

Esa Jaakkola

Seulakauhan teräpakkahitsausautomaatti

Mekaniikkasuunnittelu

Opinnäytetyö

Syksy 2010

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Koneautomaatio



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Esa Jaakkola

Työn nimi: Seulakauhan teräpakkahitsausautomaatti

Ohjaaja: Markku Kärkkäinen

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja tuottaa suunnitelma hitsausautomaatista, jolla voitaisiin hitsata REMU Oy:n seulakauhojen osakokoonpanoa nimeltä teräpakka. Tämän työvaiheen automatisoinnilla tavoiteltiin parempaa kustannustehokkuutta ja työturvallisuutta. Suunnittelussa keskityttiin mekaniikkaan, jolla hitsausautomaatista saataisiin mahdollisimman toimintavarma ja tehokas. Koska teräpakojen valmistusohjelmassa on lukuisia eri variaatioita, on hitsausautomaatin käsiteltäväksi rajattu ainoastaan muutama volyymimalli.

Suunnittelu osoittautui erittäin haastavaksi, mutta lopputulos oli siitä huolimatta hyvä. Hitsausautomaatin mekaniikka näytti periaatteellisesti toimivalta ja laskennallisesti kustannustehokkuus parani huomattavasti.

Asiasanat: Automaatio, Hitsaus, Läpimenoaika

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology
Degree programme: Automation Technology
Specialisation: Machine Automation

Author: Esa Jaakkola

Title of the thesis: Automatic Welding Machine for Screening Bucket Rotors

Supervisor: Markku Kärkäinen

Year: 2010 Number of pages: 58 Number of appendices: 2

The purpose of this final thesis was to investigate and design an automatic welding machine for manufacturing screening bucket rotors at REMU Ltd. With the use of automation in the welding the goal is to shorten the lead time and improve work safety. In designing the main focus was on the mechanical structure of the welding machine. Since REMU Ltd produces many different varieties of screening rotors, the welding machine was designed to manufacture only the most common ones.

Despite the many challenges in designing, the end result was most satisfying. The mechanical principle of the welding machine seems to be functional and with calculations it can be shown that the cost efficiency would also improve in the manufacturing.

Keywords: Automation, Welding, Lead Time

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tarkoitus ja tausta	10
1.2 Työn rajaus.....	12
1.3 Vaihtoehtojen vertailu	12
1.4 Mikä on seulakauha?.....	13
1.5 Yritysesittely	14
2 HITSUKSEN JA AUTOMAATION TEORIAA	16
2.1 Hitsaus	16
2.2 Automaatio	16
3 TYÖN TOTEUTUS	18
3.1 Toimintaperiaate.....	18
3.2 Terälapun paikoittaja	19
3.2.1 Runkolevy	19
3.2.2 Teränpidinluisti.....	20
3.2.3 Hitsauspolttimen liikeluisti	22
3.2.4 Terälapun paikoittajan lineaarijohteet	23
3.3 Teräputken pyöritysliike	25
3.3.1 Pyörityslaitteen runkorakenne, laakerointi ja tehonsiirto	26
3.3.2 Pyörityslaitteen servomoottorin mitoitus.....	27
3.4 Yläkeskitin	31
3.4.1 Keskitinkartio ja keskitinkuppi	32
3.4.2 Yläkeskitinimen runko ja keskitinpylkkä	33
3.5 Terälappuvaunu.....	34

3.6	Terälappuhissi	36
3.6.1	Tarrain.....	36
3.6.2	Tarraimen sivuttaissiirto	38
3.7	Pystysuuntaisten lineaariliikkeiden toteutus	39
3.7.1	Lineaarijohteita kannattelevan palkin mitoitus ja valmistus	39
3.7.2	Liikkeen toteutus	43
3.7.3	Kuularuuvien mitoitus ja valinta.....	45
3.8	Runkorakenne	47
3.9	Turvallisuusnäkökohdat	48
3.9.1	Työalueen rajaus	48
3.9.2	Käyttöpaneelien sijoitus	49
3.9.3	Valmiin teräpakan poisto.....	49
3.9.4	Hätäpysäytyspiiri.....	50
4	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTELMÄT	51
4.1	Läpimenoajan laskenta	51
4.2	Laskennan tulokset.....	52
4.3	Muita automatisoinnilla saavutettavia etuja	53
5	LOPUKSI	55
	LÄHTEET	56
	LIITTEET	58

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Silloitushitsi Hitsaustapahtuma, jossa yhteen liitettävät kappaleet hitsataan lyhyillä, pistemäisillä saumoilla toisiinsa ennen varsinaisen hitsausseaman hitsaamista. (Lukkari 2002, 26.)

Terälappu Seulakauhan teräpakan osa, joka pyöriessään erottelee ja siivilöi aineksia erilleen toisistaan. (Perälä, 2010.)

Teräpakka Seulakauhan pyörivä osa, jonka muodostavat terälaput ja akselina toimiva teräputki. Seulakuha sisältää kaksi, tai useamman teräpakan. (Perälä, 2010.)

Hitsauskiinnitin (hitsausjigi)

Laite johon yhteen hitsattavat osa voidaan kiinnittää niin, että ne asettuvat aina samaan asemaan toisiinsa nähden. (Lukkari 2002, 27.)

Ejektori Esimerkiksi alipainetekniikassa käytettävä laite, joka muuntaa paineilman virtausenergian alipaineeksi. (Suomen Lehtiyhtymä. [Viitattu 16.11.2010.9.2010].)

Kovahitsaus Hitsausmenetelmä, jossa perusainetta kovempaa lisäainetta hitsataan pinnoitteeksi lisäämään perusaineen kulumkestävyyttä. (Impomet Oy. [Viitattu 16.11.2010].)

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVA 1. WL160-mallin teräpakka, jossa terälapun ainevahvuus 10 mm ja niiden välinen etäisyys 20 mm.....	11
KUVA 2. Tyypillinen terälappumalli.....	11
KUVA 3. Seulakauha työssään.....	14
KUVA 4. Terälapun paikoittajan runkolevy.....	20
KUVA 5. Vastakkain ajetuilla teränpidinluisteilla kuljetetaan terälappua teräputken ympärillä kohti oikeaa asemaansa.....	21
KUVA 6. Hitsauspolttimen liikeluisti, johon automaattihitsauspoltin on kiinnitettyinä.	23
KUVA 7. Terälapun paikoittaja ylhäältä kuvattuna.....	24
KUVA 8. Terälapun paikoittaja edestä kuvattuna.....	24
KUVA 9. Terälapun paikoittaja sivulta kuvattuna.....	25
KUVA 10. Pyörityslaitteen laakeroinnin periaate.....	27
KUVA 11. Terälapun säteiden määrittäminen hitausmomentin laskentaa varten.....	28
KUVA 12. Pyörityslaitteen kokoonpano.....	31
KUVA 13. Keskitinkartio ja -kuppi.....	33

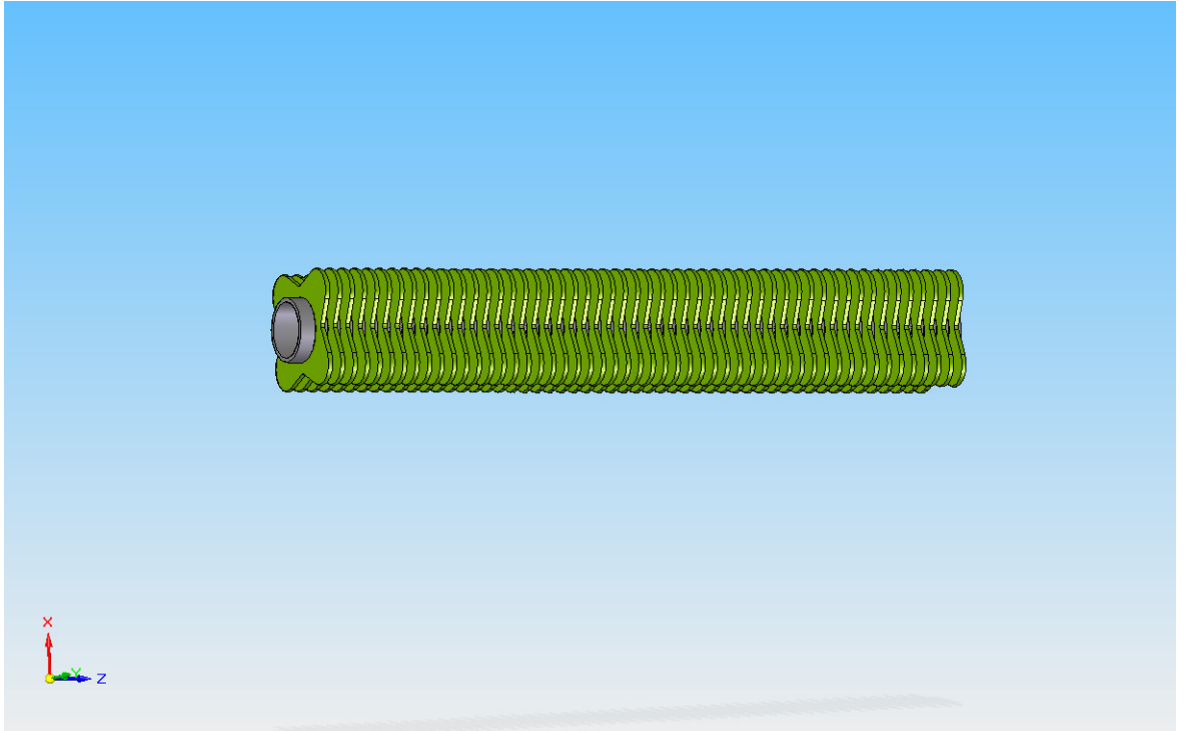
KUVA 14. Yläkeskitin, jossa keskitinpylkkä on ajettu taka-asemaansa.....	34
KUVA 15. Täyteen ladattu terälappuvaunu.....	35
KUVA 16. Terälappuvaunun lukitus hitsausautomaatin yhteyteen.....	36
KUVA 17. Tarraimen mäntä-sylinterirakenne.....	37
KUVA 18. Terälappuhissi.....	38
KUVA 19. 240 x 120 mm:n IPE-palkki, johon lineaarijohteet kiinnitettyinä.....	43
KUVA 20. Kuulamutterin laakerointi.....	45
KUVA 21. Hitsausautomaatin pääkokoontyö.....	48
KUVA 22. Teräpakan hitsaaja työssään.	54
TAULUKKO 1. Momentin laskemiseksi laadittu taulukko.....	41
TAULUKKO 2. Palkkien jäyhyysmomenteja taulukoituna.	42

1 JOHDANTO

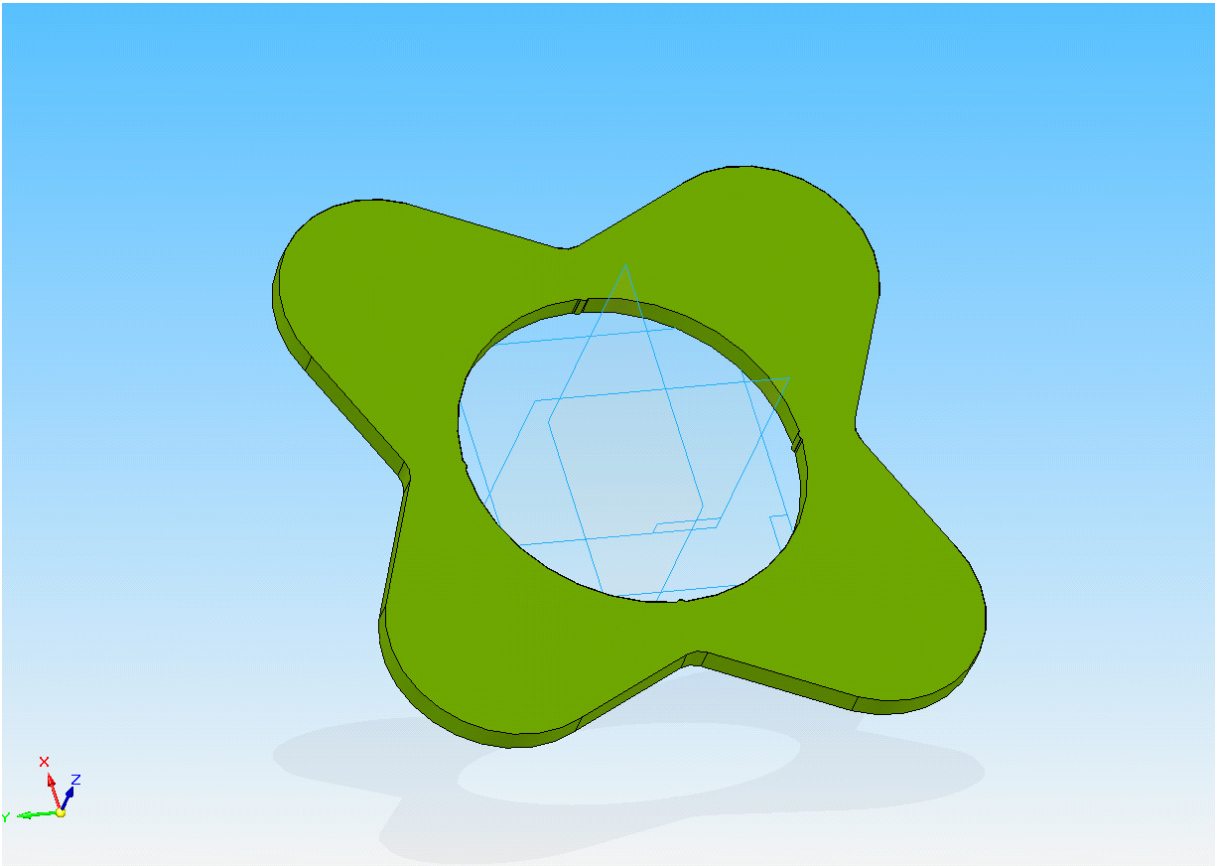
1.1 Työn tarkoitus ja tausta

Työn tarkoituksena on laatia toteutuskelpoinen suunnitelma seulakauhan teräpakaksi kutsutun osakokoonpanon hitsauksen automatisointiin. Automatisointiin päädyttiin, koska se on hidas ja monotoninen, mutta tarkkuutta vaativa työvaihe. Automatisoinnin tavoitteena on parantaa teräpakan mittatarkkuutta, lisätä työturvallisuutta, lyhentää valmistusaikaa ja lisätä täten kustannustehokkuutta.

Tällä hetkellä teräpakat valmistetaan manuaalisesti MAG-hitsaamalla. Käytössä on vaaka- ja pystysuuntaisia hitsausjigejä, joissa terälaput hitsataan teräputkeen kiinni. Teräpakkojen pituusmitta vaihtelee seulakauhan tyyppin mukaan (KUVA 1). Teräpakka voidaan varustaa viittä eri materiaalivahvuutta olevalla teräpalalla käyttötarkoituksen mukaan. Teräpalojen ainevahvuusvaihtoehdot ovat 6 mm, 8 mm, 10 mm, 16 mm ja 25 mm. Lisäksi teräpalan muoto ja niiden välinen etäisyys toisistaan vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan (KUVA 2). Edellä mainitut seikat aiheuttavat automatisoinnin kannalta merkittäviä haasteita. (Perälä, 2010.)



KUVA 1. WL160-mallin teräpakka, jossa terälapun ainevahvuus 10 mm ja niiden välinen etäisyys 20 mm.



KUVA 2. Tyypillinen terälappumalli.

1.2 Työn rajaus

Suunnittelu rajataan työn laajuuden johdosta koskemaan ainoastaan mekaniikka-suunnittelua. Lisäksi rajauksia tehdään automatisoinnin suhteen. Hitsausautomaatti suunnitellaan valmistamaan maksimissaan 1600 millimetrin pituisia teräpakkoja, koska tästä pidempien teräpakkamallien valmistusvolyymit ovat marginaalisia. Lisäksi tästä pidempien teräpakkojen hitsaaminen automaattisesti kasvattaisi hitsausautomaatin korkeutta suhteettomasti, koska jo seuraava pidempi teräpakkamalli on lähes 400 millimetriä pidempi (Salmi, 2010).

Terälappumallien osalta automaatin käsiteltäväksi suunnitellaan ainoastaan kaikkein yleisin malli (KUVA 3). Terälappujen materiaalivahvuus rajataan 6 - 16 millimetriin, josta todennäköisesti automaattisesti hitsataan valmistusvolyymiltaan yleisimpiä 8 – 10 mm ainevahvuudeltaan olevia terälappuja (Salmi, 2010).

Koska käytössä on vielä kahta teräputkimallia neliö ja pyöreä, rajattiin niistäkin vähemmän käytetty neliömalli automatisoinnin ulkopuolelle. Lisäksi neliöputkimallin hitsaaminen manuaalisesti on nopeampaa ja täten halvempaa, kuin pyöreän putkimallin (Salmi, 2010).

1.3 Vaihtoehtojen vertailu

Ensimmäinen valinta oli tehtävä valmiin robotin ja itse suunnitellun hitsausautomaatin välillä. Robotti katsottiin kuitenkin kalliiksi investoinniksi pelkästään tätä käyttötarkoitusta varten. Lisäksi yksi robotti ei välttämättä pystyisi suorittamaan sekä hitsausta että terälappujen paikalleen ladontaa, tai ainakin se hidastaisi prosessia merkittävästi. Robotin täytyisi jatkuvasti vaihtaa työkalua hitsauspolttimen ja tarttujan välillä. Tästä syystä päädyttiin suunnittelemaan hitsausautomaatti itse.

Toinen selvitettävä asia oli ryhdytäänkö hitsausautomaattia suunnittelemaan vaa- ka- vai pystysuuntaiseksi. Pystysuunnassa toimivan automaatin etuihin voidaan lukea sillä valmistettujen teräpakkojen parempi mittatarkkuus. Tämä johtuu siitä,

että teräpakkaa pystysuunnassa hitsattaessa jää teräputken kokonaiskutistuma pienemmäksi, kuin vaakasuunnassa hitsattaessa (Hyrkäs, 2010).

Kun neliöputkisen teräpakan hitsaus oli rajattu pois ja päädytty hitsaamaan pystyasennossa, oli luonnollinen valinta pyörittää teräputkea. Tällöin hitsauspoltin pysyi paikallaan hitsauksen aikana ja hitsattavan kappaleen pyöritys aikaan saisi hitsin kuljetusliikkeen. Hitsauksen kuljetusnopeutta voitaisiin säädellä yksinkertaisesti teräputken pyörimisnopeutta muuttamalla.

Pyöreää teräputkea on halkaisijaltaan kahta eri kokoa: 101,6 mm ja 139,7 mm. Näistä molemmat koot kuuluvat volyymituotteisiin. Tästä johtuen on hitsausautomaattikin suunniteltava toimimaan molemmilla teräputken halkaisijoilla.

1.4 Mikä on seulakauha?

Seulakauha on kaivinkoneeseen, pyöräkuormaajaan tai muuhun työkoneeseen kiinnitettävä lisälaitte. Seulakauhaa käytetään erottelemaan eri raekoon aineksia toisistaan. Nykyään seulakauhoja on saatavana useisiin eri käyttötarkoituksiin. Kohdeyrityksenä oleva REMU Oy valmistaa ja markkinoi seulakauhoja monenlaisen aineksen käsittelyyn. (Remu Oy. [Viitattu 3.9.2010].)



KUVA 3. Seulakauha työssään. (Remu Oy. [Viitattu 3.9.2010])

1.5 Yritysesittely

Remu Oy on perustettu ST-tekniikka Oy -nimellä vuonna 1997. Alussa yritys harjoitti pääasiassa alihankintaa, mutta myös omien tuotteiden kehitys oli voimakasta. Ajan mittaan valmistusohjelmaan tulivat myös seulakauhat, seulonta-asetat ja kelluvat kaivinkoneet. Alihankinnan osuuden jäädessä vähemmälle ja omien tuotteiden markkinaosuuden lisääntyessä päätettiin kasvavan yrityksen nimi muuttua paremmin sen toimintaa kuvaavaksi. Vuonna 2009 yritys muuttikin nimensä Remu osakeyhtiöksi, joka on myös sen valmistamien tuotteiden nimi. Tässä vaiheessa alihankintatyöt jäivät kokonaan pois, yrityksen keskittyessä ainoastaan omien tuotteiden markkinointiin ja valmistukseen. (Rissanen, 2010.)

Vuoden 2009 - 2010 tilikauden liikevaihto oli yli 7 M€. Kasvua edelliseen tilikauteen verrattuna oli 11 %. Yli 80 % liikevaihdosta muodostui viennistä. Henkilöstön kokonaismäärä vuonna 2009 oli 44, joista 42 työskenteli Suomessa. Remu osakeyhtiöllä on tytäryhtiöitä USA:ssa Saksassa ja vuodesta 2010 lähtien myös Norjassa. Tärkeimpiä vientimaita ovat Ranska, USA, Ruotsi ja Englanti. (Rissanen, 2010.)

2 HITSUKSEN JA AUTOMAATION TEORIAA

Nykyään automaatio liitetään vahvasti myös hitsaavaan teollisuuteen. Tästä hyvä-
nä esimerkkinä toimivat hitsausrobotit. Tässä osuudessa käydään kuitenkin
erikseen, lyhyesti läpi hitsauksen ja automaation peruskäsitteitä.

2.1 Hitsaus

Hitsaus on osien liittämistä toisiinsa lämpöä hyväksi käyttäen. Myös puristusta
voidaan käyttää hyväksi hitsaustapahtumassa. Hitsauksen lopputuloksena liitettä-
vät kappaleet saavuttavat jatkuvan yhteyden. (SFS, 1995.) Hitsauksen lämmön-
tuottoon voidaan käyttää useita eri lähteitä, kuten kaasuliekkiä, sähköä, kitkaläm-
pöä, lasersädettä tai elektronisuihkua. Juottaminen eroaa hitsauksesta siten, että
työlämpötila on hitsausta matalampi ja vain juote on sulassa tilassa. (Lukkari 2002,
16, 21.)

MAG-hitsaus, jota tässä opinnäytetyössä käsiteltävä hitsausautomaatti tulee hyö-
dyntämään, on metallikaasukaarihitsaus, jossa lämpö syntyy sähkövirran avulla
tuotettavalla valokaarella. Valokaaren sulattamaan perusaineeseen syötetään li-
sääainelankaa moottoroidulla langansyöttölaitteella. Valokaari palaa suojakaasun
ympäröimänä. Suojakaasu on aktiivista, eli se reagoi hitsisulan kanssa. Aktiivisena
suojakaasuna käytetään usein argonin ja hiilidioksidin seosta. Lyhenne MAG tulee
englanninkielisistä sanoista *Metal-arc Active Gas*. (Lukkari 2002, 159.)

2.2 Automaatio

Automaatiolla tarkoitetaan yleisesti itsestään toimivaa laitetta, tai järjestelmää.
Tuotantoautomaatiosta puhuttaessa voidaan se jakaa vielä prosessi- ja koneau-

tomaatioon. Sanaa mekatroniikka käytetään usein puhuttaessa koneautomaatiosta. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2002, 9.)

Automaatiolaitteita ohjataan useimmiten PLC:llä (*Programmable Logic Control*), vaikka PC-pohjaiset ohjaukset ovatkin yleistymään päin (Keinänen ym. 2002, 12-13).

Logiikkaohjauksen edeltäjänä voidaan pitää releohjausta. Releohjaus vaatii paljon johdotusta ohjelmitavaan logiikkaan verrattuna. (Keinänen ym. 2002, 241.) Muita heikkouksia ovat työläs ohjelman muuttaminen ja mekaanisten kosketinkärkien kuluminen.

3 TYÖN TOTEUTUS

Suunnittelun mallinnus, liiketarkastelut ja piirustusten tuotto toteutettiin Solid Edge V19 3D -suunnitteluohjelmistolla. Joitakin valmistettavien osien mitoituksia työpiirustuksissa voidaan kuitenkin joutua vielä toteutusvaiheessa muuttamaan. Tämä johtuu siitä, että ostokomponentteja ei tiukan aikataulun vuoksi ehditty kilpailuttamaan. Lopulliset mitoitukset tehdään komponenttitoimittajien ja komponenttien varmistuttua.

3.1 Toimintaperiaate

Hitsausautomaatin toimintaperiaate luonnosteltiin seuraavanlaiseksi: Terälaput ladotaan käsin plasmaleikkauksen jälkeen pinoon pyörillä varustettuun kuljetusvaunuun, joka voidaan lukita hitsausautomaatin yhteyteen tarkasti paikoilleen.

Lineaarijohteilla liikkuva terälappuhissi noutaa alipainetarttujan avulla yhden terälapun kerrallaan. Terälappuhissi kuljettaa terälapun ylärajalleen ja suorittaa sivuttaissiirron, jolloin terälappu riippuu suoraan teräputken ja terälapun paikoittajan yläpuolella. Tämän jälkeen terälapun paikoittaja ajetaan terälappuun kiinni ja tarttuja vapautetaan. Terälappu lukitaan terälapun paikoittajaan kiinni paineilmatoimisten kiinnittimien avulla.

Seuraavaksi terälappuhissi aloittaa uuden terälapun hakemisen. Kun terälappuhissi on väistynyt pois tieltä, laskeutuu samoilla lineaarijohteilla terälapun paikoittajan kanssa liikkuva yläkeskitin tukemaan teräputkea yläpäätä. Samaan aikaan terälapun paikoittaja liikkuu alaspäin kohti sille määritellyä paikkaa.

Terälapun paikoittajan saavuttua oikeaan asemaansa, siirretään kaksi vastakkaisilla puolilla olevaa hitsauspoltinta oikealle hitsausetäisyydelle. Seuraavaksi mo-

lemmat hitsauspolttimet suorittavat silloitushitsin. Tämän jälkeen paineilmakiinnittimet avataan ja terälappua kannattelevat luistit vedetään taka-asemiinsa.

Sorvipakkaan kiinnitetty teräputki aloittaa pyörimisen servomoottorin pyörittämänä ja terälapun hitsaus teräputkeen alkaa. Hitsauksen loputtua, eli teräputken pyörähdettyä 180°, vedetään hitsauspolttimet taka-asemaansa ja paikoituslevy aloittaa uuden terälapun haun.

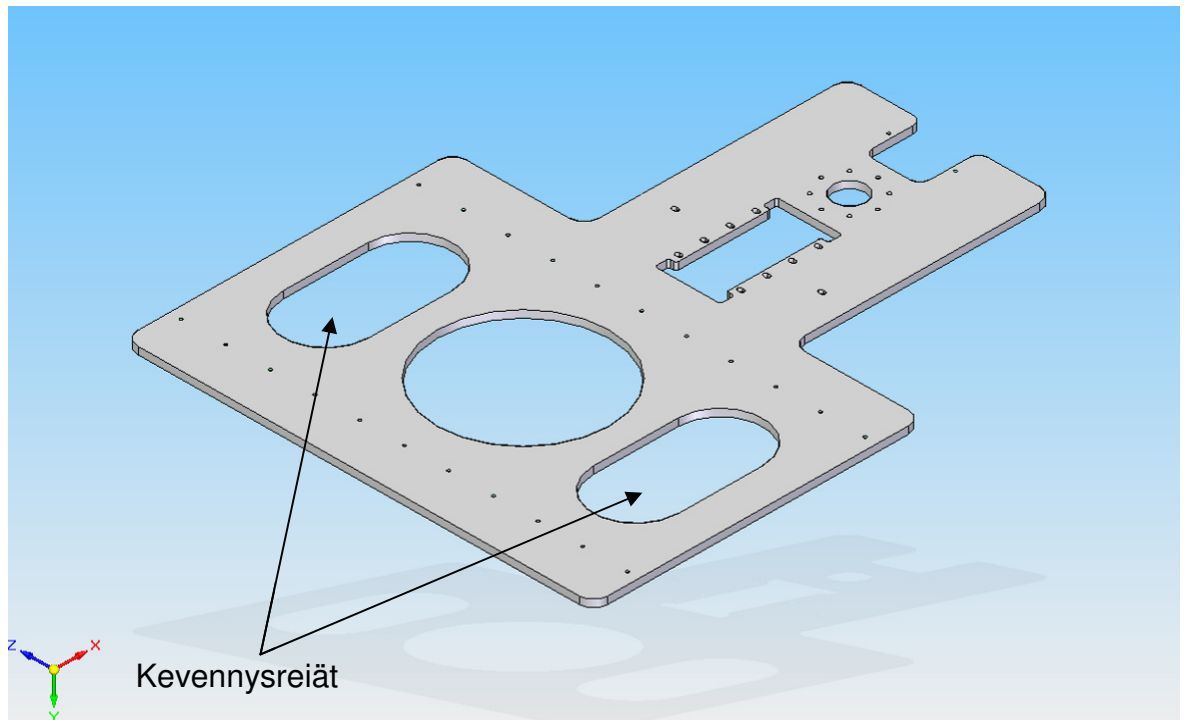
Samaan aikaan myös yläkeskitin irrottaa otteensa teräputkesta ja liikkuu ylärajalleen. Tällä aikaa terälappuhissi on hakenut uuden terälapun ja tekee sivuttaissiirtonsa heti yläkeskitimen väistyttyä. Tätä kiertoa jatketaan siihen saakka, kun kaikki terälaput on hitsattu.

3.2 Terälapun paikoittaja

Suunnittelu aloitettiin osakokoonpanosta, joka nimettiin terälapun paikoittajaksi. Tämän osakokoonpanon suunnittelu arvioitiin kaikkein haastavimmaksi, koska se sisältää useita liikkuvia osia. Lisäksi itse paikoituslevyn täytyisi liikkua pystysuunnassa vähintään 0,05 mm:n tarkkuudella teräputken suhteen.

3.2.1 Runkolevy

Terälapun paikoittajan runkolevyn ainevahvuudeksi suunniteltiin 16 mm riittävän jäykkyyden saavuttamiseksi. Lisäksi runkolevyn alapuolelle hitsattaisiin pystysuuntaiset jäykistelevyt, joiden ainevahvuus olisi 8 mm. Kun runkolevy leikataan laserleikkurilla, syntyy siihen samassa vaiheessa tarvittavat aukot toiminnallisuutta ja kevennystä ajatellen.



KUVA 4. Terälapun paikoittajan runkolevy.

3.2.2 Teränpidinluisti

Terälapun paikoittaja sisältää kaksi vastakkain liikkuvaa teränpidinluistia. Teränpidinluisti sisältää muotoon leikatun 10 mm vahvan teräslevyn, johon kiinnittyvät kaksi kappaletta paineilmatoimisia kiinnittimiä, kovapalat sekä terälapunpidätinkiekkö.

Paineilmakiinnittimien valinnassa oli kaksi vaihtoehtoista tuotemerkkiä, Destaco ja Spinea Oy:n maahantuoma Ganter. Valinnassa päädyttiin Ganter-merkkiseen paineilmakiinnittimeen, koska sen rakenteellinen korkeus oli matalampi ja aukeamiskulma suurempi. Suurta aukeamiskulmaa tarvitaan, jotta terälappu pääsisi laskeutumaan vapaasti suoraan ylhäältä päin.

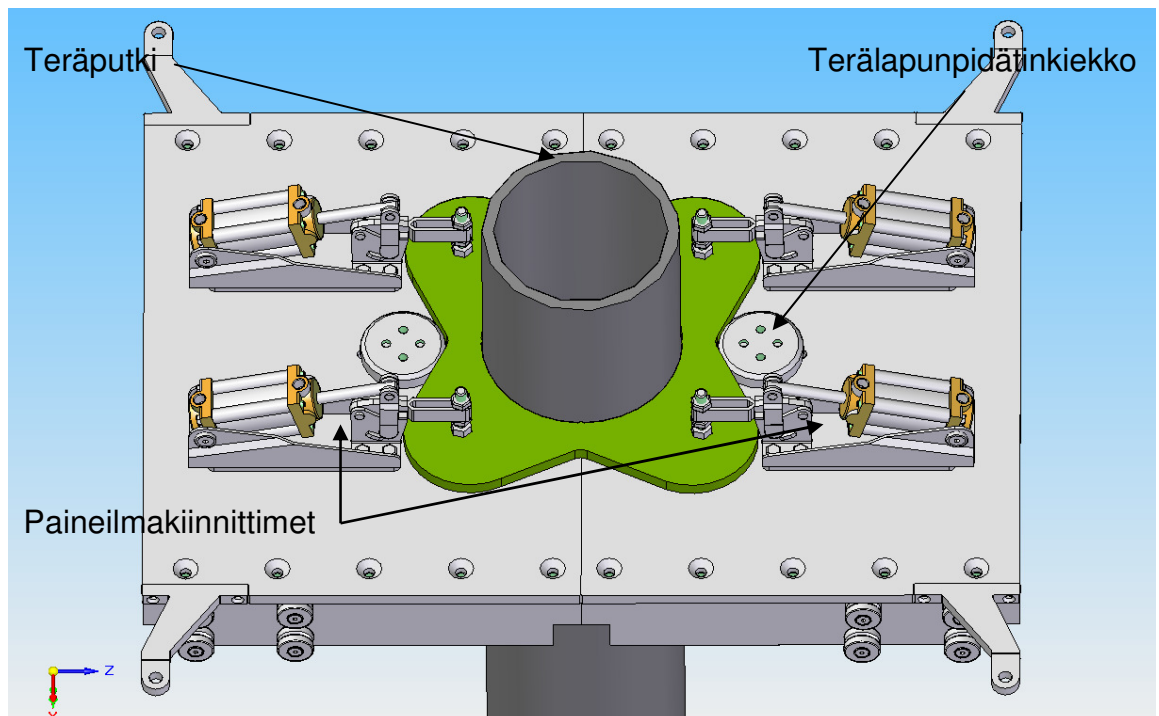
Terälapunpidätinkiekköön tehtävänä on varmistaa, että terälappu asemoituu aina tarkasti samaan kulmaan teräputkeen nähden. Tämä tapahtuu siten, että terälapunpidätinkiekköt liikkuvat teränpidinluistien mukana vastakkain ja painuvat täten terälapun lapojen välistä kulmaa vasten. Koska terälappu on tässä vaiheessa pujoitettu teräputken ympärille, ei sillä ole muuta liikevaihtoehtoa, kuin pyörähtää te-

räputken suhteen, jos se on tarpeen. Pyörimisliike lakkaa, kun terälapunpidätin-kiekko koskettaa terälapun molempien lapojen seinämää.

Kovapalat ovat osia, joiden päälle terälappu asettuu irrotessaan tarttujasta. Kova-palat valmistetaan sorvaamalla ja ne kiinnitetään ruuvilla.

Terälaput ovat kulutusterästä, jonka kovuus on vähintään 500HB Brinell-asteikolla (Perälä, 2010). Osien nopean kulumisen estämiseksi on terälapunpidätinkiekot ja kovapalat karkaistava vähintään tähän, tai mielellään suurempaan kovuuteen.

Teränpidinluistit liikkuvat lineaarijohteen varassa. Johdepyörät on sijoitettu mah-dollisimman taakse, jotta ne eivät liikkuisi alueella, joka on alttiina hitsausroiskeille. Teränpidinluisteja liikutetaan karamoottoreilla. Toinen vaihtoehto lineaariliikkeen toteuttamiseen olisi ollut paineilmasylinteri. Karamoottoreihin kuitenkin päädyttiin, koska liikkeen toiminnallisuus vaatii väliaseman ja karamoottorilla sen toteutus on tarkempaa.



KUVA 5. Vastakkain ajetuilla teränpidinluisteilla kuljetetaan terälappua teräputken ympärillä kohti oikeaa asemaansa.

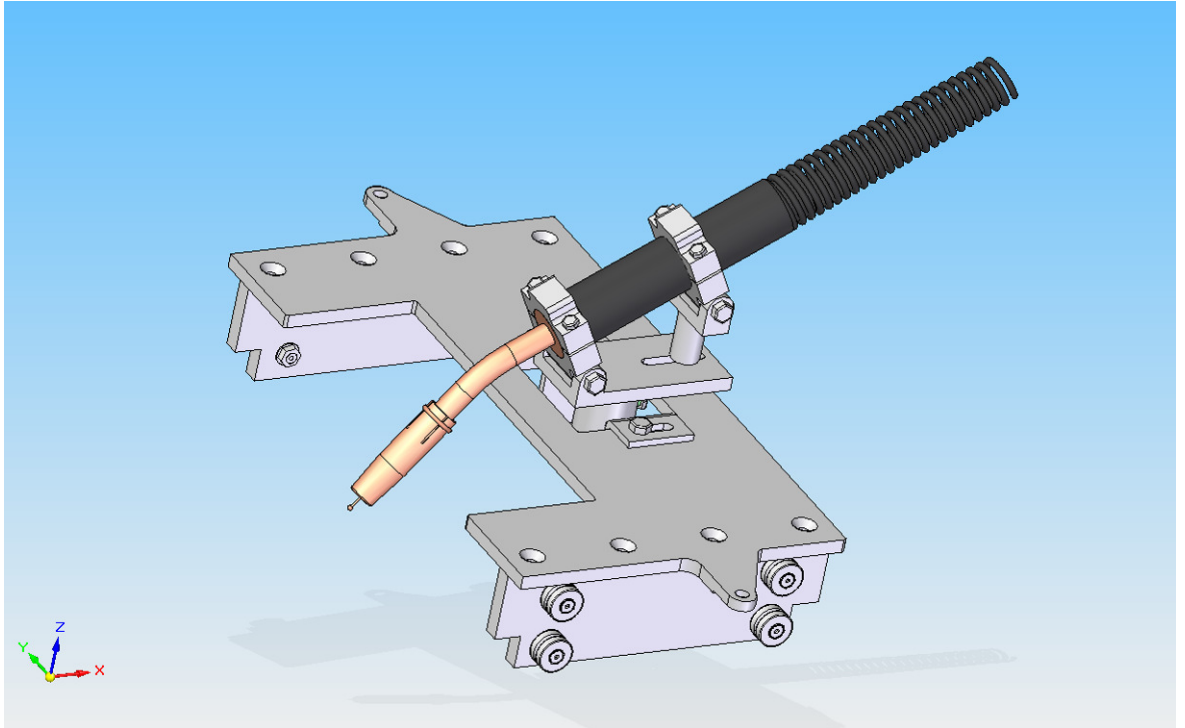
3.2.3 Hitsauspolttimen liikeluisti

Hitsauspolttimen liikeluistin tehtävänä on siirtää hitsauspolttimet hitsausetäisyydelle teräputken ja terälapun yhteenhitsauksen ajaksi. Vastaavasti ne ajetaan taka-asemaansa silloin, kun seuraavaa terälappua asemoidaan teränpidinluistin kannateltavaksi. Hitsauspolttimien liikuteltavuus on välttämätöntä, sillä kiinteästi hitsausetäisyydelle asemoidut hitsauspolttimet estäisivät terälapun asemoinnin teränpidinluistin varaan.

Hitsauspolttimien liikeluisteihin on suunniteltu kiinnitykset automaattihitsauspolttimia silmälläpitäen. Hitsauspolttimien kiinnitykseen on järjestetty riittävä määrä säätömahdollisuuksia, jotta niitä voidaan säätää eri terälapun vahvuuksien ja teräputken halkaisijan mukaan optimaaliseen hitsauksen kuljetusasentoon.

Hitsauspolttimien liikeluistien levyt ovat myös laserleikattua 10 mm:n teräslevyä ja niitä ajetaan lineaarijohdekiskoilla. Johdepyörien sijoittelu ei ole nyt niin tarkkaa, kuin teränpidinluistien kohdalla, koska hitsauspolttimen liikeluistit ovat toisiaan vasten ajettuina hitsauksen aikana. Tämän johdosta johdekiskon alue, jossa johdepyörät liikkuvat, on suojattuna hitsausroiskeilta.

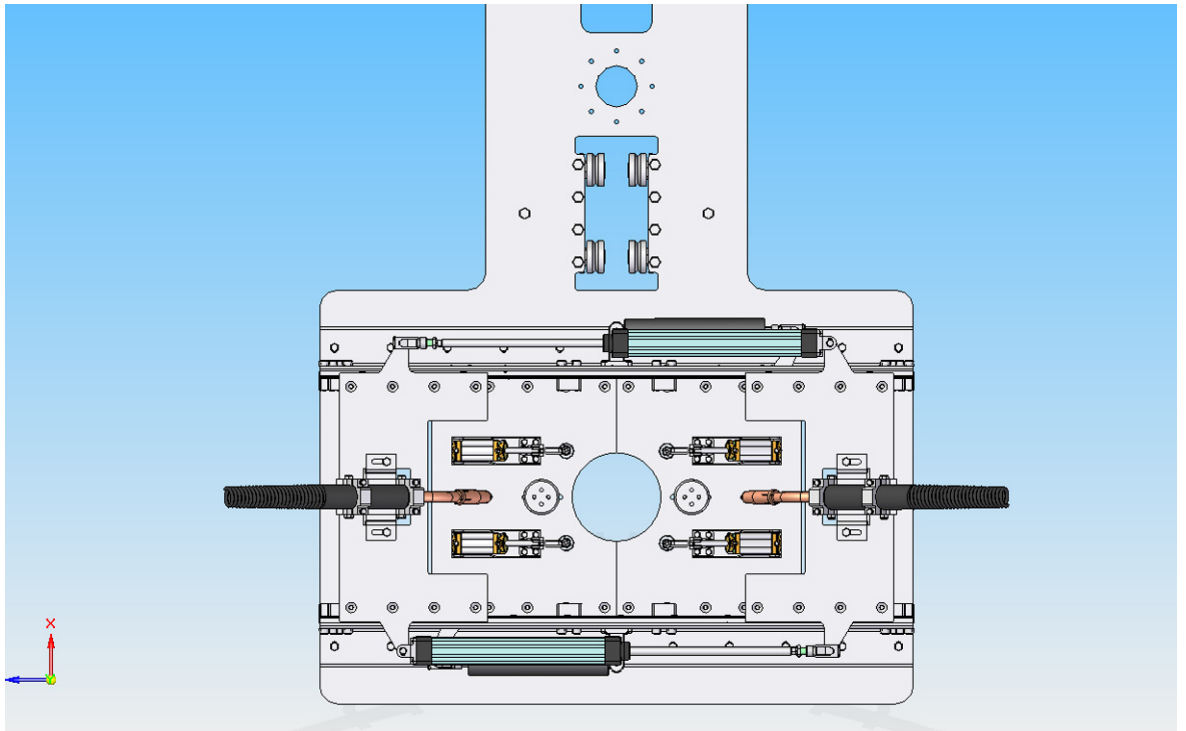
Lineaariliike toteutetaan kahdella paineilmasyylinterillä, jotka toisesta päästään kiinnitetään ensimmäiseen hitsauspolttimen liikeluistiin. Paineilmasyylinterien toiset päät kiinnitetään vastaavasti toiseen hitsauspolttimen liikeluistiin. Tämän kaltainen mekaniikka vaatii liikkeen rajoittimet sekä takarajoilleen että keskelle. Tällä tavoin voidaan varmistua siitä, että vastakkain ajettut hitsauspolttimen liikeluistit asettuvat aina niiden liikealueen keskelle.



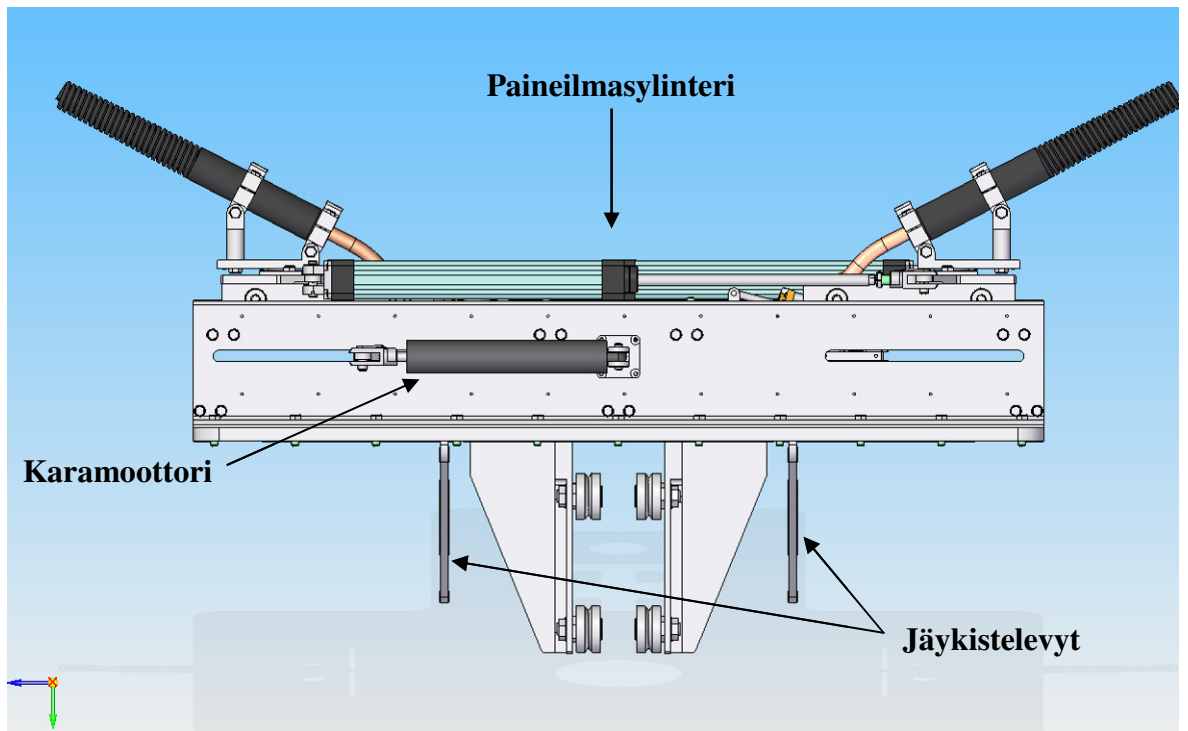
KUVA 6. Hitsauspolttimen liikeluisti, johon automaattihitsauspoltin on kiinnitettyä.

3.2.4 Terälapun paikoittajan lineaarijohteet

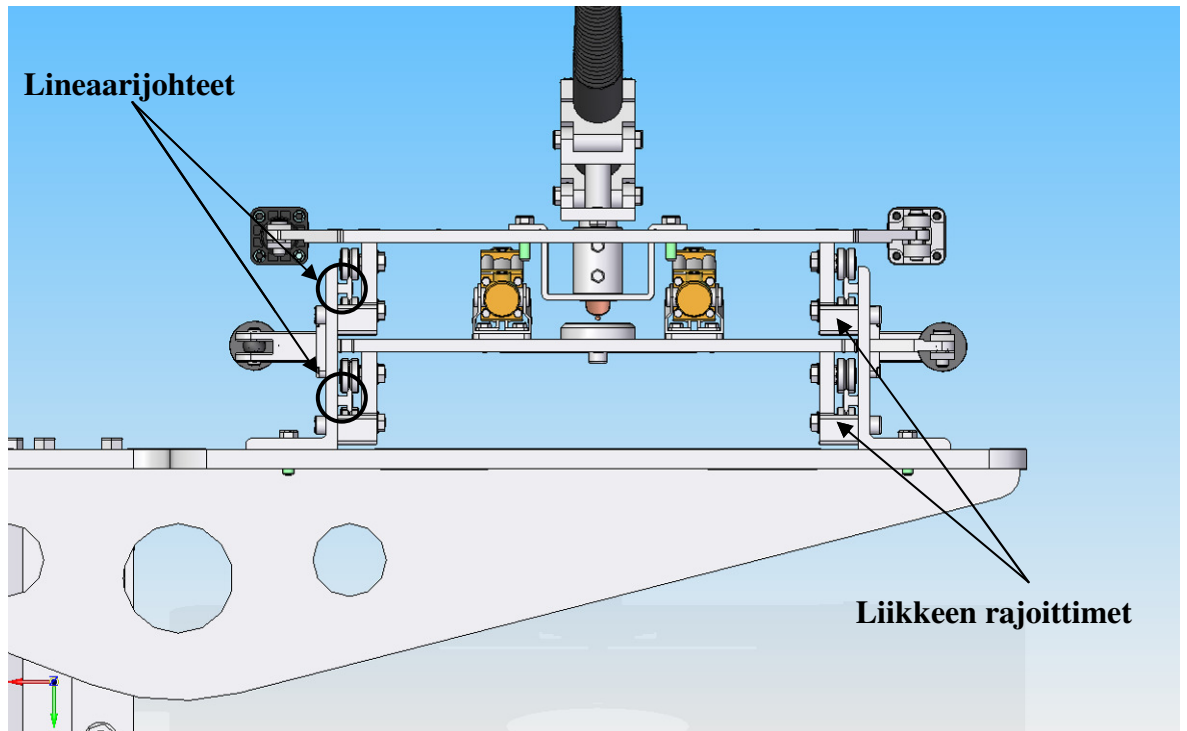
Teränpidinluistin ja hitsauspolttimen liikeluistin lineaarijohteet on kiinnitetty kahteen tasoon erikylkiseen L-tankoon. Lineaarijohteet valittiin Mekanex Oy:n tuotevalikoimasta. L-tanko 150 x 75 x 9 mm on valittu taulukkokirjasta (Valtanen 2007, 578). Johdekiskojen kiinnityspinnat oikaistaan koneistamalla. Samalla koneistetaan tarvittavat lovet karamoottoreiden kiinnittimien liikettä varten.



KUVA 7. Terälapun paikoittaja ylhäältä kuvattuna.



KUVA 8. Terälapun paikoittaja edestä kuvattuna.



KUVA 9. Terälapun paikoittaja sivulta kuvattuna.

3.3 Teräputken pyöritysliike

Kuten jo aiemmin todettiin, on hitsauksen kuljetusliike tarkoitus toteuttaa teräputkea pyörittämällä. Tällöin hitsauksen kuljetusnopeutta voidaan muuttaa teräputken pyörimisnopeutta säätämällä. Kuljetusnopeus voidaan laskea kehänopeuden kaavalla (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2005, 92)

$$v = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r, \quad (1)$$

jossa	v	on	kehänopeus
	n	on	pyörimisnopeus
	r	on	säde.

Kun tiedetään, että säde on puolet halkaisijasta ja halutaan laskea esimerkiksi pyörimisnopeus teräputkella, jonka halkaisija on 139,7 mm ja haluttu hitsin kuljetusnopeus on 75 cm/min, muotoillaan kaava seuraavalla tavalla (Mäkelä ym. 2005 18)

$$\frac{0,75m}{\pi \cdot 0,1397m} = 1,7 \frac{1}{\text{min}} \quad (2)$$

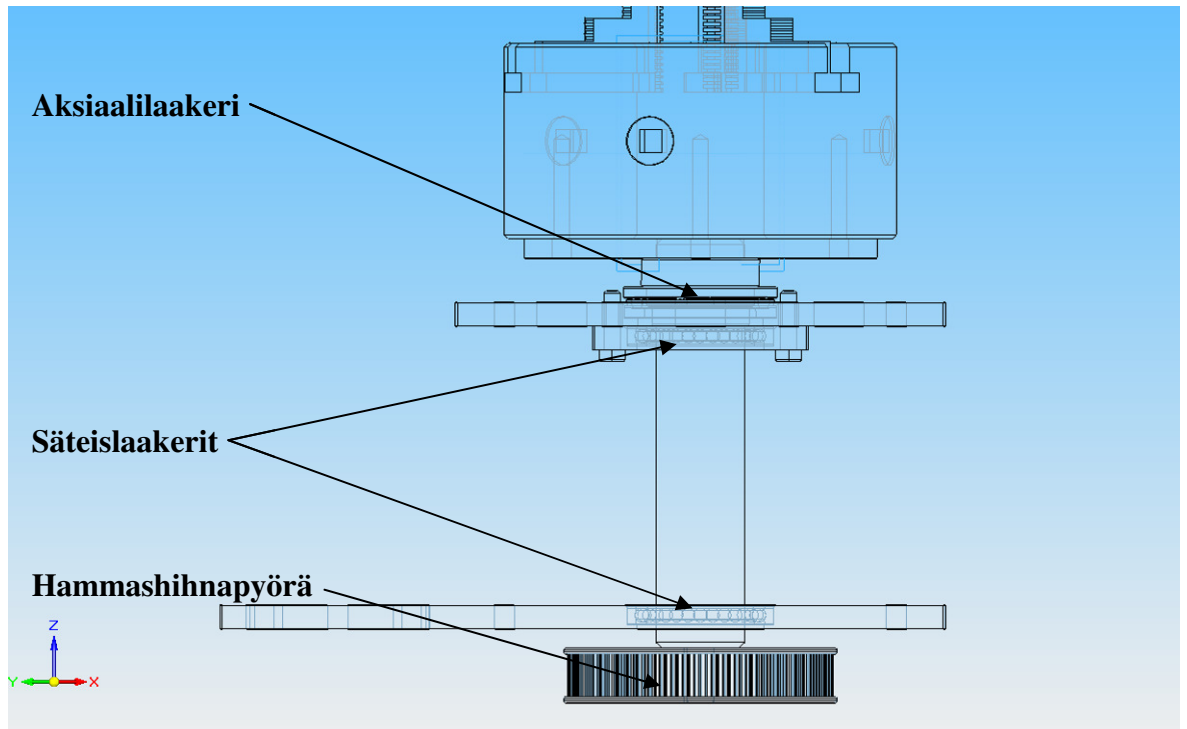
Aluksi pyörimisliike ajateltiin toteuttaa valmiilla, hitsaukseen tarkoitettulla pyörytyslaitteella. Valmiiden laitteistojen rakenteellinen korkeus on kuitenkin niin suuri, että se olisi kasvattanut hitsausautomaatin kokonaiskorkeutta yli puolella metrillä. Lisäksi valmiin pyörytyslaitteen nopeuden säätö olisi ollut hankalampi toteuttaa, kuin servomoottorin kytkentä ohjelmitavaan logiikkaan (Opas, 2010). Tämän vuoksi teräputken pyörimisliike päätettiin toteuttaa servomoottorilla. Tällöin logiikkaan voidaan ohjelmoida valmiita parametreja, kuten erilaisia teräputken halkaisijoita ja kuljetusnopeuksia. Logiikka voidaan ohjelmoida kaavan (2) mukaan laskemaan kulloinkin tarvittava servomoottorin pyörimisnopeus. Tällöin on kuitenkin vielä huomioitava servomoottorin ja teräputkea pyörittävän akselin välinen välityssuhde.

3.3.1 Pyörytyslaitteen runkorakenne, laakerointi ja tehonsiirto

Teräputken kiinnitykseen pyörytyslaitteeseen käytetään 200 mm halkaisijaltaan olevaa kolmieleukaista sorvipakkaa. Sorvipakka kiinnitetään ruuviliitoksella levyyn, joka on hitsattu akseliin. Akselin toiseen päähän on kiinnitetty hammashihnapyörä. Akseli laakeroidaan runkorakenteeseen kahdella säteis- ja yhdellä aksiaalivoimia vastaanottavalla urakuulalaakerilla (KUVA 10). Aksiaalilaakerointi on tärkeä, koska teräpakan paino voi nousta yli kahteensataan kiloon (Perälä, 2010). Lisäksi akselin suuntaista kuormitusta lisää sorvipakan paino ja yläkeskittimen puristusvoima.

Runko valmistetaan 50 x 50 x 5 mm:n neliöputkipalkista hitsaamalla. Rungon alaosa valmistetaan lattatangoista, joihin porataan reiät pulttikiinnitystä varten. Laakeripesät koneistetaan kiinnityslevyihin.

Tehonsiirtoon servomoottorilta pyörytyslaitteen akselille käytetään hammashihnaa. Hammashihna servokäytössä on yleisesti käytetty ratkaisu, koska sillä on hyvä hyötysuhde, se ei synnytä jättämää, eikä se vaadi jälkikiristystä. (Konaflex Oy [Viitattu 19.9.2010].)



KUVA 10. Pyörityslaitteen laakeroinnin periaate.

3.3.2 Pyörityslaitteen servomoottorin mitoitus

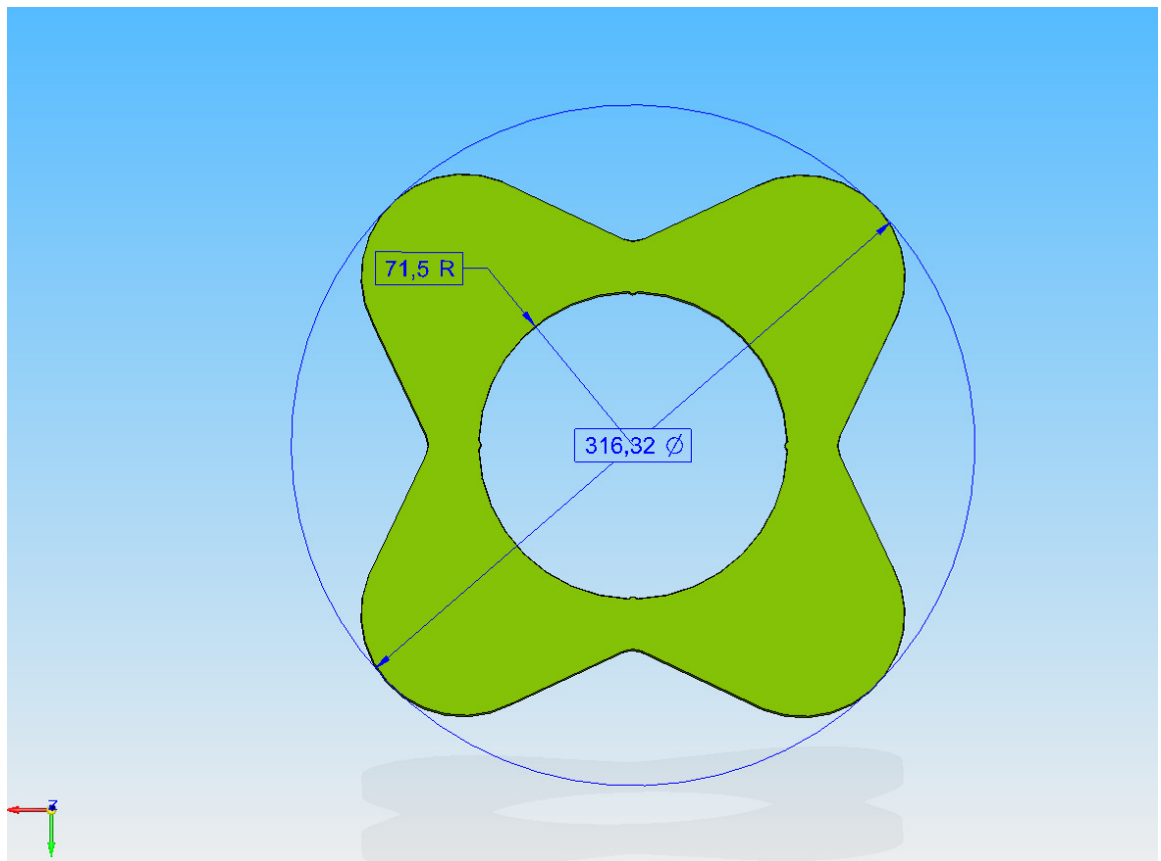
Servomoottorin mitoituksessa on otettava huomioon useita eri seikkoja ja lopullisen tuloksen saavuttaminen johtaakin yleensä siirtofunktion ja Laplace-muunnoksen käyttöön (Lehtonen [Viitattu 20.9.2010]). Koska tiedossa ei suunnitteluvaiheessa ollut esimerkiksi servomoottorin todellisia kiihdytys-, jarrutus- ja vakionopeusaikoja, on tämä mitoituslaskelma lähinnä suuntaa antava.

Akselia pyörittävän servomoottorin alustavaa tehon tarvetta määritettäessä oli ensin laskettava sen pyörittämän massan hitausmomentti. Terälapun geometriaa vastaavaa (KUVA 2) hitausmomentin kaavaa ei taulukkokirjoista löydy. Tämän vuoksi vaihtoehdoiksi jäi joko laskennallisesti määrittää terälapun massakeskipiste, tai käyttää arvioitua massakeskipistettä. Terälapun vaikeahkon geometrian vuoksi massakeskipisteen laskennallinen määrittäminen osoittautui haastavaksi ja hitaaksi menetelmäksi. Sen vuoksi laskentaa päätettiin yksinkertaistaa ja laskea yksittäiselle terälapulle hitausmomentti käyttäen rengasmaisen sylinterin kaavaa (Hautala & Peltonen 2005, 64, 315)

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r^2 + R^2), \quad (3)$$

jossa	J	on	hitausmomentti
	m	on	massa
	r	on	pienempi säde
	R	on	suurempi säde.

Ulomman kehan säteeksi määriteltiin ympyrän säde, jonka sisään terälappu juuri mahtuu. Tätä periaatetta noudattamalla sijoitettiin kaavaan (3) suurimman terälappumallin 3D-ohjelmasta saadut säteet 52 mm ja 158 mm sekä punnittu paino 2,7 kg, jolloin yhden terälapun hitausmomentiksi saatiin 0,0407 Nm. Tämä laskentatapa antaa todennäköisesti todellisuutta hieman suuremman tuloksen. Tästä ei kuitenkaan koidu merkittävää haittaa, sillä se johtaa vain teholtaan hieman suuremman servomotoorin valintaan.



KUVA 11. Terälapun säteiden määrittäminen hitausmomentin laskentaa varten.

Seuraavaksi yhden terälapun hitausmomentti kerrottiin koko teräpakan terälappujen määrällä. Laskennassa käytettiin terälappujen määrä, joka on suurimmillaan, kun käytössä on pienin valmistusohjelmassa oleva terälappujen etäisyys toisiinsa nähden, eli 20 mm. Tällöin pisimmän teräpakkamallin terälappujen määräksi saatiin 52 kappaletta. Näin ollen terälappujen hitausmomenttien maksimisummaksi saatiin $52 \times 0,047 \text{ Nm} = 2,1164 \text{ Nm}$.

Koska tarkasteltavana oli koko pyörivän massan hitausmomentti, täytyi vielä määrittää teräputken, sorvipakan ja pyörityslaitteen akselin hitausmomentti. Teräputki on ontto, sylinterimäinen kappale. Sen hitausmomentin laskentaan voitiin käyttää samaa kaava (3), kuin teräpakan laskentaan. Teräputken punnittu massa oli 41,5 kg, halkaisijat R_1 123,7 ja R_2 139,7. Näillä arvoilla laskien teräputken hitausmomentti oli 0,7215 Nm.

Sorvipakan laskennalliseksi massaksi saatiin 25 kg ja kaavalla (3) laskien 200mm:n sorvipakan hitausmomentti oli 0,1233Nm.

Pyörityslaitteen akselin laskennalliseksi massaksi saatiin 3 kg. Koska akseli ei ole ontto kappale, täytyi sen hitausmomentin laskentaan käyttää kiinteän sylinterin hitausmomentin kaavaa (Hautala & Peltonen 2005, 64)

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 , \quad (4)$$

jossa	J	on	hitausmomentti
	m	on	massa
	r	on	säde.

Kun kaavaan sijoitetaan akselin säde 22,5 mm ja laskennallinen massa 3 kg, saadaan pyörityslaitteen akselin hitausmomentiksi 0,0008 Nm.

Koko pyörivän massan hitausmomentti saadaan, kun lasketaan kaikkien edellä mainittujen hitausmomenttien summa: $2,1164 \text{ Nm} + 0,7215 \text{ Nm} + 0,1233 \text{ Nm} + 0,0008 \text{ Nm} = 2,9629 \text{ Nm}$.

Lopullisen tehontarpeen määrittämiseksi täytyi vielä, laskea kiihdytykseen tarvittava momentin komponentti. Tämä tarkoittaa voimaa, joka tarvitaan, että tavoiteltu pyörimisnopeuden muutos saavutetaan halutussa aikajaksossa. Kyseinen momentin komponentti voidaan laskea kaavalla (Lehtonen [Viitattu 20.9.2010])

$$T_{dyn} = J \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t}, \quad (5)$$

jossa	T_{dyn}	on	momentin dynaaminen komponentti
	J	on	kuorman hitausmomentti
	Δn	on	pyörimisnopeuden muutos
	Δt	on	muutos aika.

Kun kaavaan (5) sijoitetaan kokonaishitausmomentti 2,9629 Nm, pyörimisnopeuden muutos 6 - 0 1/min ja muutos aika 0,01 s, saadaan lopulliseksi momentin tarpeeksi 189 Nm. Pyörimisnopeuden muutos tarkoittaa käytännössä, että teräpakan pyörimisnopeus nostetaan nolosta kuuteen kierrokseen minuutissa, jolloin hitsauksen kuljetusnopeus kaavan (1) mukaan on 2,63 m/min, eli vähintäänkin riittävä. Koska on kyse hitsausprosessista, jossa tasainen kuljetusnopeus on yksi hitsausaman laadun edellytys, on kiihdytysaika haluttu pitää mahdollisimman lyhyenä. Siksi mitoituslaskelmassa on käytetty muutos aikana sekunnin sadasosaa.

Tehon tarve voitiin nyt laskea kaavalla (Lehtonen [Viitattu 20.9.2010])

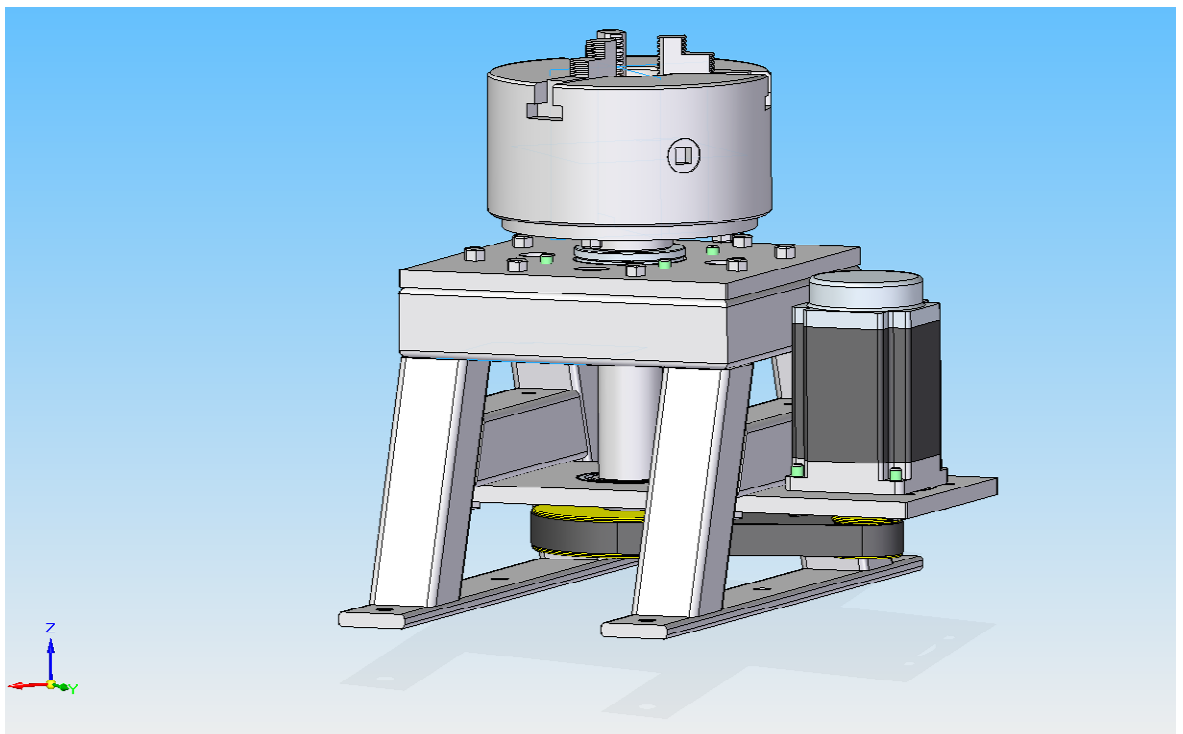
$$P = \frac{T \cdot n}{9550}, \quad (6)$$

jossa	P	on	teho
	T	on	momentti
	n	on	pyörimisnopeus.

Sijoittamalla kaavaan luvut 189 Nm ja 6 1/min saadaan tehoksi 0,119 kW. Kun laskettu tehon arvo vielä jaetaan hammashihnan hyötysuhteella, joka on noin 0,95

saadaan lopulliseksi servomootorin tehontarpeeksi 0,125kW (Konaflex Oy [Viitattu 19.9.2010]).

Servomootorin ja käytettävän akselin välistä välityssuhdetta ei tässä laskelmassa ole otettu huomioon. Alentavaa välityssuhdetta tullaan todennäköisesti käyttämään pyörityslaitteen akselin pyörimisnopeuden laskemiseen ja momentin lisäämiseen.



KUVA 12. Pyörityslaitteen kokoonpano.

3.4 Yläkeskitin

Kun teräputki alapäästään on kiinnitetty sorvipakkaan, tarvitsee se tuennan myös yläpäästään, jotta teräputki pyörisi tarkasti akselinsa ympäri. Tähän tarkoitukseen suunniteltiin yläkeskitin. Yläkeskitimen toimintaperiaate on samantyyppinen, kuin sorvin kärkipylkässä.

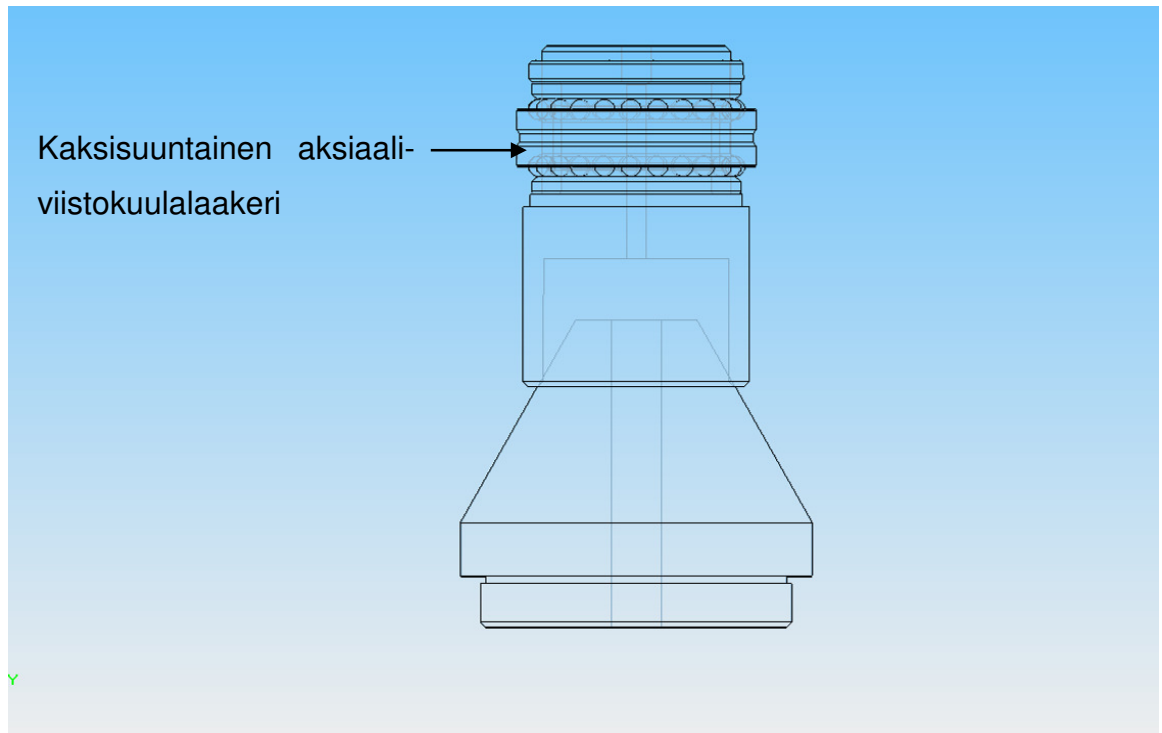
3.4.1 Keskitinkartio ja keskitinkuppi

Keskitinkartio on teräputken yläpäähän sen kiinnitysvaiheessa asetettava osa. Sillä on kaksi tehtävää, varmistaa terälappun sujuva kuljetus teräputken ympärille ja toimia vastakappaleena keskitinkupille. Keskitinkartioita suunniteltiin sorvaamalla valmistettavaksi molemmille teräputkiko'oilte omansa. Keskitinkartion läpi suunniteltiin vielä porattavaksi reikä, jonka käyttötarkoitukseen palataan myöhemmin.

Keskitinkuppi on yläkeskittimeen laakeroitu, nimensä mukaan kuppimainen sovitekappale. Painautuessaan keskitinkartiota vasten se vakauttaa teräputken pyörimisliikkeen. Myös keskitinkupissa on läpireikä, johon voidaan kierteellä kiinnittää pyörivään käyttöön tarkoitettu paineilimäliitin. Tämä ratkaisu mahdollistaisi paineilman käyttämisen jäähdyttämiseen hitsaustapahtuman aikana. Jäähdytykseen saattaa olla tarvetta, sillä pitkällä teräputkella on taipumus lämmetä liiaksi yläpäästään terälappujen hitsauksen aikana. Liika lämpeneminen puolestaan aiheuttaa terälappujen välisen etäisyyden pienenemistä teräpakan jäähtyessä takaisin huoneenlämpöön (Hyrkäs, 2010).

Keskitinkupin laakeroinnissa suunniteltiin käytettäväksi yhtä kaksisuuntaista aksiaaliviistokuulalaakeria. Tämä ratkaisu ei ehkä ole kaikkein halvin, mutta sillä säästetään yksinkertainen ja kompakti laakerointiratkaisu vastaanottamaan sekä säteis- että aksiaalivoimia.

Keskitinkupin ja -kartion välisinä kosketuspintoina toimivat kartiot suunniteltiin sorvattavaksi eri kulmiin, niin että kulma keskitinkupissa olisi 45° ja keskitinkartiossa 30°. Tämä sen vuoksi, että se ehkäisisi kartioille tyypillistä yhteen pureutumista (Opas, 2010).



KUVA 13. Keskitinkartio ja -kuppi

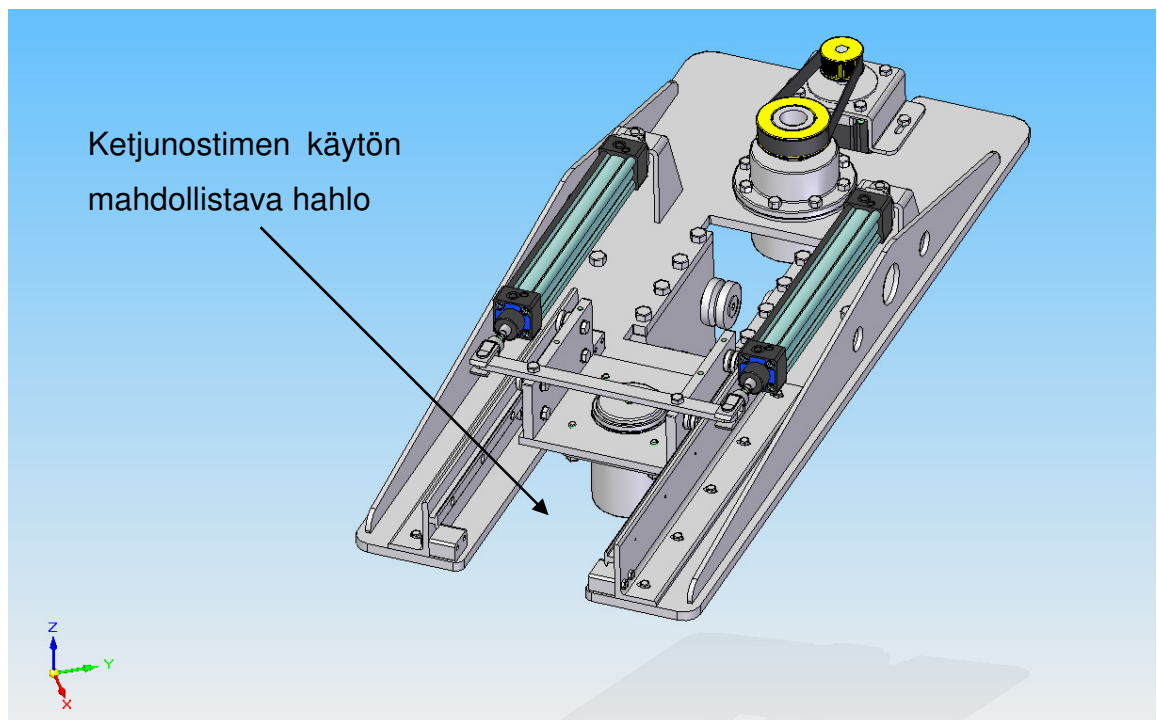
3.4.2 Yläkeskittimen runko ja keskitinpylkkä

Yläkeskittimen runkolevy on terälapunpaikoituslevyn tapaan laserilla muotoon leikattu teräslevy. Yläkeskittimen runkolevyn ainevahvuus on 12 mm ja se on varustettu yläpuolelle hitsatuilla jäykistelevyllä.

Osa, johon keskitinkupin laakerointi on kiinnitetty, nimettiin keskitinpylkkäksi. Keskitinpylkkää voidaan liikuttaa lineaarijohteita pitkin kahden paineilmasylinterin avulla. Tämän lineaariliikkeen pituus on 200 mm. Tällä järjestelyllä on mahdollistettu valmiin teräpakan poistaminen hitsausautomaatista ketjunostimen avulla. Taka-asemaansa ajettu keskitinpylkkä avaa yläkeskittimen runkolevystä hahlon, jonka kautta nostimen ketju voidaan laskea ja kiinnittää teräpakkaan. Samoin hitsauksen aloitusvaiheessa voidaan tämän hahlon mahdollistamana laskea teräputki paikoilleen pyörityslaitteen sorvipakkaan. Valmista teräpakkaa, tai edes teräputkea ei voida nostaa tai laskea tämän hahlon läpi. Kuitenkin, kun yläkeskitin ajetaan ylimpään mahdolliseen asemaansa, jää pisimmällekin suunnitellulle teräpakalle riittä-

västi tilaa nousta tarvittavat senttimetrit sorvipakan leuoista irrotakseen. Tämän jälkeen valmis teräpakka voidaankin ketjunostimen sivuttaissiirrolla kuljettaa pois.

Automaattihitsausta käynnistettäessä ajetaan keskitinpylkkä takaisin etuasemaansa, jolloin se on aksiaalisesti samalla linjalla kuin pyörityslaitteen sorvipakkakin. Näin ollen se voi jälleen hoitaa varsinaista tehtäväänsä, eli teräputken yläpään keskittämistä.



KUVA 14. Yläkeskitin, jossa keskitinpylkkä on ajettu taka-asemaansa.

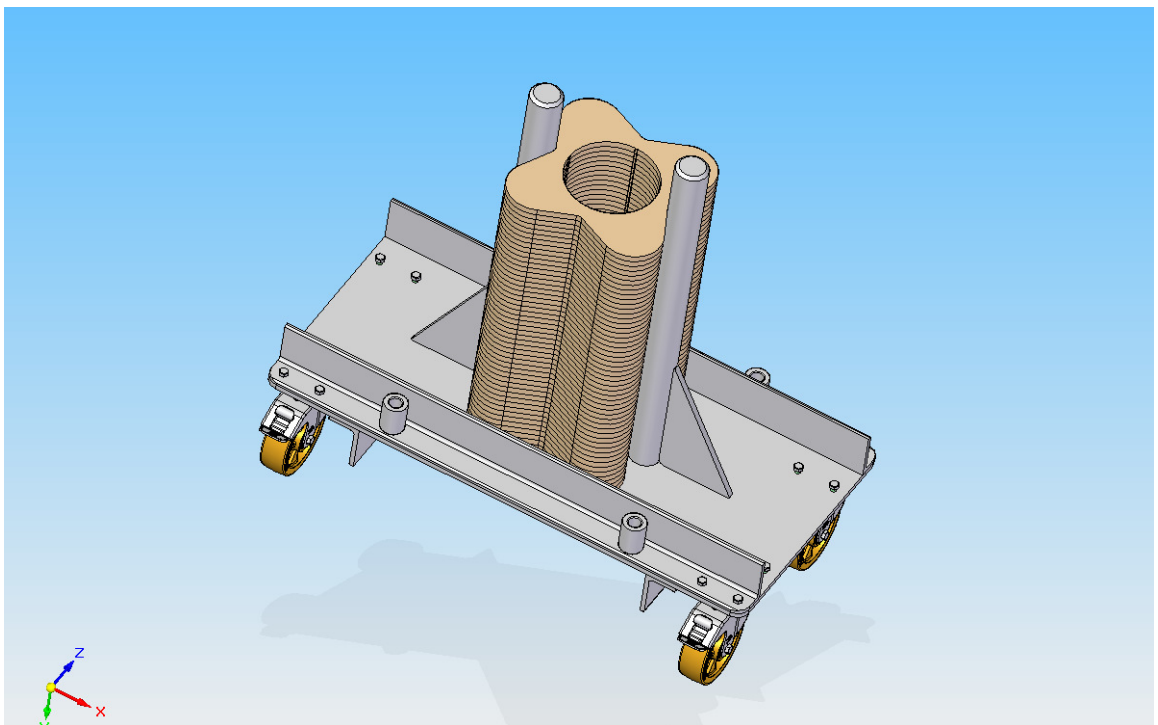
3.5 Terälappuvaunu

Terälappuvaunu on pyörillä varustettu teline, johon terälaput voidaan latoa suoraan plasmaleikkauksesta. Tällä järjestelyllä saavutetaan se etu, että terälappuja ei tarvitse manuaalisesti käsitellä kuin kerran levyn leikkauksen ja teräpakan valmiiksi hitsauksen välillä. Terälappuvaunu on suunniteltu niin, että sitä voidaan tarvittaessa, siirtää myös trukilla.

Terälappuvaunuun pystysuuntaisesti hitsattujen, kahden pyörötangon tehtävänä on ohjata päällekkäin ladotut terälaput suoraan pinoon. Toinen tehtävä on ohjata

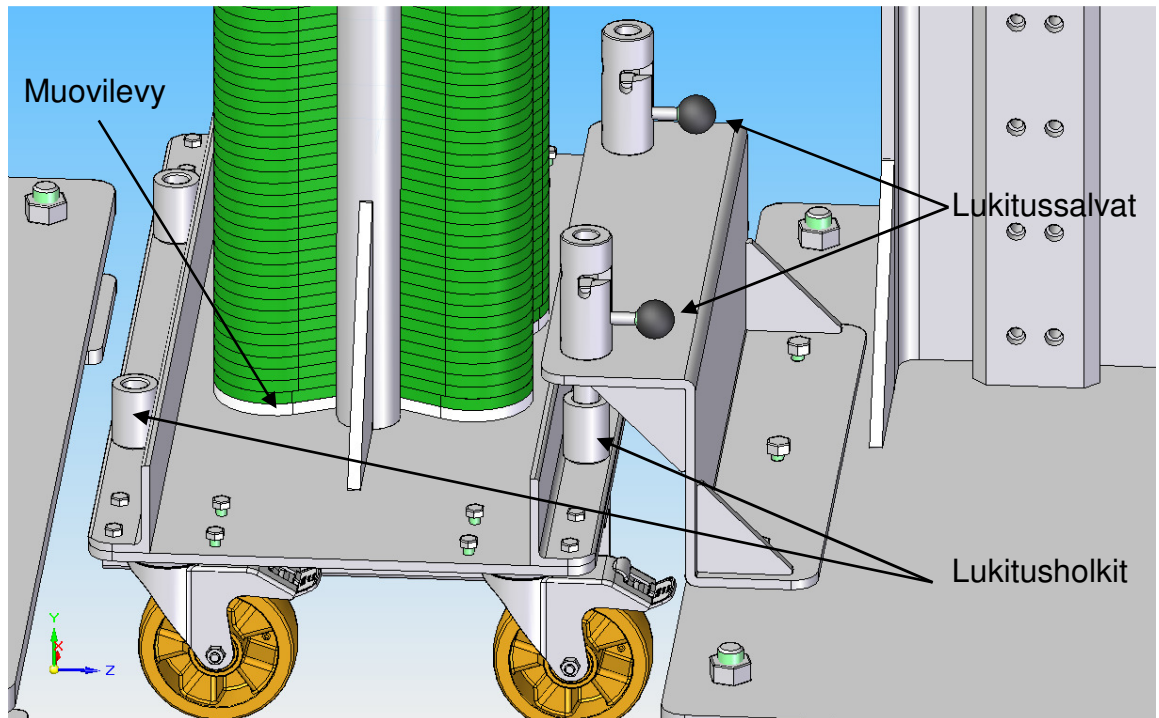
pinossa olevat terälaput niin, että niiden lavat ovat riittävällä tarkkuudella samansuuntaisesti ja oikeassa asemassa teränpidinvaunuun nähden (KUVA 15). Tämä on tärkeää siksi, että teränpidinluisteissa sijaitsevat terälapunpidätinpidinkiekot eivät pysty korjaamaan, kuin arviolta kymmenen asteen kulmapoikkeaman terälapun oikean aseman suhteen.

Terälappuvaunun pohjalle voidaan asentaa muovilevy (KUVA 16). Tällöin voidaan tutkia esimerkiksi induktiivisella anturilla onko vaunu jo tyhjentynyt tarttujan tullessa noutamaan uutta terälappua.



KUVA 15. Täyteen ladattu terälappuvaunu.

Terälappuvaunun lukitus hitsausautomaatin yhteyteen hoidetaan kahdella, kiviäärin lukkoa muistuttavalla lukitussalvalla. Lukitusholkit ja lukitussalvat valmistetaan sorvaamalla ja koneistamalla. Lukitusholkkeja sijaitsee molemmilla puolilla terälappuvaunuja symmetrisesti. Tällöin vaunu voidaan asettaa paikoilleen kummin päin tahansa.



KUVA 16. Terälappuvaunun lukitus hitsausautomaatin yhteyteen.

3.6 Terälappuhissi

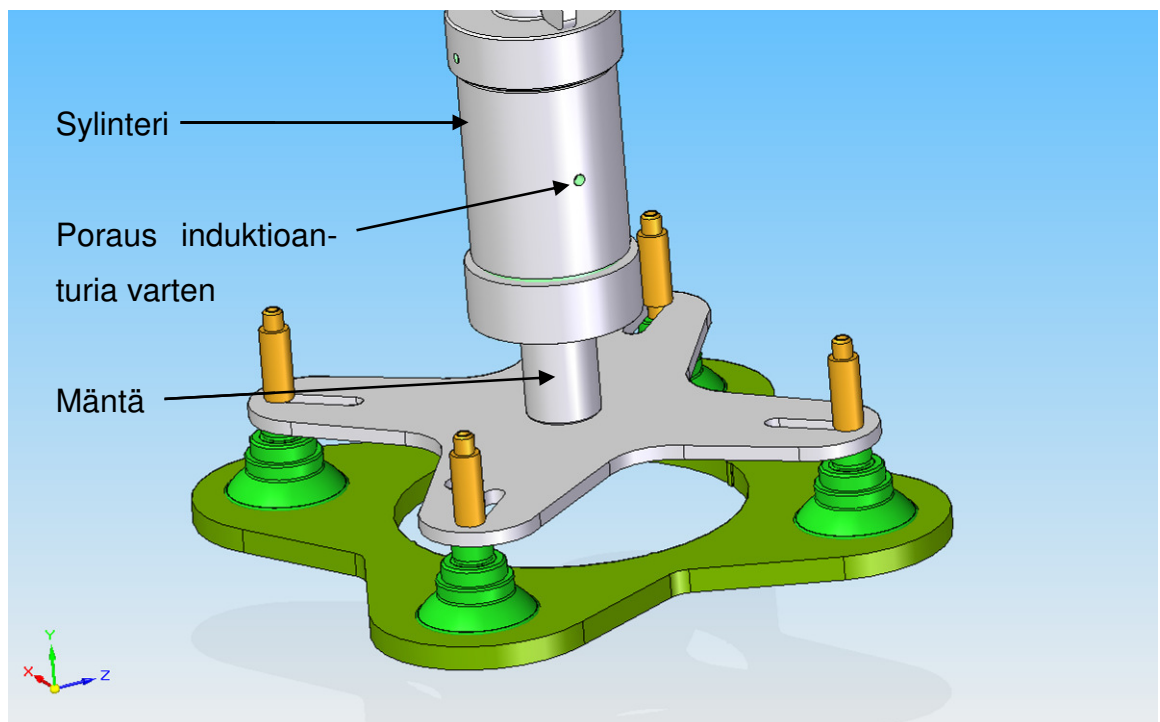
Terälappuhissin tehtävänä on noutaa terälappuvaunusta terälappuja terälappunpaikoittajan käsiteltäväksi yksi kerrallaan. Jotta tämä olisi mahdollista, on terälappuhissin liikuttava sekä pysty- että vaakasuunnassa. Pystysuuntaista liikettä käsitellään myöhemmin, koska kaikki tämän kaltaiset, tässä hitsausautomaatissa esiintyvät liikkeet, on suunniteltu toteutettavaksi samalla tavalla. Sivuttaissiirto on suunniteltu toteutettavaksi paineilmasylinterin ja teleskooppilineaarijohteen avulla.

3.6.1 Tarrain

Terälappuun tarraimena käytetään neljää, noin 50 mm halkaisijaltaan olevaa imukuppia ejektoreineen. Imukuppien asemaa tarrainlevyssä voidaan säätää keskipisteen suhteen. Tämä mahdollistaa sen, että samaa tarrainta voidaan käyttää erikoisten terälappujen siirtämiseen. Tarrainlevyyn on lisätty reikä mahdollisen induktiivisen anturin käyttöä ajatellen, Anturoinnin tehtävänä on viestittää ohjelmoitavalle logiikalle onko terälappuja vielä noudettavissa, vai onko vaunu tyhjä.

Terälappuhissin pystysuuntaisella liikkeellä ei ole vakioasemaa alarajalla, koska hissin on pysähdyttävä aina eri asemaan terälappupinon pienentyessä, tai terälappujen ainevahvuuden muuttuessa. Tämä ongelma olisi ollut ehkä ratkaistavissa ohjelmoitavan logiikan ja servo- tai askelmoottorin avulla. Tässä tapauksessa ongelma kuitenkin ratkaistiin niin, että tarrain riippuu sylinteri-mäntäyhdistelmän varassa. Männen pyöriminen sylinterin suhteen on estetty kiilalla ja kiilauralla. Pyörimisen estäminen on välttämätöntä, jottei terälappu asetu edellä kerrotulla tavalla väärään kulmaan teränpidinluistien suhteen.

Kun tarrainten imukupit koskettavat terälappupinon pintaa, terälappuhissin edelleen liikuessa alaspäin, alkaa mäntä liukua sylinterin sisään. Tämä liike voidaan havaita sylinteriin koneistettuun reikään kiinnitettävällä induktioanturilla, joka edelleen antaa logiikalle käskyn pysäyttää terälappuhissin liikkeen. Ratkaisu mahdollistaa myös oikosulkumoottorin käytön terälappuhissin käyttövoimana ja on täten esimerkiksi servomoottoria huomattavasti halvempi ratkaisu. Tämän tyyppinen anturointiratkaisu ei kuitenkaan sulje pois servo- tai askelmoottorin käyttö mahdollisuutta. (Opas, 2010.)

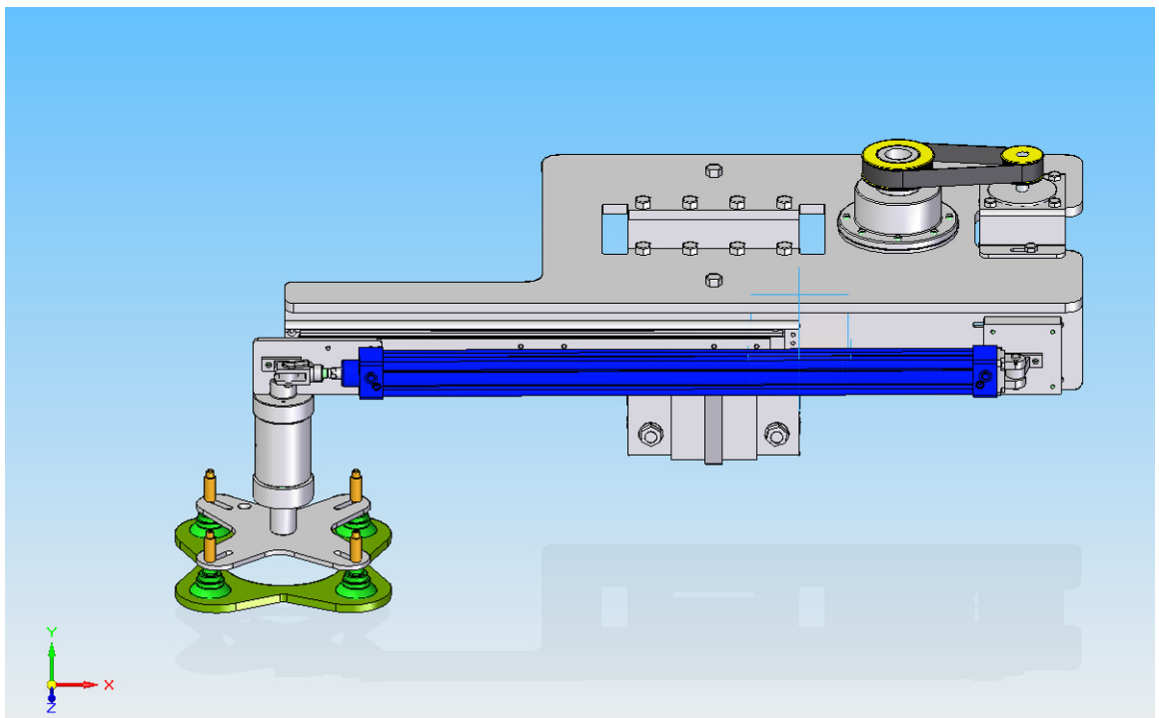


KUVA 17. Tarraimen mäntä-sylinterirakenne.

3.6.2 Tarraimen sivuttaissiirto

Kuten aiemmin mainittiin, sivuttaissiirron aikaansaamiseksi käytetään paineilmasylinteriä. Paineilmasylinteri on iskunpituudeltaan 650 mm ja päätyvaimennettu. Päätyvaimennuksen lisäksi voidaan käyttää vastusvastaventtiileitä liikkeiden pehmentämiseksi. Lisäksi sylinteri on varustettu reedkytkimillä, joiden avulla sen päätyrajat voidaan tunnistaa ja syöttää saatu paikkatieto ohjelmoitavaan logiikkaan (Keinänen ym. 2002, 185).

Terälappun ja tarraimen painoa kannattelemaan käytetään teleskooppilinearijohdetta. Alustavasti johteeksi valittiin Movetec Oy:n maahantuoma Chambrelan-merkkinen teleskooppilinearijohde. Johteen iskunpituudeksi valittiin sama, kuin paineilmasylinterinkin, eli 650 mm. Kantavuutta kyseiselle kiskolle valmistaja ilmoittaa täysin avattuna 45 kg, joka on vähintäänkin riittävä. Perustelu tälle väitteelle on, että terälappu jonka ainevahvuus on maksimissaan 25 mm painaa laskennallisesti 7,2 kg ja tarraimen osat arviolta muutaman kilon.



KUVA 18. Terälappuhissi

3.7 Pystysuuntaisten lineaariliikkeiden toteutus

Suunnitelman mukaan tulisi hitsausautomaatti sisältämään kolme osakokoonpanoa, joiden täytyisi liikkua lineaarisesti pystysuunnassa. Nämä osakokoonpanot ovat terälapun paikoittaja, yläkeskitin ja terälappuhissi. Terälapun paikoittajan ja yläkeskitimen täytyisi liikkua samoilla lineaarijohteilla vastakkain. Liikkeet täytyisi toteuttaa kuitenkin niin, että ne eivät olisi toisistaan riippuvaisia poislukien, että niiden törmäminen toisiinsa olisi estettävä. Terälappuhissi taas puolestaan toimisi omilla lineaarijohteillaan täysin itsenäisesti.

3.7.1 Lineaarijohteita kannattelevan palkin mitoitus ja valmistus

Aluksi terälapun paikoittajan liike ajateltiin toteuttaa kahdella paikoittajan runkolevyn vastakkaisiin nurkkiin sijoitetulla kuularuuvilla ja kahdella ohjaintangolla. Tässä vaihtoehdossa kuularuuvit olisivat kuitenkin altistuneet hitsausroiskeille todennäköisesti melko paljon. Siksi esiin nousikin vaihtoehto, jossa pystysuuntaisen I-palkin uumien pohjalle voitaisiin sijoittaa lineaarijohteet. Kuularuuvi sijoitettaisiin vastakkaiselle puolelle I-palkkia, missä hitsaus tapahtuisi. Näin sijoiteltuina hitsausroiskeille arat komponentit olisivat kohtuullisen hyvin suojattuina.

Koska terälapun paikoittaja sijaitisi nyt epäkeskeisesti sitä kannattelevan palkin suhteen, aiheuttaa terälapun paikoittajan massa palkkiin momenttikeruun. Kyseinen momentti puolestaan pyrkii taivuttamaan palkkia. Taipuman seurauksena terälapun keskittäjän asema teräputken suhteen muuttuu ja hitsausautomaatin tarkkuus kärsii. Jotta voitaisiin määrittää mikä standardikokoinen palkki olisi optimaalinen valinta, täytyi ensin määrittää suurin taipuma, joka palkille sallittaisiin. Taipuman laskentaan on käytettävä suurinta voimaa, joka sitä tulee kuormittamaan. Sallitulle taipumalle arvioitiin suurimmaksi arvoksi 0,5 mm ja palkin pituus mallinnuksen perusteella täytyisi olla 2800 mm.

Taipumaa laskettaessa täytyi ensin määrittää palkkia kuormittama momentti. Momentti voidaan laskea kaavalla (Hautala & Peltonen, 62)

$$M = F \cdot r, \quad (7)$$

jossa	M	on	momentti
	F	on	voima
	r	on	voiman varsi

Voimana tässä tapauksessa käytetään terälapun keskittäjän massaa ja voiman vartena arvioidun massakeskipisteen ja palkin keskiviivan välistä etäisyyttä. Varren mitta voitiin tarkastaa mallinnuksesta ja se oli 500 mm. Voiman määrittämiseen täytyi ensin laskea palkkia kuormittava massa (TAULUKKO 1).

TAULUKKO 1. Momentin laskemiseksi laadittu taulukko.

Nimike	Paino
Paikoituslevy	68,4kg
Teränpidäinlevyt	23,0kg
Hitsauspolttimen luistit	13,5kg
Luistien palkit 8kpl	21,1kg
Muut metalliosat (arvio)	10,0kg
Sylinterit 4kpl (arvio)	20,0kg
Paineilmakiinnittimet 4kpl (arvio)	10,0kg
Hitsauspolttimet 2kpl (arvio)	10,0kg
Yläkeskitinlevy	13,6kg
Jäykisteet	3,4kg
Keskitinpylkkä (arvio)	7kg
Kulmatanko (2m)	30,6kg
Yht.	231kg

Laskennassa huomioitiin terälapun paikoittajan osien lisäksi myös yläkeskitimen osat, koska yläkeskitin on myös kuormittamassa laskennan kohteena olevaa palkkia.

Kuormittava voima voitiin nyt laskea gravitaatiovoiman kaavalla (Hautala & Peltonen, 30)

$$G = m \cdot g , \quad (8)$$

jossa G on gravitaatiovoima
 m on massa
 g on gravitaatiovakio.

Kaavaan (8) sijoittamalla saadaan voima $231 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 2266,1 \text{ N}$. Palkkia taivuttava momentti saatiin sijoittamalla kaavaan (7) edellä laskettu voima ja varren mitta $2266,1 \text{ N} \times 500 \text{ mm} = 1133055 \text{ Nmm}$.

Palkin taipumaa tarkasteltaessa täytyi selvittää sen neliö-, eli jäyhyysmomentti. Jäyhyysmomentti on lujuusopin termi, joka kuvaa poikkileikkaukseltaan määrätyn muotoisen, tasalaatuisen kappaleen kykyä vastustaa taipumaa poikkileikkaustasolla määrätyn akselin suhteen. Lisäksi täytyi tietää käytettävän materiaalin kimmokerroin, joka on eräänlainen verrannollisuuskerroin. Kimmokerroin on myös

materiaalikohtainen vakio. Teräksellä kimmokerroin on 210 Gpa. (Karhunen ym. 1992, 90-94, 23, 517.)

Taipuman laskentaa varten laadittiin laskentataulukko, johon luetteloiitiin eri kokoisia palkkeja jäyhyysmomentteineen taulukkokirjasta. Sen jälkeen laskentataulukkoon laadittiin kaava, joka laskee valitun palkin taipumaa. Momenttikerroin voidaan laskea kaavalla (Mäkelä ym. 2005, 148)

$$y_{\max} = \frac{M \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot I}, \quad (9)$$

jossa	y_{\max}	on	maksimi taipuma
	M	on	momentti
	l	on	pituus
	E	on	kimmokerroin
	I	on	jäyhyysmomentti.

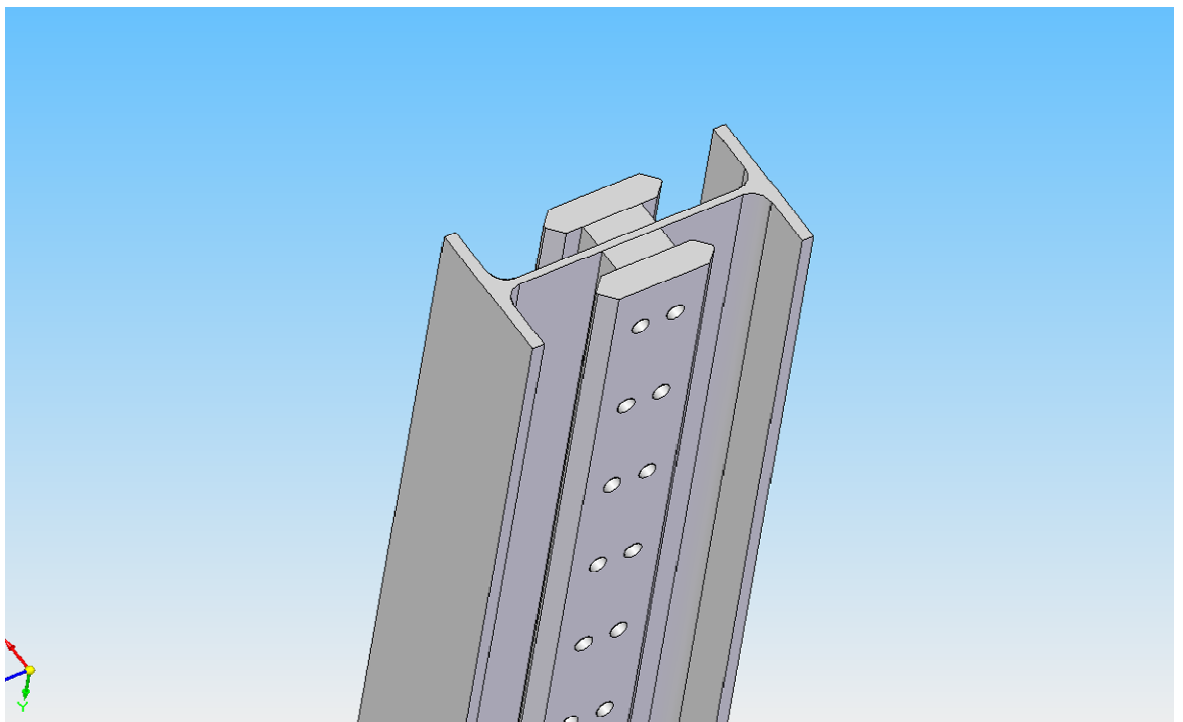
TAULUKKO 2. Palkkien jäyhyysmomentteja taulukoituna.
(Valtanen 2007, 570-571)

I- palkit				IPE- palkit			
nro.	h	b	$I_x [10^6 \text{mm}^4]$	nro.	h	b	$I_x [10^6 \text{mm}^4]$
1	140	66	5,73	14	140	73	5,41
2	160	74	9,35	15	160	82	8,69
3	180	82	14,5	16	180	91	13,2
4	200	90	21,4	17	200	100	19,4
5	220	98	30,6	18	220	110	27,7
6	240	106	42,5	19	240	120	38,9
7	260	113	57,4	20	270	135	57,9
8	280	119	75,9	21	300	150	83,6
9	300	125	98	22	330	160	117,7
10	320	131	125,1	23	360	170	162,7
11	340	137	157	24	400	180	231,3
12	360	143	196,1	25	450	190	337,4
13	380	149	240,1	26	500	200	482

Kun laskenta oli automatisoitu, voitiin jäyhyysmomenttia kuvaavaan soluun syöttää taulukon 2 mukaisia jäyhyysmomentin arvoja ja palkin pituutta muutella. Palkin pituudeksi asetettiin 2650 mm, joka saatiin mallinnetusta kokoonpanosta, silloin kun yläkeskitinlevy ja terälapun paikoittaja ovat toiminnallisesti ylimmässä asennossaan.

Valinnassa päädyttiin IPE-palkkiin, koska se leveämpänä suojaa paremmin lineaarijohteita ja kuularuuvia. Tavoitteeksi asetettu maksimitaipuma alitettiin, kun taulukoon syötettiin 240 x 120 IPE-palkin jäyhyysmomentti. Taipuma tuolloin oli 0,49 mm, eli juuri alle tavoitteeksi asetetun puolen millimetrin rajan.

IPE-palkki valmistellaan käyttötarkoitukseensa sopivaksi katkaisemalla se ensiksi mittaan 2800 mm. Seuraavaksi IPE-palkin uuman pohjalle, molemmin puolin kiinnitetään vuorohitsein 20 x 50 mm lattatanko lappeelleen. Lattatanko on ennen kiinnitystä porattu ja kierteitetty lineaarijohteiden kiinnitystä silmälläpitäen. Lopuksi lattatankojen pinnasta koneistetaan ohut oikaisulastu, jotta hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset saadaan oikaistuksi ja lineaarijohteille riittävän tasomaiset kiinnityspinnat.



KUVA 19. 240 x 120 mm:n IPE-palkki, johon lineaarijohteet kiinnitettyinä.

3.7.2 Liikkeen toteutus

Hitsausautomaatin pystysuuntaiset lineaariliikkeet ovat suhteellisen pitkiä 2650 mm ja liikutettava massa on noin 200 kg. Lisäksi liikkeiltä vaaditaan kohtuullista tarkkuutta, joka on 0,05 mm:n suuruusluokkaa. Tällöin ainoiksi vakavasti otetta-

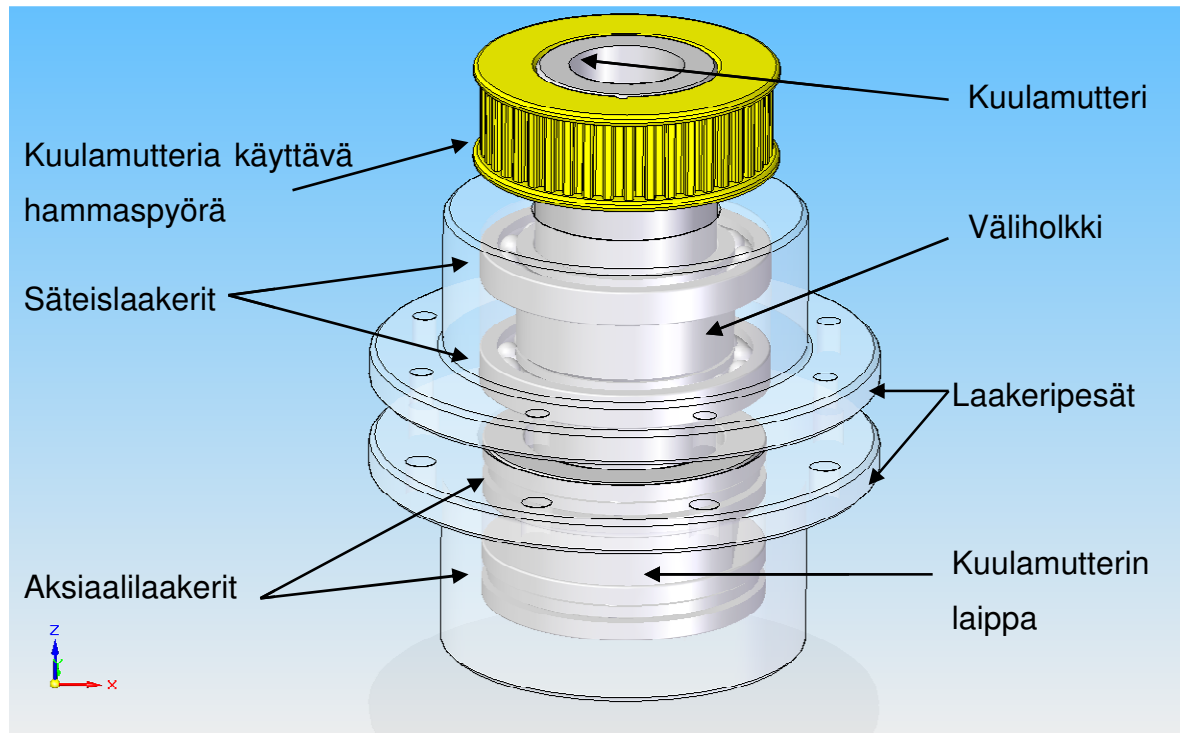
vaksi vaihtoehtoiksi liikkeen toteutukselle jää lineaariservomootorit, tai liikeruuvit (Keinänen ym. 2002, 141-144). Lineaariservomootorilla nämä kaikki vaatimukset kyllä olisivat täytettävissä, mutta rajoittavaksi tekijäksi jäi hinta. Liikeruuveista taas karsiutui pois trapetsiruuvi huonon hyötysuhteensa ja epätarkkuutensa vuoksi (Mekanex Oy [Viitattu 11.8.2010]). Näin ollen vaihtoehdoksi jäi kuularuuvi.

Usein kuularuuvia käytetään vaakasuuntaisen lineaariliikkeen toteutukseen, kuten esimerkiksi työstökoneissa. Nyt kuitenkin olisi tarkoitus toteuttaa kuularuuvilla pystysuuntainen lineaariliike. Lisäksi erikoisuutena voidaan pitää suunniteltua toteutustapaa, jossa kuularuuvin sijaan onkin tarkoitus pyörittää kuulamutteria. Kuulamutterin pyöryksellä saavutetaan joitakin etuja, vaikkakin se kustannuksiltaan tulee hieman kalliimmaksi perinteiseen toteutustapaan verrattuna.

Ensimmäiseksi eduksi voidaan lukea, että terälappun paikoitinta ja yläkeskitintä voidaan käyttää yhdellä kuularuuvilla ja kahdella kuulamutterilla, jolloin rakenteesta saadaan yksinkertaisempi. Toiseksi eduksi voidaan lukea, että pyöritettävien massojen hitausmomentit jäävät pienemmiksi. (Opas, 2010.)

Tämä ratkaisu vaati kuularuuvin pyörähtämisen estämistä. Tämä toteutettiin lukitseamalla kuularuuvi molemmista päistään kiilaliitoksella. Lisäksi se vaati kuulamuttereilta aksiaalista laakerointia, koska niiden oli otettava vastaan terälappun paikoittajan ja yläkeskitimen massan aiheuttama aksiaalivoima. Lisäksi niiden oli otettava vastaan yläsuuntaan liikkeessä olevien massojen jarrutuksien aiheuttamat hitausvoimat, jotka rasittavat laakerointia toiseen suuntaan aksiaalisesti. Kuulamutterin hammashihnakäyttö tulisi aiheuttamaan myös jonkin verran säteiskuormaa laakeroinnille.

Edellä mainitut seikan huomioon ottaen suunniteltiin kuulamutterien laakerointi toteutettavaksi kahdella aksiaalilaakerilla ja kahdella säteisurakuulalaakerilla (KUVA 19). Kuulamutterin laippa on aksiaalisuunnassa lukittu aksiaalilaakereiden väliin, jolloin se voi ottaa vastaan aksiaalivoimia molemmista suunnista. Väliholkin erottamat säteislaakerit puolestaan ottavat vastaan säteisvoimat, joita hammashihnavälitys aiheuttaa. Laakeripesät pultataan liikettä välittävän runkolevyn molemmin puolin.



KUVA 20. Kuulamutterin laakerointi.

3.7.3 Kuularuuvien mitoitus ja valinta

Kuularuuvien valinnassa yllättävän haastavaksi osoittautui löytää valmistaja, jonka valmistusohjelmassa on riittävän pitkiä kuulamuttereita edellä kuvatun laakeroinnin toteuttamiseksi. Movetec oy:n maahantuoman Hiwin-tuotemerkin valikoimista kuitenkin löytyi kuulamutteri, jonka kokonaispituus oli riittävä kyseisen laakeroinnin toteuttamiseen.

Koska kuularuuvi on pitkä, suhteellisen kapea ja pystysuunnassa voimia vastaanottava kappale, on se altis nurjahdukselle (Karhunen ym. 2006, 411). Siksi mitoitusta helpottamaan laadittiin jälleen laskentataulukko, jolla voidaan kokeilemalla helposti todeta eri halkisijaisten kuularuuvien nurjahdusvoima.

Kuormittava voima saatiin jälleen kaavalla (8), eli voiman suuruus oli 2266 N. Lisäksi nurjahdusvoiman laskentaan tarvitaan teräksen kimmokerroin, joka oli 210 Gpa ja poikkileikkaukseltaan pyöreään kappaleen jäyhyysmomentti, joka voidaan laskea kaavalla (Mäkelä ym. 2005, 145)

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \quad (10)$$

jossa I on jäyhyysmomentti
 d on halkaisija.

Laskennan kohteena olevan kuularuuvien tukemattoman välin pituus saatiin mallinuksesta ja oli 2750 mm.

Nurjahdusvoima laskettiin Eulerin toisen tapauksen kaavalla (Mäkelä ym. 2005, 142)

$$F_n = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}, \quad (11)$$

jossa F_n on nurjahdusvoima
 E on kimmokerroin
 I on jäyhyysmomentti
 l on pituus.

Kaavat (10) ja (11) rakennettiin taulukkolaskentaohjelmaan ja lisäksi huomioitiin varmuuskerroin, jona käytettiin kahta. Kuularuuvien halkaisijana käytettiin aina ruuvien pienintä halkaisijaa, joka ilmoitettiin jokaisen ruuvien kohdalla Hiwin tuoteluettelossa.

Laskentataulukkoon syötettiin ensin nimellishalkaisijaltaan 20 mm olevan kuularuuvien pienimmän halkaisijan arvo. Seuraavaksi laskentataulukkoon syötettiin seuraava, halkaisijaltaan suurempi Hiwin tuoteluettelossa oleva kuularuuvi. Näin jatkettiin kunnes löytyi halkaisija, jonka nurjahdusvoima ylitti kuormitusvoiman varmuuskerroin huomioiden. Tällöin nimellishalkaisija oli 32 mm ja kierteen nousu 10 mm.

Kriittisen pyörimisnopeuden laskentaa ei suoritettu, koska kuularuuvi ei tule olemaan pyörivässä liikkeessä. Tuoteluettelosta kuitenkin tarkastettiin kyseisen ko-

koisen kuularuuvien kriittiseksi pyörimisnopeudeksi 2000 1/min (Hiwin Technologies Corporation. [Viitattu 23.9.2010]).

Mekanex osakeyhtiön www-sivuilla olevaa laskentaohjelmaa hyödyntäen laskettiin kuularuuvien pyörimisnopeus ja tarvittava momentti liikkeen toteuttamiseen. Tarvittava momentti voidaan laskea kaavalla (Mekanex Oy. [Viitattu 25.9.2010])

$$Md = \frac{F \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_s}, \quad (12)$$

jossa	Md	on	momentti
	F	on	lineaarivoima
	p	on	kierteennousu
	η_s	on	hyötysuhde.

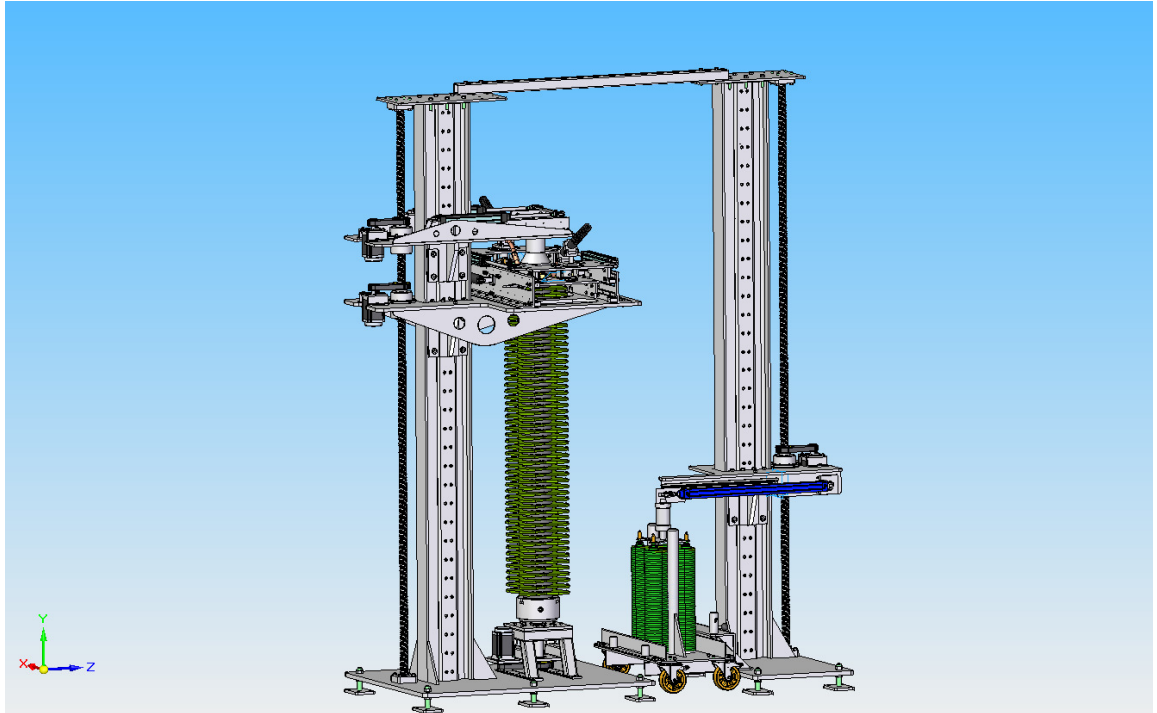
Syöttämällä laskentaohjelmaan lineaarivoimaksi 2266 N, kierteen nousuksi 10 mm hyötysuhteeksi 0,8 ja halutuksi liikenopeudeksi 300 mm/s, saatiin tarvittavaksi momentiksi 4,51 Nm. Samalla saatiin myös ruuvien pyörimisnopeus, joka oli 1800 1/min. Tällöin jäätin vielä alle kriittisen pyörimisnopeuden ja kuularuuvien valinta on tältäkin osin hyväksyttävä.

3.8 Runkorakenne

Hitsausautomaatin varsinainen runkorakenne koostuu kahdesta, ainevahvuudeltaan 20 mm laserleikatusta teräslevystä. Nämä runkolevyt asennetaan säädettävien kiinnitysalkojen varaan, jotka kiinnitetään betonilattiaan kiila-ankkureilla. Kiinnitysalkojen korkeudensäätö mahdollistaa runkolevyjen vaaitsemisen ja samaan korkoon asentamisen.

Lisäksi runkorakenteeseen voidaan lukea kaksi IPE-palkkia, joista toisen varassa liikkuu terälappun paikoittaja ja toisen terälappuhissi. Palkit kiinnitetään runkolevyihin hitsaamalla ja kiinnityksen jäykkyyttä lisätään neljällä kolmiotuella palkkia kohden. IPE-palkkien yläpäähän on suunniteltu yläkiinnityslevyt, joiden avulla palkit

voidaan yhdistää rakenteen jäykkyyden lisäämiseksi, mutta todennäköisesti se ei ole välttämätöntä. Yläkiinnityslevyt toimivat samalla kuularuuvien yläpään kiinnityspisteinä.



KUVA 21. Hitsausautomaatin pääkoonpano.

3.9 Turvallisuusnäkökohdat

Suunniteltaessa konetta sen turvallisuutta ei yleensä voida varmistaa jälkikäteen. Sen vuoksi tämänkin hitsausautomaatin käytön turvallisuutta on mietitty jo suunnitteluvaiheessa.

3.9.1 Työalueen rajaus

Hitsausautomaatin työalue rajataan käyttämällä riittävän korkeaa suojaverkkoaitaa ja hitsaussäteilyltä suojaavaa verhoa. Suojaverkkoaita varustetaan kahdella käyntiovella, joiden kautta voidaan vaihtaa terälappuvaunuja ja poistaa valmiita teräpakkoja.

3.9.2 Käyttöpaneelien sijoitus

Hitsausautomaatin pääkäyttöpaneeli sijoitetaan suojaverkkoaidan ulkopuolelle. Ohjelmoinnissa on otettava huomioon, että automaattiajaja ei voida käynnistään jommankumman tai molempien käyntiovien ollessa avoinna.

Suojaverkkoaidan sisäpuolelle sijoitetaan apukäyttöpaneeli. Apukäyttöpaneelilla voidaan ohjata välttämättömiä toimintoja käsiajolla silloin, kun ollaan esimerkiksi poistamassa valmista teräpakkaa tai tekemässä tarvittavia säätöjä. Tällöin voidaan kuitenkin ajaa vain hidastetulla liikenopeudella. Lisäksi apukäyttöpaneeli tulee sijoittaa niin kauas käytettävästä kohteesta, ettei siihen tarttuminen ja laitteen ohjaaminen samanaikaisesti ole mahdollista.

3.9.3 Valmiin teräpakan poisto

Hitsausautomaatin käytössä suurimman riskin aiheuttaa luultavimmin valmiin teräpakan poisto hitsausautomaatista. Tällöin vaarana on raskaan teräpakan kaatuminen. Teräpakka on suhteellisen tasapainoinen osa. Kuitenkin yläkeskittimen noustessa ylärajalleen hitsauksen loputtua, jää teräpakka ainoastaan alapäästään kiinnitetyksi sorvipakkaan. Tällöin se ei luultavasti kestä yläpäästään kovin suurta ulkoista, säteen suuntaista voimaa, joutuakseen tasapainottomaan tilaan. Tästä seuraa teräpakan hallitsematon kaatuminen.

Riskiä voidaan pienentää merkittävästi tarkasti laaditulla ja dokumentoidulla käyttöohjeella, sekä käyttäjien koulutuksella. Ohjelmallisesti huomioitava seikka on, ettei terälapun paikoittajaa enää siirretä, kuin ehkä hieman alaspäin viimeisen terälapun hitsauksen jälkeen. Tällöin se jää teräpakan yläosaan ja estää mahdollisen kaatumisen. Kun ketjunostimen ja erityisesti teräpakan nostoon suunnitellun nostoapuvälineen avulla on otettu tukeva ote teräpakan yläpäästä, voidaan sorvipakka löysätä. Tällöin pitäisi teräpakan roikkua täysin pystysuorassa ketjunostimen varassa, muttei kuitenkaan vielä nousseena sorvipakan leukojen yläpuolelle. Vasta tämän jälkeen tulee terälapun paikoittaja ajaa käsiajolla alarajalleen ja val-

mis teräpakka voidaan poistaa kokonaan ketjunostimen avulla suojaverkkoaidan sisäpuolelta pystyasennossa.

3.9.4 Hätäpysäytyspiiri

Hitsausautomaatti on luonnollisesti varustettava omalla hätäpysäytyspiirillä. Hätäpysäytyspiirin tulee olla kytkennältään sellainen, että vikatilanteessa se siirtyy turvalliseen tilaan (EN ISO 13849-2). Lisäksi on otettava huomioon, että hätä-seis-painikkeita on riittävä määrä sekä suoja-aidatun alueen sisä- että ulkopuolella.

4 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTELMÄT

Haastavan suunnittelutyö päätteeksi on mielenkiintoista tarkastella työn tuloksia jo ennen kuin sitä päästään konkreettisesti toteuttamaan. Joidenkin seikkojen muu-
tosta on mahdoton ennustaa, kuten esimerkiksi valmistettavien kappaleiden mitta-
tarkkuuden paraneminen. Automatisoinnin seurauksena paraneva mittatarkkuus
on vain oletus, joka perustuu teoriaan ja yleisiin kokemuksiin automatisoinnista.
On kuitenkin joitain ominaisuuksia, joiden muutosta voidaan ennustamisen sijaan
laskea. Yksi niistä on hitsausautomaatilla valmistettavan tuotteen, eli teräpakan
läpimenoajan muutos verrattuna nykytilaan.

4.1 Lämpimenoajan laskenta

Laskennassa kohteeksi valittiin kappale, joka läpimenoaika on ehkä pisin niistä,
joita suunnitellulla hitsausautomaatilla voidaan valmistaa. Kohteena laskennassa
käytettiin WL160-mallin teräpakkaa, jossa terien välinen etäisyys oli 20 mm ja terä-
lapun ainevahvuus 10 mm. Vastaavanlaisen teräpakan manuaalihitsauksen läpi-
menoaika on noin 2 tuntia (Vessari, 2010).

Laskenta suoritettiin taulukkolaskentaohjelmaa hyväksi käyttäen. Tarvittavat osa-
kokoonpanojen liikematkat voitiin tarkastaa 3D-malleista. Lineaariliikkeiden nopeu-
tena laskennassa käytettiin tavoiteltua 300 millimetriä sekunnissa. Hitsausnopeu-
tena, eli teräputken pyörimisnopeutena käytettiin 750 millimetriä minuutissa, joka
vastaa riittävällä tarkkuudella kuljetusnopeutta, kun hitsataan terälappuja yleisesti
käytetyllä kolmensadan ampeerin virralla (Vessari, 2010).

Laskenta eteni lyhyesti kuvattuna seuraavasti:

1. kaikki tarvittavat lähtöarvot sijoitettiin laskentataulukkoon

2. laskettiin yhden terälapun hitsausaika ja kerrottiin se terälappujen määrällä
3. määritettiin terälapun paikoittajan kulkemat matkat jokaisen terälapun kohdalla erikseen
4. laskettiin jokaisen liikkeen kohdalla kulloinkin kulunut aika
5. toistettiin kohdan 3. ja 4. laskelmat terälappuhissin osalta
6. vertailtiin terälapun paikoittajan ja terälappuhissin kuluttamaa aikaa jokaisen terälapun kohdalla erikseen
7. suuremman ajan käyttämä vaihe huomioitiin ja siihen lisättiin 10 sekuntia tarraimen, luistien ja muiden komponenttien käyttämää aikaa ja viiveitä
8. laskettiin summa kohdan 7. vaiheajoista
9. kohdan 8. summaan lisättiin kohdan 2. hitsausaika
10. saatua kokonaisaikaa verrattiin nykyiseen läpimenoaikaan ja laskettiin prosenttiosuudet.

4.2 Laskennan tulokset

Laskennan tuloksia voidaan pitää erittäin lupaavina ja kannustavina kohteena olleen työvaiheen automatisoinnin kannalta. Kun otetaan huomioon, että yhtenä suunnittelun kriteerinä oli läpimenoajan ja sen vaikutuksena kustannustehokkuuden parantuminen, voidaan todeta sen toteutuneen vähintäänkin hyvin.

Kun verrataan nykyistä manuaalihitsausta ja laskennasta saatua tulosta, huomataan läpimenoajan parantuneen 71 % (liite 1). Toisin sanoen laskennan perusteel-

la hitsausautomaatti käyttäisi saman tuotteen hitsaamiseen vai 29 % siitä ajasta, joka siihen kuluu nykytilanteessa.

4.3 Muita automatisoinnilla saavutettavia etuja

Kustannustehokkuuden nousun ja oletetun mittatarkkuuden paranemisen lisäksi voidaan kohteen automatisoinnilla saavuttaa vielä ainakin työturvallisuuden paraneminen. Perusteena tälle on, että tällä hetkellä teräpakkoja hitsataan korkeassa pystysuuntaisessa hitsausjigissä. Sen vuoksi joutuu myös hitsaaja nousemaan lattiatasoa korkeammalle hitsaamaan. Apuna käytetään pöytätasoa, jonka päälle on vielä nostettu korkea tuoli, jossa hitsaaja joutuu istumaan hitsatessaan teräpakan yläosaa. Automatisoinnin seurauksena tämän kaltainen, epäturvallinen työskentely jää kokonaan pois ja hitsaaja voi työskennellä koko ajan lattian tasolla. Automaatin hitsatessa voi hitsaaja samanaikaisesti suorittaa käsin hitsattavia vaihteita, kuten esimerkiksi kovahitsausta.



KUVA 22. Teräspakan hitsaaja työssään.

5 LOPUKSI

Työ kokonaisuutenaan on ollut haastava, mutta erittäin mielenkiintoinen. On mielenkiintoista odottaa vaihetta, jolloin hitsausautomaattia päästään rakentamaan ja kokeilemaan käytännössä. Toivottavasti sen toteutus tuo helpotusta sitä käyttävien työntekijöiden työpäivään ja täyttää ne tavoitteet, joita yrityksen johto on sille asettanut.

Tämän työn tekijä haluaa kiittää kaikkia REMU Oy:n henkilökunnan jäseniä, jotka ovat auliisti jakaneet heidän hallussaan olevaa tietoa. Tieto joka kokemuksen kautta on vuosien saatossa heille kertynyt, on ollut suureksi avuksi tätä opinnäytetyötä tehtäessä. Erikoisesti haluan kiittää toimitusjohtaja Juha Salmea, jonka tilauksesta tämä opinnäytetyö toteutettiin.

LÄHTEET

- Fluid klinikka. 2007. Tyhjiötekniikka ejektorit. [www-dokumentti]. Suomen Lehtiyhtymä. [Viitattu 16.11.2010]. Saatavissa: www.fluidfinland.fi/content/download/225/.../ejektorit.pdf
- Hautala, M. & Peltonen, H. 2005. Insinöörin AMK fysiikka osa1. 7. painos. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.
- Hiwin. 2010. Ballscrews Technical Information. [www-dokumentti]. Hiwin Technologies Corporation. [Viitattu 23.9.2010]. Saatavissa: http://www.hiwin.com.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-%28E%29.pdf.
- Hyrkäs, P. 2010. Vientipäällikkö. Remu Oy. Haastattelu 9.7.2010.
- Impomet. 2009. Kovahitsaus. [www-dokumentti]. Impomet osakeyhtiö. [Viitattu 15.11.2010]. Saatavissa: http://www.impomet.com/media/downloadable_files/hitsajaan_kasi_kirja/osio-b_kovahitsaus.pdf
- Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 1992. Lujuusoppi 543. 10. painos. Helsinki: Ota-tieto.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2002. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. 2. painos. Porvoo: Werner Söderström Oy.
- Konaflex. 2010. Optibelt hammashihnat. [www-dokumentti]. Konaflex osakeyhtiö. [Viitattu 19.9.2010]. Saatavissa: <http://www.konaflex.fi/data/attachments/Optibelt-suomenkielinen.pdf>
- Lehtonen, M. 2010. Sähköservon mitoitus. [www-dokumentti]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu / Tekniikan yksikkö / Käyttötekniikka. [Viitattu 20.9.2010]. Saatavuus rajattu.
- Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Mekanex. 2010. Trapetsiruuvit. [www-dokumentti]. Mekanex osakeyhtiö. [Viitattu 11.8.2010]. Saatavissa: <http://www.mekanex.se/produkter/trans/fi-trapetskruvar.shtml>

- Mekanex. 2010. Vääntömomentin ja tehon laskenta. [www-dokumentti]. Mekanex osakeyhtiö. [Viitattu 25.9.2010]. Saatavissa: http://www.mekanex.se/ber/fi-effekt_vridmom.shtml.
- Mäkelä, M., Soininen, S., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2005. Tekniikan-kaavasto. 5. painos. Tampere: Tammertekniikka
- Opas, T. 2010. Toimitusjohtaja. Litemaster Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 16.6.2010.
- Perälä, J 2010. Suunnittelija. Remu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 14.6.2010.
- Remu. 2010. Käyttöohjekirja. [www-dokumentti]. Remu osakeyhtiö. [Viitattu 3.9.2010]. Saatavissa: http://www.remu.fi/pdf/FIN_REMU_kayttoohje_2010.
- Remu. 2010. Seulakauhat. [www-dokumentti]. Remu osakeyhtiö. [Viitattu 3.9.2010]. Saatavissa: <http://www.remu.fi/>
- Rissanen, H. 2010. Markkinointi- ja henkilöstöpäällikkö. Remu Oy. Haastattelu 6.9.2010.
- Salmi, J. 2010. Toimitusjohtaja. Remu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 9.6.2010.
- SFS. 2006 EN ISO 13849-2.
- SFS. 1995. SFS3052. 5. painos.
- Valtanen, E. 2000. Koneenrakentajan taulukkokirja. 11. painos. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.
- Vessari, A. 2010. Hitsaaja. Remu Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 8.10.2010.

LIITTEET

LIITE 1: Laskenta teoreettisesta työkierron läpimenoajasta (1-4)

LIITE 2: Pääkokoonpanon piirustus

Liite 1 (1/4)

Teräpakkamalli WL160

Teräputken pituus [mm] =	1595
Teräputken halkaisija [mm] =	139,7
Terälapun ainevahvuus [mm] =	10
Terälappujen väli [mm] =	20
Terälappujen määrä [kpl] =	52
Hitsausvirta [A] =	300
Kuljetusnopeus [mm/min] =	750
Kuljetusnopeus [mm/s] =	12,5
Hitsausmatka/terälappu [mm] =	219,4
Pyörimisliikkeen aika (hitsausaika) / terälappu [s]	17,6
Pyörimisliikkeen aika (hitsausaika) / terälaput yhteensä [s]	912,9
Ensimmäisen terälapun paikka referenssipisteestä [mm]	30
Terälapun paikoittajan ja terälappuhissin nopeus [mm/s]	300

Terä nro.	Terälapun paikoittajan liikematkat [mm]						
	Haku			Paluu			Aika yht.[s]
	Lähtöpaikka	Määräpaikka	Matka	Lähtöpaikka	Määräpaikka	Matka	
1	0	1740	1740	1740	30	1710	11,5
2	30	1740	1710	1740	60	1680	11,3
3	60	1740	1680	1740	90	1650	11,1
4	90	1740	1650	1740	120	1620	10,9
5	120	1740	1620	1740	150	1590	10,7
6	150	1740	1590	1740	180	1560	10,5
7	180	1740	1560	1740	210	1530	10,3
8	210	1740	1530	1740	240	1500	10,1
9	240	1740	1500	1740	270	1470	9,9
10	270	1740	1470	1740	300	1440	9,7
11	300	1740	1440	1740	330	1410	9,5
12	330	1740	1410	1740	360	1380	9,3
13	360	1740	1380	1740	390	1350	9,1
14	390	1740	1350	1740	420	1320	8,9
15	420	1740	1320	1740	450	1290	8,7
16	450	1740	1290	1740	480	1260	8,5
17	480	1740	1260	1740	510	1230	8,3
18	510	1740	1230	1740	540	1200	8,1

Liite 1 (2/4)

19	540	1740	1200	1740	570	1170	7,9
20	570	1740	1170	1740	600	1140	7,7
21	600	1740	1140	1740	630	1110	7,5
22	630	1740	1110	1740	660	1080	7,3
23	660	1740	1080	1740	690	1050	7,1
24	690	1740	1050	1740	720	1020	6,9
25	720	1740	1020	1740	750	990	6,7
26	750	1740	990	1740	780	960	6,5
27	780	1740	960	1740	810	930	6,3
28	810	1740	930	1740	840	900	6,1
29	840	1740	900	1740	870	870	5,9
30	870	1740	870	1740	900	840	5,7
31	900	1740	840	1740	930	810	5,5
32	930	1740	810	1740	960	780	5,3
33	960	1740	780	1740	990	750	5,1
34	990	1740	750	1740	1020	720	4,9
35	1020	1740	720	1740	1050	690	4,7
36	1050	1740	690	1740	1080	660	4,5
37	1080	1740	660	1740	1110	630	4,3
38	1110	1740	630	1740	1140	600	4,1
39	1140	1740	600	1740	1170	570	3,9
40	1170	1740	570	1740	1200	540	3,7
41	1200	1740	540	1740	1230	510	3,5
42	1230	1740	510	1740	1260	480	3,3
43	1260	1740	480	1740	1290	450	3,1
44	1290	1740	450	1740	1320	420	2,9
45	1320	1740	420	1740	1350	390	2,7
46	1350	1740	390	1740	1380	360	2,5
47	1380	1740	360	1740	1410	330	2,3
48	1410	1740	330	1740	1440	300	2,1
49	1440	1740	300	1740	1470	270	1,9
50	1470	1740	270	1740	1500	240	1,7
51	1500	1740	240	1740	1530	210	1,5
52	1530	1740	210	1740	1560	180	1,3

Liite 1 (3/4)

Terä nro.	Terälappuhissin liikematkat [mm]							Tot.aika [s] (maks. +10)
	Haku			Paluu			Aika yht.[s]	
	Lähtöpaikka	Määräpaikka	Matka	Lähtöpaikka	Määräpaikka	Matka		
1	520	2059	1539	2059	510	1549	10,3	21,5
2	510	2059	1549	2059	500	1559	10,4	21,3
3	500	2059	1559	2059	490	1569	10,4	21,1
4	490	2059	1569	2059	480	1579	10,5	20,9
5	480	2059	1579	2059	470	1589	10,6	20,7
6	470	2059	1589	2059	460	1599	10,6	20,6
7	460	2059	1599	2059	450	1609	10,7	20,7
8	450	2059	1609	2059	440	1619	10,8	20,8
9	440	2059	1619	2059	430	1629	10,8	20,8
10	430	2059	1629	2059	420	1639	10,9	20,9
11	420	2059	1639	2059	410	1649	11,0	21,0
12	410	2059	1649	2059	400	1659	11,0	21,0
13	400	2059	1659	2059	390	1669	11,1	21,1
14	390	2059	1669	2059	380	1679	11,2	21,2
15	380	2059	1679	2059	370	1689	11,2	21,2
16	370	2059	1689	2059	360	1699	11,3	21,3
17	360	2059	1699	2059	350	1709	11,4	21,4
18	350	2059	1709	2059	340	1719	11,4	21,4
19	340	2059	1719	2059	330	1729	11,5	21,5
20	330	2059	1729	2059	320	1739	11,6	21,6
21	320	2059	1739	2059	310	1749	11,6	21,6
22	310	2059	1749	2059	300	1759	11,7	21,7
23	300	2059	1759	2059	290	1769	11,8	21,8
24	290	2059	1769	2059	280	1779	11,8	21,8
25	280	2059	1779	2059	270	1789	11,9	21,9
26	270	2059	1789	2059	260	1799	12,0	22,0
27	260	2059	1799	2059	250	1809	12,0	22,0
28	250	2059	1809	2059	240	1819	12,1	22,1
29	240	2059	1819	2059	230	1829	12,2	22,2
30	230	2059	1829	2059	220	1839	12,2	22,2
31	220	2059	1839	2059	210	1849	12,3	22,3
32	210	2059	1849	2059	200	1859	12,4	22,4

Liite 1 (4/4)

33	200	2059	1859	2059	190	1869	12,4	22,4
34	190	2059	1869	2059	180	1879	12,5	22,5
35	180	2059	1879	2059	170	1889	12,6	22,6
36	170	2059	1889	2059	160	1899	12,6	22,6
37	160	2059	1899	2059	150	1909	12,7	22,7
38	150	2059	1909	2059	140	1919	12,8	22,8
39	140	2059	1919	2059	130	1929	12,8	22,8
40	130	2059	1929	2059	120	1939	12,9	22,9
41	120	2059	1939	2059	110	1949	13,0	23,0
42	110	2059	1949	2059	100	1959	13,0	23,0
43	100	2059	1959	2059	90	1969	13,1	23,1
44	90	2059	1969	2059	80	1979	13,2	23,2
45	80	2059	1979	2059	70	1989	13,2	23,2
46	70	2059	1989	2059	60	1999	13,3	23,3
47	60	2059	1999	2059	50	2009	13,4	23,4
48	50	2059	2009	2059	40	2019	13,4	23,4
49	40	2059	2019	2059	30	2029	13,5	23,5
50	30	2059	2029	2059	20	2039	13,6	23,6
51	20	2059	2039	2059	10	2049	13,6	23,6
52	10	2059	2049	2059	0	2059	13,7	23,7

Käsihitsaus aika [s] = 7200

Käsihitsaus aika [h] = 2

Työkierron aika yhteensä [s] = 2059,9

Työkierron aika yhteensä [h] = 0,57

Läpimenoaika verrattuna käsihitsaukseen 29 %

Läpimenoajan parantuminen automaattihitsauksella 71 %

