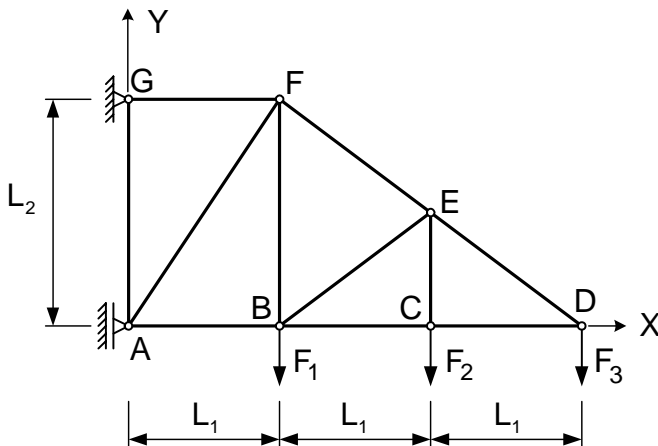


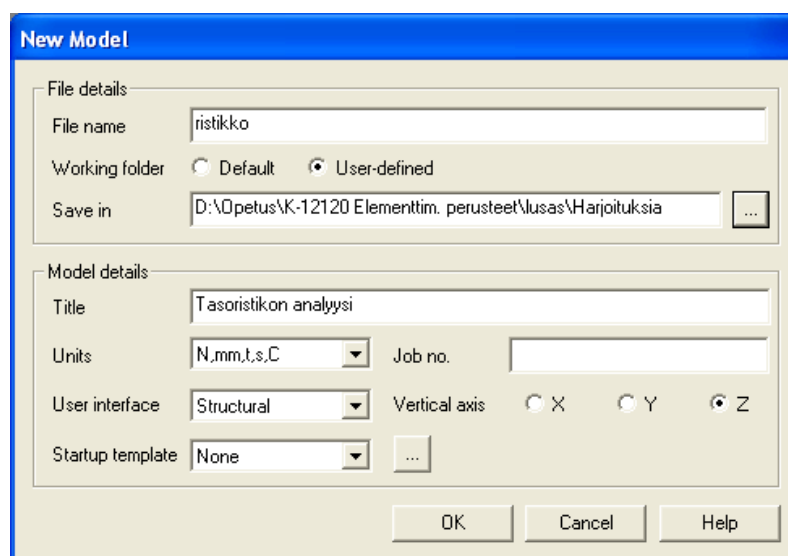
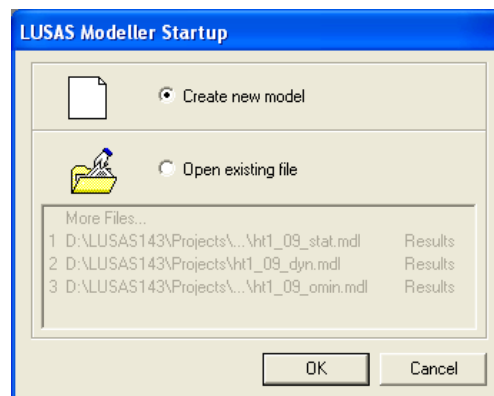
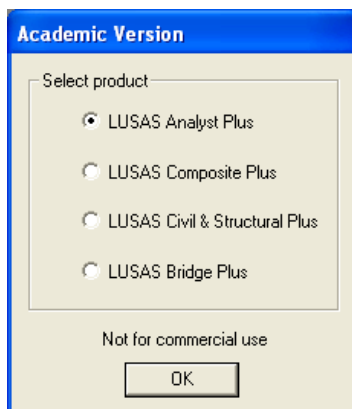
LUSAS – harjoitus, tasoristikon FEM-analyysi.



Kuvan tasoristikon sauvojen AB, BC, CD, DE, EF, FG ja GA poikkileikkauksen ala $A_1 = 814 \text{ mm}^2$ ja sauvojen AF, BF, BE, ja CE poikkileikkauksen ala $A_2 = 642 \text{ mm}^2$. Sauvojen materiaalin kimmomoduuli $E = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$ ja $L_1 = 2000 \text{ mm}$, $L_2 = 3000 \text{ mm}$. Kuormitukset ovat $F_1 = F_2 = F_3 = 5000 \text{ N}$.

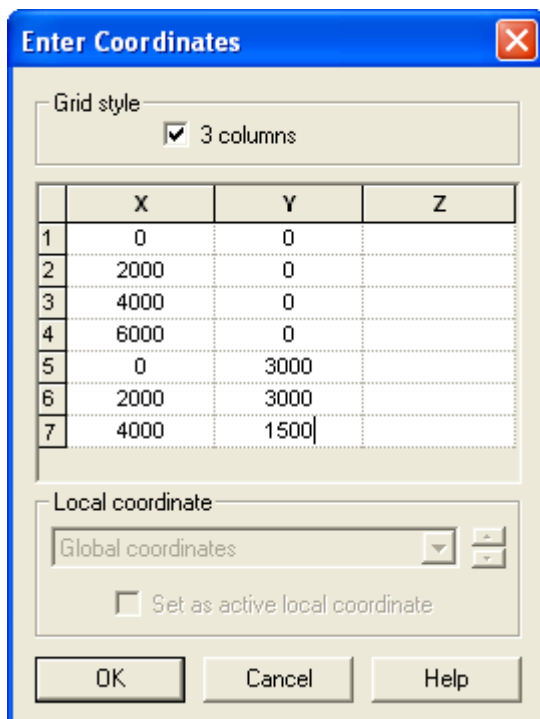
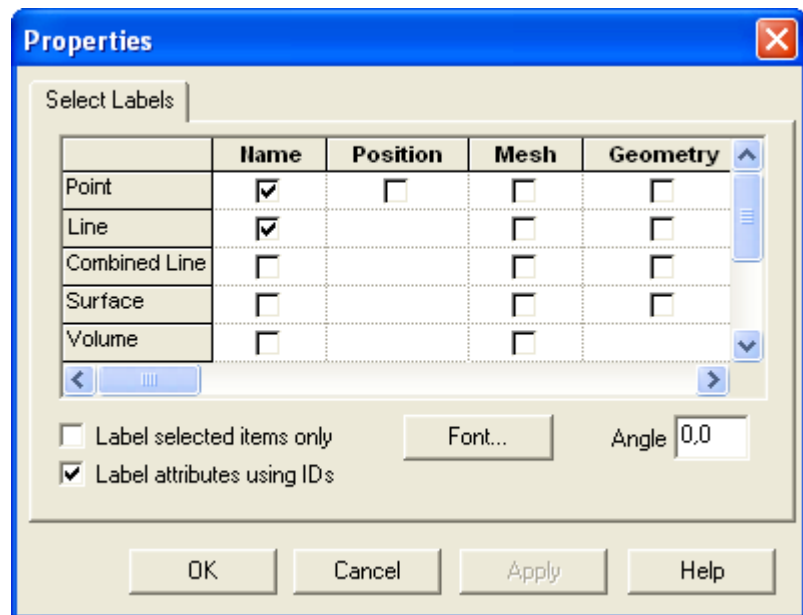
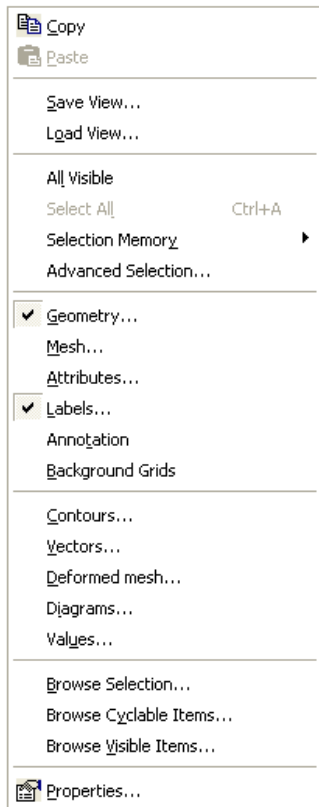
Mallinnuksen aloitus:

Käynnistetään LUSAS Modeller ja valitaan tuote LUSAS Analyst Plus > OK. Valitaan vaihtoehto Create new model > OK. Annetaan New Model keskusteluikkunassa tarvittavat tiedot. > OK. Yksiköt valitaan vain tulostusta varten, **käyttäjän on huolehdittava, että kaikki annetut numeroarvot ovat valitussa yksikköjärjestelmässä.**



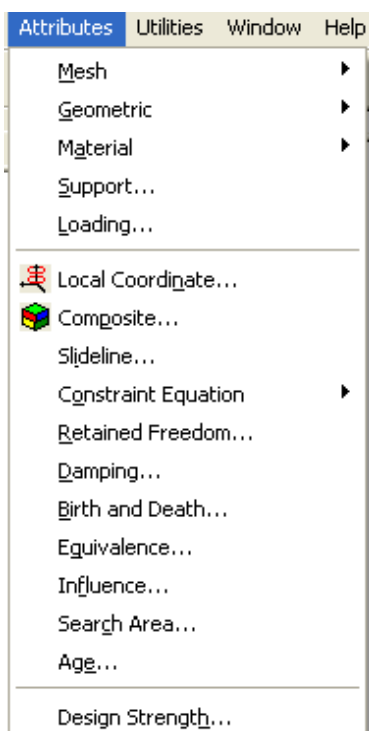
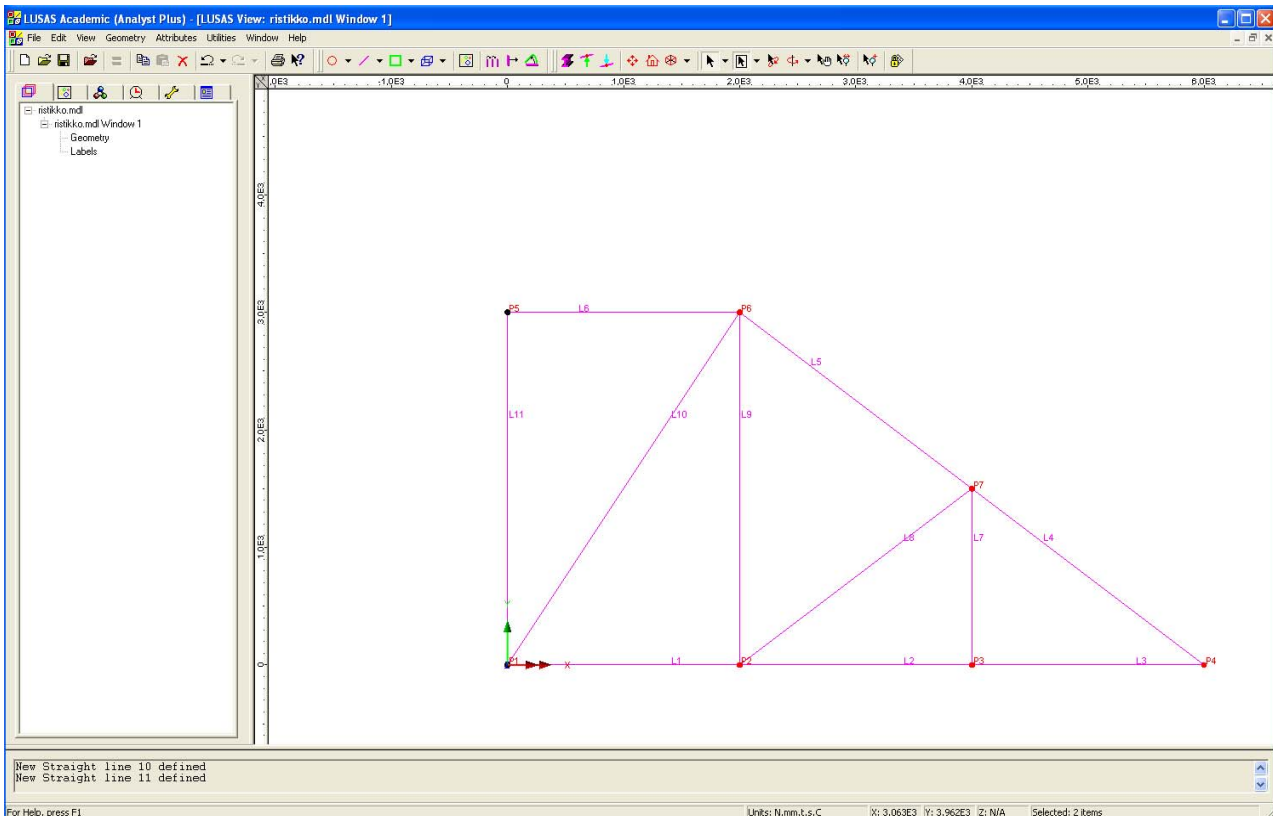
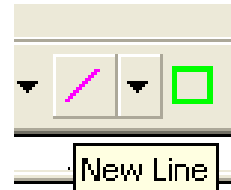
Geometrian mallinnus:

Klikataan hiiren oikealla näppäimellä tyhjää malli-ikkunaa ja poistetaan pikavalikosta muut valinnat paitsi Geometry... (tee tarvittava määrä operaatioita). Valitaan sitten pikavalikosta Labels... ja ruksataan Properties keskusteluikkunassa Point Name ja Line Name. > OK. LUSAS näyttää nyt jatkossa tehtävät pisteet ja viivat sekä niiden nimet malli-ikkunassa.



Tehdään ristikon nurkkiin pisteet valikosta Geometry > Point > Coordinates... aukeavassa Enter Coordinates ikkunassa. Kun 3 columns on valittuna, koordinaatit annetaan taulukkomuodossa. Taulukkoon saa lisää vaakareivejä tabulaattorinäppäimellä. Jos 3 columns ei ole valittuna, koordinaatit erotetaan toisistaan puolipisteellä tai välilyönnillä. Desimaalilukuja annettaessa käytetään desimaalipilkua. Pisteitä ei tarvitse välttämättä tehdä kaikkia yhdellä kerralla. Virheellisen pisteen saa poistettua valitsemalla sen malli-ikkunassa hiiren vasemmalla näppäimellä ja painamalla sitten Delete näppäintä.

Tehdään nurkkapisteen välille sauvoja vastaavat viivat. Viiva tehdään kahden pisteen välille valitsemalla ensin ensimmäinen pisteistä hiiren vasemmalla näppäimellä ja sitten toinen Shift näppäin alas painettuna ja napsauttamalla sitten työkalurivin New Line painiketta. Ennen uuden viivan tekoa napsautetaan malli-ikkunan tyhjää kohtaa edellisen valinnan poistamiseksi. Virheellisen viivan saa poistettua valitsemalla sen hiiren vasemmalla näppäimellä ja painamalla sitten Delete näppäintä.

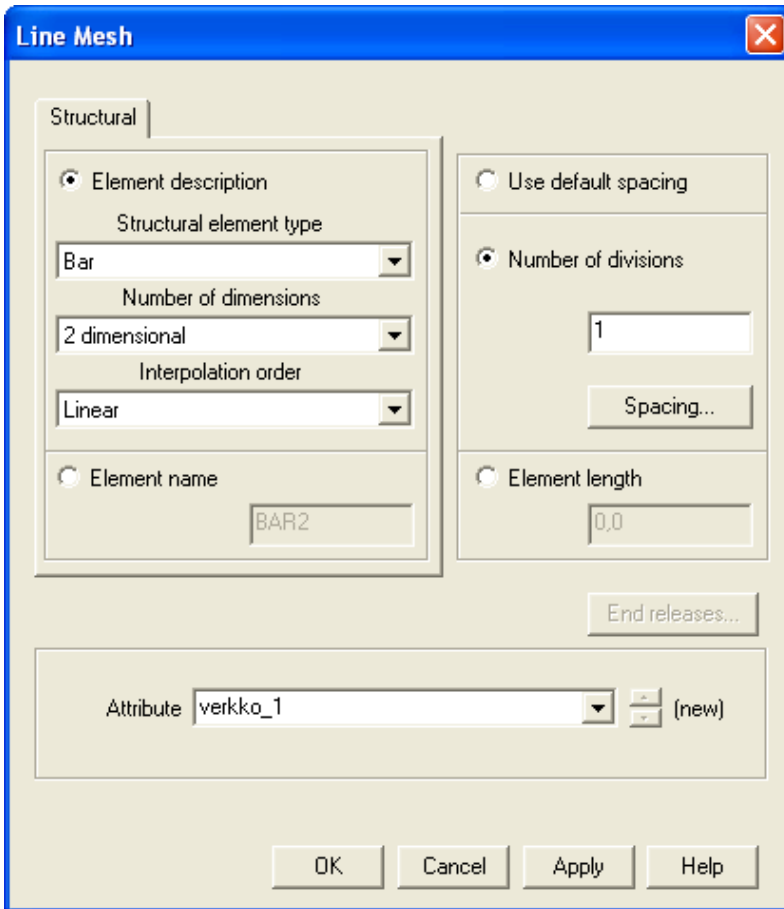


Valmis geometria on yllä olevan kuvan mukainen. Vasemman reunan puunäkymässä on päällimmäisenä Layers välilehti, josta näkyy, että malli-ikkunassa ovat näkyvissä tasot Geometry ja Labels. Tehdään seuraavaksi mallin välitallennus Save painikkeesta tai File valikosta.

Laskentamallin ominaisuudet:

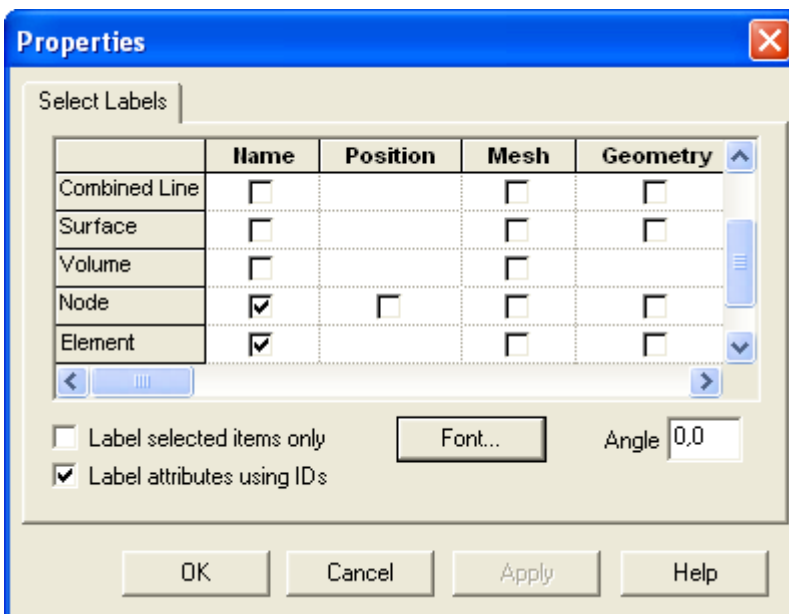
Laskentamallin ominaisuudet tehdään Attributes valikosta. Ominaisuuksia ovat mm. verkot (Mesh), geometriat (Geometric), materiaalit (Material), tuennat (Support) ja kuormitukset (Loading). Kun ominaisuus tehdään Attributes valikosta, se tulee näkyviin puunäkymän Attributes välilehdelle (kolmas vasemmalta). Ominaisuuksia liitetään geometriaan valitsemalla ensin halutut geometriset objektit malli-ikkunassa hiiren vasemmalla näppäimellä (monivalinta Shift näppäimen avulla tai ikkunoimalla) ja vetä-

mällä sitten ominaisuus hiiren vasen näppäin alas painettuna puunäkymästä malli-ikkunaan ja pudottamalla se sinne (pudotuskohdalla ei ole väliä).

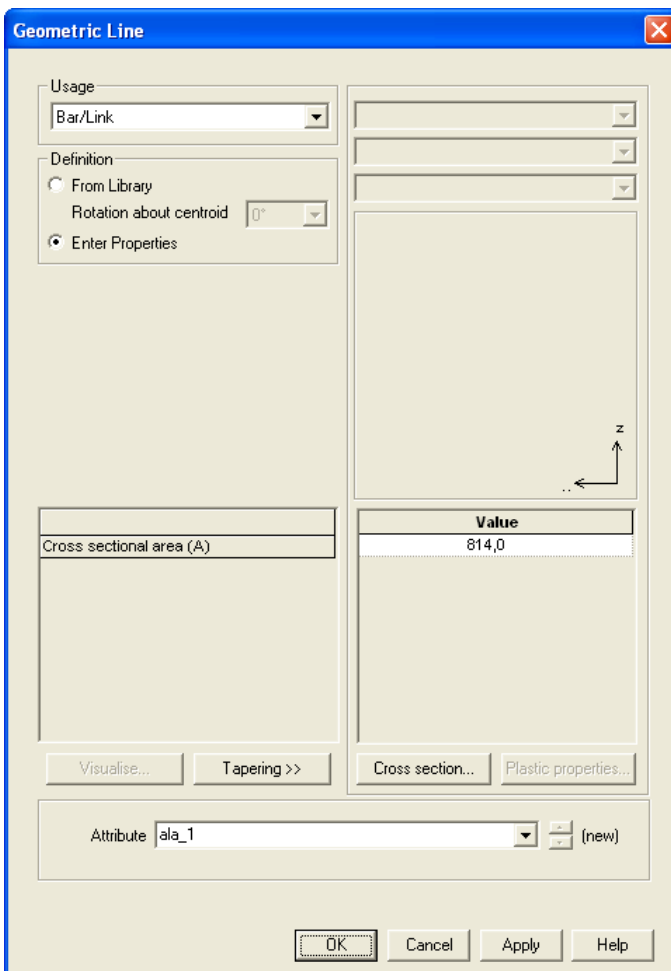
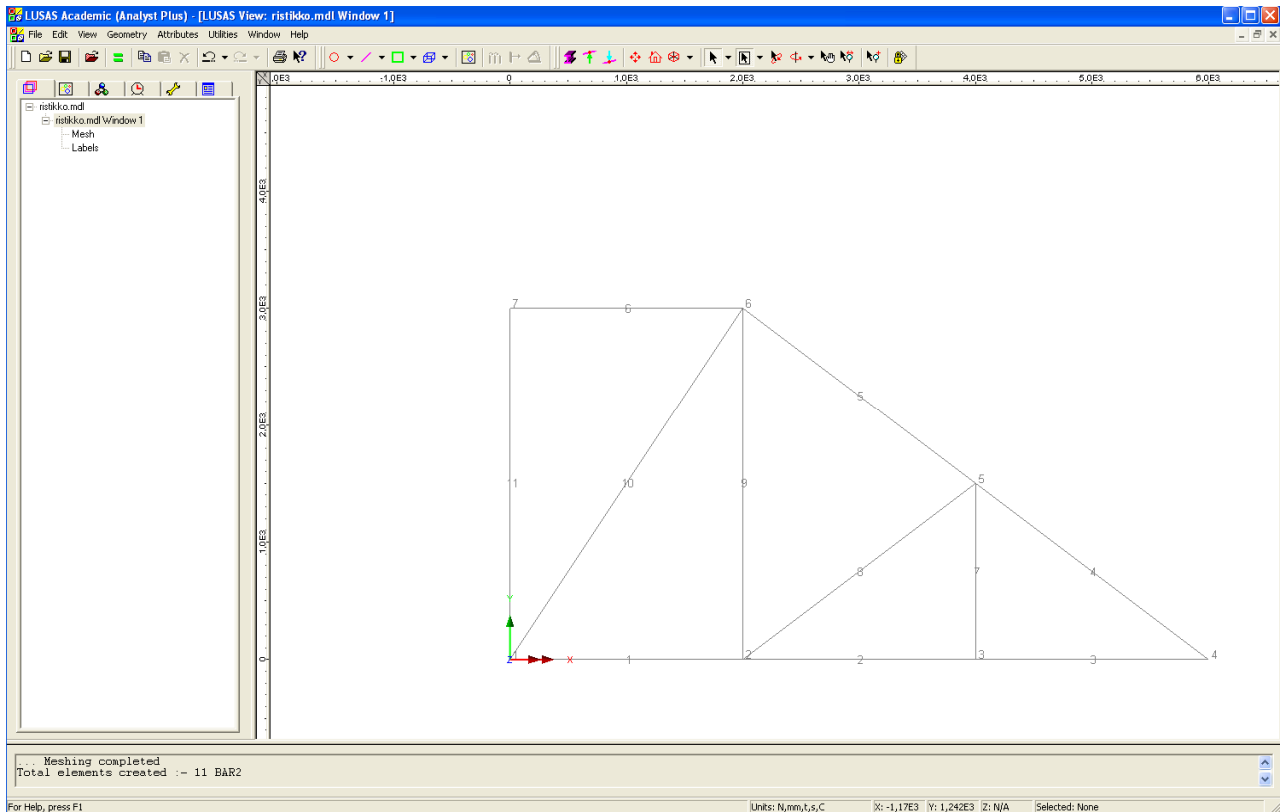


Tehdään viivoihin liitettävä tasoristikon sauvaelementti-verkko. Valitaan Attributes > Mesh > Line... ja täytetään avautuva Line Mesh ikkuna viereisen kuvan mukaisesti. Tässä tapauksessa jokaiseen viivan tulee vain yksi elementti, mikä näkyy kohdasta Number of divisions. Huomaa, että puunäkymä siirtyy Attributes välilehdelle ja tehdyn verkon nimi tulee näkyviin.

Liitetään tehty verkko kaikkiin viivoihin. Valitaan kaikki viivat ja vedetään ja pudotetaan puunäkymästä verkon nimi (verkko_1) malli-ikkunaan. LUSAS tekee nyt viivoihin elementtiverkon, jota voidaan tarkastella malli-ikkunassa.



Siirrytään puunäkymässä Layers välilehdelle ja poistetaan tasot Geometry ja Labels (valitaan hiirellä ja painetaan Delete näppäintä). Lisätään malli-ikkunan pikavalikosta Mesh taso ja hyväksytään sen Properties ikkuna oletusasetuksin (OK). Lisätään edelleen Labels taso, jonka Properties ikkunassa valitaan Node Name ja Element Name sekä muutetaan Font... painikkeen avulla fonttikooksi 12. Verkko ja sen numerointi on seuraavan kuvan mukainen.



Verkon tarkastelun jälkeen poistetaan Mesh ja Labels taso ja otetaan näkyviin Geometry taso (hyväksytään Properties ikkuna oletusasetuksin), jotta voidaan liittää geometriaan lisää ominaisuuksia.

Tehdään tarvittavat kaksi poikkipinta-ala Attributes valikosta.

Valitaan Attributes > Geometric > Line... ja Geometric Line ikkunasta Usage pudotusvalikosta Bar/Link. Annetaan ensin Value kohdassa ensimmäinen poikkipinta-ala ja nimitään ominaisuus (ala_1), painetaan Apply näppäintä (ikkuna ei sulkeudu).

Geometric Line

Usage: Bar/Link

Definition: ☐ From Library, ☒ Enter Properties, Rotation about centroid: 0°

UK Sections: Universal Beams (BS4), 127x76x13kg UB

Cross sectional area (A):

Value
642,0

Visualise... Tapering >> Cross section... Plastic properties...

Attribute: ala_2 (new)

OK Cancel Apply Help

Tehdään sitten toinen poikkipinta-ala (ala_2) ja painetaan OK näppäintä (ikkuna sulkeutuu). Tehdyt geometriat tulevat näkyviin puunäkymän Attributes välilehdelle.

Liitetään poikkipintojen geometriaominaisuudet seuraavaksi viivoihin. Valitaan sauvoja AB, BC, CD, DE, EF, FG ja GA vastaavat viivat malli-ikkunaan ja vedetään puunäkymästä ala_1 malli-ikkunaan ja pudotetaan sinne. Napsautetaan hiirellä malli-ikkunan tyhjää kohtaa valinnan poistamiseksi. Valitaan sauvoja AF, BF, BE, ja CE vastaavat viivat ja vedetään puunäkymästä ala_2 malli-ikkunaan ja pudotetaan sinne. Viivoihin liitettyillä sauvaelementeillä on nyt poikkipintatiedot.

Isotropic

Using the following properties:

☐ Plastic ☐ Creep ☐ Damage ☐ Shrinkage ☐ Viscous ☐ Two phase

Elastic: ☐ Dynamic properties, ☐ Thermal expansion

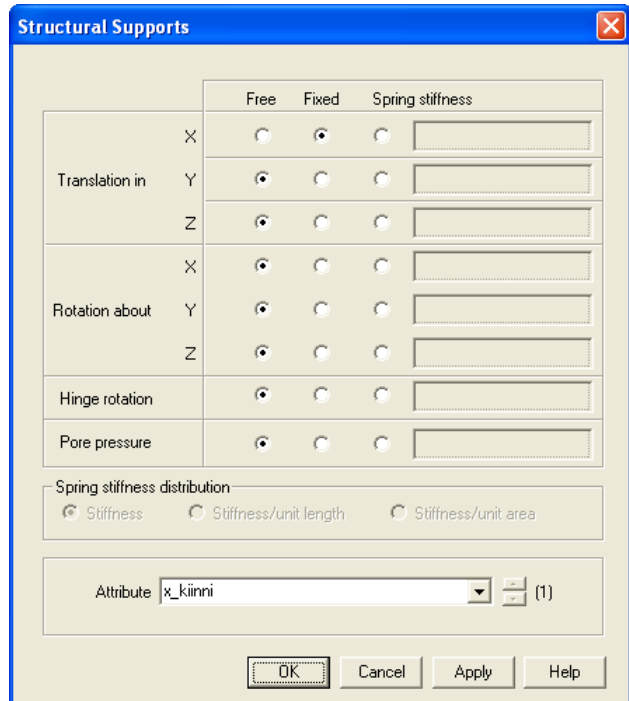
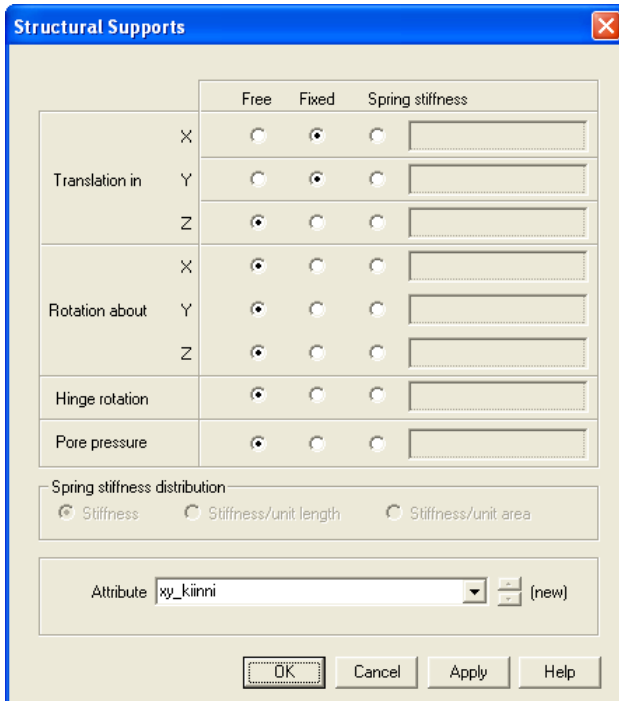
	Value
Young's modulus	210000
Poisson's ratio	
Mass density	

Attribute: teras (new)

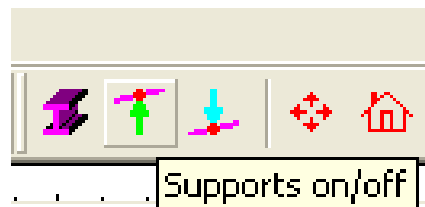
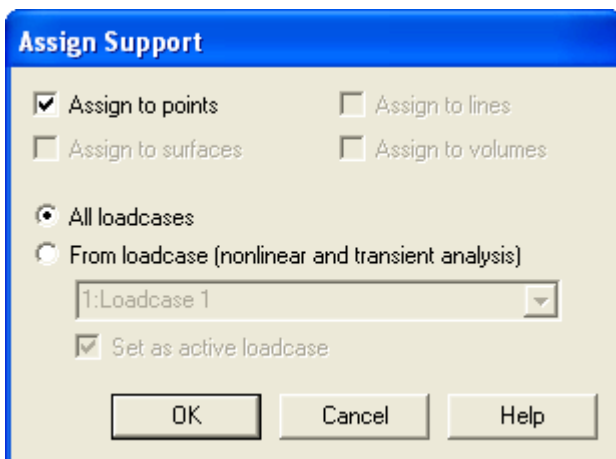
OK Cancel Apply Help

Tehdään tarvittava materiaali Attributes valikosta. Valitaan Attributes > Material > Isotropic..., annetaan Isotropic ikkunassa kimmomodulin arvo ja nimetään materiaali viereisen kuvan mukaisesti. Napsauttamalla OK painiketta, materiaali teras tulee puunäkymän Attributes välilehdelle. Liitetään tehty materiaali kaikkiin viivoihin. Valitaan kaikki viivat ja vedetään ja pudotetaan puunäkymästä materiaalin nimi malli-ikkunaan. Viivoihin liitettyillä sauvaelementeillä on nyt materiaalitiedot.

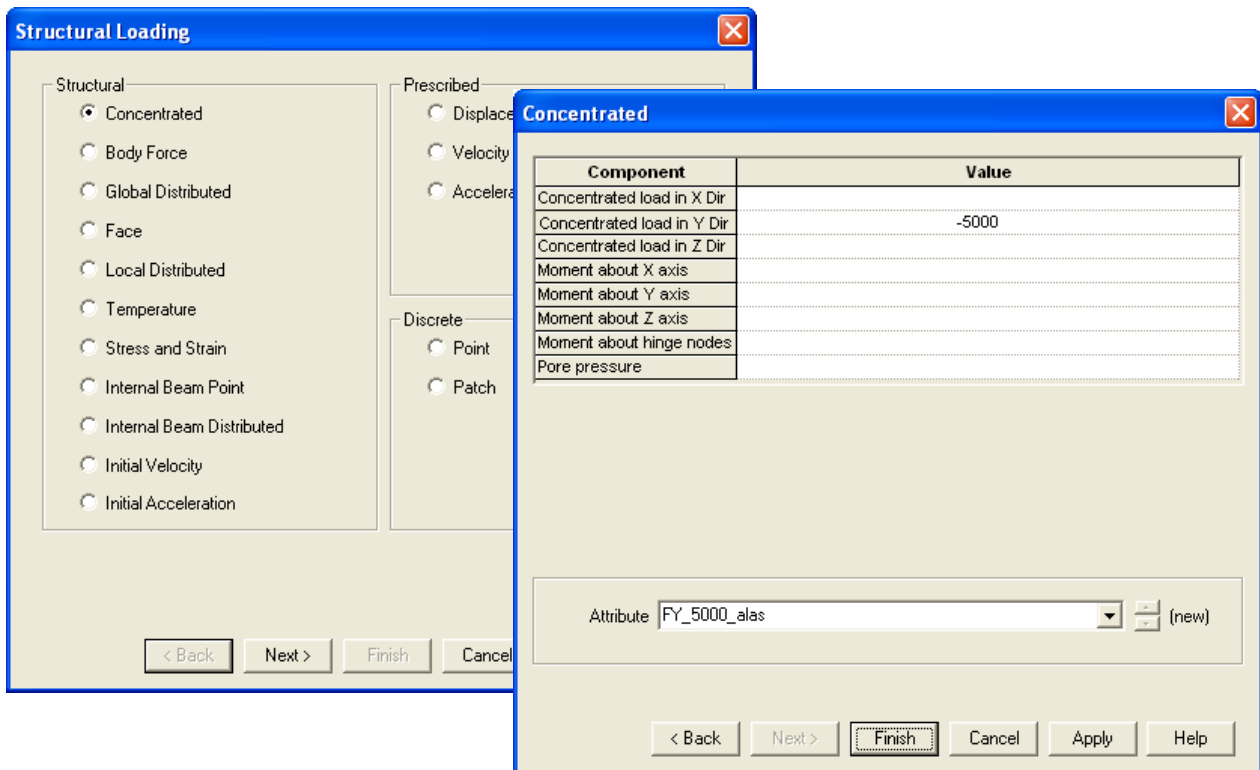
Seuraavaksi tehdään mallissa tarvittavat tuennat (kiinteä nivel nurkassa G ja liikkuva nivel nurkassa A). Valitaan Attributes > Support > Structural... ja tehdään Structural Supports ikkunassa tuennat xy_kiinni ja x_kiinni alla olevan kuvan mukaisesti.



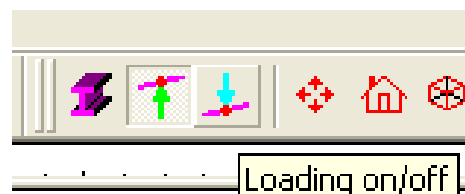
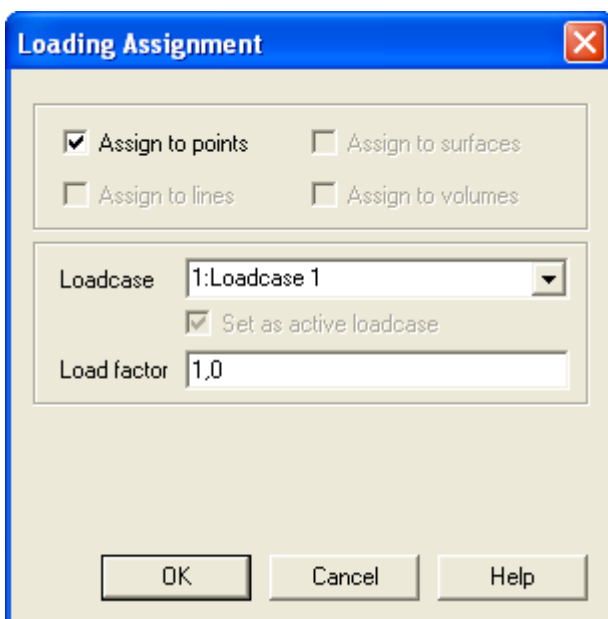
Liitetään tehdyt tuennat malliin. Valitaan nurkkaa G vastaava piste ja vedetään ja pudotetaan xy_kiinni puunäkymästä malli-ikkunaan. Napsautetaan hiirellä malli-ikkunan tyhjää kohtaa valinnan poistamiseksi. Valitaan nurkkaa A vastaava piste ja vedetään ja pudotetaan x_kiinni puunäkymästä malli-ikkunaan. Kummankin pudottamisen yhteydessä tuleva Assign Support ikkuna hyväksytään oletusasetuksin. Tukipisteiden kohdalla olevista solmuista on nyt kiinnitetty tuentaa vastaavat vapausasteet. Tuentaa vastaavat nuolisymbolit tulevat malli-ikkunassa näkyviin napsauttamalla työkalurivin Supports on/off painiketta.



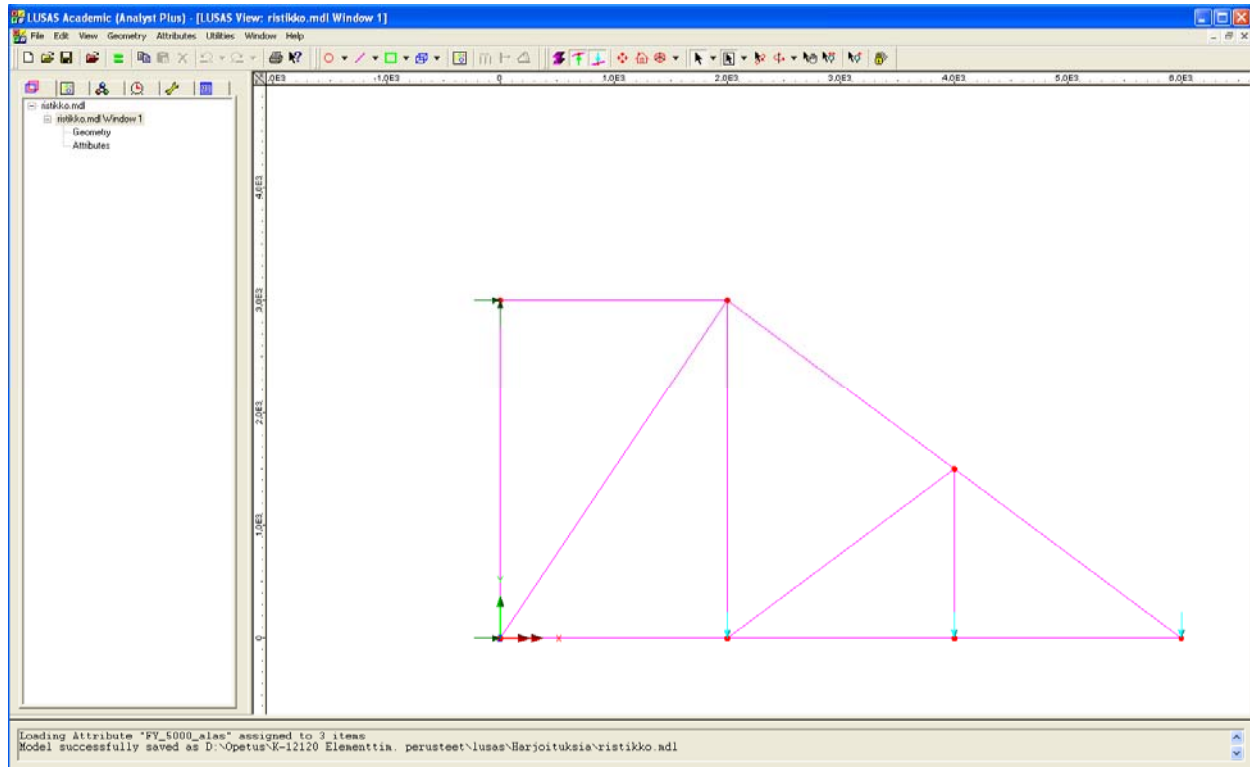
Lopuksi tehdään mallissa tarvittava pistekuormitus (5000 N nurkissa B, C ja D). Valitaan Attributes > Loading > Structural > valitaan Structural Loading ikkunassa Concentrated > Next > Annetaan Concentrated ikkunassa kuormituksen arvo ja nimitetään kuormitus (FY_5000_alas) > Finish.



Liitetään kuormitus malliin. Valitaan nurkkia B, C ja D vastaavat pisteet, vedetään ja pudotetaan FY_5000_alas puunäkymästä malli-ikkunaan. Pudottamisen yhteydessä tuleva Loading Assignment ikkuna hyväksytään oletusasetuksin. Kuormitetuissa solmuissa on nyt niihin kuuluvat voimat. Kuormitusta vastaavat symbolit tulevat malli-ikkunassa näkyviin napsauttamalla työkalurivin Loading on/off painiketta.



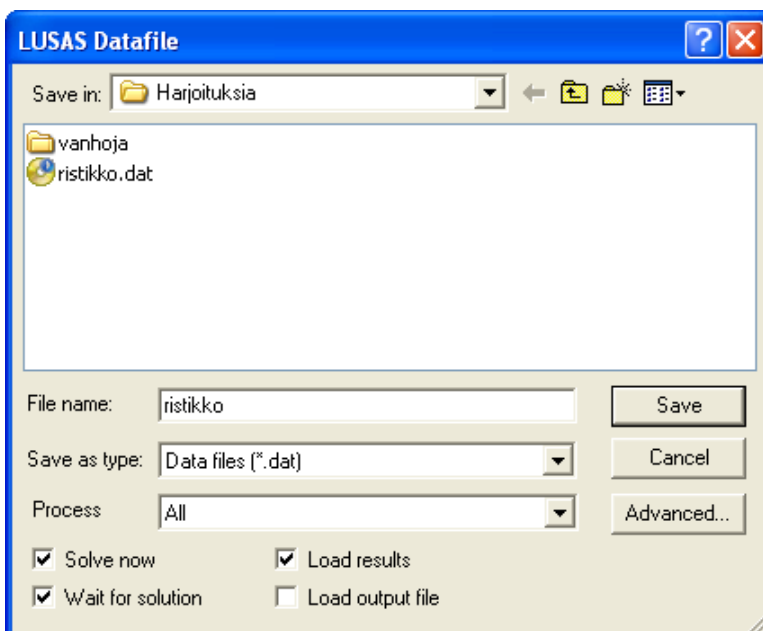
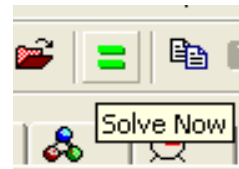
Seuraavassa kuvassa on malli-ikkunassa Geometry taso ja tuentaa ja kuormituksia havainnollistavat nuolisymbolit.



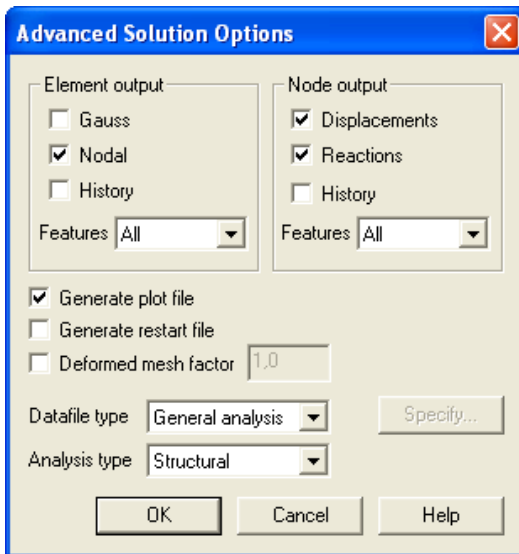
Laskentamalli on valmis, joten tallennetaan se Save painikkeesta tai File valikosta.

Tehtävän ratkaiseminen:

Ratkaisu suoritetaan LUSAS Solver ohjelmalla, jonka voi käynnistää työkalurivin Solve Now painikkeesta. Tällöin ratkaisu tehdään oletusasetuksin.



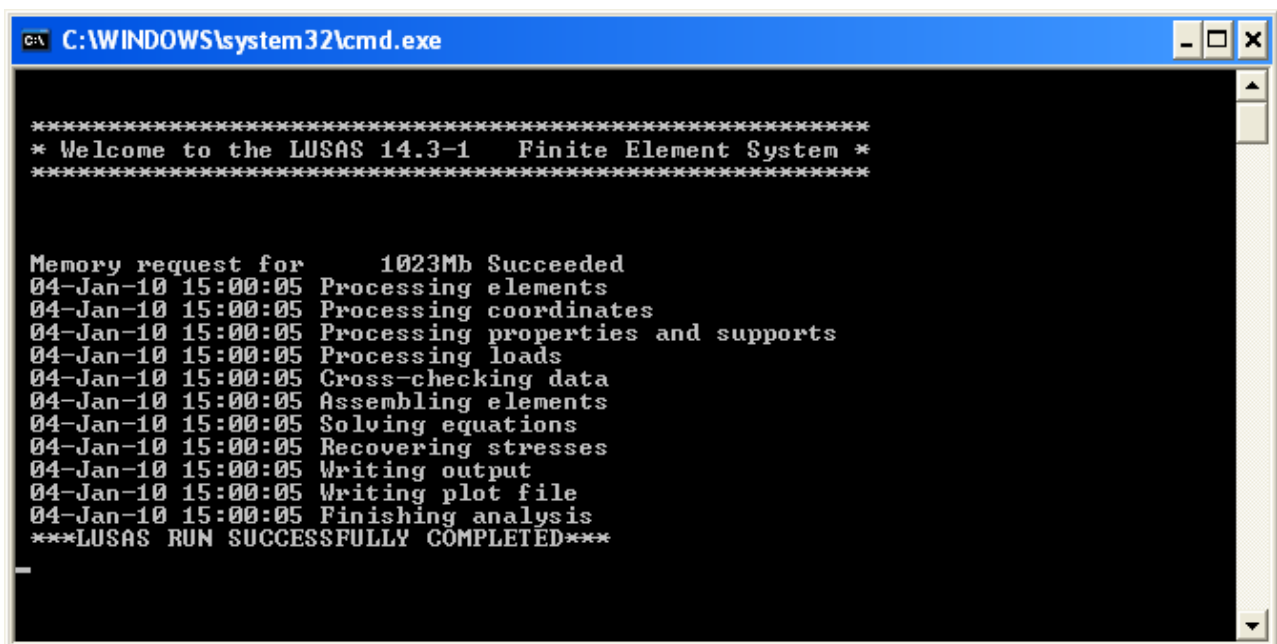
Toinen mahdollisuus käynnistää ratkaisu on valita File valikosta vaihtoehto LUSAS Datafile..., jolloin voidaan tarvittaessa muuttaa asetuksia. Käynnistyttyään jälkeen avautuu LUSAS Datafile ikkuna.



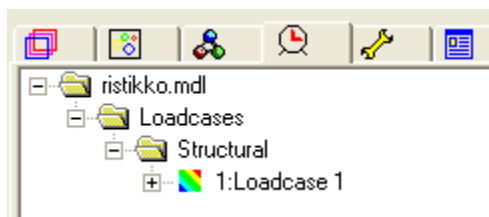
LUSAS Datafile ikkunan Advanced painikkeesta avautuu Advanced Solution Options ikkuna, joka täytetään kuvan mukaisesti, jolloin tulostiedostoon tulevat elementtien normaali-voimat sekä solmusiirtymät ja tukireaktiot

Hyväksytään LUSAS Datafile ikkuna oletusasetuksin Save painikkeesta, jolloin LUSAS tallentaa ratkaisijaa varten dat-syöttötiedoston. Tehdävän ratkaisu suoritetaan välittömästi, kun Solve now on valittuna. Ratkaisun aikana ei voi operoida LUSASilla, kun Wait for solution on valittuna. Kun Load results on valittuna, LUSAS avaa ratkaisussa syntyvän mys-tulostiedoston mdl-mallitiedostoon.

Ratkaisun aikana näkyy mustapohjainen ratkaisu-ikkuna, johon tulee näkyviin ratkaisun vaiheita kuvaavia ilmoituksia. Jos ratkaisu onnistuu, viimeinen ilmoitus on LUSAS RUN SUCCESSFULLY COMPLETED. Jos mallissa on virheitä tai ratkaisu ei muuten onnistu, päättyy ratkaisuyritys virheilmoitukseen. Virheilmoituksia saa tarkempaa tietoa avaamalla malliin liittyvä out-tiedosto tekstieditoriin, jolloin mallissa olevat virheet löytyvät yleensä helposti.



Kun malli on ratkaistu onnistuneesti, palataan LUSAS Modelleriin. LUSAS Datafile ikkunassa tehdyn valinnan Load results johdosta mys-tulostiedosto avautuu mdl-mallitiedoston ohella, joka näkyy puunäkymän Loadcases välilehdellä (neljäs vasemmalta, Loadcase 1). Tulosten tarkastelu eli jälkikäsitely on näin mahdollista.

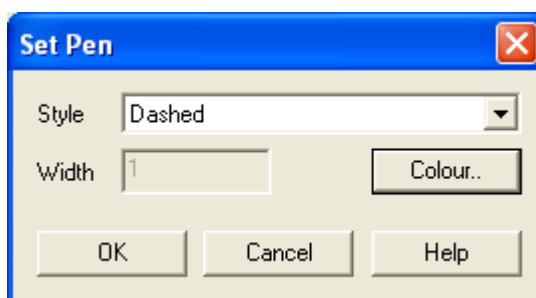
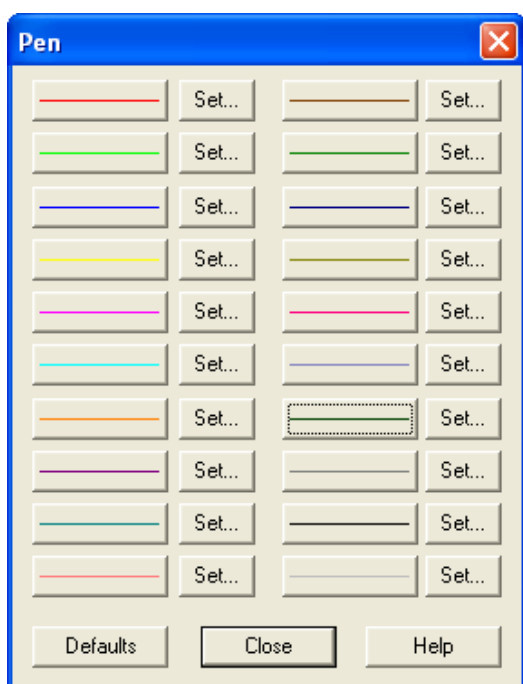
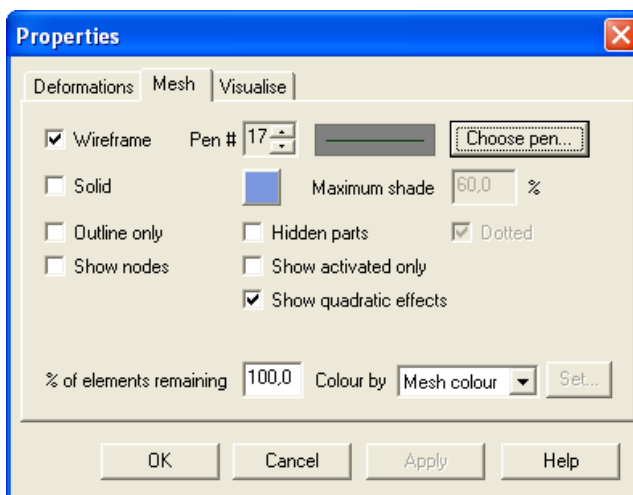
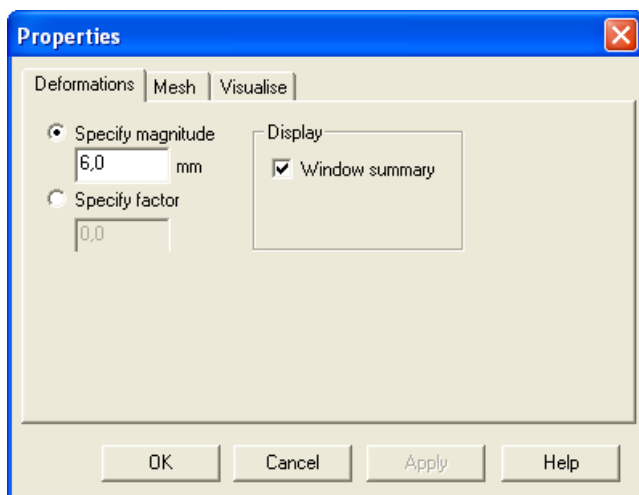


mys-tulostiedosto voidaan avata yksinäänkin LUSAS Modelleriin jälkikäsittelyä varten, mutta tällöin mallin muuttaminen ei ole mahdollista. Kaikki muutokset malliin tehdään mdl-tiedoston ollessa avoimena LUSAS Modellerissa.

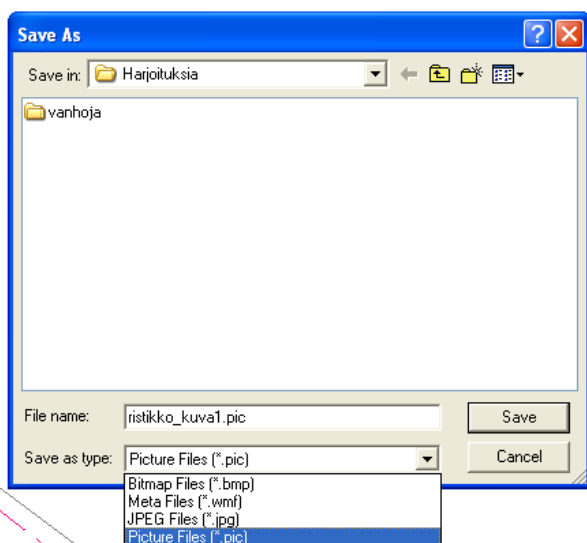
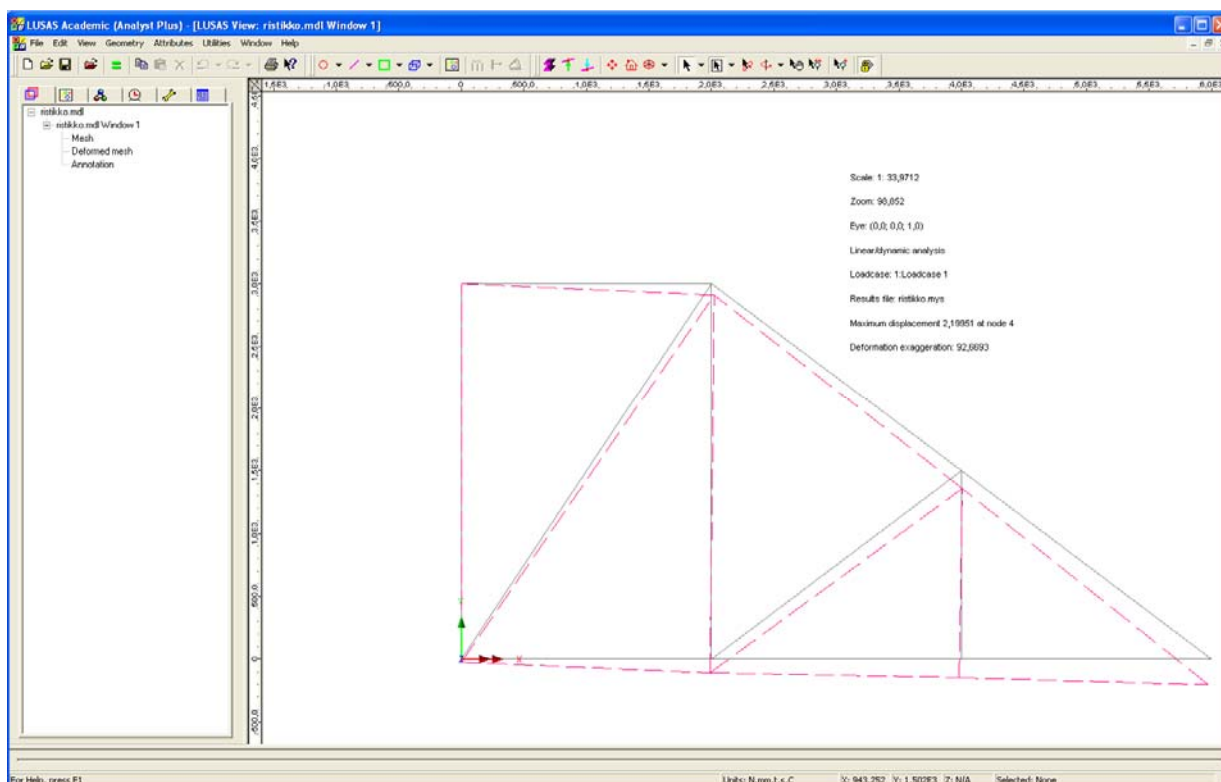
Jälkikäsittely:

Myös jälkikäsittelyssä voidaan laatia kuvia esim. verkosta ja sen numeroinneista tai kuormituksesta ja tuennasta, kuten jo esikäsittelyvaiheessa tuli esille.

Laaditaan ristikon siirtymäkuva. Otetaan malli-ikkunaan näkyviin aluksi vain Mesh taso ja sitten vielä Deformed Mesh taso. Jälkimmäisen tason Properties ikkunan välilehdellä Deformations ruksataan kohta Window summary ja välilehdellä Mesh valitaan sopiva kynä muodonmuutoskuvan piirtämiseen.



Kynän asetusten muuttamiseksi klikataan Choose Pen... painiketta, klikataan avautuvan Pen ikkunan jotain Set... painiketta, annetaan viivan tyyli ja paksuus Set Pen ikkunassa, klikataan Choose Pen ikkunan vastaavaa viivapainiketta, jolloin palataan Properties ikkunan Mesh välilehdelle. Piirretään Deformed Mesh klikkaamalla OK painiketta (seuraava kuva).

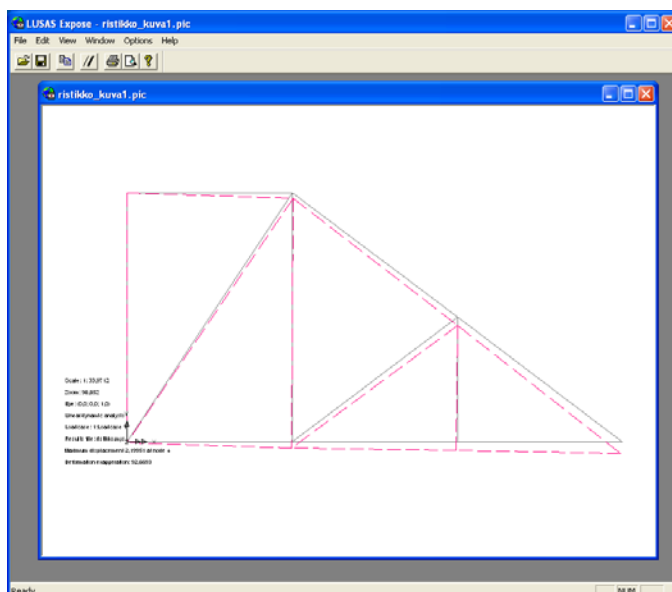


sekä nimeämällä tiedosto ja valitsemalla tiedoston tyyppi. LUSAS Exposen tiedostotyyppi on *.pic. Muut mahdolliset tallennustyypit näkyvät yllä olevasta kuvasta.

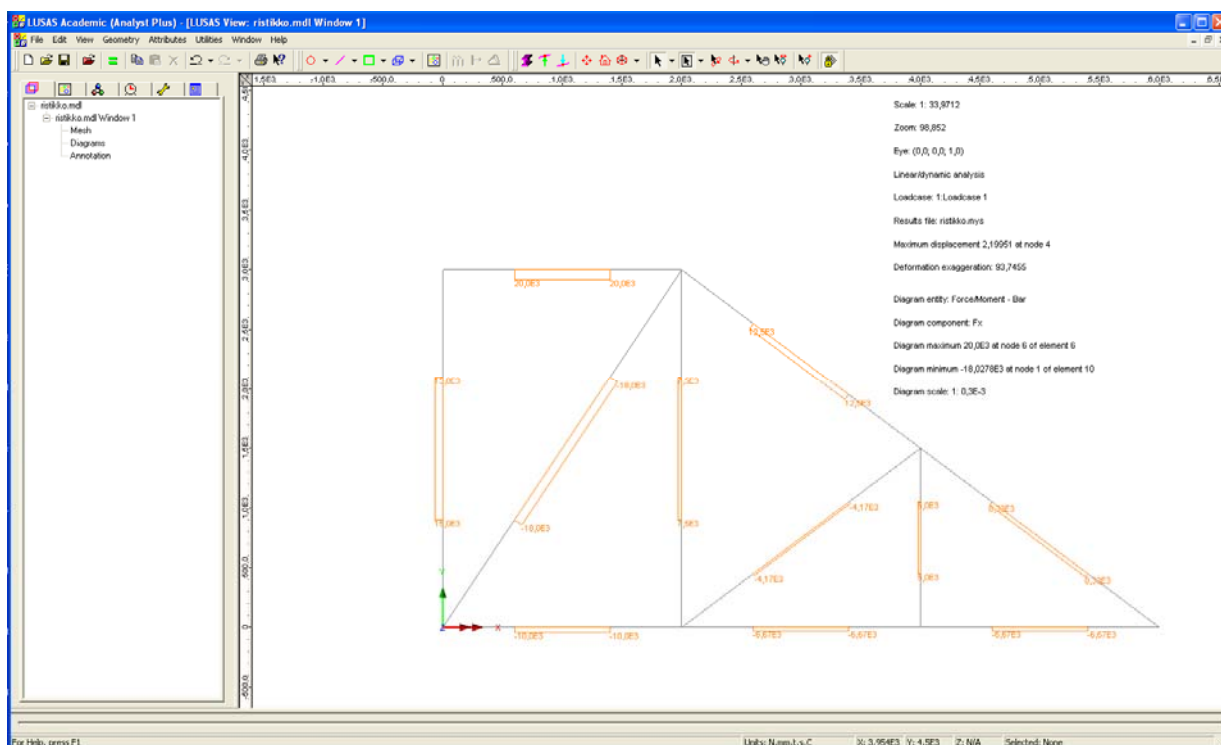
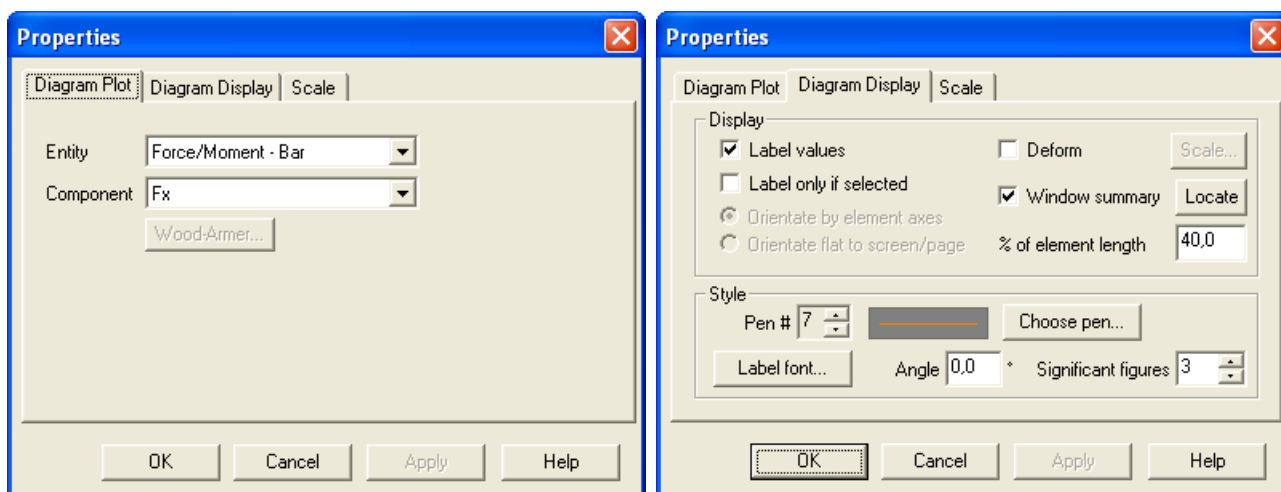
Viereisessä kuvassa on edellä olevasta siirtymäkuvasta tallennettu tiedosto ristikko_kuva1.pic avattu LUSAS Expose ohjelmaan.

Laadittu muodonmuutoskuva (kuten muutkin malli-ikkunaan laaditut kuvat) voidaan tulostaa paperille File valikosta tai työkalurivin tulostuspainikkeesta tai liittää tekstidokumenttiin kopioi-liitä toiminnolla tavanomaiseen Windows tyyliin.

Pitempiaikaiseen käyttöön tarkoitetut kuvat tallennetaan kuvatiedostoiksi, joita voidaan myöhemmin tarkastella esim. LUSAS Expose ohjelmalla. Kuva tallennetaan tiedostoksi valitsemalla File > Picture Save....

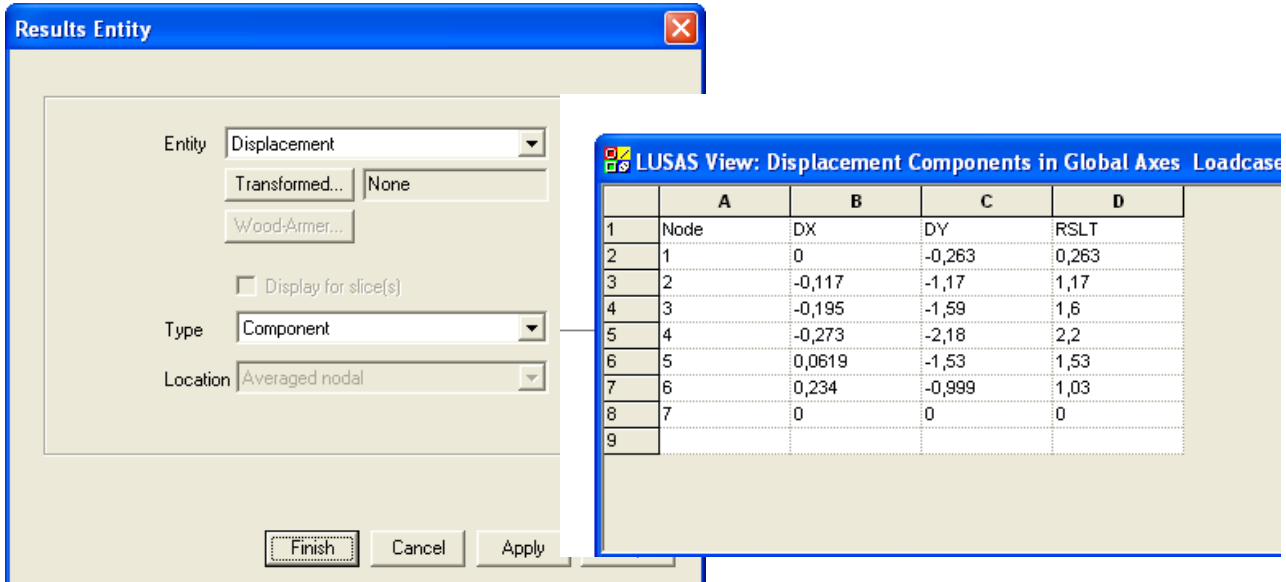


Laaditaan ristikon normaalivoimakuva. Otetaan malli-ikkunaan näkyviin aluksi vain Mesh taso ja sitten Diagrams taso. Jälkimmäisen tason Properties ikkunan Diagram Plot välilehdellä valitaan Force/Moment - Bar ja Fx ja Diagram Display välilehdellä ruksataan Label values ja Window summary, asetetaan % of element length arvoon 40 ja Significant figures arvoon 3. Valitaan sopiva kynä ja piirretään normaalivoimakuva klikkaamalla OK painiketta.

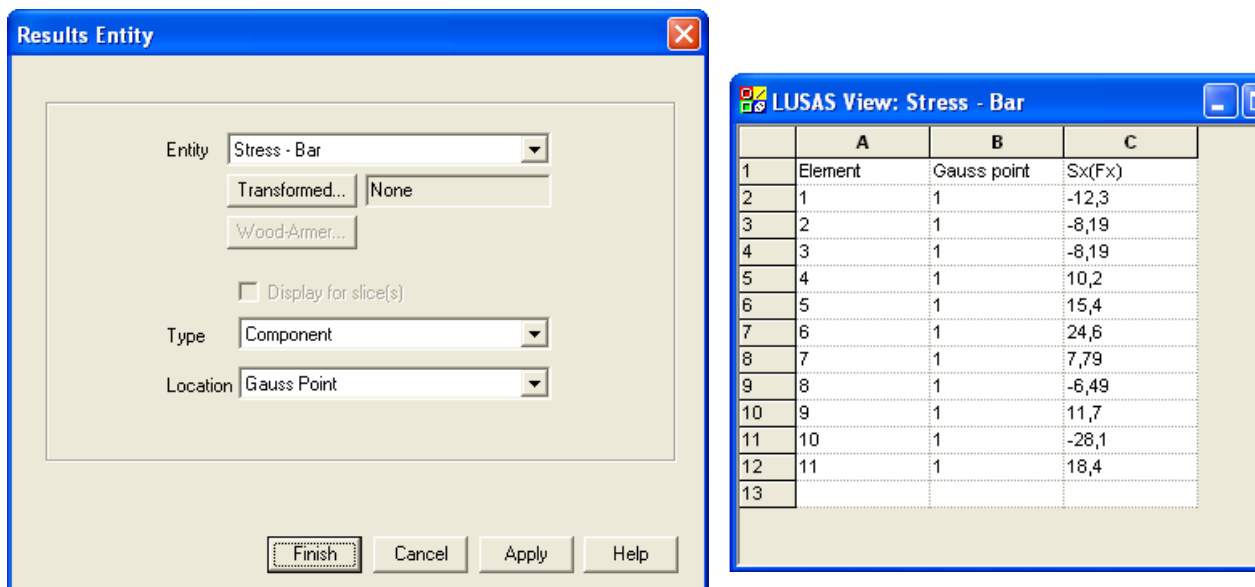


Tallennetaan normaalivoimakuva tiedostoksi, valitaan File > Picture Save.... ja annetaan tiedostonimeksi ristikko_kuva2.pic.

Kuvien lisäksi jälkikäsittelyssä voidaan laatia valittuja tuloksia sisältäviä tekstitiedostoja. Tehdään tekstitiedosto, joka sisältää solmusiirtymät. Valitaan Utilities valikosta Print results wizard... ja valitaan aukeavassa Results Entity ikkunassa Displacement ja Component. Klikataan Finish painiketta, jolloin aukeaa halutut tulokset sisältävä ikkuna.



Tehdään tekstitiedosto, joka sisältää elementtien normaalijännitykset. Valitaan Utilities valikosta Print results wizard... ja valitaan Results Entity ikkunassa Stress – Bar, Component sekä Gauss Point. Klikataan Finish painiketta, jolloin aukeaa halutut tulokset sisältävä ikkuna.



Tulosikkuna tallennetaan tekstitiedostoksi valitsemalla File > Save As Text. Tulostuksen sisällön voi tulostaa paperille myös suoraan LUSASin File valikosta.