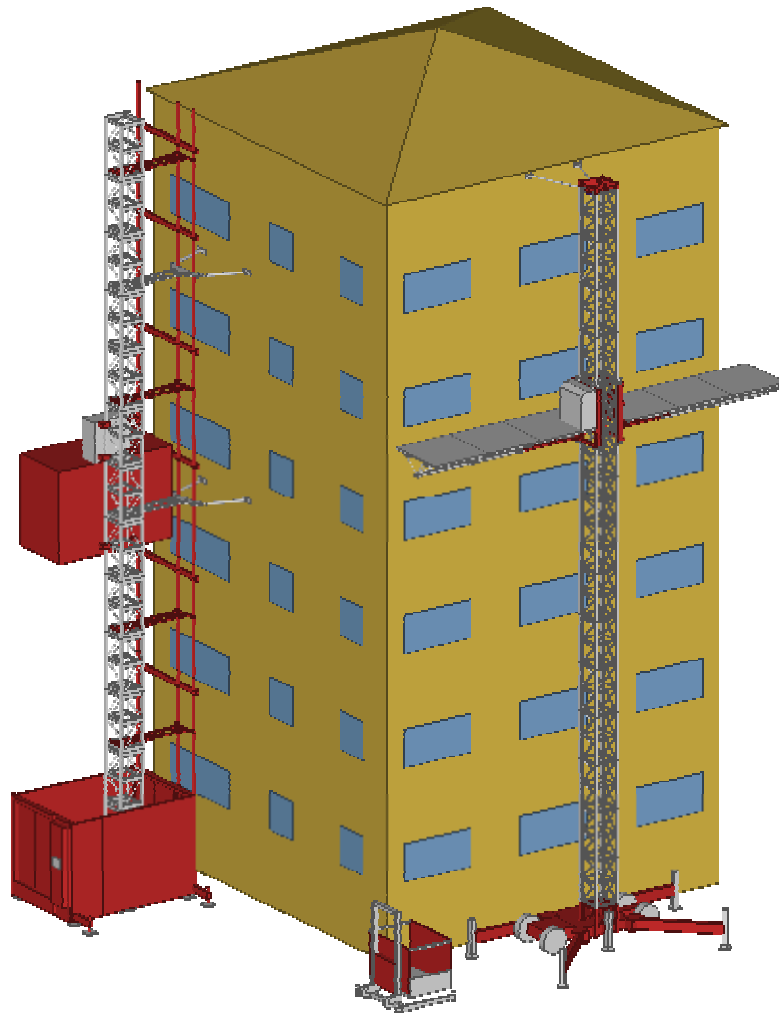


Tutkintotyö

Jussi Salminen

**Mastotyöaloja ja rakennushissejä käyttävän työmaan suunnittelujärjestelmä**



Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2005

DI, Tekn. lis. Esko Kurki  
Oy Scaninter Nokia Ltd, valvojana DI Ilkka Valkonen

## TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotekehitys

Salminen, Jussi

Mastotyölavoja ja rakennushissejä käyttävän työmaan suunnittelujärjestelmä

Tutkintotyö

32 sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaaja

DI, Tekn. lis. Esko Kurki

Työn teettäjä

Oy Scaninter Nokia Ltd, valvojana DI Ilkka Valkonen

Huhtikuu 2005

Hakusanat

mastotyölava, mastolava, rakennushissi, suunnittelujärjestelmä, VariCAD

## TIIVISTELMÄ

Mastotyölavoja ja rakennushissejä käytetään rakennustyömailla helpottamaan työntekoa. Mastotyölavoja käytetään perinteisten rakennustelineiden sijaan ja rakennushissejä henkilöiden sekä tavaran kuljettamiseen korkeussuunnassa työmailla. Koneiden kokoonpanosta ja sijoittelusta työmaille tarvitaan useimmiten ennakkoon laaditut piirustukset ja/tai layout-kuvat. Tarkoituksena oli kehittää tietokonekäyttöinen suunnittelujärjestelmä, jonka avulla rakennustyömaita voidaan mallintaa 3D-muodossa sekä tehdä niistä mitoitettut 2D-piirustukset. Suunnittelujärjestelmää tarvittiin sekä yrityksen sisäiseen käyttöön, että asiakkaille työmaiden suunnitteluun ja myyntityöhön. Scanclimber-mastotyölavat ja -rakennushissit valmistetaan ja myydään moduuliperiaatteella. Koneiden kokoonpano määräytyy työmaan tarpeiden mukaisesti. Suunnittelujärjestelmä toteutettiin tekemällä moduuleista 3D-mallit ja luomalla niistä 2D-kuvannot. Mallien ja kuvantojen tekemiseen käytettiin VariCAD-nimistä CAD-ohjelmistoa. VariCAD-ohjelmisto valittiin sen erittäin alhaisen hinnan ja hyvien ominaisuuksien vuoksi. Tutkintotyön tuloksena saatiin testikäyttöön valmis rakennustyömaiden suunnittelujärjestelmä. Järjestelmä koostuu myyntikomponenttien kirjastosta, jonka avulla voidaan tehdä rakennustyömaiden kokoonpanomalleja ja piirustuksia VariCADilla. Järjestelmästä saatiin suunnitellun mukaisesti nopea- ja helppokäyttöinen. Suunnittelujärjestelmän avulla voidaan selvittää työmaalla tarvittavien koneiden kokoonpanot sekä tehostaa myyntityötä. Testikäytön aikana järjestelmää tullaan kehittämään tarvittavien lisäysten ja korjausten mukaisesti. Suunnittelujärjestelmästä on tarkoitus kehittää asiakkaille myytäväksi soveltuva kokonaisuus, jota voidaan käyttää joko VariCADilla tai muulla CAD-ohjelmistolla.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Product development

Salminen, Jussi

A designing system for building sites using mast climbing work platforms and construction hoists

Engineering Thesis

32 pages, 6 appendices

Thesis Supervisor

Esko Kurki (MSc, Lic. Tech.)

Commissioning Company

Oy Scaninter Nokia Ltd. Supervisor: Ilkka Valkonen (MSc)

April 2005

Keywords

mast climbing work platform, mast climber, personnel- and material hoist, construction hoist, designing system, VariCAD

## ABSTRACT

Mast climbing work platforms and construction hoists are used on building sites in order to facilitate working. Mast climbing work platforms are used instead of traditional scaffoldings and hoists are used for vertical transportation of material and people. In order to decide what kind of equipment is needed and how it should be placed on the site, rental agencies and building contractors usually need drawings and/or layout pictures that have been drawn up beforehand. The aim of this thesis was to develop a computer aided designing system with which one can model construction sites in three-dimensional mode and also make dimensioned two-dimensional drawings of them. The designing system was needed both in inter-company use and also for the clients to help them plan sites and sell equipment. Scanclimber mast climbing work platforms and construction hoists are manufactured and sold in modules. The composition of work platforms and hoists varies depending on the specific needs of particular construction sites. The designing system was produced by making three-dimensional modes of the modules and creating two-dimensional views out of them. Models and views were created with a CAD solution called VariCAD. VariCAD was chosen because of its very affordable price and other good qualities. As a result of this thesis a designing system was created that can now be tested. The system consists of a library of sales components, with which one can make assembly models and drawings of building sites using VariCAD. The system is as quick and easy to use as was planned beforehand. With the help of this designing system clients can now determine the composition of the equipment needed and make the selling more effective. In the course of the trial period the system will be further improved according to the additions and corrections possibly needed. According to current plans the designing system will become a product that can be sold to the clients and can be used with either VariCAD or another CAD solution.

## ALKUSANAT

Tutkintotyöni oli opettavainen ja aiheeltaan sekä sisällöltään innostava. Sen aihe vastasi todella hyvin opiskelemaani koulutusohjelmaa ja suuntautumisvaihtoehtoa. Työssä pääsin tutustumaan yrityksen tuotteisiin perinpohjaisesti, mikä helpottaa varmasti tulevaa työskentelyäni yrityksessä. Mielenkiintoista oli myös tutustua uuteen CAD-sovellukseen ja opetella käyttämään sitä. Lisämotivaatiota toi työn tarpeellisuus yritykselle sekä sen asiakkaille. Olen tyytyväinen saavutettuihin tuloksiin ja mielissäni siitä, että saan edelleen olla mukana suunnittelujärjestelmän kehittämisessä ja käyttämisessä.

Haluan kiittää Oy Scaninter Nokia Ltd:tä mielenkiintoisen ja haasteellisen tutkintoyön mahdollistamisesta. Henkilökohtaiset kiitokset osoitan työni ohjaajille Ilkka Valkoselle ja Esko Kurjelle sekä työssä monella tavalla auttaneelle Seppo Karvoselle. Lisäksi haluan kiittää koko Scaninterin henkilökuntaa kaikesta saamastani tuesta ja avusta työn teossa. Kiitokset myös Leena Äikäs-Inhalle ja Sini Sylvelinille avusta raportin kieliasun tarkastamisessa ja hyvistä neuvoista.

Tampereella 21.4.2005

Jussi Salminen

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

<b>SISÄLLYSLUETTELO .....</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 TYÖN KUVAUS .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Lähtötiedot.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Ohjelmiston valinta.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Mallien tarkkuus .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Mallintaminen .....</b>	<b>14</b>
<b>3 TULOKSET.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Tutkintotyön saavutukset.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Suunnittelujärjestelmän käyttö 2D-muodossa.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 Suunnittelujärjestelmän käyttö 3D-muodossa.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 VariCAD suunnittelutyökaluna.....</b>	<b>23</b>
<b>4 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Tavoitteiden saavuttaminen .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Parannusehdotuksia.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Projektin jatkosuunnitelmat .....</b>	<b>29</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>31</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>32</b>

## 1 JOHDANTO

Tutkintotyön tavoitteena oli luoda asiakaspalveluun soveltuva Scanclimber-mastotyölavoja (kuva 1) ja/tai -rakennushissejä (kuva 2) käyttävän rakennustyömaan suunnittelujärjestelmä. Suunnittelujärjestelmää on tarkoitus hyödyntää myynnin apuvälineenä sekä markkinoida rakennuskonevuokraamoille työmaiden suunnitteluun, koneiden vuokrauksen ja pystytysten helpottamiseksi. Yhdeksi lisäominaisuudeksi suunnittelujärjestelmään nimettiin vielä koneiden vuokratilustusten laskenta. Tämä ominaisuus palvelisi lähinnä asiakkaita ja lisäksi samalla heidän kiinnostustaan suunnittelujärjestelmää kohtaan.



**Kuva 1** SC1300-mastotyölava



**Kuva 2** SC1532-rakennushissi

Työn teettäjä Oy Scaninter Nokia Ltd on Scanclimberin pääkonttori, joka sijaitsee Tampereella. Yritys on perustettu vuonna 1989 ja on nykyään kokonaan suomalaisomistuksessa. Varsinainen tuotanto tapahtuu suomalaisomistuksen alaisuudessa Puolan Gnieznossa toimivassa Scanclimber Sp. Z.o.o. tehtaassa. Yhtiö työllistää tällä hetkellä Tampereella 13 ja Puolassa n. 130 henkilöä. Tampereella toimii yhtiön tuotekehitys, myynti ja markkinointi sekä hallinto (toimitusjohtaja

Juha Asikainen ja hallituksen puheenjohtaja Markku Simanainen). Tampereen työntekijät ovat kaikki toimihenkilöasemassa. Yrityksen liikevaihto kasvoi ensimmäiset kymmenen vuotta tasaisesti ja sitä mukaa myös henkilökunnan määrä lisääntyi. Viimeiset neljä vuotta liikevaihto on pysynyt suunnilleen samana n. 12 – 14 miljoonassa eurossa. /1/

Mastotyölavoja käytetään rakennustyömailla korvaamaan perinteiset rakennustelineet, sillä niitä pidetään turvallisempina, nopeampana ja taloudellisempina vaihtoehtona. Mastotyölavoja käytetään yleisimmin

- rakennusten entisöinnissä
- ikkunoiden asennus- ja vaihtotöissä
- kivi-, marmori- ja eristelevyjien asennuksessa
- muuraus- ja rappaustyössä
- maalaustyössä.

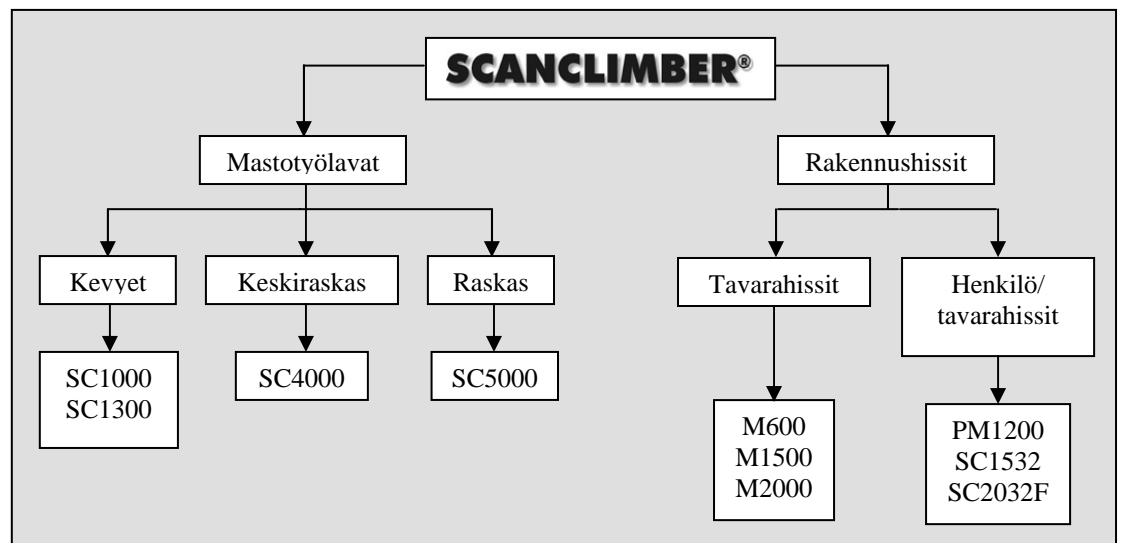
Rakennushissejä käytetään erilaisilla rakennustyömailla tavaran ja henkilöiden kuljettamiseen korkeussuunnassa. Scanclimber-mastotyölavat ja -rakennushissit toimivat hammastanko-hammaspyörä-periaatteella. Scanclimber valmistaa sekä mastotyölavoja että rakennushissejä eri kokoluokissa moduuliperiaatteella.

Mastotyölavoja tehdään neljää eri mallia SC1000, SC1300, SC4000 ja SC5000. /2/ Raskaimman näistä (SC5000) suurin sallittu mastonkorkeus on 250 m ja kantavuus yksimastoisena riittää 2700 kg:aan ja kaksimastoisena 5000 kg:aan saakka. Suurin sallittu työlavan pituus yksimastoiselle laitteelle on 17 m ja kaksimastoiselle 40,6 m. /3/

Rakennushissien tyyppiluokitukset vaihtelevat eri maiden välillä. Rakennushissit luokitellaan kunkin maan turvallisuusmääräysten mukaisesti kahteen ryhmään: tavarahissit ja henkilö- sekä tavarahissit. Suomessa luokitukset menevät siten, että tavarahissejä on kolme mallia M600, M1500, M2000. Henkilö/tavarahissejä on myös kolme mallia, jotka ovat PM1200, SC1532 ja SC2032F. Esimerkiksi Saksassa turvallisuusluokitukset sallivat ihmisten kuljettamisen myös hisseillä M600, M1500 ja M2000, kun niiden kulkunopeus lasketaan 24 metristä 12 metriin minuutissa.

Saksassa siis nämäkin hissimallit kuuluvat henkilö/tavarahisseihin, jolloin niiden mallimerkintä muuttuu ja hissimallit ovat M/TP600, M/TP1500 ja M/TP2000. /1/ Rakennushissien suurin sallittu korkeus on 150 m ja kantavuus maksimissaan 2000 kg. /2/ Kaaviossa 1 on esitetty mastotyölavojen tyyppijako sallitun kuormituksen mukaan ja rakennushissien tyyppijako suomen turvallisuusluokituksien mukaan.

**Kaavio 1** Scanclimber-mastotyölavojen ja -rakennushissien tyyppijako suomen turvallisuusmääräysten mukaisesti. /1/



Scanclimberin asiakkaina ovat vuokraamot (90 %) ja loppukäyttäjät. Vuokraamot toimivat useimmiten rakennustelineiden, riippuvien työlavojen ja näiden tarvikkeiden vuokraajina. Loppukäyttäjät ovat rakennusyhtiöitä tai heidän aliurakoitsijoita, jotka mieluummin vuokraavat koneita kuin ostavat niitä omaksi. Tuotteita myydään maailmanlaajuisesti. Myynti jakautuu seuraavasti: Eurooppa 65 %, USA 25 % ja muu maailma 10 %. /2/ Myyntimäärät vuodessa ovat noin 200 mastotyölavaa ja noin 50 rakennushissiä. /1/

Mastotyölavat myydään asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Konetyyppi valitaan tarvittu kuormituskapasiteetin perusteella. Koneen kokoonpano määräytyy asiakkaan tarvitseman maston korkeuden, työlavan pitemmän ja tarvittaessa erilaisten lisävarusteiden (seinäankkuroinnit, lavan levennyssarjat, kaksimastonivelet ym.) mukaan. Rakennushissien myynnissä noudatetaan samaa periaatetta. Asiakas ilmoittaa kuormitustarpeensa, haluamansa maston korkeuden ja



pysähdystasojen määrän sekä mahdollisesti tarvittavat lisävarusteet, ja tarjoukset tehdään näiden tietojen perusteella. /1/

Päämääränä oli kehittää järjestelmä, jolla pystytään helposti suunnittelemaan työmaakohteessa tarvittavien moduuleista koottavien koneiden mitat (moduulien kappalemäärät), sijainti ja mahdolliset erikoisvarusteet. Käytön helppous tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että järjestelmää kykenee käyttämään esimerkiksi myynti-insinööri, jolla ei välttämättä ole niin vankkaa suunnittelukokemusta kuin varsinaisella suunnittelijalla. Helppokäyttöisyyden lisäksi järjestelmällä ei saisi olla erityisen kovia laitevaatimuksia, jotta ne eivät rajoittaisi järjestelmän käyttöä tai myyntiä. Myyntiin tulevan järjestelmän hinnan tulee tietysti olla kohtuullinen ja järjestelmästä saatavaa hyötyä vastaava.

Aikaisemmin yritys on teettänyt vastaavat rakennustyömaiden suunnittelut suurimmaksi osaksi ulkopuolisella insinööritoimistolla, jolloin piirustusten tarkkuus on jopa liiallista ja kustannukset myös sen myötä turhan korkeat. Suunnittelujärjestelmän avulla yritys voisi suorittaa työmaasuunnittelut itse ja toimittaa piirustukset ja layout-kuvat asiakkaalle tarvittaessa jo tarjousvaiheessa.

Aiheen valintaa tutkintotyöksi puolsi työn mielenkiintoisuus ja haasteellisuus. Suuri tarve yrityksessä sekä asiakkaiden mielenkiinto rakennustyömaiden suunnittelujärjestelmää kohtaan antoi lisämotivaation projektin valitsemiseksi tutkintotyöksi.

## **2 TYÖN KUVAUS**

### **2.1 Lähtötiedot**

Työtä aloitettaessa lähtökohtana oli saada yritykselle suunnittelujärjestelmä, jolla pystyttäisiin helposti suunnittelemaan rakennustyömaakohteessa tarvittavien moduuleista koostuvien mastotyölavojen ja rakennushissien kokoonpano, sijoittelu ja pystytys. Lisäominaisuutena järjestelmään haluttiin koneiden vuokrakustannusten

laskenta. Järjestelmää tulnaisiin käyttämään myyntityön apuvälineenä sekä kylkiäisenä ja myyntituotteena asiakkaille, joista suurimman käyttäjäryhmän muodostaisivat rakennuskonevuokraamot.

Tiedossa oli, että kilpailijoilla on vastaavia järjestelmiä jotka perustuvat CAD-ohjelmistoihin. Kilpailijoilla on olemassa myös erilaisia taulukkolaskentalomakkeita vuokratustannusten laskentaa varten. Tässä työssä vuokratustannusten laskenta haluttiin kuitenkin sisällyttää varsinaiseen työmaiden suunnittelujärjestelmään, jotta koko järjestelmälle saataisiin parempi markkinointiarvo. Tiedettiin myös, että järjestelmää tulnaisiin käyttämään tietokoneilla. Se ei kuitenkaan saisi vaatia liian paljon käyttäjän laitteistolta, jotta asiakkaiden ostohalukkuus tai järjestelmän käyttö yrityksessä ei kaatuisi laitevaatimuksiin.

## 2.2 Ohjelmiston valinta

Aluksi piti selvittää, millaisia ohjelmistovaihtoehtoja oli tarjolla. Scanclimberin tuotesuunnittelu tehdään Vertex G4 -suunnitteluohjelmalla. Yritys ostaa suunnittelupalveluja yhden miehen insinööritoimistolta, jossa on käytössä yrittäjän itse kehittänyt ohjelmisto nimeltä LIVEcad. Koska valmiita CAD- ja suunnitteluohjelmistoja on markkinoilla runsaasti ja niistä saataisiin tarvittavat tiedot ja hyöty, päätettiin suunnittelujärjestelmä toteuttaa markkinoilta löytyvällä CAD- tai suunnitteluohjelmistolla.

Ohjelmistovaatimuksiksi määritettiin

- hinta (alle 1000 €)
- 2D- ja 3D-mallien luontimahdollisuus
- DWG-tiedostojen avaamis- ja tallentamismahdollisuus
- STEP-tiedostojen tallentamismahdollisuus
- kohtuulliset laitevaatimukset, mikä tarkoittaa Pentium III:a tai vastaavaa vähintään 800 MHz:n prosessoria ja 256 megatavun RAM-muistia
- toimivuus sekä Windows että Linux käyttöjärjestelmillä.

Näillä ominaisuuksilla mahdollistettaisiin hyvä käyttöskaala suunnittelujärjestelmälle. Vuokratustannusten laskentaa varten ohjelmassa tulisi myös olla komponenteille tietojen lisäämismahdollisuus ja osaluettelon luontimahdollisuus. Näiden kahden ominaisuuden avulla voitaisiin määrittää kullekin moduulille esimerkiksi vuokrahinta, paino sekä muut oleelliset tiedot ja summata ne osaluettelon avulla.

Kaikki varsinaiset suunnitteluohjelmistot (esim. Vertex, Catia ym.) karsiutuivat valinnasta korkean hinnan takia. Hinta on siinä mielessä tärkein kriteeri, että valmista järjestelmää myytäessä asiakas tarvitsee myös ohjelman jolla pyörittää sitä. Jos asiakkaalla ei ennestään ole CAD-ohjelmistoa tai olemassa oleva ohjelmisto ei pysty avaamaan tai muokkaamaan suunnittelujärjestelmän valmiita malleja, joutuu asiakas ostamaan järjestelmää varten myös CAD-ohjelmiston. Jos ohjelma on kallis, asiakas ei halua ostaa sitä ja näin myös suunnittelujärjestelmä on hänelle hyödytön.

Käytännössä jäljellä olivat markkinoilta löytyvät CAD-ohjelmistot. Yleisin niistä lienee Autodeskin AutoCAD, joka laitteistovaatimuksien osalta sopii kohtuullisesti asetettuihin rajoihin. Ainoastaan vaadittava 512 megatavun RAM-muisti /4/ ylittää asettamamme rajan. AutoCAD on hinnaltaan ja toki myös toiminnoiltaan turhan laaja tähän käyttötarkoitukseen, joten sekin päätettiin jättää valintojen ulkopuolelle. AutoCADista löytyy myös niin sanottu kevytversio AutoCAD LT. Tämä on kuitenkin tarkoitettu vain 2D-suunnitteluun, joten sekään ei vastannut vaatimuksiamme. /4/

Koska yhtenä vaatimuksena oli ohjelman käyttömahdollisuus sekä Windows- että Linux-käyttöjärjestelmillä, päätettiin selvittää Linux Online -verkkosivujen /5/ kautta, mitkä CAD-ohjelmistot toimivat Linux-käyttöjärjestelmillä. Verkkosivuilta hyvänä vaihtoehtona esiin nousi CAD-ohjelmisto nimeltä VariCAD. VariCAD on tshekkiläinen ohjelmistoyhtiö, joka myy Internetistä ladattavaa koneensuunnitteluun tarkoitettua CAD-ohjelman lisenssiä 399 USD:n (n. 302 €) hintaan /6/. VariCADin etuja todella edullisen hinnan lisäksi ovat toimivuus sekä

Windows- että Linux-käyttöjärjestelmissä ja sen alhaiset laitevaatimukset, mikä mahdollistaa ohjelmiston käyttämisen myös vanhemmilla tietokoneilla.

Käytettäessä VariCADiä Windows-käyttöjärjestelmällä laitteiston minimivaatimuksena on Pentium II tai vastaava prosessori, 128 Mt RAM-muistia ja 16 Mt:n graafinen näytönohjain. VariCADin käyttöön suositellaan kuitenkin laitteistoa, joka sisältää

- Pentium 4 CPU -prosessorin
- 256 Mt RAM-muistia
- GeForce4-graafisen näytönohjaimen
- Microsoft Windows NT/2000/XP -käyttöjärjestelmän
- 19” näytön
- rullahiiren.

Linux-käyttöjärjestelmällä laitteistosuositukset ovat muuten samat kuin Windowsillakin, mutta prosessoriksi riittää Pentium II tai vastaava. /5/

VariCAD kykenee avaamaan oman DWB-tiedostotyyppinsä lisäksi DXF-, DWG- ja IGES-tiedostoja. Tallentaminen onnistuu näiden lisäksi myös STEP-muodossa. VariCADilla voidaan tehdä 3D-malleja tai 2D-piirustuksia ja 3D-mallista voidaan tehdä 2D-kuvannot. /6/

Koska VariCAD toteuttaa kaikki ohjelmistolle asetetut vaatimukset ja tärkein kriteeri eli hintakin on varsin edullinen, se valittiin ohjelmistoksi työn tekoa varten. Pienenä taka-ajatuksena VariCADin valinnan suhteen oli myös sen toiminnan testaaminen suunnittelutyökaluna. Työtä tehdessä tulisi testattua palvelisiko näin halpa CAD-ohjelmisto suunnittelijoita.

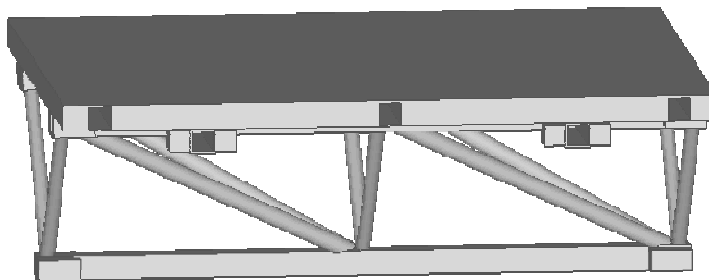
## 2.3 Mallien tarkkuus

Ennen varsinaista mallien tekemistä täytyi vielä selvittää, kuinka malleja ryhdyttäisiin luomaan. Yrityksen suunnitteluosastolla ollaan siirtymässä Vertex G4-

suunnitteluohjelman käyttöön ja niinpä uusimmista tuotteista oli tehty Vertex-mallit valmistusta varten. Nämä mallit ovat siis VXM-muotoisia tiedostoja. Myös vanhempia, mutta edelleen käytössä olevia tuotteita on alettu mallintaa Vertex-malleiksi. Tarkoituksena on tehdä kaikista yrityksen tuotteista Vertex-mallit ja niiden mukana uudistaa myös moduulien numerointi mallien numeroiden mukaiseksi. Suunnittelujärjestelmän kehittämistä aloitettaessa tämä projekti oli kuitenkin vasta alussa ja niinpä Vertex-malleja oli olemassa vain seuraavista tuotteista: SC4000-mastotyölava kokonaisuudessaan (nostokehikko, pyöräalusta, lavajakso, mastojakso) ja SC1532/2032F-rakennushissin ala-asema, hissikori ja mastojakso.

Yksi vaihtoehto oli käyttää suoraan näitä valmiita Vertex-malleja. Valmistusta varten tehdyt mallit olivat kuitenkin liian raskaita ja yksityiskohtaisia tähän käyttötarkoitukseen ja lisäksi niistä olisi selvinnyt kilpailijoille helposti tuotteiden tarkat mitat ja rakenne. Niinpä päätettiin, että kaikki tuotteet mallinnettisiin VariCADilla uudelleen yksinkertaistettuina 3D-muodossa, jolloin malleista ei tulisi turhan raskaita. Ohjelman valinnan ja sen ominaisuuksien selvittämisen jälkeen oli helppo päättää, että 3D-malleista tehtäisiin 2D-kuvannot VariCADin *view export* -toiminnolla. Näin samaan tiedostoon syntyy kappaleesta 3D-malli ja toisena välilehtenä on mallista saatavat 2D-kuvannot. Käyttäjä voi siis itse päättää tilanteen mukaan, tekeekö hän työmaasuunnittelunsa 2D- vai 3D-muodossa.

Ongelmaksi muodostui mallien tarkkuuden rajaaminen. Malleista piti saada oikean näköisiä, mutta kaikki ylimääräinen tuli kuitenkin jättää pois, jotta kerätessä useita moduuleja samaan kokoonpanoon malleista ei tulisi liian raskaita. Niinpä olikin heti selvää, ettei malleihin tehtäisi sisäpintoja, koska jokainen pinta mallissa suurentaa sen tiedostokokoa. Putket ja profiilit siis mallinnettiin umpinaisina pois lukien moduulit, joissa sisäpinnat ovat oleellisia yhteen liittämisen kannalta. Esimerkkinä malleista, joissa sisäpintoja jouduttiin käyttämään, mainittakoon SC4000- ja SC5000-mastotyölavojen lavajaksot (kuva 3), joihin tarvitaan reiät lavan ulokeputkia varten.



**Kuva 3** SC4000-mastotyölavavan lavajakso

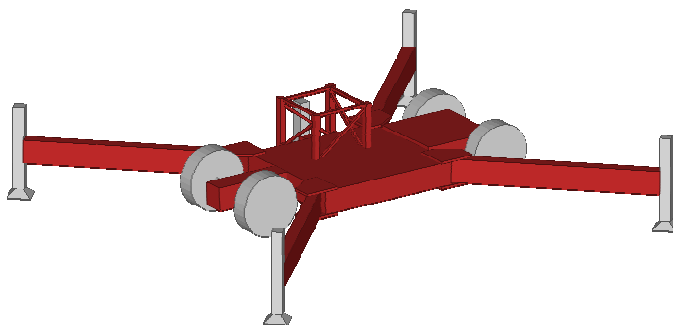
Tiedostokoon pienentämiseksi malleista päätettiin karsia myös kaikki työmaasuunnittelun kannalta epäoleelliset erilliset osat pois. Esimerkiksi lavajaksoista jätettiin kaiteet pois, laitteiden koneistoja pelkistettiin (vertaa liitteitä 1 ja 2) ja keskityttiin vain oleellisimpaan eli ulkomittojen oikeellisuuteen. Pelkistämistä ei kuitenkaan voinut tehdä rajattomasti, sillä moduuleiden liitäntäkohdat tuli miettiä tarkkaan. Liittäminen täytyi saada mahdollisimman helpoksi ja loogiseksi. Liitäntäkohtien tulisi sijaita samoissa paikoissa kuin oikeastikin, mutta liitäntäpultit ja –tapit oli kuitenkin järkevä jättää mallintamatta.

Pohdiskelua aiheutti myös tuotteiden lisäosien laaja valikoima. Koska rakennustyömaat ovat aina yksilöllisiä, on niissä käytettäville koneille suunniteltu runsas valikoima erilaisia apuvälineitä ja lisätarvikkeita. Järkeväksi katsottiin kuitenkin rajata mallintaminen yleisimpiin komponentteihin. Tarvittaessa harvoin käytettyjä lisävarusteita voitaisiin lisätä kokoelmaan.

## 2.4 Mallintaminen

Lähtötietojen keruun ja muutaman harjoitusmallin sekä –piirustuksen teon jälkeen VariCADin käyttö alkoi tuntua sujuvalta ja voitiin ryhtyä varsinaiseen työhön. Mallintaminen aloitettiin niin sanotusti helpoimmasta päästä eli niistä tuotteista, joista jo oli olemassa Vertex-mallit. VXM-muotoisista Vertex-malleista muunnettiin 2D-kuvannot DWG-formaattiin, jolloin kuvannot saatiin avatuksi VariCADillä. Kappaleiden mittoja ja muotoja pystyi nyt helposti tarkastelemaan VariCADin mittatyökaluilla.

Seuraavaksi piti miettiä, miten suuria kokoonpanoja moduulit itsessään ovat, kuinka paljon kokoonpanotyötä suunnittelujärjestelmän loppukäyttäjä joutuu tekemään ja minkälaista CAD-ohjelman käyttötaitoa häneltä vaaditaan. Moduuleista päätettiin tehdä sen laajuisia, kuin ne myyntikomponentteinakin ovat. Tällöin järjestelmän käyttäjä joutuu kokoamaan työkonemallinsa suhteellisen pienistä paloista, mutta toisaalta hyvinkin erityyppiset rakennustyömaat ja moduuliperiaatteella myytävät koneet tämän vaativat. Kokoonpanotyötä päätettiin kuitenkin helpottaa tekemällä mastotyölavojen pyöräalustoista neljä eri versiota. Pyöräalustojen versiot johtuvat siitä, että niiden kääntyvät tukijalat voidaan säätää tarpeen mukaan neljään eri asentoon (H-, X-, K-, tai päinvastoin K-asentoon). (Kuva 4.) Valmiiksi mallinnetut neljä eri asentoa helpottavat kokoonpanotyötä sikäli, että pyöräalustaa tarvittaessa voidaan heti valita alusta, jossa tukijalat ovat oikeassa asennossa eikä tukijalkoja tarvitse enää sen jälkeen käänellä.



**Kuva 4** SC1300-, SC4000- ja SC5000-mastotyölavojen pyöräalusta X-asennossa.

Moduulien laajuuden selvittyä voitiin varsinaista mallintamista jatkaa. Kun valmiina olleet Vertex-mallit oli hyödynnetty, piti ryhtyä etsimään uusia tiedonlähteitä tuotteiden mallintamista varten. Vanhemmista tuotteista, SC1300-mastotyölavasta ja M600- sekä PM1200-rakennushisseistä, oli tehty DWG-muodossa olevat 2D-piirustukset. Seuraavaksi malleja tehtiin näiden piirustusten pohjalta ja apuna käytettiin myös Tampereen varastossa sillä hetkellä olleita tuotteita, joista tarkastettiin tehtyjä uudistuksia ja mitattiin epäselviä kohtia.

Kun DWG-piirustukset oli hyödynnetty, oli samalla myös kaikki Scaninterillä sähköisessä muodossa oleva materiaali hyödynnetty. Tämän jälkeen mallien tekoon vaadittavaa tietoa täytyi etsiä paperille tulostetuista piirustuksista. Loput mallit tehtiinkin konekohtaisiin kansioihin kerättyjen tuotantoon tarkoitettujen piirustusten

pohjalta. Lisäapuna käytettiin jälleen Tampereen varastoa ja sieltä löytyviä tuotteita.

Kun mallinnustyö alkoi olla rutiininomaista ja eteni hyvää vauhtia, ryhdyttiin pohtimaan, kuinka mallit tulisi viimeistellä ja järjestää, jotta niistä saataisiin mahdollisimman selkeä kirjasto. Mallinnuksen aikana oli tullut selväksi, että yksittäisistä osista kootut moduulit oli tehtävä yhtenäisiksi, jotta niiden yhteen liittäminen olisi mahdollisimman helppoa. Tämä onnistui hyvin VariCADin *add-*toiminnolla. Huomattiin myös, että 3D-malleista *view export* -toiminnolla tehdyt 2D-kuvannot oli tehtävä kukin omaksi kokonaisuudekseen eli *blockiksi*, jotta kokoonpanokuvia pystyttäisiin tekemään myös 2D-kuvannoista.

Malleihin ja kuvantoihin lisättiin vielä yksilöityjä tietoja eli attribuutteja. Kukin malli yksilöitiin nimellä, myyntikoodilla, massalla ja kappalemäärällä. Tiedostot, jotka sisältävät siis moduulista sekä 3D-mallin että 2D-kuvannot, nimettiin loogisesti moduulin nimen mukaan. Jokaiselle mastotyölava- ja rakennushissityypille luotiin oma kansio, jonne tallennettiin kyseiseen tyyppiin liittyvät moduulit. Osaan konetyypeistä käytetään samoja moduuleja, esimerkiksi mastotyölavoilla SC1300, SC4000 ja SC5000 on kaikilla sama mastojakso ja sama pyöräalusta. Näissä tapauksissa moduulit tietysti vain kopioitiin useampaan kansioon yhteenkuuluvuuden mukaisesti.

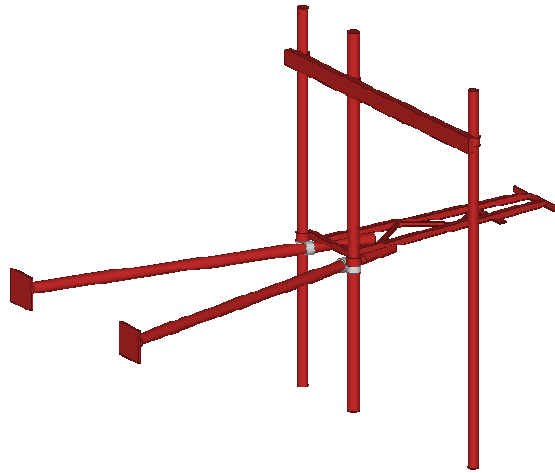
## **3 TULOKSET**

### **3.1 Tutkintotyön saavutukset**

Tutkintotyön tuloksena saatiin mastotyölavojen ja rakennushissien moduulien pelkistetyistä 3D-malleista ja niiden 2D-kuvannoista koostuva kirjasto. Moduulien laajuus eli niissä olevien erillisten osien määrä määräytyy myyntikomponenttien mukaan. Myyntikomponentteja kirjastossa on yhteensä 66. Lisäksi kirjastoon on tehty rakennushisseille SC1532/2032 ja PM1200 valmiita kokoonpanomalleja putkilinjatuista, jotka sisältävät yhteen seinäankkurointiin (kuva 5) tai kolmen



metrin putkilinjaan tarvittavat myyntikomponentit. Kirjastossa on yhteensä 104 tiedostoa ja se vaatii 8,01 Mt levytilaa. Kirjaston moduuleja yhteen kokoamalla saadaan mallinnettua rakennustyömaita, ja erityisesti voidaan suunnitella minkälaisella kokoonpanolla mastotyölavat ja rakennushissit tulee pystyttää kyseessä olevalle työmaalle, jotta niillä saavutetaan suurin mahdollinen hyöty.



**Kuva 5** Rakennushissin PM1200 seinäankurointiin tarvittavat moduulit (pystyputket 3 kpl, seinäankuriputket 2 kpl, mastoside ja siltapalkki).

Tällä hetkellä kirjaston tiedostot ovat VariCADin DWB-muodossa, koska järjestelmän koekäyttö suoritetaan VariCADilla. 3D-mallien tallentamista STEP-muotoon ja niiden avaamista Vertex G4:llä testattiin ja tulokset olivat hyviä. Ainoastaan mallien väri vaihtui, mikä oli helppo korjata Vertexillä.

Lopputuloksena on siis yrityksen sisäiseen kokeilukäyttöön valmis rakennustyömaiden suunnittelujärjestelmä, jonka pohjana käytetään VariCAD-ohjelmistoa. Koekäytössä varmasti käy ilmi useita asioita, joita järjestelmässä tulisi vielä parantaa ennen kuin sitä voidaan markkinoida asiakkaille.

Järjestelmän avulla voidaan tehostaa myyntityötä näyttävillä ja helposti luotavilla työmaiden 3D-malleilla ja layout-kuvilla sekä osoittaa asiakkaalle hänen tarpeensa mastotyölavojen ja rakennushissien suhteen. Lisäksi järjestelmällä voidaan tehdä myös mitoitettuja 2D-piirustuksia työmaista. Tämä ominaisuus palvelee lähinnä koneiden pystytyksen ja työmaalle sijoittelun suunnittelua.

Suunnittelujärjestelmästä on hyötyä myös rakennuskonevuokraamoille. Järjestelmän avulla vuokraamot voivat helposti suunnitella, millaisella kokoonpanolla ja kuinka sijoiteltuna heidän koneensa olisi vuokrattava kulloinkin kyseessä olevalle työmaalle.

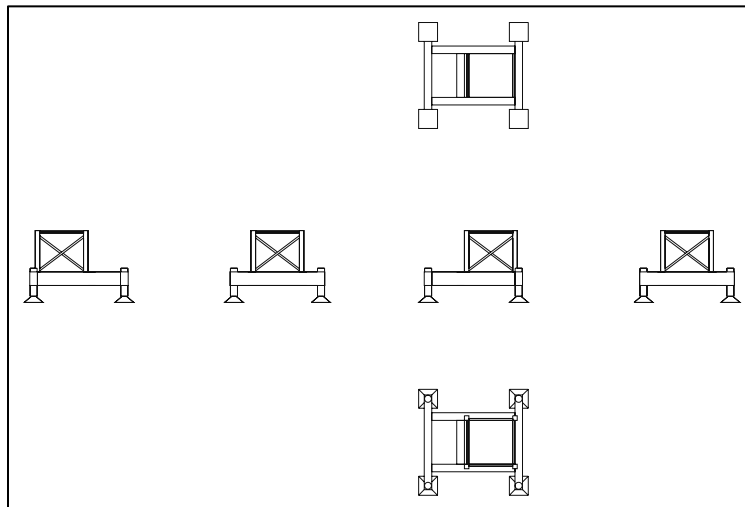
Keskimääräiseksi suomalaiseksi rakennustyömaaksi voidaan määritellä kerrostalon julkisivun kunnostus tai ikkunoiden vaihtotyö. Talon korkeus on 25 m ja työmaalla tarvitaan kaksi SC4000-mastotyölavaa 12,5 m pitkällä työlavalla. Tämän tai vastaavan rakennustyömaan suunnitteluun aikaa kuluu kokemuksen mukaan 10 - 50 minuuttia. Liitteenä 3 on kuva edellä mainitun keskimääräisen rakennustyömaan kokoonpanomallista 3D-muodossa ja liitteenä 4 kokoonpanomallista *view export* -toiminnolla tehty 2D-piirustus ylhäältä katsottuna. Piirustus on myös mitoitettu.

Aikaisemmillä menetelmillä eli teetettynä ulkopuolisella insinööritoimistolla tai mallintamalla työmaa alusta alkaen Vertexillä, olisi edellä mainitun työmaan suunnittelu vaatinut huomattavasti enemmän aikaa. Etenkin insinööritoimistossa teetettynä työ tulisi kohtuuttoman kalliiksi. Todennäköisesti näin tavallista työmaata ei olisi vanhoilla menetelmillä mallinnettu tai piirretty laisinkaan, vaan olisi tyydytty korkeintaan käsin tehtyyn luonnokseen. Nyt kuitenkin, koska 3D-mallin teko sujuu näinkin lyhyessä ajassa ja siitä saadaan helposti mitoitettu 2D-piirustus, kannattaa näinkin yksinkertaisia työmaita mallintaa pystytyksen ja koneiden sijoittelun helpottamiseksi.

Työmaiden suunnittelu voidaan toteuttaa sekä 2D- että 3D-muodossa. Näistä 3D on luonnollisesti näyttävämpi ja paremmin havainnollistava vaihtoehto. 3D on myös toimivampi vaihtoehto järjestelmän käyttöä ajatellen. Koska mallit on rakennettu 3D-tilassa ja näistä on otettu 2D-kuvannot, mallien liittäminen toisiinsa on helpompaa ja selkeämpää 3D-tilassa. Tämä on mallien luontivaiheessa tietoisesti tehty valinta, joka perustuu siihen, että yhä enenevässä määrin koneiden suunnittelu on siirtymässä 3D-muotoon. Mallit on suunniteltu siten, että järjestelmän käyttö olisi mahdollisimman yksinkertaista. Tämä mahdollistaa käytön myös kokemattomille CAD-ohjelman käyttäjille.

### 3.2 Suunnittelujärjestelmän käyttö 2D-muodossa

Käytettäessä järjestelmää 2D-tilassa valitaan aluksi suunta, josta työmaata halutaan mallintaa. Työmaata voidaan mallintaa mistä tahansa koneiden suhteen kohtisuorasta suunnasta eli edestä, takaa, molemmilta sivuilta, päältä sekä alhaalta. Näistä varmasti yleisimmin käytetään päältä katsottua piirustussuuntaa. Työmaasta piirretään mastotyölavoja tai rakennushissejä tarvitsevan rakennuksen profiili, jonka jälkeen koneiden sijoittelu kohteeseen voidaan aloittaa. Koneiden lisääminen kohteeseen tehdään samalla periaatteella kuin oikea pystyttäminenkin, eli aloitetaan luonnollisesti alustasta, josta nouseaan ylöspäin mastojaksoja lisäämällä. 2D-kuvantojen tuomisessa piirustukseen on huomioitava, että yksi tiedosto sisältää kappaleesta kuvannot kaikista kohtisuorista suunnista katsottuna (kuva 6). Kappaleen liittämisen jälkeen on siis ylimääräiset kuvannot poistettava.



**Kuva 6** SC1300- ja SC4000-mastotyölavojen minialustan 2D-kuvannot

Masto ankkuroidaan eli kiinnitetään seinään, tai muuhun vastaavaan pintaan rakennuksessa määräysten vaatimalla tavalla riittävin välein. Näissä kohdissa siis kirjastosta valitaan paikkaan sopiva ankkurointisarja ja liitetään se mastossa sille varattuun paikkaan. Ankkurointi on hankalin osa kokoonpanopiirustuksen luontia, sillä se on lähes aina erilainen. Maston etäisyys ankkurointipinnasta vaihtelee, samoin vaihtelee ankkurin kiinnityspisteiden etäisyys toisistaan kohteesta riippuen.

Kirjastoon tehdyt ankkuroinnit ovatkin eräänlaisia keskiarvoja näistä kahdesta muuttujasta. Ankkurointia voi siis joutua muokkaamaan kohteen mukaan. Ankkurointiputkia voi joutua pidentämään tai lyhentämään tai niiden kulmaa muuttamaan.

Tehtäessä kokoonpanoa mastotyölavasta varsinainen työlava voidaan sijoittaa mihin kohtaan mastoa tahansa. Sijoittamalla työlava esimerkiksi maston puolenvälin yläpuolelle saadaan näyttävämpi piirustus kuin sijoittamalla se alas lähelle alustaa. Työlavan sijoituksessa on huomioitava, että peruslava sisältää automaattisesti yhden mastojakson, eli se sijoitetaan maston jatkeeksi ja siitä myös jatketaan mastojaksolla. Kun peruslava on lisätty kokoonpanokuvaan, sitä voidaan missä vaiheessa tahansa pidentää lavajaksoilla.

Rakennushissin SC1532/2032F kokoonpanossa voidaan noudattaa samaa periaatetta kuin mastolavoilla. Ensin siis sijoitetaan hissien ala-asema ja siitä jatketaan ylöspäin mastojaksoilla. Korin voi sijoittaa mille tahansa korkeudelle mastoon. Myös SC1532/2032F-hissikori sisältää yhden mastojakson. Ankkurointi tapahtuu samaan tapaan kuin mastolavoillakin.

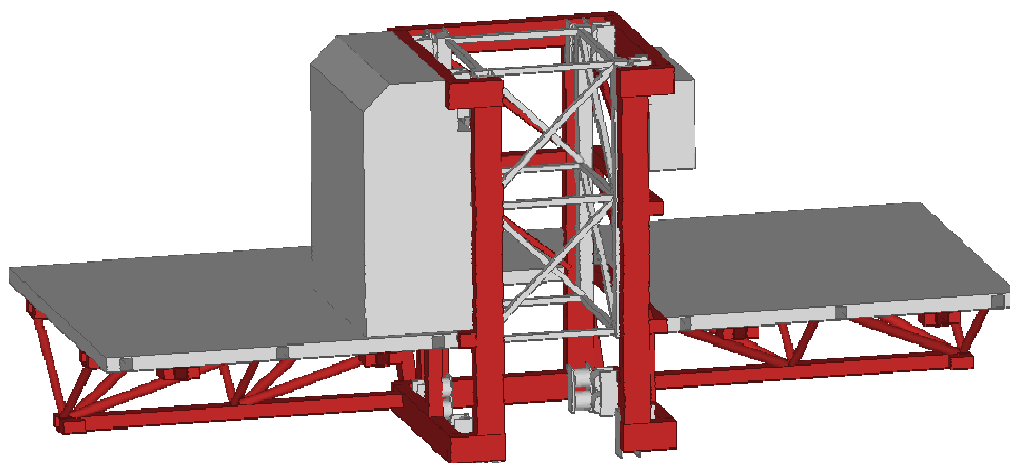
Vanhempien rakennushissien eli mallien PM1200 ja M600 kokoonpanossa kori on automaattisesti ala-asemassa. Tämä johtuu siitä, että päätös oli tehdä mallit myyntikomponenttien mukaisiksi ja näiden hissien perusosa sisältää sekä ala-aseman että hissikorin. Muuten kokoonpanopiirustusten luonti noudattaa samaa periaatetta kuin hissien SC1532/2032F.

Valmiin kokoonpanopiirustuksen voi haluttaessa mitoittaa, jolloin piirustuksesta saadaan pätevä asennuspiirustus. Tämä taas helpottaa ja nopeuttaa rakennuskoneiden pystytystä. Liitteenä 4 on mitoitettu kokoonpanopiirustus työmaasta, jossa käytetään kahta SC4000-mastotyölavaa 12,5 m:n pituisella työlavalla.

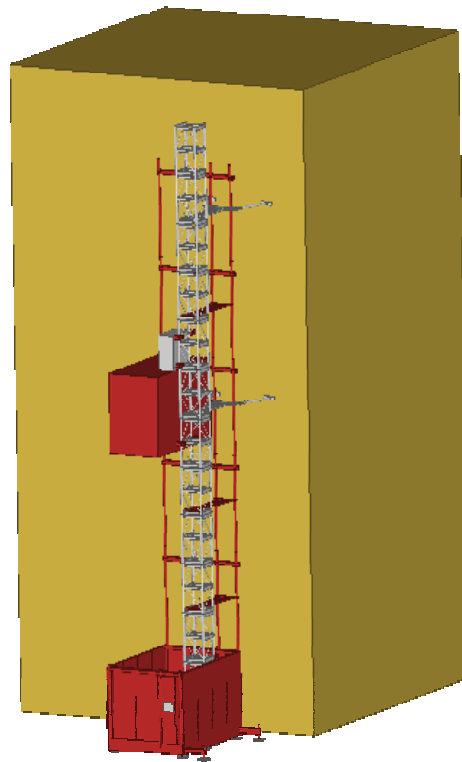
### 3.3 Suunnittelujärjestelmän käyttö 3D-muodossa

Luvussa 3.1 mainittiin ja perusteltiin, miksi suunnittelujärjestelmän käyttö 3D-muodossa on parempi vaihtoehto kuin käyttö 2D-muodossa. Työmaan suunnittelun toimintajärjestys on kuitenkin molemmissa muodoissa sama. Ensin kannattaa siis tehdä malli rakennuksesta, jossa mastotyölavoja ja/tai rakennushissejä käytetään. Tämän jälkeen koneiden lisääminen kokoonpanomalliin on suositeltavaa aloittaa alhaalta ylöspäin.

Moduulit on tehty jokainen omaksi yhtenäiseksi kappaleekseen, joten niitä on helppo liikutella oikeisiin paikkoihin kokoonpanomalleja tehtäessä. Tämä estää myös käyttäjää hajottamasta moduulia. Toisin sanoen kun malliin tarttuu tai sitä liikuttaa, se aktivoituu ja liikkuu kokonaisuudessaan. Moduulien kokoonpano on sama 3D-malleissa ja niiden 2D-kuvannoissa, joten työlavojen ja hissikorien lisääminen toimii samalla tavalla kuin 2D-muodossa. Samoin lavajaksojen lisääminen työlavaan voidaan tehdä milloin tahansa. Muistettava on, että peruslava (kuva 7) sisältää automaattisesti yhden mastojakson. Kuvassa 8 on esimerkki SC1532/2032F-rakennushissin kokoonpanomallista.

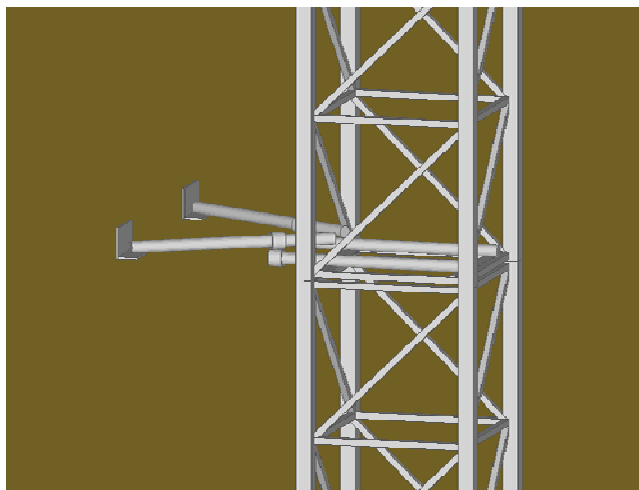


**Kuva 7** SC4000-mastotyölavän peruslava



**Kuva 8** SC1532/2032-rakennushissin kokoonpanomalli

Ankkurointia tehtäessä kohdataan 3D-muodossa samoja ongelmia kuin 2D-muodossa, eli ankkuriputkien pituutta ja seinäkiinnikkeiden etäisyyttä joudutaan säätämään kohteen mukaan. 3D-muodossa putkien venyttäminen ja kulman muuttaminen on kuitenkin huomattavasti helpompaa kuin 2D-muodossa. Kuvassa 9 on SC4000-mastotyölavän vakioseinäankkurointi 3D-kokoonpanomallissa.



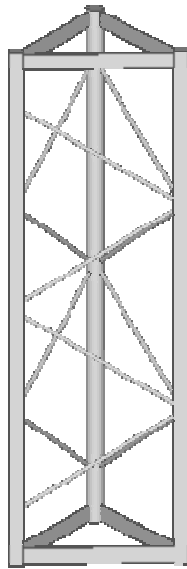
**Kuva 9** SC4000-mastotyölavän vakioseinäankkurointi mastoon ja rakennukseen kiinnitettynä.

3D-muodossa olevasta kokoonpanomallista voidaan tarvittaessa useimmilla CAD-ohjelmilla tehdä 2D-kuvannot ja lisäksi mitoittaa nämä asennuspiirustuksiksi. Tämä onnistuu myös VariCADillä, joten suunnittelun tekeminen 3D-muodossa on siinäkin mielessä suositeltavaa, että haluttaessa kohteesta 2D-työmaapiirustukset samaan lopputulokseen päästään, vaikka itse suunnittelutyö olisikin tehty 3D-muodossa.

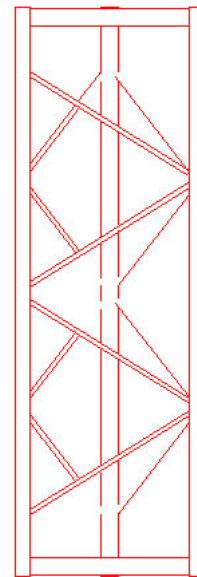
### 3.4 VariCAD suunnittelutyökaluna

Taka-ajatuksena VariCADin valinnalla suunnittelujärjestelmän pohjaksi oli samalla testata tällaista niin sanottua halpa-CAD-ohjelmaa käytännössä. VariCADin halpa hinta houkuttelee harkitsemaan vakavasti ohjelmaa jopa yrityksen ainoaksi CAD-ohjelmaksi. Työtä tehtäessä huomattiin kuitenkin, että VariCADin laajuus ja toiminnot eivät riitä siihen, mitä suunnittelussa vaaditaan.

VariCADin 2D-toiminnoilla saadaan kyllä tehtyä teknisiä piirustuksia, mutta se on huomattavasti hankalampaa ja enemmän aikaa vaativaa kuin esimerkiksi AutoCADillä. 3D-puolella malleja luotaessa huomataan, että VariCAD ei varsinaisesti ole mallinnusohjelma. Verrattuna esimerkiksi Catiaan mallien tekeminen ja erityisesti niiden muokkaaminen on VariCADillä vaikeampaa. Myöskään 2D-piirustusten tekeminen 3D-malleista *view export* -toiminnolla ei suju täysin mutkattomasti. Jos kappaleessa on vinoja tai päällekkäisiä erisuuntaisia pintoja piirustuspintaan nähden, jättää VariCAD osan viivoista pois (vertaa kuvia 10 ja 11).



**Kuva 10** M600-rakennushissin mastojakson 3D-malli.



**Kuva 11** M600-rakennushissin mastojakson 2D-kuvanto 3D-mallista *view export* -toiminnolla tehtynä.

Kaiken kaikkiaan VariCAD ei ole riittävän laaja toiminnoiltaan ainoaksi CAD-ohjelmaksi yritykselle. VariCADiä ei ole myöskään yhtä sujuva käyttää kuin markkinoilta löytyviä kilpailevia tunnettuja ohjelmistoja. Tässä kehitettyyn suunnittelujärjestelmään VariCAD soveltuu varsin hyvin, mutta laajempaan piirustus- tai mallinnustyöhön se ei ole paras mahdollinen ohjelmisto.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

### 4.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Luotaessa suunnittelujärjestelmää, jossa käytetään valmiita malleja yrityksen tuotteista, on selvää, että järjestelmä ei varsinaisesti koskaan tule valmiiksi. Yritys tuo markkinoille uusia tuotteita ja pyrkii parantamaan vanhoja tekemällä niihin erilaisia muutoksia. Tuotevalikoima siis elää jatkuvasti ja tämä edellyttää myös suunnittelujärjestelmän jatkuvaa päivitys- ja ylläpitotyötä.



Aivan kaikkia työlle asetettuja tavoitteita ei tällä aikamäärällä ollut mahdollista saavuttaa. Kun työn todellinen laajuus oli selvinnyt, se päätettiin rajata siten, että työmäärä vastaisi tutkintotyön laajuutta. Alkuperäisenä ajatuksena oli saada myyntivalmis rakennustyömaiden suunnittelujärjestelmä, mutta jo projektin alkuvaiheessa huomattiin, että käytettävissä oleva aika ei siihen riitä. Niinpä päätettiin kehittää järjestelmä sellaiseen pisteeseen, että sen toimintaa päästäisiin yrityksessä testaamaan. Järjestelmän saattaminen myyntikuntoon vaatii testausta sekä palautetta ja parannusehdotuksia käyttäjiltä. Tähän vaaditaan niin paljon aikaa, ettei sitä ollut enää järkevää toteuttaa tutkintotyön yhteydessä. Testauksen myötä myös varmasti selviää kumpi muoto, 2D- vai 3D-, on sopivampi rakennustyömaiden suunnitteluun. Koska kaikkia mastolavojen ja rakennushissien lisäosia ei ollut järkevää mallintaa kirjastoon, koekäytöllä nähdään myös, puuttuuko mallikirjastosta joitakin oleellisia moduuleja.

Haaveena oli saada yhtenä lisäominaisuutena suunnittelujärjestelmään liitetyksi vuokratustannusten laskenta. Vaikka varsinaiset laskutoimitukset vuokratustannuksia laskettaessa ovat hyvinkin yksinkertaisia, huomattiin asian tutkimisen jälkeen, että laskentatoiminnon liittäminen suunnittelujärjestelmään ei ollut yhtä yksinkertaista. Alkuperäinen ajatus oli liittää laskenta VariCADissäkin olevaan osaluettelotoimintoon. Tätä mahdollisuutta tutkittiin ja kokeiltiin lisäämällä 3D-malleihin ja 2D-blokkeihin yhtenä ominaisuutena (*attributes*-toiminnolla) moduulin vuokrahinta. VariCAD ei kuitenkaan osannut laskea vuokrahintoja osaluetteloon eikä siitä saatavaan tekstitiedostoon, joten tästä ajatuksesta luovuttiin.

Seuraavaksi kokeiltiin, onnistuisiko vuokratustannusten laskenta kappaleen massan avulla. Nyt vuokrahinta lisättiin moduulin ominaisuuksiin massan tilalle ja jälleen luotiin osaluettelo. Tulokset eivät kuitenkaan olleet tyydyttäviä. Havaittiin, että ainoa laskutoimitus, jonka VariCAD tekee osaluetteloa luodessa on kappalemäärän laskenta. Näiden tietojen pohjalta luovuttiin ajatuksesta vuokratustannusten laskennan liittämisestä kokoonpanokuvien luontiin ja päätettiin, että kustannuslaskenta toteutettaisiin erillisenä taulukkolaskentalomakkeena.

Koska 2D-blockeihin ja 3D-malleihin lisättiin *attributes*-toiminnolla moduulin nimi, osanumero, paino ja kappalemäärä ja VariCAD osaa summata kappalemääriä, voidaan kokoonpanomallista luoda osaluettelo, josta selviää kunkin moduulin kappalemäärät. Osaluettelosta voidaan ottaa kappalemäärät taulukkolaskentaan joko VariCADin tekstitiedoston kautta tai taulukkolaskentaohjelman makro-toiminnolla ja liittää vuokratustannusten laskenta tällä tavoin suunnittelujärjestelmään.

Tärkeintä asetettujen tavoitteiden saavuttamista pohtiessa on, että kaikille täyttämättömiksi jääneille vaatimuksille löydettiin menetelmä, jolla ne voitaisiin toteuttaa. Niinpä projektia onkin helppo lähteä jatkamaan ja järjestelmää kehittämään.

## 4.2 Parannusehdotuksia

Vaikka projekti on jo saatu testausvaiheeseen ja perusasiat alkavat olla selvillä, järjestelmästä löytyy vielä parannettavia ja tutkittavia kohteita. Kuten luvuista 3.2 ja 3.3. kävi ilmi, suunnittelujärjestelmän suurimmat epäkohdat ovat varmasti 2D-muodossa toteutettavassa suunnittelusysteemissä.

Ehdotus on, että kokoonpanokuvat luotaisiin kokonaan 3D-muodossa sen helppouden ja selkeyden vuoksi. Jos työmaista kuitenkin haluttaisiin 2D-kuvannot, ne saataisiin edelleenkin VariCADin *view export* -toiminnolla. Koska näin tehdyt 2D-kuvannot ovat vastaavanlaisia kuin tehtäessä koko kokoonpano 2D-muodossa, voidaan piirustukset myös mitoittaa normaalisti. Hankaluutena 2D-muodossa tehtävässä työmaan suunnittelussa on myös se, että kokoonpanopiirustukset saadaan vain siitä yhdestä suunnasta kerrallaan, josta moduulien kuvannot ovat. 3D-muodossa tehtävästä kokoonpanomallista taas voidaan ottaa *view export* -toiminnolla 2D-kuvannot kaikista kohtisuorista suunnista. Eli käytettäessä 3D-muotoa lopputulos olisi sama kuin käytettäessä 2D-muotoa, mutta varsinaista kokoonpanotyötä ei tarvitsisi tehdä kuin kerran ja 2D-kuvantojen lisäksi työmaasta saataisiin havainnollistava 3D-malli. Ehdotusta puoltaa myös se, että suunnittelu yleisesti on siirtymässä 3D-muotoon.

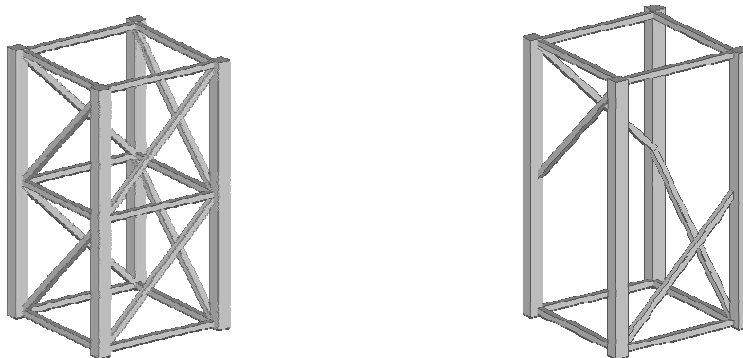
Jos kuitenkin suunnittelujärjestelmässä halutaan pitää mahdollisena toimimista pelkästään 2D-muodossa olisi kuvannot, jotka ovat tällä hetkellä omia kappaleitaan (*blockeja*), tallennettava kukin omaksi tiedostokseen VariCADin *save block*-toiminnolla. Tällöin kuvannon tiedostomuodoksi tulee BKB ja kuvannot ovat erillään toisistaan. Tämä mahdollistaa yksittäisen kuvannon liittämisen kokoonpanopiirustukseen sen sijaan, että kuvannot tulevat yhtenä pakettina jokaisesta kohtisuorasta suunnasta kaikki kerralla ja niistä ylimääräiset joudutaan poistamaan turhina.

Tekemällä kuvannoista omia tiedostojaan selkeytetään 2D-muodossa tehtävää kokoonpanoa, mutta samalla kuvannoista syntyy uusi oma kirjastonsa. Tässä tapauksessa koko järjestelmän rakenne jakautuu kahdeksi erilliseksi osaksi: 2D-kirjasto, joka sisältää rakennuskoneiden moduuleista 2D-kuvannot kaikista kohtisuorista suunnista katsottuna, ja 3D-kirjasto, joka sisältää moduuleista 3D-mallit.

Vaikka mallit moduuleista ovatkin jo valmiita ja käyttökelpoisia, voi olla, että niiden kokoonpanon tarkkuutta joudutaan vielä muokkaamaan. Jos testausvaiheessa ilmenee, että kokoonpanomalleista tai piirustuksista tulee liian raskaita joudutaan miettimään, kuinka malleja voisi vielä yksinkertaistaa siten, että ne silti näyttäisivät oikeanlaisilta ja niiden yhteen liittäminen olisi edelleen sujuvaa. Pelkistäminen kannattaisi aloittaa masto- ja lavajaksojen tukiputkien vähentämisellä. Koska suurilla rakennustyömailla käytetään montaa mastotyölavaa ja/tai rakennushissiä samanaikaisesti, tulee työmaille myös useita masto- ja lavajaksoja.

Esimerkiksi jos kohtuullisen suurella työmaalla tarvitaan viisi SC5000-mastotyölavaa, joista jokaiseen vaaditaan työlavan pituudeksi 14 m ja kunkin koneen työskentelykorkeudeksi halutaan 30 m, tulee silloin työmaalle yhteensä 40 lavajaksoa ja 120 mastojaksoa kun huomioidaan myös jokaiseen nostokehikkoon sisältyvät kaksi lavajaksoa ja yksi mastojakso. Liitteenä 5 on kuva edellä määritellyn työmaan kokoonpanomallista. Tämän kokoonpanomallin kooksi tulee 3,59 megatavua. Poistamalla mastojaksosta yhteensä kahdeksan tukiputkea saadaan mastojakson tiedostokoko pienennettyä 24:stä kilotavusta 16:een. Tällöin saman

työmaan kokoonpanomallin tiedostokooksi tulee 2,96 kilotavua. Mastojaksoja pelkistämällä tiedostokokoa saadaan siis pienennettyä 17,5 %. Yksittäistä mastojaksoa tarkkailtaessa pelkistetyn ja alkuperäisen mastojakson eron huomaa hyvinkin helposti (kuva 12), mutta työmaan layout-kuvista (liitteet 5 ja 6) eroa ei juurikaan huomaa.



**Kuva 12** SC5000 mastotyölavän mastojaksot. Vasemmalla alkuperäinen ja oikealla pelkistetty.

Masto- ja lavajaksojen pelkistäminen olisi varmasti paras tapa keventää malleja myös niiden ulkomuodon kannalta. Tukiputkien poistaminen ei vielä ratkaisevasti vaikuttaisi mallien ulkonäköön. Mallien ulkonäkö on kuitenkin eräs oleellisista seikoista, kun ajatellaan suunnittelujärjestelmän markkinointia. Mitä paremmin mallien ulkonäkö vastaa niiden todellista ulkonäköä, sitä näyttävämpiä työmaapiirustuksia ja layout-kuvia järjestelmällä saadaan aikaiseksi.

Toisaalta jos koekäytössä todetaan, ettei malleista tule laajojakaan kokoonpanoja tehtäessä liian raskaita, voidaan mallien tarkennusta harkita. Mallien tarkentamiseen ei ole muita syitä kuin ulkonäköseikat. Järkevin ja ainoa merkittävä tarkennuskohde malleissa on kaiteiden lisääminen mastotyölavojen lavajaksoihin. Ilman kaiteita olevat mastotyölavat ovat ehkä hiukan puutteellisen näköisiä. Tässä vaiheessa kaiteet on jätetty kokonaan pois, sillä ne eivät juurikaan vaikuta varsinaiseen rakennustyömaiden suunnitteluun.

### 4.3 Projektin jatkosuunnitelmat

Rakennustyömaan suunnittelujärjestelmän kehittäminen jatkuu seuraavaksi testauksella Scaninterillä. Testauksen aikana järjestelmää kehitetään käyttäjien toiveiden ja huomattujen puutteiden mukaisesti. Koekäytön yhteydessä tullaan päättämään onko järjestelmän lopullinen käyttömuoto 2D vai 3D tai mahdollisesti laajempi järjestelmä, joka sisältää molemmat käyttömuodot erillisinä mallikirjastoina.

Kuten luvussa 3.1 mainittiin rakennushisseille SC1532/2032F ja PM1200 on tehty kirjastoon valmiita kokoonpanomalleja putkilinjatuista. Tätä toimintamallia olisi viisasta noudattaa enemmänkin. Valmiita kokoonpanoja voisi tehdä erilaisista yhdistelmistä ja myös täydellisistä koneista ainakin yleisimmillä kokoonpanoilla, jolloin niiden liittäminen mallinnettuun työmaakohteeseen olisi nopeampaa ja yksinkertaisempaa. Koekäytössä selviää, millaisia kokoonpanoja yleisimmin tarvitaan ja sen perusteella voidaan laajentaa kirjastoa kokoonpanomalleilla.

Koekäytön aikana ilmenneiden epäkohtien korjaamisella järjestelmä pyritään saamaan myyntivalmiiksi tuotteeksi, mikä on samalla projektin seuraava tavoite. Suunnittelujärjestelmän myyntivalmius tarkoittaa sitä, että sillä voidaan tehdä työmaasuunnittelua perustuotteilla ilman ongelmia.

Yksi pohtimisen arvoinen seikka on järjestelmän myyntitapa ja myytävän mallikirjaston tiedostomuoto. Myynti voidaan toteuttaa siten, että mallikirjasto on ladattavissa Internetistä yrityksen verkkosivuilta ja/tai tallennettuna CD-levylle. Asiakkaalle nopeampi tapa olisi ladata materiaali verkkosivuilta, jolloin järjestelmä olisi käyttövalmis heti. Tämä vaatii tietysti myös maksun mahdollistamisen myös verkon kautta. Toisaalta yritykselle yksinkertaisempi tapa saattaa olla kirjaston tallentaminen CD-levylle ja tämän toimittaminen esimerkiksi postitse asiakkaalle. Suositeltavin ja asiakkaita parhaiten palveleva myyntitapa olisi tietysti toteuttaa molemmat myynnin muodot.

Myytävää mallikirjastoa olisi hyvä saada useammissa eri tiedostomuodoissa. VariCADin käyttäjille järkevin tiedostomuoto on tietysti ohjelmiston oma DWB-muoto, mutta esimerkiksi AutoCADin käyttäjien olisi hyvä saada mallikirjasto DWG-muodossa. STEP-muoto puolestaan palvelisi parhaiten ainakin Vertexin käyttäjiä. Muita VariCADilla saatavia tiedostomuotoja ovat DXF ja IGES. Lopullisen kirjaston käyttö onnistuu siis tallennusmuodon mukaisesti CAD-ohjelmilla, jotka pystyvät avaamaan DWG-, DXF-, IGES- tai STEP-muotoisia tiedostoja. Selvitettäväksi jää myös, onko VariCADille mahdollista saada jälleenmyyntilupaa, jolloin asiakkaat, joilla ei vielä CAD-ohjelmistoa ole voisivat hankkia VariCADin suunnittelujärjestelmän hankkimisen yhteydessä.

Vuokrakustannusten laskentaan olisi laadittava sopiva taulukkolaskentalomake. Lomake olisi luotava siten, että sille annetaan syöttötietoina työmaalla tarvittavat moduulit ja niiden kappalemäärä, yksittäiselle moduulille kuukausivuokrahinta ja vuokra-aika. Näiden muuttujien mukaan laskentalomake summaisi kokoonpanolle kuukausivuokrahinnan. Kuten jo luvussa 4.1 mainittiin kunkin moduulin kappalemäärä voidaan ottaa kokoonpanomallista VariCADin osaluettelotoiminnolla, jolloin suunnittelujärjestelmä olisi kiinteästi yhteydessä vuokrakustannusten laskentaan.

## LÄHTEET

1. Karvonen, Seppo, Teknisen myynnin johtaja. Haastattelu 22.10.2004. Oy Scaninter Nokia Ltd.
2. Scanclimber. [www-sivu]. [viitattu 27.3.2005]. Saatavissa: <http://www.scanclimber.com>
3. Gauffin, Merja, Press Release, Scanclimberin lehdistötiedote, 27.1.2005.
4. Autodesk. [www-sivu]. [viitattu 30.3.2005]. Saatavissa: <http://www.autodesk.fi>
5. Linux Online. [www-sivu]. [viitattu 11.8.2004]. Saatavissa: <http://www.linux.org/apps/all/Office/CAE.html>
6. VariCAD. [www-sivu]. [viitattu 12.8.2004]. Saatavissa: <http://www.varicad.com>

## **LIITTEET**

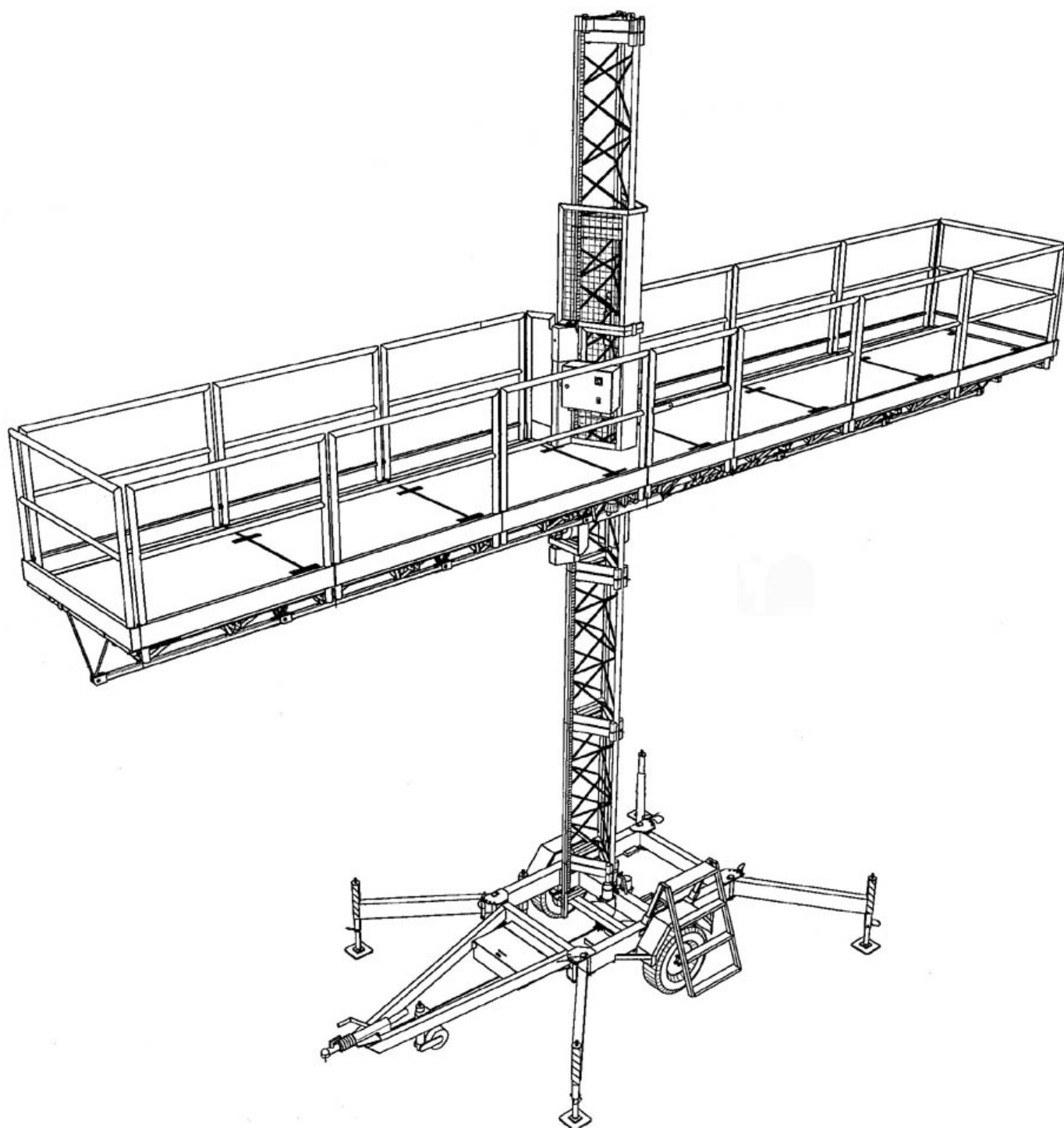
1. Kuva SC1000-mastotyölävan kokoonpanosta
2. Kuva suunnittelujärjestelmällä tehdystä SC1000-mastotyölävan 3D-kokoonpanomallista
3. Kuva keskimääräisen suomalaisen rakennustyömaan kokoonpanomallista
4. Mitoitettu kokoonpanopiirustus liitteen 3 kokoonpanomallista
5. Kuva rakennustyömaan kokoonpanomallista
6. Kuva rakennustyömaan kevennetystä kokoonpanomallista



## Kuva SC1000-mastotyölavän kokoonpanosta

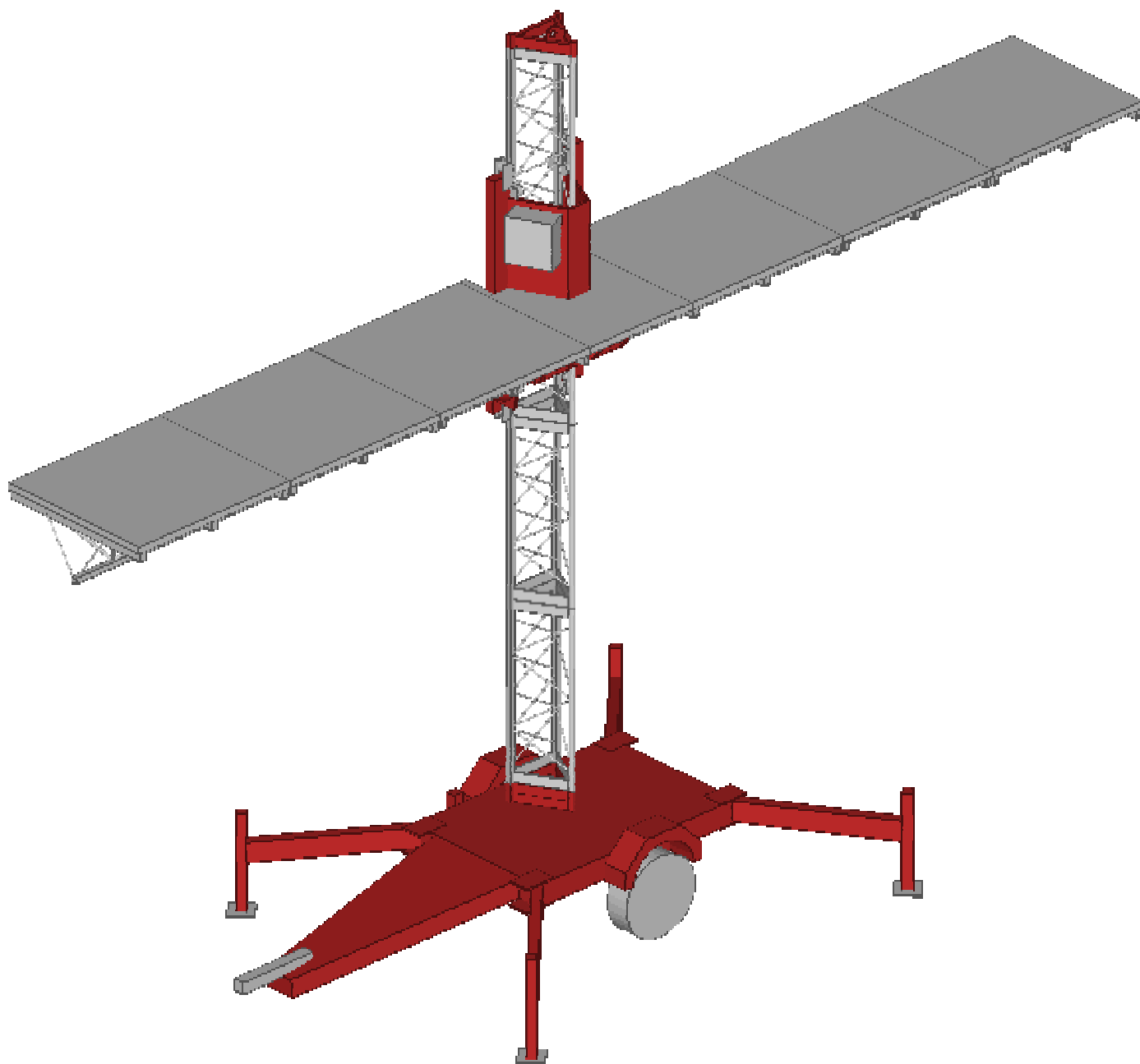
Kokoonpanokuvan komponentit:

- pyöräalusta X-asento
- mastojakso 1,5 m 4 kpl
- peruslava SC1000
- lavajakso 1,5 m 4 kpl
- huippukappale.



## Kuva suunnittelujärjestelmällä tehdystä SC1000-mastotyöalavan 3D-kokoonpanomallista

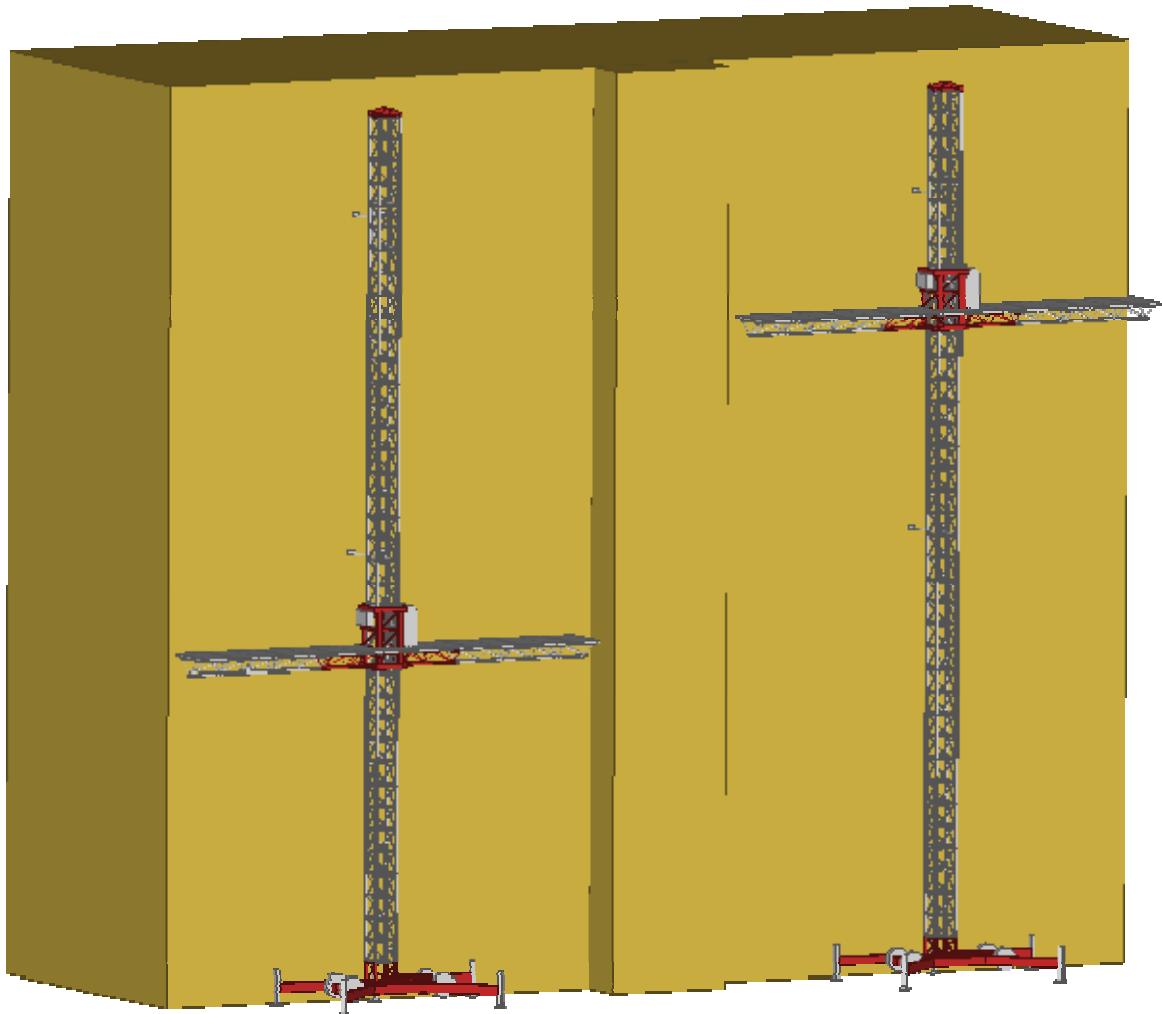
Kokoonpano sama kuin liitteen 1 kuvassa.



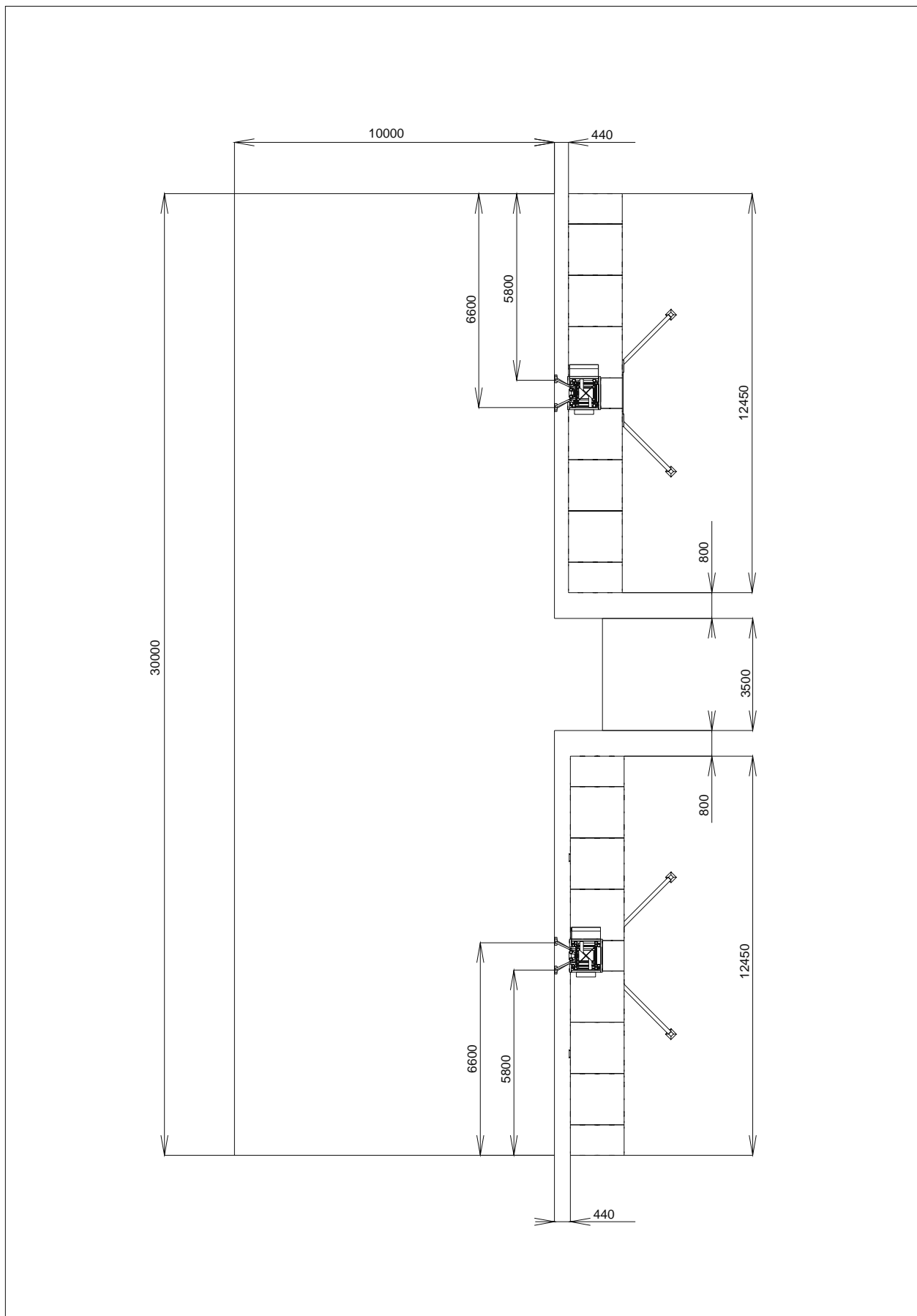
**Kuva keskimääräisen suomalaisen rakennustyömaan 3D-mallista**

Kokoonpanomallin komponentit:

- pyöräalusta K-asento 2 kpl
- mastojakso 1,5 m 36 kpl
- peruslava SC4000 2 kpl
- lavajakso 1,6 m 8 kpl
- lavajakso 1,0 m 4 kpl
- pystysäätöankkurisarja 2 kpl
- vakioankkurisarja 2 kpl
- huippukappale 2 kpl.

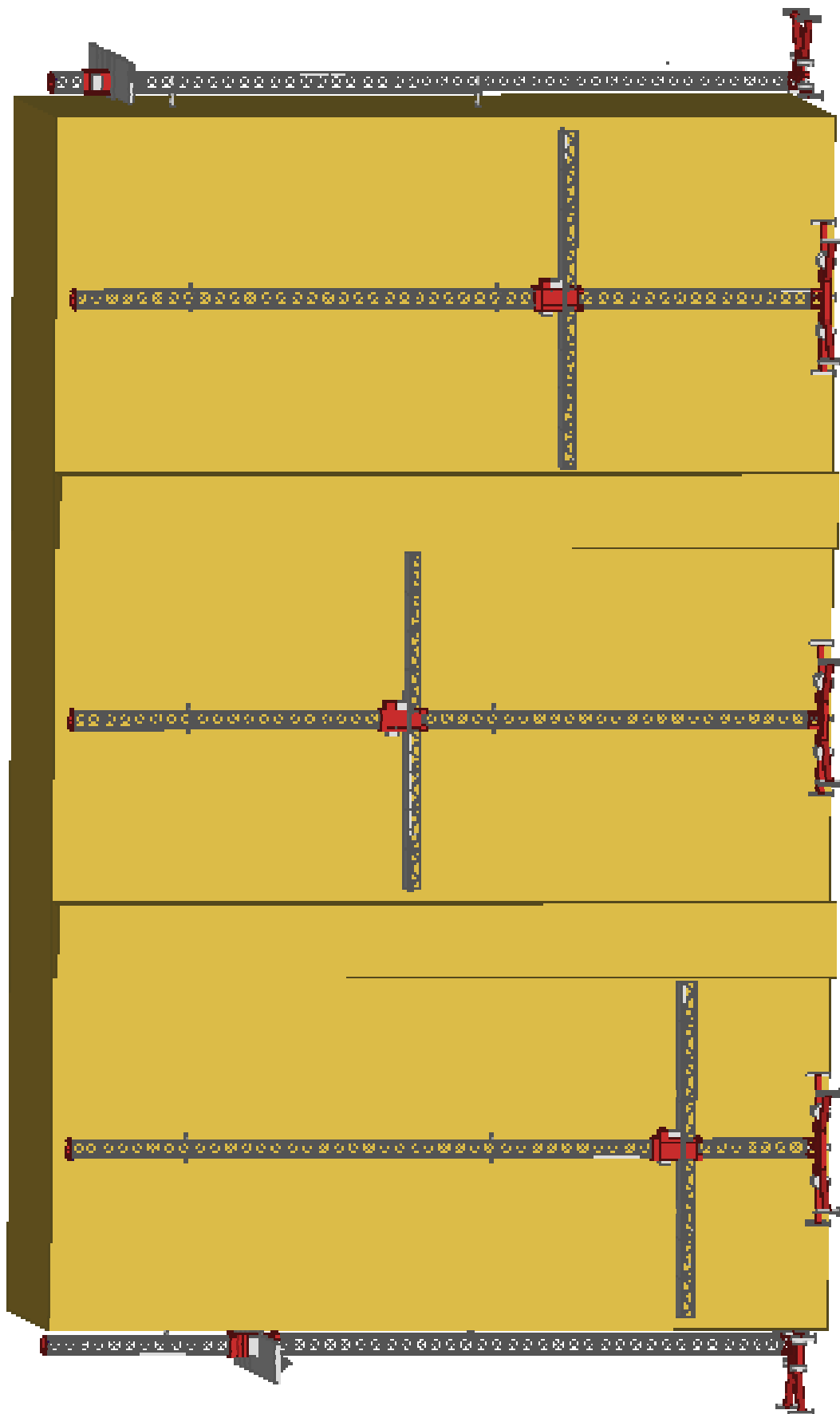


## Mitoitettu kokoonpanopiirustus liitteen 3 kokoonpanomallista



## Kuva rakennustyömaan kokoonpanomallista

Työmaalla käytetään viittä SC5000-mastotyölavaa 30 m:n mastolla ja 14 m pitkällä työlavalla.



**Kuva rakennustyömaan kevennetystä kokoonpanomallista**

Työmaan koneet ovat samat kuin liitteessä 5. Mastojaksoja on kevennetty poistamalla niistä tukiputkia.

