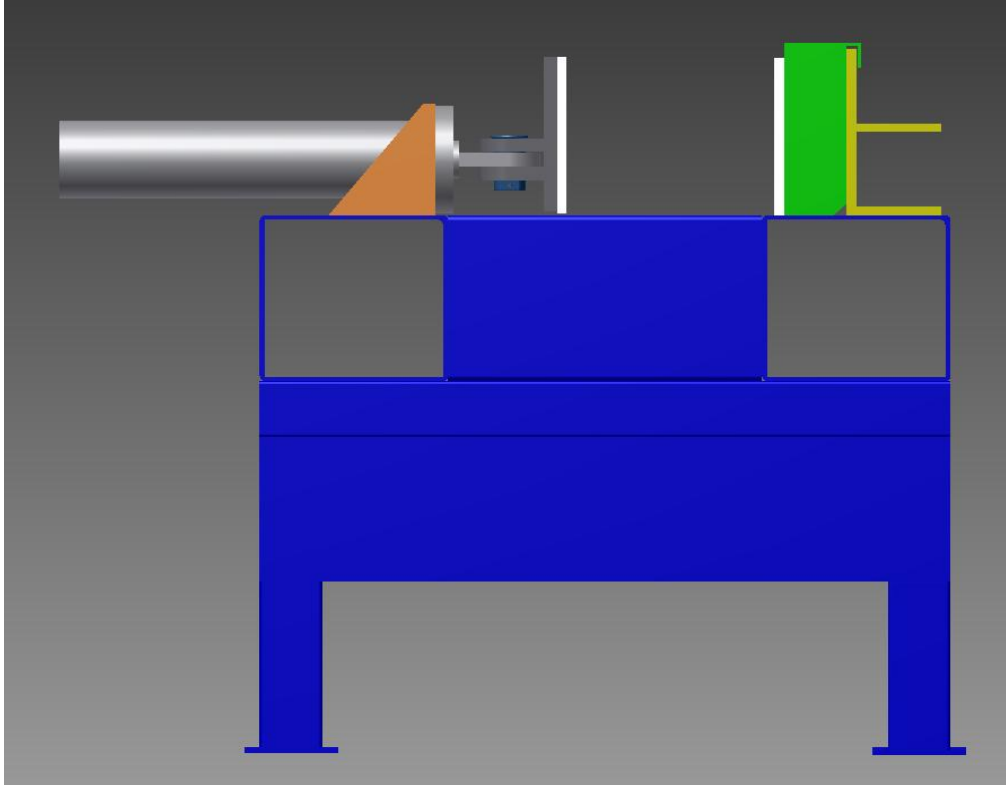
Jännitysten huiput on esitetty punaisella yllä olevassa kuviossa.



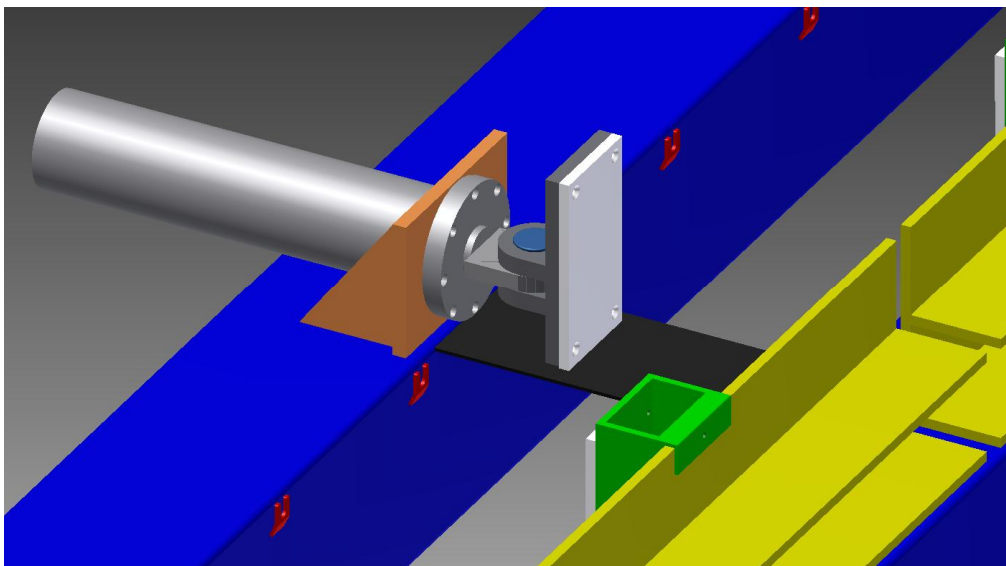
Siirtymien huiput on esitetty punaisella yllä olevassa kuviossa.

Liite 5. Asennuskuvat

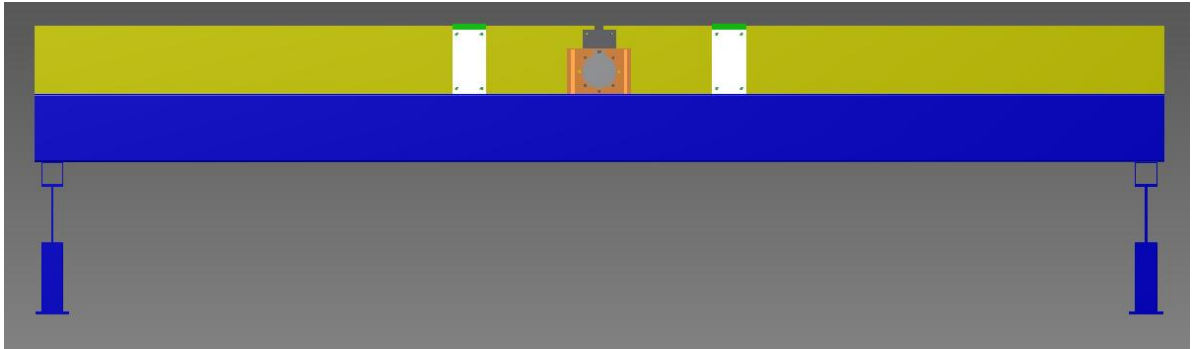
Asennuksen helpottamiseksi alla on esitetty havainnollistavia kuvia.



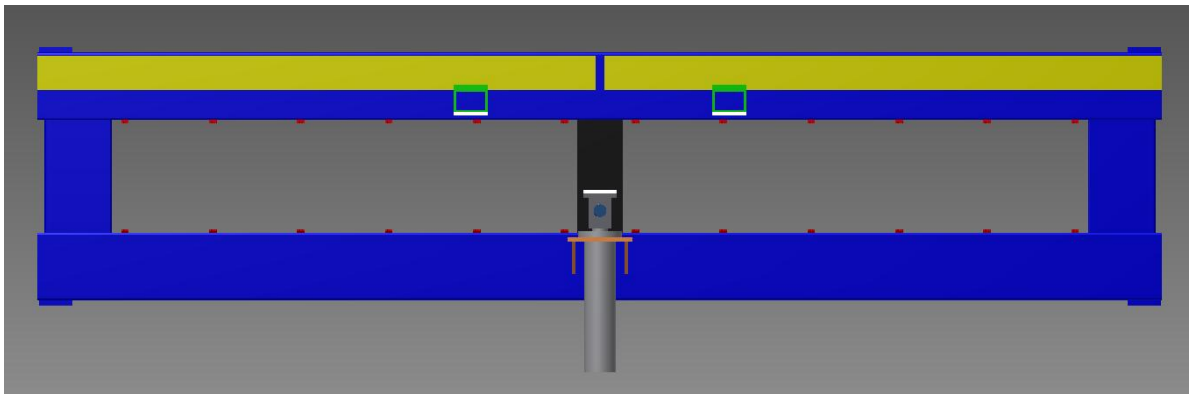
Laite sivulta



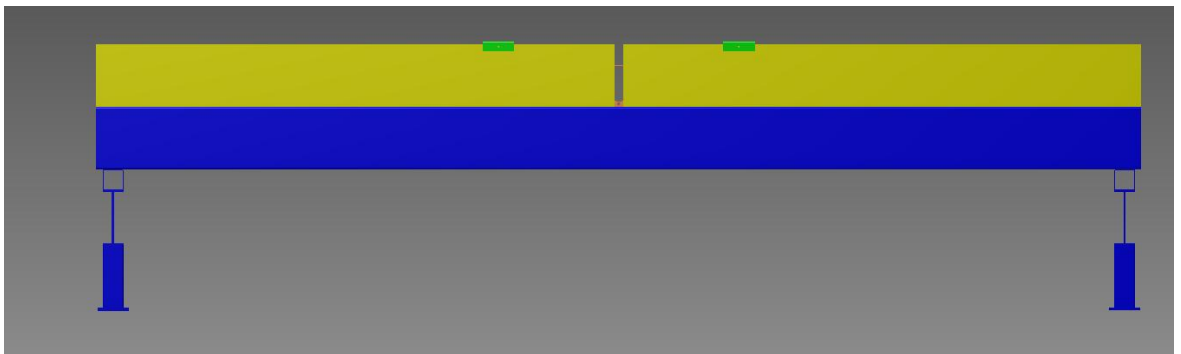
Puskin



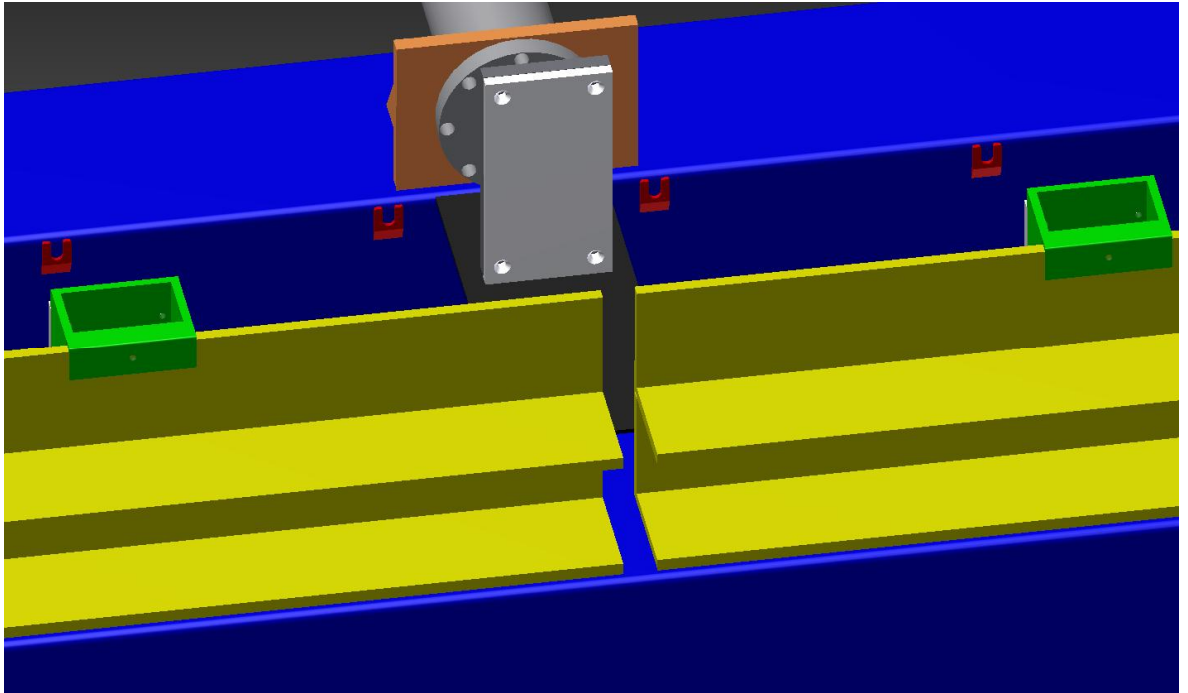
Laite edestä



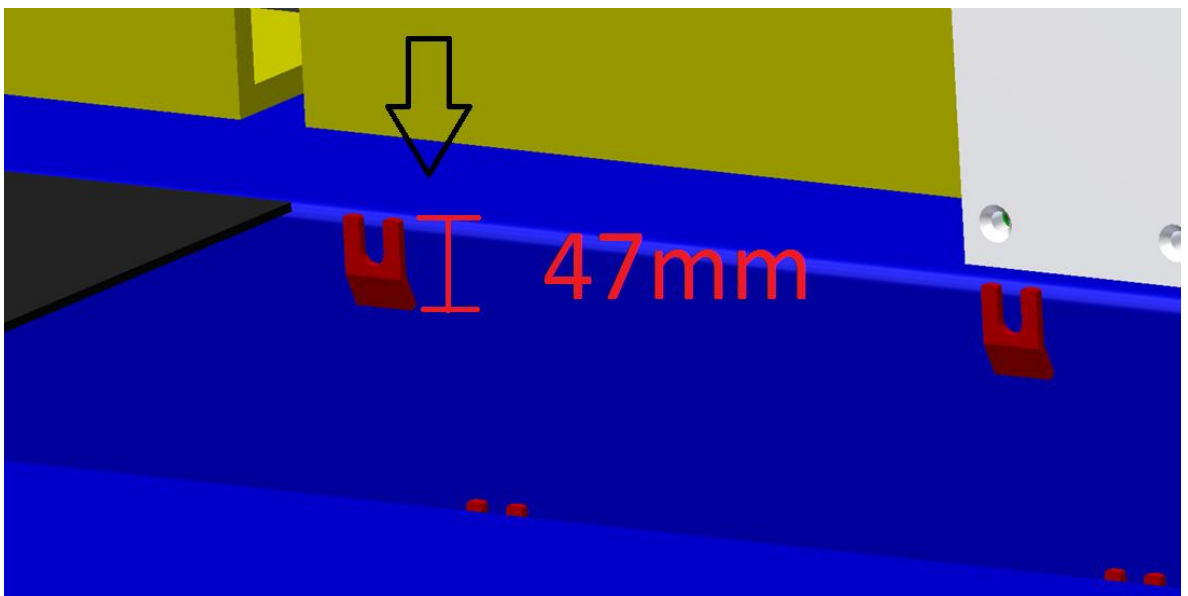
Laite päältä



Laite takaa



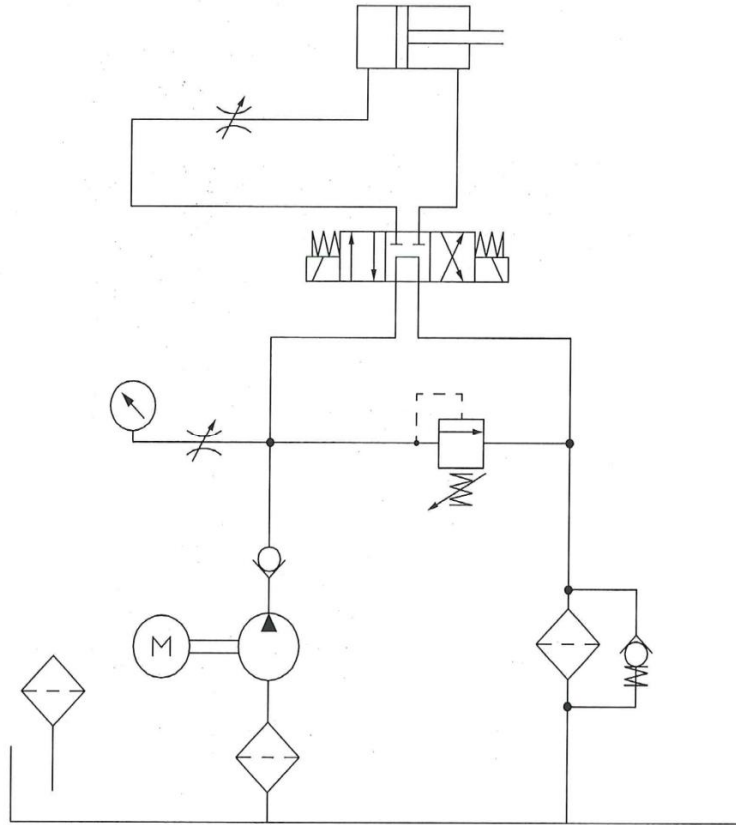
Sylinterin asennushahlo



Rullapidin

Rullapitimen yläpinta asennetaan samalle tasolle merkatun pinnan kanssa. Hitsattava sauma tulee noin 47mm päähän runkopalkin pinnasta.

Liite 6. Hydraulikkakaavio



10	1	Tankki + huohotin + täyttösuodatin		
9	1	Suodatin ohivirtausventtiilillä		
8	1	Kaksitoiminen sylinteri		
7	1	Virranvastusventtiili + painemittari		
6	1	Virranvastusventtiili		
5	1	Sähköisesti ohjattu 4/3-suuntaventtiili		
4	1	Paineenrajoitusventtiili		
3	1	Vastaventtiili		
2	1	Yksisuuntainen vakioilavuuspumppu + imusuodatin		
1	1	Sähkömoottori 4kW		
Item	Qty	Description	Standard	Material
FILE NAME		FSCM NO	SHEET	SCALE
Hydraulikkakaavio				1:1
SIZE				
A4				
DRAWN				
19.01.2012		D6656		

Liite 7. Lujuuslaskut ja hydraulijärjestelmän laskut

Sylinteriltä vaadittavan työntövoiman laskenta

Lasketaan työntövoima 273x5 S355 (myötöraja 280...300 N/mm²) rakenneputkelle, joka on oikaistavista putkista suurin. Laskut laskettu Esko Valtasen Tekniikan taulukkokirjan kaavoilla, jotka löytyvät laskuissa selostettujen otsikoiden alta.

$$D := 273 \cdot \text{mm} \quad d := 263 \cdot \text{mm} \quad \sigma_t := 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Myötörajan ylittävä arvo}$$

$$L_{\text{tukienväli}} := 2100 \text{ mm}$$

$$W_y := \pi \frac{(D^4 - d^4)}{32D} \quad W_y = 2.77 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad \text{Ympyrärenkaan taivutusvastus}$$

$$I_y := \pi \frac{(D^4 - d^4)}{64} \quad I_y = 3.781 \times 10^7 \text{ mm}^4 \quad \text{Neliömomentti}$$

$$M := \sigma_t \cdot W_y \quad M = 9.971 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \text{Taivutusjännitys}$$

$$F_t := \frac{M \cdot 4}{L_{\text{tukienväli}}} \quad \text{Taipuminen}$$

$$F_t = 1.899 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\text{Voima}_{\text{tonnia}} := \frac{F_t}{\text{g} \cdot 1000 \cdot \text{kg}} \quad \text{Voima}_{\text{tonnia}} = 19.368$$

Rungon jalustojen nurjahdustarkastelu

Koneen massa max 1700kg

Jalustoja 4kpl

$$m_{\max} := 1700\text{kg}$$

$$F_{\text{jalusta}} := \frac{m_{\max}}{4} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{jalusta}} = 4169.25\text{N}$$

$$L_{\text{jalusta}} := 300\text{ mm}$$

$$L_n := 600\text{ mm} \quad \text{nurjahduspituus}$$

$$E_{\text{teräs}} := 206000\text{ MPa}$$

Lasketaan Eulerin nurjahduskaavalla:

$$F := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_n^2}$$

Ratkaistaan kaavasta I

$$I_{\min} := \frac{F_{\text{jalusta}} L_n^2}{\pi^2 \cdot E_{\text{teräs}}}$$

$$I_{\min} = 738.233 \cdot \text{mm}^4 \quad \rightarrow \quad \text{Valitaan taulukosta sopiva neliön muotoinen rakenneputki saadun arvon perusteella.}$$

Valitaan 100x3 neliöputki, jonka jäyhyysmomentti on esitetty alla:

$$I_{\text{neliöprofiili}} := 1770 \cdot 10^3 \cdot \text{mm}^4$$

Puskimen tapin halkaisijan mitoitus

Kuormitukset saadaan sylinteriltä tulevista voimista. Leikkausjännitys pultin poikkileikkauksessa oletetaan tasan jakautuneeksi.

$$F_{\text{sylinteri}} := 20000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{sylinteri}} = 1.962 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q := F_{\text{sylinteri}}$$

$$\tau := \frac{Q}{A}$$

$$A_{\text{tappi}} := 2\pi \cdot r_{\text{tappi}}^2$$

$$\tau_{\text{min}} := \frac{Q}{2\pi \cdot r_{\text{tappi}}^2}$$

$$\tau_{\text{sall}} := 120 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{Sallitaan leikkausjännitykseksi kuormitustilanteessa}$$

$$r_{\text{tappi}} := \sqrt{\frac{Q}{2\pi \cdot \tau_{\text{sall}}}}$$

$$r_{\text{tappi}} = 16.131 \cdot \text{mm}$$

$$D_{\text{tappi}} := 2 \cdot r_{\text{tappi}}$$

$$D_{\text{tappi}} = 32.263 \cdot \text{mm} \quad \rightarrow \text{Valitaan seuraava järkevä koko 50mm}$$

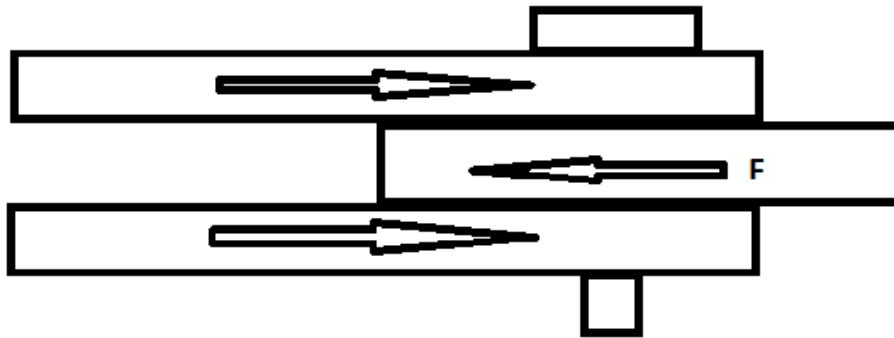
Tapin kiinnikkeiden kestävyyslaskenta

Kiinnikkeiden kestävyys on laskettu standardissa SFS-EN 1993-1-8 esitettyjen arvojen perusteella.

Mittoja ja lujuusarvoja: Teräs S355 => $f_u := 510 \cdot \text{MPa}$ $f_y := 355 \cdot \text{MPa}$
 Tappi 8.8 => $f_{ub} := 800 \cdot \text{MPa}$
 D50 => $A_r := 1963 \cdot \text{mm}^2$

Pultin reikä Eurocode 3 => $d_0 := 50.5 \text{ mm}$ $b := 100 \cdot \text{mm}$ $t_{1\text{keski}} := 25 \cdot \text{mm}$
 $t_2 := 25 \cdot \text{mm}$ $d_{\text{tappi}} := 50 \cdot \text{mm}$ $\gamma_{M2} := 1.25$
 $\alpha_v := 0.6$ $\gamma_{M1} := 1.1$

Keskimmäinen levy muodostuu mitoittavaksi, koska reunimmaisten levyjen yhteispaksuus on suurempi kuin keskimmäisen levyn paksuus mutta rasittava voima vain puolet keskimmäisen levyn voimasta.



$$A_{\text{net}} := b \cdot t_{1\text{keski}} - t_{1\text{keski}} \cdot d_0 \quad A_{\text{net}} = 1237.5 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{\text{pl.Rd}} := b \cdot t_{1\text{keski}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{\text{pl.Rd}} = 806.818 \cdot \text{kN}$$

$$N_{\text{u.Rd}} := 0.9 \cdot A_{\text{net}} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{\text{sylinteri}} := 20000 \text{ kg} \cdot g = 196.133 \cdot \text{kN} < N_{\text{u.Rd}} = 454.41 \cdot \text{kN}$$

Nettopoikkileikkauksen kestävyys on rajoittava mutta ei ole pienempi kuin sylinteriltä tuleva rasitus.

Voidaan valita käytettäväksi 25mm vahvuista S355 levyä.

Sylinteripesän leikkauksen laskenta

Kuormitukset saadaan sylinteriltä tulevista voimista.

Leikkaujännitys pesän poikkileikkauksessa oletetaan tasan jakautuneeksi.

$$F_{\text{sylinteri}} := 20000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{sylinteri}} = 1.962 \times 10^5 \text{ N}$$

$$Q := F_{\text{sylinteri}}$$

$$\tau := \frac{Q}{A}$$

$$n_{\text{varmuus}} := 2$$

$$f_y := 355 \cdot \text{MPa} \rightarrow \text{teräs S355}$$

$$\tau_{\text{sall}} := \frac{f_y}{n_{\text{varmuus}}}$$

$$h_{\text{sivulevy}} := 75 \text{ mm} \quad \text{mitta sivulevyille on otettu kolmiotuen puolesta välistä.}$$

$$t_{\text{sivulevy}} := 15 \text{ mm} \quad \text{sivulevyn paksuus.}$$

$$n_{\text{sivulevy}} := 2 \quad \text{sivulevyjen määrä.}$$

$$L_{\text{leveys}} := 285 \text{ mm} \quad \text{etulevyn leveys.}$$

$$\text{levynreikä} := 14 \text{ mm} \quad \text{pulttien reikäkoko.}$$

$$\text{keskireiänhalkaisija} := 150 \text{ mm}$$

$$h_{\text{korkeusetu}} := L_{\text{leveys}} - 2 \cdot \text{levynreikä} - \text{keskireiänhalkaisija}$$

$$h_{\text{korkeusetu}} = 107 \cdot \text{mm}$$

$$t_{\text{paksuusetu}} := 20 \text{ mm} \quad \text{etulevyn paksuus}$$

$$A_{\text{levy}} := (n_{\text{sivulevy}} \cdot h_{\text{sivulevy}} \cdot t_{\text{sivulevy}}) + (h_{\text{korkeusetu}} \cdot t_{\text{paksuusetu}})$$

$$\tau_{\text{min}} := \frac{Q}{A_{\text{levy}}}$$

$$\tau_{\text{sall}} = 177.5 \cdot \text{MPa} < 355 \text{ MPa} \quad \text{Sallitaan leikkaujännitykseksi kuormitustilanteessa.}$$

$$A_{\text{levymin}} := \frac{Q}{\tau_{\text{sall}}}$$

$$A_{\text{levymin}} = 1105.352 \cdot \text{mm}^2 < A_{\text{levy}} = 4390 \cdot \text{mm}^2$$

Sylinteripesän hitsauksen laskenta

Hitsausliitosten yksinkertaistettu lujuuslaskenta SFS 2373 standardin mukaan, sylinteripesän kiinnitykselle runkoon.

$$\beta := 0.9 \quad -> \quad \text{Perusaineen ja hitsiaineen lujuuksien suhteen huomioon ottava kerroin materiaalille S355.}$$

$$\sigma_{\text{sall}} := 227 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad -> \quad \text{Katsottu standardista materiaalille S355}$$

$$\sigma_{\text{wsall}} := \frac{\sigma_{\text{sall}}}{\sqrt{3} \cdot \beta}$$

$$\sigma_{\text{wsall}} = 145.621 \cdot \text{MPa}$$

$$t := 8 \quad -> \quad \text{Rungon paksuus hitsattavassa kohdassa.}$$

$$l_1 := 2 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$l_2 := 285 \text{ mm} + 2 \cdot 80 \text{ mm}$$

$$F_{\text{sylinteri}} := 20000 \text{ kg} \cdot g = 196.133 \cdot \text{kN}$$

Lasketaan sylinteripesän sivun saumalle vaadittava a-mitta

$$a_1 := \frac{F_{\text{sylinteri}}}{l_1 \cdot \sigma_{\text{wsall}}}$$

$$a_1 = 4.49 \cdot \text{mm}$$

Lasketaan sylinteripesän etulevyn saumalle vaadittava a-mitta

$$a_2 := \frac{F_{\text{sylinteri}}}{l_2 \cdot \sigma_{\text{wsall}}}$$

$$a_2 = 3.027 \cdot \text{mm}$$

Jäähdytysnopeuden mukaan laskettuna sauman a-mitta on

$$(\sqrt{t} - 0.5) \text{ mm} = 2.328 \cdot \text{mm} \quad a \geq 2.328$$

Valitaan seuraava standardin mukainen a-mitta kaikkiin saumoihin.

$$-> 6 \text{ mm}$$

Takavasteen hitsauksen laskenta

Hitsausliitosten yksinkertaistettu lujuuslaskenta SFS 2373 standardin mukaan, takavasteen ja rungon liitokselle.

$\beta := 0.9$ \rightarrow Perusaineen ja hitsiaineen lujuuksien suhteen huomioon ottava kerroin materiaalille S355.

$\sigma_{\text{sall}} := 227 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ \rightarrow Katsottu standardista materiaalille S355

$$\sigma_{\text{wsall}} := \frac{\sigma_{\text{sall}}}{\sqrt{3} \cdot \beta}$$

$$\sigma_{\text{wsall}} = 145.621 \cdot \text{MPa}$$

$t := 8$ \rightarrow Rungon paksuus hitsattavassa kohdassa.

$l_1 := 1000 \text{ mm}$ \rightarrow Oletetaan suurimpien rasitusten kohdistuvan palkin keskelle metrin matkalle.

$$l_2 := 300 \text{ mm}$$

$$F_{\text{sylinteri}} := 20000 \text{ kg} \cdot g = 196.133 \cdot \text{kN}$$

Lasketaan vastinpalkin pitkän sivun saumalle vaadittava a-mitta

$$a_1 := \frac{F_{\text{sylinteri}}}{l_1 \cdot \sigma_{\text{wsall}}}$$

$$a_1 = 1.347 \cdot \text{mm}$$

Lasketaan vastinpalkin päädyn saumalle vaadittava a-mitta

$$a_2 := \frac{F_{\text{sylinteri}}}{l_2 \cdot \sigma_{\text{wsall}}}$$

$$a_2 = 4.49 \cdot \text{mm}$$

Jäähdytysnopeuden mukaan laskettuna sauman a-mitta on

$$(\sqrt{t} - 0.5) \text{ mm} = 2.328 \cdot \text{mm} \quad a \geq 2.328$$

Valitaan seuraava standardin mukainen a-mitta kaikkiin saumoihin.

$\rightarrow 6 \text{ mm}$

Hydrauliijärjestelmän laskut on laskettu Hydrauliikka ja pneumatiikka kirjan, hydrauli-järjestelmän suunnittelu osiossa (254–283) esitettyiden kaavojen mukaan.

Sylinterin männän halkaisijan laskenta

Sylinterin valinnassa käytetään apuna SFS 3958 standardia.

$$F_{\text{sylinteri}} := 20000 \cdot 9.81 \cdot N = 1.962 \times 10^5 \text{ N} \quad \text{Sylinteriltä vaadittava voima}$$

$$p_{\text{paine}} := 20000000 \text{ Pa} \quad \text{Järjestelmän paine}$$

$$\eta := 0.9 \quad \text{Hyötysuhde}$$

$$D := \sqrt{\left(\frac{4 \cdot F_{\text{sylinteri}}}{p_{\text{paine}} \cdot \pi \cdot \eta} \right)} \quad D = 117.806 \text{ mm} \quad \text{Valitaan sopiva sylinteri standardista}$$

Sylinterin männänvarren nurjahdustarkastelu

$$E_{\text{teräs}} := 21 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad l_n := 640 \text{ mm}$$

$$d := 70 \text{ mm}$$

$$\eta_{\text{varmuus}} := 4$$

$$F_n := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{teräs}} \cdot I_n}{64 \cdot l_n^2} \quad I_n := \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad \text{Kaavat yhdistämällä saadaan}$$

$$F_{\text{nurjahdus}} := \frac{\pi^3 \cdot E_{\text{teräs}} \cdot d^4}{64 \cdot \eta_{\text{varmuus}} \cdot l_n^2} \quad \text{Lasketaan nurjahdukseen vaadittava voima}$$

$$F_{\text{nurjahdus}} = 1490.943 \text{ kN} \quad > 196.2 \text{ kN} \quad \text{Männänvarsi kestää}$$

Hydraulpumpun mitoittaminen

$$A_{\text{sylinteri}} := \frac{\pi \cdot 0.125^2 \cdot \text{m}^2}{4} \quad \text{Sylinterin pinta-ala}$$

$$v := 0.01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Sylinterin nopeus}$$

$$Q := A_{\text{sylinteri}} \cdot v$$

$$Q = 7.363 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad \text{Tilavuusvirta litroina}$$

$$Q_p := \frac{7.363 \cdot 1000 \text{ cm}^3}{60 \cdot \text{s}} \quad Q_p = 122.717 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \quad \text{Pumpun tilavuusvirta}$$

$$\eta_{\text{vol}} := 0.95 \quad n := 23.83 \quad \text{Volumetrinen hyötysuhde ja moottorin pyörimisnopeus (r/s)}$$

$$Q_{\text{vk}} := \frac{Q_p}{n \cdot \eta_{\text{vol}}} \quad Q_{\text{vk}} = 5.421 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

Valitaan hydraulpumpuille standardoidusta kierros-tilavuuden kokoluettelosta seuraava sopiva koko = $6.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$

Käyttömoottorin mitoitus

$$p_{\text{paine}} := 20000000 \text{ Pa} \quad \text{Järjestelmän painetaso}$$

$$\eta := 0.75 \quad \text{Sähkömoottorin ja pumpun kokonaishyötysuhde}$$

$$P_m := \frac{Q_p \cdot p_{\text{paine}}}{\eta} \quad P_m = 3272.444 \text{ W} \quad \text{Sähkömoottorilta vaadittava teho}$$

Valitaan Valtasen taulukkokirjasta sivulta 811 oikosulkumoottori, jonka teho on 4 kW

Hydrauliputkien ja letkujen mitoitus

$$p_{\text{paine}} := 20000000 \text{ Pa}$$

Järjestelmän painetaso

$$Q := 7.363 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 1.227 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tilavuusvirta

$$v_{\text{imu}} := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_{\text{paine}} := 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_{\text{paluu}} := 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$d_{\text{imu}} := 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v_{\text{imu}}}} \quad d_{\text{imu}} = 12.5 \text{ mm} \quad \text{Imuputken sisähalkaisija min}$$

Valitaan ulkohalkaisijaltaan 20 mm imuputki, jonka sisähalkaisijaksi tulee 15 mm

$$d_{\text{paine}} := 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v_{\text{paine}}}} \quad d_{\text{paine}} = 5.59 \text{ mm} \quad \text{Paineputken sisähalkaisija min}$$

Valitaan ulkohalkaisijaltaan 12 mm imuputki, jonka sisähalkaisijaksi tulee 8 mm

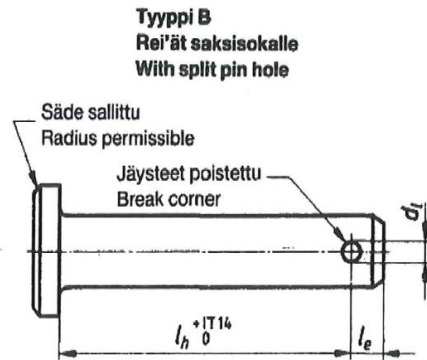
$$d_{\text{paluu}} := 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v_{\text{paluu}}}} \quad d_{\text{paluu}} = 8.839 \text{ mm} \quad \text{Paluuputken sisähalkaisija min}$$

Valitaan ulkohalkaisijaltaan 16 mm imuputki, jonka sisähalkaisijaksi tulee 12 mm

Putkina käytetään standardissa SFS 2230 mainittuja kylmävedettyjä teräsputkia. Teräsputket on mahdollista korvata myös vastaavilla letkuilla esimerkiksi sylinterin asennuksen helpottamiseksi.

Liite 8. Tappi ja keskirullat

Standardin SFS-EN 22 341 mukainen lieriötappi sokanreiällä, jonka halkaisija 50mm ja pituus 100mm.



Rulmeca Oy:n valmistamat kuljetinrullat.

Kuljetinrulla1: PSV1,20F, 63N, 473 sähkösinkittynä.

Kuljetinrulla2: PSV1,20F, 63N, 958 sähkösinkittynä.

Rullat on merkattu alla olevaan valmistajan sivuilta löytyvään PSV-sarjan tyyppivalikoima ja mitat pdf-tiedostosta otettuun kuvaan.

Ø 63 N

Laakeri 6204
(20 X 47 X 14)

d = 20
ch = 14
s = 3
e = 4
g = 9

Kuljetinrulla1

Kuljetinrulla2

Hihna	Rulla										
leveys mm	mitat mm			paino kg		kuormituskapasiteetti daN					
ripustukset	B	C	A	pyörivät osat yht.		hihnan nopeus m/s					
						0.5	1	1.25	1.5	1.75	2
400	160	168	186	1.3	1.8	201	160	148	140	133	127
300 500	200	208	226	1.5	2.1	201	160	148	140	133	127
400 650	250	258	276	1.7	2.4	201	160	148	140	133	127
500 800	315	323	341	2.0	2.9	201	160	148	140	133	127
300 650 1000	380	388	406	2.3	3.3	201	160	148	140	133	127
800 1200	465	473	491	2.7	3.9	201	160	148	140	133	127
400	500	508	526	2.9	4.1	201	160	148	140	133	127
500 1000	600	608	626	3.3	4.8	201	160	148	140	133	127
1200	700	708	726	3.8	5.5	184	160	148	140	133	127
650	750	758	776	4.0	5.9	172	160	148	140	133	127
800	950	958	976	4.9	7.3	138	138	138	138	133	127
1000	1150	1158	1176	5.8	8.7	116	116	116	116	116	116
1200	1400	1408	1426	6.9	10.4	99	99	99	99	99	99

Liite 9. Osaluettelo

Osaluettelo

Oikaisukone

Osa	Kappalemäärä	Valmistus/hankinta
Runko	1	Valmiina
Jalusta		
Neliöputki 100x100x3x300	4	Osto
Levy 150x150x10	4	Poltto
Keskilevy		
Levy 200x500x5	1	Omavalmiste
Liukurata		
Rullapidin	24	Poltto
Kuljetinrulla1 PSV1,20F,63N,473 (liite)	12	Osto
Sylinteripesä		
Sylinteripesän sivulevy	2	Poltto
Sylinteripesän etulevy	1	Poltto
Takavaste		
Kulmarauta 150x150x15x2480	4	Omavalmiste
Vastintuki		
Suorakaideputki 150x100x10x310	2	Osto
Lattarauta 150x70x5	2	Omavalmiste
Muovipuskin	2	Osto/omavalmiste
Puskin		
Tapinkiinnike	2	Poltto
Tapinkeskikiinnike	1	Poltto
Tappi 50x100 sokanreiällä (liite)	1	Osto
Muovipuskin	1	Osto/omavalmiste
Puskinlevy	1	Poltto
Tukipukki		
Suorakaideputki 100x50x5x700	2	Osto
Putki 76,1x2,9x650	2	Omavalmiste
Putki 76,1x2,9x1060	1	Omavalmiste
Levy 100x100x5	4	Omavalmiste
Putki 60,3x2,9x750	2	Omavalmiste
Putki 60,3x2,9x1060	1	Omavalmiste
Päätylappu 60 putkelle	2	Omavalmiste
M10 mutteri ja pidätinruuvi	4	Omavalmiste
Rullapidin	2	Poltto
Kuljetinrulla2 PSV1,20F,63N,958 (liite)	1	Osto

Lisäksi tarvitaan hydraulikkakomponentit, letkut, liittimet, ruuveja, muttereita ja aluslaattoja. Työturvallisuuden lisäämiseksi asennetaan hätäseis-kytkin koneen molempiin päihin. Kaikki levy materiaalit S355.