



**Aalto-yliopisto**  
Insinöörیتieteiden  
korkeakoulu

Pekka Rantanen

## **Siltanosturin nostinvaunun lisävarusteiden tuotteistaminen**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Espoo 10.11.2014

Työn valvoja: Professori Esko Niemi

Työn ohjaaja: Tekniikan tohtori William Brace

---

**Tekijä** Pekka Rantanen

---

**Työn nimi** Siltanosturin nostinvaunun lisävarusteiden tuotteistaminen

---

**Laitos** Koneenrakennustekniikan laitos

---

**Professuuri** Tuotantotekniikka

**Professuurikoodi** Kon-15

---

**Työn valvoja** Professori Esko Niemi

---

**Työn ohjaaja** Tekniikan tohtori William Brace

---

**Päivämäärä** 10.11.2014

**Sivumäärä** 79 + 9

**Kieli** suomi

---

## Tiivistelmä

Työn tarkoituksena on löytää läpäisyajan lyhennyspotentiaalia Konecranes Oyj:n valmistaman nostinvaunun tuotteen alihankintasuunnitteluun ja lisävarusteiden yksinkertaistamisesta saatavia kustannussäästömahdollisuuksia.

Suunnitteluajan lyhentämiselle on tarvetta, koska siltanostureiden markkinoilla on vallitsevana trendinä asiakasräätelöidyt kokonaisuudet, mikä merkitsee yleistyvää lisävarusteiden liittämistä perustuotteeseen. Tämä tekee siltanosturitulauksista pitkälti uniikkeja, jolloin herää kysymys, voidaanko suunnitteluprosessia nopeuttaa vakioimalla niitä lisävarusteita, joiden toistuvuus tilauksissa on merkittävä.

Tutkimus toteutettiin pääasiassa tapaustutkimuksena, jonka lisäksi käytettiin jonkin verran tilauksista kerättyyn numeeriseen aineistoon sovellettuja laatutyökaluja. Työn tuloksena ehdotetaan vakioitua asennusratkaisua huoltotasolle asennettaville moottoroiduille kaapelikelloille, kustannustehokkaasti valmistettavaa nostokoneiston rajakytkinmoduulin koteloa sekä laserleikkaamalla ja taivuttamalla valmistettavaa asennusortta törmäyksenestolaitteille.

Tämän lisäksi luotiin suunnitteluohje mainittujen törmäyksenestolaitteiden sijoitteluun niissä siltanosturitulauksissa, joissa samalle sillalle sijoitetaan kolme nostinvaunua, joissa käytetään kiinteää laser-etäisyydenmittausjärjestelmää.

---

**Avainsanat** DFMA, kaizen, modulaarisuus, siltanosturi, tuotteistaminen

---

---

<b>Author</b>	Pekka Rantanen	
<b>Title of thesis</b>	Productization of overhead crane trolley's optional devices	
<b>Department</b>	Department of Engineering, Design and Production	
<b>Professorship</b>	Production Engineering	<b>Code of professorship</b> Kon-15
<b>Thesis supervisor</b>	Professor Esko Niemi	
<b>Thesis advisor</b>	William Brace D. Sc. (Tech.)	
<b>Date</b>	<b>Number of pages</b>	<b>Language</b>
10.11.2014	79 + 9	Finnish

---

- **Abstract**

The main objective of the thesis is to find potential of shortening the lead time of subcontractor-made design of overhead crane trolleys manufactured by Konecranes Oyj and to develop cost-efficient, simplified versions of its optional devices.

There is a need for shortening the design process because of the trend of customization in the overhead crane market. This means more adding of optional devices to the basic product. As virtually every overhead crane delivery is a unique one, the question arises if the design process could be shortened by standardizing the most frequently ordered optional devices.

The research was made mainly as a case study, and the numerical data collected from order history was in some extent analysed with quality tools. The results of the research are productization proposals of cable reel support, a simplified version of hoist limit switch module cover and a laser-cut support for anti-collision devices.

In addition to this, a documentation was made that tells the correct way of installing the anti-collision devices when the crane delivery includes three trolleys on the same bridge and when there is also a fixed laser positioning system present.

---

**Keywords** DFMA, kaizen, modularity, overhead crane, productization

---

## **Alkusanat**

Tämän diplomityön aihetta on etsitty kauan ja suurella hartaudella ja löytyihän se lopulta. Työvuosiakin ehti sinä aikana jo hieman kertyä, mutta ei se mitään. Tämä opinnäyte auttoi saamaan moniin mekaniikkasuunnittelijan työhön liittyviin asioihin näkemystä.

Haluan kiittää työn valvojaa, professori Esko Niemeä sekä ohjaajaa, TkT William Bracea. Kiitoksen ansaitsevat myös Antti Paajanen ja Jari Vuorela Konecranesilta.

Kiitokset myös vanhemmilleni tuesta opiskeluaikanani. Sekä tietenkin kotijoukoille, Susanne, Eveliina, Meeri ja Karoliina, kärsivällisyydestä.

Riihimäellä 10.11.2014

Pekka Rantanen

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo.....	1
Määritelmät.....	4
Lyhenteet .....	5
1 Johdanto .....	6
1.1 Tutkimuksen tausta.....	6
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset .....	6
1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto .....	7
1.4 Tutkimuksen viitekehys ja rakenne .....	7
2 Kirjallisuuskatsaus .....	8
2.1 Laatu .....	8
2.1.1 Laatuajattelun taustaa.....	8
2.1.2 Laadun merkitys yritystoiminnassa .....	11
2.1.3 Laatu ja kustannukset.....	12
2.1.4 Laatutyökalut .....	12
2.1.5 Standardit, laatujärjestelmä ja -dokumentit .....	15
2.1.6 Kehitystoiminnan toteutus .....	16
2.1.7 Kaizen ja oppiva organisaatio .....	18
2.2 Tuotekehitys ja suunnittelun metodiikat.....	19
2.2.1 Tuotekehitys prosessina .....	19
2.2.2 Tuotekehitys projektina .....	19
2.2.3 Mallintaminen .....	20
2.2.4 DFA, DFM ja DFMA .....	20
2.3 Tuotetiedon hallinta.....	24
2.4 Tuotearkkitehtuuri .....	28
2.4.1 Modulaarisuuden tyypit .....	28
2.4.2 Tuoteperheet .....	29
2.4.3 Vakiointi ja komponenttistandardointi.....	30

2.4.4	Konfiguroitu tuote.....	30
2.5	Valmistettavuus- ja kustannusnäkökohtia .....	31
2.5.1	Kustannukset.....	31
2.5.2	Valmistettavuus.....	33
2.5.3	Laserleikkaaminen .....	34
2.5.4	Taivuttaminen .....	34
2.5.5	Työtuntikohtaiset kustannukset .....	35
3	Siltanosturit.....	38
3.1	Siltanosturin rakenne ja toiminta.....	38
3.1.1	Silta .....	39
3.2	Nostinvaunu.....	39
3.2.1	Päädyt.....	40
3.2.2	Kuormapalkki .....	41
3.2.3	Nostokoneisto .....	41
3.2.4	Siirtokoneisto .....	41
3.2.5	Koukku.....	41
3.2.6	Huoltotaso .....	41
3.3	Nostinvaunun lisävarusteet.....	42
3.3.1	Kaapelikelat .....	42
3.3.2	Nostokoneiston rajakytkinmoduuli.....	43
3.3.3	Siirron rajakytkimet .....	44
3.3.4	Laser- ja törmäyksenestojärjestelmä.....	45
4	Menetelmät.....	47
4.1	Tapaustutkimus.....	47
4.2	Tutkimuksen suorittaminen .....	47
4.2.1	Tilausaineistosta kerätyt tiedot .....	47
4.2.2	Kaapelikelojen dimensiot.....	48
4.2.3	Huoltotasojen leveysjakauma .....	49
4.2.4	Kaapelikelojen rummun halkaisijoiden jakauma.....	50
4.2.5	Rummun halkaisija vs tason leveys .....	50
4.2.6	Kaapelikelojen kiinnitysmittaryhmit.....	51
4.2.7	Kaapelikelat-asennusten vaatimat suunnittelutunnit.....	52
4.2.8	Rajakytkinmoduulin kustannustiedot.....	53
4.2.9	Enkooderien kokoluokka .....	54

5	Kehittämisehdotukset.....	55
5.1	Moottoroidun kaapelikelan asennus huoltotasolle .....	55
5.1.1	Moottorikelan asennustelineen suunnittelu.....	55
5.1.2	Kansipeltien mitoittaminen .....	57
5.1.3	Vaikutus suunnitteluun kuluvaan aikaan .....	58
5.2	Nostokoneiston rajakytkinmoduuli.....	58
5.2.1	Suunnitteluvaatimukset ja lähtötiedot.....	59
5.2.2	Uusi nostorajakytkinmoduuli.....	60
5.2.3	Erillisen enkooderin sisältävä versio .....	62
5.2.4	Uuden ja vanhan ratkaisun kustannusvertailu.....	63
5.3	Laser- ja AC-järjestelmien suunnitteluohje.....	64
5.3.1	Suunnitteluvaatimukset.....	64
5.3.2	Suunnittelun lähtötiedot.....	65
5.3.3	Uudet asennusorret ja kustannusvertailu.....	66
5.3.4	Uusi suunnitteluohje .....	67
6	Johtopäätökset.....	70
	Lähteet .....	72
	Liiteluettelo.....	76
	Liitteet	

## Määritelmät

AC-järjestelmä	Törmäyksenestojärjestelmä (engl. <i>anti-collision system</i> ), jota käytetään kahden samalla sillalla olevan nostinvaunun välillä ja joka koostuu infrapunalähetin-vastaanottimesta ja kulmaheijastimesta.
Apuvaunu	Tavanomaisen nostinvaunun kanssa samalla sillalla oleva pienempi nostinvaunu (yleensä CXT)
CXT	Konecranes Oyj:n valmistama nostinvaunutuote
iLM	Konecranes Oyj:n tuotannonhallintajärjestelmä
Kaizen	Jatkuva kehittämistoiminta
Laserjärjestelmä	Nostinvaunun paikoitukseen käytettävä etäisyydenmittausjärjestelmä, joka koostuu sillan päähän asennettavasta kiinteästä laserlähtimestä ja nostinvaunuun asennettavasta kulmaheijastimesta.
Lean	Tuotantofilosofia, joka pyrkii poistamaan prosessista kaiken lisäarvoa tuottamattoman
Läpäisy aika	Aika tilauksen saapumisesta tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Suunnittelun läpäisy aika on aika suunnittelutilauksen saapumisesta suunnittelun valmistumiseen.
Nostinvaunu	Siltanosturin sillan muodostama rataa pitkin kiskoilla liikkuva vaunu, joka koostuu päädyistä, nostimesta, kuormapalkista, huoltotasosta ja mahdollisista lisävarusteista.
Siltanosturi	Raskaiden kuormien siirtoon käytettävä kiskoilla liikkuva nosturi
Smarton®	Konecranes Oyj:n valmistama siltanosturituote
UM-vaunu	Smarton® siltanosturin nostinvaunu



## Lyhenteet

CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (engl. Computer-aided Design)
DFA	Kokoonpanovaiheen huomioiva suunnittelu (engl. Design for Assembly)
DFM	Valmistusnäkökohdat huomioiva suunnittelu (engl. Design for Manufacturing)
DFMA	Suunnittelumetodi joka huomioi sekä valmistettavuuden että kokoonpantavuuden (engl. Design for Manufacturing and Assembly)
DIN	Saksan standardointi-instituutti (saks. Deutsches Institut für Normung)
EU	Euroopan Unioni
ISO	Kansainvälinen standardointijärjestö (engl. International Organization for Standardization)
PDCA	Nelivaiheinen prosessinkehitystyökalu (engl. Plan, Do, Check, Act), toinen nimitys Demingin ympyrälle
PDM	Tuotetiedon hallinta (engl. Product Data Management)
QFD	Asiakaslähtöinen tuotesuunnittelu (engl. Quality Function Development)
SFS	Suomen standardisoimisliitto (ruots. Finlands Standardiseringsförbund)
SPC	Tilastollinen laadunvalvonta (engl. Statistical Process Control)
TQC	Kokonaisvaltainen laadunohjaus (engl. Total Quality Control)

# 1 Johdanto

Maailmantaloudessa vallitsee globaalina trendinä joustavuus, mikä muun muassa tarkoittaa kunkin asiakkaan tarpeisiin räätälöityjä tuotteita ja palveluja. Siltanostureiden markkinoilla edellä mainittu merkitsee asiakasräätälöityjä kokonaisuuksia, jotka sisältävät enenevässä määrin perustuotteeseen liitettäviä lisävarusteita.

Siltanostureita tuottavalle yritykselle tämä asettaa haasteen, miten näiden lisävarusteiden sisällyttäminen päätuotteeseen voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti. Kustannussäästöjä pyritään saamaan paitsi suunnittelemalla edullisemmin valmistettavia komponentteja, myös itse suunnitteluprosessin läpäisyäikää lyhentämällä.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Siltanosturin toimittaminen asiakkaalle on aina projekti, jossa lähtökohtana ovat asiakkaan olosuhteet ja erityistarpeet. Yksinomaan tehdashallien sisämitat, joiden mukaan siltanosturit luonnollisesti on mitoitettava, vaihtelevat paljon ja tekevät siten kustakin nosturitulauksesta pitkälle räätälöidyn. Asennusmittojen lisäksi on otettava huomioon asiakkaan logistiikka- ja materiaalivirtatekijät, jotka voivat edellyttää esimerkiksi useiden nostinvaunujen sijoittamista samalle sillalle tai vaunujen ajamisen estämistä johonkin osaan tehdashallia. Tämä taas edellyttää tilanteeseen räätälöityä järjestelmää, jolla estetään vaunujen törmäminen toisiinsa tai ajaminen kielletylle alueelle.

Eri tekijöiden vaihtelevuus on kaiken kaikkiaan huomattavaa ja käytännössä jokainen asiakkaalle toimitettava siltanosturikokonaisuus on täysin uniikki suunnittelutapaus. Uniikkisuus merkitsee kuitenkin merkittäviä suunnittelukustannuksia, jolloin herää kysymys, esiintyykö tilausten joukossa samankaltaisten ratkaisujen toistuvuutta. Sen hyödyntäminen lisävarusteita vakioimalla toisi kustannussäästöjä sekä suunnittelu- että valmistusprosessissa.

Konecranes Oyj on nostolaitteita valmistava kansainvälinen pörssi-yhtiö. Se kuului aiemmin Kone Osakeyhtiöön, joka perustettiin vuonna 1910 alun perin sähkömoottorikorjaamona ja joka aloitti sähkökäyttöisten siltanostureiden valmistuksen vuonna 1933. Vuonna 1994 Kone myi kaikki ydinliiketoimintaansa eli hissien valmistukseen kuulumattomat toimintonsa, jolloin perustettiin uusi nostolaitteiden yhtiö Konecranes Oyj. Se listautui Helsingin pörssiin vuonna 1996.

Konecranes Oyj:n siltanosturituotanto on keskittynyt Hyvinkäälle. Konecranes Oyj ostaa toimittamiensa SMARTON®-siltanosturien alihankintasuunnittelun tehtaansa välittömässä läheisyydessä toimivalta Etteplan Oyj:ltä. Näihin siltanostureihin kuuluvista nostinvaunuista käytetään valmistuksessa ja alihankintasuunnittelussa nimeä UM-vaunu.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

- Miten saada UM-vaunujen suunnittelun läpäisyäikää lyhyemmäksi?
- Miten saada kustannussäästöjä lisävarusteiden osalta?

Taustalla ovat läpäisyajankin osalta viime kädessä kustannukset. Molemmat kysymykset yhdessä muodostavat kolme aliongelmaa, ja työn rakenne on tätä vastaavasti kolmiosainen. Nämä osat ovat moottoroitujen kaapelikelojen asennusalustan ja sen kanssa käytettävien huoltotasojen kehittäminen huoltotasolle, nostokoneiston rajakytkinmoduulin uudelleensuunnittelu ja asennusratkaisun luominen laser-etäisyydenmittaus- ja törmäyksenestojärjestelmiä varten.

Työn yhtenä tavoitteena on kartoittaa siltanosturiin kuuluvan nostinvaunun kysytyjen lisävarusteiden kehittämistarpeet ja mahdolliset tuotteistamisedellytykset. Toisena tavoitteena on päivittää Konecranes Oyj:n laatujärjestelmään kuuluva suunnitteluohje toimitussuunnittelun piiriin kuuluvaa törmäyksenestolaitteiden sijoittelua varten.

Nostinvaunun lisävarusteilla tarkoitetaan tässä työssä nostokoneiston rajakytkinmoduulia, huoltotasolle asennettavia moottoroituja kaapelikeloja, laser-etäisyydenmittausjärjestelmiä sekä kahden eri nostinvaunun välisiä törmäyksenestolaitteita. Muut kuin edellä mainitut lisävarusteet eivät sisälly työn aihepiiriin.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto**

Tiedonkeruu tapahtui pääosin tapaustutkimuksena käyttäen hyväksi Konecranes Oyj:n nostinvaunujen toimitussuunnittelun dokumenttien muodostamaa aineistoa, mitä täydentävät Konecranes Oyj:n henkilöstöltä työn eri vaiheissa saadut tiedot.

### **1.4 Tutkimuksen viitekehys ja rakenne**

Tutkimus on tehty osana Konecranes Oyj:n käynnistämää sisäistä kustannussäästökohteiden kartoitusohjelmaa, joka on suunnattu sen oman henkilöstön lisäksi alihankkijoille. Tutkimus jakautuu kolmeen toisistaan erilliseen osioon, joista kaikissa on kysymys lisävarusteiden toteuttamisesta edullisemmin.

Tavoiteltavat kustannussäästöt muodostuvat työn eri osioissa eri tavoin. Rajakytkinmoduulin pelkistämisen kohdalla kysymys on suoraviivaisesti valmistuskuluista. Moottorikelojen asennusalustan ja huoltotasojen kansien osalta säästöt saadaan epäsuorasti pienempänä suunnitteluajan tarpeena. Törmäyksenestolaitteiden asennusosien päivittämisellä haetaan alempia valmistuskustannuksia, kun taas suunnitteluohjeessa on kysymys epäsuorista kustannussäästöistä, jotka syntyvät suunnittelutyön selkeytymisestä ja nopeutumisesta.

Luku 2 käsittelee prosessien kehittämisen menetelmiä, tutkimuksessa sovellettuja laatutyökaluja, yleistä tuotekehityksen metodiikkaa, asiakasyrityksen tuotetiedonhallintajärjestelmää hyödyntävää mekaniikkasuunnittelua, tuoterakenteita sekä valmistus- ja kustannusnäkökohtia siinä laajuudessa kuin ne liittyvät tutkimuksen aiheeseen. Luvussa 3 selostetaan Konecranes Oyj:n siltanostureiden rakenne ja toiminta. Luvussa 4 esitellään käytetyt tutkimus- ja tiedonkeruumenetelmät. Luvussa 5 kuvataan havaintojen pohjalta tehdyt kehittämissuositukset. Luvussa 6 esitetään yhteenvedo tutkimuksesta ja sen tuloksista sekä tehdään niiden perusteella johtopäätökset.

## 2 Kirjallisuuskatsaus

Teollisuustoimintaa harjoittava yritys säilyttää asemansa globaalissa kilpailussa ainoastaan kehittämällä jatkuvasti kaikkia toimintojaan. Siksi on ratkaisevaa, että eteen tulevat kehittymismahdollisuudet osataan tunnistaa ja käyttää hyväksi (Salomäki 1999, s. 33). Lapinleimu et al. (1997, s. 275) toteavat, että ”kilpailukyvyyn on perustuttava ylivoimaiseen osaamiseen ja joustavaan nopeaan toimintaan”. Tähän liittyy läheisesti oppivan organisaation käsite. Huhtala & Pulkkinen (2009, s. 210) toteavat, että ”kyky oppia ja kehittyä” on oleellinen kilpailukykyä lisäävä tekijä, ja kilpailun kannalta ratkaisevaa on organisaation kyky luoda ja siirtää tietoa.

### 2.1 Laatu

Laadulle on hyvin paljon erilaisia määritelmiä, ja monet niistä ovat arvopainotteisia, mikä estää määrittelemästä laatua yleisesti (Andersson & Tikka 1997, s. 17). Philip B. Crosbyin mukaan miellelyhtymät laadusta esimerkiksi korkeana varustetasona tai ylellisyytenä ovat harhaanjohtavia, ja hänen mukaansa laatu on yhtä kuin ”todettu yhdenmukaisuus vaatimukseen nähden”. Tällöin laatu kuvaa sitä, kuinka hyvin tuote täyttää sille asetetut vaatimukset (Crosby 1986, s. 19).

Crosby toteaa, että ”laadusta puhuttaessa on kysymys ihmisistä”. Yritysjohto on määritellyt kullekin toimenkuvan, ja oikein toteutetuista työtehtävistä on Crosbyin mukaan seurauksena yrityksenkin menestyminen. Tämä koskee yhtä lailla teollisuus- kuin palvelualoja. (Crosby 1986, s. 18)

Laatua tuottaakseen on toimitettava asiakkaalle sellainen tuote tai palvelu kuin on luvattu (Crosby 1986, s. 84). ”Ainoa suoritusstandardi on nollavirhetaso” (Crosby 1986, s. 135), mikä siis merkitsee ongelmien ja virheiden puuttumista ja mainittua yhdenmukaisuutta vaatimukseen nähden.

Lillrank (1990, s. 44) mainitsee alun perin Joseph Juranilta peräisin olevan laadun määritelmän ”*Quality is fitness for use*”, eli laatu on tuotteen soveltuvuutta käyttötarkoitukseensa, joka voi riippua käyttäjän mieltymyksistä. Tästä syytä on vaikea määritellä sopivaa mittaria tuotteen suorituskyvylle. Juranin laatumääritelmän mukainen laatu liittyy suorituskyvyn oikeaan kohdentamiseen (Lillrank 1990, s. 52-53).

Laadun tekemisen kannalta keskeinen käsite on prosessi (Lillrank 1998, s. 25). Lecklin (1997, s. 135) määrittelee prosessin ”toimintoketjiksi, jolla yritys muuttaa saamansa panokset tuotoiksi asiakkaalle”. Tämän työn fokus on prosessin laadussa – osittain suunnitteluprosessin parantamisessa ja osittain tuotekehityksessä.

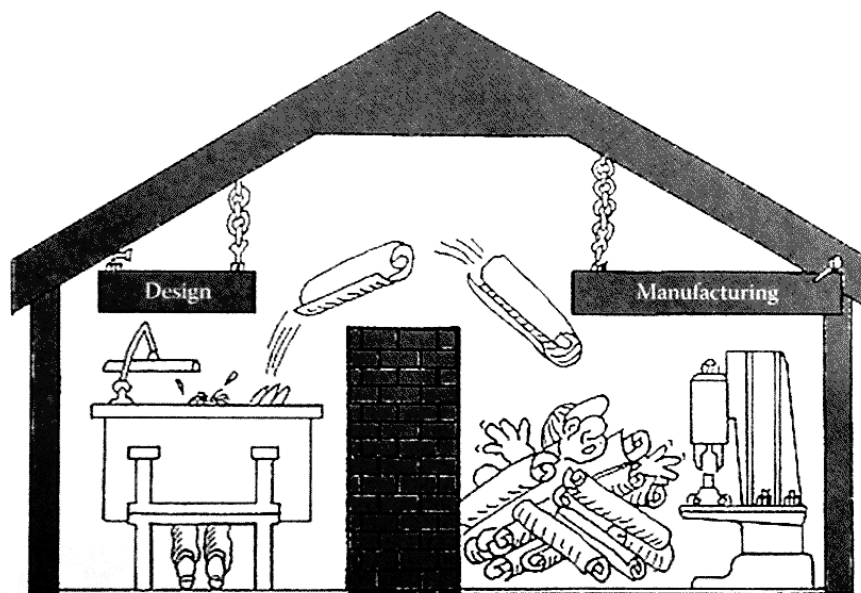
#### 2.1.1 Laatuajattelun taustaa

Toisen maailmansodan jälkeisinä vuosikymmeninä ihmeteltiin, miksi Japani nousi taloudelliseksi suurvallaksi ja sen autovalmistajat menestyivät länsimaisia paremmin (Lillrank 1990, s. 9). Tälle on harhaanjohtavasti haettu syitä japanilaisen kulttuurin ja yhteiskunnan erityispiirteistä (Lillrank 1990, s. 160).

Käsitteellä Lean tarkoitetaan alun perin Toyotan kehittämää (Kucner 2008, s. 17) tuotantokonseptia, jossa tuotteita ei valmisteta varastoon vaan tuotanto tapahtuu yksinomaan asiakkaan tilauksen perusteella. Kucner esittää ytimekkäästi Leanin ideana olevan ”tuottaa arvoa asiakkaalle niin että toiminnassa syntyy vähän tai ei ollenkaan hukkaa”. Hukalla tarkoitetaan kaikkea arvoa tuottamatonta toimintaa. Sitä syntyy kahdeksasta päälähteestä (Kucner 2008, s. 18-19):

- Liikatuotanto
- Odottaminen (työvoima, materiaali, koneet)
- Tarpeettomat kuljetukset
- Yliladun tai vääränlaisen laadun tuottaminen
- Ylisuuret varastot
- Tarpeeton liike
- Viat
- Menetetty luovuus

Johtoajatuksena Leanissa on kaiken hukan hellittämätön eliminointi. Tähän liittyy pyrkimys imuohtuvuuteen, jolloin kaikki toiminta perustuu vain asiakaskysyntään. Jos tuote vain työnnetään markkinoille, otetaan riski myymättömistä tuotteista ja varastojen täyttymisestä (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 183-185). Varastot sitovat pääomia, mikä Toyotan piirissä nimettiin yhdeksi kuudesta ”turhuuden synnistä” (Lillrank 1990, s. 61), jotka muodostavat valtaosan edellä mainituista hukan lähteistä.



*Kuva 1. Perinteinen ”seinän yli”-työnjako yrityksessä. (Boothroyd 2011, s. 9)*

Vertailun vuoksi länsimaissa oli vallalla tayloristinen ”spesialistit suunnittelevat ja vähän koulutettu työvoima valmistaa”-ajattelu (Ishikawa 1985, s. 25). Se ei suosinut läheistä yhteyttä

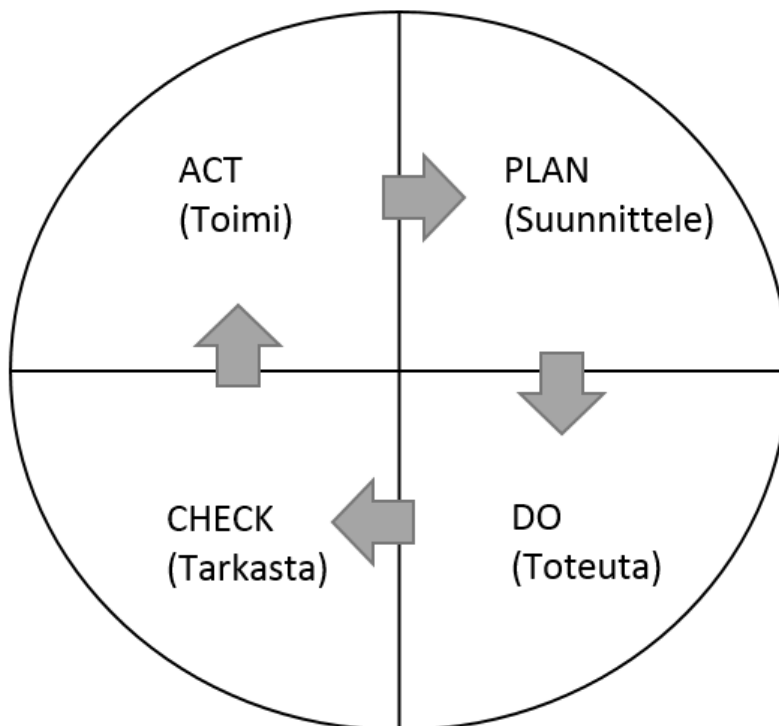
konstruktio-osaston ja valmistuksen välillä. Tällaiset organisaationsisäiset raja-aidat (Kuva 1) lisäsivät eri osastojen eristäytymistä (Lapinleimu 1997, s. 275) ja tilannetta nimitettiin ”seinän yli” -toiminnaksi (Boothroyd et al. 2011, s. 8). Toisen maailmansodan jälkeisinä vuosina tavaroiden kysyntä oli kuitenkin suurta ja länsimaisella teollisuudella näytti olevan varaa tehottomaan toimintaan (Salomäki 1999, s. 151).

Japanissa tilanne oli kuitenkin toinen. Sota oli hävitty ja käytännössä koko teollisuus oli tuhoutunut (Ishikawa 1985, s. 15). Maan tarvitsemat raaka-aineet olivat ulkomaisen tuonnin varassa ja niiden taloudellinen hyödyntäminen oli välttämättömyys (Salomäki 1990, s. 152). Vuosikymmenien ajan Yhdysvalloissa oli haettu kustannussäästöjä valmistamalla rajallista tuotekirjoa massatuotantona. Japanin teollisuuden ongelma oli päinvastainen: miten voitiin vähin kustannuksin tuottaa laajaa tuotekirjoa pienellä volyymillä (Tinoco 2004, s. 7).

Sodanjälkeisessä tilanteessa Yhdysvaltojen rankaisupolitiikka Japania kohtaan korvattiin elvytyspolitiikalla (Immonen 1983, s. 226). Jälleenrakentamisessa asiantuntija-apua tarjonneet yhdysvaltalaiset, eräänä heistä tilastotieteilijä William Edwards Deming, toivat Japaniin tilastollisen laadunvalvonnan (engl. *Statistical Process Control*, SPC), jota yhdysvaltalaiset olivat jo aiemmin soveltaneet. Rauhan tultua se oli unohtunut tavarapulan aiheuttaman suurkysynnän johdosta, ja nyt japanilaiset ottivat sen kotimaassaan käyttöön. (Salomäki 1999, s. 151)

Demingin mukaan on nimetty Demingin ympyrä (Kuva 2), joka tunnetaan myös lyhenteellä PDCA (engl. *Plan, Do, Check, Act*). Se kuvaa nelivaiheista sykliä, jossa suunnitellaan muutos, toteutetaan se, seurataan miten se on vaikuttanut ja reagoidaan havaintoihin (Andersson & Tikka 1997, s. 54). Logiikkaan kuuluu siis takaisinkytkentä eli palautteen saaminen (Lillrank 1990, s. 109).

Demingin ympyrä kuvataan toisinaan ylämäkeen vieritettävänä pyöränä, mikä kuvaa toisaalta yrityksen toimintojen tehostumista ja toisaalta sitä että tehostamistoimet vaativat jatkuvaa työtä (Salomäki 1999, s. 34). Jokaisella kierroksella saatu hyöty otetaan talteen parantamalla standardia, ja standardi toimii lähtökohtana seuraavalle kierrokselle (Lillrank 1990, s. 109).



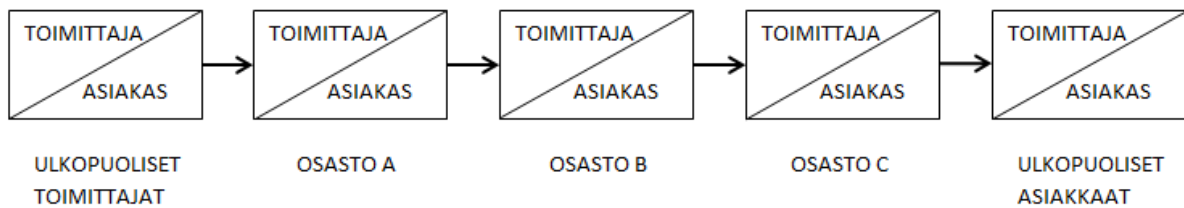
Kuva 2. Demingin ympyrä. (Lecklin 1997, s. 56, mukailten)

Japanilaisten menestys pakotti länsimaat reagoimaan tilanteeseen, ja niiden teollisuus joutui sisällyttämään laatuopit omaankin toimintaansa. Japanin saavuttama etumatka kuroutuikin ajan myötä paljolti umpeen. (Salomäki 1990, s. 152)

### 2.1.2 Laadun merkitys yritystoiminnassa

Kokonaisvaltainen laadunohjaus (*TQC, Total Quality Control*) tarkoittaa sitä, ettei laadunohjausta voi toteuttaa vain yksittäinen osasto, vaan siihen vaaditaan koko henkilöstön yhteistyötä (Andersson & Tikka 1997, s. 30). TQC-ajattelussa jokainen työvaihe toimii kuten tulosvastuullinen yksikkö (Lillrank 1990, s. 60). Tuotantoprosessin parantaminen edellyttää sujuvaa kommunikaatiota eri työvaiheiden kesken. Myös työntekijöiden asenteella on merkitystä: seuraavaa työvaihetta tulee pitää asiakkaana (Kuva 3), ja työntekijöiden suhtautuminen yrityksen muihin osastoihin kilpailijoina on haitallinen asenne (Imai 1986, s. 51).

Asiakaslähtöinen tuotesuunnittelu *Quality Function Deployment (QFD)* tarkoittaa asiakkaan vaatimusten huomioimista koko suunnitteluprosessin aikana. QFD:n vahvuutena on tehokas kommunikointi paitsi loppuasiakkaan kanssa, myös kaikkien tuotantoprosessiin osallistuvien välillä. (Andersson & Tikka 1997, s. 38)



Kuva 3. Esimerkki sisäisestä asiakkuudesta (Lecklin 1997, s. 89, mukailten)

### 2.1.3 Laatu ja kustannukset

Laadun ja kustannusten välinen yhteys riippuu näkökulmasta – siitä, mitä laadusta puhuttaessa itse asiassa tarkoitetaan. Jos laatu mielletään hyväksi pinnanlaaduksi, mittatarkkuudeksi ja koneistusjäljeksi, voidaan todeta että laatu maksaa. Crosby'n laatumääritelmästä seuraa se, että laatu ei maksa mitään ylimääräistä, mutta sitä vastoin laadun puuttuminen maksaa, kuten romu, toistokäsittelyt ja kaikki muukin, mikä vaatimusten alittamisesta seuraa (Andersson & Tikka 1997; Crosby 1986, s. 12)

Lillrank (1998, s. 180) tarkoittaa laatumäärittelyillä ”kaikkia niitä kuluja [...] jotka syntyvät siksi, että asioita ei tehdä ensimmäisellä kerralla oikein”. Ehkäisevän toiminnan kustannukset syntyvät kaikesta toiminnasta, jolla pyritään estämään lopputuotteen vikoja ja virheitä (Crosby 1986, s. 127). Valvontakustannukset aiheutuvat tarkastuksista, testeistä ja muusta toiminnasta, jolla selvitetään vastaako tuote tai palvelu vaatimuksia (Crosby 1986, s. 128). Virhekustannuksia aiheutuu silloin, kun todetaan ettei vaatimuksia täytetä. Näihin lukeutuvat hukkaan menneet raaka-aineet ja työpanokset, korjaavien toimenpiteiden ja uudelleensuunnittelun vaatima työpanos ja myös esimerkiksi asiakkaiden luottamuksen menetys (Crosby 1986, s. 129).

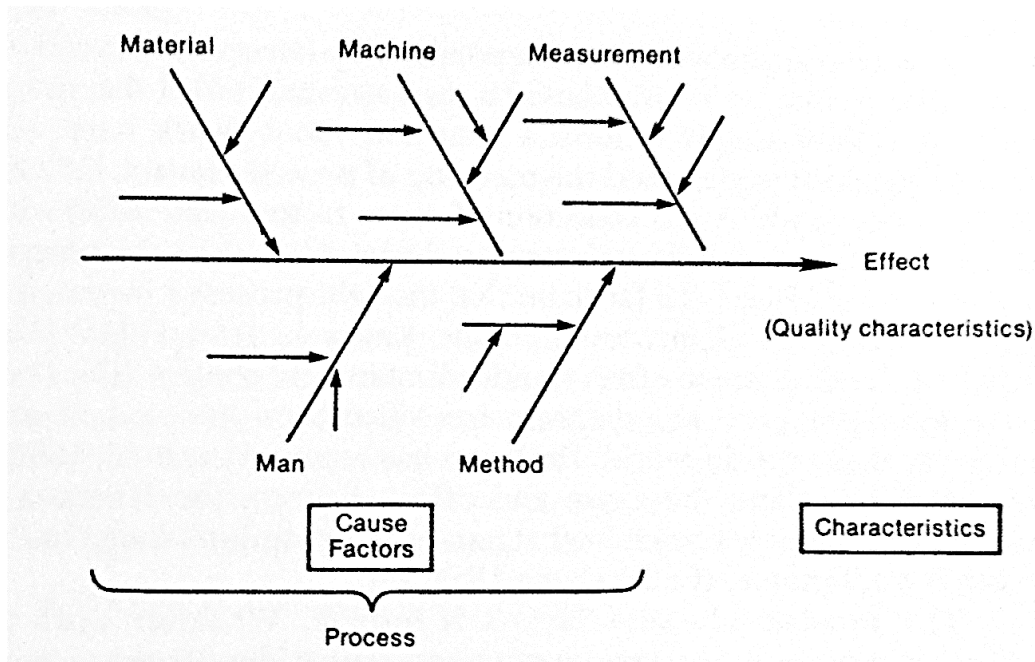
### 2.1.4 Laatumetodit

Laatumetodien muotoutuessa kehitettiin ns. seitsemän laatumetodia, jotka ovat itse asiassa ongelmanratkaisuun soveltuvia tilastomatemattisia keinoja. Laatumetodoja on olemassa enemmänkin kuin 7 ja ne muodostavat useita kategorioita (Ishikawa 1985, s. 198), mutta koska Japanissa haluttiin tehdä laatuasioista helposti ymmärrettäviä vähemmänkin koulutetulle työvoimalle, koottiin seitsemästä helppokäyttöisimmästä välineestä eräänlainen työkalupakki (Lillrank 1990, s. 115). Nämä seitsemäksi samuraiksi kutsutut työkalut (Andersson & Tikka 1999, s. 56) ovat syy-seurauskaavio, tarkistuslista, valvontakortti, histogrammi, Pareto-analyysi, hajontakaavio ja vuokaavio (Salomäki 1999, s. 318; Imai 1986, s. 239)

**Syy-seurauskaavio** (Kuva 4) kehitti Kaoru Ishikawa kuvaamaan asioiden välisiä riippuvuuksia. Siitä käytetään myös nimeä kalanruotodiagrammi tai Ishikawa-diagrammi. Siinä prosessi kuvataan vasemmalta oikealle etenevänä nuolena, joka saa alkunsa prosessin käynnistävästä herätteestä ja päättyy prosessin lopputulokseen. Koska diagrammin tarkoitus on etsiä ongelman syyt, lopputuloksen kohdalle merkitään kyseinen ongelma. Tähän nuoleen yhtyy ylä- ja alapuolelta pienempiä nuolia, jotka ilmaisevat prosessin vaatimia asioita, syötteitä. Näitä ovat esimerkiksi materiaali, työvälineet, työntekijät, ympäristötekijät tai



käytettävissä oleva tieto. Syötteitä kuvaaviin nuoliin voidaan edelleen yhdistää pienempiä nuolia, jotka ovat syötekohtaisia osatekijöitä. Näin yksityiskohtaisuuden taso syvenee. (Ishikawa 1985, s. 63; Salomäki 1999, s. 102)

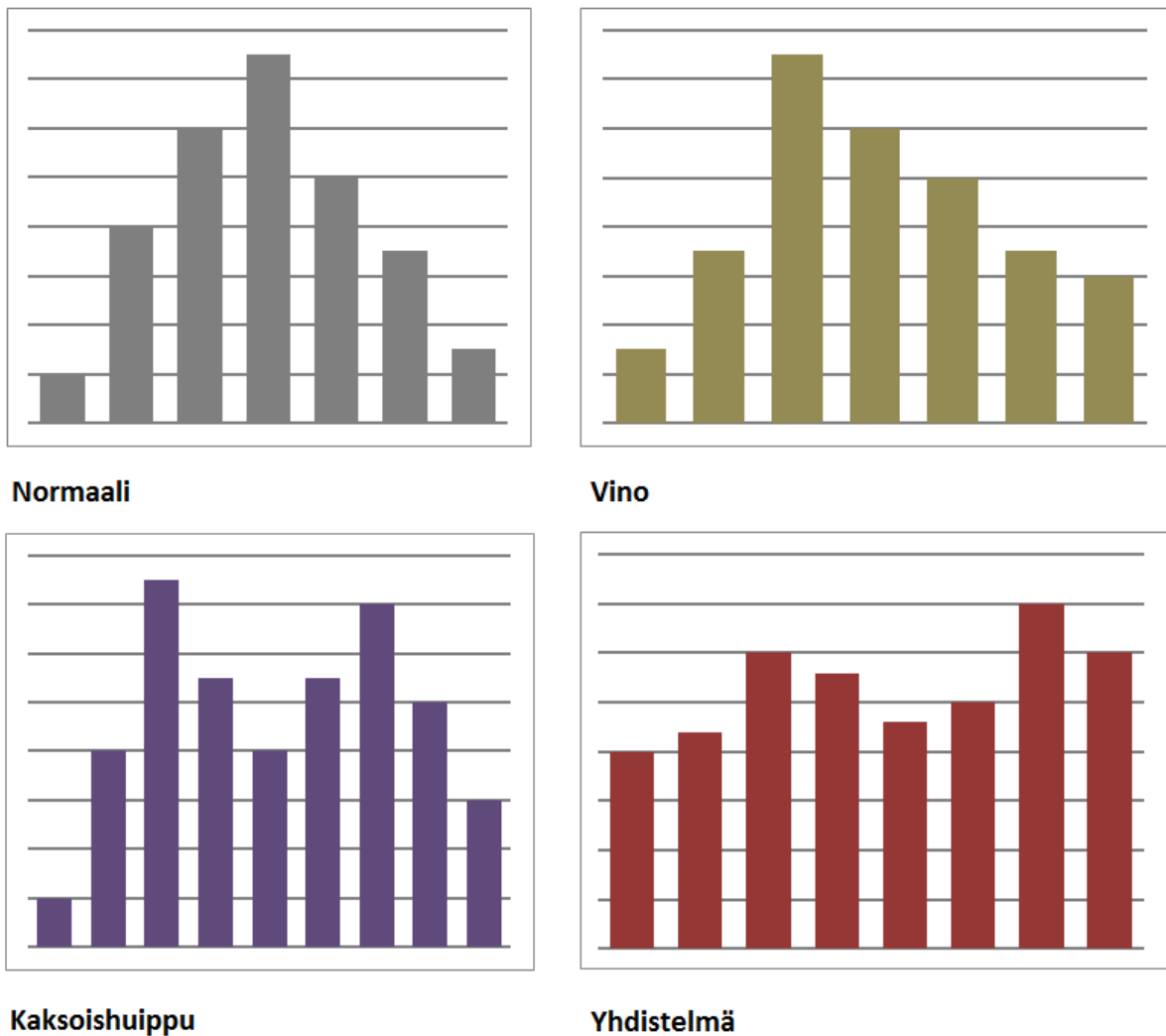


Kuva 4. Syy-seurauskaavio eli Ishikawa-diagrammi. (Ishikawa 1985, s. 63)

**Tarkistuslistat** ovat kaavakkeita, joiden tarkoituksena on helpottaa faktatiedon keräämistä ja analysointia. Ne soveltuvat esimerkiksi mittaustulosten keräämiseen valmiista tuotteista, jolloin voidaan käyttää tukkimiehen kirjanpitoa muistuttavia tekniikoita. Kun kaavakepohja on hyvin toteutettu, tarkistuslistasta selviää helposti oleellinen tieto (Andersson & Tikka 1997, s. 60-61).

**Valvontakortin** alkuperäisen idean kehitti Shewhart (Griffith 1996, s. 226). Siihen kerätään numeerista tietoa, jonka avulla havainnollistetaan prosessia ja siinä olevia hajontoja. Valvontakorttia voidaan käyttää hahmottamaan, pysyykö prosessi tilastollisesti asetetuissa rajoissa. (Andersson & Tikka 1997, s. 58)

**Histogrammeilla** (Kuva 5) visualisoidaan prosessiin liittyvän muuttujan käyttäytymistä ja vaihtelua. Se on määritelmänsä mukaan frekvenssijakauman graafinen esitys (Salomäki 1999, s. 319). Havaintojen jakauman esittäminen graafisesti kertoo jakauman muodon, joka voi olla normaali, vino, kaksoishuippuinen tai jokin näiden yhdistelmä. Muodosta voidaan päätellä, mihin suuntaan prosessia on tarvetta säätää (Salomäki 1999, s. 320). Tästä on usein hyötyä, kun tehdään kehitystoiminnan kannalta tärkeitä päätöksiä. (Andersson & Tikka 1997, s. 62)



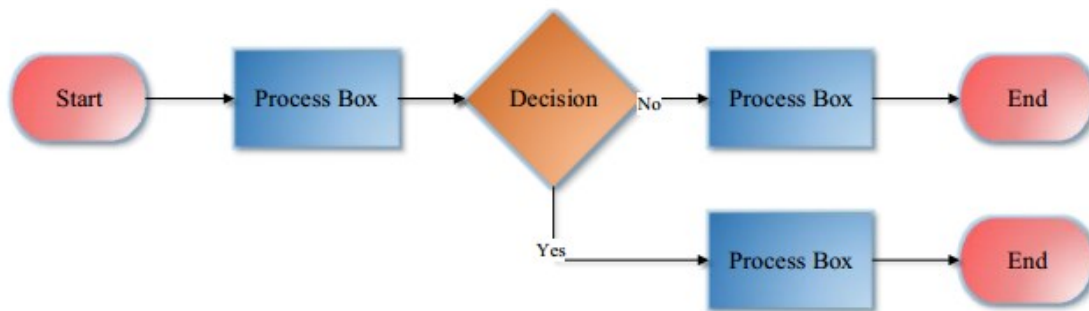
Kuva 5. Histogrammien tyyppejä (Andersson & Tikka 1997, s. 62, mukailten)

**Pareto-analyysiä** käytetään asettamaan eri tekijät suhteellisen painoarvonsa mukaiseen järjestykseen. Sen kehitti italialainen taloustieteilijä Vilfredo Pareto 1800-luvun lopulla (Dale & Bunney 1999, s. 156). Se perustuu havaintoon että ongelmille on yleensä vain muutama merkittävä syy. Pareto-kuvaaja muistuttaa jonkin verran histogrammia, mutta vaaka-akselilla on luokkajako, joka on tehty luokkien suuruuden mukaisessa laskevassa järjestyksessä (Salomäki 1999, s. 330). Laadun yhteydessä sitä käytetään korjattavien ongelmien merkittävyyden arviointiin, jotta voidaan valita niiden järkevin korjausjärjestys. Tilanne voi olla esimerkiksi se, että 20% komponenteista aiheuttaa 80% kaikista ongelmista. Tätä kutsutaan 20/80-säännöksi, vaikka prosenttisuudet eivät aina täsmälleen edellä mainittuina toteudukaan. (Andersson & Tikka 1997, s. 64)

**Hajontakaavio** on kuvaaja, jossa on esitetty kahdesta muuttujasta mitatut toisiaan vastaavat havaintoarvoparit, mistä voidaan visuaalisesti huomata poikkeavat tulokset tai ennustaa jonkin

muutoksen vaikutusta tuloksiin (Salomäki 1999, s. 336). Edelleen voidaan regressioanalyysillä selvittää kahden muuttujan välistä riippuvuutta (Salomäki 1999, s. 337).

**Vuokaavioilla** (Kuva 6) pyritään havainnollistamaan tarkasteltavaa prosessia. Prosessilla on tietty alku- ja lopputila, ja etenemisvaiheet esitetään symboleilla, jotka ovat logiikasta riippuen erimuotoisia ja syy-seuraus-järjestyksessä yhdistetty toisiinsa nuolilla. Kutakin toimintoa seuraa päätös tai haarautuminen, jolloin jokaisen mahdollisen valinnan jälkeen on kuvattu kyseisen vaihtoehdon seuraus. (Andersson & Tikka 1997, s. 57; Hallberg & Petersson 2013, s. 14)



*Kuva 6. Vuokaavio. (Hallberg & Petersson 2013)*

### 2.1.5 Standardit, laatu järjestelmä ja -dokumentit

Toimintoja standardoimalla voidaan niistä tehdä rutiineja, jolloin samankaltaisten ongelmien ilmaantuessa ei tarvitse keksiä pyörää uudelleen (Lillrank 1990, s. 95). Standardit määrittelevät, millä tavalla asiat tai prosessit tulee tehdä. Ne voivat olla kansainvälisiä kuten ISO, suuralueellisia (EU), kansallisia (SFS tai DIN), tai yritysstandardeja. Varsinkin yritysstandardeilla on suuri merkitys liiallisen tuotevarioinnin estäjinä (Lapinleimu 1997, s. 291-292).

Laatujärjestelmä on yleisnimitys kaikille niille organisaation osille, prosesseille, toimintatavoille ja resursseille, joilla yritys toteuttaa laadunvarmistuksen ja –hallinnan piiriin kuuluvat asiat. Kaikilla yrityksillä on olemassa jonkinlainen laatujärjestelmä, olipa se dokumentoimatonta ”näppituntumaa” tai paksuja yksityiskohtaisia käsikirjoja. (Lillrank 1998, s. 132)

Laatudokumentit jaetaan järjestelmäkuvauksiin ja tulosaineistoon. Järjestelmäkuvaukset ovat laatujärjestelmän konkreettinen dokumentaatio, johon kuuluvia eri tasoisia dokumentteja ovat laatukäsikirja, menetelmäohjeet ja työohjeet. Tulosaineiston piiriin kuuluvat tuotteiden tai palvelujen laatutason määrittävät asiakirjat, esimerkiksi mittauspöytäkirjat tai huoltoraportit (Andersson & Tikka 1999, s. 107).

Laatukäsikirja on järjestelmäkuvausten ylimmän tason dokumentti. Se on laatujärjestelmän kuvaus, joka sisältää organisaation eri prosesseja vastaavat menettelyohjeet. Lisäksi siihen voidaan liittää viitedokumentteina esimerkiksi standardeja, lakeja, sopimuksia tai muuta ulkopuolista aineistoa. (Salomäki 1999, s. 50)

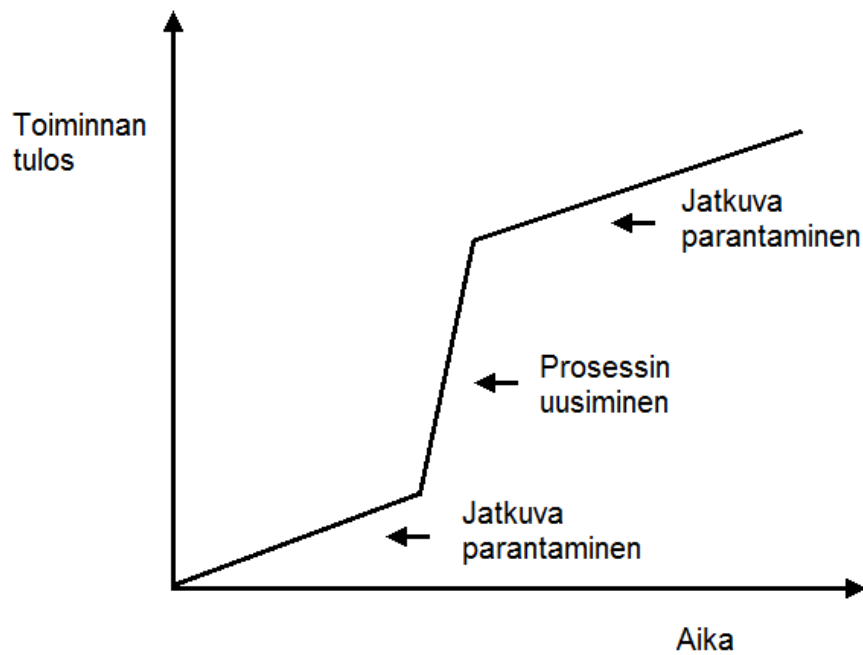
Menettelyohje kuvaa yhden prosessin suoritus- ja toimintatapoja ja koostuu useista työohjeista. Niissä määritellään myös eri toimien vastuuhenkilöt. Työohje määrittelee yksittäisten työvaiheiden tekotavan, ja sen tarkkuus voidaan valita askelittaisen ja yleisluontoisen väliltä. (Andersson & Tikka 1999, s. 109; Salomäki 1999, s. 50)

Kattavan laatudokumentaation luominen on työlästä, mutta se tuo tulevaisuudessa yritykselle merkittäviä hyötyjä. Näistä on syytä mainita työntekijöiden tehtävien ja vastuiden selkeät määrittelyt, edellytykset laatujärjestelmän myöhemmälle parantamiselle ja menettelyohjeiden erinomainen soveltuvuus koulutusmateriaaliksi uusien työntekijöiden perehdyttämisvaiheessa. (Andersson & Tikka 1999, s. 107)

### **2.1.6 Kehitystoiminnan toteutus**

Kehittämiskohteita paljastuu usein itsearvioinnissa (Lecklin 1997, s. 318). Yrityksen prosessien kehittämisessä lähtökohtana on, että ”asiat voidaan aina tehdä paremmin” (Lecklin 1997, s. 220). Kehitystoiminta voidaan käynnistää joko havaittaessa konkreettisia ongelmia tai myös ennakoivasti (Salomäki 1999, s. 71). Ensin mainitussa tapauksessa syynä voivat olla konkreettiset laatuongelmat tai yleinen tehottomuus jossakin yrityksen osaprosessissa. Yhteistä molemmille on, että syntyy laatuksustannuksia, jotka voivat olla joko näkyviä, vaikeasti havaittavia tai näkymättömiä. (Salomäki 1999, s. 57)

Kehitystoimintaan käytettävissä olevat yrityksen resurssit ovat rajalliset (Lecklin 1997, s. 161), joten sokea kaikkia vastaantulevia ongelmia vastaan taisteleminen ei ole toimiva ajatus. Resurssit on suunnattava huolella valittuihin kohteisiin, jotka tukevat yrityksen tavoitteisiin pääsyä (Salomäki 1999, s. 65). Kehitystoiminnan läpiviemiselle ei ole olemassa mitään valmista mallia, vaan toteutustavat pitää muodostaa itse yrityksen omista lähtökohdista (Salomäki 1999, s. 66). Vaihtoehtoina on yleensä prosessin parantaminen tai sen uudistaminen (Lecklin 1997, s. 223) (Kuva 7).



Kuva 7. Kehitystoiminnan vaikutukset toiminnan tulokseen. (Lecklin 1997, s. 223, mukailten)

Kehitystoiminta voi myös olla luonteeltaan osallistavaa: henkilöstö, myös alihankkijoiden edustajia, voidaan kutsua tutustumaan fyysisesti osiin purettuun tuotteeseen, jolloin sen aloitteellisuutta ja oivalluspotentiaalia herätellään havaintoesityksen keinoilla. Päämääränä voi olla yhtä lailla kustannustietoisuuden syventäminen kuin komponenttien muutostarpeen selvittäminen, jotka usein ovat kytköksissä toisiinsa. (Konecranes, 2014)

Yrityksen menestystekijät on tunnistettava ja jaettava merkitykseltään tärkeisiin ja toisarvoisiin. Myös niiden vallitseva taso jaetaan kunnossa oleviin ja heikkoihin. Näiden ominaisuuksien avulla voidaan piirtää nelikenttä (Kuva 8), jonka avulla kohteita voidaan priorisoida ja valita suhtautumistapa erityyppisiin tapauksiin. (Salomäki 1999, s. 72)

Menestystekijän taso	Kunnossa	SÄILYTÄ TASO	VARMISTA
	Heikko	KEHITÄ KUN EHDIT	KEHITÄ HETI
		Pieni	Tärkeä
Menestystekijän merkitys			

Kuva 8. Menestystekijän merkityksen ja tason nelikenttä. (Salomäki 1999 s. 72, mukaillen)

### 2.1.7 Kaizen ja oppiva organisaatio

Sana *kaizen* on japania ja tarkoittaa asteittaista ja järjestelmällistä jatkuvaa parantamista (Tinoco 2004, s. 20). Lillrank (1990, s. 35) suomentaa sen muodossa ”jatkuvaa kehittämistoimintaa”. Imai (1986, s. 25) vertaa kaizenia ja innovaatiota toisiinsa: siinä missä innovaatio on hyppäksenomainen muutos, joka yleensä edellyttää suuria pääomia, kaizen on pienemmin askelin etenevä muutos, joka vaatii lähinnä henkilöstön jatkuvaa työpanosta ja sitoutumista.

Kaizeniin kuuluu keskeisenä piirteenä, että se on jokaisen asia ylimmästä yritysjohtajasta työntekijöihin (Imai 1986, s. 3). Käytännössä sitä toteutetaan kehitystoiminnan systemaattisena johtamisena ja siten, että kehitykselle myös tarjotaan konkreettisia edellytyksiä, kuten aikaa, kokoontumistiloja, menetelmiä ja palkkioita. Tärkein kaikista on avoimuus kehitysaloitteille (Lillrank 1998, s. 138).

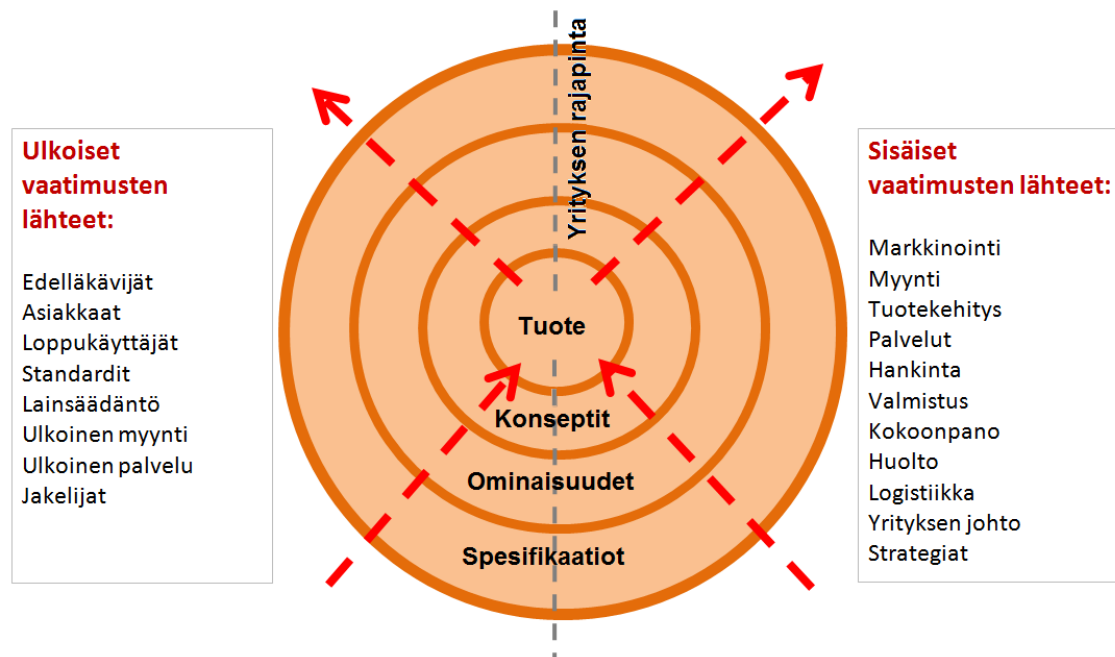
Koneensuunnittelijan näkemys erilaisten konstruktioiden toimivuudesta syvenee työuran edetessä, ja parhaaseen työtehoon pääsemiseen saattaa kuluja jopa 10-15 vuotta (Tuomaala 1995, s. 132). Omaksuttu tieto luonnollisesti auttaa suoriutumaan tehokkaammin uusista samantapaisista suunnittelutehtävistä (Tuomaala 1995, s. 2). Koko suunnitteluorganisaation osaamisen kehittämisen kannalta on oleellista, että erilaisissa projekteissa saatu uusi tieto säilytetään jonkinlaisessa tietokannassa, josta se on käytettävissä tuleviin projekteihin. Käytännössä ongelmana on se, ettei osaamistietokannan ylläpitovastuuta useinkaan ole määritelty selvästi kenellekään. (Huhtala & Pulkinen 2009, s. 218)

## 2.2 Tuotekehitys ja suunnittelun metodiikat

”Koneet muodostuvat fyysisistä rakenteista, jotka määräytyvät muotojen ja dimensioiden avulla” (Tuomaala 1995, s. 2). Suunnittelijan tehtävä voidaan määritellä sellaisen tuotteen aikaansaamiseksi, joka täyttää siltä halutut toiminnalliset vaatimukset (Andersson & Tikka 1997, s. 43). Lapinleimu et al. (1997, s. 280) toteaa, että ”konstruktoörin ensisijainen tehtävä on suunnitella mahdollisimman hyvä tuote, jonka asiakas on valmis valitsemaan ja jonka käytönaikaiset ominaisuudet saavat asiakkaan valitsemaan uudelleen saman valmistajan tuotteen”. Tämä edustaa markkinalähtöistä näkemystä, jossa tuotteen teknisellä erinomaisuudella on vain välinearvo.

### 2.2.1 Tuotekehitys prosessina

Tuotekehityksen lähtökohtana on oltava tieto siitä, mitä asiakas toivoo tuotteelta (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 196). Asiakas on kuitenkin vain yksi tuotetta koskevien ulkoisten vaatimusten lähteistä, muiden ollessa loppukäyttäjät, lainsäädäntö ja standardit. Sisäisiä vaatimuksia sanelevat yrityksen toiminnot, johto ja strategia (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 197). Kuva 9 havainnollistaa molempia vaatimuksia.



Kuva 9. Tuotetta koskevien sisäisten ja ulkoisten vaatimusten lähteet. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 197, mukailten)

### 2.2.2 Tuotekehitys projektina

Tuotekehitysprojektin edellytyksenä on, että aiotulle tuotteelle on sekä olemassaoleva tarve että myös realistiset toteuttamismahdollisuudet. Vaikka siis ikiliikkujalle onkin energian hinnan noustessa tarvetta, mahdoton toteutettavuus estää tuotekehityksen. (Jokinen 1987, s. 17)

Tuotekehitysprojekti voidaan jakaa neljään peräkkäiseen vaiheeseen. Käynnistysvaiheessa, josta voidaan käyttää myös nimitystä esitutkimusvaihe (Laakko 1998, s. 20), selvitetään tuotekehityksen vaatimat kustannukset ja valmiin tuotteen markkinanäkymät. Jos näitä verrattaessa saadaan hankkeelle hyväksyntä eli myönteinen kehityspäätös, voidaan siirtyä toiseen vaiheeseen eli luonnosteluun. Tässä vaiheessa etsitään eri ratkaisumahdollisuuksia esimerkiksi aivoriihen avulla. Luonnosteluvaiheen tuloksena on ratkaisuluonnos, toimivimmaksi todettu vaihtoehto muiden ideoiden karsiutuessa pois. Kolmas vaihe on varsinainen kehittäminen, jossa luodaan kokoonpanoluonnos oikeassa mittakaavassa, optimoidaan eri osien mitat ja saadaan lopputuloksena kehitetty konstruktioehdotus. Neljännessä, viimeistelyvaiheessa, laaditaan valmistukseen vaadittavat työpiirustukset ja osaluettelot sekä mahdolliset muut dokumentit ja lyödään lukkoon käytettävät materiaalit, toleranssit ja pintakäsittelytavat. Tuotteesta valmistetaan yksi prototyyppi. Toisinaan valmistetaan nollasarja, jotta voidaan havaita valmistusmenetelmiin liittyvät mahdolliset ongelmat. (Jokinen 1987, s. 14-17)

### 2.2.3 Mallintaminen

Tuotteiden mekaniikkasuunnittelu tapahtuu tänä päivänä enimmäkseen 3D-suunnitteluohjelmilla, minkä ansiosta kokoonpanoista saadaan alustavia havainnollisia malleja melko aikaisessa vaiheessa (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 280). Kokoonpanon mallintamiseen on kaksi erilaista periaatetta (Laakko 1998 s. 68).

Bottom-up -menetelmässä mallinnetaan ensin kaikki kokoonpanoon kuuluvat osat, ja kokoonpanon luominen aloitetaan vasta, kun kukin osa tai alikokoonpano on täysin määritelty (Laakko 1998, s. 69). Ongelmana tässä tavassa on se, että osien dimensiot voidaan lyödä lukkoon vasta, kun yleinen toiminnallisuus ja osien relaatiot muihin osiin nähden ovat täysin määriteltyjä (Laakko 1998 s. 79).

Top-down -menetelmässä luodaan ensin abstrakti kokonaisuus, karkea yleisluonnos, jossa hahmotellaan pääosat – alikokoonpanot ja yksittäiset komponentit. Vasta sitten mitoitetaan yksittäiset kappaleet ja otetaan huomioon lujus-, valmistettavuus- ja kustannusnäkökohdat. (Laakko 1998, s. 70)

### 2.2.4 DFA, DFM ja DFMA

Valmistusystävällisyyden huomioimiseksi jo suunnittelun alkuvaiheessa on kehitetty konseptit DFA (engl. *Design for Assembly*, kokoonpantavuuden suunnittelu) ja DFM (engl. *Design for Manufacturing*, valmistettavuuden suunnittelu), jotka molemmat on omaksuttu maailmanlaajuisesti ja joita käytetään pyrittäessä lyhentämään tuotteiden suunnittelu- ja valmistusaikoja (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 224). Lapinleimu (et al., 1997, s. 281) määrittelee DFM:n ”yhteisnimitykseksi konstruoinnille, jossa kiinnitetään huomiota valmistusteknisiin näkökohtiin” ja jonka kehityskaari on johtanut nikshivihkoista simultaanisuunnitteluun.

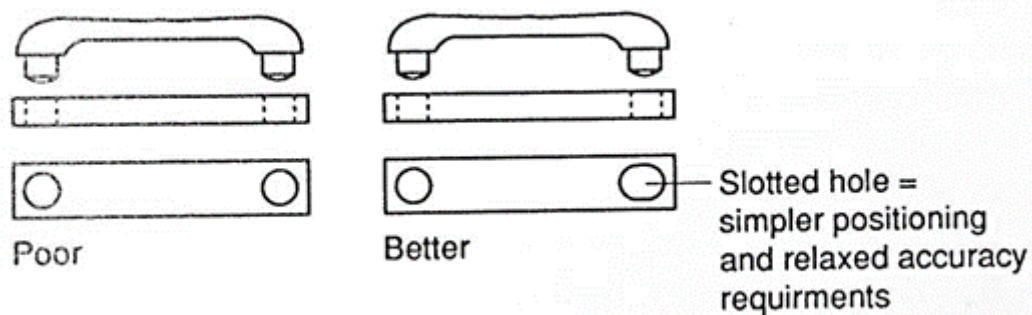
Kokoonpano tapahtuu perinteisesti manuaalisesti. Piirustukset ja ohjeet tarjoavat vaadittavat tiedot, joiden mukaan työntekijä liittää tuotteen osat oikeassa järjestyksessä toisiinsa. Lopuksi yleensä tarkastetaan, että tuote toimii halutulla tavalla. (Lapinleimu et al. 1997, s. 116)



Tuotantoautomaation kehittyessä manuaalisen kokoonpantavuuden suunnittelun rinnalle kehitettiin automatisoidun kokoonpantavuuden suunnittelu, ja noudatettavat periaatteet ja soveltamistavat ovat näiden välillä hiukan erilaisia (Helander & Nagamachi 1992). Tässä työssä rajoitetaan tarkastelemaan asiaa käsin suoritettavan kokoonpanotyön kannalta.

Kokoonpanossa pyritään käyttämään mahdollisimman vähän osia. Vierekkäisten osien kohdalla on esitettävä kysymys, voidaanko nämä osat korvata yhdellä osalla, jossa on molempien osien toiminnalliset piirteet. Tämä paitsi yksinkertaistaa kokoonpanoa myös vähentää siihen kuluva-aikaa. Tätä ei voida soveltaa, jos osien edellytetään liikkuvan toistensa suhteen tai jos niiden on oltava eri materiaalia. (Helander & Nagamachi 1992)

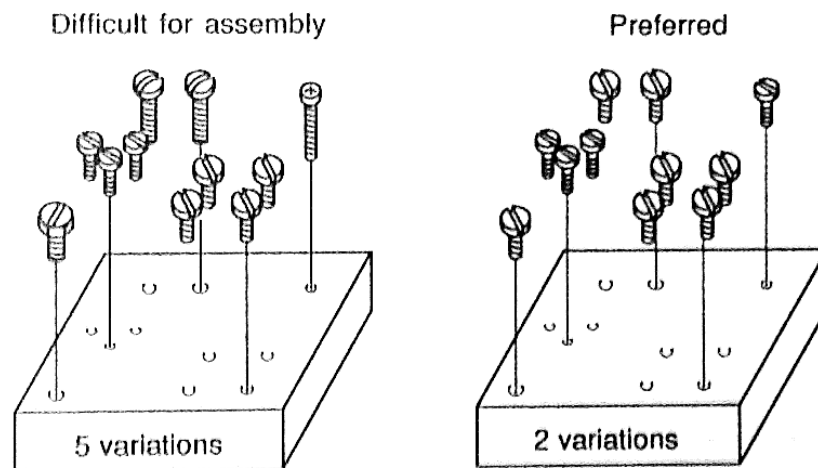
Itse kokoonpanotyöstä pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertaista ja nopeasti toteutettavaa. Osista koetetaan saada itsestään paikoittuvia, jolloin osat eivät yhteen liitettäessä jumiudu tai jää väärään asentoon, jolloin aiheutuu purkamiseen ja uudelleen kokoamiseen kuluva hukka-aikaa. Keinona on esimerkiksi lisätä vaikeapääsyisessä kohdassa olevan ruuvin reikään viiste, jolloin ruuvin ei tarvitse olla täsmälleen reiän kohdalla mennäkseen paikalleen. Soikion muotoisten ruuvireikien käyttö (Kuva 10) helpottaa niin ikään yhteenliitettävien osien kiinnittämistä tilanteissa, joissa toleranssivaatimukset ovat väljät. (Helander & Nagamachi 1992, s. 179)



Kuva 10. Ympyrämäiset reiät ja soikioreiät. (Helander & Nagamachi 1992, s. 179)

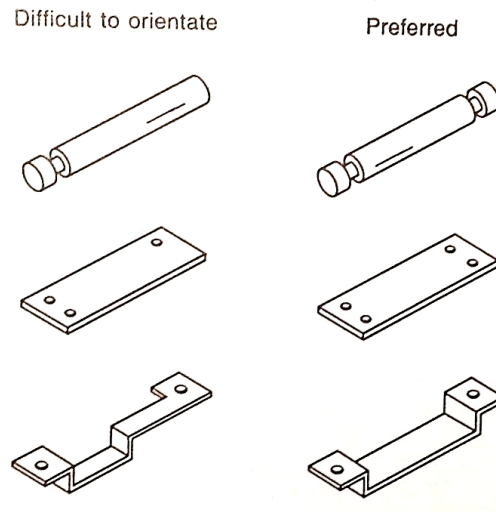
Varastoinnin tai kuljetuksen aikana tapahtuva osien tarttuminen toisiinsa aiheuttaa hukka-aikaa. Tämä voidaan huomioida tuotteen muotoilussa siten, ettei suunnitella koukkuja tai väkäsiä, joista osat voisivat tarttua yhteen. (Helander & Nagamachi 1992, s. 176)

Vääränlaisten kiinnittimien käyttö voi aiheuttaa sen, ettei ruuvi mahdu paikalleen tai ettei ruuvin pituus riitäkään. Näiden ongelmien synty voidaan estää suunnittelemalla tuote siten, että se on kokoonpantavissa vain yhdenlaisia kiinnitysosia käyttäen (Kuva 11), esimerkiksi käyttämällä kaikissa ruuviliitoksissa samanlaisia ruuveja. (Helander & Nagamachi 1992, s. 175)



Kuva 11. Erilaisia ruuvilaatuja tulisi käyttää mahdollisimman vähän (Helander & Nagamachi 1992, s. 175)

Symmetrinen geometria (Kuva 12) on tehokas tapa estää osien asentamista vahingossa väärinpäin. Jos symmetrian toteuttaminen ei ole mahdollista tai tarkoituksenmukaista, on seuraavaksi paras vaihtoehto tämän vastakohta. Mahdollisimman suuri, jopa tarkoituksella liioiteltu epäsymmetrisyys tekee oikeasta asennustavasta riittävän ilmeisen, jotta väärinkäsityksiä ei synny. (Helander & Nagamachi 1992, s. 176)



Kuva 12. Symmetrisyys (Helander & Nagamachi 1992, s. 177)

Symmetria kuuluu eräänä toteutusmuotona poka yoke -nimellä tunnettuun suunnittelukonsepttiin, joka on toisinaan suomennettu sanalla idioottivarma ja jossa on keskeisenä ajatuksena, että inhimillisiä virheitä tapahtuu toisinaan väistämättä, ja tämä inhimillinen tekijä pyritään eliminoimaan (Salomäki 1999, s. 344).

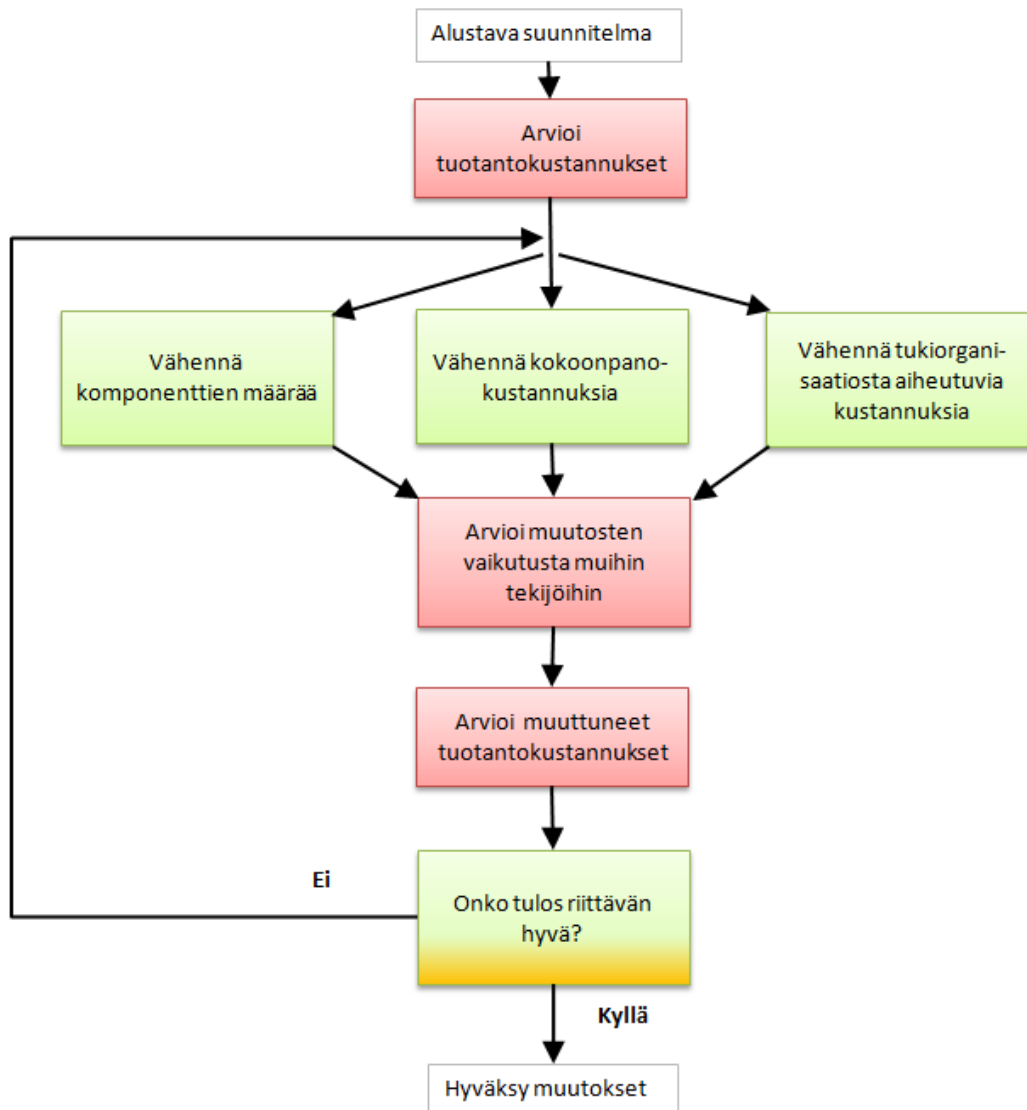
Poka yoke jaetaan varoittaviin ja estäviin tekniikoihin. Varoittavaa poka yokea esiintyy monessa nykypäivän arkisovelluksessa. Sitä on esimerkiksi auton bensiinimittarin valossa, joka syttyy polttoaineen ollessa vähissä. (Salomäki 1999, s. 346)

Estävä poka yoke perustuu virhetilanteiden fyysiseen estämiseen, esimerkiksi komponenttien geometrian suunnitteluun niin, että asennusvirheet tehdään mahdottomiksi (Salomäki 1999, s. 346). Asennusvirhe on mahdollinen, jos komponentti näyttää symmetriseltä ja vain kokenut työntekijä osaa asentaa sen oikeinpäin (Crosby 1986, s. 99). Suomesta löytyy tästä esimerkkitapaus vuodelta 1998, jolloin Hawk-suihkuharjoitushävittäjän polttoaineensuodatin oli asennettu vahingossa väärinpäin, mikä johti moottorin sammumiseen ja lentokoneen tuhoutumiseen (Männistö 2012, s. 14).

DFA:an kuuluu myös luoksepäästävyuden huomioiminen käytettäessä kokoonpanossa tarvittavia työvälineitä. Ruuvimeisseli tai ruuvinväännin tarvitsee vapaata tilaa ruuvinkannan tai mutterin ympärillä, joten reikiä ei pidä sijoittaa liian lähelle pystysuoria reunoja tai muita esteitä. Samat suunnittelunäkökohdat ovat voimassa myös mahdollisen huollettavuuden osalta. Ruuvien ja mutterien etäisyys lähimpään esteeseen nähdessä vaikuttaa kääntäen kokoonpanon läpäisy aikaan. Läpäisy aika lisäävät myös ruuviliitoksen näkyvyyttä haittaavat muodot. (Boothroyd et al. 2011, s. 100)

DFA:n ja DFM:n metodien yhdistäminen johtaa käsitteeseen DFMA (engl. *Design for Manufacturing and Assembly*). Tällöin suunnittelussa käytetään kaksivaiheista analyysiä, jossa ensin hahmotellaan DFA:n kannalta optimaalinen tuoterakenne ja tämän jälkeen tehdään DFM:n mukainen osien suunnittelu (Boothroyd et al. 2011, s. 14).

Kuva 13 selventää DFMA:n työvaiheita. Eppinger ja Ulrich esittävät saman vuokaavion yksinomaan DFM:n osalta (Eppinger & Ulrich 1995, s. 183).



Kuva 13. DFMA:n logiikka (Laakko 1998, s. 185; mukailten)

Kokoonpanotyöstä voidaan tietty osa jättää asiakkaankin tehtäväksi, jos asiakas tämän vastineeksi saa tuotteen esimerkiksi kompaktimmassa pakkauksessa. Asiakkaalle jäävien kokoonpanovaiheiden on tällöin kuitenkin oltava riittävän yksinkertaisia. (Eppinger & Ulrich 1995, s. 198)

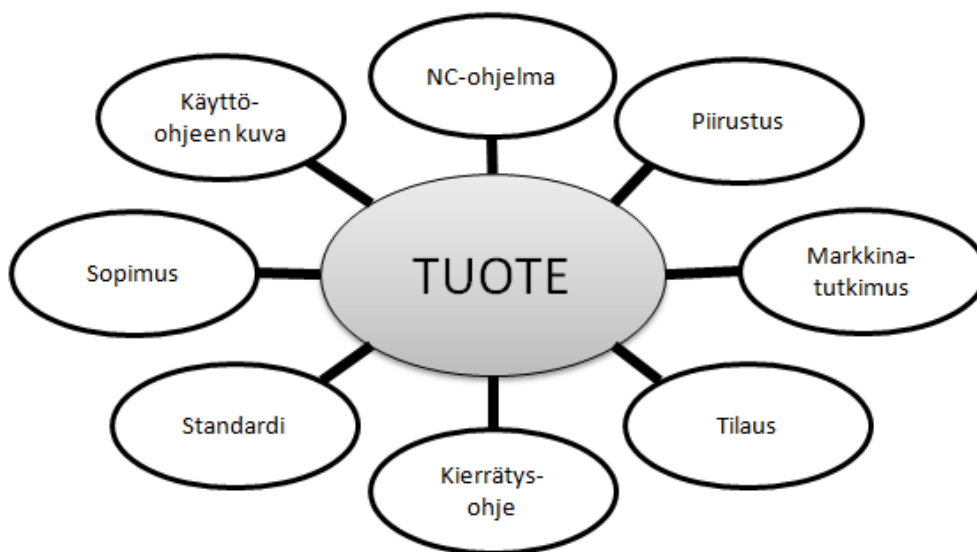
## 2.3 Tuotetiedon hallinta

Nykyaikaiset tuotekehitysmenetelmät, ennen muuta simultaanisuunnittelu, edellyttävät yrityksen tuote- ja komponenttitiedon olevan ajan tasalla. Keskeinen tiedon tuottaja varsinkin tuotteen elinkaaren alussa ovat CAD-järjestelmät. (Laakko 1998, s. 238)

Kaiken tuotteeseen liittyvän tiedon saatavuus on ensiarvoisen tärkeää, olivatpa kyseessä tekniset piirustukset, työstökoneen ohjelmat tai markkinoinnin tuotekuvat. Tämä edellyttää, että tiedetään, mitä tietoja tuotteesta on olemassa ja mistä ne löytyvät. Pahimmassa tapauksessa tieto on jonkin organisaation osan omissa arkistoissa ja vain tiedon luoneen henkilön käytettävissä. Tällöin joudutaan luomaan tietoa uudestaan, jolloin samasta tiedosta voi olla samaan aikaan käytössä monta usein toisistaan eroavaa kopiota. (Laakko 1998, s. 239)

Tämän vuoksi on tärkeää hallita yhdellä järjestelmällä kaikkea tuotteeseen koko sen elinkaaren ajalta liittyvää informaatiota. Tätä järjestelmää kutsutaan tuotetiedonhallintajärjestelmäksi tai yleisemmin PDM-järjestelmäksi (engl. *Product Data Management*) (Laakko 1998, s. 239). Se toimii tiedon varastona, joka sisältää piirustukset, mallit ja jolla hallitaan piirustuksiin tehtävät muutokset (Huhtala 2014, s. 22). Kuva 14 esittää tavanomaista kokoelmaa tuotteeseen liittyviä dokumentteja. Tärkeimpiä näistä ovat tekniset piirustukset, jotka ovat universaalisti ymmärretty esitystapa teknisen koulutuksen saaneiden ihmisten välillä (Laakko 1998 s. 240).

Tuotteesta olemassa olevan tiedon määrä kasvaa tuotteen edetessä tuotekehitysvaiheesta valmiiksi tuotteeksi, mitä selittää uusien toimijoiden mukaantulo prosessin edetessä: alussa tuotetietoa tarvitsevat vain tuotekehittäjät, kun taas loppuvaiheessa tuotteen parissa toimivat myös valmistus ja markkinointi (Laakko 1998, s. 252).



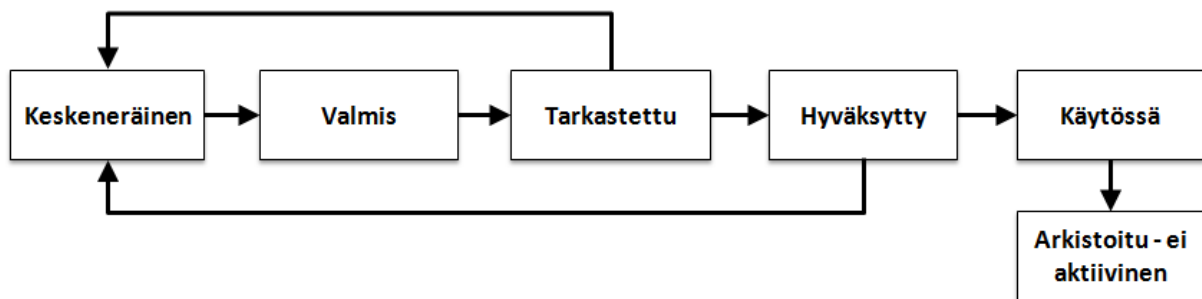
Kuva 14. Tuotteen ympärille nivoutuvia dokumentteja (Laakko 1998, s. 239, mukailten).

Eri toimijoiden välinen jouheva tiedonkulku PDM-järjestelmässä on tärkeää, koska suunnittelu- ja valmistustoiminnot voivat olla fyysisesti etäällä toisistaan (Huhtala 2014, s. 24). Se edellyttää, että kaikki käyttävät dokumenteissa yhteistä formaattia (Laakko 1998, s. 244). Myös CAD-ohjelmissa on oltava lisätoiminto, jonka avulla päästään PDM-järjestelmän tietoihin käsiksi, esimerkiksi piirustuksen numeroa varattaessa (Laakko 1998, s. 245).

Tehtäessä komponentin CAD-malliin muutoksia, nykyaikaiset CAD-järjestelmät osaavat päivittää kaikki kokoonpanot, joissa tätä komponenttia on käytetty (Laakko 1998, s. 240).

Valmistavassa teollisuudessa tuotetiedon perusyksikkö on nimike (engl. *item*), joka vastaa mitä hyvänsä aihiota, komponenttia tai kokoonpanoa tuotteessa. Nimikkeet liittyvät toisiinsa hierarkkisesti muodostaen rakenteita, ja näin ollen koko tuote muodostuu joukosta eri tasoisia nimikkeitä. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 290)

Kullakin nimikkeellä on aina jokin olotila. Nimike voi olla keskeneräinen, valmis, tarkastettu tai hyväksytty, siten että käytössä on vain hyväksytyjä nimikkeitä. Vanhentuneet ja käytöstä poistetut nimikkeet päätyvät yleensä arkistoitaviksi. Kun nimikettä muutetaan, se palautetaan tilaan keskeneräinen, jolloin se vaatii uuden tarkistus- ja hyväksyntämenettelyn (Kuva 15). (Sääksvuori & Immonen 2002, s. 28)



Kuva 15. Dokumenttiversioiden tilakaavio. (Sääksvuori & Immonen 2002, s. 28, mukailten)

Nimikkeen kategoria voi olla joko omavalmiste, alihankintana valmistettava osa tai standardikomponentti (Taulukko 1). Ostokomponenttien tapauksessa oleellista on täydellinen tunnistetieto (*specification*), jonka avulla pystytään ostamaan oikea tuote (Baudin 2002). Yleensä nimikkeestä ilmoitetaan PDM-järjestelmässä myös kappaleen tai kokoonpanon ulkomitat tai aihion materiaali (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 148).

Taulukko 1. Nimikkeiden kategoriat (Baudin 2002, mukailten)

Rate=	50 sets/day	Qty/set=	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1		
Item	Description	Category	11at-65705	71455-73	56790odd	what'sit	Thing-3453	bidule-4563	WBC-2000-90	xyzt3000-135	xyzt3000-136	wbc-3000-139	Qty per set	Daily use
q1234sxx	COLLAR	Standard								45	45	68	158	7900
clkdiexcc	COLLAR	Standard		74	74	3							151	7550
dfcvkd234	BOLT	Standard		63	63		3	3					132	6600
dd99830	COLLAR	Standard			68	11	13	13					105	5250
xksdkidk	COLLAR	Standard		68									68	3400
xksr112	BOLT F/H	Standard		40	40								80	4000
sws21212	BOLT	Standard		6	6					12	12	18	54	2700
skd203d	NUT	Purchased				18	18	18					54	2700
ask3d9dx	WASHER	Purchased	10	16	16				4				50	2500
xkwjkw230	WASHER	Purchased				10	20	20					50	2500
d;dp1256-3	SEAL	Purchased	4			4	4	4					16	800
ldff0694584	BRACKET A	In-house											0	0
didi34520	SHIM	In-house			1								1	50
sldsk36545	NUTPLATE	In-house			1								1	50
ddw4572	SHIM	Standard		1									1	50
ddfe45467	NUTPLATE	Standard		1									1	50
sds09876	NUT	Standard		1									1	50

PDM-järjestelmää ei hyödyllisistä ominaisuuksistaan huolimatta pidä mieltää helpoksi ratkaisuksi ongelmiin, koska pelkkä ohjelmisto on ainoastaan ”infrastruktuuri tiedolle” (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 78). Päinvastoin, jos PDM-järjestelmän tarkoitusta ei ymmärretä oikein, voi syntyä noidankehä. Huonosti toimivaksi koettu järjestelmä saa käyttäjät luomaan omia oikopolkuja ja tietokantoja, mutta tämä on karhupalvelus, koska tällöin ajantasaisen tuotetiedon laatu laskee ja järjestelmän koetaan toimivan entistään huonommin (Sääksvuori & Immonen 2002, s. 99).

Rinnakkaissuunnittelu, josta käytetään myös nimitystä rinnakkainen suunnittelu tai simultaanisuunnittelu (engl. *concurrent engineering*), on työskentelytapa, jossa eri vaiheet pyritään tekemään ajallisesti päällekkäin (Laakko 1998, s. 22). Tarkoituksena on lyhentää läpäisyäikää ja vähentää tuotekehityksen kustannuksia (Sääksvuori & Immonen 2002, s. 169). Rinnakkaissuunnittelu mahdollistaa suunnitteluvirheiden havaitsemisen jo tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa, kun tuotteen CAD-malli on jo varhain käytettävissä prototyyppien valmistusta varten (Laakko 1998, s. 23).

## 2.4 Tuotearkkitehtuuri

Tuotetta voidaan lähestyä sekä funktionaalisesta että fyysisestä näkökulmasta. Tuotteen funktionaaliset elementit ovat ne toiminnot, jotka muodostavat tuotteen suorituskyvyn. Fyysiset elementit ovat osat, komponentit ja alikokoonpanot jotka viime kädessä toteuttavat tuotteen toiminnot. (Eppinger & Ulrich 1995, s. 131).

Eppinger & Ulrich (1995, s. 132) määrittelevät tuotearkkitehtuurin ”tavaksi, jolla tuotteen funktionaaliset elementit on järjestetty fyysisiksi lohkoiksi (Mainitun lähteen käyttämä englanninkielinen sana *chunk* on tässä työssä suomennettu sanalla lohko, jota sanaa käyttävät myös Huhtala & Pulkkinen, 2009) ja miten nämä lohkot vuorovaikuttavat keskenään”.

Tuotearkkitehtuurista puhuttaessa käytetään usein sanoja *moduuli* ja *modulaarisuus*, mutta näiden määrittely on epätarkkaa (Börjesson 2012, s. 10; Ericsson & Erixon 1999, s. 19). Hölttä-Otto (2005, s. 26) määrittelee moduulin ”tuotteen osaksi, jolla on jokin tunnistettava funktio”. Lapinleimu et al. (1997, s. 294) toteaa moduulin olevan ”standardisoitu osakokoonpano, joka yleensä edellyttää omaa työtä”.

Tuotearkkitehtuurin tyyppejä ovat modulaarinen tai integroitu (Eppinger & Ulrich 1995, s. 132; Hölttä-Otto 2005, s. 28). Modulaarisen arkkitehtuurin ääritapauksessa jokainen lohko toteuttaa vähintään yhtä toimintoa ja eri lohkojen välillä on vuorovaikutussuhteita (Eppinger & Ulrich 1995, s. 132). Tämän vastakohta on integroitu tuotearkkitehtuuri, missä toiminnallinen elementin toteutukseen käytetään useita lohkoja tai yksi lohko toteuttaa useita toimintoja. Tuotteet ovat harvoin puhtaasti modulaarisia tai integraalisia (Eppinger & Ulrich 1995, s. 133).

### 2.4.1 Modulaarisuuden tyypit

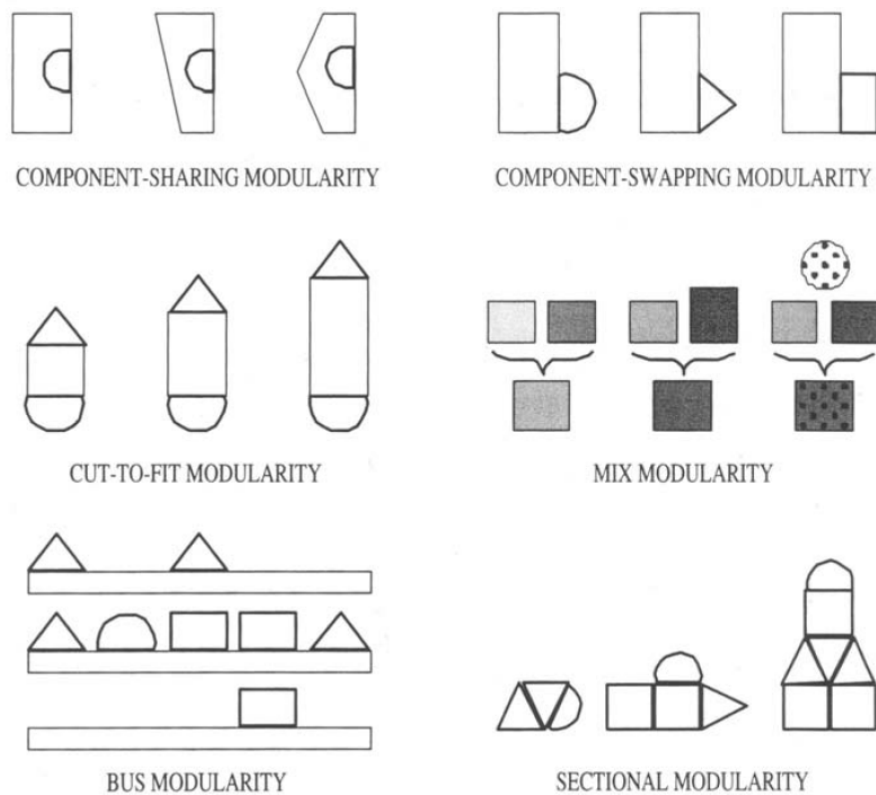
Modulaarisuuden määritelmän ja toteutustavan määrää modulaarisuuden luontitarkoitus, esimerkiksi missä tuotteen elinkaaren vaiheessa modulaarisuudesta halutaan hyötyä. Suunnitteluvaiheessa voidaan hyödyntää aiemmin tehtyä suunnittelutyötä, ja toisaalta elinkaaren loppupäässä voi esimerkiksi tuotteen kierrätys tapahtua moduulikohtaisesti (Hölttä-Otto 2005, s. 36).

Tuotealusta (engl. *product platform*) määritellään ”laajahkoksi joukoksi osia, jotka kuuluvat fyysisesti samaan alikokoonpanoon, joka esiintyy kaikissa lopputuotteen varianteissa” (Hölttä-Otto 2005, s. 32).

Kuva 16 havainnollistaa eri tapoja toteuttaa modulaarinen tuote. Komponentin jakava modulaarisuus (engl. *component sharing modularity*) sisältää tietyn ydinmoduulin, joka on variantista riippumatta vakio. Komponentteja vaihtava modulaarisuus (engl. *component swapping modularity*) toteutetaan liittämällä tuotteen runkoon keskenään vaihtoehtoisia komponentteja. Mittatilausmodulaarisuus (engl. *cut-to-fit modularity*) on lähinnä ulkomittojen muuttamista, tuotteen toiminnallisuus samanlaisena säilyttäen, siten että muutetaan yhden moduulin mittoja, jolloin kokonaisuuden ulkomitat myös muuttuvat. Sekamodulaarisuus (engl. *mix modularity*) on moduulien toteuttamista niin, että samaan moduliin yhdistetään useita toiminnallisuksia. Näiden lisäksi on olemassa väylämodulaarisuus (engl. *bus modularity*), jolle on tunnusomaista vakiorajapinnan käyttö, jolloin yhden moduulin tehtävänä on yhdistää



muut toisiinsa, ja palamodulaarisuus (*sectional modularity*), jossa moduulit voidaan asettaa haluttuun fyysiseen muotoon. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 158; Lehtonen 2007, s. 48)



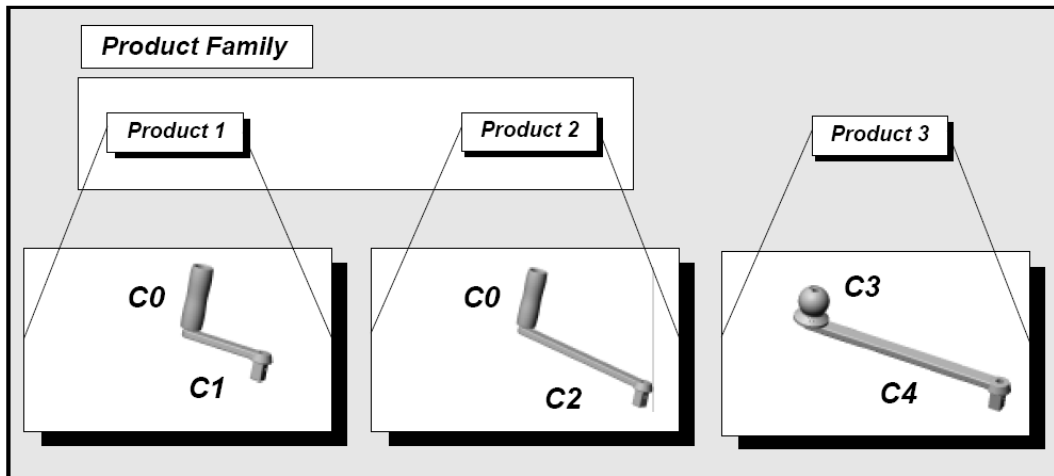
Kuva 16. Modulaarisuuden tyypit. (Lehtonen 2007)

## 2.4.2 Tuoteperheet

Tuoteperhe on ryhmä tuotteita, joilla on yksi tai useita yhteisiä ominaisuuksia. Ne voivat liittyä valmistuksellisiin tekijöihin, käyttötarkoitus tai markkinointiin (Laakko 1998, s. 111).

Säilynojan mukaan tuoteperhe on ”joukko samankaltaisia tuotteita, jotka on johdettu yhteisestä tuotealustasta, mutta jotka toteuttavat yksilöllisen, erityiseen asiakasvaatimukseen perustuvan toiminnallisuuden”. Variantti taas tarkoittaa muunneltavan tuotteen tai tuoteperheen tuoteyksilöä, joka eroaa vain vähän (Kuva 17) toisesta samantapaisesta tuotteesta (Säilynoja 2014; Pavlic et al. 2002). Tuotevarianttien avulla saavutetaan kyky vastata erilaisiin asiakastarpeisiin samalla kun tuoteperheiden avulla saadaan tuotantoverkoissa yhtenevyyden tuomat edut (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 19).

Sama tuote voi kuulua moneen tuoteperheeseen, koska tuoteperheitä luodaan eri tarkoituksiin. Esimerkiksi tuotannollinen tuoteperhe voi olla tyystin eri kuin markkinoinnin käyttämä. Tuoteperheiden idea on tuotteiston ryhmittely siten, että kunkin ryhmän sisäisiä yhtenevyyksiä hyödyntää. (Laakko 1998, s. 111).



Kuva 17. Tuoteperhe (Pavlic et al. 2002)

### 2.4.3 Vakiointi ja komponenttistandardointi

Tuoteperheen kehittämisessä voidaan vakioida eri tyyppisiä asioita (Huhtala & Pulkkinen 2009 s. 150):

- Toiminnallinen vakiointi – käytetään yhteisiä ratkaisuperiaatteita koko tuoteperheessä
- Rajapintavakiointi – konkreettisten liityntäpintojen vakiointi
- Layoutin vakiointi – vakioidaan komponenttien väliset sijoittelusuhteet
- Osavarianttien vakiointi

Komponenttistandardointi on eräs yritysstandardien luokka (Lapinleimu 1997, s. 293). Se tarkoittaa samojen komponenttien tai lohkojen käyttöä useammassa tuotteessa, jolloin niiden valmistusvolyymiä voidaan kasvattaa ja näin saada kustannusetuja (Eppinger & Ulrich 1995, s. 135).

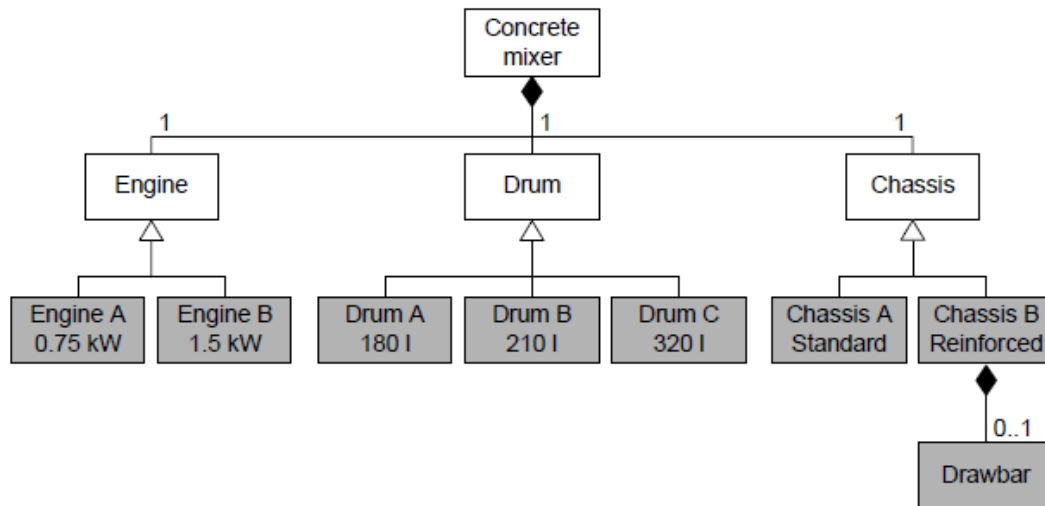
### 2.4.4 Konfiguroitu tuote

Konfiguroidun tuotteen ja tuoteperheen määritelmät ovat käytännössä lähes päällekkäisiä (Laakko 1998, s. 116). Konfigurointi tarkoittaa tuotemäärittelyä, jossa valitaan jokin tuoteperheen sisältämistä varianteista (konfiguraatioista). Kysymys on moduuleja vaihtamalla tapahtuvasta tuotekirjon laajentamisesta. Konfigurointi asettaa tuotetiedonhallintajärjestelmälle lisävaatimuksia: pelkkä kokoonpanokuva ja osaluettelo eivät riitä varianttien kuvaamiseen, vaan tarvitaan geneerinen tuoterakenne, joka tarkoittaa tuoteperheen kattavaa yleistä osarakennetta. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 170)

Konfigurointi on mahdollista toteuttaa suunnitteluohjelman sisällä, mutta yleensä konfiguroitavaksi tuotteeksi nimitetään vain tuotetta, joiden konfigurointi tapahtuu sen ulkopuolelta erillisellä ohjelmalla (Laakko 1998, s. 116). Nämä ohjelmat eivät muokkaa itse

malleja, vaan muuttavat vain niitä parametrejä, jotka on määritelty konfiguraattorilla muutettaviksi ja joita tarvitaan tuotteen tai tuoteperheen yksikäsitteiseen määrittelyyn (Laakko 1998, s. 117). Konfiguroinnin aste voi vaihdella. Osittain konfiguroitava tuote sisältää sekä vakioituja komponentteja ja rakenteita että toimituskohtaisesti räätälöityjä osia (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 294).

Kuva 18 esittää konfiguroidun tuotteen rakennetta. Tuote on sementtimalja, joka koostuu kolmesta moduulista (moottori, säiliö ja runko). Kukin moduuli voidaan valita muutamasta eri vaihtoehdosta. (Avak 2006, s. 76)



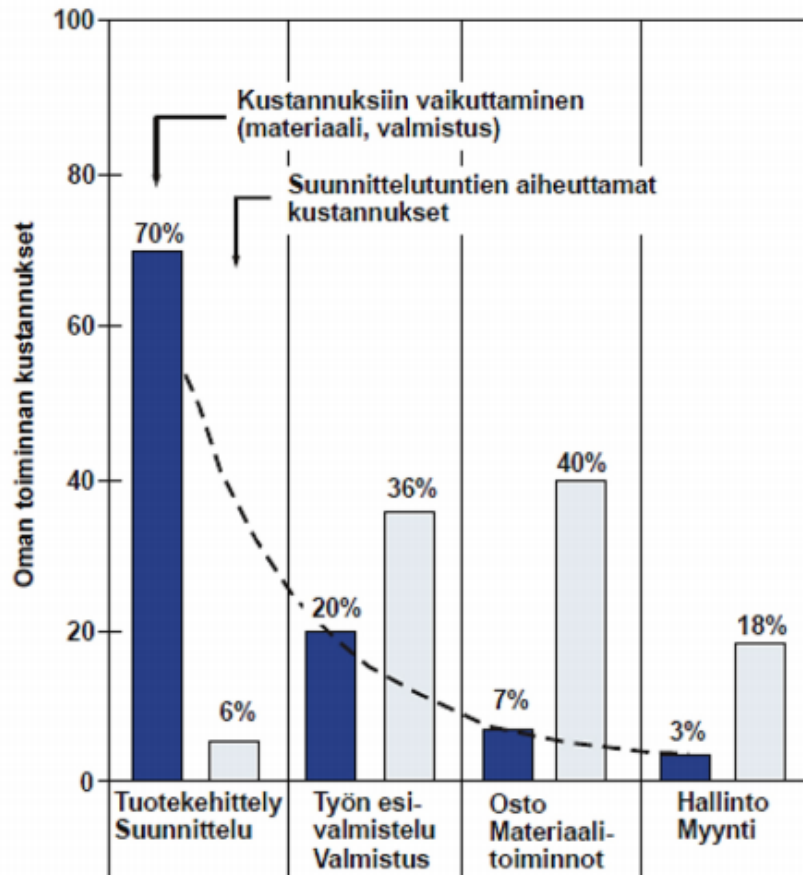
Kuva 18. Modulaarisen tuotteen rakenne. (Avak 2006, s. 76)

## 2.5 Valmistettavuus- ja kustannusnäkökohtia

Eppinger & Ulrich (1995, s. 181) toteavat, että ”valmistuskustannukset ovat avaintekijä tuotteen taloudellisen menestymisen määräytymisessä”. Suunnittelijan tehtävänä on suunnitella tuote, joka on valmistettavissa mahdollisimman vähin resurssein ja nopeasti. Tämän tavoitteen saavuttaminen edellyttää eri valmistusmenetelmien ja niissä tarvittavien laitteiden tuntemusta mahdollisuuksineen ja rajoituksineen (Piironen 2013, s. 4). Kustannustehokas valmistettavuus on erityisen huomion kohteena, jos on kysymys tuotteiden uudelleensuunnittelusta (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 288).

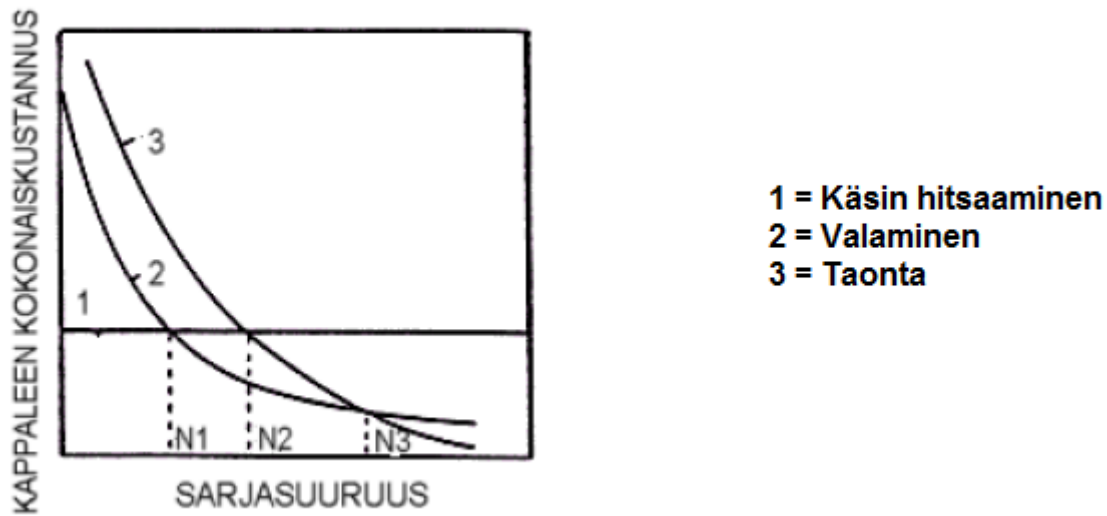
### 2.5.1 Kustannukset

Varsinaisen suunnittelutyön kustannukset ovat pieni osa kokonaiskustannuksista – suurimmat kustannuserät ovat työ ja raaka-aineet - mutta suunnittelussa lyödään lukkoon suurin osa muista kustannuseristä. Siitä eteenpäin mahdollisuudet vaikuttaa kokonaiskustannuksiin vähenevät kaiken aikaa (Kuva 19). (Piironen 2013, s. 4)



Kuva 19. Kustannusten muodostuminen eri vaiheissa (Piironen 2013, s. 4)

Yksittäiskappaleet ja hyvin pienet sarjat kannattaa valmistaa käsin hitsaamalla (mikäli pelkkä levyn leikkaus ja taivutus eivät riitä), koska valumuottien tekeminen vain muutamaa kappaletta varten ei ole kannattavaa. Valaminen on kannattavaa vasta sarjasuuruuden ylittäessä tietyn rajan, joka yleensä on satoja kappaleita. Kun sarjasuuruus edelleen kasvaa, on taonta kustannustehokkain (Kuva 20). (Meskanen & Höök 2009)

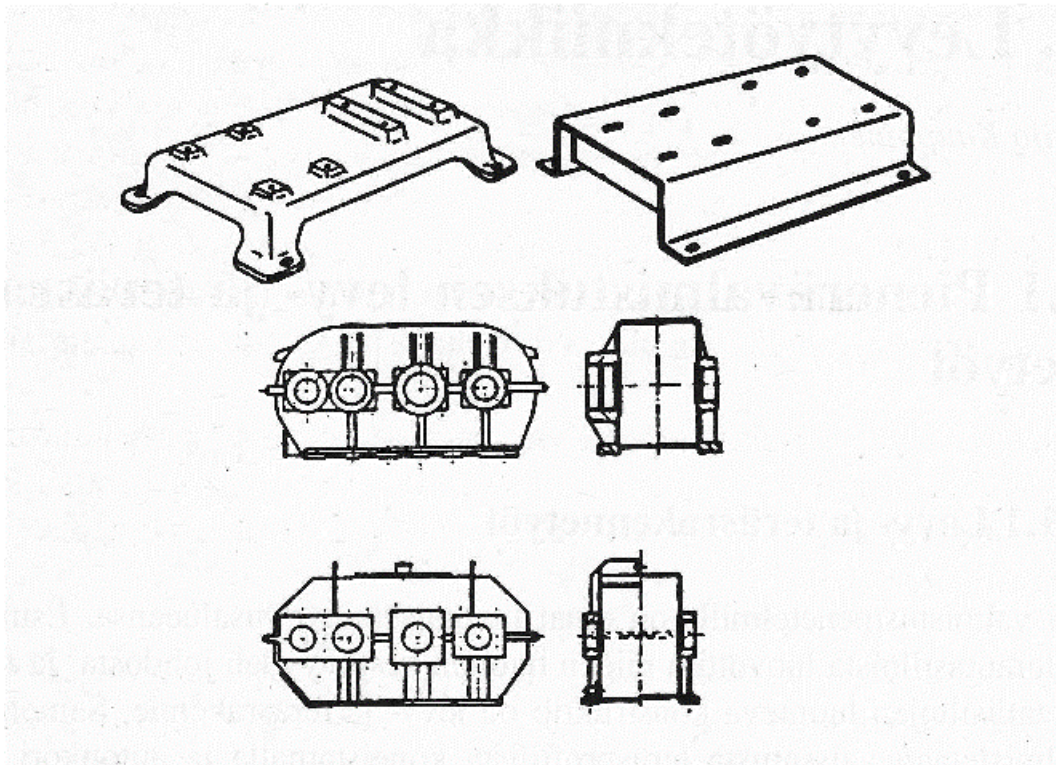


Kuva 20. Sarjasuuruuden vaikutus valmistusmenetelmään (Meskanen & Höök, 2009)

### 2.5.2 Valmistettavuus

Kullakin valmistusmenetelmällä on omat luontaiset soveltuvuusalueensa, joiden rajoille jää tapauksia, joissa voidaan valita eri menetelmien välillä. Kyseessä voi olla esimerkiksi koneensa, runko tai muu osa, joka voidaan toteuttaa joko valettuna tai levyteräsrakenteena. Nyrkkisääntöä valmistusmenetelmän valintaan ei ole, koska teknisten tekijöiden ohella siihen vaikuttavat muun muassa suhdanteista riippuvat taloudelliset tekijät. (Aaltonen et al. 1997, s. 1) Tässä asiaa tarkastellaan niiden valmistusmenetelmien osalta, joita työn kohteena olevien konstruktioiden valmistuksessa tarvitaan, eli käytännössä taivuttamista ja laserleikkaamista.

Kotelomaisten kappaleiden kohdalla syntyy edellämainitun kaltainen valinnan mahdollisuus (Kuva 21). Levyn muovattavuudesta on etua, kun kappaleelle halutaan saada edullisempi muoto, vähentää hitsausliitoksia tai pienentää kappaleen painoa. (Aaltonen et al. 1997, s. 1).



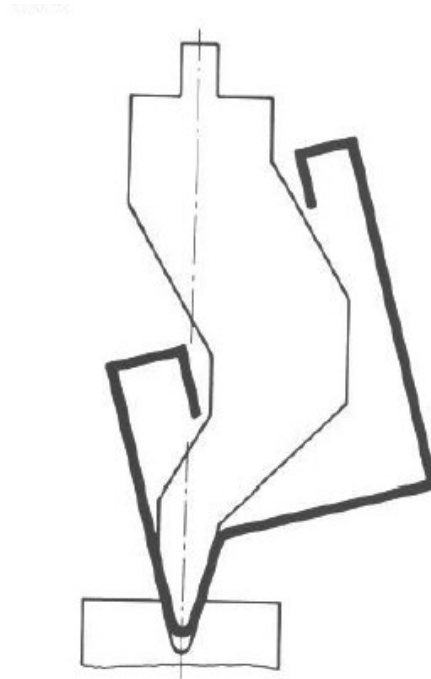
Kuva 21. Valettu ja levyistä hitsaamalla tehty kotelo (Aaltonen et al. 1997, s. 2)

### 2.5.3 Laserleikkaaminen

Laserleikkaamisessa leikkaamiseen tarvittava energia aikaansaadaan laservalolla, joka taitetaan linssin avulla yhteen pisteeseen. Materiaali joko sulaa, höyrystyy tai palaa; kaikissa tapauksissa se muuttuu helposti poistettavaksi. Aineen poistaminen aikaansaadaan osittain lasersäteen suuntaisella kaasusuihkulla, joka puhaltaa sulaneen aineen pois leikkuuraosta (Grepel et al., 2012). Laserleikkausta käytetään tavallisesti alle 6 mm levynpaksuuksille. Etuna on, että kappale ei lämpene, jolloin termiset muodonmuutokset vältetään (Aaltonen et al. 1997, s. 22).

### 2.5.4 Taivuttaminen

Kotelomaisten kappaleiden kohdalla on taivutusgeometriaa hahmoteltaessa huomioitava, että aiottu taivutus on mahdollinen ja mielellään ilman erikoistyökalujen käyttöä. Kotelomaisten tuotteiden särmäämisessä tarvitaan hanhenkaulapaininta (Kuva 22), jotta kappale mahtuu särmäyspuristimeen ensimmäisinä tehtyjen reunanpuoleisten taivutusten jälkeen. (Ihalainen et al. 1998, s. 271)



*Kuva 22. Kotelomaisten osien taivutuksiin käytettävä hanhenkaulapainin (Ihalainen et al. 1998, s. 271).*

Taivutettavan kappaleen mitoituksessa pääsääntönä on, että taivutusten sisäsäde on vähintään 2 kertaa levynpaksuus. Lisäksi on huomioitava mahdolliset taivutusten läheisyyteen tulevat reiät, jotka tehdään usein ennen taivuttamista. Liian lähellä taivutuslinjaa olevat reiät voivat vääristyä taivutuskohdassa tapahtuvien muodonmuutosten takia. Nyrkkisääntönä on, että reiät tulee sijoittaa vähintään 2 levynpaksuuden päähän taivuttamattoman osan reunasta (Boothroyd et al. 2011, s. 417).

Levyn taipuma on sekä plastisen että elastisen muodonmuutoksen tulosta. Kun valmis levy vapautetaan työkalukosketuksesta, elastinen muodonmuutos pyrkii palautumaan, joka aiheuttaa taipteen avautumisen, mistä käytetään nimitystä takaisinjousto. (Aaltonen et al. 1997, s. 46). Geometrisesti tarkkojen taivutusten tekeminen edellyttää takaisinjouston huomioimista taivutusten suunnittelussa. Takaisinjoustokerroin riippuu taivutussäteen ja levynpaksuuden suhteesta. Kertoimien huomioimiseen valmistuskäytössä käytetään valmiita taulukoita. (Aaltonen et al. 1997, s. 49)

### **2.5.5 Työtuntikohtaiset kustannukset**

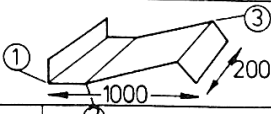
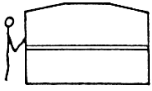
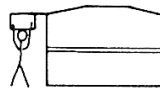
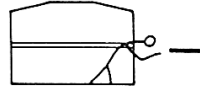
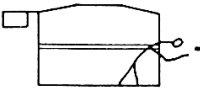
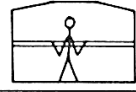
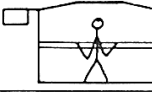
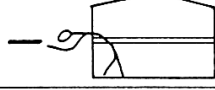
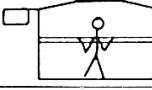
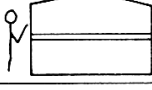
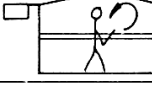
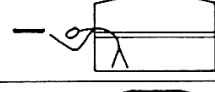
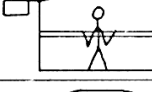
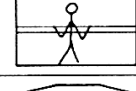
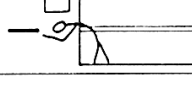
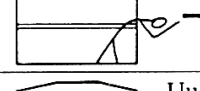
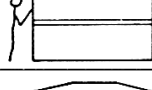
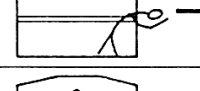
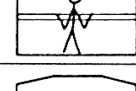
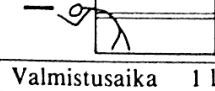
Valmistusmenetelmiä on tarkasteltava myös niihin vaadittavan ajan ja kustannusten kannalta. Taulukko 2 on koottu tuntikohtaisia kustannuksia eri työtavoista vuodelta 2011. (Pironen 2013, s. 7). Taivutuksia sisältävän kappaleen suunnittelussa joudutaan ottamaan huomioon myös sarjasuuruuden vaikutus (Taulukko 3) sarjan valmistusaikaan (Ihalainen et al. 1998, s. 273).

Taulukko 2. Työtuntien ja materiaalien hintoja vuoden 2011 mukaan. (Pironen 2013)

VALMISTUSMENETELMÄ	€/h	MATERIAALI AINES	kg/m	€/m	€/kg
Kaasuleikkaus	70	Latta 5x80 musta	3,14	4,50	1,43
Plasmaleikkaus	80	Latta 10x50 ST37 musta	4,06	5,69	1,40
Laserleikkaus	100	Latta 10x20 ST37 musta	1,57	1,59	1,01
Levytyökeskus	100	Latta 5x50 musta	1,96	3,6	1,17
Sahaus	45	Kulmateräs 20x20x3 FE37B	0,88	1,2	1,36
Särmäys	45	Kulmateräs 60x60x6 FE37B	5,42	6,5	1,20
Levyleikkuri	45	Ø30, pyörötanko musta	5,55	9	1,62
Poraus	45	Ø50, pyörötanko musta	15,30	18,50	1,21
Mankelointi	45	Ø26.9x2.65 musta	1,99	6	3,02
Putkentaivutus	45	Ø48.3x3.2 musta	3,56	8,50	2,39
Tasokoneistus	50	Teräsputki 13x1 DIN 2394	0,29	0,98	3,33
Sorvaus	50	Teräsputki 16x1,5 DIN 2394	0,53	1,38	2,59
Hitsaustyö	45	Teräsputki 19x1,5 DIN 2394	0,64	1,42	2,21
Karuselli/automaattisorvi	70	Teräsputki 42,4x3,25	3,12	8,05	2,58
Aarpora	80	RHS 40x40x4 S355J2H	4,20	5,59	1,33
Monikarainen koneistuskeskus	120	Levy 3x1000x2000	48	86,50	1,80



Taulukko 3. Taivutuksen vaatima aika sarjasuuruuden mukaan eri tyyppisillä särmäyspuristimilla (Ihalainen et al. 1998, s. 273)

Särmäyspuristin		NC/CNC -särmäyspuristin	
Taivutettava kappale 			
	Asetus 5 min.		Asetus 7,5 min
	Levyn otto 5 s		Levyn otto 5 s
	Taivutus 7 s		Taivutus 7 s
	Levyn poisto 5 s		Taivutus 7 s
	Uudelleenasetus 5 min.		Levyn kääntö 5 s
	Levyn otto 5 s		Taivutus 7 s
	Taivutus 7 s		Levyn poisto 5 s
	Levyn poisto 5 s		
	Uudelleenasetus 5 min.		
	Levyn otto 5 s		
	Taivutus 7 s		
	Levyn poisto 5 s		
Valmistusaika	1 levy 15,85 min	Valmistusaika	1 levy 8,1 min
—,,—	10 levyä 23,5 min.	—,,—	10 levyä 13,5 min
—,,—	100 levyä 1,6 h	—''—	100 levyä 1,1 h

### 3 Siltanosturit

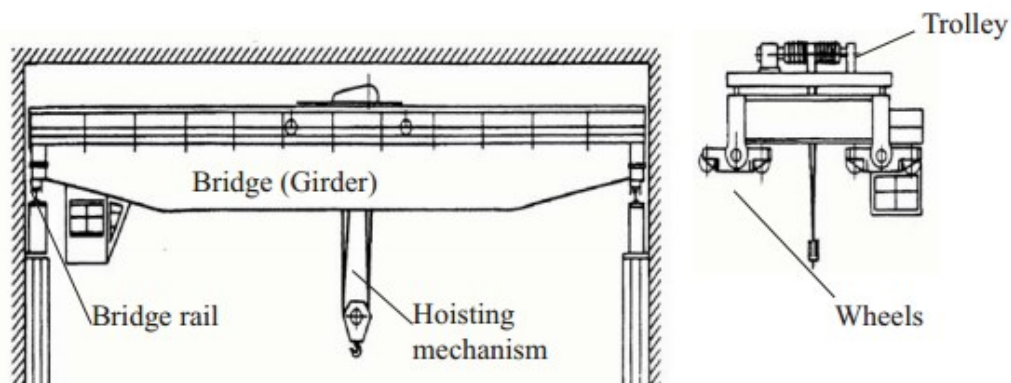
Siltanosturi on tehokkain tapa siirtää raskaita kuormia paikasta toiseen alueella, joka kattaa kokonaisen rakennuksen. Niitä käytetään pääasiassa ajoneuvo- ja laivanrakennusteollisuudessa (Alkin et al. 2005, s. 61). Tässä luvussa kuvataan Konecranes Oy:n SMARTON® -siltanosturia ja UM-vaunua alihankintasuunnittelun näkökulmasta.

#### 3.1 Siltanosturin rakenne ja toiminta

Siltanosturi (Kuva 23) koostuu kiinteästi asennetuista kiskoista ja näitä pitkin liikkuvaa siltaa (engl. *crane bridge*) pitkin kulkevasta nostinvaunusta (engl. *trolley*). Tehdashallikäytössä kiinteät kiskot asennetaan yleensä hallin pitkälle sivulle lähelle kattoa. Ulkokäytössä ne sitä vastoin asennetaan paalujen varaan. Tämän tyyppisiä siltanostureita (engl. *gantry crane*) käytetään satamissa.

Kiskot voivat olla kahdentyyppisiä, joko tavanomaisia, jolloin silta lepää poikkileikkaukseltaan suorakulmaisen kiskon päällä ja nostinvaunu sillalla vastaavanlaisen kiskon päällä, tai riippukiskoja, jolloin kisko on I-palkki ja silta sekä nostinvaunu riippuvat kiskojen laipoista rullien varassa. Tässä työssä käsitellään vain tavanomaisella kiskolla liikkuvia siltanostureita.

Sillan liike muodostaa yhden, sillalla liikkuvan nostinvaunun liike toisen ja nostinvaunussa olevan koukun nostaminen ja laskeminen kolmannen liikeakselin (Alkin et al. 2005, s. 62).



Kuva 23. Siltanosturin rakenne. (Alkin et al., 2005)

Nosturin ohjaus tapahtuu joko maasta käsin tai sillalle asennettavasta ohjauskopista. Maasta tapahtuvaan ohjaamiseen voidaan käyttää joko johdon päässä olevaa painikeohjainta tai langatonta infrapuna- tai radiotoimista kauko-ohjainta. Ohjaimessa on yleensä seitsemän painiketta, nostokoneiston liike ylös ja alas, vaunun liike eteen ja taakse, sillan liike vasemmalle ja oikealle sekä hätäpysäytys (Halminen 2007, osa 10, s. 4).

### 3.1.1 Silta

Silta muodostaa tehdashallin poikittaissuunnassa olevan radan, jota pitkin nostinvaunu liikkuu. Se koostuu kahdesta samanlaisesta, vierekkäisestä palkista, joita kutsutaan pääkannattajiksi. Pääkannattajat lepäävät pyörillä varustettujen päätyjen varassa, jotka molemmat liikkuvat kiinteitä kiskoja pitkin hallin pituussuunnassa.

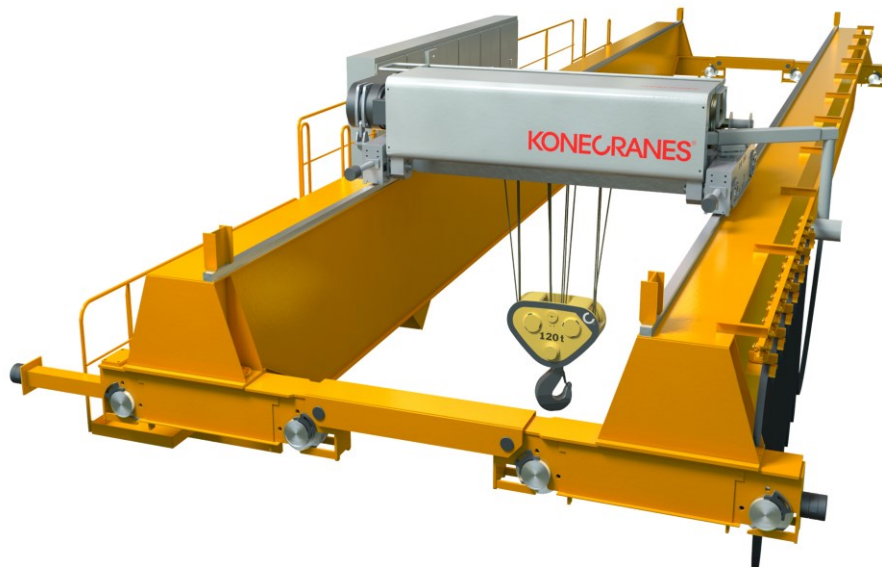
Kumpikin pääkannattaja (engl. *girder*) on teräslevyistä hitsattu kotelopalkki, jonka pituus on tyypillisesti noin 25 metriä. Sen yläpinnassa on kisko, jota pitkin kulkee toinen nostinvaunun pääty. Pääkannattajien etäisyys toisistaan toteutetaan niin että kiskojen poikkileikkausten keskipisteiden välimatka (raideleveys) vastaa nostinvaunun päätyjen keskikohtien väliä.

Samalla sillalla voi olla yhden nostinvaunun lisäksi apuvaunu tai useampia, tai myös useita täysikokoisia nostinvaunuja. Tällöin vaaditaan järjestelmä, joka estää vaunujen törmäämisen toisiinsa.

## 3.2 Nostinvaunu

Nostinvaunu on se osa siltanosturia, joka liikkuu sillan päällä hallin poikittais-suunnassa. Nostinvaunu lepää sillan päällä pääkannattajien välissä. Vaunun päätyjä yhdistävät kuormapalkki ja nostokoneisto. Keskellä on köysistä riippuva koukku.

Konecranesin toimittamat SMARTON® -siltanosturien nostinvaunut eli UM-vaunut (Kuva 24) jaetaan neljään vaunusarjaan: UM17, UM18, UM19 ja UM20, ja nämä eroavat siten, että pienemmän numeron omaavat sarjat ovat kooltaan pienempiä. Tämä on kuitenkin vain pääsääntö. Vaunujen komponentit ovat usein yhteisiä siten, että esimerkiksi UM17:ssa ja UM18:ssa voidaan käyttää osittain samoja päätyjä, ja myös näiden vaunusarjojen vakiona tarjottava raideväliskaala on molemmissa sama.



*Kuva 24. Konecranesin SMARTON®-siltanosturi, jonka nostinvaunussa käännettävä huoltotaso (Copyright Konecranes Oyj)*

Vaunun ajoliike siltaa pitkin toteutetaan siirtokoneistoilla, joita on kaksi samanlaista, yksi kummassakin päädyssä. Sähkönsaanti toteutetaan tavallisesti päätyyn asennettavalla virtapuomilla, joka kannattelee kaapeleita. Se ulottuu pääkannattajan ylitse, ja loppuosa kaapelista roikkuu pääkannattajan ulommassa kyljessä rullien varassa.

Raideleveyksiä on käytössä puolenkymmentä vakiota. Erikoinen raideleveys edellyttää sillan pääkannattajien välimatkan muuttamista sekä kuormapalkin ja nostokoneiston telan pituuden muuttamista nostinvaunussa.

### **3.2.1 Päädyt**

Pääty on kannatinpalkin kiskoja pitkin pyörillä liikkuva kotelopalkkimainen rakenne. Kummassakin päädyssä on kaksi tai kolme pyörää, mikä vaikuttaa päädyn rakenteeseen. Kolmen pyörän tapauksessa kaksi pyörää sisältyvät toisessa päässä olevaan teliin. Nostovaihteen puoleisen päädyn kaikki pyörät ovat urapyöriä lukuun ottamatta kolmipyöräisen päädyn telin sisempää pyörää. Uran tehtävänä on pitää vaunu kiskoillaan. Vastakkaisessa päädyssä uria ei tarvita, koska kaksi urallista pyörää riittää.

Kummankin päädyn pyöristä yksi on käyttävä pyörä, jossa on ulkoneva kiilaurallinen akseli, jota käyttää siirtokoneisto vaunun ajamiseen sillalla. Muissa pyörissä akseli on kokonaan päädyn sisällä. (Halminen 2007)

### 3.2.2 Kuormapalkki

Kuormapalkki yhdistää vaunun päädyt toisiinsa ja toimii koukun köysien toisena ankkurointipisteenä. Se on rakenteeltaan kotelopalkki. Kuormapalkkiin kiinnitetään huoltotaso, köydenohjain sekä moottoreille menevien sähkökaapeleiden kourut.

### 3.2.3 Nostokoneisto

Nostokoneiston näkyvin osa on köysitela, jonka pinnassa on kaksiosainen uritus. Nostokoneisto ja kuormapalkki mitoitetaan raidevälin mukaan. Toisessa päässä on vasenkätinen ja toisessa oikeakätinen kierreura. Köysi kiertyy telalle nostimen liikkeessä ylöspäin. Päätylaipoissa on köysilukot köysien päille. Keskeltä kumpikin köysi on yhdistetty koukkuun sekä toisesta päästään kuormapalkin sisällä olevaan toiseen kiinnityspisteeseen.

Telaa käyttää sen toisessa päässä oleva nostomoottori vaihteen välityksellä, joka on momenttituella kiinni vaunun päädyssä. Nostonopeuksia on erilaisia nostovaihteen välityssuhteen mukaan.

### 3.2.4 Siirtokoneisto

Siirtokoneisto muodostuu kahdesta fyysisesti erillisestä, toistensa peilikuvina kootusta kokonaisuudesta, joihin kumpaankin kuuluu sähkömoottori, vaihde ja momenttituki. Vaihteen välityssuhde määrää vaunun ajonopeuden. Vaihteeseen on yhdistetty päädyn käyttävän pyörän akseli.

Siirtokoneisto voidaan asentaa joko päätyjen sisä- tai ulkopuolelle. Siirtokoneiston moottori voidaan varustaa enkooderilla, joka tarvitaan vain toiselle puolelle.

### 3.2.5 Koukku

Koukkupesä riippuu köysistä nostinvaunun alta sen keskikohdasta. Siinä on vähintään yksi toisiinsa nähden viistosti asennettu köysipyöräpari eli vähintään yksi köysipyörä kummallakin sivulla. Nostokoneiston liike kelaa telalla olevaa köyttä joko ylös tai alaspäin, mikä nostaa tai laskee koukkuja.

Koukkutae roikkuu koukkupesän keskellä olevasta nivelestä eli piitasta, jonka tehtävänä on pitää koukkutae pystysuorassa. Tae voi olla joko yksi- tai kaksihaarainen. Sitä voidaan kääntää pystyakselinsa ympäri ja lukita paikalleen 90 asteen välein lisävarusteena olevalla pyörintälukolla.

### 3.2.6 Huoltotaso

Huoltotason muodostaa taivutetusta pohjalevystä ja kahdesta päätylevystä hitsattu kävelytaso, joka on kiinnitetty kannatinpalkkiin kummassakin päässä olevilla kannattimilla. Huoltotasot jakautuvat rakenteeltaan kahteen luokkaan: kiinteisiin ja kääntyviin. Kääntyvässä huoltotasossa kannattimet ovat nivelöityjä, jolloin huoltotaso voidaan kääntää kuormapalkin päälle käsitoimisella vinsillä.

Kävelytason hitsauskokoontamiseen kuuluvat lisäksi asennuspaikat kaiteelle, askelmalle ja mahdolliselle kaapelikelalle. Kaapelikelan asentaminen vaatii aina huoltotason hitsauskokoontamisen muuttamista vakiosta ja niitä käytetään vain kiinteiden huoltotasojen kanssa. Kelan vaatima läpivienti saadaan aikaan joko leikkaamalla pohjalevyyn aukko tai loveamalla sen reunaa.

Tason kannattimet valmistetaan taivutetusta teräslevystä ja niiden ulompi pää on alaosastaan viistetty. Normaalin levyisessä huoltotasossa, mikäli taso voi olla normaalilla etäisyydellä palkista, voidaan käyttää vakiokannattimia, vaikka taso olisikin lovetta tai aukollista tyyppiä. Sen sijaan poikkeavan levyinen taso vaatii poikkeavan mittaiset kannattimet.

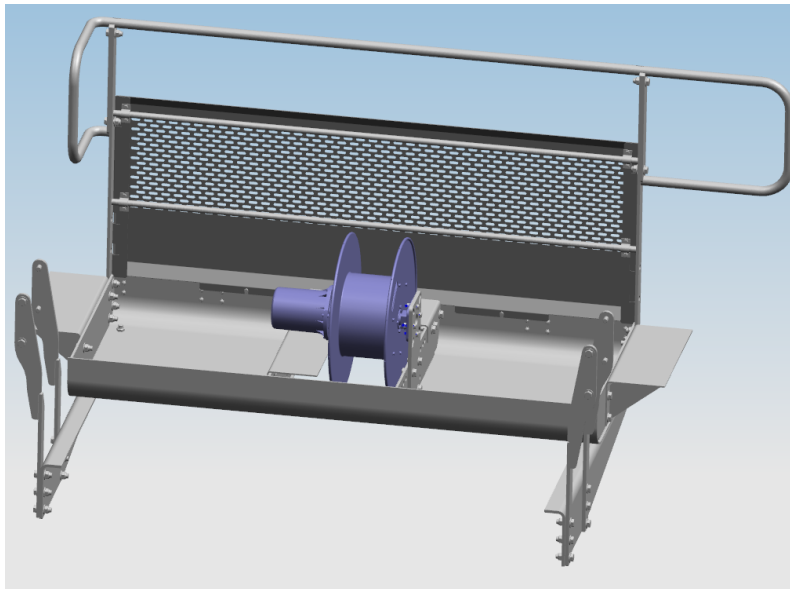
### 3.3 Nostinvaunun lisävarusteet

Nostinvaunuissa käytetään hyvin usein lisävarusteita, jotka eivät kuulu vakiokokoonpanoon. Näitä ovat huoltotasot, kaapelikelat sekä erityyppiset paikoitus- ja törmäyksenestojärjestelmät.

#### 3.3.1 Kaapelikelat

Nostinvaunussa tarvitaan sähköä paitsi nosto- ja siirtomootoreille, myös ohjauslaitteille. Sähkönsaanti voidaan toteuttaa eri tavoin tarkoituksenmukaisuudesta riippuen.

Konecranesin toimittamissa nostinvaunuissa käytetään joko jousitoimisia kaapelikeloja (Kuva 25) tai moottorikeloja. Kummassakin tapauksessa keskeinen tilantarpeen määräävä mitta on kaapelirummun laipan halkaisija, joka vaihtelee 400 millimetristä lähes metriin. Kelat asennetaan aina huoltotason keskelle. Esteettömän kulun järjestäminen huoltotasolla suurimpien kaapelirumpujen kohdalla on jo haastavaa.



Kuva 25. Jousikuormitteinen kaapelikelat asennettuna huoltotasolle.

Moottoroiduilla kaapelikelloilla on ulko- ja kiinnitysmittojen ohella huomioitava liukurengaspaketin kotelon avaamisen vaatima tila. Liukurengaspaketti on kaapelirummun vastakkaisessa päässä oleva laatikkomainen osa, jonka pituus vaihtelee eri moottorikelatyyppeiden välillä kymmeniä senttimetrejä. Avaaminen tapahtuu irrottamalla kiinnitysruuvit ja vetämällä kotelo pituussuunnassa irti. Avaamisen vähimmäistilantarve on näin ollen kotelon pituuden verran. Suurilla raideleveyksillä tämä ei ole ongelma, mutta pienimpien raidevälien kohdalla tulee usein vastaan huoltotason päätylevy tai nostinvaunun pääty, jolloin kelan sijoittelu on tehtävä poikkeavasti esimerkiksi asentamalla kela vinosti.

Kaapelikelan kiinnitystapa on käytännössä aina sama. Kelassa on asennusta varten yleensä soikioreiät, jotka tavallisesti sallivat toisessa suunnassa noin 10 millimetrin poikkeaman valmistajan ilmoittamista kiinnitysmitoista. Itse kiinnitysmittoja esiintyy muutamaa päätytyppiä. Kelan mahdollisen vaihtamisen kannalta olisi eduksi, jos alustaan voitaisiin kiinnittää mahdollisimman monentyypisiä keloja.

Kaapelikelan asennusalusta huoltotasolla on yleensä irrotettava, reunoistaan taivutettu levy, jonka pohjaan on hitsattu jäykisteitä. Alusta asennetaan edelleen ruuveilla huoltotason hitsauskokoontamiseen, jossa on tätä varten reunasta reunaan ulottuvat levyt asennusreikineen. Vaihtoehtona tälle on kelan kiinnitys suoraan hitsauskokoontamiseen kuuluvaan levyyn, johon on tehty valmiiksi kierreleivät. Tätä on käytetty varsinkin lovellisissa huoltotasoissa, joissa loven kotelomainen reunalujuute on umpinainen eikä salli muuta tapaa.

Rummun halkaisijan määrää nostinvaunun tarvitsema kaapelimäärä, joka puolestaan riippuu nostimen maksiminostokorkeudesta. Suurilla nostokorkeuksilla tarvitaan enemmän kaapelia ja tällöin kaapelikelan rummun halkaisijan on oltava suuri. Kaapelikela voidaan tilata joko vasen- tai oikeakätisellä kaapelin ulosvetosuunnalla. Suunta valitaan käytännössä aina siten että kaapeli on kelattavissa rummulta auki huoltotason ulkoreunan (kaiteen) puolelta.

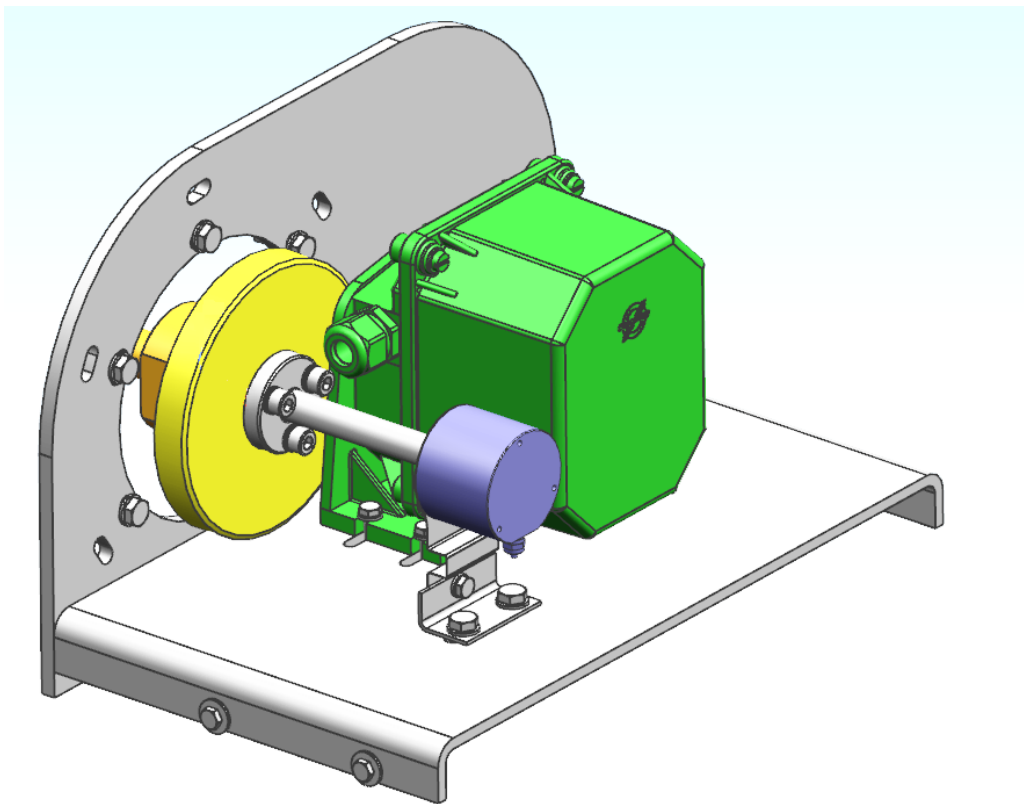
### 3.3.2 Nostokoneiston rajakytkinmoduuli

Nostokoneiston rajakytkinmoduuli (engl. *hoist limit switch*) on nostokoneiston vaihteen kylkeen asennettava kotelomainen laite. Kuva 26 esittää sen perusversiota (ilman suojakotelo) lisätynä enkooderilla. Rajakytkinmoduuli asennetaan viidellä kehässä olevalla ruuvilla nostokoneiston vaihteeseen ja moduuliin kuuluva akseli kytketään vaihteen akseliin. Nostokoneiston toimiessa akseli käyttää hammaspyörää, joka puolestaan käyttää toisen, pienemmän hammaspyörän välityksellä rajakytkimen akselia.

Rajakytkin (engl. *rotary limit switch*) toimii siten, että sen akselille asennettujen nokallisten kiekkojen nokat käyttävät mikrokytkimiä. Kiekkoja ja mikrokytkimiä on kumpaakin tavallisesti 4 kpl. Rajakytkimen tarkoituksena on pysäyttää nostokoneiston liike ennen koukun osumista kuormapalkkiin sen ollessa yläasennossa.

Lisävarusteena rajakytkinmoduulissa on toisinaan käytetty enkooderia, jota varten suuremman hammaspyörän kylkeen kiinnitetään kiilaurallinen akseli, jonka vapaa pää kiiloineen menee enkooderin sisään. Enkooderin runkoon kiinnitettävä terästappi menee alustaan ruuvatussa

levyssä olevan reiän läpi. Tappi ottaa momentin vastaan estäen enkooderia pyörimästä akselin mukana.



*Kuva 26. Nostokoneiston rajakytkinmoduulin nykyinen versio, etualalla enkooderi (lisävaruste).*

### 3.3.3 Siirron rajakytkimet

Siirron rajakytkimien tehtävänä on pysäyttää vaunun liike ennen törmäystä, kun se on lähestymässä sillan päätä. Niitä voidaan myös käyttää kun halutaan estää vaunun ajaminen tiettyyn kohtaan hallissa. UM-vaunuissa on tähän kolme toteutustapaa, mutta kaikissa periaate on sama: antaa siirtomootoreille signaali, joka kytkee ne ajoissa pois päältä, jotta vaunun liike pysähtyy ennen kiellettyä kohtaa. (Halminen 2007)

Mekaaninen rajakytkin aktivoituu, kun siihen kuuluva anturivarsi tönnäisee pääkannattajan yläpintaan haluttuun kohtaan asennettua estettä. Anturivarsi asennetaan osoittamaan alaspäin ja sen rullakärjen asennuskorkeus on tavallisesti joitakin kymmeniä millimetrejä kiskon tason yläpuolella.

Magneettinen rajakytkin ei vaadi fyysistä kosketusta esteen kanssa. Se koostuu anturista, jonka pohjaan on kiinnitetty magneetti. Se toimii vaunun ohittaessa pääkannattajan yläpintaan asennettavan kiinteän magneetin, joka aktivoi kytkinreleen. Magneettisia rajakytkimiä



käytetään tavallisesti pareittain. Sillalle asennettava magneetti voidaan asentaa joko pohjois- tai etelänäpa ylöspäin, jolloin releen toimintatapa on eri.

Induktiorajakytkin toimii samaan tapaan kuin magneettirajakytkin, mutta siinä toimilaite on magneettisen sijasta induktiivinen.

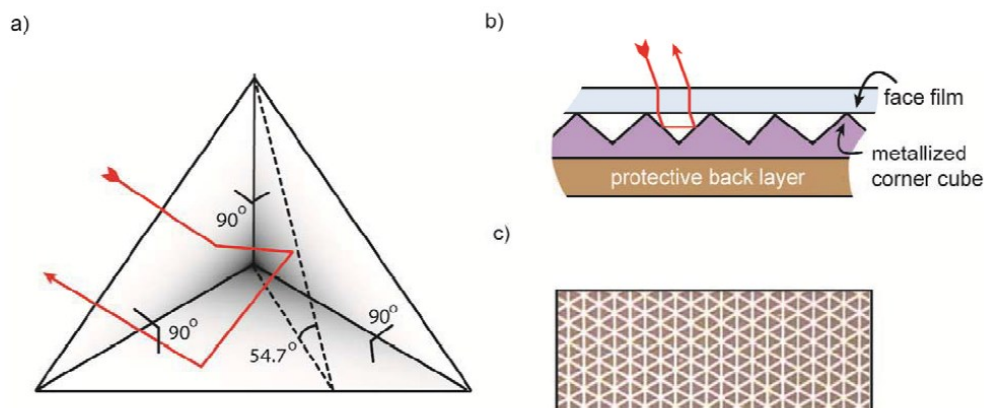
Rajakytkimet asennetaan telineisiin, joita on erityyppisiä ja jotka kiinnitetään nostokoneiston momenttitukeen tai jommankumman päädyn ulompaan kylkeen. Samassa vaunussa on mahdollista käyttää monentyypisiä rajakytkimiä yhtä aikaa. Tällöin on huomioitava, ettei niitä saa asentaa samalle linjalle vaunun kulkusuunnasta katsoen.

### 3.3.4 Laser- ja törmäksenestojärjestelmä

Laserjärjestelmä koostuu sillan päädyssä olevasta kiinteästä laserlähettimestä ja vaunuun sijoitettavasta heijastajasta, joka on asennusorteen kiinnitettävä neliömäinen kulmaheijastinlevy.

AC-järjestelmää eli törmäksenestojärjestelmää (engl. *anti-collision system*) käytetään kun samalla sillalla on useampi kuin yksi nostinvaunu. Järjestelmä koostuu infrapunälähettimestä (engl. *photo cell*), joka sisältää myös vastaanottimen, ja kulmaheijastinlevystä (engl. *reflector*), jotka sijoitetaan eri vaunuihin.

Kulmaheijastimen geometrian ansiosta siihen osuva säde heijastuu täsmälleen tulosuuntaansa eli takaisin lähettimeen. Kulmaheijastinlevy sisältää useita yksittäisiä kulmasoluja (Kuva 27), jotka on asetettu vierekkäisiin. (Kilaru 2009, s. 15)

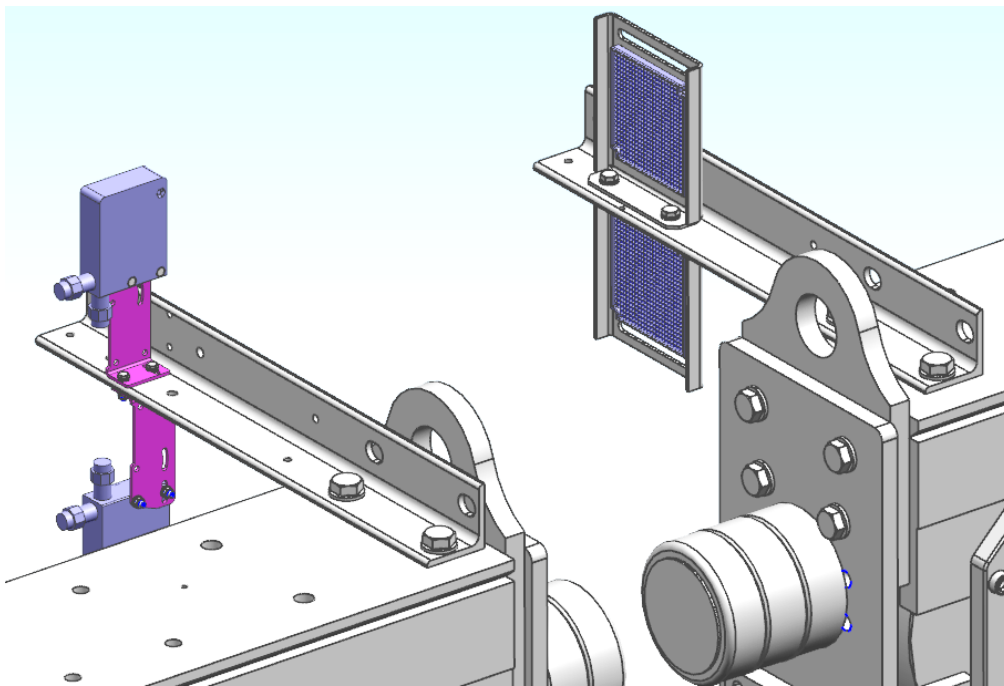


Kuva 27. Kulmaheijastimen periaate a) kulmasolu, b) vierekkäisiä soluja, c) useita soluja sisältävä heijastinlevy (Kilaru 2009)

Lähetinlaitteen asennustelineessä on toiselle kiinnitysruuveista kaareva ura, jonka avulla laitetta voidaan kallistaa niin että infrapunasäteen lähtösuunta tulee kulmaan vaakatasoon nähden. Näin säteen osumapaikka tulee riippuvaksi vaunujen välisestä etäisyydestä, ja vaunujen ollessa riittävän lähellä toisiaan säde osuu heijastimeen, josta se heijastuu takaisin

lähetinlaitteessa olevaan anturiin, joka antaa liikkuvalla vaunulle ajoissa pysäytyssignaalin. Vaunun liike-energian ja jarrutukseen vaadittavan matkan vuoksi se etäisyys, jolla osuma aikaansaadaan, on asetettava tapauskohtaisesti vaunujen ajoliikkeen nopeuden mukaan.

Lähetin- ja heijastinpareja voidaan käyttää kahden vaunun välillä joko yhtä tai kahta, mikäli ne ovat eri linjalla keskenään. Kun sillalla olevia vaunuja on kolme, tarvitaan keskimmäisen vaunun kummallekin puolelle vähintään yksi lähetin-heijastinpari. Kaksois-AC-järjestelmässä on kaksi samanlaista paria (Kuva 28) asennettuna samaan kiinnitysrautaan. Tällöin yhden parin antama pysäytyssignaali alentaa nopeuden hitaimpaan siirtonopeuteen ja toisen signaalilla saadaan vaunu pysähtymään.



*Kuva 28. AC-järjestelmän komponentit, infrapunälähetin ja heijastin; kuvassa kaksoisasennuksena.*

## 4 Menetelmät

Tutkimukseen käytettiin sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia menetelmiä. Ensiksi mainittuja edustaa pääasiassa tapaustutkimus (engl. *case study*). Jälkimmäisen piiriin puolestaan kuuluu tilauksista kerätty numeerinen dimensioaineisto, johon sovellettiin tilastollisia menetelmiä ja ns. laatutyökaluja.

### 4.1 Tapaustutkimus

Kvalitatiivisen tutkimuksen päätietolähteet ovat havainnot, dokumentit ja haastattelut (Merriam 2002, s. 12). Tutkimukselle on tunnusomaista, että tiedon analysointi voi tapahtua sen keräämisen kanssa yhtä aikaa. Tietoa voi ryhtyä analysoimaan jo ensimmäisen havainnon, dokumentin tai haastattelun jälkeen. Merriam (2002, s. 14) toteaa, ettei kvalitatiivisen tutkimuksen raportoinnille ole olemassa standardoitua tapaa, mikä merkitsee että tulokset voidaan esittää tarkoitukseen parhaiten sopivassa muodossa.

Kvalitatiivisen tutkimuksen tulos on hyvin deskriptiivinen. Numeroiden sijasta siinä käytetään sanoja ja kuvia kertomaan, mitä tutkija on tutkittavasta ilmiöstä havainnut. (Merriam 2002, s. 5)

Tämän tutkimuksen tekijä on työskennellyt Konecranesille alihankintasuunnittelua tekevässä Etteplan Oyj:ssä mekaniikkasuunnittelijana vuodesta 2011 alkaen, päätehtävänään UM-vaunujen toimitussuunnittelu. Osa kehittämistarpeista on itse havaittuja, osa taas on Konecranesin omassa selvityksessä ilmenneitä kehityskohteita.

### 4.2 Tutkimuksen suorittaminen

Havaintoaineiston keräämistä varten oli käytettävissä kaikki toteutuneet nostinvaunujen toimitussuunnitteluprojektit noin kolmen vuoden ajalta. Näiden joukosta poimittiin 39 tilausta, joihin sisältyi kaapelikelojen asennuksia huoltotasolle. Havaintoaineisto on liitteenä 1. Vaunutilauskohtaiset yksityiskohdat ja dimensiot on saatu toteutuneessa suunnittelutyössä tuotetuista mittakuvista. Kunkin tilauksen suunnitteluun kuluneet ja laskutetut työtunnit on poimittu Konecranesin iLM-tuotannonhallintajärjestelmästä.

#### 4.2.1 Tilausaineistosta kerätyt tiedot

Työn ensimmäinen vaihe oli toteutuneiden nostinvaunutilausten läpikäyminen ja datan kerääminen alustavaa luokittelua varten. Tarkasteluun otettiin tilaukset, joissa sekä huoltotason että kaapelikelan dimensiot oli saatavissa. Huoltotasoja oli kaiken kaikkiaan 37 kappaletta, joista 2 tapauksessa on samalle huoltotasolle asennettu kaksi kela. Kaapelikelojen määrä on siten 39.

Tarkasteluun ei otettu mukaan tavanomaisesta huomattavasti poikkeavia suunnittelutapauksia - joko asiakkaan itse valmistamia huoltotasoja, jolloin mittoja ei ollut saatavissa, tai tapauksia, joissa on vaadittu normaalista selvästi poikkeavaa suunnittelua – esimerkiksi huoltotasot joihin on asennettu useita kaapelikeloja tai kelan asennus on tehty vinosti. Koska tarkoituksena on

normaalin moottorikelan-asennuksen vakiointi, ei näiden ottaminen mukaan tarkasteluun ole perusteltua.

Jokaisen tilauksen osalta poimittiin seuraavat tiedot:

- Projektin nimi ja työnumero
- Vaunusarja (UM17, UM18, UM19 tai UM20)
- Raideväli (2400, 2700, 3400, 4200 tai 5300 mm)
- Projektiin käytetyt suunnittelutunnit (nämä tarvittiin vain vakiovarustelun sisältäneistä moottorikelaprojekteista)
- Huoltotason leveys
- Kaapelikelan tyyppi (jousi- vai moottorikelan)
- Kelan dimensiot ja asennusmitat

Havaintoaineistosta muodostettiin seuraavat jakaumat

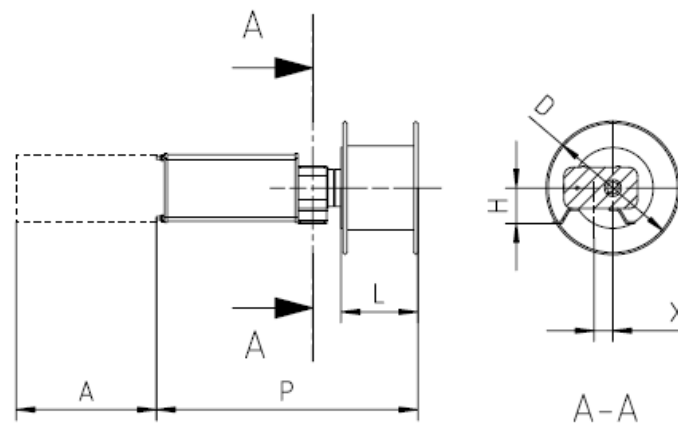
- Huoltotasojen leveysjakauma (histogrammi)
- Kaapelikelan rummun halkaisijoiden jakauma (histogrammi)
- Kaapelikelan kiinnitysmittojen jakauma (piirakkadiagrammi)
- Kaapelikelan rummun halkaisijan ja huoltotason leveyden välinen yhteys (hajontadiagrammi)

Edellä mainittujen lisäksi on tarkasteltiin joitakin vakiohuoltotason sisältäneitä projekteja, joista on otettu suunnitteluajat iLM-järjestelmästä. Rajakytkinmoduulin ja AC-järjestelmän osalta kerättiin tiedot alihankintana ostettavien komponenttien nykyisistä kustannuksista.

#### **4.2.2 Kaapelikelojen dimensiot**

Tilattujen kaapelikelojen toimittajien dokumenteista sekä kelojen 3D-malleista poimittiin kelojen dimensiot (Kuva 29). Näitä olivat kaapelirummun laipan maksimihalkaisija  $D$ , rummun pituus päätylaippoineen  $L$ , kokonaispituus  $P$ , akselin korkeusasema  $H$  asennuspinnasta sekä asennuskohdan keskilinjan on sivussa rummun akselin linjasta, mitä on merkitty kuvaan X:llä. Lisäksi poimittiin liukurengaspaketin avaamisen vaatima tila  $A$ , mikäli se oli saatavissa. Kuvaan merkittyjen mittojen lisäksi poimittiin kiinnitysmitat.

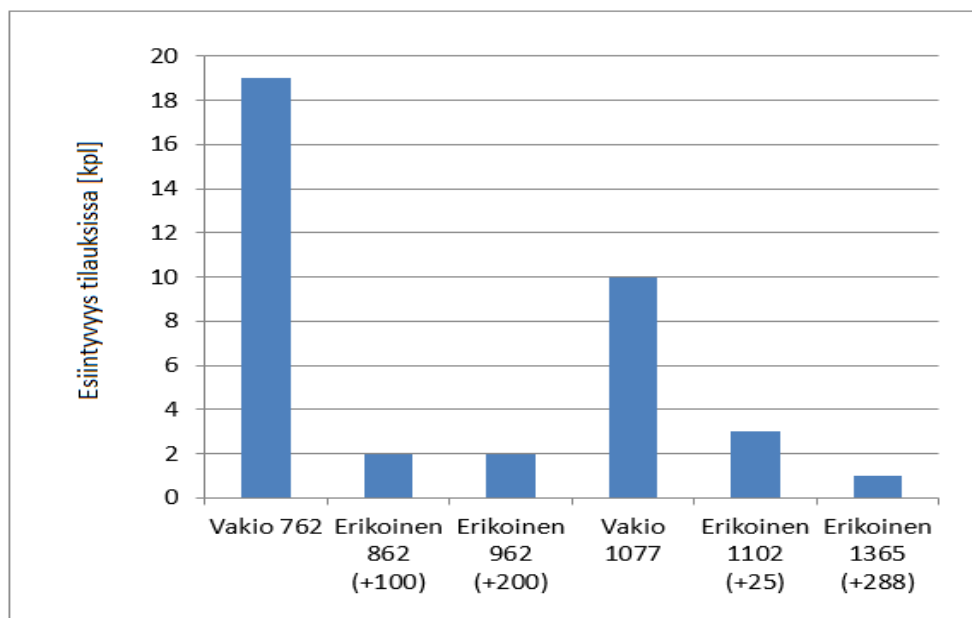
Alustan kehittelyn alkuvaiheessa tarkasteltiin kaikkia kaapelikelatilauksia, myös jousikuormitteisia keloja. Näiden ottamista mukaan tarkasteluun tarvitaan, jotta asennusosan perusratkaisua luotaessa voitaisiin hyödyntää mahdollisia yhtenevyyksiä jousi- ja moottorikelojen välillä. Toisaalta myös kaapelikelan kokoskaalan selvittämisen kannalta ja huoltotasoon vaadittavan aukon koon määrittämiseksi on syytä ottaa kaikki tilauksissa esiintyneet kelat huomioon, jotta otos olisi mahdollisimman edustava. Tässä yhteydessä on epäoleellista, onko kela moottori- vai jousikäyttöinen. Myöhemmässä vaiheessa jousikeloja ei enää huomioitu ja alustan viimeistely tehtiin vain kolmentoista pääasiallisen moottorikelojen toimittajan kelan mukaan.



Kuva 29. Moottorikelan kaaviokuva ja aineistosta poimitut dimensiot.

#### 4.2.3 Huoltotasojen leveysjakauma

Erilaisia huoltotasoja oli tarkastelussa mukana 37 kappaletta. Näistä 29 tapauksessa oli tason leveytenä käytetty jompaakumpaa kahdesta vakioleveydestä 762 mm ja 1077 mm. Loput 8 tapauksista oli tehty erikoisleveydellä ja erikoisia kannattimia käyttäen. Kaapelikela on siis noin yhdessä tapauksessa viidestä vaatinut huoltotason leventämistä. Tason leveyksistä koottiin histogrammi (Kuva 30).

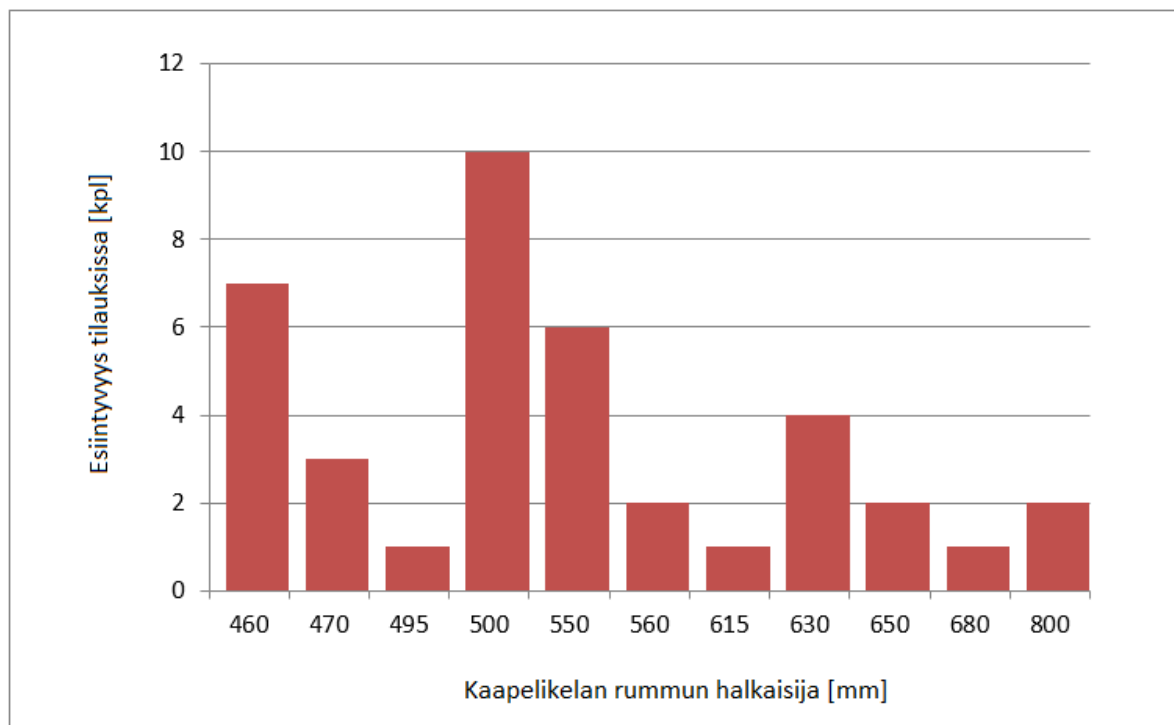


Kuva 30. Huoltotasossa esiintyneet leveydet millimetreinä. Suluissa erikoisleveisiin huoltotasoihin tehtyjen levennysten suuruudet.

Jakauma on kaksihuippuinen ja sen maksimit ovat odotetusti vakioleveyksien kohdalla, jolloin huoltotasosta luodussa erikoisnimikkeessä on riittänyt kaapelikelan aukon ja kannen paikan lisääminen ilman tason leventämistä. Pienin leveys on kapeampi vakioleveys 762 mm, koska kavennettu huoltotaso ei käytännössä tehdä.

#### 4.2.4 Kaapelikelojen rummun halkaisijoiden jakauma

Tilauksissa esiintyneiden kaapelikelojen rummun maksimihalkaisijat (päätylaippojen läpimitat) vaihtelivat pienimmistä 430 millimetristä suurimpaan 800 millimetriin. Keskiarvo on noin 600 millimetriä, mutta kun aineistosta muodostettiin histogrammi (Kuva 31), nähdään ettei havaintojen joukossa ole sen kokoisia keloja, vaan jakauma on kaksihuippuinen. Jakauman muodosta voidaan todeta, että rumpujen halkaisijat jakautuvat kahteen kokoluokkaan, pienempiin ja suurempiin, pienempien esiintyessä tilauksissa selvästi suurina tiheämmin.

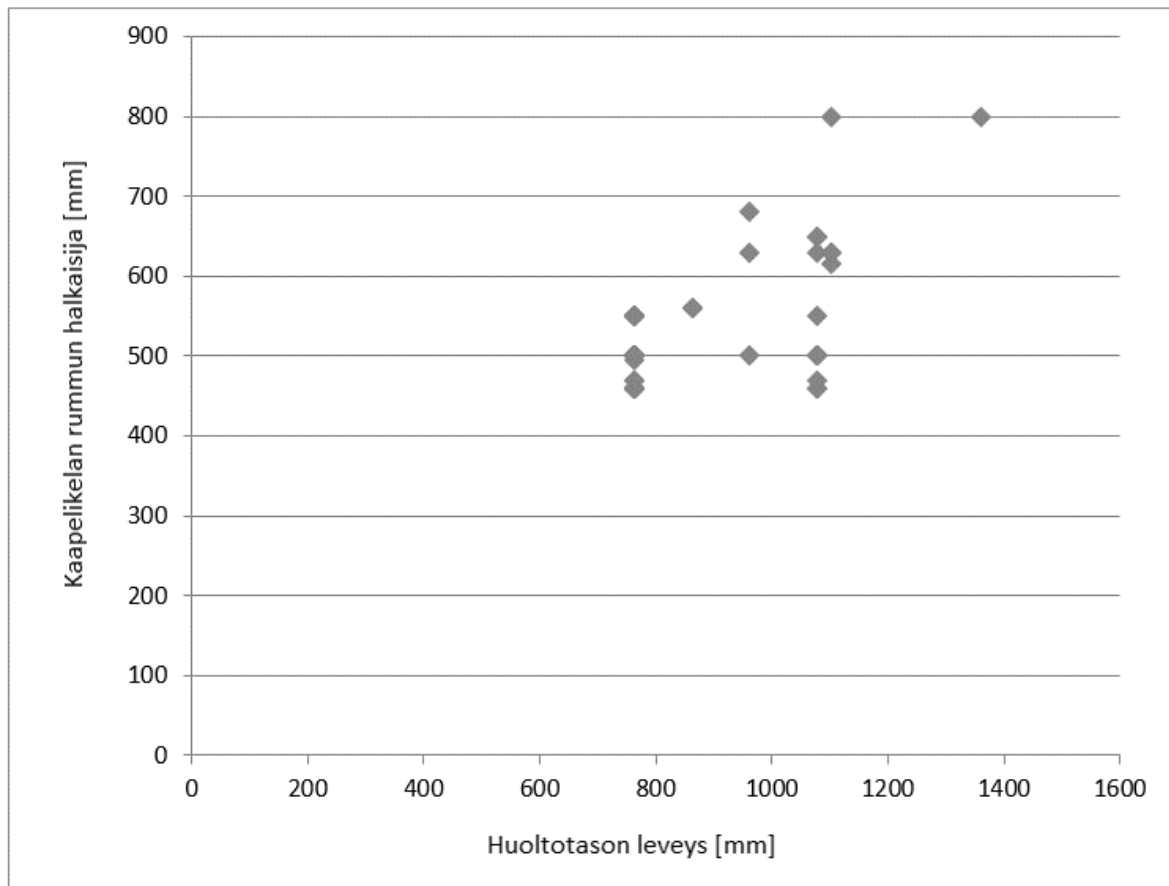


Kuva 31. Kaapelikelan rummun ulkohalkaisijoiden jakauma.

#### 4.2.5 Rummun halkaisija vs tason leveys

Huoltotason leveyksistä ja tasolle asennetun kaapelirummun halkaisijoista koottiin hajontakaavio (Kuva 32), jossa kutakin havaintoaineistoon kuuluvaa tilausta vastaa yksi halkaisija-leveys-arvopari, joka on kaaviossa kuvattu pisteellä. Pisteiden voidaan havaita keskittyneen huoltotason vakioleveyksien 762 mm ja 1077 mm kohdalle. Kaaviosta voidaan myös havaita, että tapauksia ”suuri kaapelirumpu kapealla vakiotasolla” ei esiinny lainkaan, koska huoltotasolle jäävä tila olisi liian ahdas. Ahtausongelma on ohitettu joko tasoa

leventämällä tai käyttämällä leveämpää vakiotasoa. Kaavion pisteistä osa on keskenään päällekkäisiä.



Kuva 32. Hajontadiagrammi huoltotason leveyksistä ja kelan halkaisijoista.

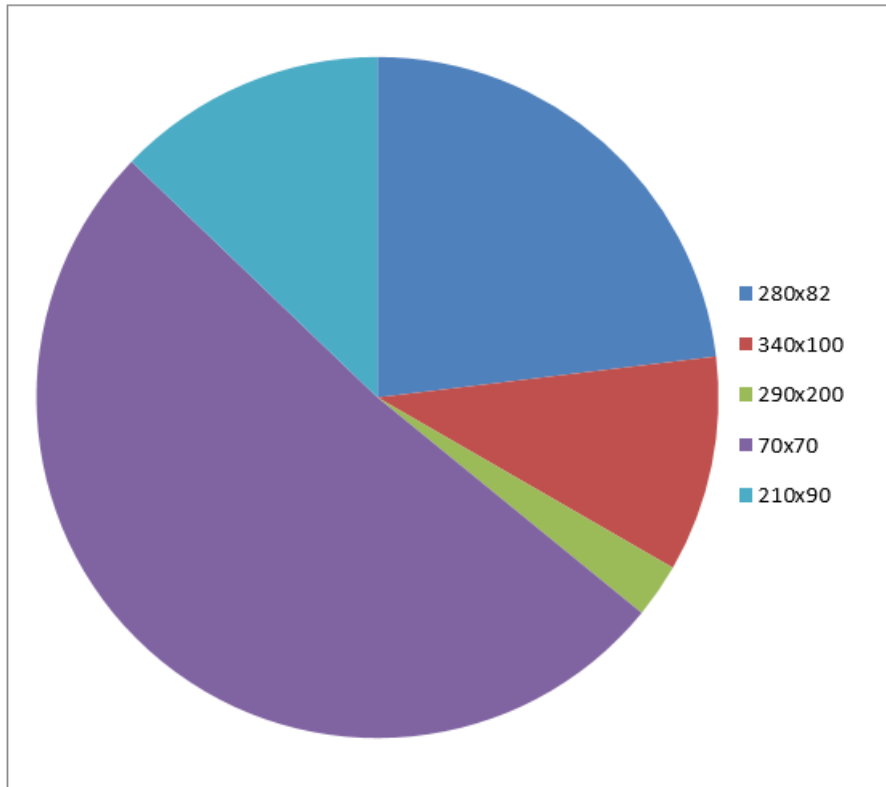
#### 4.2.6 Kaapelikelojen kiinnitysmittaryhmät

Kelojen asennustavan määrää pitkälti kelan tyyppi. Moottorikelat asennetaan suoraan alustansa, mutta jousikelojen asennuksessa tarvitaan välissä asennustukea, jonka kyljessä on kiinnityspaikka kelalle ja joka itse kiinnitetään alaosaan alustaan. Jousikelojen asennusmittoina on tässä tarkastelussa pidetty tukirakenteiden kiinnitysmittoja alustaan, koska samoja tukirakenteita on käytetty lähes kaikissa jousikeloissa.

Conductix & Wampflerin toimittamissa moottorikeloissa esiintyy havaintoaineistossa vain kahta kiinnityskokoa: pienempi asennuskoko on 280 x 82 (kelan asennuslaipan reikäryhmän mitat) ja suurempi 340 x 100. Asennusmitat ovat yhteydessä rummun halkaisijaan. Tästä voidaan päätellä, että Conductix & Wampfler käyttää moottorikeloissaan kahta standardoitua kiinnitystapaa, ja myös reikien halkaisijat ovat vakioita.

Jousikeloissa on niin ikään käytetty kahdenlaista kiinnitystä, 70 x 70 ja 210 x 90, mutta toisin kuin moottorikelojen tapauksessa, nämä ovat asennustukien kiinnitysmittoja, jotka eivät ole kelatoimittajasta riippuvia.

Kun huomioidaan kaikki tilatuissa keloissa käytetyt kiinnitysmittat, ne jakautuvat seuraavan piirakkadiagrammin (Kuva 33) mukaisesti.



*Kuva 33. Kaapelikeloissa käytettyjen kiinnitysmittojen suhteelliset osuudet.*

#### 4.2.7 Kaapelikela-asennusten vaatimat suunnittelutunnit

Huoltotasojen ja niille asennettavien moottorikelojen vaatimien keskimääräisen suunnittelujan selvittämiseksi poimittiin toteutuneista tilauksista vaunut, joissa oli vakioraideväli ja vakiolevyinen huoltotaso, johon oli asennettu moottorikela. Nämä kriteerit täyttäviä vaunutilauksia aineistossa oli 8 kappaletta.

Vertailua varten poimittiin 6 kappaletta muita nostinvaunutilauksia, joissa raideväli on vakio ja huoltotasona jo aiemmin hyväksytty vakionimike, jolloin huoltotasoon ei ole käytetty suunnittelutunteja. Kummankin ryhmän tuntimääristä laskettiin keskiarvot, ja näiden keskiarvojen erotus kertoo kaapelikelallisen huoltotason vaatiman keskimääräisen työajan tunteina. Tilausten valinta kumpaankin ryhmään suoritettiin niin, että nostinvaunujen varustelu

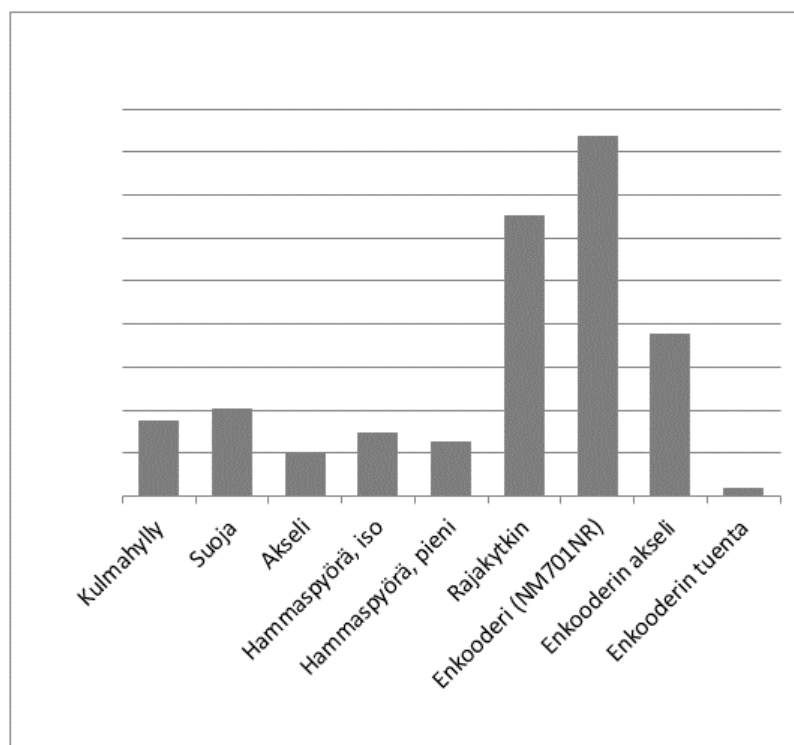


on muilta osin tavanomainen, jotta erotus vastaisi mahdollisimman hyvin huoltotason aiheuttamaa lisätyömäärää. Vertailun tulokset on esitetty jäljempänä luvussa 5 (Taulukko 4).

#### 4.2.8 Rajakytkinmoduulin kustannustiedot

Konecranesin alihankkijoille suunnatun vaunun osien kustannusesittelyn yhteydessä saatiin nykyisen nostorajakytkinmoduulin komponenttikohtaiset kustannukset. Kuva 34 niiden suhteellisia määriä on verrattu toisiinsa.

Varsinainen rajakytkinlaite muodostaa noin puolet koko rajakytkinmoduulin kokonaiskustannuksista (jos enkooderia asennusosineen ei ole), mutta sen optimointimahdollisuudet ovat vähäiset ja piilevät lähinnä pelkistetyemmän ja edullisemman variantin käytössä. Hammaspyörien kustannukset lienevät jo tasolla, jota alemmas pääsy ei ole laatuvaatimuksista joustamatta mahdollista eikä näin ollen järkevää. Merkittävää kustannussäästöä on siten mahdollista saada vain pelkistämällä asennusratkaisua (kulmahylly ja suoja) ja muuttamalla enkooderin asennustapaa. Vaikka viimeksi mainittujen esiintyvyys tilauksissa on pieni, enkooderit ovat kalliita ja vaativat omat asennusosansa, jolloin niiden vaikutus kokonaiskustannuksiin on merkittävä.



Kuva 34. Rajakytkinmoduulin komponenttien kustannukset toisiinsa suhteutettuna.

#### **4.2.9 Enkooderien kokoluokka**

Enkooderin vaatiman sadesuojan mitoittamista varten käytiin läpi tilaushistoriassa esiintyneitä enkoodereita. Konecranesin käyttämät enkooderit ovat useimmiten tyyppiä NM701NR3, jonka runko on muodoltaan pyöreä ja maksimihalkaisijaltaan 58 mm.

## 5 Kehittämisehdotukset

Tehtyjen havaintojen pohjalta voidaan kunkin kolmen kohteen osalta nähdä keinoja, miten lisävarusteiden rakenne tai asennus on toteutettavissa paremmin. Kaapelikelan ja rajakytkinmoduulin osalta kysymys on vain yksinkertaisemman ja kustannustehokkaamman konstruktion ottamisesta käyttöön, kun taas AC-järjestelmän kohdalla on tämän lisäksi tarvetta luoda selkeä suunnitteluohje järjestelmän asennukselle eri nostinvaunuihin.

### 5.1 Moottoroidun kaapelikelan asennus huoltotasolle

Kaapelikelojen mittojen ja asennustapojen systemaattinen tarkastelu tuo esiin muutamia parannusaskelia, jotka vähentäisivät tarvittavien nimikkeiden määrää ja yksinkertaistaisivat asennusta huomattavasti. Toimivan asennusratkaisun tekemiseen on olemassa useita tapoja, ja toteutustavan valinta riippuu siitä luodaanko asennusratkaisu kokonaan uudelleen vai säilytetäänkö joitakin aiemmin käytetyistä osista ja menetelmistä.

Konecranes Oyj on aiemmissa selvityksissään jo uudistanut jousikelojen kiinnitystavan (Kuva 25) siten, että asennus tapahtuu toiseen kahdesta huoltotason kävelytason laipiolevystä (samanlainen levy kuin tason päädyissä), ja tässä työssä on jatkojalostettu sama asennustapa käytettäväksi myös moottorikeloille. Tavoitteena on, että asennus huoltotasoon hoidetaan jousikelojen asennuksen kanssa identtisillä kiinnitysmi-toilla, mahdollisimman yksinkertaisesti, mahdollisimman vähillä kiinnitysosilla sekä niin, että huoltotasolle jää mahdollisimman paljon vapaata tilaa.

Kaapelikelojen muodostamasta aineistosta havaitaan, että moottorikelat on kahta tapaa lukuunottamatta tilattu samalta toimittajalta (Conductix & Wampfler). Niiden rumpukoot ovat yleensä 500 tai 630 millimetriä, ja niiden kiinnitysmi-toja esiintyy niin ikään vain kahta kokoa, jotka ovat yhteydessä rumpun halkaisijaan.

Conductix & Wampflerin toimittamat moottorikelat ovat kaikki epäsymmetrisiä. Mitta X on Wampflerin tuotteissa käytännössä vakio eli noin 66 mm. Aineistossa esiintyvät muutaman millimetrin poikkeamat selittyvät luultavasti vähäisillä mallinnusvirheillä, koska osa mi-toista on saatu CAD-ohjelman avulla kelojen 3D-malleista ja osa suoraan toimittajan mittakuvista. Poikkeamalla ei ole käytännön merkitystä, koska kaapelirummun ympärille tarvitaan joka tapauksessa vähintään toistakymmentä millimetriä tilaa.

Johtopäätöksenä on, että koska moottorikelatoimittaja Conductix & Wampfler käyttää vakiokiinnitysmi-toja, jotka kattavat kaikki kyseisen toimittajan kelat, vakioalustan suunnittelu Conductix & Wampflerin moottorikeloja varten on ilmeisen perusteltua. Molemmat kiinnitysmi-tat voidaan toteuttaa sijoittamalla kiinnitysreikäryhmät sisäkkäin.

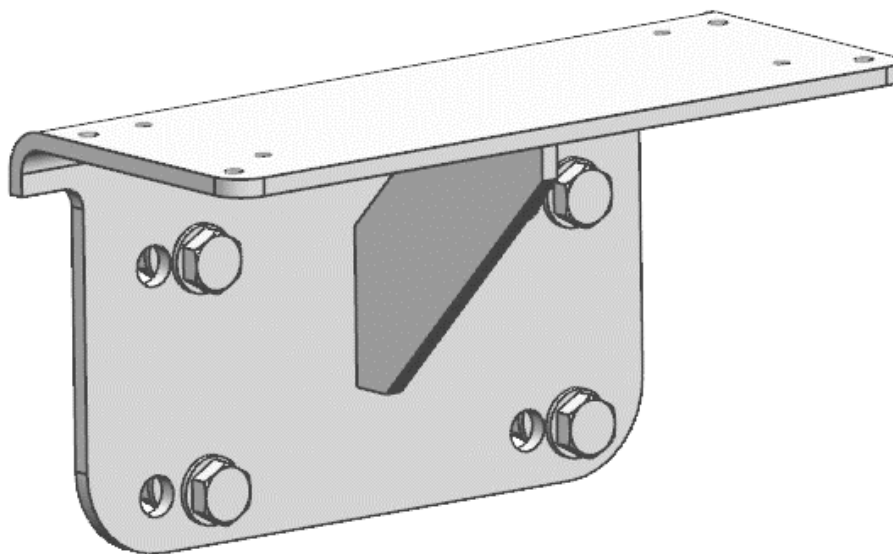
#### 5.1.1 Moottorikelan asennustelineen suunnittelu

Pyrkimyksenä on sijoittaa moottorikela huoltotasolle siten, että mahdollinen liukurengaspaketin avaaminen voidaan tehdä irrottamatta kela huoltotasolta. Tilan loppuessa kesken se on kuitenkin ainoa vaihtoehto, mikäli moottorikelan valinta halutaan tehdä asennuspaikan rajoitteita huomioimatta.

Asennustelineen kiinnityspaikka on toinen huoltotason hitsauskokoontalon laipiolevyistä, joka sisältää reiät sekä kela-alustan asennusta että kansilevyjä varten. Koska moottorikelojen asennuspinta on vaakasuora, määrää tämä asennustelineen muodon. Teline on hyllyä muistuttava 90 asteen kulma, jonka pystysuora sivu asennetaan huoltotason laipiolevyyn siinä olevalla valmiilla reikäjaolla, jota käyttää myös jousikelojen kiinnityslevy. Moottorikelan asennuspinta sisältää kaksi sisäkkäistä reikäryhmää, jotka vastaavat molempia Conductix & Wampflerin moottorikelojen kiinnitysmittoja. Jos kelan tyyppiä päätetään näiden välillä vaihtaa, tämä voidaan tehdä ilman alustan vaihtamista ja rummun halkaisijan muutos vaatii korkeintaan alustan siirtämistä sivusuunnassa ja kansilevyjen muuttamista.

Moottorikelan massan ja käytönaikaisten värähtelyjen takia kulmalevyn on joko oltava riittävän paksu tai vinojäykisteellä alhaaltapäin tuettu. Suunnittelussa päädyttiin vinojäykistettyyn levyyn, joka vastaa paksuudeltaan huoltotason laipiolevyä, johon se kiinnitetään. Jäykistepala on niin ikään samanvahvuista levyä ja mitoitettu siten, ettei se vaikeuttaisi ruuvien kiinnitystä. Kuva 35 esittää asennusalustan kokoonpanoa, ja sen valmistuspiirustus on liitteenä 2.

Symmetrian ansiosta moottorikelan alusta on mahdollista asentaa kummallekin puolelle huoltotason laipiolevyä. Asennus sisäpuolelle siirtää kelaä keskemmälle ja jättää enemmän tilaa liukurengaspaketin avaamiselle, mikä saattaa olla ongelma pienen raidevälin nostinvaunussa. Tällöin ei tarvita L-peltiä koska alusta itse peittää suuren osan huoltotason aukosta.



*Kuva 35. Moottorikelan asennusalusta.*

Alustan asentaminen tapahtuu kiinnittämällä osa huoltotason pystylevyn vapaareikiin neljällä ruuvi-mutteriliitoksella. Pystylaipan kahdeksan pareittain sijaitsevaa reikää mahdollistavat

kaksi sivusuuntaista paikoitustapaa, mikä yhdessä laipiolevyn reikäjaon kanssa sallii kaapelikelan sijoittamisen mahdollisimman lähelle huoltotason kuormapalkinpuoleista laitaa, jolloin huoltotasolle jää mahdollisimman paljon kulkutilaa.

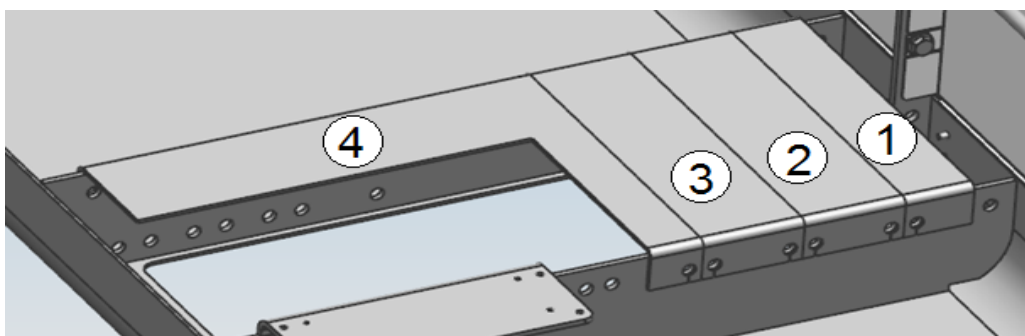
Alustan kiinnittämisen jälkeen asennetaan kaapelikela vaakalaipan yläpinnan kierrereikiin. Asentajilta aikaisemmin saadun palautteen mukaan kelojen asentaminen ruuveilla ja muttereilla vanhan tyyppiseen hitsaamalla tehtyyn kansilevyyn on ollut haastavaa, koska käsi ei ole kunnolla mahtunut ahtaisiin tiloihin. Uuden osan suurempi levynpaksuus tekee kierrerei'istä optimaalisen kiinnitystavan. Kelan asennukseen tarvitaan vain neljä ruuvia aluslevyineen, eikä ahtaiden tilojen muodostamaa ongelmaa synny.

### 5.1.2 Kansipeltien mitoittaminen

Kaapelikelan aukon peittämiseksi käytetään paloittain kiinnitettäviä kansilevyjä, joiden perusratkaisu oli myös jo olemassa jousikeloja varten suunniteltuna. Kansipellit asennetaan huoltotason hitsauskokoontaan kuuluvien kahden laipiolevyn päälle. Laipiolevyjen yläreunoissa on reikiä, joihin kannet asennetaan ruuvi-mutteriliitoksilla. Laipiolevyjen välimatka on vaunun raidevälistä riippumatta vakio, joten samoja kansia voidaan käyttää raidevälistä riippumatta. Huoltotason leveys sen sijaan vaikuttaa siihen, montako rinnakkaista levyä tarvitaan keskikohdan kattamiseksi reunasta reunaan. Asennuskuva kapeampaan huoltotasoon on liitteenä 3 ja vastaava kuva leveämpään liitteenä 4.

Kansilevyt ovat kahdentyyppisiä. Kaapelikelalle jätettävä aukko saadaan aikaan L-kirjaimen muotoisella kannella ja jäljellejäävä tila peitetään suorakaiteen muotoisilla pienemmillä kansilla. Suurempi kaapelirumpujen kokoluokka tarvitsee suurennetun L-levyn, joka vie tilaa saman verran kuin pienempi L-levy ja yksi suorakaidelevy yhteensä.

Kansien asennus aloitetaan huoltotason ulkoreunasta käsin (Kuva 36). Vaunun raideväli vaikuttaa siihen, onko huoltotason kaiteessa keskipylvästä tason puolivälissä. Pylvään sattuessa kansien kohdalle käytetään kaiteen puolella kavennettua suorakaidelevyä, joka jättää pylväälle tilaa.



Kuva 36. Huoltotason kansipeltiratkaisu. Etualalla moottorikelan asennusalusta.

### 5.1.3 Vaikutus suunnitteluun kuluvaan aikaan

Kaapelikelojen kustannusvaikutus on suoraan riippuvainen säästyneistä tunneista. Vakioitujen osien vaikutus tunteihin saadaan vertaamalla havaintoaineistoon kuuluneiden moottorikelan sisältäneiden projektien suunnitteluajoja tavallisten nostinvaunutilausten vaatimaan suunnittelu-aikaan (Taulukko 4). Vakio-osat pitää kuitenkin suunnittelijan edelleen lisätä huoltotasoihin, joten taulukon mukainen tuntisäästö voi täysimääräisenä olettaa toteutuvan vain konfiguraattorin tekemänä.

Taulukko 4. Moottorikelojen asennuksen keskimääräinen vaikutus UM-vaunun suunnittelutunteihin

Tilauksia jossa kela vakiolevyisellä tasolla Varustelu muilta osin tavanomainen				Valmiiksi hyväksytyjä vakiotasoa / ei tasoa Varustelu muilta osin tavanomainen			
#	Työnro	Tilaus	iLM tunnit	#	Työnro	Tilaus	iLM tunnit
1	HS46142	KAIPOLA-3	36,5	1	HZ31014	MAZDA MEXICO	20
2	HF240641	FORD ALMUSAFES	50	2	CU000054	R&M	6
3	HF240628	CONSTELLIUM	71	3	HZ31034	IRVING	5
4	HZ30794	NOVELS NACH	25	4	CU000054	VERLINDE	5,5
5	HZC30666	NOVELS TIGER	55	5	HZ21070	ESSAKANE	13
6	HZC39631	ALCOA BOHAI	58,5	6	HZT30954	KALAHAN	43
				7	HZ30806	GE INDIA	10
				8	HZ30819	WÄRTSILÄ	27
Projekteissa tunteja yhteensä			296	Projekteissa tunteja yhteensä			129,5
Projektien määrä			6	Projektien määrä			8
<b>Tunteja keskimäärin projektiin</b>			<b>49,3</b>	<b>Tunteja keskimäärin projektiin</b>			<b>16,2</b>
<b>Tasoon ja kelaan menevät tunnit /projekti (keskiarvojen erotus)</b>							<b>33,1 h</b>
Aika jolta tilauksia poimittu (syksy 2011 - kevät 2014)							2,5 vuotta
Moottorikelatilausten määrä ajanjaksolla							15 kpl
Moottorikelaprojekteja vuodessa keskimäärin							6,0 kpl/vuosi
<b>Vaikutus tunteihin vuodessa</b>							<b>199 h</b>

## 5.2 Nostokoneiston rajakytkinmoduuli

Nostokoneiston rajakytkimen uudelleensuunnittelussa oli pohjana sähkölaitteita nostinvaunuihin asentavan henkilöstön antamat tiedot. Näin saatiin tarvittavat tiedot siitä, miten rajakytkinten kaapelien reitti tulee valita, mitä tuotekehityksessä auttavia havaintoja asentajat ovat itse tehneet ja millaisia rajakytkimen kotelon valmistuskustannukset ovat.

### 5.2.1 Suunnitteluvaatimukset ja lähtötiedot

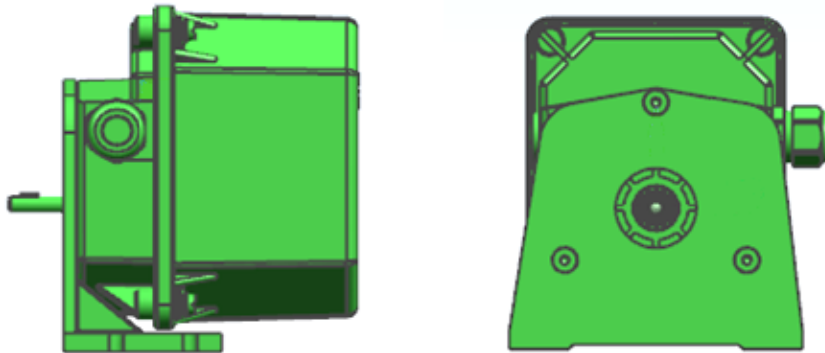
Asentajien kommentteista kävi selville, että vanhanmallisten koteloiden valmistus on havaittu kalliiksi ja että pyrkimyksenä on löytää sille halvempi vaihtoehto, mikä on todettu myös Konecranesin kustannusselvityksessä. Rajakytkinmoduulin kehittämiseksi asetettiin seuraavat vaatimukset:

- Rajakytkinmoduulissa on oltava valmius kahden rajakytkimen asennukselle normaalin yhden sijaan tai yhdelle 6 mikrokytkintä sisältävälle rajakytkimelle.
- Nykyiset hammaspyörävariaatiot säilytetään ennallaan.
- Hammaspyörien kotelon on oltava riittävän umpinainen, jotta käsi tms. ei mahdu hammaspyörien väliin. Vesitiivyyttä ei vaadita.
- Kotelointi on toteutettava kustannustehokkaasti ja ilman hitsauksen tarvetta.
- Rajakytkinmoduuliin pitää voida liittää enkooderi.
- Enkooderin asennus on toteutettava valmistajan ohjeiden asettamissa rajoissa.
- Enkooderin koolle ei saa olla rajoitusta.
- Enkooderi on kyettävä sadesuojaamaan.
- Kokoonpano toteutetaan kustannustehokkaasti – mahdollisimman pienellä osien lukumäärällä ja käyttämällä vakiokoteloita kaikissa varianteissa.

Toisen rajakytkimen sekä enkooderin tarve asettavat varianttien määräksi neljä. Variantit ovat

- Yksi rajakytkin.
- Yksi rajakytkin ja enkooderi.
- Kaksi rajakytkintä (tai yksi rajakytkin jossa on 6 mikrokytkintä).
- Kaksi rajakytkintä (tai yksi rajakytkin jossa on 6 mikrokytkintä) ja enkooderi.

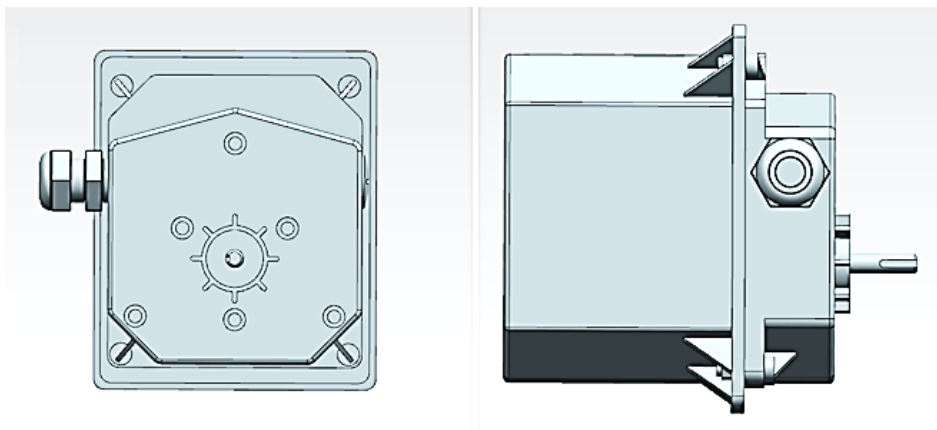
Käytössä oleva rajakytkin, jonka valmistaja on Stromag AG ja tyyppi on GTES51/B3/0-205BM-499, sisältää suorakulmaisen alumiinisen asennustuen, joka on ruuvattu kolmella 120 asteen kulmassa olevalla uppokantaruuvilla itse kytkinosaan (Kuva 37). Asennus vaakasuoraan alustaan tehdään eri ruuveilla, jotka tulevat tämän asennustuen alapinnassa oleviin hahloihin.



*Kuva 37. Nykyisessä nostorajakytkinmoduulissa käytetty rajakytkinvariantti, jossa alumiininen asennustuki.*

### 5.2.2 Uusi nostorajakytkinmoduuli

Rajakytkinvalmistajan luettelossa on myös variantti, jossa alumiinista asennustukea ei ole (Kuva 38). Tällöin asennus tapahtuu suoraan etupinnasta käyttäen samoja kierrereikiä, joita asennustuellisessa kokoonpanossa käytetään tuen kiinnitykseen. Asennusasento säilyy entisellään mutta asennuspinta vaihtuu alapinnasta etupinnaksi.

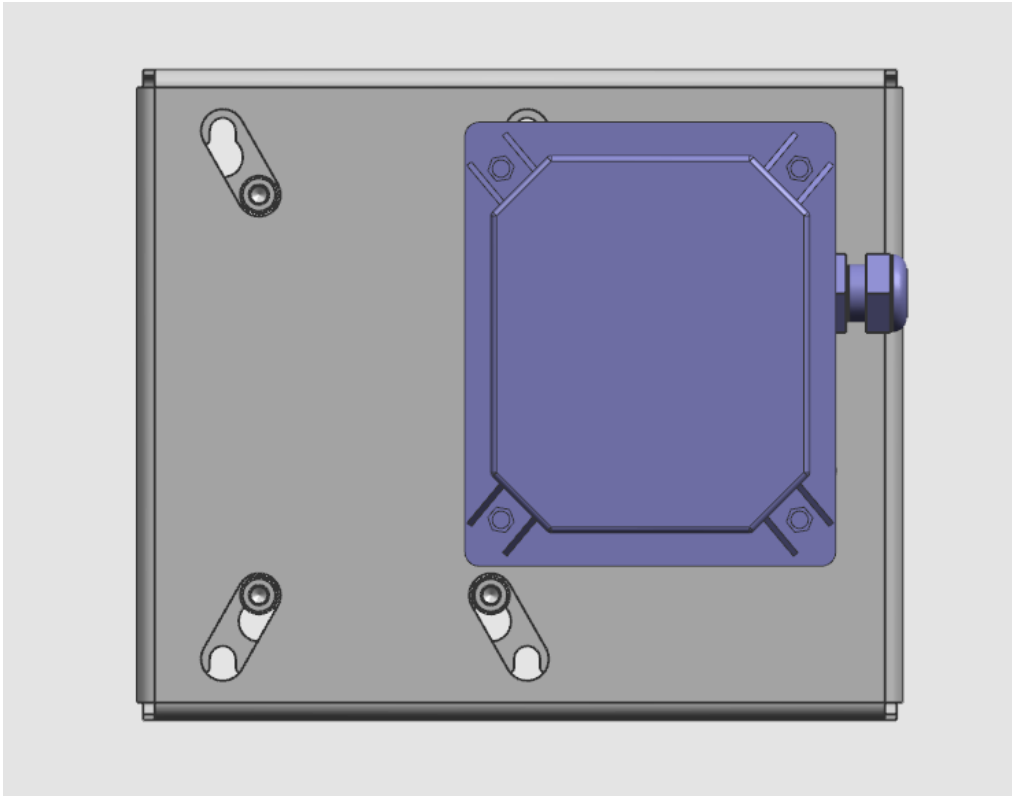


*Kuva 38. Rajakytkinvariantti ilman asennustukea*

Uudessa asennusratkaisussa käytetään hyväksi sitä, että rajakytkimien suojausluokka on sellaisenaan riittävä. Nykyinen kauttaaltaan koteloitu rajakytkinmoduuli antaa tuplasuojauksen, joka on uudessa versiossa poistettu tarpeettomana ja ainoastaan hammaspyörät jäävät kotelon sisään (Kuva 39). Rajakytkin tilataan edellä mainittuna versiona (ilman asennustukea) ja kiinnitetään hammaspyöräkotelon etupintaan sisäpuolelta siten, että ruuvinkannat jäävät kotelon sisälle.

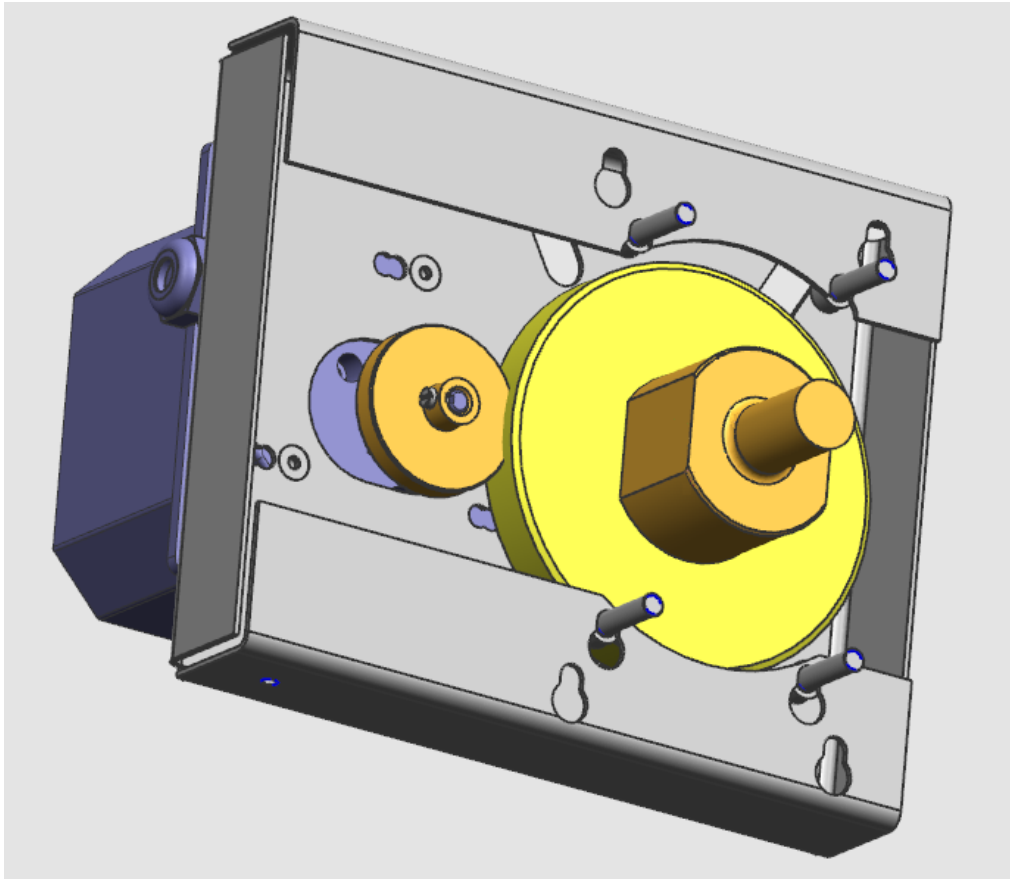


Rajakytkimen asennuksessa käytetään uppokantaruuveja, joiden koko määräytyy rajakytkimen ruuvireikien halkaisijan ja kierteen mukaan. Itse kotelon asennus vaihteeseen tapahtuu kuusiokoloruuveilla, jotka kiristetään etupinnassa olevien aukkojen kautta suorakulmaisella kuusiokoloavaimella. Takaseinän ruuvinrei'issä on ruuvinkannan mentävät aukot, jolloin ruuvit on mahdollista kiertää paikalleen, jonka jälkeen nostetaan kotelo niiden varaan ja sen jälkeen kiristetään ruuvit.



*Kuva 39. Uuden rajakytkinmoduulin perusversio edestä nähtynä.*

Vaihteen ja rajakytkimen akselissa käytettäviä hammaspyörävariaatioita on kolme, joten hammaspyörien halkaisija ja tätä kautta akselien etäisyys toisistaan vaihtelee. Kytkinten asennusreikiä tarvitaan yhteensä 9 kappaletta. Alun perin kotelon levynpaksuus oli 4 mm, mutta prototyypin tilaamisen jälkeen sen havaittiin tekevän kotelosta tarpeettoman painavan, joten levynpaksuudeksi vaihdettiin 2 mm. Samalla rei'issä alussa olleet 45 asteen upotukset poistettiin ja reikien halkaisijaa suurennettiin. Vaikka vierekkäiset reiät yhtyvät toisiinsa, ilman upotuksiakin ne paikoittavat uppokantaruuvit siten, että hammaspyörät tulevat oikealle etäisyydelle toisistaan kussakin hammaspyörävariaatioissa. Kuva 40 esittää rajakytkinmoduulin taustapuolta ja rajakytkimen kiinnitystä hammaspyöräkoteloon. Hammaspyöräkotelon piirustus päämittoineen (prototyypin perusteella tehtyjen muutosten jälkeen) on liitteenä 5.



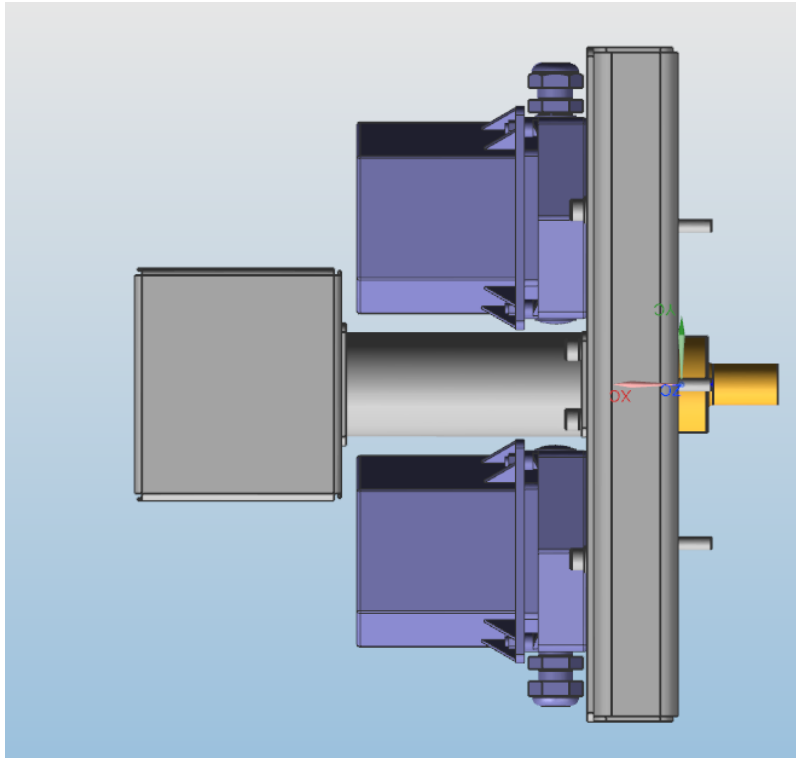
*Kuva 40. Rajakytkinmoduuli takaa nähtynä.*

### **5.2.3 Erillisen enkooderin sisältävä versio**

Toinen versio (Kuva 41) on tehty siltä pohjalta, että edelleen käytetään nykyistä, 4 mikrokytkintä sisältävää rajakytkinversiota, joita tarvittaessa asennetaan 2 kappaletta, ja että enkooderi on erillinen laite. Koska tämä vaihtoehto ei ole paras tapa optimoida rajakytkinmoduulia, se karsiutui luonnosteluvaiheessa pois ja tässä tyydytään vain kuvailemaan sitä lyhyesti.

Kotelossa tarvitaan kaksi rajakytkimen asennuspaikkaa. Useimmissa tapauksissa tyhjäksi jäävä toisen rajakytkimen paikka ja enkooderin paikka peitetään irrotettavilla kansilla, jotka kiinnitetään koteloon ruuveilla. Kahdessa enkooderin sisältävässä variantissa kiinnitetään keskipaikalle putkesta ja kahdesta laippalevystä hitsattu teline, jonka päähän enkooderi asennetaan ja joka samalla suojaa sisälle jäävää enkooderin akselia. Teline on mitoitettu niin, että enkooderi saadaan pois rajakytkinten välistä, jolloin sille ei sadesuojaa lukuun ottamatta ole kokorajoitteita, jolloin enkooderin tyyppi voidaan ulkodimensioiden puolesta valita vapaasti. Telineen putken alapinnassa on ruuvimeisselin ja kiintoavaimen mentävä lovi enkooderin lukitusrenkaan ruuvin ja momenttitapin mutterin kiristystä varten.

Toisin kuin vesitiiviisti koteloituiden rajakytkimet, erillinen enkooderi vaatii oman sadesuojauksen. Sadesuoja on 1,5 mm pellistä taivutettu ja hitsattu kotelo, joka ympäröi enkooderia ylhäältä ja sivuilta ja joka asennetaan paikalleen yhdessä enkooderin kanssa. Sadesuojan mitat on valittu nykyisin käytetyn enkooderin mukaan, jättäen riittävästi tyhjää tilaa sisäpuolelle.



*Kuva 41. Kaksi rajakytkintä ja erillisen enkooderin sisältävä karsiutunut versio nostorajakytkinmoduulista*

#### **5.2.4 Uuden ja vanhan ratkaisun kustannusvertailu**

Levyntaivutuksia tekevä Metallsiet Oy:lle lähetettiin tarjouspyyntö taivuttamalla tehdystä kotelosta, ja saadun tarjouksen perusteella saatiin kustannustiedot erisuuruisille sarjoille (Vuosivolyymien ollessa kahdensadan kappaleen luokkaa on hintatiedot laskettu 50 kappaleen sarjalle). Näitä voitiin verrata nykyisen rajakytkinmoduulin kotelon kustannuksiin, jotka on saatu Konecranes Oy:ltä. Taulukko 5 esittää eri tekijöiden tuomia prosentuaalisia kustannussäästöjä, joista on volyymien mukaisten painoarvojen avulla laskettu kokonaisvaikutus prosentteina. Sen mukaan rajakytkinmoduuli olisi kehitysehdotusten loppuunviemisen jälkeen 31 % nykyistä edullisempi.

Taulukko 5. Rajakytkinmoduulin kustannusvaikutus

Variantti	Volyyymi	NYKYINEN VERSIO		UUSI VERSIO	
		Kustannukset	Painoarvo	Kustannukset	Painoarvo
1 rajakytkin	227	100	22700	70	15890
2 rajakytkintä*	10	100	1000	55	550
1 rajakytkin + enkooderi	10	100	1000	60	600
		Summa	24700	Summa	17040
			<b>100 %</b>		<b>69 %</b>

\*) Tarkoittaa tapausta jossa 2 erillistä rajakytkintä korvataan yhdellä 6 mikrokytkintä sisältävällä.

### 5.3 Laser- ja AC-järjestelmien suunnitteluohje

Lähetettäessään yksittäisiä nostinvaunutilauksia alihankintasuunnitteluun projektikoordinaattori joutuu tarkastelemaan useampien samalle sillalle asennettavien vaunujen muodostamaa yhdistelmää kokonaisuutena. AC-järjestelmän sijoittelun osalta on tällöin päätettävä, mihin vaunuun sijoitetaan lähetin ja mihin heijastin, jotta kutakin vaunuprojektia hoitava yksittäinen suunnittelija saa työssään tarvittavat lähtötiedot.

Konecranesin nostinvaunujen alihankintasuunnittelua koskeva suunnitteluohje on muodoltaan menettelyohje ja siten osa yrityksen laatujärjestelmän dokumentaatiota. Se on muilta osin melko selkeä, mutta laser- ja AC-järjestelmien toteutuksen osalta suunnitteluohjeen taso on pintapuolinen. Nykyinen suunnitteluohje kehottaa suunnittelijaa valitsemaan kussakin tilauksessa sopivimman tavan, mutta ei millään tavoin määrittele, mitä kyseisten varusteiden sijoittelussa täytyy ottaa huomioon.

Tämän puutteen korjaamiseksi suunnitteluohjetta on syytä täydentää kartoittamalla tekijät, jotka AC- ja laserjärjestelmän yhteisasennuksessa vaikuttavat ja luoda niiden pohjalta vuokaavio (liite 6), josta nähdään mahdolliset asennustavat. Varsinaiselle ohjeelle helppokäyttöisin esitysmuoto lienee kuitenkin taulukko (liite 7), josta projektikoordinaattori näkee asennustavan tilausta vastaavien alkutietojen perusteella.

#### 5.3.1 Suunnitteluvaatimukset

Sekä laserjärjestelmän heijastimen että AC-järjestelmän osien asennuksessa käytetään samanlaista 60x60x6 -kulmaprofiilista tehtyä asennusrautaa, jonka saa kiinnitettyä eri asennoissa nostinvaunun päätyihin. Samankorkuisiin päätyihin samassa asennossa asennettuna laitteiston osien välinen korkeusero on automaattisesti oikea. Eri asennuspaikoissa on hiukan eri reikävälit, joten kiinnitysreiät ovat soikiomaiset. Telinettä 90 astetta kääntämällä ja laitteiden asennuspuoli oikein valitsemalla saadaan lähetin ja heijastin keskenään oikeaan tasoon ja samalle linjalle myös erikorkuisissa päädyissä.

Suunnitteluohjeen laatimisessa keskeistä on varmistaa, että sen mukaan asennettu infrapunälähtetimen ja kulmaheijastimen muodostama kokonaisuus toimii oikein eikä ole ristiriidassa muiden varustelujen asennuksen kanssa.

AC-järjestelmän toimivuus edellyttää, että

- Säteen linjalla ei ole säteen katkaisevia esteitä
- Lähetin tai heijastin eivät itse ole esteenä laserjärjestelmän toiminnalle (järjestelmät on sijoitettava toisiinsa nähden eri linjalle)
- Lähetin ja heijastin ovat korkeussuunnassa riittävän lähellä toisiaan
- Lähetin ja heijastin ovat samalla linjalla nostinvaunun liikesuunnasta (sillan päädyistä) katsottuna
- Lähettimen kulman saa säädettyä niin että säde osuu heijastimeen aina kun vaunujen välimatka on haluttua toimintaetäisyyttä pienempi, ja muussa tapauksessa ohittaa sen

### 5.3.2 Suunnittelun lähtötiedot

Useita samalle sillalle tulevia nostinvaunuja sisältävän tilauksen yhteydessä on yleensä lyöty lukkoon suurin osa AC-laitteiden sijoitteluun vaikuttavista tekijöistä, jotka ilmenevät tilauksen liitepiirustuksesta. Näitä ovat

- Nostinvaunujen määrä (2 tai 3)
- Kunkin nostinvaunun tyyppi (UM-vaunu vai CXT-apuvaunu)
- Missä järjestyksessä nostinvaunut ovat sillalla
- Mahdolliset laserjärjestelmät (1 kutakin nostinvaunua kohti)
- Mahdolliset AC-järjestelmät (1 vähemmän kuin nostinvaunuja, ja järjestelmässä on joko 1 tai 2 kappaletta lähetin-heijastinpareja)

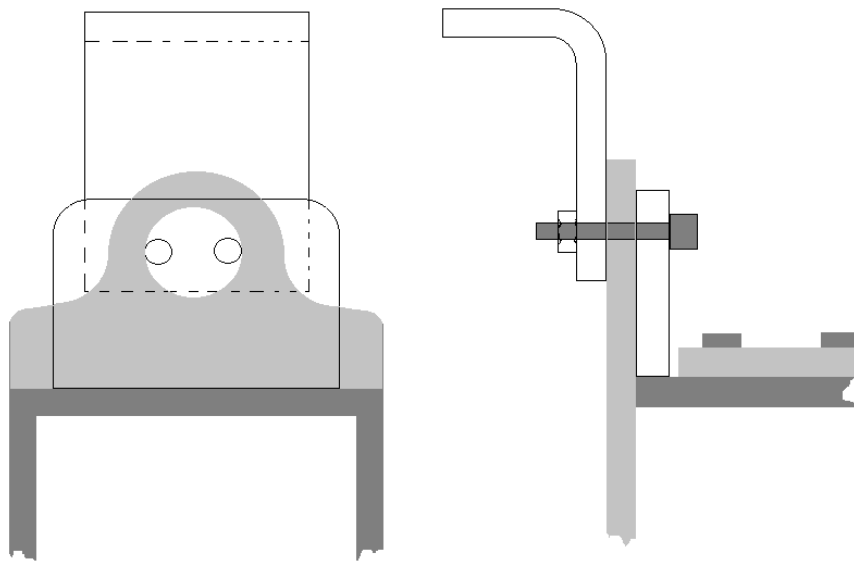
Käytännöksi on vakiintunut, että laserjärjestelmien heijastimet pyritään asentamaan eri päätyyn (siihen jossa nostokoneiston vaihde on) kuin AC-järjestelmän laitteet. Kahden reunimmaisen vaunun tapauksessa tämä ei tuota ongelmia, mutta kolmen vaunun tapauksessa on keskimmäisen vaunun laserheijastin asennettava samaan päätyyn kuin AC-laitteet. Tällöin on myös valittava, kummalta puolelta keskivaunun laserjärjestelmän lähettimen säde suunnataan keskivaunuun. Asennuksessa on tähän asti käytetty oletuskaaviota, joka määrittelee asennuspaikat kolmen vaunun tapauksessa. Tämä on vakiintunut käytäntö, mutta siinä määritelty keskivaunun laserheijastimen paikka ei ole toimiva, jos säteen linjalla on CXT-apuvaunu tai jos AC-laitteita on tilattu kaksi paria.

Muiden vaunujen tyyppi vaikuttaa siihen, kummalla puolella on laserjärjestelmän vaatima vapaa linja. Jos toinen reunanpuoleisista vaunuista on CXT-apuvaunu, keskivaunun lähetin on asennettava vastakkaiseen päähän, koska apuvaunussa sähkökytkentärasia sijoitetaan päädyn ulompaan kylkeen, jolloin se katkaisee laserjärjestelmän normaalin linjan.

Nykyiseen asennusorteen voidaan asentaa myös yhden sijasta kaksi AC-järjestelmän lähetintä tai heijastinta, jolloin sekä lähetin- että heijastinosassa yksi laite on oikeinpäin ja toinen

asennetaan samoilla kiinnitysruuveilla telineen alapuolelle ylösalaisin. Tällöin kuitenkin yläpuolella oleva pari on samalla linjalla laserin kanssa, mikä saattaa haitata sen toimintaa.

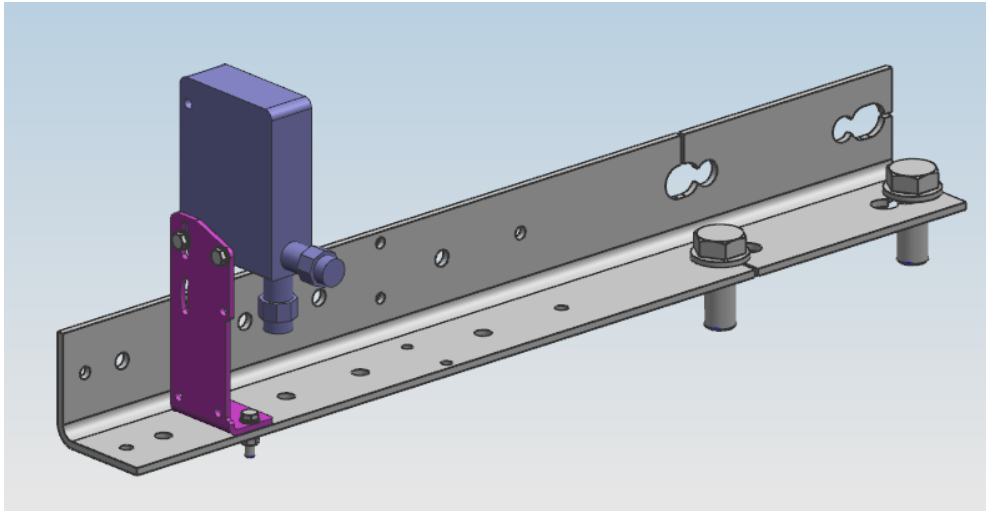
AC-järjestelmän asennuspaikaksi käy periaatteessa mikä hyvänsä sopivan kiinnityspinnan tarjoava paikka, mikäli asennus ei vaikuta muihin nostinvaunussa oleviin järjestelmiin – esimerkiksi estämällä kääntyvän huoltotason nostamista ja laskemista. Tutkimuksen alussa kartoitettiin vaihtoehtoisia asennuskohtia, ja yksi näistä on päädyn päässä oleva nostosilmukka, joita nostinvaunun sillalle nostamisen jälkeen ei tarvita mihinkään. Tämä vaatisi kuitenkin nostosilmukan toiselle puolelle vastakappaleen (Kuva 42) ja olisi ristiriidassa pyrkimyksen kanssa käyttää mahdollisimman pientä määrää nimikkeitä, joten tämä kehityslinja päätettiin hylätä ja sen sijaan parannella olemassaolevaa asennustapaa.



*Kuva 42. Hahmotelma asennusorren kiinnityksestä nostolenkkiin*

### 5.3.3 Uudet asennusorret ja kustannusvertailu

Nykyisen asennusorren (Kuva 28, luvussa 3) pohjalta on luotu kaksi uutta versiota, lyhyempi ja pidempi. Lyhyempi orsi on suunniteltu korvaamaan aiemmin käytetty L-profiilista tehty vakio-orsi. Siihen voidaan kiinnittää sekä laser- että AC-järjestelmän laitteet, mutta nykyisen AC-järjestelmän laitteiden asennuspaikan viereen on lisätty toinen samanlainen paikka. Molemmat orret on asennettavissa kaikkiin UM-vaunuihin ja apuvaunuihin. Ne valmistetaan 4 mm teräslevystä taivuttamalla ja laserleikkaamalla. Valtaosa kaikista asennuksista on suoritettavissa tätä osaa käyttäen. Muutamissa tapauksissa, joissa laserjärjestelmän heijastin on sijoitettava poikkeuksellisesti, käytetään pidempää ortta. Kuva 43 on esitetty taivuttamalla tehty vakioasennusorsi. Molemmat orret päämittoineen on kuvattu liitteessä 8.



Kuva 43. Taivuttamalla valmistettava asennusorsi ja AC-järjestelmän lähetin

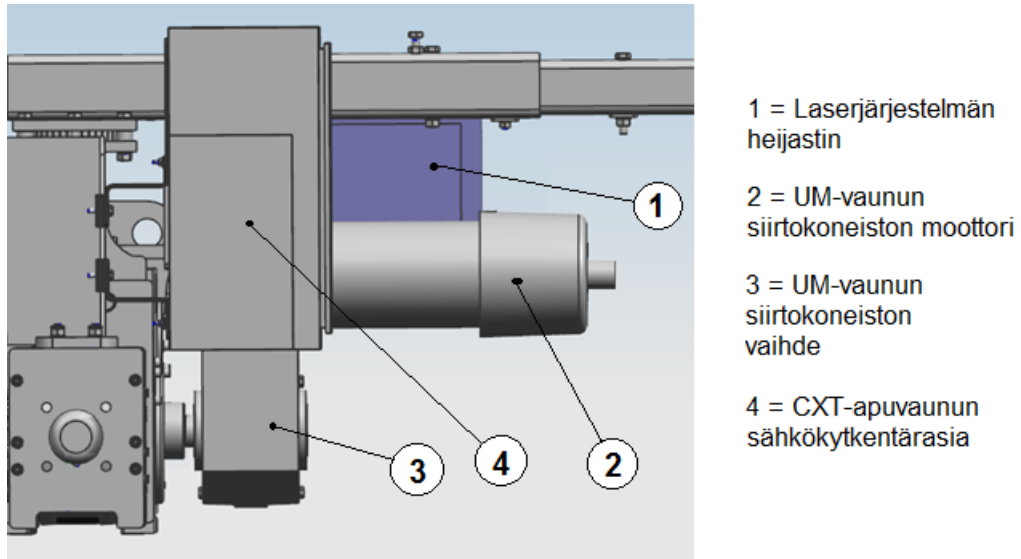
Taivuttamalla valmistettavasta orresta tehtiin Tenimet Oy:lle tarjouspyyntö. Tarjouksen mukaan kappalekohtainen kustannus on noin puolet nykyisen, kulmaprofiilista sahaamalla tehdyn orren kustannuksista. Vuosivolyymien vaihdellessa välillä 30-50 kpl tulee tästä pienehkö säästö valmistuskustannuksissa. Kokonaisvaikutuksen kustannuksiin voidaan olettaa olevan tätä suurempi, varsinkin jos asennusortta edelleen muokattaisiin siten, että sillä korvataan myös apuvaunuissa tähän asti käytetyt omat vakio-osat.

#### 5.3.4 Uusi suunnitteluohje

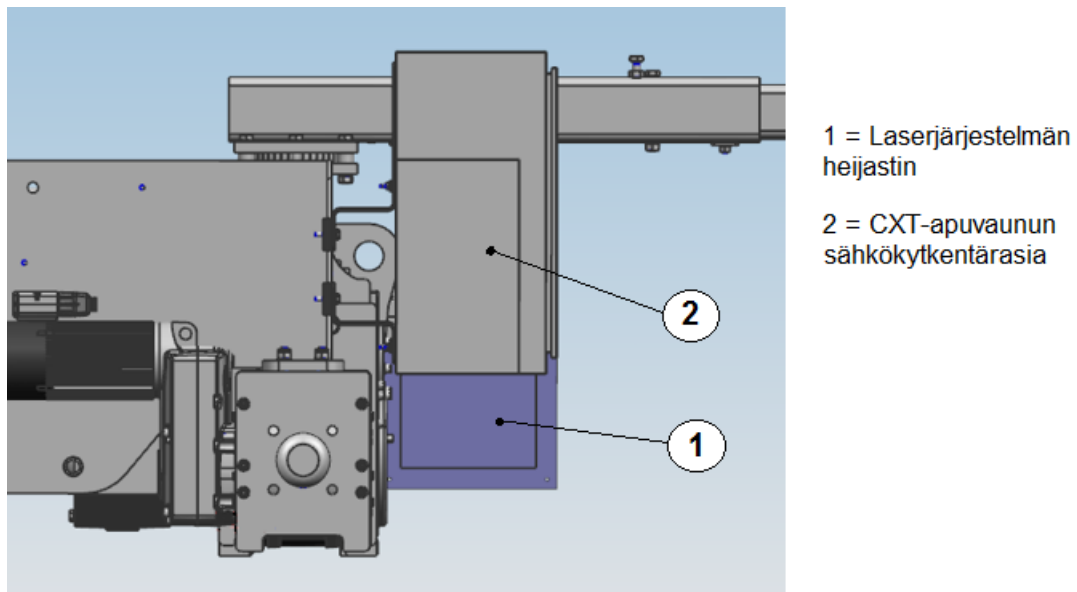
Koska laserjärjestelmän toiminta vaatii esteetöntä linjaa sillan pituussuunnassa, on laitteiden sijoittelussa syytä valita ensimmäisenä laserjärjestelmän heijastimen paikka. Tämän jälkeen sijoitetaan AC-järjestelmän lähettimet ja heijastimet sopiviin, vapaiksi jääneisiin paikkoihin. Käytettävät asennusorret määräytyvät valittujen paikkojen mukaan.

Lähtötietoina kussakin tilauksessa tiedetään sillalle tulevasta kolmen nostinvaunun yhdistelmästä kunkin nostinvaunun tyyppi ja niiden järjestys sillalla (esimerkiksi UM+UM+CXT). Kuhunkin nostinvaunuun viitataan numerolla siten, että reunimmaisilla on numerot 1 ja 2 keskimmäisen ollessa numero 3. Myös siirtokoneistojen asennuspuoli (tuleeko siirtokoneisto päädyn sisä- vai ulkopuolelle) on alussa tiedossa.

Jos molemmat reunimmaisat vaunut ovat CXT-apuvaunuja, on keskimmäisen nostinvaunun laserjärjestelmän heijastin sijoitettava normaalista poikkeavaan paikkaan. Oleellista on varmistaa, että aiottu linja on vapaa. Jos siirtokoneisto on päädyn ulkopuolella, silloin tiedetään että päädyn ulkopuolella on tilaa myös vakiota pidemmälle laserheijastimen asennusorrelle (Kuva 44), jolloin AC-järjestelmä voidaan sijoittaa normaalille paikalleen. Jos siirtokoneisto on päädyn sisäpuolella, on ulkopuolisen siirtokoneiston paikka tyhjänä ja laserjärjestelmän heijastaja voidaan ripustaa vakio-orteen alapuolelle (Kuva 45 ja 46).

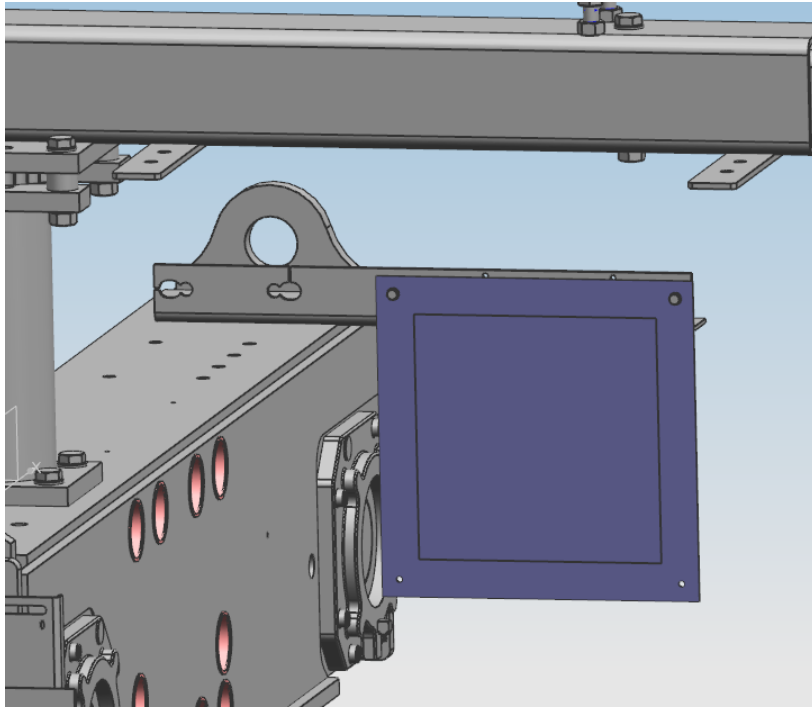


Kuva 44. Laserjärjestelmän heijastin asennettuna pidennettyyn orteen (osan 2 takana piilossa).



Kuva 45. Laserjärjestelmän heijastimen paikka alapuolisessa asennuksessa (orsi sähkökytkentäkaapin takana piilossa).





*Kuva 46. Laserjärjestelmän peilin alapuolinen asennus.*

## 6 Johtopäätökset

Tässä työssä on etsitty vastauksia kysymyksiin, miten saada UM-vaunujen suunnittelu-aikaa lyhyemmäksi ja miten saada niiden mukana tarjottavien lisävarusteiden valmistuksessa kustannussäästöjä. Kehittämisen kohteena olleista kolmesta lisävarusteesta voidaan eriteltynä todeta seuraavaa:

UM-vaunujen toimitussuunnittelun tilausaineiston ja toteutuneiden suunnittelutuntimäärien perusteella on ilmeistä, että nostinvaunujen huoltotasot ja niille asennettavat kaapelikelat, jotka tilauksissa toistuvat enemmän tai vähemmän säännöllisesti, muodostavat merkittävän osan UM-vaunun suunnittelun keskimääräisestä läpäisyajasta. Työssä ehdotetun moottoroidun kaapelikelan asennusalueen ja kaapelikelan aukon peittävien kansilevyjen ottaminen vakiotuotteiksi tulee mitä ilmeisimmin lyhentämään suunnitteluprosessin läpäisy-aikaa keskimäärin noin 33 tunnilla jokaisessa kaapelikelan sisältävässä tilauksessa, mikä tekee vuodessa noin 200 suunnittelutuntia vähemmän. Kun peruskonstruktio on luotu, jäisi toimitussuunnittelun tehtäväksi korkeintaan tarkistaa, toimiiko ratkaisu kussakin tilauksessa ja tarpeen mukaan räätälöidä sitä sopivaksi. Aiemmin erikoisnimikkeitä käyttäen tehdyn asennuksen toteuttaminen vakio-komponenteilla poistaa tarpeetonta huoltotasojen ja niihin lisättävien kaapelikelojen asennusosien suunnittelunimikkeiden luomista tapauksissa, joissa niitä tarvitaan vain kyseiseen tilaukseen, jonka jälkeen nimikkeille ei ole muuta käyttöä. Se luo myös asentajien työhön rutiinihyötyjä, kun asennukset tehdään aina samalla tavalla. Tälle on hyvät lähtökohdat, koska jousitoimisilla kaapelikeloilla jo käytetään samankaltaista asennustapaa.

Nostokoneiston rajakytkinmoduulista luotiin pelkistetty versio, jossa aiempi, koko rajakytkinmoduulin peittävä hitsattu kotelo korvattiin taivuttamalla tehdyllä kotelolla, joka peittää vain hammaspyörät, koska varsinainen rajakytkinlaite on muutenkin koteloitu vedenpitävästi. Rajakytkimen asennustapaa muuttamalla rajakytkin on tilattavissa pelkistettynä versiona, jolloin säästetään aiemmasta rajakytkinversioon kuuluvan kulmamaisen asennusosan hinta. Rajakytkinmoduulin kehittämisen jälkeen voidaan saada noin 31 % kustannussäästö, joka syntyy pelkistetyistä rajakytkimestä, yksinkertaisemmasta koteloinnista, rajakytkimeen liitettävästä kylkiäisenkooderista ja hitsaustyön poistamisesta. Koska uusi konstruktio valmistetaan ilman hitsausta, paikoittaa hammaspyörät oikealle etäisyydelle ilman säätöruuveja ja vaatii vähemmän komponentteja, voidaan rajakytkinmoduulin kokoonpanoon kuluva ajan olettaa lyhenevän. Sitä vastoin valmiin moduulin asennusaika nostinvaunun nostokoneiston vaihteen akseliin säilynee entisellään.

Laser- ja törmäyksenestojärjestelmien asennukseen tarvittavasta asennusorresta luotiin valmistuskustannuksiltaan edullisempi, levystä valmistettava versio, minkä lisäksi päivitettiin – käytännössä luotiin, koska tosiasiallisesti sellainen puuttui – Konecranes Oyj:n toimitussuunnittelun käyttämä suunnitteluohje mainittujen järjestelmien asennuspaikkojen valinnan osalta. Uusi taivuttamalla ja laserleikkaamalla valmistettava asennusorsi on valmistuskustannuksiltaan noin puolet nykyisestä L-profiilista tehdystä orresta. Se sallii lähes aina törmäyksenestojärjestelmän komponenttien asennuksen identtisillä asennusosilla siten, etteivät laitteet ole laser-etäisyydenmittausjärjestelmän kanssa samalla linjalla. Niissä

mahdollisissa tapauksissa, joissa näin ei ole – jos jonkin sillalla olevan nostinvaunun sähkökytkentärasia tai ulkopuolinen siirtokoneisto peittävät laser-etäisyydenmittausjärjestelmän vaatiman vapaan linjan – on vaunuun tuleva laserheijastin kiinnitettävä uuteen, pidennettyyn asennusorteen, mikä myös on kustannuksiltaan edullisempi kuin tähän asti käytetty asennusorsi. Järjestelmien asennusta koskevan menettelyohjeen käyttöönottoaminen toimitussuunnittelussa nopeuttaa monta vaunua sisältävän vaunutilauksen suunnittelutyötä ja selkeyttää asennustapaa siten, ettei sitä tarvitse kunkin tilauksen yhteydessä tapauskohtaisesti harkita. Laitteiden yhteisasennus kolmeen samalle sillalle tulevaan nostinvaunuun vaatii kokonaisuuden tarkastelua, ja taulukon muodossa toteutettu asennuskaavio nopeuttaa usean vaunun kokonaisuuksista vastaavan projektikoordinaattorin työtä.

Mitä mahdollisiin huonoihin puoliin tulee, jokainen uusi ja aiemmasta paljon poikkeava konstruktio voi alkuvaiheessa aiheuttaa ongelmia, jotka liittyvät työntekijöiden tottumattomuuteen uudenlaiseen työmenetelmään. Konstruktio tullessa muutaman kerran jälkeen tutuksi mahdolliset ongelmat todennäköisesti katoavat.

Työssä esitettyjen konstruktioiden asennettavuuden ja toimivuuden testaamisen kannalta on seuraava askel prototyyppien valmistaminen, ja Konecranes Oyj on jo tilannut ensimmäisen prototyypin uudesta nostokoneiston rajakytkinmoduulin kotelosta. Palautteen hyödyntämisen ja kotelon rakenteeseen tehtävien muutosten jälkeen seuranneen toisen prototyypin tilaaminen ja koeasennukset. Edelleen on mahdollista, että kaapelikelan asennusalustan ja kansilevyjen sijoittelu jätettäisiin kokonaan konfiguraattorin tehtäväksi, jolloin parametreiksi riittäisivät kyseessä oleva vaunusarja, raideleveys ja kaapelikelan rummun halkaisija.

## Lähteet

Aaltonen, K., Andersson, P., Kauppinen, V., 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat, WSOY, Porvoo, 264 s. ISBN 951-0-21438-8

Alkin, C., Imrak, C. E., Kocabas, H., 2005. Solid Modeling and Finite Element Analysis of an Overhead Crane Bridge. [Verkkolehti]. Acta Polytechnica, Vol. 45 No. 3/2005, Czech Technical University, Praha. [Viitattu 11.8.2014]. Saatavissa: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/712/544>

Andersson, Paul H. & Tikka, Heikki, 1997. Mittaus- ja laatutekniikat, WSOY, Porvoo. 323 s. ISBN 951-0-21440-x

Avak, Björn, 2006. Variant Management of Modular Product Families in the Market Phase. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich. ISBN 3-18-318016-2. [Viitattu 30.7.2014]. Saatavissa: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:29279/eth-29279-02.pdf>

Baudin, Michel, 2002. LEAN Assembly – The Nuts and Bolts of Making Assembly Operations Flow, Productivity Press, New York. ISBN 978-1-5632-7263-9

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W.A., 2011. Product Design for Manufacture and Assembly, 3. Edition, CRC Press, Boca Raton, USA. ISBN 978-1-4200-8927-1

Börjesson, Fredrik, 2012. Approaches to Modularity in Product Architecture. [Verkkodokumentti]. Lisensiaatintutkimus. Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma. ISBN 978-91-7501-390-9. [Viitattu 31.8.2014]. Saatavissa: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:530891/FULLTEXT02>

Crosby, Philip, 1986. Laatu on ilmaista, Laatuteema Oy, Helsinki. 316 s. ISBN 951-99737-2-9. Engl. alkuteos Quality Is Free, 1979, McGraw – Hill Inc.

Dale, Barrie & Bunney, Heather, 1999. Total Quality Management Blueprint, Blackwell Publishers Inc., Malden, Massachusetts, USA. 275 s. ISBN 0-631-21664-2 (hbk), ISBN 0-631-19577-7 (pbk)

Eppinger, Steven & Ulrich, Karl T., 1995. Product Design and Development, McGraw-Hill Inc. 289 s. ISBN 0-07-065811-0

Ericsson, Anna & Erixon, Gunnar, 1999. Controlling Design Variants: Modular Product Platforms, American Society of Mechanical Engineers, Dearborn, Michigan, USA. 145 s. ISBN 1-800-843-2763

Grepl, M., Pagáč, M., Petru, J., 2012. Laser Cutting of Materials of Various Thicknesses. [Verkkolehti]. Acta Polytechnica, Vol. 52 No. 4/2012, Ostrava, Tseki. [Viitattu 20.9.2014]. Saatavissa: <http://ctn.cvut.cz/ap/download.php?id=712>

Griffith, Gary K., 1996. Statistical Process Control Methods. For Long And Short Run, ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, USA. 250 s. ISBN 0-87389-345-X

Hallberg, Peter & Petersson, Anton, 2013. A Model to Increase Profit By Optimizing the Production Process Within a Cutting Station: A Case Study. [Verkkodokumentti]. Bachelor's thesis. Linnaeus University, Department of Mechanical Engineering, Växjö. [Viitattu: 14.8.2014]. Saatavissa: <http://lnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:627090/FULLTEXT01.pdf>

Halminen, Arto, 2007. Johdatus nosturitekniikkaan (Konecranesin sisäinen dokumentti)

Helander, M. & Nagamachi, M., 1992. Design for Manufacturability, Taylor & Francis Ltd., Lontoo ja Washington D.C. ISBN 0-74840-009-5

Huhtala, P. & Pulkkinen, A., 2008. Tuotettavuuden kehittäminen, Teknologia-teollisuuden julkaisu 4/2009, Esa Print Oy, Tampere, 429 s. ISBN 978-952-238-002-9 (painettu), ISBN 978-952-238-003-6 (e-kirja)

Huhtala, Merja, 2014. PDM System Functions and Utilizations Analysis to Improve the Efficiency of Sheet Metal Product Design and Manufacturing. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. Lappeenranta yliopisto. [Viitattu 8.9.2014]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/97266/Merja%20Huhtala%20dissertation.pdf?sequence=2>

Hölttä-Otto, Katja, 2005. Modular Product Platform Design. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Koneensuunnittelu. [Viitattu: 13.8.2014]. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Diss/2005/isbn9512277670/isbn9512277670.pdf>

Ihalainen, Aaltonen, Aromäki, Sihvo, 1998. Valmistustekniikka, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 7. muuttamaton painos. 490 s. ISBN 951-672-205-9

Imai, Masaaki, 1986. Kaizen, The Key to Japan's Competitive Success, McGraw-Hill Inc., USA. 259 s. ISBN 0-07-554332-X

Immonen, Kari, 1983. Avain aikamme maailmaan – toisen maailmansodan jälkeiset kansainväliset suhteet, WSOY, Porvoo. 396 s. ISBN 951-0-11714-5

Ishikawa, Kaoru, 1985. What is Total Quality Control – the Japanese Way, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA. 215 s. ISBN 0-13-952433-9

Jokinen, Tapani, 1987. Tuotekehitys, Otatieto Oy, Helsinki. 200 s. ISBN 951-672-313-6

- Kilaru, Murali Krishna, 2009. Electrowetting Switchable Retroreflectors. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. University of Cincinnati, USA. [Viitattu 11.8.2014]. Saatavissa: [https://etd.ohiolink.edu/!etd.send\\_file?accession=ucin1282054545&disposition=inline](https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=ucin1282054545&disposition=inline)
- Konecranes, 2014. Alihankkijoiden edustajille suunnattu purettuun nostinvaunuun tutustumispäivä tehtaalla 14.5.2014
- Kucner, Robert J., 2008. A Socio-Technical Study of Lean Manufacturing Deployment in the Remanufacturing Context. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. University of Michigan, USA. [Viitattu 25.9.2014]. Saatavissa: [http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/61694/rkucner\\_1.pdf?sequence=1](http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/61694/rkucner_1.pdf?sequence=1)
- Laakko, T, 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu, WSOY, Porvoo. 311 s. ISBN 951-0-23217-3
- Lapinleimu, Kauppinen, Torvinen, 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät, WSOY, Porvoo. 398 s. ISBN 951-0-21436-1
- Lecklin, Olli, 1997. Laatu yrityksen menestystekijänä. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 460 s. ISBN 951-640-875-3
- Lehtonen, T., 2007. Designing Modular Product Architecture in the New Product Development. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. [Viitattu 6.6.2014]. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/70/lehtonen713.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lillrank, Paul, 1990. Laatumaa – johdatus Japanin talouselämään laatujohtamisen näkökulmasta, Gummerus Oy, Jyväskylä. 277 s. ISBN 951-662-506-1
- Lillrank, Paul, 1998. Laatuajattelu – laadun filosofia, tekniikka ja johtaminen tietoyhteiskunnassa, Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki. 203 s. ISBN 951-1-15812-0
- Merriam, Sharan, 2002. Qualitative Research in Practice: Examples for Discussion and Analysis, Jossey-Bass, Inc. Publishers, San Francisco, USA. 480 s. ISBN 0-7879-5895-6.
- Meskanen, Seija & Höök, Tuula, 2009. Valuatlas – Suunnittelijan perusopas. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.10.2014]. Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/perusopas\\_01.html](http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valukappaleensuunnittelu/perusopas_01.html)
- Männistö, Teemu, 2012. Hawk MK66 huoltovälinemateriaalin sovittaminen osaksi toimivaa järjestelmälogistiikkaa ilmavoimien koulutuskoneympäristössä. [Verkkodokumentti]. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 18.7. 2014]. Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48924/Mannisto\\_Teemu.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48924/Mannisto_Teemu.pdf?sequence=1)

Pavlic, D., Pavkovic, N., Štorga, M., 2002. Variant Design Based on Product Platform. [Verkkodokumentti]. International Design Conference – Design 2002, Dubrovnik, 14.-17. toukokuuta 2002. [Viitattu 5.10.2014]. Saatavissa: [http://www.liaison.uoc.gr/documents/docs/ekpaideytiko\\_yliko/vidalis\\_enotita1/kyritsis/variant\\_design\\_based\\_on\\_product\\_platform.pdf](http://www.liaison.uoc.gr/documents/docs/ekpaideytiko_yliko/vidalis_enotita1/kyritsis/variant_design_based_on_product_platform.pdf)

Piironen, Tomi, 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. [Verkkodokumentti]. Savonia-ammattikorkeakoulu, Julkaisutoiminta. ISBN 978-952-203-177-8 (PDF). [Viitattu 16.8.2014]. Saatavissa: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>

Salomäki, Rauno, 1999. Suorituskykyiset prosessit – hyödynnä SPC, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Helsinki. ISBN 951-817-707-4

Säilynoja, Pekka, 2014. Modulaarisen tuotteen mallivalikoiman ja tuoterakenteen keventäminen. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalouden tiedekunta. [Viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/96802/Diplomity%C3%B6%202014,%20Pekka%20S%C3%A4ilynoja.pdf?sequence=2>

Tinoco, Juan C., 2004. Implementation of LEAN Manufacturing. [Verkkodokumentti]. Master's Thesis. University of Wisconsin-Stout, Menomonie, USA. [Viitattu 16.8.2014]. Saatavissa: <http://www2.uwstout.edu/content/lib/thesis/2004/2004tinocoj.pdf>

Tuomaala, Jorma, 1995. Luova koneensuunnittelu, Tammertekniikka ky, Tampere. 287 s. ISBN 951-9004-62-9

## **Liiteluettelo**

- [1] Havaintoaineisto huoltotasoista ja kaapelikeloista
- [2] Moottoroidun kaapelikelan asennusalustan piirustus
- [3] Asennusalustan ja kansilevyjen asennus kapeaan huoltotasoon
- [4] Asennusalustan ja kansilevyjen asennus leveään huoltotasoon
- [5] Nostokoneiston rajakytkinmoduulin hammaspyöräkotelon piirustus
- [6] Laser- ja AC-järjestelmien asennuksen vuokaavio
- [7] Laser- ja AC-järjestelmien asennustaulukko
- [8] Laser- ja AC-järjestelmien asennusorsien piirustukset (2 sivua)



## LIITE 1: HAVAINTOAINEISTO HUOLTOTASOISTA JA KAAPELIKELOISTA

Projekti (Suluissa toiset kelat samassa projektissa)	Työ- numero	Vaunu- sarja	Raide- leveys [mm]	Suunni- telu		iLM tun- nit	Tason leveys [mm]	KaaPelikelan tiedot								
				vuosi	kk			Tyyppi	Valmis- taja *	Dimensiot [mm]						Asennus- mitat [mm]
										D	L	H	P	A	X	
XINPENG	ZC3014950	UM1824	2400	2011	1		762	Jousi		550	259	163	631		0	70x70
GONVARRI	Z30204	UM1825	2400	2011	4		762	Jousi		550	259	163	676		0	70x70
??	C46187	UM1728	3400	2011	4		762	Moottori	C&W	500	230	114	937		68	280x82
FORD ALMUSAFE	HZ30299	UM1926	4200	2011	7		1077	Moottori	C&W	500	280	134	986	520	55	280x82
STORA ENSO NAREW	HK46105	UM1926	3400	2011	8		1077	Jousi		550	259	163	631		0	70x70
BOHUI PAPER	HZC30286	UM1926	4200	2011	8		1077	Jousi		650	277	163	667		0	70x70
ARCELOR MITTAL	HF240588	UM1825	2400	2011	9		762	Jousi		460	242	163	526		0	70x70
ARCELOR MITTAL	HF240590	UM1826	3400	2011	9		762	Moottori	C&W	500	230	114	937	523	68	280x82
BOHUI PAPER	HZC30287	UM1926	4200	2011	9		1077	Jousi		650	277	163	667		0	70x70
RHI AG NORWAY	HK46114	UM1826	3400	2011	9		1102	Moottori		615	186	165	1218		0	290x200
SIEMENS KWU BERLIN	HZ30361	UM1826	3400	2011	11		762	Jousi		550	259	163	441		0	70x70
SIEMENS KWU BERLIN	HZ30361	UM1928	3400	2011	11		1077	Jousi		460	242	163	426		0	70x70
MINIMILL	HA4124612	UM1826	3400	2011	11		1102	Jousi		800	352	163	780		0	70x70
DELFO POLAND	HK46134	UM1722	2400	2012	2		762	Jousi		460	242	163	526		0	70x70
DELFO POLAND	HK46134	UM1725	2400	2012	2		762	Jousi		460	242	163	526		0	70x70
ALCOA	HA412784/85	UM1825	2400	2012	3		762	Jousi		460	292	163	526		0	70x70
ALCOA	HA412783	UM1825	4200	2012	3		762	Jousi		460	292	163	526		0	70x70
NOVELIS	HZ30469	UM1726	3400	2012	3		962	Moottori	C&W	500	230	137	937		68	280x82
(NOVELIS)	"	"	"	"	"		962	Moottori	C&W	630	280	114	1008	520	68	340x100
XINPENG	HS46142	UM1824	2400	2012	4		762	Jousi		550	259	163	631		0	70x70
KAIPOLA-3	HS46142	UM1726	3400	2012	5	36,5	762	Moottori	C&W	500	230	114	741		64	280x82
CONSTELLIUM	HF240628	UM1926	3400	2012	7	71	1077	Moottori	C&W	500	230	125	741		66	280x82
COMSTEEL	HZS30436	UM1724	2400	2012	8		762	Jousi		495	271	163	588		0	70x70
UKRAINE	HZU30602	UM1722	2400	2012	8		962	Jousi		680	260	272	425		0	70x70
ALCOA BOHAI	HZC30631	UM1924	2700	2012	9	58,5	1077	Moottori	C&W	500	230	114	927		64	280x82
PARKER STEEL	HB4330A4	UM1722	2400	2012	10		862	Jousi		560	169	180	498		0	210x90
PARKER STEEL	HB4331A4	UM1722	2400	2012	10		862	Jousi		560	169	180	498		0	210x90
MAADEN	HX46146	UM1726	3400	2012	11		762	Jousi		500	308	163	667		0	70x70
MAADEN	HX46147	UM1726	3400	2012	11		762	Jousi		500	308	163	667		0	70x70
NOVELS TIGER	HZC30666	UM1825	3400	2012	12	55	1102	Moottori	C&W	630	280	130	1109	619	63	340x100
(NOVELS TIGER)	"	"	"	"	"		1102	Moottori	C&W	630	280	130	858	334	68	340x100
SCL POLAND	HK46163	UM1725	2400	2013	1		1361	Moottori		800	347	130	1176	619	68	340x100
NOVELS BRAZIL	HZ30782	UM1724	2400	2013	5		762	Jousi		550	200	163	472		0	70x70
NOVELS NACH	HZ30794	UM1925	4200	2013	5	25	1077	Moottori	C&W	630	280	125	977	515	69	280x82
RYBINSK RUSSIA	HK46179	UM1926	3400	2013	6		1077	Jousi		460	242	163	526		0	70x70
FORD ALMUSAFES	HF240641	UM1826	3400	2013	9	50	762	Moottori	C&W	500	280	134	979	520	68	280x82
JAGUAR	HB4762A4	UM1826	4200	2013	10		762	Jousi		470	130	205	536		0	210x90
JAGUAR	HB4762A4	UM1824	4200	2013	10		762	Jousi		470	130	205	536		0	210x90
JAGUAR	HB4762A4	UM1926	4200	2013	10		1077	Jousi		470	130	205	536		0	210x90

Mitan X keskiarvo keloissa, joissa mita X poikkeaa nollasta

65,9

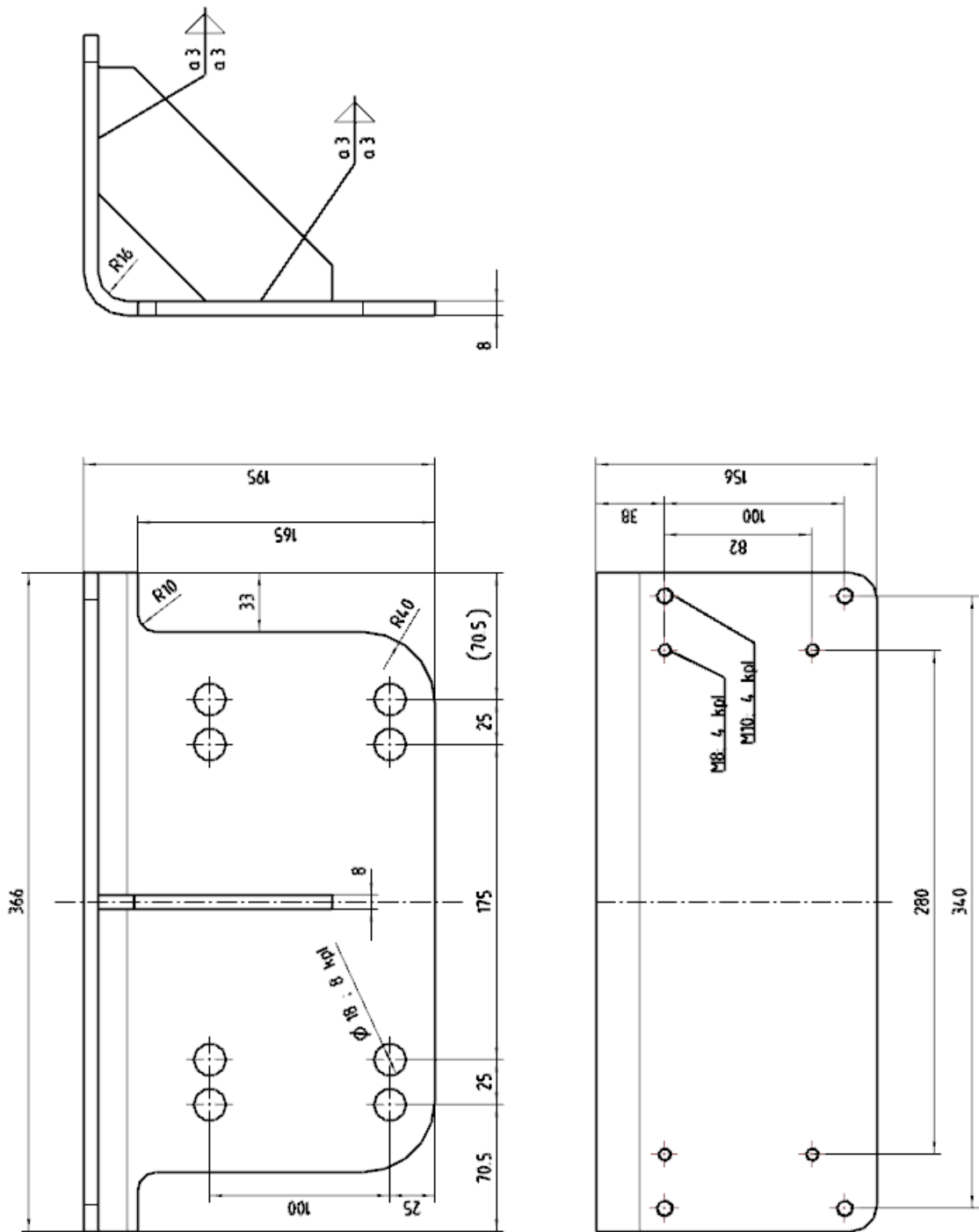
Huoltotasoja 37 kpl

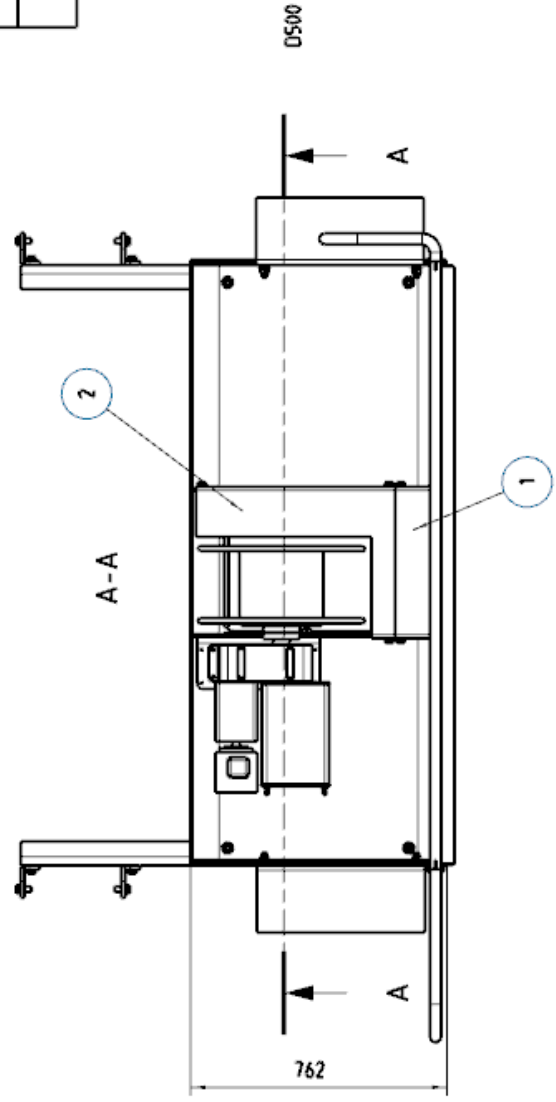
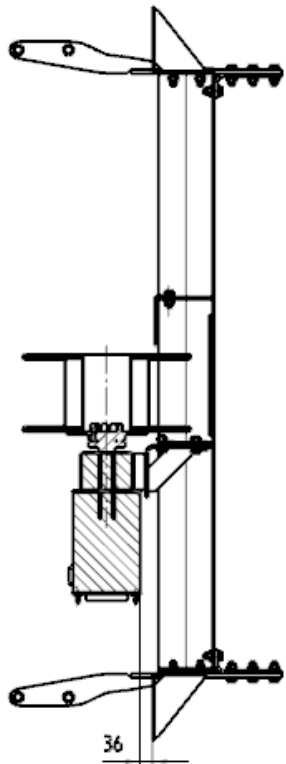
KaaPelikeloja 39 kpl

\*) C&amp;W = Conductix-Wampfler. Tämä tieto oleellinen vain moottorikelojen osalta

Tummennetut rivit osoittavat tuntitarkasteluun (Taulukko 4, luvussa 5) mukaan otettuja projekteja.

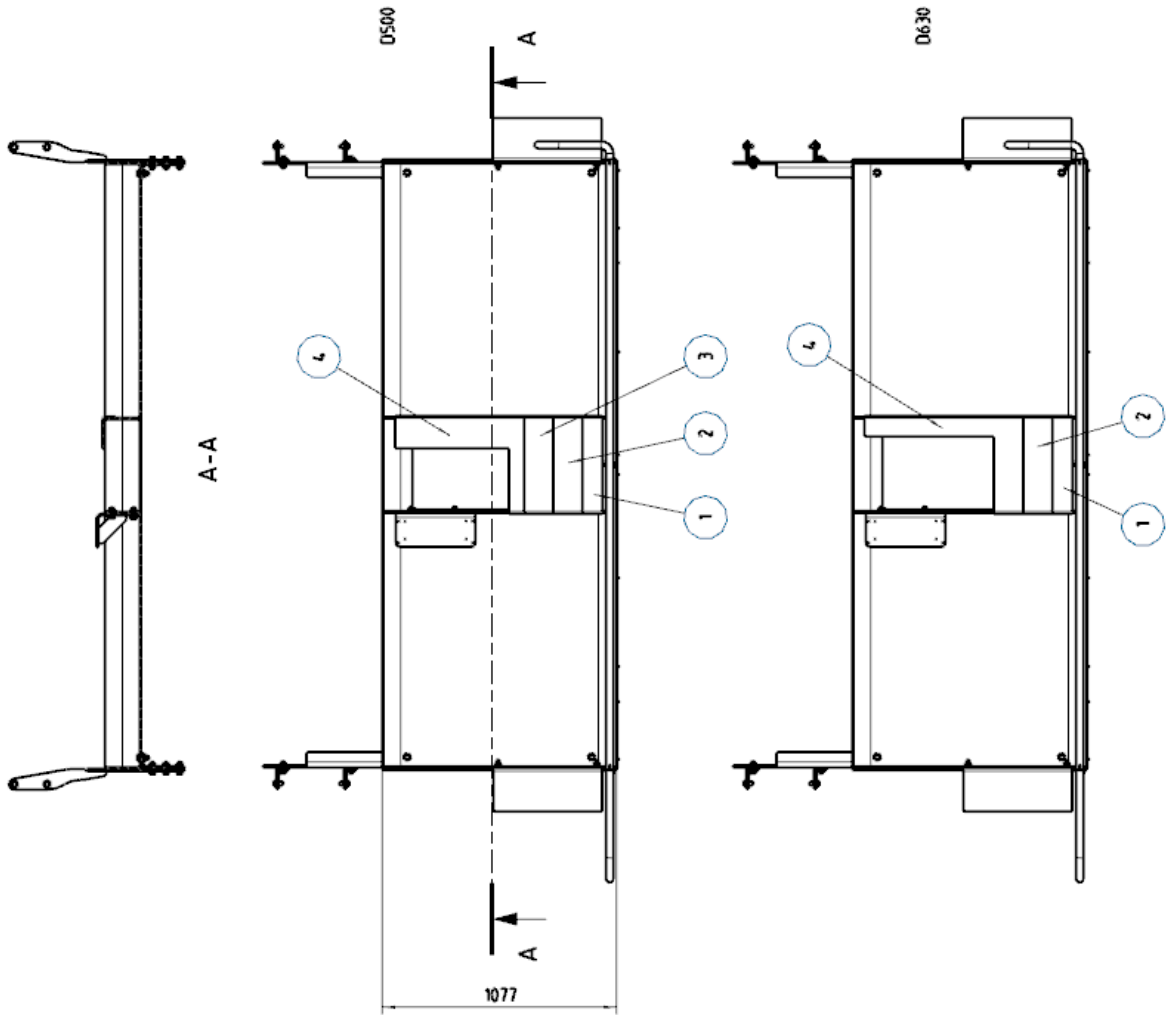
LIITE 2: MOOTTOROIDUN KAAPELIKELAN ASENNUSALUSTAN PIIRUSTUS





Motorized cable drum diameter	Cover plates	Trolley series		UM17UM18	
		Rail gauge	Walkway	R24.00	R34.00
500		Pos 1	5303584.6	5303584.8	5303585.0
		Pos 2	53049370	53072210	
630		Not in use			

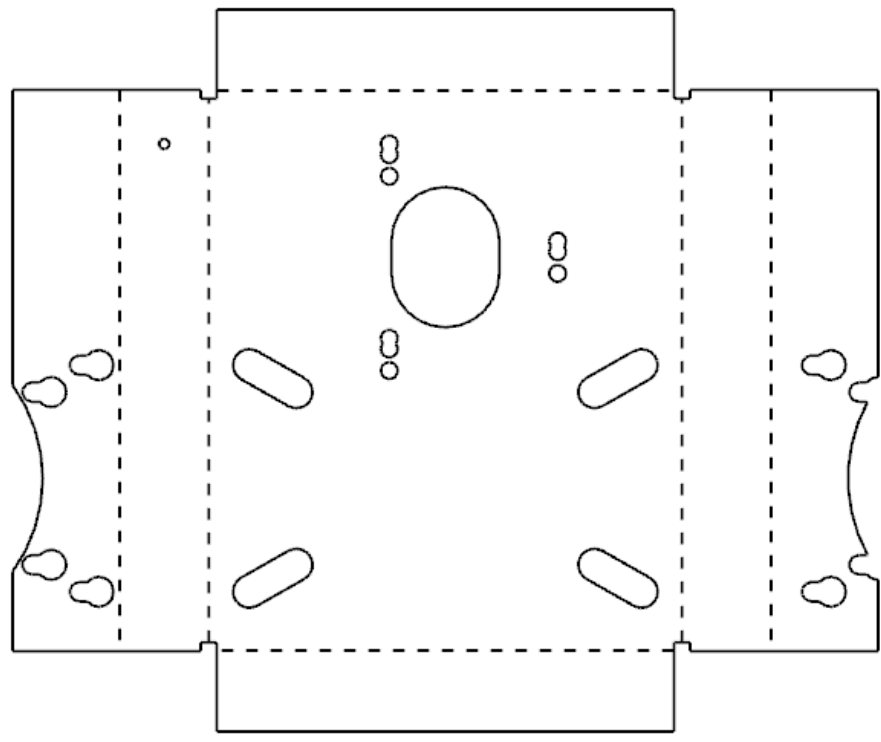
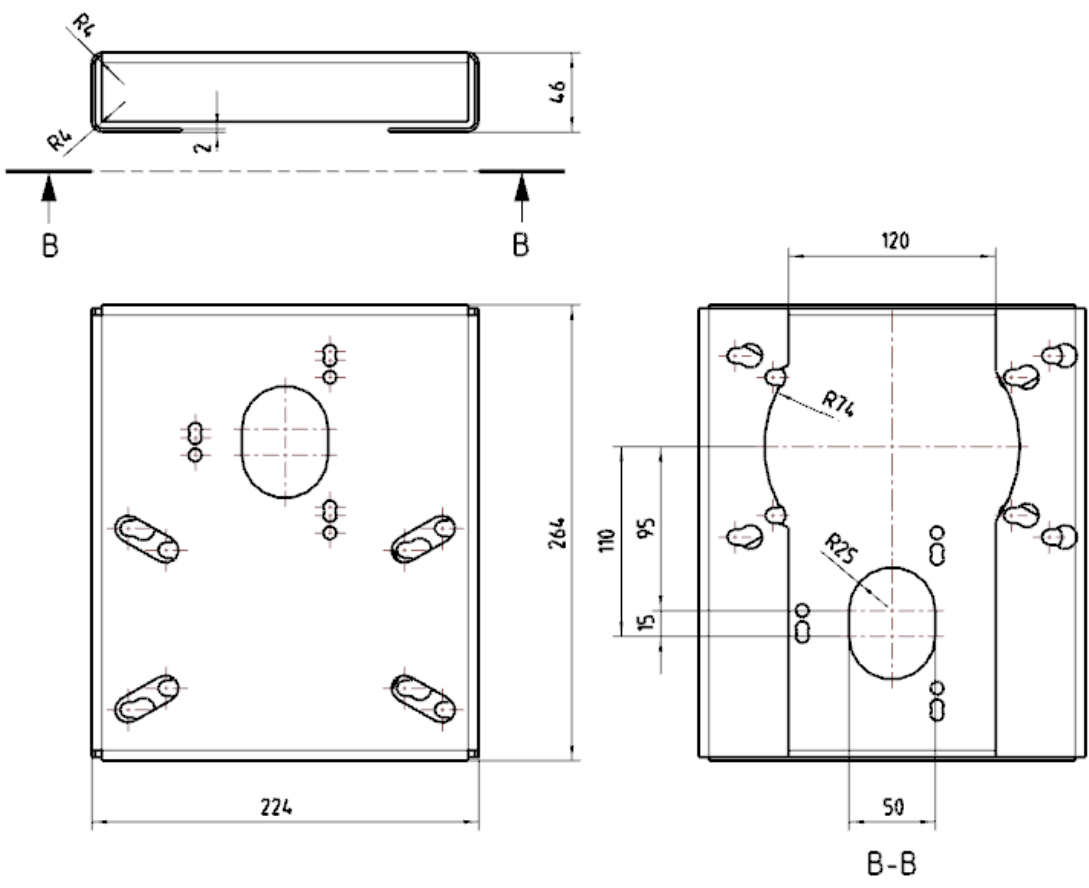
LIITE 4: ASENNUSALUSTAN JA KANSILEVYJEN ASENNUS LEVEÄÄN HUOLTOTASOON



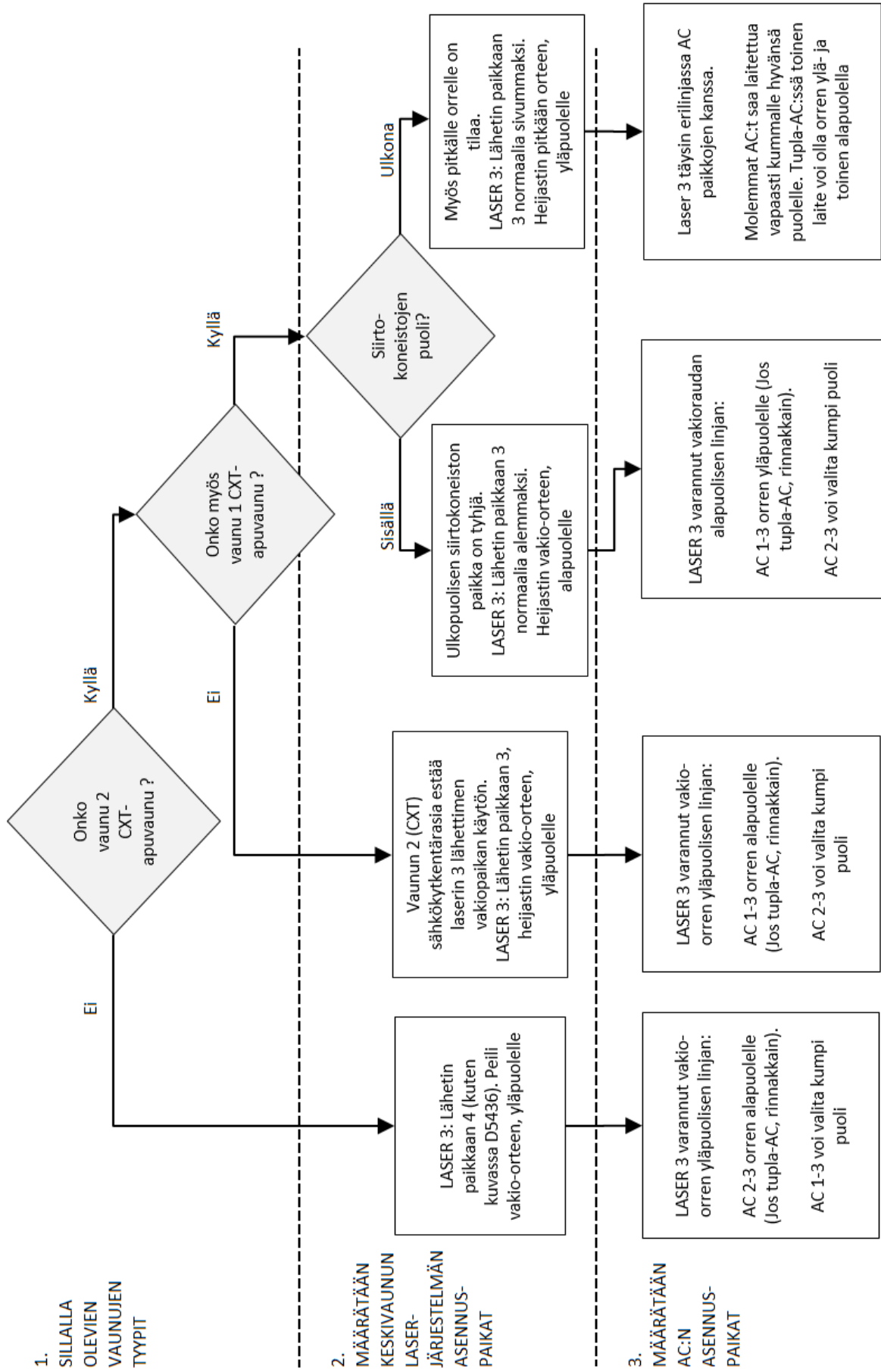
Motorized cable drum diameter	Cover plates		Trolley series			
	Rail gauge	Walkway	R2700	R3400	R4200	RS300
500	Pos 1	5303678	5303678	5303678	5303672	5303686
	Pos 2		5307210	53049370		53049370
	Pos 3			53049370		
	Pos 4			53215904		
630	Pos 1		5307210	53049370		53049370
	Pos 2			53049370		
	Pos 4			5327507		

Kaapelikela jätetty selvyyden vuoksi pois kuvasta

LIITE 5: NOSTOKONEISTON RAJAKYTKINMODUULIN HAMMASPYÖRÄKOTELON PIIRUSTUS



LEVITYSKUVA

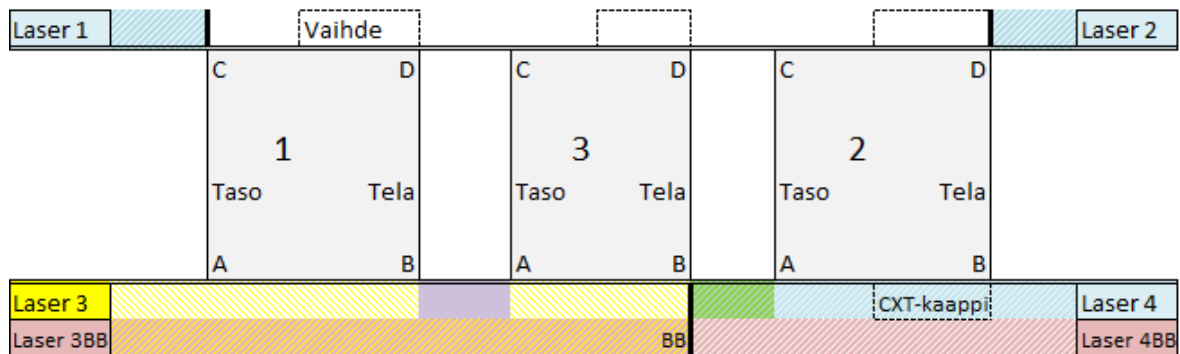


# LIITE 7: LASER- JA AC-JÄRJESTELMIEN ASENNUSTAULUKKO




VAUNUJEN TYYPIT SILLALLA			SIIRTO- KONEISTOT	KIINTEÄ LASER 1		AC 1-3		KIINTEÄ LASER 3		AC 2-3		KIINTEÄ LASER 2	
Vaunu 1	Vaunu 3	Vaunu 2		Lähetin	Peili	Peili	Lähetin	Lähetin	Peili	Lähetin	Peili	Lähetin	Peili
UM	UM	UM		1	1C	1B	3A	4	3B	-3B	-2A	2	2D
CXT	UM	UM		1	1C	1B	3A	4	3B	-3B	-2A	2	2D
UM	CXT	UM		1	1C	1B	3A	4	3B	-3B	-2A	2	2D
CXT	CXT	UM		1	1C	1B	3A	4	3B	-3B	-2A	2	2D
UM	UM	CXT		1	1C	-1B	-3A	3	3A	3B	2A	2	2D
UM	CXT	CXT		1	1C	-1B	-3A	3	3A	3B	2A	2	2D
CXT	UM	CXT	Ulkona	1	1C	1B	3A	3BB/4BB	3BB	3B	2A	2	2D
CXT	UM	CXT	Sisällä	1	1C	1B	3A	-3 / -4	-3B	3B	2A	2	2D
CXT	CXT	CXT	Ulkona	1	1C	1B	3A	3BB/4BB	3BB	3B	2A	2	2D
CXT	CXT	CXT	Sisällä	1	1C	1B	3A	-3 / -4	-3B	3B	2A	2	2D

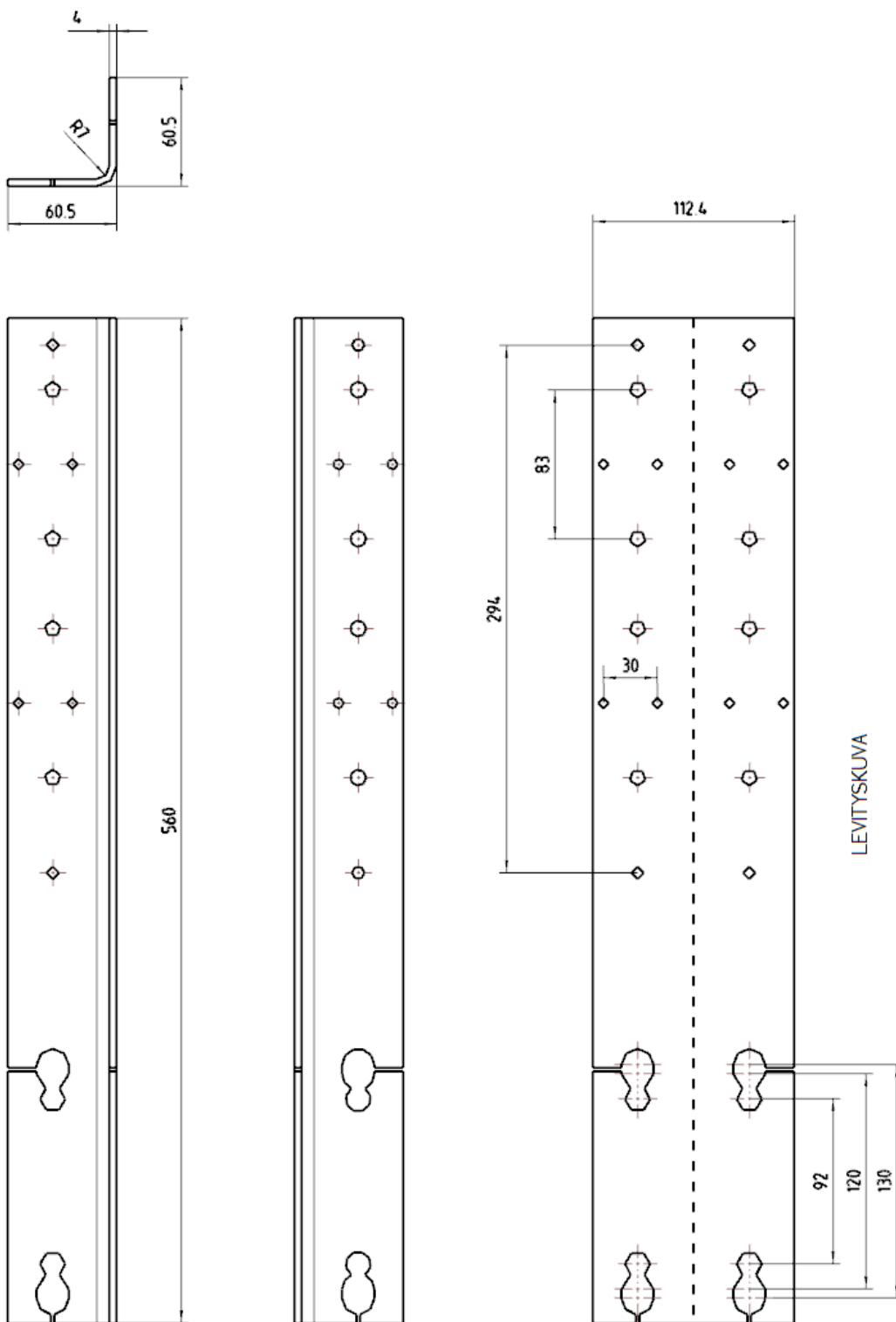
## TAULUKON SELITE

- 3A Asennetaan vaunun 3 kulmaan A kulmaraudan päälle  
 -3A Asennetaan vaunun 3 kulmaan A kulmaraudan alle  
 -3 Kiinteän laserin lähetin paikassa 3 normaalia alemmaksi  
 -3B Kiinteän laserin peilin asennus orren alapuolelle  
 3BB/4BB Kiinteän laserin lähetin normaalia sivummalle (kun vaunun peili pitkässä raudassa)  
 BB Kiinteän laserin peili pitkällä raudalla (kun vaunuissa siirtokoneistot ulkona)



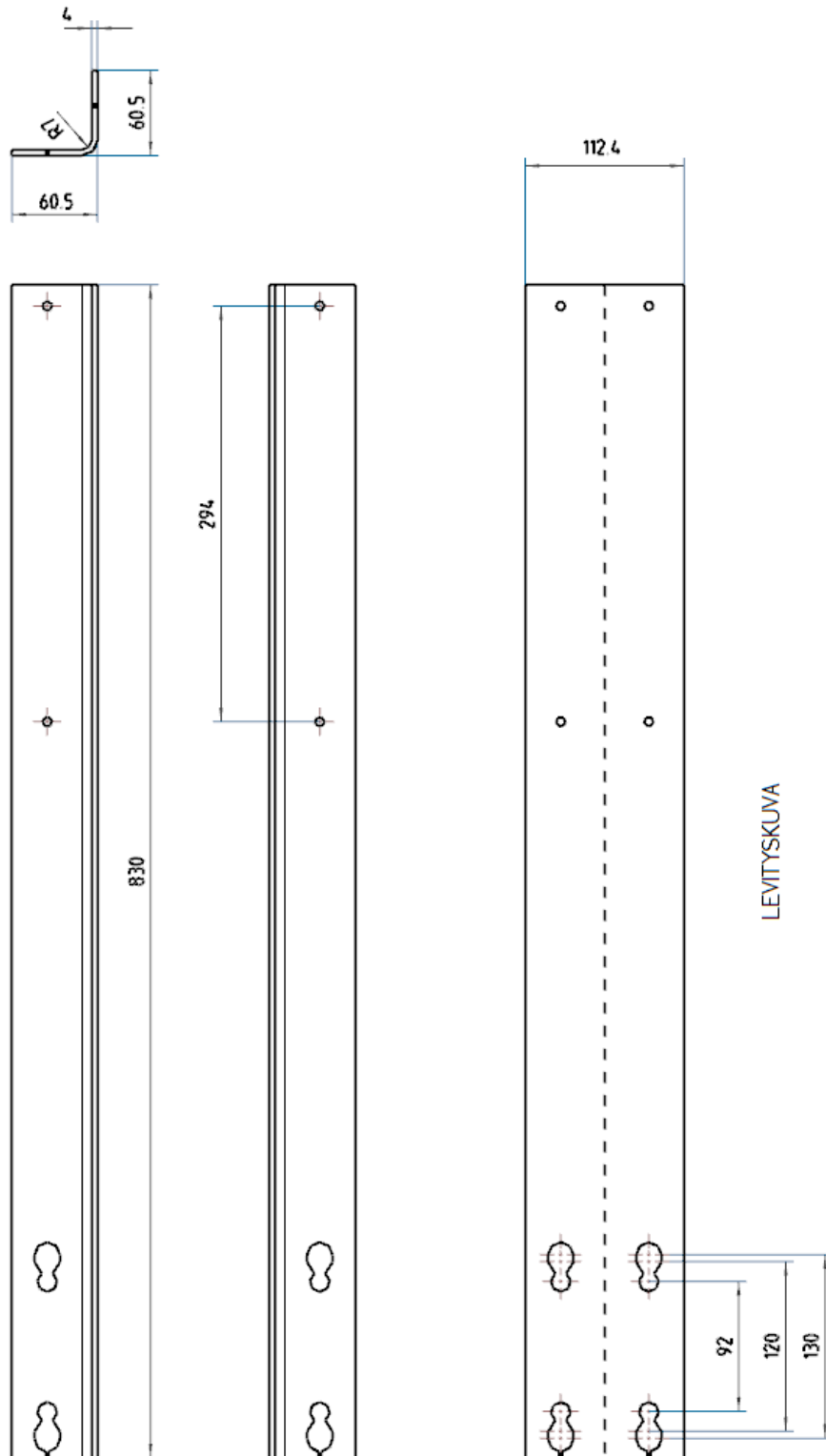
## KUVAN SELITE:

-  Kiinteän laserin peili  
 Kiinteän laserin linjat  
 Törmäksenestojärjestelmän (AC) linjat



Vakio-orisi





Pidempi asennusorsi laserjärjestelmän heijastimelle.