

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät
Mikko Taupila

Opinnäytetyö

Ohutlevyhyllyn suunnittelu ja valmistusohje

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 5/2010

DI, lehtori Yrjö Viitanen
Nerkoon Metalli Oy, Hannu Yli-Kärkelä

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät
Tekijä
Työn nimi

Mikko Taupila
Ohutlevyhyllyn suunnittelu ja
valmistusohje
45 sivua + 15 liitesivua
5/2010
DI, lehtori Yrjö Viitanen
Nerkoon Metalli,
valvoja Hannu Yli-Kärkelä

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella hylly ohutlevyjen säilytykseen. Hyllyn piti olla turvallinen ja helppokäyttöinen. Yrityksellä, jolle hylly suunniteltiin, oli valmiina tarttujat, joiden avulla levyjä siirrettäisiin hyllyyn ja pois hyllystä. Suunnittelun hyllyn avulla haluttiin päästä eroon sekalaisesta säilytyslavojen ja ohutlevyjen pinosta.

Hyllyn suunnittelu lähti liikkeelle toimintaperiaatteen määrittämisellä. Kun hyllyn toimintaperiaate oli selvillä, siirryttiin pääkomponenttien suunnitteluun. Suunnittelun edetessä keskityttiin yhä pienempiin yksityiskohtiin, kunnes kaikki tarvittavat komponentit oli suunniteltu valmiiksi. Suunnitteluvaiheissa vertailtiin erilaisia materiaali- ja rakenneratkaisuja, joista valittiin kyseiseen tarkoitukseen sopiva ratkaisu. Hyllyn kaikki osat on mallinnettu Catia V5R18-ohjelmistolla. Samaa ohjelmaa on käytetty myös lujoustarastelussa.

Opinnäytetyöhön kuuluu myös hyllyn valmistusohje mitoituspiirustuksineen. Ohjeen avulla pystytään valmistamaan kyseinen hylly oikeista materiaaleista, oikeilla menetelmillä ja oikeassa järjestyksessä.

TAMK University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems
Writer
Thesis

Mikko Taupila
Designing and Manufacturing instruction
of the sheet metal shelf
45 pages + 15 appendices
5/2010
M.Sc, lecturer Yrjö Viitanen
Nerkoon Metalli,
supervisor Hannu Yli-Kärkelä

Pages
Graduating time
Thesis Supervisor
Co-operating Company

Abstract

The subject of this thesis was to design the shelf to the storage of metal sheets. The shelf had to be safe and handy. On the company there were ready the gripping device. With the help of the gripping device would metal sheets be moved to the shelf and away from the shelf. With the help of the designed shelf the company wanted to have the miscellaneous pile of preservation platforms and metal sheets away.

The designing of the shelf started moving on the definition of the operating principle. When the operating principle was clear, it was moved to the planning of main components. When planning proceeded, it was concentrated on smaller details until all the necessary components had been ready designed. Different material solutions and structural solutions were compared, which was the most suitable solution for the shelf. All the parts have been modelled on the Catia V5R18 software. The same software has also been used in the strength calculations.

The thesis also includes manufacturing instructions of the shelf and its dimensioning drawings. It is possible to make the shelf from the right materials, with the right methods and in the right order with the help of the manufacturing instruction.

Keywords

sheets, shelf, metalworks

Alkusanat

Levyhyllyn suunnittelu oli haastava ja antoisa prosessi, jonka myötä olen oppinut uutta opiskelemaltani alalta. Opinnäytetyön tekeminen alkoi tammikuussa 2010, kun Nerkoon Metallilta löytyi sopiva aihe. Haluankin kiittää kyseistä yritystä ja etenkin Hannu Yli-Kärkelää tästä mahdollisuudesta. Toivottavasti työstäni on apua.

Haluan antaa erityiskiitokset myös opinnäytetyöni ohjaajalle Yrjö Viitaselle rakentavasta palautteesta ja ohjaavista neuvoista. Kiitokset myös perheelleni ja ystäväilleni, jotka ovat kommentoineet työtäni ja opastaneet työn eri vaiheissa.

Tampereella toukokuussa 2010

Mikko Taupila

Sisällysluettelo

1 Johdanto	6
1.1 Tutkintotyön aihe ja tilaajan esittely	6
1.2 Tutkintotyön tavoite	7
2 Ohutlevyhyllyn suunnittelu	9
2.1 Suunnittelun lähtökohta	9
2.2 Ohutlevyhyllyn rungon suunnittelu	11
2.2.1 Rungon rakenne	11
2.2.2 Rungon lujuustarkastelu	14
2.3 Vetolaatikoiden suunnittelu ohutlevyhyllyn	16
2.3.1 Vetolaatikon rakenne	16
2.3.2 Vetolaatikon lukitusjärjestelmä	20
2.3.3 Vetolaatikon lujuustarkastelu	22
2.4 Ohutlevyhyllyn ovien suunnittelu	24
2.4.1 Ovien rakenne	24
2.4.2 Ovien lujuustarkastelu	28
3 Ohutlevyhyllyn valmistusohje, kokoonpano ja toimintaperiaate	32
3.1 Rungon valmistusohje	32
3.2 Vetolaatikon valmistusohje	34
3.3 Lukitusjärjestelmän komponenttien valmistusohje	35
3.4 Ovien valmistusohje	36
3.5 Ohutlevyhyllyn kokoonpano	38
3.6 Hyllyn toimintaperiaate	40
4. Ohutlevyhyllyn kehittäminen	42
5. Päätelmät	43
Lähteet	44
Liitteet	45

1 Johdanto

1.1 Tutkintotyön aihe ja tilaajan esittely

Tutkintotyöni ajankohta sijoittui kansainväliseen taantumaan. Taantuman vaikutuksena aiheen löytyminen hankaloitui entisestään. Monilla yrityksillä Pirkanmaan alueella ei ollut resursseja, kiinnostusta tai halua ottaa vastaan insinööriosaamista edes ilmaiseksi.

Tammikuun alussa 2010 olin yhteydessä kihniöläiseen alihankintayritykseen nimeltä Nerkoon Metall Oy. Puhelinkeskustelujen ja yrityksessä vierailun jälkeen löytyi mieleinen työn aihe, joka sopi niin tekijälle kuin yrityksellekin. Yrityksen ongelmana oli plasmaleikkurin vieressä ollut epämääräinen metallilevyjen pino. Plasmaleikkuri nähdään kuviossa 1. Kun leikkurille oli käyttöä, tarvittavat levyt olivat lähes poikkeuksetta pinon alimmaisina. Päälimmäiset levyt oli nostettava syrjään trukin avulla, ennen kuin päästiin käsiksi tarvittaviin levyihin. Aiheen hyväksyttämisen jälkeen alkoi toimivamman ratkaisun löytäminen ongelmaan.



Kuvio 1: Yrityksen plasmaleikkuri (Kuva: Mikko Taupila)

Nerkoon Metall Oy oli minulle tuttu jo entuudestaan, sijaitsihan yritys kävelymatkan päässä lapsuudenkodistani. Yrityksen henkilöstö on myös tuttua porukkaa kotikunnastani. Kyseinen yritys on perustettu vuonna 1984 ja henkilöstömäärä on tällä

hetkellä seitsemän. Viime aikoina yritys on ollut vahvasti tekemisissä Virroilla toimivan Finncont-yrityksen kanssa. Nerכון metalli on tehnyt Finncontille muun muassa erilaisten konttien hitsaus- ja levytöitä.

1.2 Tutkintotyön tavoite

Työn tavoitteena on suunnitella hylly ohutmetallilevyille. Hyllyn tulee olla turvallinen ja helppo käyttää. Yrityksellä on käytössä numeerisesti ohjattu plasmaleikkuri, jonka läheisyyteen hylly sijoitettaisiin. Leikkurin vieressä on puomi, johon kiinnitetään paineilmalla toimiva imukuppitarrain. Hyllyn on oltava puomin toimintasäteen sisällä, jotta levyt voidaan siirtää suoraan leikkurille. Levyjen lisäämisen ja poistamisen hyllystä on sujuttava yhdeltä henkilöltä. Useamman kuin yhden levyn lisääminen hyllyyn suoritetaan saksitarraimella, jota liikutetaan siltanosturilla. Levyhyllyn valmistaminen tulisi olla mahdollista yrityksen käytössä olevilla välineillä, ja ostettavien komponenttien määrän tulisi olla vähäinen. Kuviossa 2 nähdään imukuppitarrain ja kuviossa 3 saksitarrain.



Kuvio 2: Imukuppitarrain (Kuva: Mikko Taupila)



Kuvio 3: Saksitarrain (Kuva: Mikko Taupila)

2 Ohutlevyhyllyn suunnittelu

2.1 Suunnittelun lähtökohta

Yritys, jolle opinnäytetyötäni tein, halusi päästä eroon epämääräisistä puulavoilla makaavista ohutlevypinoista. Tarkoituksena oli suunnitella levyille toimiva, turvallinen ja siisti varasto, josta levyt saisi tarvittaessa vaivatta käyttöön. Kuviossa 4 on kuvattu ohutlevyjen varastointi yrityksessä ennen hyllyä.



Kuvio 4: Ohutlevyjen varastointi plasmaleikkurin yhteydessä (Kuva: Mikko Taupila)

Erilaisia varastomalleja pohdittiin ja toimintaperiaatteita mietittiin. Mielessä kävivät niin normaalit palkkihyllyt, seinältä avautuvat hyllyt kuin laatikostomaiset hyllytkin. Suunnittelua päätettiin jatkaa laatikostomaisen hyllyn kehittämällä. Palkkihyllyt karsiutuivat pois levyjen huonon liikuteltavuuden takia. Sähkö- hydraulikka- ja pneumaattikkakomponentteja päätettiin olla käyttämättä levyhyllyssä, koska ne suurentavat turvallisuusriskiä ja käytännöllisyys kärsii. Seinältä avautuva hylly olisi varmasti ollut mielenkiintoinen ratkaisu, mutta liian monimutkainen toiminta ja välttämätön sähkön tai hydraulikan käyttö pudotti sen listalta.

Levyhylly päätettiin suunnitella 3500x1500 mm:n kokoisia ohutlevyjä varten. Yhdelle hyllylle/laatikolle tulisi mahtua 100 mm:n korkuinen levynippu. Suunnittelun alusta lähtien apuna on käytetty Dassault Systemesin valmistamaa Catia V5R18 - tietokoneohjelmaa. Kyseisellä ohjelmalla on suoritettu virtuaalinen mallintaminen, lujuuslaskut sekä mitoituspiirustuksien teko. Suurempien linjavetojen ja ideoiden suunnitteluun on käytetty myös tavalliselle paperille piirrettyjä ajatuksia.

Kun hyllyn malli oli selvillä, alkoi laatikoiden tukemisen mietintä. Avattuna olevan laatikon tukemisen vaihtoehtona oli laatikoiden alle sijoitetut irrotettavat jalat, joiden päissä olisi pyörät. Tästä ideasta päädyttiin luopua liian hankalasti säädettävien ja tuettavien jalkojen takia. Yhtenä vaihtoehtona oli tukea avattu laatikko yläpuolelta, mutta tällöin vastaan tuli levyjen sujuva liikkuminen hyllyyn ja pois. Samaan ongelmaan kaatui myös idea laatikon eteen valmistettavasta hyllyn kokoisesta kehyksestä, johon laatikko kiinnitettäisiin ja vedettäisiin ulos. Mahdollisuus oli myös tehdä rungosta tarpeeksi painava ja lujasti lattiaan kiinnitetty, jolloin laatikko ei olisi tarvinnut tukea. Tästä päätettiin kuitenkin luopua turvallisuuden ja hankalan kiskoratkaisun takia.

Lopulta syntyi idea suunnitella hyllylle ovet, joiden sisäpuolella olisi samanlaiset kiskot kuin rungosta sisällä. Ovet kestävät laatikon aiheuttaman kuormituksen, eivätkä ne ole liikaa tiellä levyjen liikuttelun kannalta. Ovien avulla levyt saataisiin myös piiloon ja lukkojen taakse työpäivän jälkeen. Pohdintojen jälkeen lähdettiin jatkojalostamaan ovi-idea.

Pääkomponenttien ollessa selvillä kiinnittyi huomio pienempiin asioihin, kuten vetolaatikoiden liikutusmekanismiin. Suunnitelmissa oli koneistaa kiskot runkoon ja vastakappaleet vetolaatikoihin, mutta suunnitelma kariutui liian työlääksi ja hankalana toteuttaa. Liikutusmekanismia päädyttiin suunnittelemaan laakereiden pohjalle. Erilaisia variaatioita laakereiden lukumäärällä ja urakiskojen välillä kokeiltiin ja mietittiin.

Yhden ison laakerin käyttö päässä olisi aiheuttanut ongelmia tilankäytön ja laakeriakselin lujuuden kanssa. Laatikoiden väli olisi kasvanut liian suureksi ison halkaisijan omaavalla laakerilla, joten päädyttiin käyttämään useaa pientä laakeria. Laakerit päätettiin sijoittaa kiinni vetolaatikkoon ja urakiskot runkoon ja oviin. Jos laakerit sijoitettaisiin runkoon ja oviin, jouduttaisiin laakereita ostamaan kaksinkertainen määrä, ja se olisi budjetin kannalta liikaa. Kaksi metriä palkkia, josta saadaan tehtyä neljä

metriä kiskoa, on huomattavasti halvempi ratkaisu kuin 6 - 8 laakeria. Seuraavissa osioissa on esitelty tarkemmin levyhyllyn rungon, vetolaatikon ja ovien suunnittelua.

2.2 Ohutlevyhyllyn rungon suunnittelu

2.2.1 Rungon rakenne

Rungon suunnittelu alkoi päälinjojen vetämisellä ja raja-arvojen määrittämisellä.

Rungon sisälle tulisi sopia vetolaatikat, joihin oli mahdollista 3500x1500 mm ohutlevy. Lyhyille sivuille tulisi urakiskot, joissa laatikat liikkuisivat. Korkeutta määritettäessä rajana oli, että ylimmän laatikon pystyisi avaamaan ilman apuvälineitä. Rungon suunnittelun haasteena oli saada aikaan tukeva rakenne pitkille ja painaville vetolaatikoille.

Runkoa lähdettiin suunnittelemaan neljälle kulmiin sijoitetulle jalalle. Lujuuslaskujen perusteella päädyttiin käyttämään 100x100x4 mm:n neliöputkipalkkia (Valtanen 2008, 1032 - 1094), jonka materiaali on S355J2H (FE 52 D). Rungon jalat on yhdistetty yläpäästä toisiinsa suorakaiteen muotoisella kehällä, joka on valmistettu samasta profiilista kuin jalatkin. Rakenteen tukevoittamiseksi rungon takaseinälle on hitsattu ristikko, joka on samaa materiaalia kuin edelliset palkit, mutta kokonaan on 50x50x2,5mm. Käytetty profiili riittää kyseiseen tarkoitukseen, koska siihen kohdistuu vain vetoa ja puristusta. Lyhyillä sivuilla tukevuutta rakenteeseen tuovat urakiskot.

Pitkän rungon vaarana oli taipuminen keskeltä. Taipuminen saatiin minimoitua oikeilla materiaali- ja rakenneratkaisuilla. Rungon paikallaan pysyminen on varmistettu jalkojen pohjiin hitsatuilla 200x200x10 mm lattatangon palasilla, joiden kulmiin on porattu 23 mm:n reiät. Runko pultataan reikien läpi lattiaan käyttämällä M22 kuusioruuveja.

Lyhyiden sivujen urakiskojen valmistukseen käytetään 120x80x10 mm:n suorakaideputkipalkkia, jonka materiaali on S355J2H (FE 52 D). Putkipalkki leikataan keskeltä kahtia, jolloin siitä saadaan kaksi kiskoa. Helpompi vaihtoehto olisi ollut käyttää valmista U-tankoa, mutta saatavilla ei ollut kyseisillä mitoilla ja ainevahvuudella olevaa tankoa.

Kiskon leikkaamisen jälkeen uran sisäpuoli, laakeria koskettavat pinnat, tulisi tasoittaa kulmahiomakoneella suuremmista epätasaisuuksista ja valujätteistä. Tällä kevyellä hionnalla pyritään vähentämään laatikon liikkumista hankaloittavaa kitkaa laakerien ja

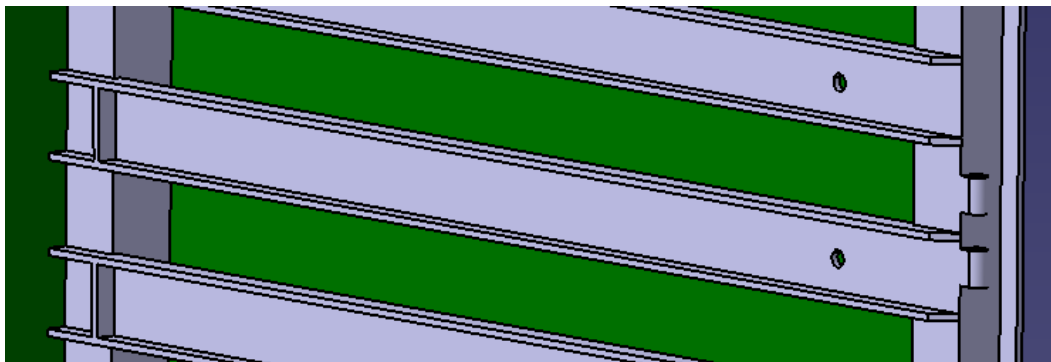
kiskon välillä. Putkipalkin käyttö helpottaa edellä mainittua työvaihetta U-tankoon verrattuna. U-tangon valmistuksessa tangon sisäpuolelle syntyy viiste. Viiste haittaa oleellisesti, jos tangon tarkoitus on toimia kiskona. Putkipalkin valmistuksessa tätä viistettä ei synny.

Urakiskot kiinnitetään runkoon yhden asteen kulmaan vaakatasoon nähden. Vedettäessä laatikkoa auki joudutaan sitä siis vetämään yläviistoon. Tällä toimenpiteellä ehkäistään laatikon liikkuminen itsestään ulos, jos laatikon lukitus pettää tai laatikon aukaisija kaatuu vetohetkellä. Mallinnusohjelmalla simuloitiin laatikon avaamista eri kulmaratkaisuilla. Tärkeä osa kulmaa päätettäessä oli myös vinouden aiheuttama laatikon avausvoiman kasvaminen. Koska kyseessä on parhaimmillaan jopa 4500 kg:n vedettävä kuorma, jo kahden asteen kaltevuus vaatii kahden miehen voimat.

Urakiskot upotetaan rungon jalkoihin ja hitsataan toisiinsa. Tämä vaatii 10 mm syvän uran leikkaamisen jokaista kiskoa varten. Upotusmenetelmällä saadaan urakiskolle ja rungolle lisää tukevuutta. Urakiskot ovat 240 mm:n jaolla toisistaan. Tämä jako mahdollistaa viiden vetolaatikon käytön levyhyllyssä. Jos hyllyyn kuuluisi kuusi vetolaatikkoa, olisi ylimmäisen hyllyn käyttö hankalaa ilman apuvälineitä. Jokaisen rungossa sijaitsevan urakiskon takapäähän on hitsattu pysäyttäjät. Ne estävät painavia laatikoita ajautumasta vauhdilla takaseinän läpi. Pysäyttäjien valmistukseen on käytetty 10 mm:n lattatankoa. Urakiskojen etupäähän on porattu läpireiät laatikon lukitusakseleita varten. Kuviossa 5 on esitetty kuva urakiskosta.

Hyllyyn kokeiltiin erilaisia sarana-oviratkaisuja. Ovien ja saranoinnin upottaminen rungon sisään olisi tuonut siistin ulkonäön, mutta kiskolinja ja tilaratkaisut olisivat tuottaneet liikaa ongelmia. Ratkaisu, johon lopulta päädyttiin, antaa parhaan kiskolinjan ja rungon tukevuuden. Ovien saranoinnin rungonpuoleiset osat on kiinnitetty rungon etujalkoihin.

Saranoita löytyy kolme ovea kohden. Yksi sarana muodostuu kolmesta 20 mm:n läpireiällä varustetusta palasta. Palaset asetetaan siten, että ne ovat päällekkäin ja reiät linjassa toisiinsa nähden. Keskimäinen palanen hitsataan oveen ja ylin ja alin hyllyn runkoon. Jotta sarana olisi toimiva, reikään työnnetään sorvattu akseli. Saranointia havainnollistava kuva löytyy kuviossa 5. Saranoiden ja hitsattavien palasten materiaalina on käytetty Fe 52:ta.

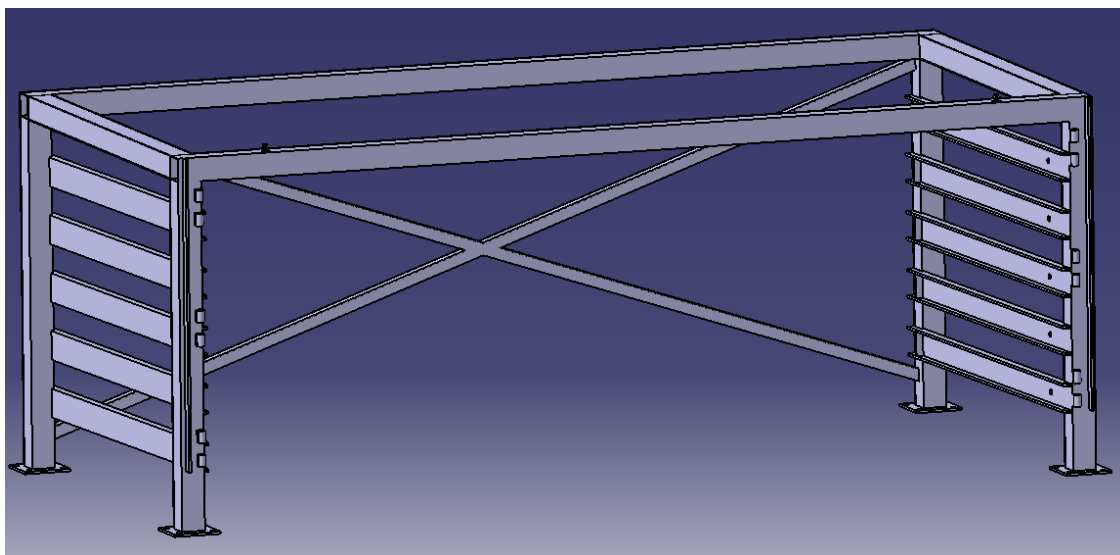


Kuvio 5: Rungon urakisko ja saranointi

Rungon etujalkoihin on hitsattu 10 mm:n lattatangosta pysäyttäjät. Pysäyttäjien tarkoituksena on estää ovia avautumasta yli 90 astetta. Jos avautumiskulma olisi suurempi, laatikot pystyisivät putoamaan alas urakiskoilta.

Siistin ulkonäön aikaansaamiseksi runko on katettu ulkopuolelta pohjaa ja etuosaa lukuun ottamatta 0,5 mm vahvalla muovipinnoitetulla ohutlevyllä. Ohutlevyt on kiinnitetty runkoon itseporautuvilla ruuveilla. Runko on maalattu teollisuudessa käytetyllä 2-komponenttimaalilla, jonka avulla pyritään estämään ruostuminen.

Urakiskot on jätetty maalaamatta laakerien liukupinnoilta kitkan minimoimiseksi, myöskään saranoinnin kosketuspintoja ei ole maalattu. Urien pinta ja saranointi on sivelty rasvalla, joka estää ruostumisen ja helpottaa osien liikkumista. Kuva valmiista rungosta ilman katelevyjä nähdään kuviosta 6.

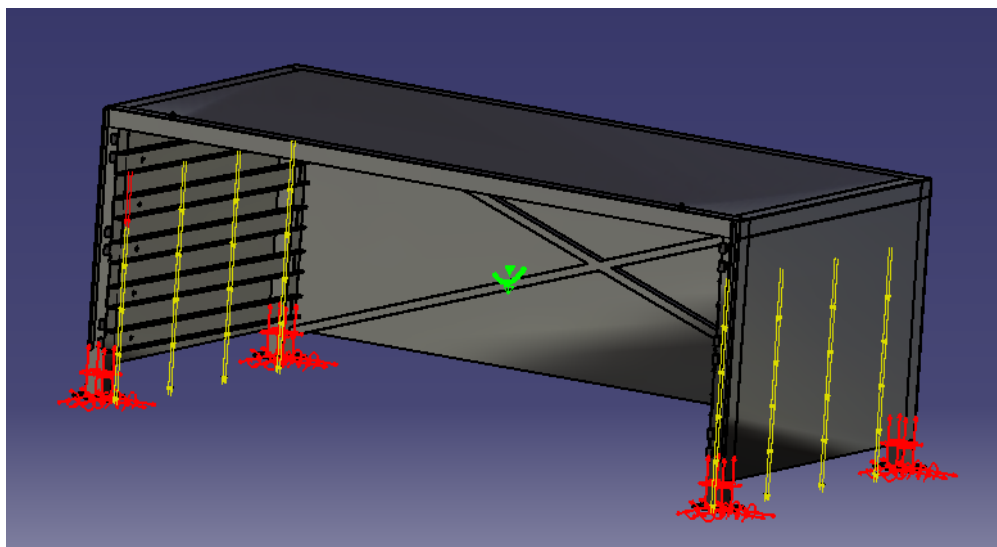


Kuvio 6: Levyhyllyn runko

2.2.2 Rungon lujuustarkastelu

Levyhyllyn rungon lujuuslaskut aloitettiin laskemalla suurpiirteiset arvot paperilla käyttäen statiikan peruskaavoja. Linjavetojen jälkeen lähdettiin runkoa mallintamaan Catian lujuuslaskuohjelmaan. Lujuuslaskennan avulla haettiin kestäväää ja toimivaa runkoratkaisua. Rungon tuli kestää helposti laatikon aiheuttamat rasitukset sekä ulkoiset kolhut. Trukin töytäisy ja siltanosturin jumittuminen hyllyyn oli otettava huomioon.

Lujuuslaskuissa runko tuettiin jalkojen pohjista. Koska jalat on kiinnitetty tukevasti kuusioruuveilla lattiaan, laskuohjelmassa estettiin rungon kiertyminen. Vetolaatikoista aiheutuvat rasitukset mallinettiin laakerivoimina sivuilla sijaitseville urakiskoille. Runkoon piti mallintaa pienet laakerien aiheuttamat kuopat, joihin voimat pystytettiin kohdistamaan. Kuviossa 7 on esitetty voimien vaikutusnuolet ja tuenta merkinnät Catiassa.

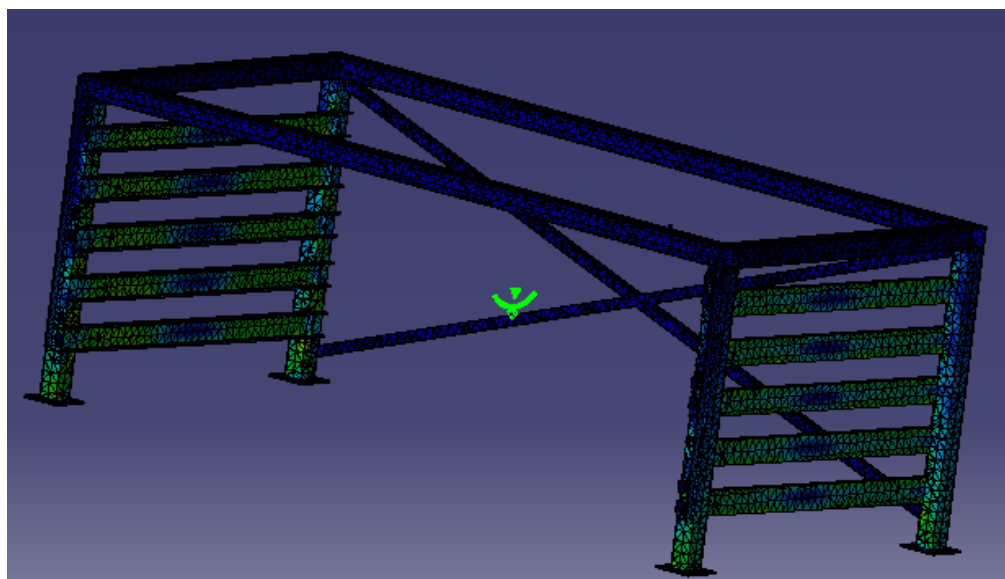


Kuvio 7: Levyhyllyn runkoon vaikuttavat voimat ja tuennat vaikutusnuolin.

Lujuuslaskuohjelma pilkkoo rungon tetraedrin muotoisiin elementteihin ja laskee voimien vaikutukset sen nurkkiin. Rungon kohdalla valitsin elementtikooksi 50 mm. Ko' on pitää olla suhteutettuna laskettavan kappaleen kokoon, jotta laskelmat antavat mahdollisimman realistisen kuvan rasituksista. Jos elementin koko on hyvin pieni, nousevat arvot hyvin nopeasti. Suurella elementtikoolla vaikutus on päinvastainen. Laakerivoiman suuruuden määritin käyttämällä vetolaatikon massaa ja varmuuskertoimena 1,8. Näiden laskutoimitusten jälkeen lujuuslaskuissa käyttämäni

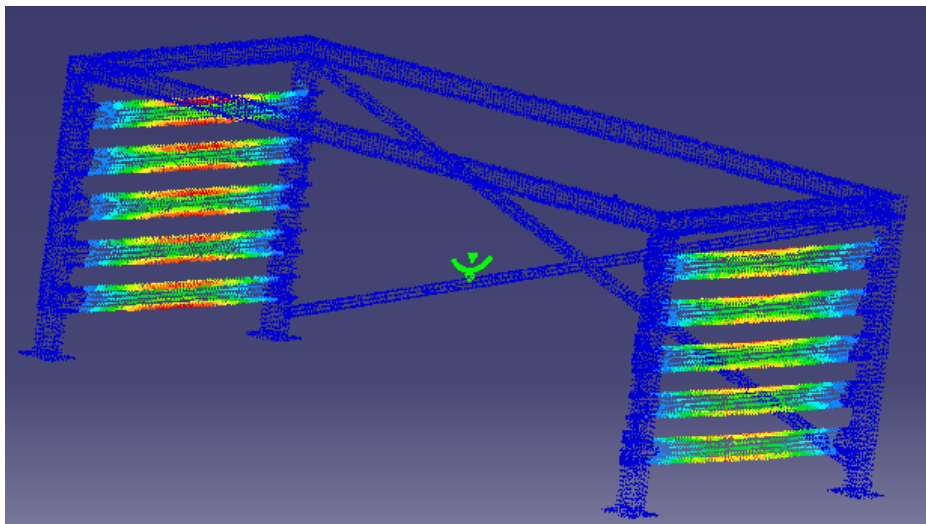
arvo yhdelle laakerivoimalle on 9600 N. Kun tarkkoja arvoja laskettiin, päätettiin rungon ulkopinnan ohutlevyt jättää pois laskuista. Ohutlevyt vääristivät tuloksia ja aiheuttivat korkeita jännityshuippuja. Ohjelma luuli levyjen olevan kiinni saumattomasti kaikissa osissa, mihin ne koskivat.

Suurimmat jännityshuiput rungossa sijoittuivat urakiskojen ja jalkojen liitoskohtiin. Korkeimmaksi arvoksi saatiin lähes 190 MPa. Kuviossa 8 nähdään mihin kohtiin voimat eniten vaikuttavat. Kuvassa sininen väri kuvastaa 0 - 40 MPa:n rasitusta, vihreä 60 - 100 MPa, keltainen 110 - 140 MPa ja punainen yli 150 MPa. Kuvassa nähdään myös elementtikoko.



Kuvio 8: Runkoon aiheutuvat rasitukset.

Lujuuslaskuohjelmasta nähdään myös rungon taipuminen voimien vaikutuksista. Suurimmat taipumakohdat löytyvät urakiskojen keskiosasta, jossa parhaimmillaan taipuma on lähes 3,3 mm. Kuviossa 9 on esitelty voimien aiheuttamat taipumat runkoon. Kuvassa sininen osa tarkoittaa taipumaa alle 1 mm:n, vihreä 1 - 2 mm:n, keltainen 2 - 3 mm:n ja punainen yli 3 mm:n taipumaa.



Kuvio 9: Runkoon aiheutuvat taipumat.

Lujuuslaskuista saadut tulokset osittavat, että tukevan rungon tavoittelussa onnistuttiin. Laskelma ei ole täydellinen, mutta riittävän suurilla varmuusmarginaaleilla nähdään, että runko kestää. Hitsisaumojen laatu vaihtelee, kuten myös materiaaleissa voi olla sisäisiä eroavaisuuksia. Laskennalla osoitettiin, että äärimmäisessäkin tilanteessa runko ei juuri muuta muotoaan. 190 MPa on vielä kaukana rungossa käytetyn teräksen 355 MPa:n myötölujuudesta. Vaikka urakiskot taipuisivat yli 3 mm, pystyisi levyhyllystä käyttämään ja laatikot liikkuisivat sisään ja ulos.

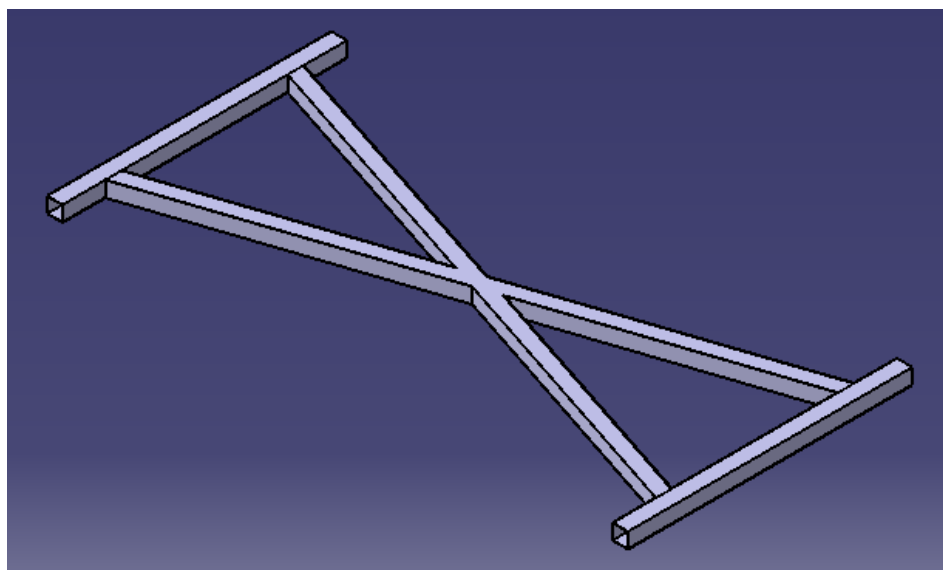
2.3 Vetolaatikoiden suunnittelu ohutlevyhylllyyn

2.3.1 Vetolaatikon rakenne

Vetolaatikon suunnittelu lähti liikkeelle määrittämällä vaatimukset, jotka laatikon oli toteutettava. Laatikoon on mahdollista 3500x1500 mm kokoiset levyt, ja sen on kestettävä 100 mm korkean levynipun paino. Laatikoiden sujuva liikkuminen sisään ja ulos on myös yksi kriteeri toimivan järjestelmän aikaansaamiseksi. Lukitusjärjestelmä kuuluu myös osaksi vetolaatikkoa. Laatikon tulee lukittua automaattisesti ääriasennoissaan, ja lukituksen poistaminen vaatii manuaalisen työvaiheen. Hyllyä käytettäessä on lukitusjärjestelmän toimittava siten, että vain yhtä laatikkoa voidaan käyttää kerrallaan. Sähkön, hydrauliiikan tai paineilman käyttö lukituksessa jätettiin pois turvallisuussyistä.

Vetolaatikossa säilytettävän materiaalin lisäämiseen ja poistamiseen suunniteltiin alun perin käytettävän trukkia ja imukupitarrainta. Trukin piikkien tarvitsema tila tuotti ongelmia, ja ratkaisuksi suunniteltiin erilaisia kiiloja, koloja ja jopa hydraulisia paikallisnostimia. Lopullinen ratkaisu kuitenkin oli luopua trukin käytöstä. Yrityksestä löytyi siltanosturilla toimiva saksitarrain, jolla levyniput voitaisiin nostaa trukin sijaan. Trukin jättäminen pois ei hankaloittanut hyllyn täyttöö, koska joka tapauksessa nipuista olisi jouduttu purkamaan puiset lavat. Kun piikeille ei tarvinnut tehdä koloja, levyhyllyyn mahtuu nyt yksi laatikko enemmän kuin ennen. Imukupitarrainta käytetään yksittäisten levyjen siirtoon plasmaleikkurille.

Vaatumusten määrittämisen jälkeen alkoi karkea suunnittelu. Vetolaatikon jännitys- ja venymäkohtia ja arvoja laskettiin alkuun paperilla, kuvaten laatikkoa suorana palkkina ja levyjen painoa tasaisena kuormituksena. Vähitellen vetolaatikon rungosta alkoi muodostua erilaisia vaihtoehtoja mallinnusohjelman ruudulle, ja painon aiheuttamia vaikutuksia Catian lujuuslaskuohjelmaan. Runkovaihtoehdoissa testattiin erilaisia profiileja eri ainevahvuuksilla ja rakenteita ristikoista suoriin palkkirivistöihin. Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa laatikon rungon materiaalina käytettiin 100x100x4 mm:n neliöputkipalkkia. Kyseisen putkipalkin materiaali on S355J2H (FE 52 D). Valitussa rakenteessa laatikon lyhyillä sivuilla on suorat palkit, jotka yhdistetään toisiinsa yksittäisellä ristikolla. Vetolaatikon rungon rakenne on esitelty kuviossa 10. Runkoa suunniteltaessa ja varsinkin viimeistä mallia hiottaessa huomattiin, kuinka pienillä mitta- tai kulmamuuoksilla rasiushuippujen arvot vaihtelivat useita megapascalaja.

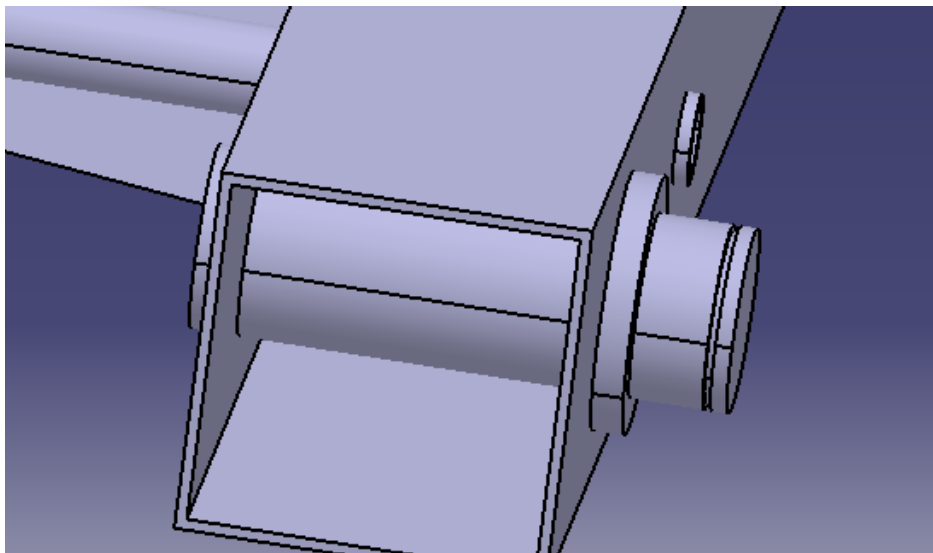


Kuvio 10: Vetolaatikon runko

Vetolaatikon liikkuminen sisään ja ulos tapahtuu hyllyn rungossa ja ovissa sijaitsevien urakiskojen ja itse laatikossa olevien laakerien välityksellä. Laakereiden kiinnitys vetolaatikkoon on toteutettu runkoon hitsatuilla akseleilla. Päätypalkkeihin porataan reiät akseleita varten, jolloin akselit ovat juuri oikeilla kohdilla. Laakeriakselit ulottuvat siis läpi päätypalkkien. Tämä ratkaisu vähentää akselille kohdistuvaa voimaa oleellisesti. Hitsattavien akseleiden vaihtoehtona olivat myös irtoavat akselit. Akselien vaihtamisen tarve on kuitenkin niin pieni, että siitä luovuttiin. Hitsattava rakenne on myös tukevampi ratkaisu verrattuna irtoavaan malliin. Akselit on mitoitettu siten, että jos laatikko on vinossa runkoon nähden, niin akseleiden päät ottavat kiinni urakiskoon ennen runkopalkkia. Yhdestä vetolaatikosta löytyy kahdeksan akselia eli neljä kummallakin sivulla.

Neljään akseliin ja samalla laakerien määrään päädyttiin, koska kolmella laakerilla akseliin kohdistuvat voimat olisivat vaatineet huomattavasti suuremman halkaisijan käytön, ja tämä olisi aiheuttanut laakerien mallin vaihtamisen ja hinnan roiman nousun. Viiden akselin käyttäminen olisi kasvattanut myös laakerikustannuksia pienemmästä akselista huolimatta. Neljällä akselilla kuormitukset pysyvät kurissa ja hintasuhde voittaa muut vaihtoehdot.

Sorvattavassa akselissa on kaulus, jota vasten laakeri painautuu. Kaulus ehkäisee laakeria hankaamasta vasten runkopalkkia. Toisella puolella laakeri lukittuu vasten lukkorengasta. Eriolaisten kiilojen ja lukitusruuvien sijaan päädyttiin käyttämään lukkorengasta. Käyttämällä lukkorengasta säästetään tilaa ja koneistusaikaa, sekä se on myös nopea ja helppo irrottaa. Muilla lukitusmekanismeilla valitun urakiskon syvyys ei olisi riittänyt. Lukkorengalla päästään myös tarvittavaan kiinnitysvoimaan, jonka laakeri vaatii. Kuviossa 11 nähdään akseli kiinnitettynä runkoon.

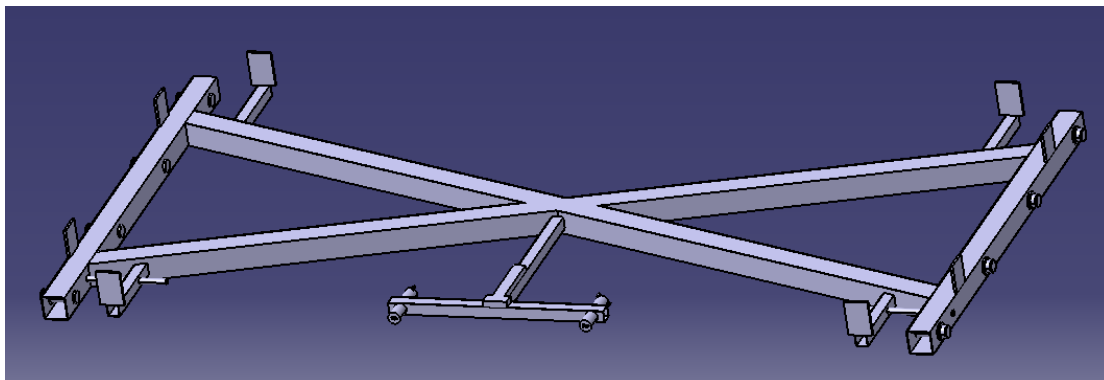


Kuvio 11: Laakeriakseli, joka on hitsattuna vetolaatikon runkoon

Vetolaatikon laakereita valittaessa päädyttiin yksirivisiin kuulalaakereihin. Kyseisten laakereiden staattiset ja dynaamiset kuormitusrajat kestävät hyvin vetolaatikon asettamat rajat. Yksirivisiin kuulalaakereihin päädyttiin myös niiden kilpailukykyisen hinnan ansiosta verrattuna esimerkiksi kaksirivisiin kuulalaakereihin ja rullalaakereihin.

Hinnalla on suuri merkitys, koska 40 kappaleesta muodostuu budjetin kannalta yksi suurimmista menoeristä. Laatikoihin käytetty laakeri on valittu HL Groupin laakerikatalogista Koyo -laakerien joukosta. Laakerin sisähalkaisija on 50 mm, ulkohalkaisija 90 mm ja leveyttä laakerilla on 20 mm. Laakerin dynaaminen kantoluku on 35,1 kN ja staattinen 23,3 kN. Kyseinen laakerikoko on hyvin yleinen, joten saatavuus on hyvä ja hinta edullisempi verrattuna harvinaisempiin malleihin (HL Group Oy katalogi).

Ohutlevyjen paikallaan pysyminen on varmistettu kahdeksalla lattatangon palasella. Pysäyttäjät on sijoiteltu vetolaatikon reunoille siten, että levyt eivät pääse ulos laatikosta muuten kuin nostamalla ylöspäin. Lyhyillä sivuilla pysäyttäjät on hitsattu runkopalkkiin. Pitkillä sivuilla sijaitsevat pysäyttäjät on kiinnitetty huonekaluputkilla rungon ristikko-osaan. Pysäyttäjät ylettyvät 20 mm yli sallitun levynippukorkeuden. Tällä estetään mahdollisesti vääntyneiden ylimpien levyjen liukuminen pois laatikosta. Vetolaatikko on maalattu samalla 2-komponenttimaalilla kuin runkokin. Sivuille sijaitsevien akseleiden laakeripinnat jätetään maalaamatta. Kuviossa 12 nähdään valmis vetolaatikko.



Kuvio 12: Levyhyllyn vetolaatikko

2.3.2 Vetolaatikon lukitusjärjestelmä

Jokaiseen vetolaatikkoon on liitetty mukaan lukitusjärjestelmä, jonka avulla levyhyllyn käyttö on huomattavasti turvallisempaa. Lukitusmekanismeja suunniteltaessa tavoitteena oli saada aikaan yksinkertainen ja toimiva ratkaisu. Lukitusjärjestelmä on yhteydessä kahvoihin, joilla laatikko vedetään ulos.

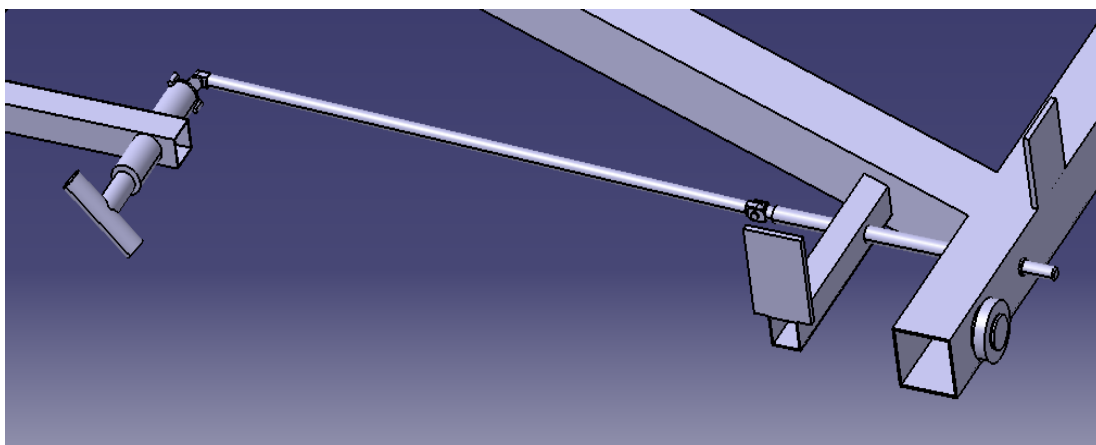
Levyhyllyyyn kuuluu kaksi erillistä kahvaa, ja niitä molempia tarvitaan yhden laatikon avaamiseen. Tällä järjestelyllä estetään useamman laatikon avaamisen yhdellä kertaa. Tämä tarkoittaa sitä, että vain yksi hylly voi olla kerrallaan auki. Kahvojen paikoitus ergonomia on suunniteltu siten, että vetotapahtuma olisi mahdollisimman tehokas. Kahvojen kääntösäde on 90 astetta. Kääntyvyys on rajattu pysäyttäjillä, joiden tehtävänä on estää kahvojen pyörähtäminen ympäri. Laatikoissa on lukkopesät joihin kahvat työnnetään. Pesässä sijaitsevaan vipuakseliin on jyrsketty kolo, joka toimii vastakappaleena kahvassa olevalle tapille.

Kun oikeanpuoleista kahvaa käännetään vastapäivään ja vasemmanpuoleista myötäpäivään, lukitusakselit työntyvät sisään ja laatikko voidaan vetää auki. Kahvasta voima siirtyy vipuakseliin, jonka päässä työntötankoon ja lopulta lukitusakseliin. Laatikko vedetään auki ääriasentoonsa, minkä jälkeen kahvoja käännetään eri suuntaan kuin avattaessa, jolloin lukitustangot työntyvät ovissa oleviin lukitusreikiin. Lukitusta helpottavat palautinjouset, jotka pakottavat lukitusakseleita kohti lukitustilaa. Ovien lukitusreiät ovat lyhyemmät kuin rungossa olevat. Tämän vuoksi kahvat eivät käänny alkutilaan, ja niitä ei voi poistaa. Urakiskoissa sijaitsevat lukitusreiät ovat

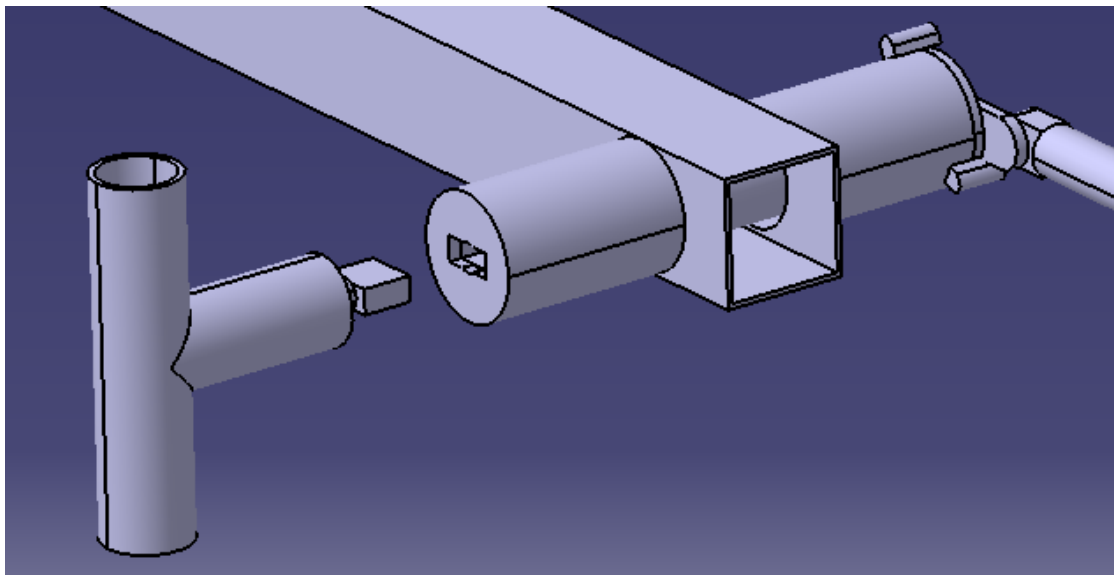
halkaisijaltaan 25 mm, kun lukitusakseli on 20 mm. Tämän tarkoituksena on helpottaa lukitustapahtumaa.

Lukitusjärjestelmän pääkomponentit ovat vetokahva, kahvan vipuakseli, työntötanko ja lukitusakseli. Järjestelmään kuuluvat myös palautinjouset, työntötangon lukitustapit lukitusrenkaineen, vipuakselin kiinnitysrunko messinkisillä liukulaakereilla sekä lukitusakselin ohjausputki. Vipuakselin kiinnitysrunko on valmistettu huonekaluputkesta. Huonekaluputkea on myös työntötanko sekä lukitusakselin ohjausputki, jonka kiinnitykseen on käytetty hyväksi levyä kiinnitysputkia. Lukitus- ja vipuakseli on sorvattu pyörötangosta. Vipuakselin päässä oleva vipuvarsi on teräslevyä, joka on hitsattu akseliin. Vipuvarressa oleva lyhyt kiinnitysakseli on työntötankoa varten ja myös hitsattu kiinni.

Lukitusjärjestelmän akselien tulisi olla keltapassivoidut korroosion eston kannalta, mutta myös riittävä liikkuvien osien rasvaaminen/öljyäminen riittää. Kiinnitysrungot, lukitusakselin ohjausputki ja työntötanko voidaan maalata muissa hyllyn osissa käytetyllä maalilla. Lukitusjärjestelmää havainnollistavat kuvat löytyvät kuvioista 13 ja 14.



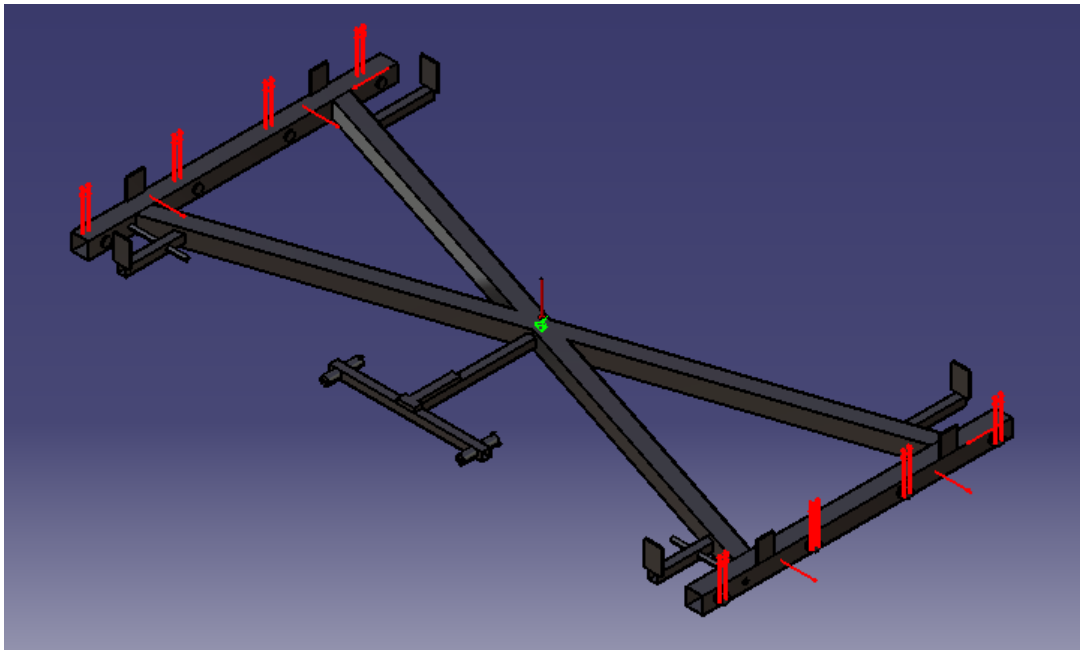
Kuvio 13: Vetolaatikon lukitusmekanismi



Kuvio 14: Lukitusmekanismin kahva ja vipuakseli

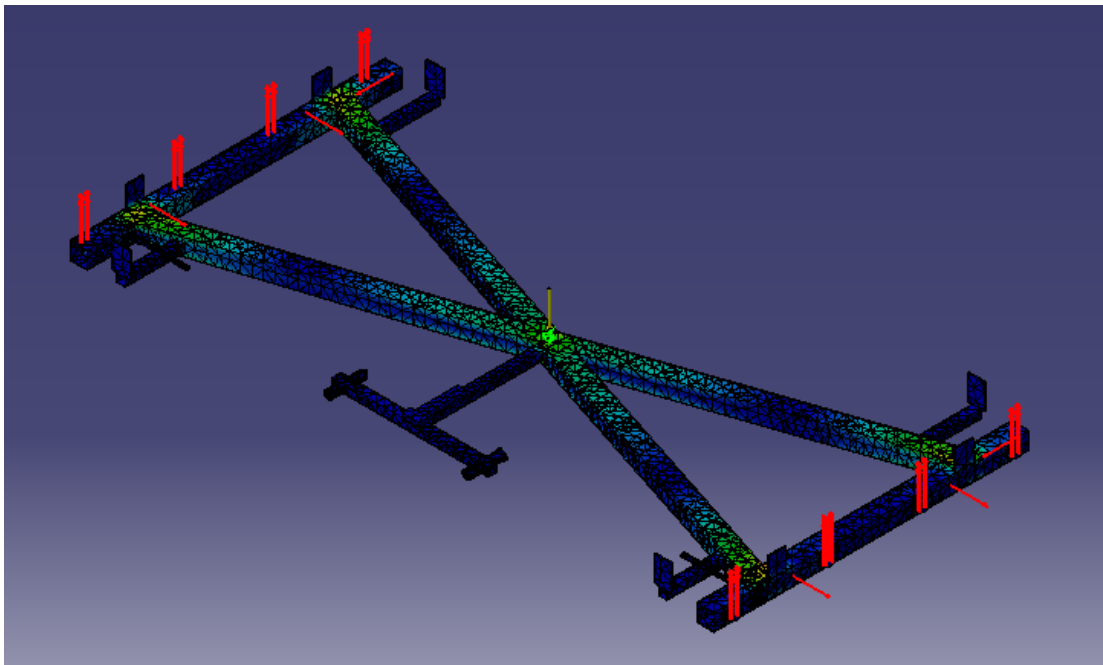
2.3.3 Vetolaatikon lujoustarkastelu

Vetolaatikon lujoustarkastelu lähti liikkeelle samaan tapaan kuin rungollakin. Aluksi rasituksia hahmoteltiin paperilla ja sen jälkeen siirryttiin tietokoneen ääreen. Laatikon lujouden määrittämisessä mallista poistettiin lukitusjärjestelmän komponentit. Tämä tehtiin sen takia, että kyseiset komponentit eivät ole kiinteästi kiinni laatikossa eikä niillä ole suuria rakennetta tukevia tai heikentäviä ominaisuuksia. Teräslevyjen paino kohdistettiin laatikon runkoa vasten. Käytetty voiman suuruus oli 76860 N. Kyseinen voima koostuu vetolaatikon painosta, korkeimmasta sallitusta määrästä teräslevyä sekä 1,8:n varmuuskertoimesta. Vetolaatikko tuettiin siten, että laakeriakselit ottavat vastaan pystysuoran voiman. Tämä ei kuitenkaan riittänyt, vaan vetolaatikko jouduttiin tukemaan kyljistään siten, että se ei pystynyt liikkumaan. Laatikon kiertymistä ei ole estetty. Kuviossa 15 nähdään tuennat sekä vaikuttavat voimat nuolin.



Kuvio 15: Vetolaatikkoon kohdistuva voima ja tuennat

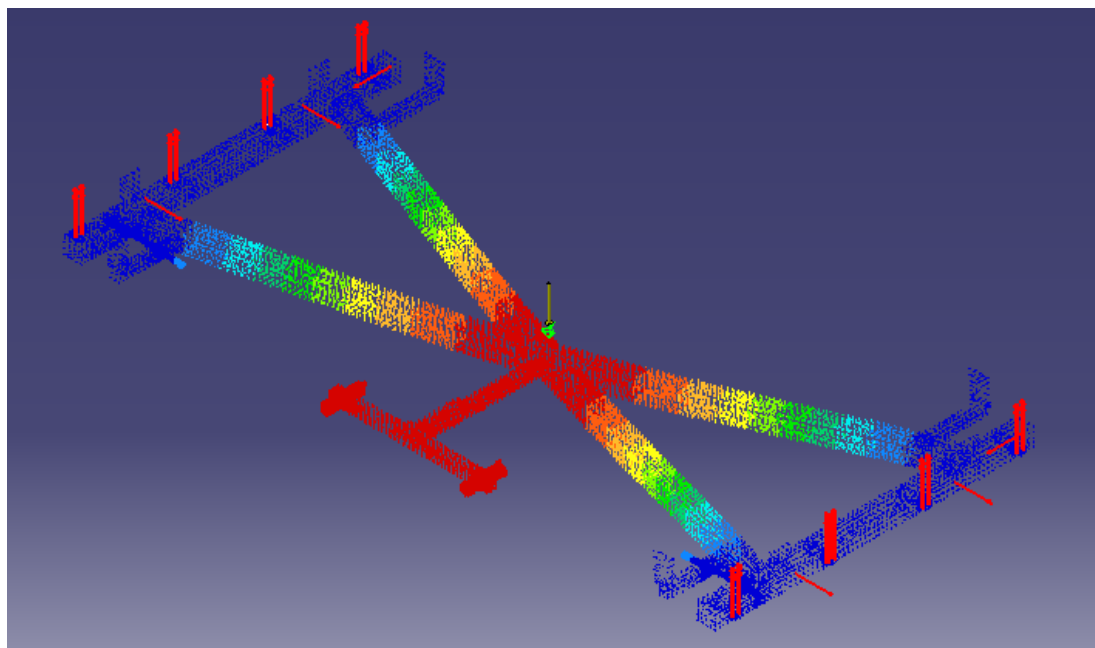
Suurin vetolaatikkoon kohdistuva rasitus oli 260 MPa. Paikat, joissa suurimmat jännitykset sijaitsivat, ovat rungon ristikko-osuuden ja reunapalkkien liitoskohdissa. Laakeriakseleissa pysytään alle 100 MPa:n lukemissa. Materiaalien myötöraajat eivät siis ole uhattuina. Jännityksiä havainnollistaa kuvio 16.



Kuvio 16: Vetolaatikon jännityksien sijoittuminen

Vetolaatikon taipuminen oli yksi tärkeimmistä laskelmista levyhyllyn osalta. Laatikko ei saa taipua liikaa, koska muuten se putoaa kiskoilta tai alkaa hangata muihin

laatikoihin. Koska laatikko on lähes neljä metrinen ja tuettuna päistään, suurin taipumakohta on keskellä. Runkoristikon kohdalta mitattiin korkein taipuma-arvo, joka oli lähes 9 mm. Kyseinen arvo pysyy sallituissa rajoissa eli kyseistä ratkaisua voidaan käyttää. Taipuman määrä on otettu huomioon lukitusjärjestelmää suunnitellessa. Jos runko taipuu keskeltä jopa 9 mm, on lukitusjärjestelmä edelleen toimiva ja varma. Kuviossa 17 on esitetty vetolaatikon taipumista. Arvot vaihtelevat sinisen alle yhdestä millimetristä punaisen lähes yhdeksään millimetriin.



Kuvio 17: Vetolaatikon taipuminen

2.4 Ohutlevyhyllyn ovien suunnittelu

2.4.1 Ovien rakenne

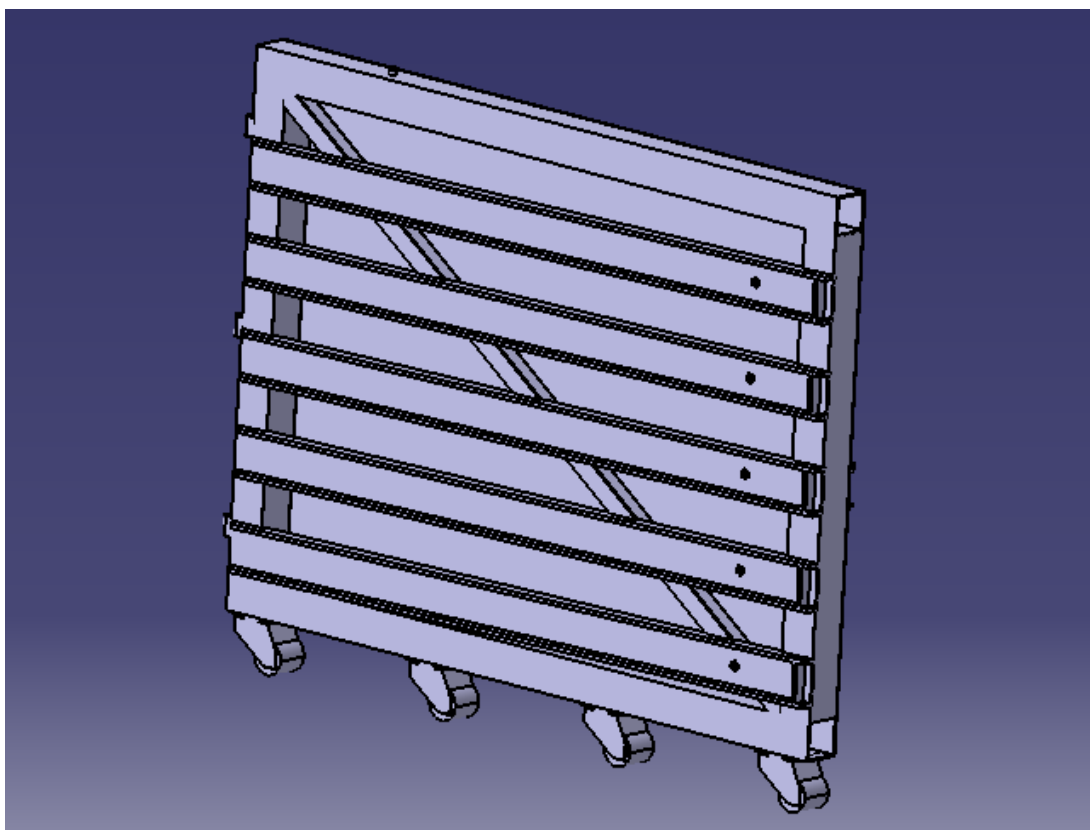
Ovien suunnittelu lähti liikkeelle, kun rungon ulkomitat ja urakiskojen paikoitus oli lyöty lukkoon. Ovien pituuden määrsivät rungon leveys ja vetolaatikon syvyys. Ovien on oltava puolet rungon leveydestä, jotta ne menevät siististi kiinni eikä välille jää suurta rakoa. Vetolaatikon on tultava tarpeeksi ulos rungon sisältä, jotta levyjen siirteleminen onnistuu. Imukupittarraitelle riittää, kun laatikko tulee täysin ulos. Saksitarrtain vaatii laatikon ja rungon väliin vähintään 200 mm tilaa, koska muuten tarraimen piikkejä ei saa pois pinon alta. Levyhyllyn ovet ovat lähes peilikuvia toisiinsa nähden. Ainoa eroavaisuus on ovien lukitusmekanismi, jolla hylly lukitaan, kun hyllyä

ei käytetä ja ovet ovat kiinni. Seuraavassa esitellään ovien yksityiskohtaisempaa suunnittelua, joka pätee molempiin oviin.

Oven runkoon käytettiin samoja materiaaleja ja profiileja, kuin hyllyn rungossa. 100x100x4 mm neliöputkipalkkia on käytetty oven päärunkona. Suorakaiteen muoto toimii myös oven ulkoreunoina. Oven vääntyminen on estetty etualakulmasta takayläkulmaan vedetyllä 50x50x2,5 mm:n neliöputkipalkilla. Oveen kokeiltiin täydellistä ristikköä, suoraa ja vinoa rungon tukea, mutta laskelmien perusteella päädyttiin käyttämään yhtä vinoa kulmasta kulmaan tukea.

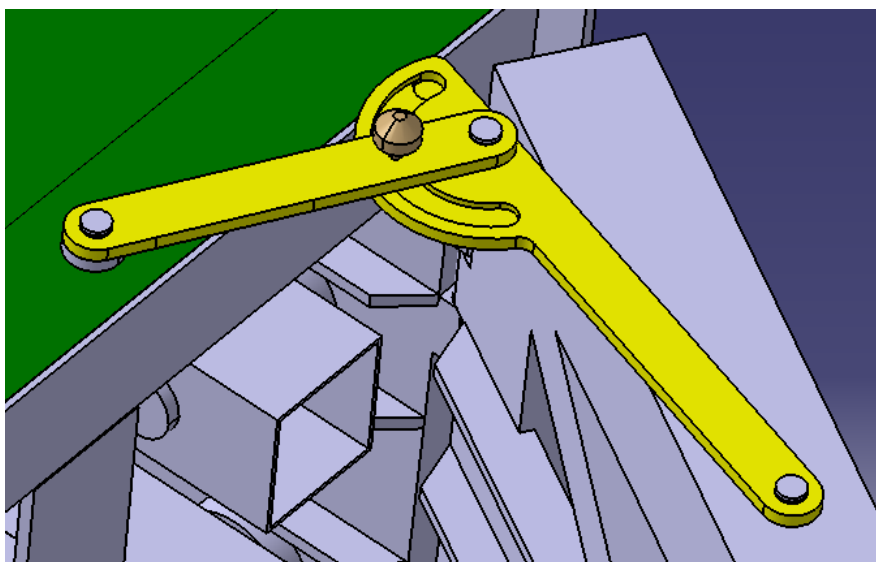
Ovien sisäpuolella on samanlaiset urakiskot kuin hyllyn sisäpuolella. Halkaistusta suorakaideputkipalkista tehdyt urakiskot ovat samassa yhden asteen kulmassa kuin rungossakin. Ovien ja rungon urakiskot on kohdistettu siten, että laatikot liukuvat tukevasti ja turvallisesti koko matkan sisään ja ulos hyllystä. Kiskot on kiinnitetty runkoon samalla lailla kuin hyllyn sisälläkin, eli oven runkoon on leikattu lovet kiskoja varten, jolloin rakenteesta tulee tukeva. Ovien urakiskojen päistä löytyy samankokoiset lukitusreiät kuin hyllyn sisällä. Rungosta poiketen lukitusreikien taakse on tehty pysäyttäjät, jotta lukitusakselit eivät mene liian syvälle ja vetokahvat eivät lähde irti. Pysäyttäjät on tehty 30x30x3 mm:n kulmatangosta. Urien alkuun on hitsattu pysäyttäjät, ettei vetolaatikkoa vedetä ulos urilta. Ovien urakiskojen lukumäärä on sama kuin rungossakin eli viisi kappaletta molemmissa ovissa.

Kuten levyhyllyn rungon suunnittelussa kerrottiin, saranoinnin keskimmäinen palanen on hitsattu oveen. Kun ovi avautuu kolmella saranalla, löytyy kummastakin ovesta kolme sarananpalaa. Saranointi on kohdistettu siten, että ovien avaamisen ja lukittumisen jälkeen urat jatkuvat suoraan rungosta oveen. Ovien ja rungon urakiskojen päistä on jouduttu leikkaamaan pienet kolmion muotoiset palaset pois. Tämä operaatio on tehty sen vuoksi, että kiskot jatkuvat lähes saumattomasti ja ovia suljettaessa kiskot menivät päällekkäin. Kolmiopalasten leikkaaminen aiheuttaa sen, että vedettäessä laatikkoa ulos on se hetken aikaa kolmen laakerin varassa. Levyhyllyn rakenne kestää tämän, kunhan laatikkoa ei pidetä kauaa kyseisessä asemassa. Mallinnetun oven kuva löytyy kuvista 18.



Kuvio 18: Mallinnettu levyhyllyn oikeanpuoleinen ovi

Oven ja rungon väliin suunniteltiin lukitus, jotta ovet pysyvät auki. Kun ovi avataan, lukittuu se automaattisesti pysähtyttyään oven pysäyttäjään ja 90 asteen kulmaan. Lukitusmekanismin luonnollinen sijoituspaikka oli oven yläpuolella. Lukitusjärjestelmä koostuu kahdesta lattatangosta tehdyllä vivulla. Vivut eivät saa olla liian pitkät, koska silloin ne haittaavat levyjen liikuttelua ylimmäisestä laatikosta. Oven ja hyllyn runkoon on hitsattu lyhyet akselit, joissa vivut pääsevät liikkumaan. Jotta ovet saadaan suljettua, on lukitus avattava manuaalisesti. Kun rungonpuoleisen vivun päällä olevasta nupista vetää ylöspäin, lukitus vapautuu ja ovi voidaan sulkea. Kyseinen lukitusmekanismi voidaan korvata tehdastekoisella, vastaavaan käyttötarkoitukseen valmistetulla. Valmista ratkaisua etsittiin eri valmistajilta, mutta sillä hetkellä tarvittavien kriteerien omaavaa ratkaisua ei löytynyt. Oven lukitusjärjestelmää havainnollistava kuva löytyy kuviosta 19.



Kuvio 19: Avoimen oven lukitusmekanismi. Kuvassa ovi on avattuna 60 astetta.

Ovet on tuettu lattiaan rungon alapalkkiin kiinnitettyjen pyörien avulla. Pyörät päätettiin ostaa valmiina valmistamisen sijaan. Pyörien kriteereinä oli mahdollisimman matala rakenne, levylaatikon ja ovien aiheuttaman kuorman kantaminen ja mallina kääntöpyörä. Pyörältä vaadittiin mataluutta, koska muuten oven runko olisi noussut ja samalla alimman urakiskon korkeus. Pyöriä etsittiin Hjulexin ja Blicklen valmistamien teollisuuspyörien katalogeista. Jos kumpikin ovi olisi tuettu kolmella pyörällä, olisi jouduttu luopumaan yhdestä hyllystä, koska riittävä kantavuus saatiin aikaan liian suurella halkaisijalla. Neljän pyörän käyttö näytti säilyttävän viiden laatikon hyllyn ja kantavuus oli kurissa. Viiden pyörän käyttö olisi laskenut rakennetta vain kymmenellä millillä, ja kun kustannukset olivat suuremmat kuin neljällä pyörällä, päädyttiin neljään pyörään ovea kohti.

Hjulexin valmistaman TK 21/25/82 -mallisarjan matalarakenteisista kääntöpyöristä löytyi sopiva pyörä. 351146-mallinumeron omaavan teollisuuspyörän kantavuus on 900 kg. Pyörän muihin ominaisuuksiin kuuluvat vahva keskitappi, takajarru ja kuulalaakerointi. Kuviossa 20 on esitelty Hjulexin matalarakenteisia teollisuuspyöriä. Pyörät kiinnitetään oven runkoon läpipulteilla, jolloin pyörärikon tullen se on nopeasti vaihdettavissa. Paikoitus alaprofiilissa on suunniteltu siten, että paino jakautuu tasan kaikille pyörille. Pyörien paikoitus vähentää oleellisesti myös saranoille kohdistuvia rasituksia (Hjulex AB verkkosivut).

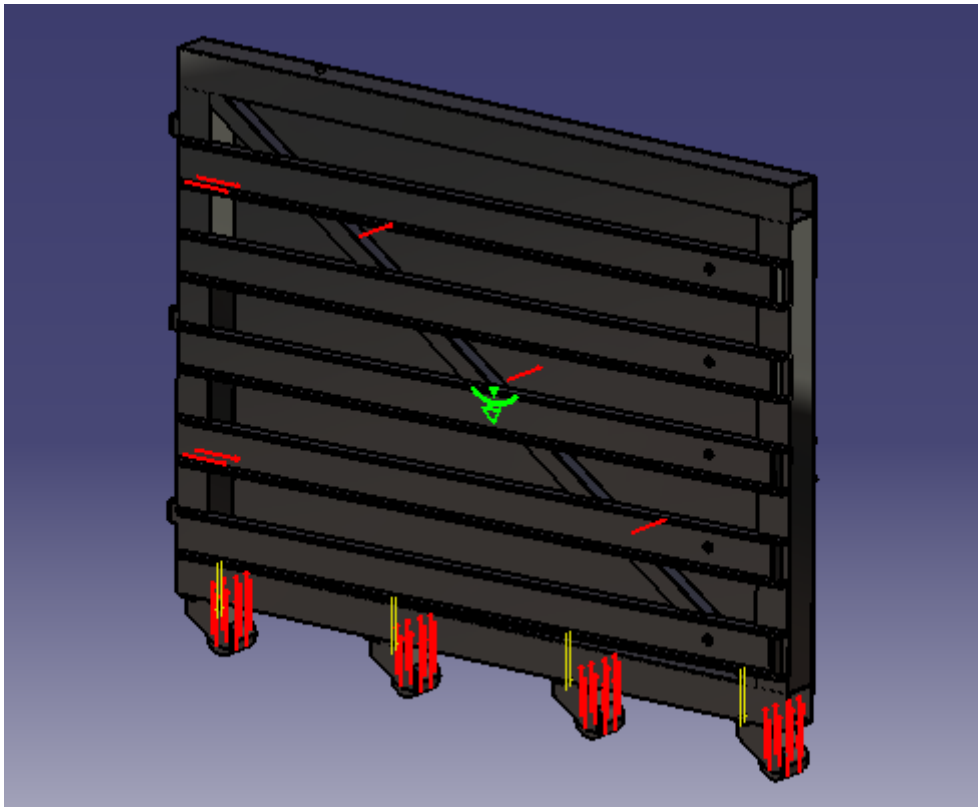


Kuvio 20: Hjulexin valmistamia teollisuuspyöriä. Levyhyllyyn valittu pyörä on kuvassa keskellä. (Hjulex AB verkkosivut)

Kun hyllyä ei käytetä, ovat ovet kiinni ja mahdollisesti myös lukossa. Kummastakin ovesta löytyy kahvat, joiden avulla ovet vedetään auki. Kahvat voidaan valmistaa itse tai ostaa valmiit halutunlaiset. Kahvojen alapuolella on salpa, jolla hylly saadaan lukittua. Ovien ulkopinta on päällystetty rungon tapaan 0,5 mm:n muovipäällysteisellä ohutlevyllä. Oven rungolle, urakiskoille ja saranointiin on tehty samat maalaus- ja voitelytyöt kuin hyllyn rungolle. Ovien lukitusmekanismin osat voidaan maalata tai keltapassivoida.

2.4.2 Ovien lujuustarkastelu

Ovien lujuustarkastelussa riitti yhden oven tutkiminen, koska ovet ovat peilikuvia toisilleen. Ainoana eroavaisuutena on ovien lukitus, mutta sillä on hyvin pieni merkitys lujuustarkastelussa. Oven tuennassa käytettiin samanlaista periaatetta kuin vetolaatikossa. Kaikki kolme tuentaa ovat eri paikoissa. Pystysuuntainen voima otetaan vastaan neljän pyörän avulla. Rungon kyljistä tuetaan muut tarvittavat suunnat, jotta ovi ei pääse liikkumaan. Laatikon aiheuttaman rasituksen mallintamiseen on käytetty samaa taktiikkaa kuin rungon kohdalla. Urakiskoihin on mallinnettu kolot laakereille, joihin laakerivoima kohdistetaan. Laakerivoiman arvo on sama kuin edellä käytetty eli 9600 N. Oven kiertymistä ei ole estetty vetolaatikon tapaan. Oveen kohdistuvat voimat ja tuennat on esitetty kuviossa 21.



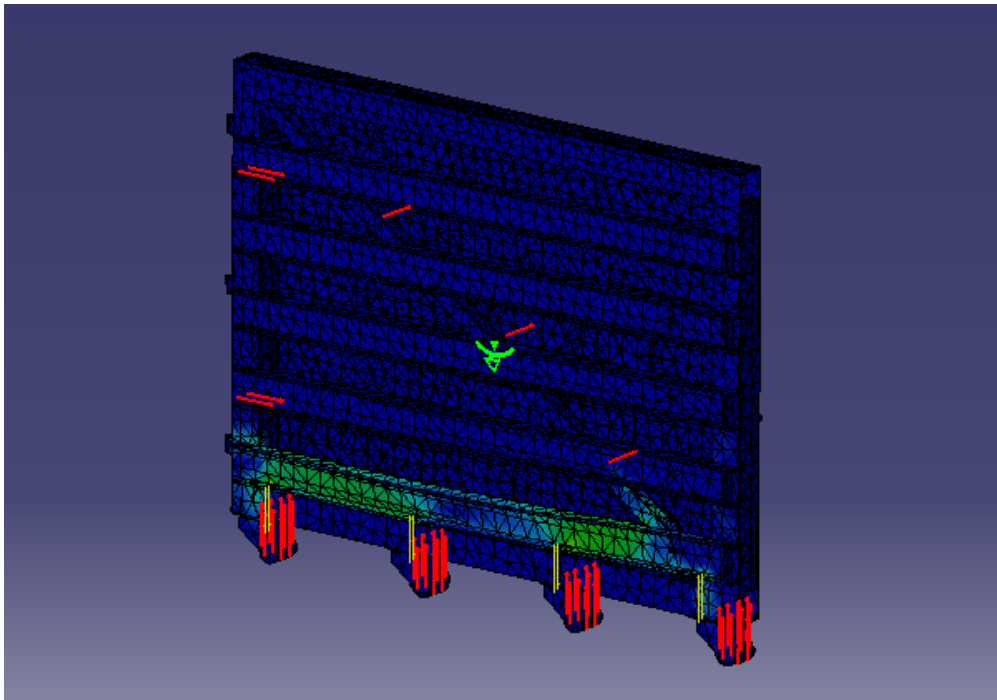
Kuvio 21: Oveen kohdistuvat voimat ja tuennat

Elementtikooksi valittiin sama 50 mm, koska kyseessä on saman mittakaavan kappale kuin runko ja vetolaatikko. Tällaisen rakennelman kappaleiden yhteydessä on hyvä käyttää samaa kokoa vertailun helpottamiseksi. Yhteen oveen kohdistuu kerralla vain puolet yhden vetolaatikon voimasta. Tässä lujuustarkastelussa oli tutkittava kaikki viisi eri tapaus, kun alin laatikko oli avattuna tai ylin tai siltä väliltä oleva. Taulukkoon 1 on kirjattu jokaisen tapauksen suurin jännitysarvo ja suurin taipuma normaaliin nähden. Tapaukset on numeroitu siten, että alimman laatikon avaus on tapaus 1 ja ylimmän numero 5.

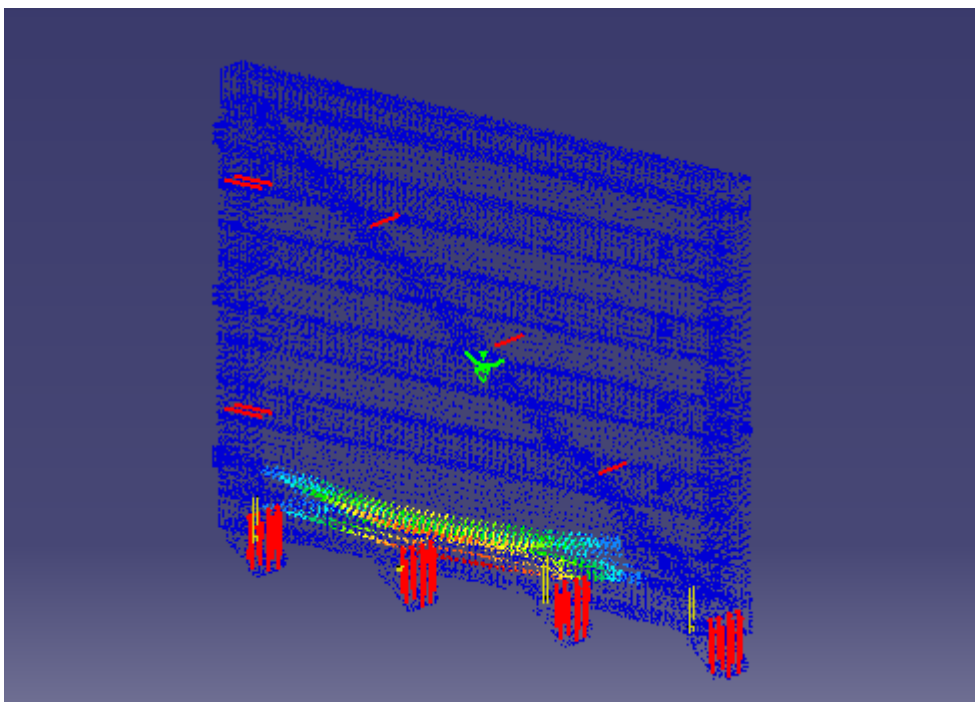
Taulukko 1. Oven lujuustarkastelun eri tapauksen jännitykset ja taipumat

Tapaus	Suurin jännitys/MPa	Suurin taipuma/mm
1	225	2,48
2	165	1,52
3	185	0,64
4	196	1,12
5	205	2,32

Taulukon tuloksista huomataan, että suurimmat arvot saadaan aikaan alimmaisen laatikon ollessa avoinna. Pienin jännitys saavutetaan toiseksi alimman laatikon ollessa auki. Pienin taipuma taas löytyy keskimmäisen laatikon vaikutuksesta. Taipuman erot eri vetolaatikoiden välillä selviävät oven rungon kulmasta kulmaan menevän tukiprofiilin avulla. Vinoprofiili tukee parhaiten keskimmäistä ja heikoiten alimmaista urakiskoa. Jännityksen arvojen pitäisi noudattaa saamaa linjaa, mutta keskimmäinen laatikko rikkoo linjan. Keskimmäisen laatikon suuri jännitys johtuu toisen laakerivoiman kohdistuspisteestä. Kyseinen kohdistuspiste on juuri urakiskon ja vinoprofiilin leikkauskohdan kannalta epäedullisessa paikassa. Jos pisteet olisi paikoitettu erilailla tai käytetty urakiskolle tasaista kuormitusta, olisivat rasitukset jakautuneet taipuman tavoin. Kuviossa 22 on esitelty jännityksen jakautuminen ovesa. Kuviossa 23 löytyy taipuman jakautuminen. Molemmissa kuviossa kyseessä on alimman laatikon avoimena olo.



Kuvio 22: Jännityksen jakautuminen ovesa.



Kuvio 23: Taipuman jakautuminen levyhyllyn ovesa.

Suurimmat jännityspisteet löytyvät laakerien kohdalta sekä urakiskon ja runkopalkkien yhdistymiskohdissa. Suurimmat taipumat löytyvät levyhyllyn rungon tapaan urakiskolta. Levyhyllyn ovien kohdalla jännitykset ja taipumat pysyvät hyvin loitolla kriittisistä arvoista.

3 Ohutlevyhyllyn valmistusohje, kokoonpano ja toimintaperiaate

3.1 Rungon valmistusohje

Rungon valmistaminen aloitetaan tekemällä ensin lyhyet sivut valmiiksi. Kun nämä urakiskolliset sivut ovat valmiit, hitsataan rungon suorakaiteen muotoinen yläosa ja takaseinän ristikko muotoonsa. Viimeisenä toimenpiteenä lyhyet sivut kiinnitetään rungon yläosaan ja ristikkoon.

Lyhyet sivut ovat toistensa peilikuvat. Tässä valmistusohjeessa kerrotaan oikeanpuoleisen sivun valmistus, ja samaa ohjeistusta käytetään vasenta puolta valmistettaessa. Lyhyen sivun valmistuksen ensimmäinen työvaihe on leikata 100x100x4 mm:n neliöputkipalkista neljä 1450 mm:n palaa, jotka toimivat hyllyn jalkoina. Neljään jalkaprofiiliin leikataan lovet urakiskoja varten. Lovet tulevat profiiliin yhden asteen kulmaan, ja ne leikataan yhteen jalan neljästä sivusta. Lovien määrä on viisi kussakin jalassa. Etu- ja takajalan piirustukset löytyvät liitteestä 1. Kyseisestä piirustuksesta löytyvät lovien tarkat mitat ja niiden paikoitus.

Rungon suorakaiteen muotoinen yläosa valmistetaan samasta 100x100x4 mm:n neliöprofiilista. Profiilista katkaistaan kaksi 4000 mm:n ja kaksi 1700 mm:n palaa. Palaset hitsataan suorakaiteen muotoon liitteen 1 osoittamin mitoin. Yläprofiilin lyhyisiin päätyihin jää profiilien tekemät reiät, jotka voidaan peittää hitsaamalla profiilin päädyn tasalle 4 mm:n vahvuiset teräslevyn palat. Hitsattaessa kappaleet on silloitettava hyvin ja mitattava ristimitat, ettei rungosta tule kiero. Jos tässä vaiheessa mitat eivät ole kohdillaan, vaikuttaa se oleellisesti muiden osien istuvuuteen. Takaseinällä sijaitseva ristikko hitsataan 50x50x2,5 mm:n neliöprofiilin paloista. Ristikko rakentuu yhdestä pitkästä palkista ja kahdesta puolet lyhyemmästä palasesta. Ristikon mitat ovat liitteessä 1.

Urakiskojen valmistaminen aloitetaan leikkaamalla 120x80x10 mm:n suorakaideputkipalkki oikean mittaiseksi. Koska urakiskot hitsataan yhden asteen kulmaan, pitää päädyt leikata vinoon saman asteluvun verran. Kun nämä viisi samanmittaista palkkia on leikattu, halkaistaan se keskeltä lyhyttä sivua. Palkkien halkaisuun olisi suotavaa käyttää mahdollisimman ohutta terää, jotta kiskon leveydestä menetettäisiin mahdollisimman vähän. Käyttämällä tätä halkaisumenetelmää saadaan

samalla molempien sivujen kiskot, koska ne ovat peilikuvia keskenään. Kiskon etupäästä leikataan kolmion muotoinen pala pois, jotta ovia suljettaessa kiskot eivät osu toisiinsa. Kiskon uraan porataan 25 mm:n läpireikä, jonka tehtävänä on toimia lukitusreikänä laatikon kiinnitysmekanisminne. Kiskoon hitsataan 10 mm:n lattatangosta 100x30 mm:n kokoiset pysäyttäjät. Kiskot valmistumisen jälkeen viimeistellään hitsisaumat, hiotaan terävät reunat ja poistetaan valujätteet. Erityistä huomiota on kiinnitettävä urakiskon laakeripintaan, jotta vetolaatikot liikkuvat sujuvasti. Rungon urakiskon mitoituspiirustus sijaitsee liitteessä 1. Valmistamisen yhteydessä olisi hyvä tehdä myös ovien kiskot. Tällöin säästetään aikaa, kun laitteita ei tarvitse säätää kahdesti. On kuitenkin huomattava, että kiskot rungossa ja ovissa eivät ole identtiset.

Saranoinnin rungon osat voidaan valmistaa esimerkiksi jyrsimällä umpiraudasta. Toinen vaihtoehto on käyttää valmiita saranoita. Kun käytetään valmiita saranoita, on huomattava, että ne täyttävät tarvittavat vaatimukset mitoituksen ja rasituksen suhteen. Saranapalikan mitat ovat 32x30x50 mm. Sarana-akselia varten porataan palikkaan 20 mm:n läpireikä. Saranapalikan mitat löytyvät liitteestä 1. Runkoon tarvitaan kaksitoista samanlaista kappaletta. Samassa yhteydessä on hyvä valmistaa myös oviin hitsattavat saranapalikat, koska ne ovat identtiset. Oviin tarvitaan kuusi kappaletta saranapalikoita. Palikat hitsataan kiinni rungon jalkoihin. Saranoinnin paikoitus on kerrottu liitteessä 1 olevassa mitoituspiirustuksessa. Saranointiin kuuluva akseli valmistetaan sorvaamalla halkaisijaltaan 32 mm tai isommasta pyörötangosta. Tangon materiaali on S355J0 (Fe 52 C). Liitteessä 1 on sarana-akselin mitat.

Rungon jalkojen pohjassa olevat neljä kiinnityslaattaa valmistetaan 10 mm vahvasta 200 mm leveästä lattatangosta. Tangosta leikataan neliön muotoiset palat, eli yhden kiinnityslaatan mitat ovat 200x200x10 mm. Levyjen kulmiin porataan 23 mm:n läpireiät, joiden läpi hylly kiinnitetään tukevasti alustaan kuusioruuvein. Kiinnityslaatan mitoitus selviää liitteestä 1. Levyhyllyn ovien lukitsijoita varten sorvataan pienet tapit. Tapit kiinnitetään hitsaamalla rungon yläprofiiliin. Liitteestä 3 selviävät tappien mitat ja paikoitus.

Kun kaikki rungon komponentit on valmistettu, on vuorossa osien kiinnittäminen toisiinsa. Hyllyn kylkien kokoonpano aloitetaan hitsaamalla kiinnityslaatat keskelle jalkaprofiilien pohjaan. Laattojen hitsauksen jälkeen kaksi jalkaa yhdistetään toisiinsa urakiskojen välityksellä. Urakiskot asetetaan profiileihin tehtyihin loviin ja hitsataan yhteen. Kun kaikki viisi kiskoa on kiinnitetty jalkoihin, hitsataan kyljen etummaisiin

jalkoihin saranoinnin osat sekä ovien pysäyttäjät. Kyljet ovat peilikuvia toisistaan, joten tehtävät ovat samanlaiset toisella puolella. Kylkikokoonpanon piirustukset ovat liitteessä 1. Kun yläprofiiliin on kiinnitetty ovien lukitsijatapit, voidaan siirtyä hitsaamaan pääosat kiinni toisiinsa.

Pääosien yhteen liittäminen aloitetaan silloittamalla kyljet yläprofiiliin. Kylkien silloituksen jälkeen silloitetaan takaseinän ristikko. Kun yläprofiili, kyljet ja takaseinän ristikko ovat paikallaan ja mitoissaan, hitsataan saumat lopulliseen muotoonsa.

Teräksen muodonmuutokset on otettava huomioon kaikissa hitsaussuorituksissa. Tämän vuoksi kappaleet on tuettava tarpeeksi hyvin, jotta pysytään toleranssien sisällä.

Hitsaajalla on myös suuri vaikutus muodonmuutoksiin. Esimerkiksi kappaleen jäähdytys, hitsausjärjestys ja hitsausarvot ovat hitsaajan vastuulla. Hitsauksien jälkeen saumat siistitään ja runko puhdistetaan maalausta varten. Kun maalaus on suoritettu ja maali kuivunut, kiinnitetään muovipinnoitetut ulkopaneelit itseporautuvilla ruuveilla.

3.2 Vetolaatikon valmistusohje

Yhden vetolaatikon valmistus aloitetaan sorvaamalla laakeriakselit, jotka ovat halkaisijaltaan 50 mm. Akselissa on 8,5 mm vahva ja halkaisijaltaan 70 mm:n kaulus, jota vasten laakeri painautuu. Akselissa on myös lukkorengasura. Akseli valmistetaan 75 mm:n pyörötangosta, jonka materiaali on S355J0 (Fe52 C). Laakeriakselin mitoituskuva on liitteessä 2. Yksi laatikko vaatii kahdeksan akselia. Kun akseleita sorvataan, on hyvä valmistaa kerralla kaikkien viiden laatikon akselit.

Seuraavana katkaistaan neliöprofiilit, joita käytetään laatikon lyhyillä sivuilla. Vetolaatikossa käytetään samaa 100x100x4 mm neliöprofiilia kuin hyllyn rungossakin. Katkaistavan profiilin pituus on 1820 mm. Kun molempien reunojen palkit ovat valmiina, porataan laakeriakseleille 50 mm ja lukitusakselin ohjausputkille 25 mm:n reiät. Poraamisen jälkeen laakeriakselit sovitetaan reikiin ja hitsataan kiinni. Samalla hitsataan myös levyjen pysäyttäjät kiinni samaan palkkiin. Pysäyttäjät valmistetaan 100x10 mm:n lattatangosta. Pysäyttäjien korkeus on 120mm.

Lyhyiden palkkien jälkeen valmistetaan päärungon ristikko-osuus. Ristikko hitsataan kolmesta palasesta. Profiilina on tuttu 100x100x4 mm:n neliöputkipalkki. Ristikon jälkeen siirrytään pidemmän sivun levyjen pysäyttäjiin ja lukitusmekanismin runkoon.

Pidemmän sivun pysäyttäjissä käytetään samaa lattatankoa kuin lyhyen sivun vastaavissa. Näiden pysäyttäjien korkeus on kuitenkin 145 mm. Pysäyttäjien kiinnitykseen laatikon päärunkoon käytetään huonekaluputkea. Tämän neliöputki on 50x50x2 mm:n kokoista. Lattatangon palat on hitsattu kiinni neliöputken päihin. Yhdessä laatikossa on neljä kappaletta kyseisiä pysäyttäjiä. Kahteen pysäyttäjän runkoon on porattu 25 mm:n reiät lukitusakselin ohjausputkea varten. Liitteestä 2 löytyy vetolaatikon ja sen osien mitoituspiirustukset.

Lukitusmekanismin rungossa on käytetty samaa huonekaluneliöputkea. Tämä runko on hitsattu T-kirjaimen muotoon. Putkien risteyskohtaan on hitsattu 25 mm:n korkuinen lattatangon palanen estämään ohutlevyjen kosketus lukitusjärjestelmän osiin.

Lukitusmekanismin runkoon on porattu reiät vipuakseleiden putkia varten.

Vipuakseleiden putkiin on hitsattu akselin liikkeenrajoittimet ja kahvojen lukituksen avaimenreikä-palaset. Putket ovat huonekaluputkea. Putket ovat ulkohalkaisijaltaan 50,8 mm ja seinämävahvuutta on 2 mm. Liikkeenrajoittimet ja avaimenreiät ovat 5 mm:n lattatankoa. Reiät on jyrsitty lattatankoon. Vipuakseleiden putket on hitsattu kiinni runkoonsa. Avaimenreikä on kohdistettava oikein putkeen, jotta kahva pystytään työntämään pohjaan asti. Tässä vaiheessa on myös hyvä leikata lukitusakseleiden ohjain putket ovat huonekaluputkea. Putki on ulkohalkaisijaltaan 25 mm ja seinämävahvuutta on 2 mm. Lukitusmekanismien runkojen ja ohjausputkien piirustukset ovat liitteessä 2.

Kun edellä mainitut osat ovat valmiina, päästään vetolaatikon kokoamiseen. Ensinnä rungon ristikko-osuuteen hitsataan lyhyet päätyprofiilit, joihin on siis jo hitsattu laakeriakselit ja ohutlevyjen pysäyttäjät. Päärungon ollessa valmis hitsataan pitkien sivujen ohutlevyjen pysäyttäjät. Lukitusakselien ohjausputket sijoitetaan niitä varten tehtyihin reikiin. Kun putket on kohdistettu oikeisiin kohtiin, ne hitsataan kiinni pysäyttäjien runkoihin ja lyhyisiin runkoprofiileihin. Jäljellä on enää lukitusjärjestelmän runko. Tämä runko hitsataan keskelle vetolaatikkoa päärungon ristikkoon. Kaikkien osien kiinnittämisen jälkeen seuraa saumojen siistiminen ja vetolaatikon valmistelu maalausta varten. Maalauksen jälkeen voidaan aloittaa lukitusmekanismin ja laakereiden kiinnittäminen.

3.3 Lukitusjärjestelmän komponenttien valmistusohje

Tässä osiossa kerrotaan lukitusjärjestelmän eri komponenttien valmistuksesta.

Ensimmäinen kappale on vetokahva, joita valmistetaan kaksi kappaletta. Kahva koostuu kahdesta yhteen hitsatusta huonekaluputkesta ja jyritystä avainosasta. Putken koko on 35x2 mm, ja avainosa jyrityään Fe52-pyörötangosta. Kahvan piirustukset löytyvät liitteestä 4.

Vipuakseli koostuu sorvatusta rungosta, hitsatusta vipuvarresta ja lyhyestä työntötangon kiinnitysakselistä. Runko on sorvattu kuumavalssatusta 24 mm:n pyörötangosta. Rungon pätyyn on jyrity kolo, johon vetokahvan avainosa sopii. Akselin lukitusta varten sen keskiosassa on lukkorengasura. Vipuvarsi on tehty 5 mm:n lattatangosta. Työntötangon kiinnitysakseli on sorvattu pyörötangosta, ja on kiinnitetty vipuvarteen hitsaamalla. Vipuakselin mitoituskuva löytyy liitteestä 4.

Työntötanko on huonekaluputkea, jonka päissä on jyrityt korvakkeet.

Huonekaluputken koko on 22x2 mm, ja korvakkeet on valmistettu 25 mm:n pyörötangosta. Lukitusakselissa on vastakappale työntötangon korvakkeelle, joka on jyrity 20 mm:n lattatangosta tai hitsattu 2 mm:n rakenneteräslevystä. Vastakappale on hitsattu kiinni itse akseliin, joka on sorvattu 22 mm:n pyörötangosta. Lukitusakseli ja työntötanko lukitaan toisiinsa lyhyen sorvatun akselin avulla, jossa on lukkorengasurat. Työntötangon ja lukitusakselin piirustukset ovat liitteessä 4.

Jokaiseen vetolaatikkoon tulee kaksi kutakin lukitusjärjestelmän komponenttia pois lukien vetokahvat. Kun laatikoita on viisi, tarvitaan kaikkia kymmenen kappaletta. Komponentit ovat valmiita käyttöön, kun pinnat ovat saaneet maali- tai rasvapeitteen.

3.4 Ovien valmistusohje

Tässä ovien valmistusohjeessa kerrotaan oikean puolen oven valmistamisesta.

Vasemmanpuoleinen ovi menee samalla menetelmällä, koska se on peilikuva oikeasta. Ainoastaan lukitussalvan kiinnitys on erilainen. Oven malli on lähes samanlainen kuin rungon lyhytsivu, mutta valmistus on erilainen poikkituen takia.

Ovissa käytetään samaa 100x100x4 mm:n neliöpalkkia kuin edellisissä kohdissa. Kyseisestä palkista leikataan kaksi 1213 mm:n pituista palaa. Samasta materiaalista leikataan myös oven ylä- ja alapalkit, jotka ovat pituudeltaan 1894,5 mm. Oven rungon poikkituki on myös tuttua 50x50x2 mm:n neliöputkipalkkia.

Isommat palkit silloitetaan suorakulmion muotoon, jolla pienennetään muodonmuutoksien syntymisen mahdollisuutta. Mittoihinsa leikattu poikkituki kiinnitetään tämän jälkeen. Kun runko on silloitettu ja mitat tarkistettu, voidaan suorittaa lopullinen hitsaus.

Kun päärunko on valmis, leikataan siihen lovet urakiskoja varten. Lovien leikkaus tapahtuu tässä vaiheessa, koska lovet tulevat myös poikkitukeen. Kun runko on hitsattu kokoon, pystytään lovet leikkaamaan paremmin tavoiteltuihin mittoihin. Rungon mitat on ilmoitettu liitteessä 3.

Urakiskot valmistetaan samaan tapaan kuin hyllyn rungon kohdalla. 120x80x10 mm:n suorakaideputkipalkki leikataan mittoihinsa ja halkaistaan. Halkaisun yhteydessä saadaan myös vasemmanpuoleisen oven kiskoaihiot. Kiskon takapäätä leikataan kolmion muotoiset palaset pois. Syynä on sama kuin levyhyllyn rungon puoleisissa kiskoissa. Samaan tapaan porataan myös 25 mm:n reikä lukitusakselia varten. Lukitusreiän kohdalle, urakiskon takapuolelle, hitsataan 30x30x3 mm:n kulmatangosta muokatut pysäyttäjät. Alimmaisen lukitusakselin pysäyttäjän tiellä on rungon poikkipalkki. Poikkipalkkia on lovetta sen verran, että pysäyttäjä mahtuu. Rungon rakenne ei heikkene, koska poikkipalkki hitsataan kiinni pysäyttäjään. Vetolaatikon pysäyttäjät hitsataan tällä kertaa samaan pätyyn urakiskoa kuin missä lukitusreikä sijaitsee. Kun kiskot ovat valmiit, saadaan ne hitsata kiinni runkoon.

Ovien lukitusvipujen kiinnitystapit sorvataan ja hitsataan kiinni yläpalkkiin seuraavaksi. Samassa yhteydessä hitsataan saranoinnin palikat kiinni runkoon. Tämän jälkeen on ovenkahvojen valmistuksen vuoro. Kahvamateriaalina on huonekaluputki, jonka halkaisija on 30 mm ja seinämävahvuus 1,5 mm, sekä 5 mm:n lattatanko. Ovien lukituksessa käytetään normaalia työntösalpaa, joka on hyllytavaraa rautakaupassa.

Ovien lukitusvivut valmistetaan 10 mm:n lattatangosta. Ulkomuodot saadaan aikaan plasma- tai laserleikkurilla. Urat ja akselien reiät valmistetaan jyrsimellä. Lukituksen vapautusnupit ja vivut yhdistävä akseli valmistetaan sorvaamalla. Materiaalina toimii

Fe52 C ja muotona on pyörötanko. Lukitusvipujen, lukitusnupin ja vipujen välisen akselin mitoituspiirustukset löytyvät liitteestä 3.

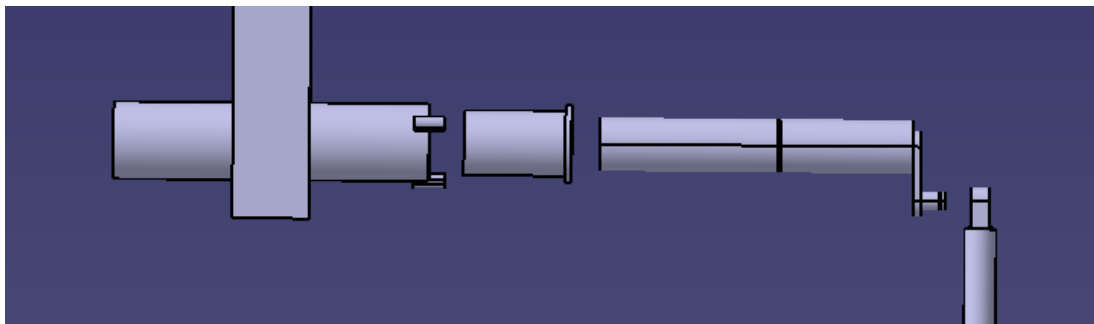
Enää on jäljellä teollisuuspyörien asennus, maalaus ja katelevyn kiinnitys. Pyörät kiinnitetään läpipultein. Tätä varten rungon alapalkkiin porataan reiät. Reunimmaisten pyörien kohdalla läpipulttien käyttö ei onnistu, koska runkopalkki on tiellä. Tätä varten palkkiin porataan reikä ja siihen hitsataan mutteri, jolloin kiinnittäminen onnistuu. Oven pinnat puhdistetaan ja saumat siistitään, minkä jälkeen ovi maalataan ja kiskot rasvataan. Ovien kahvat ja ovien lukitusvivustojen osat voidaan maalata tai keltapassivoida. Kun pinnat ovat valmiit, voidaan ovi viimeistellä asentamalla muovipinnoitteinen katelevy.

3.5 Ohutlevyhyllyn kokoonpano

Levyhyllyn kokoaminen aloitetaan valitsemalla sopiva paikka hyllylle. Hyllyn edessä on oltava riittävästi tilaa, että ovet mahtuvat aukeamaan ja laatikot vedettyä ulos. Paikan on oltava myös siltanosturin ja imukuppitarraimen toimintasäteellä. Kun paikka on selvitetty, siirretään runko kyseiselle paikalle ja pultataan lattiaan. Lattiaan pinnan on oltava suora, koska muuten laatikoiden liikuttelu voi kärsiä ja hyllystä tulee epävaka.

Kun runko on paikallaan, alkaa vetolaatikoiden kokoonpano. Ensimmäisenä on vuorossa lukitusjärjestelmän asennus. Sorvatut messinkilaakerit kiinnitetään vipuakselin putkiin. Tämän jälkeen ovat vuorossa vipuakselit, jotka työnnetään putkiin ja paikoitetaan liikkeenrajoittimien väliin. Vipuakselit lukitaan paikoilleen lukitusrenkailla, jotka tulevat rungon sisään. Liikkuvia osia kiinnitettäessä olisi suotavaa rasvata liukupinnat, koska rasvaus helpottaa osien asennusta ja aikaansaa mekanismin sulavan toimimisen.

Työntötangot kiinnitetään lukitusakseleihin käyttämällä tarkoitukseen sorvattuja tappeja, joiden paikallaan pysyminen varmistetaan lukkorenkailla. Lukitusakselit työnnetään niille tarkoitettuihin putkiin ja työntötangot kiinnitetään vipuakseliin. Työntötangon pysyminen vipuakselissa on varmistettu jälleen lukkorenkaalla. Viimeisenä kiinnitetään lukitusakselin palautinjouset. Lukitusjärjestelmän kokoonpanoa helpottaa kuvio 24. Lukitusmekanismien ollessa paikallaan ne on hyvä testata kahvojen avulla.

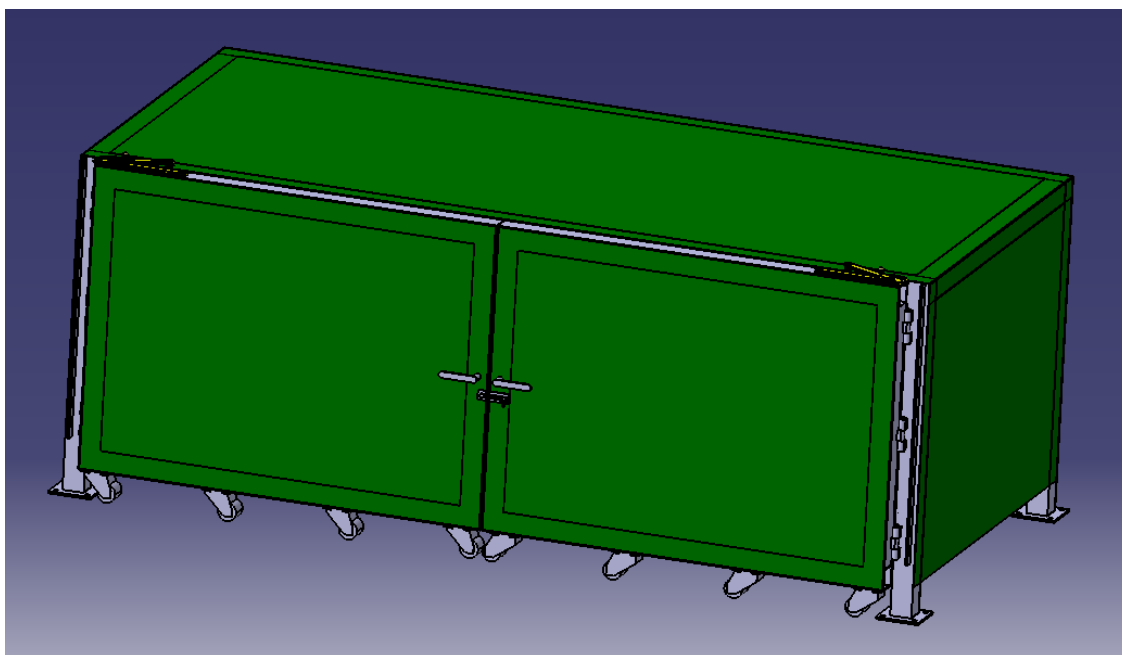


Kuvio 24: Vipuakselin kokoonpano vetolaatikkoon

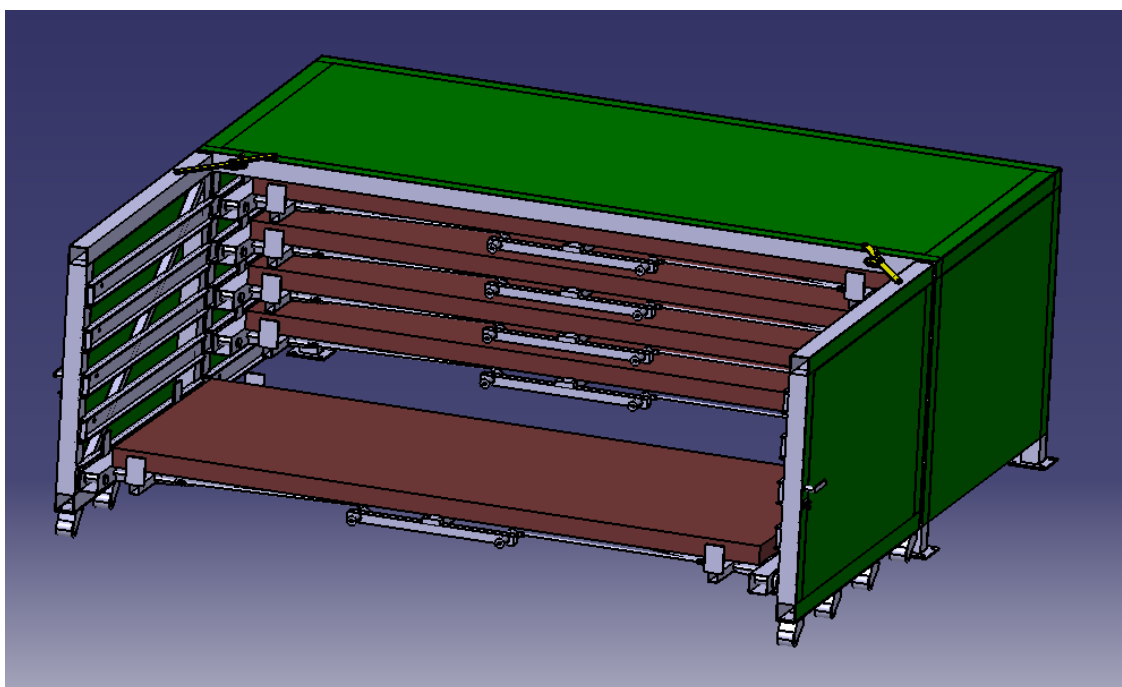
Vetolaatikon kokoonpanosta puuttuvat enää laakerit. Kuulalaakerit asennetaan vasten laakeriakselin kaulusta ja lukitaan paikoilleen lukkorenkaalla. Kun kaikkien viiden vetolaatikon kokoonpano on valmis, nostetaan jokainen omalle urakiskolleen. Laatikot työnnetään rungon sisään ja lukitaan paikoilleen.

Levyhyllyn pääosista puuttuvat enää ovet, jotka kiinnitetään seuraavaksi. Saranointi kohdistetaan ovien ja rungon välillä. Kun saranat ovat kohdillaan, pujotetaan lukitus akselit paikoilleen. Saranointi on hyvä rasvata samassa yhteydessä.

Viimeiseksi paikalleen asennetaan ovien lukitusvivut. Vivut kiinnitetään ovissa ja rungossa oleviin tappeihin ja kiinnitetään lukkorenkaat. Lukituksen vapautusnappi asennetaan rungonpuoleiseen vipuun ja sovitetaan oven vivun uraan. Vivut yhdistetään lyhyellä akselilla ja lukitaan lukkorenkain. Levyhylly on tämän jälkeen valmis käyttöön. Kuviossa 25 nähdään käyttövalmis levyhylly ovet suljettuina. Kuviossa 26 hyllyyn on lisätty ohutlevyjä ja alin laatikko on avoinna.



Kuvio 25: Levyhylly lukittuna



Kuvio 26: Levyhyllyn alin vetolaatikko käytössä

3.6 Hyllyn toimintaperiaate

Seuraavassa kerrotaan, miten ohutlevy saadaan levyhyllystä, sekä kuinka hylly suljetaan. Hyllyn ovien aukaisemiseksi on vapautettava ovien välillä oleva salpalukitus.

Kun lukitus on vapautettu, avataan ovet ääriasentoonsa vetämällä ovien kahvoista. Ovien saavutettua 90 asteen kulman ovet lukittuvat automaattisesti ääriasentoonsa ovien yllä olevien lukitusvipujen avulla.

Kun ovet ovat lukkiutuneet oikeaan kohtaan, kiinnitetään vetokahvat haluttuun laatikkoon. Oikeaa kahvaa käännetään vastapäivään ja vasenta myötäpäivään, jolloin lukitus vapautuu. Vapautettu laatikko vedetään auki ääriasentoonsa. Tämän jälkeen kahvoja käännetään vastakkaisiin suuntiin kuin avatessa ja lukitaan laatikko paikoilleen. Kun laatikko on avattu ja lukkiutunut, voidaan pinosta ottaa levy. Levyn ottamiseen laatikosta saa käyttää vain tarkoitukseen suunniteltua imukuppi- tai saksitarrainta.

Kun levy on saatu laatikosta ja hyllyä ei enää tarvita, on sen sulkemisen vuoro. Vetolaatikon lukitus avataan samaan tapaan kuin alussa ja laatikko työnnetään takaisin rungon sisään. Laatikon ollessa vasten pysäyttäjiä, se lukitaan kääntämällä oikeaa kahvaa myötäpäivää ja vasenta vastapäivään. Kun vetolaatikko on lukittu, irrotetaan vetokahvat. Ovien lukitus vapautetaan vetämällä lukitusvivuston päällä olevasta nupista. Tämän jälkeen ovet voidaan sulkea. Viimeiseksi ovet lukitaan salvoilla.

4. Ohutlevyhyllyn kehittäminen

Prototyyppejä suunnitellessa on vaikea päästä täydellisesti toimivaan ratkaisuun. Varsinkin, kun suunnittelukokemus on vielä vähäistä. Jos hylly päätetään rakentaa, päästään tutkimaan ratkaisujen toimivuutta.

Urakiskon ja laakerien yhteistyö on yksi hyvä tarkastelun kohde. Esimerkiksi minkälaiset vaikutukset lialla ja roskilla on vetolaatikoiden liikutteluun. Koska vetolaatikat ovat painavia, pienikin ylimääräinen kitka saattaa aiheuttaa ongelmia. Tulevaisuudessa nähdään tarvitseeko kiskoja ja laakereita suojata.

Lukitusjärjestelmän mekanismi on yksinkertainen, mutta onko se sopiva kyseiseen tarkoitukseen? Joissakin komponenteissa voi olla liikaa painoa, joka voi aiheuttaa pieniä ongelmia. Esimerkiksi vipuakseli on suhteellisen järeä verrattuna muihin komponentteihin. Pienillä muutoksilla ominaisuudet voivat parantua huomattavasti, jos muutoksiin on tarvetta.

Koska hyllyssä on liikkuvia osia, voivat ne käytössä ja käytön puutteesta jumiutua. Jos liukupintojen rasvaus on tehty huolettomasti, voi ruoste päästä pinnoille. Ruostetta voi ilmaantua vaikka hyllyä säilytettäisiin sisätiloissa. Tämän estämiseksi olisi hyvä, jos vähälle käytölle jääviä hyllyjä availtaisiin silloin tällöin. Jumiutuminen voi johtua myös liian pienistä välyksistä. Välyksiä on tarkkailtava käytössä ja tehdä tarvittavia muutoksia, jos niihin on aihetta.

Hylly on suunniteltu käyttämällä isoa varmuuskerrointa. Tämän vuoksi hyllyllä on paljon massaa. Valmiilla hyllyllä voitaisiin tehdä erilaisia kokeita, joilla testattaisiin vetolaatikon eri rakenteita. Ei ole suuri työ vaihtaa alin laatikko erilaiseksi, ja kokeilla millaisia vaikutuksia sillä on käytettävyyteen.

Jos hylly huomataan toimivaksi ratkaisuksi, voitaisiin sitä alkaa valmistamaan myyntitarkoitukseen. Tästä asiasta on jo ollut keskustelua yrityksen kanssa, koska tilausta kyseiselle ratkaisulle olisi. Tämän opinnäytetyön yhteyteen piti sisällyttää CE-merkinnän mahdollistaminen, mutta tästä osiosta päätettiin luopua. Merkinnän mahdollistaminen olisi laajentanut työtä liikaa. Standardointi on tehtävä huolella. Jos joitain kohtia ei tehdä perusteellisesti, voi se tulevaisuudessa tulla kalliiksi.

5. Päätelmät

Kun lähdetään tarkastelemaan alkutilannetta ja ratkaisua, niin ongelma tuli ratkaistuksi vaaditulla tasolla. Levyhyllyn avulla päästään eroon puulavoilla olevista levypinoista, ja ohutlevyjä pystytään liikutteleman helposti ja nopeasti sisään ja ulos vaatimusten mukaisilla välineillä. Nyt suunnitelma pitäisi panna käytäntöön.

Turvallisuus oli yksi tärkeimmistä suunnittelu kriteereistä. Hylly on suunniteltu kestävä normaalia käyttöä, mutta mahdolliset väärinkäytökset eivät välttämättä heti johda suuriin vahinkoihin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että hyllyn rajoja pitäisi alkaa etsimään, vaan ohjeita ja sääntöjä on noudatettava.

Hyllyssä on useita pysäyttäjiä ja lukituksia, jotka estävät vahinkojen tapahtumista. Lukitusjärjestelmä huolehtii, että vetolaatikot pysyvät paikallaan ääriasennoissa ja estää usean laatikon käyttämisen kerralla. Pysäyttäjät ehkäisevät ovien ja vetolaatikoiden ajautumisen niille kuulumattomiin paikkoihin.

Vaikka ohutlevyjen varastointi ongelman ratkaisu saattaa näyttää jonkun silmään helpolta, on sen eteen tehty paljon työtä. Kun lähes tyhjästä aletaan suunnitella ratkaisua isoille ja painaville kappaleille, ei lopputulos ole aina niin yksinkertainen miltä näyttää.

Levyhyllyn suunnittelu oli haastava ja laajin projekti, jonka kanssa olen työskennellyt. Työn avulla suunnittelutaitoni ovat selvästi kehittyneet. Mallintamiseen ja lujuuslaskuihin Catialla on tullut toiston tuomaa varmuutta. Opinnäytetyötä tehdessä on huomannut, että yksinkertaiset ratkaisut kannattaa ottaa huomioon. Pyörää ei kannata keksiä uudestaan.

Lähteet

Hjulex AB verkkosivut. [www-sivu]. [Viitattu 28.4.2010] Saatavissa:

http://www.hjulex.se/index.php?id=16&type_ref_id=259&L=3

HL Group Oy katalogi. Laakerit.

Valtanen, Esko 2008. Tekniikan taulukkokirja, 16. painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino.

Liitteet

Liite 1: Rungon ja saranoinnin mitoituspäirustukset

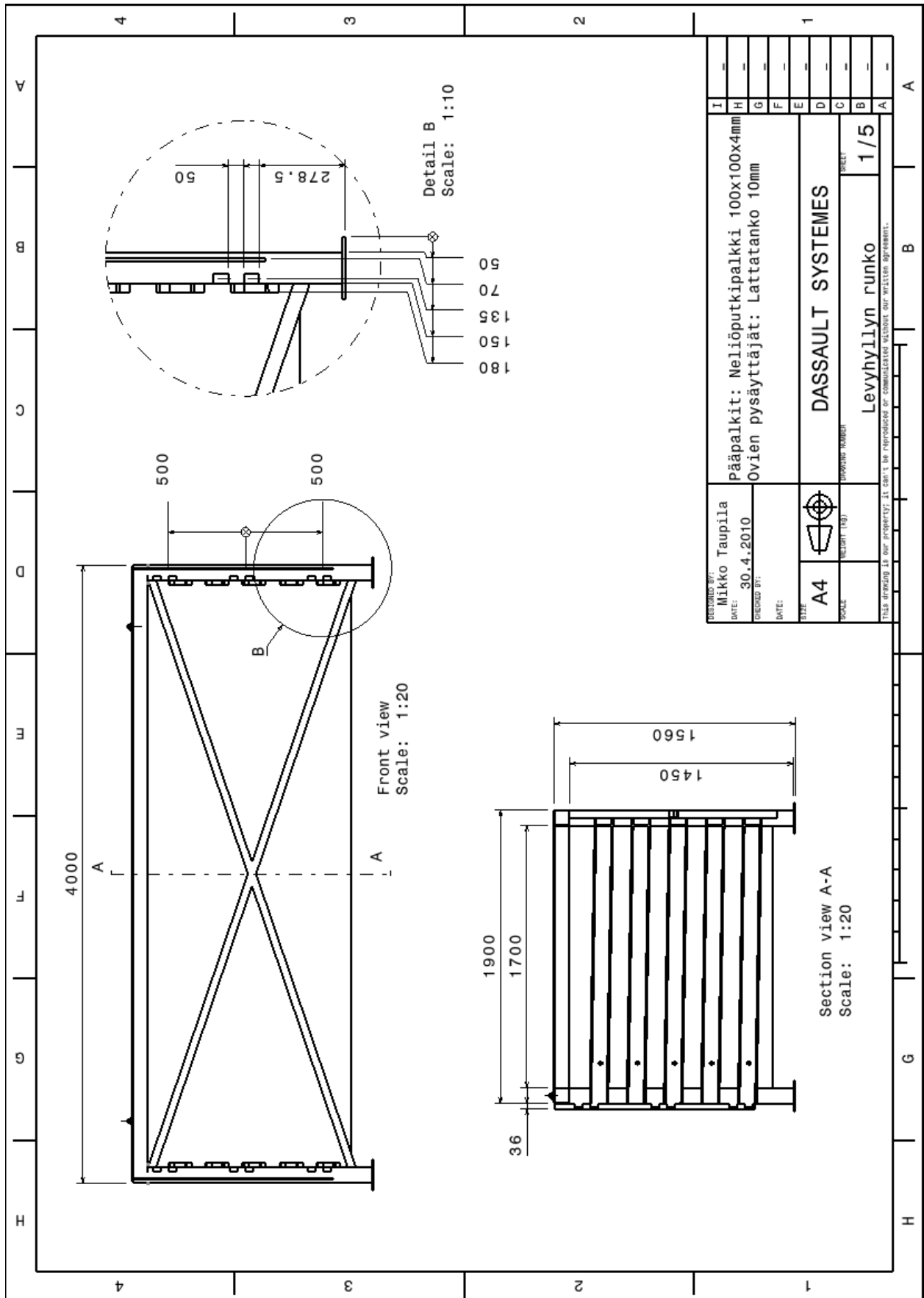
Liite 2: Vetolaatikon mitoituspäirustukset

Liite 3: Oikean oven mitoituspäirustus

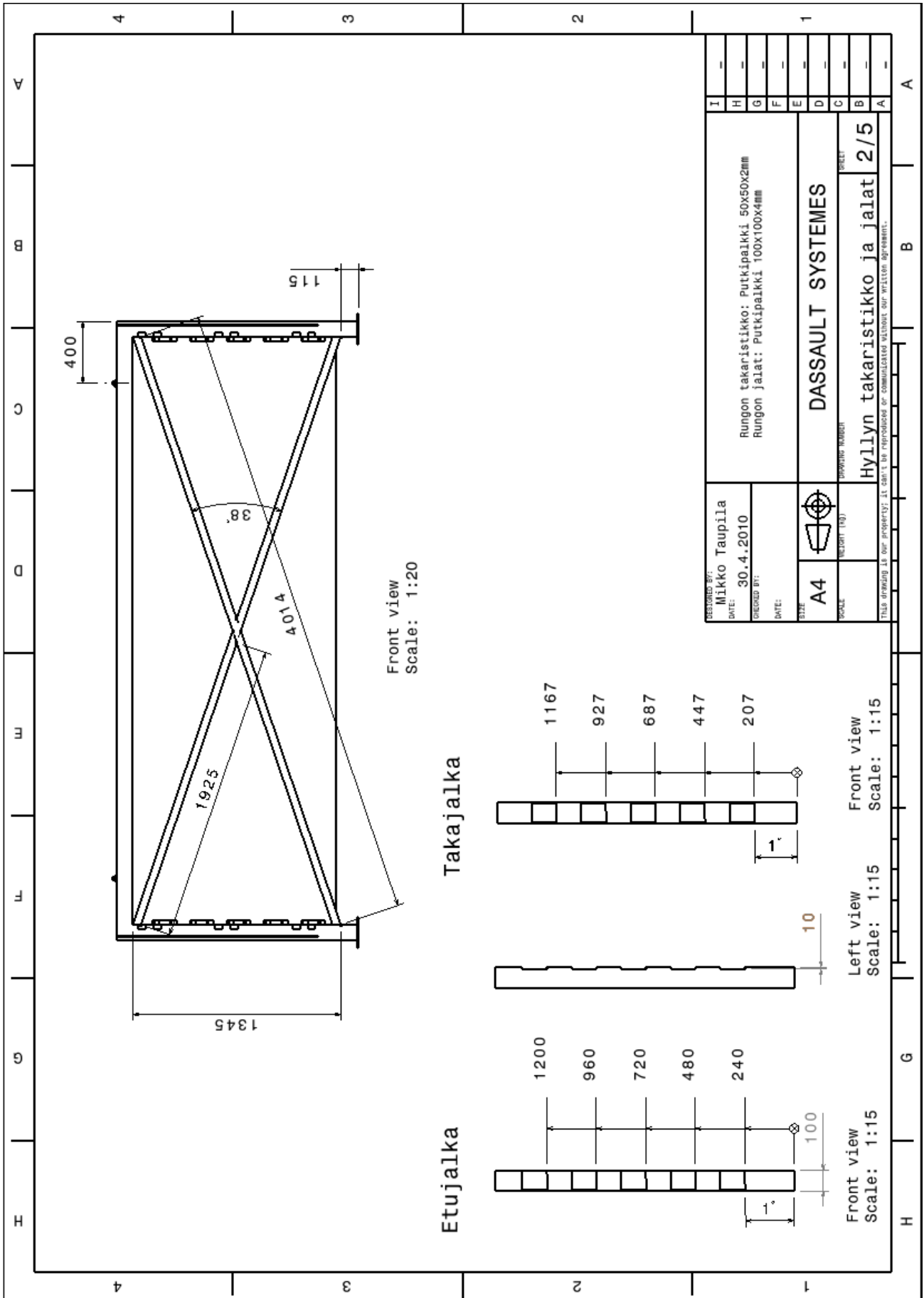
Liite 4: Lukitusjärjestelmän mitoituspäirustukset

Liite 1: Rungon ja saranoinnin mitoituksiirustukset

Levyhyllyn runko

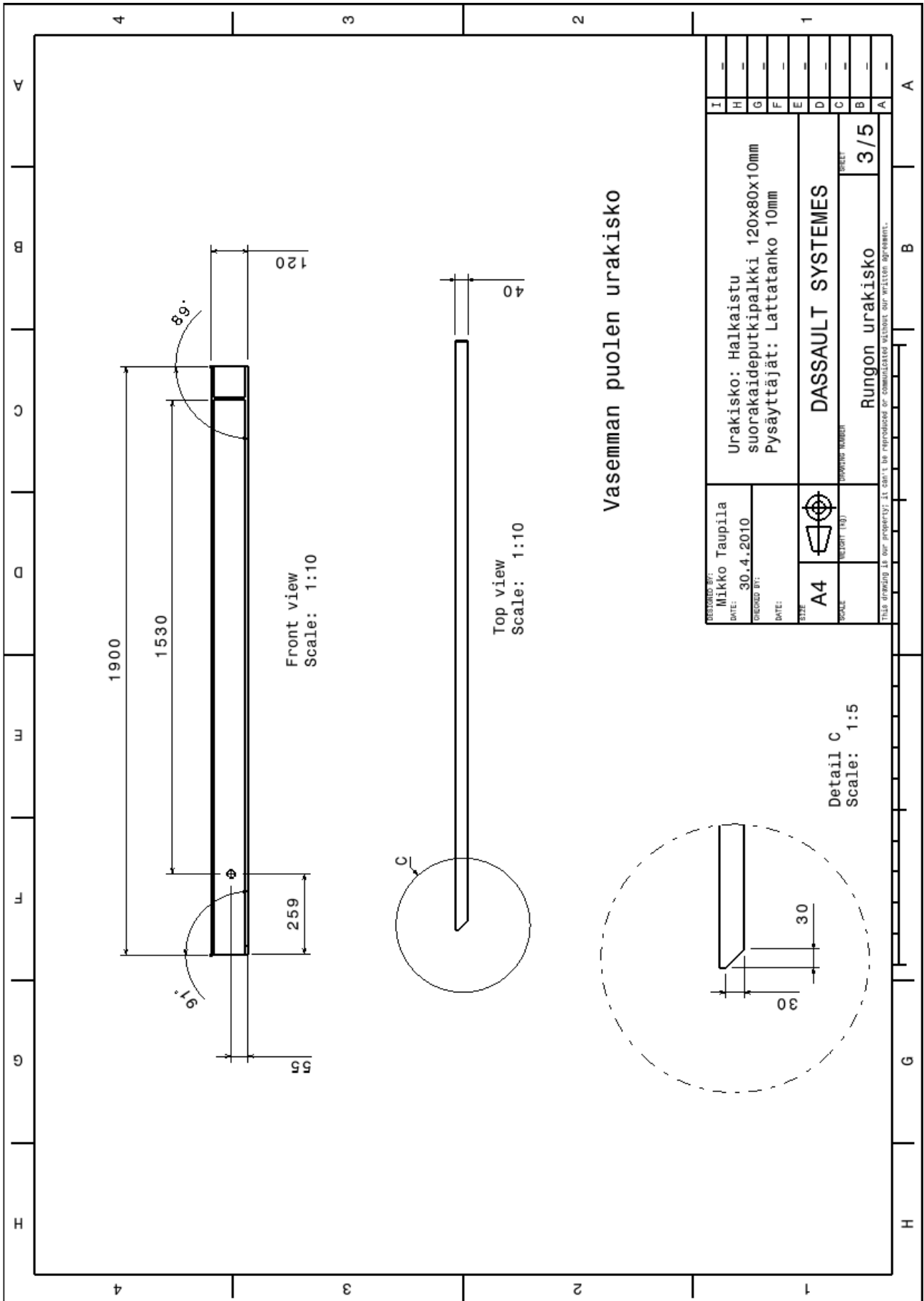


Rungon takaristikko ja jalat

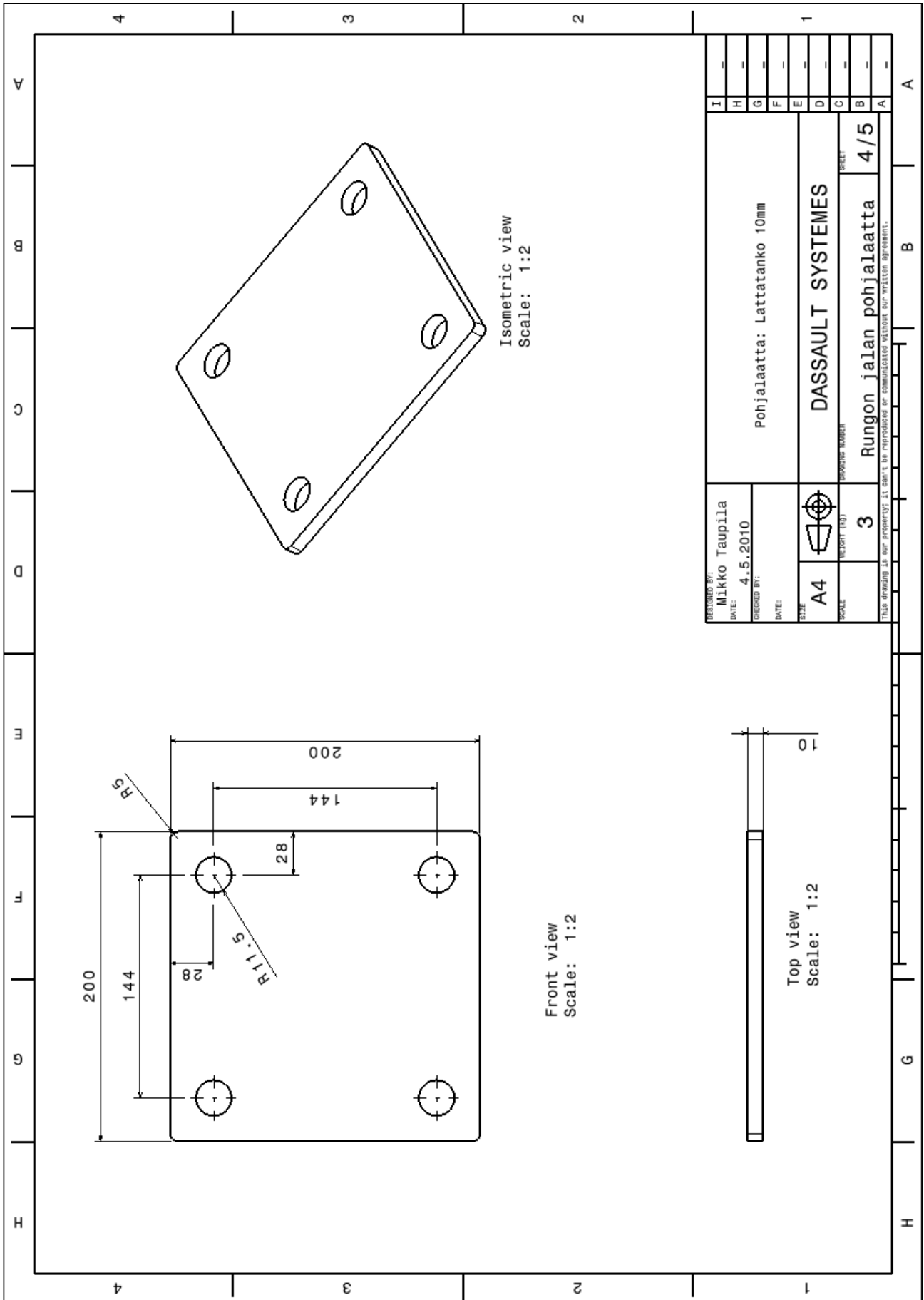


DESIGNED BY: Mikko Taipila	DATE: 30.4.2010	CHECKED BY:	DATE:
Rungon takaristikko: Putkipaikki 50X50X2mm Rungon jalat: Putkipaikki 100X100X4mm		DASSAULT SYSTEMES	
A4		PROJECT NO:	PROJECT
Hyllyn takaristikko ja jalat 2/5		THIS DRAWING IS OUR PROPERTY. IT CANNOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED WITHOUT OUR WRITTEN AGREEMENT.	

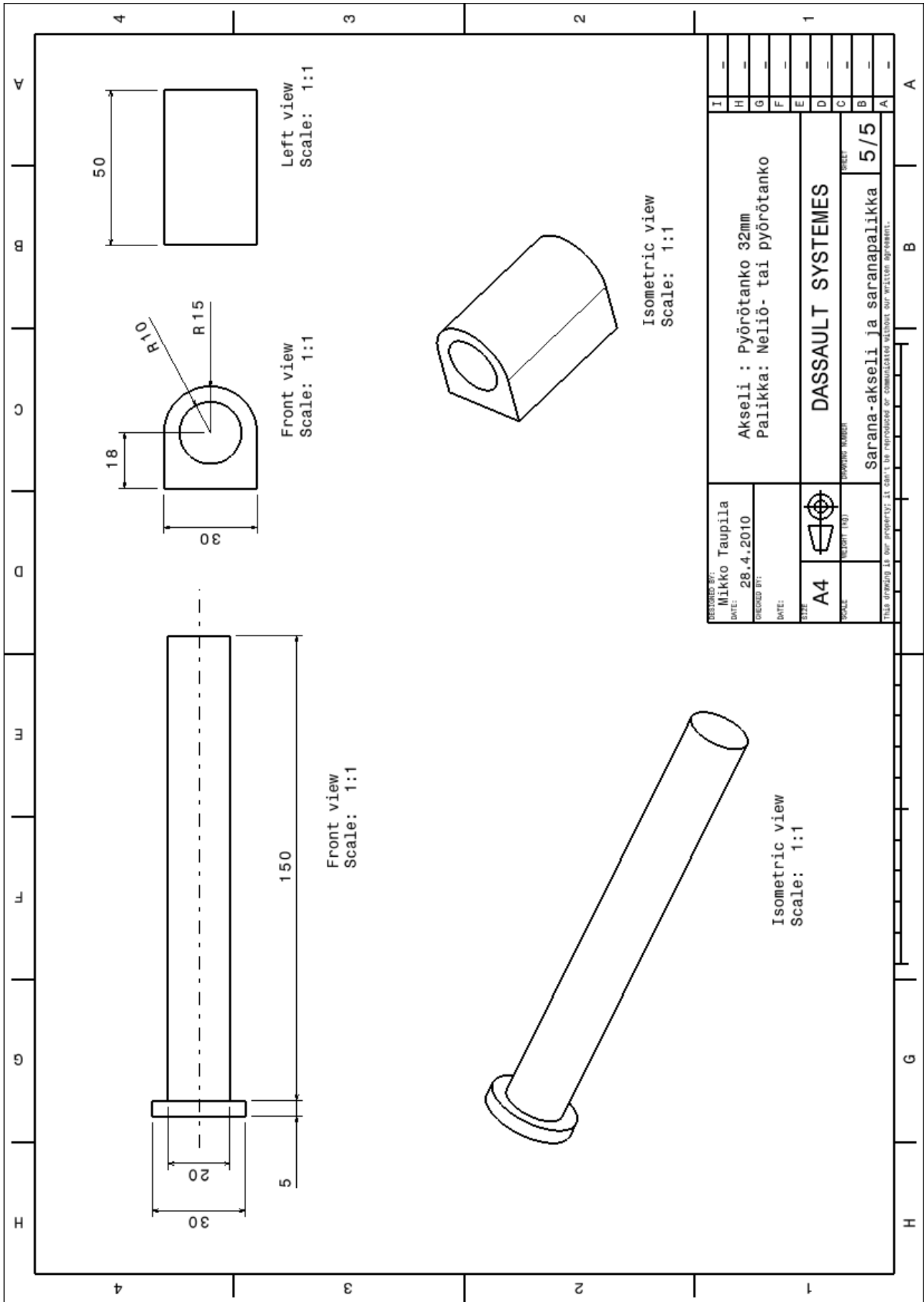
Rungon urakisko



Jalan pohjalaatta

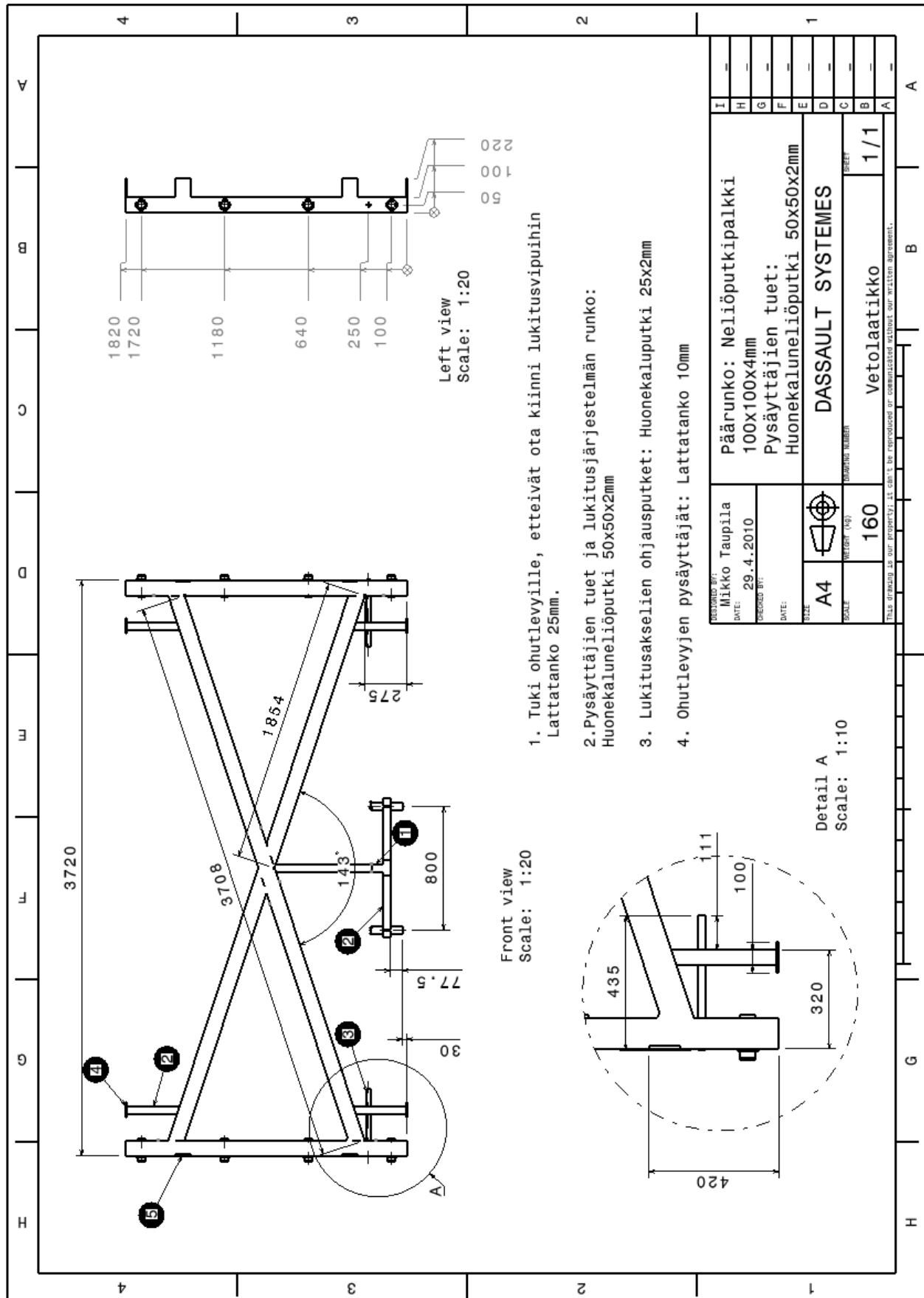


Saranointi

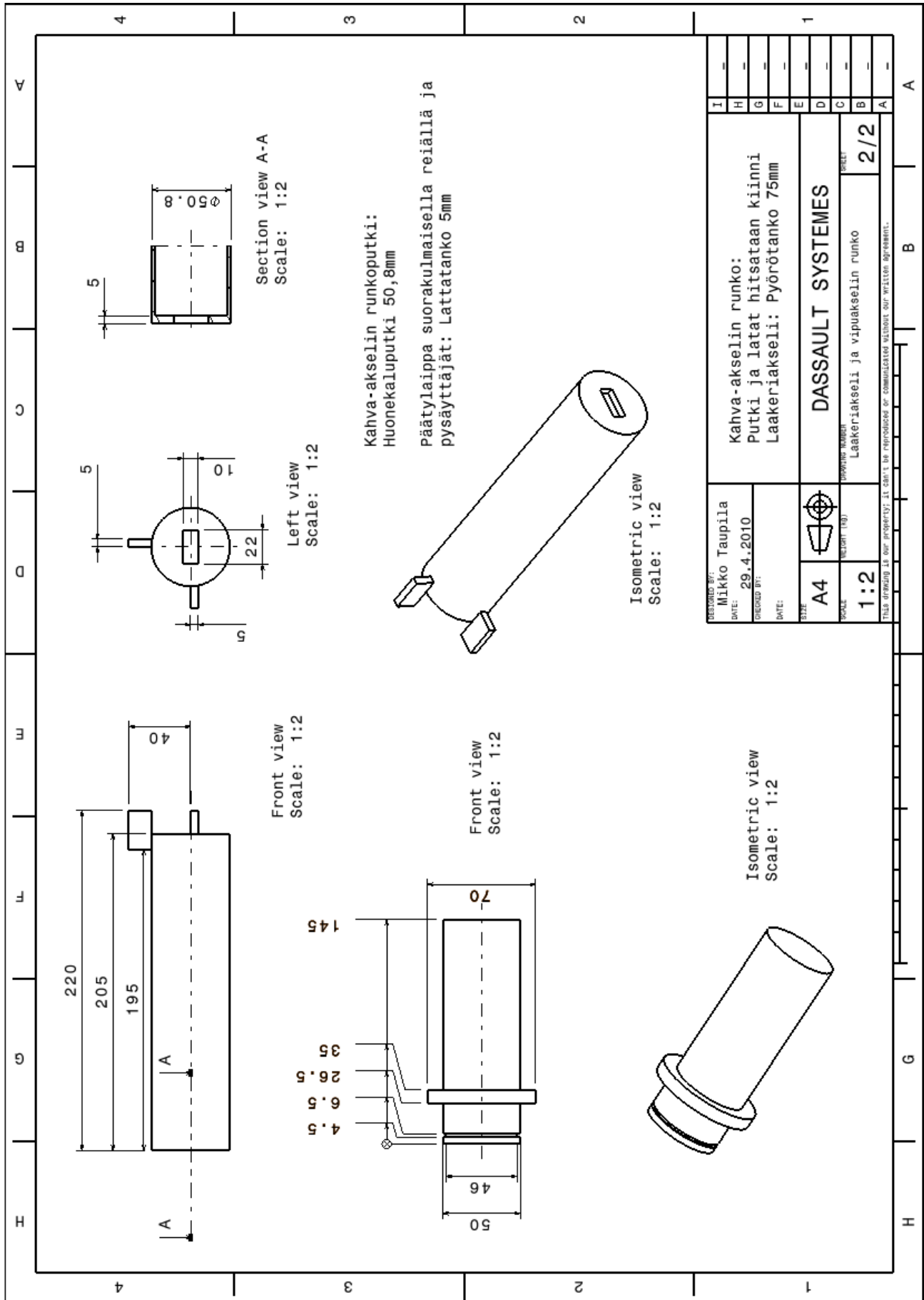


Liite 2: Vetolaatikon mitoituspöyrustukset

Vetolaatikko

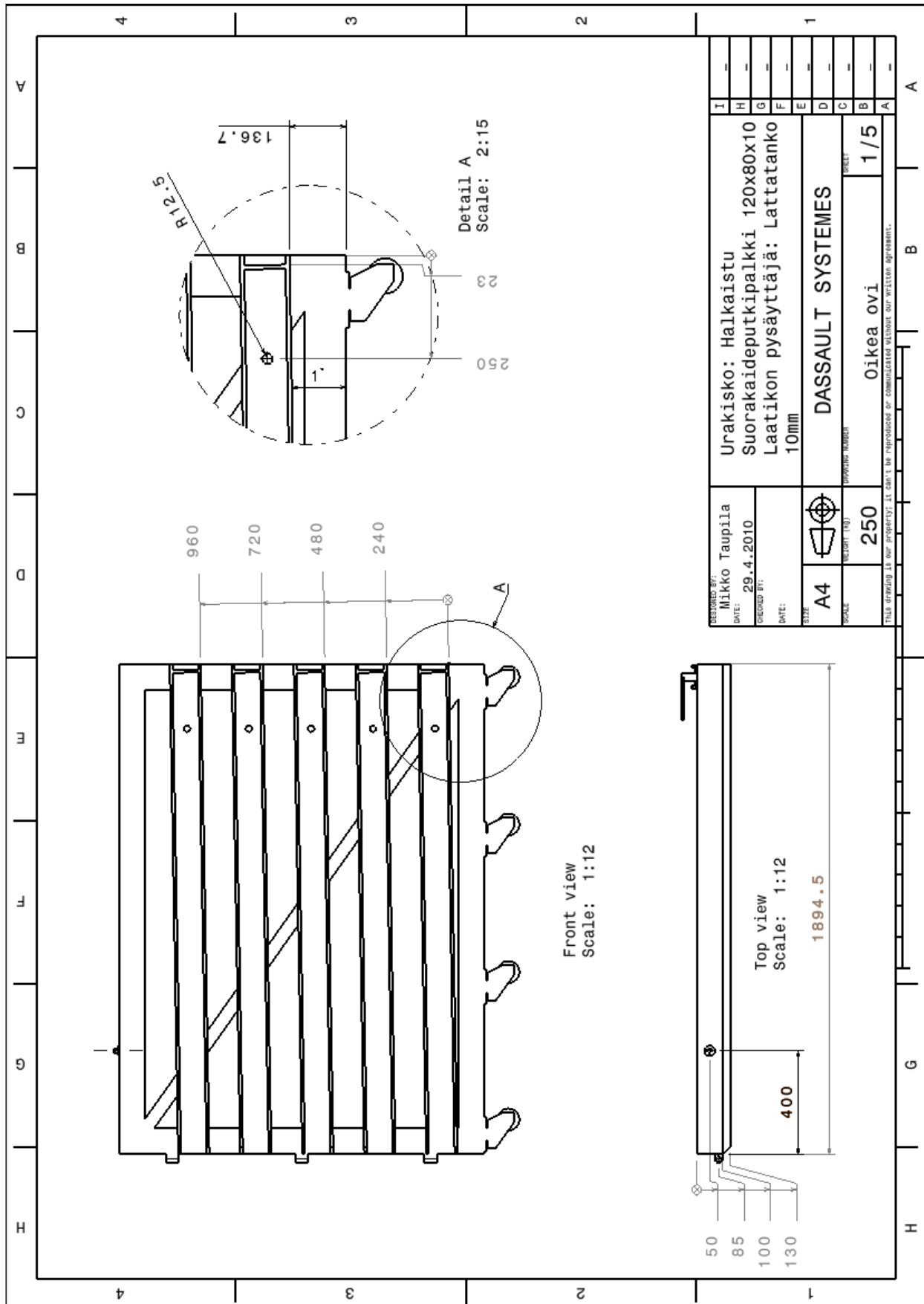


Vetolaatikon laakeriakseli ja vipuakselin runko

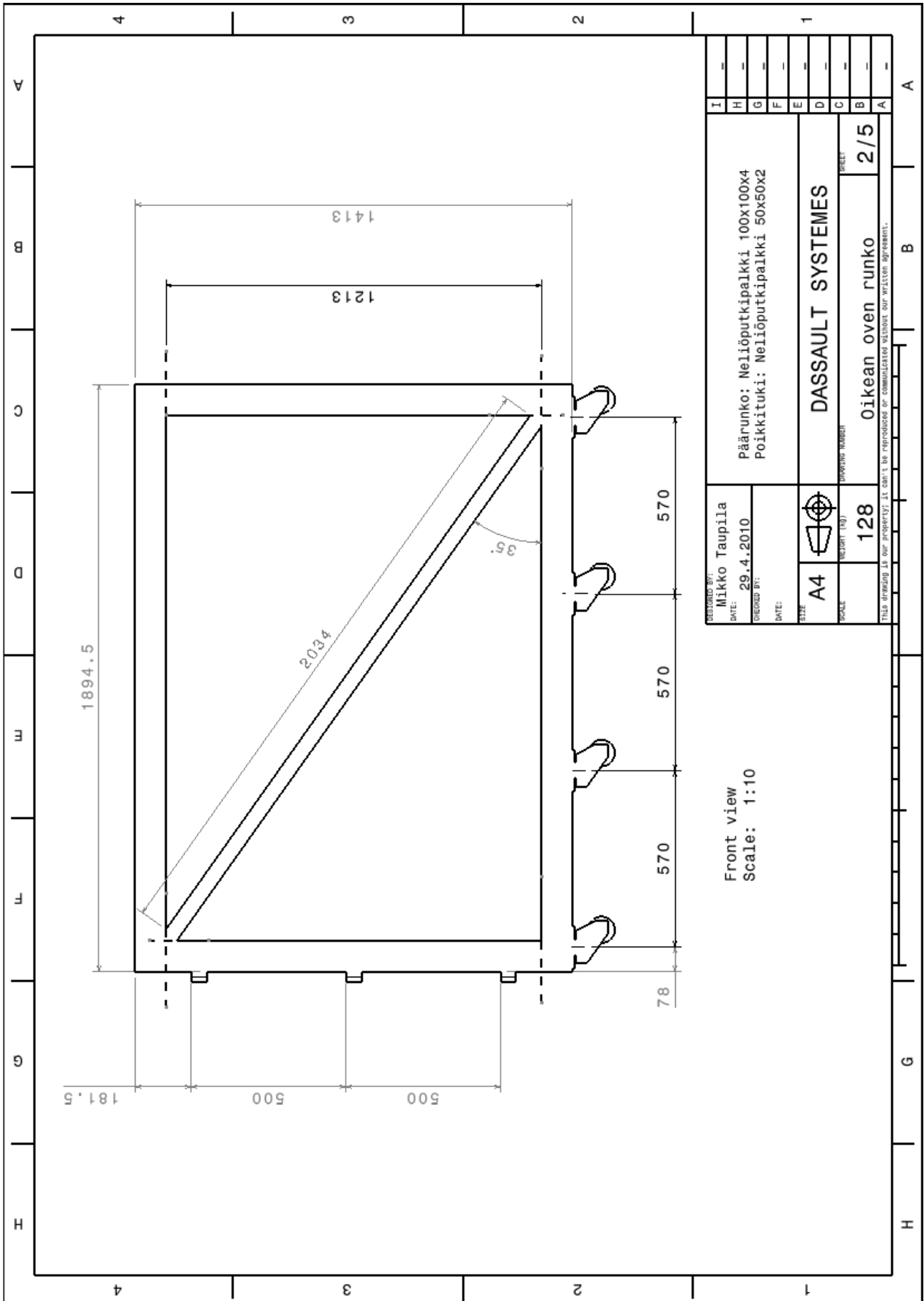


Liite 3: Oikean oven mitoituspiirustukset

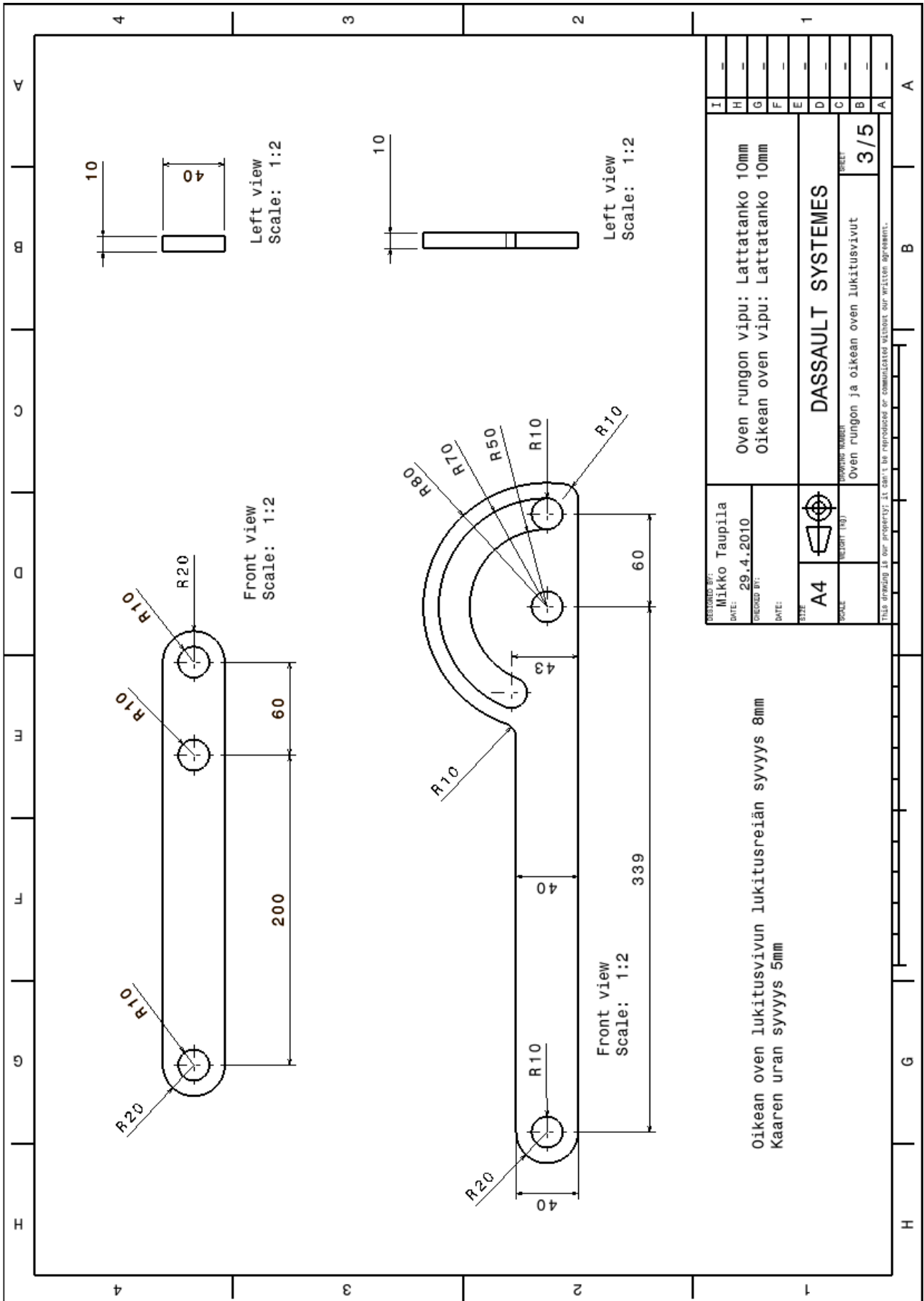
Oikea ovi



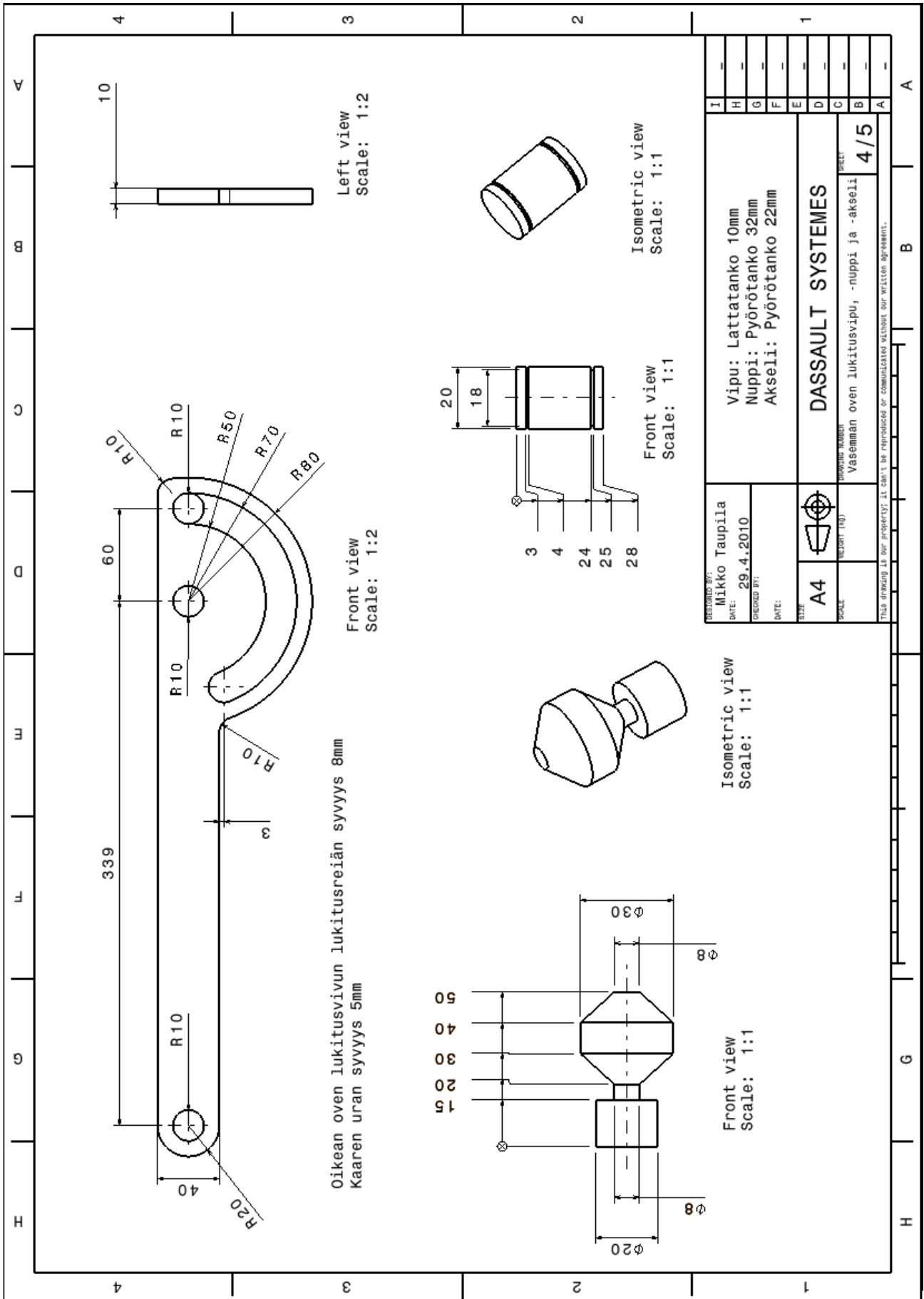
Oikean oven runko



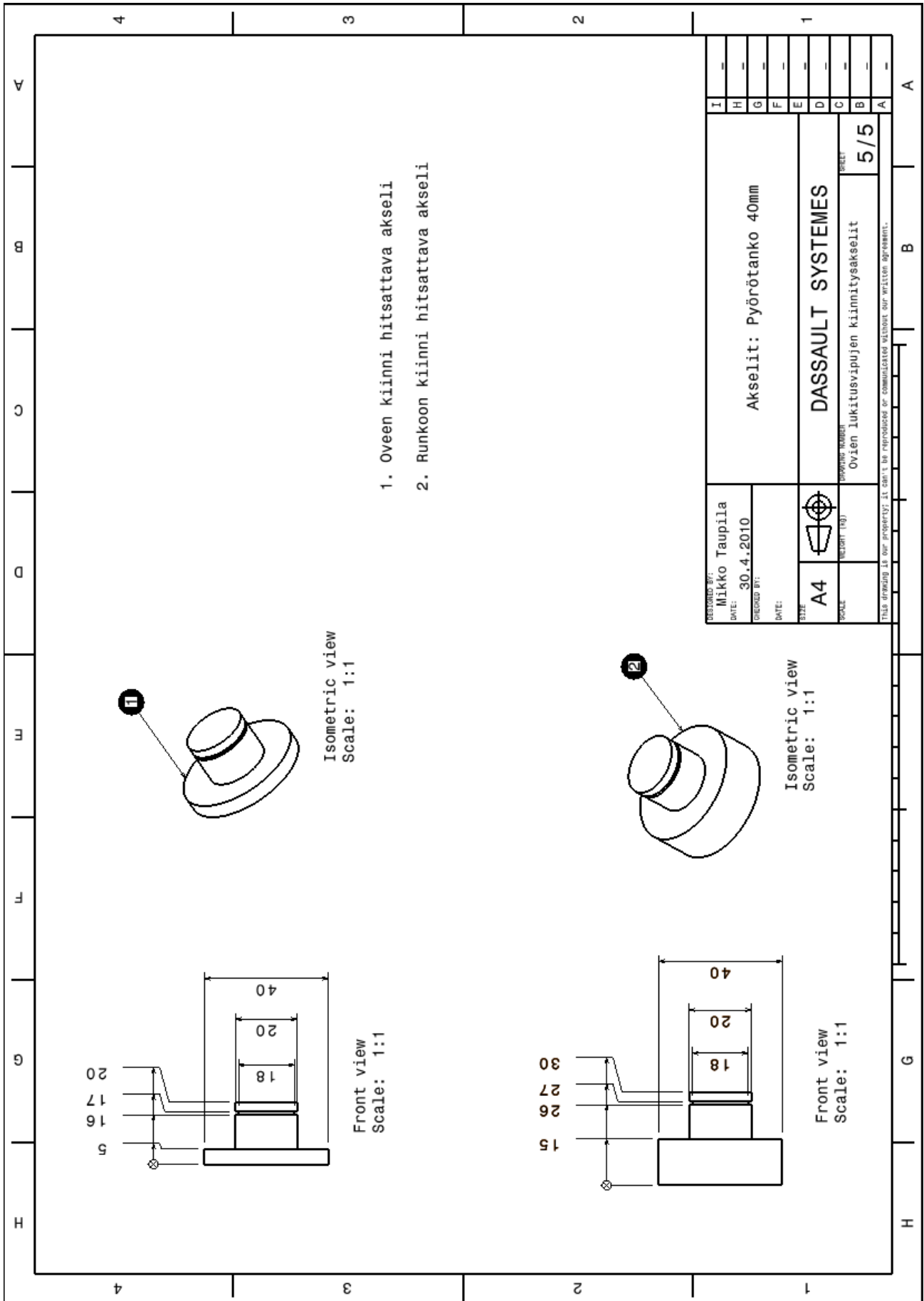
Oikean oven lukitusvivut



Vasemman oven lukitusvipu, lukitusakseli ja lukitusnuppi

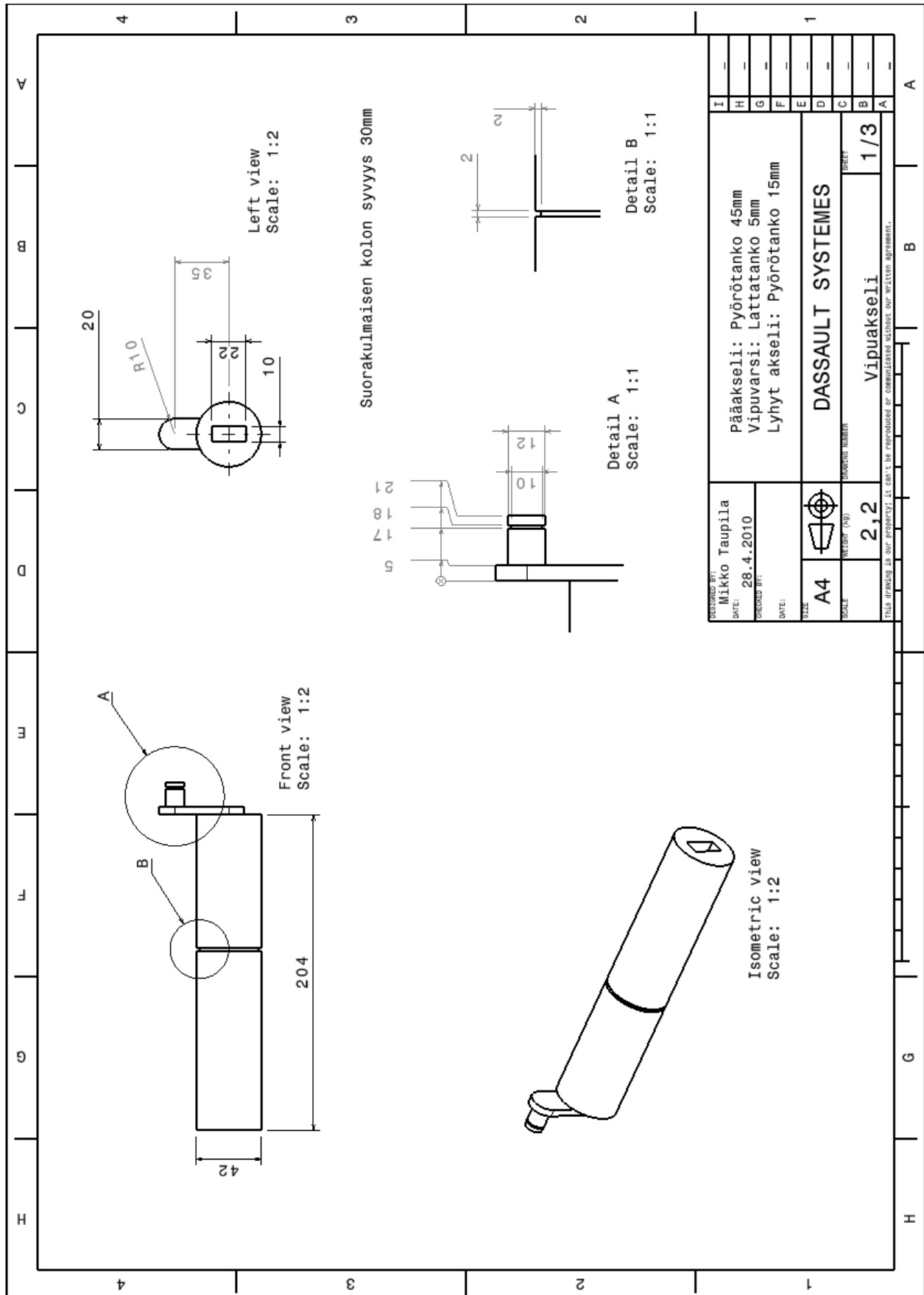


Lukitusvipujen kiinnitysakselit hyllyn rungossa ja ovissa

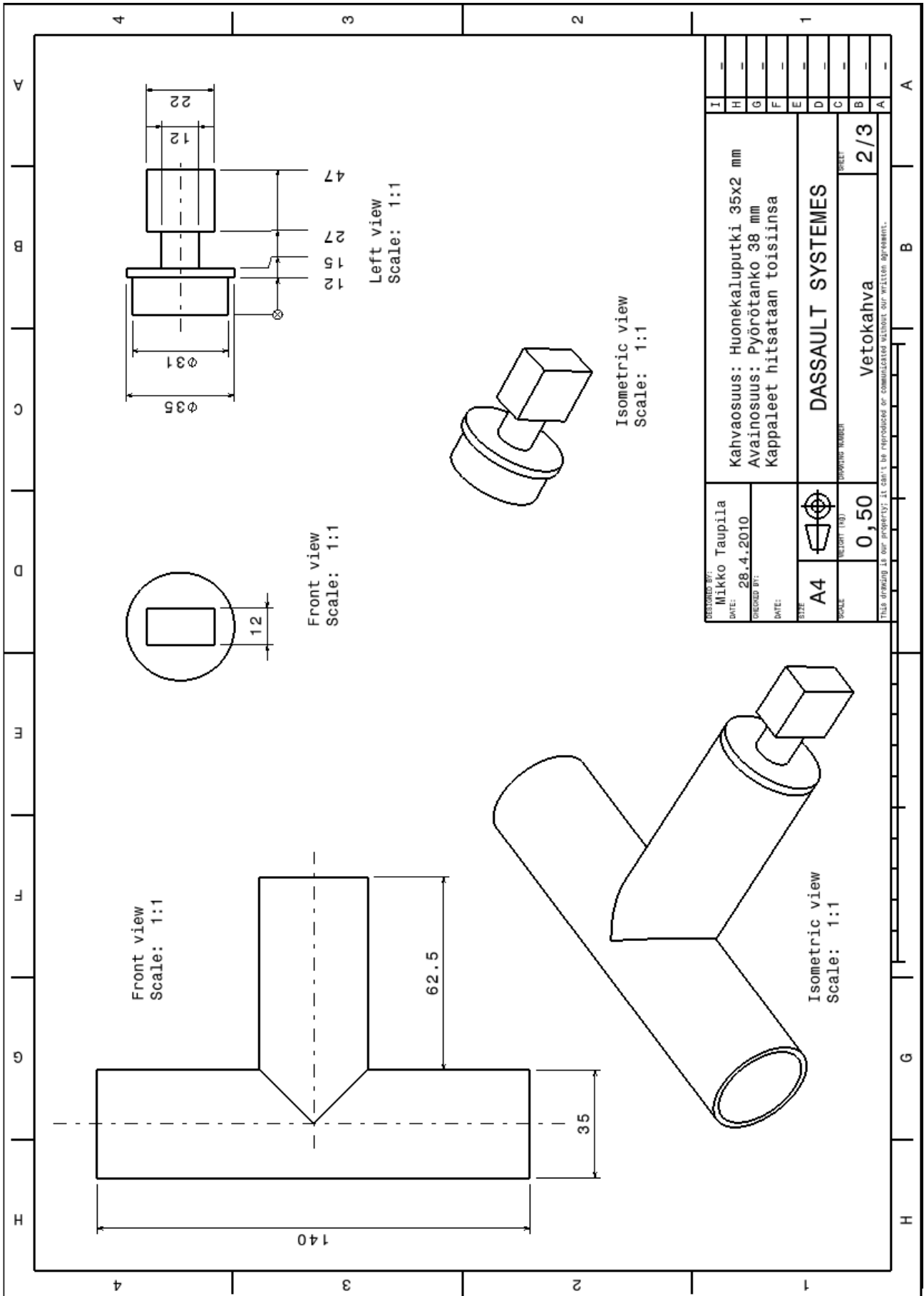


Liite 4: Lukitusjärjestelmän mitoituspiirustukset

Lukitusmekanismin vipuakseli



Lukitusmekanismin vetokahva



Lukitusmekanismin työntötanko ja lukitusakseli

