



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lauri Arvi Johannes Kojola

TOP DOWN SUUNNITTELU JA FEA- LASKENTA ASTIAHISSILLE OM-2K

Tekniikka ja liikenne

2010

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulussa Tekniikan ja Liikenteen yksikössä kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman päättötyönä. Työn toimeksiantajana on Närpiössä sijaitseva Närpiön Puu & Metalli (NTM).

Työn ohjaajana toimi Vaasan ammattikorkeakoulussa lehtori Timo Gröndahl, sekä NTM:ssä suunnitteluinsinööri Miika Lärka. Suunnitteluohjelmistoon liittyvissä ongelmissa auttoi konsultti Rami Nevala.

Työn toimeksiantaja NTM ei halunnut julkistaa tietoa työkohteesta, astiahissistä. Tästä syystä työn teoriaosuus on tehty yleisellä tasolla, ja käytetyt esimerkkikuvat eivät liity työn kohteena olevaan laitteeseen.

Haluan kiittää kaikkia minua opinnäytetyössäni auttaneita henkilöitä, suuresta avusta ja tärkeistä neuvoista. Erityisesti haluan kiittää NTM:n henkilöstöä, sekä Rami Nevalaa hyvästä opinnäytetyön aiheesta. Haluan myös kiittää kaikkia opinnäytetyössä osallisina olleita joustavasta yhteistyöstä.

Pöytyällä 22.4.2010

Lauri Kojola

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Lauri Kojola
Opinnäytetyön nimi	TOPDOWN SUUNNITTELU JA FEA- LASKENTA ASTIAHISSILLE OM-2K
Vuosi	2010
Sivumäärä	33+2
Ohjaaja	Timo Gröndahl

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda astiahissistä OM-2K, 3D-malli, lujuuslaskenta, sekä testata topdown- suunnittelun sopivuus toimeksiantajayrityksen toimintoihin. Lisäksi tarkoituksena oli testata eNumerot -ohjelman toimivuus ja sopivuus Toimeksiantaja yritykseen. Tehty 3D-malli toimii esimerkkitapauksena yrityksen siirtäessä käyttämään 3D-mallinnusta.

Työ alkoi perehtymällä topdown- suunnitteluun, sekä lyhyellä perehdytyksellä käytettävän ohjelman tarvittaviin ominaisuuksiin. Mallintaminen aloitettiin tekemällä kat-saus, sekä skeletonmalli laitteesta. Mallinnustyö päättyi ehyen mallin muokkaamiseen lujuuslaskentaan soveltuvaksi. Viimeisenä vaiheena oli lujuuslaskenta (FEA), sen saatujen tulosten arviointi ja tarkastelu.

Lopputulokseksi saatiin ehyt 3D-malli, lujuuslaskentatulokset, sekä käyttökokemuksia eNumerot – ohjelmasta. Laskentatuloksien jälkikäsitteily jäi toimeksiantajalle yritykselle, heidän tuntiensa laitteensa toiminta perinpohjaisesti.

Asiasanat	3D-malli, lujuuslaskenta, topdown- suunnittelu
-----------	--

VASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Lauri Kojola
Title	Top down Design and FEA-analysis of the Waste Crane OM-2K
Year	2010
Language	Finnish
Pages	33+2
Name of supervisor	Timo Gröndahl

The objective of this thesis was to make a 3D-model of the OM-2K waste crane and make some strength calculations applying the model. The suitability of top down design method for NTM was also to be tested.

The thesis was started with guidance to the top down design method and the software features applied. Modelling was started by making a skeleton model of the waste crane, and ended having a full 3D-model prepared for strength calculations.

As a result, a full 3D-model and strength calculation results were made available. Good test experiences were obtained for the product data management database called eNumerot. Posts processing of the strength calculations were left for the engineers of NTM to be performed because they have the best knowledge of the waste crane to evaluate the FEA data.

The 3D-model made will work as example when NTM considers 3D modelling.

Keywords	3D-model, strength calculations, top down design
----------	--

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

Top down suunnittelu	Uusi piirtämismenetelmä (rakennepuuta edetään huipulta pohjalle)
eNumerot	Tuotetiedonhallintaohjelma
Skeletonmalli	Luuranko (2D-hahmotelma piirrettävästä laitteesta, sisältää tärkeimmät tiedot)
Block	Hahmotelma toiminnallisesta osasta skeletonmallissa (lohko)
Solid	Mallinnettu osa, joka sisältää vain pinnat (Umpinainen)
Standard.ipt	Osatiedosto Autodesk Inventorissa
Sketch	Luonnos
Derive	Johtaa (ohjausmalli)
Make Components	Tee osat (Komento Autodesk Inventorissa)
Ground and Root Components	Aseta ja kiinnitä osat (Komento Autodesk Inventorissa)
Bill of Materials	Materiaalilista (Komento Autodesk Inventorissa)
iProperties	Älykkään ominaisuudet (Komento Autodesk Inventorissa)
Neutraaliakseli	Levyn taivutuksessa akseli, jossa ei ole puristusta tai vetojännitystä taivutuksessa. (Levyn mitta ei muutu)
FEA	Fine element analysis (Pienten elementtien tarkastelu)
Fixed	Kiinteä (Muokattavissa vektorikomponenttien suunnassa)
Pin	Tappi (Salli pyörimisen akselin suunnassa)

Bonded	Liimattu
Sliding	Liukuva
Separation	Eroava/Irtoava
Shrink fit	Ahdistussovite
Ansys	Autodesk Inventorin sisältämä FEA-laskentaohjelma
Postprosessointi	Jälkikäsitteily

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT	5
SISÄLLYS	7
1 JOHDANTO	10
1.1 Opinnäytetyön tavoite	10
1.2 Laajuus ja sisältö	10
2 NÄRPIÖN PUU & METALLI (NTM)	11
2.1 Historia	11
2.2 Nykypäivä	11
2.2.1 Yleistä	11
2.2.2 Asiakaslähtöisyys	12
2.2.3 Tietotaito ja laatu	12
2.3 Jätteenkäsittelytuotteet	12
2.4 Laatu ja huolto	14
3 TOPDOWN SUUNNITTELU	15
3.1 Skeletonmalli	15
3.2 Skeletonmallin ja Blockien teko	16
3.3 Skeletonmallin jalostaminen solideiksi	18
3.4 Solidien teko	19
3.5 Solidista osaksi	21
3.6 Skeletonmallista kokoonpanoksi	22
4 FEA-LASKENTA	24
4.1 Yleistä	24
4.2 Tuennat	24
4.3 Kuormat	25
4.4 Kontaktit	25
4.5 Verkko	26
4.6 Tulosten tarkastelu	28

5	YHTEENVETO	30
5.1	Mallinnustyö	30
5.2	FEA-laskenta.....	30
5.3	Kokonaisuus.....	31
6	Kirjallisuutta	32
LIITTEET		

LIITELUETTELO

LIITE 1 Layout kuva astiahissistä kuljetusasennossa

LIITE 2 Layout kuva astiahissistä max. ulottuvuudella

LIITE 3 Sähköisessä muodossa oleva data

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa teollisuudelle hyödyllinen 3D-malli, käyttäen top-down – suunnittelumenetelmää. Luodusta mallista tehdään FEA-laskenta. Suunnittelun aikana käytetään hyväksi luurankomallia, josta saadaan toiminnalle tärkeät mitat hallitusti ja kootusti. Työn tarkoituksena on perehdyttää suunnittelija uusimpiin ja tehokkaampiin piirtomenetelmiin, niiden hyötyihin ja etuihin. Opittuja taitoja pystytään viemään edelleen teollisuuteen ja uusiin yrityksiin. Uudistuksilla saavutetaan huomattavaa kustannussäästöä, ja nopeutetaan erityisesti ryhmässä tehtävää suunnittelu- ja tuotekehitystyötä. Tavoitteena on myös perehtyä Autodesk Inventorin harvemmin käytettyihin ominaisuuksiin, sekä oppia käyttämään erityisesti tuottavuuteen vaikuttavia ominaisuuksia. Työssä tuotetiedon hallinta suoritetaan eNumerot- ohjelmalla.

1.2 Laajuus ja sisältö

Työ on luonteeltaan kaksijakoinen, se sisältää sekä tuotannon tehostamista, sekä FEA-laskentaa. Työssä ei tehdä uutta sovellusta, vaan ajetaan sisään uusi tapa asioiden tekemiseen. Työhön liittyy paljon suunnittelu ja piirtämistyötä, koska lähtökohtana olivat vanhat 2D-piirrustukset.

Työ koostuu uusien piirtomenetelmien tutkimisesta, niiden opiskelemisesta sekä vanhojen kuvien uudelleen käsittelemisestä. Työhön kuuluu olennaisena osana myös FEA-laskennan opiskeleminen, sekä laskentamallin tekeminen.

Osana työhön kuuluu eNumerot- ohjelman testausta, ja soveltuvuuskokeilua toimeksiantajayrityksen tarpeisiin ja vaatimuksiin.

2 NÄRPIÖN PUU & METALLI (NTM)

2.1 Historia

Närpiön Puu & Metalli (NTM) perustettiin 27. huhtikuuta vuonna 1950 ja sen suurimpana yksittäisenä osakkeenomistajana oli Lennart Nordin. Jo toukokuun ensimmäisenä päivänä samana vuonna alettiin rakentaa ensimmäistä 636 neliömetrin tehdasrakennusta. NTM:llä oli aluksi metalliosasto ja puutöiden valmistukseen tarkoitettu osasto. Tuotanto koostui muun muassa keittiökaapeista, huonekaluista, kottikärryistä, autotraktoreista ja lämpöpattereista. 1950-luvun puolivälissä valmistettiin listoitus Närpiön kirkkoon ja erilaisia kaappeja Närpiön sairaalaan. Lisäksi korjattiin maatalouskoneita.

Jo alusta asti korinvalmistus oli osa toimintaa. Kaikkein ensimmäisenä rakennettu ajoneuvo oli paloauto Ylimarkun kunnalle. Seitsemän linja-autokoriakin rakennettiin vuosina 1952–57. Kuorma-autojen sekä myymäläautojen ja lava-autojen koreja tuotettiin jo 1950-luvun ensimmäisellä puoliskolla.

Kuorma-autokorit ovat aina olleet NTM:n suuri tuote. Vaunujen lattiat ja seinät rakennettiin aluksi pelkästään puusta ja vanerista, jonka jälkeen siirryttiin teräskaareen ja alumiinipäälystyksiin kun ne lanseerattiin 1950-luvun puolivälissä. Vuonna 1968 NTM valmisti ensimmäisenä Suomessa kuorma-ajoneuvojen itsekantavat runkorakenteet. Vuonna 1976 lasikuitukori teki tuloaan ja vuonna 1977 kaappeihin saatiin kokonaan avattava sivuseinä. Tässäkin NTM oli ensimmäinen ja edelläkävijä Suomessa. Ensimmäiset jätepakkaajat valmistuivat NTM:ltä vuonna 1975 Ruotsin-vientiin. /3/

2.2 Nykypäivä

2.2.1 Yleistä

Nopeimmin kasvava tuotannonala on jätepakkaajat. Monien kehitysvaiheiden jälkeen jätepakkaajat muodostivat puolet yrityksen liikevaihdosta vuonna 2004. Valmistus käsittää kymmenkunta mallia, jotka pystyvät käsittelemään 6-35 kuutiota tiivistettyä jätettä. Ne ovat varustettu erityyppisille jätteille tarkoitetuilla lokeroilla ja erikoisjätteen säiliöillä, kaikki asiakkaan toiveiden mukaan. Modernimmat jätepakkaajat voivat

tyhjentää jäteastian alle 10 sekunnissa, kuljettajan istuessa hytissä. Asiakasta voidaan laskuttaa mikrosiruun tallentuneiden tietojen ja jätteen painon mukaisesti. /3/

2.2.2 Asiakaslähtöisyys

Valmiin tuotteen täytyy täyttää asiakkaan erikoisvaatimukset ja -toiveet. tämä Periaate on NTM:n toiminnan lähtökohtana, tarvittaessa tuote toimitetaan asiakkaalle ”avaimet käteen” periaatteella. Asiakaslähtöisyys tarkoittaa myös halua tarjota asiakkaalle parasta mahdollista palvelua ja huoltoa. /3/

2.2.3 Tietotaito ja laatu

Tietotaito NTM:ssä muodostuu pitkästä alan tuntemuksesta ja siihen sitoutumisesta. Jo yrityksen alusta lähtien, 50 vuotta sitten NTM on painottanut ammatillisen osaamisen merkitystä. Tämä saavutetaan antamalla henkilöstölle jatkuvasti uusia haasteita ja vaatimuksia sekä vahvan yhteishengen kehittämällä missä jokainen tietää oman tehtävänsä ja työskentelee yhtiön yhteisen päämäärän hyväksi; ”Valmistaa asiakkaan tarpeita vastaavia laadukkaita tuotteita”.

NTM-laatu on tilaus- ja toimitusprosessiin tehtyjen panostusten tulos. Valmistusvaiheessa jokainen komponentti testataan monin tavoin. Prosessi päättyy perusteelliseen lopputarkastukseen ennen toimitusta asiakkaalle. /3/

2.3 Jätteenkäsittelytuotteet

NTM valmista usean tyyppisiä jätteenkäsittelylaitteita kuorma-auton rungolle. Näitä laitteita on kolmentyyppisiä, perinteisiä takalastaajia, etulastaajia sekä uudentyypisiä sivulastaajia. Viimeksi mainittu on se lastaaja tyyppi, johon tässä työssä on keskitytty.

Kukin lastaaja tyyppi on parhaimmillaan erilaisissa tilanteissa. Takalastaaja on ehdottomasti monikäyttöisin, se soveltuu lähes kaikkiin tilanteisiin, mutta vaatii kuljettajan poistumisen ajoneuvon ohjaamosta.

Nykypäivänä pyritään panostamaan työntekijöiden jaksamiseen ja hyvinvointiin työssä, ja tämä lienee työtehon nostamisen ohella suuri syy siihen, että uusia astianosturityyppejä kehitetään. Työn tehokkuus kärsii ja rasitus kasvaa joka kerta,

kun kuljettaja joutuu poistumaan ohjaamosta, ja siirtymään ulos käyttämään nosturia ja siirtämään jäteastioita.

Suurempiin asutusyhteisöihin tai taloyhtiöihin onkin tullut suuria, 2-8 kuutiometriä tilavuudeltaan olevia jäteastioita. Nämä astia ovat jätteen keräämisen kannalta ehdottomasti tehokkaimpia. Rajoituksena on se, ettei normaali kotitalous pysty hyödyntämään suuren jäteastian tuomaa kapasiteettia järkevällä tyhjennysvälillä.

Kotitalouksien jätteenkäsittelyyn onkin tullut uusi käsittelylaite, sivulastaaja. Tämä nosturityyppi mahdollistaa kotitalouksien jätteen keräämisen nopeasti ja tehokkaasti kuljettajan poistumatta auton ohjaamosta. Tällä kyseisellä nosturiratkaisulla kokenut kuljettaja pystyy hyvissä olosuhteissa tyhjentämään yhden vuoron aikana jopa 800 jäteastiaa. Etu perinteiseen takalastaajaan on siis huomattava. Kuljettaja säästää päivän aikana noin 20 000 askelta, puhumattakaan ajallisesta säästöstä. Pahimmillaankin jäteastian tyhjennysyksi kestää vain 25 sekuntia. Tietysti pitää ottaa huomioon kaikki ne vaatimukset, joita tämä uudentyyppinen astianosturi jäteastioiden sijoittelulle asettaa.

Laite on suunniteltu erityisesti asutusalueille, joissa asukkaat tuovat oman kotitalousjäteastiansa tien viereen tiettyyn paikkaan, ja tiettyyn asentoon. Ettei työskentely ei menisi liian pikkutarkaksi, sallii astiahissi joitain poikkeuksia astian sijoittelussa. Sivulastaaja kykenee käsittelemään jäteastioita, joiden tilavuus on 80–660 litraa. Painoa astialla saa olla enintään 450 kilogrammaa. Kuvassa 1 on toimiva, tuotannossa oleva sivulastaaja.



Kuva 1. Sivulastaaja OM, valmistaja NTM

Nykyisten määräysten mukainen kierrätys on tuonut oman haasteensa jätteiden käsittelylle. NTM on vastannut tähän haasteeseen ottamalla käyttöön monilokeroiset jättepakkaajat. Nykyisellään käytössä on jopa nelilokeroisia jättepakkaajia. /3/

2.4 Laatu ja huolto

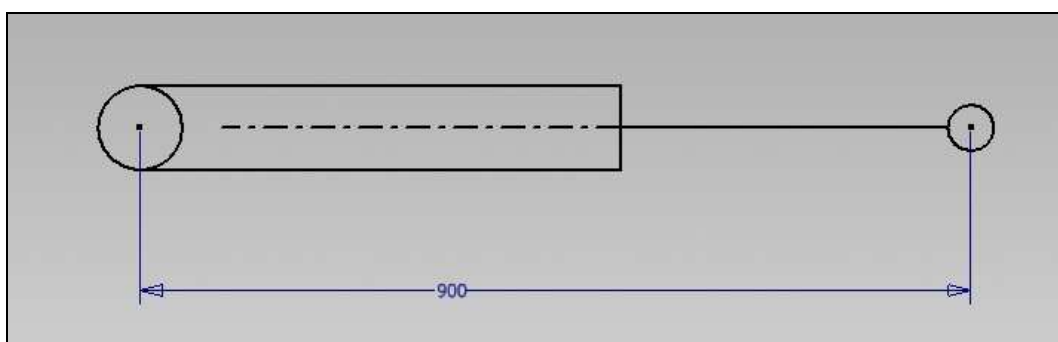
NTM panostaa laatuun, siitä kertovat pitkät, jo monta sukupolvea kestäneet asiakassuhteet. Tuotteet valmistetaan ja kehitetään yhteistyössä asiakkaiden kanssa, kuunnellen asiakkaan tarpeita ja vaatimuksia. Laaja tuotevalikoima mahdollistaa lähes kaikkien asiakkaiden toiveiden täyttämisen. Tuotteen käyttäjä tietää parhaiten ne vaatimukset ja ominaisuudet, joita laitteilta vaaditaan, siksi on tärkeää kehittää tuotteita jatkuvasti, asiakkaista kuunnellen. ”NTM seuraa markkinoiden suuntauksia ja etsii aktiivisesti toimivia ratkaisuja, jotka vastaavat voimassa olevia määräyksiä ja direktiivejä, joista viimeksi mainitut ovat Suomen EU-jäsenyyden mukana tulleet yhä ajankohtaisemmiksi.” NTM tarjoaa huoltoa ympäri Suomea. Korjaus- ja huoltotoimintaa on myös tarjolla monilla alihankkijoilla. /3/

3 TOPDOWN SUUNNITTELU

3.1 Skeletonmalli

Suuri osa Topdown – piirtomenetelmää on luoda piirrettävälle laitteelle luuranko. Luuranko sisältää laitteen toiminnalle kriittisiä mittoja, sekä tärkeää tietoa mahdollisista liittymäkohdista toisiin laitteisiin. Luuranko sisältää usein tietoa laitteen liikkuvista osista, ja sillä voidaankin helposti tehdä rajallisia liikeratatarkasteluja. Skeletonmallin blokit ovat yksinkertaisia ja nopein tapa tehdä toimiva malli, jolla liiketarastelut on mahdollista tehdä. Kun blokit tehdään suunniteltujen ulkomittojen mukaan, saadaan todellinen liikkuvan laitteen tarvitsema tila selville. Liikeradan kriittisimmät tarkasteltavat kohdat voidaan merkitä apuviivoina, jolloin ne eivät sekoitu muihin, ns. muotoviivoihin.

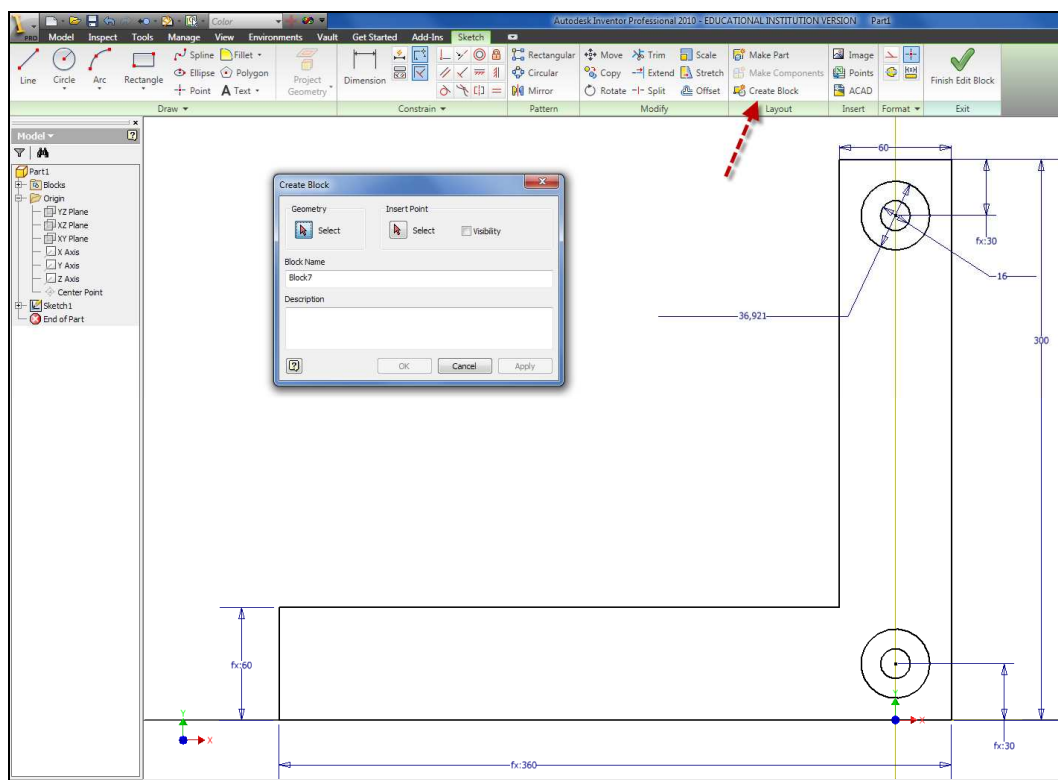
Luuranko kootaan usein valmiiksi rakennetuista kappaleista, joita kutsutaan blokeiksi. Blokit kuvaavat laitteen toiminnallista osaa, jolle voidaan asettaa rajoitteita, aivan kuten perinteisellä menetelmällä pursotetuille kappaleille. Hyvä esimerkki bloqueista on sylinteri. Sylinteri sisältää selkeästi kaksi osaa, putken ja sylinterin varren. molempiin blokkeihin piirretään keskilinjat, sekä toiseen päähän rengas kuvaamaan kiinnityssilmukkaa. Liittämällä näiden blokkien keskiakselit samalle linjalle, ja antamalla mitta silmukasta toiseen saadaan valmis sylinteri, jonka toimintaa voidaan simuloida mitta muuttamalla kuvan 2 osoittamalla tavalla.



Kuva 2. Kahdesta blokista koostuva skeletonmallin sylinteri.

3.2 Skeletonmallin ja Blockien teko

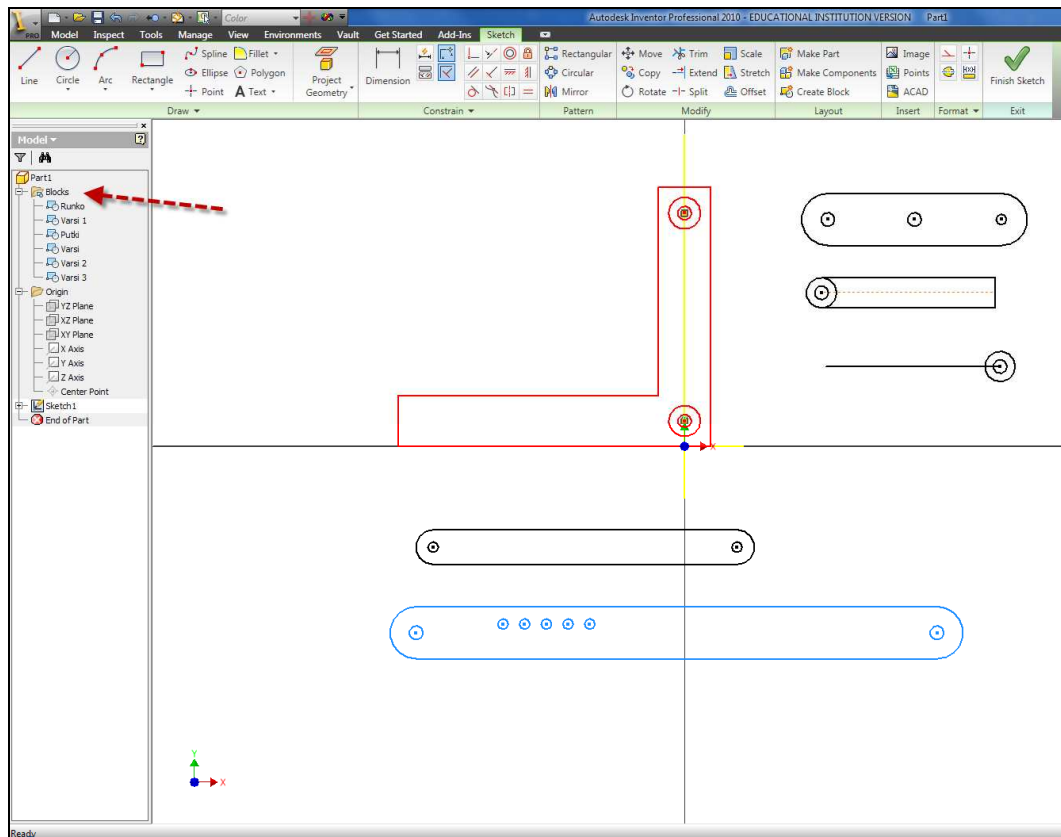
Skeletonmallin mallintaminen aloitetaan kuten kaikkien osien mallintaminen, luodaan uusi osa (Standard.ipt). Osatiedosto sisältää kaikki tarpeelliset työkalut luurangon määrittämiseksi, viivat, ympyrät, kaaret ja suorakulmiot. Tarvittaessa käytössä on myös muita muotoja. On tärkeää, että jokin kohta, esim. pyörähdysakseli, tai kulma on sidottu origoon. Tällöin malli on täysin sidottu työkoordinaatistoon, eikä se pääse liikkumaan mielivaltaisesti. Jos aloittaa piirtämisen origosta, kannatta vielä varmistaa, että jokin piste on varmasti kiinnitettyyn siihen, eikä vain näennäisesti origon ”päällä”. Luuranko piirretään osa kerrallaan. Aina osan valmistuttua kannattaa siitä tehdä oma blocki. Tällä toiminnalla vältetään virheet mahdollisesti melko sekavankin näköisessä skeletonissa.



Kuva 3. Ensimmäisen blockin luonti.

Kuvassa 3 näkyy painike, jota klikkaamalla avautuu ikkuna blokin luomista varten. Blokkia luodessa määritetään siihen mukaan tulevat viivat ja blokin tuleva nimi. Blokkille voidaan myös antaa asennuspiste sekä lisäkuvaus. Kun blocki on luotu, häipyvät näkyvistä kaikki siihen liittyvät mittatiedot ja rajoitteet. Tarvittavat lisäosat voidaan

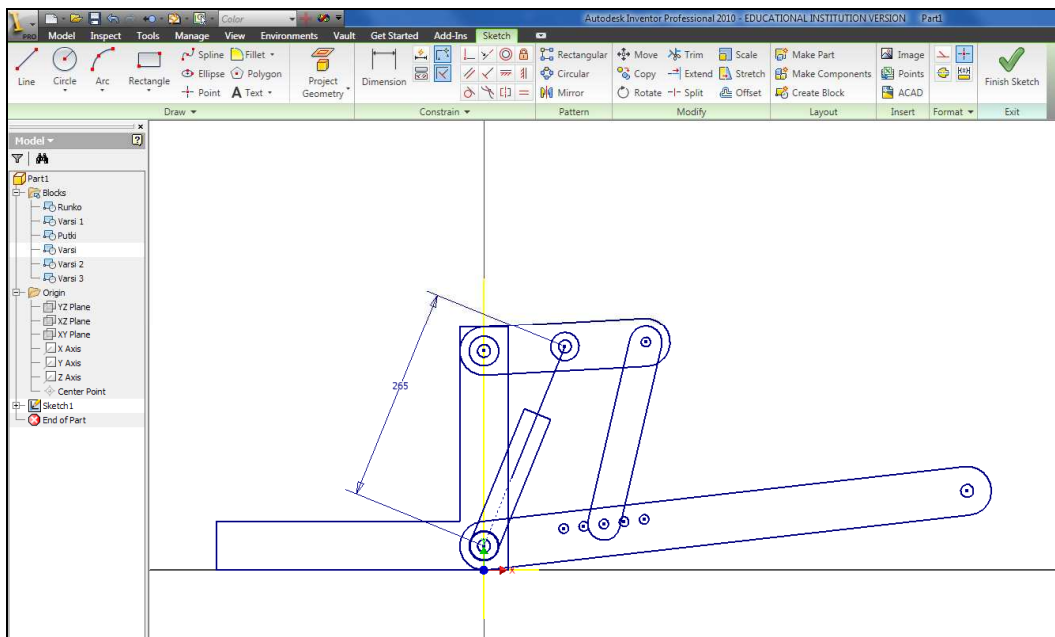
piirtää minne tahansa käytössä olevaan luonnokseen. Kuten kuvasta 4 ilmenee, blokkien sijainnilla ei ole merkitystä, koska ne tullaan asettamaan oikeille paikoilleen.



Kuva 4. Valmiit blokit liitettäväksi toisiinsa rajoitteilla.

Valmiit blokit ilmestyvät annetuilla nimillä historiapuuhun, Blocks- kansioon. Historiapuusta niitä voi raahata tarvittaessa lisää.

Piirrettyjen blokkien asettaminen paikalleen onnistuu käyttämällä normaaleja rajoitteita, samankeskisyyttä (concentric), samalle viivalle (colinear) ja piste pisteeseen (coincident). Näillä kolmella rajoitteella saa tehtyä toimivan skeletonmallin.



Kuva 5. Valmiiksi koottu skeletonmalli.

Kuvan 5 mukainen skeletonmalli on koottu käyttämällä ainoastaan käyttämällä colinear - ja concentric - rajoitteita. Skeletonmalli pitää nyt tallentaa omalla nimellään.

3.3 Skeletonmallin jalostaminen solideiksi

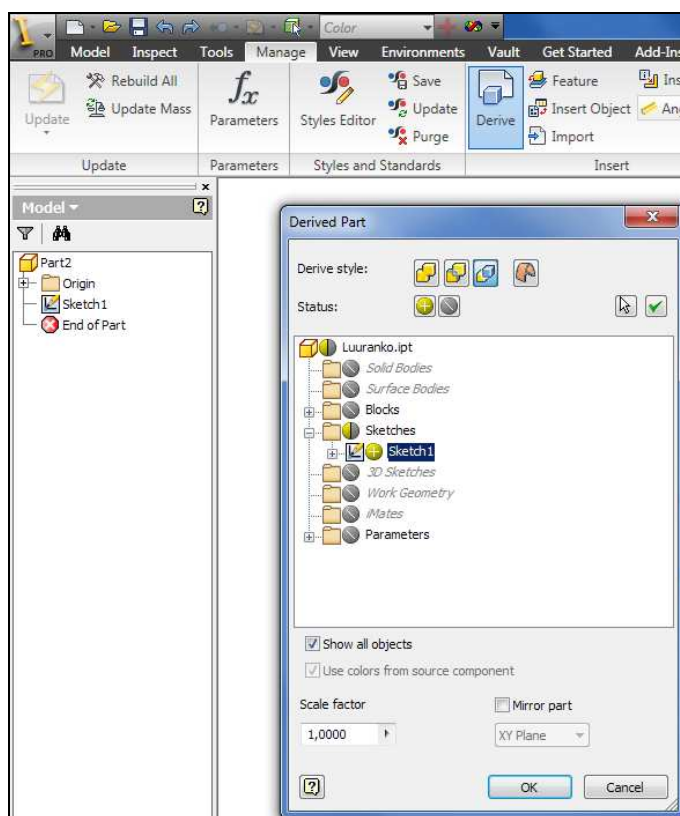
Tuotteen kehitysvaiheessa kannattaa uhrata aikaa skeletonmallin tarkalle tekemiselle, se on työtä, joka tuottaa varmasti. Tyypillisesti luuranko sisältää akseleita, ulkomuotoja sekä poikkileikkausmuotoja, joita voidaan käyttää suoraan kappaleiden luomisessa. Kun malli on sidottu rankaan, voidaan luurangon kriittisiä mittoja muuttaa, ilman mallissa tapahtuvia referenssien katoamisia. Uudet luodut solidit on tärkeä sitoa käytettyihin bloqueihin, tällöin kehitysvaiheessa tulevat muutokset tulevat voimaan valmiina olevissa kokoonpanoissa, heti muutoksen tapahtumisen yhteydessä. Laadukas, ja harkiten tehty skeletonmalli antaa mahdollisuuden tehdä varsinainen 3D-malli erittäin nopeasti, ja vaivattomasti. Tämän mahdollistaa se, että solidien luontivaiheessa pystytään käyttämään jo kerran tehtyjä blokeja. Kaikkein parasta tässä mallinnustavassa on sen helppous ja työn suhteellinen nopeus. Ainoastaan yksi dokumentti on auki kerrallaan, tämä pienentää tietokoneen suoritusvaatimuksia, joita kehittynyt 3D-piirtäminen jatkuvasti muutoin kohottaa. Luodut solidit seuraavat tarkasti niille annettuja referenssejä sekä pintoja. Kun kaikki osat piirretään solideina samaan tiedostoon,

vältetään virheet kappaleiden välisessä liittynässä, yhtenä referenssinä kun on voinut olla kiinnityksen reikäjako. Solidit kannatta nimetä heti halutulla nimellä, tällöin tiedot siirtyvät myöhemmin luotaviin tilavuusmalleihin.

Kun kaikki solidit ovat samassa tiedostossa saadaan, jo suunnittelun aikaisessa vaiheessa kokoonpanonkaltainen kuva. Tätä kuvaa voidaan käyttää asiakastapaamisissa, edistämään myyntiä, ja visualisoimaan suunnittelijoiden työtä. Tällöin voidaan nopeuttaa tilaajan ja tuotteen tuottajan välistä vaatimusten saavuttamista.

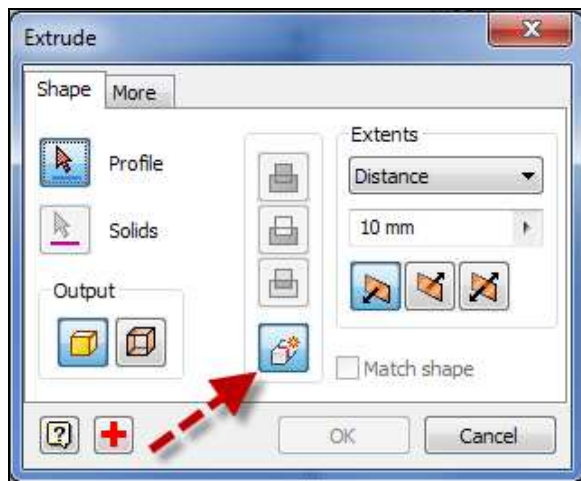
3.4 Solidien teko

Uuden osan aluksi tuodaan jo tehty skeletonmalli Derive – toiminnolla mukaan uuteen osaan. Toiminnolla saadaan tehty skeletonmalli näkymään historiapuussa. Derive – komento avaa kuvan 6 mukaisen valintaikkunan, josta käyttäjä valitsee uuteen osaan tuotavat piirteet.

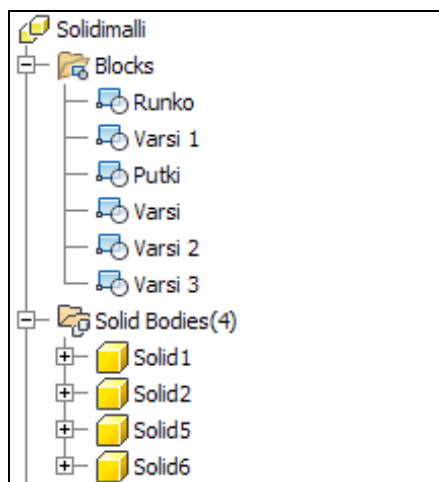


Kuva 6. Derive – komennon avaama valintaikkuna.

Kyseisellä tavalla voi tuoda monia eri luonnoksia ja pintoja mukaan uuteen osaan. Näin saa käytettyä jo valmiita muotoja hyväksi uuden osat mallintamisessa. Solidien pursottaminen ei juuri eroa tavallisen osan mallintamisesta. Uutta solidia, eli uutta tulevaa osaa pursotettaessa on tärkeää muistaa valita new solid- komento (kuva 7). Tällöin pursotettu kappale ei liity samaksi solidiksi aiemman kanssa.



Kuva 7. New solid.

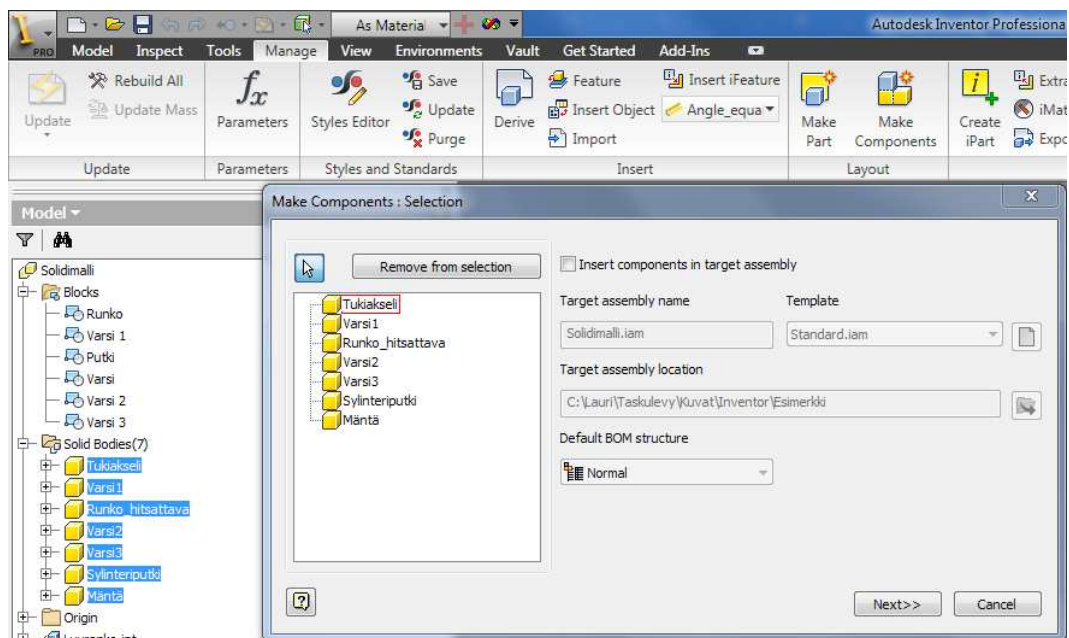


Kuva 8. Luodut solidit historiapuussa.

Pursotetut solidit tulevat näkyviin historiapuuhun kansion Solid Bodies alle kuvan 8 osoittamalla tavalla.

3.5 Solidista osaksi

Kappaleet on piirretty oikeisiin mittoihinsa, ja niissä on kaikki tarvittavat piirteet. Tällöin on aika luoda itse osa. Tarvittava komento (Make Components) luo solidista tilavuusmallin (kuva 9). Tällöin kyetään määrittelemään, onko kappale ohutlevyosa vai tavallinen esim. koneistettava osa. Myös uuden osan tallennuspaikka määrätään nyt. Kun solidi muunnetaan tilavuusmalliksi, se saa rakenteellisia tietoja, kuten painon, materiaalitiedot sekä painopisteen, vain muutamia mainitakseni. Materiaalina luodulle uudelle osalla on aina default, eli se pitää muuttaa myöhemmin. Tämä edellyttää, että tarvittava materiaali on tyylikirjastossa käytettävissä. Jos tarvittavaa materiaalia ei ole, se voidaan luoda kopioimalla ominaisuuksiltaan vastaavankaltainen materiaali uudelle nimelle ja muokkaamalla tarvittavia arvoja. Materiaali voidaan myös tehdä tyhjälle pohjalle, tällöin pitää antaa kaikki tiedot. Tarvittavia tietoja ovat mm. tiheys, alempi- ja ylempi myötöraja, kimmomoduli, Poissonin luku. Tyylikirjastoon tehtävät muutokset tulee aina tehdä osatiedostossa, tällöin muutokset tallentuvat tyylikirjastoon. Tyylikirjaston muutosten saattaminen voimaan voi joissain tilanteissa vaatia ohjelman uudelleen käynnistämisen.



Kuva 9. Make components.

Oikeiden ja realististen materiaalitietojen antaminen on erittäin tärkeää silmälläpitäen mallin myöhempää käyttöä varten. Kyseiset materiaalitiedot tulevat esille mm. piirus-

tusten osaluettelossa ja painotietona otsikkotaulussa. Vielä suurempi vaikutus materiaalitiedoilla on tehtäessä levityskuvia ohutlevyosista. Tällöin on tärkeää, että taivutussäde ja neutraaliakseli ovat annettu oikein. Jos neutraaliakseli on määrätty väärin, tuotannossa tehty levyosa ei vastaa piirustuksia, vaan siinä on taivutuksista johtuvia mittaeroja. Mittaerot eivät välttämättä ole kovin suuria yksittäisissä osissa, ja saattavat jopa mahtua tuotannon toleransseihin. Sopivasti kertautuneena, pidentyneet tai lyhentyneet mitat aiheuttavat varmasti ongelmia kokoonpanossa.

Osakohtaisten materiaalitietojen antaminen onnistuu helposti kokoonpanossa. Tällöin käytetään komentoa Bill of Materials. Kyseinen komento avaa ikkunan, jossa kaikkien kokoonpanon osien materiaalitiedot ovat taulukkomuodossa. Kun materiaalinmuutokset tehdään kyseisessä taulukossa, jonkin osan tietojen muuttamisen unohtamistodennäköisyys on huomattavasti pienempi, ja tällöin malli on ”ehyempi” ja luotettavampi. Materiaalitiedot voidaan antaa myös ns. perinteisellä tavalla, avaamalla jokainen osa ja muuttamalla tiedot iProperties valikossa. Tämä tapa ei ole läheskään yhtä nopea, kuin edellä mainittu.

3.6 Skeletonmallista kokoonpanoksi

Kun kaikki tarvittavat osat on luotu omiksi solideiksi samaan osatiedostoon, päästään tekemään kokoonpanoa. Tässä vaiheessa kohdataan suuri etu, joka on seurausta käytetystä mallinnusmenetelmästä. Koska solidit ovat samassa osatiedostossa, on niillä kaikilla yhteinen ja sama koordinaatisto. Tästä seuraa erittäin nopea ja tehokas tapa tehdä kokoonpanoja ilman ainoatakaan kokoonpanorajoitetta. Osat menevät oikeille paikoilleen yhdellä ainoalla komennolla (Ground and Root Components). Tällä komennolla liitetään osien koordinaatistot yhteneviksi ja samalla osat oikeille paikoilleen. Jos kyseessä on mekanismi, jota pitää liikuttaa, pitää osat tai osakokoonpanot liittää toisiinsa käyttäen normaaleja kokoonpanorajoitteita. Tällaisessa tilanteessa on järkevää tehdä esim. hitsattavista osista omat kokoonpanonsa. Tällöin voidaan käyttää hyväksi Ground and Root Components komentoa. Manuaalisesti asetettavien rajoitteiden määrä jää erittäin vähäiseksi. Mekanismissa pääkokoonpano sisältää useampia alikokoonpanoja, jotka kuvaavat hyvin kokoonpanotilanteen osien toisiinsa liittämistä. Kuten kokoonpanopaikalla pääkokoonpano ei tarvitse enää hitsausseamoja. Valmiit osat vain liitetään toisiinsa pultiliitoksin.

Jos kaikki osat liittää Ground and Root Components komentoa käyttäen, tottelevat ne skeletonmallin antamia paikkaehtoja. Tällöin vapaasti toimivan kokoonpanon tekeminen ei ole mahdollista, vaan kaikki liikemuutokset on tehtävä skeletonmalliin annetuilla ehdoilla (mitoilla).

4 FEA-LASKENTA

4.1 Yleistä

FEA-laskenta (fine element analysis) on tietokoneaikakauden mukanaan tuoma helpotus tuotesuunnitteluun ja tuotekehitykseen. FEA-laskennassa tarkastellaan pienten elementtien(solmujen) siirtymiä kappaleen sisällä. Tällä menetelmällä voidaan jo suunnitteluvaiheessa varmistaa tuotteen kestävyys, sekä arvioida miten tuotteen eri osia olisi parannettava. Jos jokin laitteen komponentti altistuu liialliselle rasitukselle, se hajoaa. Tuotannollisesti ei ole kannattavaa tai järkevää tehdä tuotteesta ylimitoitettua, eli liian kestävä. FEA-laskenta mahdollistaa tällaisen suunnitteluvirheiden löytämisen jo ennen tuotteen prototyypin tekemistä. Toisaalta prototyyppi voi jäädä kokonaan tarpeettomaksi, jos lujuuslaskenta tehdään riittävän tarkasti.

FEA-laskennan tulkinna tekee tässä ohjelmassa helpoksi sen visuaalisuus. Osiin kohdistuvien rasitusten suuruus on ilmoitettu visuaalisesti väreillä. Tämä mahdollistaa jo nopealla silmäyksellä riskikohtien havaitsemisen. Myös ylimitoitettut kohdat tulevat hyvin näkyviin. Suurimman ja pienimmän rasituksen kohdat saadaan näkyviin erikseen omalla komennolla.

4.2 Tuennat

Luotettavan tuloksen saamiseksi laskentamallin on oltava todellisuutta vastaava. tähän sisältyy olennaisena osana tuentojen määrittäminen. Tuenta voi olla tiettyihin suuntiin liikkeitä tai kertymiä salliva tai kokonaan liikkeiltä rajoitettu. Tuentatyyppinä valittavissa Fixed, jota voidaan muokata, sekä Pin, joka sallii pyörimisen akselinsa ympäri. Oikean tuentatyyppin määrittämiseksi pitää laskentamallin käsittelijän olla erittäin hyvin perehtynyt laitteen toimintaan. Väärän tuentatyyppin valitseminen romuttaa helposti koko laskentaprosessin. Laskentaprosessi saattaa kestää melko kauan, onhan laskettavana usein satoja tuhansia pisteitä.

4.3 Kuormat

Rasitustarkastelu vaatii ulkoisia kuormia ollakseen luotettava. Kuormia Ansys -ohjelmassa on kahdenlaisia, ulkoisia kuormia sekä paineesta aiheutuvia kuormia. Nämä voimat eroavat toisistaan olennaisesti. Ulkoiset kuormat ovat yhdestä suunnasta vaikuttavia kuormia. Paineen aiheuttavat kuormat jakautuvat tasaisesti valittuihin pintoihin, aivan kuten paine luonnossakin.

Ulkoiset kuormat on jaettu vielä viiteen kategoriaan, laakeri, momentti, runko, painovoima sekä etäkuorma. Nimitykset ovat tässä hyvin kuvaavia, runkokuorma, aiheutuu materiaalin omasta massasta. Kuormia voidaan antaa kohtisuorina pintoihin, tai yleisen koordinaatiston suunnassa, jolloin voiman suunta ei muutu, vaikka laitteen asento muuttuisikin. Painovoimaa ja rungon omaa massaa ei voi olla yhtäaikaaisesti, sillä painovoima sisältää jo molemmat kuormat.

4.4 Kontaktit

Kappaleiden välinen yhteys on huomattava osa lujuutta. Tunnetusti kotelomainen rakenne on erittäin jäykkä. Tämä vaatii osien välille tietynlaisen laskennallisen liitoksen. Osien välille on mahdollista määrittää erilaisia liitoksia, bonded, sliding, separation, shrink fit, sekä näiden yhdistelmistä. Laajoissa kokoonpanoissa kappaleiden välisiä kontakteja tulee satoja, juuri tätä varten Autodesk Inventor 2010:n sisältämässä FEA-laskentaohjelmassa (Ansys) on toiminto, joka pyrkii menestyksekkäästi arvaamaan osien välisiä liitoksia. Tällöin vain erikoiset liitokset, kuten akselien pyörimiset, ym. joudutaan asettamaan manuaalisesti. Suurin osa kappaleiden välisistä kontakteista on yleensä tyyppiä bonded, tällä voidaan kuvata tavallista hitsaussaumaa.

Kontaktien määrittäminen on laskennan kannalta erittäin tärkeää. Jos esim. hitsatuille osille ei määritä kontaktia, eivät osat ole yhteydessä toisiinsa, ja laskennan lopputulos on virheellinen. Kontaktien puute voi ilmetä mallista monella tavalla. Laskijan kannalta paras tapa on huomata puute tai virhe jo ennen laskennan aloittamista, mutta aina se ei ole mahdollista. Toiseksi paras vaihtoehto on laskennan alussa tapahtuva tarkastus. Jos ohjelma huomaa osan, joka ei ole yhteydessä mi-

hinkään toiseen osaan, saadaan siitä huomautus. Kolmanneksi on laskennan tulosjärjestyys arviointia. Jos osa ei ole liikkunut lainkaan, tai se on liikkunut liikaa ilman minkäänlaisia rasituksia. Tällöin voidaan epäillä osan kontaktien määrittelyn olevan puutteellisia tai virheellisiä.

Virheelliset kontaktit aiheuttavat laskentahäiriöitä ja virheitä. Jos osien kontaktit ovat syystä tai toisesta puutteelliset tai epäsymmetriset, tulee laskentatulokseen huomattava vääristymä. Tämänkaltaiset virheet tulisi saada poistettua mallista ennen varsinaisen laskennan suorittamista, sillä ne aiheuttavat ”ylisuuria” sisäisiä rasituksia kappaleeseen. Kontaktivirheet olisi hyvä saada karsittua aikaisessa vaiheessa pois. Jos laskenta keskeytyy, tai on virheellinen puutteellisten kontaktien takia, on kaikki siihen käytetty aika hukattua. Keino oikeiden kontaktien löytämiseen on yksinkertainen, kokoonpano tulee pilkkoa osiin. Pienempien osakokonaisuuksien laskennan suorittaminen on huomattavasti nopeampaa, kuin suuren kokoonpanon. Tässä kohdassa lienee hyvä mainita, että suuren kokoonpanon laskenta kestää usein monta tuntia tehokkaallakin koneella.

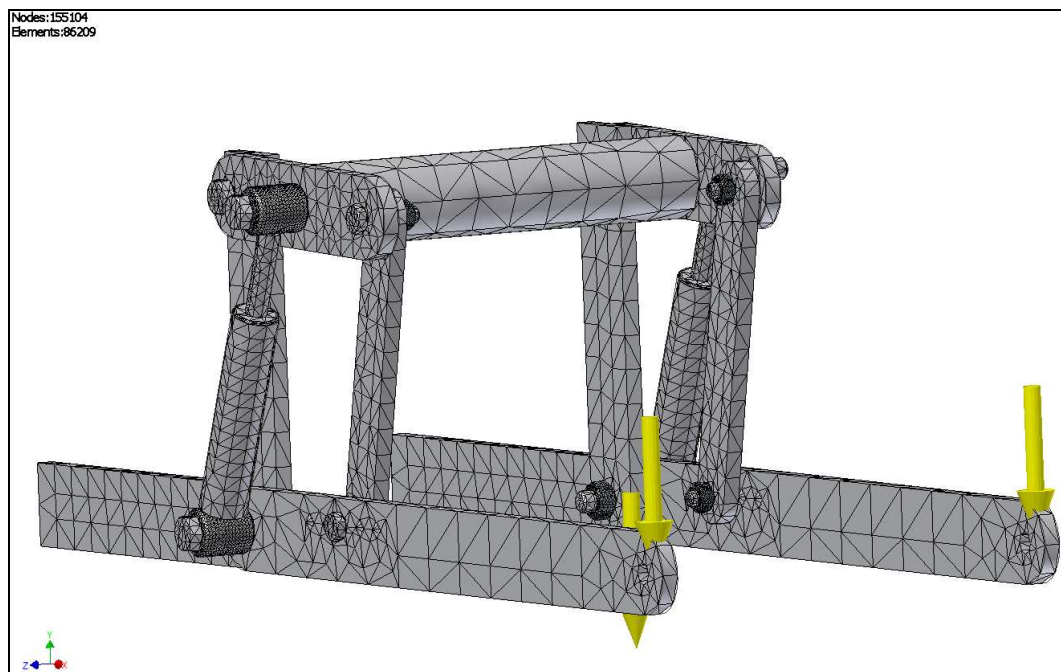
Osakokoonpanoja ja niiden toimivuutta voi testata helposti arvioimalla niihin aiheutuvia kuormia, ja lisäämällä ne Remote Forcena. Tällöin voidaan tarkastella esim. yhden hitsauskokoonpanon rasituksia realistisilla voimilla, käyttämättä laskentaa useita päiviä. Oikeiden kontaktien löytyminen, kun saattaa olla hieman vaikeaa joissain tilanteissa.

4.5 Verkko

Usein kuulee sanottavan lujuuslaskennan koostuvan kahdesta suuresta kokonaisuudesta, laskentaverkon luonnista ja tulosten postprosessoinnista.

Laskentaverkko on laskentapisteistä ja elementeistä koostuva kappaleeseen muodostettava kehys. Jokainen piste on kohta jolle suoritetaan tarvittavat laskelmat, jännitykset, siirtymät ja varmuuskertoimet muutama mainitakseni. Laskentatarkkuus riippuu olennaisesti siitä, kuinka tiheä tämä kyseinen verkko on. Tässä ohjelmassa käyttäjä voi muokata verkkoa melko monipuolisesti. Käytännön tapauksessa, jos kyseessä on monimutkainen kokonaisuus, tulee laskentapisteitä helposti

yli miljoona. Tällaisissa tilanteissa laskennasta tulee toivottoman hidas. Siksi laskentaohjelmia on kehitetty, ja niihin on lisätty ominaisuus, joka keventää laskentaverkkoa (kuva 10). Jos kappaleen pinta on yhtenäinen, eikä siinä ole mitään poikkeamia, on turhaa laskea monia pisteitä. Kun antaisivat samat laskentatulokset. Siksi laskentaohjelma luo automaattisesti harvemman verkon tämänkaltaisille alueille. Kyseisellä toiminnalla voidaan säästää jopa 10-25% laskentapisteistä, tietysti muodoista riippuen. Kuvan 10. laskentaesimerkki on erittäin yksinkertainen, se sisältää vähän osia, ja osat ovat yksinkertaisia. Tästä huolimatta laskentapisteiden ja elementtien määrä on melko suuri.



Kuva 10. Laskentaverkko, solmuja 155 104 kpl, elementtejä 86 209 kpl.

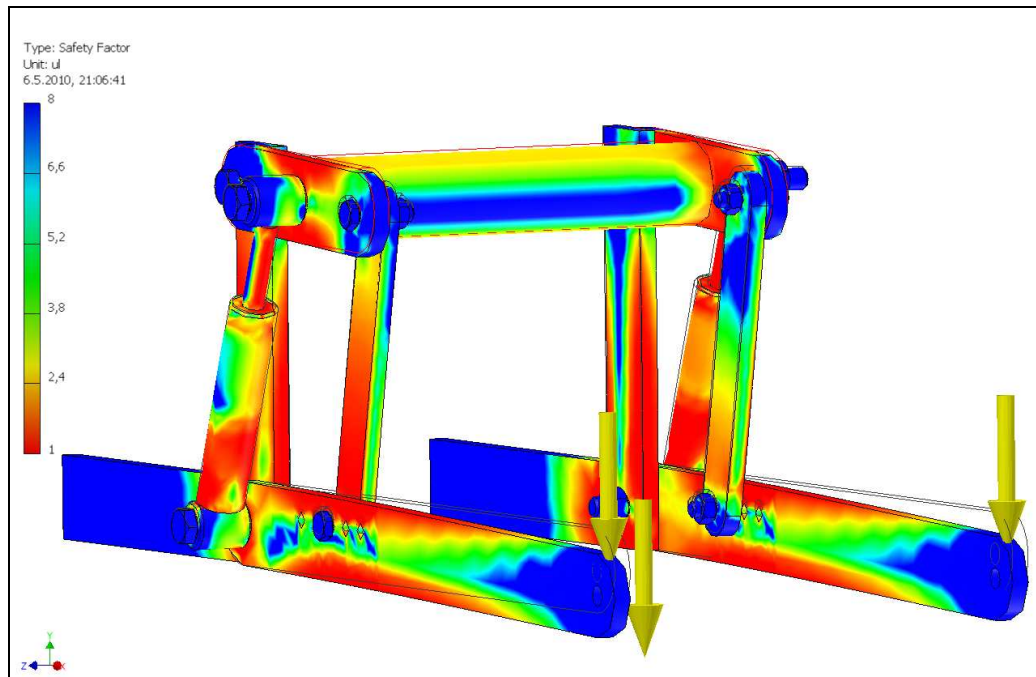
Yleisesti ottaen laskenta kannattaa aloittaa verrattain harvalla verkolla. Tällöin on mahdollista havaita tehtyjä virheitä nopeammin, ilman suuria kustannuksia. Kuten aina asialla on myös kääntöpuoli. Harvempi laskentaverkko aiheuttaa monissa tapauksissa virheilmoituksia tai jopa laskennan keskeytymisen. Tämä on valitettava piirre, ja sitä oppiikin välttämään vain omia käyttökokemuksia keräämällä. Kun laskentaverkko on oikeassa suhteessa laskettavaan laitteeseen, päästään jo melko nopeaan laskentaan.

Käyttäjän on myös mahdollista määrittää manuaalisesti paikallisia laskentaverkkoja. Tämä on hyvä toiminto silloin, kun ennalta pystytään todentamaan paikat jotka ovat laskennan kannalta kriittisiä. Tällöin saadaan pienempi laskettavien pisteiden joukko ja näin ollen nopeampi läpimenoaika. Toisaalta tällöin tulokset eivät välttämättä ole aukottomia.

4.6 Tulosten tarkastelu

Kuten jo aiemmin mainittu, tulosten prosessointi on suuri osa itse laskentaa. Tulokset voivat olla joko ristiriitaisia, tai muuten virheellisiä. Tulosten oikeellisuuden tarkastelussa on syytä ottaa huomioon loogiset syy – seuraus suhteet, kaikki voimat aiheuttavat reaktion jonnekin. Myös järjen käyttö on tarpeellista tässä tilanteessa. Usein on myös hyvä tehdä etukäteislaskelmia käyttäen perinteisiä statiikan ja lujuusopin menetelmiä. manuaalisten laskelmien ei tarvitse olla kovinkaan tarkkoja, vaan niiden tarkoitus on antaa suuntaa, ja vertailukohta laskentaohjelman tuloksille. Siksi onkin tarpeellista tehdä manuaaliset laskelmat vain muutamaaan kohtaan laitteessa.

Ansysis - ohjelma antaa verrattain kattavan raportin. Käyttäjä pääsee tarvittaessa itse vaikuttamaan raportin sisältöön, jättäen kussakin tapauksessa tarpeettoman tiedon pois.



Kuva 11. Varmuuskerroinkuvaaja esimerkkikokoonpanolle.

Laskennasta seuraava raportti on melko kaavamainen, se sisältää oletuksena tiedot siirtymistä, pintapaineista ja jännityksistä, muutamia mainitakseni. Mielestäni olennaisin osa raporttia on silti osio, jossa näkee visuaalisesti rasitusvarmuuden (kuva 10). Tämä kyseinen kuva kertoo varsin kattavasti kappaleeseen kohdistuvien voimien vaikutukset, ja välillä tulokset yllättävät. Taitekohdissa ja reunoissa varmuudet ovat usein yllättävän pienet. Toisaalta ne ovat kohtia, joissa voima saa varren, jolla alkaa muokata kappaleen ulkomuotoa. Kuvat ovat laskennan parasta antia, niistä käyttäjä pääsee itse toteamaan no kohdat joissa lujuusmitoitus on kriittisimmillään. Kun laskennan tulosta pyörittelee tietokoneen näytöllä, saa siitä tarvittaessa piilotettua osia, jotta pääsee näkemään voimien vaikutuksia myös päältä näkymättömiin kohtiin.

5 YHTEENVETO

5.1 Mallinnustyö

Uuden mallinnusfilosofian opetteleminen on aina aluksi tuskallista ja ennen kaikkea hidasta. Nopeasti, kun ymmärtää uuden tavan edut verrattuna aiempaa, alkaa kerätä lisää tietoa ja kokemuksia uudesta tavasta mallintaa. Syntyy kierre, joka mahdollistaa uuden asian oppimisen lyhyellä aikavälillä. Kun on saavuttanut pisteen, jossa löytää saman asian tekemiseen useamman keinon, alkaa väistämättä miettiä, onko tehnyt jotain väärin. Lopputuloshan on tärkein, ei välttämättä keino sen saavuttamiseen. Topdown - mallinnuksen parhaat puolet ovat ehdottomasti tuotekehittelyssä. Kriittisten mittojen sitominen toisiinsa ja osiin, mahdollistaa radikaalienkin muutosten tekemisen ilman suurta osien muokkaamista. Tämä on ominaisuus, josta on varmasti hyötyä. Toisaalta, tapa käyttää piirteitä ja pintoja uusien osien mallintamiseen, pienentää virheiden määrää ja mittojen edestakaista tarkastelua.

Suuria kokoonpanoja kasatessa usein turhautuu rajoitteiden asettamiseen. Tämän välttämiseen on myös olemassa oma keinonsa. Jos osat on mallinnettu oikein, ne saadaan asettumaan oikeaan paikkaansa yhdellä komennolla. Myös liikkuvien mekanismien tekeminen onnistuu melko yksinkertaisesti. Muutamia perinteisiä kokoonpanorajoitteita huomioimatta, kokoonpano on valmis hetkessä.

5.2 FEA-laskenta

Mallintamisen päätteeksi piti luotu malli muokata laskentamalliksi sopivaan muotoon. Sivulastaajaan noin 150 osan hallintaan vaadittiin noin 850 erillistä kontaktia, voimia, sekä materiaalitietojen tarkastamista. Todelliset virheet löytyivät vasta ensimmäisen laskentakerran päätteeksi. Näiden virheiden korjaaminen ei ollut kovinkaan suuri operaatio, mutta uudelleen laskenta vei aikaa melkoisesti.

5.3 Kokonaisuus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda astiahissistä OM-2K 3D-malli, sekä tehdä sille lujuustarkastelu. Mallinnustapa on sekä toimeksiantajayritykselle, että työn tekijälle uusi. Kaikesta huolimatta aikaan saatiin toimiva malli, johon kaikki osapuolet olivat tyytyväisiä.

Lujuustarkastelu asetti myös omat haasteensa, siinä käytettiin työn tekijälle myös kokonaan uutta ohjelmaa. Mallista saatiin tehtyä lujuustarkasteluja kahdessa eri toiminta-asennossa. Mallien tulokset olivat järkeviä, joskin hieman miettimistä vaativia. Työstä uskottiin olevan hyötyä, kun toimeksiantajayrityksessä otetaan laajemmin kyseinen mallinnustapa käyttöön.

Toimeksiantajayritys halusi pitää tarkemmat tiedot työstä ja sen tuloksista yritysalaisuuden puitteissa salaisina. Tästä syystä työn kirjallisessa osuudessa on käytetty yksinkertaista vertaismallia, johon on sovellettu vastaavasti käytettyjä mallinnustapoja. Malliin liittyvä sähköinen materiaali toimitetaan liitteenä toimeksiantajayritykseen.

6 Kirjallisuutta

/1/ Autodesk Inventor 2010 Tutorial

/2/ Futurecad- oppimateriaali: Top-Down – suunnittelun perusteet

/3/ NTM:n kotisivuilta tietoa yrityksestä [viitattu 26.4.2010].

Saatavana www-muodossa < URL: www.ntm.fi>

/5/ Rami Nevala: Vinkkejä suunnitteluun – Autodesk Inventor

