



## **TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Kone- ja tuotantotekniikka**

**Tuotesuunnittelu**

## **INSINÖÖRITYÖ**

### **HAMMASKEHÄN ASENNUSTYÖKALUN SUUNNITTELU**

**Työn tekijä: Leo Suuronen  
Työn ohjaaja: Tarmo Räisänen  
Työn ohjaaja: Jyrki Kullaa**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2011**

**Jyrki Kullaa  
yliopettaja**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö tehtiin Moventas Santasalo Oy:n Karkkilan yksikölle. Työskenneltyäni yrityksessä suunnittelijan tehtävissä täysipäiväisesti vuodesta 2008 alkaen, tuntui insinööriyön tekeminen yritykselle varsin luonnolliselta ratkaisulta. Työn ohjaajana toimi yrityksen puolelta Diplomi-insinööri Tarmo Räisänen, joka toimii Moventas Santasalo Oy:ssä suunnittelupäällikön tehtävissä ja koulun puolelta Tekniikan tohtori Jyrki Kullaa. Tahtoisin kiittää molempia kärsivällisyydestä ja opastuksesta työn aikataulun venyessä. Lisäksi haluaisin kiittää myös Diplomi-insinöörejä Mikko Huuskosta ja Markus Vähätaloa, jotka mahdollistivat työn toteuttamisen omalla panoksellaan.

Helsingissä 29.4.2011

Leo Suuronen

## OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

|   |   |
|---|---|
| <b>Työn tekijä:</b> Leo Suuronen  |   |
| <b>Työn nimi:</b> Hammaskehän asennustyökalun suunnittelu   |   |
| <b>Päivämäärä:</b> 29.4.2011  | <b>Sivumäärä:</b> 41 s. + 3 liitettä                    |
| <b>Koulutusohjelma:</b><br>Teollinen tuotanto   | <b>Ammatillinen suuntautuminen:</b><br>Tuotesuunnittelu |
| <b>Työn ohjaaja:</b> TkT Jyrki Kullaa   |   |
| <b>Työn ohjaaja:</b> DI Tarmo Räisänen  |   |
| <p>Tämän insinööritöiden tavoitteena oli kehittää malliratkaisu jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennustyökaluksi, sekä tutkia siihen kohdistuvien kuormitusten vaikutuksia rakenteeseen. Myös asennustyökalun valmistuksen kulurakennetta haluttiin selvittää osana rakenteen kehitystä. Tutkimus tehtiin Moventas Santasalo Oy:n toimeksiannosta.</p> <p>Työn aluksi perehdyttiin hammaskehäkäyttöihin yleisellä tasolla, niiden tärkeimpiin käyttökohteisiin ja erilaisiin rakenne- sekä kiinnitysvaihtoehtoihin. Tämän jälkeen käytiin läpi jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennustyön kulku vaihe vaiheelta. Seuraavaksi käytiin läpi asennusvaiheessa ilmenneitä ongelmia, sekä asennustyökalun rakenteelle asetettuja vaatimuksia. Vaatimusten pohjalta valittiin kolme konstruktioita, joista yksi oli olemassa oleva ratkaisu. Konstruktioita verrattiin toisiinsa sekä taloudellisesta että teknisestä näkökulmasta.</p> <p>Taloudellisessa vertailussa eri konstruktioista laadittiin valmistuskuvat, jotka lähetettiin alihankkijoille valmistuskustannusten ja niiden jakautumisen selvittämiseksi. Tekninen arvostelu suoritettiin vertailemalla konstruktioiden ominaisuuksia käyttäen erilaisia analyysimenetelmiä. Tämän jälkeen kahdelle parhaalle konstruktioille suoritettiin karkea lujuustarkastelu elementtimenetelmällä. Lopuksi käytiin läpi todellisen esimerkin avulla yksinkertaisen tuoteautomaatin luominen levyrakenteisen konstruktion pohjalta Vertex G4 CAD -ohjelman avulla.</p> <p>Suoritettujen vertailujen ja lujuustarkastelujen pohjalta voitiin todeta, että levyrakenteinen asennustyökalu on konstruktiovaihtoehdoista ehdottomasti paras. Sen rakenne on helpoiten skaalattavissa vaatimusten mukaan, ja sen lujuutta voidaan lisätä helposti levyn paksuutta muuttamalla.</p> |   |
| <b>Avainsanat:</b> hammaskehäkäyttö, asennustyökalu, hammassegmentti  |   |

## ABSTRACT

|   |   |
|---|---|
| <b>Name:</b> Leo Suuronen   |   |
| <b>Title:</b> Designing of the Girth Ring Gear Assembly Tool  |   |
| <b>Date:</b> 29.4.2011  | <b>Number of pages:</b> 41 + 3 appendix pages     |
| <b>Department:</b><br>Industrial Engineering  | <b>Study Programme:</b><br>Mechanical Engineering |
| <b>Instructor:</b> D.Sc. (Tech.) Jyrki Kullaa   |   |
| <b>Supervisor:</b> M.Sc. (Eng.) Tarmo Räisänen  |   |
| <p>The purpose of this graduate study was to develop a model structure for the mounting tool of spring mounted type segmented girth gear, and to analyse the effects of the loads affecting the structure. Also the distribution of costs concerning the manufacturing of the mounting tool was to be analyzed as a part of the design process. The study was assigned by Moventas Santasalo Oy.</p> <p>In the beginning of the study the girth ring drives were reviewed in general, and their most common use and mounting solutions were examined. After that, the work progress of the installation work for the spring mounted type segmented girth gear was reviewed step by step. In the next phase, the problems and demands for the assembly tool structure that occurred during the installation process were assessed. Based on those demands, three designs were selected. One of those was the existing design. Designs were then compared in both the economic and technical perspectives.</p> <p>For the economical comparison of different designs, specified manufacturing drawings were sent to sub-suppliers for determination of manufacturing costs. Technical review of the constructions was carried out by comparing the technical properties of the designs using different kinds of analyzing methods. Subsequently, a structural analysis using the finite element method was conducted for the two best designs. Finally, a simple product automation tool was produced from the sheet metal design on the basis of Vertex G4 CAD program.</p> <p>From the basis of carried out comparisons and structural analysis, it could be determined that the sheet metal design is definitely the best of the three options. Its structure is the most scalable by the demands and its strength can be easily increased by changing the thickness of the plate.</p> |   |
| <b>Keywords:</b> girth ring gear, assembly tool, gear segment   |   |

## SISÄLLYS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 JOHDANTO .....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>2 HAMMASKEHÄKÄYTTÖ.....</b>                              | <b>3</b>  |
| <b>2.1 Käyttökohteet .....</b>                              | <b>4</b>  |
| 2.1.1 Puunjalostus .....                                    | 4         |
| 2.1.2 Mineraaliteollisuus .....                             | 5         |
| 2.1.3 Sementtiteollisuus .....                              | 5         |
| 2.1.4 Raaka-aineen käsittely .....                          | 6         |
| 2.1.5 Sokeriteollisuus .....                                | 7         |
| <b>2.2 Rakenne ja toiminta .....</b>                        | <b>7</b>  |
| 2.2.1 Suorahampainen segmenttikehä.....                     | 7         |
| 2.2.2 Vinohampainen segmenttikehä.....                      | 8         |
| 2.2.3 Laippakiinnitteinen hammaskehäkäyttö.....             | 9         |
| 2.2.4 Jousikiinnitteinen hammaskehäkäyttö .....             | 9         |
| 2.2.5 Hammaskehäkäytön käyttökokonaisuus.....               | 10        |
| <b>2.3 Jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennus.....</b> | <b>11</b> |
| <b>2.4 Havaitut ongelmakohdat .....</b>                     | <b>14</b> |
| 2.4.1 Ongelmat asennuksessa .....                           | 14        |
| 2.4.2 Puutteet hammassegmenteissä .....                     | 16        |
| 2.4.3 Nostokohdat .....                                     | 17        |
| 2.4.4 Laadun varmistaminen .....                            | 17        |
| <b>3 KONSTRUKTIOLAJIT .....</b>                             | <b>18</b> |
| <b>3.1 Uuskonstruktio.....</b>                              | <b>18</b> |
| <b>3.2 Sovelluskonstruktio .....</b>                        | <b>18</b> |
| <b>3.3 Muunnelmakonstruktio.....</b>                        | <b>18</b> |
| <b>4 KONSTRUKTIOLLE ASETETUT VAATIMUKSET .....</b>          | <b>19</b> |
| <b>4.1 Hinta.....</b>                                       | <b>19</b> |
| 4.1.1 Hinnan merkitys osana kokonaistoimitusta .....        | 19        |
| 4.1.2 Materiaalikustannukset .....                          | 19        |
| 4.1.3 Valmistuskustannukset .....                           | 19        |
| 4.1.4 Maalaus- ja pakkauskustannukset .....                 | 20        |
| <b>4.2 Kuormituksenkesto.....</b>                           | <b>20</b> |
| <b>4.3 Työturvallisuus.....</b>                             | <b>20</b> |
| <b>4.4 Valmistettavuus .....</b>                            | <b>21</b> |
| <b>4.5 Korroosio.....</b>                                   | <b>21</b> |
| <b>5 KONSTRUKTIOT .....</b>                                 | <b>23</b> |
| <b>5.1 U-palkkirakenne.....</b>                             | <b>23</b> |
| <b>5.2 Levyrakenne.....</b>                                 | <b>23</b> |
| <b>5.3 Putkipalkkirakenne.....</b>                          | <b>24</b> |

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| <b>6 KONSTRUKTIOIDEN VERTAILU .....</b>              | <b>25</b>                          |
| <b>6.1 Tekninen vertailu .....</b>                   | <b>25</b>                          |
| <b>6.2 Taloudellinen vertailu .....</b>              | <b>27</b>                          |
| <b>6.3 Kokonaisarvosanat .....</b>                   | <b>28</b>                          |
| <b>7 LUJUUSTARKASTELU .....</b>                      | <b>29</b>                          |
| <b>7.1 Kuormitukset .....</b>                        | <b>29</b>                          |
| <b>7.2 Mallintaminen .....</b>                       | <b>30</b>                          |
| <b>7.3 Tulokset .....</b>                            | <b>30</b>                          |
| <b>8 TUOTEAUTOMAATTI.....</b>                        | <b>33</b>                          |
| <b>8.1 Määritelmä ja yleisimmät tyypit.....</b>      | <b>33</b>                          |
| 8.1.1 Asiakaslähtöinen tuoteautomaatti.....          | 33                                 |
| 8.1.2 Suunnittelua avustava tuoteautomaatti.....     | 34                                 |
| 8.1.3 Myynnistä-tuotantoon tuoteautomaatti .....     | 34                                 |
| <b>8.2 Saavutettavat hyödyt .....</b>                | <b>34</b>                          |
| <b>8.3 Tuotteelta vaadittavat ominaisuudet .....</b> | <b>34</b>                          |
| <b>8.4 Tuoteautomaatin toteuttaminen .....</b>       | <b>34</b>                          |
| <b>9 YHTEENVETO JA TULOKSET .....</b>                | <b>39</b>                          |
| <b>LÄHTEET.....</b>                                  | <b>41</b>                          |
| <b>LIITTEET</b>                                      |                                    |
| Liite 1.   | Asennustyökalujen valmistuskuvat   |
| Liite 2.   | Asennustyökalujen tarjoukset       |
| Liite 3.   | Tekninen ja taloudellinen vertailu |

## 1 JOHDANTO

Tämä insinööri työ on tehty Moventas Santasalo Oy:n toimeksiannosta. Moventas Santasalo Oy valmistaa vaihdekäyttöjä ja hammasegmenttejä eri teollisuudenalojen tarpeisiin.

Moventas on yksi maailman suurimmista tuuliturbiini- ja teollisuusvaihteiden valmistajista. Lisäksi yritys tarjoaa myös huoltopalveluja koko tuotteen elinkaaren ajan omille sekä kilpailijoiden tuotteille. Yrityksellä on noin 1200 työntekijää kymmenessä eri maassa. Yritys koostuu kahdesta päätoiminta-alueesta, joita ovat tuuliturbiinivaihteet (Moventas Wind Oy) sekä teollisuusvaihteet (Moventas Santasalo Oy ja Moventas GmbH).

Moventaksen historian voidaan katsoa alkaneen jo vuonna 1938, jolloin Valmet Power Transmission perustettiin Jyväskylään. Santasalo Oy perustettiin vuonna 1941 ja Parkano Gears vuonna 1962. Metso Oyj:n ostaessa kaikki edellä mainitut kolme yritystä vuonna 1999, uuden yrityksen nimeksi tuli Santasalo Gears Oy. kaksi vuotta tämän jälkeen uuden yrityksen nimi muutettiin Metso Drives Oy:ksi vuonna 2001(1; 2).

Vuonna 2005 Metso Oyj päätti myydä vaihdeliiketoimintansa pääomasijoitusyhtiö CapManille. Tämän jälkeen yrityksen nimeksi tuli Moventas Oy. Vuonna 2007 Capman myi suurimman osan yrityksen osakkeista toiselle pääomasijoitusyhtiölle Industri Kapitalille (nykyisin IK Investment Partners) jääden itse vähemmistöomistajaksi yhdessä eläkeyhtiö Varman ja Moventaksen toimivan johdon kanssa(1; 2).

Yrityksen pääkonttori on Jyväskylässä jossa sijaitsee myös osa yhtiön tuuliturbiinituotannosta. Moventas Santasalo Oy:n Karkkilan tehdasyksikkö on keskittynyt valmistamaan lieriö- ja kartiolieriövaihteita sekä hammaskehäkäyttöjä. Moventas GmbH, joka sijaitsee Saksan Wuppertalissa, on puolestaan erikoistunut planeettavaihteisiin. Moventaksella on ollut teollisuusvaihteiden valmistusta myös Kanadassa. Lisäksi Kiinassa valmistellaan tuotannon aloittamista(1; 2).

Moventaksella on myynti- ja huoltotoimintaa Australiassa, Brasiliassa, USA:ssa, Ruotsissa, Saksassa, Singaporessa ja Kiinassa sekä yhteistyötä paikallisten toimijoiden kanssa Etelä-Afrikassa ja Etelä-Amerikassa. Yrityksen liikevaihto 2009 vuonna oli 237 miljoonaa euroa(1; 2).

Tämän työn tavoitteena on kehittää jousikiinnitteisten hammasegmenttikiehien asennustyökalun malliratkaisu asennusvaiheessa tapahtuvaa aksiaali- ja radiaalisuuntaista säätämistä varten olemassa olevien ratkaisujen ja niissä havaittujen puutteiden ja ongelmien pohjalta.

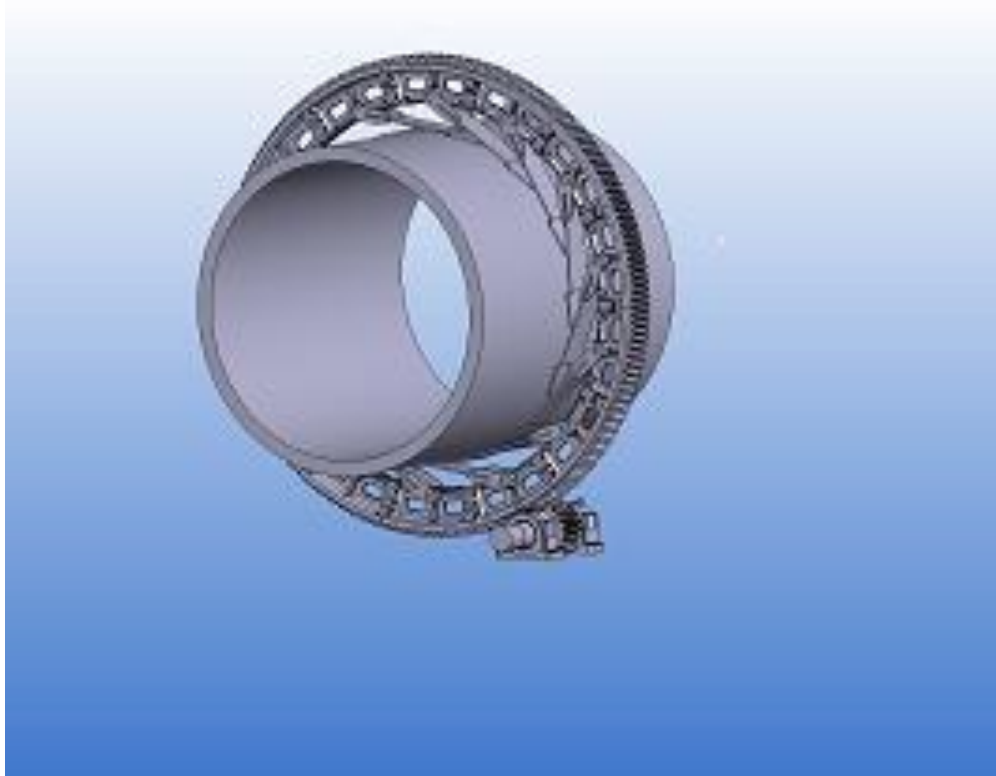
Asennustyökalun malliratkaisua kehittämällä pyritään varmistamaan asennustyön turvallinen ja nopea läpivienti ja samalla pyritään standardisoimaan asennukseen käytettyjä työkaluja. Tähän mennessä asennustyökaluille ei ole ollut mitään vakiintunutta rakennetta vaan työkalut on suunniteltu projekti-kohtaisesti.



## 2 HAMMASKEHÄKÄYTTÖ

Hammaskehäkäyttöksi kutsutaan yleisesti teollisuudessa käytettävää rakenneratkaisua joka koostuu kahteen tai useampaan segmenttiin jaetusta suurihalkaisijaisesta käytettävästä hammaskehästä sekä pienemmästä käyttävästä pyörästä tai hammasakselista. Näissä käytöissä segmenttikehän halkaisijat alkavat noin kolmesta metristä ja varsinaista ylärajaa halkaisijalle ei ole.

Hammaskehäkäytöissä (kuva 1) hammastuksen moduuli vaihtelee yleensä 25 - 40 mm:n välillä ja hammastuksen leveys 100 mm:stä aina 400 mm:iin tarvittavan tehonsiirtokyvyn mukaan. Moventas Santasalo Oy:n kaikki hammaskehät ja käyttöpyörät valmistetaan austemperoidusta pallografiittivaluraudasta eli ADI-raudasta. Tämä rakenneratkaisu kehitettiin aikanaan vastaamaan raskaan teollisuuden tarvetta saada pyöritettyä suurihalkaisijaisia uuneja, myllyjä ja rumpuja erityyppisten prosessien vaatimilla nopeuksilla.  
(2.)



**Kuva 1. Hammaskehäkäyttö.**

## 2.1 Käyttökohteet

Moventas valmistaa hammaskehäkäyttöjä pääsääntöisesti puunjalostus- ja mineraaliteollisuuden tarpeisiin. Muita tärkeitä aloja ovat sementti- ja sokeriteollisuus. Lisäksi Moventas on toimittanut kehäkäyttöjä raaka-ainekäsittelyyn. (2.)

### 2.1.1 Puunjalostus

Puunjalostusteollisuudessa hammaskehäkäyttöjä käytetään pääasiassa kolmessa eri käyttökohteessa: kuorimarummuissa, kuidutusrummuissa sekä meesauuneissa. Kuorimarummu on rakenteeltaan teräslieriö, joka on jätetty avoimeksi molemmista päistään. Sen toiminta perustuu puiden hankautumiseen toisiaan ja rummun seinämiä vasten rummun pyöriessä hitaasti samalla kun puita syötetään suuria määriä jatkuvana virtana linjan läpi. Lieriön vaipaan on leikattu aukkoja kuorien poistamista varten. Kuorimarummun rakenne vaihtelee hieman riippuen siitä, suoritetaanko kuorinta kuivakuorintana vai märkäkuorintana. Kuorimarummun pyörimisnopeus on yleensä rummun halkaisijasta riippuen noin 4 - 7 r/min. (3, s. 24 - 25.)

Kuidutusrumpuja (kuva 2) käytetään puunjalostusteollisuudessa uusiomasan valmistusprosessissa keräyspaperin hajottamiseen pulpperoimalla. Kuidutusrummut ovat yleisesti halkaisijaltaan noin 3 - 5 m ja pituudeltaan noin 25 - 30 m. Kuidutusrummun loppupäähän on tehty reikiä kuten kuorimarumpuunkin ja kuituuntunut paperi johdetaan reikien läpi eteenpäin, samalla kun muut jakeet poistuvat rummun toisesta päästä. (3, s. 68 - 69.)



**Kuva 2. Kuidutusrummu (2).**

Meesauuneja käytetään puunjalostusteollisuudessa valkolipeän valmistukseen. Meesauunin (kuva 3) tehtävänä on muuttaa kalkin olomuoto karbonaatista oksidiksi polttamalla. Meesauuniksi kutsutaan yleisesti sylinterinmuotoista tiilellä vuorattua teräsrakennetta, jonka pituus voi vaihdella 20 - 150 m:n ja halkaisija 2 - 4 m:n välillä. Meesauunin pyörimisnopeus on noin 0,5 - 1,5 r/min. Meesauunikäytöissä käytetään jousikiinnitteisiä hammaskehä uunin korkeasta lämpötilasta johtuen. (3, s. 163 - 167.)



**Kuva 3. Meesauuni (2).**

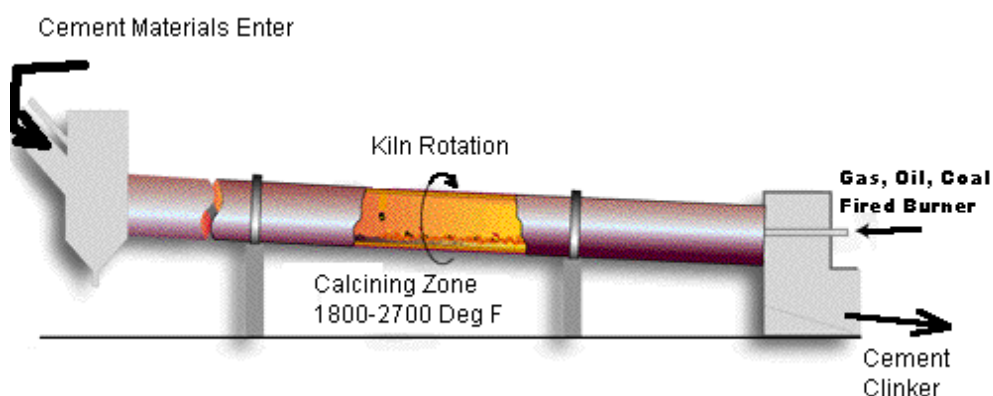
### *2.1.2 Mineraaliteollisuus*

Mineraaliteollisuudessa hammaskehäkäyttöjä käytetään lähinnä kahdessa eri toiminnossa, kiviaineksen murskaamiseen käytettävissä myllykäytöissä, sekä malmin rikastamisprosessissa syntyvän hyvin hienojakoisen rikasteen pelletointiin tarkoitetuissa rumpu-uuneissa. Myllykäytöissä käytettävät hammaskehät ovat laippakiinnitteisiä ja rumpu-uunit jousilevykiinnitteisiä johtuen käyttökohteiden erilaisista lämpötiloista. (2.)

### *2.1.3 Sementtiteollisuus*

Sementin valmistuksessa hammaskehäkäyttöjä käytetään pyörittämään kiertouunia. Kiertouuni (kuva 4) on jopa sata metriä pitkä sylinterimäinen uuni, joka on kallistettu muutaman asteen kulmaan ja pyörii hitaasti oman akselinsa ympäri. Sementin raaka-aineena käytettävä kalkkikivi syötetään murs-

kaamisen ja jauhamisen jälkeen yhdessä siihen sekoitettavan saven kanssa esilämmitysjärjestelmän kautta kiertouuniin, jossa sen sisältämät kalkki-, alumiini-, pii- ja rautayhdisteet muuttuvat kalsiumyhdisteiksi ja sintraantuvat sementtiklinkkereiksi. Prosessin lämpötila nousee jopa 1400 celsiusasteeseen. Uunin loppupäässä sementtiklinkkerit jäädytetään ja lopputulos muistuttaa karkeaa soraa. (4.)



**Kuva 4. Kiertouuni (4).**

#### 2.1.4 Raaka-aineen käsittely

Raaka-aineen käsittelyssä hammaskehäkäyttöjä käytetään lähinnä junavaunujen kippaamiseen käytettävissä kääntökehissä (kuva 5). tällaisessa käytössä tarvitaan vain puolikasta hammaskehäkäyttöä, koska vaunua ei tarvitse kääntää kokonaan ympäri (2).



**Kuva 5. Kääntökehä (2).**

### 2.1.5 Sokeriteollisuus

Sokeriteollisuudessa hammaskehäkäyttöjä käytetään kuvan 6 mukaisissa sokerimassan erottelutorneissa, jotka voivat olla kymmeniä metrejä korkeita. Niissä hammaskehäkäytöllä pyöritetään tornin sisällä pyörivää ruuvia, joka liikuttaa sokerimassaa tornin sisällä. (2.)



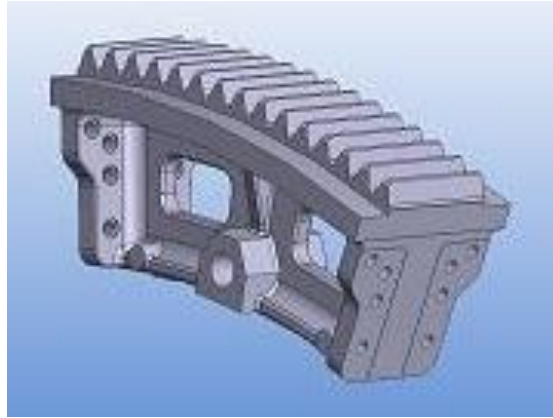
Kuva 6. Erottelutorni (2).

## 2.2 Rakenne ja toiminta

Segmenttikehät voidaan jakaa hammastuksen mukaan suora- ja vinohampasiin tai kiinnitystavan mukaan laippa- ja jousikiinnitteisiin.

### 2.2.1 Suorahampainen segmenttikehä

Suorahampainen segmenttikehä on perinteinen ratkaisu, josta on runsaasti käyttökokemuksia. Esimerkki tällaisesta segmentistä on esitetty kuvassa 7. Tehonsiirtoa rajoittaa lähinnä segmentin leveyden kasvaminen liian suureksi suhteessa halkaisijaan. Ongelmana on värähtely ja melu kovemmilla pyörimisnopeuksilla. Hammastuksesta aiheutuu pelkästään radiaalisuuntaisia voimia kiinnityksiin ja käyttävälle akselille.



**Kuva 7. Suorahampainen segmentti (2).**

### *2.2.2 Vinohampainen segmenttikehä*

Vinohampainen segmenttikehä (kuva 8) on uudehko konstruktio, joka on syrjäyttänyt suorahampaisen segmenttikehän joissakin käyttökohteissa. Hammastuksen vinouskulma mahdollistaa suuremman tehonsiirron kuin perinteinen suorahampainen kehäkäyttö johtuen kosketuksessa olevan hammastuksen leveyden kasvamisesta. Vinohampaisen segmenttikehän käynti on lisäksi värinättömämpää ja hiljaisempaa suuremmilla pyörimisnopeuksilla verrattuna suorahampaiseen käyttöön.

Vinohampaisesta käytöstä aiheutuu sekä radiaali- että aksiaalisuuntaisia kuormituksia kiinnityksiin ja käytävälle akselille. Aksiaalivoimien takia kiinnityspisteisiin kohdistuu merkittäviä dynaamisia kuormituksia, jotka on huomioitava suunniteltaessa segmenttien kiinnitystä käyttökohteeseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vinohampaiset kehät eivät sovellu kohteisiin, joissa suuren lämpötilan takia on käytettävä jousilevyjä kehän kiinnittämiseen.



**Kuva 8. Vinohampainen segmentti (2).**

### 2.2.3 Laippakiinnitteinen hammaskehäkäyttö

Laippakiinnitteisiä hammaskehäkäyttöjä (kuva 9) käytetään käyttökohteissa, joissa pyöritettävän kohteen lämpötila ei saavuta lämpölaajenemisen kannalta kriittisiä lämpötiloja missään tilanteessa. Laippakiinnitteisessä hammaskehäkäytössä hammasegmentit kiinnitetään suoraan pulttiliitoksella laippaan, joka kiinnitetään hitsaamalla pyöritettävän kohteen pintaan.



**Kuva 9. Laippakiinnitteinen hammaskehäkäyttö (2).**

### 2.2.4 Jousikiinnitteinen hammaskehäkäyttö

Jousikiinnitteisiä hammaskehiä (kuva 10) käytetään pääasiallisesti käyttökohteissa ja prosesseissa joissa pyöritettävän kohteen lämpötilat ja lämpötilojen vaihtelut nousevat tasolle joka voi aiheuttaa voimakasta lämpölaajenemista. Kiinnittämällä hammaskehäkäyttö jousilevyjen välityksellä käytettävään kohteeseen voidaan välttää käyttökohteen lämpölaajenemisen aiheuttamat vauriot hammaskehäkäytölle ja pidentää kehäkäytön elinikää huomattavasti. Hammaskehän kiinnityksessä käytettävät teräksestä valmistetut jousilevyt kiinnitetään hitsaamalla pyöritettävään kohteeseen ja lukittavilla terästapeilla hammasegmentteihin.



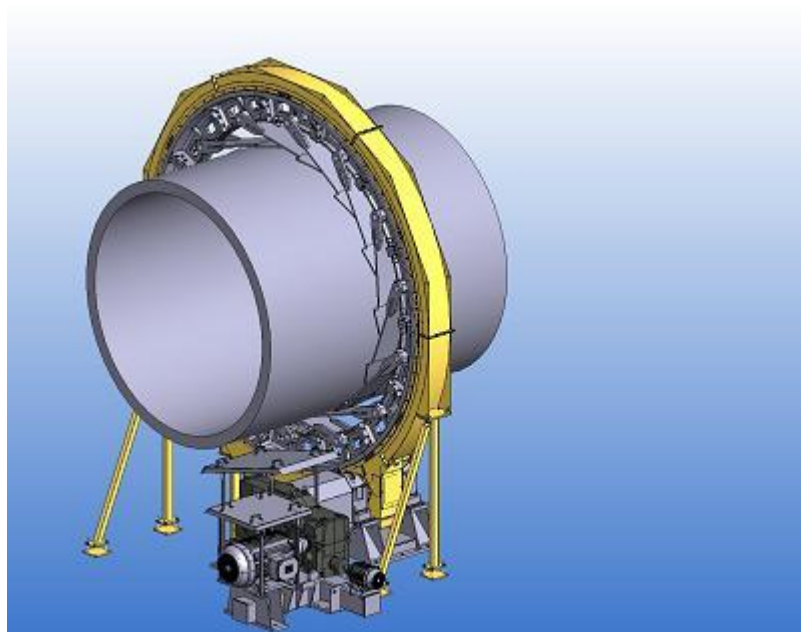
**Kuva 10. Jousikiinnitteinen hammaskehäkäyttö (2).**

### 2.2.5 Hammaskehäkäytön käyttökokonaisuus

Hammaskehäkäytön käyttökokonaisuuteen (kuva 11) kuuluu yleensä hammaskehän ja sitä käyttävän pyörän tai hammakselin lisäksi hammaskovavaihte, joka muuntaa sähkömoottorin pyörimisnopeuden käyttötarkoitukseen sopivaksi.

Käyttöpyörä voi sijaita joko suoraan hammaskovavaihteen toisioakselilla tai erillisellä hammaskovakselilla, joka on tuettu laakeripukeilla. Huoltotöitä ja muita poikkeustilanteita varten hammaskovavaihteen ensioakselille voidaan sijoittaa erillinen apukäyttö, jolla voidaan pyörittää hammaskehäkäyttöä hitaammin kuin päämoottorilla.

Apukäyttönä toimii yleensä joko pienempi sähkömoottori tai dieselmoottori. Hammaskovavaihte voidaan kiinnittää suoraan käytön betoniperustukseen perustusruuveilla, mutta käytännössä hammaskehäkäytön hammaskovavaihteen säätötarve ja hammaskovavaihteen kiinnityspinnan tasomaisuusvaatimukset edellyttävät erillisen teräsalustan käyttöä hammaskovavaihteen ja valettujen betoniperustusten välissä. Tapauksissa, joissa päämoottori ja apukäyttö sijaitsevat hammaskovavaihteen kanssa samalla alustalla, on myös tarkoituksenmukaista käyttää kahta päällekkäistä teräsalustaa. Silloin hammaskehäkäytön hammaskovavaihteen säätöä voidaan säätää ilman kytkimien uudelleenlinjaustarvetta.



**Kuva 11. Hammaskehäkäytön käyttökokonaisuus.**



### 2.3 Jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennus

Tässä luvussa käydään läpi jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennustyön kulku pääpiirteittäin eri työvaiheisiin jaettuna.

Jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennuksessa on useita eri vaiheita. Ensimmäisessä vaiheessa käydään läpi asennuspaikalle toimitetut osakokonaisuuudet, jotta voidaan varmistua, että kaikki tarvittavat komponentit ja työkalut onnistunutta asennusta varten ovat olemassa.

Seuraavaksi tarkastetaan liitospinnat ja kaikki hitsaamalla kiinnitettävät kappaleet vaurioiden ja epäpuhtauksien varalta. Kun riittävät etukäteistarkastukset on suoritettu, merkitään rumpuun alustavasti segmenttikehän paikka ja asennustyökalujen tuleva sijoittelu.

Segmentit toimitetaan yleensä valmistajalta niin, että kehäkäyttö on jaettu useampaan osaan: esim. jos kehäkäytössä on 12 segmenttiä, toimitetaan käyttö neljässä osassa, joissa kussakin on 3 segmenttiä yhteen liitettynä. Syyt edellä mainittuun johtuvat logistisista syistä: kokonaisen kehäkäytön kuljettaminen ja käsittely olisi kohtuuttoman kallista ja logistisesti vaikeaa. Tämä on myös yksi segmenttikehäkäytön suurimmista eduista - se voidaan tarvittaessa purkaa hyvinkin pieniin osiin kuljetusta ja käsittelyä varten.

Ennen kuin segmenttien asennus rumpun ympärille voidaan aloittaa, on segmenttikehän rumpuun kiinnityksessä ja asentamisessa käytettävät jousilevyt ja asennustyökalut nostettava paikoilleen ja kiinnitettävä segmenttikokonaisuuksiin. Monessa tapauksessa tämä on tehty jo tehtaalla, jos se ei ole aiheuttanut ongelmia kuljetuksen tai pakkauksen suhteen. Jousilevyt kiinnitetään segmentteihin paikalleen nostamista varten lopullisessa kiinnityksessä käytettävillä terästapeilla ja lukkolevyillä, sekä sitomalla irralliset jousilevyjen päät liinoilla tai vastaavilla kiinnittimillä segmenttejä vasten. Asennustyökalut sidotaan joko liinoilla tai kiinnitetään työkaluissa olevilla hienokierteisillä säätöpuhteilla paikalleen segmentteihin.

Asennustyökalujen määräksi on yleisesti ohjeistettu segmenttien lukumäärä jaettuna kahdella, eli joka toiselle segmentille tulisi olla asennustyökalu. Yleensä segmenttikehä nostetaan paikoilleen kahdessa osassa: jos kehäkäy-

tössä on esimerkiksi 12 segmenttiä, nostetaan ensimmäisessä vaiheessa kuusi segmenttiä paikoilleen asennustyökalujen varaan (kuva 12).



**Kuva 12. Segmenttikehän puolikas valmiina paikalleen nostoa varten (2).**

Kun ensimmäinen osa segmenttikehästä on nostettu paikoilleen noin 15 millimetrin tarkkuudella aksiaalisesti, hitsataan asennustyökalut ja jousilevyjen rumpuun kiinnittämiseen käytettävät lukituslaitteet kiinni rumpun pintaan. Lukituslaitteita tulee kaksi kappaletta jokaista jousilevyä kohti, ja niitä tarvitaan jousien kiinnittämiseen rumpuun asennuksen aikana, sekä myöhemmin jousilevyjen painamiseen rumpua vasten hitsattaessa niitä rumpun pintaan (kuva 13).



**Kuva 13. Asennustyökalut ja jousilevyjen lukitukset hitsattuna paikalleen (2).**

Yhdessä asennustyökalussa tulee olla lukitustanko, jolla estetään segmenttien pyörähtäminen rummun ympärillä radiaalisuuntaisesti asennusvaiheessa. Lukitustangolla varustettu asennustyökalu nostetaan ensimmäisen segmenttikokonaisuuden mukana paikoilleen, ja se sijaitsee yleensä uunivaipan korkeimmassa kohdassa. Lukitus voidaan suorittaa joko segmenttiin erikseen tarkoitusta varten tehdystä lukitusreiästä tai vaihtoehtoisesti isommissa segmenteissä olevista valukevennyksistä (kuva 14).



**Kuva 14. Lukitustanko paikallaan segmentissä (2).**

Kun hammassegmenttikehä on nostettu kokonaisuudessaan paikoilleen ja segmenttien väliset liitospinnat on kiristetty oikeisiin kiristysmomentteihin, jotka saadaan kehän kokoonpanokuvasta, voidaan rumpua alkaa pyörittämään ja keskittää hammaskehä alustavasti paikoilleen.

Alustavassa keskityksessä rummun pinnan ja hammaskehän pintojen välinen etäisyys tulisi saada noin kahden mm:n tarkkuudella oikeaksi. Tämän jälkeen asennetaan mittalaitteisto ja mitataan hammaskehän tarkka asema. Segmenttikehän asemaa voidaan säätää työkalussa olevilla aksiaali- ja radiaalisuuntaisilla hienokierreruuveilla.

Säätöruuvien tulee olla ehdottomasti hienokierreruuveja, sillä normaalilla nousulla olevien säätöruuvien kiertäminen olisi säätötilanteessa vaikeaa joutuessa varsinkin radiaalisuuntaisiin ruuveihin kohdistuvista suurista voimista.

Jousilevyjen tulee olla säätöä tehtäessä vain löyhästi kiinnitettynä, jotta ne eivät estä segmenttikehän liikettä.

Mittaustuloksen jälkeinen säätäminen suoritetaan tarkkaillen säätötyökalujen ruuvien kireyttä. Toisin sanoen säätöruuvit tulee kiristää tasaisesti samaan kiristysmomenttiin. Säätövaiheessa saadut mittaustulokset kirjataan mittausraporttiin.

Kun hammaskehän asema on saatu vaaditulla tarkkuudella oikeaksi, jousilevyt painetaan lukitustyökaluissa olevilla ruuveilla rumpua vasten. Jos jousilevyn toimintasäde poikkeaa enemmän kuin 15 millia rumpun säteestä, se on korjattava ennen hitsausta. Pienemmät virheet voidaan korjata ruuveilla pakottamalla. Jousilevyjen hitsaus rumpuun suoritetaan kahdessa vaiheessa, ensin suoritetaan esihitsaus, jonka jälkeen mitataan hammaskehän asema ja tarvittaessa oikaistaan virheet.

Tämän jälkeen poistetaan asennustyökalut, pyöritetään rumpua yksi kierros ja suoritetaan lopullinen hitsaus. Asennuksesta tehdään asennusraportti, johon lopullinen asennustarkkuus merkitään. Lopullinen tarkastusmittaus voidaan tehdä vasta, kun rumpun vaippa ja jouset ovat jäähtyneet. (5.)

## **2.4 Havaitut ongelmakohdat**

Moventas Santasalo Oy on historiansa aikana toimittanut satoja jousikiinnitteisiä hammaskehäkäyttöjä eri käyttökohteisiin. Tänä aikana on saatu paljon kokemuksia erilaisista asennustyökaluista sekä niiden eduista ja haitoista. Seuraavassa käydään läpi muutamia ongelmia, joita on ilmennyt käytettäessä tämänhetkisiä asennustyökaluja.

### *2.4.1 Ongelmat asennuksessa*

Asennusvaiheessa on ilmennyt joitakin ongelmia asennustyökalujen suhteen. Pääsääntöisesti ongelmat ovat olleet pieniä, lähinnä asennusmukavuuteen liittyviä, mutta joissain harvinaisissa tapauksissa jopa jonkinasteisia vaaratilanteita on päässyt syntymään työkalujen pettäessä. Esimerkiksi kuvan 15 tilanteessa työkalulle ei ollut tehty riittävää lujuustarkastelua ja kuormitus ylitti työkalun kantokyvyn. Tästä seurasi tilanne, jossa työkalu pyrki nurjahtamaan. Asennustyökalua jouduttiin korjaamaan hitsaamalla siihen lisätukia.



**Kuva 15. Nurjahtanut työkalu.**

Esimerkin projektissa ilmeni toinenkin vakava puute johtuen alihankkijan valmistusvirheestä. Alihankkija oli korjannut valmistusvirheensä holkittamalla asennustyökalussa olevan radiaalisuuntaisen hienokierrepultin kierteen. Holkituksen pettäessä segmenttikehä romahti alaspäin (kuva 16). Onneksi henkilövahingoilta välttyttiin kyseisessä tilanteessa, suurimman vahingon ollessa ongelmasta aiheutunut lisätyön määrä. Tästä vaaratilanteesta johtuen asennustyökalujen valmistuskuviin tulisi ehdottomasti lisätä huomautus, ettei kierteitä saa holkittaa missään tapauksessa.

Asennustyökalujen säätöruuvien kierteissä tulisi myös aina käyttää hienokierteisiä ruuveja. Joissakin tapauksissa säätöruuveina on erehdytty käyttämään normaalinousulla varustettuja ruuveja, joiden kiertämiseen vaadittava momentti on varsinkin radiaalisuuntaisten ruuvien tapauksessa kasvanut kohtuuttoman suureksi. Hienokierteisillä ruuveilla säätäminen pystytään suorittamaan ilman erikoistyökaluja tai vaarallisia jatkovarsia.



**Kuva 16. Pettänyt holkitus.**

### 2.4.2 Puutteet hammasegmenteissä

Hammasegmenttien muotoilussa ja rakenteessa on esiintynyt tiettyjä puutteita, jotka ovat vaikeuttaneet hammaskehien asennustyötä ja säätämistä. Hammasegmenttien valussa on ollut puutteita säätötasojen suhteen. Segmenteissä tulisi olla riittävän suuret tasot säätöruuveja varten radiaali- ja aksiaalisuunnassa. Valukappaleissa olevat päästöt vaikeuttavat säätämistä huomattavasti tai tekevät sen lähes mahdottomaksi, johtuen siitä, että säätöruuvi pyrkii luistamaan kaltevilla pinnalla (kuva 17).



**Kuva 17. Puuttuva tasopinta.**

Myös segmenteissä koneistuskiinnitystä ja nostoa varten olevat valupiirteet ovat joissain tapauksissa häirinneet aksiaalisuuntaista säätöä (kuva18).



**Kuva 18. Tiellä oleva koneistuskiinnitys.**

### *2.4.3 Nostokohdat*

Asennustyökalujen käsittelyssä ja sidonnassa on esiintynyt ongelmia asennusvaiheen aikana. Työkaluissa tulisi olla riittävän tukevat nostokohdat joista niitä voidaan nostaa tai kiinnittää. Monesti työkalut sidotaan segmenttikokonaisuuksiin valmiiksi kiinni niitä paikalleen nostettaessa. Yleisellä tasolla asiaa tarkasteltaessa on tehtävä selväksi, että teollisen tuotteen valmistajan on kyettävä varmistamaan, että heidän tuotteensa voidaan kuljettaa ja asentaa turvallisesti ja voimassaolevia työsuojelulakeja noudattaen lopulliseen käyttöpaikkaansa. Tilanteesta riippumatta toimittajan on myös pystyttävä ohjeistamaan turvalliset nostotavat.

### *2.4.4 Laadun varmistaminen*

Asennustyökalujen valmistuksen suhteen on ilmennyt ongelmia ja puutteita työn laadussa kuten aiemmin todettiin (luku 2.4.1). Toimittaessa eri alihankkijoiden kanssa yhteistyössä on lopputuotteen riittävä työnlaatu pyrittävä varmistamaan riittävällä ohjeistuksella valmistuskuvissa ja ostotilauksessa, ja myös mahdolliset työturvallisuusnäkökohdat on otettava huomioon.

### **3 KONSTRUKTIOLAJIT**

Konstruoinniksi kutsutaan idean, toimintaperiaatteen tai parannusehdotuksen realisointia toiminnaksi jolla pyritään täyttämään annetulle tehtävälle asetetut vaatimukset mahdollisimman hyvin. Nämä vaatimukset ovat yleensä joko toiminnallisia, teknisiä tai taloudellisia.

Konstruktioajit voidaan yleensä jakaa kolmeen eri päätyyppiin, joita ovat uuskonstruktio, sovelluskonstruktio sekä muunnelmakonstruktio. Aloitettaessa jonkin uuden tuotteen kehitys on toiminnan kulun ja rajaamisen kannalta hyvä selvittää itselleen, mitä konstruktioajia ollaan toteuttamassa.

#### **3.1 Uuskonstruktio**

Uuskonstruktioiksi nimitetään konstruktioajia, joka toteuttaa jonkin vaaditun toiminnon täysin uudella ratkaisuperiaatteella ja jota ei aiemmin ole käytetty vastaavassa yhteydessä. Tehtävänasettelu ja reunaehdot voivat uuskonstruktioajia käytettäessä olla joko täsmälleen samoja kuin aiemmin, vanhoista sovellettuja, reunaehdoista sovellettuja tai täysin uusia. (6, s. 5 - 6.)

#### **3.2 Sovelluskonstruktio**

Sovelluskonstruktioiksi nimitetään konstruktioajia, jota joudutaan muuntamaan muuttuneiden reunaehtojen ja vaatimusten mukaisesti, kun aiemmin asetettujen rajojen sisällä ei päästä tyydyttävään ratkaisuun. Tällaisessa tilanteessa voi joidenkin yksittäisten osien tai kokoonpanojen uuskonstruktio olla tarpeen. (6, s. 5 - 6.)

#### **3.3 Muunnelmakonstruktio**

Muunnelmakonstruktioiksi nimitetään konstruktioajia, jossa alkuperäinen ratkaisuperiaate ja reunaehdot pysyvät pääosin samoina ja muutokset rajoittuvat lähinnä kyseisessä käyttökohteessa tarvittaviin muutoksiin. (6, s. 5 - 6.)



## 4 KONSTRUKTIOLLE ASETETUT VAATIMUKSET

### 4.1 Hinta

#### *4.1.1 Hinnan merkitys osana kokonaistoimitusta*

Toimitettaessa isompaa osakokonaisuutta, johon kuuluu useita erilaisia yksittäisiä komponentteja, voi yksittäisen komponentin liian korkea kustannustaso viedä hintakilpailukyvyn koko toimitukselta. Tämä tarkoittaa sitä, että tarjousvaiheessa jokainen komponentti olisi kyettävä hinnoittelemaan ja suunnittelemaan mahdollisimman optimaalisesti käyttökohteen vaatimuksiin nähden. Kehäkäytön työkaluja tulee yleensä 1 kappaletta kahta segmenttiä kohden. Esimerkiksi 14 segmentistä koostuvalle hammaskehälle niitä tulee 7 kappaletta. Suuresta toimituskohtaisesta kappalemäärästä johtuen myös asennustyökalun rakenne olisi kyettävä mitoittamaan mahdollisimman optimaalisesti suhteessa sen toteuttamaan funktioon.

#### *4.1.2 Materiaalikustannukset*

Materiaalikustannukset ovat yleisesti muodostaneet hitsattujen teräsrakenteiden kustannuksista noin 50 - 70 prosenttia riippuen rakenteen kokoluokasta. Tästä voidaan päätellä, että johtuen aiemmin käytettyjen rakenteiden puutteellisesta mitoituksesta rakenteeseen kohdistuvien kuormien ja niiden suuruuksien suhteen, on materiaalin määrää optimoimalla mahdollista saada aikaan merkittäviä säästöjä rakenteen kokonaishinnassa. Tämä asettaa merkittäviä vaatimuksia myös hankintapuolelle eri materiaalityöimittäjien ja alihankkijoiden kilpailuttamisen suhteen.

#### *4.1.3 Valmistuskustannukset*

Eri työvaiheiden kustannukset ovat aikaisemmissa toimituksissa muodostaneet rakenteen kokonaishinnasta noin 30 - 50 prosenttia. Työvaiheiden määrää minimoimalla ja kokoonpanoa yksinkertaistamalla on tulevaisuudessa mahdollista saada työkustannuksien osuutta laskemaan. Siirtymällä yksinkertaisempaan rakenteeseen voitaisiin työkustannuksiin saada merkittävää säästöä.

#### *4.1.4 Maalaus-ja pakkauskustannukset*

Valmiin kappaleen pintakäsittelystä ja pakkauksesta syntyvät kustannukset ovat aiemmissa toimituksissa olleet noin kymmenen prosentin luokkaa. Valmiin kappaleen rakennetta yksinkertaistamalla ja monimutkaisia muotoja välttämällä, pintakäsittelyyn kuluva aikaa ja kustannuksia on mahdollista vielä nykyisestäkin vähentää. Myös pakkauskustannuksia pystytään pienentämään yksinkertaistamalla rakennetta.

### **4.2 Kuormituksenkesto**

Koneenosan tulee pystyä suoriutumaan sille asetettujen vaatimusten mukaisesti koko sen etukäteen suunnitellun elinkaaren ajan. Siihen kohdistuvat kuormitukset tai olosuhteet eivät saa aiheuttaa liian suuria plastisia tai koneen rikkoutumiseen/vikaantumiseen johtavia muodonmuutoksia. Asennustyökalun tapauksessa siihen kohdistuvat kuormitukset ovat lähes pelkästään staattisia eikä siihen kohdistu merkittävää väsyttävää kuormitusta tai värähtelyjä. Työkalun elinkaaren ei odoteta olevan kovin pitkä, varsinkin kun työkalut ovat lähes aina tilauskohtaisia eikä niitä käytetä uudelleen. Asennustyökalun kaltaisessa hitsatussa teräsrakenteessa hitsausseamat tulisi aina pyrkiä sijoittamaan kohtiin, joissa niihin ei kohdistu suoraan kuormituksia. Rakenteen kuormitukset tulisi pyrkiä johtamaan suorinta mahdollista tietä kantaviin rakenteisiin.

### **4.3 Työturvallisuus**

Laitetoimittaja on vastuussa kaikista toimittamistaan laitteista ja komponenteista sekä niiden turvallisuudesta. Kaikki EU/ETA -alueella markkinoille saatettavat ja käyttöön otettavat koneet olisi suunniteltava konedirektiivin terveys- ja turvallisuusvaatimukset huomioon ottaen. Asennustyökalun tapauksessa se luetaan vielä työturvallisuuslain alaisiin teknisiin laitteisiin joiden vikaantuminen voi aiheuttaa vaaraa henkilön turvallisuudelle. Tämä asettaa suuria vaatimuksia työkalun rakenteen varmuudelle kuormitusten suhteen ja turvallisuusnäkökohdille.

Kaikissa säätötyökaluissa tulisi aina käyttää hienokierrepultteja ja kierteitä. Varsinkin suuremmissa kierteissä pultin kiristämiseen tarvittava voima voi normaalikierteisellä pultilla muodostua liian suureksi. Lisäksi normaalikiertei-

sellä säätöruuvilla voidaan joutua käyttämään erikoistyökaluja ja jatkovarsia jotka aiheuttavat riskejä. Hitsatussa rakenteessa hitsausseamat tulisi aina pyrkiä sijoittamaan kohtiin, joissa niihin ei kohdistu suoria kuormituksia. Rakenteen lujuuden ei tulisi olla suoraan riippuvainen hitsausseaman kantokyvystä.

#### **4.4 Valmistettavuus**

Suuri osa teollisen tuotteen valmistuskustannuksista määritetään jo suunnitteluvaiheessa. Nykyisessä toimintaympäristössä, kun tuotantoa on hajautettu ja tuotantomenetelmät sekä käytössä oleva konekanta voivat vaihdella merkittävästi alihankkijoiden ja toimittajien välillä, suunnittelijan vastuulle jää yhä suurempi osa menetelmäsuunnittelusta ja valmistusteknisestä asiantuntemuksesta. Edellä mainittu kehitys korostaa tarvetta tehdä tuotteesta globaalisti valmistettava ja raaka-aineista helposti hankittavia ja yleisiin standardeihin perustuvia.

#### **4.5 Korroosio**

Korroosiolla käsitetään yleisesti luonnon pyrkimyksenä palauttaa metalleja pienimmän mahdollisen energian tilaan. Korroosiota esiintyy metallien tapauksessa joko tasaisesti kaikilla pinnoilla tai paikallisesti. Korroosiotyypit voidaan jakaa yleisesti kolmeen eri päätyyppiin, joita ovat vapaan ulkopinnan korroosio, pistekorroosio, sekä raerajakorroosio. Edellä mainittujen lisäksi jännitysten alaisessa rakenteessa voi syntyä myös jännityskorroosiota. Metallien ulkopintojen korroosio on sähkökemiallista korroosiota joka vaatii tapahtuakseen kosteutta ja happea ilmasta tai jostain muusta välittäjäaineesta, myös pintojen jatkuva kastuminen ja kuivuminen edistävät korroosiota. (6, s. 271 - 280.)

Altistuvien pintojen sähkökemialliset ja muut ominaisuudet muuttuvat korroosiotuotteiden muodostuessa. Korroosiotuotteiksi kutsutaan pinnoilta haihtuvan kosteuden muodostamia suoloja. Pistekorroosio esiintyy paikallisena vauriona jättäen muun osan pinnoista täysin vaille altistumista. Pistekorroosion voimakkuutta voidaan ilmaista esiintymistiheyden tai vaurion syvyyden suhteen. Raerajakorroosioksi kutsutaan metallien raerajoilla esiintyvää

korroosiota jonka aiheuttamat säröt ja murtumat voivat johtaa rakenteen vaurioitumiseen. (6, s. 271 - 280.)

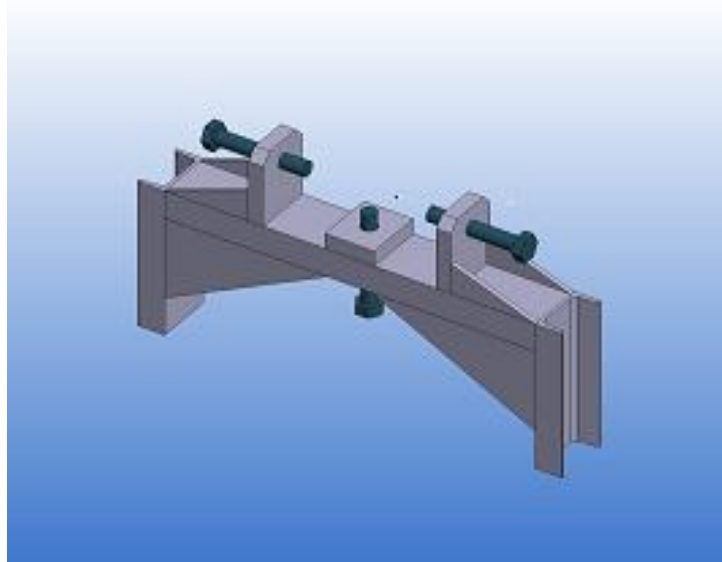
Korroosion vaikutuksia voidaan pyrkiä vähentämään ohjaamalla rakenteeseen kohdistuvia jännityksiä pois kohdista joissa ne voisivat aiheuttaa jännityskorroosiota tai raerajakorroosiota. Myös valmiin kappaleen muodot tulisi suunnitella siten että kappaleeseen ei jäisi muotoja joihin voisi syntyä kerrostumia tai likaa joka yhdessä ympäristön olosuhteiden kanssa voisi vauhdittaa korroosion etenemistä. (6, s. 279 - 282.)

Hammaskäyttäjien asennustyökalujen tapauksessa tuotteen elinkaaren ollessa todella lyhyt, ei korroosiosuojauksen merkitys tuotteen elinkaaren pituuteen ole merkittävän suuri. Joissain tapauksessa työkalut saattavat kuitenkin olla varastoituna ankarissa olosuhteissa pitkiä aikoja ennen niiden varsinaista käyttöönottoa mikä voi aiheuttaa piileviä vaurioita rakenteeseen. Tästä johtuen työkaluille tulisi suorittaa ainakin kevyt pintakäsittely korroosiota vastaan.

## 5 KONSTRUKTIOT

### 5.1 U-palkkirakenne

U-palkkirakenne (kuva 17) on ollut tähän asti käytetyin rakenne jousikiinnitteisten kehäkäyttöjen asennustyökaluna. Sen käytöstä on paljon kokemuksia. Tässä rakenteessa käytännössä havaittuja heikkouksia ovat osien suuri määrä, sekä puutteet kappaleeseen kohdistuvien kuormien johtamisessa. Myös hitsausaumojen sijainti kuormitusten suhteen, U-palkin pieni jäyhyysmomentti toiseen kuormitussuuntaan ja suuri hitsattavien pintojen määrä heikentävät rakenteen teknillis-taloudellista kilpailukykyä.

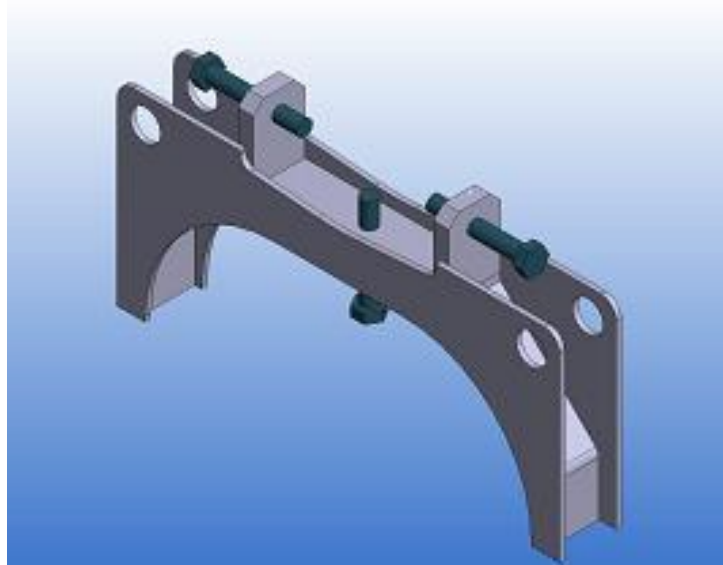


Kuva 17. U-palkkirakenne.

### 5.2 Levyrakenne

Levyrakenne (kuva 18) on sovelluskonstruktio, jossa alkuperäisen U-palkkirakenteen lujuusanalyysin pohjalta on pyritty johtamaan kappaleeseen kohdistuvat kuormitukset paremmin kantaviin rakenteisiin, kasvattamatta kuitenkaan kappaleen mittoja ja painoa tarpeettomasti. Alkuperäisen rakenteen lujuustarkastelussa ilmenneitä suuria pistemäisiä jännityksiä on pyritty alentamaan kaarimaisella rakenteella kappaleen rummun puoleisella osalla. Myös osien määrää on pyritty vähentämään ja tässä onkin onnistuttu varsin hyvin.

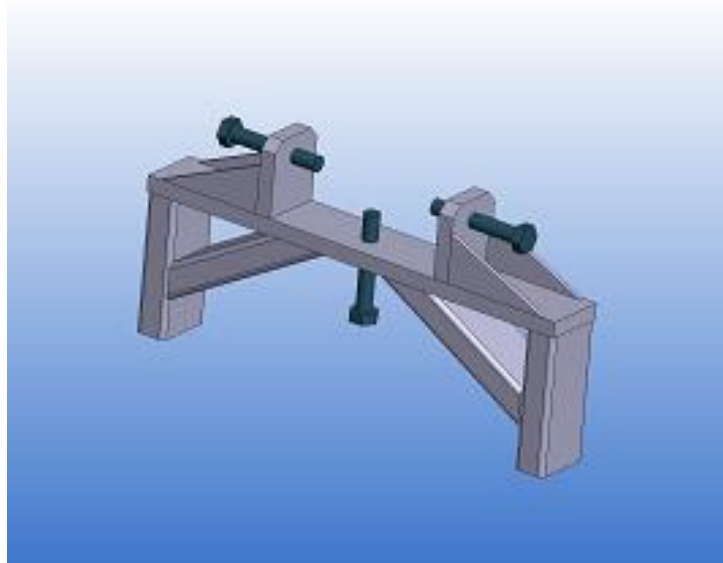
Rakenteen tärkein uudistus on ollut lisätä materiaalia ja jäykkyyttä sinne missä niitä tarvitaan, tekemättä silti rakenteesta liian monimutkaista tai hankalasti valmistettavaa. Rakenteen muotoilussa pyrittiin lisäämään profiilien jäykkyyttä käyttämällä H-profiilia kuormitusten suunnassa. Myös lujuuden lisäämisen ilman, että päämitat kasvavat kohtuuttomasti, pitäisi olla kohtuullisen helppoa kasvattamalla eri osien levynpaksuuksia. Levyrakenteen heikkoutena on melko suuri hitsauksen määrä valmistettaessa.



Kuva 18. Levyrakenne.

### 5.3 Putkipalkkirakenne

Putkipalkkirakenne (kuva 19) on sovelluskonstruktio, jossa on otettu piirteitä u-palkkirakenteesta, mutta käytetty u-profiilin sijasta putkiprofiilia. Putkipalkkirakenteen heikkous on putkipalkin huono saatavuus ja materiaalin korkea hinta.



Kuva 19. Putkipalkkirakenne.

## 6 KONSTRUKTIOIDEN VERTAILU

### 6.1 Tekninen vertailu

Teknisessä vertailussa määritettiin aluksi viisi tärkeintä ominaisuutta, jotka vaikuttavat konstruktion toimivuuteen käyttötarkoituksessaan, konstruktion valmistuskustannuksien muodostumiseen, sekä konstruktion muunneltavuuteen.

Ominaisuudet olivat

- jäykkyys x-suunnassa
- jäykkyys y-suunnassa
- paino
- valmistettavuus.
- parametrisuus

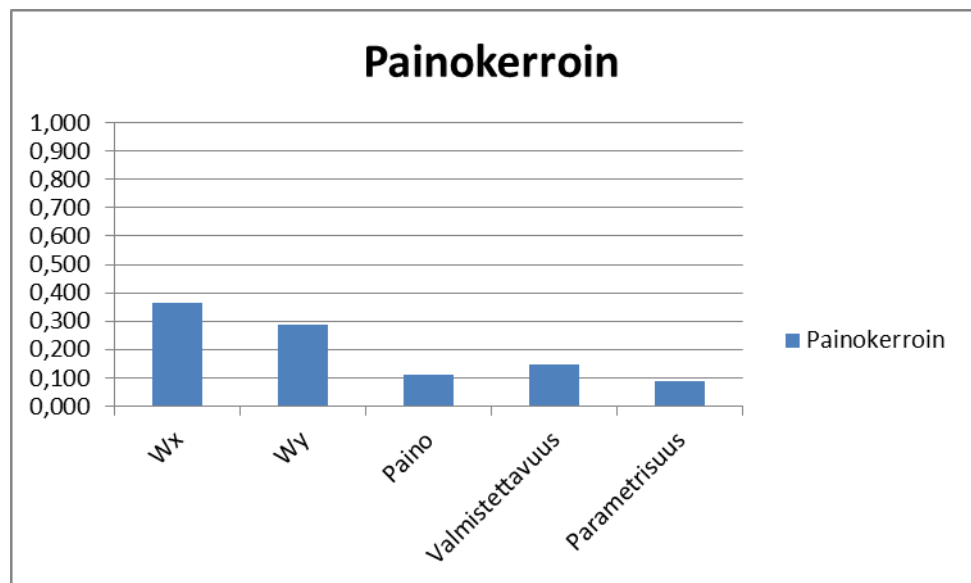
Teknisen vertailun aluksi oli tarpeellista saada selville näiden ominaisuuksien keskinäinen tärkeysjärjestys. Ominaisuuksien keskinäiset painokertoimet saatiin määritettyä käyttämällä kolmea erilaista yleisesti tunnettua analyysi-

menetelmää (LIITE 3). Ensimmäinen menetelmä oli parivertailumenetelmä, jossa ominaisuuksia verrattiin pareittain ja todettiin, että toinen ominaisuus oli parempi tai molemmat yhtä hyviä.

Toisena menetelmänä käytettiin Saatyn menetelmää, jossa toisen vaihtoehdon vahvuutta voitiin pareittain vertailtaessa painottaa toiseen vaihtoehtoon nähden (7, s. 20 - 44).

Kolmantena menetelmänä käytettiin Akaon menetelmää, jossa jokaiselle annettiin subjektiivisesti arvosana 1 – 5, josta saatiin suoraan painokertoimet (8, s. 39 - 45).

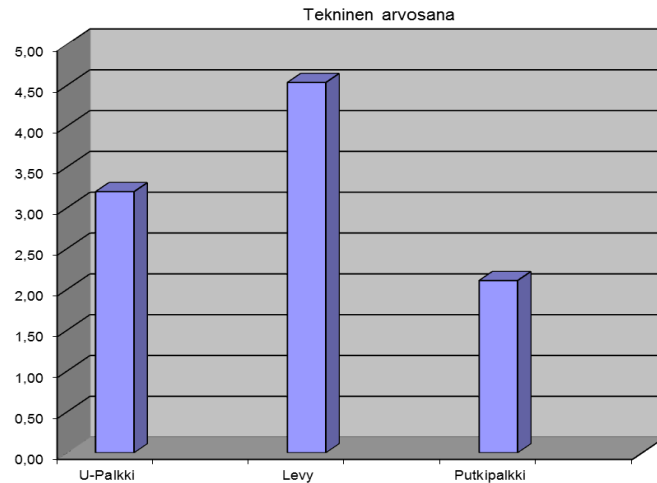
Tämän jälkeen kaikkien kolmen menetelmän painokertoimista laskettiin keskiarvo jokaiselle ominaisuudelle. Näin saatiin lopulliset painotukset teknisille ominaisuuksille (kuva 20).



**Kuva 20. Teknisten ominaisuuksien painokertoimet.**

Konstruktioiden tekniset arvosanat määritettiin suorittamalla hyötyarvoanalyysi taulukoimalla, siten että jokaisen konstruktion jokaiselle ominaisuudelle annettiin arvosana 1 - 5 ja tämän jälkeen kerrottiin arvosana painokertoimella (LIITE 3). Kun jokaisen konstruktion ominaisuuksien painotetut arvosanat laskettiin yhteen, saatiin kaikille vaihtoehdoille määritettyä tekninen arvosana (kuva 21).





**Kuva 21. Konstruktioiden tekniset arvosanat.**

## 6.2 Taloudellinen vertailu

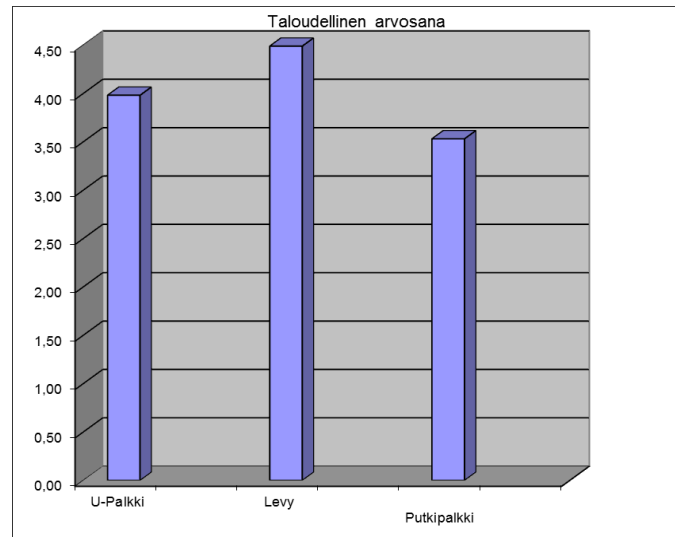
Taloudellinen vertailu suoritettiin jakamalla kunkin konstruktion valmistuksesta aiheutuvat kustannukset neljään eri kustannuskohteeseen. Kustannuskohteet olivat materiaali, hitsaus, muut työkustannukset sekä pintakäsittely. Näiden kustannusten selvittämiseksi jokaisesta konstruktiosta piirrettiin valmistuskuvat (LIITE 1), jotka lähetettiin usealle eri alihankkijalle tarjouskyselyinä.

Alihankkijoitten lähettämien tarjousten perusteella saatiin määritettyä eri kustannuskohteille painokertoimet (kuva 22) suoraan eri työvaiheiden hintojen ja niiden keskiarvojen pohjalta (LIITE 3).



**Kuva 22. Kustannuskohteiden painokertoimet.**

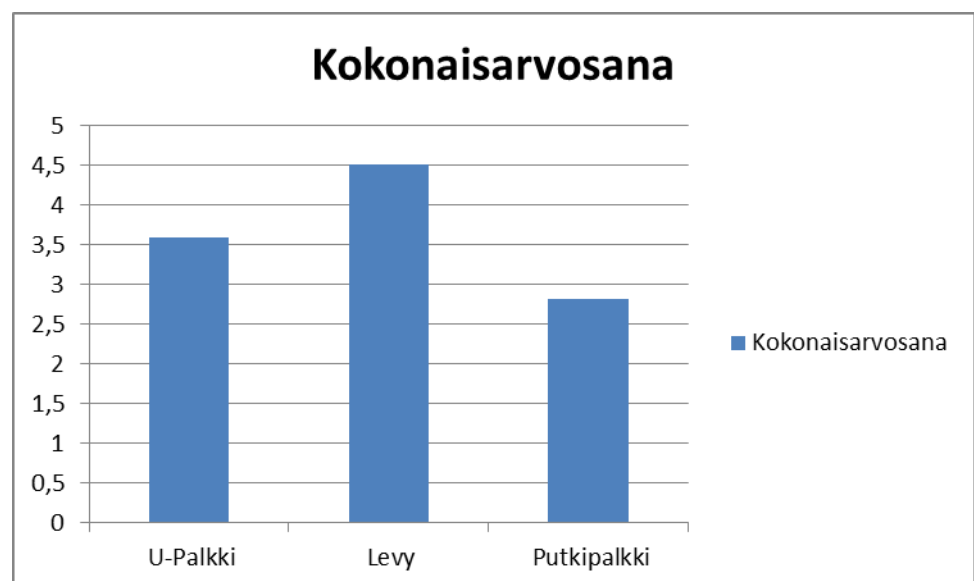
Kun painokertoimet oli määritetty, suoritettiin hyötyarvoanalyysi antamalla jokaisen rakenteen jokaiselle kustannuskohteelle arvosana 1 - 5 riippuen siitä, miten se pärjasi muihin vaihtoehtoihin verrattuna, sen jälkeen kerrottiin se painokertoimella (LIITE 3). Lopuksi nämä arvosanat laskettiin yhteen ja näin saatiin konstruktiolle taloudelliset arvosanat (kuva 23).



Kuva 23. Taloudellinen arvosana.

### 6.3 Kokonaisarvosanat

Teknisen ja taloudellisen vertailun pohjalta konstruktiolle annettiin kokonaisarvosanat, jotka saatiin laskemalla tekninen ja taloudellinen arvosana yhteen ja laskemalla niistä keskiarvo (kuva 24).



Kuva 24. Kokonaisarvosanat.

## 7 LUJUUSTARKASTELU

Lujuustarkastelu suoritettiin kahdelle teknisessä ja taloudellisessa vertailussa parhaiten menestyneelle konstruktiolle. Kuormitusten asennustyökaluun aiheuttamat jännitykset ja siirtymät saatiin selville lujuusopin elementtimenetelmää käyttäen. Käytännössä laskenta ja mallintaminen tehtiin käyttäen apuna ANSYS 13 –lujuuslaskentaohjelmaa, johon asennustyökalujen 3D-mallit voitiin siirtää suoraan mallintamiseen käytetystä Vertex G4 CAD-ohjelmasta.

### 7.1 Kuormitukset

Asennustyökaluun kohdistuvia kuormituksia lähdettiin selvittämään perehtymällä asennuksen eri työvaiheisiin ja niissä esiintyviin kuormitustilanteisiin. Selvitettäessä mahdollisia kuormitustilanteita yhdessä kentällä asennuksia suorittavien henkilöiden ja tuotekehityksen kanssa tultiin siihen tulokseen, että asennustyökaluun kohdistuu kuormituksia pääasiassa kahdessa eri tilanteessa.

Ensimmäinen tilanne on segmenttikokonaisuutta uunin päälle nostettaessa, jolloin yksittäiseen asennustyökaluun voi kohdistua suurimmillaan puolikkaan segmenttikehän ja sen segmentteihin kiinnitettyjen jousilevyjen painon suuruinen radiaalisuuntainen kuormitus. Toinen ja suuruudeltaan huomattavasti kriittisempi kuormitustilanne voi syntyä, kun hammaskehä on nostettu kokonaisuudessaan paikalleen rummun ympärille ja asennustyökalut on hitsattu rumpuun kiinni.

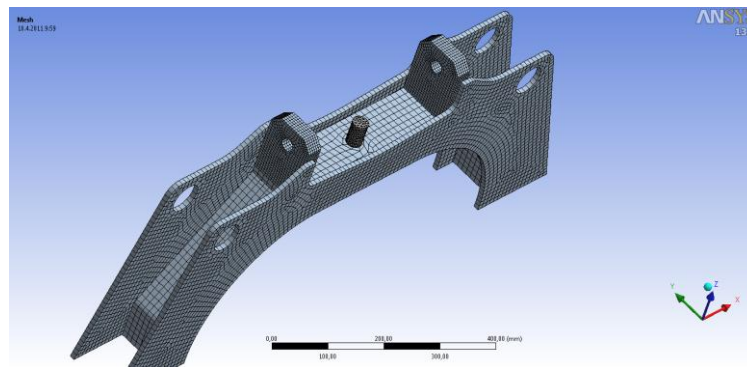
Tämän jälkeen hammaskehän alustavaa keskittämistä tehtäessä koko hammaskehän paino on mahdollista saada kiristettyä ylimmän asennustyökalun radiaalisuuntaisen säätöruuvien varaan kehää alaspäin laskettaessa. Tästä johtuen tehtiin periaatepäätös, että yksittäisen asennustyökalun tulisi ääritilanteessa kyetä kannattelemaan kokonaisen hammassegmenttikehän painon aiheuttama kuormitus ilman merkittäviä muodonmuutoksia tai rakenteen nurjahtamista.

Tässä työssä toteutettu lujuustarkastelu suoritettiin meneillään olevan hammaskehäkäyttöprojektin pohjalta ja siihen perustuvien kuormitusten pohjal-

ta. Kyseisessä tapauksessa suurimmaksi kuormitukseksi määritettiin asennustyökalun radiaalisuuntaiseen säätöpulttiin ja sen kautta työkalun hienokierteeseen pituussuunnassa kohdistuva 150 kN:n voima. Asennustyökalun aksiaalisen suunnan säätöpultteihin ei kohdistu merkittäviä kuormituksia joutuensa siitä, että niihin ei kohdistu segmenttikehän omasta massasta aiheutuva voimaa, vaan ainoastaan kehän aksiaalisuuntaiseen säätämiseen tarvittavan voiman mukainen kuormitus.

## 7.2 Mallintaminen

Lujuusanalyysia varten konstruktioiden 3D-mallit käännettiin ensin sopivaan tiedostomuotoon, jotta mallit saatiin siirrettyä suoraan ANSYS 13 -lujuuslaskentaohjelmaan. Tämän jälkeen malleille annettiin materiaalitiedot. Asennustyökalujen materiaalina käytettiin S355J0-rakenneterästä, jonka myötöraja on 355 MPa, murtolujuus 510 - 680 MPa ja Poissonin luku 0,3. Kimmokerroksena teräksille käytetään yleisesti arvoa 210 GPa. Kun kappaleiden materiaalitiedot saatiin määritettyä, määritettiin kappaleisiin kohdistuvat kuormitukset ja reunaehdot. Ennen laskennan suorittamista luotiin vielä kappaleiden elementtiverkot käyttäen parabolisia 10-solmuisia tetraedrielementtejä (kuva 25).



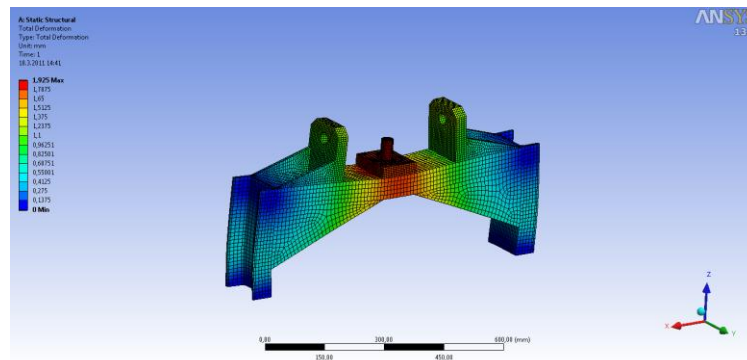
Kuva 25. Elementtiverkko.

## 7.3 Tulokset

Lujuustarkastelun tuloksista kiinnostavimpia ovat siirtymät ja jännitykset. Elementtimenetelmää käytettäessä rakenteen siirtymien perusteella saadaan laskettua rakenteessa elementtien alueilla vaikuttavat jännitykset ja muodonmuutokset. Hammaskehän asennustyökalun tapauksessa siirtymät ovat merkittävässä osassa: jos muodonmuutokset ovat liian suuria, hammaske-

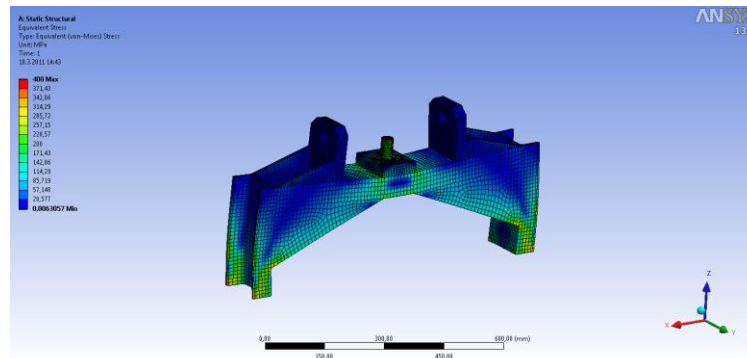
hän säätäminen vaikeutuu huomattavasti rakenteen liikkua jokaisen säätökerran välissä.

Tarkastellaan ensin U-palkkirakenteisen asennustyökalun siirtymiä ja jännityksiä. U-palkkirakenteisen asennustyökalun radiaalisuuntaiseen säätöpulttiin kohdistettiin siis säätöruuvin suuntainen 150 kN:n voima, joka pyrki painamaan rakennetta kohti rumpua. Asennustyökalun jalat kiinnitettiin jäykällä kiinnityksellä. Suurin rakenteessa oleva siirtymä oli suuruudeltaan kaksi millimetriä ja se muodostui odotetusti keskelle asennustyökalua radiaalisen säätöruuvin kohdalle (kuva 26). Siirtymän suuruus on niin merkittävä että asennustilanteessa se voisi oleellisesti vaikeuttaa hammaskehän asennusta.



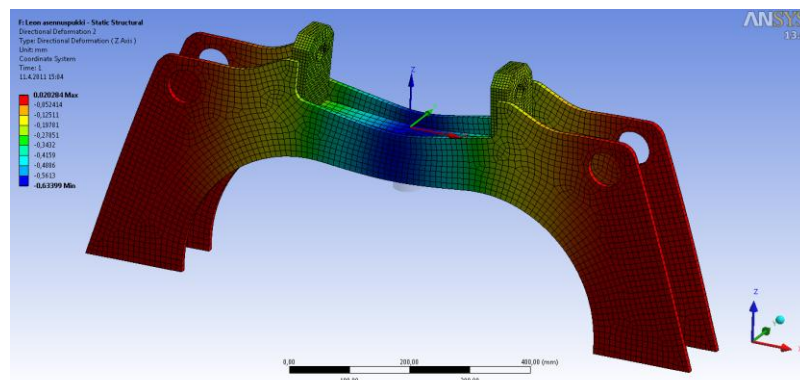
**Kuva 26. U-palkkirakenteen siirtymät.**

Seuraavaksi tarkastellaan U-palkkirakenteeseen siirtymätilan perusteella laskettuja jännityksiä, jotta voidaan nähdä, kuinka lähellä materiaalin myötörajaa jännitykset ovat. Suurimmat paikalliset jännitykset ilmenivät säätöruuvin tukilevyn ja työkalun jalkojen hitsausaumojen kohdalla ja olivat suuruudeltaan lähellä rakenteen myötörajaa (kuva 27). Tästä johtuen on mahdollista, että rakenteessa voi tapahtua plastisia muodonmuutoksia suurimpien jännitysten vaikutusalueella. Rakennetta tulisi vahvistaa suurimpien jännitysten vaikutusalueelta ja samalla pyrkiä välttämään sellaisia muotoja, joihin muodostuu jännityshuippuja.



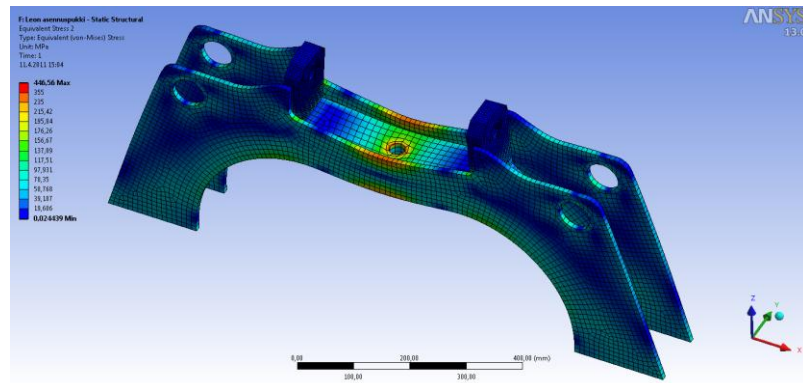
**Kuva 27. U-palkkirakenteen jännitykset.**

Tutkitaan seuraavaksi levyrakenteisen asennustyökalun siirtymiä ja jännityksiä käytettäessä kuormituksina samansuuruista voimaa kuin U-palkin tapauksessa ja kiinnittämällä kappale identtisesti. Suurin siirtymä levyrakenteessa oli suuruudeltaan 0,6 mm ja se sijoittui odotetusti keskelle työkalua radiaalisen säätöruuvien ympäristöön (kuva 28).



**Kuva 28. Levyrakenteen siirtymät.**

Tarkastellaan seuraavaksi levyrakenteeseen kohdistuvia siirtymien perusteella laskettuja jännityksiä. Suurimmat jännitykset levyrakenteisessa asennustyökalussa kohdistuivat radiaalisen säätöruuvien kohdalle ja olivat suuruudeltaan noin 235 MPa (kuva 29). Tällä maksimijännityksellä jää noin puolitoistakertainen varmuus materiaalin myötörajan suhteen, joten voidaan todeta, että levyrakenteinen työkalu on mitoitettu kuormituksen suhteen melko optimaalisesti.



Kuva 29. Levyrakenteen jännitykset.

## 8 TUOTEAUTOMAATTI

### 8.1 Määritelmä ja yleisimmät tyypit

Tuoteautomaatiksi kutsutaan yleisesti käyttöliittymänä käytettävän ohjelman ja CAD-järjestelmän muodostamaa työkalua, jolla tuotetaan annettujen lähtötietojen pohjalta tarvittavat dokumentit tuotteen valmistamista ja kokoonpanoa varten. Tuoteautomaatteja on yleisesti kolmea päätyyppiä, jotka ovat:

- asiakaslähtöinen tuoteautomaatti
- suunnittelua avustava tuoteautomaatti
- myynnistä-tuotantoon tuoteautomaatti.

#### 8.1.1 Asiakaslähtöinen tuoteautomaatti

Asiakaslähtöinen tuoteautomaatti toteutetaan yleensä internetissä esimerkiksi yrityksen kotisivujen kautta. Näin asiakas voi itse tuottaa alustavan piirustuksen tuotteesta, josta on kiinnostunut. Tämän pohjalta voidaan ruveta määrittelemään sopivampaa tuoterakennetta asiakkaan yksilöllisten tarpeiden mukaan. (9, s. 1; 10, s. 1 - 7.)

### *8.1.2 Suunnittelua avustava tuoteautomaatti*

Suunnittelua avustavaa tuoteautomaattia käytetään yleensä yrityksen suunnittelu- ja tuotekehitysosastojen sisäisenä työkaluna, jolla voidaan varioida ja optimoida yksittäisiä osia tai alikokoonpanoja kulloisenkin asiakastarpeen mukaisesti. Automaatti voidaan ohjelmoida saamaan ehtonsa esimerkiksi suoraan FEM-ohjelmasta, jolloin tuloksena on aina tuotteeseen kohdistuvien kuormitusten suhteen optimaalinen ratkaisu. (9, s. 1; 10, s. 1 - 7.)

### *8.1.3 Myynnistä-tuotantoon tuoteautomaatti*

Myynnistä tuotantoon konseptilla toimivaa tuoteautomaattia voidaan käyttää pääasiassa myynnin työkaluna, kun tuote on muuten teknisesti määritelty lukuun ottamatta tiettyjä tapauskohtaisesti varioituvia mittoja. Näin myyntitilanteessa voidaan tuottaa tarvittavat dokumentit tarjousta varten, ja myöhemmin tilauksen saavuttua laittaa tuote tuotantoon tiettyjen valmistukseen liittyvien tarkistusten jälkeen. (9, s. 1; 10, s. 1 - 7.)

## **8.2 Saavutettavat hyödyt**

Tuoteautomaatilla saavutettavat hyödyt koskevat koko valmistusketjua, se helpottaa myyntiä hinnoittelemaan ja tuottamaan asiakkaalle dokumentteja tarjousvaiheessa, vähentää tuotekehityksen ja suunnittelun työkuormaa ja inhimillisiä virheitä vakioiduissa ja kevyesti räätälöidyissä tuotteissa, sekä helpottaa tuotannonsuunnittelua ja hankintaa. (9, s. 1; 10, s. 1 - 7.)

## **8.3 Tuotteelta vaadittavat ominaisuudet**

Tärkeimmät tuotteelta vaadittavat ominaisuudet ovat helppo skaalattavuus ja moduloitavuus. Skaalattavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että tuotteen mittojen ja ominaisuuksien tulee muuttua aina ennalta määritettyjen sääntöjen ja porrastuksen mukaan. (9, s.1.;10, s.1 - 7.)

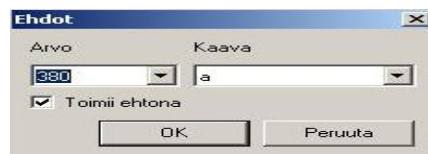
## **8.4 Tuoteautomaatin toteuttaminen**

Tuoteautomaatin toteuttaminen aloitettiin määrittämällä kappaleen toiminnallisuuden kannalta oleelliset mitat. Tärkeimmät mitat varsinaisen asennustyön kannalta ovat mitta B (kuva 30) pyöritettävän rummun pinnasta segmentin uuman sivuun, josta kehän aksiaalisäätö suoritetaan, sekä mitta C



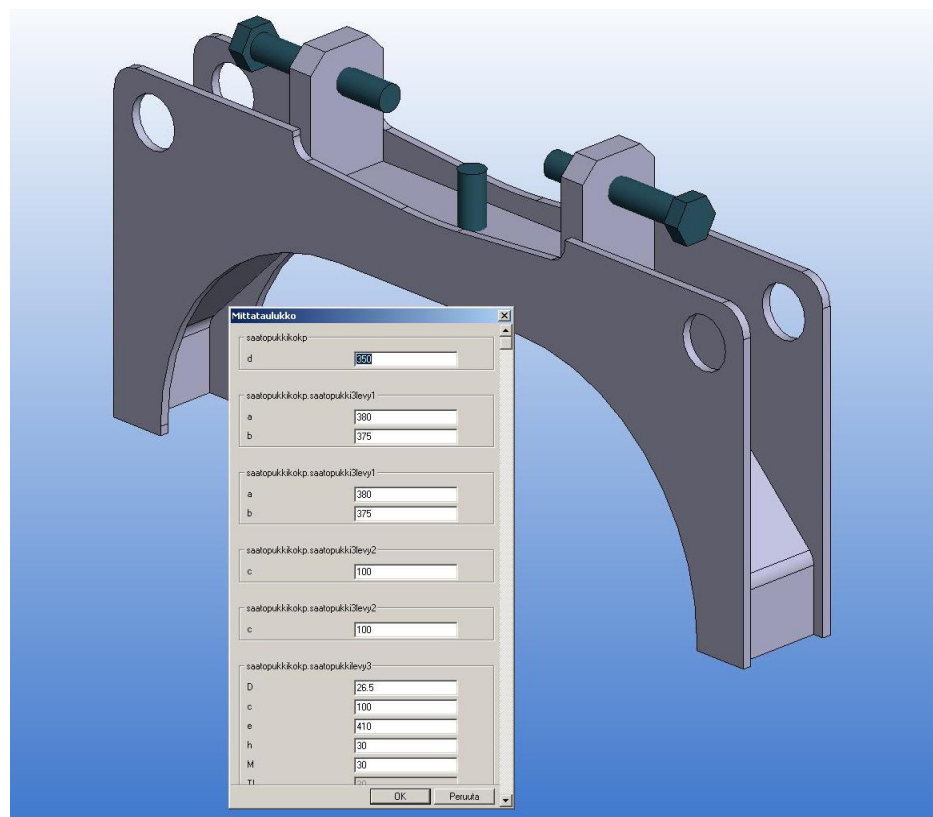


Kun eri osien luonnokset oli tarkastettu, mitoille annettiin nimitykset kaavojen muodossa. Vertex G4-ohjelmassa mittojen nimitykset annetaan mittaluvun yhteydessä olevaan kaavakenttään (kuva 32). Useammalla kuin yhdellä mitalla voi olla sama nimitys, jos ne pysyvät aina samansuuruisina. Näin saadaan vähennettyä nimettyjen muuttujien määrää. Tarvittaessa mitalle voidaan antaa myös jokin matemaattinen ehto suhteessa toiseen mittaan. Näin osat saadaan muuttumaan tietyssä suhteessa toisiinsa nähden. Nimetyt mittoja voi olla sekä luonnos- että kokoonpanotasolla.



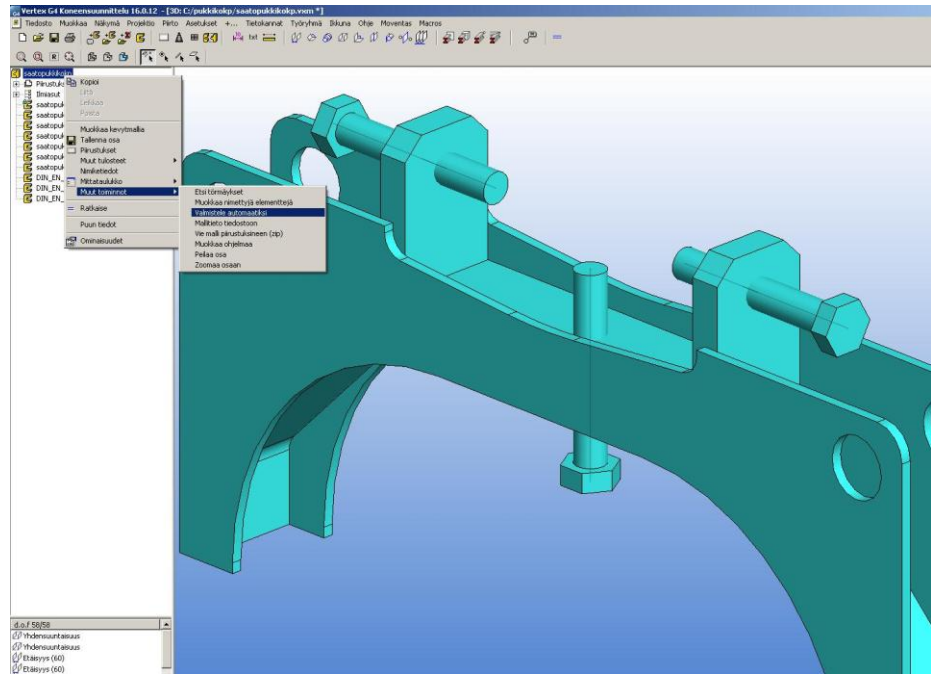
**Kuva 32. Mitan nimeäminen.**

Kun kaikille tarvittaville mitoille oli annettu nimitykset ja määritykset, voitiin kaikki kokoonpanon mitat, niiden nimitykset ja niihin liittyvät kaavat tarkistaa rakennepuusta löytyvästä mittataulukosta (kuva 33).



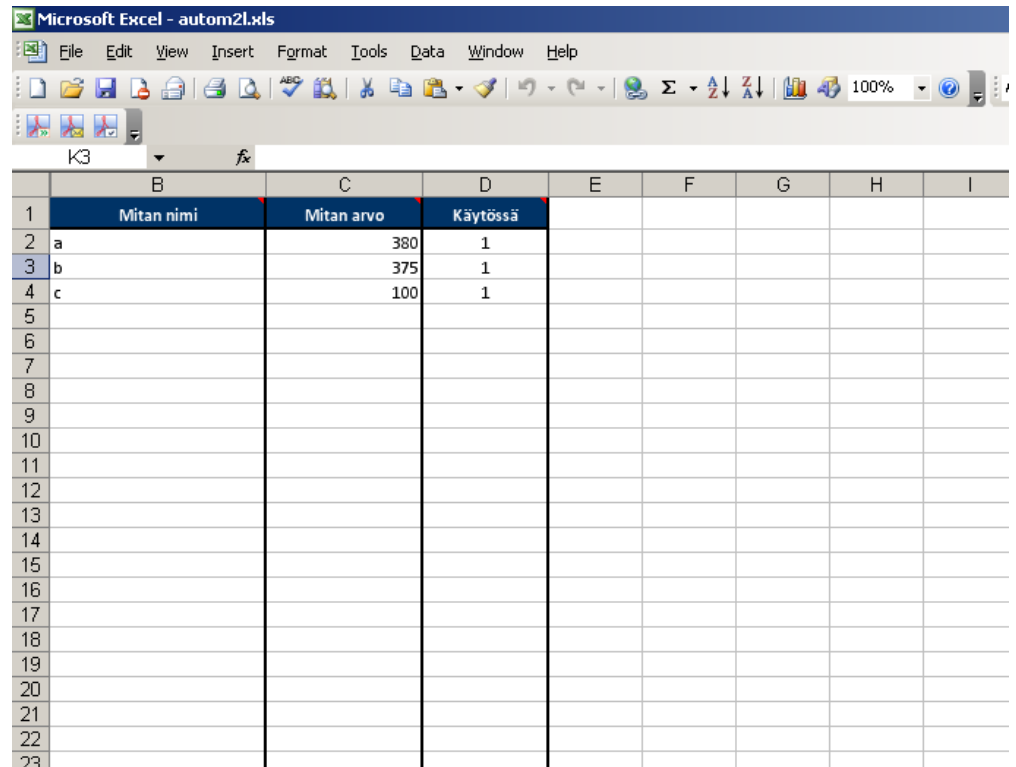
**Kuva 33. Mittataulukko.**

Kun edellä mainitut toimenpiteet oli suoritettu, voitiin kokoonpano valmistella automaattiksi rakennepuun *muut toiminnot* -valikon alta löytyvällä *valmis-tele automaattiksi* -komennolla (kuva 34).



**Kuva 34. Automaatin valmistelu.**

Tämän jälkeen *rakennepuun ominaisuudet* -kohdasta määritettiin tuoteautomaattia ohjaavan Excel-tiedoston tiedostopolku ja sijainti. Ohjaustiedostona käytettiin Vertex Systems Oy:lta saatua valmista tarkoitukseen suunniteltua lomakepohjaa (kuva 35).



The image shows a screenshot of the Microsoft Excel application window titled "Microsoft Excel - autom21.xls". The menu bar includes File, Edit, View, Insert, Format, Tools, Data, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and editing. The active cell is K3, and the formula bar is empty. The spreadsheet has columns B, C, and D highlighted in blue. Column B is labeled "Mitan nimi", column C is labeled "Mitan arvo", and column D is labeled "Käytössä". The data is as follows:

|    | B          | C          | D        | E | F | G | H | I |
|----|------------|------------|----------|---|---|---|---|---|
| 1  | Mitan nimi | Mitan arvo | Käytössä |   |   |   |   |   |
| 2  | a          | 380        | 1        |   |   |   |   |   |
| 3  | b          | 375        | 1        |   |   |   |   |   |
| 4  | c          | 100        | 1        |   |   |   |   |   |
| 5  |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 6  |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 7  |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 8  |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 9  |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 10 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 11 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 12 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 13 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 14 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 15 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 16 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 17 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 18 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 19 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 20 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 21 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 22 |            |            |          |   |   |   |   |   |
| 23 |            |            |          |   |   |   |   |   |

**Kuva 35. Lomakepohja.**

Kun lomakepohja oli valmis ja kokoonpano valmisteltu tuoteautomaatiksi, voitiin kokoonpanon nimettyjä mittoja muuttaa suoraan lomakepohjaan. Muutetut mitat voidaan puolestaan päivittää kokoonpanomalliin käyttämällä Excel-lomakepohjasta löytyvää *aja automaatti* -komentoa.

## 9 YHTEENVETO JA TULOKSET

Työn tuloksena saatiin kehitettyä kaksi uutta rakenneratkaisua jousikiinnitteisen hammaskehäkäytön asennustyökaluksi. Työssä käytiin myös läpi yksinkertaisen tuoteautomaatin luominen Vertex G4 CAD -ohjelman yhteyteen. Vertailtaessa uusia ratkaisuja olemassa olevaan tekniseltä ja taloudelliselta näkökannalta havaittiin, että levyrakenteinen ratkaisu sai parhaan arvostuksen. Lisäksi kahdelle parhaalle vaihtoehdolle suoritettua karkeassa lujuustarkastelussa ilmeni, että levyrakenteinen työkalu on huomattavasti jäykempi kuin aiemmissa projekteissa käytetty U-palkkirakenne.

Asennustyövaiheen kulkua ja aiemmissa toimituksissa ilmenneitä ongelmia arvioitaessa voitiin tehdä suuntaa-antava lista ominaisuuksista ja vaatimuksista, joita asennustyökalun suunnittelussa tulisi ottaa huomioon. Ensimmäinen vaatimus on, että yhden työkalun tulisi kestää hetkellisesti kokonaisen hammaskehän painon aiheuttama radiaalisen säätöruuvien suuntainen kuorma ilman pysyviä muodonmuutoksia tai ruuvien suuntaisia siirtymiä, jotka ovat suurempia kuin 1 mm. Suuremmat siirtymät voivat vaikeuttaa kehän radiaalisuuntaista säätämistä oleellisesti. Lisäksi rummun vaipan ja hammaskehän välisen etäisyyden kasvaessa suureksi tulisi asennustyökalun jaloille aina suorittaa lujuustarkastelu nurjahduksen varalta.

Toinen vaatimus koskee säätöruuvien kierteitä. Säätöruuveina tulee aina käyttää hienokierteisiä ruuveja, jotta kehän säätämiseen tarvittava voima saadaan pidettyä kohtuullisena, eikä säätämisen aikana tarvita erikoistyökaluja tai työturvallisuuden vaarantavia vipuvarsia.

Kolmas vaatimus koskee asennustyökalun yleistä käsiteltävyyttä. Työkalussa tulee olla riittävät nostokohdat ja kiinnityspisteet, jotta sen turvallinen käsittely asennuksen ja segmenttikokonaisuuksien kuljetuksen ja nostojen aikana on mahdollista.

Neljäntenä vaatimuksena yhdessä työkalussa tulee aina olla paikka lukitus-tangolle, jolla ensimmäisenä rummun päälle nostettu segmenttikokonaisuus saadaan lukittua paikalleen.

Jatkossa insinööriyön pohjalta kehitetylle levyrakenteiselle työkalulle pitäisi tehdä tarvittavat lujoustarkastelut, jotta se voitaisiin skaalata levynpaksuuksia muuttamalla sopimaan eripainoisille hammaskehille. Näin saataisiin kehitettyä jousikiinnitteisten hammaskehien säätöön yksikäsitteinen työkalu, joka voitaisiin optimoida käyttökohteen mukaan ilman raskasta suunnitteluvaihetta.

**LÄHTEET**

- 1 Annual Review. 2009. Moventas Santasalo Oy.
- 2 Sisäinen materiaali. 2011. Moventas Santasalo Oy.
- 3 Seppälä, Markku. 1999. *Paperimassan valmistus*. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 4 Sementin valmistus. 2011. Verkkodokumentti. Finsementti Oy. <[www.finnsementti.fi/sementit/valmistus.htm](http://www.finnsementti.fi/sementit/valmistus.htm)>. Luettu 25.3.2011.
- 5 Pyörivän uunin asennusohje. 2007. Moventas Santasalo Oy.
- 6 Pahl, Gerhard & Beitz, Wolfgang. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY.
- 7 Saaty, Thomas L & Kearns, Kevin P. 1985. Analytical Planning: The Organization of Systems. Oxford: Pergamon Press.
- 8 Akao, Yoji. 1990. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Portland: Productivity Press.
- 9 Suunnitteluautomaatit. 2011. Verkkodokumentti. Vertex Systems Oy. <[www2.vertex.fi/web/fi/suunn\\_autom](http://www2.vertex.fi/web/fi/suunn_autom)>. Luettu 25.3.2011.
- 10 Vertex G4 suunnitteluautomaatit. 2002. Koulutusmateriaali. Vertex Systems Oy.







# Asennustyökalujen tarjoukset

LIITE 2  
1(4)

Page 1 of 1

**Suuronen Leo**

---

**From:** Salmivaara Matti  
**Sent:** 8. huhtikuuta 2011 13:46  
**To:** Suuronen Leo  
**Subject:** Viron tarjous> Tarjous asennustyökaluista.

---

**Lähetäjä:** Kalev Kaunis [mailto:kalev.kaunis@mbnet.ee]  
**Lähetetty:** 8. huhtikuuta 2011 11:22  
**Vastaanottaja:** Salmivaara Matti  
**Aihe:** Tarjous asennustyökaluista.

Terve Matti,

Sain semmoiset hinnat asennustyökaluille, laskettu min 10 kpl kerrallaan työn alla:

|    |         | kg/levy | kg/prof. | kg/tot | €/levy | €/prof | leikkaus | viisteys | kokoonpano | hitsi |
|----|---------|---------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|------------|-------|
| 1. | D012116 | 45,00   | 0,00     | 45,00  | 42,12  | 0,00   | 9,90     | 0,00     | 9,59       | 19    |
| 2. | D012125 | 36,60   | 11,40    | 48,00  | 30,30  | 12,59  | 9,76     | 0,00     | 9,59       | 28    |
| 3. | D011559 | 20,70   | 18,00    | 38,70  | 17,14  | 17,01  | 7,25     | 7,35     | 9,59       | 19    |

HUOM.:

D012116, D012125 vois olla myös nostolenkit, työmaalla olisit miehet kiitollisia.

D012116 - osille 2, 3, 4 vois tehdä lovet osaan 1, kokoonpano kuin LEGO, hinta ei muuttuisi.

Samantyyppisessä työmäärä ei oleellisesti riippuu osien koosta, muuttuu vaan materiaalin hinta.

Terveisin,


Kalev

26.4.2011

Asennustyökalujen tarjoukset

LIITE 2  
2(4)


Tarjouslaskentataulukko

| Konepaja CeikoOy   |  | Tarjous no<br>Päiväys |  | Support  |  | Huom |  |
|--|--|-----------------------|--|--|--|------|--|
|  |  | 5.4.2011              |  |  |  |      |  |
|  |  | Piirustus             |  | D0121125 rev.  |  |      |  |
| <b>Materiaali</b><br>nettopaino <input type="text"/> kg<br>bruttopaino <input type="text"/> kg<br>mat.hinta €/kg <input type="text"/><br>Mat. hinta yhteensä <input type="text"/>  |  |                       |  | 73 €   |  | Euro |  |
| <b>Esikäsitely</b> (ESI) h h/€<br><input type="text"/> 0,2 <input type="text"/> 45 €   |  |                       |  | 9 €  |  | Euro |  |
| <b>Polttoleikkaus</b> (POL) h h/€<br>Yhteensä <input type="text"/> 0,5 <input type="text"/> 55 €   |  |                       |  | 28 €   |  | Euro |  |
| <b>Levytyö</b> (LEV) h h/€<br>Yhteensä <input type="text"/> 2 <input type="text"/> 50 €  |  |                       |  | 28 €   |  | Euro |  |
| <b>Hitsaus</b> (HIT) h h/€<br>Yhteensä <input type="text"/> 2 <input type="text"/> 50 €  |  |                       |  | 100  |  | Euro |  |
| <b>Koneistus</b> h h/€<br>Asetukset (ASE) <input type="text"/> 80 €<br>Ohjelmointi (OHJ) <input type="text"/> 80 €<br>Pienet jysink. (PJY) <input type="text"/> 0,3 <input type="text"/> 80 €<br>Isot jysink. (JY) <input type="text"/> 80 €<br>Sorvit (SOR) <input type="text"/> 80 €<br>Muut koneet (MUU) <input type="text"/> 70 €<br>Yhteensä <input type="text"/> |  |                       |  | 0 €  |  | Euro |  |
| <b>Hehkutus</b>  |  |                       |  | 0 €  |  | Euro |  |
| <b>Viimeistely</b> (JÄL)   |  |                       |  | 24 €   |  | Euro |  |
| <b>Mittaus</b> (MIT) h h/€<br><input type="text"/> <input type="text"/>  |  |                       |  | 0 €  |  | Euro |  |
| <b>Alihankinta</b> (180)   |  |                       |  | 0 €  |  | Euro |  |
| <b>Yhteensä</b> h<br><input type="text"/> 5  |  |                       |  | 399 €  |  | Euro |  |

Asennustyökalujen tarjoukset

LIITE 2  
3(4)


Tarjouslaskentataulukko

|                             |  |                       |  |                      |  |  |  |
|-----------------------------|--|-----------------------|--|----------------------|--|--|--|
| <b>Konepaja CeikoOy</b>     |  | Tarjous no<br>Päiväys |  | 5.4.2011             |  |  |  |
|                             |  | <b>Osa</b>            |  | <b>Support</b>       |  | <b>Huom</b>  |  |
|                             |  | <b>Piirustus</b>      |  | <b>D011559 rev.</b>  |  |  |  |
| <b>Materiaali</b>           |  |                       |  |                      |  |  |  |
| nettopaino                  |  | <input type="text"/>  |  | kg                   |  |  |  |
| bruttopaino                 |  | <input type="text"/>  |  | kg                   |  |  |  |
| mat.hinta €/kg              |  | <input type="text"/>  |  |                      |  |  |  |
| Mat. hinta yhteensä         |  |                       |  | <input type="text"/> |  | 68 € Euro sis pultit   |  |
| <b>Esikäsitely</b> (ESI)    |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
|                             |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  | 0,3                   |  | 45 €                 |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 14 € Euro Sis raepuhallus  |  |
| <b>Polttoleikkaus</b> (POL) |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
| Yhteensä                    |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  | 0,5                   |  | 55 €                 |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 28 € Euro  |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 28 € Euro  |  |
| <b>Levytyö</b> (LEV)        |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
| Yhteensä                    |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  | 3                     |  | 50 €                 |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 150 Euro   |  |
| <b>Hitsaus</b> (HIT)        |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
| Yhteensä                    |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  | 2                     |  | 50 €                 |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 100 € Euro   |  |
| <b>Koneistus</b>            |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
| Asetukset (ASE)             |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
| Ohjelmointi (OHJ)           |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
| Pienet jyrtsink. (PJY)      |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
| Isot jyrtsink. (IJY)        |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
| Sorvit (SOR)                |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
| Muut koneet (MUU)           |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
| Yhteensä                    |  |                       |  |                      |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 0 €  |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 0 €  |  |
|                             |  | 0,3                   |  | 80 €                 |  | 24 €   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 0 €  |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 0 €  |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 0 €  |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 24 € Euro  |  |
| <b>Hehkutus</b>             |  |                       |  |                      |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  |  |  |
| <b>Viimeistely</b> (JÄL)    |  |                       |  |                      |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 70 Euro Euro Maalaus   |  |
| <b>Mittaus</b> (MIT)        |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
|                             |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | Euro   |  |
| <b>Alihankinta</b> (180)    |  |                       |  |                      |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | Euro Sis tarkastukset, maalaukset  |  |
| <b>Yhteensä</b>             |  | h                     |  | h/€                  |  |  |  |
|                             |  | <input type="text"/>  |  | <input type="text"/> |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  | 6,1                   |  |                      |  | <input type="text"/>   |  |
|                             |  |                       |  |                      |  | 453 € Euro   |  |

Asennustyökalujen tarjoukset

LIITE 2  
4(4)

Tarjouslaskentataulukko

|                         |       |                       |      |                     |       |  |                 |
|-------------------------|-------|-----------------------|------|---------------------|-------|--|-----------------|
| <b>Konepaja CeikoOy</b> |       | Tarjous no<br>Päiväys |      | 5.4.2011            |       |  |                 |
|                         |       | <b>Osa</b>            |      | <b>Support</b>      |       | <b>Huom</b>  |                 |
|                         |       | <b>Piirustus</b>      |      | <b>D012116 rev.</b> |       |  |                 |
| <b>Materiaali</b>       |       |                       | kg   |                     |       |  |                 |
| nettopaino              |       |                       | kg   |                     |       |  |                 |
| bruttopaino             |       |                       | kg   |                     |       |  |                 |
| mat.hinta €/kg          |       |                       |      |                     |       |  |                 |
| Mat. hinta yhteensä     |       |                       |      |                     | 80 €  | Euro   | sis pultit      |
| <b>Esikäsitely</b>      | (ESI) | h                     | h/€  |                     | 9 €   | Euro   | Sis raepuhallus |
|                         |       | 0,2                   | 45 € |                     |       |  |                 |
| <b>Polttoleikkaus</b>   | (POL) | h                     | h/€  |                     | 33 €  | Euro   |                 |
| Yhteensä                |       | 0,6                   | 55 € |                     | 33 €  | Euro   |                 |
| <b>Levytyö</b>          | (LEV) | h                     | h/€  |                     | 65    | Euro   |                 |
| Yhteensä                |       | 1,3                   | 50 € |                     |       |  |                 |
| <b>Hitsaus</b>          | (HIT) | h                     | h/€  |                     | 75 €  | Euro   |                 |
| Yhteensä                |       | 1,5                   | 50 € |                     |       |  |                 |
| <b>Koneistus</b>        |       | h                     | h/€  |                     |       |  |                 |
| Asetukset (ASE)         |       |                       | 80 € |                     | 0 €   |  |                 |
| Ohjelmointi (OHJ)       |       |                       | 80 € |                     | 0 €   |  |                 |
| Pienet jyrsink. (PJY)   |       | 0,3                   | 80 € |                     | 24 €  |  |                 |
| Isot jyrsink. (IJY)     |       |                       | 80 € |                     | 0 €   |  |                 |
| Sorvit (SOR)            |       |                       | 80 € |                     | 0 €   |  |                 |
| Muut koneet (MUU)       |       |                       | 70 € |                     | 0 €   |  |                 |
| Yhteensä                |       |                       |      |                     | 24 €  | Euro   |                 |
| <b>Hehkutus</b>         |       |                       |      |                     |       |  |                 |
| <b>Viimeistely</b>      | (JÄL) |                       |      |                     | 60    | Euro   | Maalaus         |
| <b>Mittaus</b>          | (MIT) | h                     | h/€  |                     |       | Euro   |                 |
| <b>Alihankinta</b>      | (180) |                       |      |                     |       | Euro   |                 |
| <b>Yhteensä</b>         |       | h                     | h/€  |                     | 346 € | Euro   |                 |
|                         |       | 3,9                   |      |                     |       |  |                 |

# Tekninen ja taloudellinen vertailu

| Tärkeys parivertailulla |    |    |       |                 |               | Ominaisuudet |              |
|-------------------------|----|----|-------|-----------------|---------------|--------------|--------------|
|                         | Wx | Wy | Paino | Valmistettavuus | Parametrisuus | Pisteet      | Painokerroin |
| Ominaisuudet            |    |    |       |                 |               |              |              |
| Wx                      | 1  |    |       |                 |               | 5            | 0,313        |
| Wy                      | 0  | 1  |       |                 |               | 4            | 0,250        |
| Paino                   | 0  | 0  | 1     |                 |               | 2            | 0,125        |
| Valmistettavuus         | 0  | 0  | 1     | 1               |               | 3            | 0,188        |
| Parametrisuus           | 0  | 0  | 1     | 0               | 1             | 2            | 0,125        |
|                         |    |    |       |                 |               | 16           | 1,000        |

| Tärkeys Saaty menetelmällä |     |     |       |                 |               | Ominaisuudet |       | Prioriteettivektori |  |
|----------------------------|-----|-----|-------|-----------------|---------------|--------------|-------|---------------------|--|
|                            | Wx  | Wy  | Paino | Valmistettavuus | Parametrisuus |              |       |                     |  |
| Ominaisuudet               |     |     |       |                 |               |              |       |                     |  |
| Wx                         | 1   | 3   | 7     | 5               | 9             | 3,94         | 0,489 | 2,70                |  |
| Wy                         | 1/3 | 1   | 7     | 5               | 9             | 2,54         | 0,315 | 1,75                |  |
| Paino                      | 1/9 | 1/7 | 1     | 3               | 5             | 0,75         | 0,093 | 0,55                |  |
| Valmistettavuus            | 1/5 | 1/5 | 1/3   | 1               | 7             | 0,62         | 0,077 | 0,45                |  |
| Parametrisuus              | 1/9 | 1/9 | 1/5   | 1/7             | 1             | 0,20         | 0,025 | 0,14                |  |
|                            |     |     |       |                 |               | 8,05         | 1,000 |                     |  |

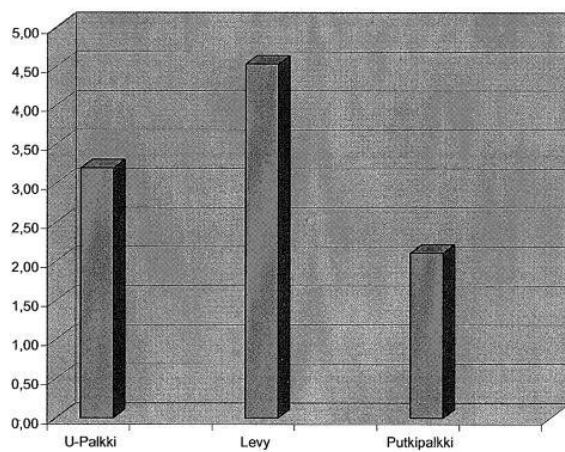
| Tärkeys Akaon menetelmällä |       |              |
|----------------------------|-------|--------------|
|                            |       | Painokerroin |
| Ominaisuudet               |       |              |
| Wx                         | 5     | 0,294        |
| Wy                         | 5     | 0,294        |
| Paino                      | 2     | 0,118        |
| Valmistettavuus            | 3     | 0,176        |
| Parametrisuus              | 2     | 0,118        |
|                            | 17,00 | 1,000        |

| Ominaisuus      | Parivertailu | Saaty | Akao  | Ka    |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|
| Wx              | 0,313        | 0,489 | 0,294 | 0,365 |
| Wy              | 0,250        | 0,315 | 0,294 | 0,266 |
| Paino           | 0,125        | 0,093 | 0,118 | 0,112 |
| Valmistettavuus | 0,188        | 0,077 | 0,176 | 0,147 |
| Parametrisuus   | 0,125        | 0,025 | 0,118 | 0,089 |
|                 |              |       |       | 1,000 |

Tekninen ja taloudellinen vertailu

Ratkaisuvaihtoehtojen tekninen arviointi

| Kustannuskohde  | Valmistuskustannusten osuus | U-Palkki              |                       | Levy                  |                       | Putkipalkki           |                       |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 |                             | Hyötyarvo (H = 1 - 5) | Painoarvo (P = H x y) | Hyötyarvo (H = 1 - 5) | Painoarvo (P = H x y) | Hyötyarvo (H = 1 - 5) | Painoarvo (P = H x y) |
|                 |                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| Wx              | 0,37                        | 3                     | 1,10                  | 5                     | 1,83                  | 2                     | 0,73                  |
| Wy              | 0,29                        | 3                     | 0,86                  | 5                     | 1,43                  | 2                     | 0,57                  |
| Paino           | 0,11                        | 4                     | 0,45                  | 3                     | 0,34                  | 3                     | 0,34                  |
| Valmistettavuus | 0,15                        | 3                     | 0,44                  | 4                     | 0,59                  | 2                     | 0,29                  |
| Parametrisuus   | 0,09                        | 4                     | 0,36                  | 4                     | 0,36                  | 2                     | 0,18                  |
|                 | 1,00                        |                       | 3,20                  |                       | 4,54                  |                       | 2,11                  |



Tekninen ja taloudellinen vertailu

Ratkaisuvaihtoehtojen taloudellinen arviointi

| Kustannuskohde | Valmistuskustannusten osuus | U-Palkki              |                       | Levy                  |                       | Putkipalkki           |                       |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                |                             | Hyötyarvo (H = 1 - 5) | Painoarvo (P = H x y) | Hyötyarvo (H = 1 - 5) | Painoarvo (P = H x y) | Hyötyarvo (H = 1 - 5) | Painoarvo (P = H x y) |
|                |                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| Materiaali     | 0,22                        | 5                     | 1,12                  | 4                     | 0,89                  | 3                     | 0,67                  |
| Hitsaus        | 0,25                        | 4                     | 0,99                  | 5                     | 1,23                  | 3                     | 0,74                  |
| Muu työ        | 0,39                        | 3                     | 1,16                  | 5                     | 1,93                  | 4                     | 1,55                  |
| Pintakäsittely | 0,14                        | 5                     | 0,72                  | 3                     | 0,43                  | 4                     | 0,58                  |
|                | 1,00                        |                       | 3,98                  |                       | 4,49                  |                       | 3,53                  |

