

Rakennelaskentaohjelman valinta te- räsrunkoisissa suunnittelukohteissa WinRami ja Robot

Alexi Hujala

Opinnäytetyö
Marraskuu 2018
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Hujala, Aleks	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2018
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Rakennelaskentaohjelman valinta teräsrunkoisissa suunnittelukohteissa WinRami ja Robot		
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Korpinen Jussi, Lähdesmäki Pekka		
Toimeksiantaja(t) Elomatic Process Consulting Oy		
Tiivistelmä <p>Tietoteknisen kehityksen ja rakennesuunnittelun vaatimusten myötä syntyneet erilaiset mallinnus- ja laskentaohjelmat ovat luoneet paljon uusia mahdollisuuksia ja haasteita rakennesuunnittelulle. Rakennesuunnittelussa on siirrytty lähes kokonaan 3D-mallintamiseen. Suunnittelu- ja laskentaohjelmien kehittämiseksi tehdään jatkuvaa tutkimustyötä ja suunnitteluyritykset pohtivat itselleen parhaita ja tehokkaimpia laskentamenetelmiä.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko kannattavampaa suorittaa rakennelaskelmat Ruukin WinRamilla vai Autodeskin Robotilla. Kannattavuutta tarkasteltiin ajankäytöllisestä ja tuloksellisesta näkökulmasta. Opinnäytetyö sisältää myös yksinkertaisen käyttöohjeen WinRamille ja Robotille sekä mallinnusohjelma Teklassa tehtävän analyysimallin tekemiselle. Työssä pohdittiin myös analyysimallin siirron ongelmia Teklasta Robotiin.</p> <p>Työssä käytettiin kahta eri esimerkkikohdetta, joille suoritettiin rungon rakennelaskelmat. Laskentaohjelmien mitoitusohjeissa, ajankäytön tarkastelussa ja analyysimallin tekemisessä hyödynnettiin kuvitteellista teräshallia. Ajankäytöllisessä tarkastelussa hyödynnettiin teräshallin lisäksi myös toimeksiantajan projektia, jossa tehtävänä oli suorittaa rakennelaskelmat erälle voimalaitokselle. Voimalaitos on seitsenkerroksinen uudisrakennus ja sen runko on suunniteltu teräksestä.</p> <p>Opinnäytetyössä saatiin selville, että suunnittelukohteen koko määrittää sen, kumpaa laskentaohjelmaa kannattaa käyttää. Pohdintaosuuteen tehtiin suuntaa antava taulukko WinRamin ja Robotin valitsemisesta. Työssä syntyi myös kattava ohje WinRamin ja Robotin käyttämiseksi sekä analyysimallin tekemiselle ja siirtämiselle. Myös analyysimallin ongelmakohtia pystyttiin kartoittamaan.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Rakennelaskenta, Teräsrakenteet, WinRami, Robot, Analyysimalli		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Hujala, Aleksi	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 49	Permission for web publication: x
Title of publication Selecting structural analysis software in steel framed design projects WinRami and Robot		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Korpinen Jussi, Lähdesmäki Pekka		
Assigned by Elomatic Process Consulting Oy		
Abstract <p>Different kinds of modelling and calculation programs have emerged due to the development in information technology, and demands for structural design have created several new possibilities and challenges for structural design. A structural design modelling 3D is used in structural design industry in almost every project. Continuous research is conducted to develop analysis and design programs, and engineering companies are searching for the best and most cost-effective calculation methods.</p> <p>The aim of this thesis was to research, which one is more cost-effective for structural calculations, Ruukki's WinRami or Autodesk's Robot. Cost-effectiveness was inspected from the perspectives of time management and calculations results. The thesis also includes simple user guides for WinRami and Robot as well as instructions on how to create an analysis model in Tekla modelling program.</p> <p>Structural calculations were accomplished for two different example buildings. A fictitious steel framed hall was used in program guides, time management inspection and analysis model creation. The assignor's project where the task was to carry out calculations for a power plant was the second example building which was also used regarding the time management inspection. The power plant is new, seven-storey high steel-frame building.</p> <p>The result of the thesis clarifies that the size and calibre of the design project determine which of the calculation programs to use. At the end of the thesis, there is a table to assist with the selection of WinRami and Robot. In addition, guides were developed for the usage of WinRami and Robot with instructions for creating and exporting the analysis model. It was also possible to find out problems in the analysis modelling.</p>		
Keywords/tags (subjects) Structural analysis, Steel structures, WinRami, Robot, Analysis model		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Yleistä	6
2.1	Projektin tiedot.....	6
2.2	Käytetyt ohjelmat.....	7
2.2.1	WinRami 5.79 – Truss and frame analysis and design software	7
2.2.2	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	8
2.2.3	Tekla Structures 2017i	9
2.2.4	Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54.....	10
3	Mitoitus	11
3.1	WinRami	11
3.1.1	Yleistä Winramista	11
3.1.2	Laskennan aloittaminen	11
3.1.3	Kuormat	13
3.1.4	Teräsristikko.....	16
3.1.5	Laskentatulokset.....	19
3.2	Robot	23
3.2.1	Mallinnuksen aloitus ja alkuasetukset.....	23
3.2.2	Laskentarungon mallinnus.....	24
3.2.3	Kuormat	30
3.2.4	Laskentatulokset.....	33
3.3	TeklaRobot-Linkki	37
3.3.1	Yleistä.....	37
3.3.2	Lisähuomioita Teklamalliin	37
3.3.3	Analyysimallin luominen.....	39
3.3.4	Analyysimallin siirtäminen.....	43

3.3.5	Analyysimallin siirron ongelmia.....	43
4	Tulosten analysointi	45
5	Pohdinta.....	47
	Lähteet	49

Kuviot

Kuvio 1 Teräshalliesimerkki laskentaa varten	6
Kuvio 2 7-kerroksisen teollisuusrakennuksen teräsrunko (voimalaitos)	7
Kuvio 3 Ruukki WinRami	8
Kuvio 4 Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	9
Kuvio 5 Tekla Structures.....	10
Kuvio 6 Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54 eli TeklaRobot-linkki...	10
Kuvio 7. Linja 1-1 eli päätylinja valittu Tekla-mallista	11
Kuvio 8 Rakenneosien lisääminen WinRamiin	12
Kuvio 9 Tuet ja nivelet lisätty WinRamin rakennemalliin	13
Kuvio 10 Kuormitustapausten lisäys	14
Kuvio 11 Kuormitusten lisäys	15
Kuvio 12 Kuormitusyhdistelmien määrittäminen	15
Kuvio 13 Linja siirretty WinRamiin ja siitä on tehty vapaakappalekuva	16
Kuvio 14 Ristikkomakro löytyy Ruukin WinRami -kansioista nimellä MAKRO05.exe...	17
Kuvio 15 WinRamin ristikkomakroon syötetään tiedot ristikosta	18
Kuvio 16 Ristikkomakro generoi ja siirtää vapaakappalekuvan WinRamiin	18
Kuvio 17 WinRamin ristikkomakrolla tehty teräsristikko kuormineen	19
Kuvio 18 Voimadiagrammit ja maksimiarvot WinRamissa	20
Kuvio 19 WinRamista saadaan myös teksiosa, josta ilmenee tulokset	21
Kuvio 20 Korkean voimalaitosrakennuksen yhden linjan vapaakappalekuva	22
Kuvio 21 Robot-projektin aloitusnäkyvä.....	23
Kuvio 22 Robotin mitoituksellisten asetusten valintänäkyvä.....	24
Kuvio 23 Laskentarungon apuruudukon tekeminen.....	25
Kuvio 24 Laskentarungon apuruudukko eli gridi valmiina	25
Kuvio 25 Rakenneosatyyppien luominen.....	26
Kuvio 26 Solmujen lisääminen ennen rakenneosia	27
Kuvio 27 Rakenneosien lisääminen ilman solmujen lisäämistä.....	27
Kuvio 28 Teräshallin laskentarunko Robotissa.....	28
Kuvio 29 Paneelien tekeminen Claddings-komennolla.....	29
Kuvio 30 Teräshallin paneelit	29

Kuvio 31 Kuormitustapausten lisäys	30
Kuvio 32 Kuormien sijoittaminen	31
Kuvio 33 Kuormitusyhdistelmien lisääminen manuaalisesti.....	32
Kuvio 34 Kuormitusyhdistelmien lisääminen automaattisesti	32
Kuvio 35 Esimerkkivirheitä laskentamallista	33
Kuvio 36 Laskentatulosten tarkastelu	34
Kuvio 37 Laskentatulosten tarkastelun asetukset	34
Kuvio 38 Teräshallin robot-laskennan tulokset.....	35
Kuvio 39 Rakenneosan tarkemmat kestävyys- ja taipumalaskelmat.....	35
Kuvio 40 Results-kohdasta voidaan tarkastella erilaisia kuormitustaulukoita	36
Kuvio 41 Pilari mallinnettu Teklaan normaalilla tavalla	38
Kuvio 42 Pilari mallinnettu keskitetysti niin kuin analyysimalleille yleensä neuvotaan	38
Kuvio 43 Analyysimallin luominen	40
Kuvio 44 Analyysimallin alkuasetukset	41
Kuvio 45 Esimerkkivirheitä, jotka täytyy korjata Teklassa tai viimeistään Robotissa..	41
Kuvio 46 Yksittäisen pilarin asetusten muuttaminen	42
Kuvio 47 Teollisuushallin rungon analyysimalli Teklassa	42
Kuvio 48 Siirtolinkki varmistaa vielä, että laskijalla on pätevyys suorittaa rakenneanalyysiä ja -suunnittelua	43
Kuvio 49. Analyysimallin siirtovirhe, kun solmukohta ei täsmää viivaan	44
Kuvio 50 Voimalaitoksen osa kantavista linjoista laskettu WinRamilla.....	46

Taulukot

Taulukko 1 Teräshallin laskenta-aika WinRamilla	45
Taulukko 2 Teräshallin laskenta-aika Robotilla	45
Taulukko 3 Teräshallin laskenta-aika analyysimallia hyödyntäen	45
Taulukko 5 WinRamin ja Robotin suuntaa antava valintataulukko	48

1 Johdanto

Tietoteknisen kehityksen ja rakennesuunnittelun vaatimusten myötä syntyneet erilaiset mallinnus- ja laskentaohjelmat ovat luoneet paljon uusia mahdollisuuksia sekä haasteita rakennesuunnittelulle. Vanhoista 2D-ajoista ollaan siirrytty lähes täysin 3D-mallintamiseen ja 2010-luvun suunnittelustandardit, eurokoodit, ovat vakiinnuttaneet paikkansa rakennesuunnitteluohjelmissa. Suunnittelu- ja laskentaohjelmien kehittämiseksi tehdään jatkuvaa tutkimustyötä ja suunnitteluyritykset pohtivat itselleen parhaita rakennelaskelmamenetelmiä.

Hyvin usein rakentamiselle niin kotimaassa kuin vientikohteissa tuntuu olevan yhteistä se, että projektin pitää valmistua nopeasti ja halvalla. (Jalkanen 2015)

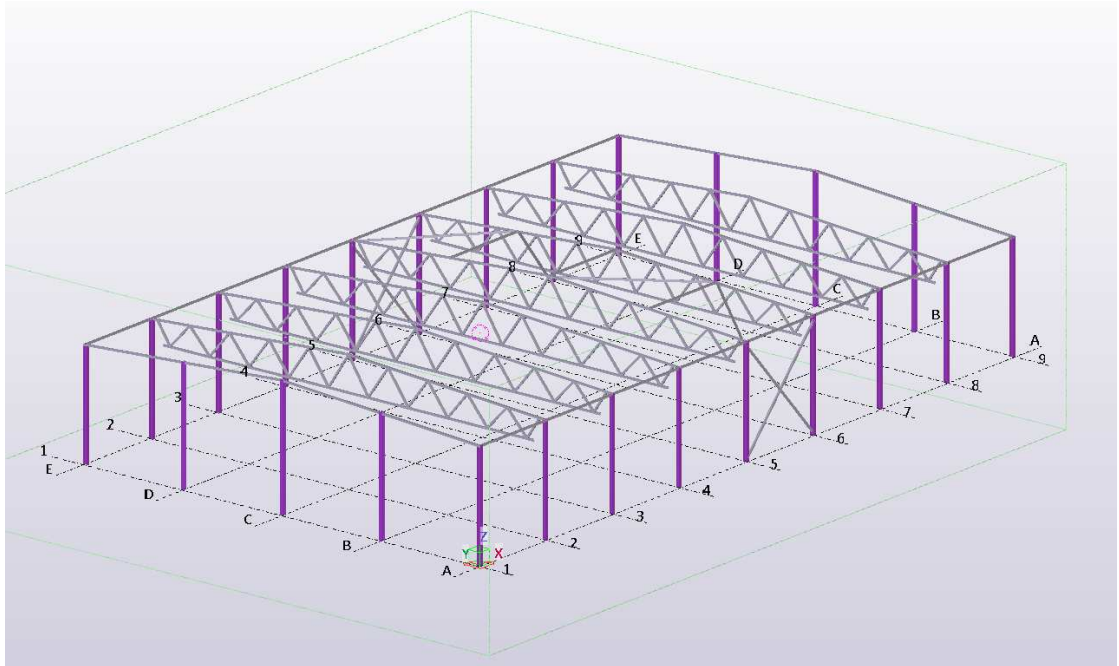
Rakennusalan jatkuvaa kiirettä pyritäänkin helpottamaan rakennesuunnittelun osalta uusien laskentamenetelmien ja varsinkin nopeampien rakennelaskelmaohjelmien avulla. Laskentaohjelmilla saadaan tarkempia ja kokonaisvaltaisempia laskentatuloksia, jolloin saadaan määritettyä tarkkoja profiilikokoja rakenteille. Tällä tavalla voidaan säästää myös rakennusmateriaalien hankintakustannuksissa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, onko ajankäytöllisesti ja tuloksellisesti kannattavampaa suorittaa rakennelaskelmia yksinkertaistettuna Ruukin Winrami -ohjelmalla vai moniulotteisemmalla Autodeskin Robot Structural Analysis Professionalilla. Opinnäytetyöhön sisältyy myös yksinkertainen ohje, miten teräsrakennelaskelmissa voidaan hyödyntää Ruukin Winrami -laskentaohjelmaa, Autodeskin Robot Structural Analysis Professional -ohjelmaa ja analyysimallin siirtoa Trimblen Tekla Structures mallinnusohjelmasta Robotiin. Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi insinööri-suunnittelutoimisto Elomatic Process Consulting Oy.

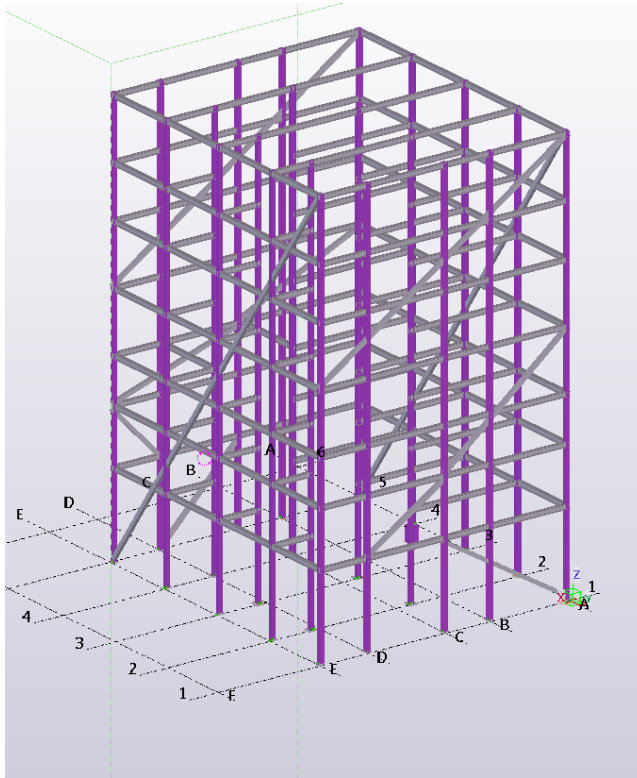
2 Yleistä

2.1 Projektin tiedot

Opinnäytetyössä käytetään esimerkkinä kuvitteellista teräshallia, joka toimii yksinkertaisena laskentatapauksena. (ks. kuvio 1) Teräshallia käytetään apuna mallilaskelmien tekemisessä ja analyysimallin tarkastelussa. Ajankäytöllisen tarkastelun vaiheessa hyödynnetään teräshallin lisäksi toimeksiantajalta saatua projektia, jossa tehtävänantona on tehdä rakennelaskelmat eräälle voimalaitokselle. Voimalaitos on uudisrakennus ja se on 7-kerroksinen ja teräsrunkoinen. (ks. kuvio 2) Tämän opinnäytetyön rakennelaskelmissa käsitellään vain rakennusten runkoja, joten perustuksiin ja kuorirakenteisiin ei perehdytä.



Kuvio 1 Teräshalliesimerkki laskentaa varten



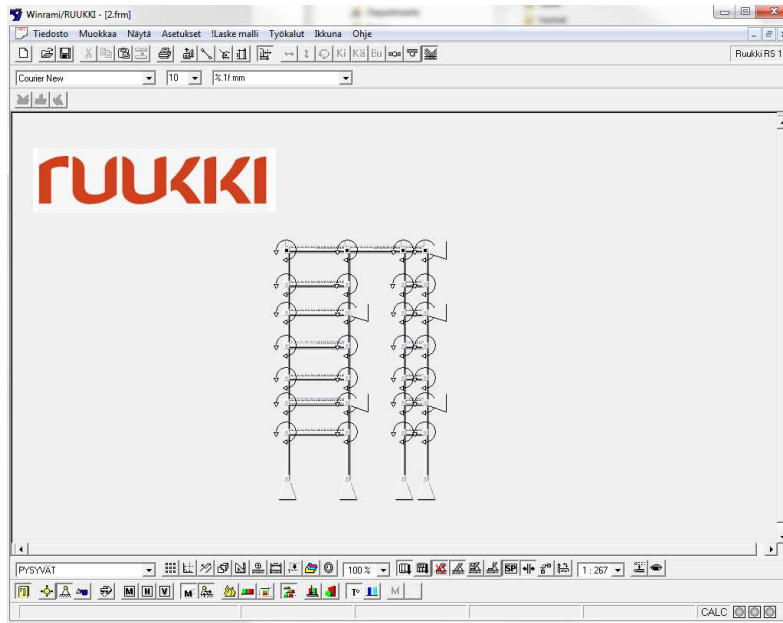
Kuvio 2 7-kerroksisen teollisuusrakennuksen teräsrunko (voimalaitos)

2.2 Käytetyt ohjelmat

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan ajankäytöllisesti kahta rakennelaskelmaohjelmaa Ruukin WinRamia ja Autodeskin Robottia. Työssä hyödynnetään myös WinRamin Sectionia, Trimblen Tekla Structuresia ja Robot Structural Analysis component 1.54 :ää eli Robotin ja Teklan välistä linkkiä.

2.2.1 WinRami 5.79 – Truss and frame analysis and design software

Ruukin WinRami on FEM-menetelmää käyttävä ilmainen rakenteiden laskentaohjelma. Sillä voidaan mitoittaa erilaisia teräksisiä kehä- ja ristikkorakenteita. Ohjelmaa käytetään yhdessä Section-profiiliohjelman kanssa. Niiden avulla mitoitetaan teräspilareita, -palkkeja ja -ristikoita. WinRamiin tehdään rakenteen vapaakappalekuva sekä määritetään tuet ja voimat. Section-ohjelmassa on taulukoitu Ruukin käyttämät teräsprofiilit ja niiden ominaisuudet. Profiilit siirretään Sectionista WinRamiin ja WinRamin avulla lasketaan rakenteiden kestävyudet. (Truss and frame analysis and design software – WinRami n.d.)

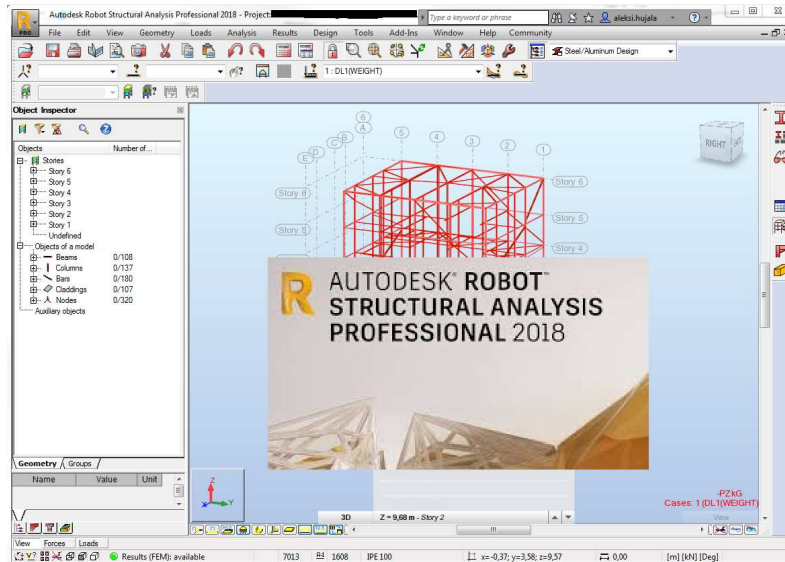


Kuvio 3 Ruukki WinRami

2.2.2 Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Robot Structural Analysis Professional eli lyhyesti Robot on Autodeskin omistama rakenneanalyysi- ja -suunnitteluohjelma. Robot käyttää FEM-laskentamenetelmää ja se on suunnattu erityisesti rakennesuunnittelijoille.

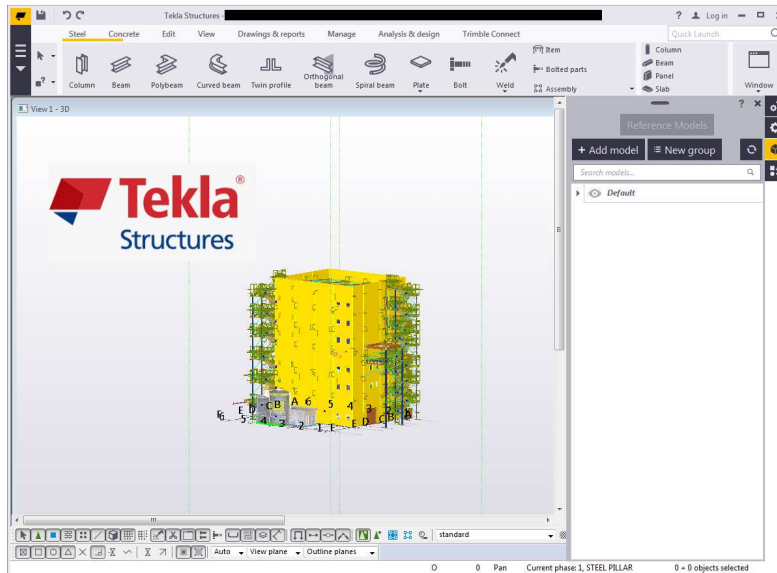
Robot laskee laajan valikoiman erilaisia rakenteita kattavalla sarjalla rakentamismääräyksiä, mikä tuottaa tuloksia todella nopeasti. Ohjelmiston monikäyttöisyys mahdollistaa, niin yksinkertaiset analyysit, kuin monimutkaiset FEM-laskennat, teräs- ja teräsbetonisuunnittelun sekä saumattoman yhteen toimivuuden muiden Autodeskin teknisen suunnittelun tuotteiden tai ulkopuolisten sovellusten kanssa. (Autodesk Robot Structural Analysis Professional n.d.)



Kuvio 4 Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

2.2.3 Tekla Structures 2017i

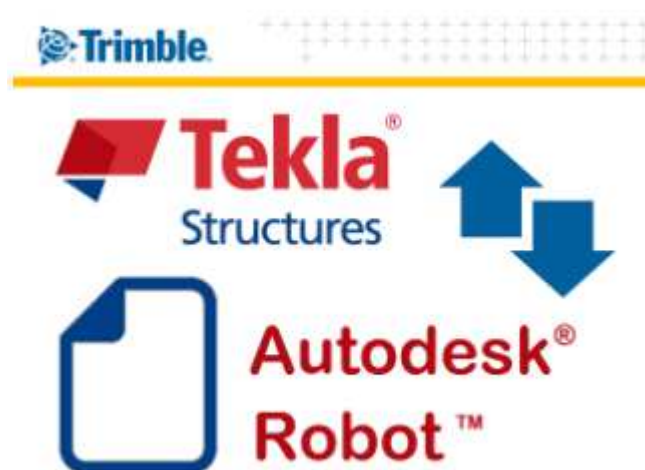
Tekla Structures on ohjelmistokokoonpano kaikenlaiseen rakennesuunnitteluun ja rakentamisen hallintaan. Sillä pystytään luomaan yksityiskohtaisia 3D-malleja teräs- ja betonirakenteista sekä tuottaa ja seurata tietoja luonnosvaiheesta valmistus-, pystytys- ja työmaanohjausvaiheisiin. Teklaa käytetään mm. urheiluareenoiden, öljynporauslauttojen, tehtaiden, laitosten, asuinrakennusten, siltojen ja pilvenpiirtäjien rakentamisessa ja suunnittelussa. (Tekla Structures. N.d; Tekla Structures Full – kaikki toiminnallisuudet n.d.)



Kuvio 5 Tekla Structures

2.2.4 Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54

Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54 eli yleisnimitykseltään TeklaRobot-linkki on ohjelma, jolla pystytään muodostamaan rajapinta Tekla Structuresin ja Robotin välillä. Rajapinnan avulla voidaan siirtää rakennuksen rungon analyysimalli, teräsosien materiaalit sekä profiilit ja kuormat Teklasta Robotiin laskettavaksi ja analysoitavaksi. Tämä ohjelma on ladattavissa Tekla Structuresin nettisivuilla, mutta tässä opinnäytetyössä ei oteta enempää kantaa sen asennusprosessiin.



Kuvio 6 Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54 eli TeklaRobot-linkki

3 Mitoitus

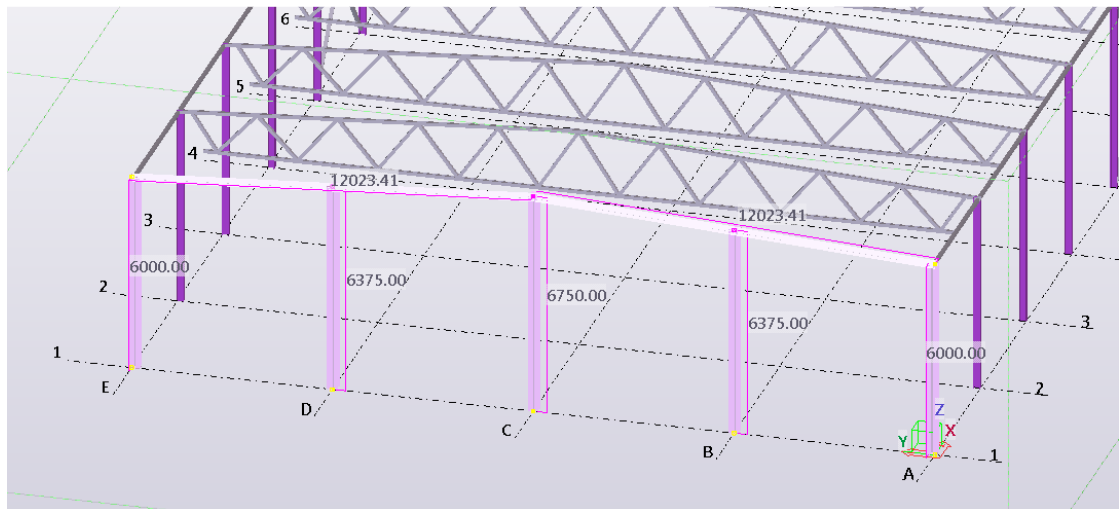
3.1 WinRami

3.1.1 Yleistä Winramista

WinRami on helppokäyttöinen ja kätevä laskentaohjelma. Jos rakennuksessa on paljon toistuvia mitoitettavia linjoja, sen avulla on todella helppoa ja nopeaa tehdä rakennelaskelmia. WinRamin ohessa käytetään Section profiiliohjelmaa, jonka avulla on helppoa valita ja kokeilla, minkä kokoisen rakenneputken tai -profiilin rakenne kestää.

3.1.2 Laskennan aloittaminen

Mitoittaminen aloitetaan valitsemalla jokin kantava linja rakennuksesta. Tässä esimerkissä hyödynnetään yksinkertaista teräshalliesimerkkiä, jossa katto on tuettu ristikkorakenteella. Esimerkissä käytetään rakennuksen päätylinjaa, jossa ei ole ristikkoa. (ks. kuvio 7) Ristikon laskentamallin tekeminen esitellään ristikkomakron ohjeissa kohdassa 3.1.4.



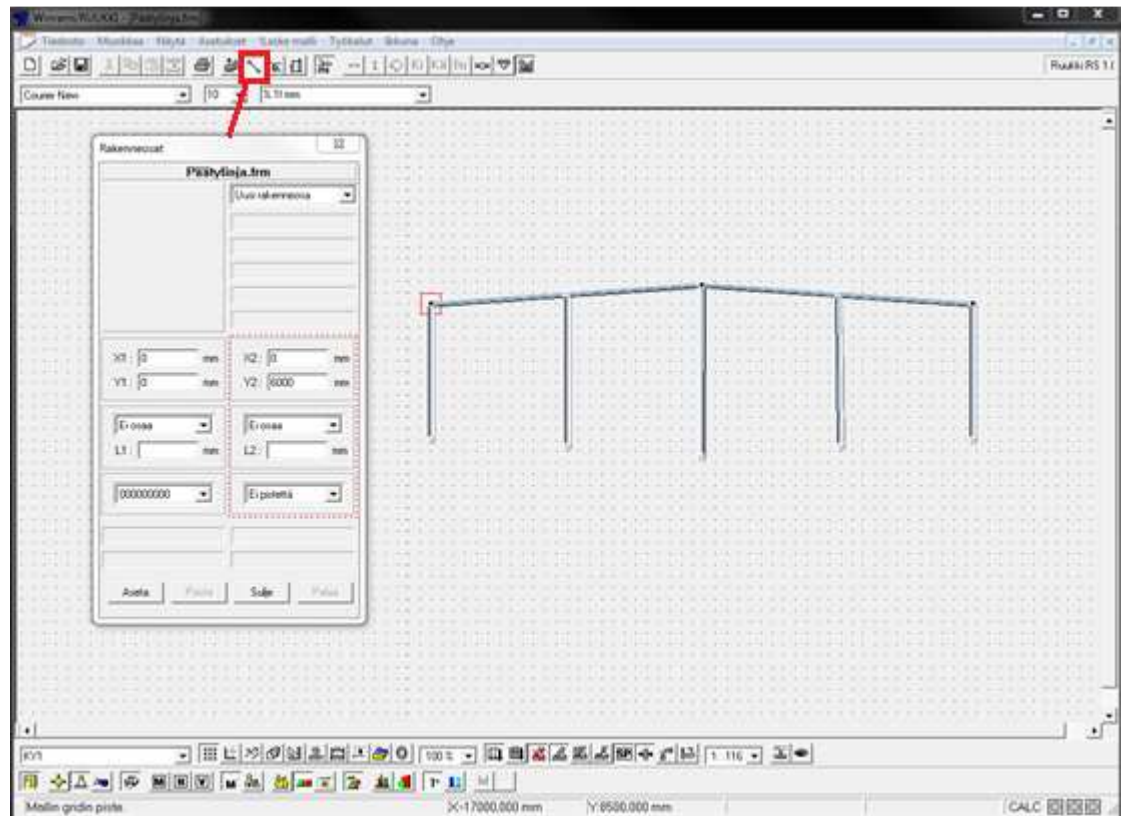
Kuvio 7. Linja 1-1 eli päätylinja valittu Tekla-mallista

Rakenteesta tehdään vapaakappalekuva lisäämällä rakenneosat eli pilarit ja palkit.

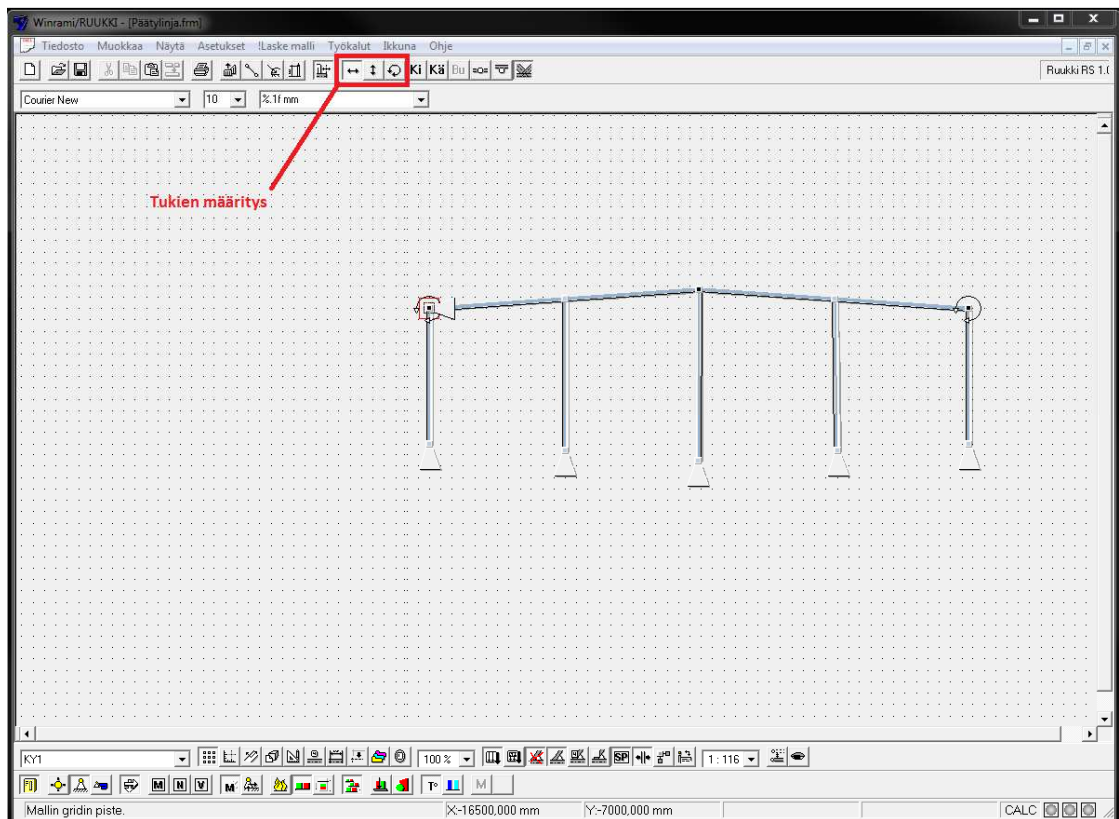
(ks. kuvio 8) Sen jälkeen määritellään tuet ja tehdään muut mahdolliset lisäykset

esim. nivelet ja vapautukset. (ks. kuvio 9) Rakenneosan lisäys tapahtuu WinRamissa

siten, että napautetaan rakenneosat-kuvaketta ja syötetään osalle alku- ja loppu-koordinaatit xy-koordinaatistoa käyttäen. WinRamissa voi käyttää myös pisteruudukkoa, jossa hiiri viedään halutun alkamispisteen kohdalle. Hiiri painetaan pohjaan ja vedetään hiirtä sinne asti mihin rakenneosan halutaan jatkuvan.



Kuvio 8 Rakenneosien lisääminen WinRamiin



Kuvio 9 Tuet ja nivelet lisätty WinRamin rakennemalliin

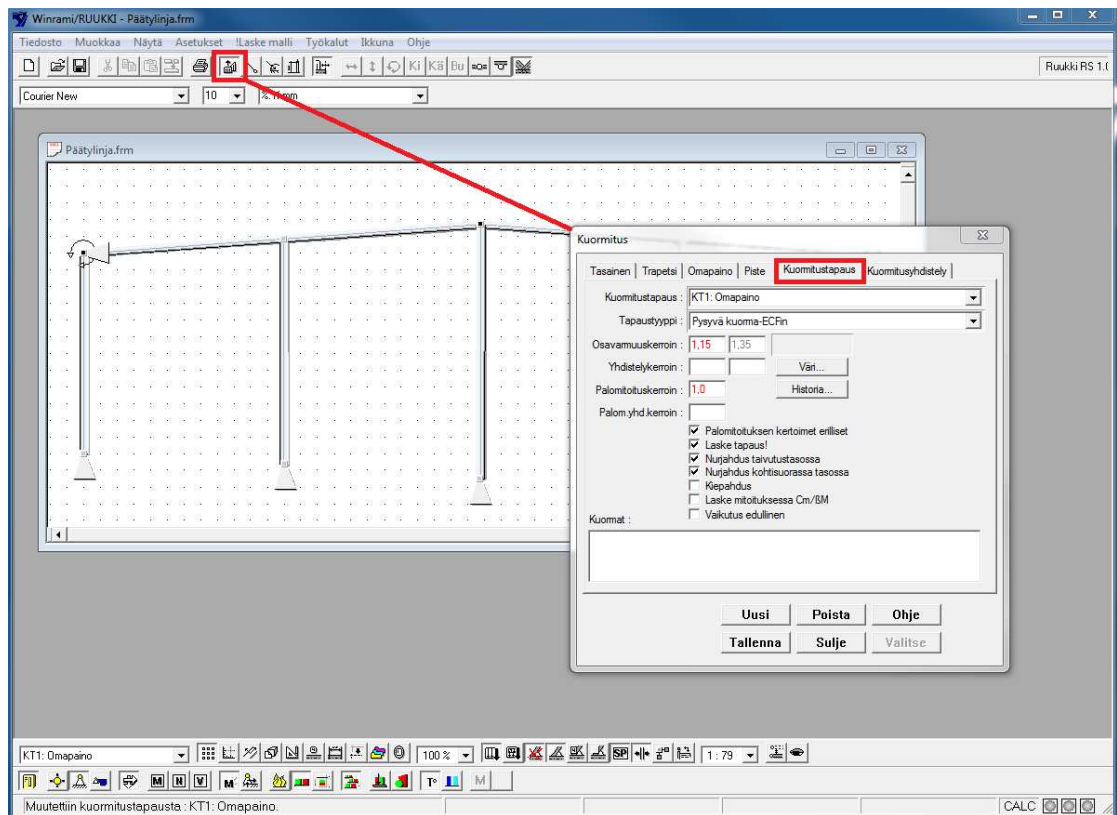
3.1.3 Kuormat

Rakennukseen vaikuttavien laskentakuormien lisääminen aloitetaan määrittämällä kuormitustapaukset. Kuormitustapaukset jaetaan pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Pysyviä kuormia ovat rakenteen omat painot ja erilaiset laitekuormat. Muuttuvia kuormia ovat mm. hyötykuormat, lumikuormat ja tuulikuormat. (RIL 201-1-2011, 29.)

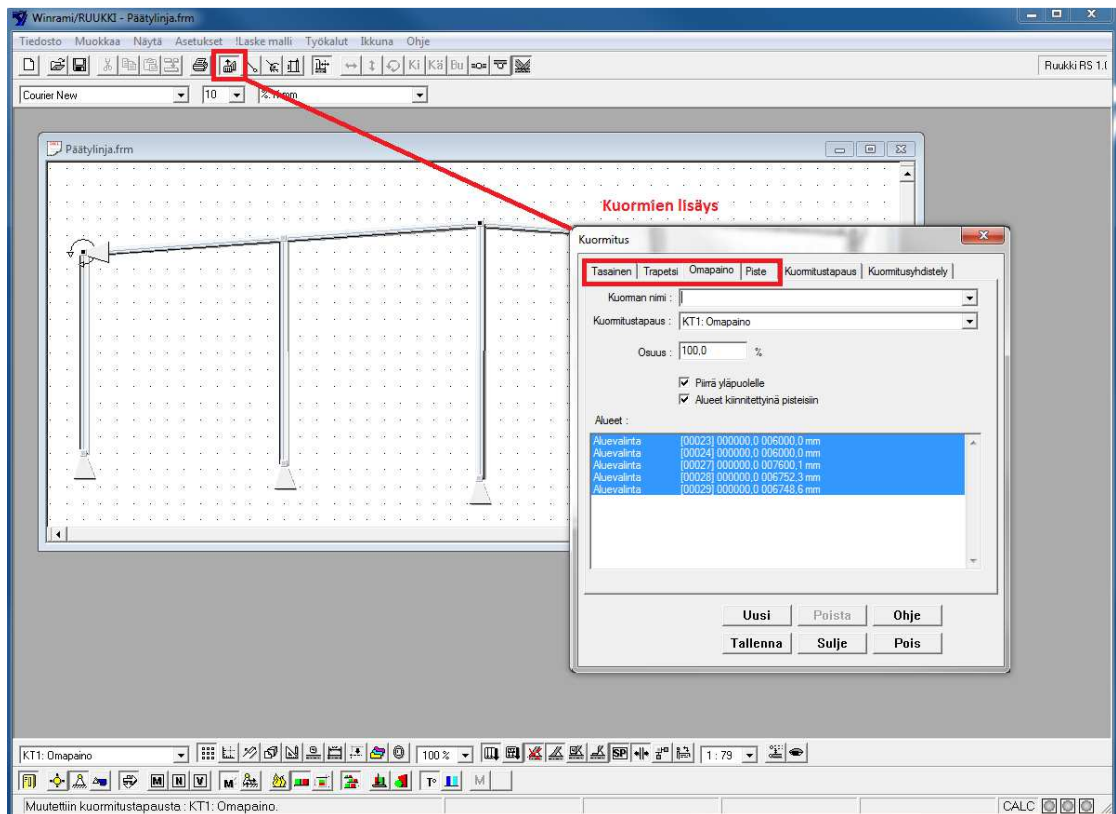
Tällaiseen teollisuushalliin vaikuttaa yleisessä tapauksessa pysyvänä kuormana pilarit, palkit, kuorirakenteet ja kattorakenteisiin kiinnitettävät laitteet esim. kiskot, vinssit tai LVI-laitteet. Muuttuvina kuormina vaikuttavat lumikuorma ja tuulikuorma.

Kuormien lisääminen WinRamiin aloitetaan kuormitustapausten määrittelyllä. (ks. kuvio 10) Tapaustyyppiä valitaan haluttu tapaus esim. pysyvä kuorma ja loppuosaksi valitaan ECFin. Kuormitustapaus nimetään ja tarkistetaan, että kertoimet täsmäävät eli tässä tapauksessa 1,15 ja harmaalla merkitty 1,35 on kerroin, jota käytetään, kun

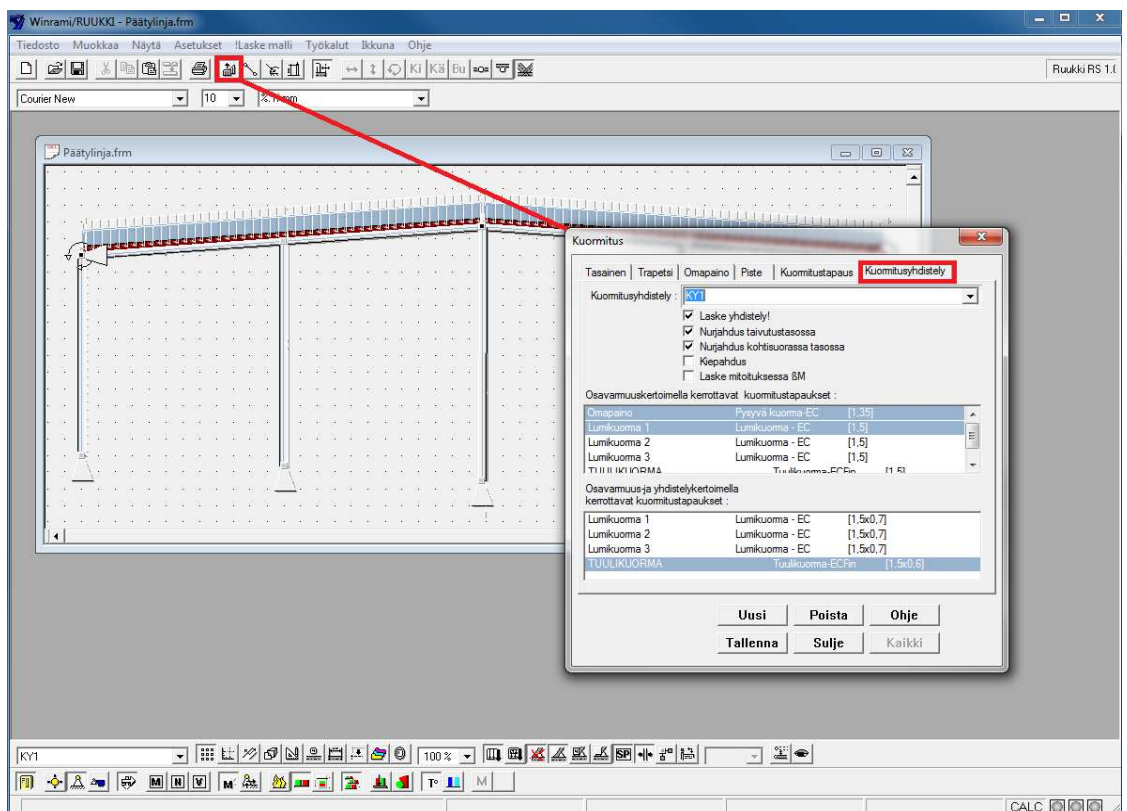
käsitellään pysyvää kuormaa ainoana kuormana. Kun halutaan lisätä kuormitustapaus, on aina painettava Uusi-painiketta, jottei edellinen tapaus poistu. Jokainen kuormitustapaus pitää myös tallentaa erikseen.



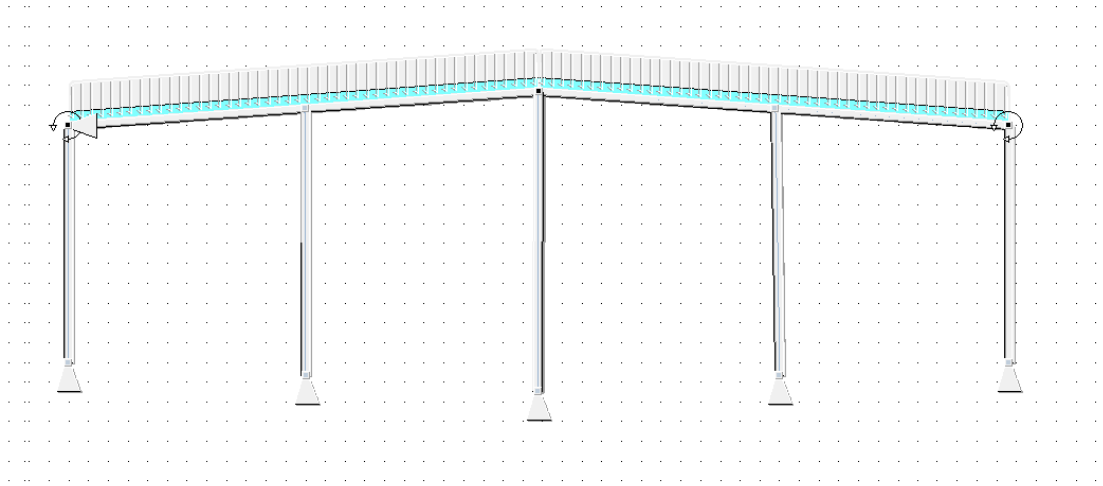
Kuvio 10 Kuormitustapausten lisäys



Kuvio 11 Kuormitusten lisäys



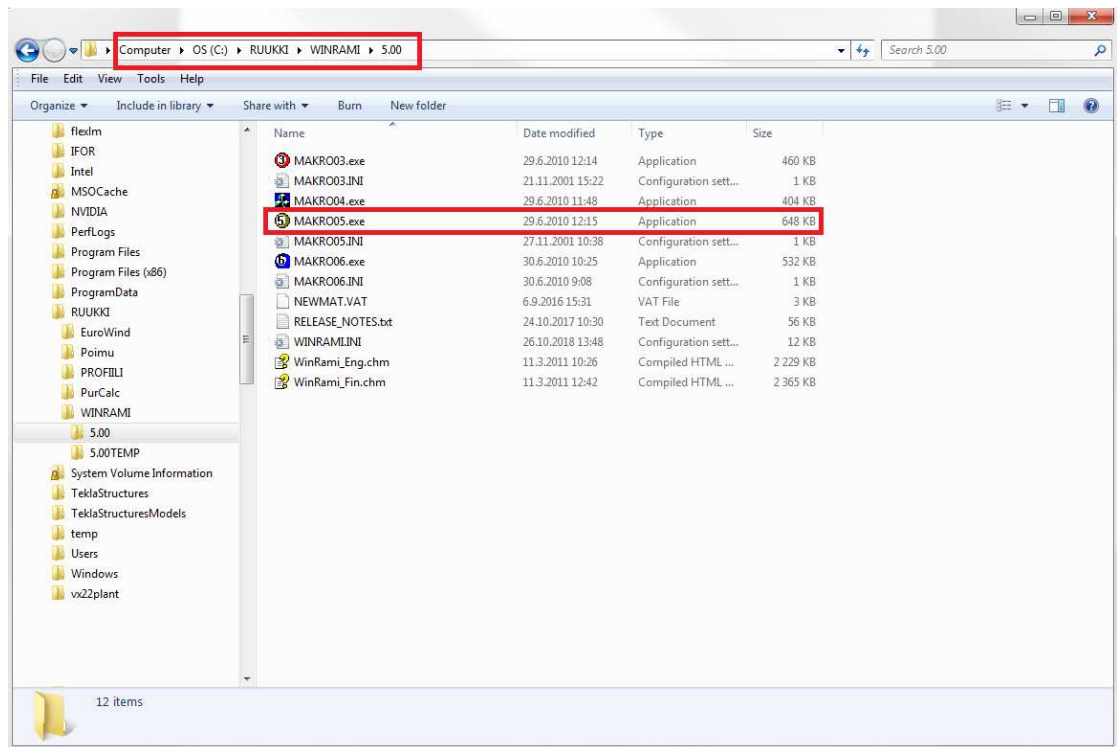
Kuvio 12 Kuormitusyhdistelmien määrittäminen



Kuvio 13 Linja siirretty WinRamiin ja siitä on tehty vapaakappalekuva

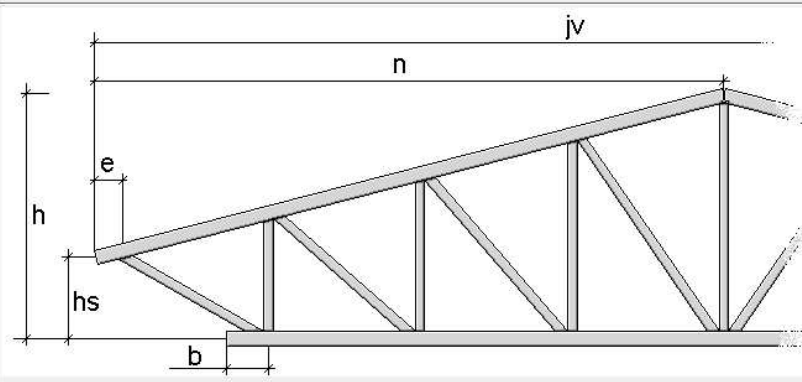
3.1.4 Teräsristikko

WinRamin mukana asentuu ristikkomakro, jonka avulla on todella helppo tehdä vapaakappalekuva ristikkorakenteesta. Ristikkorakenne voidaan tehdä myös WinRamin perusohjelman avulla, mutta se vie todella paljon aikaa verrattuna ristikkomakron käyttöön. WinRamin asennusohjelma asentaa lisäohjelmat automaattisesti, joten ristikkomakro on koneella heti WinRamin asennuttua. (ks. kuvio 14) Ristikkomakroon tarvitsee syöttää vain tarvittavat tiedot ja se generoi automaattisesti mallin WinRamiin. (ks. kuvat 15, 16 ja 17)



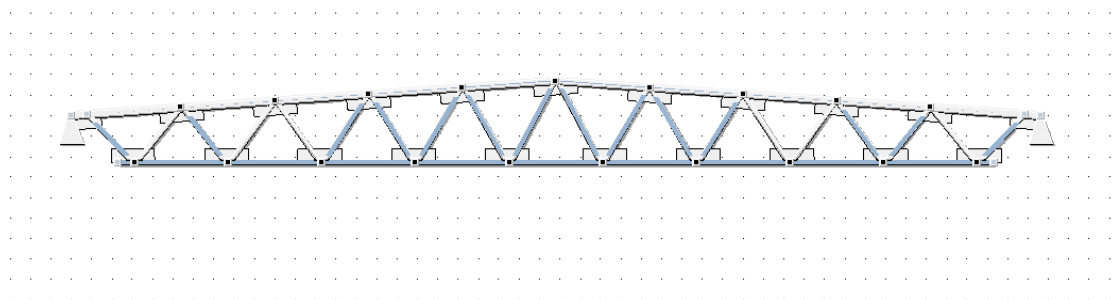
Kuvio 14 Ristikkomakro löytyy Ruukin WinRami -kansioista nimellä MAKRO05.exe

WIRAMI v.4.99; N-RISTIKKOMAKRO

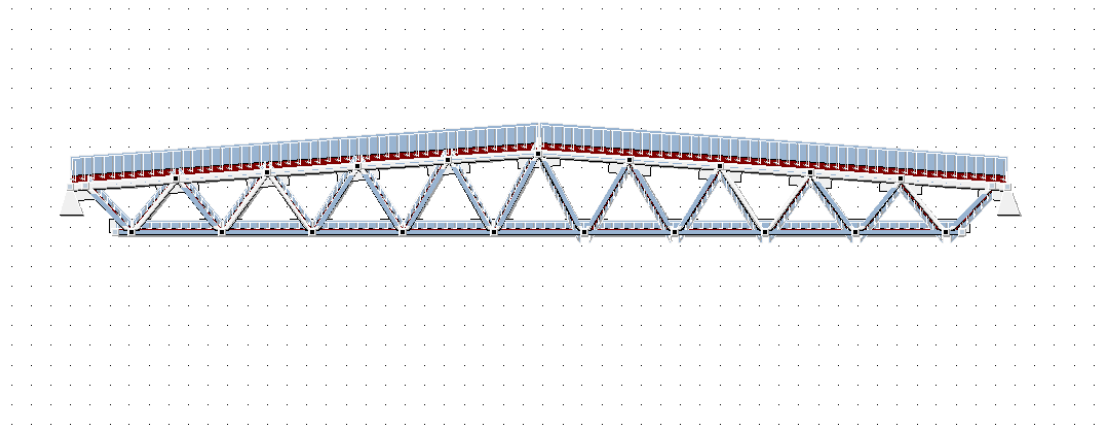


--- RISTIKON GEOMETRIA ---	--- KUORMAT ---	--- NORM/NAD ---
Jänneväli [jv]: 24000,0 mm	OMAPAINO :	EC
Korkeus [h]: 2200,0 mm	Ristikon omapaino...: <input type="checkbox"/>	Generoi MALLI!
Korkeus [hs]: 1150,0 mm	Katon omapaino...: 0,5 kN/m ²	Normi...
Epäkeskisyyys [e]: 150,0 mm	LUMIKUORMA :	Sulje
Lisäpituus [b]: 400 mm	Vasen lape...: 2,0 kN/m ²	
Jako (n)...: 5 kpl	Oikea lape...: 2,0 kN/m ²	
Tukien j.leveys (Ss): 0,0 mm	Liikkuvuus...: 0,0 %	
Kehäväli [Lf]: 5,0 m	TUULIKUORMA [+ ylöspäin/- alaspäin] :	
Orret...: <input type="checkbox"/>	Vasen lape...: 0,0 kN/m ²	
	Oikea lape...: 0,0 kN/m ²	
	Erill. pistekuormat: <input type="checkbox"/>	
	Sijaintikerroin...: 1,0	

Kuvio 15 WinRamin ristikkomakroon syötetään tiedot ristikosta



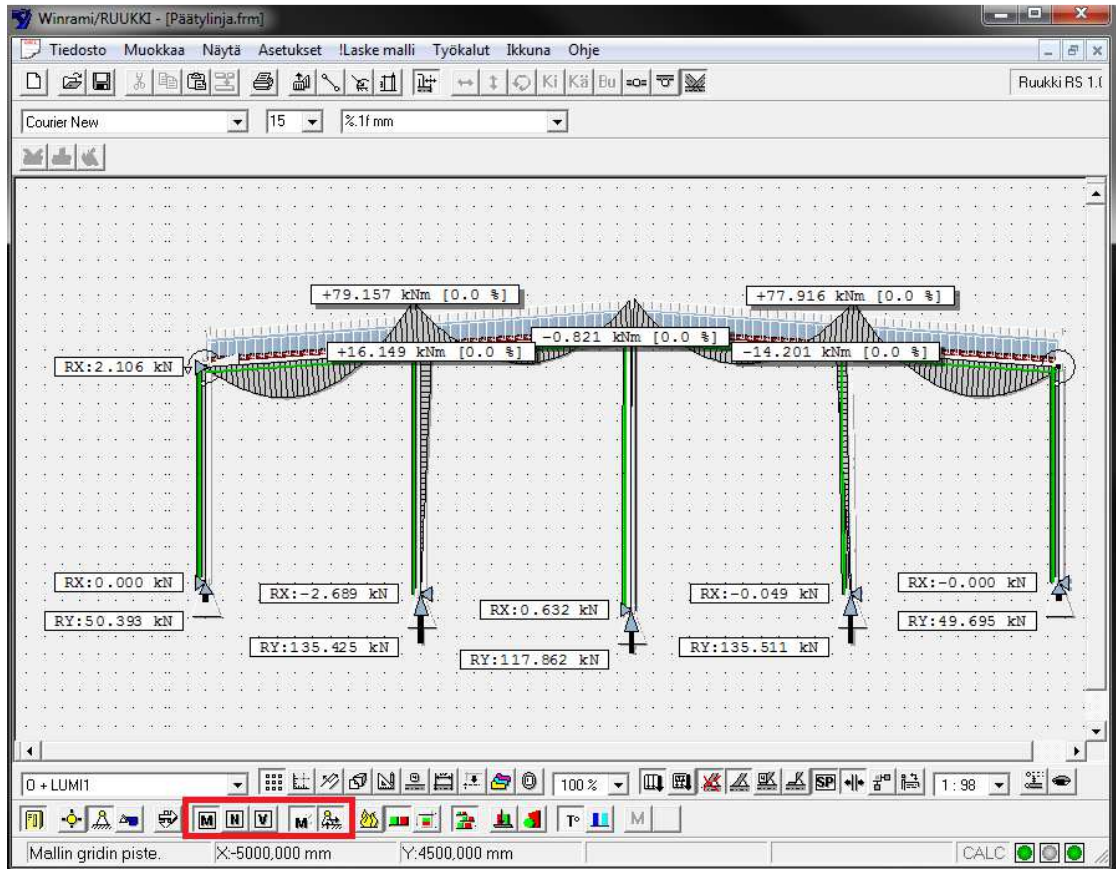
Kuvio 16 Ristikkomakro generoi ja siirtää vapaakappalekuvan WinRamiin



Kuvio 17 WinRamin ristikkomakrolla tehty teräsristikko kuormineen

3.1.5 Laskentatulokset

WinRamin laskelmia voidaan tarkastella selkeillä diagrammeilla ja vapaakappalekuvaan saadaan näkymään tukivoimat, siirtymät, momentti-, normaali-, ja leikkausvoimadiagrammit. (ks. kuvio 18) WinRamin oikeassa alakulmassa on ns. liikennevalot, jotka näyttävät rakenteen kokonaiskestävyyden. Ensimmäinen valo on tämän hetkisen rasituksen aikainen kestävyys, keskimmäinen valo on liitosten kestävyys ja oikealla on kaikkien kuormayhdistelmien kestävyys.



Kuvio 18 Voimadiagrammit ja maksimiarvot WinRamissa

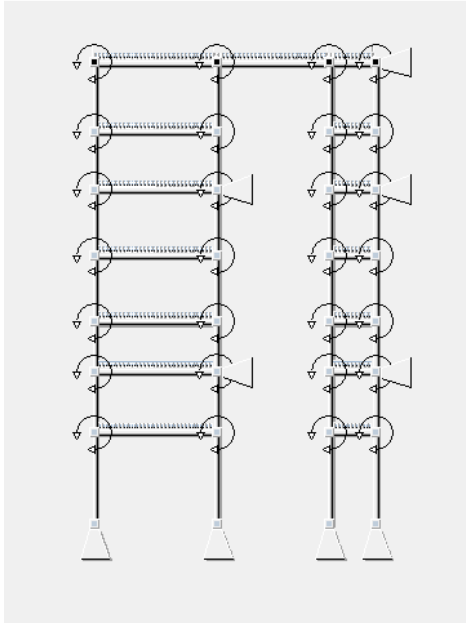
The screenshot shows the WinRami software interface. The main window displays a list of structural members and their properties. The left pane shows a tree view with categories like 'Rakennneosat', 'Liitokset ja muut lisäkomponentit', 'Kuormat', 'Reunaehdot', 'Piilota harmaannutetut viivat', 'Mallin gridi', 'Piiurukset', 'Mallin koordinaattiakselit', 'Peili', 'Minimileveys', 'Geometriasolmun valitsin', 'Solmunumerot', 'Jousivenytys', 'Snap', 'Osoitettu rakenneos edustalle', 'Palotilanne', 'Siirtymät', 'Voimasaureet', 'Rakenneosien maksimit', 'Mitoitus', and 'Tekstinäkymä'. The right pane shows the detailed view of a selected member, including its material, profile, and dimensions. The bottom pane shows a list of members and their properties.

RAKENNEOSA:	00000001	[GP1:liitetty toisiin päätepisteisiin GP2:liitetty toisiin päätepisteisiin]
PROFIILI:	Putkipalkki EN 10219-2	- 200 x 200 x 8,0 S420MH EN 10219 Nurjahdusk,= B
NORMI:	EC3	
SUUNTA:	Y-Akseli	
PALOSUOJAUS:	Suojaamaton	
PITUUS:	11935,306 mm	
PAIKO:	555,1 kg	
MAGNOMENTTI:	+53,158 kNm	+77,916 kNm [0,0 %]
MITOITUS:	Murtorajatilamitoitus	
	[2,13]	NEd/Nt,Rd=0,00<1,00
	[2,44]	My,Ed/Mc,y,Rd=0,44<1,00
	[2,74]	Vz,Ed/Vp1,z,Rd=0,10<1,00
	[2,120]	My,Ed/MN,y,Rd=0,44<1,00
	[2,22]	NEd/Nc,Rd=0,00<1,00
	[2,147]	(NEd/(Xy*NRk/gM1)+((kyyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kyzMy,Ed)/(Mz,Rk/gM1)))=0,36<1,00
	[2,148]	(NEd/(Xz*NRk/gM1)+((kzyMy,Ed)/(My,Rk/gM1))+((kzzMy,Ed)/(Mz,Rk/gM1)))=0,22<1,00

Kuvio 19 WinRamista saadaan myös teksiosa, josta ilmenee tulokset

WinRamin avulla ei pystytä analysoimaan rakennuksien kokonaissiirtymiä, vaan sillä käsitellään vain yksittäisten linjojen kestävyysä sekä taipumia ja mitoitetaan niistä saatujen tulosten mukaan.

Toinen esimerkki, jota olen käyttänyt tässä opinnäytetyössä, on monikerroksinen voimalaitos. (ks. kuvio 20) Voimalaitoksen tekeminen WinRamiin vie reilusti enemmän aikaa kuin edellisen teräshalliesimerkin. Voimalaitoksessa ei ole toistuvia linjoja, jolloin jokainen linja pitää tehdä omanaan WinRamiin. Jokaiseen malliin pitää syöttää uudestaan kuormat ja profiilit.

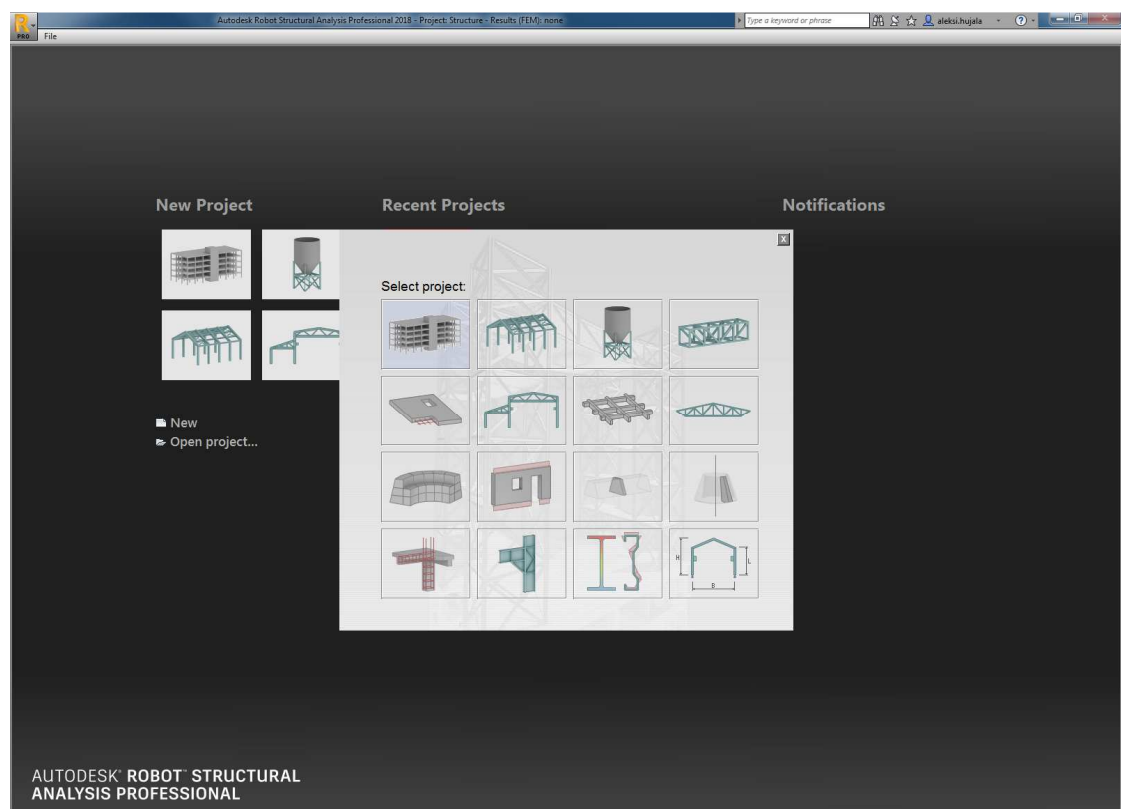


Kuvio 20 Korkean voimalaitosrakennuksen yhden linjan vapaakappalekuva
WinRamista poiketen Robotilla saadaan laskettua varmemmin rakennuksen kokonaiskestävyyttä ja -siirtymiä.

3.2 Robot

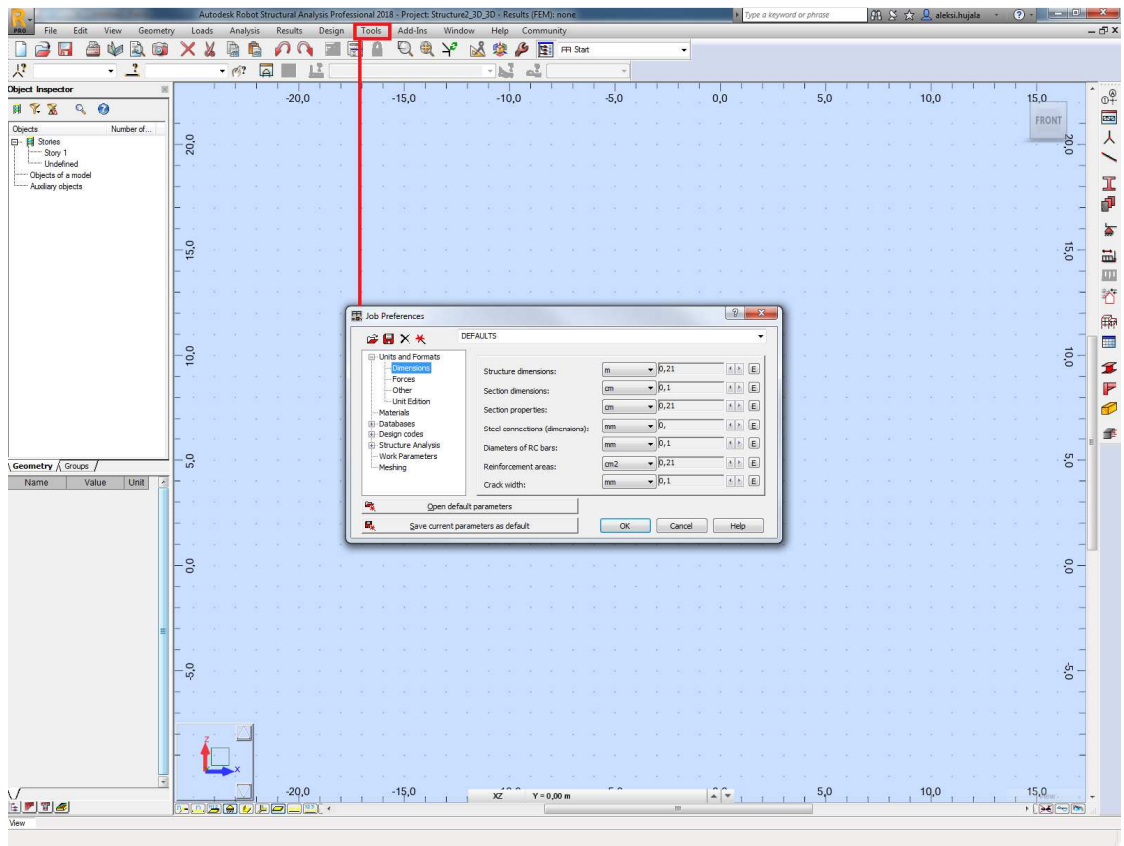
3.2.1 Mallinnuksen aloitus ja alkuasetukset

Aloitettaessa projektia robotilla on aluksi valittava projektityyppi. (ks. kuvio 21) Valinta tehdään sen mukaan, minkälainen laskentakohde on kyseessä. Yleensä käytetään ensimmäistä eli building design-valintaa tai toisena olevaa frame 3D design-valintaa. Projektityypin voi kuitenkin vaihtaa vielä kesken mallinnuksen ja laskennan.



Kuvio 21 Robot-projektin aloitusnäky

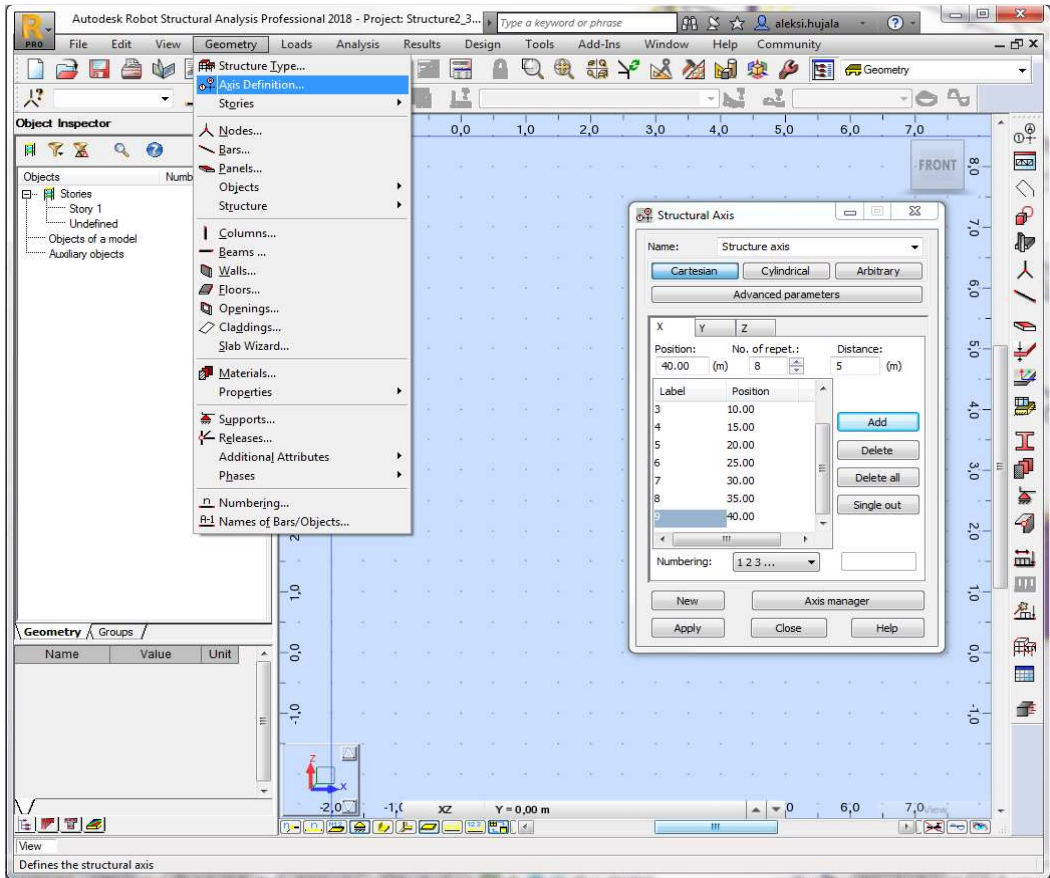
Projektin yleisasetukset löytyy Tools-valinnan alta kohdasta Preferences. (ks. kuvio 22) Yleisasetuksissa valitaan mm. kieli, ja siellä voidaan myös modifioida tiettyjä perusparametrejä, mutta laskennan kannalta yleisasetukset eivät merkitse kovinkaan paljoa. Laskennallisiin asetuksiin päästään kiinni Tools-valinnan alta kohdasta Job Preferences. Siellä valitaan projektissa käytettävät mittayksiköt, lukutarkkuudet, yleismateriaalit, laskentastandardit ja suunnittelukoodit.



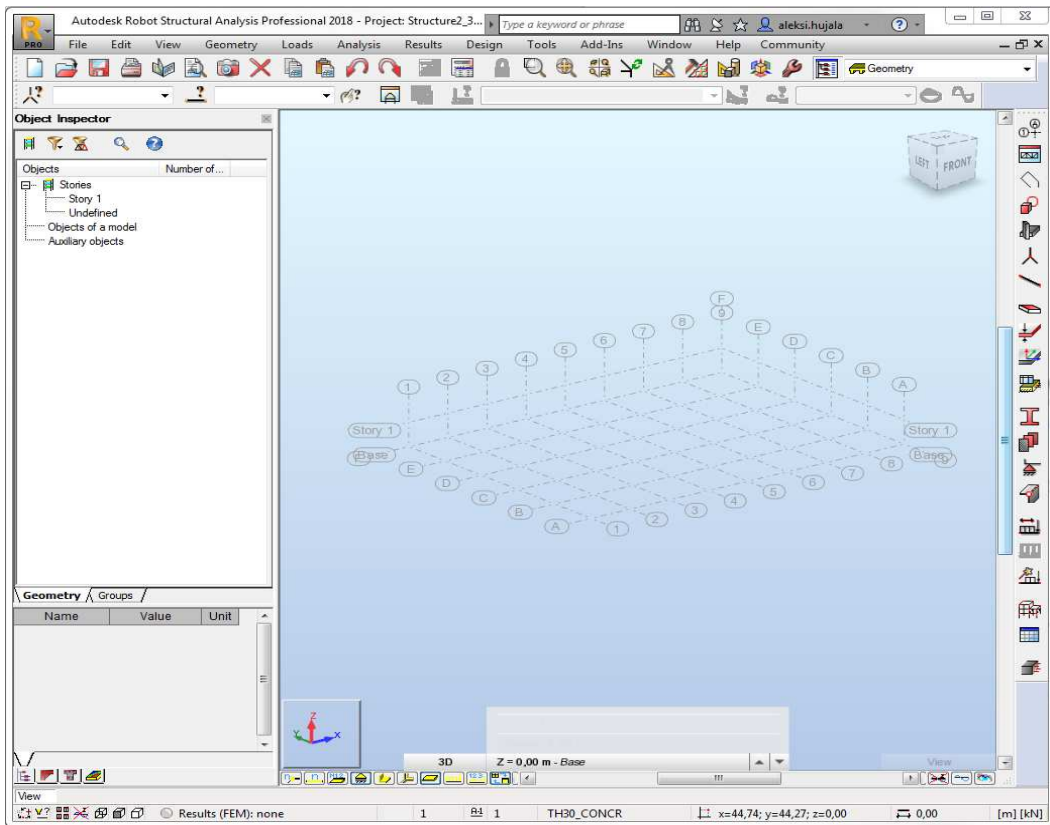
Kuvio 22 Robotin mitoituksellisten asetusten valintanäkymä

3.2.2 Laskentarungon mallinnus

Laskentarungon mallinnus Robotiin aloitetaan apuruudukon eli gridin tekemisellä. Apuruudukon tekeminen löytyy Geometry-valinnan alta Axis Definition-kohdasta. (ks. kuvio 23) Rakennus mallinnetaan koordinaatiston suuntaisena ja apuruudukon linja-jaot tehdään yleensä pilarijaon mukaan. Tässä Robot-ohjeessa käytetään teräshal- liesimerkkiä ja tehdään sen mukainen runko sekä laskelmat. Esimerkissä nimetään X-koordinaatisto numeroilla rakennuksen pituussuunnassa ja Y-koordinaatisto kirjai- milla rakennuksen leveysuunnassa.

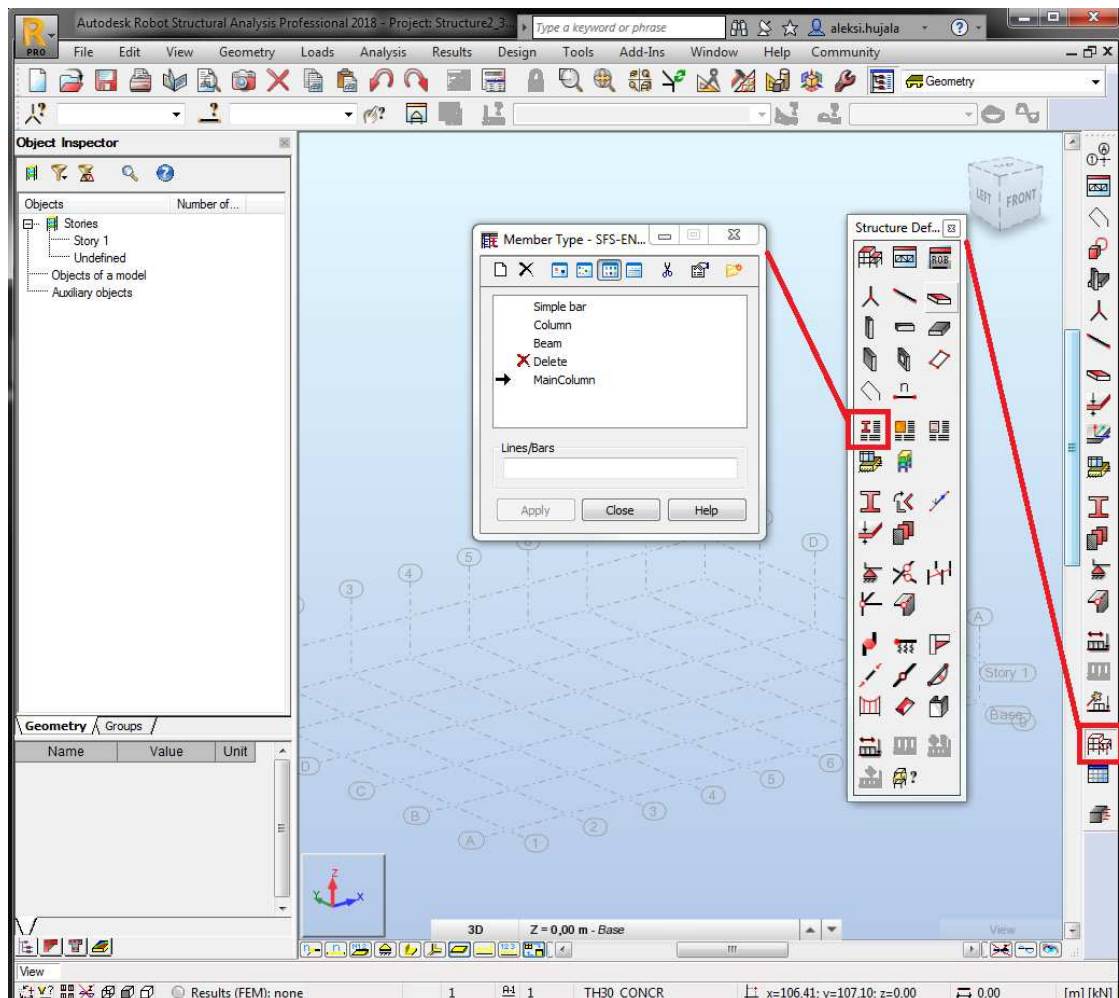


Kuvio 23 Laskentarungon apuruudukon tekeminen



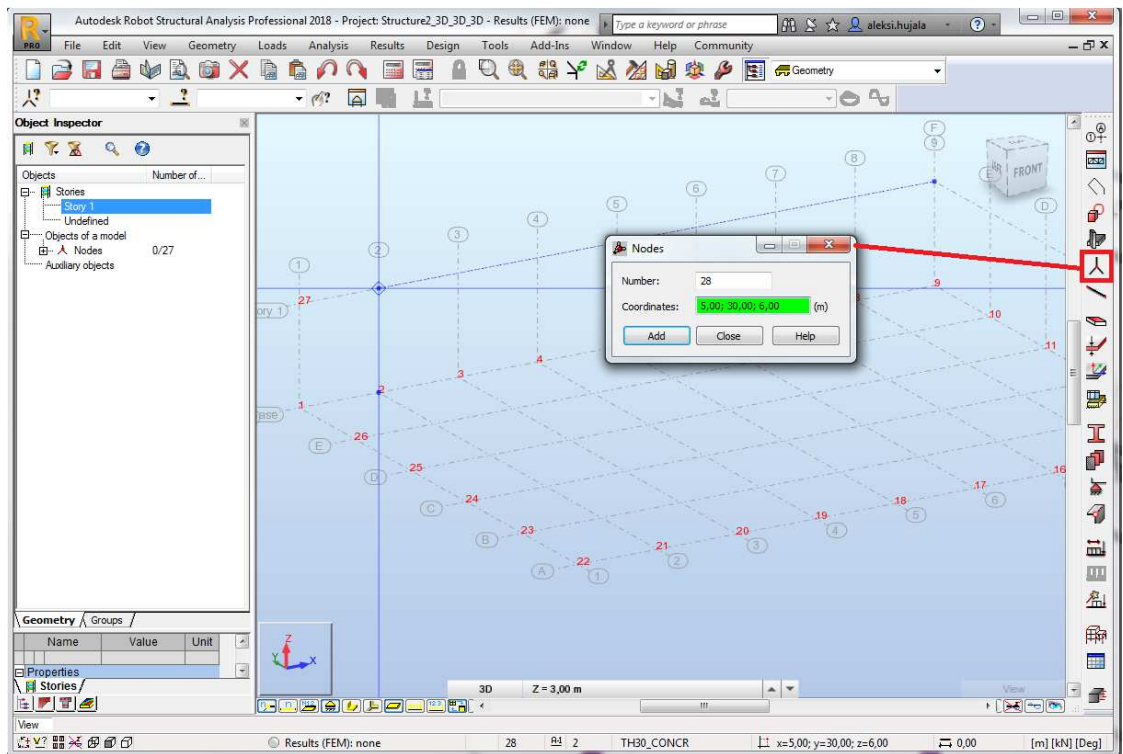
Kuvio 24 Laskentarungon apuruudukko eli gridi valmiina

Ennen pilarien ja palkkien asettamista määritetään kyseisten rakenneosien tyypit. Rakenneosatyypeille on robotissa valmiina mallipohjat, joita voidaan hyödyntää laskelmissa. (ks. kuvio 25) On kuitenkin kannattavampaa tehdä uudet rakenneosatyypit, sillä mallityyppien taipumarajoja ja useita eri tietoja ei voi muuttaa. Perustapauksissa selvittää kolmella eri rakennetyypillä: pilarit, palkit ja siteet. Kyseiset rakennetyypit voidaan vielä jakaa primääriin ja sekundääriin tyyppihin. Palkit voidaan vielä jakaa esimerkiksi välipohja- ja yläpohjapalkkeihin, jotta niille voidaan asettaa eri taipumarajat. Esimerkkihallissa selvittää kuitenkin perustapauksilla.



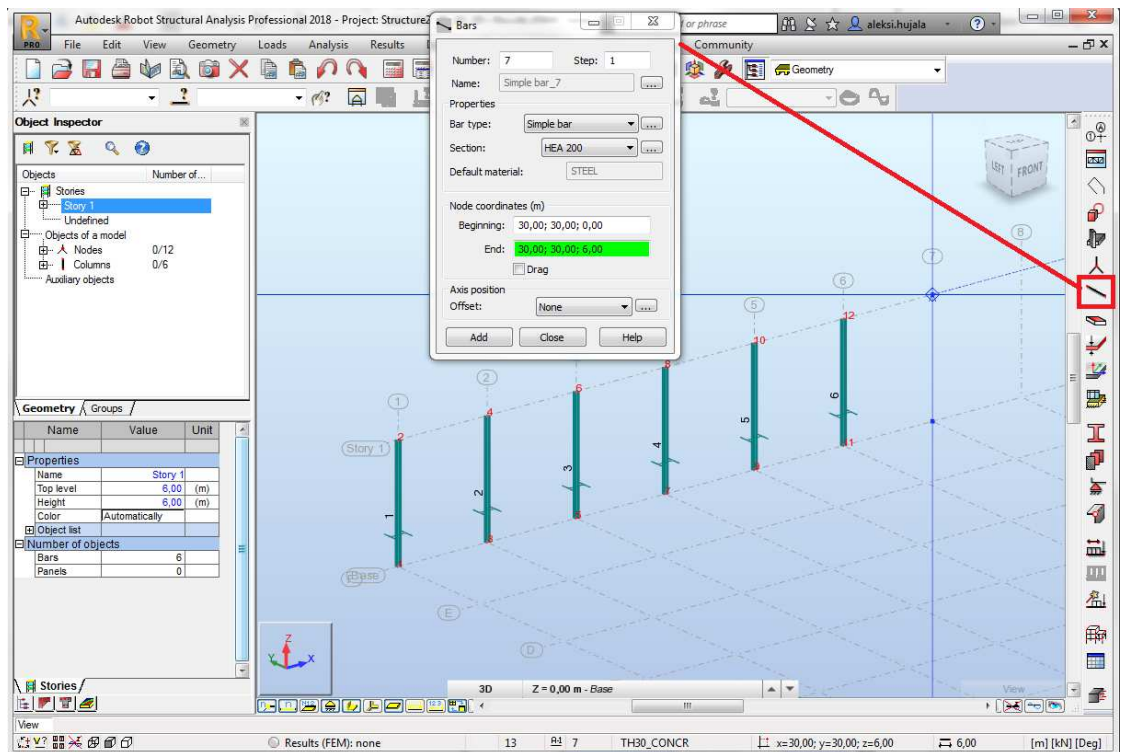
Kuvio 25 Rakenneosatyypien luominen

Rakenneosien lisääminen voi tehdä kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on lisätä aluksi solmut mallinnettavien rakenneosien alku- ja loppukohtiin. (ks. kuvio 26) Tällä tavalla solmuille saadaan looginen numerointi, joka selkeyttää laskelmia varsinkin perustuksille tulevien kuormien tarkastelussa.

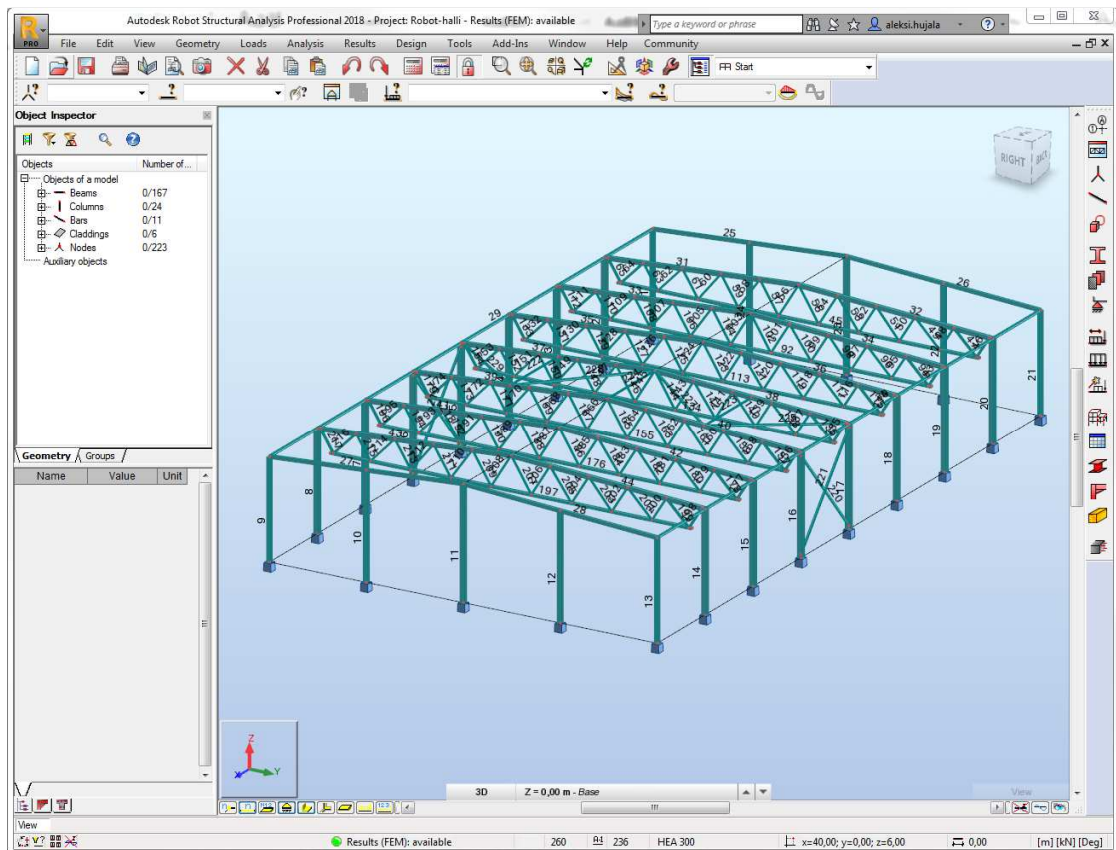


Kuvio 26 Solmujen lisääminen ennen rakenneosia

Toinen vaihtoehto on lisätä suoraan rakenneosat, jolloin Robot lisää solmut automaattisesti. Rakenneosa tehdään bar-valinnalla ja sille voidaan määrittää rakenneosatyyppi, profiili, alku- ja loppupiste. (ks. kuvio 27)

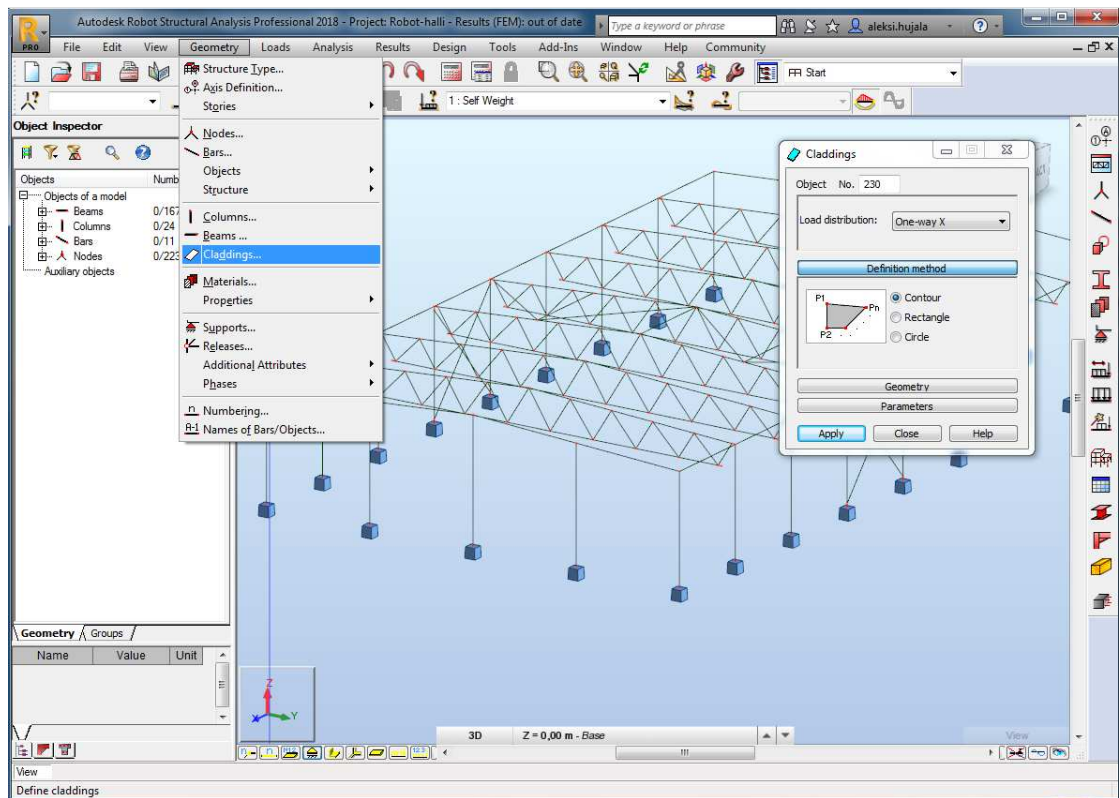


Kuvio 27 Rakenneosien lisääminen ilman solmujen lisäämistä

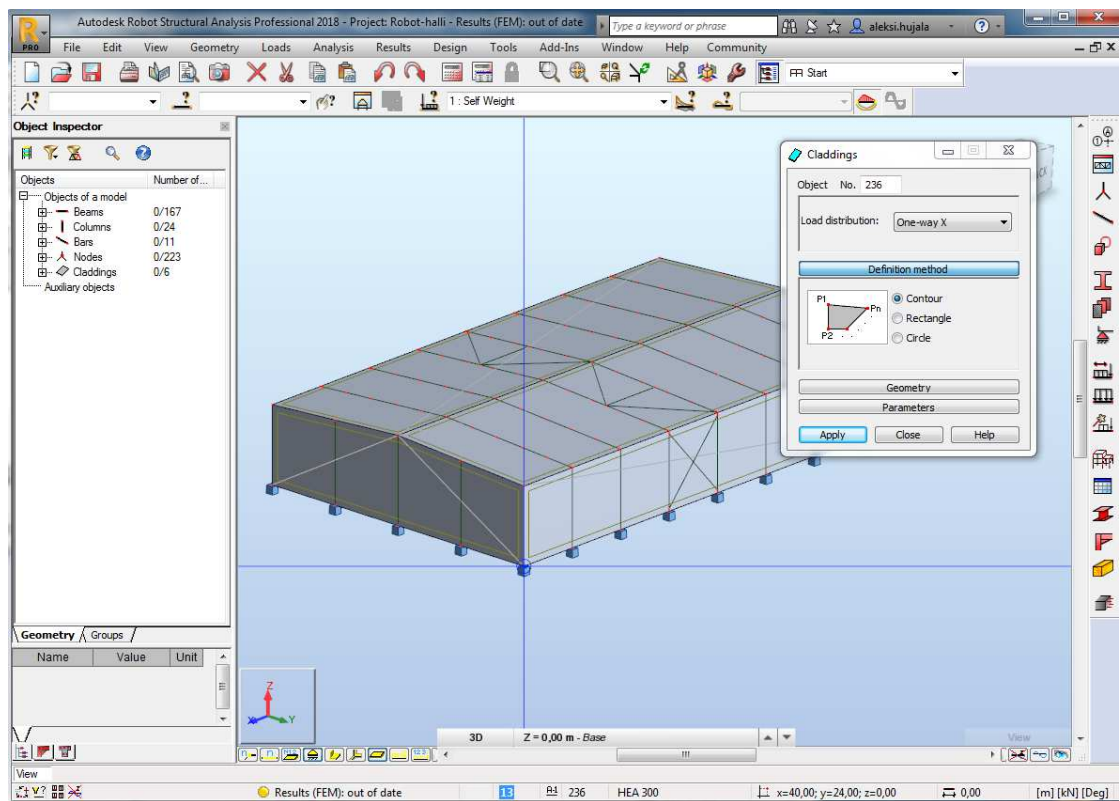


Kuvio 28 Teräshallin laskentarunko Robotissa

Seinämaiset ja tasomaiset rakenteet saadaan käyttämällä Geometry-valikon alta Claddings-komentoa. (ks. kuvio 29) Taso- ja tuulikuormat on todella helppo mallintaa kyseisillä komennon avulla tehtävillä paneeleilla.



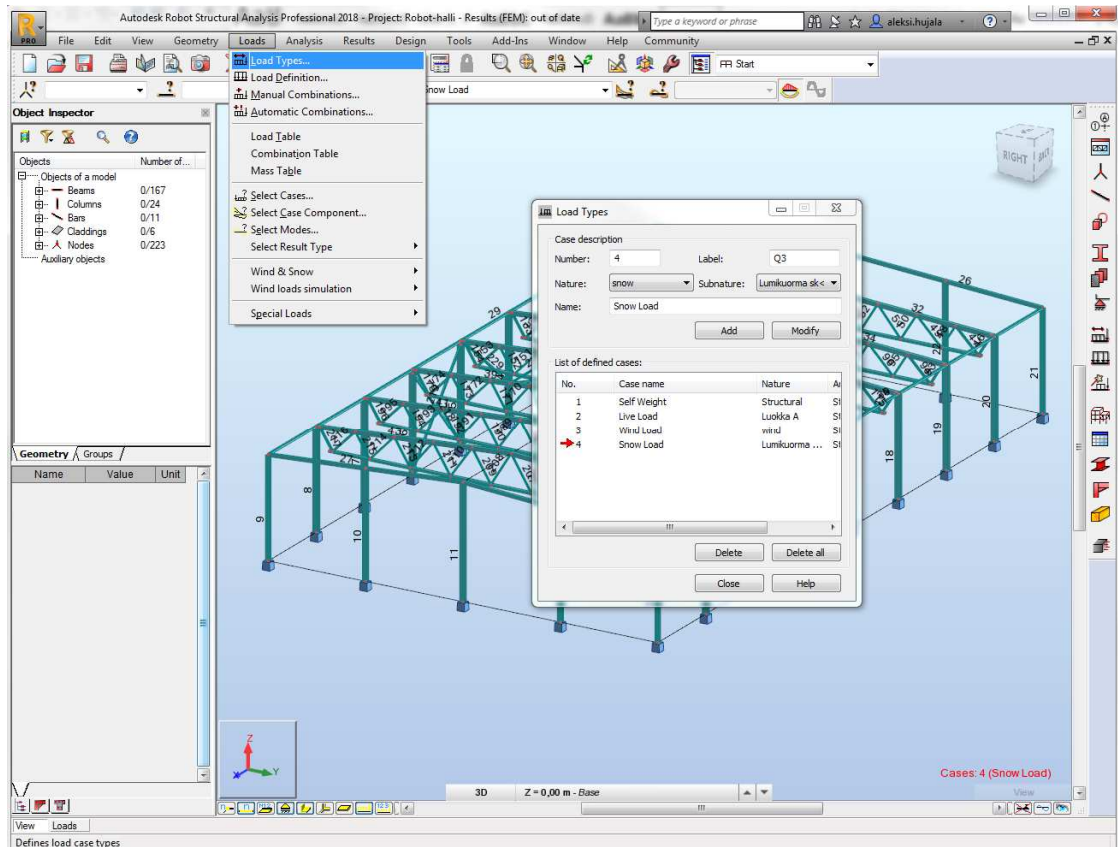
Kuvio 29 Paneelien tekeminen Claddings-komennolla



Kuvio 30 Teräshallin paneelit

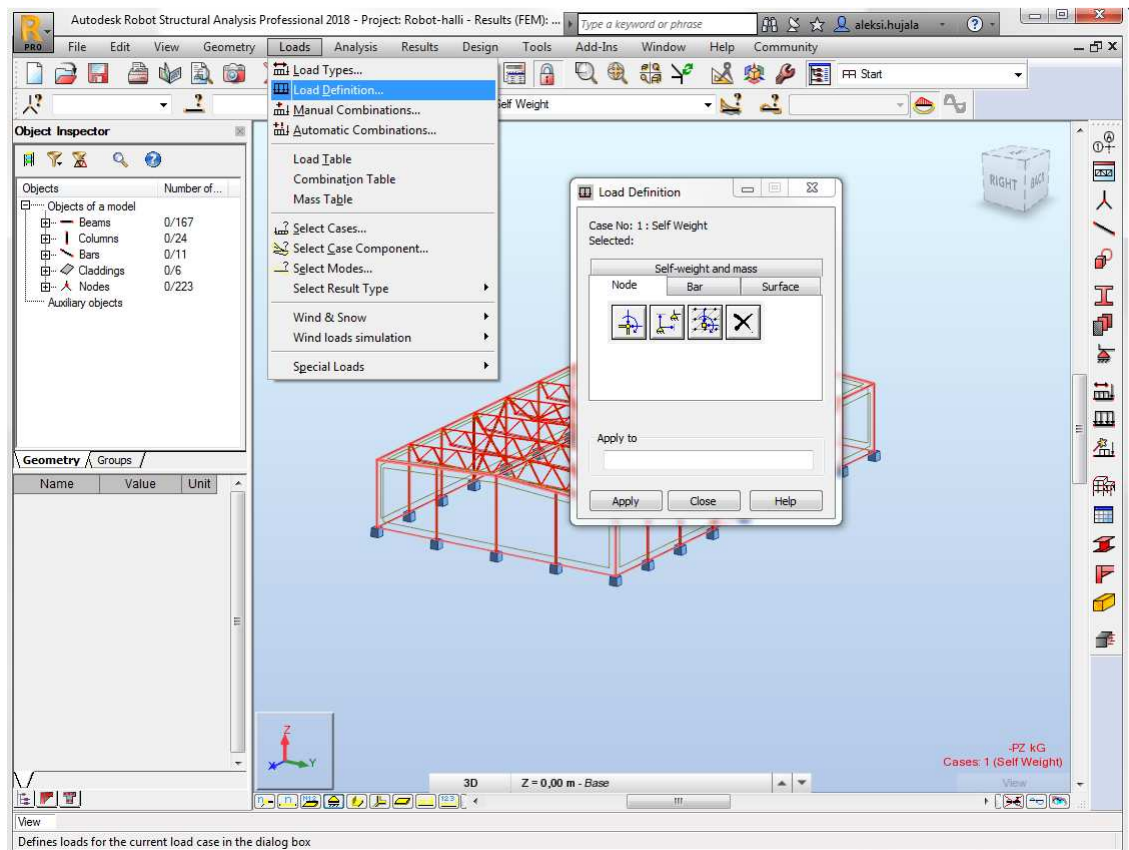
3.2.3 Kuormat

Kuormitustapausten määrittäminen löytyy Load-valikon Load types-kohdasta, jossa määritetään kuormitustapausten tyyppi. (ks. kuvio 31) Tapauksille valitaan numero, lyhenne, kuormatyyppi ja nimi.



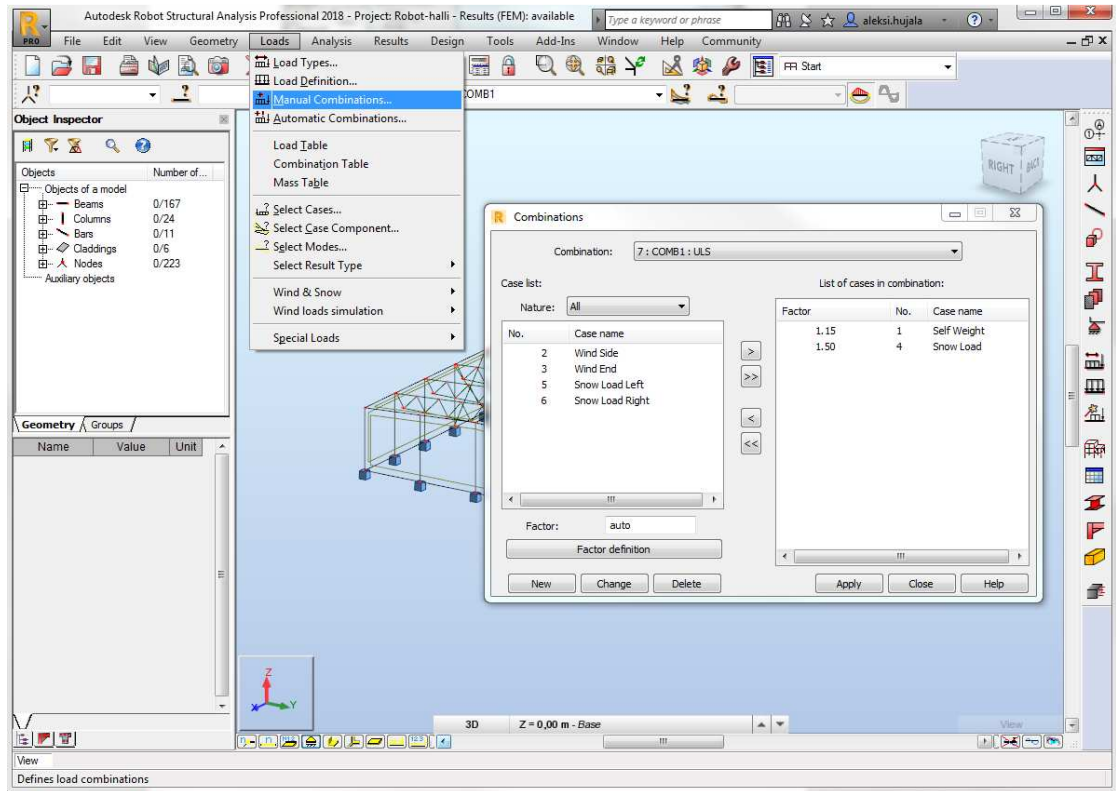
Kuvio 31 Kuormitustapausten lisäys

Kuormien sijoittaminen aloitetaan valitsemalla yläpalkin kuormitustapauslistasta aktiiviseksi haluttu kuormitustapaus ja valitaan Loads-valikon alta Load definition -valinta. (ks. kuvio 32) Kuormia voidaan asettaa rakenteille omaksi painoksi (Self-weight), solmukohtiin (Node), rakenneosan eri kohtiin (Bar) tai rakennelevyjen pintoihin aluekuormana (Surface). Kuormille määritetään suuruus ja suunta, ja halutut rakenneosat valitaan aktiiviseksi tai syötetään erikseen Apply to-kohtaan.

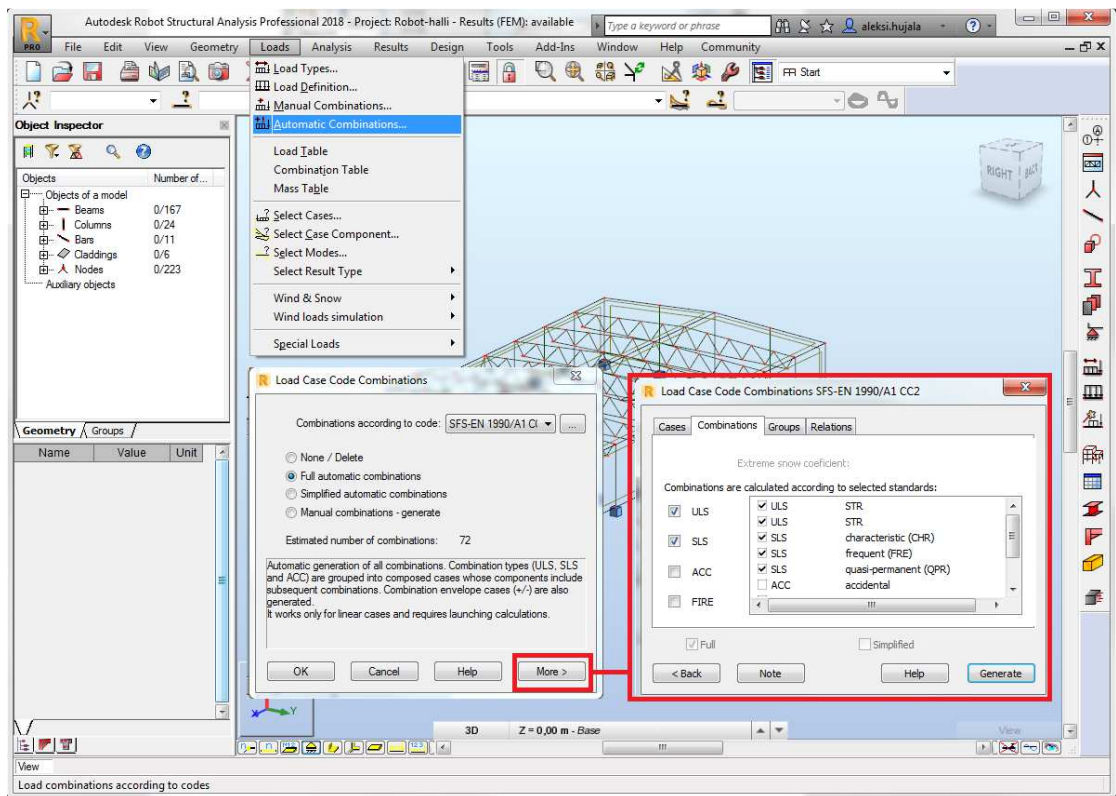


Kuvio 32 Kuormien sijoittaminen

Kuormitusyhdistelmät voidaan tehdä manuaalisesti tai automaattisesti. Manuaalisesti tekemällä lisätään itse yhdistelmätyyppi esim. murtorajatila (ULS) tai käyttörajatila (SLS). Manuaalisesti valitaan myös, mitkä kuormitustapaukset vaikuttavat kuormitusyhdistelmässä ja määritetään kuormakertoimet. (ks. kuvio 33) Kuormitusyhdistelmien tekeminen automaattisesti on tehty melko helpoksi. Automaattisesti tehdessä pitää vain määrittää, mitkä kaikki tapaukset halutaan ottaa huomioon. (ks. kuvio 34) (Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 User's Guide n.d.)



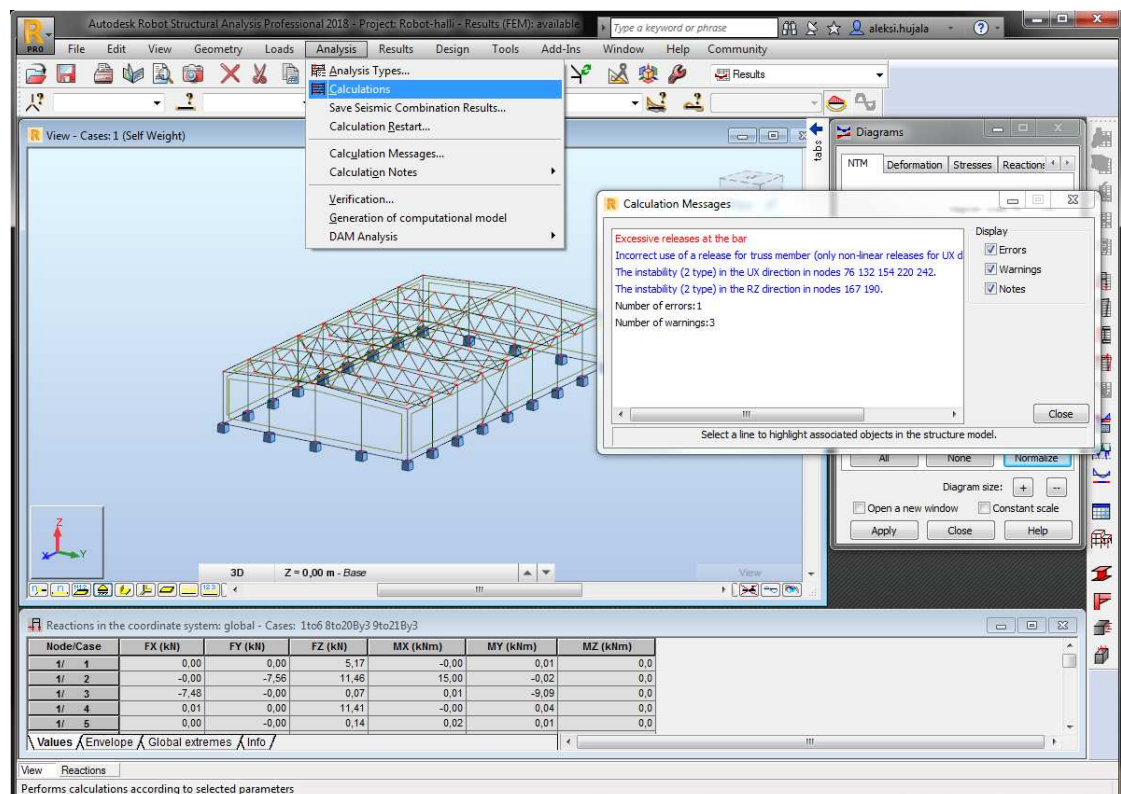
Kuvio 33 Kuormitusyhdistelmien lisääminen manuaalisesti



Kuvio 34 Kuormitusyhdistelmien lisääminen automaattisesti

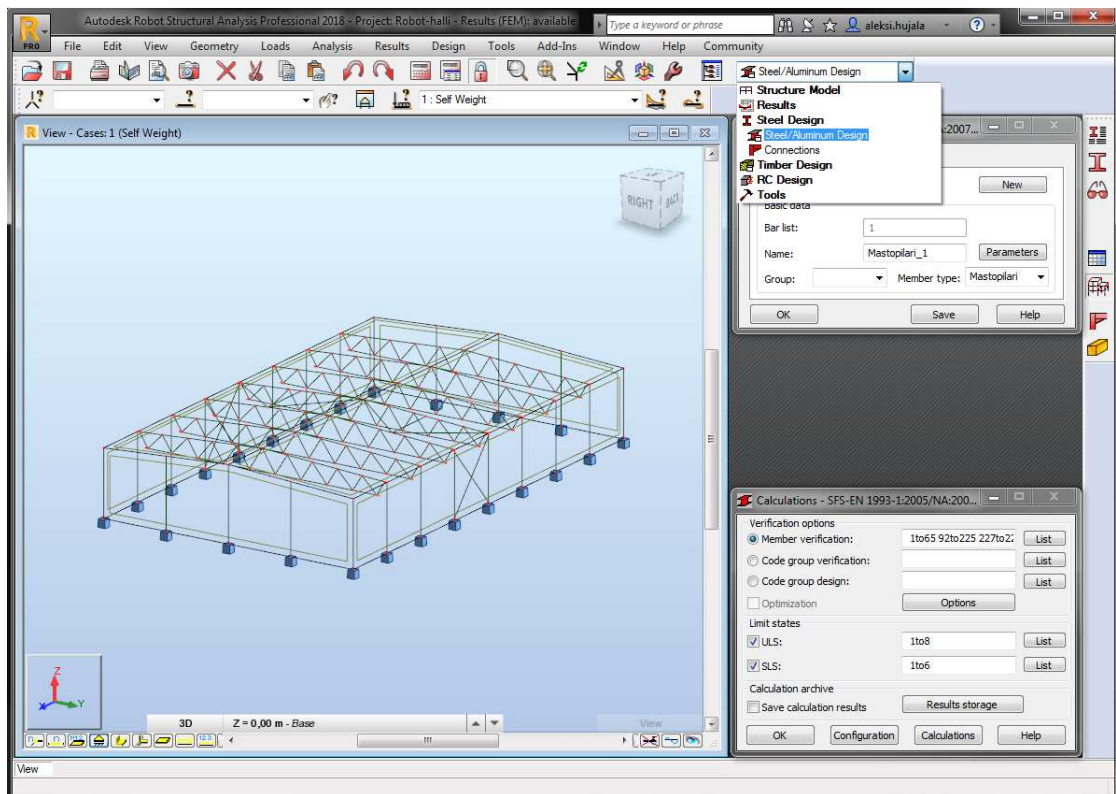
3.2.4 Laskentatulokset

Robotin laskenta tehdään Analysis-valikon alta Calculations-valinnalla. Robot suorittaa laskelmat asetuksissa annettujen standardien ja laskentasääntöjen mukaan. Robot ilmoittaa laskennan jälkeen kaikki mahdolliset virheet, joita laskentamalli sisältää. (ks. kuvio 35) Se ilmoittaa mm. jos laskentamallissa on epästabiileja kohtia. Virheet voidaan paikantaa painamalla haluttua virhettä. Kun virheet on korjattu ja laskenta on suoritettu uudestaan, voidaan siirtyä laskentatulosten tarkasteluun. (Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 User's Guide. N.d)

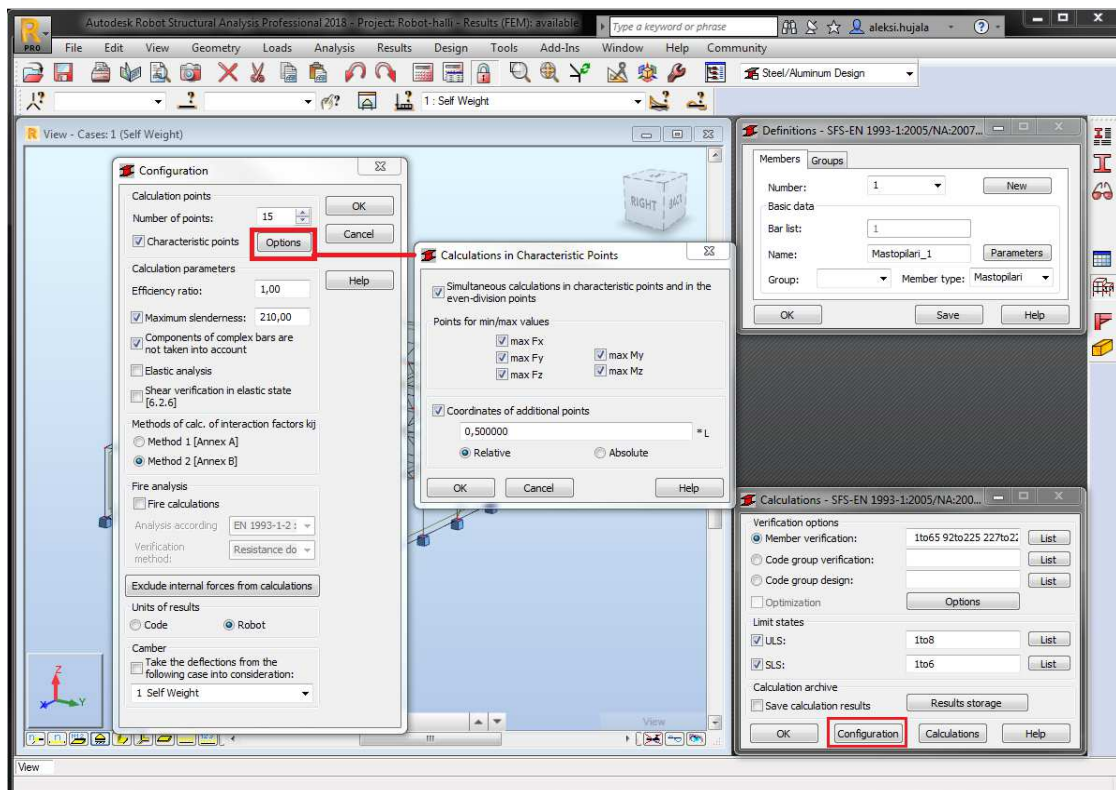


Kuvio 35 Esimerkkivirheitä laskentamallista

Laskentatulosten tarkastelu suoritetaan Steel Design-näkymästä. Tarkasteluun valitaan halutut rakenneosat kirjaamalla ne Member verification -kohtaan. (ks. kuvio 36) Jos halutaan valita kaikki rakenneosat, koko rakenne voidaan maalata aktiiviseksi hiirellä. Member verification -kohtaan voidaan myös kirjoittaa "1to10000", jolloin robot valitsee kaikki olemassa olevat osat kyseisten lukujen väliltä. Limit states -kohtaan valitaan ne kuormatapaukset ja -yhdistelmät, joita halutaan laskelmassa tarkastella.

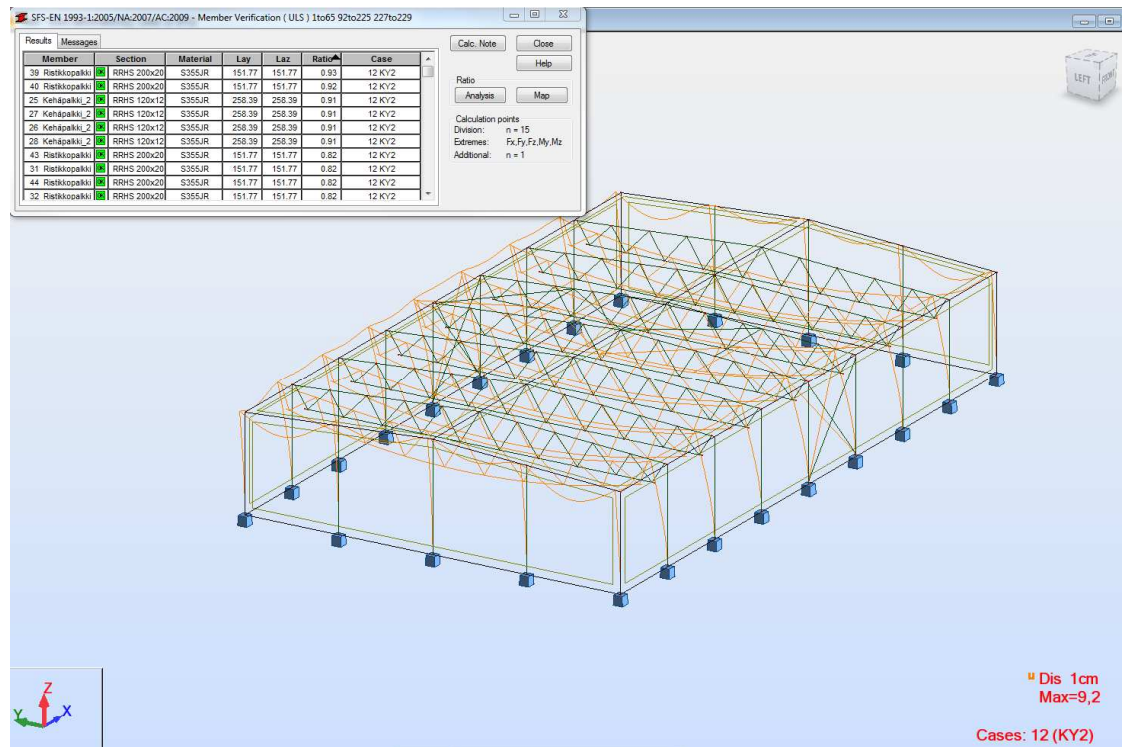


Kuvio 36 Laskentatulosten tarkastelu

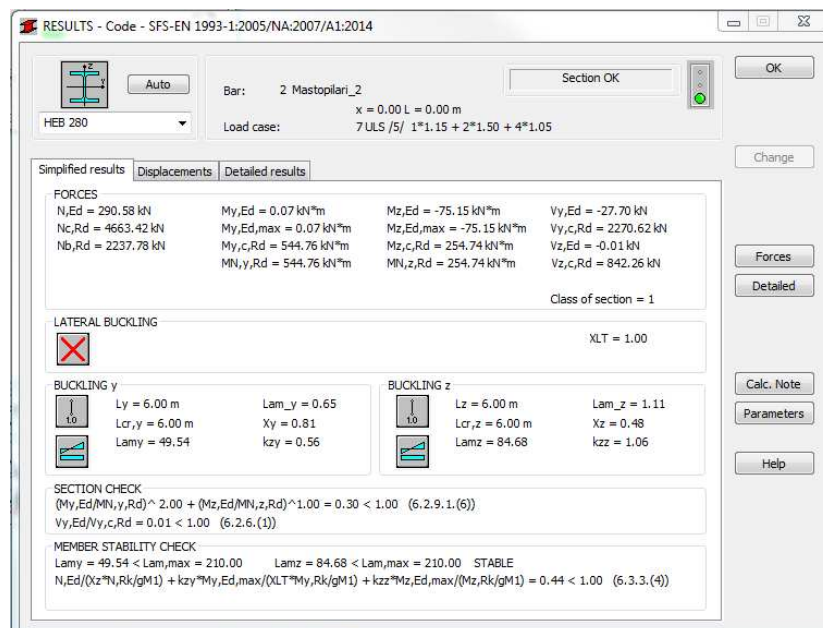


Kuvio 37 Laskentatulosten tarkastelun asetukset

Kun oikeat asetukset ja halutut rakenneosat sekä kuormayhdistelmät on valittu, voidaan suorittaa laskenta Calculations-painikkeen avulla. Robot koostaa taulukon, josta voidaan tarkastaa jokaisen rakenneosan kestävyyskäyttöaste. (ks. kuvio 38) Laskelmia voidaan tutkia tarkemmin valitsemalla laskennan rakenneosaluettelosta haluttu rakenneos.



Kuvio 38 Teräshallin robot-laskennan tulokset



Kuvio 39 Rakenneosan tarkemmat kestävyys- ja taipumalaskelmat

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 - Project: Robot-halli - Results (FEM): available

File Edit View Geometry Loads Analysis Results Design Format Tools Add-Ins Windows Help Community

1 tto24 232to235 ULS Code Combinations

Reactions1 in the coordinate system: global - Cases: 8 9

Node/Case	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ ULS+	0,01	0,01	35,12	22,52	0,06	0,0
1/ ULS-	-11,22	-11,34	4,65	-0,04	-13,63	0,0
2/ ULS+	0,02	-0,01	290,58	75,15	0,14	0,0
2/ ULS-	-0,36	-27,70	15,63	0,06	-2,16	0,0
3/ ULS+	0,02	-0,01	279,92	78,60	0,15	0,0
3/ ULS-	-0,30	-28,28	15,49	0,09	-1,81	0,0
4/ ULS+	0,03	-0,01	287,00	81,19	0,17	0,0
4/ ULS-	-0,24	-28,49	15,54	0,09	-1,46	0,0
5/ ULS+	12,82	-0,02	284,16	74,19	3,72	0,0
5/ ULS-	-5,22	-28,13	3,64	0,09	-1,42	0,0
6/ ULS+	-0,66	-0,02	288,51	74,48	-0,19	0,0
6/ ULS-	-13,08	-28,17	17,86	0,10	-3,76	0,0
7/ ULS+	-0,00	-0,01	279,68	78,93	-0,01	0,0
7/ ULS-	-0,21	-28,12	15,50	0,08	-1,26	0,0
8/ ULS+	-0,00	-0,01	290,32	75,39	-0,01	0,0
8/ ULS-	-0,23	-27,74	15,62	0,09	-1,37	0,0
9/ ULS+	-0,00	0,01	36,62	22,92	-0,00	0,0
9/ ULS-	-3,79	-11,41	4,62	-0,05	-4,82	0,0
10/ ULS+	-0,00	0,01	94,91	14,79	-0,03	0,0
10/ ULS-	-12,96	-2,32	3,79	-0,05	-42,25	0,0
11/ ULS+	0,36	0,01	65,25	17,24	2,42	0,0
11/ ULS-	-14,95	-2,55	6,87	-0,06	-55,68	0,0
12/ ULS+	0,57	0,01	59,24	14,77	3,65	0,0
12/ ULS-	-12,96	-2,32	2,17	-0,05	-42,25	0,0
13/ ULS+	-0,00	0,01	24,03	15,69	-0,00	0,0
13/ ULS-	-3,79	-5,14	4,62	-0,04	-4,82	0,0
14/ ULS+	-0,00	0,28	232,03	58,04	-0,01	0,0
14/ ULS-	-0,23	-14,73	15,62	-1,68	-1,37	0,0
15/ ULS+	-0,00	0,28	225,12	61,69	-0,01	0,0
15/ ULS-	-0,21	-15,27	15,50	-1,66	-1,26	0,0
16/ ULS+	-0,66	0,29	232,32	62,34	-0,19	0,0
16/ ULS-	-13,08	-15,64	17,86	-1,74	-3,67	0,0
17/ ULS+	10,18	0,26	230,16	62,32	2,99	0,0
17/ ULS-	-5,22	-15,64	3,64	-1,57	-1,42	0,0
18/ ULS+	0,03	0,28	229,69	63,94	0,19	0,0
18/ ULS-	-0,24	-15,64	15,54	-1,67	-1,46	0,0
19/ ULS+	0,04	0,28	225,43	61,26	0,22	0,0
19/ ULS-	-0,30	-15,27	15,49	-1,67	-1,81	0,0
20/ ULS+	0,04	0,28	232,22	57,80	0,25	0,0
20/ ULS-	-0,36	-14,69	15,63	-1,67	-2,16	0,0
21/ ULS+	0,02	0,01	23,16	15,29	0,11	0,0
21/ ULS-	-4,22	-5,08	2,65	0,05	-1,22	0,0

Values Envelope Global extremes Info

Kuvio 40 Results-kohdasta voidaan tarkastella erilaisia kuormitustaulukoita

Robotin avulla pystytään saamaan todella yksityiskohtaisia tuloksia aikaan. Robotin laskentoja tarkasteltaessa tulee todella suuret määrät informaatiota. Robotin laskentojen tarkastelussa on suunnittelijan itse tiedettävä, mitä tietoja hän tarvitsee rakennelaskelmien todentamiseen.

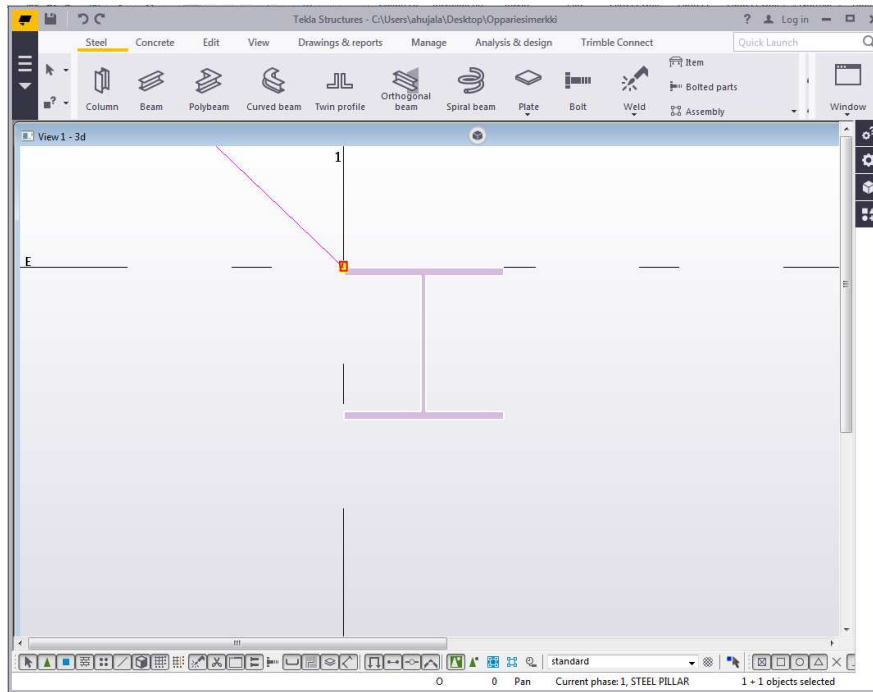
3.3 TeklaRobot-Linkki

3.3.1 Yleistä

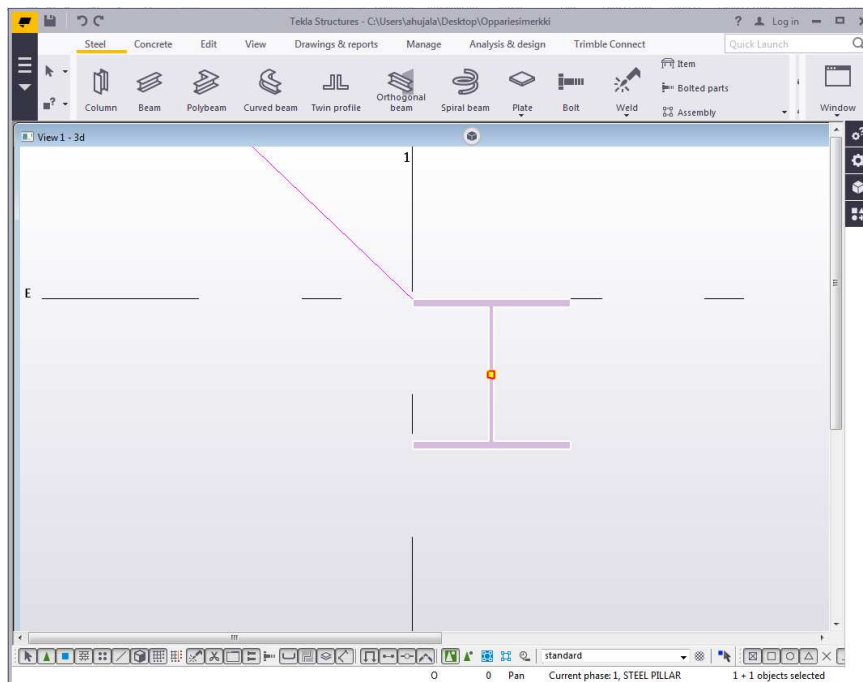
TeklaRobot-linkin käyttöön tarvitaan Teklassa tehtävää suunnittelukohteen analyysimallia. Analyysimalli on Tekla Structures-ohjelmasta saatava rakennelaskentamalli, jonka voi siirtää Robotiin tutkittavaksi ja laskettavaksi. Analyysimalli siirretään Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54-ohjelman avulla. Analyysimallin käyttö ja sen hyödyntäminen ovat vielä todella alkutaipaleella. Tämä johtunee siitä, että Tekla ja Robot ovat eri yhtiöiden tuotteita, eikä tutkimustyötä asian suhteen ole tehty vielä riittävästi.

3.3.2 Lisähuomioita Teklamalliin

Tässä opinnäytetyössä ei keskitytä siihen, miten rakenteet mallinnetaan Teklalla. Teklan rakennemallista voidaan silti muutama pieni vinkki tarkastella, joista on hyötyä tehtäessä analyysimallia. Teklan ja Robotin linkkiä käytettäessä neuvotaan usein, että rakenteita pitäisi mallintaa keskitetysti, jotta analyysimallin linjat olisivat heti kohdillaan. Teklalla on kuitenkin totuttu mallintamaan usein niin, että pilarikokoa muutettaessa rakennuksen ulkomitat eivät muutu. Jos palkin kokoa muutetaan, niin välipohjan koron ei pitäisi muuttua. Rakenteet siis mallinnetaan ulkoreunan mukaisesti eikä keskitetysti (kts. kuvat 41 ja 42). Tällöin muutokset mallin tekemisessä ovat paljon vaivattomampia. eikä profiilia vaihdettaessa rakennetta tarvitsisi siirtää mihinkään suuntaan. Rakenteille tulevat kuormat voidaan mallintaa joko Teklassa tai Robotissa. Kuormitusyhdistelmien lisääminen automaattisesti on niin kätevää Robotissa, että tässä esimerkissä kuormat on mallinnettu vasta Robotissa.



Kuvio 41 Pilari mallinnettu Teklaan normaalilla tavalla



Kuvio 42 Pilari mallinnettu keskitetysti niin kuin analyysimalleille yleensä neuvotaan

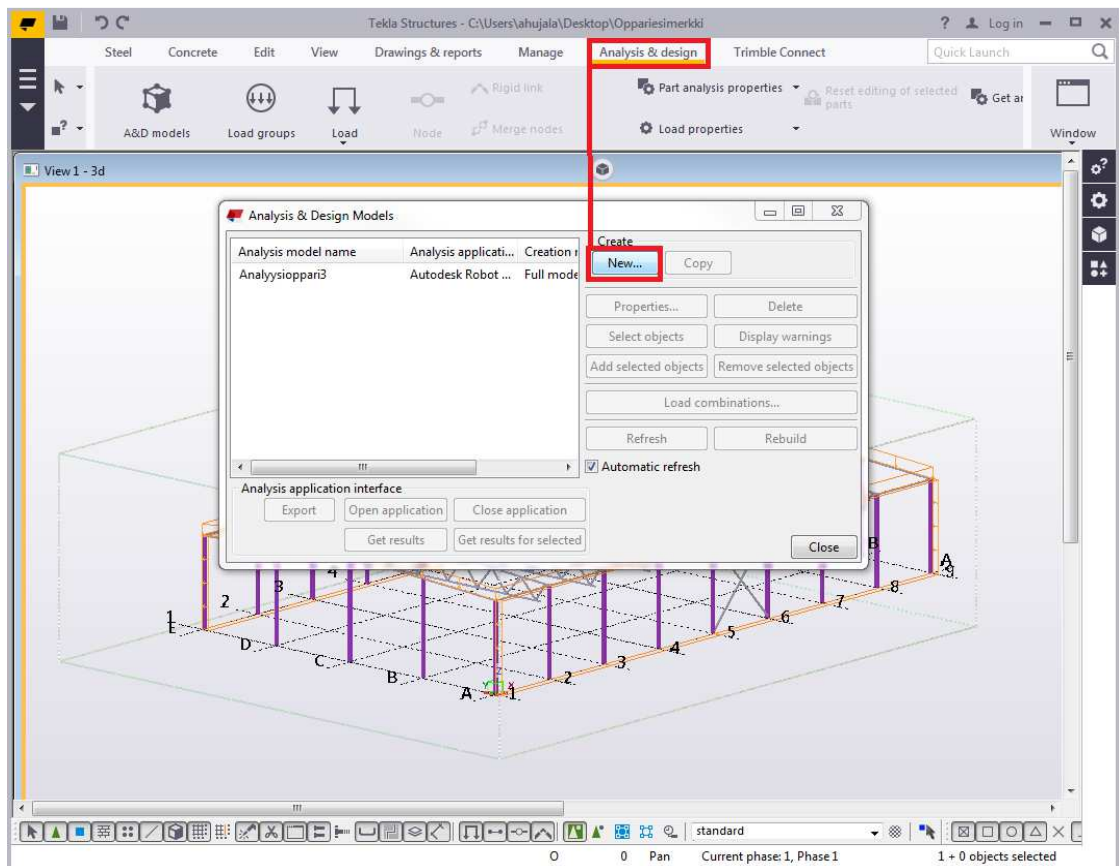
Vaikka rakenteita ei olisi tehty keskitetysti neutraaliakseliensa mukaan, on analyysimallin optimointi yllättävän vaivatonta. Analyysimallin venyttäminen ja siirtäminen toimivat samalla tavalla kuin Teklan normaalirakenteen, pilarin tai palkin, muokkaa-

minen. Nopeasti siirron saa tehtyä niin, että valitaan kaikki tietyn linjan analyysiputket ja siirretään niitä vaaditun etäisyyden verran. Etäisyys on yleensä puoli profiilin kokoa.

Teklan rakennemallia tehtäessä on muistettava, että malli on helpointa siirtää Teklasta Robotiin silloin, kun malliin ei ole tehty kantavan perusrungon lisäksi enempää rakennusosia esim. liitoksia tai kaiteita. Joitain liitoksia analyysimalli ymmärtää, mutta osan liitoksista analyysimalli käsittelee lyhyinä palkkeina. Silloin liitoksen yksittäinen rakennemalli täytyy poistaa ja liitettävän osan analyysimallia täytyy venyttää. Suuremmissa mittakaavassa tämä operaatio vie todella paljon aikaa. Rakennemallin päälinjat ja sekundäärirakenteet olisi siis hyvä tehdä kokonaan valmiiksi ennen yhtään esimerkkiliitosta.

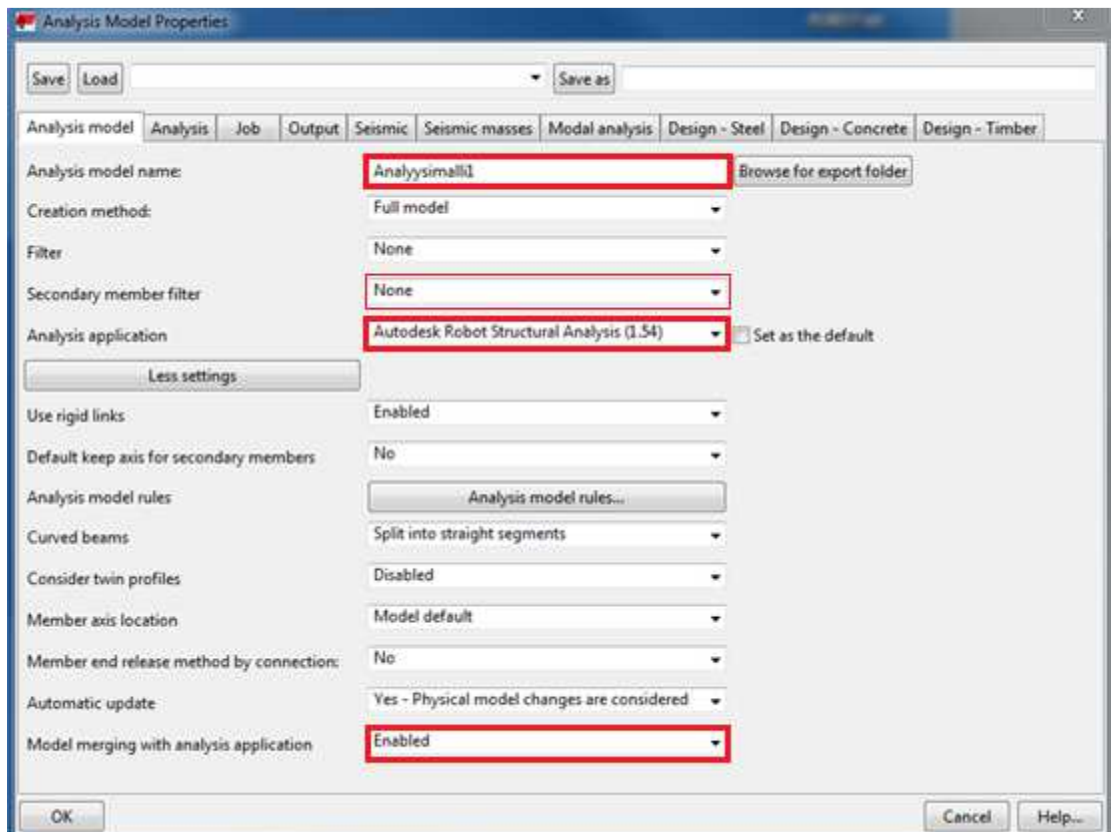
3.3.3 Analyysimallin luominen

Analyysimallin tekeminen aloitetaan siinä vaiheessa, kun Teklalla on saatu tehtyä rakennemalli analyysimallia varten. Yksittäiselle Teklassa tehdylle rakennemallille voidaan luoda useita analyysimalleja, mutta se ei ole usein tarpeellista. Analyysimallin luominen tapahtuu Analysis & design -valikon alta New -painikkeella. (ks. kuvio 43)

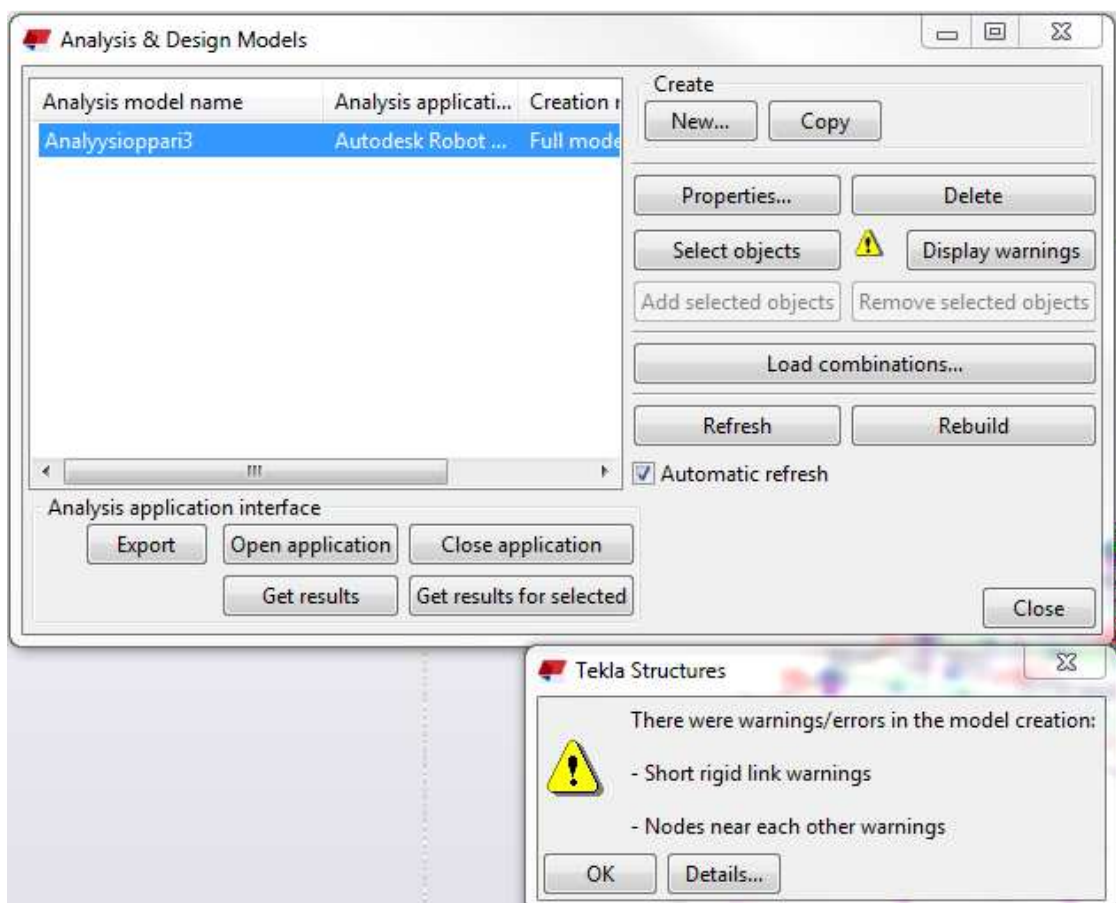


Kuvio 43 Analyysimallin luominen

Uutta analyysimallia luodessa määritetään asetukset halutun kaltaiseksi. Analyysimallin asetukset-osio antaa aika pitkälti hyvät perusasetukset, mutta muutamaan kohtaan on syytä kiinnittää huomiota (ks. kuvio 44). Aina, kun uutta analyysimallia nimitään, on analyysimalli nimettävä uudella nimellä, vaikka se vain korvaisi vanhan. Siirto Teklasta Robottiin saattaa säilyttää vanhan samannimisen edellisen analyysimallin tietoja, vaikka joitain tietoja olisi poistettu mallista. Yleensä helpoin tapa on lisätä jokin kirjain tai numerointi analyysimallin nimen perään. Sekundäärirakenteiden tunnistus-valinta Secondary member filter toimii välillä automaattisella, mutta rakenteet voidaan analyysimallista vaihtaa sekundäärisiksi myös manuaalisesti. On projektikohtaista, tunnistaako analyysimallinluontityökalu sekundäärirakenteet. Analysis application-valinnassa valitaan käytettävä ohjelma, jonka avulla analyysimalli halutaan siirtää robottiin. Tässä opinnäytetyössä analyysimalli siirretään Autodesk Robot Structural Analysis 1.54: llä.

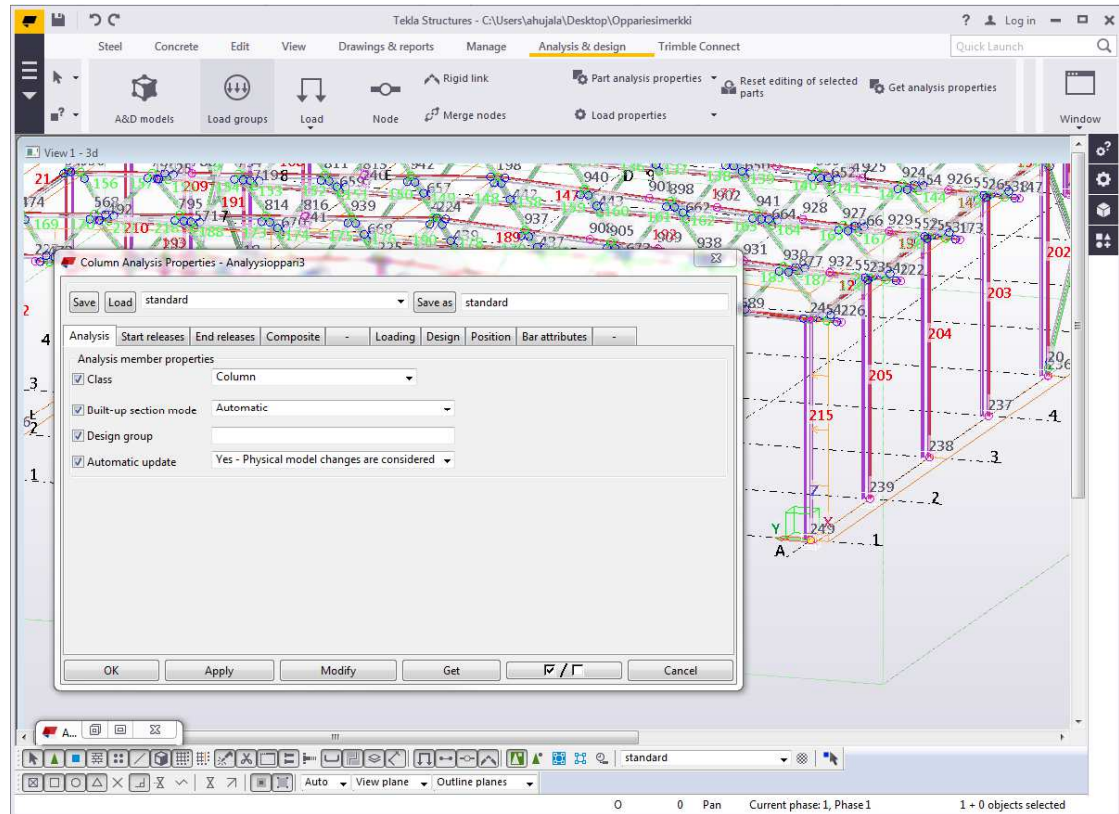


Kuvio 44 Analysimallin alkuasetukset

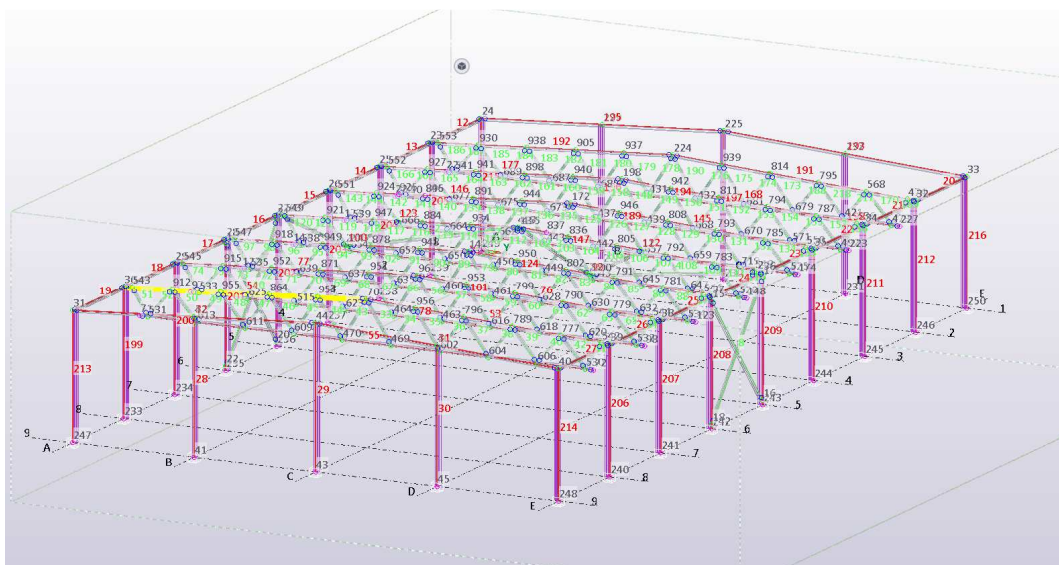


Kuvio 45 Esimerkkivirheitä, jotka täytyy korjata Teklassa tai viimeistään Robotissa

Analysimallin rakenteiden paikkaa voidaan säätää ja niiden asetuksia muuttaa. Asetuksissa voidaan muuttaa mm. se, onko rakenneosa primäärinen, sekundäärinen vai otetaanko sitä huomioon ollenkaan. (ks. kuvio 46)



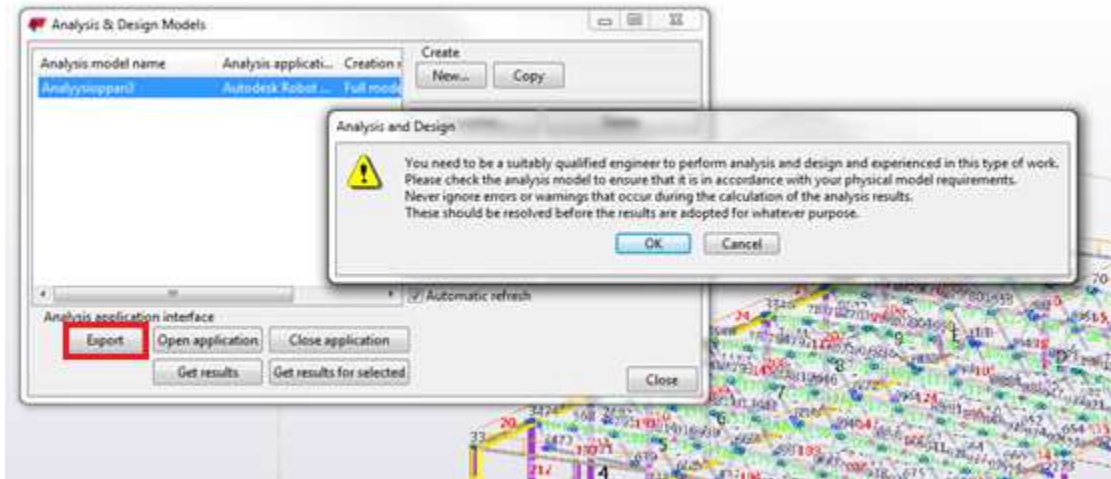
Kuvio 46 Yksittäisen pilarin asetusten muuttaminen



Kuvio 47 Teollisuushallin rungon analysimalli Teklassa

3.3.4 Analyysimallin siirtäminen

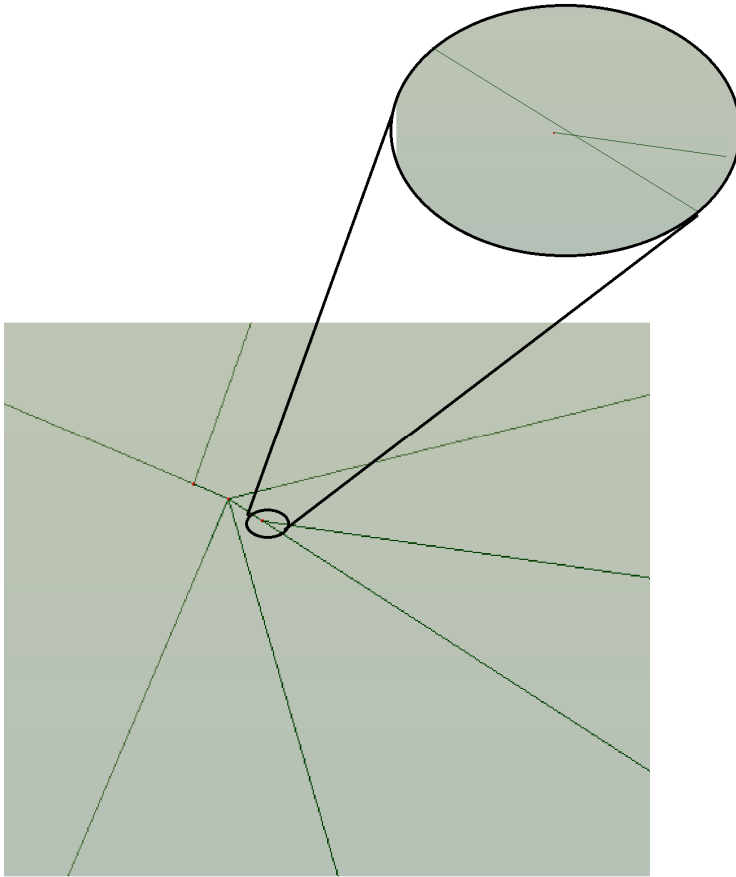
Virheiden korjauksen ja mallin optimoinnin jälkeen analyysimalli voidaan siirtää robottiin käyttäen siirtolinkkiä eli Autodesk Robot Structural Analysis 1.54.



Kuvio 48 Siirtolinkki varmistaa vielä, että laskijalla on pätevyys suorittaa rakenneanalyysiä ja -suunnittelua

3.3.5 Analyysimallin siirron ongelmia

On olemassa tiettyjä tapauksia, joissa analyysimallin muokkaaminen on erittäin haastavaa. Solmut eivät aina täsmää oikeisiin linjoihin, esim. kattojen vinotukia muokattaessa. (ks. kuvio 49) Vaikka analyysimalli näyttäisi Teklassa olevan kunnossa, Robottiin siirrettäessä mallissa saattaa ilmetä ongelmia. Kattojen vinotukien lisäksi samantyyppisiä virheitä havaittiin myös ristikoissa. Vinotuen päätepiste eli solmu ei ole kuitenkaan vaikea siirtää oikealle paikalleen Robotissa. Ongelma piilee siinä, että tällaisia kohtia voi olla isommissa kohteissa satoja tai jopa tuhansia. Ajankäytöllisesti kyseinen operaatio vie todella paljon aikaa.



Kuvio 49. Analyysimallin siirtovirhe, kun solmukohta ei täsmää viivaan

4 Tulosten analysointi

Yksinkertaisia teräsrakenteita ja varsinkin esimerkin kaltaisia teräshalleja on todella nopeaa ja helppoa tehdä WinRamilla. Se loistaa opinnäytetyön esimerkkihallissa, jossa toistuvia linjoja on paljon ja samaa laskentatulosta voidaan tällaisessa tapauksessa käyttää useassa eri kohdassa. Alla olevista taulukoista ilmenee, kuinka kauan teräshallin laskelmien tekemiseen menee aikaa eri ohjelmilla. (ks. taulukot 1, 2 ja 3) WinRami ja Robot antoivat oikeat ja lähestulkoon yhtenevät laskelmatulokset, mutta TeklaRobot Linkin tulokset eivät olleet luotettavat. Tämä johtui siitä, että rungon analyysimallin siirtämisessä ilmeni liikaa ongelmia tässä esimerkissä. Varsinkin vinosiheet aiheuttivat liikaa ongelmakohtia, joissa solmut eivät täsmänneet oikeisiin linjoihin ja rungon mallin korjaamiseen olisi hukkautunut aivan liikaa aikaa.

TERÄSHALLI (WinRami)	
Vaihe	Kesto (min)
Linjojen määrittäminen	5
Ristikon tekeminen	10
Vapaakappalekuvan teko	15
Kuormien lisäys	15
Materiaalit+Profiilit	15
	60

Taulukko 1 Teräshallin laskenta-aika WinRamilla

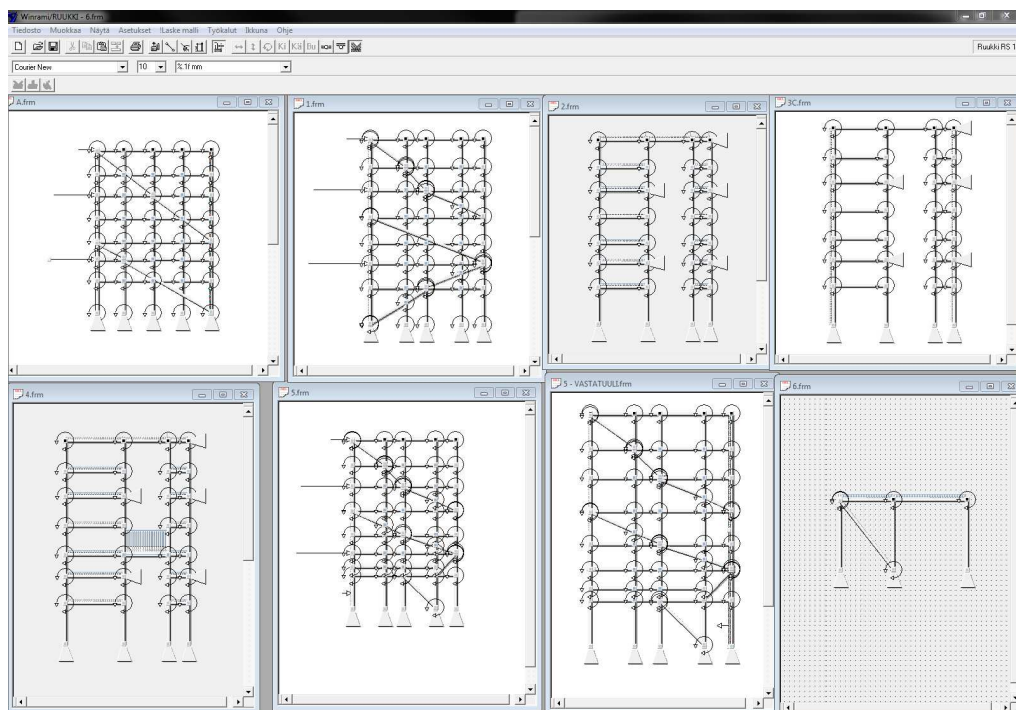
TERÄSHALLI (Robot)	
Vaihe	Kesto (min)
Runko	50
Kuormat ja materiaalit	10
Rungon toimivuus (Virheet)	20
Mallin optimointi (Profiilit)	40
	120

Taulukko 2 Teräshallin laskenta-aika Robotilla

TERÄSHALLI (TeklaRobot Linkki)	
Vaihe	Kesto (min)
Analyysimallin teko	30
Siirto linkillä + korjaukset	10
Kuormat ja materiaalit	5
Virheanalyysit + korjaukset	45+
	90+

Taulukko 3 Teräshallin laskenta-aika analyysimallia hyödyntäen

Toisessa laskentaesimerkissä, jossa suoritettiin rakennelaskelmia 7-kerroksiselle te-räsrunkoiselle voimalaitokselle, havaittiin WinRamilla laskettaessa, kuinka monimut-kaiseksi laskenta muuttuu. Haastavuuden laskentaan tekee erilaisten linjojen ja mo-nien kerrosten lukumäärä. (ks. kuvio 50) Ajankäytöllisesti projektin tekeminen ei pal-jon eroa siitä, tehdäänkö laskelmat WinRamilla vai Robotilla. Ero syntyy siinä vai-heessa, kun muutoksia ja tuloksia pitää aloittaa tekemään. Robot on kyseisissä toi-minnoissa kätevämpi ja todella paljon selkeämpi ohjelma. Robotin avulla on helppo hahmottaa isoja kokonaisuuksia ja laskenta on sujuvampaa. Laskelmien dokumen-tointi onnistuu myös hyvin vaivattomasti ja täsmällisesti Robotin avulla.



Kuvio 50 Voimalaitoksen osa kantavista linjoista laskettu WinRamilla

5 Pohdinta

On loppujen lopuksi rakennesuunnittelijan oma valinta, millä keinoin laskentoja suoritetaan, mutta tämän opinnäytetyön ideana oli antaa suuntaa omille laskentavälineille. Yksinkertaisissa rakennesuunnittelukohteissa Ruukin ilmainen WinRami on mitä mainioin työkalu, mutta mitä monimutkaisempiin ja haastavampiin kohteisiin siirrytään, sitä enemmän alkaa Autodeskin Robot olemaan hintansa arvoinen. Robot ja WinRami ovat kuitenkin molemmat todella merkittäviä apuvälineitä rakenneanalyysin ja -laskennan tekemisessä.

Analyysimallin käyttäminen on vielä pieni riski, joka saattaa kuluttaa hyvinkin paljon aikaa laskelmien tekemisessä. Analyysimallin rakenteiden muokkaaminen kohdilleen Teklassa vie melkein yhtä paljon aikaa kuin rakenteiden tekeminen alusta Robotilla, joten hyöty ei ole vielä tarpeeksi suuri. Analyysimallin mahdollisten virheiden tarkastusprosessikin on paljon aikaa vievä operaatio. Kun muutoksia ja tarkistusta tulee paljon, on ajankuluttaminen taattu.

Robotilla on helppo käsitellä isoja rakennesuunnittelukohteita, jolloin virheet ja varmisteleva ylimitoitus jäävät pienemmälle. Muutosten jälkeinen muokkaaminen on helppoa Robotilla ja tulosten dokumentointi on selkeää ja täsmällistä. Pienemmissä projekteissa on kuitenkin nopeampaa ja tehokkaampaa turvautua WinRamiin.

Milloin sitten kannattaa valita Robot ja milloin WinRami? Kuten pohdinnoissa on käynyt ilmi, valintaan vaikuttaa rakennesuunnittelukohteen koko. Mitä enemmän kerroksia ja mitä enemmän erilaisia kantavia linjoja rakennuskohteella on, sitä monimutkaisemmaksi ja haastavammaksi laskenta muuttuu. Laskelmat voidaan suorittaa aivan yhtä lailla WinRamilla, kuin Robotilla, mutta ajankäytön perusteella voi tutkia alla olevasta taulukosta, millainen valinta kannattaa tehdä suunnittelua tehtäessä. Taulukossa W tarkoittaa WinRamia, R tarkoittaa Robotia ja W/R merkinnän kohdalla suunnittelija pohtii, kumpi vaihtoehdoista on sujuvampi. (ks. taulukko 5)

WINRAMI VAI ROBOT		Kerrosten lukumäärä					
		1	2	3	4	5	6
Erialaisten linjojen lukumäärä	2	W	W	W	W/R	W/R	W/R
	3	W	W	W/R	W/R	W/R	W/R
	4	W	W/R	W/R	W/R	R	R
	5	W/R	W/R	W/R	R	R	R
	6	W/R	W/R	R	R	R	R
	7	W/R	W/R	R	R	R	R
	8	W/R	R	R	R	R	R

Taulukko 4 WinRamin ja Robotin suuntaa antava valintataulukko

Lähteet

Autodesk Robot Structural Analysis Professional. n.d. Tuote-esittely ArkSystemsin sivustolla. Viitattu 15.10.2018. <http://www.arksystems.fi/tuotteet/robot-structural-analysis-professional/>

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 User's Guide. 2018. Käyttöopas. Viitattu 3.10.2018. <http://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2018/ENU/?guid=GUID-4A734308-B2F3-4147-A310-BD47C48E9ED1>

Jalkanen, J. 2015. Kuka suunnittelee tulevaisuuden vaativat rakenteet?. Artikkelii Rakennuslehden sivulla. Viitattu 1.10.2018. <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/kuka-suunnittelee-tulevaisuuden-vaativat-rakenteet/>

RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Robot Structural Analysis Products User's Guide General Information. 2015. Käyttöopas. Viitattu 11.9.2018. <https://knowledge.autodesk.com/support/robot-structural-analysis-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Robot/files/GUID-27C5D353-ECFE-40EA-B388-558137DE63AA-htm.html>

Tekla Structures. n.d. Tuote-esittely Teklan sivustolla. Viitattu 3.10.2018. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>

Tekla Structures Full – kaikki toiminnallisuudet. n.d. Tuote-esittely Teklan sivustolla. Viitattu 3.10.2018. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures/ohjelmistokokoonpanot/tekla-structures-full-%E2%80%93-kaikki-toiminnallisuudet>

Truss and frame analysis and design software – WinRami. n.d. Tuote-esittely Ruukin sivustolla. Viitattu 30.7.2018. <http://software.ruukki.com/PublishedService%3Ffile%3Dpage%26pageID%3D9%26itemcode%3D1-1-1-1>