

Arttu Koski-Säntti

**Työpöytä johdinsarjojen kokoonpanoon ja testaukseen**

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Tekniikan yksikkö

Tietotekniikka

Mekatroniikka



# SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Tietotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Mekatroniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Arttu Koski-Säntti

Työn nimi: Työpöytä johdinsarjojen kokoonpanoon ja testaukseen

Ohjaaja: Markku Kärkkäinen

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 16

---

Työn tavoitteena oli suunnitella johdinsarjojen kokoonpanoon ja testaukseen soveltuva työpöytä. Johdinsarjan kokoonpano tehdään työpöydän päällä olevien johdinsarjan liittimien vastakappaleina toimivien liitinmoduulien väliin, jotka on yhdistetty testilaitteistoon. Johdinsarjan testaus suoritetaan samalla kertaa kokoonpanon kanssa. Tämän prosessin tarkoitus on lyhentää johdinsarjan kokoonpanoon ja testaukseen kuluvaa aikaa sekä minimoida virheellisten tuotteiden määrä.

Teoreettisessa osuudessa perehdyttiin yleisellä tasolla tuotekehitykseen, tuotesuunnitteluun, tietokoneavusteiseen suunnitteluun ja Solid Edge -ohjelmaan.

Varsinainen lopputyö tehtiin suunnitteleamalla työpöytäkokonaisuus johdinsarjojen kokoonpanoon ja testaukseen, joten käytännön osuus keskittyy suurimmaksi osaksi kokoonpanon osien mitoittamiseen ja mallintamiseen sekä työpiirustusten tuottamiseen. Suunnittelutyökaluna käytettiin Solid Edge V20 -ohjelmistoa.

Käytännön testituloksia laitteiston käytöstä ja tehokkuudesta sarjatuotannossa ei toistaiseksi ole, mutta mekaanisesti laitteisto on toiveiden ja vaatimusten mukainen.

Asiasanat: Sähköjohdot, mekaniikkasuunnittelu, CAD-mallinnus, tuotannosuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**Thesis abstract**

Faculty: School of Technology  
Degree programme: Information technology  
Specialisation: Mechatronics

Author/s: Arttu Koski-Säntti

Title of the thesis: Workbench for electric harness test and assembly

Supervisor(s): Markku Kärkkäinen

Year: 2010                      Number of pages: 40      Number of appendices: 16

---

The object of the thesis is to plan an assembly and test bench for the electric harness. Electric harness assembly is done over workbench by using electric harness connector counterparts which are connected to the test equipment. Testing of the electric harness is done at the same time with assembly. The main function of this process is to shorten the time that is needed for assembly and testing of electric harness. Another function is to minimize the number of faulty products.

In the theoretical part of the thesis product development, product design, computer-aided-design and Solid Edge -software were examined.

The practical part of the thesis was made by planning a workbench system for electric harness testing and assembly. The focus was on dimensioning, modelling and generating drawings for the parts of assembly. Designing was done with Solid Edge V20 software.

There are no practical test results of the use and performance of the workbench yet, but the mechanical part of the workbench meets the requirements and expectations.

Keywords: Electric harness, mechanical planning, CAD modeling, production planning

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## SISÄLLYS

## KUVIOLUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
1.1 Tausta.....	6
1.2 Tavoitteet.....	7
1.3 Rakenne.....	7
1.4 Yritysesittely.....	7
<b>2 TIETOKONEAVUSTEINEN TUOTESUUNNITTELU</b> .....	<b>9</b>
2.1 Tuotekehitys.....	9
2.2 Tuotesuunnittelu.....	13
2.3 3D-mallintamisen perusteet .....	14
2.4 3D-mallinnuksen työvaiheet .....	16
2.5 Mallien tarkastelut ja analyysit.....	19
2.6 Mallin käsittely.....	20
2.7 Solid Edge.....	21
<b>3 TYÖPÖYTÄ</b> .....	<b>23</b>
3.1 Kiinnityslevyt .....	23
3.2 Liitinmoduulijalat.....	25
3.3 Kehys ja kiinnikkeet kiinnityslevyille .....	27
3.4 Runko.....	30
3.5 Laakerit .....	31
3.6 Jalat .....	32
3.7 Lukituslaitteet .....	33
<b>4 TULOKSET</b> .....	<b>36</b>
<b>5 LOPPULUKU</b> .....	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>39</b>
<b>LIITTEET</b> .....	<b>40</b>

## KUVIOLUETTELO

Kuva 1. Koordinaattiakselit kolmiulotteisessa avaruudessa (Solid Edge V20).....	14
Kuva 2. Yleiskuva valmiista työpöydästä .....	23
Kuva 3. Kiinnityslevy .....	25
Kuva 4. Liitinmoduulinjalka .....	26
Kuva 5. Liitinmoduuleja, valmiita liitinmoduulijalkoja sekä johdinsarjakiinnikkeitä.	27
Kuva 6. Kehys.....	28
Kuva 7. Kiinnityslevyn kulmapidike .....	29
Kuva 8. Kiinnityslevyn pidike.....	29
Kuva 9. Runko .....	30
Kuva 10. Laakeri .....	31
Kuva 11. Jalka .....	33
Kuva 12. Lukitustapin kiinnityslevy.....	34
Kuva 13. Lukituksen vastakappale.....	35

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Stroman Oy valmistaa johdinsarjoja yksittäiskappaleina sekä piensarjatuotantona. Esimerkiksi työkoneissa johdinsarja yhdistää toisiinsa toimilaitteet, ohjauskeskukset ja muut sähköjärjestelmään liittyvät osat. Johdinsarja rakentuu tyypillisesti johdoista, liittimien rungoista ja liittimien kontakteista.

Johdinsarjan valmistus aloitetaan yleensä katkaisemalla ja merkitsemällä johtimet piirustusten mukaisesti määräämättäiksi, jotta valmis tuote olisi mitoiltaan samanlainen kuin piirustuksiin on suunniteltu. Johtimien päistä kuoritaan eriste pois ja puristetaan päihin kontaktit. Kontaktit asetetaan niille varattuihin paikkoihin liittimien rungoissa. Tämä vaihe pystytään tarvittaessa täysin koneellistamaan.

Kokoonpanon jälkeen valmis johdinsarja testataan testilaitteella mittaamalla resistanssia, eli johtimen virranvastustuskykyä kontaktien väliltä. KytKentäkuvasta ja johdinsarjan piirustuksesta ilmenee kontaktien sähköinen kytkentä toisiinsa nähdessä. Resistanssin tulee olla ääretön, jos kontakteilla ei ole mekaanista yhteyttä toisiinsa. Vastaavasti resistanssin tulee olla pieni, jos kontaktit ovat toisiinsa mekaanisesti yhteydessä. Mikäli piirustusten ja valmiin johdinsarjan mittaustuloksia vertailtaessa ilmenee eroja, on johdinsarjaa muokattava ja virheet korjattava. Tämän jälkeen mittaukset on suoritettava uudestaan.

Tämä testausprosessi kuluttaa paljon läpimenoaikaa ja jättää silti paljon mahdollisuuksia sekä systemaattisille että huolimattomuudesta johtuville virheille.

## 1.2 Tavoitteet

Projektin tavoitteena on lyhentää sarjatuotannossa olevien johdinsarjojen läpimenoaikoja. Läpimenoaikojen lyhentämiseen pyritään tehostamalla tuotantoa suunnittelemalla johdinsarjojen kokoonpanoa ja testausta varten alusta. Läpimenoaikojen lyhentämisen lisäksi tavoitteena on parantaa sarjatuotannon laatua sekä laadunvalvontaa yhdistämällä alusta testauslaitteistoon. Alustan tulee toimia mekaanisena sovitteena testauslaitteiston ja koottavan johdinsarjan välillä. Suunniteltavan alustan on tarkoitus olla kohtuullisella vaivalla muunnettavissa mahdollisimman monelle sarjatuotantona kokoonpantavalle johdinsarjalle.

## 1.3 Rakenne

Opinnäytetyön luvussa kaksi käsitellään työhön liittyvää teoriaa yleisellä tasolla. Osiossa käsitellään tuotekehitystä, tuotesuunnittelua, CAD-ohjelmien käyttöä suunnittelun apuna sekä Solid Edge -ohjelmaa.

Opinnäytetyön kolmannessa luvussa käydään läpi vaihe vaiheelta opinnäytetyössä tehty suunnitteluprosessi kronologisessa järjestyksessä. Osio sisältää sekä kokonaisuuden että yksittäisten osien suunnittelua.

## 1.4 Yritysesittely

Stroman Oy jatkaa Kurikan Johtosarjapalvelun vuonna 1988 aloittamaa liiketoimintaa Kurikassa. Yritys on työkoneiden elektroniikan, ohjausjärjestelmien ja johdinsarjojen luotettu ja joustava sopimusvalmistaja. Asiakkaina yrityksellä on tunnettuja suomalaisia työkonevalmistusalan yrityksiä. Yritys pystyy toteuttamaan pieniäkin sarjoja asiakastarpeisiin räätälöiden, sekä suurempia sarjatuotantona. Johdinsarjat valmistetaan automaattikoneilla, jolloin tuotanto on kustannustehokasta. Stroman Oy:n erikoisosaamista ovat sähköjärjestelmien suunnittelu ja kokoonpanotyöt, nykyaikainen väylätekniikka, asennusvalmiit johdinsarjat, sekä mobilehydrauliikan ohjaukset. Pitkälle viedyssä tuotannosuunnittelussa Stroman Oy:n suunnittelijat

voivat osallistua projekteissa koneen piirikaavioiden, ohjausjärjestelmien, ohjauskeskusten, väylien ja johdinsarjojen suunnitteluun asiakkaan niin halutessa. Yrityksen ammattitaitoinen henkilökunta hoitaa myös kokoonpanotöitä ja protoasennuksia asiakkaille. (Stroman Oy 2009.)

## 2 TIETOKONEAVUSTEINEN TUOTESUUNNITTELU

### 2.1 Tuotekehitys

Tuotekehityksestä on tullut jatkuvaa ja järjestelmällistä toimintaa, koska tuotteiden elinkaari on lyhentynyt viime vuosikymmenien aikana. Tuotekehitys voi olla täysin uuden tuotteen kehittämistä tai vanhan tuotteen parantelua ja muokkausta. Suomalaisessa konepajateollisuudessa prosentuaalinen jakauma näiden välillä on seuraava: variantti 40 %, uusi tuote 30 % ja sovellus 30 %. Tuotekehitysprosessi muodostuu yleensä esitutkimuksesta, luonnostelusta, kehittelystä eli konstruoinnista ja viimeistelystä, jossa tuotedokumentit valmistetaan. Myös prototyyppien valmistus ja testaus voi olla tarvittaessa osa tätä prosessia. (Hietikko 1996, 11 - 12.)

**Tuotekehitys strategisena elementtinä.** Kuinka paljon tuotekehitykseen kannattaa panostaa? Sitä voi selvittää esimerkiksi seuraavalla kaavalla

$$p = h \cdot ([n/t] + k) \quad (1)$$

jossa	p	on	käynnissä olevat tuotekehitysprosessit
	h	on	yhden tuotteen kehittämiseen kuluva aika
	n	on	tuotteiden lukumäärä
	t	on	tuotteiden taloudellinen elinikä
	k	on	vuosittain tarvittavat uudet tuotteet

Otetaan esimerkki kaavan (1) perusteella: Yrityksellä on 10 tuotetta, tuotteiden elinikä on 5 vuotta, halutaan yksi tuote lisää vuodessa ja tuotekehitykseen kuluu aikaa 3 vuotta. Näin ollen yrityksellä täytyy olla ainakin 9 tuotekehitysprojektia käynnissä samanaikaisesti. (Hietikko 1996, 27.)

$$p = 3v \cdot ([10 / 5v] + 1) = 9$$

Kaava ei ota huomioon sitä, että tuotekehitysprosesseista onnistuu vain osa. Lisäksi täytyy ottaa huomioon, että tuotekehitysprosesseista vain osa keskittyy kokonaan uusiin tuotteisiin. (Hietikko 1996, 28.)

Yrityksellä tulisi olla selkeä tuotekehitysstrategia joka antaa käsityksen, mitä ja millaisia tuotteita yrityksen on kehitettävä. Lähtökohtana tulee olla asiakkaan tarve, jota tyydyttämään tuote on kehitetty. Tuote on vain yksi tapa tyydyttää asiakkaan tarve ja usein vanha teknologia korvataan uudella sekä paremmalla. Yrityksen on löydettävä korvaavia tuotteita, joita asiakkaat haluavat, koska yrityksen tuotteet vanhenevat joka tapauksessa ennemmin tai myöhemmin. Jos yritys ei kykene tarjoamaan korvaavia tuotteita, sen tekevät yrityksen kilpailijat. (Hietikko 1996, 28 - 29.)

Uusia tuoteideoita saadaan eri lähteistä, kuten asiakkailta ja kilpailijoilta. Ideoiden joukosta poimitaan parhaat ja tutkitaan niiden toteuttamiskelpoisuutta. Seulonnassa kannattaa käyttää tarkoin harkintaa, ettei tiputa hyvää ideaa pois listalta tai vastaavasti toteuteta kaupallisesti sopimatonta ideaa. Tuote voidaan hankkia yrityksen oman kehityksen lisäksi myös ostamalla kilpailijayritys, patentti tai valmistuslissenssi. (Hietikko 1996, 29 - 30.)

**Integroitu tuotekehitys.** Integroitu tuotekehitysmalli perustuu tuotekehitys- tai tuotesuunnitteluprojektin aikana noudatettavaan *rinnakkaisstrategiaan*. Rinnakkaisstrategian periaatteena on asiantuntijaryhmien edustajien välinen tiivis yhteistyö projektin alusta alkaen. Malli kuvaa tuotekehitykseen osallistuvien tahojen toimintaa yrityksessä ja jakaa sen myös kehitysprosessin aika-akselille. (Hietikko 1996, 30.)

Integroidun tuotekehitysmallin rinnakkaistoimintoja ovat markkinointi, tuotesuunnittelu, tuotannon suunnittelu ja taloushallinto. Markkinointiin kuuluvat markkinointitutkimukset, myynti ja huolto. Tuotesuunnittelu vastaa teknisestä kehittämisestä. Tuotannon suunnittelu huolehtii tuotteen tuotantoon liittyvistä edellytyksistä. Taloushallinto vastaa asioista, jotka liittyvät rahoitukseen ja liiketoimintaan. Aika-akselille sijoittuvat välitavoitteet ovat tarpeita vastaava tekninen vaihtoehto, ratkai-

suluonnos, toimiva tuoteratkaisu, käyttöön soveltuva tuotanto- ja myyntikelpoinen tuote sekä lopullinen käyttöön hyväksytty tuote. (Hietikko 1996, 30 - 31.)

Kun rinnakkaisstrategiaan perustuvaa integroidun tuotekehityksen mallia sovelletaan projektikohtaiseksi toimintasuunnitelmaksi, on sitä muutettava hierarkkiseksi kokonaisuudeksi. Pitkäjänteinen A-suunnitelma on strateginen suunnitelma, joka palvelee lähinnä liikkeenjohtotasoa. A-suunnitelma osoittaa projektin aseman, kytkennät yrityksen strategiaan sekä kulttuuriin, sekä asettaa projektin ylemmän tason tavoitteet sekä käytettävät resurssit. B-suunnitelma on projektinjohtotason lyhyemmän tähtäimen taktinen suunnitelma. Suunnitelma asettaa projektille välitavoitteet, määrittelee vaiheiden tärkeimmät toimenpiteet ja esittelee tehtävien väliset kytkennät. C-suunnitelma on operatiivinen aika- ja resurssisuunnitelma, joka määrittelee tehtävät, tavoitteet, resurssit ja aikataulut yksittäisille henkilöille, koneille ja laitteille. (Hietikko 1996, 31 - 32.)

Tuotekehitysprojektista laaditaan projektisuunnitelma valmiiksi ennen projektin käynnistämistä. Projektisuunnitelma sisältää projektin tunnistetiedot, johtoryhmän, tuotteen kuvauksen, tavoitteet, taloudelliset tekijät, riskianalyysin sekä yleensä aikataulun, josta selviää keskeiset tapahtumat ja niiden ajankohdat. (Hietikko 1996, 32 - 33.)

**Tuotteen elinkaarikäsite.** Onnistuneesti kehitetty tuote kulkee tiettyjen elinkaaren mukaisten vaiheiden läpi, joita ovat kehitysperiodi, esittely ja kasvu, kypsyys ja laskuvaihe. Tarkemmin jaettuna elinkaari jakaantuu seuraavasti: tarpeen tunnistaminen ja ideointi, parhaiden ideoiden jalostus, tuoteidean valinta ja arvoanalyysi, tuotesuunnittelu, tuotannon suunnittelu, koesarjan valmistus, koemarkkinointi, kaupallisen tuotannon käynnistys, tuotteen esittely, kasvu, kypsyys ja lasku. (Hietikko 1996, 33.)

Elinkaaren alkuvaiheessa kehitystyö etenee hitaasti ja usein vastaan tulee umpikuja, josta palataan edellisiin vaiheisiin. Verrattaessa kassavirtaa ajan suhteen saadaan elinkaaresta kuvaaja, josta voidaan laskea suoraan vaaka-akselin ylä- ja alapuolella olevien pinta-alojen suhteen onko projekti ollut kannattava. (Hietikko 1996, 33 - 34.)

**Järjestelmällinen tuotekehitys.** Eräs suosituimmista järjestelmällisen tuotekehityksen menetelmistä on saksalainen VDI 2221 -standardiin perustuva menetelmä. Menetelmässä tuotekehitysprosessi jaetaan tehtävän asetteluun, luonnosteluun, kehittelyyn ja viimeistelyyn. Tämäkään prosessi ei etene aina suoraan mallin mukaan, vaan tarpeen mukaan palataan takaisinpäin, jolloin syntyy silmukoita. (Hietikko 1996, 34.)

Tehtävän asetteluvaiheessa tehdään *vaatimusluettelo*, joka listaa asiakkaan tarpeet tuotekehitysprosessissa hyödynnettävään muotoon. *Järjestelmän spesifikaatio* saadaan kun vaatimusluetteloon lisätään tehtävän kuvaus. Vaatimusluettelon asiakastarpeen tyydyttävät toiminnot jaetaan kolmeen luokkaan, joita ovat kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset ja toivomukset. Asiakkaan tarpeet ja odotukset voidaan kääntää tuotekehityksen avuksi *laatukaavion* avulla. (Hietikko 1996, 35.)

Luonnosteluvaiheessa runkona toimivan vaatimusluettelon pohjalta alkaa uusi tuote hahmottua. Vaiheen aikana laaditaan konsepteja ja sketsejä, ideoidaan ja lasketaan. (Hietikko 1996, 35.)

Kehittelyvaihe jalostaa luonnoksista kokonaisuuksia, joiden pohjalta tehdään tarvittavia valmistus-, jakelu- ja markkinointidokumentteja. Tässä vaiheessa voidaan halutessa muodostaa moduulijako helpottamaan mahdollisten tuotevarianttien rakentamista. Tuotemallia muokataan synteesi-analyysi-ketjujen kautta ja näitä analyysejä ovat esimerkiksi lujuuslaskelmat, kinemaattiset tarkastelut ja taloudelliset laskelmat. Usein myös tuotannon suunnittelun kannalta tehdään tässä vaiheessa muutoksia ja aloitetaan mahdollisen prototyypin rakentaminen. Järjestelmää arvioidaan kokonaisuutena ja pyritään löytämään heikot kohdat, koska tässä vaiheessa niiden korjaaminen on vielä edullista. (Hietikko 1996, 36.)

Viimeistelyvaiheessa generoidaan valmistusdokumentit ja työstökoneiden ohjelmat. Lisäksi materiaalinhallinnan osaluettelot muodostetaan tässä vaiheessa. (Hietikko 1996, 36.)

## 2.2 Tuotesuunnittelu

Tuotesuunnittelu on osa tuotekehityksen kokonaisprosessia (Hietikko 1996, 11).

Tuotesuunnittelu on prosessi, joka alkaa asiakkaan tarpeen tyydyttämiseksi muodostetusta ideasta ja loppuu tuotteen valmistuksessa tarvittaviin dokumentteihin. Tarve määrittelee tuotteelle asetetut tavoitteet. Ne pyritään ratkaisemaan yhdistelemällä asioita toisiinsa uudella ja ennen näkemättömällä tavalla tarpeen tyydyttämiseksi eli käyttämällä *synteesiä*. Myös *keksintö* ja *innovaatio* liittyvät tuotesuunnitteluun. Keksintö on tuote tai idea, joka täyttää patentille asetetut kriteerit. Innovaatio on keksinnön jalostamista myyntiin kelpaavaan muotoon. (Hietikko 1996, 13 - 14.)

Synteesin tulosta pyritään arvioimaan ja *analysoimaan* sen kykyä toteuttaa todettu tarve. *Konstruktiotekniikka* on tuotesuunnittelua suppeampi käsite ja pitää sisällään valmistusta varten tehtävien dokumenttien muodostamisen. (Hietikko 1996, 15.)

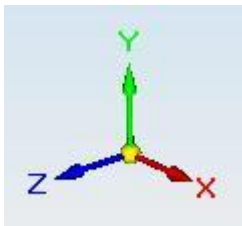
Teollisuusyrityksen kannattavuuden ja talouden kannalta tuotesuunnittelulla on merkittävä asema. Tuotesuunnittelun kustannukset eivät itsessään ole suuret verrattuna tuotteen kokonaiskustannuksiin, mutta suunnittelun aikana päätetään suurin osa tulevista kustannuksista. Asiakkaat eivät osta tuotetta, vaan sen ominaisuuksia, jotka tyydyttävät heidän tarpeitaan. Tuotesuunnittelun ja yrityksen muidenkin toimintojen tarkoituksena on toimia optimaalisesti ja olla kannattavaa liiketoimintaa. (Hietikko 1996, 16 - 17.)

Tuotesuunnitteluprosessia on kuvattu useilla erilaisilla tavoilla, mutta useimmiten kaikkiin tapoihin sisältyy toisiinsa liittyviä suunnitteluvaiheita, eli niiden välillä on takaisinkytkentäsilmukka. Suunnitteluvaiheita voivat olla esimerkiksi seuraavat: tarpeen tyydyttävien vaihtoehtoisten systeemien etsintä, parhaan systeemin mallinnus, systeemin jako osakokoonpanoihin ja osiin, osien materiaalien ja valmistusmenetelmien valitseminen sekä osien muotoilu. (Hietikko 1996, 18.)

Tuotekehityksen ja -suunnittelun työkaluista tietotekniikka on kehittynyt selvästi eniten viimeisten vuosikymmenien aikana. CAD ohjelmat ovat kehittyneet aikaisemmista ohjelmista, jotka olivat lähinnä tietokoneavusteiseen piirtämiseen tarkoitettuja, nykyaikaisiksi mallinnusjärjestelmiksi, joilla pystytään muun muassa luomaan realistisen näköisiä kappaleita. Myös monimutkaisten kappaleiden työstäminen on helpottunut CNC-tekniikan eli tietokoneistetun numeerisen ohjauksen yleistyessä. (Hietikko 1996, 20 - 21.)

### 2.3 3D-mallintamisen perusteet

Computer Aided Design, eli tutummin lyhennelmä CAD, tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua. Tietokoneavusteinen suunnittelu CAD ohjelmilla pitää sisällään esimerkiksi piirustuksien tuottamista, 3D-mallien suunnittelua sekä erilaisia teknisiä laskuja mallin mekaanisten ominaisuuksien pohjalta. (Hietikko 1996, 9.)



Kuva 1. Koordinaattiakselit kolmiulotteisessa avaruudessa (Solid Edge V20)

3D-mallinnus tarkoittaa kolmiulotteista suunnittelua. Suunnittelu tapahtuu kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista. Pääsääntöisesti 3D-mallinnusohjelmat käyttävät *oikeakätistä suorakulmaista koordinaatistoa*. Suunnittelijalle kappaleet, osat sekä kokoonpanot näyttävät oikeilta ja lisäksi niille annetaan kaikki fyysiset sekä mekaaniset ominaisuudet, jotka vastaavalla objektilla todellisuudessa on. (Tuhola & Viitanen 2000, 17.)

Mallinnus tapahtuu yleensä seuraavan kaltaisena prosessina: aluksi suunnittelija kartoittaa lähtötiedot, joita ovat esimerkiksi idea, valmis luonnos, valmis tuote tai toimeksianto. Esivalmisteluina suunnittelija virittää järjestelmän syöttämällä siihen asiakkaan mallipohjat ja tarvittavat määrittelyt. Varsinaisessa mallinnusvaiheessa suunnittelija tekee toimeksiannon pohjalta karkean luonnoksen eli *sketsin*, josta

luodaan malli. Myös mahdolliset osamallit mallinnetaan ja tehdään niistä kokoonpano. Kokoonpanosta sekä osamalleista tehdään halutut 2D-piirustukset tuotetietoineen ja osaluetteloineen. (Tuhola & Viitanen 2000, 19.)

Mallinnusohjelmissa mallia voidaan tarkastella usealla erilaisella visualisointitavalla, joita voi vaihtaa ohjelmaa käyttäessä. Rautalankamalli eli niin sanottu *reunasärmäkuvaus* esittää mallista vain sen ääriviivat. Pintamallista sen sijaan näkyy vain tuotteen pinnat, jolloin tilavaikutelma saadaan välitettyä paremmin suunnittelijalle. Yleisesti käytetyin tarkastelutapa on 3D-malli, jota kutsutaan myös *solidimalliksi* ja *tilavuusmalliksi*. 3D-malli on esitystapana havainnollinen ja selkeä, koska mallia voidaan tarkastella sellaisena kuin se todellisuudessa on. (Tuhola & Viitanen 2000, 20 - 22.)

3D-mallinnusmenetelmiä on kolme päätyyppiä. Nämä päätyypit ovat kappalemallinnus, levymallinnus ja pintamallinnus. Kone- ja laitesuunnittelussa käytetään vain kappale- ja levymallinnusta, koska niillä pyritään yksinkertaisiin ja helposti valmistettaviin malleihin, jotka sopivat parhaiten koneenrakennukseen. Kappale- eli solidimallinnus perustuu valmiiden muotojen käyttöön ja pohjana on yleensä jokin valmis umpinainen muoto (esimerkiksi kartio, ympyrä, neliö tai kolmio), jota muokataan halutulla tavalla. Muokkaustapoina käytetään yleensä pursotusta ja leikkausta, joilla valmista muotoa lisätään, poistetaan tai siihen lisätään muita kappaleita. Levymallinnuksen pohjana käytetään levyä, jonka paksuus on yleensä yli 6 millimetriä. Tätä ohuempia levyjä käytettäessä puhutaan ohutlevymallinnuksesta. Levymallinnuksessa mallia työstetään levyille tyypillisiä työstömenetelmiä käyttäen. Näitä työstömenetelmiä ovat kanttaus, särmäys, puristus- ja venytystyökalut, pyöristyskoneet sekä erilaiset levytyökeskukset, jotka voivat sisältää yhdistelmiä edellä mainituista työstömenetelmistä. (Tuhola & Viitanen 2000, 26 - 28.)

Mallien tietoja välitetään eteenpäin pääsääntöisesti 2D-piirustusten avulla. Kaksiulotteiset piirustukset ovat tuotteita, joita varten 3D-mallit suunnitellaan. Piirustusten on sisällettävä riittävä tieto, jotta osien ja kokoonpanojen valmistaminen olisi mahdollista. Näitä tietoja ovat muun muassa valmistusmateriaali, noudatettava standardi, pintakäsittely, mitoitus, koneistustoleranssit, koneistuspintamerkit, paikka- ja sijaintitoleranssit. (Tuhola & Viitanen 2000, 31 - 32.)

Tehokkaan suunnittelun kulmakivet ovat kyky toteuttaa asioita eli hyvä ohjelmien hallinta ja hahmotuskyky, käytännön kokemus, hyvät mallinnustaidot sekä taito suunnitella. Perusvaatimuksena on, että valmiit osat ja kokonaisuudet sopivat sekä toisiinsa että kokoonpanoihin. 3D-ympäristössä osien yhteensopivuus voidaan tarkistaa reaaliaikaisesti kinemaattisten tarkastelujen avulla tuotetta suunniteltaessa. Mahdolliset muutokset sekä tarkistukset on nopeampi toteuttaa 3D-malliin kuin 2D-piirustukseen. (Tuhola & Viitanen 2000, 33 - 34.)

## 2.4 3D-mallinnuksen työvaiheet

**Esivalmistelut.** Esivalmisteluina mallinnusympäristöön tehdään halutut muokkaukset ja otetaan projektinhallintajärjestelmä käyttöön, jos se nähdään tarpeelliseksi (Tuhola & Viitanen 2000, 44 - 45).

**Mallin aloittaminen.** Mallintamisen suunnitteluprosessi perustuu esitietoihin, joiden pohjalta suunnittelija luo osamallin ja osamallien avulla kokoonpanon. Mallinnus aloitetaan yleensä *perustasoajatuksesta*, jonka mukaan kappale luodaan aluksi yhdelle tasolle. Tasolle tehdään piirroksesta luonnos eli *sketsi*. Mallin muoto muodostetaan pursottamalla ja näin saadaan aikaan aihio. Tämän jälkeen aihiota voidaan muokata halutulla tavalla. Kappaleiden mallinnusasentona käytetään pääsääntöisesti kappaleiden käyttö- tai valmistusasentoa. Poikkeuksellisesti pyörähdykappaleet mallinnetaan x-akselin suuntaisesti. (Tuhola & Viitanen 2000, 54 - 59.)

**Sketsit.** Sketsi on karkea piirros, jolla osa on tarkoitus tuottaa malliksi. Sketsin luominen aloitetaan aina perustasolta, joita ovat Front, Top ja Right plane eli tasot edestä, päältä ja oikealta tarkasteltuina. Kaikki perustasot kohtaavat toisensa origossa. Oikein valittu perustaso helpottaa kokoonpanon tekemistä, koska perustasoja voidaan tällöin käyttää osien kytkentään. Erilaisten sketsien pääryhmiä ovat aloitussketsit eli esimallit, muokkaussketsit, apusketsit ja 3D-sketsit. (Tuhola & Viitanen 2000, 61 - 64.)

Aloitussketsinä voi olla yksinkertaisen särmättävän levykappaleen pohjana toimiva viivasketsi joka on samalla myös levyn poikkileikkaus tai esimerkiksi pyörähdyskappaleen poikkileikkaussketsi. Molemmat esimerkit muodostavat mallin perusprofiilin piirretystä viivasta. (Tuhola & Viitanen 2000, 64 - 69.)

Muokkaussketsillä mallia muokataan tai lisätään siihen piirteitä. Esimerkiksi laserilla leikattavia reikiä varten voidaan tehdä hyvinkin mielikuvituksellisia sketsejä. (Tuhola & Viitanen 2000, 70.)

Apusketsit jaetaan informatiivisiin ja runkosketseihin. Piilossa oleva apusketsi voidaan tarvittaessa kutsua näkyviin ja sen avulla voidaan tehdä esimerkiksi reikäkehä malliin. Runkosketsiä voidaan nimensä mukaisesti käyttää kokoonpanon runkona ja näin helpottaa esimerkiksi kokoonpanon pelkkien toiminnallisten osien tarkastelua. (Tuhola & Viitanen 2000, 70 - 71.)

3D-sketsit piirretään kolmiulotteiseen koordinaatistoon ja ne ovat erityisen käyttökelpoisia pintojen muotoilussa, putkikehikkojen sekä tehdasputkitusten suunnittelussa (Tuhola & Viitanen 2000, 72).

Sketsien mitoitus voidaan halutessa sitoa niin, että kaikki mitat muuttuvat tiettyjä päämittoja muuttamalla. Sketsejä voidaan käyttää myös referenssiluurangon tekoon, jolla muodostetaan esimerkiksi laitteen nivelpisteiden ja akselien paikat ennen varsinaisen rungon mallinnusta. Kokoonpanon liikkuvien osien liikeratojen muodostamista muodoista voidaan tehdä myös referenssigeometrioita, jotka määrittävät liikkuvan osan muotoa ja mitoitusta. Liikeratojen tarkastelun esivaiheessa voidaan käyttää myös pelkistettyjä sketsejä, jotka antavat hieman käsitystä osien mitoituksesta ja käyttökelpoisuudesta. (Tuhola & Viitanen 2000, 72 - 76.)

**Mallintamisen peruskäsitteet.** Mallin luominen määräytyy aiotun rakenteen perusteella kappalemallin tai levymallin käyttöön. Molemmilla tavoilla on kaksi pääkäyttötapaa, jotka ovat tilanvaraus kokoonpanossa ja tuotantokappaleen kuvamateriaalin generointi eli mallia käytetään 2D-piirustusten lähdemateriaalina. Esimerkiksi levymallia käytetään kun kappaletta joudutaan taivuttamaan ja aihio on levy-

muodossa. Kappalemalli ei voi saada levyominaisuuksia ja vastaavasti levymallia ei voi muuttaa kappalemalliksi. (Tuhola & Viitanen 2000, 80 - 83.)

Mallien luomisessa pitäisi yrittää käyttää mahdollisimman yksinkertaisia mallinnusoperaatiota, sekä käyttää mahdollisimman paljon standardipiirteitä ja -kirjastoja. Lisäksi on järkevää sitoa malli peruskoordinaatistoon siten, että mallin tasot sijaitsevat symmetria akselilla. (Tuhola & Viitanen 2000, 83 - 87.)

Kun malli on saatu valmiiksi, se tarkastetaan läpi ja tämän jälkeen siitä tehdään piirustus, jossa on kaikki valmistukseen tarvittava informaatio. Piirustuksen tulee täyttää piirustusteknisesti kunnollisen konepiirustuksen vaatimukset. Myöhempää muokkaustarvetta varten kannattaa mallin mallinnushistorian piirteet merkitä selitteillä, jotta muokkaaminen olisi nopeampaa ja helpompaa. (Tuhola & Viitanen 2000, 88 - 92.)

**Kokoonpanon luominen.** Mallien käyttäminen kokoonpanossa tuo parhaiten esiin 3D-mallintamisen edut. Kokoonpano on kokonaisuus, jossa ydinosan ympärille on tuotu muita kokoonpanoon liittyviä osia. Erilaisia kokoonpanoja ovat esimerkiksi osa- ja pääkokoonpano, sekä tuotannon kokoonpano, joka sisältää osien lisäksi myös kaikki osille annetut määreet ja tuotetiedot. (Tuhola & Viitanen 2000, 98 - 99.)

Kokoonpanoja luodaan yleensä kolmella eri tavalla. Ensimmäinen näistä tavoista on tuoda kokoonpanon ydinosan ympärille siihen liittyvät osakokoonpanot ja tarvittaessa tehdä niitä kokoonpanon edetessä lisää. Toinen tapa on tehdä kaikki osat ja osakokoonpanot valmiiksi, joista lopuksi luodaan pääkokoonpano. Kolmas tapa on käyttää runkosketsiä kokoonpanon alustana. Kokoonpano kootaan aina ydinosan ympärille käyttämällä *sijoitusehtoja*, joiden avulla kokoonpanon osat sijoitetaan siten, että kokoonpano vastaa toiminnallista kokoonpanoa sisältäen kaikki lopullisen laitteen ominaisuudet. Tarvittaessa kokoonpanon osien mittoja voidaan editoida eli muokata myös kokoonpanon yhteydessä ja esimerkiksi säätää mittoja. Viimeistelynä kokoonpanosta tehdään 2D-piirustukset ja osaluettelot. (Tuhola & Viitanen 2000, 98 - 109.)

**Sidokset.** Sidokset tarkoittavat 3D-ympäristössä määrittelyitä, jotka sitovat mallit ja osat paikoilleen. Viivan sidonta voidaan tehdä sitomalla viiva pisteisiin, sitomalla pisteet toisiinsa, sitomalla pisteet tai viivat tasoihin, määrittelemällä suuntaehtoja ja yhdensuuntaisuuksia. Kokoonpanojen luomisessa käytetään niin sanottuja *mate*-määrittelyitä kappaleiden välisiin sidoksiin. Näitä määrittelyitä ja pääsidostyypppejä ovat yhdistäminen samanaikaisesti, yhdensuuntaisuus, kohtisuoruus, tangentialisuus eli sivuavuus sekä samankeskisyys. Yleensä pyritään yhdistämään vain kaksi kappaletta toisiinsa sidoksilla. Kappaleiden välisiä sidoksia tulisi olla korkeintaan kolme osaa tai osakokoonpanoa kohden. Sidosehdot ovat pääsääntöisesti pysyviä vain niin kauan, kunnes kappaletta muokataan. Sidosten viimeistelyssä mallin kaikki sidosehdot käydään läpi ja tarkistetaan, että sidokset on rakennettu oikein. (Tuhola & Viitanen 2000, 110 - 118.)

## 2.5 Mallien tarkastelut ja analyysit

**Kinemaattiset tarkastelut.** Kinemaattinen tarkastelu tarkoittaa animaatiota, joka kuvaa mekaniikan käyttäytymistä tarkastelun kohteena olevien tekijöiden mukaan. Näitä tekijöitä ovat muun muassa liikeradat, vierintäradat, käynnissä olevan laitteen osien tilantarve, kosketuspintojen määrittely osiin, rakenteen kuormituskestävyys sekä kuormituksen vaihtelujen vaikutus. Mallin kinemaattisessa tarkastelussa kuormitustilanteiden on oltava yksinkertaisia, mutta myös liiallinen yksinkertaistaminen voi johtaa vääriin tuloksiin. Oikeat lähtötiedot ja kuormitusten oikea sijoitus ovat avainasemassa kaikissa mekaanisissa tarkasteluissa. (Tuhola & Viitanen 2000, 122 - 123.)

**Törmäystarkastelut.** Törmäystarkasteluja käytetään kun tarkastellaan osien sopimista niille tarkoitettuun tilaan. Tarkastelua käytettäessä nähdään, missä kohdin osat ovat sisäkkäin eli törmäävät toisiinsa. Menetelmä ei kuitenkaan ota huomioon mahdollisia välyksiä mekaniikassa. (Tuhola & Viitanen 2000, 124.)

**Liikerata-analyysi.** Mekanismin toimintaa liikemäärän suhteen tarkastellaan liikerata-analyysillä. Selvitetään esimerkiksi, sopiiko osa liikkumaan koko halutulla liikeradallaan ilman, että se törmää muihin osiin. Liikerata-analyysi sopii erityisesti

vivustojen tarkasteluun, koska sillä voidaan tarkastella vipusuhteita, reaktiovaikutuksia, tukipisteiden kuormituksia sekä vipujen rasituksia. (Tuhola & Viitanen 2000, 124.)

**Lujuusanalyysit.** Lujuusanalyyseillä tarkoitetaan kappaleiden ja mekanismien tarkastelua dynaamisesti kuormitettuina. Tarkoituksena on selvittää rakenteen pätevyys sekä toiminnalliselta, että lujuudelliseltakin kannalta. Lujuusanalyysin pätevyys on suoraan verrannollinen siihen, kuinka hyvin luonnossa tapahtuvat kuormitukset pystytään matkimaan malliin. (Tuhola & Viitanen 2000, 125.)

**Tarkastelutietojen käyttö mallinnuksen apuna.** Tarkastelut auttavat saavuttamaan rakenteelle asetetut vaatimukset. Lisäksi tarkastelujen avulla voidaan optimoida esimerkiksi osien massaa ja etsiä mahdollisimman tehokasta muotoa kappaleille. Näin voidaan vähentää mekaanisen testaamisen tarvetta. Tarkasteluja tehdessä kaikkia kuormitusolosuhteita ei voida ottaa huomioon ja lisäksi rakenteissa on aina epäjatkuvuuksia eikä se koskaan ole täysin ideaalinen ja virheetön. (Tuhola & Viitanen 2000, 125 - 126.)

## 2.6 Mallin käsittely

Mallintamisen tarkoitus on tuottaa tarkkoja ja oikein suunniteltuja malleja, joita voidaan käyttää osien ja tuotteiden valmistukseen. Mallintaminen on osa tuotantoprosessia. (Tuhola & Viitanen 2000, 134.)

**Tehostettu mallin tuottaminen.** Mallien käyttötarkoitukset voidaan jakaa neljään osaan. Käyttötarkoitus voi olla tilanvaraus ja tiedonkeruu, varsinaista mallinnustyötä varten, mainosmateriaalin tuottaminen tai tuotantomateriaalin tuottaminen. (Tuhola & Viitanen 2000, 134 - 135.)

**Mallien jatkokäsittely.** Malleista tulee voida tuottaa selkeää ja helppolukuista 2D-kuvamateriaalia. Kappaleiden sisäisten rakenteiden tutkiskelua varten voidaan ottaa leikkauskuvia, jotka selventävät rakennetta ja osien keskeisiä suhteita. Koonpanon selventämiseksi siitä voidaan tuottaa räjäytyskuva. Räjäytyskuva tar-

koittaa aukilevitettyä kokoonpanokuvaa, jossa osat on siirretty uusiin asemiin parantamaan havainnollisuutta ja osien järjestystä toisiinsa nähden. Havainnollisuutta voidaan parantaa myös lisäämällä kuvaan siirroslinja, jota pitkin osa liittyy aina seuraavaan osaan. Lisäämällä malliin värejä voidaan selventää kappalerajoja ja tarkastella osien sopivuutta toisiinsa. Värien avulla voidaan mallista myös tuottaa näköiskuvia mainos- ja markkinointitarkoituksiin. Animaatiolla voidaan esittää kokoonpanon osien asemien muutoksia tai esimerkiksi kuinka kokoonpanon asennus suoritetaan. Mallin pintoja voidaan visualisoida, eli värjätä niitä matkimaan oikeaa ympäristöä mahdollisimman hyvin. Visualisointi sopii erityisesti myyntiesitteisiin ja markkinoinnin materiaaliksi. (Tuhola & Viitanen 2000, 136 - 141.)

## 2.7 Solid Edge

Solid Edge on parametrinen kaksi- ja kolmiulotteinen CAD-suunnitteluohjelmisto Windows-ympäristöön. Solid Edgeen kuuluvat kappalemalli-, ohutlevy-, kokoonpano- ja työpiirustussovellukset. Perinteisen historiapohjaisen mallinnustekniikan lisäksi uusimmissa versioissa on myös käytössä historiavapaa piirrepohjainen synkroninen mallinnustekniikka. (Siemens 2009a.)

Intergraph julkaisi Solid Edgen ensimmäisen version vuonna 1995 ja vuonna 1997 Sheet metal -ohutlevysovelluksen Solid Edgen version 3.5 yhteydessä. UGS, nykyisin omistajan vaihdoksen jälkeen nimellä Siemens PLM Software, vaihtoi ACIS-mallinnusytimen Parasolid-ytimeen vuonna 1998. (Inoffizielle Hilfeseiten für Solid Edge, [viitattu 30.3.2010].)

Perinteinen mallinnus perustuu mallin historiarakenteeseen tallennettuihin mallinnusvaiheisiin. Uusimmat mallinnusvaiheet pohjautuvat vanhempiin, ja editoidessa vanhempaa mallinnusvaihetta täytyy editoinnin jälkeen mallin pinnat laskea uudelleen. Vuonna 2008 Siemens julkaisi Solid Edge with Synchronous Technology -version, joka tunnetaan myös nimellä Solid Edge ST. Synkroninen mallinnus etenee samalla tavalla kuin perinteinenkin, mutta sketsin ja piirteen välille ei muodostu historiarakennetta eli sketsin muokkaaminen ei muuta siitä pursotetun tilavuusmallipiirteen muotoa. Tilavuusmallia muokataan muuttamalla geometriaa, para-

metreja ja mallin sääntöjä. Solid Edge with Synchronous Technology -version synkronista mallinnusta voidaan käyttää osamallinnuksessa ja kokoonpanoissa. Valmistaja mainostaa Synkronisen mallintamisen olevan jopa sata kertaa nopeampi tapa kuin perinteinen tekniikka. (Siemens 2008.)

Solid Edge with Synchronous Technology 2 -ohjelma julkaistiin vuonna 2009 ja sitä voidaan käyttää edellisen version ominaisuuksien lisäksi myös ohutlevymallinnuksessa (Siemens 2009b).

### 3 TYÖPÖYTÄ

Opinnäytetyön varsinainen käytännön osuus käsittelee työpöydän suunnitteluprosessia, jossa työkaluna käytettiin Solid Edge V20 -ohjelmaa. Alapuolella olevassa kuvassa (2) on valmis työpöytä.



Kuva 2. Yleiskuva valmiista työpöydästä

#### 3.1 Kiinnityslevyt

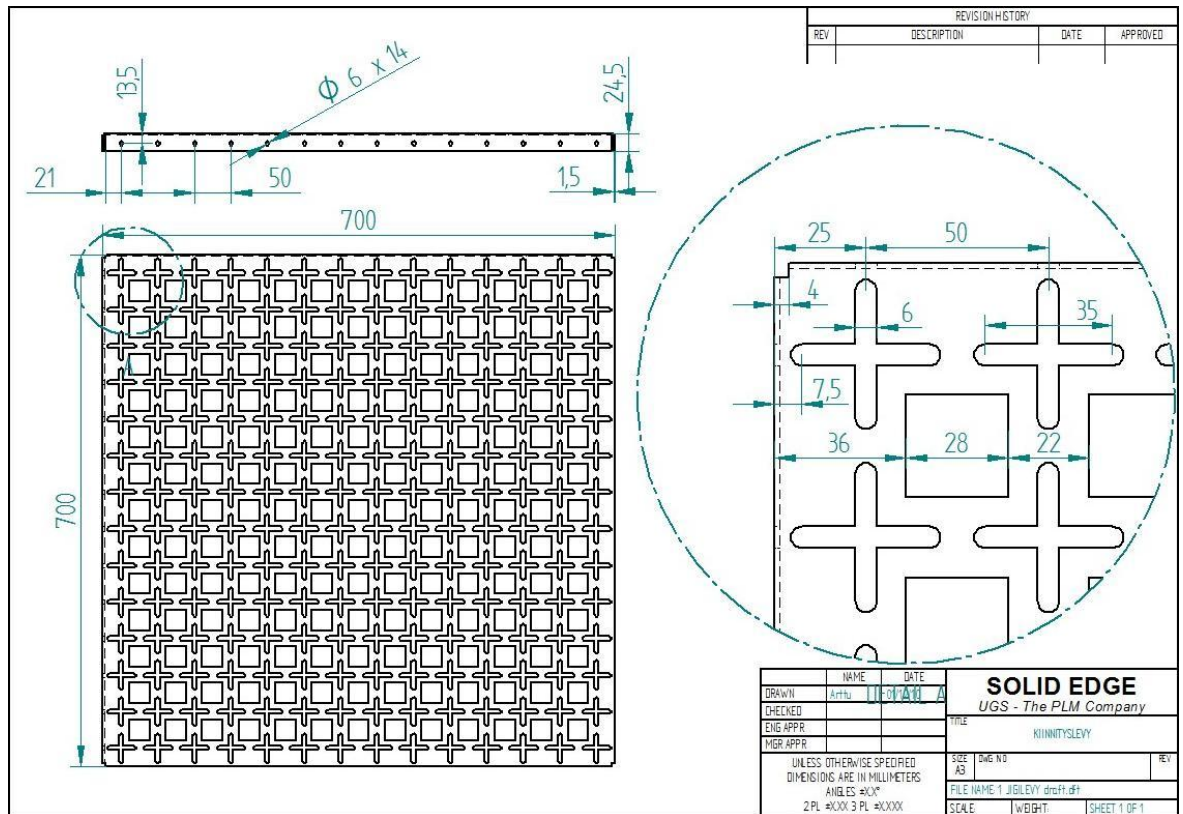
Projekti aloitettiin kartoittamalla johdinsarjojen testaukseen ja kokoonpanoon soveltuvan kiinnityslevyn vaatimukset. Levyihin tulee voida kiinnittää johdinsarjan

johtimet mekaanisesti paikalleen sekä johdinsarjan liittimien vastakappaleet. Kiinnityslevyjen muodoksi valittiin neliö, valmistusmateriaaliksi 1,5 millimetrin teräslevy ja neliön sivun pituudeksi 700 millimetriä. Levyjen tulee olla tarvittaessa yhdistettävissä toisiinsa pulttiliitoksilla levyjen päädyistä.

Johdinsarjan liittimien vastakappaleina projektissa toimivat liitinmoduulit, jotka yhdistävät johdinsarjan ja testilaitteiston toisiinsa. Johdinsarjan kokoonpanossa valmiit liittimet työnnetään liitinmoduuleihin. Liitinmoduuleissa on sisällä jousikuormitteinen metallitappi jokaista johdinsarjan liittimessä olevaa kontaktia varten. Jouset painavat tapit johdinsarjan kontakteja vasten muodostaen sähköisen kytkennän tapin ja johdinsarjan välille. Tapeista lähtevät johdot testilaitteistoon ja johdinsarjan testaus suoritetaan käyttämällä näitä johtimia apuna mittauksessa.

Kiinnityslevyn haluttiin olevan monikäyttöinen ja muunneltavissa niin, että liitinmoduulit voidaan asentaa kiinnityslevyn pinnalle vapaasti valittuun kulmaan toisiinsa nähden ja halutun etäisyyden päähän toisistaan sopivalla rasterilla. Rasterin minimijaoksi valittiin viisikymmentä millimetriä. Liitinmoduulien kiinnitysreikien muodoista tehtiin useita erilaisia luonnoksia, joista käytettäväksi muodoksi valittiin +-merkkiä muistuttava muoto. Tämä muoto sallii vapaasti valittavan kiinnityskulman liitinmoduuleille. Valittu muoto ei kuitenkaan tee kiinnityslevyn pinnasta rakenteeltaan liian löysää, vaan materiaalia jää tarpeeksi rei'ityksestä huolimatta. Kiinnityslevyjen massa pysyy kohtuullisena suuresta poistetun materiaalin määrästä johtuen.

Liitinmoduulien johdotukset testilaitteistolle haluttiin viedä kiinnityslevyn läpi. Liitinmoduulien ja testilaitteiston välisissä johdotuksissa käytetyistä liittimistä mitattiin tarvittavan läpiviennin koko ja lisättiin mittaan sopiva toleranssi helpottamaan liittimen läpivientiä. Läpiviennin reikien muodoksi valittiin neliö ja neliön sivujen pituudeksi 28 millimetriä. Kiinnityslevyjen tarkemmat mitat löytyvät työpiirustuksesta (liitteet 1 ja 2).



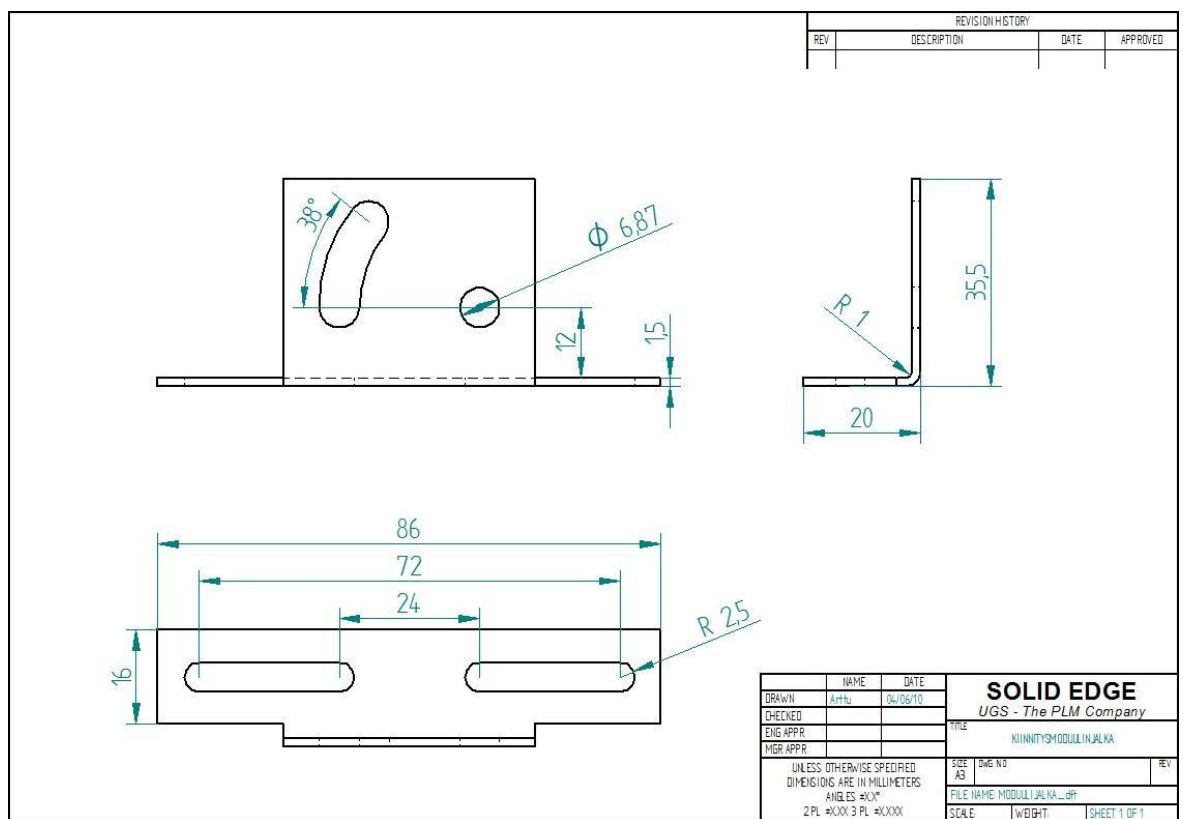
Kuva 3. Kiinnityslevy

### 3.2 Liitinmoduulijalat

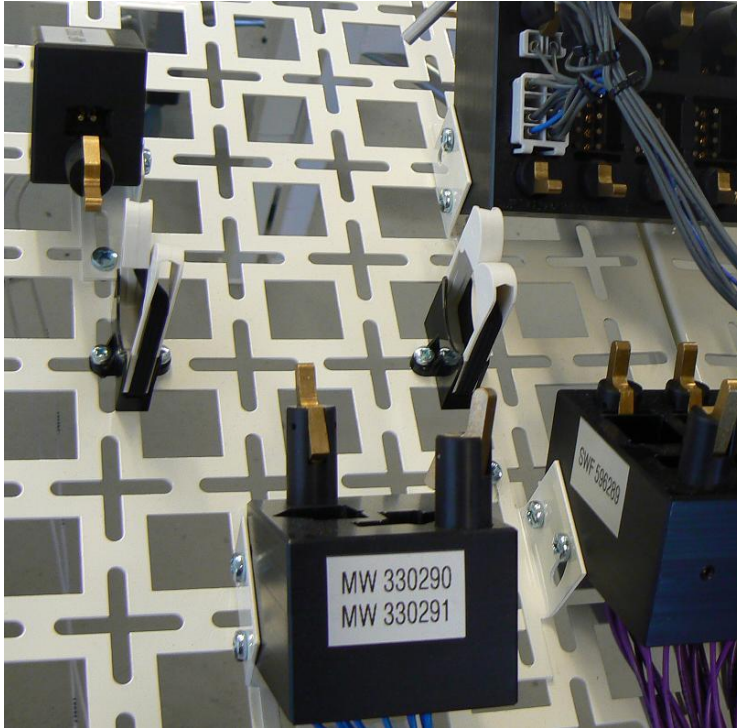
Liitinmoduulijalat suunniteltiin liitinmoduulien yhdistämiseksi kiinnityslevyyn. Suunnittelun lähtökohtana käytettiin liitinmoduulien valmistajan käyttämää kiinnitysjalkaa, josta otettiin mallia ja suunniteltiin paremmin tähän projektiin soveltuva kiinnitysjalca.

Liitinmoduulijalan kiinnittämiseksi kiinnityslevyyn valittiin M5-kokoinen pulttiliitos ja valmistusmateriaaliksi 1,5 millimetrin teräslevy. Kiinnitysrei'istä tehtiin soikeat, jotta jalan kiinnitysasento voidaan valita vapaasti. Kiinnityspulttien etäisyys toisistaan voi olla minimissään 24 millimetriä ja maksimissaan 72 millimetriä. Liitinmoduulin kallistusta varten tehtiin liitinmoduulijalan liitinmoduulin toisesta kiinnitysrei'istä kiinteä nivelpiste. Toisesta kiinnitysrei'istä muotoiltiin soikea ja kaareva ensimmäisen kiinnityspisteen säteen mukaisesti. Näin saatiin tehtyä säätöalue, joka ulottuu vaakatasosta 38° ylöspäin. Säätöalue hahmottuu paremmin tarkastelemalla kuvaa 4.

Liitinmoduulijalkojen ulkomitat suunniteltiin niin, että ne sopivat muotonsa puolesta mahdollisimman hyvin sarjatuotantoon. Kun liitinmoduulijalkojen teräslevyaihioiden muoto on sopiva, niin niitä voidaan asetella sarjatuotantoa varten limittäin, jolloin materiaalihukka saadaan minimoitua ja tuotantoa tehostettua. Tuotannon tehostuminen perustuu erityisesti siihen, kun yhtä kappaletta kohden tehtävät leikkaukset vähentyvät kappaleiden ollessa kiinni toisissaan. Kun kappaleiden ääriviivat ovat kiinni toisissaan, kuluu sarjatuotannossa ääriviivojen leikkaukseen puolet siitä ajasta, mikä kuluisi vastaavan yksittäisen kappaleen ääriviivojen leikkaukseen. Liitinmoduulijalkojen tarkemmat mitat löytyvät työpiirustuksesta (liite 3 ja 4).



Kuva 4. Liitinmoduulinjalka



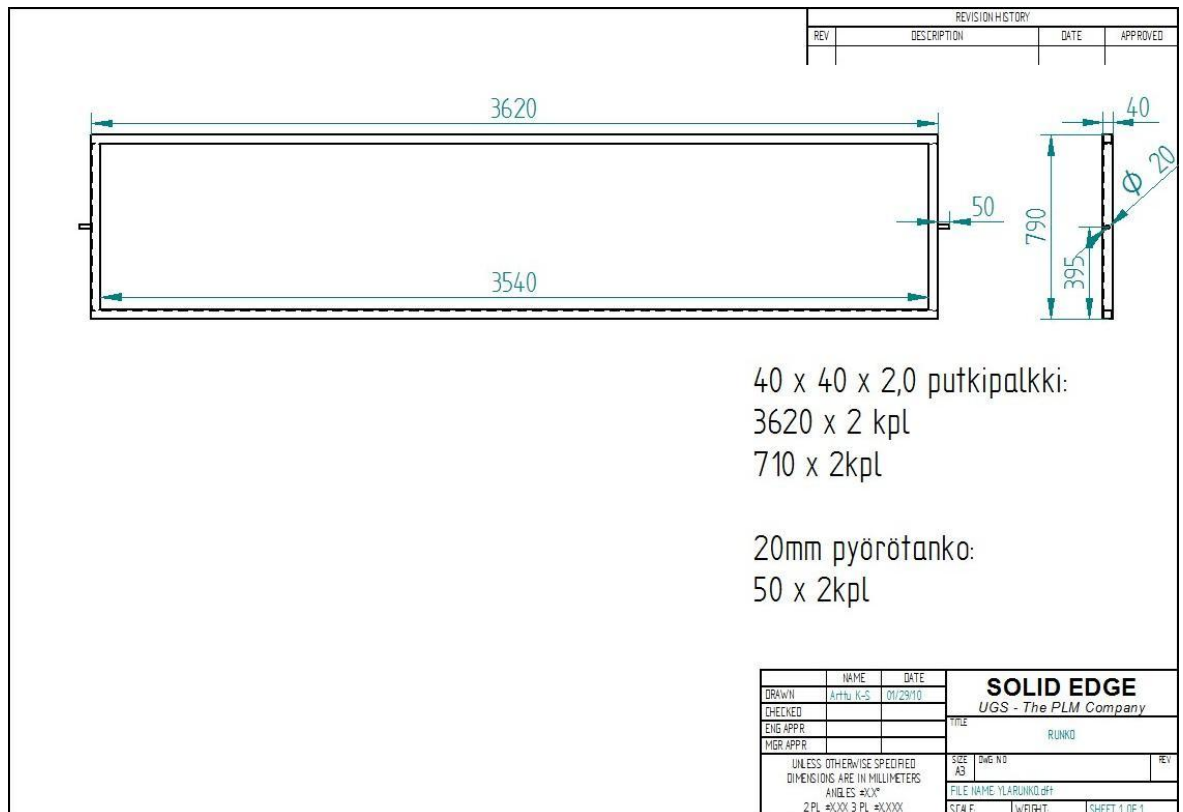
Kuva 5. Liitinmoduuleja, valmiita liitinmoduulijalkoja sekä johdinsarjakiinnikkeitä

### 3.3 Kehys ja kiinnikkeet kiinnityslevyille

Kiinnityslevyistä haluttiin suunnitella kokonaisuus, johon kiinnityslevyt voidaan asettaa vierekkäin. Lisäksi nämä levyt tulee voida kiinnittää toisiinsa, sekä saada säädettyä kokonaisuuden työkorkeutta ja kulmaa. Koska rakenteesta haluttiin kevyt ja yksinkertainen, päädyttiin suunnittelussa lopulta käyttämään lattiatasossa seisovaa runkoa ja siihen laakeroitua kehystä. Rungon ja kehyksen materiaaliksi valittiin teräksinen rakenneputkipalkki. Putkipalkiksi valittiin Rautaruukin (2008, 7) rakenneputkitaulukosta 40x40x2 kokoinen palkki.

Kehyksen lopulliseksi muodoksi valittiin suorakulmio, jonka sisään voidaan asettaa viisi kiinnityslevyä vierekkäin, jolloin saadaan riittävän laaja työala käyttöön. Kehyksen materiaalina käytettiin teräksistä rakenneputkipalkkia sekä pyörötankoa. Kehyksen rakenneputkipalkin koko valittiin käyttämällä apuna Rautaruukin rakenneputkitaulukkoa ja arviota, että kehyksen tulisi kestää 30 kilogramman verran johdinsarjatarvikkeita sekä oma painonsa notkahtamatta liikaa. Kehyksen ulkomittat valittiin kiinnityslevyjen ulkomittojen sekä tarpeeksi suuren asennustoleranssin

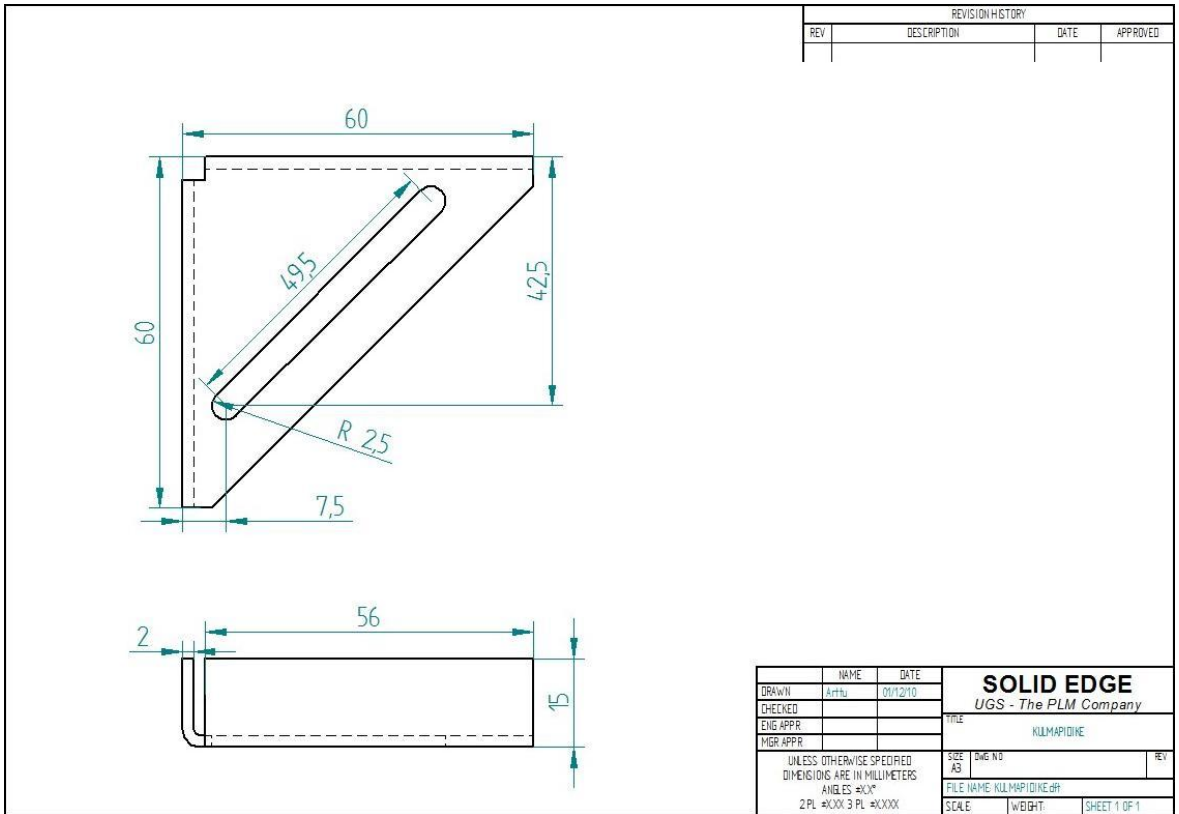
summana. Kehyksen ei koettu tarvitsevan erillisiä pystytukia kiinnityslevyjen väliin, koska paikalleen kiinnitetyt kiinnityslevyt itsessään jäykistävät rakennetta tarpeeksi. Pyörötangon halkaisijaksi valittiin 20 millimetriä, koska sen kokoista pyörötankoja löytyy valmiina, jolloin valmistuskustannukset voidaan pitää alhaisina, kun pyörötankoja ei tarvitse erikseen esimerkiksi sorvata oikean halkaisijan saavuttamiseksi.



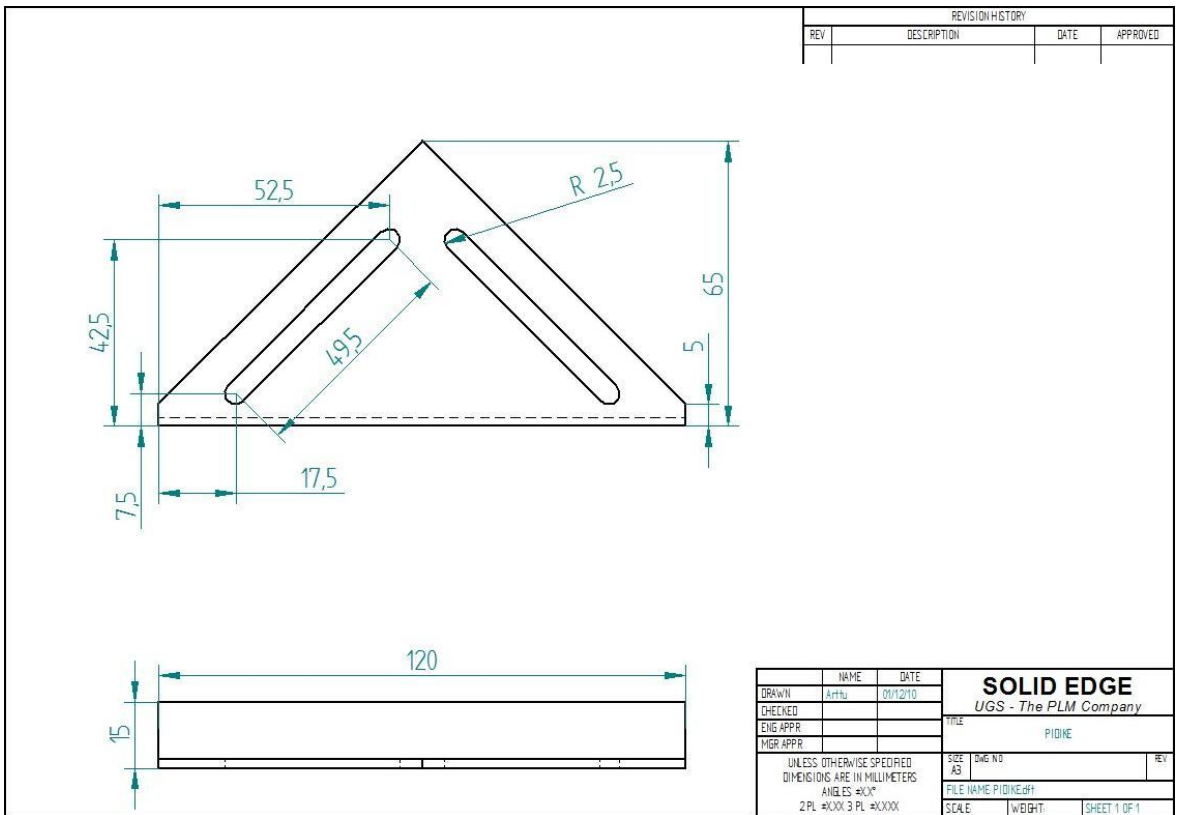
Kuva 6. Kehys

Kehykseen liitettäville kiinnityslevyille piti suunnitella kiinnikkeet kehykseen. Levykiinnikkeet suunniteltiin kehyksen kulmiin sekä suoralle osuudelle kiinnityslevyjen väleihin. Suunnittelun lähtökohtana oli käyttää levymateriaalina samaa kuin muisakin osissa, eli 1,5 millimetrin teräslevyä. Levykiinnikkeiden kiinnitystavaksi valittiin hitsausliitos kehyksen sisäreunaan.

Levykiinnikkeiden kiinnityslevyjä kohti olevat kiinnitysreiät suunniteltiin vastaamaan kiinnityslevyn reikien reikäväliä, jolloin levyt ovat nopeasti ja helposti kiinnitettävissä sekä purettavissa irti pulttiliitoksilla. Kehyksen ja kiinnikkeiden tarkemman mitat löytyvät työpiirustuksista (liitteet 5, 6, 7, 8 ja 9).



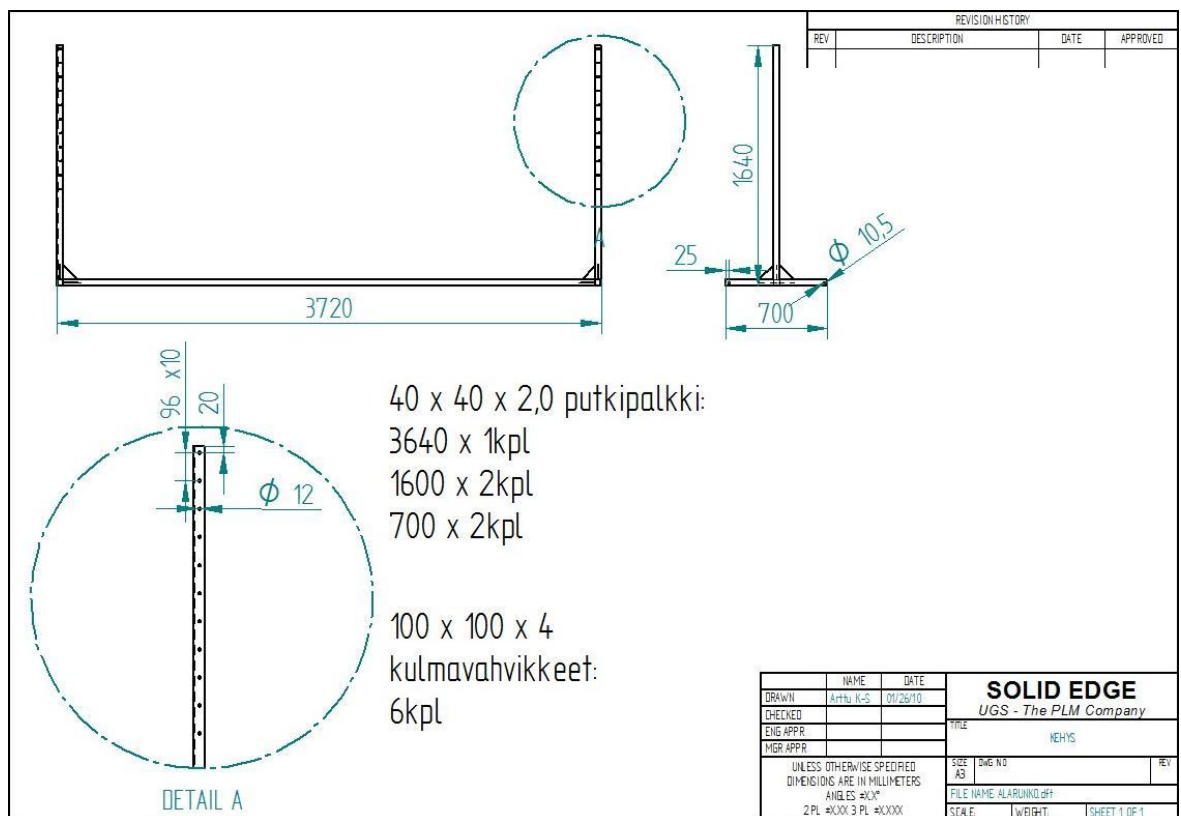
Kuva 7. Kiinnityslevyn kulmapidike



Kuva 8. Kiinnityslevyn pidike

### 3.4 Runko

Runko suunniteltiin seisomaan lattiatasossa ja tukemaan kehystä laakereiden välityksellä. Valmistusmateriaaliksi valittiin teräksinen 40x40x2-kokoinen rakenneputki Rautaruukin (2008, 7) rakenneputkitaulukosta. Kehyksen korkeuden säätö toteutettiin tekemällä reikiä rungon pystyputkiin, jolloin laakereiden kiinnityskorkeutta muuttamalla voidaan työpisteen korkeutta muuttaa haluttuun suuntaan. Säätö tapahtuu määriteltyjen portaiden välein ja vaihtoehtoisia kiinnityskorkeuksia on kymmenen kappaletta. Laakereiden kiinnityspisteiden väli on 96 millimetriä, joka on siis myös säädön portaiden etäisyys toisistaan. Säädön laajuus alimman ja ylimmän portaan välillä on siis 960 millimetriä. Rungon jalkojen päihin tehtiin reiät, joihin voidaan halutessa liittää jatkettavat jalat varmistamaan järjestelmän pysymistä pystyssä ja tasapainossa. Runkoputkien liitoskohtiin lisättiin kulmajäykisteet varmistamaan liitosten pysyminen muodossaan rasituksen alaisenakin. Kulmajäykisteet valmistettiin neljän millimetrin teräslevystä ja niiden muotona on suorakulmainen kolmio, jonka molempien kateettien pituudet ovat 100 millimetriä. Rungon tarkemmat mitat löytyvät työpiirustuksesta (liite 10).



Kuva 9. Runko

### 3.5 Laakerit

Kehyksen ja rungon toisiinsa yhdistäviksi laakereiksi valittiin standardit teollisuuskäyttöön suunnitellut laakeriyksiköt, joiden tarkka malli on UCP204. Laakeriyksiköitä käytettäessä ei tarvitse valmistaa erikseen laakeripesiä itse laakerille, vaan laakeriyksiköiden rungot toimivat kiinnityskappaleina. Käytettävät laakeriyksiköt valittiin laakerivalmistajien luetteloiden kevyimmästä päästä, koska kuormitus laakereille on pieni. Koon valintaan vaikuttivat myös laakereiden reikien sisämitta, koska valmistusteknisesti on helpompi käyttää akseleita, jotka ovat halkaisijaltaan sopivia jo valmiiksi. Tällöin ei tarvitse sorvata kappaleita, vaan voidaan tehdä tarvittavat akselit standardikokoisesta pyörötangosta. Käytettäväksi akseliksi valittiin 20 millimetrin teräspyörötanko. Laakeriyksiköiden kiinnityspulttien kokoluokan valinnan määräsi laakeriyksiköiden rungoissa olevat reiät, koska niitä käytetään laakeriyksiköiden kiinnityksessä. Kiinnityspulteiksi valittiin M12-kokoiset pultit. Kiinnityspulttien välinen etäisyys laakeripukeissa määrittä rungon pystyputkien rei'ityksen reikävälän mitoituksen. Lisäämällä reikiä 96 millimetrin välein saadaan kehyksen korkeutta muutettua sopivan kokoisiin portain. Tarvittaessa säätöväliä voi myös muuttaa tiheämmäksi lisäämällä reikien määrää.

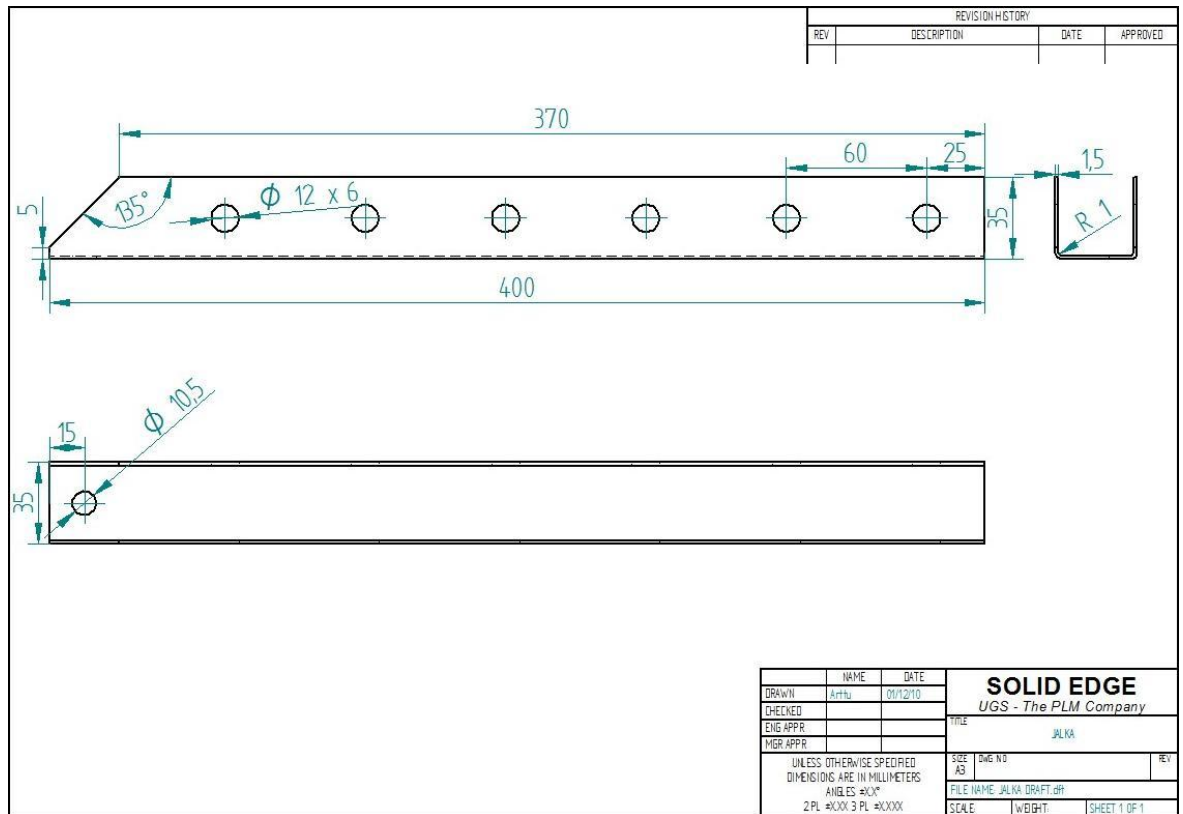


Kuva 10. Laakeri

### 3.6 Jalat

Runkoon suunniteltiin erilliset jalat, joilla rungon omiin jalkoihin saadaan tarvittaessa lisää pituutta. Lisäämällä jalkojen yhteispituutta saadaan varmistettua työpöydän tasapaino paremmin, ja vaihtoehtoisesti saadaan lisää käytettävää tilaa työpöydän ympäristöön lyhentämällä jalkojen yhteispituutta. Jalkojen pituuden säätöön valittiin kuusi reikää ja niiden väliin 60 millimetrin porrastus, joilla pituutta voidaan muuttaa 300 millimetriä jalkaa kohden. Valmistusmateriaaliksi jaloille valittiin 1,5 millimetrin teräslevy. Jalat voidaan valmistaa suorasta teräslevystä leikkaamalla ja särmäämällä, tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi 35x35x3-kokoisesta rakenneputkipalkista katkaisemalla.

Koska työpöydän sijoituspaikka ei ole kiinteästi sidottuna yrityksen tuotantotilojen pohjapiirrokseen, haluttiin työpöydästä tehdä siirrettävä ja siksi pöydän säädettäviin jalkoihin suunniteltiin kiinnitys pyörille. Jalkojen päihin suunniteltiin kiinnitysreitit, joihin voidaan tarvittaessa kiinnittää pyörät. Pyörien päällä olevaa työpöytää pystyy tarvittaessa liikuttamaan hyvin yksikin käyttäjä. Käytettävän pyörän malliksi valittiin sellainen, jossa on M10-kokoinen kierre kiinnitystä varten. Halutessa työpöydän pyörät voidaan myös poistaa ja ankkuroida pöytä pulteilla lattiaan kiinteästi. Jalkojen tarkemmat mitat löytyvät työpiirustuksesta (liitteet 11 ja 12).

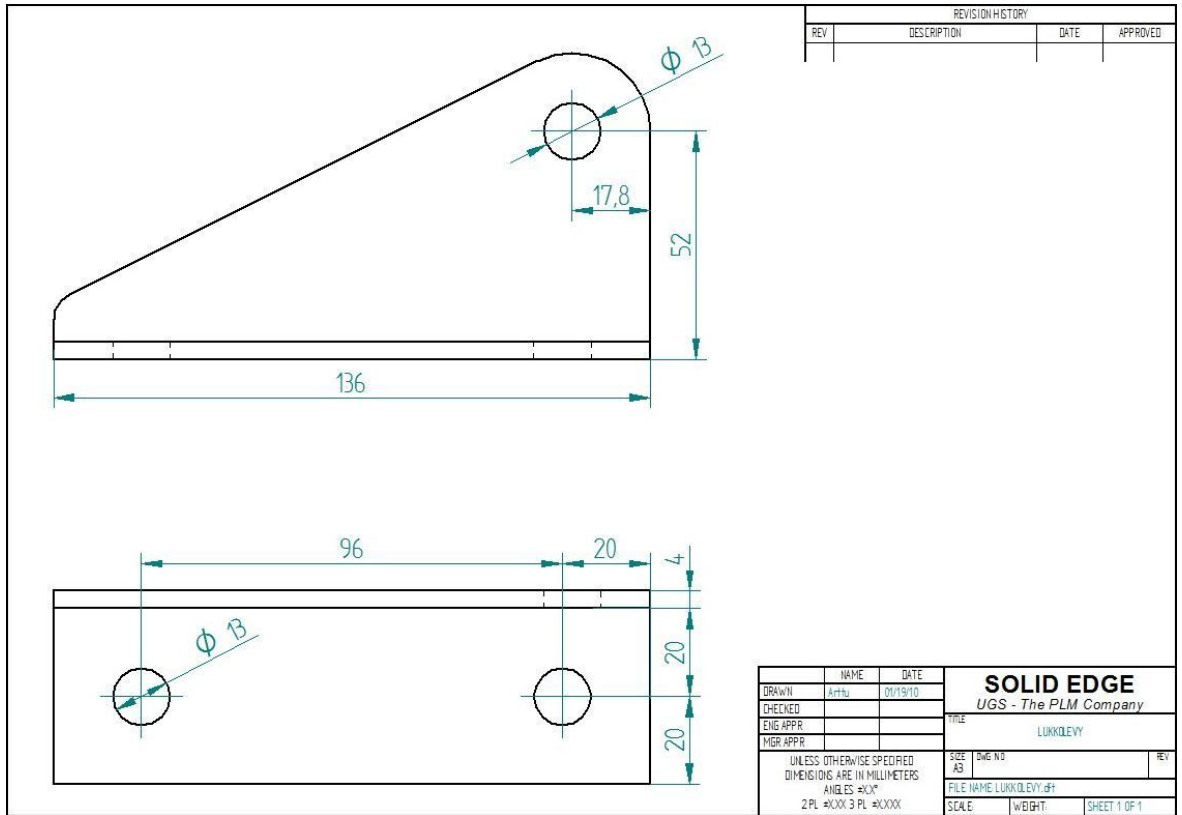


Kuva 11. Jalka

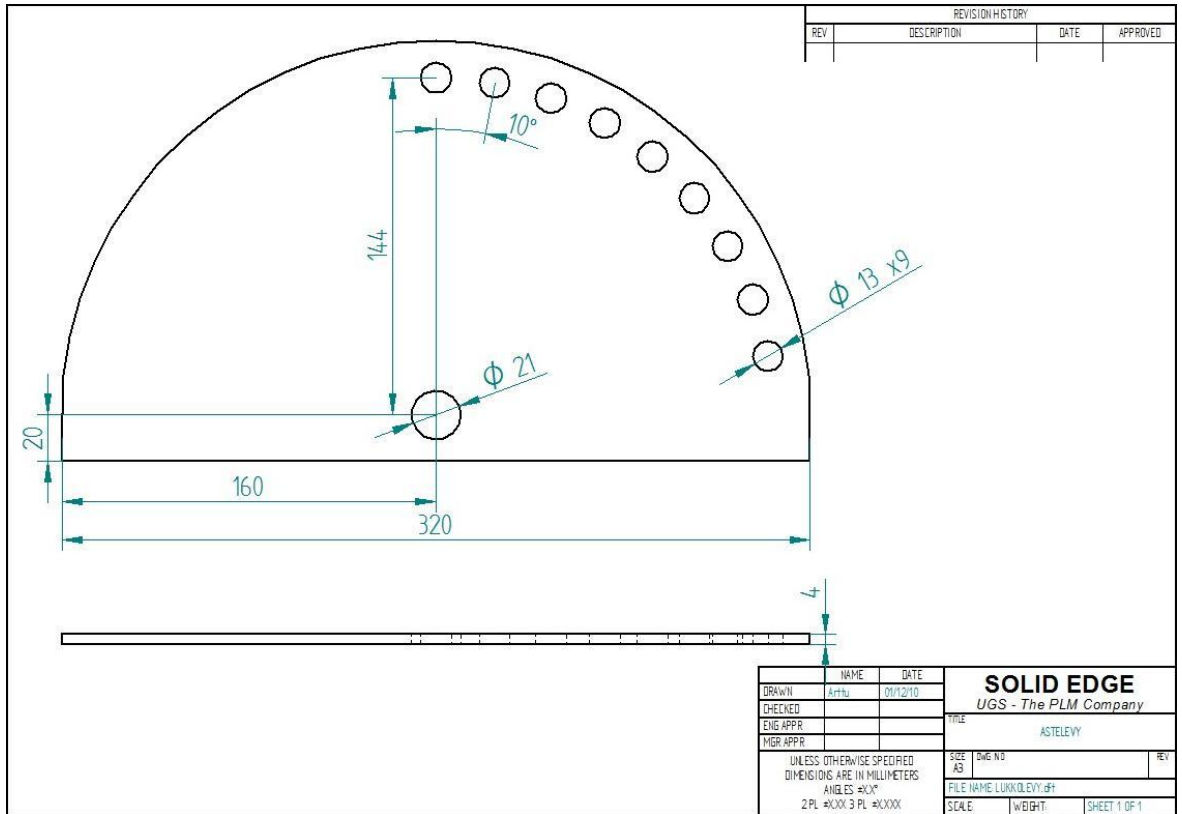
### 3.7 Lukituslaitteet

Työpöydän käyttäjän kannalta on edullista, että työpisteen asentoa käyttäjään nähden voidaan säätää. Kehyksen ja rungon yhdistävän laakeroinnin yhteyteen suunniteltiin lukituslaitteisto, jolla kehyksen asento voidaan lukita haluttuun kulmaan käyttäjään nähden. Lukituksen tuli olla riittävän jäykkä, mutta myös helppokäyttöinen. Kehyksen oletettu työasento on vaakatason ja pystyasennon välillä. Säädön porrastukseksi valittiin kiinteät kymmenen asteen välit ja säädön laajuus on kahdeksankymmentä astetta. Levyosien valmistusmateriaaliksi valittiin neljän millimetrin teräslevy. Asennon lukitsemiseen suunniteltiin käytettäväksi pulttiliitosta tai vaihtoehtoisesti jousikuormitteista lukitustappia. Käytettäväksi lukituslaitteeksi valittiin lopulta jousikuormitteinen tappi, koska se on nopeampi ja helpompi käyttää kuin pulttiliitos. Kehykseen liitetään hitsaamalla levy, jossa on reiät säädön lukitsemista varten. Rungon pystyputkeen liitetään M12-kokoisella pulttiliitoksella lukkotapin kiinnityslevy, joka toimii rei'itetyn levyn vastakappaleena ja jonka korkeutta voidaan säätää kehyksen korkeuden mukana siirtämällä sitä samaan aikaan ke-

hyksen kanssa. Lukitustapin kiinnityslevyn ja vastakappaleen tarkemmat mitat työ-  
kuvissa (liitteet 13, 14, 15 ja 16).



Kuva 12. Lukitustapin kiinnityslevy



Kuva 13. Lukituksen vastakappale

## 4 TULOKSET

Tavoitteissa onnistuttiin suunnittelun osalta hyvin. Kaikki tarvittavat työpiirustukset prototyypin valmistamista varten saatiin tehtyä aikataulun mukaan. Kirjoitushetkellä ensimmäinen prototyyppi on jo valmiina yrityksessä. Sen rakenne on osoittautunut riittävän tukevaksi olematta kuitenkaan liian raskas kokonaisuus esimerkiksi siirtämistä ajatellen. Liittimien vastakappaleina toimivat liitinmoduulit ja johdinsarjan kiinnikkeet ja muut työpöytään liittyvät kiinnittimet voidaan kiinnittää työpöytään halutulla tavalla ilman ongelmia. Opinnäytetyöprosessin kannalta merkittävin innovaatio on ollut kiinnityslevyjen rei'ityksen layout, jossa opinnäytetyön kirjoittajan mielestä onnistuttiin hyvin.

Testituloksia työpöydän käytöstä sarjatuotannossa ei vielä toistaiseksi ole, koska työpöydän tehokas käyttö sarjatuotannossa vaatii testilaitteiston käyttöä, joka on vielä rakennusvaiheessa. Käyttökokemusten karttuessa voidaan uudelleen arvioida, olisiko esimerkiksi työpöydän automaatioastetta lisättävä. Työpöydän käytön tehokkuutta ja kannattavuutta voidaan tarkemmin analysoida vasta, kun saadaan kunnollista vertailupohjaa nykyisen työskentelytavan ja työpöydän väliltä.

## 5 LOPPULUKU

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella johdinsarjojen kokoonpanoon ja testaukseen soveltuva työpöytä. Johdinsarjan kokoonpano tehdään työpöydän päällä olevien liitinmoduulien väliin, jotka toimivat johdinsarjan liittimien vastakappaleina. Liitinmoduulit ovat yhdistettynä testilaitteistoon ja johdinsarjan testaaminen suoritetaan kokoonpanon jälkeen. Tämän prosessin tarkoitus on lyhentää johdinsarjan kokoonpanoon ja testaukseen kuluva aikaa ja minimoida virheellisten tuotteiden lukumäärä.

Tavoitteena olleet työpiirustukset prototyypin valmistamista varten saatiin tuotettua aikataulussa. Opinnäytetyön kirjoitushetkellä ensimmäinen prototyyppi on jo opinnäytetyön tilaajalla valmiina. Sen rakenne vastaa suunnittelun perusteena olleita tarpeita ja toiveita. Prototyypin mekaaninen rakenne on riittävän tukeva olematta kuitenkaan tarpeettoman raskasrakenteinen kokonaisuus. Kiinnityslevyihin liittyvät liitokset saadaan tehtyä halutulla tavalla ilman ongelmia.

Työpöytää ei ole vielä voitu testata sarjatuotannon työkaluna, koska työpöydän tehokas käyttö sarjatuotannossa vaatii testilaitteiston käyttämistä. Testilaitteisto on vielä opinnäytetyön kirjoitushetkellä rakennusvaiheessa. Kun käyttökokemuksia saadaan tarpeeksi, voidaan arvioida sekä vertailla nykyistä kokoonpanokäytäntöä ja työpöydän tehokasta käyttöä sekä käytön kannattavuutta sarjatuotannossa toisiinsa.

Teoriaosuudessa perehdyttiin yleisellä tasolla tuotekehitykseen ja -suunnitteluun, tietokoneavusteiseen suunnitteluun CAD-ohjelmien avulla ja Solid Edge-ohjelmaan.

Jatkokehitystä voidaan tehdä suunnitteleamalla kokonaan uusi prototyyppi tai muuttamalla yksittäisiä osia nykyisestä kokoonpanosta. Esimerkiksi kehyksen työkorkeuden ja -kulman säädön voisi helposti toteuttaa esimerkiksi pneumatiikalla.

Jatkokehitystä kannattaisi luultavasti tehdä myös kiinnityslevyihin tehtävien pulttiliitosten osalta. Kiinnitystapaa voisi pyrkiä muuttamaan helpommaksi ja nopeammaksi etsimällä paremmin soveltuva kiinnitystapa nykyisten pulttiliitosten tilalle. Pikakiinnitys voisi helpottaa käyttäjän työskentelyä, kun tuotannossa kokoonpan-tavan johdinsarjan malli vaihtuu toiseen ja on tehtävä mahdollisesti muutoksia työpöydän liitinmoduulien asetteluun.

## LÄHTEET

- Hietikko, E. 1996. Tietokoneavusteinen tuotesuunnittelu. Helsinki: Otatieto Oy.
- Inoffizielle Hilfeseiten für Solid Edge. Ei päiväystä. [WWW-lähde]. [Viitattu 30.03.2010]. Saatavana: <http://solidedge.cad.de/historie/historie.html>
- Rautaruukki Oyj. 2008. Rakenneputket EN10219. [PDF-tiedosto]. [Viitattu 30.3.2010]. Saatavissa: [http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/0/C53D03887D87C77CC2257236003E1421/\\$File/SHS\\_EN10219\\_12.2005\\_FI.pdf](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/0/C53D03887D87C77CC2257236003E1421/$File/SHS_EN10219_12.2005_FI.pdf)
- Siemens. 2008. Siemens PLM Software Delivers the Next Big Breakthrough in Digital Product Development with Synchronous Technology. [WWW-lähde]. [Viitattu 30.3.2010]. Saatavissa: [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/about\\_us/newsroom/press/press\\_release.cfm?Component=58721&ComponentTemplate=822](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=58721&ComponentTemplate=822)
- Siemens. 2009a. PLM - Product Lifecycle Management. [WWW-lähde]. [Viitattu 30.3.2010]. Saatavana: [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/velocity/solidedge/index.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/index.shtml)
- Siemens. 2009b. Siemens PLM Software Announces Solid Edge with Synchronous Technology 2. [WWW-lähde]. [Viitattu 30.3.2010]. Saatavissa: [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/about\\_us/newsroom/press/press\\_release.cfm?Component=81510&ComponentTemplate=822](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/newsroom/press/press_release.cfm?Component=81510&ComponentTemplate=822)
- Solid Edge V20 - koordinaattiakselit kolmiulotteisessa avaruudessa. Siemens. [kuvakaappaus].
- Stroman Oy. 2009. Sisäinen materiaali. [PowerPoint-esitys]. Saatavissa: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.
- Tuhola, E. & Viitanen, V. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

## LIITTEET

Liite 1: Kiinnityslevy.dft

Liite 2: Kiinnityslevy.dxf

Liite 3: Liitinmoduulinjalka.dft

Liite 4: Liitinmoduulinjalka.dxf

Liite 5: Kehys.dft

Liite 6: Kiinnityslevyn\_kulmapidike.dft

Liite 7: Kiinnityslevyn\_kulmapidike.dxf

Liite 8: Kiinnityslevyn\_pidike.dft

Liite 9: Kiinnityslevyn\_pidike.dxf

Liite 10: Runko.dft

Liite 11: Jalka.dft

Liite 12: Jalka.dxf

Liite 13: Lukkotapin\_kiinnityslevy.dft

Liite 14: Lukkotapin\_kiinnityslevy.dxf

Liite 15: Lukituksen\_vastakappale.dft

Liite 16: Lukituksen\_vastakappale.dxf