

# **Robottihitsaussolun kehitystyö**

Lujabetoni Oy

**Pekka Kokkonen**

Opinnäytetyö

**17.5.2012**

---



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Pekka Kokkonen	
Työn nimi Robottihitsaussolun kehitystyö	
Päiväys 17.5.2012	Sivumäärä/Liitteet 41+4
Ohjaaja(t) yliopettaja Risto Rönkä Savonia	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) toimitusjohtaja Mikko Isotalo ja kehityspäällikkö Markus Haatainen Lujabetoni Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja suunnitella Lujabetoni Oy:n kasettiritiläpalkkituotantoon ja kehitystavoitteisiin soveltuva hitsauspöytä ja hitsausjigi. Hitsausjigin kehittäminen liittyy laajempaan projektiin, jonka tavoitteena on parantaa robottihitsaussolun tehokkuutta ja käytettävyyttä. Hitsausjigillä tarkoitetaan laitetta tai laitekokonaisuutta, johon hitsattavat osat paikoitetaan ja jossa ne hitsataan kokoon. Hitsauspöytä on rakenne, johon hitsausjigit kiinnitetään. Uuden hitsauspöydän rakenne mahdollistaa osien panostamisen ja hitsaamisen samanaikaisesti.</p> <p>Työ aloitettiin määrittelemällä projektin tavoitteet ja rajaamalla työ koskemaan hitsauspöydän ja hitsausjigien kehittämistä. Robottihitsaussolun vanhalla hitsausjigillä ongelmana on suuri hitsausvirheiden määrä ja puutteellinen jigien määrä suhteessa kasettiritiläpalkkien tyyppeihin. Uudella hitsausjigillä oletetaan tuotteen valmistusajan ja hitsausvirheiden vähenevän ja sitä myötä tehokkuuden paranevan.</p> <p>Tuloksena saatiin suunnitelma uudesta hitsauspöydästä ja hitsausjigistä. Laitteesta tehtiin 3D-mallit ja rakenne-, osa- ja hitsauspiirustukset. Mallien ja piirustusten avulla voidaan laite valmistaa alihankintana ja suunnitella robottihitsaussoluun mahdollisesti tehtävät muutokset.</p>	
Avainsanat kaksoisgrillihitsauspöytä, hitsausjigi, robottihitsaussolu	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Pekka Kokkonen			
Title of Thesis Development of a Robotic-welding Cell			
Date	May 17, 2012	Pages/Appendices	41+4
Supervisor(s) Mr Risto Rönkä, Senior Lecturer, Savonia UAS			
Client Organisation/Partners Mr Mikko Isotalo, CEO and Mr Markus Haatainen, Development Director, Lujabetoni Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to develop and design a suitable welding table and a welding-jig for the beam production of Lujabetoni. The development of the welding-jig is part of a more extensive project aiming to enhance the efficiency and usability of a robotic-welding cell. A welding-jig is equipment where parts are put to their places and then welded. A welding-table is a structure that the welding-jigs are attached to. The structure of the welding-table makes it possible to load parts and weld them simultaneously.</p> <p>This project was started but defining the objectives and restricting the project to focus on developing a welding-table and a welding-jig. The problem with the old welding-jig was that too many welding-defects occurred. Another problem was the lack of jigs in comparison to beam types. The new jig is supposed to decrease welding-defects and lead-time which will enhance efficiency.</p> <p>As a result at the project there was a plan of a new welding-table and a welding-jig. Structural, part and welding sketches and 3D-models were made. The models and sketches make it possible to buy the equipment from a subcontractor and to design possible changes to be made in the robotic-welding cell.</p>			
Keywords doublegrill-welding-table, welding-jig, robotic-welding cell			

## ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Lujabetoni Oy:n Siilinjärven-tehtaille opinnäytetyönä. Työ oli haastava, mielenkiintoinen ja paljon ideointia vaativa. Työssä kehitettiin uusi hitsauspöytä ja jigiratkaisu robottihitsaussoluun. Robottihitsaussolussa hitsataan maatalouskasettiritiläpalkkien raudoitteita 20 000- 30 000 kappaletta vuodessa. Toivon, että robottihitsausjigin kehitystyöstä tulee olemaan hyötyä koko robottihitsaussolun kehittämisesä.

Haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajia, yliopettaja Risto Rönkää, projekti-insinööri Aku Tuunaista, Lujabetoni Oy:n toimitusjohtaja Mikko Isotaloa ja opinnäytetyöni valvojaa kehityspäällikkö Markus Haataista. Kiitos kuuluu myös Lujabetoni Oy:n palvelupäällikölle Jukka Rautiaiselle hyvästä tuesta projektiin edetessä. Kiitän myös robottihitsaussolun työntekijöitä ja projektiin osallistunutta Lujabetonin henkilöstöä hyvistä ideoista ja ennakkoluulottomasta työstä projektissa.

Kiitos myös perheelleni ja opiskelutovereilleni, jotka tukivat minua opinnäytetyöni tekemisessä ja neljä vuotta kestäneessä opiskeluprojektissa. Kiitän myös Eläkevakuumusyhtiö Ilmarista, jonka taloudellinen tuki mahdollisti opiskeluni.

Siilinjärvellä 17.5.2012

Pekka Kokkonen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	LUJA-YHTIÖT.....	9
3	LUJABETONI OY.....	10
3.1	Historia .....	10
3.2	Lujabetoni tänään .....	13
3.3	Siilinjärven tehtailla valmistettavat tuotteet .....	14
3.3.1	Maataloustuotteet.....	15
3.3.2	Kasettiritiläpalkit.....	16
4	PROJEKTIN TAVOITTEET JA TEHTÄVÄN RAJAUS .....	17
5	ROBOTTIHITSAUSSOLU.....	18
5.1	Turvallisuus .....	18
5.2	Robotit.....	18
5.3	Hitsausvirtalähde .....	20
5.4	Hitsattavat tuotteet .....	21
6	HITSAUSJIGI .....	22
6.1	Vanha hitsausjigi.....	23
6.2	Uusi hitsausjigi.....	23
6.2.1	Hitsausjigin ideointi.....	24
6.2.2	Hitsausjigin suunnittelu .....	25
6.2.3	Käyttövoima.....	25
6.2.4	Vaihteiston valinta .....	26
6.2.5	Laakerointi .....	28
6.2.6	Hammaspyörät.....	29
6.2.7	Pneumatiikka .....	30
6.2.8	Irrotin.....	30
6.2.9	Laskelmat .....	31
6.2.10	Hitsausjigin mallinnus ja piirustukset .....	33
6.3	Hitsausjigin kustannusarvio .....	34
6.4	Tarjouspyynnöt.....	34
7	VANHAN JA UUDEN HITSAUSJIGIN VERTAILU .....	36
8	PROJEKTIN KUSTANNUSARVIO .....	37
9	TULOKSET .....	38

10 YHTEENVETO .....	39
LÄHTEET .....	41

## LIITTEET

Liite 1 Kaksoisgrillihitsauspöydän kokoonpano

Liite 2 Irrottimen kokoonpano

Liite 3 Hitsauspöydän päädyn kokoonpano

Liite 4 RIK28 kokoonpano

## 1 JOHDANTO

Projektissa selvitetään Lujabetoni Oy:n Siilinjärven tehtailla olevan robottihitsausso-  
lun käyttöasteen nostamisen mahdollisuuksia. Robottihitsausso-  
lu sisältää hitsausro-  
botin ja kappaleenkäsittelyrobotin. Hitsaaminen tapahtuu jigissä, johon käsittelyrobotti  
panostaa hitsattavat teräksiset ja jossa hitsausrobotti tekee hitsauksen.

Projektin tavoitteena on hitsauskiinnittimen eli hitsausjigin suunnitteleminen ja kus-  
tannusarvion tekeminen. Hitsattavat tuotteet ovat maatalouskasettiritiläpalkkien rau-  
doitteita. Erilaisia kasettiritiläpalkkityyppejä on valmistuksessa noin 80, ja niiden rau-  
doitteista voidaan hitsata robotilla tällä hetkellä kuusi raudoitetyyppeä. Tavoitteena on  
laajentaa robottihitsausmahdollisuus suurimpaan osaan valmistettävien kasettiritilä-  
palkkien raudoitetyypeistä.

Lisäksi tutkitaan mahdollisuuksia käyttää robottihitsausso-  
lua myös muiden tehtailla  
valmistettävien tuotteiden raudoitteiden hitsaamiseen. Robottihitsausso-  
lun kehitys-  
tehtävässä otettiin huomioon tulevaisuuden tarpeet ja esimerkiksi hitsausjigin suun-  
nittelussa jigin muunneltavuus ja huollettavuus.



## 2 LUJA-YHTIÖT

**Luja** on kolmannen polven perheyrittäjä, joka on toiminut rakennusalan jo lähes kaksikymmentä vuotta. Se on Suomen suurimpia rakennusalan yrityksiä. Yhtiön perusti Felix Isotalo 16.11.1953 Siilinjärvelle hyvien soravarojen äärelle. Vuonna 2011 yrityksen liikevaihto oli 425,8 M€ ja henkilöstöä oli noin 1600. Luja-yhtiöiden hallituksen puheenjohtaja on DI Hannu Isotalo (s.1947). Luja-yhtiöihin kuuluvat rakennusliike Lujatalo Oy, betoniteollisuusyritys Lujabetoni Oy ja kuivatuoteyritys Fescon Oy. Lujabetonilla on myös tytäryhtiöt Lujabetong Ab Ruotsissa ja OOO Lujabeton Venäjällä. (Luja 2012.)

**Lujatalo** on monipuolinen valtakunnallinen rakentaja. Sen toimitusjohtaja on DI Arto Pohjonen (s.1961). Vuonna 2011 Lujatalon liikevaihto oli 306 M€. Lujatalon palveluihin kuuluu asunto- ja toimitilarakentaminen sekä uudis- ja korjausrakentaminen. Korjausrakentaminen on Lujatalon erikoisosaamisaluetta. Lujakoti-tuotemerkki tunnetaan hyvän asumisen laatumerkkinä. (Luja 2012.)

**Lujabetoni** on Luja-yhtiöiden betoniosaaja ja Suomen kolmanneksi suurin betoniteollisuusyritys. Lujabetonin toimitusjohtaja on DI, KTM Mikko Isotalo. Lujabetonilla on Suomessa kaksikymmentä, Ruotsissa kaksi ja Venäjällä kolme tehdasta. Vuonna 2011 Lujabetonin liikevaihto oli 129,1 M€. Lujabetoni tekee lähes kaikkea betonista: asuin- ja toimitilaelementtejä, maatalouselementtejä, ratapölkkyjä, infra-tuotteita, paa-luja, harkkoja, ympäristötuotteita ja valmisbetonia. (Luja 2012.)

**Fescon** on Hyvinkäällä ja Haukiputaalla toimiva Suomen toiseksi suurin kuivatuotteita valmistava yritys, jonka toimitusjohtajana on DI Kimmo Peltola (s.1969). Fescon valmistaa erilaisia kuivatuotteita: kuivabetoneita, juotosbetoneita, kiinnitys-laasteja ja erilaisia korjaus- ja uudisrakentamiseen käytettäviä pinnoitteita ja laasteja. Suurin osa Fesconin valmistamista tuotteista on oman kehitystyön tulosta. (Luja 2012.)

### 3 LUJABETONI OY

Lujabetoni Oy kuuluu Luja-yhtiöihin. Lujabetonilla on useita omia tuotteita, jotka ovat pitkän ja päämäärätietoisen kehitystyön tuloksia. Esimerkkinä kyseisistä tuotteista ovat ratapölkkyt ja Lujabeam-palkit. Kehitystyö Lujalla on perustajansa Felix Isotalon perintöä; hän oli yksi betonielementtien teollisen valmistuksen edelläkävijöistä Suomessa. (Luja 2012.)

#### 3.1 Historia

Felix Isotalo (8.8.1909–27.4.1988) syntyi Alahärmässä maanviljelijäperheeseen. Felix Isotalon ensimmäinen ammatti oli maanviljelijä, sillä hän osti sukutilan 16-vuotiaana. Felix Isotalon omistama pieni maatila kasvoi seuraavien viiden vuoden aikana. Kun hän lähti 21-vuotiaana armeijaan, tila oli kasvanut yli sadan hehtaarin maatilaksi. Nuorena Felix Isotalo oli lupaava pikamatkojen juoksija ja voidakseen harjoitella paremmin hän luopui tilastaan ja kävi poliisikoulun. Kilpaileminen loppui poliisiin työssä tapahtuneen onnettomuuden seurauksena. Poliisina Felix Isotalo toimi vuosina 1934–1945. (Rissanen & Isotalo 1993, 17.)

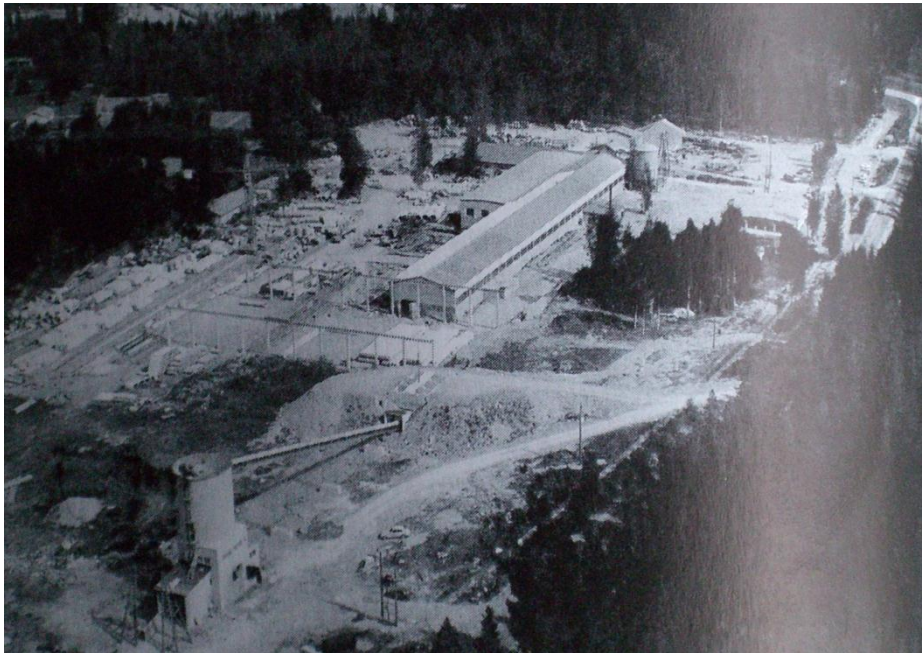
Varsinaisen elämäntyönsä Felix Isotalo aloitti yrittäjänä betoni- ja rakennusteollisuudessa vuonna 1941, kun hän perusti Nurmeksen Sementtivalimo Oy:n yhdessä tiemestari Jaakko R. Tuomen ja pankinjohtaja Erkki Närekorven kanssa Nurmekseen. Suomessa oli vuonna 1941 vain 49 sementtivalimoa. Sementin säännöstely sota-aikana häytti yrityksen toimintaa, eikä tuolloin rakennustoiminta ollut muutoinkaan kovin vilkasta. Yritys valmisti sementtikattotiilejä, viemäri- ja salaojaputkia, kaivonrenkaita, seinätiilejä, kaapelikouruja ym. sementtituotteita (tuolloin puhuttiin *sementistä*, *betoni*-sana tuli myöhemmin yleiseen käyttöön). (Rissanen & Isotalo 1993, 24.)

Felix Isotalosta tuli Nurmeksen Sementtivalimon toimitusjohtaja vuonna 1945 ja hän alkoi kehittää yrityksen toimintaa. Felix Isotalo osti valimon kokonaan 10.5.1947. Yrityksestä tuli osakeyhtiö toukokuussa 1949. Yrityksen osakkaiksi tulivat Felix Isotalo ja hänen vaimonsa Aino Isotalo. Pienellä osuudella osakkaaksi tulivat Hannes Rönty ja hänen vaimonsa Elli Rönty. Felix Isotalo kehitti itse valimon koneita ja laitteita ja toiminta laajeni. (Rissanen & Isotalo 1993, 25.)

Vanhan tehtaan käytyä ahtaaksi hän aloitti uuden tehtaan rakentamisen kesällä 1950. Uusi tehdas valmistui syksyllä 1951 Nurmeksen Porokylään. Nurmes sijaitsi

tuolloin heikkojen tieyhteyksien varrella ja toiminnan laajentuessa tarvittiin uusi tehdas. Luultavasti vuoden 1952 lopulla Felix valitsi uudeksi tehtaan sijoituspaikkakunnaksi Siilinjärven, koska Siilinjärvi sijaitsi hyvien kulkuyhteyksien varrella ja soraa oli saatavilla läheltä. Aluksi yhtiö toimi Isotalon Sementtivalimon nimellä. (Rissanen & Isotalo 1993, 25. )

Lujabetoni Oy:n perustava yhtiökokous pidettiin Siilinjärvellä 16.11.1953. Valimolla valmistettiin Tell-tiilejä, viemäriputkea, salaojaputkia, rumpuputkia, kaivonrenkaita ym. Työntekijöitä ensimmäisenä vuotena oli 16 ja yksi työnjohtaja. Vuonna 1962 Isotalot luopuivat Nurmeksen Sementtivalimosta ja keskittyivät Siilinjärvellä sijaitsevan Lujabetonin kehittämiseen. 1960-luvulla yritys kasvoi ja aloitti elementtien valmistuksen laajassa mittakaavassa. Esijännityshalli rakennettiin Siilinjärvelle 1960 ja sitä laajennettiin vuosina 1962 ja 1964. Kuvassa 1 Siilinjärven tehdas 1960-luvun puolivälissä. (Rissanen & Isotalo 1993, 38.)



KUVA 1. Siilinjärven tehdas 1960-luvun puolivälissä (Marketta Isotalo)

Esijännitetyn betonin Lujabetoni otti käyttöön ensimmäisenä Pohjois-Savossa. Esijännitystekniikalla valmistettiin alussa paaluja ja palkkeja. Palkkien pituudet olivat jo 1960-luvulla yli 30 metriä. Kuvassa 2 asennetaan 32,4 metrin pituista harjapalkkia Kuopiossa. (Rissanen & Isotalo 1993, 53.)



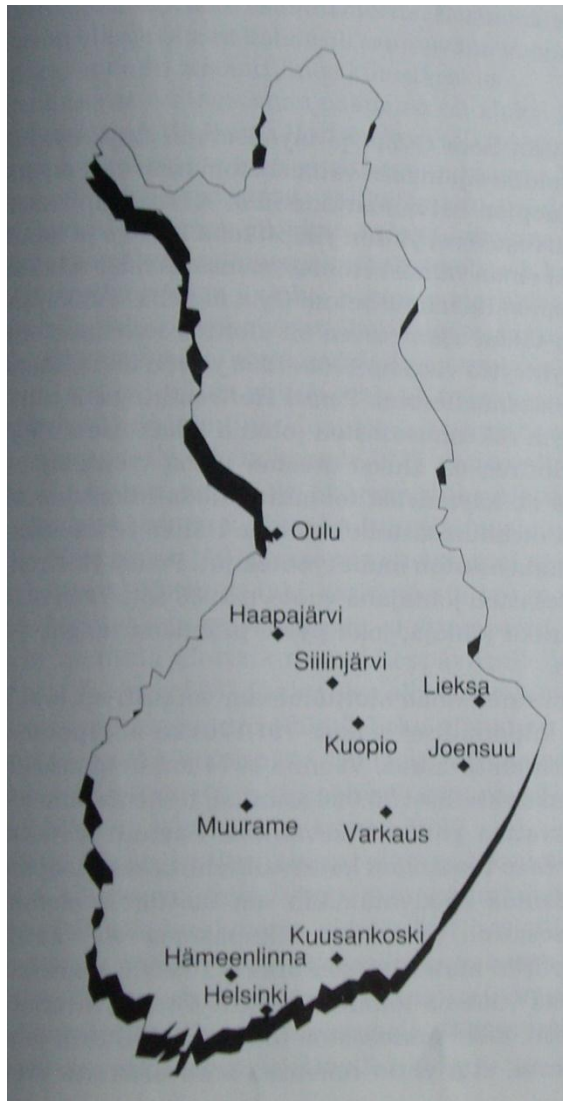
KUVA 2. 32,4 metrin pituisen harjapalkin asennus Kuopiossa (Marketta Isotalo)

1970-luvulla Siilinjärven tehtailla valmistettiin jo paljon erilaisia betonielementtejä ja kunnallistekniikan tuotteita. Toiminta kasvoi 1970-luvulla koko Suomen laajuiseksi. Vuosikymmenen puolivälissä Lujabetoni toimitti myös Svetogorskiin puhdistamon elementtejä. Kostamukseen Lujabetoni aloitti toimitukset syksyllä 1977, tämä hanke päättyi vasta vuonna 1984. Lujabetonille tuolloisen Neuvostoliiton (Venäjän) toimitukset olivat hyvin merkittäviä yhtiön kehityksen kannalta. (Rissanen & Isotalo 1993, 68.)

1980-luvulla Siilinjärven tehtaan alkuperäisen kahden hehtaarin maa-alue oli kasvanut 25 hehtaarin tehdasalueeksi. 1980-luvun yhdeksi päätuotteeksi kehittyivät ontelo-laatat, joiden valmistus aloitettiin vuonna 1982. Yritys alkoi laajentua 1980-luvulla yritysostojen myötä. Ensimmäinen yritysosto tehtiin 1979, jolloin Lujabetoni osti Joensuun Sementtivalimo Oy:n. Seuraavaksi yritys laajeni pohjoisen suuntaan, kun Lujabetoni osti 19.5.1981 Haapajärveltä Kestovalu Oy:n. 1980-luvun lopulla Lujabetoni alkoi suunnitella Etelä-Suomen toimintaa. (Rissanen & Isotalo 1993, 68–74.)

1990-luvun alkupuolella Lujabetonilla oli tehtaita koko eteläisessä Suomessa aina Oulun korkeudelle. Tehdaspaikkakunnat ja niiden perustamisvuodet on esitetty ku-

vassa 3. 1990-luvun puolivälissä aloitettu ratapölkkytehtaan käyttöönotto on suurimpia Lujabetonin historiassa toteutettuja hankkeita. Ratapölkkytehdas sijaitsee Siilinjärven tehdasalueella ja on Euroopankin mittakaavassa hyvin nykyaikainen betoni-tehdas. (Rissanen & Isotalo 1993, 86,87.)



Lujabetonin teollisuuslaitokset vuonna 1993 ja niiden perustamisvuodet:  
 Siilinjärvi 1953  
 Kuopio  
 - Haapaniemi 1963  
 - Likolahti 1981  
 Joensuu 1979  
 Haapajärvi 1981  
 Varkaus 1984  
 Oulu 1985  
 Hämeenlinna 1988  
 Muurame 1988  
 Kuusankoski 1989  
 Lieksa 1989  
 Helsinki 1993

KUVA 3. Lujabetonin tehdaspaikkakunnat 1993 (Rissanen & Isotalo 1993)

2000-luvulla Lujabetonin toiminta on laajentunut Ruotsiin Tukholman ympäristöön (kaksi tehdasta) ja Venäjälle Pietariin (kolme tehdasta). Näissä tehtaissa tuotetaan valmisbetonia rakentajien tarpeisiin.

### 3.2 Lujabetoni tänään

Lujabetoni on Suomen merkittävimpiä betonituotteita valmistavia yrityksiä ja alallaan Suomen kolmanneksi suurin. Lujabetonin toimitusjohtajana toimii Lujabetonin perustajan Felix Isotalon pojanpoika Mikko Isotalo. Tehtaita Lujabetonilla on 25, joista 2





200. Lujabetoni Oy:n Siilinjärven tehtaat 2000-luvun vaihteessa kuvassa 5. (Lujabetoni)

Lujabetonin Siilinjärven tehtailla valmistetaan seuraavia tuotteita:

- ratapölkkyt (erittäin vaativa betonituote, 2 valmistuslinjaa)
- ontelo- ja kuorilaatat (2 valmistuslinjaa)
- seinäelementit (myös graafiset seinäelementit)
- runkoelementit (palkit, pilarit, TT-laatat)
- maatalouselementit (seinät, ritiläpalkit, siilot, kanaalielementit, lietesäiliöt)
- valmisbetoni
- hormielementit.



KUVA 5. Lujabetonin Siilinjärven tehtaat (Lujabetoni, 2011)

### 3.3.1 Maataloustuotteet

Lujabetoni valmistaa erilaisia maatalouden tuotanto- ja varastorakennusten betonielementtejä. Lujabetonilta saa kaikki betonista valmistetut tuotteet, joita tarvitaan nykyaikaisessa maatalousrakentamisessa valmisbetonista perustuksiin ja kattorakenteisiin. Kohteet suunnitellaan asiakkaiden tarpeen mukaan yksilöllisesti; suunnittelu tehdään Lujalla omana työnä. Maataloustuotteista Lujabetonin Siilinjärven-tehtailla valmistetaan seinä-, siilo-, kanaali-, runko- ja laattaelementtejä, kasettiritiläpalkkeja ja erilaisia perustusanturoita.

### 3.3.2 Kasettiritiläpalkit

Kasettiritiläpalkkeja käytetään pääasiassa nautaeläinsuojissa lietekanaalien pääliselementteinä. Tuotteiden on kestettävä nautaeläinten paino ilman, että niihin tulee murtumina ja lohkeamia, koska käyttöolosuhteet eläinsuojissa ovat erittäin rankat betonielementeille. Kasettiritiläpalkit on tuettu molemmista päistään ilman välitukia. Kun pituudet ovat enimmillään neljä metriä, on raudoitteen oltava oikein mitoitettu ja asemoitu elementtiin. Kasettiritiläpalkkityyppejä on noin 80 erilaista ja niiden pituudet ovat 1 – 4 metriä. Erilaisia kasettiritiläpalkkeja valmistetaan Lujabetonin Siilinjärven-tehtailla 20 000 – 30 000 kappaletta vuodessa; niihin kaikkiin tulee hitsattu raudoite. Kasettiritiläpalkkien raudoitteiden hitsaamiseen on hankittu hitsausrobotti noin neljä vuotta sitten. Hitsaaminen tapahtuu kiinteässä yksiosaisessa hitsausjigissä robottihitsaussolussa tai käsihitsauksena. Tässä työssä ideoitiin ja kehitettiin raudoitteiden hitsaamiseen uudentyyppinen hitsausjigi.



#### 4 PROJEKTIN TAVOITTEET JA TEHTÄVÄN RAJAUS

Robottihitsaussolu on tällä hetkellä vajaalla käytöllä, ja tässä projektissa tutkittiin mahdollisuuksia käyttöasteen nostamiseen. Tehtävä oli haasteellinen, koska lukuisat seikat vaikuttavat robottihitsaussolun toimintaan ja siten myös sen käyttöasteeseen. Solun robottien käytettävyys ja hitsausvirtalähteen tehokkuus eivät jatkossa rajoitta tuotteiden hitsaamista, vaan tehottomuus johtuu muista tekijöistä. Keskustelujen perusteella tavoitteeksi asetettiin seuraavat asiat:

- kasettiritiläpalkkiraidoitteiden hitsaaminen pääasiassa robotilla
- toimintavarmuuden parantaminen
- jigin muunneltavuuden parantaminen
- paikoitus ja hitsaaminen tehdään roboteilla yksinkertaisessa uudentyyppisessä jigissä
- tarvikkeiden panostus vaunuihin mahdollisesti osin tai kokonaan robotilla
- uusien tuotteiden ottaminen valmistukseen (esimerkiksi palkkien leukaverkot)
- robottihitsaussolun työohjeiden päivitys
- käyttöoppaan laatiminen.

Tehtävä rajattiin koskemaan hitsausjigin kehittämistä ja sen valmistuksen kustannusarviota. Työssä keskityttiin uuden hitsausjigin kehittämiseen, koska koko solun toiminta on riippuvainen jigin toimivuudesta ja muunneltavuudesta. Työtä voidaan hyödyntää jatkossa mahdollisesti toteutettavaan hitsaussolun automaatiotason nostoon ja tuotekannan monipuolistamiseen. Työohjeen ja käyttöoppaan tekeminen erotettiin omiksi projekteikseen, koska pelkästään hitsausjigin suunnittelussa oli huomattavasti oletettua suurempi työmäärä.

## 5 ROBOTTIHITSAUSSOLU

Robottisolu hankittiin Siilinjärvelle noin neljä vuotta sitten, jotta saatiin vähennettyä hitsaajien yksitoikkoista työtä, hartioiden ja olkapäiden sekä ylävartalon kuormitusta ritiläpalkkiraidoiteiden hitsauksessa. Robottisolussa on yksi ABB:n hitsausrobotti ja yksi ABB:n kappaleenkäsittelyrobotti. Hitsaaminen tapahtuu hitsausjigissä. Jigin pannonuksen tekee käsittelyrobotti, minkä jälkeen hitsausrobotti suorittaa hitsauksen. Robottisolun käyttöaste on tällä hetkellä alhainen. Käyttöastetta pyritään parantamaan häiriöitä vähentämällä, korjaushitsausmäärää vähentämällä (käsihitsaus), lisäämällä hitsausohjelmia ja jigejä kattamaan suurin osa hitsattavista ritiläpalkkiraidoitetyypeistä. Uusien hitsattavien tuotteiden (esimerkiksi leukaverkot) hitsaaminen robottihitsaussolussa on mahdollista, jos kapasiteettia jää käyttämättä kasettiritiläpalkkien raidoiteiden hitsaamisen ohessa.

### 5.1 Turvallisuus

Robottihitsaussolun turvallisuus on varmistettu niin, ettei soluun voi mennä sisään, kun robottien työkierto on käynnissä. Soluun pääseminen on estetty robottien työkierron aikana, koska robottien liikenopeudet voivat olla hyvinkin suuria ja niiden aiheuttamat vammat saattavat olla hyvin vakavia ihmisille. Soluun on kolme kulkuaukkoa, joista kahdessa on rajakatkaisimet ja yhdessä valoverho, jos soluun mennään robottien työskennellessä turvalaitteet pysäyttävät solun toiminnan. Muilta osin solu on eristetty kevytseinillä muusta työtilasta. Seinät ovat säteilyä läpäisemätöntä materiaalia. Valoverholla suojatussa aukossa on käytetty säteilyltä suojaavaa läpinäkyvää verhoa. Hitsauksesta syntyvät kaasut ja höyryt johdetaan ulos yleisilmanvaihdon kautta, mikä on katsottu riittäväksi, koska hitsaustehot ja hitsien koot ovat pieniä. Solun toiminasta vastaavat siihen koulutetut ja perehdytetyt neljä hitsausoperaattoria.

### 5.2 Robotit

Hitsaussolussa on kaksi ABB-robottia. Hitsausrobotti kuvassa 6 on asennettu radalle ja se on tyypiltään:

- tyyppi IRB 2400L Type B
- ulottuvuus 1,81 m
- kapasiteetti 20 kg.



KUVA 6. Hitsausrobotti IRB 2400L Type B (Pekka Kokkonen 2011)

Kappaleenkäsittelyrobotti kuvassa 7 on asennettu kiinteästi ja on tyypiltään:

- tyyppi IRB 6640–130/3,2
- ulottuvuus 3,2 m
- kapasiteetti 130 kg.



KUVA 7. Kappaleenkäsittelyrobotti IRB 6640–130/3,2 (Pekka Kokkonen 2011)

Kappaleenkäsittelyrobotti joudutaan mahdollisesti asentamaan radalle, koska sen ulottuvuus ei tule riittämään pisimpien kasettiritiläpalkkien raudotteiden ja niiden osi-

en käsittelyyn. Toinen vaihtoehto on, että pisimpiä raudotteita ei hitsata robottihitsaussolussa, vaan käsihitsauksena.

### 5.3 Hitsausvirtalähde

Hitsausvirtalähteenä käytetään ESAB Mig 5000 iw virtalähdettä, kuva 8 ja sen suoritusravot ovat seuraavat:

- hitsausvirta max. 500A
- kuormitettavuus 500 A / 60 %
- kuormitettavuus 400 A / 100 %.



KUVA 8. Hitsausvirtalähde ESAB Mig 5000 iw (Pekka Kokkonen 2011)



#### 5.4 Hitsattavat tuotteet

Tällä hetkellä on olemassa ohjelmat ja jiggit kuuteen yleisimpään kasettiritiläpalkkiraudoitteen hitsaamiseen. Tavoitteena on lisätä valikoimaa niin, että se kattaisi lähes koko tuotevalikoiman. Kasettiritiläpalkkityyppejä on noin 80, joten myös erilaisia raudoitteita on saman verran. Kasettiritiläpalkkien hitsattuja raudoitteita valuasemalla kuvassa 9.



KUVA 9. Kasettiritiläpalkkien raudoitteita ja valukone (Pekka Kokkonen 2011)

Kasettiritiläpalkkiraudoitteiden dimensiot ovat:

- pituus 1 – 4 m
- massa noin 5 – 40 kg
- terästen paksuus 8 – 25 mm.

Lisäksi tutkittiin mahdollisuuksia hitsata esimerkiksi ns. leukapalkkien leukaverkkoja ja erityyppisiä tartuntalevyjä, joita käytetään Siilinjärvellä valmistettavissa betonituotteissa ja elementeissä. Uusien robottihitsaussolussa hitsattavien tuotteiden ottaminen solun tuotantoon eriytettiin omaksi hankkeekseen.

## 6 HITS AUSJIGI

Hitsausjigi eli hitsauskiinnitin on tarkoitettu asemoimaan ja pitämään paikallaan hitsattavat osat niiden hitsauksen ajan. Hitsausjigin on oltava riittävän luja, jotta se kestää hitsauksen aiheuttamien muodonmuutosten seurauksena syntyvät voimat. Kasettiritiläpalkkien raudoitteiden hitsauksen muodonmuutosten aiheuttamat voimat ovat kuitenkin pieniä, koska hitsit ovat pieniä ja hitsattavat osat ovat harjaterästankoja. Hitsien pienuuden vuoksi hitsauksen lämmöntuonti on vähäistä, joten siitä aiheutuvat muodonmuutokset ovat pieniä ja ne eivät vaikuta hitsausjigin toimintaan.

Hitseiltä ei myöskään vaadita suurta kuormituskestävyyttä, sillä niiden tarkoitus on pitää raudoite koossa varastoinnin, raudoitteiden käsittelyn ja tuotteen betonoinnin ajan. Kun edelliset rajaehdot otetaan huomioon, hitsausjigin tärkeimmäksi tehtäväksi jää hitsattavien osien paikoitus ja niiden pitäminen paikallaan hitsauksen ajan. Kasettiritiläpalkkien raudoitteiden hitsausjigin on oltava nopeasti muutettavissa eri raudoite-tyyppien hitsaamiseen ja jigin osien tulee paikoittua ilman erillistä mittaamista kohdalleen.

Jigin rakenteen on oltava mahdollisimman yksinkertainen ja toiminta häiriötöntä, koska häiriöistä aiheutuu tuotantokatkoksia ja usein hitsejä joudutaan myös korjaamaan käsihitsauksena. Mahdollisesti tulevaisuudessa kasettiritiläpalkkien raudoitteiden hitsaus tapahtuu miehittämättömästi esimerkiksi yövuoron aikana, jolloin jigin häiriötön toiminta on ehdoton vaatimus.

## 6.1 Vanha hitsausjigi

Käytössä oleva hitsausjigi kuvassa 10 on yksiosainen. Kappaleenkäsittelyrobotti ponnostaa hitsattavat osat jigiin ja hitsausrobotti suorittaa hitsaustyön. Työkierron pituus on noin neljä minuuttia esimerkiksi RIK28 -tyypin kasettiritiläpalkin raudoitetta hitsattaessa. Työvaiheita ei voida tehdä samanaikaisesti, vaan robotit odottavat jopa 40–50 sekuntia edellisen vaiheen valmistumista. Hitsausjigissä voidaan hitsata kuusi erityyppistä kasettiritiläpalkin raudoitetta, kun hitsattavia raudoitetyyppejä on noin 80. Jigin etuna on sen edullinen hankintahinta ja yksinkertainen rakenne. Haittana on suuri hitsausvirheiden määrä. Virheet ovat seurausta hitsattavien osien epätarkasta paikoituksesta jigiin, osien mittapoikkeamista ja osien pidätyksen puuttumisesta hitsausjigistä.



KUVA 10. Vanha hitsausjigi (Pekka Kokkonen 2011)

## 6.2 Uusi hitsausjigi

Hitsausjigi on robottihitsaussolun keskeinen elementti. Sen varma toimivuus ja käytettävyys määrittelevät pitkälti koko solun toimivuuden ja tehokkuuden. Hitsausjigi ja hitsauspöytä valittiin kahdesta vaihtoehdosta. Vaihtoehtoisina hitsauspöytinä olivat tasomainen hitsauspöytä ja kaksoisgrillityyppinen hitsauspöytä.

Projektissa päädyttiin niin sanottuun kaksoisgrillityyppiseen hitsauspöytään, jossa on kaksi erillistä hitsausjigiä. Kaksoisgrillipöytä valittiin hitsauspöydäksi, koska tasomai-

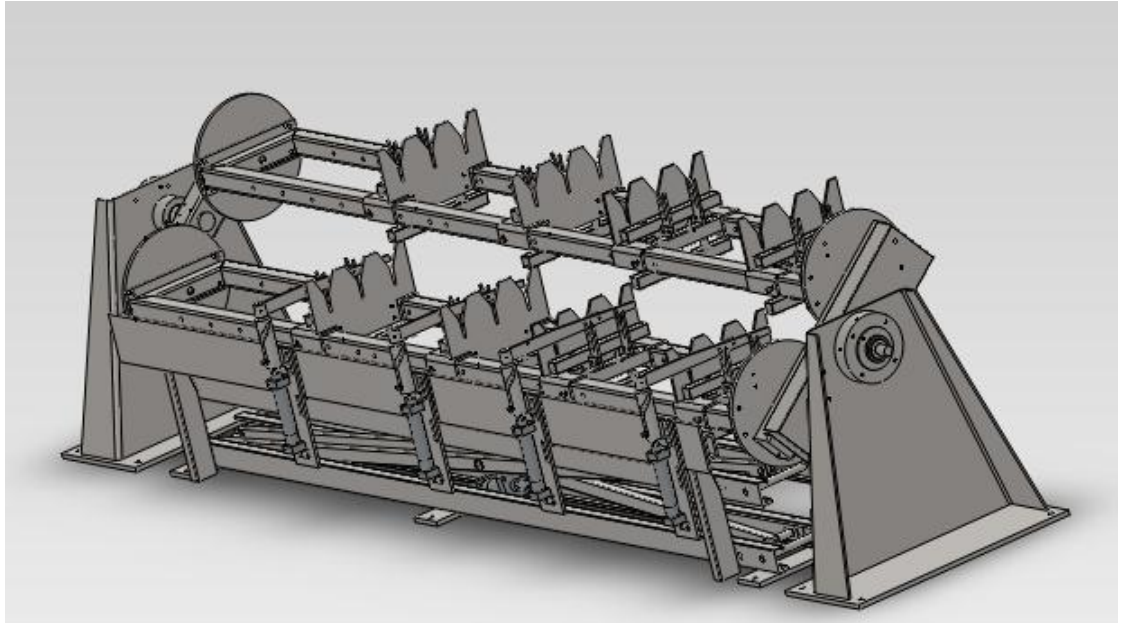
sessä ratkaisussa olisi kaksi irrallista hitsausjigiä, joita siirrettäisiin panostuspaikalta hitsauspaikalle. Jigien siirto tapahtuisi liu'uttamalla ja kappaleenkäsittelyrobotilla, mistä syystä jigien ja liukujen kuluminen muodostuisi ongelmaksi käytössä. Kaksoisgrillipöydässä hitsausjigit ovat kiinteästi paikallaan pyörityslaitteistossa. Tämäntyyppisellä ratkaisulla voidaan vähentää robottien odotusaikaa eri työvaiheiden aikana, koska molemmat robotit voivat työskennellä samanaikaisesti.

Robottihitsaussolun toimintaa on tarkoitus automatisoida lisää tulevaisuudessa, mikä on tällä hitsauspöytäratkaisulla mahdollista. Uudelta hitsausjigiltä edellytetään osien paikoitusvarmuutta ja niin sanottujen pinnien esihitsaustarpeen poistumista. Hitsausjigin ominaisuuksien on riitettävä tulevaisuudessa mahdollisesti toteutettavaan robottihitsaussolun automatisointitason kehittämiseen, tuloksena saavutettaisiin tuotantomäärän lisääntyminen. Solun automaatiotason seuraavana vaiheena tulee olla osien käsittelyn automatisointi niin, että osat voidaan tuoda soluun niin sanottuna bulkkita-varana eli nippuina tai laatikoissa. Pinnit voidaan tuoda ketjutyyppisellä kuljettimella soluun, ja käsittelyrobotti poimisi pinnit suoraan kuljettimelta. Kuljettimelle pinnit tulisivat taivutus-oikaisuautomaatilta. Suorat teräkset käsittelyrobotti poimisi erottelulaitteistolta konenäön tai jonkin muun ohjauksen avulla.

### 6.2.1 Hitsausjigin ideointi

Ideoinnissa käytettiin apuna hitsaussolussa työskentelevän henkilöstön näkemyksiä ja tavoitteita hitsausjigin käytettävyydestä. Kaksoisgrillipöytä osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi niin toimintavarmuudeltaan kuin käytettävyydeltään. Kaksoisgrillipöytä hitsausjigineen kuvassa 11. Varsinainen ideointi tehtiin luonnostelemalla paperille mallit ja näistä malleista tehtiin SolidWorks-ohjelmalla karkeat periaatemallit. Useiden versioiden jälkeen päädyttiin nykyiseen versioon kaksoisgrillipöytään, jossa on kaksi erillistä hitsausjigiä.





KUVA 11. Kaksoisgrillipöytä ja hitsausjigit (Pekka Kokkonen 2012)

### 6.2.2 Hitsausjigin suunnittelu

Hitsausjigin suunnittelussa otettiin huomioon jigin käytölle asetetut vaatimukset. Lisäksi päätettiin, millainen käyttöjärjestelmä valitaan pyörittämään kaksoisgrillipöytää ja jigejä. Reunaehtona oli, että jigin aseman oli säilyttävä vaakatasossa, kun pöytä tekee 180° pyörähdysliikkeen Z-akselin suhteen. Jigin aseman säilyminen vaakatasossa pyörähdysliikkeen aikana on tärkeää, koska silloin ei tarvita erillisiä osien pidättimiä molemmille hitsausjigeille. Laakerointitapa valittiin sillä perusteella, että se vaatii vähän huoltoa ja on riittävän pitkäikäinen käytössä. Hitsausjigiin kohdistuvat voimat ja lämpötilan muutokset ovat pieniä hitsauksen vähäisen lämmöntuonnin vuoksi, joten työssä ei otettu huomioon esimerkiksi lämpötilanmuutoksesta johtuvia pituuden muutoksia.

### 6.2.3 Käyttövoima

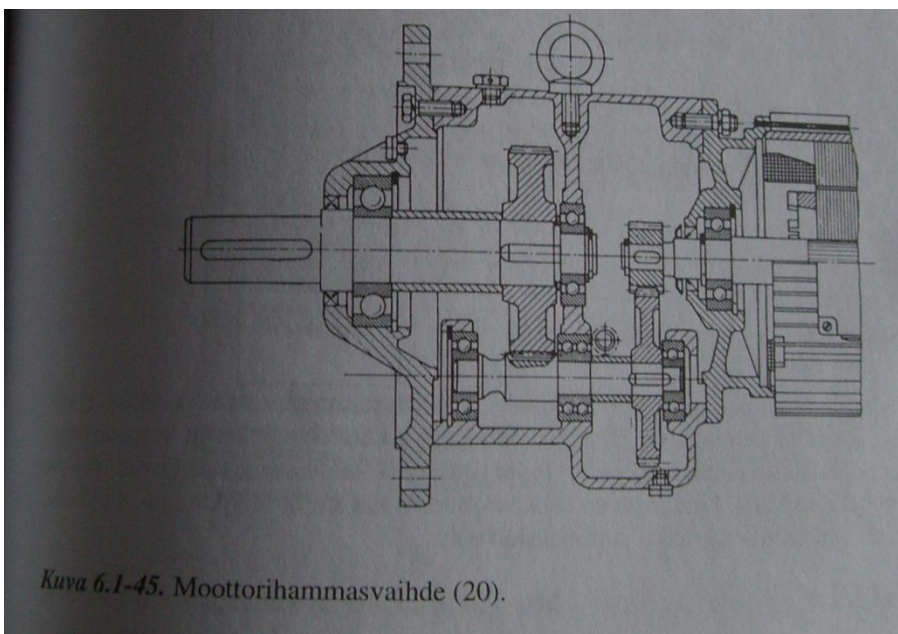
Käyttövoimaksi valittiin 1400 r/min 0,55 kW sähkömoottori, jonka kierrosnopeutta voidaan säätää taajuusmuuttajalla 800 ja 2000 r/min välillä. Vaihteeksi valittiin BONFIGLIOLI VF/W 49/110 230-kierukkavaihte. Kierrosnopeuden säädöllä voidaan sovittaa hitsausjigin pyörähdysliike sopivaksi kaikille tuotteille, joita siinä tullaan hitsaamaan. Moottorin koko määräytyy tarvittavan vääntömomentin perusteella; momentti on riippuvainen kaksoisgrillin, hitsausjigin, hitsattavien raudoitteiden massasta, kiihtyys- ja pyörähdysnopeudesta (0,1 s ja 5 s/180°). Tavoitteeksi asetettiin 0,1 sekun-

nin kiihdytysaika, joka on vielä kiihtyvyyden puitteissa realistinen. Hitsauspöydän käytön laskelmat (kaavat 1-5 s. 33 ja 34). Laskemalla kiihdytysajaksi saatiin 0,07 sekuntia, joten valittu käyttö täyttää vaatimukset. (Vaihteiden valintaopas 2008)

#### 6.2.4 Vaihteiston valinta

Erilaisia vaihteistotyyppisiä, joita voidaan käyttää tässä laitteessa, ovat lieriöhammasvaihteet, kierukkavaihteet ja HD-vaihteet (Harmonic Drive). Vaihteiston valinnan määrittää tarvittava kierrosnopeus ja momentin suuruus, jolla saadaan haluttu pyörähdysaika. Kaksoisgrillipöydän pyörähdysnopeus eli kierrosnopeus on 6 r/min eli  $180^\circ / 5$  s. Lisäksi vaihteen valintaan vaikuttaa ratkaisevasti hinta.

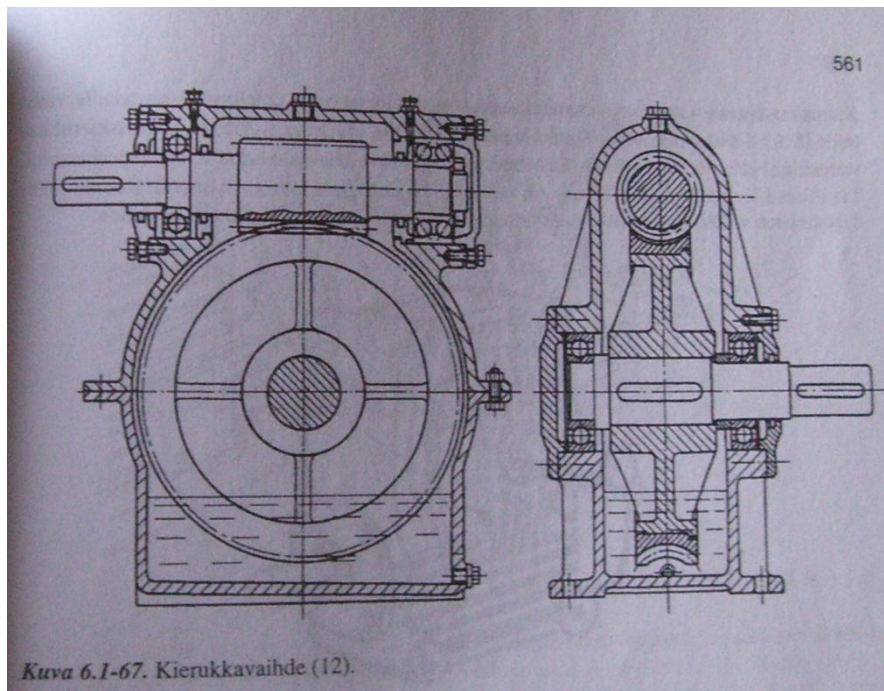
Lieriöhammasvaihteet soveltuvat käytettäväksi, kun vaihteelle oleva tila ei rajoita vaihteen kokoa. Lieriöhammasvaihteen koko kasvaa paljon välityssuhteen kasvaessa. Lieriöhammasvaihteet vaativat usein kiinnitykseen erillisen perustuksen, mikä nostaa hintaa ja vaikeuttaa vaihteen linjaamista akselin suhteen. Lieriöhammasvaihteen kaavio kuvassa 12. Vaihteiston liittäminen voimansiirtolinjaan tarvitaan erillinen kytkin, ja etenkin toisiopuolen kytkin nostaa hintaa merkittävästi. Kytkin tarvitaan kompensoimaan mahdollisia laitteen käytöstä aiheutuvia asennusvirheitä, liikkumisia ja värähtelyitä. Yleensä yksivaiheiset lieriöhammasvaihteet ovat edullisia hinnaltaan. Tässä laitteessa lieriöhammasvaihteen käytön estää suuri välityssuhde, joka tarvitaan, jotta saavutetaan oikea pyörähdysnopeus kaksoisgrillipöydälle. (Hautala & Välimaa 2010, 490–535.)



KUVA 12. Hammasvaihte (Hautala & Välimaa 2010, 533.)

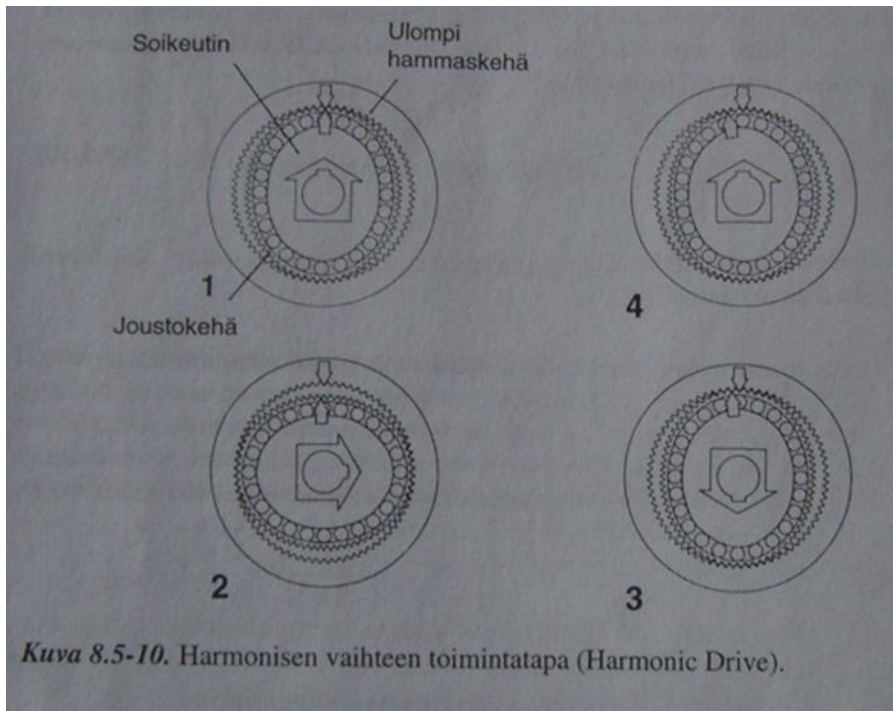
Kierukkavaihte on sopiva valinta, koska sen hankintahinta on vielä suhteellisen edullinen eikä siinä tarvita erillisiä kytkimiä vaihteen liittämiseen voimalinjaan, sillä kierukkavaihte vaimentaa hyvin värähtelyjä. Vaihte voidaan kytkeä suoraan laippaliitoksella runkoon ja akseli yhdistää esimerkiksi kiilaholkkiliitoksella voimalinjaan. Kierukkavaihteella saadaan suuri välityssuhde jo yhdellä vaihteella, mutta tässä tapauksessa vaihteita tarvittiin kaksi, jotta saavutettiin haluttu välityssuhde (233) ja pyöriähdysnopeus  $180 \text{ }^\circ / 5 \text{ s}$ . Kierukkavaihteen kaavio kuva 13. (Hautala & Välimaa 2010, 546–561.)

Vaihteeksi valittiin BONFIGLIOLI VF/W 49/110 230,  $n_2$  6 rpm ja  $M_2$  452 Nm (Vaihteiden valintaopas 2008, s. 498.).



KUVA 13. Kierukkavaihte (Hautala & Välimaa 2010, 561.)

HD-vaihdetta (Harmonic Drive) eli joustokehävaihdetta käytetään robottien alennusvaihteena. HD-vaihte kestää hyvin nopeita liikkeitä esimerkiksi servojärjestelmissä. HD-vaihte olisi hyvä vaihtoehto kaksoisgrillipöydän vaihteeksi, koska sen käyntivälitys on tarkka jo standardivaihteilla (3 – 9 kulmaminuuttia). Välityssuhteet vaihtelevat HD-vaihteilla välillä 50 – 320, joten yhdellä vaihteella saavutettaisiin haluttu pyöriähdysnopeus ( $180 \text{ }^\circ / 5 \text{ s}$ ). HD-vaihteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14. Ensiöakseli pyörittää niin sanottua soikeutinta. Soikeutin on sovitettu irrallisen joustokehärenkaan sisään. Joustokehä kulkee kiinteää ulkokehää ja kuljettaa ulkokehän liikkuvaa osaa. HD-vaihteen ulkokehän liikkuvaosa toimii vaihteen toisioakselina. HD-vaihteen ensiö- ja toisioakselit pyörivät vastakkaisesti suuntiin. (Airila & Kivioja 2010, 763.)



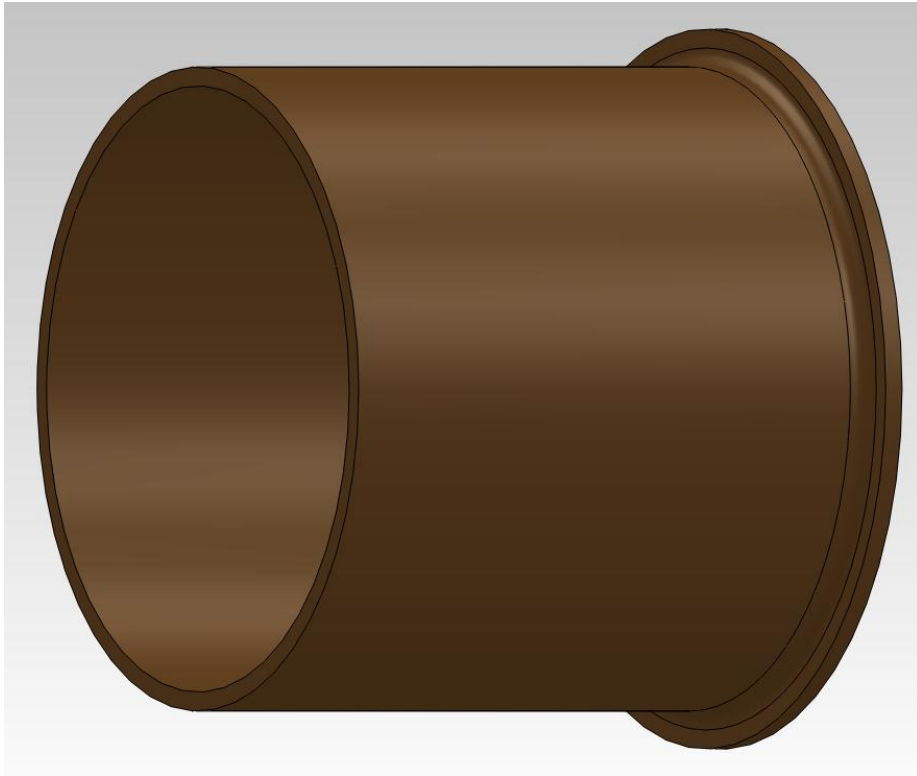
Kuva 8.5-10. Harmonisen vaihteen toimintatapa (Harmonic Drive).

KUVA 14. HD-vaihteen toimintaperiaate (Airila & Kivioja 2010, 762.)

Vaihteen hinta muodostui ratkaisevaksi tekijäksi vaihdetta valittaessa. Kierukka-vaihte valittiin kaksoisgrillipöydän vaihteeksi, koska se on edullisempi kuin HD-vaihte. Kierukkavaihteen käyntivälitys on myös riittävän tarkka laitteen toimintaan nähden, joten siitä ei aiheudu jigien paikoitukselle ongelmia.

#### 6.2.5 Laakerointi

Laakerointitavaksi valittiin liukulaakerointi, koska laitteen kierrosnopeus on pieni (6 r/min) ja liukulaakerointi on edullinen hinnaltaan. Osa liukulaakereista on laippalaakereita kuva 15. Tällä laakerityypillä saadaan aksiaalinen välys säädettyä sopivaksi laitteen käyttöä ajatellen. Laitteistossa ei esiinny aksiaalisia voimia, joten ei tarvita erillisiä painelaakereita. Laakerointi voidaan toteuttaa joko kestovoidelluilla liukulaakereilla tai rasvavoidelluilla liukulaakereilla. Kestovoidellut liukulaakerit eivät vaadi erillistä huoltoa eli ovat huoltovapaita, niistä ei myöskään pursu rasvaa yli, jolloin ne eivät kerää epäpuhtauksia laakerointikohteeseen. Rasvavoidellut liukulaakerit vaativat säännöllisen huollon ja rasvauksen, ja rasvauksen yhteydessä ylipursunut voiteluaine on pyyhittävä pois. Laakereiden pintapaine on hyvin pieni johtuen laakereiden suuresta pinta-alasta suhteessa pyörivien osien painoon, joten se ei määrää laakerointitapaa. Laakerityypiksi valittiin kestovoideltu liukulaakeri, esimerkiksi D&E BBT-F tai SBT-F sarjan laakeri.

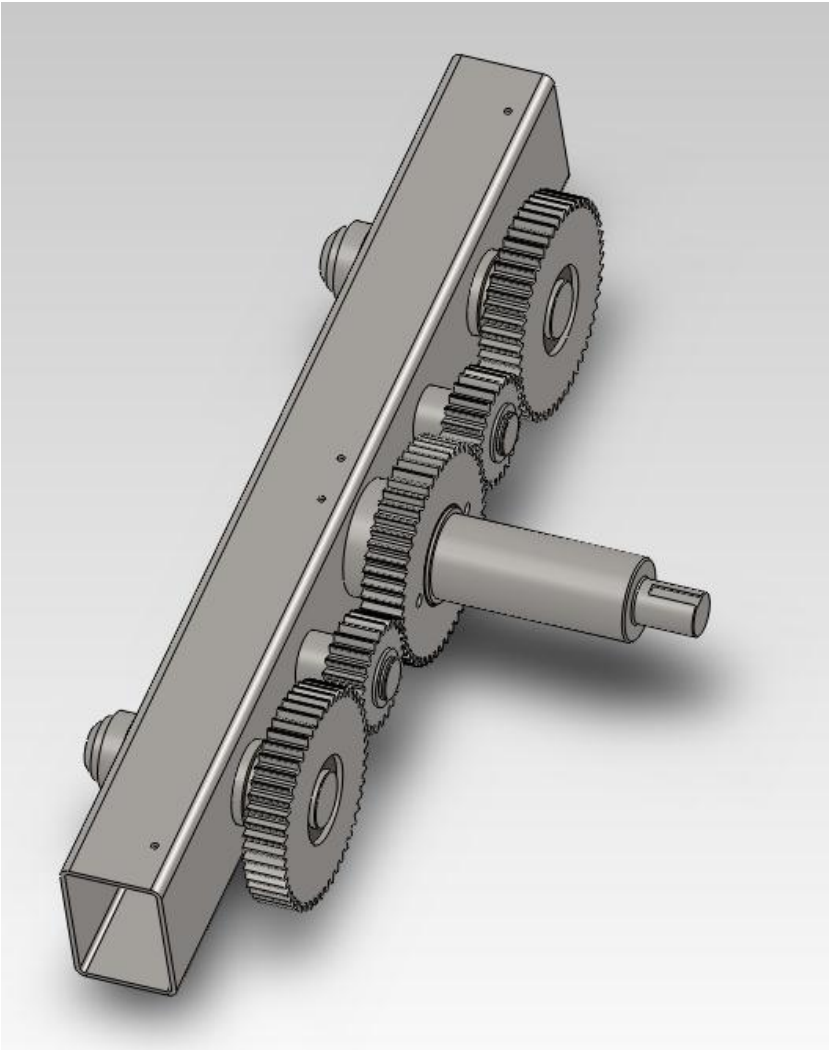


KUVA 15. Laipallinen liukulaakeri (Pekka Kokkonen 2012)

#### 6.2.6 Hammaspyörät

Hammaspyöriä tarvitaan viisi kappaletta hitsausjigien asemoimisen mahdollistavaan systeemiin (kuva 16). Hitsausjigien asennon on säilyttävä vaakatasossa niin sanotun kaksoisgrillin pyörähtäessä akselinsa ympäri. Hammaspyöriksi valittiin moduuli 4 evolventtihampaiset hammaspyörät, hammaspyörien raaka-aine on SS EN 10083-12C45 terästä.





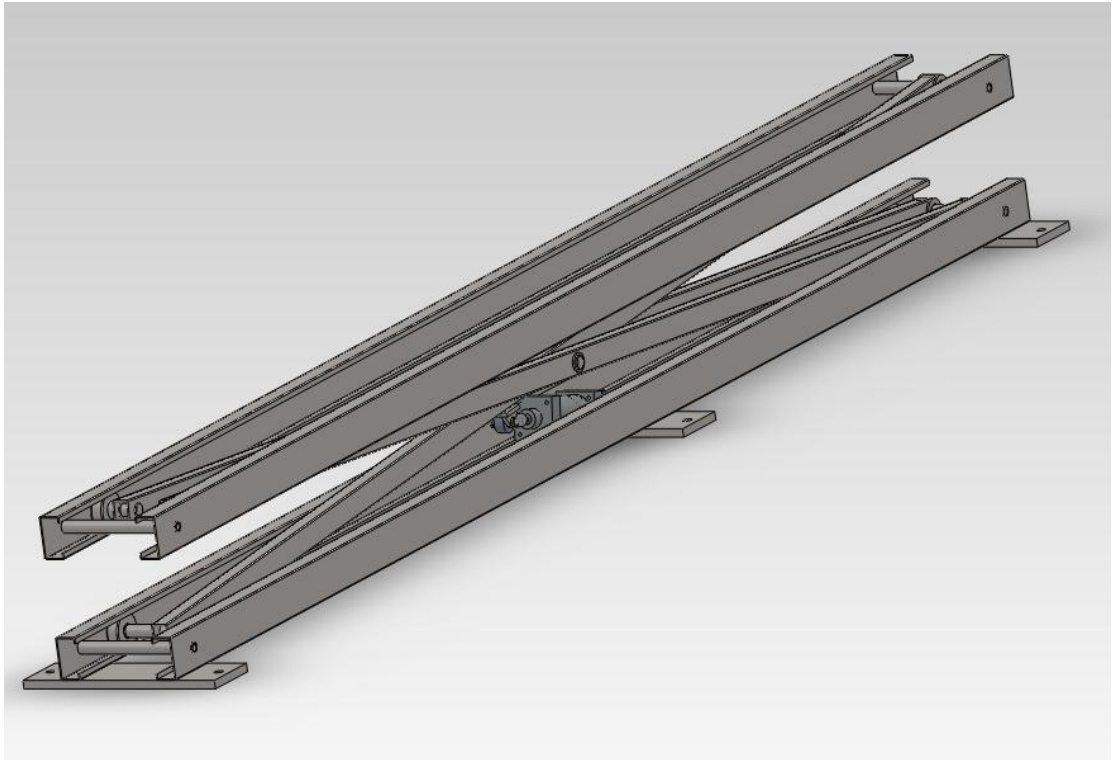
Kuva 16. Grillin orsi ja jigien asemoinnin hammaspyörät (Pekka Kokkonen 2012)

### 6.2.7 Pneumatiikka

Paineilma valittiin käyttövoimaksi sylinterikäyttöille, koska paineilmaa on saatavilla robottihitsaussolussa ja paineilmasylinterit ja niiden ohjauksen komponentit ovat edullisempia kuin hydrauliiikan komponentit. Kaksoisgrillipöydän ja hitsausjigien tarvitsemat voimat ovat suhteellisen pieniä, joten sekin puoltaa paineilma käyttöä.

### 6.2.8 Irrotin

Hitsatun raudoitteen irrottamiseen hitsausjigistä tarvitaan erillinen laite, jota kutsutaan irrottimeksi. Laite on saksityyppinen nostin, jossa on yksi saksipari ja käyttövoimana paineilmasylinteri. Saksinostin jota käytetään irrottamaan hitsattu kasettiritiläpalkki-raudoite hitsausjigistä kuvassa 17.



KUVA 17. Saksinostin raudoitteen irrottamiseen hitsausjigistä (Pekka Kokkonen 2012)

### 6.2.9 Laskelmat

Hitsauspöydän lähtö- ja tavoitetiedot:

Pyörähtävä massa  $2 * 400 \text{ kg}$ ,  $300 \text{ mm}$  etäisyydellä keskipisteestä. Hitsauspöydän kierrosnopeus  $6 \text{ r/min}$ , tavoitteeksi asetettu kiihdytysaika  $0,1 \text{ s}$  ja käytöksi valittu moottori  $0,55 \text{ kW} / 1400 \text{ r/min}$ . Taulukoista saadaan hitausmomentit  $0,55 \text{ kW}$  moottorille  $J_1 = 0,0014 \text{ kgm}^2$  ja vaihteelle  $J_2 = 0,72 \text{ kgm}^2$ . Kokonaishitausmomentti  $J_{\text{red}}$  saadaan kaavalla 1.

$$J_{\text{red}} = J_1 + J_2 + \frac{J_3}{i_2} \quad (1.)$$

Lasketaan ensin laitteen pyörähtävän osan hitausmomentti  $J_3$  kaavalla 2:

$$J_3 = 2mr^2 \quad (2.)$$

Sijoitetaan kaavaan:

$$2 * 400 \text{ kg} * (0,3 \text{ m})^2 = 72 \text{ kgm}^2$$

Lasketaan  $i_2$  kaavalla 3.

$$i_2 = \frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} \quad (3.)$$

Sijoitetaan kaavan:

$$i_2 = \frac{146,6 \text{ 1/s}}{0,628 \text{ 1/s}} \approx 233$$

Sijoitetaan kaavaan 1:

$$J_{red} = 0,0014 \text{ kgm}^2 + 0,72 \text{ kgm}^2 + \frac{72 \text{ kgm}^2}{233} \approx 1,03 \text{ kgm}^2$$

Lasketaan 0,55 kW:n moottorista saatava hetkellinen kiihdytysmomentti  $M_n$  kaavalla 4, kun  $T_n = 3,7 \text{ Nm}$ .

$$M_n = 2,6 * T_n \quad (4.)$$

Sijoitetaan kaavaan:

$$M_n = 2,6 * 3,7 \text{ Nm} = 9,26 \text{ Nm}$$

Lasketaan kiihdytykseen kuluva aika  $\Delta t$  kaavalla 5.

$$\Delta t = \frac{J_{red} \Delta \omega}{M_n} \quad (5.)$$

Sijoitetaan kaavaan:

$$\Delta t = \frac{1,03 \text{ kgm}^2 * 0,628 \text{ 1/s}}{9,26 \text{ Nm}} = 0,07 \text{ s}$$

Todetaan 0,55 kW sähkömoottorin riittävän, kun kiihdytykseen kuluva-aika 0,07 s on pienempi, kuin tavoiteaika 0,1 s.

Orren laakerin pintapaine:

Laakeriin kohdistuva voima, kun kaksoisgrilli on laakeroitu molemmista päistään päätihin lasketaan kaavalla 6. Kaksoisgrillin massa  $\approx 800 \text{ kg}$ .

$$F_{Laakeri} = \frac{1}{2} * m_{kaksoisgrilli} * g \quad (6.)$$

Sijoitetaan kaavaan:

$$F_{Laakeri} = \frac{1}{2} * 800 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 4000 \text{ N}$$



Lasketaan yhden laakerin kantavan osan pinta-ala kaavalla 7.

$$\frac{1}{2} * \pi DL \quad (7.)$$

Sijoitetaan kaavaan akselin halkaisija  $D = 80 \text{ mm}$ , laakerin pituus  $L = 160 \text{ mm}$

$$\frac{1}{2} * \pi * 80 \text{ mm} * 160 \text{ mm} \approx 20106 \text{ mm}^2$$

Lasketaan laakerin pintapaine kaavalla 8.

$$Pintapaine = \frac{F_{laakeri}}{A_{laakeri}} \quad (8.)$$

Sijoitetaan kaavaan  $F = 4000 \text{ N}$  ja  $A_{laakeri} = 20106 \text{ mm}^2$

$$\frac{4000 \text{ N}}{20106 \text{ mm}^2} \approx 0,2 \text{ MPa}$$

Todetaan että laakeroinnin pintapaine jää hyvin pieneksi, joten itsevoitelevat liukulaa-kerit toimivat laitteessa.

Painimen paineilmasylinterin koon määrittäminen kun oletetaan pinnan paikoitusvoiman tarpeeksi  $300 \text{ N}$  ja paikoitus tapahtuu sylinterin paluuskulla. Tarkastellaan P2020 sarjan paineilmasylinteriä 50/20, kun  $p = 0,6 \text{ MPa}$  ja systeemin hyötysuhde  $\eta = 0,6$ . Sylinterin paluuskun voima  $F_2$  saadaan kaavalla 9.

$$F_2 = p(A_1 - A_2)\eta \quad (9.)$$

Sijoitetaan kaavaan:

$$F_2 = 0,6 * 10^6 \text{ Pa} * \left( \frac{\pi * (0,05 \text{ m})^2}{4} - \frac{\pi * (0,02 \text{ m})^2}{4} \right) * 0,6 \approx 590 \text{ N}$$

Todetaan valitun paineilman sylinterin riittävän pinnan paikoittamiseen.

### 6.2.10 Hitsausjigin mallinnus ja piirustukset

Hitsausjigeistä ja kaksoisgrillipöydästä tehtiin 3D-mallit ja kokoonpano-, osa- ja hitsauspiirustukset SolidWorks-ohjelmalla. 3D-mallien tekeminen vei eniten aikaa tässä projektissa. Mallinnuksessa oli paljon huomioonotettavia seikkoja: Kun esimerkiksi mallien mitoitusta muutettiin, piti jo ennakkoon miettiä, kuinka kappale mitoitetaan ja

pursotetaan. Kokoonpanon aikana tehtävät liittämiset (mate) vaativat sopivien liitettävien pintojen löytämisen. Valmista mallia ei ole olemassa tämäntyyppiselle ratkaisulle, joten ratkaisuista tuli suurelta osin uniikkeja.

### 6.3 Hitsausjigin kustannusarvio

Kustannukset ovat arviohintoja lukuun ottamatta moottorin, vaihteen ja hammaspyörien hintoja. Hitsauspöydän ja hitsausjigien kustannusarvio kaaviossa 1. Moottorin, vaihteen ja hammaspyörien hinnat ovat S-K Sähkökoneelta saadusta tarjouksesta.

#### KAAVIO 1. Hitsauspöydän ja -jigien kustannusarvio.

##### KAKSOISGRILLIPÖYDÄN KUSTANNUSARVIO

	ALV 0 %	Työ	
Raaka-aineet	3200		
Käytöt			
-paineilmasyylinterit	1500		
-paineilmaventtiilit	1000		
-vaihde ja moottori	1385		
-hammaspyörät	840		
-kiinnitysholkit (Bonfix)	300		
Laakerointi	500		
Koneistus		3000	
Polttoleikkaus		400	
Hitsaus		1600	
Maalaus			
-työ		640	
-maalit	200		
Kokoonpano		1600	
Pientarvikkeet	500		
Asennus		1280	
Yhteensä	9425	8520	17945

### 6.4 Tarjouspyynnöt

Hitsauspöydän ja hitsausjigien valmistamisesta pyydettiin tarjoukset kolmelta Kuopion alueen teräsrakenteita valmistavalta yritykseltä. Tarjouspyyntöihin vastasivat kaikki tarjouspyynnön saaneet yritykset. Yksi tarjouspyynnön saaneista yrityksistä ilmoitti, ettei se tee tämäntyyppisiä laitteita. Kaksi muuta tarjouspyynnön saaneista yrityksistä olivat halukkaita valmistamaan laitteen, ja ne tekivät myös tarjoukset laitteen valmistamisesta. Tarjouksissa oli huomattavan suuret erot: halvempi tarjous oli noin puolet kalliimman tarjouksen hinnasta. Suuresta hintaerosta vuoksi tarjouspyyntöä

tarkennetaan, koska on oletettavaa, että edullisempi tarjous ei sisällä kaikkea, mitä tilaaja eli Lujabetoni Oy edellyttää valmistettavalta laitteelta. Käyttölaitteistosta eli sähkömoottorista, vaihteista ja hammaspyöristä pyydettiin tarjous yhdeltä toimittajalta. Tämä tarjous sisältää kaikki laitteen käytön tarvitsemat oheislaitteet. Tarjousten euromääriä ei käsitellä tässä työssä, koska ne kuuluvat Lujabetoni Oy:n ja tarjouksen tehneiden yritysten kahdenvälisen sopimusten piiriin.

## 7 VANHAN JA UUDEN HITSAUSJIGIN VERTAILU

Kaaviossa 2 on vertailu vanhan ja uuden hitsausjigin vaiheajoista. Vanhan hitsausjigin ajat ovat mitattujen aikojen keskiarvoja ja uuden hitsausjigin ajat ovat arvioituja aikoja.

## KAAVIO 2. Vaiheaikojen vertailu vanhan ja uuden hitsausjigin välillä

## ROBOTTIHITSAUSSOLUN VAIHEAIKA

VAIHE		VANHA KA (s)	UUSI ARVIO (s)
Käsittely aläteräs	1	20,52	15
	2	21,24	15
	3	21,57	15
Pinni	1	13,51	13
	2	13,28	13
	3	12,72	13
	4	12,14	13
Yläteräs	1	18,60	13
	2	17,69	13
	3	16,13	13
Odottaa pois		40,70	
Pois		21,60	35
Yhteensä		<b><u>229</u></b>	<b><u>171</u></b>
<b>HITSAUS</b>			
Pinni	1	9,00	25
	2	8,09	25
	3	8,14	25
	4	9,29	25
Yläteräs	1	20,41	
	2	22,20	
	3	22,20	
Hitsausaika		99,65	
siirtymä +odotus		28,16	
Yhteensä		<b><u>128</u></b>	<b><u>100</u></b>
Käsittely+hitsaus yhteensä		<b><u>230</u></b>	<b><u>171</u></b>
Vanha-uusi			<b><u>59</u></b>
Pinnien hitsaus 200 kpl		<b>630</b>	<b>0</b>

## 8 PROJEKTIN KUSTANNUSARVIO

Projektin kustannusarviossa taulukossa 3 pyrittiin ottamaan huomioon robottien uudelleenohjelmoinnin kulut, uuden ohjauslogiikan kulut ja robottihitsaussolun muutostöistä aiheutuvat kulut. Kaksoisgrillipöydän suunnittelun ja mallinnuksen kuluja ei huomioida projektin kustannusarviossa, koska projekti on toteutettu opinnäytetyönä Savonia AMK:n Kone- ja tuotantotekniikan opintojen yhteydessä.

## TAULUKKO 3 Projektin kustannusarvio

PROJEKTIN KUSTANNUSARVIO	ALV 0 %	Työ	
Kaksoisgrillipöydän kustannusarvio	9425	8520	
Ohjauslogiikka	3000		
Robottien ohjelmointi		5600	
Hitsaussolun muutostyöt		1600	
Automaattitaivuttimen muutostyöt		960	
Käynnistys vaiheen kulut		3200	
Yhteensä	<u>12425</u>	<u>19880</u>	<b>32305</b>

Projektin kustannusarvio muodostui noin kaksinkertaiseksi projektin aloitusoletuksesta. Kaksoisgrillipöydän kustannukset ovat suhteellisen lähellä alkuperäisen arvion ylärajaa. Projektin toteutuskelpoisuutta arvioidaan valmistuksen tehokkuuden parantumisen ja säästyvän työajan pohjalta. Jos kannattavuusehdot täyttyvät ja hankkeen takaisinmaksuaika on noin yhden vuoden mittainen, hanke kannattaa toteuttaa. Hankkeen takaisinmaksuaika on vuoden mittainen, jos työaika säästyy yhden mies-työvuoden verran.

## 9 TULOKSET

Työn tuloksena saatiin robottihitsaussolun kehittämissuunnitelma. Kehitystyö päätettiin aloittaa robottihitsausjigin kehittämisellä. Hitsauspöydän tyyppiä valittiin niin sanottu kaksoisgrillipöytä, jossa on kaksi erillistä hitsausjigiä eli hitsauskiinnitintä kasetitiriläpalkkien hitsaamiseen. Kaksi erillistä hitsausjigiä mahdollistavat robottien rinnakkaisen työskentelyn, jolloin robottien odotusaika vähenee. Robottihitsaussolun tehokkuuden arvioitiin kasvavan uuden hitsausjigin vaikutuksesta noin 25 %.

Kaksoisgrillipöydästä tehtiin 3D-mallit SolidWorks-ohjelmalla. Niiden perusteella voidaan hankkia hitsausjigiin tarvittavat komponentit ja tarvikkeet. Projektin kustannusarvio on laadittu käyttämällä apuna laskennassa 3D-malleista saatuja valmistusmateriaalien painoa ja laatua. 3D-malleista tehtiin hitsaus-, osa- ja kokoonpanopiirustukset. Piirustusten perusteella pyydettiin alustavat tarjoukset laitteen valmistuksesta kolmelta Kuopion alueen yritykseltä; tarjouspyynnön saaneista yrityksistä kaksi oli halukkaita valmistamaan laitteen. Käytön komponenteista pyydettiin tarjous Savo-Karjalan Sähkökoneelta.

Lisäksi saatiin automaattitaivuttimelle tehtävistä muutoksista suunnitelma, joista osa on jo toteutettu. Hitsausjigin tarvitseman logiikan ja robottien ohjelmoinnin tekee ABB, koska hitsaussolun robotit ja hitsaussolu ovat ABB:n valmistamia ja suunniteltavia. Hitsausjigi mahdollistaa hitsaussolun kehittämisen jatkossa automaatioasteeltaan pidemmälle kuin se tällä hetkellä on.

## 10 YHTEENVETO

Tavoitteena oli kehittää ja suunnitella Lujabetoni Oy:lle kasettiritiläpalkkien raudoitteiden robottihitsaukseen soveltuva hitsauspöytä ja hitsausjigit. Tavoite rajattiin koskemaan hitsauspöydän ja jigien kehittämistä ja suunnittelua, koska hitsaussolun toiminnan kannalta ne määrittävät solun käytettävyyden ja tehokkuuden. Lisäksi projektin onnistuminen vaatii muutostöitä, joilla parannetaan hitsattavien kasettiritiläpalkkiraudoitteiden osien mittatarkkuutta ja laatua. Esimerkiksi pinnien on oltava suoria, koska niiden poiminta ja asetus robotilla jigiin ei onnistu, jos pinneissä on suuret mitapoikkeamat. Robottihitsaus vaatii osilta suurta paikoitus- ja mittatarkkuutta. Uudella hitsausjigillä saavutetaan riittävä paikoitustarkkuus, kun osien mittatarkkuus ja laatu saadaan riittävän hyväksi.

Aikataulujen yhteensovittaminen vaati paljon yhteistyötä Lujabetonin henkilöstön kanssa. Hitsausjigin ideoinnin aikana käytiin useita keskusteluja eri henkilöstöryhmien välillä ja hitsausjigistä oli useita erilaisia vaihtoehtoja. Lopulta päädyttiin kaksoisgrillityyppiseen hitsauspöytään. Kaksoisgrillipöydässä on kaksi erillistä hitsausjigiä, joissa voidaan samanaikaisesti hitsata ja panostaa osia hitsausjigeihin.

Vanhalla hitsausjigillä saadaan hitsattua kasettiritiläpalkkiraudoitteita 120 kappaletta (RIK28 tyyppi) kahdeksan työtunnin aikana. Uudella kaksoisgrillipöydällä voidaan hitsata kasettiritiläpalkkiraudoitteita kahdeksan työtunnin aikana 160 kappaletta (RIK28 tyyppi). Kahdeksassa tunnissa saadaan hitsatuksi yhden päivän tuotantoa vastaava määrä kasettiritiläpalkkien raudoitteita. Kasettiritiläpalkkituotanto toimii kahdessa vuorossa ja tuotteita valmistetaan noin 150 kappaletta päivässä. Aiemmin hitsausvirheiden korjaamiseen on kulunut aikaa 2–3 tuntia päivässä, kun taas uudessa hitsausjigissä hitsattaessa korjaushitsauksen tarve tulee olemaan alle 30 minuuttia päivässä.

Robottihitsaussolussa robotilla hitsattavien kasettiritiläpalkkiraudoitetyyppien määrää voidaan lisätä uuden hitsausjigin käyttöönoton myötä, jolloin käsihitsauksen tarve vähenee nykyisestä. Uudella kaksoisgrillipöydällä voidaan hitsata esimerkiksi 20 yleisintä raudoitetyyppiä nykyisen kuuden raudoitetyypin sijaan. 20 yleisintä raudoitetyyppiä muodostavat yli 80 % kasettiritiläpalkkituotannosta.

Projektin kustannukset ovat noin kaksinkertaiset verrattuna projektin aloitusvaiheen arvioon. Kun otetaan huomioon käsihitsauksen tarpeen vähentyminen ja osien käsin-

panostuksen helpottuminen, työajan säästö on merkittävää: työaika säästyy arvion mukaan neljästä kuuteen tuntia päivässä (kaksi työvuoroa). Projektin toteuttaminen on edellä mainittujen puitteiden valossa kannattavaa.



## LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M.; Martikka, H., Miettinen, J.; Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. ja Välimaa, M. 2010. *Koneenosien suunnittelu*. Helsinki: WSOYpro Oy.

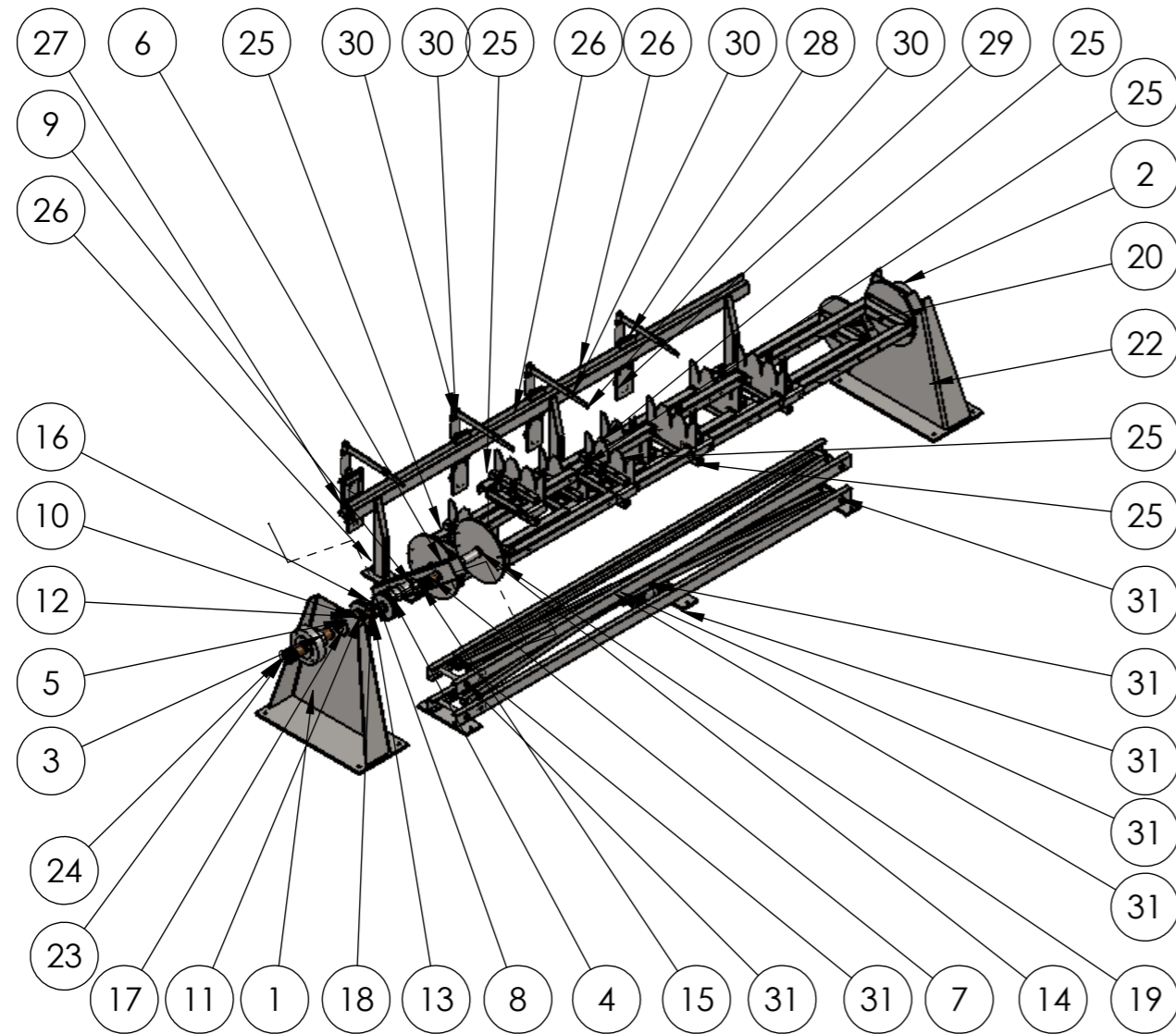
Outinen, H., Salmi, T. 2004. *Lujuusopin perusteet*. Tampere: Pressus Oy.

Rissanen, A., Isotalo, M. 1993. *Sisulla läpi harmaan kiven*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., Öistämö, J. ja Kulmala, M. 2005. *Tekniikan kaavasto*. Hämeenlinna: KARISTO Oy.

BONFIGLIOLI RIDUTTORI. 2008. *Vaihteiden valintaopas*. SKSMEKANIikka.

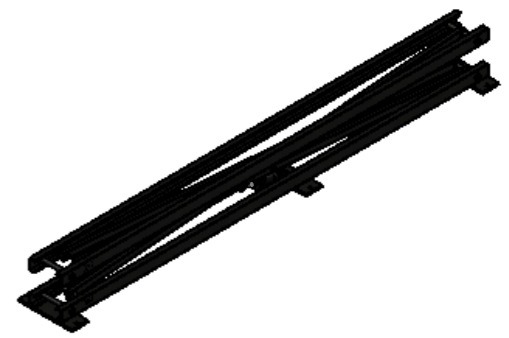
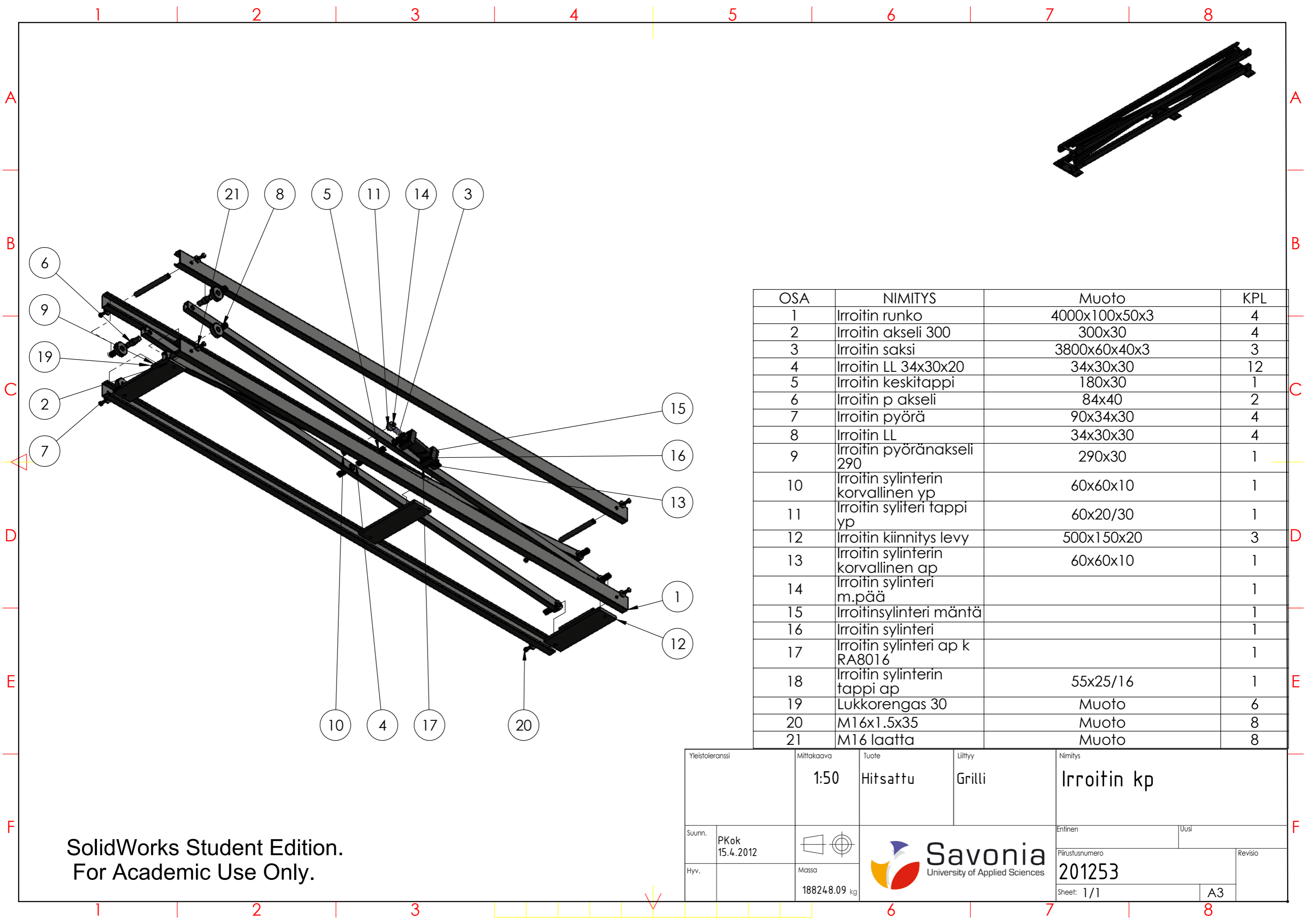
Luja-yhtiöt. 2012. Luja. [viitattu 30.4.2012]. saatavissa: [www.luja.fi](http://www.luja.fi)



OSA	NIMITYS	MUOTO	KPL
1	Pääty oik	1000*1000*10	1
2	Holkki vas	280x130x160	2
3	LL 85x80x80	85x80x2.5	4
4	Orrenakseli oik	110x385	2
5	LL 95x90x40	95x90x40	1
6	Orsi	1000*150*100	2
7	Lautasen holkki	120x80x60	4
8	LL65x60x60	65x60x60	8
9	Välipyöränakseli	55x106	2
10	Välipyörän laatta	55x40x3.5	2
11	LL 44x40		2
12	Z 50 95	200x40	1
13	Z 25 44		2
14	Lautasen akseli oik	75x60x230	2
15	Laatta 80x60x5	80x60x5	4
16	LF19 60x2	80x60x15	4
17	Z 50 85		2
18	Kiinnitysholkki 85x55	85x55x33.5	2
19	Lautanen	500*20	4
20	Jigi runko	4060*480*80	2
21	Lautasen akseli vas	75x60x230	2
22	Pääty vas	1000*1000*10	1
23	Laatta 105x80x5	105x80x5	2
24	LF23 80x2	105x85x15	2
25	RIK 28		8
26	Painimen runko kp		1
27	Painimen kiinnitys	220x150x30	4
28	Paininsylinterinjalka	400x150x12	4
29	Painin sylinteri kp		4
30	Painin		4
31	Irroitin kp		1
32	M16x35	Muoto	16
33	M16 laatta a	Muoto	16

Yleistoleranssi		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys
		1:50	Hitsausjigi	Grilli	Grilli
Suunn.	PKok 28.3.2012		<b>Savonia</b> University of Applied Sciences		Entinen
Hyv.		Massa			Piirustusnumero
		15704.19.51 kg			20125
					Revisio
					Sheet: 1/1
					A3

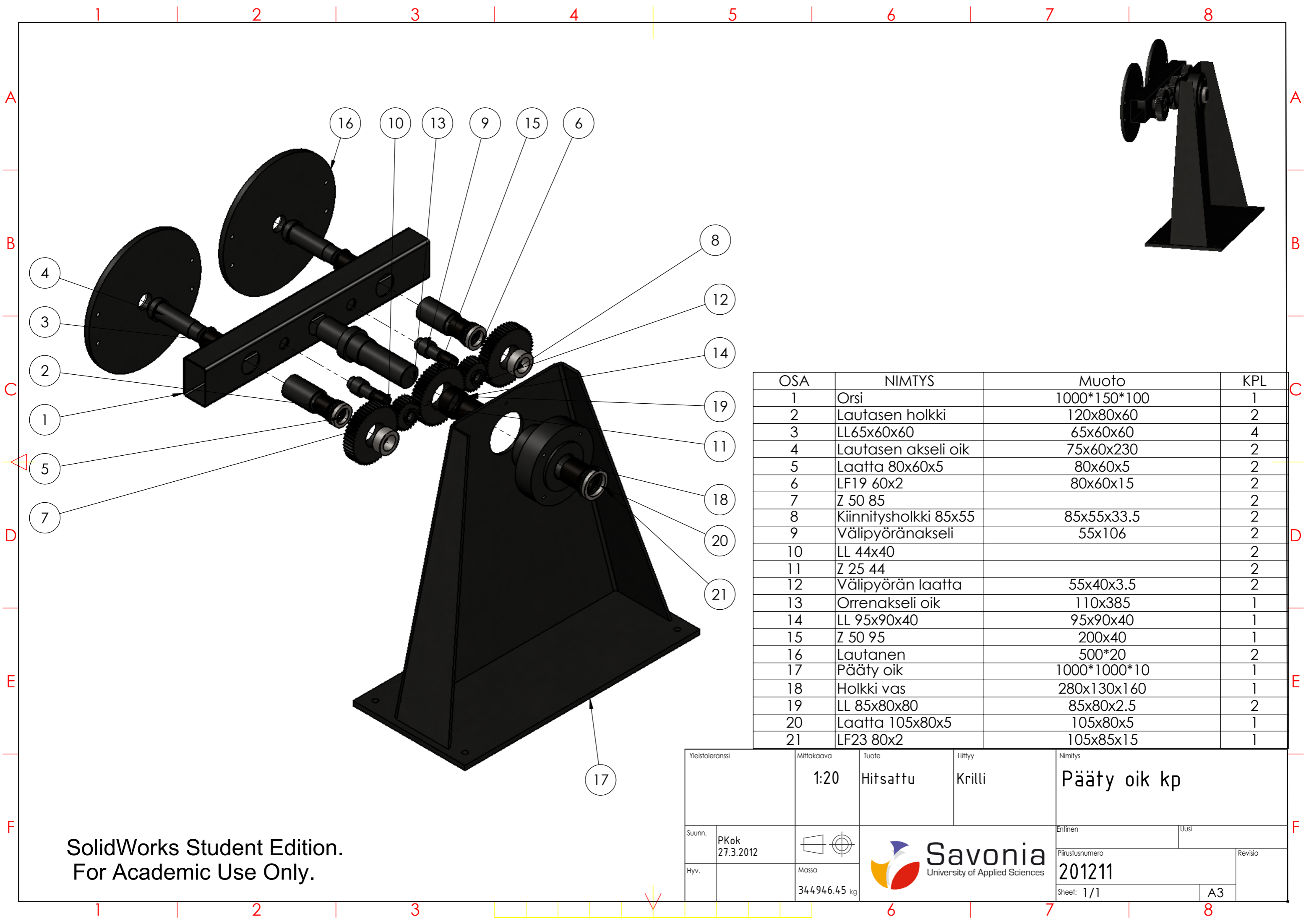
SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



OSA	NIMITYS	Muoto	KPL
1	Irroitin runko	4000x100x50x3	4
2	Irroitin akseli 300	300x30	4
3	Irroitin saks	3800x60x40x3	3
4	Irroitin LL 34x30x20	34x30x30	12
5	Irroitin keskitappi	180x30	1
6	Irroitin p akseli	84x40	2
7	Irroitin pyörä	90x34x30	4
8	Irroitin LL	34x30x30	4
9	Irroitin pyöränakseli 290	290x30	1
10	Irroitin sylinterin korvallinen yp	60x60x10	1
11	Irroitin sylinteri tappi yp	60x20/30	1
12	Irroitin kiinnitys levy	500x150x20	3
13	Irroitin sylinterin korvallinen ap	60x60x10	1
14	Irroitin sylinteri m.pää		1
15	Irroitinsylinteri mäntä		1
16	Irroitin sylinteri		1
17	Irroitin sylinteri ap k RA8016		1
18	Irroitin sylinterin tappi ap	55x25/16	1
19	Lukkorengas 30	Muoto	6
20	M16x1.5x35	Muoto	8
21	M16 laatta	Muoto	8

Yleistoleranssi		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys
		1:50	Hitsattu	Grilli	Irroitin kp
Suunn.	PKok 15.4.2012			Entinen _____ Uusi _____ Piirustusnumero <b>201253</b>	
Hyv.		Massa	<b>Savonia</b> University of Applied Sciences		Revisio
		18824.8.09 kg	Sheet: 1/1		A3

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.



OSA	NIMITYS	Muoto	KPL
1	Orsi	1000*150*100	1
2	Lautasen holkki	120x80x60	2
3	LL65x60x60	65x60x60	4
4	Lautasen akseli oik	75x60x230	2
5	Laatta 80x60x5	80x60x5	2
6	LF19 60x2	80x60x15	2
7	Z 50 85		2
8	Kiinnitysholkki 85x55	85x55x33.5	2
9	Välipyöränakseli	55x106	2
10	LL 44x40		2
11	Z 25 44		2
12	Välipyörän laatta	55x40x3.5	2
13	Orrenakseli oik	110x385	1
14	LL 95x90x40	95x90x40	1
15	Z 50 95	200x40	1
16	Lautanen	500*20	2
17	Pääty oik	1000*1000*10	1
18	Holkki vas	280x130x160	1
19	LL 85x80x80	85x80x2.5	2
20	Laatta 105x80x5	105x80x5	1
21	LF23 80x2	105x85x15	1

Yleistoleranssi		Mittakaava	Tuote	Liitty	Nimitys
		1:20	Hitsattu	Krilli	Pääty oik kp
Suunn.	PKok 27.3.2012			Entinen	
Hyv.		Massa			Uusi
		344946.45 kg	Piirustusnumero <b>201211</b>		Revisio
Sheet: 1/1					A3

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.

**Savonia**  
University of Applied Sciences

1 2 3 4 5 6 7 8

A

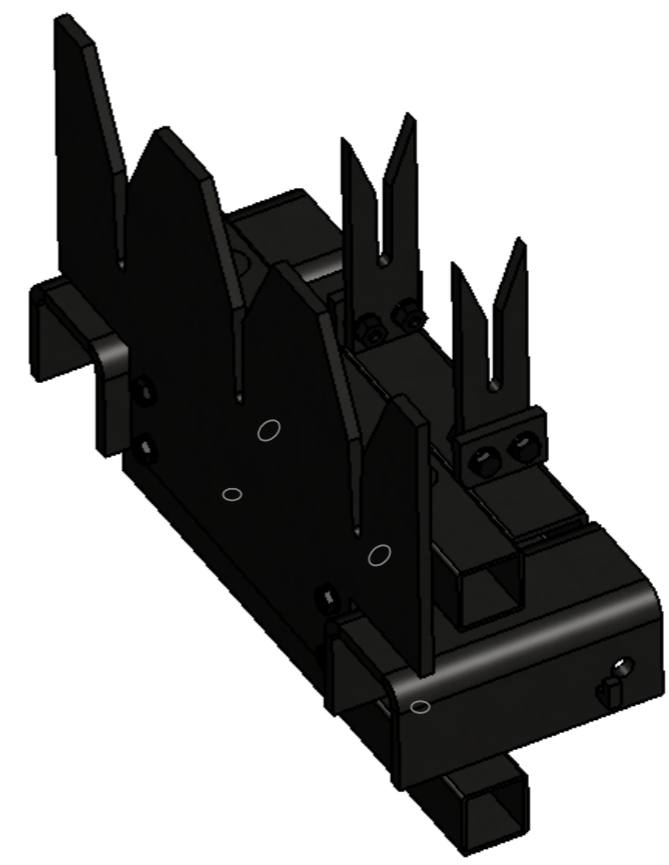
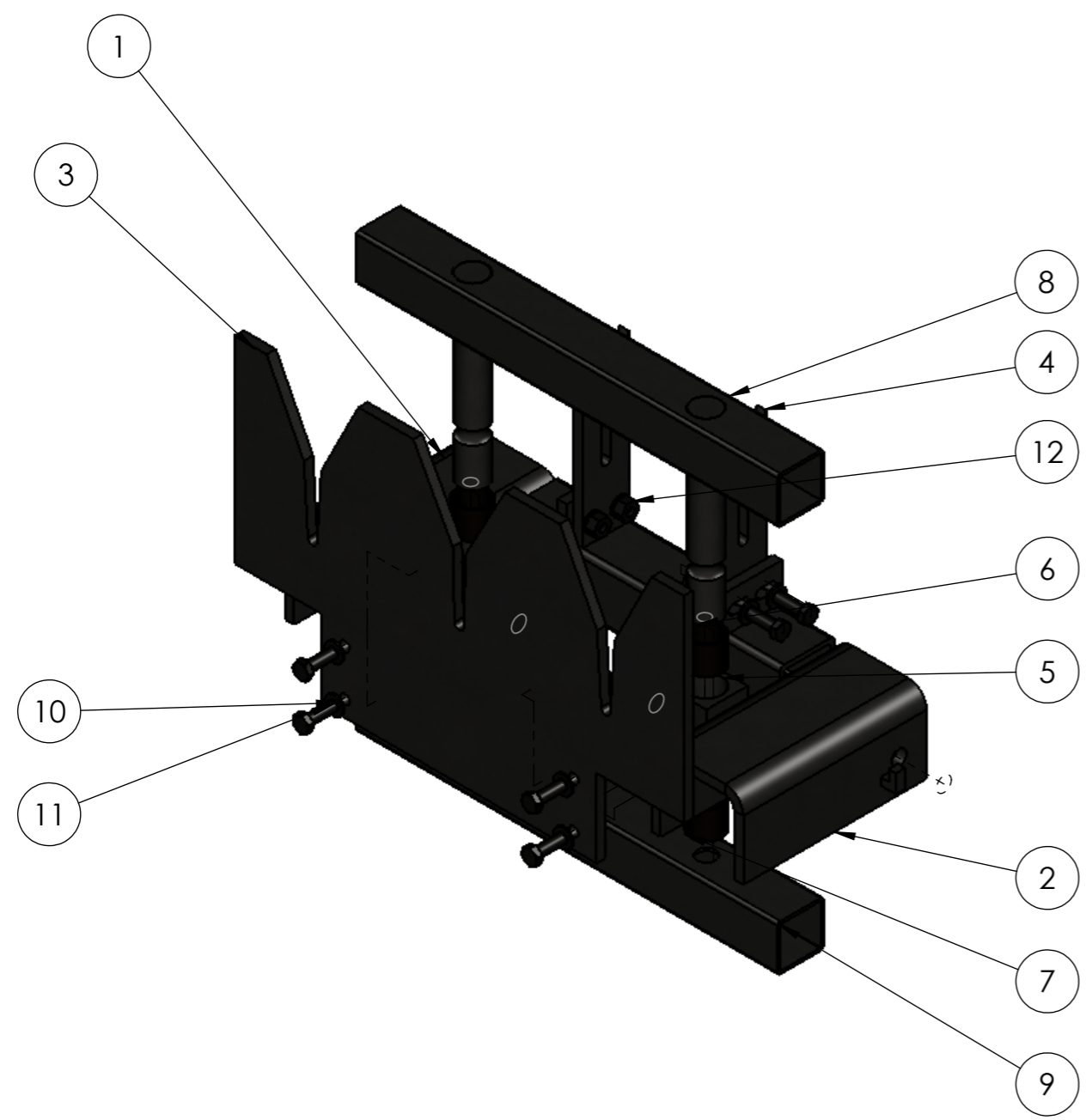
B

C

D

E

F



OSA NO.	Nimitys	Muoto	KPL
1	RIK holkki oik	200x100x85x10	1
2	RIK holkki vas	200x100x85x10	1
3	RIK 28	490x300x10	1
4	RIK 28 pinni	300x60x60x5	1
5	Irroitn raudoite h	85x45x45	2
6	Irroitin raudoite tappi	197.5x30	2
7	Iroitin LL	34x30x30	4
8	Irroitn raudoite yp	460x50x50x3	1
9	Irroitn raudoite ap	460x50x50x3	1
10	M 10 laatta	Muoto	12
11		Muoto	8
12	M10		4

Yleistoleranssi		Mittakaava 1:5	Tuote Levyosa	Liittyy Grilli	Nimitys RIK 28 kp
Suunn. PKok 2.4.2012					Entinen
Hyv.		Massa 28643.28 kg			Uusi
				Piirustusnumero 201232	Revisio
				Sheet: 1/1	A3

SolidWorks Student Edition.  
For Academic Use Only.

1 2 3 4 5 6 7 8

