



TERÄSRUNKOISEN HALLIN LASKENTAMALLIN LUONTI

Tekla Structures- ja Robot Structural Analysis -ohjelmat

Jani Leppinen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

LEPPINEN, JANI: Teräsrunkoisen hallin laskentamallin luonti

Työn ohjaaja: TkL Olli Saarinen
Työn tilaaja: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, ohjaaja DI Timo Leppänen

Opinnäytetyö 46 s.
Toukokuu 2011

Tässä työssä tutkittiin Tekla Structures- ja Robot Structural Analysis -ohjelmien yhteiskäyttömahdollisuuksia. Työssä pyrittiin selventämään molempien ohjelmien peruskäyttöä sekä siirtomallin luontia ohjelmien välille.

Tekla Structures -ohjelma on luotu tietomallintamisen tarpeisiin. Sen avulla pystytään luomaan tietomalli kohteesta sekä tuottamaan kohteen vaatima dokumentointi. Robot Structural -ohjelma on luotu rakennesuunnittelun FEM-pohjaisen laskennan tarpeisiin. Sen avulla pystytään luomaan kohteesta staattinen malli ja mitoittamaan siihen liittyvät rakenneosat.

Ohjelmien yhteiskäyttöä sovellettiin A-Insinöörit Oy:n antamaan kohteeseen. Kohteesta luotiin ensin yksinkertainen sauvamalli käyttäen apuna Robot Structural -ohjelmaa. Näiden tietojen pohjalta Tekla Structures -ohjelmalla mallinnettiin kohteesta alustava tietomalli, joka siirrettiin laskentamalliksi Robot Structural -ohjelmaan. Lopuksi Robot Structuralilla mitoitettiin kohteen rakenneosat sekä niiden liitokset.

Työkohteesta saatiin urakkakuvat valmiiksi ennalta määrättyyn päivämäärään mennessä. Ohjelmien yhteiskäyttö onnistui pienellä harjoittelulla hyvin. Siirtomallin luomisesta ja työvaiheista luotiin ohjeistus.

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, kuinka kustannustehokkaasti voidaan rakennesuunnittelu toteuttaa käyttämällä apuna tietomallinnus- ja laskentaohjelmaa yhtaikaisesti. Opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että vaikka ohjelmia ei ole suunniteltu käytettäväksi yhdessä, niiden yhteiskäyttö samassa projektissa onnistuu pienellä harjoittelulla.

Asiasanat: Tekla, Robot Structural, laskentamalli, teräs, halli.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Option of Structural Engineering

JANI, LEPPINEN: Creation of calculation model for steel framed structure.

Thesis supervisor: Olli Saarinen (Lic.Tech.)

Co-operating company: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, supervisor Timo Leppänen (M.Sc)

Bachelor's thesis 46 pages

May 2011

This bachelor's thesis studies integrated use of Tekla Structures and Robot Structural Analysis. The goal of this thesis was to clarify the basic use of these programs and creation of transferring model between programs.

Tekla Structures is a Building Information Modelling tool. You can create a BMI-model with it and produce documentation to your project. Robot structural is developed for the FEM-based calculation needs of structural engineering. You can create a static model of your project with it and calculate the durability of elements.

Use of these two programs was adapted to the project I was given by A-Insinöörit Company. First a simple bar model was created by Robot Structural. Based on the information given by Robot Structural, a preliminary BMI model was created by Tekla Structures which was then transferred back to Robot Structural. Finally the models components and joints durability was verified in Robot Structural.

The projects documentation for contractors work was finished on time. The integrated use of these programs was easy after a little practise. Directions, for creating the transfer model and the stages of the modelling, were created.

While doing the thesis it was noticed how cost-effective it is to use BMI- and FEM-based calculation program simultaneously. Based on the thesis it can be noticed that although the programs were not designed to work together they can be used at the same project with a little practise.

Key words: Tekla, Robot Structural, steel, structure, calculation

ALKUSANAT

Aloittaessani opinnäytetyön tekemisen olin käynyt vain muutaman päivän kurssin Robot Structural ohjelmasta. Jouduin siis kerralla opettelemaan ohjelman käytön melkein alkeista. Työni edetessä huomasin kuitenkin kehittyneeni valtavasti ohjelman käytössä. Tämä mielenkiintoinen projekti kehitti minua myös tulevana suunnittelijana merkittävästi.

Haluan antaa isot kiitokset A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle, erityisesti TeTo:n osastolle. Teiltä olen saanut aina apua kiperiin kysymyksiin ja harvoin minua on otettu työporukkaan noin avoimesti vastaan. Erityiskiitos kuuluu Jussi Vaisteelle työympäristöön ja työtapoihin perehdyttämisestä sekä Timo Leppäselle opetuksesta ja avusta teräshallin suunnittelussa. Kiitos myös Olli Saariselle mielenkiintoisesta insinööriyön aiheesta.

Ja lopuksi kiitos rakkaalle avovaimolleni, että olet jaksanut tukea minua työn loppuun saattamisessa.

Tampereella toukokuussa 2011

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoitteet	7
2 TIETOMALLINNUS RAKENNESUUNNITTELUN TUKENA	9
2.1 Tietomallintamisen hyödyt	9
2.2 Laskentamallin hyödyt	9
2.3 Projektissa käytetyt ohjelmistot	10
2.3.1 Tekla Structures 16.0	10
2.3.2 Autodesk Robot Structural Analysis 2011	11
3 ALUSTAVA TAIPUMATARKASTELU	13
3.1 Taipumatarkastelu	13
3.2 Mallin luonti Robotissa	13
3.3 Liitosten ja tukien määritys	15
3.4 Kuormien mallinnus	17
3.4.1 Kuormitustapaukset	17
3.4.2 Kuormitusyhdistelmät	18
3.5 Laskenta	19
3.6 Tulosten analysointi	20
3.6.1 Taipuma	21
3.6.2 Voimasuureet	22
3.7 Steinerin sääntö	23
4 YKSINKERTAISTETUN TIETOMALLIN LUONTI	24
4.1 Projektin aloitus Teklassa	24
4.1.1 Gridin luonti	24
4.1.2 Profiilit ja materiaalit	25
4.2 Näkymien luonti	26
4.3 Mallintaminen Teklassa	27
4.3.1 Pilarit	27
4.3.2 Palkit	28
4.3.3 Orret	30
4.3.4 Ristikot	31
4.4 Siirtäminen Robottiin	32
5 LASKENTAMALLIN LUONTI	35
5.1 Kuormien mallinnus	37
5.2 Mitoitus	38
5.2.1 Profiilien valinta	40
5.3 Liitokset	41

5.4	Perustuskuormat.....	43
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	45
	LÄHTEET.....	46

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Nykyään eletään rakennesuunnittelun murrosvaihetta. Rakennesuunnitteluun liittyvien tietokoneohjelmien määrä on ollut viimeiset kymmenen vuotta räjähdysmäisessä kasvussa. Siirtyminen eurokoodin käyttöön on ennestään lisännyt tietokonepohjaisten laskentaohjelmien käyttöä. Nykyaikana suureksi ongelmaksi on muodostunut oikeanlaisen ohjelman löytäminen yrityksen käyttöön sekä henkilöstön kouluttaminen kyseiseen ohjelmaan.

Yhdeksi rakennesuunnittelijoiden apuvälineeksi ovat tulleet FEM-pohjaiset laskentamalliohjelmat. FEM eli finite element method on elementtimenetelmä, jossa kohde jaetaan useisiin tarkasteltaviin pisteisiin, joiden määrää lisätään kriittisillä alueilla. Tästä muodostuu niin sanottu elementtiverkko. Pisteitä tarkastelemalla ohjelma pystyy antamaan tarkat siirtymä- ja kuormitustiedot rakenteesta. FEM-pohjaisilla laskentaohjelmilla pystytään tarkastelemaan hyvinkin monimutkaisten kappaleiden jännitys jakaumia.

Työ saatiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:ltä. Työtä ohjasi Olli Saarinen. Työkohteena oli teollisuussuunnittelun kohde, ja työ tehtiin A-Insinöörit Oy:n toimitiloissa. Työkohteena toimi kolminivelkehäinen teollisuushalli, jolla on pituutta lähes sata metriä ja korkeutta kaksikymmentä metriä. Teollisuushalliin vaikuttivat normaalit tuuli- ja lumikuormat sekä lisäksi hoitotasoilta tulevat hyötykuormat ja erinäisiltä kuljettimilta tulevat materiaalkuormat. Työstä oli vaitiolovelvollisuus työn tilaajan puolesta, joten työn sisältöön ei voida perehtyä tässä työssä syvemmin.

1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kahden eri ohjelman yhteiskäyttömahdollisuuksia. Nykyään rakennesuunnittelusta pyritään saamaan entistä kustannustehokkaampaa, mutta samalla lopputuloksen täytyy pysyä rakennusmääräysten sisällyttämässä rajoissa. Suomessakin käytössä oleva eurokoodin mukainen standardi kiristää vielä entisestään näitä rajoja. Näin ollen on hyvä, että rakennesuunnittelijalla on käytössä huippu-

luokan ohjelmat, joilla projektit saadaan läpi tehokkaasti. Samalla myös ohjelmiin pitää voida luottaa.

Työssä keskityttiin pääosin kahden eri ohjelman yhteiskäytön tehostamiseen. Työssä käytiin myös läpi molempien ohjelmien käytön perusteet sekä annettiin ohjeet ohjelmien välisien ristiriitatilanteiden välttämiseksi. Työn oli tarkoitus olla pohjana rakennesuunnittelijalle, joka hyödyntää työssään mallinnus- ja laskentaohjelmia. A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle oli tavoitteena tuottaa toteutettava laskentamalli kohteesta, jonka pohjalta oli mahdollista luoda urakkavaiheen luonnoskuvat sekä urakkavaiheeseen tarvittavat materiaali- ja kiinnikeluettelot.

2 TIETOMALLINNUS RAKENNESUUNNITTELUN TUKENA

2.1 Tietomallintamisen hyödyt

Tietomallinnus on tietokoneella tehtävä suunnittelutyön apuväline. Tietomallinnus eroaa normaalista suunnittelutyöstä siinä, että normaalissa suunnittelutyössä luodaan suunnitelmia pelkkien viivojen avulla. Tietomallinnuspohjaisessa suunnittelussa suunnitelmat tehdään tietokoneohjelman sisäisten objektien avulla. Näille objekteille annetaan ohjelmassa sisäisesti tarvittavat dimensiot sekä attribuutit eli ominaisuudet.

Ohjelmat, jotka perustuvat tietomallinnukseen, tuottavat yleensä valmista näkymää kohteesta, mikä helpottaa kohteen hahmottamista myös muille suunnittelutyössä mukana oleville osapuolille. Kohteesta saadaan valmis 3D-näkymä, josta on helppo vertailla, onko kohde suunnitelmien mukainen. Suunnittelutyössä tarvittavat julkisivukuvat sekä leikkaukset saadaan projektin sisäisestä 3D-mallista. Tämä ehkäisee mittavirheiden syntymistä suunnittelutyön aikana.

Useimmissa ohjelmissa on sisäinen valmius, joka mahdollistaa useamman suunnittelijan osallistumisen projektiin. Tämä edesauttaa projektin sisäisten päällekkäisyyksien syntymistä. Esimerkiksi LVI- ja sähkösuunnittelijoiden pääseminen projektiin ehkäisee johdotusten ja putkistojen vientien menemistä päällekkäin rakennesuunnittelijan suunnitteleminen kantavien rakenteiden kanssa.

2.2 Laskentamallin hyödyt

Laskentamallin luonti tarkoittaa yleensä FEM-pohjaisella ohjelmalla luotavaa mallia kohteesta. Malli sisältää yleensä kohteen kantavat rakenteet mallinnettuina sauvoina ja pisteinä. Sauvoille määritellään tiedot siitä, mitä profiilia se on ja mistä materiaalista se on tehty. Malliin voidaan myös luoda kohteessa käytettävät laatat ja seinät sekä tutkia ohjelman avulla niiden taipumia ja kestävyyskäyttäytymistä. Yleisimpiä nykyajan laskentaohjelmia ovat Robot Structural Analysis, RFem, FemDesign, Staad sekä Ansys.

Laskentaohjelmien suurin hyöty tulee esille laskettaessa suuremman kokoluokan kohteita. Ohjelma mahdollistaa kuormitusten mallintamisen suoraan kohteeseen sekä kuormitusyhdistelmien luomisen. Kuormitusyhdistelmien avulla voidaan tutkia rakenteen osien kestävyyttä liittämällä erinäisiä kuormitustapauksia yhdistelykertoimien avulla toisiinsa. Ohjelman käyttö poistaa mahdollisen inhimillisen tekijän olemassaolon kuormitusyhdistelmiä laadittaessa.

Rakenteen siirtymien ja taipumien analysointi on laskentaohjelmissa helppoa. Ohjelmalla voidaan yleensä määrittää rakenteelle tietyt taipumarajat ja tarkastella pysyykö rakenne näiden rajojen sisäpuolella. Myös seinien ja laatasteojen voimien jakautumista ja taipumia voidaan tarkistaa yleisimmillä FEM-pohjaisilla laskentaohjelmilla. Suurimmista osista ohjelmistoja löytyvät myös työkalut rakenteen värähtely- sekä palomitoitukselle.

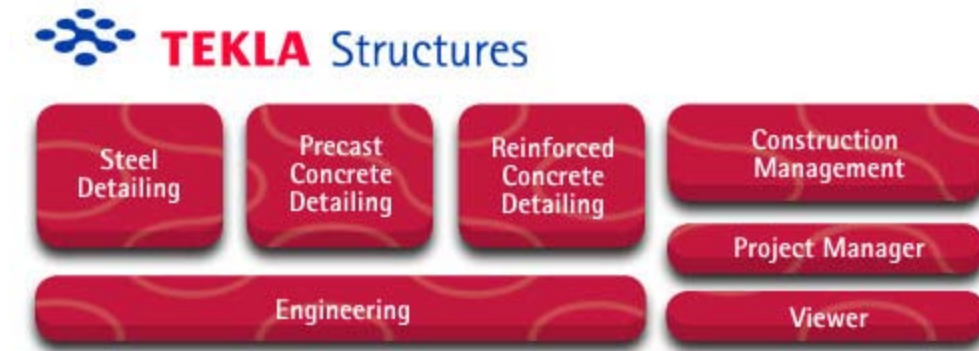
2.3 Projektissa käytetyt ohjelmistot

Työssä käytettiin kahta eri ohjelmistoa, joista toinen keskittyy enemmän tietomallintamiseen ja toinen FEM-pohjaiseen laskentaan. Molemmat ohjelmistot ovat A-Insinöörit Oy:ssä jokapäiväisessä käytössä. Ohjelmat ovat maksullisia ja niiden lisenssin voi ostaa ohjelmien verkkosivuilta.

2.3.1 Tekla Structures 16.0

Tekla perustettiin vuonna 1966, ja se onkin yksi Suomen vanhimmista ohjelmistoyrityksistä. Alkujaan Tekla kulki nimellä Teknillinen laskenta Oy. Teklalla on nykyään omia toimistoja yhteensä 15:ssä eri maassa. Liikevaihto oli vuonna 2010 lähes 58 miljoonaa euroa ja asiakkaita yli sadassa maassa. Tekla tuottaa mallipohjaisia ohjelmistotuotteita rakennusalan tarpeisiin. (Tekla).

Tekla Structures on rakennuksen tietomallinnus-ohjelmisto, jolla voi luoda ja hallita tarkasti detaljoituja, rakentamisen prosesseja tukevia kolmi- ja neliulotteisia rakennemalleja. Tekla-mallia voi hyödyntää rakennusprosessin kaikissa vaiheissa luonnossuunnittelusta valmistukseen, pystytykseen ja rakentamisen hallintaan. (Tekla)



KUVA 1 Teklan ohjelmistokokoonpanot

Tekla on ohjelmisto, joka on tarkoitettu kaikkeen rakennesuunnitteluun ja rakentamisen hallintaan. Sen avulla on helppoa luoda yksinkertaisia ja vaativiakin 3D-malleja puu-, betoni- ja teräsrakenteista. Lisäksi Tekla tukee useita eri standardisoituja tiedonsiirtomuotoja, kuten IFC, CIS/2, SDNF ja DSTV. Sovelluskohtaisista tiedonsiirtomuodoista Tekla tukee DWG-, DFX- ja DGN-tiedostoja. (Tekla)

2.3.2 Autodesk Robot Structural Analysis 2011

Autodesk on maailman johtavia 2D- ja 3D-suunnitteluohjelmistojen kehittäjiä. Autodeskin ensimmäisiä ohjelmia on nykyisin laajalti käytetty Autocad. Se tuotiin markkinoille vuonna 1982. Rakennesuunnittelun tarpeisiin Autodesk on suunnitellut Revit Structures sekä Robot Structural Analysis ohjelmat. (Markus. 2010 s.13).

Autodesk Robot Structural Analysis on rakennesuunnittelijoille suunnattu teräksen, puun ja betonin mitoitusohjelma. Ohjelmasta löytyy sisäisesti rakenteiden mitoitukseen sekä lujuusanalyysiin tarvittavat työkalut. Ohjelma on käytössä jo yli 60 maassa ja sen nimissä on myyty lisenssejä jo yli 10 000 käyttäjälle. Tarvittaessa ohjeistusta ohjelman käytöstä antaa Virtual Systems Oy. (Markus. 2010 s.13).

Robot Structural Analysis tukee yli 15:tä eri kieltä ja se sisältää yli 60 mitoitukseen tarvittavaa suunnittelukoodia, joiden avulla myös muun muassa. siltasuunnittelu on mahdollista. Robotin tarjoama tehokas ja nopea analysointi mahdollistaa monimutkais-tenkin mallien tehokkaan analysoinnin. Tämä mahdollistaa suunnittelijalle useamman erilaisen mallin tutkimisen parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaan saamiseksi. (Markus. 2010 s.14).

3 ALUSTAVA TAIPUMATARKASTELU

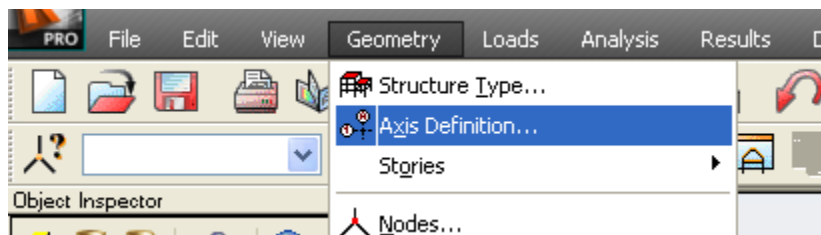
3.1 Taipumatarkastelu

Ennen kuin projektista aletaan tehdä lopullista mallia, on tärkeää tehdä alustava taipumatarkastelu. Alustavan taipumatarkastelun avulla voidaan jo hyvissä ajoin selvittää, mikä tulee olemaan projektissa käytettävien profiilien koko ja mikä on tehokas etäisyys ristikon ylä- ja alapaarteiden välissä. Alustavan taipumatarkastelun avulla voidaan selvittää nopeasti, voidaanko rakenteesta tehdä määrätynlainen vai joudutaanko jotain muuttamaan.

Alustava tarkastelu tehdään luomalla Robotilla yksinkertainen laskentamalli kohteena olevasta rakenteesta käyttäen ristikoiden tilalla samaa jäykkyyssluokkaa olevaa palkkia esimerkiksi HEA-palkki. Tämän jälkeen malliin syötetään yksinkertaiset peruskuormat, määritetään liitosten taso ja lasketaan ohjelmalla syntyvät taipumat. Alustavan tarkastelun avulla voidaan myös luoda alustavat perustuskuormat esimerkiksi kohteessa olevan betonirakennesuunnittelijan tarpeisiin.

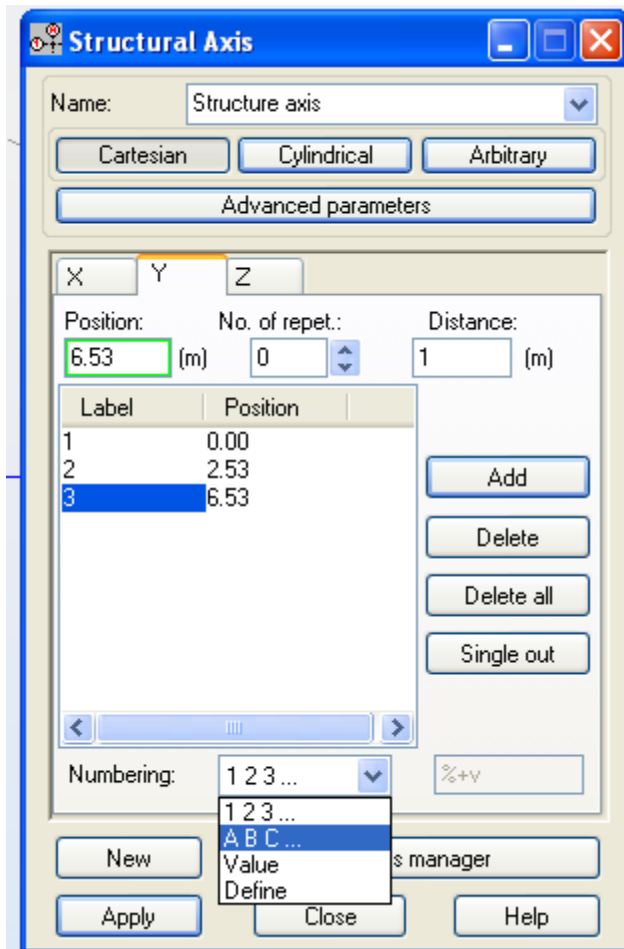
3.2 Mallin luonti Robotissa

Robotissa mallin luonti kannattaa aina aloittaa luomalla verkko malliin. Verkko luodaan vastaamaan jo olemassa olevia linjoja. Tämä on tärkeää, että saadaan rakenteelle juuri oikeat mittasuhteet. Verkon luominen tapahtuu Robotissa yläpalkin kohdasta ”geometry- axis deformation” (kuva 2).



KUVA 2 axis definition

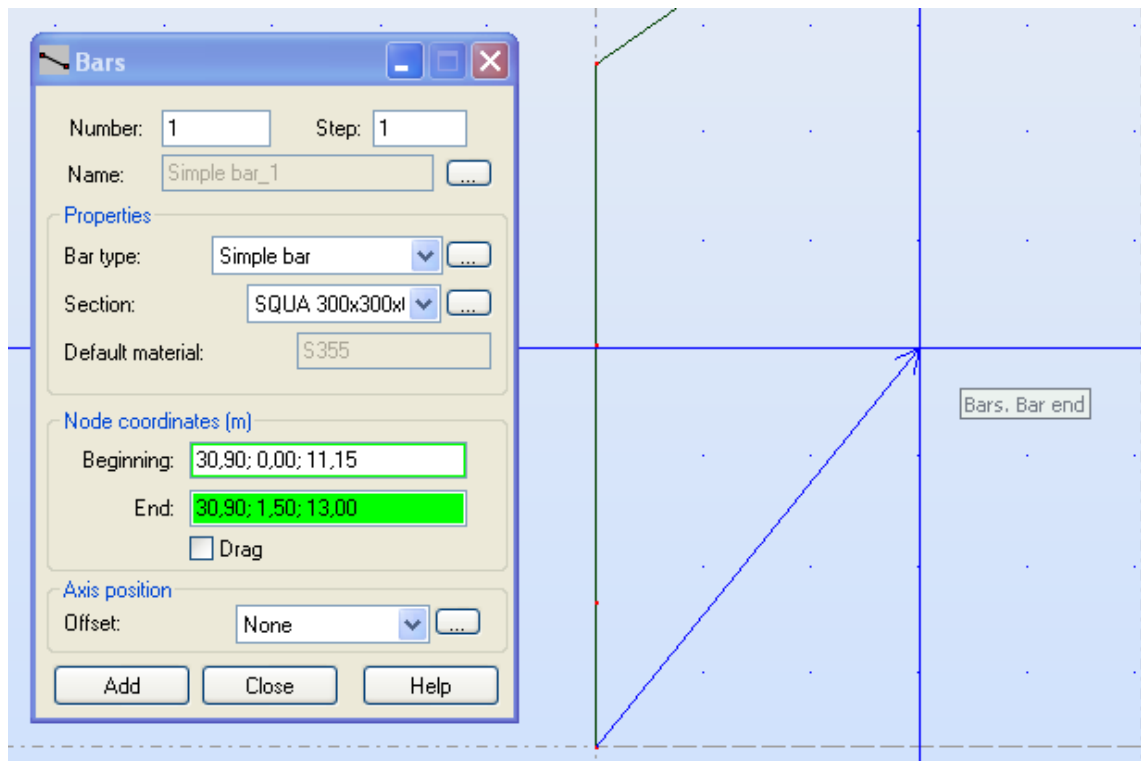
Verkon määrittäminen tapahtuu antamalla linjoille x-, y- ja z-suuntaiset koordinaatit. Jokaiselle linjalle voidaan antaa omat koordinaattinsa tai tietty etäisyys, millä välein linja toistuu tietyn monta kertaa. "Numbering" -kohdasta voidaan määrittää, minkä merkkistä tunnusta linja noudattaa (kuva 3).



KUVA 3 linjojen määrittäminen

Painamalla "apply", Robot luo verkon nollapisteen origoon. Verkkoa voi jatkossa muokata seuraamalla samaa polkua.

Kun verkko on määritelty, voidaan alkaa määrittellä projektiin tulevia komponentteja. Valitaan oikeasta valikosta kohta bars. Tämä aukaisee bars- välilehden, josta pääsee valitsemaan käytettävän sauvan tyyppin ja profiilin. Alustavassa tarkastelussa voidaan käyttää sauvan tyyppinä kohtaa "simple bar". Sauvan tyyppi määrittelee, mitä ominaisuuksia sauvassa käytetään mitoituksen yhteydessä. Sauva voidaan asettaa verkkoon määrittelemällä joko käsin alku- ja loppupiste tai näyttämällä ruudulla sauvan pisteet (kuva 4).



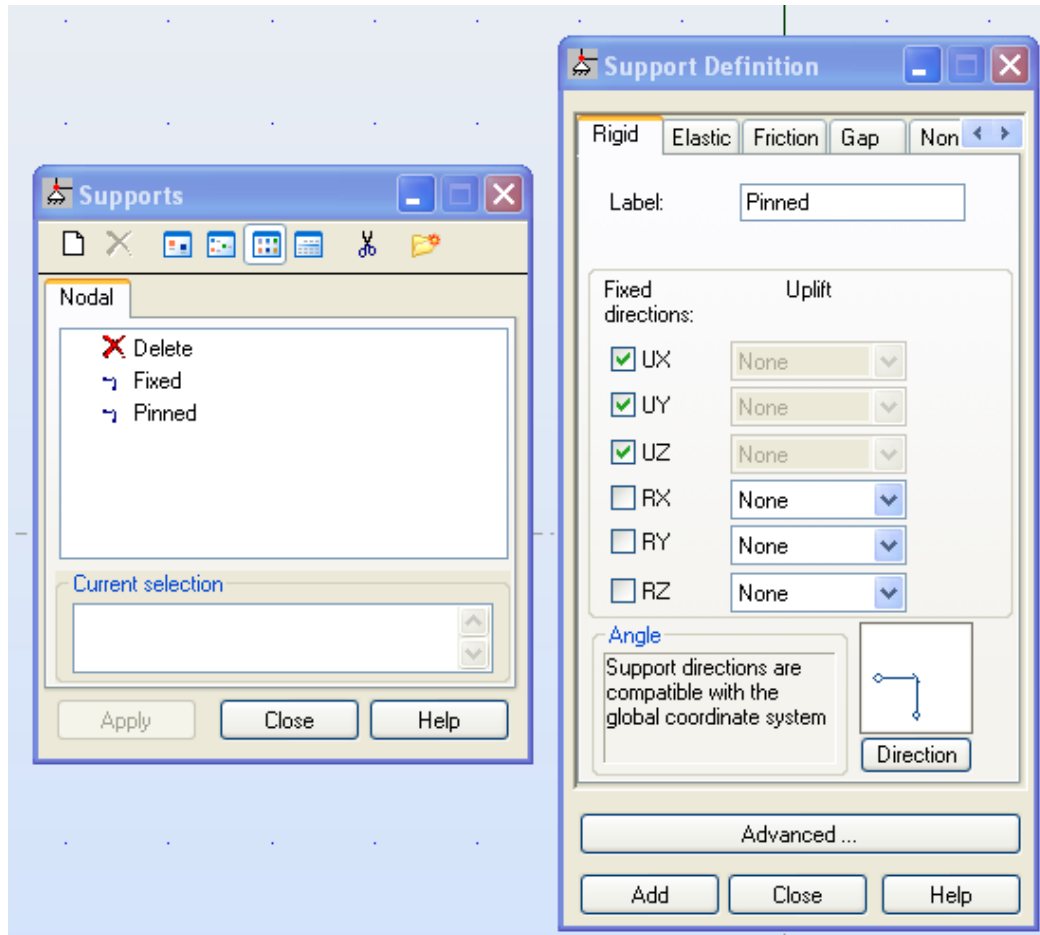
KUVA 4 sauvan määrittäminen

Robot luo automaattisesti sauvuille pisteet päihin. Kun kaksi sauvaa yhdistyy samassa pisteessä tai piste on sauvan kanssa samalla linjalla, luo robot automaattisesti näiden välille hitsatun liitoksen. Sauvat käyttäytyvät Robotissa staattisen mallin mukaisesti, eli kaikki sauvat yhdistyvät toisiinsa keskipisteiden välityksellä. Tämä voidaan kiertää äärimmäisellä varovaisuudella antamalla sauvalla offset-arvo, joka määrittelee, liittykö se toiseen komponenttiin ylä- vai alapuolestaan. Offsettia kannattaa kuitenkin käyttää vain tilanteissa, joissa mitoitus sitä vaatii. Esim. HEA-palkin ylälaippaan kiinnittyy toinen komponentti, joka voi edesauttaa palkin kiepahtamista.

3.3 Liitosten ja tukien määrittäminen

Alustavasti Robotissa on vain kaksi tuki- ja liitosvaihtoehtoa: ”fixed” eli jäykkä ja ”pinned” eli nivel. Robotissa voi myös määrittellä omia liitoksia ja tukia, joille valitaan kuuden suunnan vapausasteet. Samalla voidaan myös määrittellä onko tuki elastinen, epä-

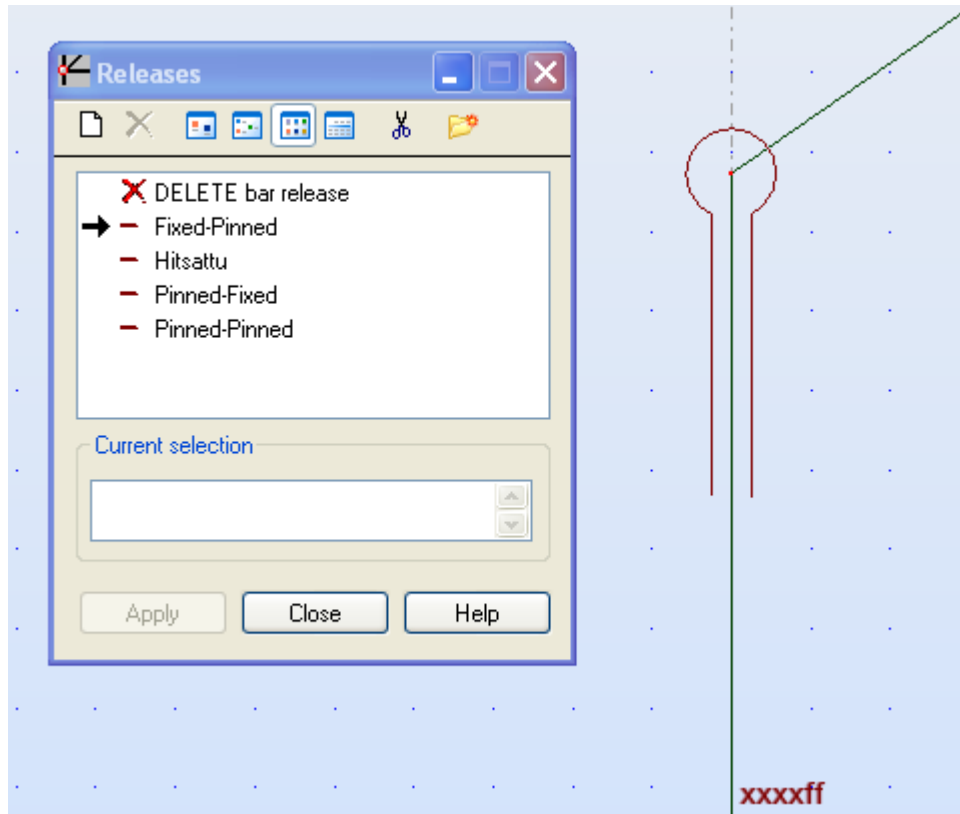
lineaarinen, kitkan varassa vai antaako tuki kappaleelle mahdollisuuden liikkua tietyn verran. Tuet löytyvät oikealta kohdasta ”supports”.



KUVA 5 tukien määrittäminen

Liitoksissa Robot käyttää automaattisesti jäykkää eli hitsattua liitosta. Jokaiselle sauvalle pystyy kuitenkin määrittelemään omat liitoksensa. Tämä käy helpoiten yläpalkista geometry-releases kohdasta. Robot antaa alustavasti kolme eri liitostyyppiä: ”pinned-pinned”, ”fixed-pinned” sekä ”pinned-fixed”, mutta näitäkin voi määrittellä tarvittaessa lisää. ”Pinned-pinned” tarkoittaa nivelliitosta sauvan molemmissa päissä ja ”fixed-pinned” toisessa päässä nivelistä ja toisessa jäykkää. Valitsemalla joku näistä vaihtoehdoista ja klikkaamalla haluttua sauvaa, määrittelee Robot liitokset sauvolle. Liitokset näkyvät näytössä sauvan päissä merkinä ja kirjainkoodina, joka ilmoittaa mitkä vapausasteet on määritelty (kuva 5).

On tärkeää huomioida, että kahden sauvan liittyessä toisiinsa, toisen liitostyyppi pitää olla aina jäykkä, koska kahdesta nivelisestä liitoksesta seuraa mekanismi (kuva 6). Samoin, jos tuki on nivelinen, sauvan pitää liittyä siihen jäykästi kiinni.



KUVA 6. Liitosten määrittäminen

3.4 Kuormien mallinnus

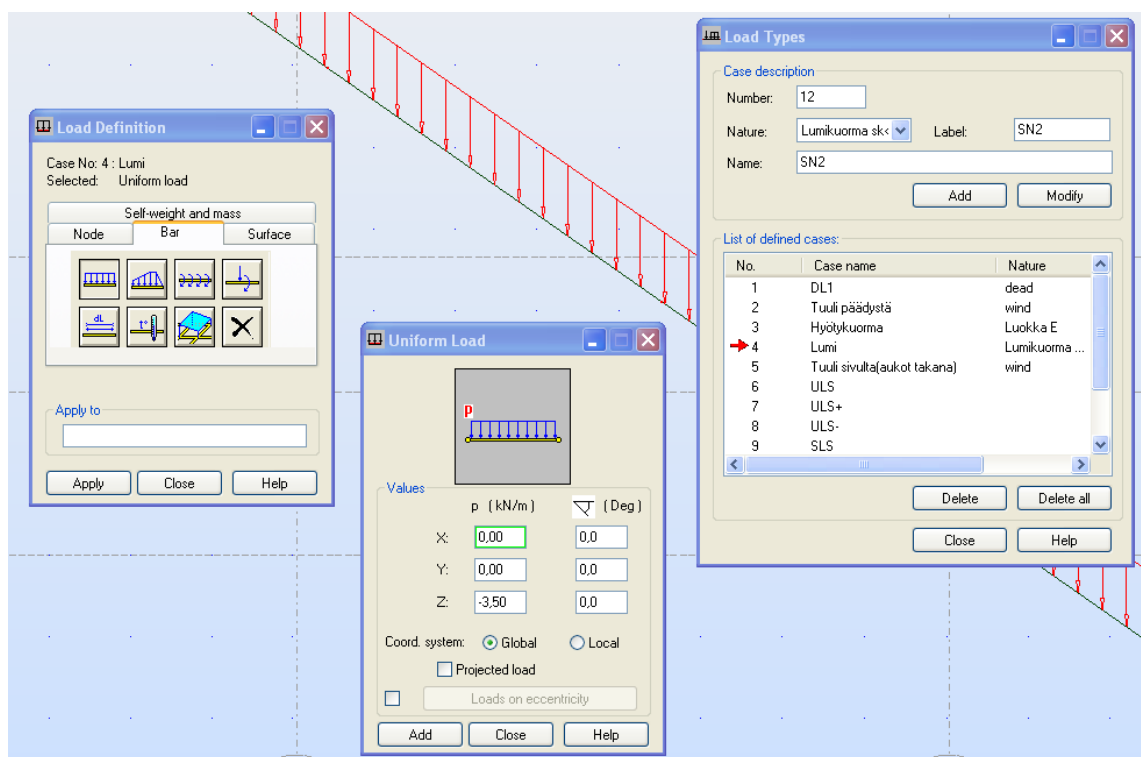
Robotissa kuormien mallinnus tapahtuu aina sauvoihin, solmuihin tai pintoihin. Kuormalle määritellään vaikutussuunta, etäisyys tietyistä pisteistä ja voimien suuruudet. Voimat voidaan määrittää vaikuttamaan viivakuormana, pistekuormana tai pistementtina. Voimien suunta voidaan määrittää joko globaalinen tai lokaalinen koordinaatiston mukaisesti. Tämä mahdollistaa myös vinon tasoon kohtisuorasti vaikuttavien voimien mallintamisen.

3.4.1 Kuormitustapaukset

Kun oikealta valitaan kohta "load types", päästään valitsemaan kuormitustapauksen tyyppi. Valitessa "dead load", Robot määrittelee automaattisesti rakenteelle oman painon. Kuormitustapauksen valinta oikeaksi on tärkeää yhdistelykertoimien takia. Robot

määrittelee automaattisesti kuormitusyhdistelmille oikeat kertoimet kuormitustapausten mukaisesti käyttäen hyväksi Eurocode-standardia.

Kuormitusten määrittäminen tapahtuu valitsemalla ensin ”load types” -kohdasta oikean kuormitustapauksen. Tämän jälkeen valitaan oikealta kohta ”load definition”, jolla valitaan kuormituksen tyyppi. Kun oikea kuormituksen tyyppi on valittu ja oikeat arvot annettu painetaan add, osoitetaan haluttua solmua, sauvaa tai tasoa, jolle voiman halutaan vaikuttavan ja klikataan sitä. Robot piirtää automaattisesti kyseisen voiman vaikuttamaan sauvaan (kuva 7).

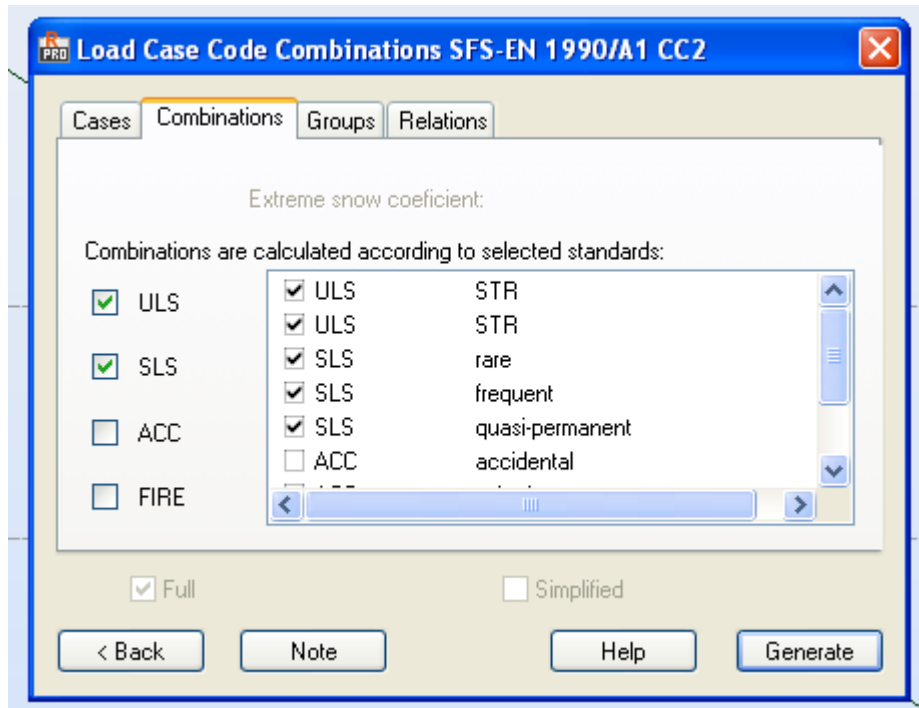


KUVA 7 kuormien määrittäminen

3.4.2 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitustapausten määrittämisen jälkeen valitaan ylhäältä loads-automatic combinations. Tästä tullaan valikkoon, josta voidaan määrittellä, halutaanko valita kaikki mahdolliset kombinaatiot vai yksinkertaistetut. Oikeasta yläkulmasta voidaan valita rakenteen seuraamusluokka. Valitessa oikeassa alakulmassa oleva more, aukeaa uusi valikko, josta päästään valitsemaan yksitellen käytettävät kuormitusyhdistelmät (kuva

8). Yksinkertaistettuun malliin tarvitaan vain vaikuttamaan murtorajatilan sekä käyttöra-
jatilan yhdistelmät eli ULS ja SLS.



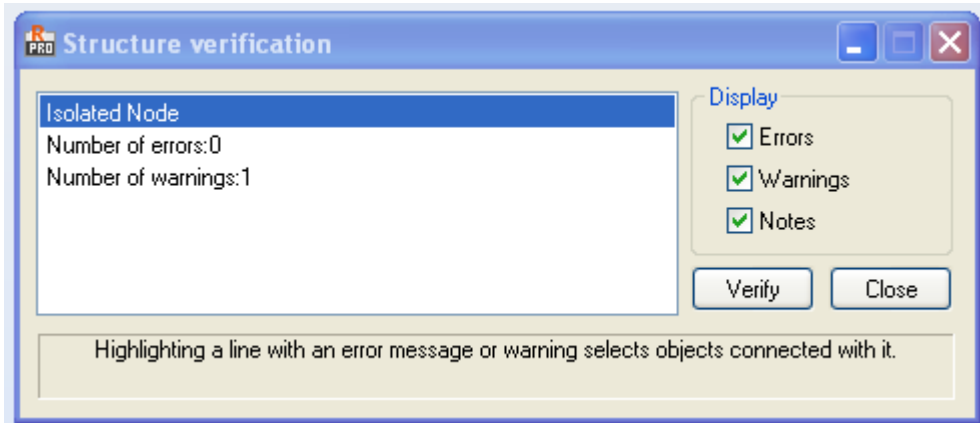
KUVA 8 kuormitusyhdistelmät

Tästä voidaan myös valita mitkä kuormitustapaukset halutaan sisällyttää mukaan yhdis-
telmiin sekä mikä on kuormitustapausten välinen suhde toisiinsa. Kuormitustapausten
välisellä suhteella tarkoitetaan niiden esiintyvyyttä samoissa kuormitusyhdistelmissä.
Esim. erilaiset tuulikuormat eivät esiinny toistensa kanssa samassa yhdistelmässä. Tästä
voidaan määritellä mm. hyötykuormien esiintyvyyttä toistensa seurassa. Nämä kohdat
on aina hyvä tarkistaa varmuuden vuoksi.

3.5 Laskenta

Ennen laskennan suorittamista on hyvä tarkastaa, että malliin ei ole jäänyt yksittäisiä
vapaita solmuja ja että mallin geometria on oikeanlainen. Tämä tapahtuu ylhäältä ana-
lysis-verification painikkeesta (kuva 9). Tässä kohtaa ohjelma näyttää mahdolliset geo-
metriset virhekohdat. Kun virhekohta valitaan, ohjelma maalaa kyseisen virhekohdan
3D-näkymässä ja kertoo lyhyesti mikä virhe on kyseessä. ”Verify” on suositeltavaa

varmentaa niin monta kertaa, että virhe on saatu poistumaan ennen laskentaan siirtymistä.



KUVA 9 verification

Laskenta lähtee käyntiin analysis-calculations kohdasta. Ohjelma tarkistaa mallin statiikan ja ilmoittaa, jos jossain on staattisesti määräämätön kohta. Ilmoitus sisältää solmun, jossa virhe on syntynyt. Yleisimmät virheet syntyvät, jos jokin kohta ei ole tarpeeksi tuettu jossain suunnassaan tai liitoksiin on syntynyt mekanismi. On tärkeää muistaa, että esimerkiksi yksinkertaista palkkia mallinnettaessa palkin toinen pää on tuettava myös x-akselin suuntaiselle kiertymiselle, muuten palkista syntyy mekanismi. Virheet korjataan ja laskenta suoritetaan uudestaan.

3.6 Tulosten analysointi

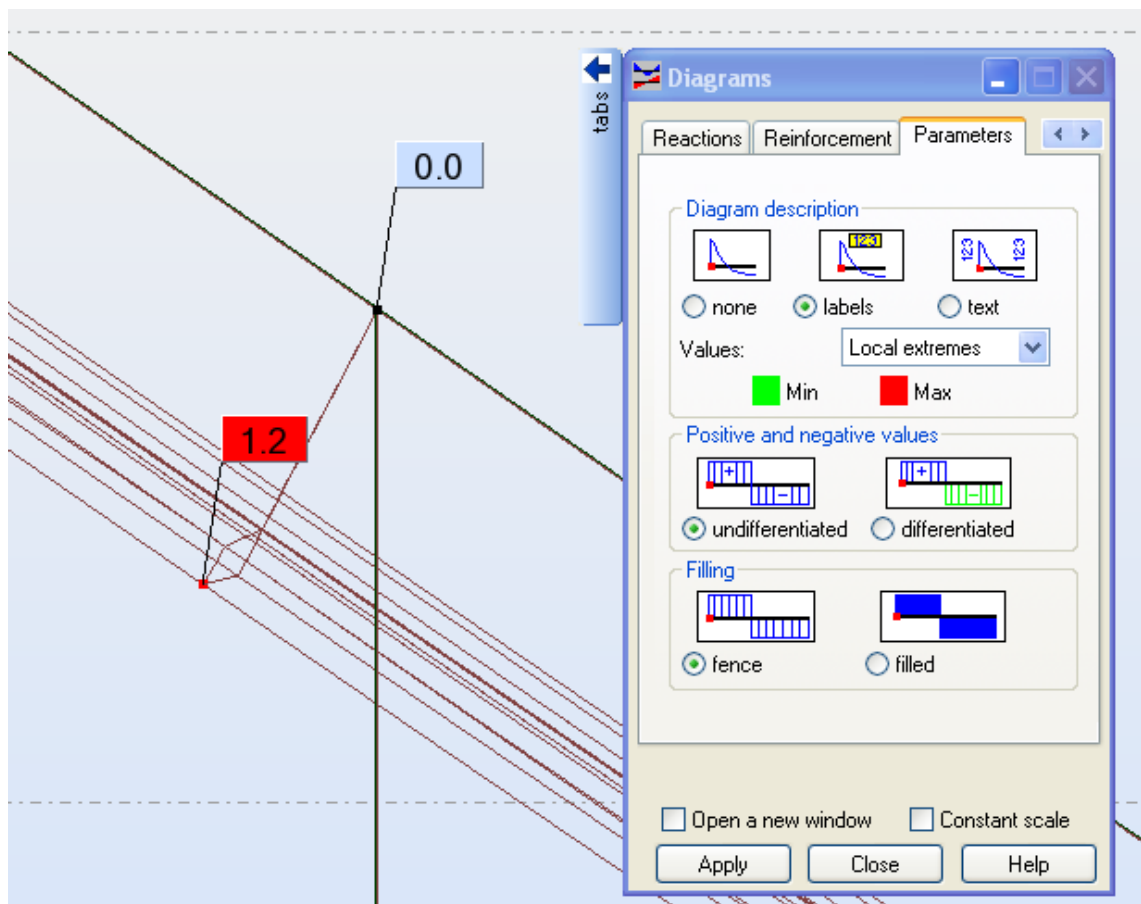
Tulosten analysointia varten on suositeltavaa siirtyä yläosan ikkunavalikosta results välilehdelle (kuva 10).



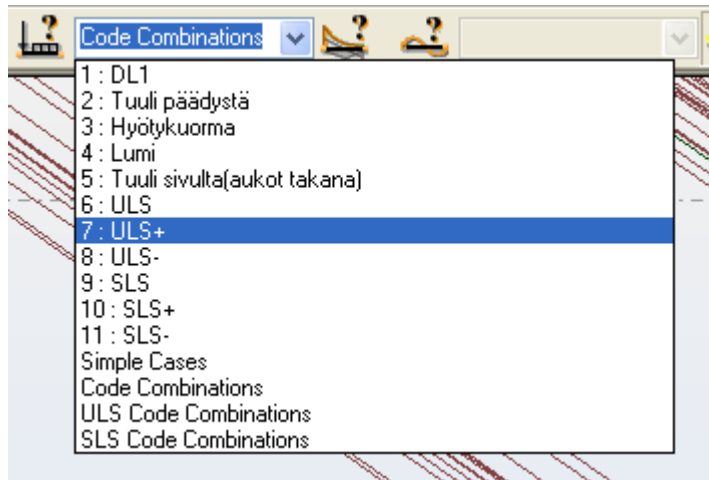
KUVA 10 results valikko

3.6.1 Taipuma

Results välilehdelle mentäessä aukeaa ikkunaan automaattisesti ”diagrams” välilehti. Tältä välilehdeltä voit valita tarkasteltavat ominaisuudet. Tarkasteltaessa taipumaa siirrytään ”deformation” -välilehdelle, josta voidaan valita tarkastellaanko koko rakenteen vai yksittäisen sauvan siirtymää. Kohdasta ”diagram scale” voidaan määrittellä kuvan skaalautuvuus siirtymille. Siirtymien numeeriset arvot ovat automaattisesti säädetty senttimetreiksi, mutta ne voi muuttaa millimetreiksi projektin asetuksista näin haluttaessa. Diagrams-parameters kohdasta voidaan valita esityksen ulkonäkö (kuva 11). Tarkasteltaessa eri kuormitusyhdistelmien vaikutusta valitaan ylhäällä olevasta alasetoivalikosta (kuva12) haluttu yhdistelmä. Yhdistelmät, joiden perässä lukee ”combinations”, näyttävät pahimpien mahdollisten kuormitustapausten arvot.



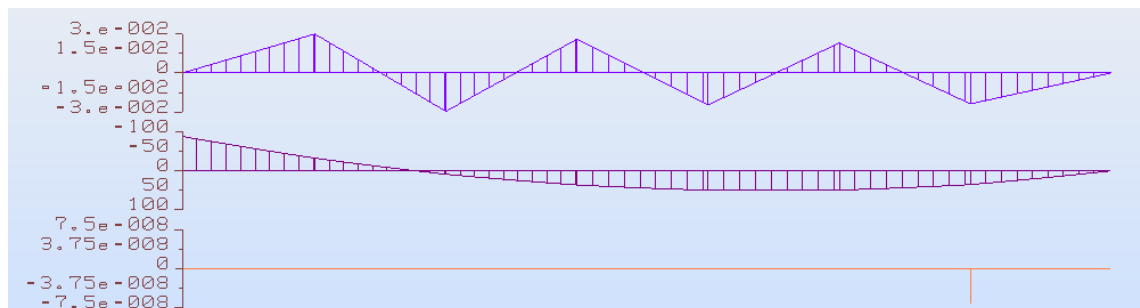
KUVA 11 esityksen ulkonäkö



KUVA 12 yhdistelmien tarkastelu

3.6.2 Voimasuureet

Voimasuureiden tarkastelemiseksi valitaan alavetovalikosta kohta ”detailed analysis” (kuva10). Tämän jälkeen oikeaan kulmaan ilmestyy ”detailed analysis” -välilehti. Tältä välilehdeltä voit valita voimat, jotka haluat näkyviin rakenteessa. Ohjelma näyttää voimat koko rakenteessa valitulla kuormitusyhdistelmällä (kuva12). Tämä on isommissa kohteissa epäselvä tapa selvittää voimasuureet. Parempi tapa on valita tarkasteltava sauva ja valita detailed analysis välilehdeltä haluttu voimasuure sekä varmistaa, että kuva avautuu uuteen ikkunaan (open in new window). Tämän jälkeen, kun painetaan ”apply”, ohjelma avaa uuteen ikkunaan valitun sauvan voimasuureet (kuva 13). Ikkunasta voidaan valita, halutaanko nähdä pelkät maksimiarvot vai halutaanko nähdä arvot tietyissä pisteissä.



KUVA 13 voimasuureet

3.7 Steinerin sääntö

Ohjelmasta saadun järkeväen taipuma-arvon jälkeen selvitetään määräävä momentti rakenteelle. Kun tämä on selvillä, selvitetään käytetyn profiilin jäyhyysmomentti (I). Jäyhyysmomentin avulla voidaan laskea, minkä kokoiset putkiprofiilit tarvitaan ristikon ylä- ja alapaarteiksi. Jäyhyysmomentin arvo saadaan Steinerin säännöllä:

$$I = \sum_i I_i + e^2 \cdot A_i$$

I = Jäyhyysmomentti

e = paarteiden välinen keskiöetäisyys

A = paarteen pinta-ala

Sijoitetaan kaavaan HEA-palkin jäyhyysmomentti ja selvitetään millä putkiprofiililla saadaan aikaan sama jäyhyysmomentti.

4 YKSINKERTAISTETUN TIETOMALLIN LUONTI

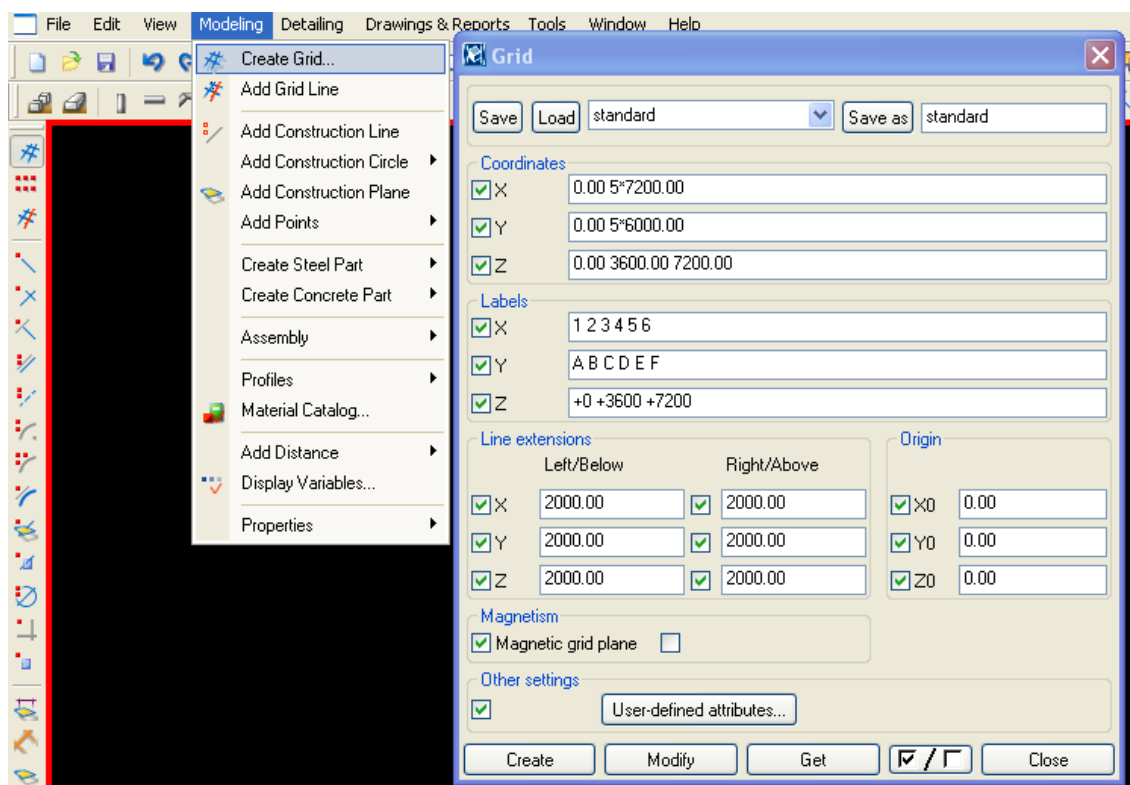
Robotilla saatujen tietojen perusteella voidaan aloittaa yksinkertaistetun mallin luominen Teklassa. Yksinkertaistettu malli tarkoittaa, että profiilit liittyvät toisiinsa keskipisteidensä välityksellä. Tällä saadaan aikaan se, että malli voidaan siirtää suoraan Robotiin laskentaa varten ja se on staattisesti heti oikeanlainen. Mallin takaisin palauttamiseen voidaan varautua jo etukäteen muuttamalla Teklassa profiilien määrääviksi pinoiksi rakenteen oikeat pinnat.

4.1 Projektin aloitus Teklassa

Uutta projektia aloitettaessa on tärkeää muokata tarvittavat asetukset alkuun jo oikeanlaisiksi. File-project properties kohdasta päästään syöttämään projektille alustavat tiedot. Project properties- välilehdellä löytyy User-defined attributes- linkki, jonka avulla projektiin voidaan syöttää paljon monimuotoisimmat tiedot. Näistä tärkeimmät ovat kohteen suunnittelija sekä projektikohtaiset kohdetiedot. Syöttämällä kohteen tiedot valittuihin kohtiin oikein varmistetaan, että piirroksia tehdessä nimiöt päivittyvät kohteen mukaisiksi.

4.1.1 Gridin luonti

”Gridi” eli verkko luodaan Teklassa kohdasta modeling- create grid (kuva 14). ”Coordinates” kohtaan syötetään haluttujen linjojen koordinaatit joko yksittäin tai kertomalla ohjelmalle, kuinka monta kertaa tietty etäisyys toistuu. Esim. 5*6000-merkintä luo viisi linjaa 6000mm välein. Kohdasta Labels määritellään syötettyjen linjojen nimet. Grid-välilehden ollessa päällä, voidaan manuaalisesti klikkaamalla määrittellä origon paikka; toinen mahdollisuus on syöttää origon paikka ”Origin” kohtaan numeerisesti. Origin syöttäminen on hyödyllistä, jos projektiin liittyy useampi rakennus, joista jokaiselle tarvitaan oma verkko.

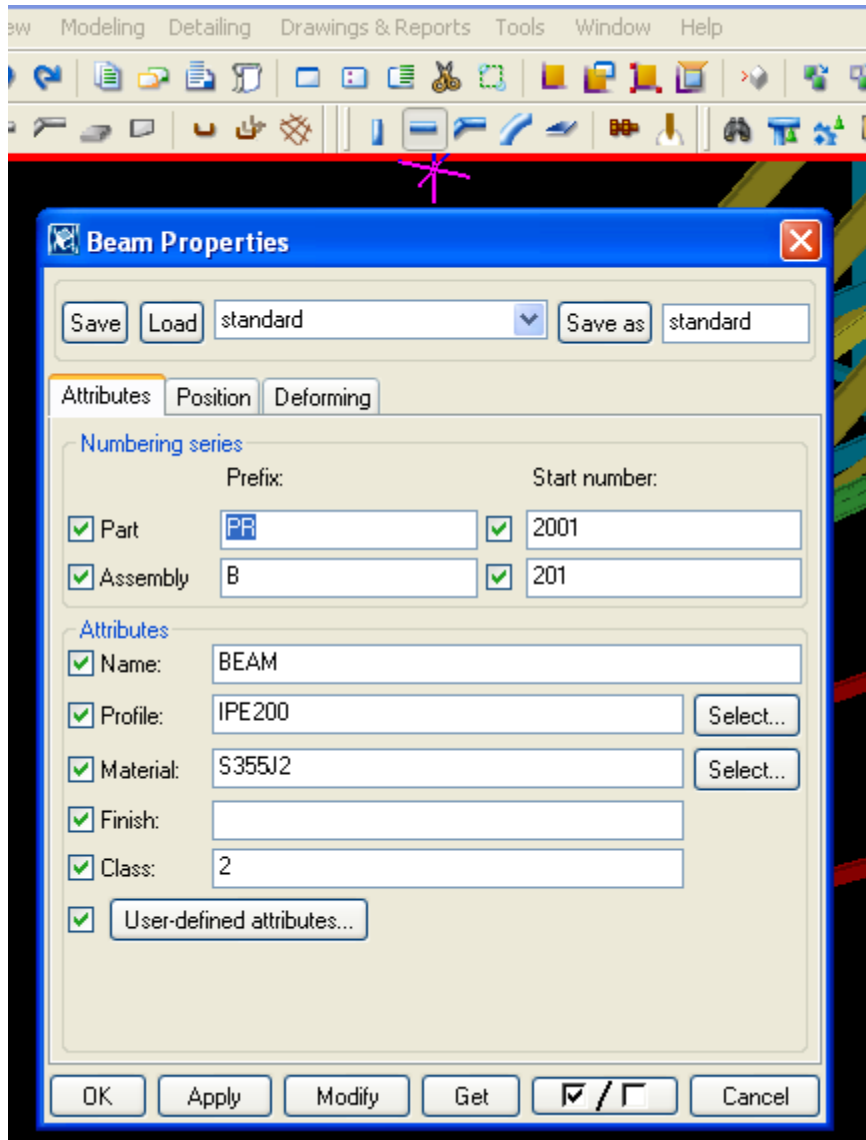


KUVA 14 gridin luonti

4.1.2 Profiilit ja materiaalit

Teklan yläpalkkistosta (kuva 15) löytyvät käytettävissä olevat rakenneosat. Harmaa väri edustaa betonia ja puuta ja sininen väri edustaa terästä. Tuplaklikkaamalla jotain rakenneosaa päästään käsiksi rakenneosan attribuutteihin. Luotaessa ensimmäistä rakenneosaa projektiin on suositeltavaa määrittellä attribuutit projektikohtaisesti oikeiksi. Tärkeimmät attribuutit ovat rakenneosan osa- ja kokoonpanonumerot sekä materiaali (kuva 15). Position välilehdeltä määrätään rakenneosan käyttämä tartuntapiste ja User-defined attributes painikkeella päästään vaikuttamaan piirustukseen tuleviin tietoihin. User-defined attributes- välilehdeltä voi muokata mm. teräkseen liittyviä tietoja, jotka tulevat näkyviin piirustuksissa. Tämä on suositeltavaa, jos tiedetään teräksen hitsausluokka sekä pintakäsittely.

Profiles kohdasta päästään muokkaamaan rakenneosan profiiliin liittyviä tietoja. Tekla sisältää yleisimmät käytössä olevat profiilit ja niitä on mahdollisuus ladata mm. Ruukin sivuilta lisää. Profiles-välilehdellä on myös mahdollisuus luoda omia profiileja projektin tarpeisiin.



KUVA 15 profiilit

4.2 Näkymien luonti

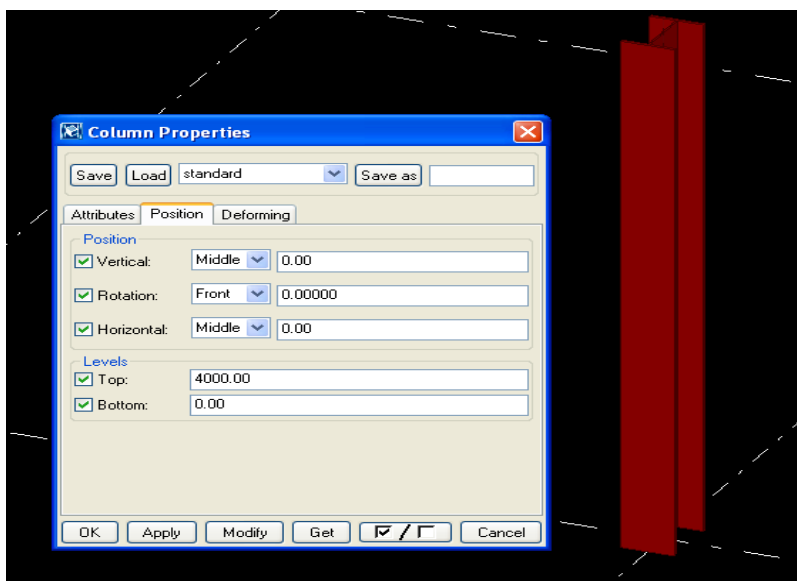
Teklassa näkymät kannattaa luoda automaattisen toiminnon avulla. Kun gridi on luotu projektin vaatimuksien kaltaiseksi, valitaan yläpalkista View- Create View of Model- Along Grid Lines-Create. Tekla luo tämän jälkeen automaattisesti jokaisesta linjasta oman kuvan. Eri kuvien välillä liikkuminen tapahtuu yläpalkista View- View List. Jokainen näkymä on linjan suuntainen projektiio, jonka syvyys on määrätyn etäisyyden päässä linjasta. Jokaisessa näkymässä näkymän tyyppiä päästään vaihtamaan CTRL + numeronäppäimin 1-5.

4.3 Mallintaminen Teklassa

Ennen mallintamisen aloittamista on hyvä tarkistaa, että luotu gridi on tarpeeksi kattava projektin tarpeisiin, koska mallintaminen Teklassa tapahtuu suurimmaksi osaksi gridiä apuna käyttäen. Mallintamisessa on hyvä käyttää myös apuna ylärivistä löytyviä piste- sekä viiva-työkalua. Mallintaminen kannattaa aina suorittaa jonkun linjan mukaisessa kuvassa, koska tällä tavoin varmistetaan, että luodut rakenneosat pysyvät linjan mukaisessa tasossa. Aloittaessa yksinkertaisen mallin luominen, on syytä muistaa, että kapaleet mallinnetaan staattisen mallin mukaisiksi eli niiden keskipisteet ovat toistensa kanssa tasossa.

4.3.1 Pilarit

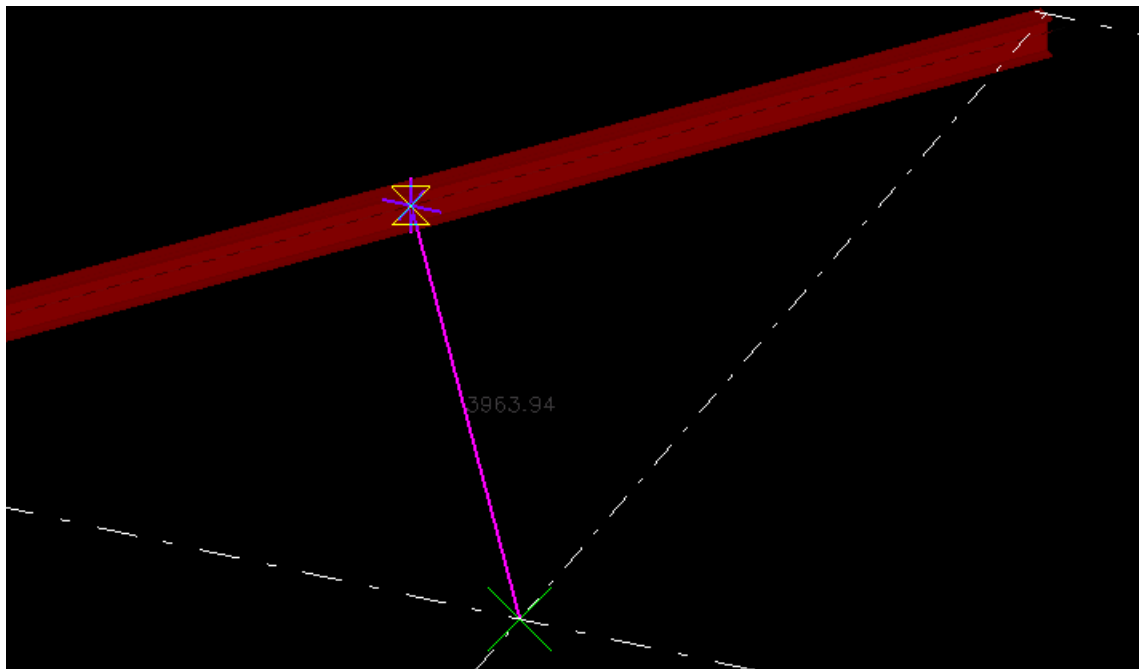
Pilarit määritellään Teklassa antamalla niille loppu- ja alkupiste korkeusasemien mukaan. Pilarit sijaitsevat Teklassa aina pystysuoraan (kuva 16). Pilarit on helpoin mallintaa koko rakenteeseen luomalla ensin yhden pilarin, joka sen jälkeen kopioidaan valitsemalla kyseinen pilari ja klikkaamalla hiiren oikealla painikkeella taustaa ja valitsemalla esiin tulevasta valikosta Copy Special- Linear. Tällä työkalulla voit syöttää numeerisesti, kuinka pitkälle haluat kopioida kyseisen komponentin ja suunnan, johon pilari siirretään. Työkalusta löytyy myös kopioiden määrä.



KUVA 16

4.3.2 Palkit

Palkit määritellään Teklassa osoittamalla niille loppu- ja alkupiste. Palkeilla muodostetaan Teklassa kaikki yleisimmät rakenteet ristikoista orsiin. Palkki voidaan asettaa malliin valitsemalla se ja antamalla sille sen jälkeen näppäimistöä koordinaatit (kuva17). Palkeista on olemassa myös alamuodot Curved Beam sekä Poly Beam. Curved Beamin avulla voidaan luoda malliin kaarevia palkkeja. Tämä on erityisen hyödyllistä silloin, kun tiedetään etukäteen palkille tuleva pyöristyssäde, jota pitkin palkki kulkee. ”Poly-beamin” avulla saadaan luotua palkkeja, joiden muotokieli eroaa normaaleista yleisessä käytössä olevista profiileista. On erityisen hyödyllistä luoda palkki käyttäen poly-beamia, jos tiedetään etukäteen, että rakenneosasta voidaan joutua esittämään myös leveyskuvat.



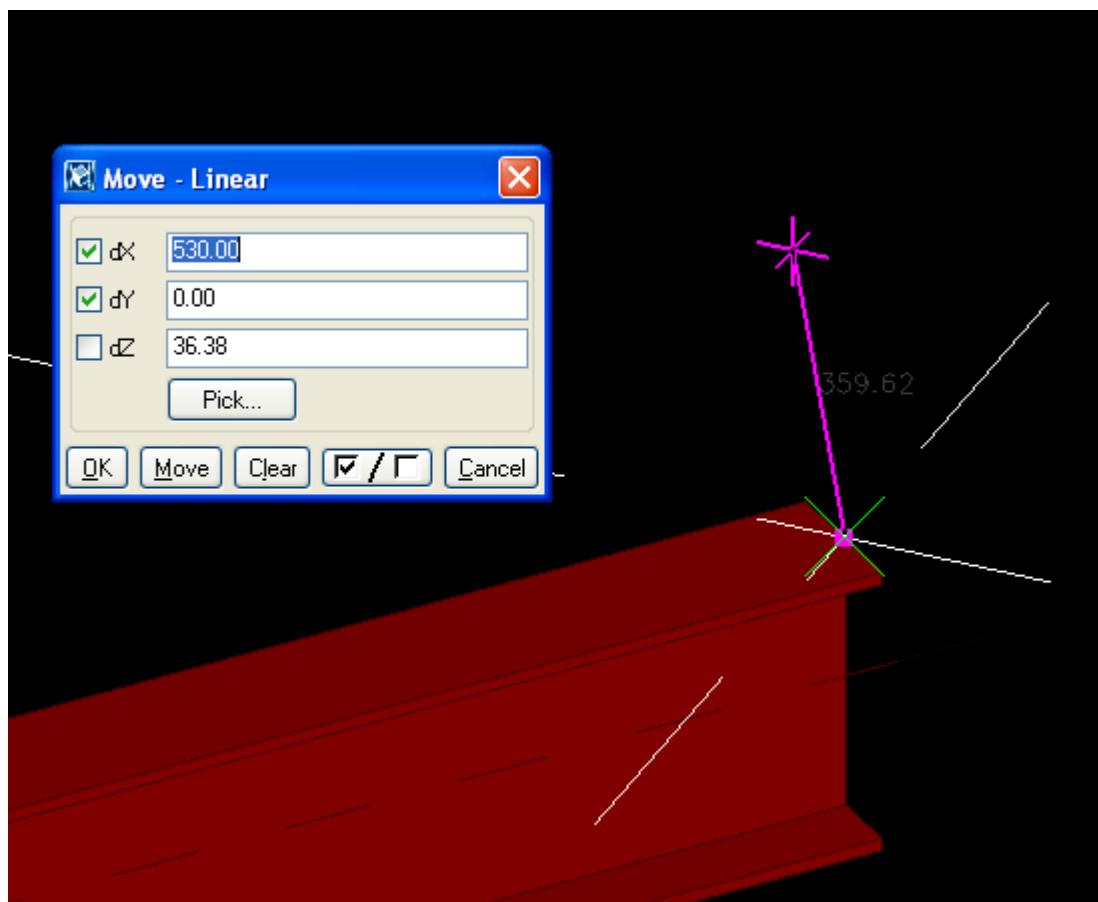
KUVA 17 palkki



KUVA 18 Snap-toiminnot

Palkkien liittyminen toisiinsa voidaan varmistaa asettamalla suurin osa alareunassa sijaitsevista ”SNAP” -toiminnoista päälle (kuva18). Näiden avulla voidaan määrittellä, mihin kohtaan rakenneosassa tartutaan. Palkkien kulmaa voidaan myös muokata jälkikäteen valitsemalla palkki ja valitsemalla tämän jälkeen palkin päässä oleva neliö. Kun neliö on valittu, siirretään se oikeaan kohtaan Move special- Linear komennon avulla (katso kappale 3.3.1 copy special) (kuva 19). Kun neliö on valittu, siirtää Tekla ainoastaan kappaleen toista päätä. Mikäli neliötä ei valita, siirtyy koko kappale valitun suureen verran.

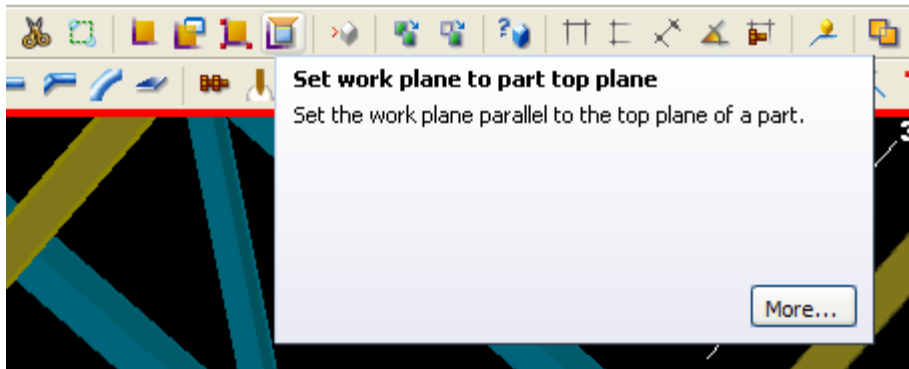
Siirto- ja kopio-toiminnoista Teklasta löytyy kääntö ja peilaus. Näistä peilaus on käytetympi, koska sen avulla kappaletta voidaan myös kääntää. Peilauksessa määritellään kaksi pistettä, joiden mukaan kappale peilautuu tietyn kulman verran. Nämä kaksi pistettä kannattaa yleensä valita linjojen päistä, koska näin ollen peilaustaso on aina kohtisuorassa peilattavaa rakenneosaa kohden.



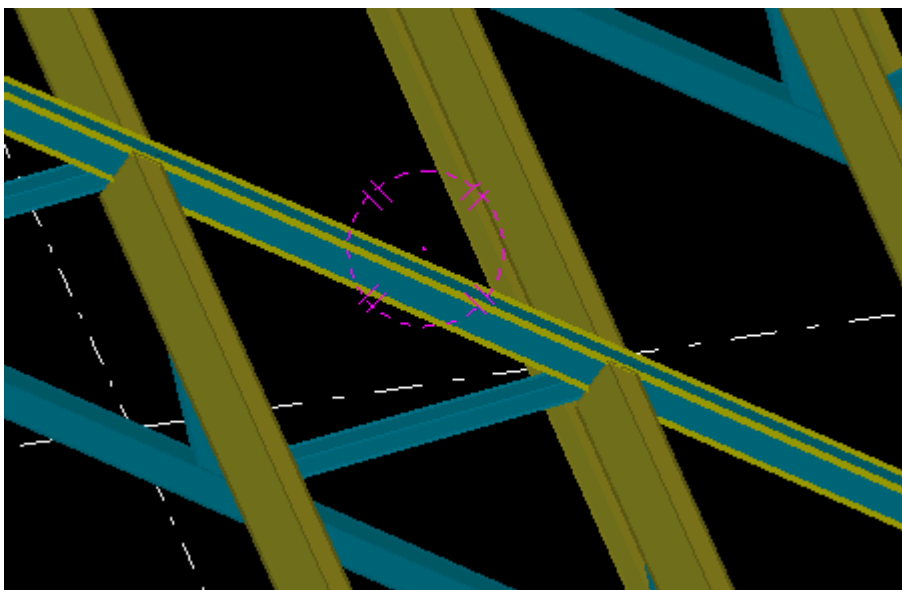
KUVA 19 palkin pään siirto

4.3.3 Orret

Orret luodaan Teklaan palkki- työkalun avulla. Koska orret sijaitsevat aina määrätyn etäisyyden päässä toisistaan, on kannattavaa luoda yksi orsi ja sen jälkeen monistaa se Copy linear -toiminnon avulla. Katto-orret mallinnetaan aina katon kanssa samaan kulmaan ja tästä syystä on syytä kääntää käytettävä koordinaatisto kattotason kaltevuuden mukaiseksi. Tämä onnistuu valitsemalla käytettäväksi työtasoksi katon yläpinnan valitsemalla Set work plane to top plane- toiminto (kuva 20) ja osoittamalla katon kaltevuuden määräävää ylintä palkkia (kuva 21).



KUVA 20



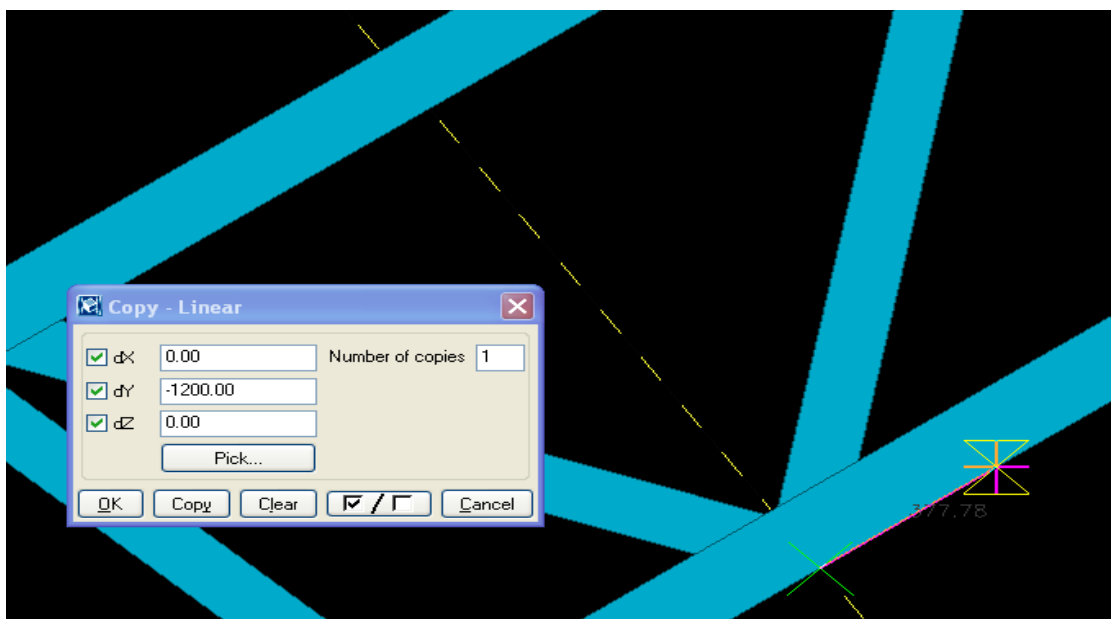
KUVA 21

Orsien mallintamisen helpottamiseksi on kannattavaa luoda näkymä, joka projektoituu kattotason kaltevuuden mukaisesti. Tämä onnistuu työtason määrittämisen jälkeen valitsemalla View- create view of model- on a work plane, jolloin Tekla luo yhden kokonaisen näkymän kohtisuoraan työtasoa vasten. Halutessa palata takaisin normaaliin koordinaattijärjestelmään, on valittava ylärivistä Set work plane parallel to XY(Z) plane.

4.3.4 Ristikot

Kun aletaan määrittellä rakenteeseen ristikoida, on syytä varmistaa, että gridiin on luotu valmiiksi tasot ristikon yläpaarteen ylä- ja alaosan kohdille. Tämä mahdollistaa sen, että ristikon yläpaarre voidaan mallintaa palkilla suoraan pisteestä toiseen ja alapaarre voidaan mallintaa kopioimalla yläpaarretta tarvittava matka alaspäin. Jos alapaarre on suora, voidaan se mallintaa palkilla suoraan ulkoseinä linjalta toiselle oikeaan korkoon.

Ennen ristikon mallintamista on hyvä suunnitella etukäteen diagonaalien paikat ja laskea niiden välinen etäisyys sekä niiden määrä ristikossa. Diagonaalien mallinnus tapahtuu valitsemalla työtasoksi ristikon yläpaarteen ja mallintamalla viivatyökalulla kohtisuora viiva ylä- ja alapaarteen väliin (kuva 22). Jos alapaarre on kohtisuorassa origoon nähden, mallinnetaan viiva sen mukaisesti.



KUVA 22 viivan kopiointi

Mallinnettu viiva kopioidaan Copy special -työkalulla yhden diagonaalien verran ristikon alapaarteen mukaisesti haluttuun suuntaan (kuva 22). Kun ristikkoon on mallinnettu tarvittava määrä apuviivoja, voidaan palkki työkalun avulla mallintaa diagonaalit ristikkoon. Yksinkertaisessa mallissa on hyvä muistaa, että diagonaalien päiden on hyvä kohdata toisensa niin, että niiden keskilinjat risteävät.

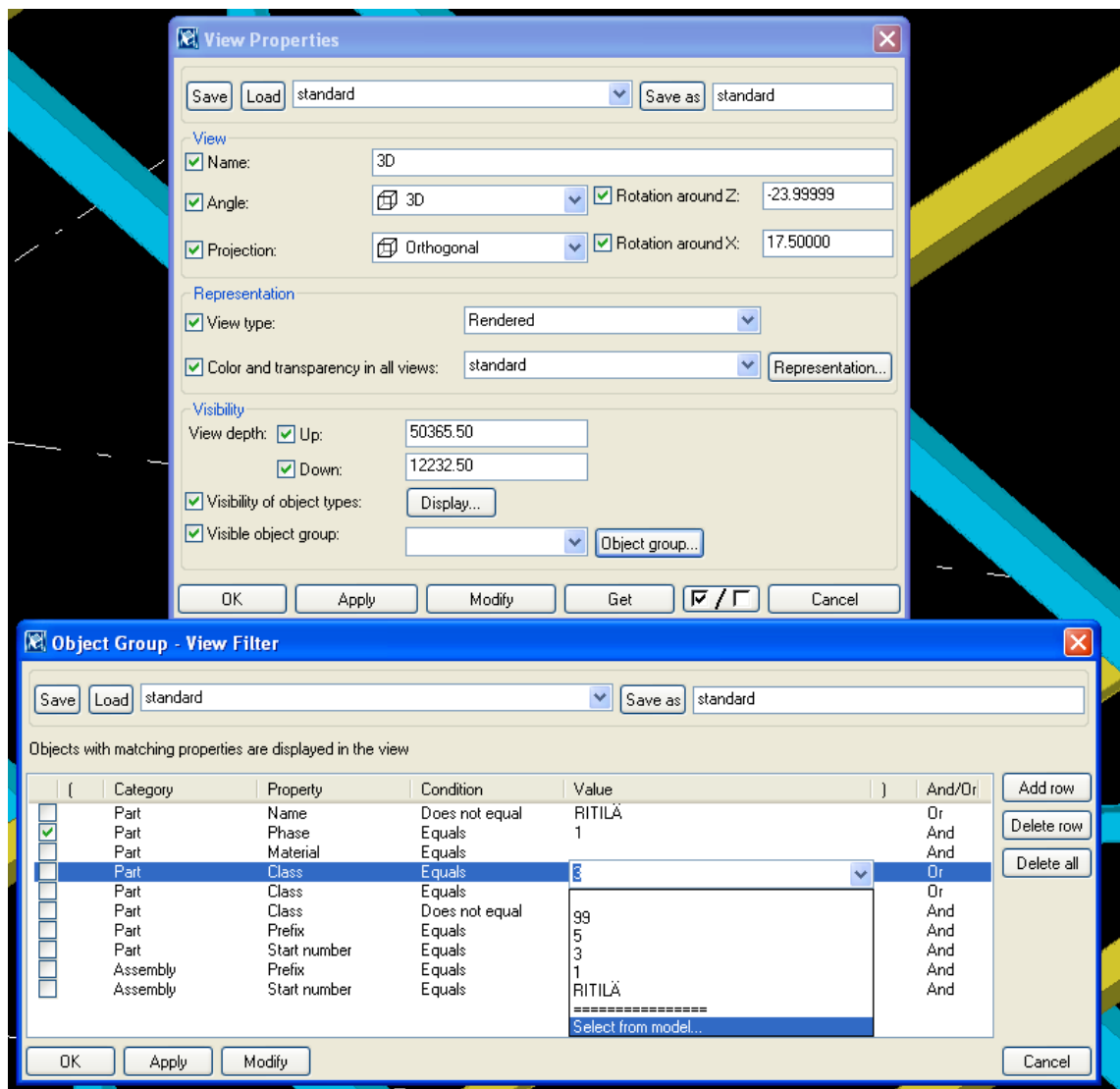
Useimmissa kohteissa ristikot pysyvät koko hallin matkan samana. On kannattavaa ristikon valmistuttua, kopioida se ”gridin” linjojen avulla koko rakenteeseen. Jos ristikon koko muuttuu, mutta ylä- ja alapaarteen etäisyys pysyy samana, voidaan tällaiseen kohtaan kopioida samanlainen ristikko kuin muualle. Tällöin täytyy muistaa vaihtaa kopioidun ristikon osien profiilit vastaamaan suunnitelmia.

4.4 Siirtäminen Robottiin

Mallin valmistuttua täytyy tarkastaa vielä, että liitokset liittyvät toisiinsa keskilinjojen välityksellä. Liitoksien liittymisen korjaaminen on helpompaa toteuttaa Teklan puolella ja tässä kohtaa on myös parempi varmistaa, että orret sijaitsevat niille määrätyillä paikoilla. Mallista kannattaa tehdä myös muutama koesiirto ennen lopullista siirtoa Robottiin, että huomataan tarvittavat korjausta vaativat kohdat.

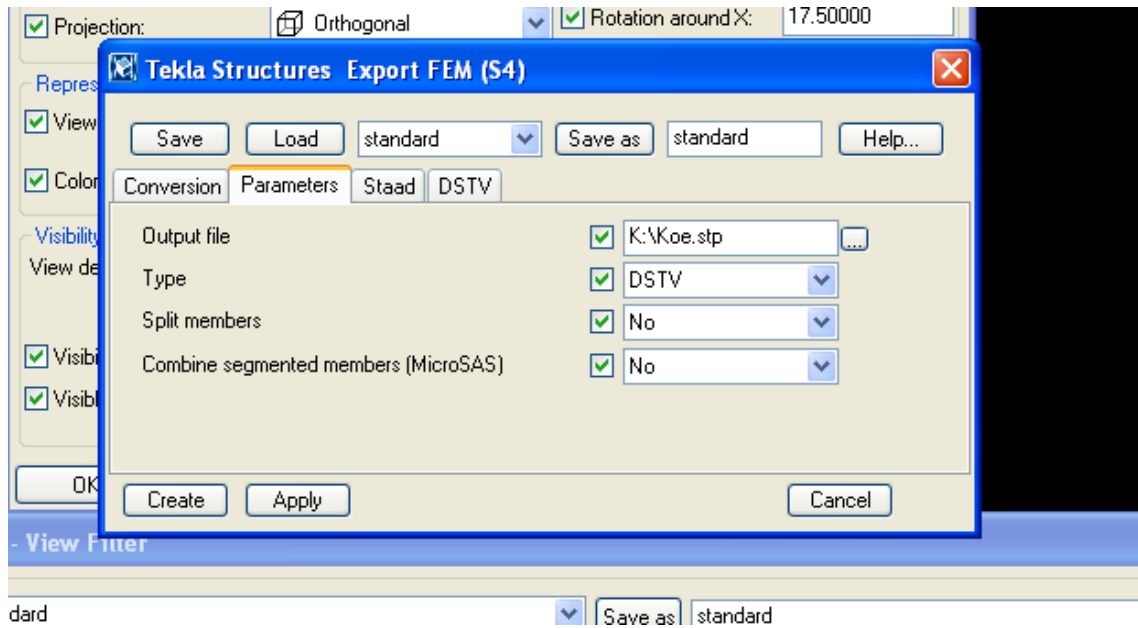
Siirto tapahtuu Teklassa valitsemalla ensin kaikki siirtoon osallistuvat komponentit. Jos mallissa ei ole muita rakenteita, on valitseminen helppoa, muuten kannattaa ensin filteroida materiaali, jota ei siirretä pois. Filttointi tapahtuu tuplaklikkaamalla ensin taustaa, jonka jälkeen valitaan välilehdeltä kohta ”object group”. ”Object group” -välilehdeltä voidaan valita filtteroitava materiaali Teklan antamien attribuuttien mukaan.

Helpoiten filttointi tapahtuu valitsemalla ensin määräävä attribuutin muoto, jonka jälkeen ”value” kohdasta valitaan ”Select from model”. ”Select from modelin” avulla voidaan valita mallista osoittamalla halutut ominaisuudet, jotka halutaan joko pitää mallissa tai filteroida siitä pois (kuva 23).



KUVA 23 materiaalin filterointi

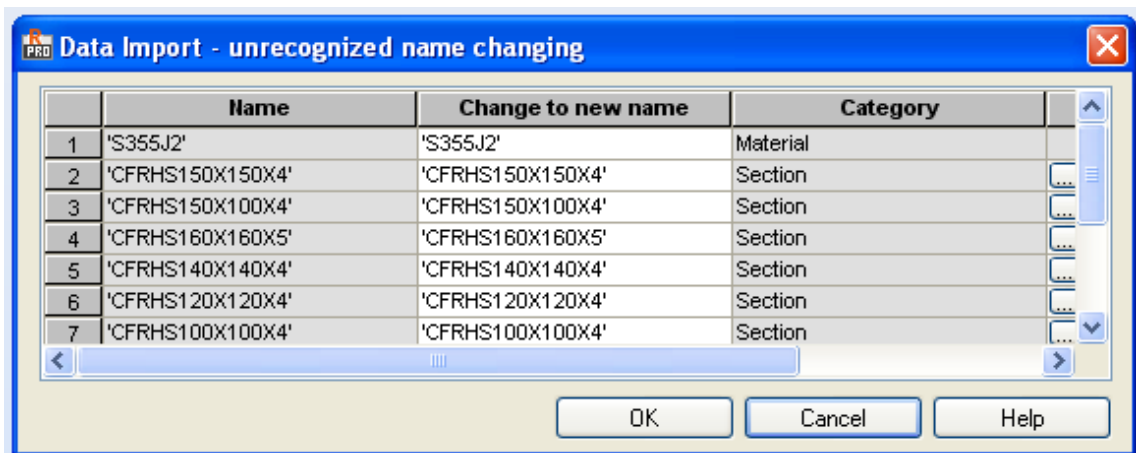
Kun mallista on valittu kaikki siirrettävä materiaali, valitaan File valikosta Export-FEM. Tästä aukeaa valintaikkuna, jossa päästään valitsemaan siirron ominaisuudet. Kohdasta "Parameters" valitaan siirtomallin tallennuspaikka valitsemalla polku kohtaan Output file. Tiedoston perään täytyy tulla stp-tunnus, koska muuten Robot ei tunnista sitä. Type- kohdassa muodon pitää olla DSTV ja kohtiin "split members" ja "combine segmented members" valitaan vaihtoehto "No". Kun asetukset ovat valmiit, painetaan "create" ja Tekla luo siirtomallin Robotille haluttuun kansioon (kuva 24).



KUVA 24 siirtomalli

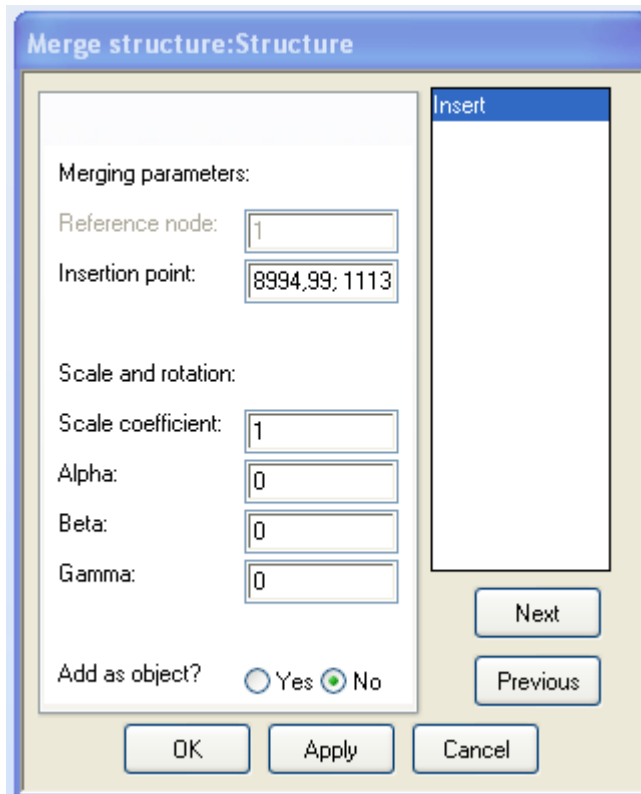
5 LASKENTAMALLIN LUONTI

Teklan luotua siirtomallin, se avataan Robotissa File-open komennolla. Mallin avautuessa Robot pyytää valitsemaan käytettävät profiilit (kuva 25). Oikeiden profiilien valitseminen tapahtuu painamalla Section- kohdan vieressä olevaa painiketta, jolloin avautuu Robotin profiililista. Listasta voidaan valita Robotin kirjastossa olevia yleisiä malleja tai luoda kokonaan uusia (kuva 26). Kun profiilit ovat valittu oikeanlaisiksi, painetaan Ok- painiketta ja Robot aloittaa mallin siirtämisen. Mallin latauduttua tulee esiin ikkuna, josta voidaan valita skaalataanko malli tietyn kokoiseksi, halutaanko mallia kääntää, luodaanko malli yksittäiseksi objektiksi ja onko mallilla jokin kiinnityspiste.



KUVA 25 profiilien muuttaminen Robottiin sopiviksi

Mallin avauduttua Robot on luonut Tekla- mallista staattisen mallin, johon profiilit on mallinnettu sauvoin sekä pistein. Tässä vaiheessa voidaan siirtää selvästi väärään kohtaan muodostuneet pisteet oikeille paikoilleen yksitellen. Robotista löytyy myös automaattisia toimintoja mallin korjaamiseen. Edit- valikon alaosasta löytyy kolme erilaista korjaustyökalua. Näillä työkaluilla voidaan määritellä, kuinka lähellä toisiaan olevat pisteet hakeutuvat samaan kohtaan. Tämä toiminto voi kuitenkin muuttaa Robotin geometristä mallia ja näin ollen sen käyttämistä on harkittava suurella varovaisuudella.

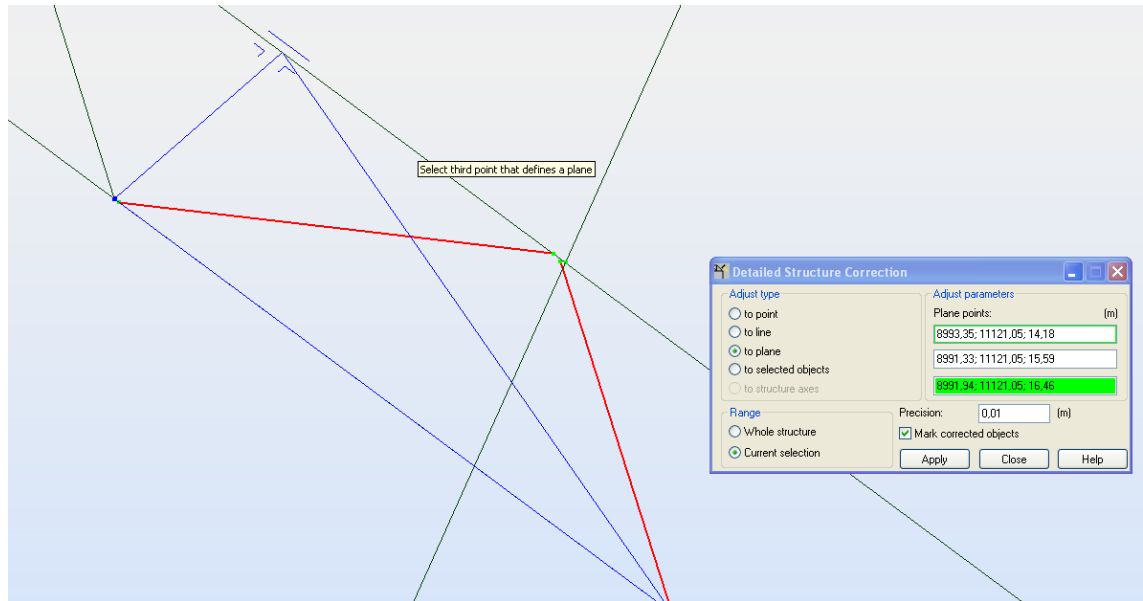


KUVA 26 siirto-ikkuna

Mallin korjaamiseen on suotavaa käyttää ”Detailed correct” -työkalua, jonka työkalun avulla voidaan korjata mallin pisteet tietyn pisteen, viivan tai tason mukaisesti. Valittaessa korjaustyyppiä ”Plane”, Robot suorittaa korjauksen kolmella pisteellä määriteltävän tason mukaan. Työkalua käytetään valitsemalla yhden linjan korjattavat pisteet. Tämän jälkeen osoitetaan kolme pistettä linjalla, joiden mukaan muiden pisteiden halutaan asetuvan. Koko mallin korjaaminen tässä vaiheessa tällä työkalulla on suotavaa, koska Robot ei suostu laskemaan rakenteen liitoksia elleivät rakenneosat sijaitse täsmälleen samassa tasossa liitoksen mukaan (kuva 27).

Valittavien kohteiden valinta onnistuu parhaiten valitsemalla pisteet vetämällä valintaikkuna hiiren vasen painike pohjassa vasemmasta yläkulmasta oikeaan yläkulmaan, jolloin Robot valitsee vain valintaikkunan sisäpuolella olevat rakenneosien pisteet. Korjaaminen kannattaa suorittaa aloittamalla ensin poikkisuuntaisten linjojen korjaaminen, josta siirtyä pitkittäis- suuntaisiin linjoihin. Lopuksi voi korjata korkeusasemien mukaiset linjat, jos tarpeellista. Mikäli malliin on jäänyt ylimääräisiä pisteitä, pääsee näistä eroon nopeimmin käyttämällä ”verify” -työkalua. Tässä vaiheessa malliin sijoitetaan

tuet ja liitokset ja malli varmistetaan laskemalla se kerran läpi. Jos malli ei mene laskennasta läpi, tarkistetaan mallin statiikka ja korjataan se tarvittaessa.

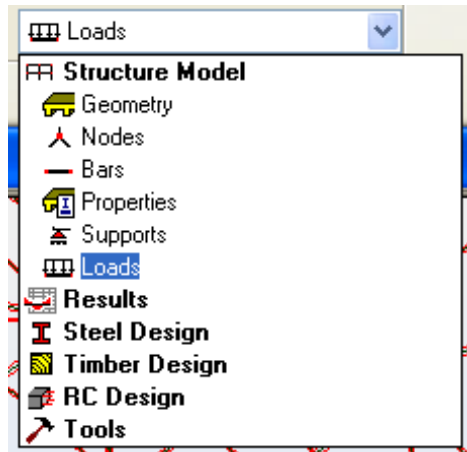


KUVA 27 detailed correct

5.1 Kuormien mallinnus

Kuormat mallinnetaan paikoilleen Eurocode-standardin mukaisesti ja luodaan automaattiset kuormitusyhdistelmät. Kuormituksia mallinnettaessa on tärkeää tarkastella välillä rakenteen siirtymiä. Tällä varmistetaan, että rakenne on staattisesti määrätynlainen ja voidaan jo etukäteen tarvittaessa vahvistaa rakennetta kriittisistä kohdista. Kuormien mallinnukseen kiinnitetään tässä vaiheessa erityistä huomiota ja muistetaan mallintaa kaikki mahdolliset kuormitustapaukset rakenteeseen. Kuormitustapauksia voidaan muuttaa jälkikäteen valitsemalla ylävalikosta Loads- kohta (kuva 28). Tästä avautuvan ikkunan alareunasta olevasta taulukosta muutetaan kuormitusten suuruuksia sekä niiden vaikutusalueita.

Kyseisestä valikosta on myös mahdollista määrätä kumpaa koordinaatistoa kuorman vaikutussuunta noudattaa. Kopioimalla kuormia ja muuttamalla niiden kuormitustapauksia, voidaan helposti monistaa tuulikuormista johtuvia sisäisen paineen vaikutuksesta syntyviä voimia. Tällä ehkäistään jatkuvaa kuormien uudelleen syöttämistä rakennemalliin. Kuormien tyyppiä voidaan myös vaihtaa tästä valintaikkunasta helposti.



KUVA 28 käyttöympäristön muuttaminen

5.2 Mitoitus

Laskenta suoritetaan, kun malli on saatu halutunlaiseksi. On tärkeää, että malli menee puhtaasti laskennasta läpi, ennen mitoituksen aloittamista. Laskennan tärkein tehtävä onkin tarkastaa mallin staattinen toimivuus. Mitoitus tapahtuu valitsemalla ylävalikosta (kuva 28) kohta Steel design- Steel/Aluminum Design. Robotin avatessa ikkunan Robotin oikeaan yläreunaan ilmestyy painike Steel/Aluminum Member Types. Tämän painikkeen avulla voidaan ryhmitellä rakenneosat ja määritellä jokaiselle ryhmälle omat attribuutinsa. Tässä kohtaa on tärkeä muistaa, että sauvat eivät voi olla enää muotoa ”Simple Bar”, koska Robot ei määrittele tälle sauvatyypille nurjahdus- eikä kiepahdus-tarkastelua.

Jaettaessa rakenneosia ryhmiin on suositeltavaa käyttää Edit- Select- työkalua. Tämän työkalun avulla voidaan valita kaikki tiettyä profiilia edustavat rakenneosat, jonka jälkeen voidaan jaotella profiilit oikeisiin ryhmiin. On suositeltavaa luoda ristikon osille ja pilareille omat ryhmänsä. Member Types- kohdasta ryhmien luominen tapahtuu oikean yläreunan New -painikkeesta. Tästä aukeavasta Member Definition kohdasta voidaan valita rakenneosalle mm. nurjahdustyyppi, nurjahduspituus ja halutaanko suorittaa myös kiepahdustarkastelu (kuva 29). Kohdasta Service päästään valitsemaan Robotin käyttämät rakenneosan siirtymien ja taipumien raja-arvot. On tärkeää valita tässä kohtaa raja-arvot oikeiksi, koska muuten koko mallin uudelleen läpikäyminen muuttuu aikaa vieväksi. Taipumisen raja-arvona Robot käyttää automaattisesti arvoa $L/200$ (kuva 30).

Member Definition - Parameters - SFS-EN 1993-1:2005/NA: 20...

Member type: Save

Buckling (Y axis) Buckling (Z axis)

Member length ly: Real m Member length lz: Real m

Coefficient m Coefficient m


Buckling length coeff. Y: Sway Buckling length coeff. Z: Sway

Buckling curve Y: Buckling curve Z:

Flexural-torsional buckling

Lateral buckling parameters More...

Lateral buckling Lateral buckling length coefficient

Load level:  Upper flange Lower flange

Lcr = lo Lcr = lo

General method [6.3.2.2] Lambda LT,0 =

Detailed method [6.3.2.3] Beta =

Simplified method for beams with lateral restraints [6.3.2.4] kfl =

Additional sets of member parameters

Limit deflections and displacements: Service

Complex sections: Complex

Thin-walled sections: Thin-walled Note

Fire analysis parameters: Fire Help



KUYA 29 member definition

Serviceability - Displacement Values



Limit displacements OK

Member deflection (local system) Cancel



Final deflection Help

 Y=L /  Z=L /

Deflection from live loads Cantilever

 Y=L /  Z=L /

Node displacements (global system)

 X=L /  Y=L /

Members with camber

Check of displacements with camber considered

User-defined camber

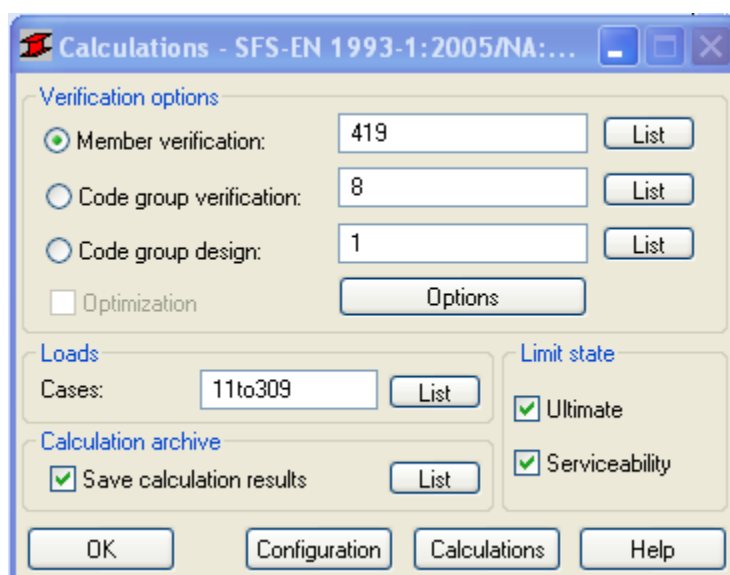
uy = mm uz = mm

Automatic camber
(additional parameters may be found in the dialog box for calculation configuration)

KUYA 30 Serviceability

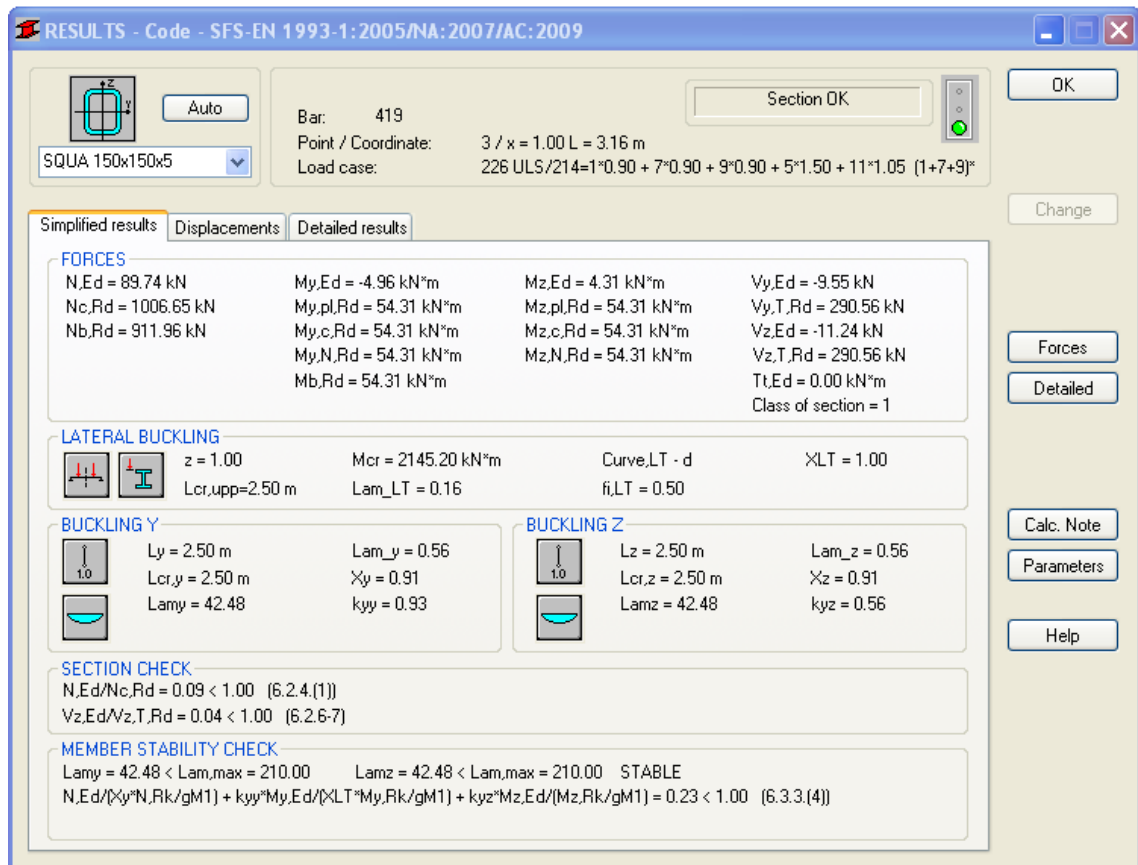
5.2.1 Profiilien valinta

Ennen profiilien valintaa on hyvä tarkastaa, että rakenneosien materiaali on halutunlainen. Se selviää kohdasta geometry- materials. Kun kaikki on valmista, valitaan ikkunan oikeasta alareunasta reunasta kohta ”Member Verifications” ja valitaan laskentaan mukaan tulevat rakenneosat. Osien tunnuksat tulevat esiin Member Verifications:in oikealle puolelle. Valitaan kuormitustapaukset ja yhdistelmät, jotka halutaan sisällyttää mitoittukseen ja valitaan halutaanko sisällyttää mitoittukseen sekä murto- että käyttörajatilan tarkastelu. Kun valinnat on tehty, painetaan Calculations painiketta, jonka jälkeen Robot aloittaa rakenneosien mitoittamisen (kuva 31).



KUVA 30 laskentaan osallistuvien tietojen syöttö

Robot avaa uuden ikkunan, josta on nähtävissä mitoitetut rakenneosat sekä niiden käyttöasteet murto- ja käyttörajatilassa. Ikkunasta nähdään myös mikä oli määräävä kuormitustapaus- tai yhdistelmä. Painamalla rakenneosan tunnusta ohjelma avaa uuden ikkunan, josta nähdään tarkempi analyysi mitoitukselta (kuva 32). Uudesta ikkunasta voidaan valita kohta Calc. Note, jolloin ohjelma tuottaa laskennasta muistiinpanon, jonka voi tulostaa. Jos mitoitus ei mene tietyn rakenneosan kohdalta läpi, vaihdetaan rakenneosan profiili jäykemmäksi ja ajetaan mitoitus uudestaan. On syytä tarkistaa laskentamuistiosta Robotin käyttämä nurjahduspituus rakenneosalle. Jos nurjahduspituus on kappaleen pituutta suurempi, on kannattavaa tarkastaa rakenneosan parametreista, onko nurjahduspituuteen syötetty kerroin (coefficient >1) nurjahduspituuden sijaan (kuva29).

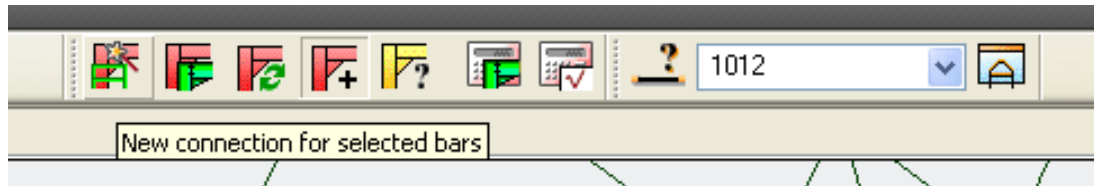


KUVA 32 mitoitustulokset

5.3 Liitokset

Liitosten tarkastelu onnistuu Robotissa ylävalikon (kuva 28) kohdasta Connections. Connections- ikkunassa oikealla puolella näkyy yleisimmät ohjelman tarkastelemat liittostyytit. Liitokset voidaan ohjelmassa syöttää joko manuaalisesti tai automaattisesti. Automaattisesti tehtävä tarkastelu onnistuu valitsemalla liitokseen osallistuva rakenneosat esim. ristikossa yläpaarre ja diagonaalit. Tämän jälkeen valitaan yläpalkistosta New Connection For Selected Bars (kuva 33). Ohjelma luo automaattisesti osien väliin liitoksen, joka tulee näkyviin ikkunan vasempaan laitaan. Tuplaklikkaamalla liitoksen kuvaa päästään vaikuttamaan liitoksen attribuutteihin (kuva 34). Näistä erityisen tärkeät ovat liitokseen käytettävät materiaalit, hitsien paksuudet sekä liitosten väliset dimensiot.

Liitoksen attribuuttien tarkastamisen jälkeen liitoksen mitoitus tapahtuu kohdasta Design Of Steel Connections. Ohjelma tiedustelee käytettävät kuormitustapaukset ja aloittaa mitoituksen. Mitoituksesta avautuu laskentadokumentti, jossa näkyy mitoituksen arvot sekä liitoksen käyttöaste (kuva 35).



KUVA 33 automaattinen liitoksen mitoitus

Steel Connection Inspector

Num...	Ratio	N...	Connection r
Steel connections (122)			
1...	0.84	26...	Tube
2	0.76	11...	Tube
3	0.54	11...	Tube
4	0.24	12...	Tube
5	0.57	12...	Tube
6	0.24	12...	Tube
7	0.57	13...	Tube
8	0.23	13...	Tube

KUVA 34 liitokset

Scheme Connection View Structure Results

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011

Design of truss node connection
EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Ratio **0.21**

GENERAL

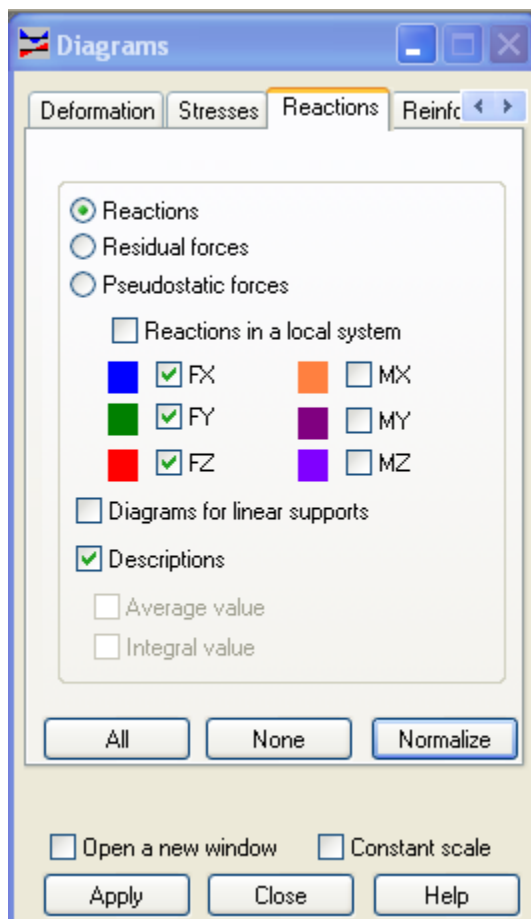
Connection no.: 6
 Connection name: Tube
 Structure node: 127
 Structure bars: 55, 43, 44

GEOMETRY

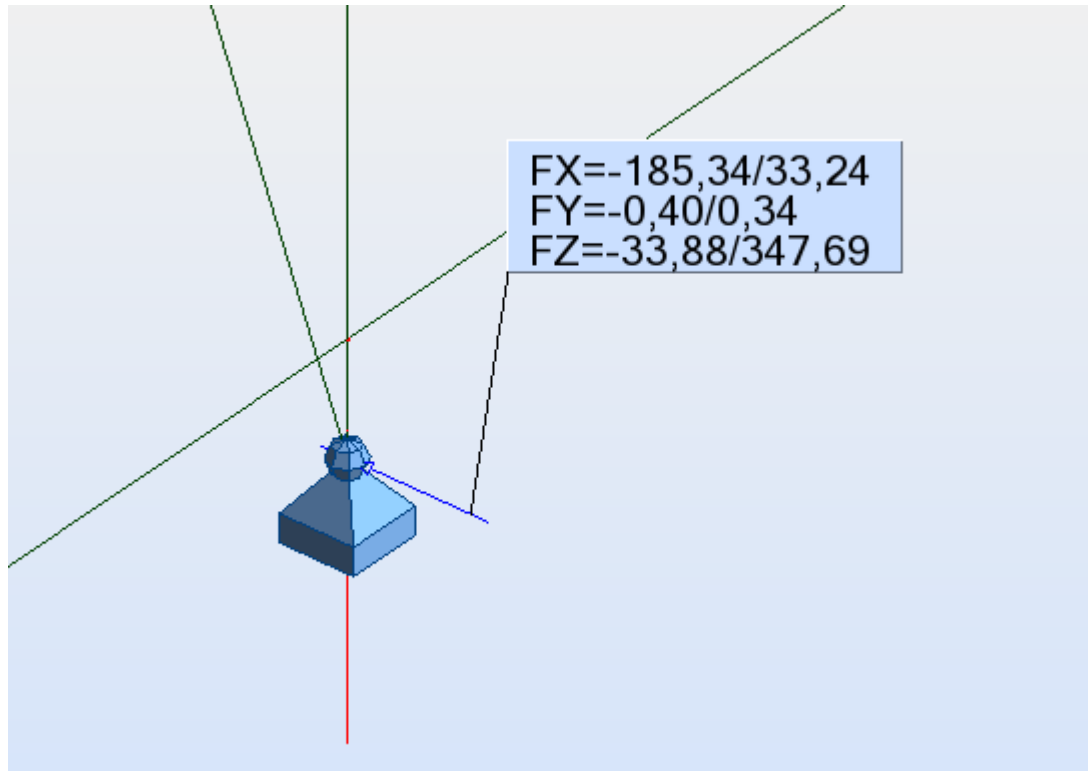
KUVA 35 liitoksen mitoitus

5.4 Perustuskuormat

Laskentamallista on hyödyllistä toimitta esim. betonisuunnittelijalle rakenteen perustuskuormat. Perustuskuormat kertovat, kuinka paljon rakenteen kuormituksesta enimmäkseen ohjautuu perustuksiin. Perustuskuormiin päästään käsiksi ylävalikon Results- kohdasta (kuva 28). Results-ikkunasta valitaan Diagrams- ikkunan kohta Reactions. Tästä ikkunasta päästään valitsemaan, mitkä voimat halutaan näyttää perustuskuormissa (kuva 36). Valitaan kuormat sekä kohta Descriptions ja painetaan Apply. Ohjelma näyttää tämä jälkeen jokaiselle tuelle siihen syntyvät voimat (kuva 37). Kuormitustapauksia perustuskuormille pääset muuttamaan ylävalikon kuormitusvalikosta (kuva 38). Tämän jälkeen kuvan voi tulostaa ja toimittaa betonisuunnittelijalle.



KUVA 36 perustuskuormien voimat



KUVA 37 perustuskuormat

Combinations	
566	: SLS/183=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70 + 6*0.6
567	: SLS/184=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70 + 6*0.6
568	: SLS/185=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70 + 6*0.6
569	: SLS/186=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 10*0.7
570	: SLS/187=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 10*0.7
571	: SLS/188=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 10*0.7
572	: SLS/189=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 10*0.7
573	: SLS/190=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70
574	: SLS/191=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 2*0.20
575	: SLS/192=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 11*0.2
576	: SLS/193=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.70 + 12*0.2
577	: SLS/194=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70
578	: SLS/195=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70 + 2*0.2
579	: SLS/196=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70 + 11*0.
580	: SLS/197=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 10*0.70 + 12*0.
581	: SLS/198=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.60 + 10*0.6
582	: SLS/199=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+3*1
583	: SLS/200=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+3*1
584	: SLS/201=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+3*1
585	: SLS/202=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.60 + 10*0.6
586	: SLS/203=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+4*1
587	: SLS/204=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+4*1
588	: SLS/205=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+4*1
589	: SLS/206=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.60 + 10*0.6
590	: SLS/207=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+5*1
591	: SLS/208=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+5*1
592	: SLS/209=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+5*1
593	: SLS/210=1*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00 + 8*0.60 + 10*0.6
594	: SLS/211=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+6*1
595	: SLS/212=1*1.00+7*1.00+9*1.00+8*0.60+10*0.60+6*1

KUVA 38 kuormitukset

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Rakennesuunnittelutyössä on kustannustehokasta yhdistää mallinnus- ja laskentaohjelmat toisiinsa. Tämän avulla työ saadaan tehtyä nopeammin kuin perinteisin menetelmin ja suunnittelijalle jää selkeä kuva suunnittelemansa rakenteen toiminnasta. Kahden eri ohjelman opetteleminen vie aikaa suunnittelutyöstä, mutta kun ohjelmien käyttö on opittu, jatkosuunnittelutöissä säästetty aika korvaa moninkertaisesti menetetyn ajan. Useista suunnitteluohjelmista järjestetään vuosittain useita kursseja, joille osallistuminen helpottaa ohjelmien sisäistämistä.

Työprojekti A-Insinöörit Oy:lle saatiin suoritettua urakkakuva- vaiheeseen mennessä valmiiksi. Suunnittelutyötä hidastivat ohjelmien sisäisen logiikan ymmärtäminen ja eteen tulleet ongelmakohdat ohjelmien käyttöliittymässä. Useimpiin ongelmakohtiin löytyi vastaus pienellä miettimisellä ja harjoittelemalla siirtomallien tekemistä koe-versioihin. Yleisimpiin ongelmakohtiin annetaan vinkit tässä työssä. Kahden päivän peruskurssilla ja ohjelman harjoittelulla työn ohessa pystyy sisäistämään Robotin käytön todella nopeasti.

Teklaa ja Robottia ei ole ohjelmoinut sama yritys, joten ohjelmia ei ole suunniteltu toimimaan saumattomasti yhdessä. Molemmissa ohjelmissa on kuitenkin riittävät varaukset luotu toisten ohjelmien yhteensovittamiseen, joten siirtomallien luominen onnistuu vaivattomasti, kun ymmärtää molempien ohjelmien toimintaa riittävästi. Ohjelmien väliseen toimintaan on luotu myös Tekla Structurs-Robot-linkki, jota ei käyty tässä työssä läpi, mutta jonka Markus Martinen on opinnäytetyössään Teklan ja Robotin käyttö betonirakenteiden suunnittelussa osoittanut toimivaksi. (Markus, M. 2010). Linkin käyttö mahdollistaa mallin laskemisen Robotissa, mutta malli pitää muokata aina Teklassa. Tekla Structurs-Robot-linkin käyttö vaatii lisäksi kuormien ja liitosten mallinnusta Teklan puolella, mikä onnistuu helpommin Robot-ohjelmassa.

Työstä luotiin myös CD, joka sisältää kaiken suunnittelumateriaalin. Se jää vaitiolovelvollisuuden vuoksi A-Insinöörit Oy:n haltuun. Työ esiteltiin myös Teklan ja A-Insinöörien järjestämässä esittelytilaisuudessa, Olli Saarisen toimesta.

LÄHTEET

Tekla [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 15.5.2011]

Etusivu> Tuotteet > Tekla Structures

Saatavissa:

<http://www.tekla.com/>

Markus, M. 2010. Teklan ja Robotin käyttö betonirakenteiden suunnittelussa. Savonia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.