



# **VERTEXIN JA RFEMIN LINKITYS LUJUUSLASKENTAA VARTEN**

Marcelo Villarroel Sejas

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2015  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

## ALKUSANAT

Työn valvojana toimiva opettaja Esko Kurki, jotta haluan kiittää saamastani neuvoista ja työhön osoitetusta mielenkiinnosta.

Tämä opinnäytetyö on tehty SWECO industrylle. Työn valvojina ja yrityksen yhteishenkilöinä toimivat Jari Vahvelainen, Jussi Jalkanen ja Markku Filatov, joille haluan esittää kiitokset työn ohjauksesta ja avusta työn toteutuksessa.

Kiitokset vanhemmilleni saamastani ehtymättömästä tuesta ja kannustuksesta niin opinnäytetyötäni tehdessä kuin opintojen aikana.

Rakkaimmat kiitokset vaimolleni Fabiola Martínez Davalos de Villarroel tuestasi opintojen aikana.

Tampere 10.9.2015

Marcelo Villarroel Sejas

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

Marcelo Villarroel Sejas:  
Vertexin ja RFEMin linkitys lujuuslaskentaa varten

Opinnäytetyö 69 sivua, joista liitteitä 36 sivua  
Syyskuu 2015

---

Opinnäytetyö käsittelee Vertex G4 Plant -suunnitteluohjelman ja RFEM-lujuuslaskentaohjelman käyttöliittymiä. Molemmat ohjelmat ovat toiminnoltaan lähes samankaltaisia, mutta käytännössään molemmilla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Hyödyntämällä molempien ohjelmien vahvuudet voidaan saavuttaa paras ja luotettavin lopputulos. Tästä syystä näiden kahden ohjelman yhteensopivuus keskenään on suunnittelun kannalta keskeistä.

Valitettavasti tällä hetkellä ohjelmien välillä on mahdollista siirtää teräsrakennemalleja vain käyttämällä SAT-tiedostoformaattia. Tällä siirretyllä mallilla ei kuitenkaan ole mahdollista suorittaa lujuuslaskentaa RFEMilla, sillä siirretty rakennemalli ei sisällä teräsrakenteesta lujuuslaskennan kannalta tärkeitä tietoja, joilla lujuuslaskennat suoritetaan. Tämän takia tavoitteena on selvittää ja optimoida käyttökelpoinen tapa siirtää Vertexissä mallinnettu teräsrakennemalli RFEM-lujuuslaskentaohjelmaan sekä siirretyn teräsrakennemallin valmistelu lujuuslaskentaa varten.

Ratkaisu tähän löytyy tekstitiedostosta SDNF, joka sisältää mallin tiedot tekstitiedostona. SDNF-tiedosto on koko projektin sydän, sillä ainoastaan tämän tiedoston avulla onnistuttiin luomaan linkityksen Vertex- ja RFEM-ohjelmien välille. Linkitys perustuu SDNF-tiedoston rakennemallin tietojen syöttämiseen Excelin taulukkoon. Datojen syöttäminen monimutkaisesta rakenteesta olisi hyvin työlästä. Tämän takia luotiin Visual Basicin avulla makrokoodeja, joilla datan siirto tapahtuu automaattisesti. Siirtämisen jälkeen malli ei ole vielä valmis laskentaa varten, sillä se vaatii pieniä korjauksia, kuten mallin yksinkertaistamista. Tässä vaiheessa poistettiin turhat elementit, jotka eivät vaikuta olennaisesti laskentaan ja korjattiin myös elementtien neutraaliakselin kohtaamiset elementtien välillä, jotta ohjelma tunnistaisi elementtien olevan hitsattuja elementtejä. Tämän jälkeen suoritettiin lujuuslaskenta onnistuneesti.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Product Development

MARCELO VILLARROEL SEJAS:  
Linking Vertex G4 and RFEM for Strength calculation

Bachelor's thesis 69 pages, appendices 36 pages  
September 2015

---

This thesis deals with the design program Vertex G4 Plant and the strength calculation program RFEM. Both programs have nearly similar user interfaces but in practice they both have their own strengths and weaknesses, so by using the strengths of both programs the best and most reliable results can be reached. For this reason the compatibility between these two programs is essential for designing. Unfortunately at the moment the only way to transfer a steel structure model is by exporting via SAT-format, but exported files are not compatible for strength calculation in RFEM, because exported model does not contain critical information about the steel structure that is needed to perform strength calculations. For these reasons the goal in this project was to research and optimize the best way to transfer a steel structure design modelled with Vertex to the strength calculator program RFEM and to set up the model for calculations. The solution to the problem was found in the SDNF text file, which contains the model data in text format. This SDNF file was considered the heart of the project, because thanks to this file it was possible to create the link between Vertex and RFEM. The link was based on transferring the SDNF file data to an Excel table. Transferring data of a complex model could be a very difficult task and for that reason a macro code was created with Visual Basic that helps to transfer all the data automatically.

After transferring the model to RFEM, the model was not a ready calculation yet, because small corrections were needed to simplify the model that means deleting unnecessary elements which do not essentially affect the calculation. The model elements were also fixed so that the element's neutral axes coincide with each other so that the program would identify them as a welded element. After this the calculation was performed successfully.

---

Key words: macro, element

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TUTKIMUKSEN TAVOITE .....	7
	2.1 Tutkimuksen kulku.....	7
	2.2 SAT-tiedostotyyppi .....	8
	2.3 SDNF-tiedostomuoto.....	8
	2.4 Ongelmat .....	9
3	TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT 3D-OHJELMAT.....	13
	3.1 Vertex Plant G4 .....	13
	3.2 RFEM .....	13
4	Ratkaisut .....	16
	4.1 Ratkaisut.....	16
	4.2 Ratkaisun suunnittelu .....	16
	4.3 Geometrian taulukko .....	17
	4.4 Datán siirtäminen SDNF-tiedostosta Exceliin .....	18
	4.4.1 Nodes .....	18
	4.4.2 Lines .....	20
	4.4.3 Materials .....	20
	4.4.4 Cross-sections .....	21
	4.4.5 Members .....	22
5	Mallin vieminen RFEMille ja lujuuslaskenta .....	26
	5.1 Rakennemalli RFEMissa .....	26
	5.1 Rakennemallin lujuuslaskenta .....	28
	5.2 Tulokset.....	31
6	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET .....	33
	LIITTEET .....	34
	<b>Liite 1. Tekstitiedoston tuonti Exceliin. ....</b>	<b>34</b>
	<b>Liite 2. Kiertymän laskutoimitukset .....</b>	<b>56</b>
	<b>Liite 3. Lujuuslaskentaraaportti.....</b>	<b>57</b>

## 1 JOHDANTO

Vertex-ohjelmalla mallinnettu teräsrakenne siirretään lujuuslaskenta-ohjelmaan käyttämällä yhteensopivaa tiedostomuotoa. Siirtotiedostomuotona Vertexin ja RFEMin välillä on SAT-tiedosto, mutta siirtotiedosto koostuu ainoastaan mallin ulkomuodosta, joten kaikki suunnittelussa käytetyt standardien mukaiset teräsprofiilien tiedot eivät siirry tiedoston mukana. Tämä tarkoittaa, että jos halutaan käyttää näitä kahta ohjelmaa, malli joudutaan mallintamaan uudelleen lujuuslaskentaohjelmassa lujuuslaskentaa varten. Mainittujen työn vaiheiden vähentämiseksi opinnäytetyön tavoite on optimoida Vertexin ja RFEMin välistä siirtoprosessia.

Tässä työssä käydään läpi Vertexin ja RFEMin välinen yhteensopivuus sekä kerrotaan, miten suunnitteluprosessi on aikaisemmin edennyt käyttäen mainittuja ohjelmia. Työssä käydään myös läpi käyttöliittymän ongelmat ja ratkaisut. Linkitys tapahtuu Excel-ohjelman kautta. Excelissä syötetään rakennemallin tiedot taulukoihin SDNF-tiedostosta ja kyseisten tietojen avulla saadaan vietyä rakennemalli RFEM-ohjelmaan.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena on etsiä/kokeilla erilaisia tapoja, joilla voidaan siirtää Vertex-ohjelmalla suunniteltu teräsrakennemalli RFEM-ohjelmaan lujuuslaskentaa varten. Tavoitteen saavuttamiseksi tutkittiin perin pohjin molempien ohjelmien tiedostformaattien tuonti- ja vientimahdollisuudet.

### 2.1 Tutkimuksen kulku

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tutustuttiin molempien ohjelmien käyttöliittymien toimintaan. Erityisesti RFEM-ohjelman toiminta oli täysin tuntematon, toisin kuin Vertex-ohjelman, josta oli kokemusta aikaisimmista työsuhteista. Ensimmäisen vaiheen tarkoitus oli saada enemmän tietoa ohjelmistosta ja niiden tiedostomuodoista, eli mitä tiedostomuotoja kustakin ohjelmasta saadaan vietyä ulos ja mitä saadaan tuotua ohjelmaan (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Ohjelmien tiedostotyypit

Ohjelma	Import	Export
Vertex	-Vertex 3D-malli (*.vxm) -AutoCad (*.dwg) -SAT-tiedosto (*.sat) -3DS-tiedostot(*3ds) -IGES-tiedostot (*.iges) STL-tiedostot(stl) U3D-tiedostot(u3d)	-Vertex 3D-malli vxm -AutoCad dwg -SAT-tiedosto (*.sat) -3DS-tiedostot(*3ds) VRML-tiedostot(wrl, vrml) STL-tiedostot(stl) U3D-tiedostot(u3d)
RFEM	-Tekla Structures (*.stp) -Microsoft Excel (*.xls) -Standard for the Exchange of Product Model Data (*.stp, *.step) -Initial Graphics Exchange Specification (*.iges, *.igs) -Standard Acis Text format (*.sat)	-Tekla Structures, Advance Steel (*.stp) -Microsoft Excel (*.xls) -Steel detailing neutral file SDNF (*.dat) -AutoCad (*.dwg) -ASCII format- model graphics of model (*.dfx)

Kuten taulukosta 1 nähdään, yhteisiä tiedostomuotoja on ainoastaan yksi, joka on SAT. SAT-tiedostotyypistä ja sen yhteensopivuudesta kerrotaan tarkemmin myöhemmin opinnäytetyön ede-

nessä. Tämän tiedostotyyppin lisäksi on olemassa yksi tiedostotyyppi, SNFD-tiedosto, jota ei ole mainittu taulukossa mutta joka on yhteensopiva Vertex-ohjelman kanssa. Kyseinen tiedostoformaatti ei ole taulukossa, sillä se ei kuulu Vertex-ohjelman peruspakettiin, vaan lisäominaisuus on maksullinen. Siitä kerrotaan lisää myöhemmässä vaiheessa.

Yhteensopivien tiedostomuotojen löytymisen jälkeen edettiin seuraavaan vaiheeseen, joka on kokeiluvaihe. Kokeiluvaiheessa mallinnettiin yksinkertainen rakenne, joka koostuu yhdestä palkista. Sen jälkeen malli käännettiin yhteensopivaan tiedostomuotoon ja vietiin käännetty malli RFEM-ohjelmaan. Seuraavassa kappaleessa esitetään Sat- ja SDNF-tiedostojen käyttötarkoitus ja tärkeimmät tiedot molemmista formaateista ja miten käännettyt mallit toimivat RFEM-ohjelmassa.

## 2.2 SAT-tiedostotyyppi

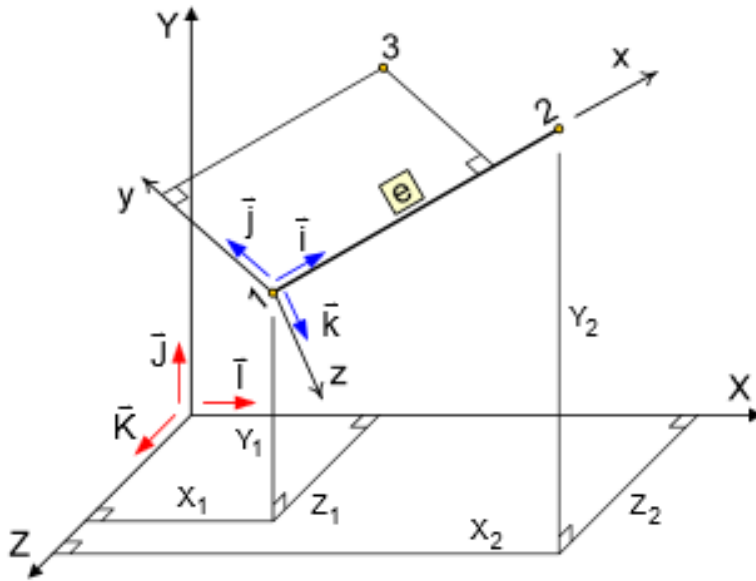
SAT-tiedostotyyppi tarkoittaa tiedostomuotoa, jonka lyhenne tulee englannin kielen sanoista Standard ACIS Text. Tiedostomuotoa käytetään useissa 3D-suunnitteluohjelmistoissa. SAT-tiedostot ovat tyypiltään tekstitiedostaja. ASCII (American Standard Code for information interchange) on 7-bittinen eli 128 merkkiipaikan laajuinen tietokoneiden merkistö.

## 2.3 SDNF-tiedostomuoto

SDNF-tiedoston lyhenne tulee sanoista Steel Detailing Neutral File. SDNF-tiedosto tukee teräsrakenteiden datojen siirtoa kahden sovelluksen välillä, tässä tapauksessa Vertex- ja RFEM-ohjelmien välillä. SDNF-tiedostossa kaikki informaatio on jaettu eri paketteihin ja jokainen paketti sisältää tietyn tyyppistä tietoa. Paketit ovat paketti 00, paketti 10 ja paketti 20.

Ensimmäinen paketti on ”Packet 00, Title Packet” eli otsikkopaketti. Tässä paketissa on kaikki informaatio, joka on välttämätöntä SDNF-tiedoston tunnistamiseksi. Paketti sisältää yrityksen nimen, asiakkaan nimen, rakenteen nimen, projektin nimen ja tiedoston luontipäivämäärän. Tämä paketti on vakio kaikissa SDNF-tiedostoissa.

Paketti 10 sisältää kaikki tiedot, jotka tarvitaan elementin paikantamiseen, kuten elementin alkupisteet X, Y, Z globaalikoordinaatistossa sekä myös elementin suuntavektorin x, y, z lokaalikoordinaatistossa, joka määrittelee poikkileikkauksen suunnan oman neutraaliakselin suhteen. Sen lisäksi näiden tietojen avulla voidaan tunnistaa elementtien liitoskohtia.



KUVA 1. Suuntasolmu (Lähtenmäki 2007)

Paketti 20 on tarkoitettu levyille ja sisältää tietoja, kuten levyn kärkipisteiden koodinaatit avaruudessa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään paketteihin 00 ja 10. Kuvassa 2 on kuvankaappaus SDFN-tiedoston esimerkistä ja tarkemmat selitykset koodeista, joita sain yhteyshenkilöltäni Vertex Oy:ssa. Kuvassa on esitetty/selitetty keskeiset tiedot SDFN-tiedostosta. (sähköposti luettu 10.4.2015).

```

Packet 00
SDFN Version 3.0
"AX-Suunnittelu"
"-----"
"-----"
""
"2015-01-20" "13:55:39"
0 "-----"
"-----"
0
Packet 10
"millimeters" 89
5 10 0 1 "BEAM" "EN 10219-2-Rn-120x6.3" 0
"10219-2-Rn-120x6.3" "S 235 JRH" 0.0 0 0
0.000000 0.000000 -1.000000 5256.873185 -4845.830000 3000.000000 5256.873185 -5160.832300 3000.000000 0.0 0.0
0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 "" 0 "" "" "" "" "" 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0.0 0 0 0.0 0.0
0 0 0 0 0 0

```

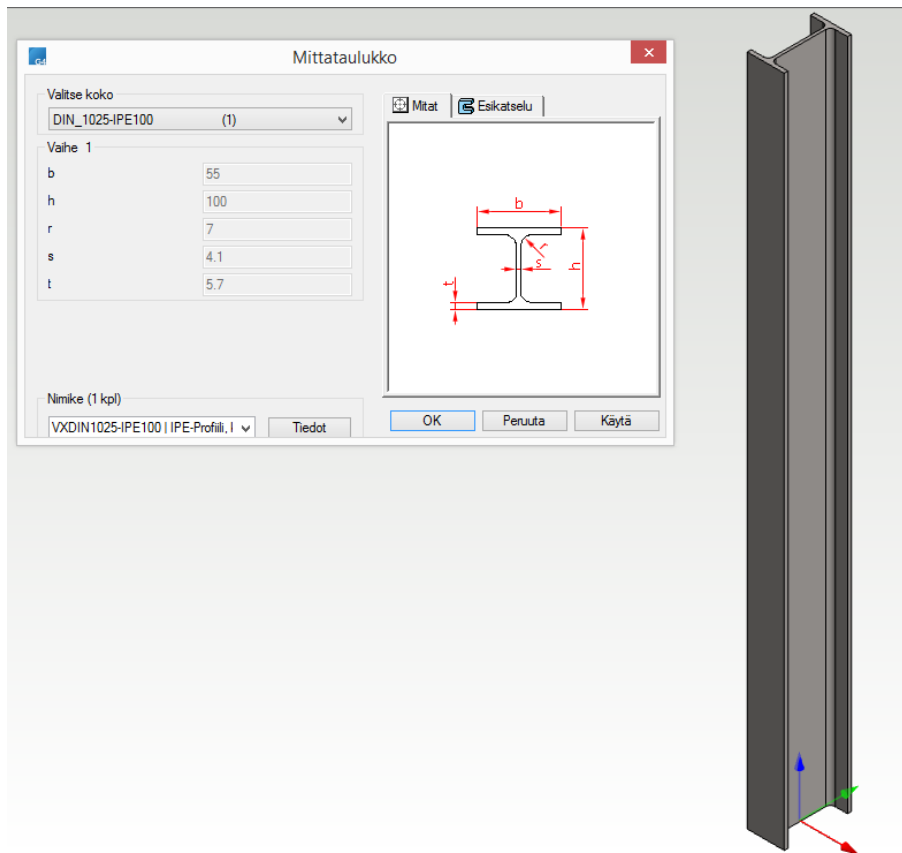
**5** = Member ID, ohjelman sisäinen profiilin numero  
**10**= Cardinal Point, 10 tarkoittaa painopiste akselin pisteitä  
**0** = Status, toistaiseksi aina nolla  
**1** = Class, 1 tarkoittaa 'secondary'  
 Profiilien tiedot  
 Suuntavektori  
 Alkupiste (x,y,z)  
 Loppupiste (x,y,z)

KUVA 2. Esimerkki SDFN-tiedostosta

## 2.4 Ongelmat

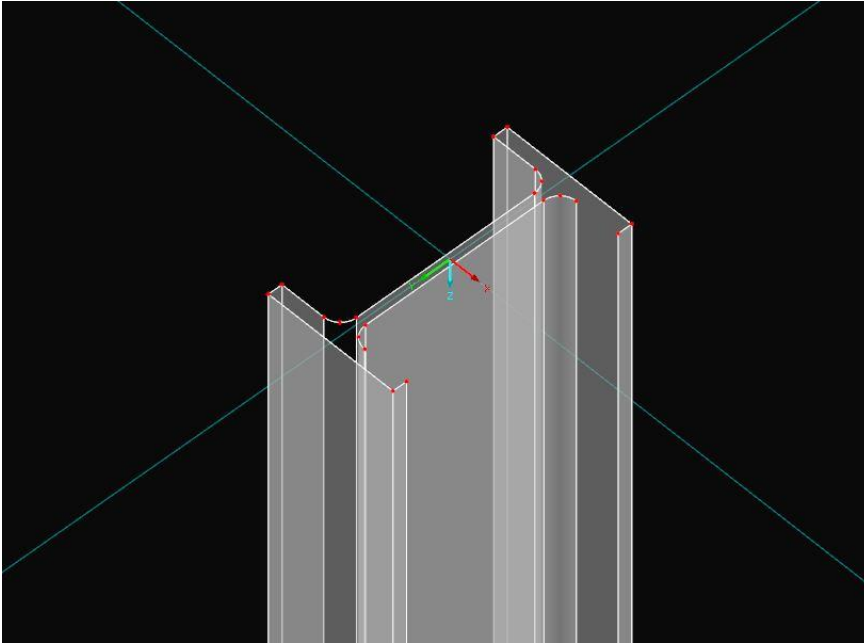
Yksi tutkimukseen liittyvä ongelma on SAT-tiedoston vieminen RFEMiin. SAT-tiedostomuoto on yksi yleisimmistä tiedostomuodoista 3D-ohjelmissa. Esimerkkinä käytettiin Vertex-ohjelmalla

mallinnettua teräsrakennetta, joka koostuu ainoastaan yhdestä IPE 100 -teräspalkista. Kuvassa 3 malli sisältää kaikki palkin tiedot, joten se on optimaalinen laskentaa varten.



KUVA 3. IPE100-palkki

Seuraavaksi malli käännettiin SAT-tiedostomuotoon, jotta se voitiin siirtää käytössämme olevaan lujuuslaskentaohjelmaan. Kuvassa 4 on käännetty malli, joka näyttää ulkomuodoltaan oikealta, mutta kun palkin tiedot tarkistetaan, huomataan, että palkki koostuu 44 solmusta ja 37 neutraaliakselista, mikä on täysin väärin, sillä lujuuslaskentaa varten palkin olisi pitänyt koostua ainoastaan kahdesta solmusta, eli palkin alku- ja loppusolmusta, sekä solmut yhdistävästä neutraaliakselista, joka kulkee poikkileikkauksen pintakeskiön kautta. Tämä tiedostomuoto ilman mainittuja tietoja on hyödytön.



KUVA 4. SAT-tiedostoksi käännetty malli, joka on viety RFEM-ohjelmaan

Toisena vaihtoehtoisena siirtotiedostomuotona oli SDNF-tiedosto. Vertexin 3D-mallin siirtämistä SDNF-tiedostona RFEMille ei ole kokeiltu aiemmin, sillä Vertex sai kyseinen ominaisuuden käyttöön vasta ohjelmiston viimeisessä versiossa. Vertexin työkalu, jolla saadaan rakenteesta SDNF-tiedosto, on nimeltään FINNGEN-kääntäjä. Tämän työkalun on alun perin kehitetty yhteistyönä FINNSAPin kanssa. Tämän työkalun tavoitteena on viedä teräs- ja putkirakenteet Vertexistä FEMdatan FINNSAP-lujuuslaskentaohjelmistoon. FINNGEN-kääntäjä on maksullinen mutta se oli viimeinen jäljellä oleva vaihtoehto, joten yrityksen johdon kanssa päätimme hankkia kyseinen lisäominaisuus ohjelmaan. Kun lisenssi oli saatu käyttöön, kokeiltiin teräsrakenteen siirtoa Vertexistä RFEMille käyttäen SDNF-tiedostomuotoa.

Mallin kääntäminen FINNGEN-kääntäjällä sujui hyvin nopeasti, sillä Vertexillä oli toimenpiteeseen selkeät ohjeet eikä kääntäminen ole monimutkaista. Siirrettäessä käännetty IPE-100 teräspalkki RFEMille tarkistettiin jälleen kerran mallin tiedot. Tällä kertaa palkin tiedot tulivat mukaan samoin kuin palkin profiilinkin.

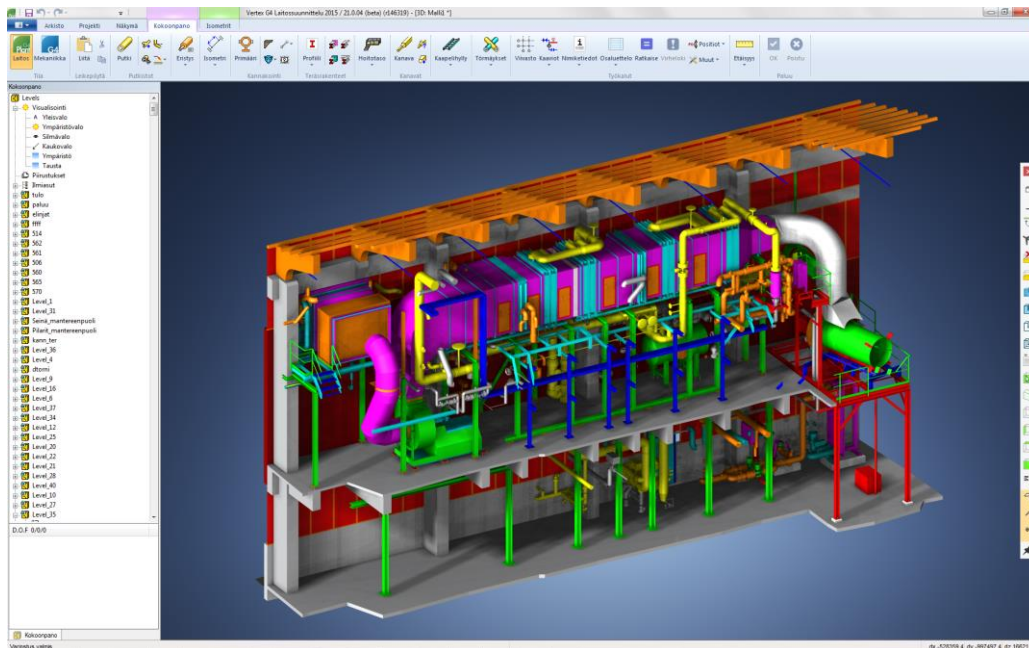
Seuraavaksi koetettiin viedä samalla menetelmällä teräsrakenne, joka koostuu viidestä eri palkkielementistä. SDNF-tiedostosta nähdään, että kääntäminen sujui onnistuneesti, sillä tekstitiedosta pystytään katsomaan elementtien määrää. Kun käännetty mallin vietiin RFEMille, kävi ilmi, että rakenteesta puuttui muutama palkki. Aluksi ajateltiin että virhe johtui ohjelmien asetuksista mutta kun kokeiltiin viedä eri malleja eri asetuksilla, oli lopputulos sama. Ongelmien ilmaantumisen jälkeen olimme yhteydessä molempien ohjelmien yhteyshenkilöiden kanssa ja yhteyshenkilömme

Vertex Oy:sta kertoi, että syy tähän ongelman löytyy Vertexin SDFN-tiedostosta, sillä tiedosto on suunniteltu sopimaan FINNSAPin ohjelman kanssa, mutta muiden ohjelmien lukurutiineihin ei ole tehty sovitustyötä. Tästä syntyiikin tämän opinnäytetyön aihe, eli tavoitteeksi tuli keksiä keino, jolla voidaan hyödyntää palkkielementin tiedot ja niiden avulla luoda linkitys näiden ohjelmien välille. Sen vuoksi seuraavaksi tutustutaan tarkemmin käytössä oleviin ohjelmiin, joista löytyy ratkaisuja havaittuun ongelmaan.

### 3 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT 3D-OHJELMAT

#### 3.1 Vertex Plant G4

Vertex 3D-mallinnusohjelmiston kehitti suomalainen yritys Vertex Systems Oy, joka perustettiin vuonna 1977. Vertex G4 -ohjelmiston perheeseen kuuluu monenlaisia ohjelmia, mutta tässä opinäytetyössä käytettiin Vertex Plant G4 -ohjelmistoa, joka on tarkoitettu erityisesti laitos- ja putkistosuunnitteluun. Rakennesuunnittelua varten ohjelmistossa on työkalut teräsprofiilien lisäystä ja päiden trimmausta varten. Ohjelman profiilikirjastosta löytyy valmiita teräsprofiileja, jotka ovat eurokoodien mukaisia rakennusten, teräskehikoiden, kannakoinnin jne. tarpeisiin. Teräsrakennesuunnittelussa ohjelma on hyvin monipuolinen ja helppokäyttöinen. Kuvassa 6 on kuvankaappaus Vertex-ohjelmasta.



KUVA 5. Vertex G4 Plant ([www.vertex.fi](http://www.vertex.fi))

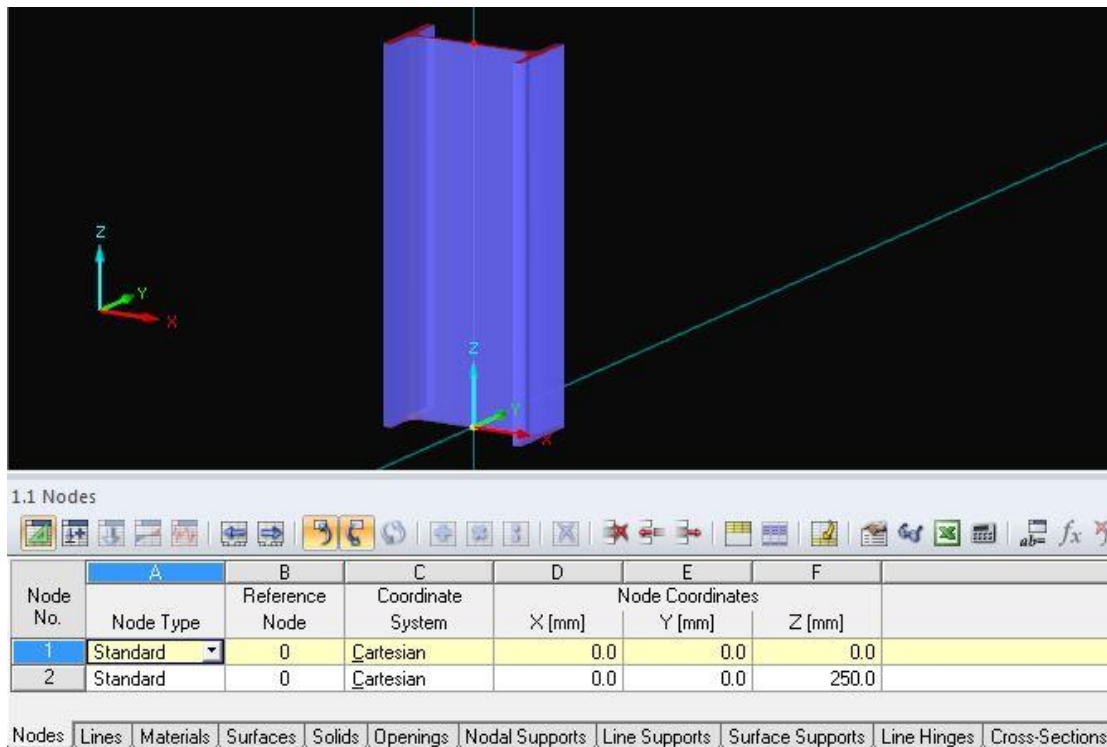
Vertex Plant G4:n heikkoutena on ohjelman lisäominaisuuksien puuttuminen peruspaketista. Lisätyökalut ovat maksullisia, kuten aiemmin mainittu FINNGEN-kääntäjä. Monessa muussa ohjelmassa vastaavat työkalut kuuluvat peruspakettiin.

#### 3.2 RFEM

RFEM-ohjelma on Dlubalin (Dlubal Software GmbH) omistama ohjelma. Ohjelman käyttöalueet ovat teollisuus, toimitilojen, korkearakentamisen ja erikoisrakenteiden 3D FEM -

rakennemallinnus ja analyysi. RFEM-laskentaohjelman erikoisuus on levy-, seinä-, kuori- ja teräs-rakenteiden lujuusanalyysi. RFEM määrittää sisäiset voimat, muodonmuutokset ja tukireaktioiden yleiset levy- ja kuorimallit. Ohjelman käyttöliittymä on helppokäyttöinen ja helppo ymmärtää.

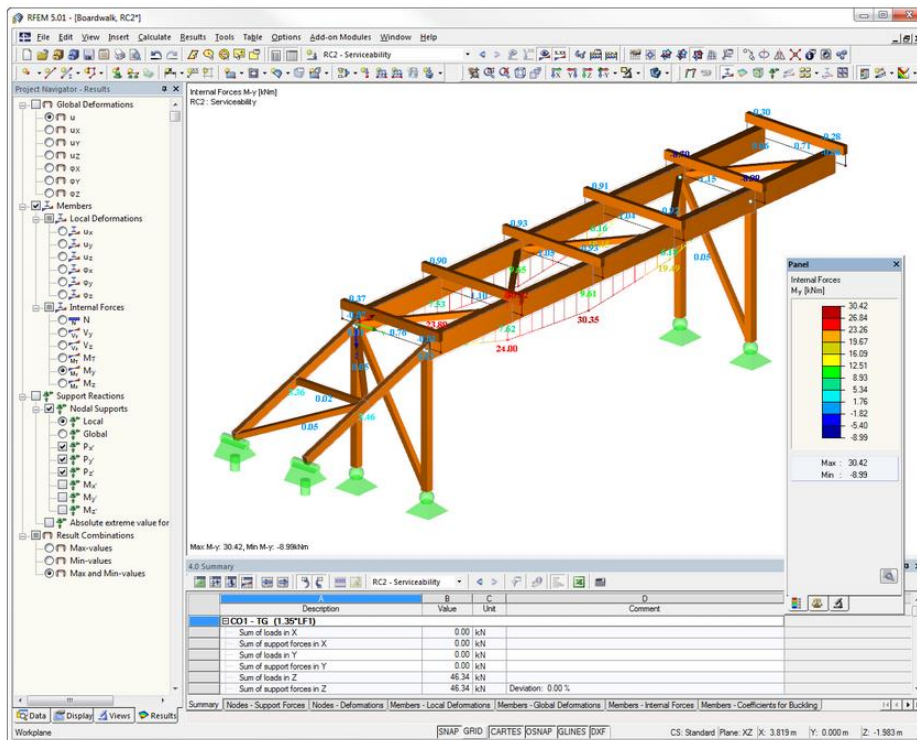
Rakennemallin tietojen syöttäminen/luominen voidaan toteuttaa joko graafisesti tai numeerisesti taulukoita hyväksikäyttäen. Taulukko sisältää rakennemallin, Nodes, Lines, Materials, Cross-Sections ja Members. Kuvassa 7 on esimerkki, miten RFEM taulukoi yhden IPE 100 -palkin tiedot ja millä tavalla se luo 3D-mallin. Nodes-välilehti viittaa palkin alku- ja loppusolmujen koordinaatteihin.



KUVA 6. RFEM-ohjelman taulukko

Lines määrittelee, millä tavalla solmut yhdistetään. Tässä tapauksessa solmut 1 ja 2 on yhdistetty polylinella, joka kokonaisuudessaan muodostaa viivan numero 1. Materiaali- välilehdellä määritetään, millaisesta materiaalista palkki koostuu, tässä tapauksessa teräksestä S235, ja mukana ovat myös materiaalin tiedot kuten kimmokerroin, liukumoduuli ja POISSONin luku. Cross-Sections määrittelee palkin poikkileikkauksen tiedot. Tässä esimerkissä käytettiin IPE 100:aa, ja myös tällä välilehdellä määritetään IPE 100:n poikkileikkaukselle hitausmomentin tiedot, pinta-ala ja poikkileikkauksen päämitat. Tässä vaiheessa määritetään poikkileikkaukselle myös oma numero, jota ohjelma käyttää myöhemmässä vaiheessa. Members-välilehdellä kootaan kaikki edellä saadut tiedot. Viivalle 1 määritetään oma poikkileikkaus ja suunta, mihin poikkileikkaus on suunnattu. Noiden tietojen perusteella RFEM pystyy luomaan palkin geometrian. Tämän taulukon hyväksikäyt-

töön perustuu idea, jolla saatiin siirrettyä Vertexissä mallinnettu 3D-malli RFEMiin. Kuvassa 7 on kuvankaappaus RFEM-ohjelmasta.



KUVA 7. RFEM (<https://www.dlubal.com/en/rfem-5xx.aspx>)

## 4 Ratkaisut

### 4.1 Ratkaisut

RFEM-ohjelmaa tutkittaessa, selvisi että rakennemallin tietojen syöttäminen/luominen onnistuu kahdella eri tavalla: joko graafisesti tai numeerisesti. Graafisella tarkoitetaan 3D-mallinnusta teräsrakenteesta. Numeerisessa syöttötavassa käytetään apuna taulukoita, joten viemällä taulukot RFEM-ohjelmasta Exceeliin se mahdollistaa oman rakennemallin luomisen numeerisesti syöttämällä teräsrakennetiedot kyseisiin taulukoihin. Näin olleen taulukoihin syötetään kaikki data SDNF-tiedostosta. Kun kyseessä on yhden palkin tietojen syöttäminen taulukoihin, tehtävä ei ole lainkaan vaikea, mutta tositilanteissa rakennemallit koostuvat sadoista, ellei tuhansista eri elementeistä. Tämän takia haastavin asia tässä on tietojen siirtämiseen automaattisesti SDNF-tiedostosta Exceeliin. Tämän prosessin pitäisi onnistua mahdollisimman vähällä työllä.

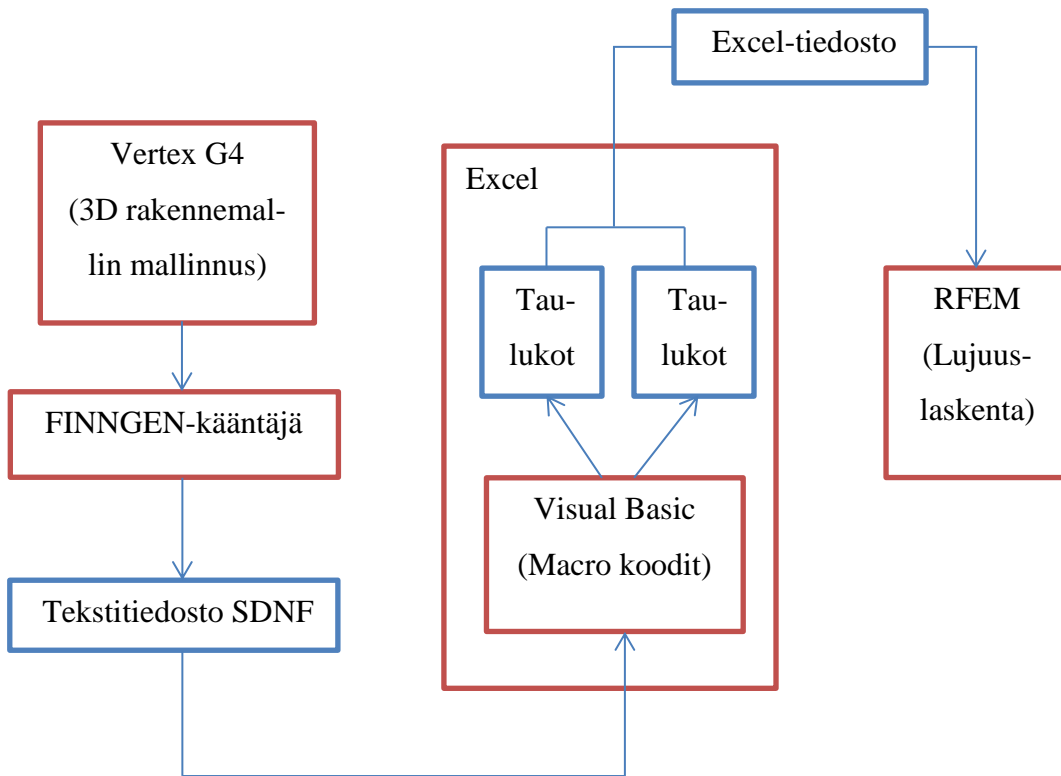
### 4.2 Ratkaisun suunnittelu

Ratkaisun suunnittelussa otettiin huomioon seuraavat seikat:

- Teräsrakennemallin elementtien määrä.
- Teräsrakennemallin siirtäminen mahdollisemman helposti.
- Siirtäminen ei saa kestää liian kauan.
- Ratkaisun pitää olla käyttäjäystävällinen ja luotettava.

Ottaen huomioon mainitut seikat, päätettiin käyttää apuna Excel-ohjelman lisäksi Visual Basic -ohjelmaa. Jälkimmäisen ohjelman käyttötarkoituksen tavoitteena on ohjelmoida koodi, jolla prosessin suorittaminen olisi automaattinen.

Tärkeimmät asiat ratkaisussa ovat SDNF-tiedosto ja Visual Basicilla luotu koodi, ja sen avulla saatiin teräsrakennemallin tiedot siirrettyä Exceeliin. Seuraavaksi käydään läpi vaiheittain, miten koodi luotiin ja miten me päädyttiin ratkaisuihin. Tässä työssä pyritään kertomaan tärkeimmät koodien toimitaperiaatteet, kuviossa 1 on esitetty ratkaisun kulkua.



KUVIO 1. Tiedoston siirron kulkua

### 4.3 Geometrian taulukko

Taulukko, jonka saatiin RFEM:stä, sisältää yhteensä 15 välilehteä. Jokainen niistä sisältää rakennemalliin liittyvää tietoa, mutta tässä käytettiin ainoastaan niitä, jotka sisältävät tietoa mallin geometriasta ja niitä, joiden mukaan RFEM pystyy luomaan mallin Excel-tiedoston perusteella. Kuvassa 9 on esimerkki RFEM-taulukosta.

Node		Coordinate	Node Coordinates		
No.	Node Type	System	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Line		Line Length			
No.	Line Type	L [mm]	Comment		
Material		Shear Modulus	Poisson's Ratio	Specific Weight	Coeff. of Th. Exp.
No.	Description	G [kN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu$ [-]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [1/°C]
Section		Moments of inertia [cm <sup>4</sup> ]			
No.	Cross-Section Description [mm]	Torsion J	Bending I <sub>y</sub>	Bending I <sub>x</sub>	Axial A
Member		Cross-Section No.		Member Rotation	
No.	Line No.	Start	End	Type	$\beta$ [°]

KUVIA 8. RFEM-taulukot

Nämä 5 välilehteä ovat ne, jotka viedään RFEM:lle rakennemallin luomiseksi. Makro-koodi luotiin välilehden mukaan, joten käydään läpi välilehtiä yksi kerrallaan.

## 4.4 Datan siirtäminen SDNF-tiedostosta Exceeliin

Ennen tietojen jaottelua oikeille välilehdille SDNF-tiedostossa olevaa tietoa tuotiin Exceeliin, jotta sen jälkeen tiedot rakennemallista voidaan hyödyntää. Tietojen siirtäminen suoritettiin ensin avaamalla tekstitiedostoa Notes-ohjelmalla. Sitten komennoilla CTRL+ C valitaan kopioitava teksti ja CTRL+V:lla liitetään teksti Exceeliin. Tällä tavalla kopioiminen on kuitenkin hieman hankalaa, koska kopioinnin jälkeen tiedot jaettiin soluihin ja riveihin Excelin työkalulla.

Makroja on mahdollista luoda kahdella tavalla: joko koodeilla tai tallentamalla makroja. Jälkimmäinen tapa toimii niin, että suoritetaan kaikki aiemmin mainitut vaiheet normaalisti mutta tällä kertaa tallennetaan koko prosessi makrojen tallennuksen aputyökalulla. Ohjelma rekisteröi kaikki komennot koodeina ja niitä muokkaamalla saadaan SDNF-tiedosto tuotua Exceeliin automaattisesti. Tallennettu makro, jolla saatiin tuotua SDNF-tiedosto Exceeliin on liitteessä 1.

### 4.4.1 Nodes

Tämä välilehti määrittelee elementtiin kuuluvat alku- ja loppusolmun koordinaatit globaalikoordinaatistossa. Sen lisäksi jokaiselle solmulle määritellään solmunumero. Kuvassa 5 on esitetty numeerisessa muodossa aiemmin käytetty esimerkki. Alkusolmu, eli solmu numero 1, sijaitsee pisteessä  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 0$  ja loppusolmu, solmu numero 2, pisteessä  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 1$  m.

Node No.	Node Type	Reference Node	Coordinate System	Node Coordinates		
				X [m]	Y [m]	Z [m]
1	Standard	0	Cartesian	0.000	0.000	0.000
2	Standard	0	Cartesian	0.000	0.000	1.000

KUVA 9. Solmujen tiedot (nodes)

Kuvassa 10 on esimerkki IPE100-palkista SDNF-tekstimuodossa. Nämä tiedot siirrettiin Nodes-taulukkoon samaan tapaan kuin kuvassa 9 on esitetty. Seuraavaksi käydään läpi osaa makrokomennosta, joiden avulla tietojen kopiointi suoritettiin automaattisesti.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Paste here!								
2				x1 (mm)	y1 (mm)	z1 (mm)	x2 (mm)	y2 (mm)	z2 (mm)
3	Packet	10							
4	meters	1							
5	100001	5	0	0 beam			0		
6	IPE100	S235	0	0	0				
7				0	0.000	0.000	0.000	0.000	1000.000
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

KUVA 10. SDNF-tiedoston välilehti

Näiden tietojen kopiointi ensimmäiseltä välilehdeltä suoritettiin yksikertaisella periaatteella, eli halutut rivit ja sarakkeet valittiin, jonka jälkeen kopioitiin tiedot ja liitettiin ne halutulle Nodes välilehdelle. Visual Basicilla sellaisen koodin tekeminen, joka pystyisi tekemään samanlaisen rutiinin, on hieman monimutkaisempaa.

Visual Basicilla tehdyllä makroilla määritetään tietty toimintaa koodien avulla ja sen jälkeen määritetään makroille käynnistyksen komentopainike. Komentojen koodaaminen vaikuttaa monimutkaiselta mutta toimintaperiaate on aika yksinkertainen. Kuvassa 10 on väritetty vihreällä tiedot alkusolmusta ja keltaisella tiedot loppusolmusta. Näitä tietoja siirrettiin seuraavasti: Alkusolmu sijaitsi Excelin tiedostossa neljännessä sarakkeessa ja rivillä 7. Sen lisäksi määritettiin paikka, johon kyseiset tiedot vietiin. Sitä varten luottiin Paste1- ja Paste2-muuttujia liittämispaikan määrittämiseksi. Esimerkiksi tässä tilanteessa käytettiin sarakemuuttujana cordOne-nimeä ja rivimuuttujana c-kirjainta. Seuraavaksi annettiin muuttujille arvot, eli cordOne-muuttajalle annettiin arvo 4 ja c-muuttujalle arvo 7 sekä arvoille paste1 ja paste2 3 ja 5. Kun ohjelma nyt tietää ensimmäisen koordinaatin sijainnin ja paikan, mihin tiedot pitää kopioida, voidaan koodia alkaa kirjoittaa. Koodia kirjatessa ohjelmalle piti kertoa, miltä välilehdeltä tiedot ovat, eli komennolla Worksheets(1).activate saatiin valittua oikea välilehti, sen jälkeen valittiin valitusta välilehdestä solu, joka sijaitsee määrättyssä paikassa, aktivoitiin ja kopioitiin solu välimuistiin. Seuraavaksi määritettiin toisen välilehden aktivointi komennolla Worksheets(2).Activate. Sen jälkeen liitettiin tiedot välimuistista määritettyyn soluun eli Paste1- ja Paste2-solulle ja siirrettiin seuraavaan koordinaattiin käyttämällä komentoa For j = 1 To 3 ja Next j. For-komento määrittää rutiinin toistuvan kolme kertaa, mutta joka kerta arvo CordOne ja Paste2 kasvaa yhdellä numerolla, jotta kopiointi siirtyisi viereiselle sarakkeelle. Kts. Liite 1 kohdassa 2.

Rakenteet koostuvat yleensä monista palkeista, joten komennot piti saada toistumaan siihen asti kunnes kaikki tiedot on siirretty. Tämä määritettiin komennolla: Do While c < lastRow ja loop.

Tällä komennolla rutiini toistuu siihen asti kun c eli rivien arvot ovat pienempiä kuin välilehden viimeisen rivin arvot. Näin olleen varmistetaan kaikkien tietojen kopiointi. Kts. Liite 1.

#### 4.4.2 Lines

Tällä välilehdellä yhdistettiin palkkielementtien alku- ja loppusolmut sekä määritettiin ne yhdistävä neutraaliakseli. Ensimmäisellä välilehdellä määritettiin elementin alku- ja loppukoodinaatille omat solmunumerot, joita käytettiin Lines-välilehdellä määrittäessä ne yhdistävä neutraaliakseli. Kuten kuvassa 11 on esitetty, viiva numero yksi koostuu kahdesta eri solmusta, eli solmusta 1 ja solmusta 2, sekä niitä yhdistävästä polylinesta.

Node		Coordinate	Node Coordinates		
No.	Node Type	System	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	Standard	Cartesian	0,0	0,0	0,0
2	Standard	Cartesian	0,0	0,0	1000,0

Line		Line Length		
No.	Line Type	Nodes No.	L [mm]	Z
1	Polyline	1,2	1000,0	Z

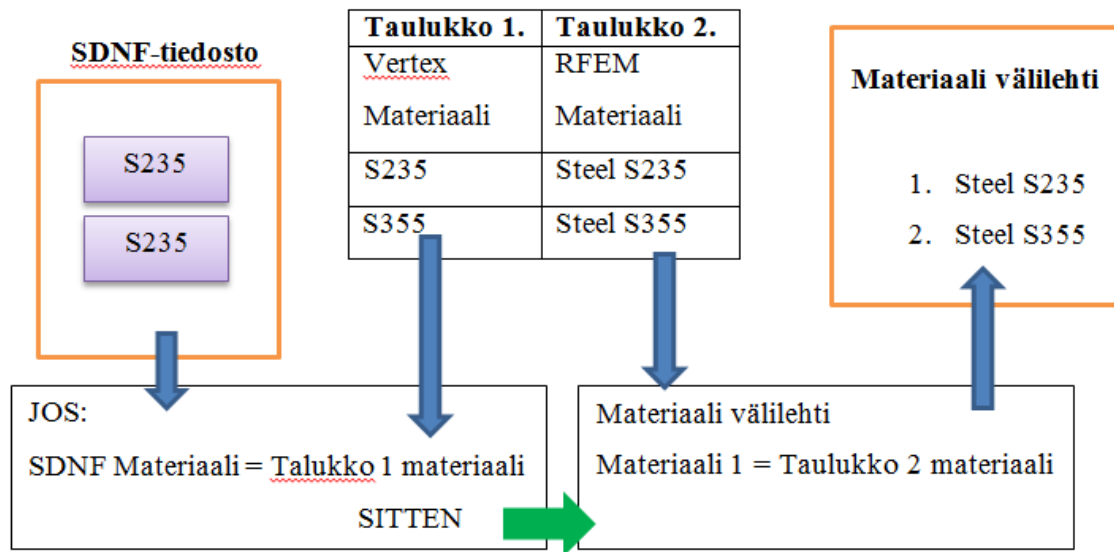
KUVA 11. Lines välilehti

Tätä välilehteä käytettiin vasta myöhemmässä vaiheessa, jossa määriteltiin elementille materiaali ja poikkileikkaus. Lines-välilehden makrot löytyvät liitteestä numero 1 kohdasta 3. Käytettyjen makrojen toimintaperiaate oli tuoda solmujen numerot samalle solulle ja erottaa ne pilkulla sekä samalla rivillä oleva viivatyypin eli ”line type”-sarakeelle määritellä sana ”polyline”, joka määrittelee solmuja yhdistävän viivan. Viiva numeronsarakkeessa määritetään jokaiselle palkkielementille oman numero.

#### 4.4.3 Materials

Materiaali-välilehti sisältää materiaalin tietoja kuten kimmokerroin, liukumoduuli ja POISSONin luku. Näitä tietoja ei onneksi tarvinnut määritellä, sillä materiaalin nimi oikeassa muodossa riittää. Esimerkiksi rakenteen materiaalina oli teräs S235, joka näkyy myös SDNF-tiedostossa, mutta koska RFEM määrittelee saman materiaalin eri tavalla, RFEMissä teräs S235 on Steel S 235. Vaikka nimityksessä ei ole suurta eroa, sen piti olla täsmälleen samanlainen, jotta ohjelma pysyisi tunnistamaan materiaalin. Ongelma ratkaistiin tekemällä vertailutaulukko ylimääräiseen välilehteen. Taulukkoon syötettiin Vertexin materiaalilista ja vastaavat materiaalit RFEMista. Tämän

taulukon tarkoituksena on vertailla SDFN-tiedoston materiaaleja ja Vertexin listan materiaaleja. Jos kyseiset materiaalit täsmäävät, niin kopioidaan vastaava materiaali RFEM listasta. Kuvassa 12 on esitetty tietojen vertailu vertailutaulukossa ja makron toimintaperiaate.



KUVA 12. Vertailutaulukot

Makron tehtävänä oli suorittaa kuvassa 12 toimintoa. Sen lisäksi materiaalille määritettiin numero, jota käytettiin myöhemmässä vaiheessa. Mutta koska rakenne koostuu monista elementeistä, joilla on samaa materiaalia, numeroituminen ei onnistunut koska samoilla materiaaleilla olisi ollut eri numero. Liitteessä 1 kohdassa 6 on koodi, jolla saatiin poistettua materiaalityypit, jotka esiintyvät enemmän kuin kerran rakenteessa. Eli jos meillä oli 5 palkkia, joiden materiaali on S235, normaalisti niistä tulisi 5 eri materiaalinumeroa, mutta koodin avulla poistetaan toistuvat materiaalit ja lopussa jää ainoastaan yksi materiaali (taulukko 2).

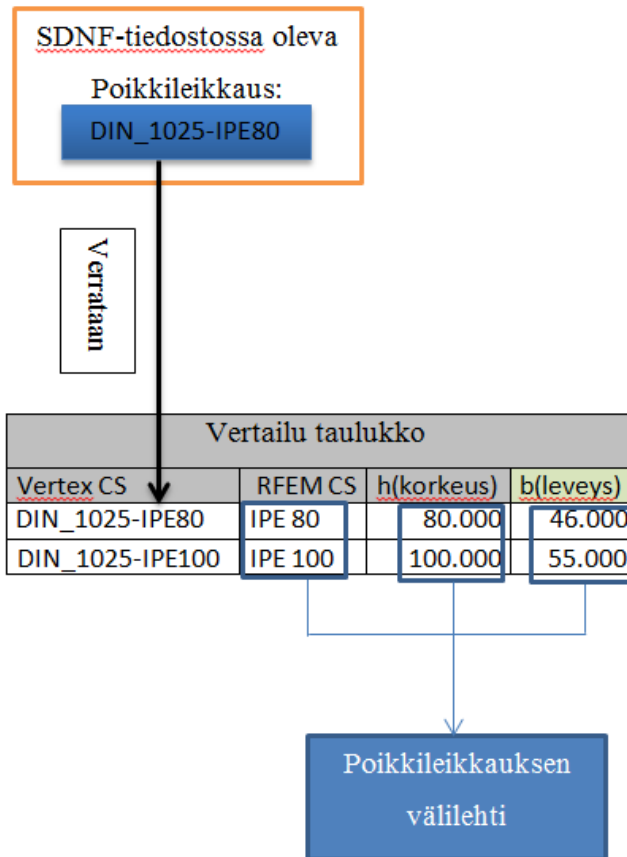
TAULUKKO 2. Materiaalit

	Materiaali	Materiaali	Materiaali numero
1	S235	S235	1
2	S235	S355	2
3	S235		
4	S235		
5	S355		
6	S355		
7	S355		
8	S355		

#### 4.4.4 Cross-sections

Cross-sections-välilehdellä määritettiin palkin poikkileikkauksen tiedot. Palkin geometrian luomisen kannalta tärkeimmät tiedot, joiden mukaan geometria rakennetaan, ovat poikkileikkauksen

nimi, esim. IPE 100, materiaali, joka määritettiin edellisessä välilehdessä ja viimeisinä poikkileikkauksen päämitat eli korkeus ja leveys. Esimerkiksi päämitat IPE 100 -palkista on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Poikkileikkauksen vertailu


Määritettäessä poikkileikkauksen makroja havaittiin, että siitä aiheutuu suuria hankaluuksia. Hankaluuksien syyt johtuvat jälleen kerran nimityksissä olevista eroista ohjelmien välillä. Samoihin ongelmiin törmättiin materiaali-välilehdessä, ainoa ero tässä oli se, että poikkileikkauksen lisäksi tarvittiin poikkileikkauksien päämitat. Kuvassa 13 on esitetty vertailutaulukko, jonka mukaan makro vertailee SDNF-tiedostoa ja Vertex CS -sarakkeen poikkileikkausta keskenään ja jos nimitykset täsmäävät, välilehdelle kopioidaan uuden poikkileikkauksen nimitys RFEM CS -sarakeesta sekä poikkileikkauksen korkeuden ja leveyden arvot.

#### 4.4.5 Members

Tämän välilehden tarkoitus on määrittää jokaisen elementin ominaisuuksia. Elementin ominaisuudet tuotiin aiemmin mainituilta välilehdiltä. Kts. Kuva 16. Members-välilehden ensimmäisessä

ja toisessa sarakkeessa määritettiin elementille oma numero ja määritettiin myös, mistä viivasta elementti koostuu. Arvot määritettiin Lines-välilehdellä. Jäsennumero on samanlainen kuin viivalle määritetty numero. Kolmannessa sarakkeessa määritettiin jäsenyyppi, joka on tässä tapauksessa palkki eli ”BEAM”. Neljännessä ja viidennessä sarakkeessa määritettiin elementin alku- ja loppuprofiilin poikkileikkaus.

Members-välilehdellä on kaikki tiedot, jotka RFEM-ohjelma tarvitsee luomaan elementin geometrian. Sen lisäksi elementille piti määrittää poikkileikkauksen suunta, joka määritettiin Members-välilehden kuudennessa ja seitsemännessä sarakkeessa. Poikkileikkauksen suuntaa on lujuuslaskennan kannalta hyvin tärkeä, koska sen perusteella lasketaan poikkileikkauksen neliömomentit ja taivutusvastus. Kuvassa 14 nähdään, että IPE-palkin neliömomentti ja taivutusarvot ovat suurempia z-akselin suhteen kuin y-akselin suhteen. Tämän takia palkin poikkileikkaussuunta on hyvin tärkeää määrittää oikein.



$I$  neliömomentti  
 $W$  taivutusvastus  
 $i$  neliösäde

Puolileveät I- tangot IPE SFS 2029 © SFS											
Tunnus	Koko		Poikkipinnan ala $A$ $10^3 \text{ mm}^2$	Pituusmassa $m_f$ $\text{kg/m}$	Vaippapinta $U$ $\text{m}^2/\text{m}$	Staattiset arvot taivutusakseille					
	$h$ mm	$b$ mm				z - z			y - y		
						$I_z$ $10^6 \text{ mm}^4$	$W_z$ $10^3 \text{ mm}^3$	$i_z$ mm	$I_y$ $10^6 \text{ mm}^4$	$W_y$ $10^3 \text{ mm}^3$	$i_y$ mm
IPE 80	80	46	0,764	6,00	0,328	0,801	20,0	32,4	0,0849	3,69	10,5
IPE 100	100	55	1,03	8,10	0,400	1,71	34,2	40,7	0,159	5,79	12,4
IPE 120	120	64	1,32	10,40	0,475	3,18	53,0	49,0	0,277	8,65	14,5

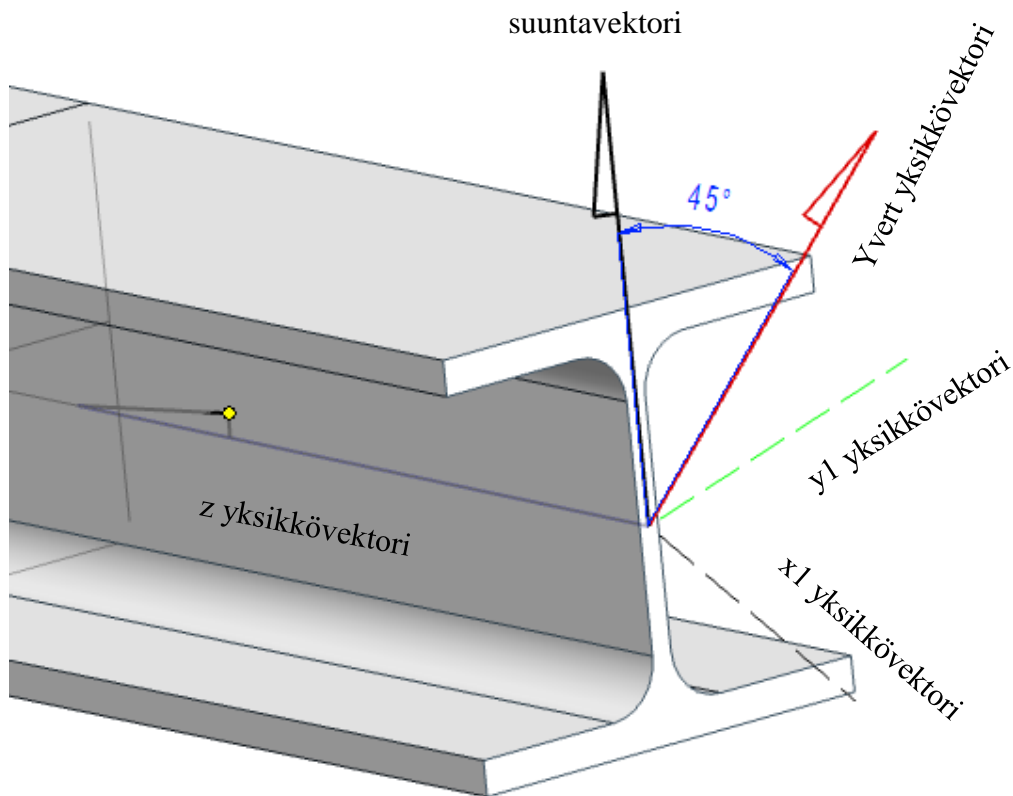
KUVA 14. IPE Palkin tiedot (Lujuusoppi 2010)

Members-välilehdessä poikkileikkauksen suunta määritettiin antamalla poikkileikkaukselle tietty kulma asteina. Kulma määritettiin ottamalla käyttöön SDNF-tiedostosta suuntavektori, kts. kuva 2. Suuntavektorin kääntäminen asteiksi vaatii muutamaa laskua, jotka esitetään liitteessä 2. Kyseisissä laskuissa on käytetty esimerkkinä 4 eri tapausta. Ensimmäisenä tapauksena käytettiin palkkia, joka on mallinnettu avaruuteen. Palkin alkupiste on pisteessä (0,0,0), loppupiste (250;250;353,55) ja suuntavektori (-0,146447;0,853553;-0,5).

Ensin laskettiin alku- ja loppupisteiden erotuksesta vektori Z, joka jaettiin omalla pituudellaan ja siitä muodostui yksikkövektori z. Sen jälkeen annettiin vektorille y1, z yksikkövektorin x:n ja y:n arvot mutta z:n arvoksi laitettiin nolla. Vektoreiden z ja y1 välille muodostuu taso, jota vasten

kohtisuorassa oleva vektori  $x_1$  laskettiin ristitulon avulla. Seuraavaksi laskettiin vertailuvektori  $Y_{vert}$ , joka sijaitsee kohtisuorassa  $z$ - ja  $x_1$ -vektorin tasoon nähden.

Poikkileikkauksen kiertymä laskettiin pistetulon avulla. Suuntavektorin ja vertailuvektorin välillä jäävä kulma määrittelee montako astetta poikkileikkausta käännetään. Kuvassa 14 on esitetty suuntavektori, vertailuvektori ja muut apuvektorit.

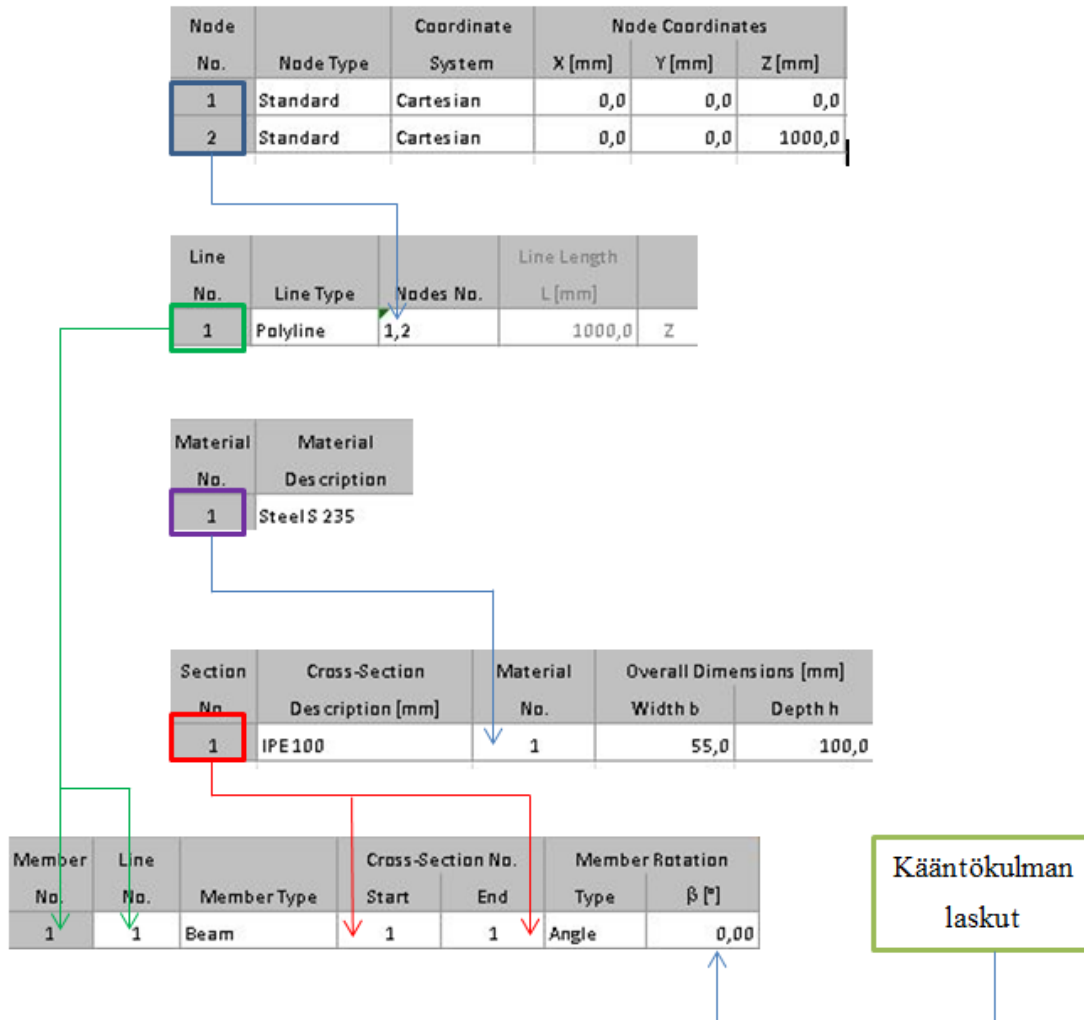


KUVA 15. Graafinen esitys poikkileikkauksen kiertymästä

Muissa tapauksissa käytettiin palkkeja, jotka sijoitettiin globaaliakseleiden suuntiin. Palkkien kiertymä määritettiin yksikertaisella laskutoimituksella. Kun palkki on mallinnettu  $Z$ -akselin suuntaan, vertailuvektorina käytettiin  $(0,1,0)$  ja  $X$ - ja  $Y$ -akselin suuntiin mallinnetuissa palkeissa käytetään sama vertailuvektoria  $(0,0,-1)$ . Laskutoimitukset on esitetty liitteessä 2.

Laskutoimituksen määrittäminen makrossa oli hieman monimutkaisempaa. Makrossa määritettiin ehtoja, jotka kohdistuvat suuntavektoriin. Näin ollen ehtojen täytyessä makro valitsee oikean kaavan suorittamaan laskutoimituksen.

Kun poikkileikkauksen kiertymä on määritetty, saatiin kaikki tarvittavat tiedot Members-välilehdeltä. Tämän jälkeen vientitaulukot ovat valmiina viemään ne RFEMiin. Kuvassa 16 on graafinen esitys siitä, miten ja mistä kaikki tiedot sijoitetaan Members-välilehdelle.



KUVA 16. Välilehtien tietojen sijoittelu Members-välilehdelle.

## 5 Mallin vieminen RFEMille ja lujuuslaskenta

Kun kääntäjä oli saatu toimimaan halutulla tavalla, tuotiin teräsrakenne RFEMille. Kokeilumallina käytettiin erästä Sweco Industryn teräsrakenneprojektia. Rakennemalli koostuu 454 elementistä ja 14:sta eri poikkileikkauksen profiilista. Tämän rakennemalli asetti kääntäjän koetukselle. Mallien kääntäminen ja vieminen lujuuslaskentaohjelmaan vei noin 3 minuuttia. Mallia tuotaessa huomattiin heti alussa, että on tärkeää määrittää oikeat asetukset ohjelmassa, kuten yksiköt, standardit ja globaalikoordinaatiston suunta. Kun asetukset saatiin kohdilleen, mallin tuominen onnistui ongelmitta.

### 5.1 Rakennemalli RFEMissa

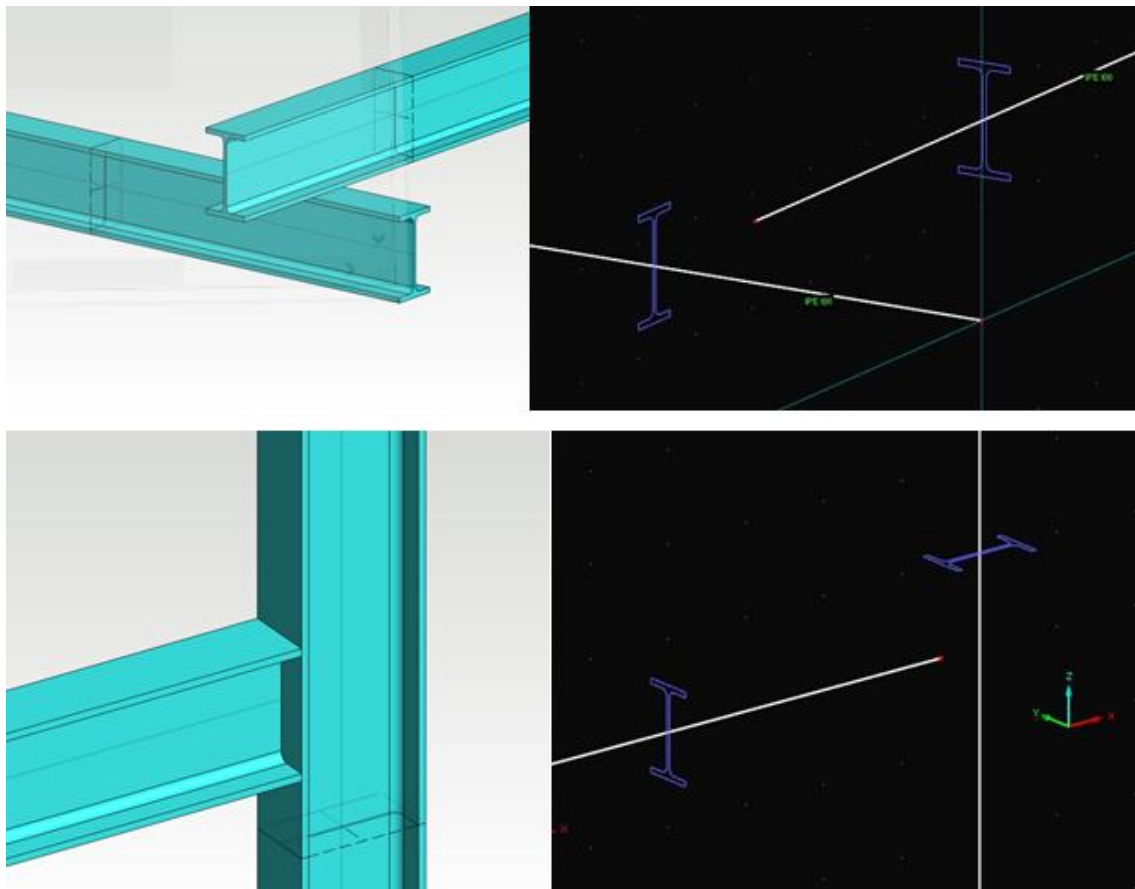
Kun rakennemalli oli tuotu RFEMille, suoritettiin pikatarkistus rakennemallien elementistä. Tarkistettiin/vertailtiin ovatko rakennemallin elementtien määrät ja ominaisuudet kohdillaan. Rakennemalli näytti olevan kunnossa, ainakin kun rakenteen näyttötilana käytettiin solidinäkymää, mutta kun näyttötilaksi vaihdettiin rautalankanäkymä huomattiin, että mallissa oli muutama ongelma.

Ongelmat ilmestyvät kun palkit risteävät toisiaan. Risteyskohdassa syntyy yhteissolmu, joka tässä tapauksessa jäi pois, koska SDNF-tiedostossa määritettiin elementtien alku- ja loppupisteet mutta siinä ei määritelty palkkien risteyskohtia. RFEM-ohjelmalle kyseiset elementit ovat kytkemättömiä. Tämän ongelman ratkaisemiseksi käytettiin RFEMin ”Model check” -työkalua, jonka avulla pystyttiin tarkistamaan, missä kohdissa on kytkemättömiä elementtejä koko rakennemallissa, ja sen jälkeen ”Connect Members” -työkalulla kytkettiin elementit keskenään yhdistävällä solmupisteellä. Model check -työkalun avulla pystyttiin myös tarkistamaan, onko rakennemallissa identtisiä solmuja, jotka ovat tarpeettomia, koska esimerkiksi kun kaksi palkkia alkaa samasta pisteestä, riittää määrittämään alkusolmuksi vain yksi solmu.

Toinen ongelma ilmeni palkkien liitoskohdissa. Kuvassa 17, vasemmalla puolella on vaakapalkki, joka liitettiin pystypalkkiin Vertex-ohjelmaa käyttäen ja kuvan oikealla puolella on samat palkit mutta RFEM-ohjelmassa. Koska rakennemalli suunniteltiin Vertex-ohjelmalla, palkkien liitoskohdat trimmataan profiilin pintaan ja tästä aiheutuu, että palkkien neutraaliakselit myös trimmataan, minkä seurauksena palkkien akselit eivät leikkaa toisiaan samassa solmupisteessä. Tähän ongelmaan löydettiin kaksi eri ratkaisua. Ensimmäisen ratkaisun toteuttamiseksi vaaditaan suunnittelijan suunnittelutavan muutos. Tällä tarkoitetaan, että suunnittelijan on huomioitava suunnitteluvaiheessa elementtien neutraaliakseleiden kohtaamisia, jotta rakennemallia käännettäessä malli olisi

jo valmis lujuuslaskentaa varten. Tämä ratkaisu on mahdollinen mutta vaikea toteuttaa, koska neutraaliakselien kohtaamisten huomioiminen liitoskohdissa vaatisi enemmän aikaa suunnittelussa.

Toisessa ratkaisussa rakennemallin liitoskohtiin, joissa akselit eivät leikkaa toisiaan, lisättiin ylimääräisen yhdistyspalkin Vertex-ohjelmassa. Ylimääräisen palkin profiiliksi määritettiin sellainen profiili, joka on helppo tunnistaa sen jälkeen kun käännetään rakennemallia ohjelmassa. Tämän palkin tarkoitus on yhdistää akselit keskenään palkkielementillä jo ennen rakennemallin kääntämistä. Ylimääräisten palkkien ominaisuudet määritettiin myöhemmin RFEMissä. Kuvassa 17 on esimerkki mainitusta ongelmasta.



KUVA 17. Esimerkkejä palkkienliitoksista

Sen jälkeen kun liitoskohdat oli yhdistetty käyttämällä lisäpalkkeja, rakennemalli vietiin RFEMille. Koska RFEM-ohjelmassa pystytään määrittämään elementtityyppi sen mukaan minkälaisin voimia kyseiseen elementtiin kohdistuu, määritettiin lisäpalkki Rigid-tyyppiseksi. Seuraavaksi selitetään lyhyesti yleisempiä elementtityyppejä ja tässä työssä käytettyjä elementtityyppejä.

- Beam-tyyppi, palkki, joka ottaa hyvin vastaan taivutusta. Yleensä pystypalkki.
- Truss-tyyppi ottaa vastaan sivuttaisliikkeitä, taivutusta ja vääntörasituksia. Vaakapalkki.

- Tension-tyypin ominaisuus on esim. pituussuuntainen jäykistys. Pystyristikoita.
- Rigid-tyyppi on jäykkä kappale, jonka kimmokerroin on todella suuri. Yhdistävä elementti kahden elementtien välille.

Kuten aiemmin mainittiin, yhdistyspalkkien tyyppinä käytettiin Rigid-tyyppiä. Tämän tyyppin käytön vaikutus lujuuslaskentaan on merkittävä, sillä ilman tätä lisäpalkkia lujuuslaskentaohjelma ei pysty suorittamaan, koska ohjelma pitää rakennetta epävakaana.

## 5.1 Rakennemallin lujuuslaskenta

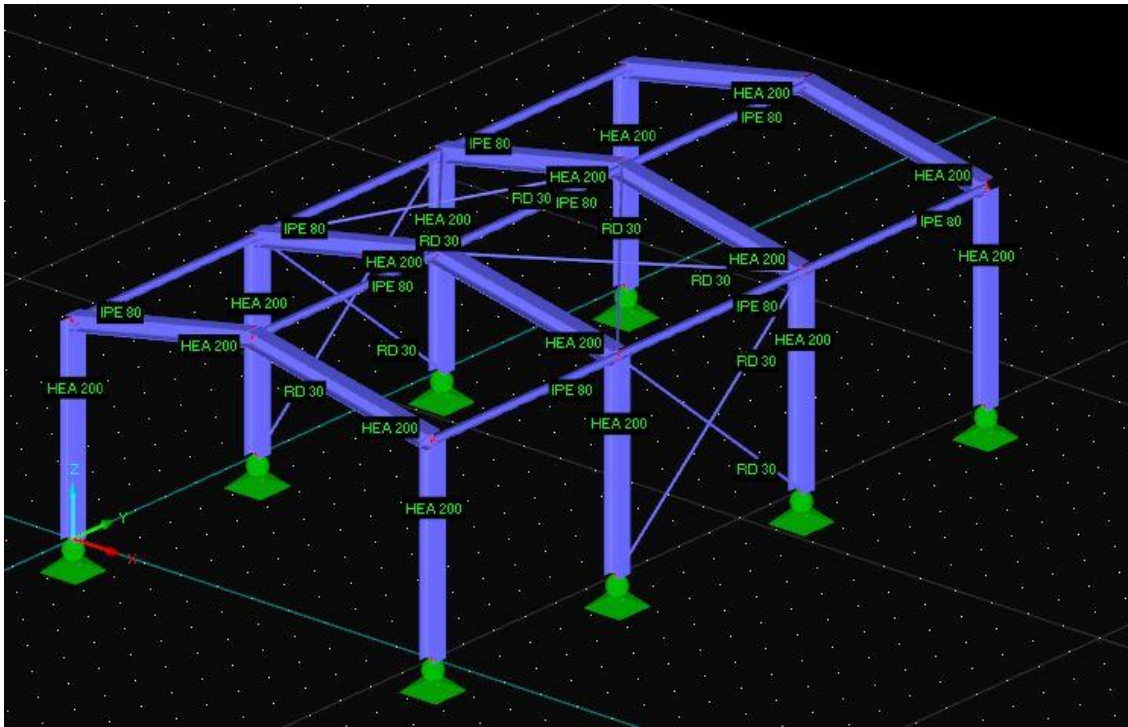
Rakennemallin valmistelun jälkeen käydään läpi esimerkin avulla teräsrakenteen mitoitus Eurocode-standardien mukaan. Esimerkkinä käytetään yksinkertaista teräsrakennetta, koska kääntäjässä käytetty teräshallin malli kuuluu SWECO Industry asiakkaalle ja salassapitovelvollisuuden takia malli ja lujuuslaskennat jätetään näyttämättä.

Esimerkkinä käytetty malli on mallinnettu Vertexilla ja tuotu RFEMille käyttäen kääntäjää. Kuvassa 18 on teräsrakenne, jolle suoritetaan lujuuslaskennat.

Ennen rakennemallin lujuuslaskentaa määritettiin asetuksia, joiden mukaan RFEM suorittaa tarvittavat laskelmat. Kun malli tuotiin lujuuslaskentaohjelmaan, asetettiin asetukseksi Eurocode-standardi. Tämä tarkoittaa, että ohjelma seuraa lujuuslaskennassa kuormituksia, kuormitusyhdistelmiä ja varmuuslukuja Eurocode-standardin mukaan. Esimerkkimallissa käytetään kolmea elementtityyppiä, jotka ovat beam, truss ja tension. Rigid-elementtityyppiä ei käytetty, koska kun mallinnettiin esimerkkimallia, otettiin huomioon, että elementtien liitoskohdissa akselit kohtaavat toisensa, eli ne on kytketty kiinni keskenään yhteisellä solmupisteellä. Kuvassa 17 on 3D-malli esimerkkimallista, jota mallinnettiin Vertexissa ja joka vietiin RFEMille.

Kuten aiemmin mainittiin, rakennemallia tarkistetaan ensin tarkistustyökalulla ja varmistetaan myös, että koko rakenne on kytketty keskenään. Koska käännetyssä mallista kaikki palkit ovat samantyyppisiä, määritettiin jokaiselle elementille oikea tyyppi.

Mallin runkorakenteissa käytettiin HEA-200-profiilin pilareita, joiden väli pitkällä sivuilla on 2500 mm ja päädyissä 5000 mm. Rakenne jäykistettiin poikkisunnassa IPE 80 -pilareilla ja pituussuunnassa pilareiden ja pääkannattajien väliin laitettiin jäykisteristikoita, joiden poikkileikkaus käytettiin terästanko halkaisijaltaan 30 mm. Rakenteessa materiaalina käytettiin S235:tä.



KUVA 18. Aksonometria rakenteesta.

Tarkistuksen jälkeen määritettiin pystypilareille solmutuennat. Solmutuentatyyppiä valittiin ”Hinged” eli saranoitu tuenta, jonka siirtymät on estetty x, y ja z:n suuntaan ja myös kiertymän Z-akselin suhteen. RFEM-ohjelmassa on mahdollista valita tuentatyyppit ohjelmassa määritetyistä tai tuennat voidaan luoda ja muokata oman tarpeen mukaan.

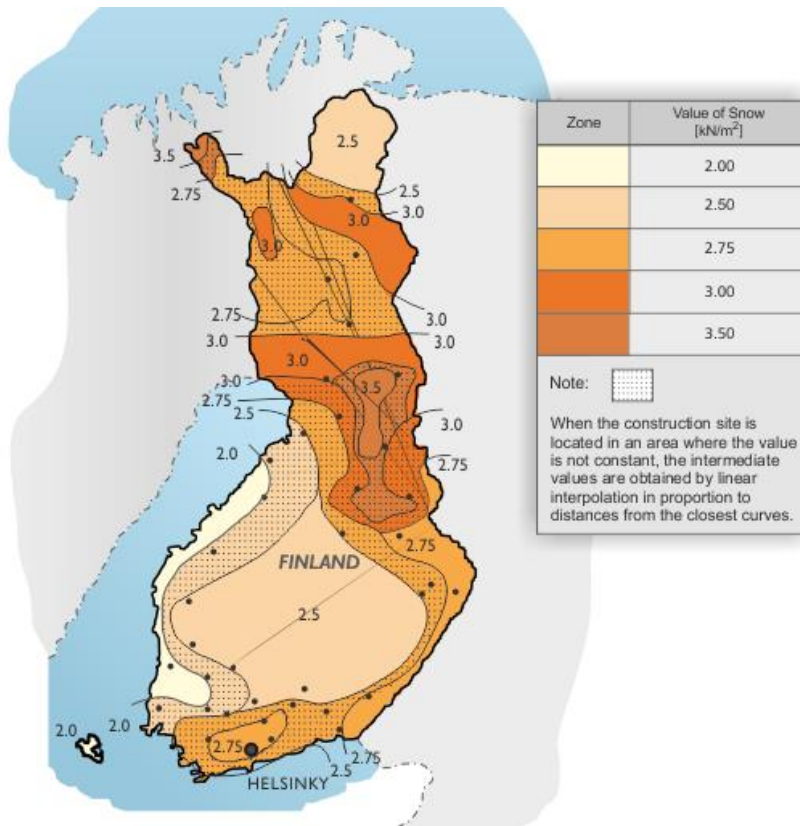
Seuraavaksi luotiin tulevat kuormitustapaukset ja kuormitusyhdistelmät. Tässä esimerkissä käytettiin kolmea kuormitustapausta: rakenteen omapaino, lumikuormat ja tuulikuormat. Kun kuormitustapaukset (taulukko 3) oli määritetty, määritettiin jokaiselle tapaukselle kuormitusarvoja ja kohdistusalue.

### TAULUKKO 3. Kuormitustapaukset

Load Case	Load Case Description	To Solve	EN 1990   CEN Action Category
LC1	Self-weight	+	Permanent
LC2	Snow	+	Snow (Finland, Iceland, Norway, Sweden)
LC3	Wind	+	Wind

Ensimmäisenä kuormituksena määritettiin  $0,3 \text{ kN/m}^2$ :n lisäkuormitus rakenteen omapainolle. Lisäkuormitus kohdistuu pääkannattimien päälle. Oma paino muodostuu kattorakenteiden painosta. Toisena kuormituksena käytettiin lumikuormaa, jonka arvo riippuu rakenteen tulevasta sijainnista, sillä kuormitusta määrittäessään RFEM pyytää valitsemaan lumialueen. Tässä tapauksessa lumialueena käytettiin Suomea, missä maanpinnan lumikuorman ominaisarvo on  $2,5 \text{ kN/m}^2$ .

Kuvassa 19 on kartta Suomen maapinnan lumikuorman vaihtelusta. Alueiden välillä on vaihtelua 2.0 – 3.5 kN/m<sup>2</sup>. Suomen keskiosasta löytyvät korkeimmat ominaisarvot.



KUVA 19. Lumi arvot Suomessa (RFEM-ohjelma)

Viimeisenä kuormituksena määritettiin tuulikuormat, jotka myös riippuvat sijainnista. Tässä työssä tuulikuormat määritettiin standardin SFS-EN 1991-1-4: 2005 mukaan. Määrittäessä tuulikuormat vaikuttavat seikat ovat rakenteen korkeus, leveys sekä rakenteen kattotyyppi. Sen jälkeen kun kaikki kuormat on määritetty, ohjelma muodostaa automaattisesti kuormitusyhdistelmiä, joita oli yhteensä 5. Taulukossa 4 on esitetty kuormitustapaus (LC01 load case) ja edessä oleva numero on kerroin kuormituksesta, joka lisätään kuormitusyhdistelmään (CO01 load combination).

TAULUKKO 4. Kuormitusyhdistelmät

Load Combin.	Description	To Solve
CO1	1.35*LC1	+
CO2	1.35*LC1 + 1.5*LC2	+
CO3	1.35*LC1 + 1.5*LC2 + 0.9*LC3	+
CO4	1.35*LC1 + 1.5*LC3	+
CO5	1.35*LC1 + 1.05*LC2 + 1.5*LC3	+

RFEMissa voidaan suorittaa lujuslaskennat tapauksittain tai kaikki kerrallaan ”Calculate all” -työkalulla. Kun kaikki tulokset on saatu laskettua, tulokset tarkistetaan.

## 5.2 Tulokset

Omapainon kuormitustapauksessa tarkistettiin taipuma, jonka maksimiarvo rakenteessa on 0,6 mm. Standardin SFS 1993-1-1:2005 mukaan maksimi taipuma, jota rakenne ei saisi ylittää, on  $L/300$ , eli jänneväli jaettuna 300:lla. Tämän kaavan mukaan maksimiraja-arvo on 16,6 mm, joten rakenteen taipuma on huomattavasti pienempi. Muut kuormitusyhdistelmien taipumat ovat pienempiä kuin maksiraja-arvot, vaikka suurin esiintyvä taipuma esiintyy kuormitustapauksessa CO5, joka sisältää omapaino-, lumi- ja tuulikuormituksia.

Rakenteeseen kohdistuvat jännitykset olivat myös kohdillaan, sillä maksimijännitys oli 34,4 MPa. Koska kaikki tulokset vaikuttavat hyvältä, voidaan olettaa, että rakenne ylimitoitettiin hieman, eli rakennetta voidaan vielä optimoida ja käyttää pienempiä teräsprofieileja.

Teräsprofiilien optimointi voidaan tehdä manuaalisesti tai käyttämällä RF-STEEL EC3-Design of steel members according Eurcode 3 -työkalua. Tässä tapauksessa käytettiin jälkimäistä tapaa. Työkalun avulla on mahdollista, että ohjema etsi sopivampaa teräsprofiilia standardin mukaan. Ensin määritettiin, mitkä teräsprofiilit halutaan optimoida, ja RFEM tekee loput työstä mutamassa minuutissa. Ohjelman suoritettua optimoinnin huomattiin, että poikkileikkauksien välilehdeltä valitut profiilit vaihdettiin pienemmiksi, esim. HEA-200:n tilalle vaihdettiin HEA-120 ja RD30:n tilalle RD15. Pituussuunnassa olevia palkkeja ei vaihdettu. Kuten huomattiin, Vertex-ohjelmasta Excel-kääntäjän kautta RFEMille tuotu rakennemalli on täysin toimiva malli, jolle pystyttiin tekemään muutoksia ja pystyttiin myös laskemaan lujuslaskuja, joten voidaan todeta, että tehty työ on onnistunut odotetusti. Rakenteen lujuslaskennan koko raportti löytyy liitteestä 3.

## 6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä on kerrottu yleisiä asioita rakennesuunnittelusta Vertex-ohjelmassa ja RFEM-ohjelmassa sekä miten SDNF-tiedostosta saatiin käytettyä palkkielementtien tiedot, jotta ne voitiin siirtää rakennemallin geometrian lujuuslaskentaohjelmaan käyttäen apuna Excel-kääntäjää. Rakenteen kääntämistä ja mitoituksen kulkua on käsitelty hyvin yleisellä tasolla ja lukijan vastuulle on jätetty yksityiskohtaisempi perehtyminen rakenteen mitoituksen perusteisiin. Rakennemallin siirtäminen Vertexistä RFEMille onnistuu vain käyttämällä Excel-ohjelmassa luotua kääntäjää, joka suorittaa siirtämisen Visual Basicin makrojen avulla. Makrossa käytettyjen koodien toimintaa ja selvityksiä niiden käytöstä ei ole esitetty niiden monimutkaisuuden ja opinnäytetyön rajauksen vuoksi.

Excel-kääntäjän toiminta testattiin erilaisilla rakenteilla. Suoritus aika on kohtalainen mutta kehittämisvaraa ja ideoita ohjelmiston parantamiseksi löytyy vielä. Kääntäjän ulkoistamista ja sen toimintaa omana ohjelmalla ilman Excel-ohjelman apua on harkittu kehittämissuunnaksi, mutta se vaatii kehittyneempiä ohjelmointitaitoja.

## LÄHTEET

Finaquant, 2015. Basic Matrix and Vector Functions written VBA/Excel. Luettu 06.6.2015.  
<http://finaquant.com/download/matrixvectorvba>

Aki Taanila, 2013. Excel VBA-ohjelmointi. Luettu 20.5.2015  
<http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/vba/vba.pdf>

Exporting SDF. Tulostettu 27.2.2015  
[http://catiadoc.free.fr/online/sr1ug\\_C2/sr1ugat0801.htm](http://catiadoc.free.fr/online/sr1ug_C2/sr1ugat0801.htm)

Matti Lähteenmäki, 2007. Elementtimenetelmä. Luettu 10.5.2015  
[http://personal.inet.fi/koti/m/lahteen/arkistot/elpe\\_pdf/kehat.pdf](http://personal.inet.fi/koti/m/lahteen/arkistot/elpe_pdf/kehat.pdf)

RFEM 5. 2013. Dlubal Software GMBH: Käyttöohjeet

## LIITTEET

### Liite 1. Tekstitiedoston tuonti Exceliin.

*1 SDNF-tiedoston tuonti coordinates välilehdelle sekä tietojen sijoittuminen riveihin ja sarakkeisiin*

Private Sub CommandButton2\_Click()

'Tekstitiedoston tuominen excelille

Dim SourceBook As Workbook

Dim DestBook As Workbook

Application.ScreenUpdating = False

FName = Application.GetOpenFilename()

Workbooks.OpenText Filename:=FName, Origin:=xlMSDOS, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:= \_ xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=True, Tab:=False, Semicolon:=False, \_ Comma:=False, Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), \_ Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1), \_ Array(9, 1), Array(10, 1), Array(11, 1)), TrailingMinusNumbers:=True

Set SourceBook = ActiveWorkbook

Set DestBook = Workbooks("VER\_TO\_RFEM(5).xlsm")

SourceBook.Sheets(1).Range("A1").CurrentRegion.Copy \_ DestBook.Sheets(1).Range("A3")

SourceBook.Close False

End Sub

*2 Palkkielementin alku- ja loppukoordinaattien siirtäminen coordinates välilehdeltä Nodes välilehdelle*

Public Sub CommandButton1\_Click()

'Palkkielementin koordinaattipisteet

Application.ScreenUpdating = False

Dim i As Integer

Dim c As Integer

Dim cord As Integer

Dim paste1 As Integer

```
Dim paste2 As Integer
```

```
Dim j As Integer
```

```
lastRow = Sheets("coordinates").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
i = 1
```

```
c = 7
```

```
cordOne = 4
```

```
cordTwo = 7
```

```
paste1 = 3
```

```
paste2 = 5
```

```
Do While c < lastRow
```

```
For j = 1 To 3
```

```
    Worksheets(1).Activate
```

```
    ActiveSheet.Cells(c, cordOne).Select
```

```
    Selection.copy
```

```
    Worksheets(2).Activate
```

```
    ActiveSheet.Cells(paste1, paste2).Select
```

```
    ActiveSheet.Paste
```

```
    paste2 = paste2 + 1
```

```
    cordOne = cordOne + 1
```

```
Next j
```

```
paste1 = paste1 + 1
```

```
paste2 = 5
```

```
For x = 1 To 3
```

```
    Worksheets(1).Activate
```

```
    ActiveSheet.Cells(c, cordTwo).Select
```

```
    Selection.copy
```

```
    Worksheets(2).Activate
```

```
    ActiveSheet.Cells(paste1, paste2).Select
```

```
    ActiveSheet.Paste
```

```
    paste2 = paste2 + 1
```

```
    cordTwo = cordTwo + 1
```

```
Next x
```

```
paste1 = paste1 + 1
```

```
paste2 = 5
```

```
cordOne = 4
```

```
cordTwo = 7
```

```
    c = c + 10
```

```
    i = i + 1
```

```
Loop
```

```
ActiveSheet.Cells(3, 1).Select
```

'tekstien lisääminen

```

Dim i1, lastRow0
Dim j1, lastRow1
Dim k1, lastRow2
Dim l1, nodes
Dim S1, System

```

```

lastRow0 = Sheets("1.1 Nodes").Range("E" & Rows.Count).End(xlUp).row
For i1 = 3 To lastRow0
If IsNumeric(Sheets("1.1 Nodes").Cells(i1, "E")) = True Then
'If Sheets("1.1 Nodes").Cells(i, "E").Value >= 0 Then
Sheets("1.1 Nodes").Cells(i1, "B") = "Standard"
Else
Sheets("1.1 Nodes").Cells(i1, "B") = ""
End If
Next i1

```

```

lastRow1 = Sheets("1.1 Nodes").Range("E" & Rows.Count).End(xlUp).row
For j1 = 3 To lastRow1
'If Sheets("1.1 Nodes").Cells(j, "E").Value >= 2 Then
If IsNumeric(Sheets("1.1 Nodes").Cells(j1, "E")) = True Then
Sheets("1.1 Nodes").Cells(j1, "C") = 0
Else
Sheets("1.1 Nodes").Cells(j1, "C") = ""

```

```

End If
Next j1

```

```

lastRow1 = Sheets("1.1 Nodes").Range("E" & Rows.Count).End(xlUp).row
For S1 = 3 To lastRow1
'If Sheets("1.1 Nodes").Cells(j, "E").Value >= 2 Then
If IsNumeric(Sheets("1.1 Nodes").Cells(S1, "E")) = True Then
Sheets("1.1 Nodes").Cells(S1, "D") = "Cartesian"
Else
Sheets("1.1 Nodes").Cells(S1, "D") = ""

```

```

End If
Next S1

```

```

nodes = 0
lastRow = Sheets("1.1 Nodes").Range("E" & Rows.Count).End(xlUp).row
For k1 = 2 To lastRow
If IsNumeric(Sheets("1.1 Nodes").Cells(k1, "E")) = True Then
Sheets("1.1 Nodes").Cells(k1, "A") = l1
'Else
'Sheets("1.1 Nodes").Cells(k, "A") = ""

```

```

End If

```

```

    l1 = l1 + 1
Next k1

ActiveSheet.Cells(1, "I").Select

'Application.ScreenUpdating = True

```

End Sub

**3 Palkkielementtien akseleiden määrittely alku- ja loppusolmun välille Lines välilehdelle.**

Public Sub CommandButton21\_Click()

```

Dim k As Integer
Dim node2 As Integer
Dim node1 As Integer
Dim i As Integer
Dim Nodesval As Integer

i = 7
node1 = 3
node2 = 4
k = 3

Do
    If Sheets("1.1 Nodes").Cells(node1, 1).Value > 0 Then
        Line = Sheets("1.1 Nodes").Cells(node1, 1) & "," & Sheets("1.1 Nodes").Cells(node2, 1)
        Sheets("1.2 Lines").Cells(k, "C") = Line

    Else
        Sheets("1.2 Lines").Cells(k, "C") = ""

    End If

    node1 = node1 + 2
    node2 = node2 + 2
    k = k + 1
    i = i + 1

Loop Until Sheets("1.1 Nodes").Cells(k, "A") = ""

' _____ solmujen numerointi

Dim l As Integer
Dim k1 As Integer
Dim g As Integer
g = 1

lastRow = Sheets("1.2 Lines").Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).row
For i1 = 3 To lastRow

```

```
If IsNumeric(Sheets("1.2 Lines").Cells(i1, "C")) = True Then
Sheets("1.2 Lines").Cells(i1, "B") = "Polyline"
```

```
Else: Sheets("1.2 Lines").Cells(i1, "C") = ""
```

```
End If
Next i1
```

```
nodes = 0
```

```
lastRow = Sheets("1.2 Lines").Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
For k1 = 3 To lastRow
```

```
If IsNumeric(Sheets("1.2 Lines").Cells(k1, "C")) = True Then
```

```
Sheets("1.2 Lines").Cells(k1, "A") = g
```

```
End If
```

```
g = g + 1
```

```
Next k1
```

```
End Sub
```

***4 Palkkielementtien poikkileikkauksien ja materiaalien tuonti yhteiselle välilehdelle vertailua ja uudelleen nimeämistä varten***

```
Public Sub CommandButton21_Click()
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
Dim p, lastRow
```

```
lastRow = Sheets("1.2 Lines").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row ' Vanha vaihtoehto
muuten vaihdetaan
```

```
lastRow2 = Sheets("coordinates").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
For p = 3 To lastRow
```

```
If IsNumeric(Sheets("1.2 Lines").Cells(p, "A")) = True Then
```

```
Sheets("yhdistäminen").Cells(p, "A") = Sheets("1.2 Lines").Cells(p, "A").Value
```

```
Else
```

```
Sheets("yhdistäminen").Cells(p, "A") = ""
```

```
End If
```

```
Next p
```

```
'-----
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim c As Integer
```

```
Dim cord As Integer
```

```
Dim paste1 As Integer
```

```
Dim paste2 As Integer
```

```
Dim j As Integer
```

```

Dim i2 As Integer
Dim c2 As Integer
Dim cord2 As Integer
Dim paste12 As Integer
Dim paste22 As Integer
Dim j2 As Integer

```

```

i = 1
c = 5 'oikea rivi

```

```

'cordOne = 16 'IPE saarakke rivi
cordOne = 6 'IPE saarakke rivi

```

```

cordTwo = 7
paste1 = 3
paste2 = 2

```

```

i2 = 1
c2 = 6 'oikea rivi
'c = 5 'oikea rivi

```

```

'cordOne = 16 'IPE saarakke rivi
cordOne2 = 2 'IPE saarakke rivi

```

```

cordTwo2 = 7
paste12 = 3
paste22 = 5

```

```

Do While c < lastRow2
For j = 1 To 1
  Worksheets(1).Activate
  ActiveSheet.Cells(c, cordOne).Select
  Selection.copy
  Worksheets(7).Activate
  ActiveSheet.Cells(paste1, paste2).Select
  ActiveSheet.Paste

```

```

For j2 = 1 To 1

```

```

  Worksheets(1).Activate
  ActiveSheet.Cells(c2, cordOne2).Select
  Selection.copy
  Worksheets(7).Activate
  ActiveSheet.Cells(paste12, paste22).Select
  ActiveSheet.Paste

```

```

Next j2

```

```

Next j

```

```

  paste12 = paste1 + 1

```

```
c2 = c2 + 10
```

```
i2 = i2 + 1
```

```
paste1 = paste1 + 1
```

```
c = c + 10
```

```
i = i + 1
```

Loop

```
Dim rng1 As Range, rng2 As Range, rngName As Range, i1 As Integer, j1 As Integer
```

```
For i3 = 2 To Sheets("yhdistäminen").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
  Set rng1 = Sheets("yhdistäminen").Range("B" & i3)
  For j1 = 1 To Sheets("cross-sections-data").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row
    Set rng2 = Sheets("cross-sections-data").Range("A" & j1)
    Set rngName = Sheets("cross-sections-data").Range("C" & j1)
    If rng1.Value = rng2.Value Then
      rngName.Copy Destination:=Worksheets(7).Range("D" & i3)

      GoTo next1
    End If
  ,
  _____

```

```
  Set rng2 = Nothing
Next j1
Set rng1 = Nothing
```

```
next1:
Next i3
```

'Materiaalin uudelleen nimeäminen

```
Dim rng1m As Range, rng2m As Range, rngNamem As Range, im As Integer, jm As Integer
```

```
For im = 2 To Sheets("yhdistäminen").Range("E" & Rows.Count).End(xlUp).row
  Set rng1m = Sheets("yhdistäminen").Range("E" & im)
  For jm = 1 To Sheets("Material-Data").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
    Set rng2m = Sheets("Material-Data").Range("B" & jm)
    Set rngNamem = Sheets("Material-Data").Range("C" & jm)
    If rng1m.Value = rng2m.Value Then
      rngNamem.Copy Destination:=Worksheets(7).Range("F" & im)

      GoTo next2
    End If

```

```

    Set rng2m = Nothing
    Next jm
    Set rng1m = Nothing

```

```
next2:
```

```
    Next im
```

```
'DUPLICATE CROSS SECTIONS TO NEXT SHEET KOPIO!
```

```

Dim cell As Range
Dim lastRowb As Long, ib As Long
Dim FNameb As String
Dim FPathb As String
Dim NewBook As Workbook

```

```
lastRowb = Range("D" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
ib = 1
```

```
For Each cell In Sheets("yhdistäminen").Range("D1:D" & lastRowb)
```

```
    If cell.Value >= 1 Then
```

```
        cell.copy
```

```
        Sheets("cross-sections-copy").Cells(ib, "B").PasteSpecial xlPasteValues
```

```
        ib = ib + 1
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
'_____ DUPLICATE MATERIAL KOPIO
```

```

Dim cell1 As Range
Dim lastRow1 As Long, ie As Long
Dim FName1 As String
Dim FPath1 As String
'Dim NewBook2 As Workbook1

```

```
lastRow1 = Range("F" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
ie = 1
```

```
For Each cell1 In Sheets("yhdistäminen").Range("F1:F" & lastRow1)
```

```
    If cell1.Value >= 1 Then
```

```

cell1.copy

Sheets("cross-sections-copy").Cells(ie, "A").PasteSpecial xlPasteValues

    ie = ie + 1
End If
Next

Dim cellc As Range
Dim lastRowc As Long, ic As Long
Dim FNamec As String
Dim FPathc As String

'Dim NewBook As Workbook

lastRowc = Range("F" & Rows.Count).End(xlUp).row

ic = 1

For Each cellc In Sheets("yhdistäminen").Range("F1:F" & lastRowc)

    If cellc.Value >= 1 Then

        cellc.copy

        Sheets("Material").Cells(ic, "B").PasteSpecial xlPasteValues

        ic = ic + 1
    End If
Next

'Application.ScreenUpdating = True

```

End Sub

***5 Materialin numerointi ja samanlaiset materiaalit poistetaan siihen asti kun jää yksi nimi per materiaali***

```

Public Sub CommandButton21_Click()
Application.ScreenUpdating = False

'Poistetaan samat materiaalit
Dim LR As Long, i As Long
LR = Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
For i = LR To 2 Step -1

```

```
If WorksheetFunction.CountIf(Columns("B"), Range("B" & i).Value) > 1 Then Rows(i).Delete
Next i
'Materiaalin numerointi
```

```
Dim m As Integer
Dim l As Integer
Dim VR As Integer
Dim p As Integer
```

```
VR = Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
m = 1
```

```
l = 1
```

```
p = 3
```

```
For m = 3 To VR
```

```
    If Sheets("Material").Cells(p, "B").Value = "" Then
```

```
        Sheets("Material").Cells(p, "C").Value = ""
```

```
    Else: Sheets("Material").Cells(p, "C").Value = 1
```

```
l = l + 1
```

```
p = p + 1
```

```
End If
```

```
Next m
```

```
' _____-
'kopio materiaali cross-sections välilehdelle
```

```
lastRow = Sheets("Material").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
For i = 3 To lastRow
```

```
    If IsNumeric(Sheets("Material").Cells(i, "B")) = False Then
```

```
        'If Sheets("1.1 Nodes").Cells(i, "E").Value >= 0 Then
```

```
            Sheets(4).Cells(i, "B") = Sheets("Material").Cells(i, "B")
```

```
        End If
```

```
    Next i
```

```
' _____-
'kopio materiaalin numero cross-sections välilehdelle
```

```
lastRow1 = Sheets("Material").Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
For i1 = 3 To lastRow1
```

```
    If IsNumeric(Sheets("Material").Cells(i1, "C")) = True Then
```

```
        'If Sheets("1.1 Nodes").Cells(i, "E").Value >= 0 Then
```

```

Sheets(4).Cells(i1, "A") = Sheets("Material").Cells(i1, "C")
End If
Next i1
'Application.ScreenUpdating = True

```

```
End Sub
```

### ***6 Uudet materiaalit ja poikkileikkausten nimityksien toistuvien nimien poisto***

```
Public Sub CommandButton21_Click()
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
Dim LR As Long, i As Long
```

```
LR = Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
For i = LR To 2 Step -1
```

```
If WorksheetFunction.CountIf(Columns("B"), Range("B" & i).Value) > 1 Then Rows(i).Delete
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

### ***7 Uusien nimityksien nimeointi***

```
Public Sub CommandButton22_Click()
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
Dim m As Integer
```

```
Dim l As Integer
```

```
Dim VR As Integer
```

```
Dim p As Integer
```

```
VR = Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
m = 1
```

```
l = 1
```

```
p = 3
```

```
For m = 3 To VR
```

```
    If Cells(p, "B").Value = "" Then
```

```
        Cells(p, "C").Value = ""
```

```
Else: Cells(p, "C").Value = 1
```

```
l = l + 1
```

```
p = p + 1
```

```
End If
```

```
Next m
```

```
End Sub
```

***8 Uusien nimityksien vienti omille välilehdelle sekä poikkileikkauksen päämittojen vienti members välilehdelle***

```
Public Sub CommandButton21_Click()
```

```
Dim rng1 As Range, rng2 As Range, rngName As Range, i As Integer, j As Integer
```

```
For i = 2 To Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
Set rng1 = Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & i)
```

```
For j = 1 To Sheets("cross-sections-data").Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
Set rng2 = Sheets("cross-sections-data").Range("C" & j)
```

```
Set rngName = Sheets("cross-sections-data").Range("E" & j)
```

```
If rng1.Value = rng2.Value Then
```

```
rngName.Copy Destination:=Worksheets(5).Range("M" & i)
```

```
GoTo next5
```

```
End If
```

```
Set rng2 = Nothing
```

```
Next j
```

```
Set rng1 = Nothing
```

```
next5:
```

```
Next i
```

```
' _____
```

```
Dim rng1b As Range, rng2b As Range, rngNameb As Range, ib As Integer, jb As Integer
```

```
For ib = 2 To Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
Set rng1b = Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & ib)
```

```
For jb = 1 To Sheets("cross-sections-data").Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
Set rng2b = Sheets("cross-sections-data").Range("C" & jb)
```

```
Set rngNameb = Sheets("cross-sections-data").Range("F" & jb)
```

```
If rng1b.Value = rng2b.Value Then
```

```
rngNameb.Copy Destination:=Worksheets(5).Range("L" & ib)
```

```
GoTo next6
```

```
End If
```

```
Set rng2b = Nothing
```

```
Next jb
```

```
Set rng1b = Nothing
```

next6:

Next ib

End Sub

Public Sub CommandButton22\_Click()

lastRow = Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row

For i = 3 To lastRow

If IsNumeric(Sheets("cross-sections-copy").Cells(i, "B")) = False Then

Sheets(5).Cells(i, "B") = Sheets("cross-sections-copy").Cells(i, "B")

End If

Next i

For i2 = 3 To lastRow

If IsNumeric(Sheets("cross-sections-copy").Cells(i2, "C")) = True Then

Sheets(5).Cells(i2, "A") = Sheets("cross-sections-copy").Cells(i2, "C")

End If

Next i2

lastRow = Sheets(5).Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row

For i4 = 3 To lastRow

If IsNumeric(Sheets(5).Cells(i4, "A")) = True Then

Sheets(5).Cells(i4, "K") = 0

Else: Sheets(5).Cells(i4, "K") = ""

End If

Next i4

'vie materiaal in numero

Dim rng1k As Range, rng2k As Range, rngNamek As Range, ik As Integer, jk As Integer

For ik = 2 To Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row

Set rng1k = Sheets("cross-sections-copy").Range("B" & ik)

For jk = 1 To Sheets(5).Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).row

Set rng2k = Sheets(5).Range("B" & jk)

Set rngNamek = Sheets("cross-sections-copy").Range("D" & jk)

If rng1k.Value = rng2k.Value Then

rngNamek.Copy Destination:=Worksheets(5).Range("C" & ik)

GoTo next7

End If

Set rng2k = Nothing

Next jk

Set rng1k = Nothing

next7:

Next ik

End Sub

### *9 Suuntavektorin laskenta ja kiertymän kääntökulman asteiksi*

Function ArcCos(x As Double) As Variant

Const PI As Double = 3.14159265358979 'evaluating multiples of Atn(1) is silly

If Abs(x) > 1 Then

ArcCos = CVErr(xlErrNum)

ElseIf x = 1 Then

ArcCos = 0

ElseIf x = -1 Then

ArcCos = PI

ElseIf x <= 0 Then

ArcCos = Atn(-x / Sqr(1 - x \* x)) + PI / 2

Else 'x > 0

ArcCos = Atn(Sqr(1 - x \* x) / x)

End If

End Function

Public Sub CommandButton1\_Click()

Application.ScreenUpdating = False

Dim rc As Integer

Dim rv As Integer

Dim lastRow

lastRow = Sheets("1.2 Lines").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row

i1 = 1

rc = 7

rv = 3

Do While i1 < lastRow

With Sheets("Coordinates")

.Range(.Cells(rc, 1), .Cells(rc, 9)).copy

End With

```
With Sheets("Vektorit")
    .Range(.Cells(rv, 1), .Cells(rv, 9)).PasteSpecial Paste:=xlValues
```

```
End With
```

```
rc = rc + 10
rv = rv + 1
i1 = i1 + 1
```

```
Loop
```

```
'laskut_
```

```
End Sub
```

```
Public Sub CommandButton2_Click()
```

```
Dim VS(2), V1(2), V2(2), z(2), x(2), Yv(2) As String
Dim y(2) As String
Dim S, S1, S2 As Integer
Dim i As Integer
Dim c As Integer
```

```
DegRad = WorksheetFunction.PI / 180
RadDeg = 1 / DegRad
```

```
i = 3
c = 10
l = 1
```

```
Do Until IsEmpty(Cells(i, 1)) = True
```

```
'Määritetään vektoreiden arvot
```

```
'__Suuntavektori
```

```
For S = 0 To 2
```

```
    VS(S) = Worksheets(12).Cells(i, 1 + S)
```

```
Next S
```

```
'__ehdot, joiden mukaan määritetään avaruuspalkin kulma
```

```
If (VS(0) <> "0") And (VS(1) <> "0") And (VS(2) <> "0") Then
```

```
    GoTo XYZ1:
```

```
Else
```

```
    GoTo XYZ2
```

End If

XYZ1:

```
'__Alkupiste
For S = 0 To 2
  V1(S) = Worksheets(12).Cells(i, 4 + S)
Next S
'__Loppupiste
For S = 0 To 2
  V2(S) = Worksheets(12).Cells(i, 7 + S)
Next S
'__Z-vektori

For S = 0 To 2
z(S) = V2(S) - V1(S)
Next S
'__Muodostetaan z1 vektori z1(x,y,0)

y(0) = z(0)
y(1) = z(1)
y(2) = 0
'__Lasketaan ristitulolla X=YxZ suuntainen vektori

x(0) = (y(1) * z(2) - y(2) * z(1))
x(1) = (y(2) * z(0) - y(0) * z(2))
x(2) = (y(0) * z(1) - y(1) * z(0))

'__Lasketaan Yv Ristitulolla Yv=ZxX

Yv(0) = (z(1) * x(2) - z(2) * x(1))
Yv(1) = (z(2) * x(0) - z(0) * x(2))
Yv(2) = (z(0) * x(1) - z(1) * x(0))
'__Lasketaan pistetulolla kulmaero_mutta ensin lasketaan erikseen

Dim product As Single, j As Integer
Product1 = 0
For S = 0 To 2
  Product1 = (Product1 + VS(S) * Yv(S))
Next
ScalarProduct = Product1

'__Vektorin VS:n pituus

Dim product2 As Single
product2 = 0
For S = 0 To 2
  product2 = Sqr((VS(0) * VS(0)) + (VS(1) * VS(1)) + (VS(2) * VS(2)))
  'product2 = Sqr((V2(0) * V2(0)) + (V2(1) * V2(1)) + (V2(2) * V2(2)))
Next
```

```

ScalarProduct = product2
'_____ vektorin yv:n pituus
Dim product21 As Single
product21 = 0
For S = 0 To 2
    'product2 = Sqr((VS(0) * VS(0)) + (VS(1) * VS(1)) + (VS(2) * VS(2)))
    product21 = Sqr((Yv(0) * Yv(0)) + (Yv(1) * Yv(1)) + (Yv(2) * Yv(2)))
Next
ScalarProduct = product21
'___Vektoreinde VS ja Yv kertolasku

Dim product3 As Single

    product3 = product2 * product21

'___Pistetulon jakolasku

Dim x1 As Double

x1 = Product1 / product3

' On Error GoTo XYZ2:

'___ARCCOS

'Käytetään Long koska pyöristetään luku

Dim Beta1 As Long

Beta1 = ArcCos(x1) * RadDeg

'TULOS BETA XYZ1

GoTo Result1:

'Cells(i, 10).Value = Beta1

XYZ2:

If (VS(2) = 0) Then
    GoTo XY0

Else
    GoTo XYZ3:
End If
XYZ3:

If (VS(1) = 0) Then
    GoTo X0Z
Else
    GoTo XYZ4

```

End If

XYZ4:

If (VS(0) = 0) Then

GoTo OYZ

End If

'Kaavat\_laskut jos ehto toteudu

XY0:

Dim YvZ(2) As String

Dim YvY(2) As String

Dim YvX(2) As String

' YzZ on vertailuverktori kun Z=0

YvZ(0) = 0

YvZ(1) = 1

YvZ(2) = 0

YvZ(0) = 1 'alunperin +1 sillä me saadaan pystypalkin ainakin oikein

YvZ(1) = 0

YvZ(2) = 0

'Lasketaan pistetulo kun Z=0

' \_\_\_ K2

Dim PZ1 As Single

PZ1 = 0

For S = 0 To 2

PZ1 = PZ1 + VS(S) \* YvZ(S)

Next

ScalarProduct = PZ1

Dim PZ01 As Double

PZ01 = 0

For S = 0 To 2

PZ01 = Sqr((VS(0) \* VS(0)) + (VS(1) \* VS(1)) + (VS(2) \* VS(2)))

Next

ScalarProduct = PZ01

Dim PZ02 As Double

PZ02 = 0

For S = 0 To 2

PZ02 = Sqr((YvZ(0) \* YvZ(0)) + (YvZ(1) \* YvZ(1)) + (YvZ(2) \* YvZ(2)))

Next

ScalarProduct = PZ02

Dim PZ2 As Double

$$PZ2 = PZ02 * PZ01$$

Dim PZ As Double

$$PZ = PZ1 / PZ2$$

Dim Beta2 As Long

$$\text{Beta2} = \text{ArcCos}(PZ) * \text{RadDeg}$$

' \_\_\_\_\_tulokset

GoTo Result2:

X0Z:

' YvY on vertailuverktori kun Y=0

$$YvY(0) = 0$$

$$YvY(1) = 0$$

$$YvY(2) = -1$$

Dim PY1 As Single

$$PY1 = 0$$

For S = 0 To 2

$$PY1 = PY1 + VS(S) * YvY(S)$$

Next

$$\text{ScalarProduct} = PY1$$

Dim PY01 As Single

$$PY01 = 0$$

For S = 0 To 2

$$PY01 = \text{Sqr}((VS(0) * VS(0)) + (VS(1) * VS(1)) + (VS(2) * VS(2)))$$

Next

$$\text{ScalarProduct} = PZ01$$

Dim PY02 As Single

$$PY02 = 0$$

For S = 0 To 2

$$PY02 = \text{Sqr}((YvY(0) * YvY(0)) + (YvY(1) * YvY(1)) + (YvY(2) * YvY(2)))$$

Next

$$\text{ScalarProduct} = PY02$$

Dim PY2 As Single

$$PY2 = PY01 * PY02$$

Dim PY As Double

$$PY = PY1 / PY2$$

Dim Beta3 As Long

$$Beta3 = \text{ArcCos}(PY) * \text{RadDeg}$$

GoTo Result3:

OYZ:

' YvX on vertailuverktori kun X=0

$$YvX(0) = 0$$

$$YvX(1) = 0$$

$$YvX(2) = -1$$

Dim PX1 As Single

$$PX1 = 0$$

For S = 0 To 2

$$PX1 = PX1 + VS(S) * YvX(S)$$

Next

$$\text{ScalarProduct} = PX1$$

Dim PX01 As Single

$$PX01 = 0$$

For S = 0 To 2

$$PX01 = \text{Sqr}((VS(0) * VS(0)) + (VS(1) * VS(1)) + (VS(2) * VS(2)))$$

Next

$$\text{ScalarProduct} = PX01$$

Dim PX02 As Single

$$PX02 = 0$$

For S = 0 To 2

$$PX02 = \text{Sqr}((YvX(0) * YvX(0)) + (YvX(1) * YvX(1)) + (YvX(2) * YvX(2)))$$

Next

$$\text{ScalarProduct} = PX02$$

Dim PX2 As Single

$$PX2 = PX01 * PX02$$

Dim PX As Double

$$PX = PX1 / PX2$$

Dim Beta4 As Long

Beta3 = ArcCos(PY) \* RadDeg

GoTo Result3:

' \_\_\_\_\_Tulos skalaari

' \_\_\_\_Kulma-arvo avaruus beta1

Result1:

If VS(0) < 0 Then

Cells(i, 10).Value = 360 - Beta1

Else

Cells(i, 10).Value = Beta1

End If

GoTo Toisto:

' \_\_\_\_Kulma-arvo beta2

Result2

If VS(0) < 0 Then

Cells(i, 10).Value = 360 - Beta2

Else

Cells(i, 10).Value = Beta2

End If

GoTo Toisto:

' \_\_\_\_Kulma-arvo beta3

Result3:

If VS(0) < 0 Then

Cells(i, 10).Value = 360 - Beta3

Else

Cells(i, 10).Value = Beta3

End If

GoTo Toisto:

' \_\_\_\_Kulma-arvo beta4

Result4:

Toisto:

l = l + 1

i = i + 1

Loop

End Sub

'Palkkielemetin kääntökulman lisääminen 1.17 members välilehdelle

```
Public Sub CommandButton3_Click()
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
    lastRow = Sheets("1.17 Members").Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).row
```

```
    For h = 3 To lastRow
```

```
        If IsNumeric(Sheets("1.17 Members").Cells(h, "A")) = True Then
```

```
            Sheets("1.17 Members").Cells(h, "G") = Sheets("Vektorit").Cells(h, "J")
```

```
        End If
```

```
    Next h
```

```
Worksheets(1).Activate
```

```
End Sub
```

## Liite 2. Kiertymän laskutoimitukset

Lasku numero 1

ORIGIN := 0

Alkupiste P1

Loppupiste P2

Suuntavektori P3

$$P_1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$P_2 := \begin{pmatrix} 250 \\ 250 \\ 353.553391 \end{pmatrix}$$

$$SV := \begin{pmatrix} -0.146447 \\ 0.853553 \\ -0.5 \end{pmatrix}$$

$$sv_1 := \frac{SV}{|SV|}$$

Lasketaan alku- ja loppupisteistä, vektori Z

Z vektorista =>>> yksikkövektori z

$$Z := P_2 - P_1 = \begin{pmatrix} 250 \\ 250 \\ 353.553 \end{pmatrix}$$

$$z := \frac{Z}{|Z|} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.707 \end{pmatrix}$$

Lasketaan y vektorin

$$y := \begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$y_1 := \frac{y}{|y|}$$

Lasketaan X

$$X := y_1 \times z = \begin{pmatrix} 0.5 \\ -0.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$x_1 := \frac{X}{|X|}$$

$$Y_{\text{vert}} := z \times x_1 = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ -0.7071 \end{pmatrix}$$

$$y_{\text{vert1}} := \frac{Y_{\text{vert}}}{|Y_{\text{vert}}|} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ -0.707 \end{pmatrix}$$

Lasketaan pistetulolla vektorin SV ja Y.vert välisen kulman

+

$$\cos \beta = \frac{SV \cdot y_{\text{vert1}}}{|SV| \cdot |y_{\text{vert1}}|}$$

$$\beta_1 := \arccos \left( \frac{sv_1 \cdot y_{\text{vert1}}}{|sv_1| \cdot |y_{\text{vert1}}|} \right) = 45 \cdot \text{deg}$$

### Liite 3. Lujuuslaskentaraaportti

#### Rakennemalli tiedot ja kuormitukset

##### Model - General Data

General	Model name	: LujuusLaskentaESIM
	Project name	: Projects
	Type of model	: 3D
	Positive direction of global axis Z	: Upward
	Classification of load cases and combinations	: According to Standard: EN 1990 National annex: CEN - EU
	x Automatically create combinations	: x Load Combinations

##### FE Mesh Settings

General	Target length of finite elements	$l_{FE}$	: 500.0 mm
	Maximum distance between a node and a line to integrate it into the line	$\epsilon$	: 1.0 mm
	Maximum number of mesh nodes (in thousands)		: 500
Members	Number of divisions of members with cable, elastic foundation, taper, or plastic characteristic		: 10
	x Activate member divisions for large deformation or post-critical analysis x Use division for members with node lying on them		
Surfaces	Maximum ratio of FE rectangle diagonals	$\Delta_D$	: 1.8
	Maximum out-of-plane inclination of two finite elements	$\alpha$	: 0.50 °
	Shape direction of finite elements		: Triangles and quadrangles x Same squares where possible

Node No.	Node Type	Reference Node	Coordinate System	Node Coordinates		
				X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	Standard	-	Cartesian	0.0	0.0	0.0
2	Standard	-	Cartesian	0.0	0.0	2500.0
3	Standard	-	Cartesian	0.0	3000.0	0.0
4	Standard	-	Cartesian	0.0	3000.0	2500.0
5	Standard	-	Cartesian	0.0	6000.0	0.0
6	Standard	-	Cartesian	0.0	6000.0	2500.0
7	Standard	-	Cartesian	0.0	9000.0	0.0
8	Standard	-	Cartesian	0.0	9000.0	2500.0
9	Standard	-	Cartesian	5000.0	0.0	0.0
10	Standard	-	Cartesian	5000.0	0.0	2500.0
11	Standard	-	Cartesian	5000.0	3000.0	0.0
12	Standard	-	Cartesian	5000.0	3000.0	2500.0
13	Standard	-	Cartesian	5000.0	6000.0	0.0
14	Standard	-	Cartesian	5000.0	6000.0	2500.0
15	Standard	-	Cartesian	2500.0	0.0	3000.0
16	Standard	-	Cartesian	5000.0	9000.0	0.0
17	Standard	-	Cartesian	2500.0	3000.0	3000.0
18	Standard	-	Cartesian	2500.0	6000.0	3000.0
19	Standard	-	Cartesian	5000.0	9000.0	2500.0
20	Standard	-	Cartesian	2500.0	9000.0	3000.0

Line No.	Line Type	Nodes No.	Line Length L [mm]	
1	Polyline	1,2	2500.0	Z
2	Polyline	3,4	2500.0	Z
3	Polyline	5,6	2500.0	Z
4	Polyline	6,4	3000.0	Y
5	Polyline	10,12	3000.0	Y

Line No.	Line Type	Nodes No.	Line Length L [mm]	
6	Polyline	15,17	3000.0	Y
7	Polyline	9,10	2500.0	Z
8	Polyline	11,12	2500.0	Z
9	Polyline	13,14	2500.0	Z
10	Polyline	2,15	2549.5	XZ
11	Polyline	15,10	2549.5	XZ
12	Polyline	4,17	2549.5	XZ
13	Polyline	17,12	2549.5	XZ
14	Polyline	6,18	2549.5	XZ
15	Polyline	18,14	2549.5	XZ
16	Polyline	4,2	3000.0	Y
17	Polyline	17,18	3000.0	Y
18	Polyline	12,14	3000.0	Y
19	Polyline	7,8	2500.0	Z
20	Polyline	8,6	3000.0	Y
21	Polyline	16,19	2500.0	Z
22	Polyline	8,20	2549.5	XZ
23	Polyline	20,19	2549.5	XZ
24	Polyline	18,20	3000.0	Y
25	Polyline	14,19	3000.0	Y
26	Polyline	4,5	3905.1	YZ
27	Polyline	6,3	3905.1	YZ
28	Polyline	4,18	3937.0	
29	Polyline	6,17	3937.0	
30	Polyline	17,14	3937.0	
31	Polyline	12,18	3937.0	
32	Polyline	12,13	3905.1	YZ
33	Polyline	11,14	3905.1	YZ

### 1.3 Materials

Matl. No.	Modulus E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Modulus G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Poisson's Ratio $\nu$ [-]	Spec. Weight $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. of Th. Exp. $\alpha$ [1/°C]	Partial Factor $\gamma_M$ [-]	Material Model
1	Steel S 235   EN 1993-1-1:2005-05 21000.00	8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotropic Linear Elastic

### 1.7 Nodal Supports

Support No.	Nodes No.	Se- quen.	Rotation [°]			Column in Z	Support Conditions					
			about X	about Y	about Z		$u_x$	$u_y$	$u_z$	$\phi_x$	$\phi_y$	$\phi_z$
1	1,3,5,7,9,11 ,13,16	XYZ	0.00	0.00	0.00	-	x	x	x	-	-	x

### 1.13 Cross-Sections

Section No.	Matl. No.	J [cm <sup>4</sup> ]		$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]		$I_z$ [cm <sup>4</sup> ]		Principal Axes $\alpha$ [°]	Rotation $\alpha'$ [°]	Overall Dimensions [mm]	
		A [cm <sup>2</sup> ]		$A_y$ [cm <sup>2</sup> ]		$A_z$ [cm <sup>2</sup> ]				Width b	Height h
1	HEA 200 1	20.98		3692.00		1336.00		0.00	0.00	200.0	190.0
		53.83		33.30		10.77					
2	IPE 80 1	0.70		80.14		8.49		0.00	0.00	46.0	80.0
		7.64		4.03		2.69					
3	RD 30 1	7.95		3.98		3.98		0.00	0.00	30.0	30.0
		7.07		5.94		5.94					

### 1.17 Members

Mbr. No.	Line No.	Member	Rotation		Cross-Section		Hinge No.		Ecc. No.	Div. No.	Length L [mm]
			Type	$\beta$ [°]	Start	End	Start	End			

## 1.17 Members

Mbr. No.	Line No.	Member	Rotation		Cross-Section		Hinge No.		Ecc. No.	Div. No.	Length L [mm]	
			Type	$\beta$ [°]	Start	End	Start	End				
1	1	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
2	2	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
3	3	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
4	16	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
5	18	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
6	17	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
7	7	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
8	8	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
9	9	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
10	10	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
11	11	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
12	12	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
13	13	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
14	14	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
15	15	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
16	4	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
17	5	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
18	6	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
19	19	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
20	25	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
21	24	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
22	21	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2500.0	Z
23	22	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
24	23	Beam	Angle	0.00	1	1	-	-	-	-	2549.5	XZ
25	20	Truss ( N only )	Angle	0.00	2	2	-	-	-	-	3000.0	Y
26	26	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3905.1	YZ
27	27	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3905.1	YZ
28	28	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3937.0	
29	29	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3937.0	
30	30	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3937.0	
31	31	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3937.0	
32	32	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3905.1	YZ
33	33	Tension	Angle	0.00	3	3	-	-	-	-	3905.1	YZ

## 2.1 Load Cases

Load Case	Load Case Description	EN 1990   CEN Action Category	Self-Weight - Factor in Direction			
			Active	X	Y	Z
LC1	Self-weight	Permanent	x	0.000	0.000	-1.000
LC2	Snow	Snow (Finland, Iceland, Norway, Sweden)	-			
LC3	Wind	Wind	-			

## 2.1.1 Load Cases - Calculation Parameters

Load Case	Load Case Description	Calculation Parameters
LC1	Self-weight	Method of analysis : x Geometrically linear static analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : x Newton-Raphson
LC2	Snow	Method of analysis : x Geometrically linear static analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : x Newton-Raphson
LC3	Wind	Method of analysis : x Geometrically linear static analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : x Newton-Raphson



## 2.5.2 Load Combinations - Calculation Parameters

Load Com- bin.	Description	Calculation Parameters
		x Moments $M_y$ , $M_z$ and $M_T$

## 2.5.5 Load Combinations - Imperfections

Load Com- bin.	CO-Description	Applied Imperfection from Module RF-IMP	Applied Imperfection
CO1	1.35*LC1	-	
CO2	1.35*LC1 + 1.5*LC2	-	
CO3	1.35*LC1 + 1.5*LC2 + 0.9*LC3	-	
CO4	1.35*LC1 + 1.5*LC3	-	
CO5	1.35*LC1 + 1.05*LC2 + 1.5*LC3	-	

## 2.6 Result Combinations

Result Com- bin.	Result Combination		No.	Factor	Loading	Criterion	Alternate Group
	DS	Description					
RC1	ULS	ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10	1	1.00	CO1	Permanent	1
			2	1.00	CO2	Permanent	1
			3	1.00	CO3	Permanent	1
			4	1.00	CO4	Permanent	1
			5	1.00	CO5	Permanent	1

## LC1

Self-weight

## 3.15 Generated Loads

LC1: Self-weight

No.	Load Description				
1	From Area Loads via Plane				
	Area load direction	Global related to the true area:			x ZL
	Area of load application				x Fully closed plane
	Load distribution type:				x Combined
	Area load magnitude	x Constant			: -0.300 kN/m <sup>2</sup>
	Boundary of the area load plane	Corner nodes			: 2,8,20,15; 10,15,20,19
		Note			: Each row in the drop down list box denotes one plane
	Generating total loads in direction	$\Sigma P_{Areas}$	X	: 0.000	kN
			Y	: 0.000	kN
			Z	: -13.767	kN
		$\Sigma P_{Members}$	X	: 0.000	kN
			Y	: 0.000	kN
			Z	: -13.767	kN
	Total moment to the origin	$\Sigma P_{Areas}$	X	: -61.953	kNm
		Y	: 34.418	kNm	
		Z	: 0.000	kNm	
	$\Sigma P_{Members}$	X	: -61.953	kNm	
		Y	: 34.418	kNm	
		Z	: 0.000	kNm	
Cells selected for generating	$\Sigma$ Number of cells			: 6	

## 3.15 Generated Loads

LC1: Self-weight

No.	Load Description
	$\Sigma$ Cell area : 4589117 mm <sup>2</sup> 7.2
	Convert loads to members No. : 4-6,10-18,20,21,23-25

## LC2

Snow

## 3.15 Generated Loads

LC2: Snow

No.	Load Description
1	From Snow Loads (Duopitch Roof)
	Snow Load Parameters According to Standard : EN 1991-1-3 National Annex : Finland Snow Load Zone Z : 2,5 Ground Snow Load $s_k$ : 2.500 kN/m <sup>2</sup> Topography Type : Normal
	Coefficients Exposure $C_e$ : 1.00 Thermal Coefficient $C_t$ : 1.00
	Roof Geometry Node A : 2 B : 8 C : 20 D : 19 E : 10 F : 15
	Generate LC x LC s1,a : LC2
	Create load type x Member loads
	Load distribution type x Combined
	Generate snow loads on members No. : 4-6,10-18,20,21,23-25
	Parameters $A_R$ : 4589117 m <sup>2</sup> 4.3 $\alpha_1$ : 11.3 ° $\alpha_2$ : 11.3 ° $S_k$ : 2.500 kN/m <sup>2</sup>
	Side with $\alpha_1$ $\mu_1$ : 0.800 $s_1$ : 2.000 kN/m <sup>2</sup>
	Side with $\alpha_2$ $\mu_1$ : 0.800 $s_1$ : 2.000 kN/m <sup>2</sup>
	Generated total loads $\Sigma P_{Areas}$ : 90.000 kN $\Sigma P$ : 90.000 kN
	Total moment to the origin $\Sigma P_{Areas}$ : 463.303 kNm $\Sigma P$ : 463.303 kNm
	Cells selected for generating $\Sigma$ Number of cells : 6 $\Sigma$ Cell area : 4500000 mm <sup>2</sup> 2.1

## LC3

Wind

## 3.15 Generated Loads

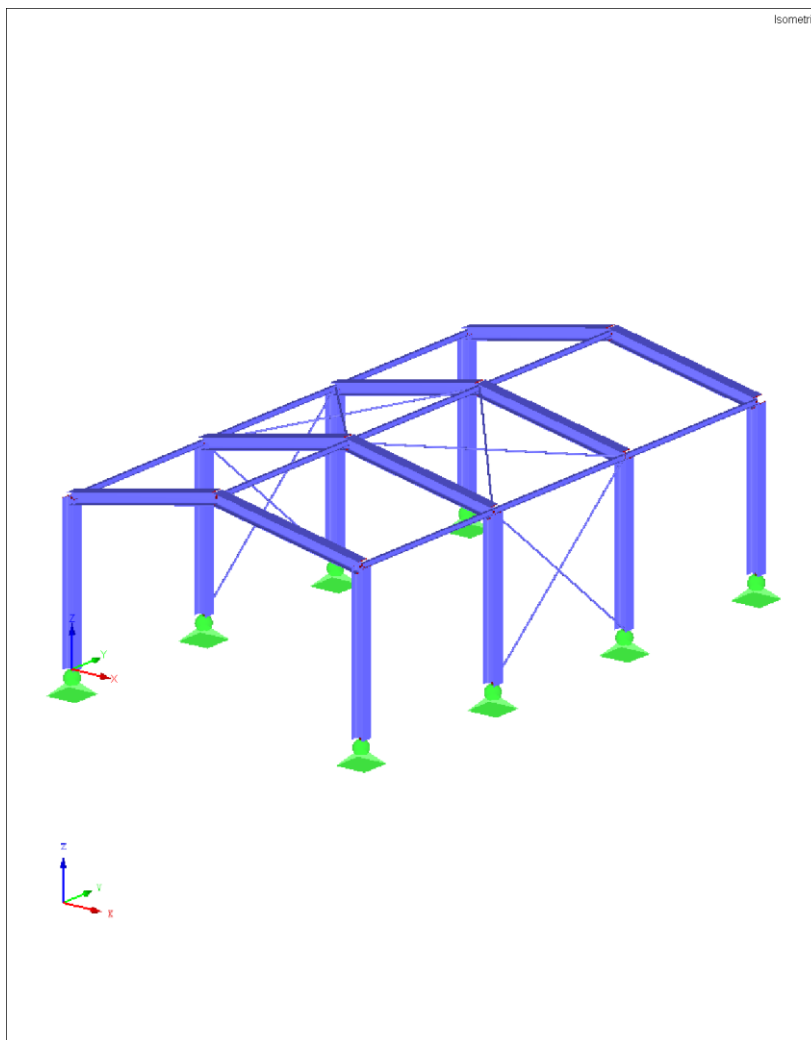
LC3: Wind

No.	Load Description	
1	From Wind Loads (Building)	
	Velocity Pressure	According to Standard : EN 1991-1-4 National Annex : Finland Wind Zone : I Terrain Category : Category 0 Structure Height h : 10000.0 mm Fundamental Wind Velocity $v_{b,0}$ : 21.0 m/s
	Base Geometry	Node I : 1 J : 7 K : 16 L : 9
	Roof Type and Geometry	Type : x Duopitch Roof Node A : 2 B : 8 C : 20 D : 19 E : 10 F : 15
	Generate LC	x LC w+ : LC3
	Set wind on side	x A - B
	Create load type	x Member loads
	Load distribution type	x Combined
	Generate wind loads on members No.	: 1-25
	Building Dimensions	h : 10000.0 mm b : 9000.0 mm d : 5000.0 mm e <sub>Walls</sub> : 9000.0 mm e <sub>Roof</sub> : 9000.0 mm A <sub>Walls</sub> : 7250000 mm <sup>2</sup> 0.0 A <sub>Roof</sub> : 4589117 mm <sup>2</sup> 4.3 $\alpha_1$ : 11.3 ° $\alpha_2$ : 11.3 ° d <sub>A</sub> : 1800.0 mm d <sub>B</sub> : 3200.0 mm d <sub>C</sub> : 0.0 mm b <sub>F</sub> : 2250.0 mm d <sub>F</sub> : 900.0 mm d <sub>H</sub> : 1600.0 mm d <sub>I</sub> : 1600.0 mm d <sub>J</sub> : 900.0 mm $\Theta$ : 0.0 °
	Zone	External Pressure Coefficient $c_{pe, 10}$
	A	-1.200
	B	-0.800
	C	-0.500
		External Pressure $w_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]
		-1.314
		-0.876
		-0.547

## 3.15 Generated Loads

LC3: Wind

No.	Load Description	
D	0.800	0.777
E	-0.550	-0.534
F	0.126	0.138
G	0.126	0.138
H	0.126	0.138
J	0.074	0.081
Generated total loads		
	$\Sigma P_{Areas}$	: 29.960 kN
	$\Sigma P$	: 29.960 kN
Total moment to the origin		
	$\Sigma P_{Areas}$	: 141.744 kNm
	$\Sigma P$	: 141.744 kNm
Cells selected for generating		
	$\Sigma$ Number of cells	: 31
	$\Sigma$ Cell area	: 1921630 mm <sup>2</sup>
		03
Type General - Only Class 3 possible		



***Tulokset (ilman optimointia)***

<b>LC1 - Self-weight</b>			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support forces in X	0.00	kN	
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-34.20	kN	
Sum of support forces in Z	-34.20	kN	Deviation: 0.00 %
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of
Resultant of reactions about Y	0.000	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Maximum displacement in X-direction	0.2	mm	Member No. 9, x: 1666.7 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.0	mm	
Maximum displacement in Z-direction	-0.6	mm	Member No. 21, x: 0.0 mm
Maximum vectorial displacement	0.6	mm	Member No. 21, x: 0.0 mm
Maximum rotation about X-axis	0.0	mrاد	
Maximum rotation about Y-axis	-0.3	mrاد	Member No. 15, x: 1699.7 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.0	mrاد	
Method of analysis	Linear		Geometrically Linear Static Analysis
Reduction of stiffness	-		
Number of load increments	1		
Number of iterations	3		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.531E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.466E+05		
Stiffness matrix determinant	1.283E+626		
Infinity Norm	1.88E+09		
Incremental method	-		
<b>LC2 - Snow</b>			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support forces in X	0.00	kN	
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-90.00	kN	
Sum of support forces in Z	-90.00	kN	Deviation: 0.00 %
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Y	0.000	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Maximum displacement in X-direction	0.7	mm	Member No. 9, x: 1666.7 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.0	mm	
Maximum displacement in Z-direction	-2.3	mm	Member No. 31, x: 3937.0 mm
Maximum vectorial displacement	2.3	mm	Member No. 31, x: 3937.0 mm
Maximum rotation about X-axis	0.0	mrاد	
Maximum rotation about Y-axis	-1.2	mrاد	Member No. 15, x: 1699.7 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.0	mrاد	
Method of analysis	Linear		Geometrically Linear Static Analysis
Reduction of stiffness	-		
Number of load increments	1		

Number of iterations	3		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.531E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.466E+05		
Stiffness matrix determinant	1.283E+626		
Infinity Norm	1.88E+09		
Incremental method	-		
<b>LC3 - Wind</b>			
Sum of loads in X	29.72	kN	
Sum of support forces in X	29.72	kN	Deviation: 0.00 %
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-3.76	kN	
Sum of support forces in Z	-3.76	kN	Deviation: 0.00 %
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of model mm)
Resultant of reactions about Y	-26.860	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Maximum displacement in X-direction	4.0	mm	Member No. 15, x: 1699.7 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.4	mm	Member No. 19, x: 1250.0 mm
Maximum displacement in Z-direction	-0.4	mm	Member No. 14, x: 1274.8 mm
Maximum vectorial displacement	4.0	mm	Member No. 15, x: 1699.7 mm
Maximum rotation about X-axis	1.6	mrاد	Member No. 24, x: 0.0 mm
Maximum rotation about Y-axis	2.0	mrاد	Member No. 3, x: 0.0 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.5	mrاد	Member No. 23, x: 0.0 mm
Method of analysis	Linear		Geometrically Linear Static Analysis
Reduction of stiffness	-		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.835E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.466E+05		
Stiffness matrix determinant	4.105E+636		
Infinity Norm	1.983E+09		
Incremental method	-		
<b>CO1 - 1.35*LC1</b>			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support forces in X	0.00	kN	
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-46.17	kN	
Sum of support forces in Z	-46.17	kN	Deviation: 0.00 %
Maximum displacement in X-direction	0.2	mm	Member No. 9, x: 1666.7 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.0	mm	
Maximum displacement in Z-direction	-0.8	mm	Member No. 21, x: 0.0 mm
Maximum vectorial displacement	0.8	mm	Member No. 21, x: 0.0 mm
Maximum rotation about X-axis	0.0	mrاد	
Maximum rotation about Y-axis	-0.4	mrاد	Member No. 15, x: 1699.7 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.0	mrاد	
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear)

Internal forces referred to deformed system for...	+		N, V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub> , M <sub>T</sub>
Consider favorable effects due to tension forces of members	+		
Divide results by CO factor	-		
Reduction of stiffness by partial factor Gamma-M	+		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.531E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.466E+05		
Stiffness matrix determinant	1.283E+626		
Infinity Norm	1.88E+09		
Incremental method	-		
<b>CO2 - 1.35*LC1 + 1.5*LC2</b>			
Sum of loads in X	0.00	kN	
Sum of support forces in X	0.00	kN	
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-181.17	kN	
Sum of support forces in Z	-181.17	kN	Deviation: 0.00 %
Maximum displacement in X-direction	1.3	mm	Member No. 9, x: 1666.7 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.0	mm	
Maximum displacement in Z-direction	-4.2	mm	Member No. 13, x: 0.0 mm
Maximum vectorial displacement	4.2	mm	Member No. 13, x: 0.0 mm
Maximum rotation about X-axis	0.0	mrاد	
Maximum rotation about Y-axis	-2.1	mrاد	Member No. 15, x: 1699.7 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.0	mrاد	
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear)
Internal forces referred to deformed system for...	+		N, V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub> , M <sub>T</sub>
Consider favorable effects due to tension forces of members	+		
Divide results by CO factor	-		
Reduction of stiffness by partial factor Gamma-M	+		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.531E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.466E+05		
Stiffness matrix determinant	1.283E+626		
Infinity Norm	1.88E+09		
Incremental method	-		
<b>CO3 - 1.35*LC1 + 1.5*LC2 + 0.9*LC3</b>			
Sum of loads in X	26.75	kN	
Sum of support forces in X	26.75	kN	Deviation: 0.00 %
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-184.55	kN	
Sum of support forces in Z	-184.55	kN	Deviation: 0.00 %
Maximum displacement in X-direction	4.4	mm	Member No. 9, x: 2083.3 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.4	mm	Member No. 19, x: 1250.0 mm
Maximum displacement in Z-direction	-4.3	mm	Member No. 12, x: 2549.5 mm

Maximum vectorial displacement	5.6	mm	Member No. 14, x: 2549.5 mm
Maximum rotation about X-axis	-1.4	mrاد	Member No. 10, x: 2549.5 mm
Maximum rotation about Y-axis	2.9	mrاد	Member No. 9, x: 0.0 mm
Maximum rotation about Z-axis	-0.4	mrاد	Member No. 10, x: 0.0 mm
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear)
Internal forces referred to deformed system for...	+		N, V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub> , M <sub>T</sub>
Consider favorable effects due to tension forces of members	+		
Divide results by CO factor	-		
Reduction of stiffness by partial factor Gamma-M	+		
Number of load increments	1		
Number of iterations	3		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.835E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.463E+05		
Stiffness matrix determinant	8.449E+630		
Infinity Norm	1.983E+09		
Incremental method	-		
<b>CO4 - 1.35*LC1 + 1.5*LC3</b>			
Sum of loads in X	44.58	kN	
Sum of support forces in X	44.58	kN	Deviation: 0.00 %
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-51.81	kN	
Sum of support forces in Z	-51.81	kN	Deviation: 0.00 %
Maximum displacement in X-direction	6.1	mm	Member No. 15, x: 1912.1 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.6	mm	Member No. 19, x: 1250.0 mm
Maximum displacement in Z-direction	-1.1	mm	Member No. 14, x: 1699.7 mm
Maximum vectorial displacement	6.1	mm	Member No. 15, x: 1912.1 mm
Maximum rotation about X-axis	2.3	mrاد	Member No. 23, x: 2549.5 mm
Maximum rotation about Y-axis	3.2	mrاد	Member No. 9, x: 0.0 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.7	mrاد	Member No. 23, x: 0.0 mm
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear)
Internal forces referred to deformed system for...	+		N, V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub> , M <sub>T</sub>
Consider favorable effects due to tension forces of members	+		
Divide results by CO factor	-		
Reduction of stiffness by partial factor Gamma-M	+		
Number of load increments	1		
Number of iterations	2		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.835E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.465E+05		
Stiffness matrix determinant	4.021E+636		
Infinity Norm	1.983E+09		
Incremental method	-		
<b>CO5 - 1.35*LC1 + 1.05*LC2 + 1.5*LC3</b>			
Sum of loads in X	44.58	kN	
Sum of support forces in X	44.58	kN	Deviation: 0.00 %
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support forces in Y	0.00	kN	

Sum of loads in Z	-146.31	kN	
Sum of support forces in Z	-146.31	kN	Deviation: 0.00 %
Maximum displacement in X-direction	6.6	mm	Member No. 15, x: 2549.5 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.6	mm	Member No. 19, x: 1250.0 mm
Maximum displacement in Z-direction	-3.4	mm	Member No. 12, x: 2124.6 mm
Maximum vectorial displacement	6.8	mm	Member No. 14, x: 2124.6 mm
Maximum rotation about X-axis	-2.3	mrاد	Member No. 10, x: 2549.5 mm
Maximum rotation about Y-axis	3.8	mrاد	Member No. 9, x: 0.0 mm
Maximum rotation about Z-axis	-0.7	mrاد	Member No. 10, x: 0.0 mm
Method of analysis	2nd Order		Second order analysis (Nonlinear)
Internal forces referred to deformed system for...	+		N, V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub> , M <sub>T</sub>
Consider favorable effects due to tension forces of members	+		
Divide results by CO factor	-		
Reduction of stiffness by partial factor Gamma-M	+		
Number of load increments	1		
Number of iterations	3		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	8.835E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	3.464E+05		
Stiffness matrix determinant	1.388E+631		
Infinity Norm	1.983E+09		
Incremental method	-		

#### Summary

Calculation Status	OK		
Maximum displacement in X-direction	6.6	mm	CO5, Member No. 15, x: 2549.5 mm
Maximum displacement in Y-direction	0.6	mm	CO5, Member No. 19, x: 1250.0 mm
Maximum displacement in Z-direction	-4.3	mm	CO3, Member No. 12, x: 2549.5 mm
Maximum vectorial displacement	6.8	mm	CO5, Member No. 14, x: 2124.6 mm
Maximum rotation about X-axis	-2.3	mrاد	CO5, Member No. 10, x: 2549.5 mm
Maximum rotation about Y-axis	3.8	mrاد	CO5, Member No. 9, x: 0.0 mm
Maximum rotation about Z-axis	0.7	mrاد	CO4, Member No. 23, x: 0.0 mm
Number of 1D finite elements (member elements)	33		
Number of 2D finite elements (surface elements)	0		
Number of 3D finite elements (solid elements)	0		
Number of FE nodes	20		
Number of equations	120		
Matrix solver method	Direct		
Maximum number of iterations	100		
Number of divisions for member results	10		
Number of divisions of members with cable, elastic foundation, taper, or plastic characteristic	10		
Activate shear stiffness of members (A-y, A-z)	+		
Plate bending theory	Mindlin		
Allow failing members	+		
Precision of convergence criteria of nonlinear calculation	1.0		