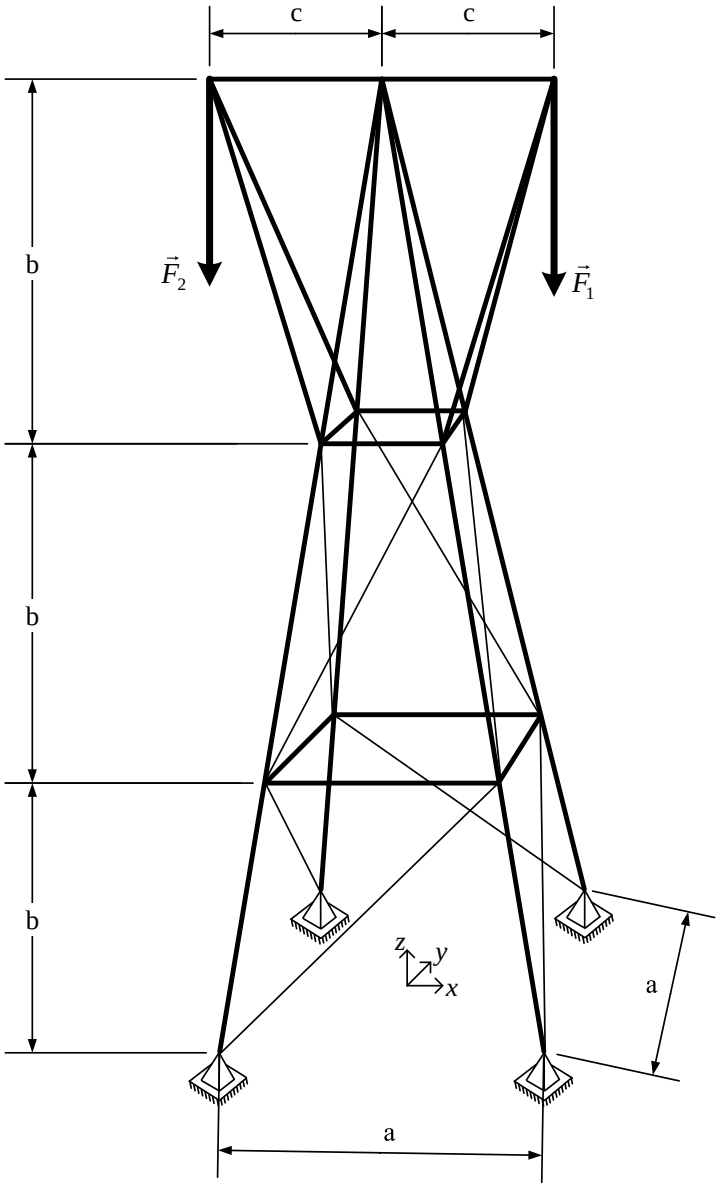
SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

ALKALMAZOTT MECHANIKA TANSZÉK

Végeselem módszer 2. gyakorlat
térbeli rácsos tartó



Adott:

A szerkezet geometriai méretei:

$a = 2\ \mathrm{m}$

$b = 4\ \mathrm{m}$

$c = 4\ \mathrm{m}$

Anyag: $E = 2{,}1 \cdot 10^5\,\mathrm{MPa} = 2{,}1 \cdot 10^{11}\,\mathrm{Pa}$,

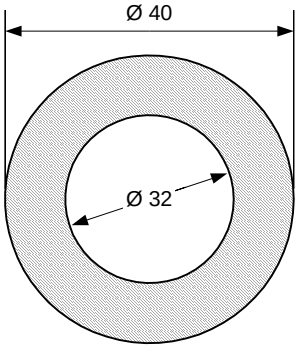
$\nu = 0{,}3$,

Terhelés: $\vec{F}_1 = \left(-4000\,\vec{k}\right)\mathrm{N}$

$\vec{F}_2 = \left(-2000\,\vec{k}\right)\mathrm{N}$

Rúd keresztmetszet területe:

$T = 452{,}389\,\mathrm{mm}^2 = 452{,}389 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2$



Rácsos szerkezet:

a rudak kapcsolódási pontjaiban (a csomópontokban) csuklók vannak és ebből következően: a rudakban csak rúderő lép fel, a rúderő értéke állandó.

Mechanikai állapotok:

Elmozdulásmező: $\vec{u}\left(\xi\right) = w\left(\xi\right)\vec{e}_\xi$

Igénybevétel: $\vec{F}_S = N\vec{e}_\xi,\ \vec{M}_S = \vec{0}$

Feszültségeloszlás a keresztmetszet mentén: $\sigma_\xi = \frac{N}{A} = \text{áll.}$

Terhelés: minden erőt egy terhelési esetben kell figyelembe venni.
Végeselem modell: húzott-nyomott, lineáris rúdelem.
Végeselem felosztás: rudanként egy végeselemet kell figyelembe venni.

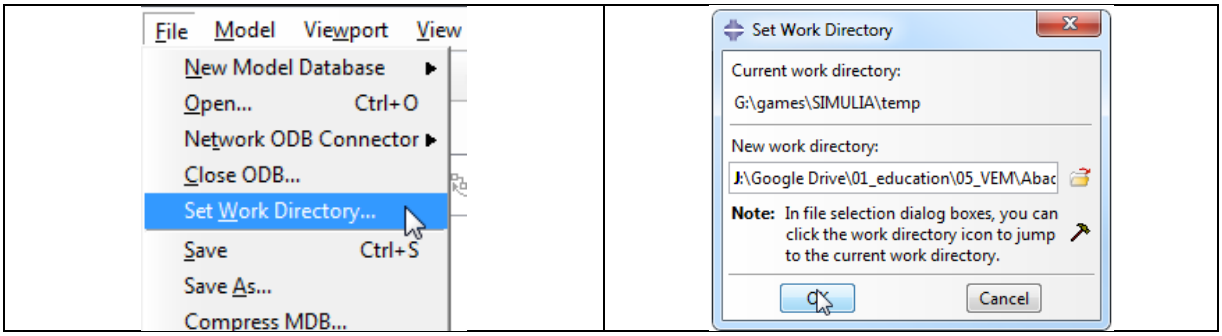
Meghatározandó:

- A tartó alakváltozása, a rudak középvonalainak elmozdulásai.
- Támasztóerők.
- A rudakban ébredő rúderők.

Szemléltetés:

- A szerkezet deformáció utáni alakjának kirajzoltatása.
- A csomóponti elmozdulások értékeinek kiíratása.
- A legnagyobb elmozdulás helyének megkeresése és elmozdulás értékének kiíratása.
- Az elmozdulások szemléltetése a deformálatlan alakon vektorokkal.
- Rúderők nagyságának meghatározása.
- Maximális rúderő meghatározása.
- Az összes rúderő kiíratása.

Indítsuk el az Abaqus CAE programot. Adjuk meg a munkakönyvtárat a **File ► Set Work Directory…** paranccsal. A megjelenő ablakban a New work directory alá írjuk/másoljuk be a munkakönyvtárunk helyét, vagy válasszuk ki a A select… ikonnal. Ezután OK-zuk le az ablakot.



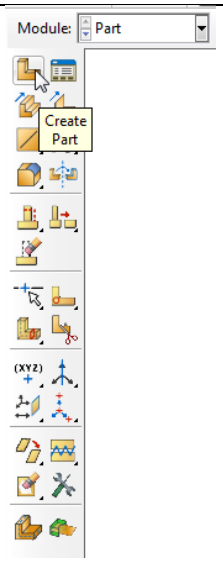
A MODULE | PART geometria megrajzolása

A program megnyitása után alapértelmezésként a Part Modulban vagyunk. Ez a Modul szolgál a geometria létrehozására. Ehhez az alábbi lépéseket kövessük:

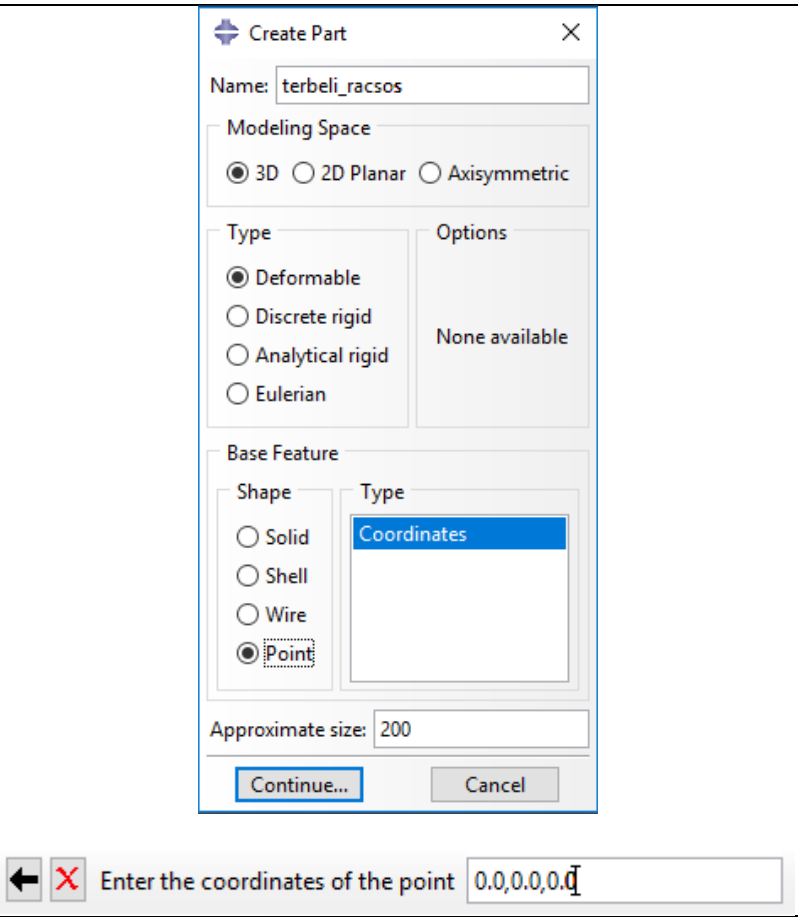
1. Az eszköztárból kattintsunk a **Create Part** ikonra. Az ennek hatására megjelenő Create Part ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:
   - A Name után írjuk be az alkatrészünk nevét, legyen **terbeli_racsos** tartó.
   - A Modeling Space alatt válasszuk ki, hogy síkbeli, azaz **3D** geometriát szeretnénk rajzolni.
   - A Type alatt hagyjuk az alapértelmezett kijelölést a **Deformable** előtt, mivel alakváltozásra képes geometriát szeretnénk.
   - A Base Feature alatt válasszuk a **Point**-ot,.
   - Az Approximate size-ot, tehát a modellünk méretét itt is beállíthatnánk, most hagyjuk az alapértelmezett 200-on.

   A fenti beállítások elvégzése után kattintsunk lent a **Continue…** gombra.

   Ez után a beviteli mezőben megjelenő **Enter the coordinates of the point** sorba adjuk meg **0,0,0** pont koordinátáit, majd kattintsunk a középső gombbal.

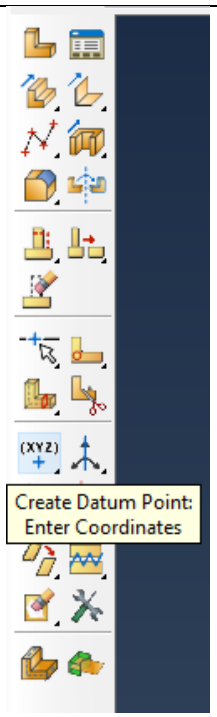


A1.1

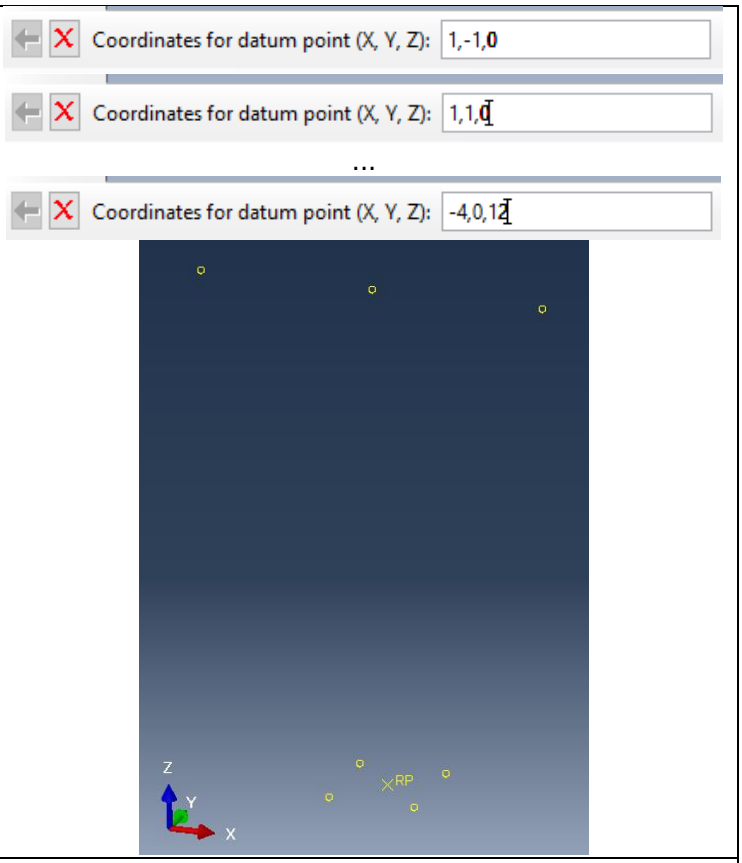


A1.2

2. A **Create Datum Point: Enter Coordinates** paranccsal adjuk meg a modell főbb pontjait az xyz koordinátáikkal egymás után. Ezek a következők:
    - (1,-1,0);
    - (1,1,0);
    - (-1,1,0);
    - (-1,-1,0);
    - (0,0,12);
    - (4,0,12);
    - (-4,0,12);

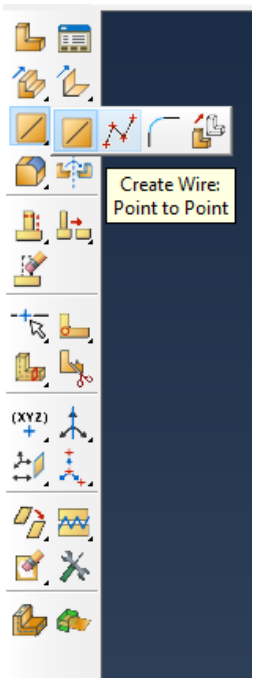


A2.1

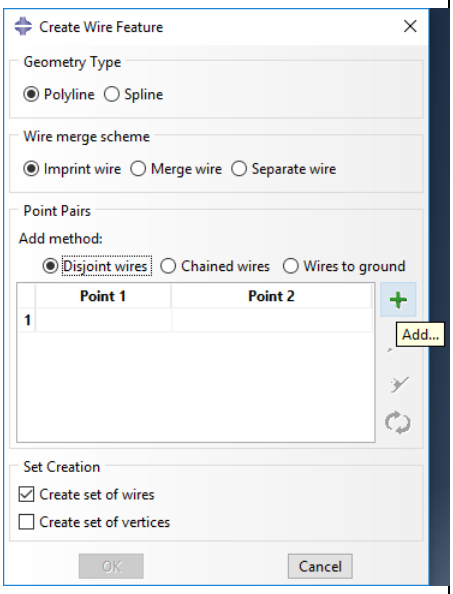


A2.2

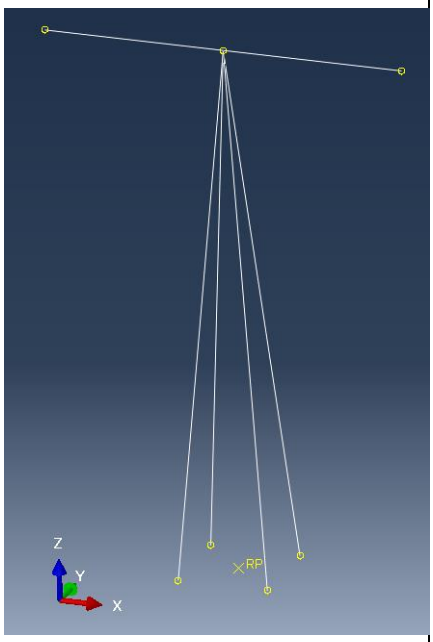
3. A geometria megrajzolásához válasszuk az eszköztárból a **Create Wire: Point to Point** parancsot. A felugró ablakban a következő beállításokat végezzük el:
    - Az Add method sornál válasszuk a **Disjoint wires** opciót.
    - Majd kattintsunk a jobb oldalon lévő zöld plusz ikonra, vagyis az **Add…** ikonra.
    - Ezután jobb gombbal jelöljük ki egymás után azokat a pontokat, amiket össze akarunk kötni. (Érdemes az alsó négy pontot a felsővel úgy összekötni, hogy mindig az alsó pontot jelöljük ki először majd utána a felsőt) Ha létrehoztuk az 5 vonalat, akkor kattintsunk a középső gombbal.
    - Végül a felugró ablakon kattintsunk az **OK**-ra.



A3.1

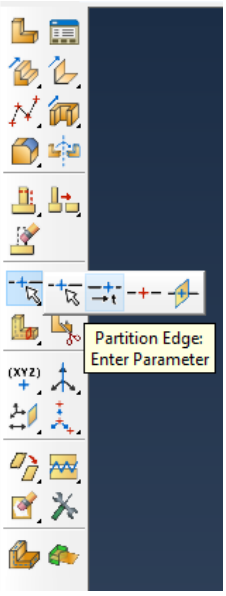


A3.2

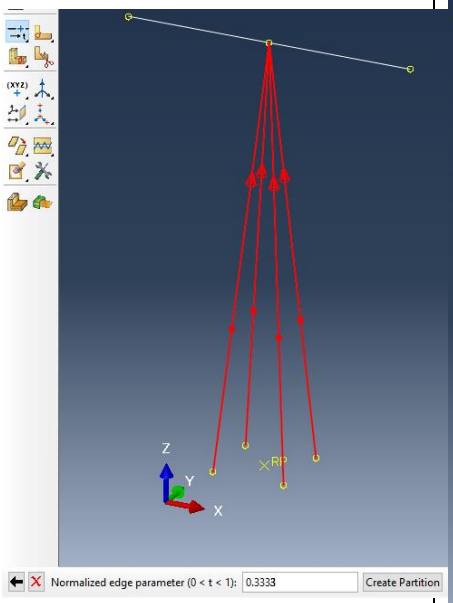


A3.3

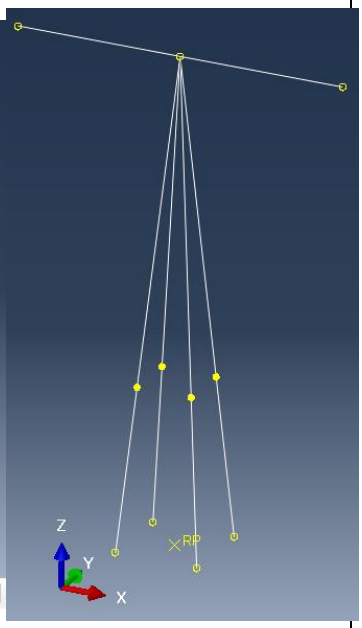
4. A következő lépésben felvágjuk a 4 db ferde rudat, három részre. Ehhez válasszuk a **Partition Edge: Enter Parameter** parancsot. Ezután a következőket végezzük el:
    - Válasszuk ki a felvágandó rudakat (4db-ot) majd fogadjuk el a kijelölést középső gombbal.
    - Alul a beviteli mezőben a Normalized edge parameter-nél adjuk meg a **0.3333** értéket, majd kattintsunk a **Create Partition** gombra. Ezzel létrehoztuk aaz alsó harmadoló pontokat.
    - Ezután ne lépjünk ki a parancsból, hanem jelöljük ki a felvágott rudak felső részét majd fogadjuk el a kijelölést a középső gombbal.
    - Alul a beviteli mezőben a Normalized edge parameter-nél adjuk meg a **0.5** értéket, majd kattintsunk a **Create Partition** gombra. Ezzel létrehoztuk a felső harmadoló pontokat.
    - Végül középső gombra kattintva lépjünk ki a parancsból.



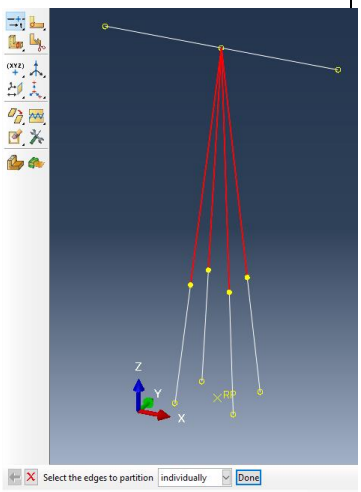
A4.1



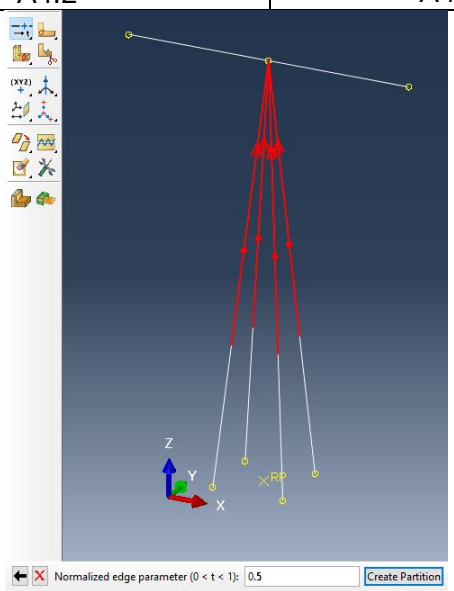
A4.2



A4.3

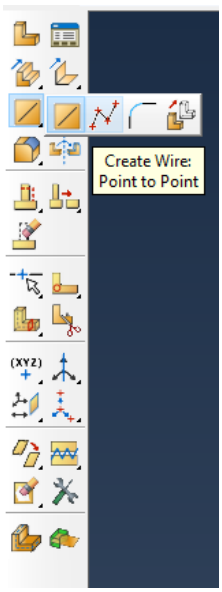


A4.4

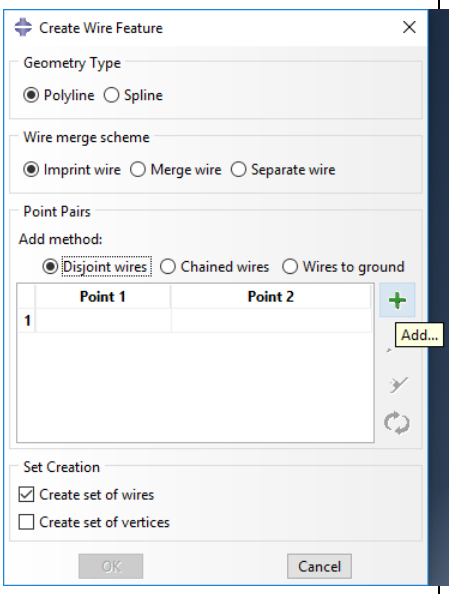


A4.5

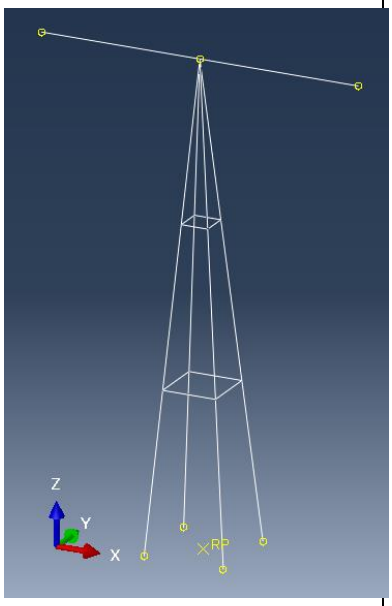
5. A geometria megrajzolását a hiányzó rudak megrajzolásával fejezzük be. Válasszuk az eszköztárból a **Create Wire: Point to Point** parancsot. A felugró ablakban a következő beállításokat végezzük el:
    - Az Add method sornál válasszuk a **Disjoint wires** opciót.
    - Majd kattintsunk a jobb oldalon lévő zöld plusz ikonra, vagyis az **Add…** ikonra.
    - Ezután jobb gombbal jelöljük ki egymás után azokat a pontokat, amiket össze akarunk kötni. A hibák elkerülése végett érdemes több lépésben létrehozni a vonalakat pl. először a 8db vízszintes rudat utána a felső harmadoló pontokat a felső két ponttal összekötőket (4db) végül pedig a maradékot (8db). Ha létrehoztuk a hiányzó vonalat, akkor kattintsunk a középső gombbal.
    - Végül a felugró ablakon kattintsunk az **OK**-ra.



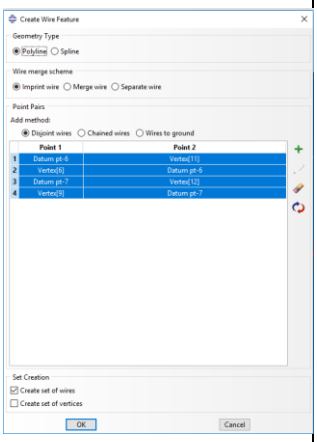
A3.1

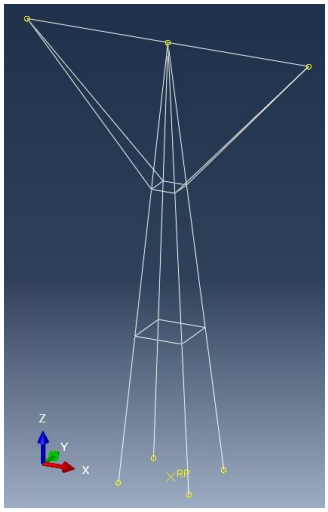


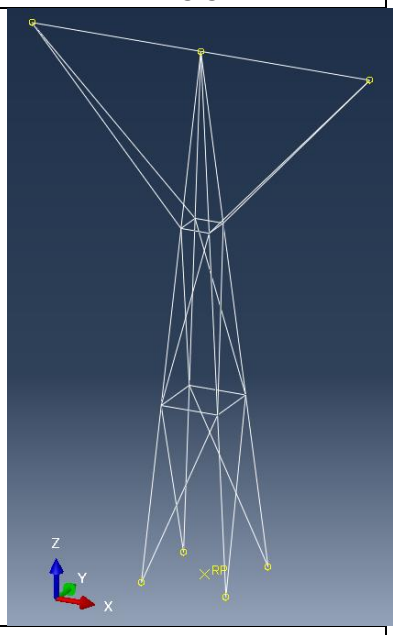
A3.2



A3.3



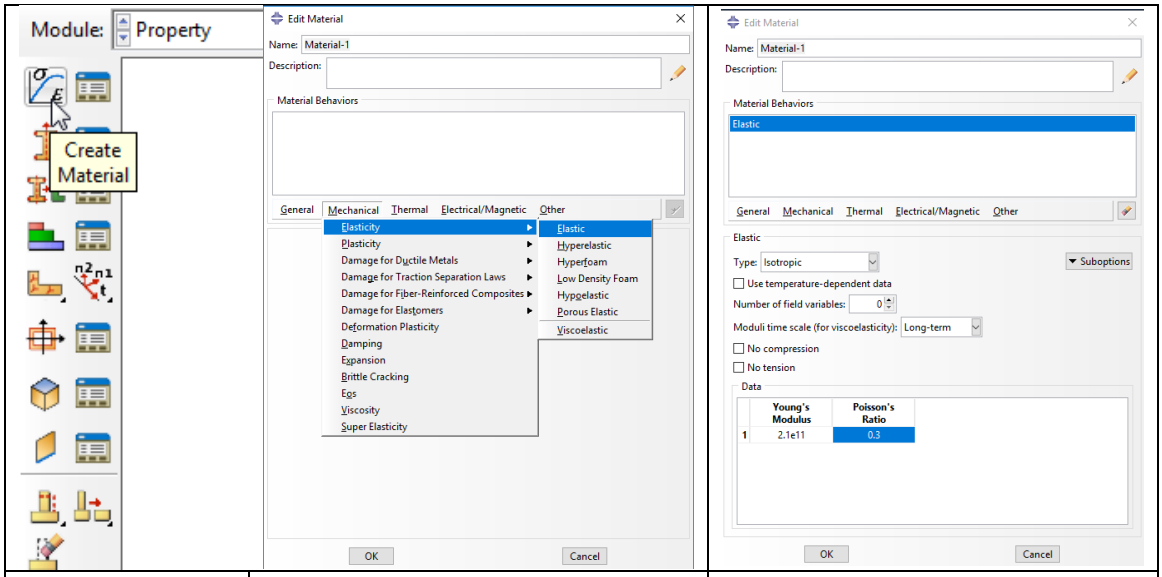




B MODULE | PROPERTY tulajdonságok megadása

Válasszuk ki fent a Property modult. Itt tudjuk megadni az anyagjellemzőket, illetve rúd esetén a keresztmetszeti jellemzőket. Ehhez az alábbi 3 lépésen kell végmenni:

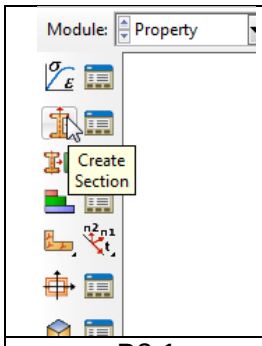
1. <u>Anyag definiálása</u>: Első lépésként egy anyagot kell definiálnunk. Ehhez a Property modul eszköztárából kattintsunk a **Create Material** ikonra. A megjelenő Edit Material ablakban végezzük el a következő beállításokat:
    - Nevezzük el az anyagot: a Name: után írjuk be, hogy acél
    - A lineárisan rugalmas anyagjellemzők megadásához a Material Behaviors mezőben adjuk ki a **Mechanical ► Elasticity ► Elastic** parancsot
    - Az ekkor megjelenő Elastic mezőben az alábbi beállításokat végezzük el:
        - A Type mellett hagyjuk az alapértelmezett Isotropicot (az anyagtulajdonságok irányfüggetlenek)
        - A lenti Data táblázatban a **Young's Modulus** alá írjuk be a rugalmassági tényezőt, azaz **2.1e11** (Pa) –t, a **Poisson's Ratio** alá pedig a Poisson tényezőt, azaz **0.3**-at.



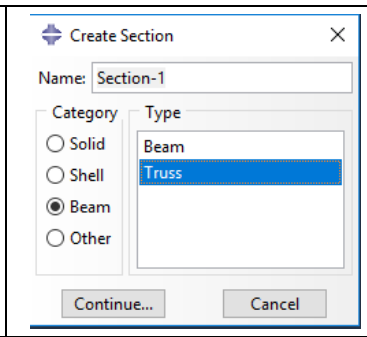
B1.1	B1.2	B1.3

2. <u>Keresztmetszet definiálása</u>: A Property Modul eszköztárából kattintsunk a Create Section ikonra. Az ekkor megjelenő Create Section ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:
    - Nevezzük el a keresztmetszetet.
    - A Category alatt válasszuk ki a **Beam** –t (rúd)
    - A Type alatt válasszuk a **Truss** –t (húzott-nyomott rúd)

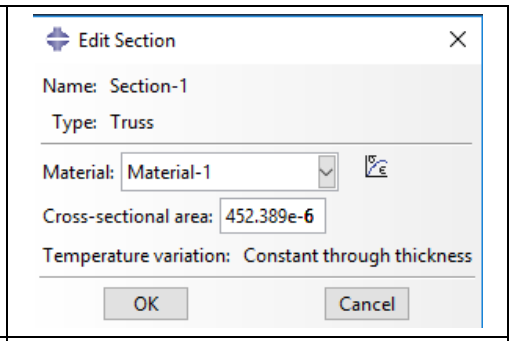
    Ezután kattintsunk a **Continue**… gombra. Az ekkor megjelenő Edit Section ablakban a Material mellett megjelent az előző pontban definiált acél (többféle anyag esetén itt választhatnánk ki a kívánt anyagot) A Cross-section area mellé írjuk be a keresztmetszet területét, azaz **452.389e-6** (m^2) –t. Ezután kattintsunk az **OK** gombra.



B2.1

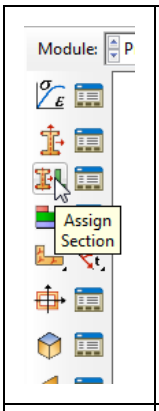


B2.2

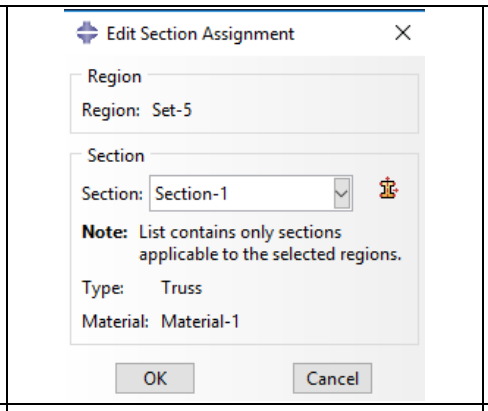


B2.3

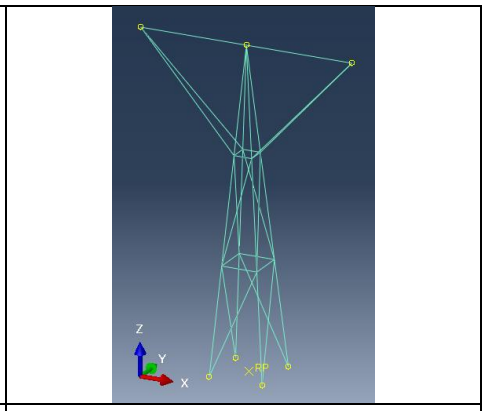
3. <u>Keresztmetszet rudakhoz rendelése</u>: A 2. pontban a kersztmetszethez már hozzárendeltük az anyagot, így most már csak az előző pontban definiált keresztmetszetet kell hozzárendelni a rudakhoz. Ehhez kattintsunk a Property modul eszköztárából az **Assign Section** ikonra. Ezután jelöljük ki az egész rácsos tartót, majd a lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra. Ekkor megjelenik az Edit Section Assignement ablak, ahol kiválaszthatjuk a keresztmetszetet. Mivel csak egy keresztmetszetet definiáltunk, hagyjuk a Section melletti kör kersztmetszetet és csk **OK**-zuk le az ablakot.



B3.1



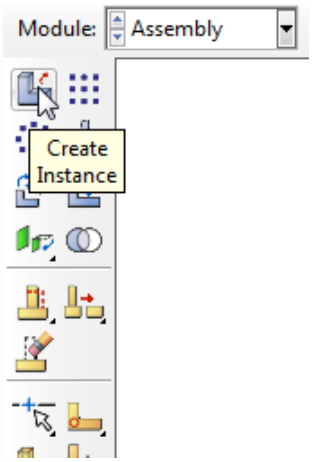
B3.2



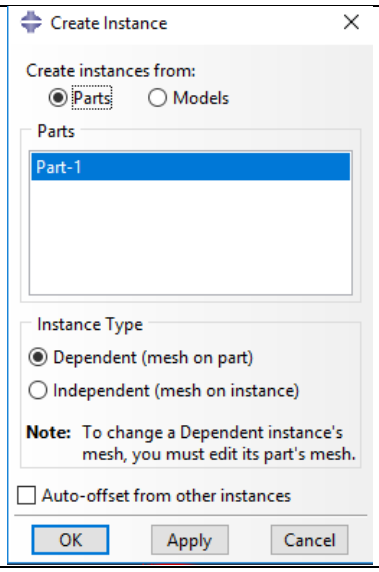
B3.3

C MODULE | ASSEMBLY összeállítás

Ennek a lépésnek több alkatrészből álló szerkezetek esetében van igazán jelentősége, mivel itt tudjuk létrehozni az összeállítást. Jelenleg csak egy alkatrészünk van, ennek ellenére nem hagyható ki a lépés, készítenünk kell egy egy alkatrészből álló összeállítást. Ehhez kattintsunk az Assembly modul **Create Instance** ikonjára, majd a megjelenő ablakot **OK**-zuk le.



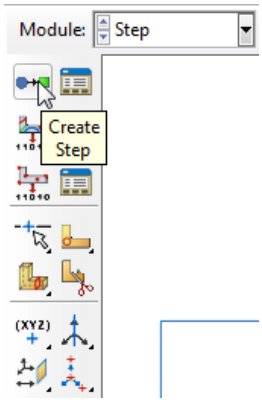
C1



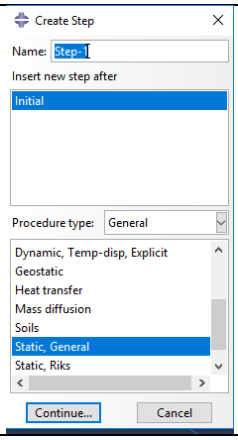
C2

D MODULE | STEP lépések megadása

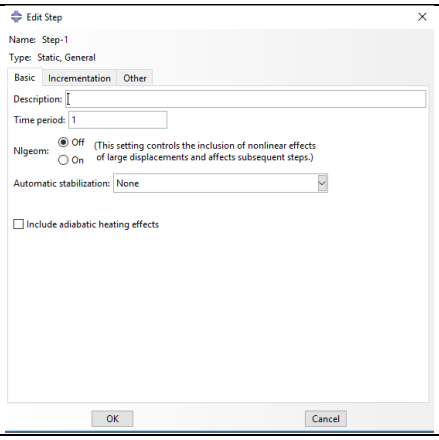
A Step modulban a végrehajtandó vizsgálat(ok) típusát (pl. statikus, dinamikus, hőtani…), azok részleteit és sorrendjét tudjuk beállítani. Jelenleg 1 db statikus lépést kell definiálnunk. Ehhez kattintsunk a Step modul **Create Step** ikonjára. a megjelenő Create Step ablakban nevezzük el a lépést: a Name: után írjuk be. A Procedure type-ot hagyjuk az alapértelmezett General – **Static, General** – on. Ezután kattintsunk a **Continue…** gombra, majd a megjelenő Edit Setup ablakban hagyjunk mindent alapértelmezésen, csak **OK**-zuk le.



D1



D2



D3

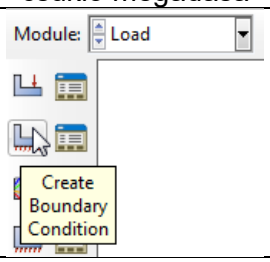
D MODULE | LOAD peremfeltételek megadása

A Load modulban tudjuk megadni a kinematikai peremfeltételeket (megfogásokat) és dinamikai peremfeltételeket (terheléseket). Jelen feladatban 4 megfogást (csukló) és 2 terhelést (2 koncentrált erő) kell definiálni.

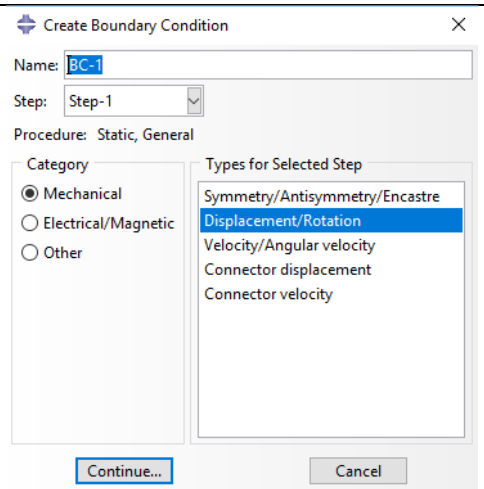
1. <u>megfogások definiálása</u>: (az alábbi lépéseket kétszer kell végcsinálni)
    - Kattintsunk a Load modul **Create Boundary Condition** ikonjára.

- A megjelenő Create Boundary Condition ablakban nevezzük el a megfogásokat. A Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a **Displacement/Rotation**-t. Ezután kattintsunk a **Continue…** gombra.
- Jelöljük ki a rajzon a csukló helyét (kijelöléskor egy kis piros pont jelenik meg a kijelölés helyén).
- A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done**-re
- Az ekkor megjelenő Edit Boundary Condition ablakban akadályozzuk meg csukló esetén az X és Y irányú, míg görgő esetén az Y irányú elmozdulást. Ehhez csukló esetén az **U1, U2** és **U3** előtti négyzeteket pipáljuk be. Ekkor az elmozduláshoz automatikusan bekerülnek a 0 értékek. **OK**-zuk le az ablakot.
- Ismételjük meg a fenti lépéseket még háromszor, hogy mind a négy csuklós megfogást megadjuk.

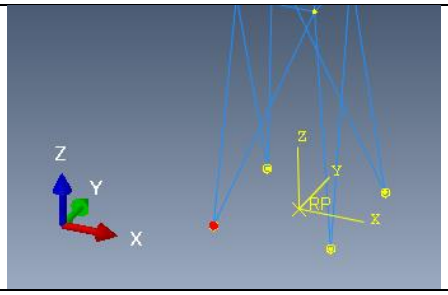
csukló megadása



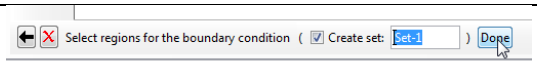
E1.1



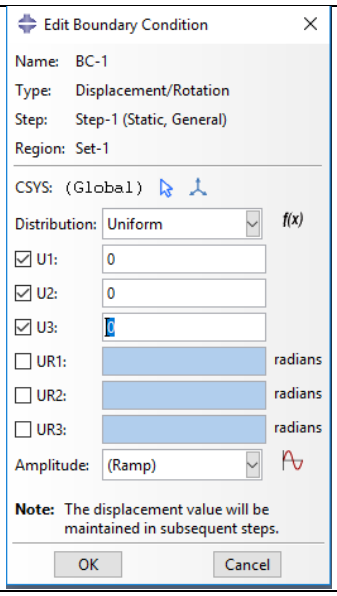
E1.2



E1.3

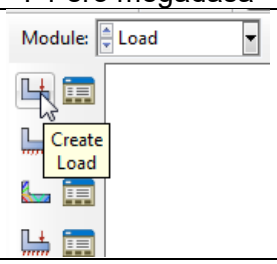
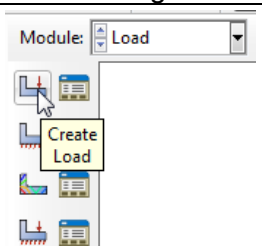


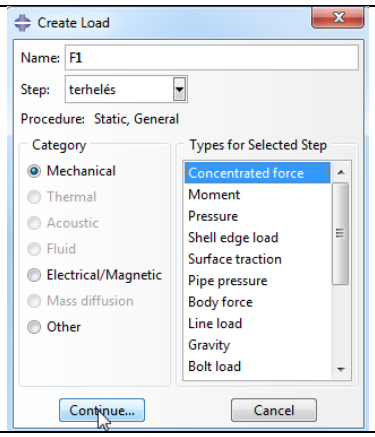
E1.4



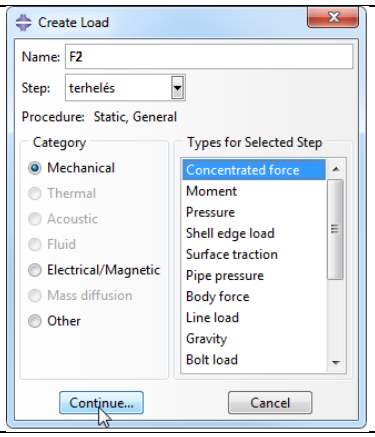
E1.5

2. <u>terhelések definiálása</u>: (az alábbi lépéseket 2-szer kell végcsinálni F1, és F2 –re)
   - Kattintsunk a Load modul **Create Load** ikonjára.
   - A megjelenő Create Load ablakban nevezzük el az erőt F1-nek és F2-nek. A Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a **Concentrated force**-t. Ezután kattintsunk a **Continue…** gombra.
   - Jelöljük ki a rajzon az F1, F2 helyét. (kijelöléskor egy kis piros pont jelenik meg a kijelölés helyén).
   - A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done**-re
   - Az ekkor megjelenő Edit Load ablakban adjuk meg az erőkomponensek nagyságát N-ban: (F1 erő esetén CF3=-4000, F2 esetén CF3=-2000)

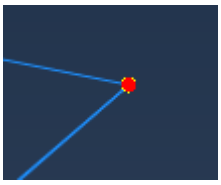
F1 erő megadása	F2 erő megadása
	
E2.1	E2.6



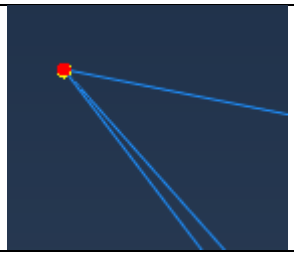
E2.2



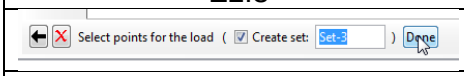
E2.7



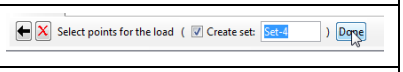
E2.3



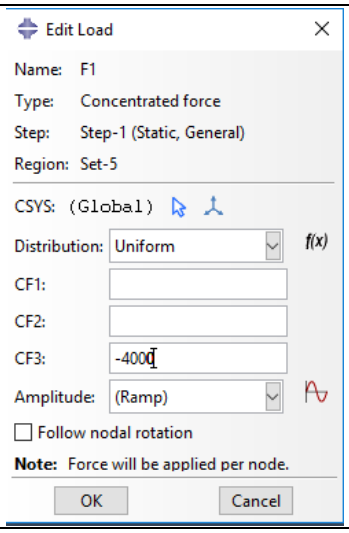
E2.8



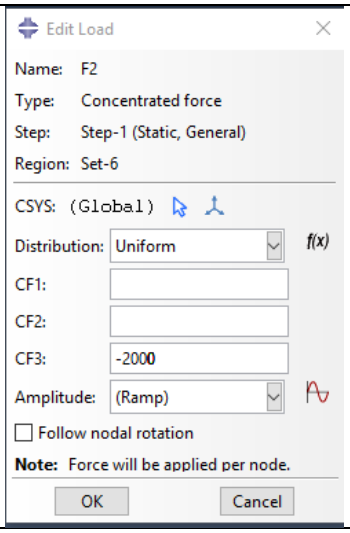
E2.4



E2.9



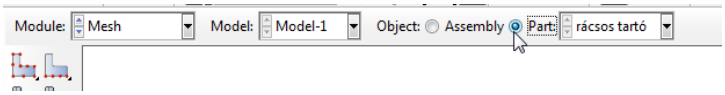
E2.5



E2.10

F MODULE | MESH háló elkészítése

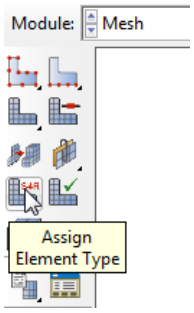
A végeselem hálót a Mesh modulban tudjuk elkészíteni. Legelőször fent az Object-et állítsuk át Part-ra, aminek hatására a Part mellett megjelenik a rácsos tartó felirat.



Ezután a hálózást az alábbi lépésekben végezzük el:

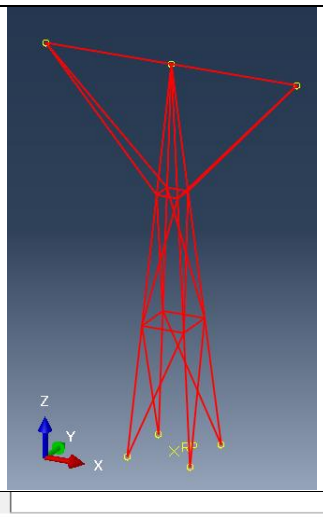
1. <u>Elemtípus megadása</u>:
   - Kattintsunk a Mesh modul **Assign Element Type** ikonjára.

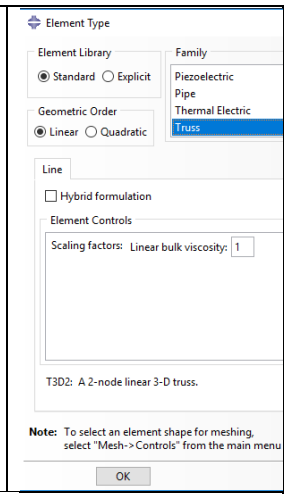
- Jelöljük ki a teljes rácsos tartót, mivel minden rúdhoz ugyanolyan elemtípust szeretnénk rendelni.
- A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra
- A megjelenő Element Type ablakban a Family-t állítsuk át alapértelmezésről **Truss**-ra, azaz húzott-nyomott rúdelemre (T2D2 típus), majd OK-zuk le az ablakot.



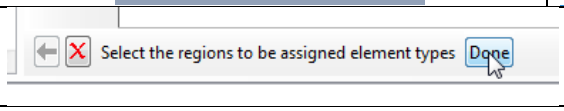
F1.1

F1.2



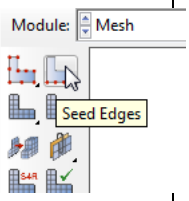


F1.3



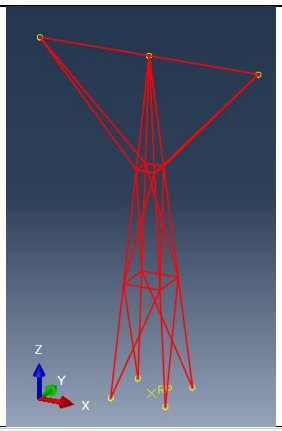
F1.4

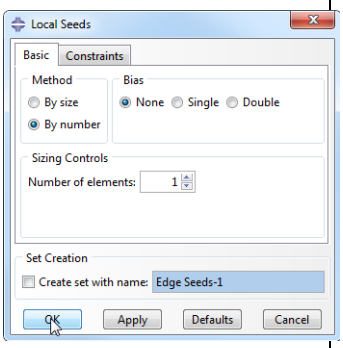
2. <u>Elemméret megadása</u>:
Mivel a rácsos tartó húzott-nyomott rudakból áll, célszerű 1 rudat 1 végeselemnek venni. Ehhez az alábbi lépéseket végezzük el:
    - Kattitnsunk a Mesh modul **Seed Edges** ikonjára.
    - Jelöljük ki az egész rácsos tartót.
    - A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra.
    - A megjelenő Local Seeds ablakban a Basic fülön a Method-ot állítsuk **By number**-re, a Sizing Controls mezőben pedig a Number of elements-et **1**-re. Ezután **OK**-zuk le az ablakot.



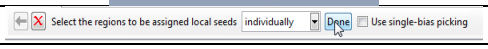
F2.1

F2.2



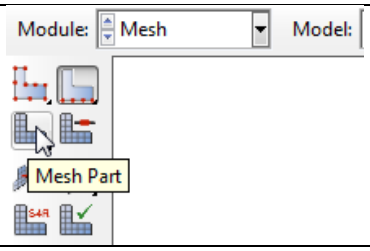


F2.3

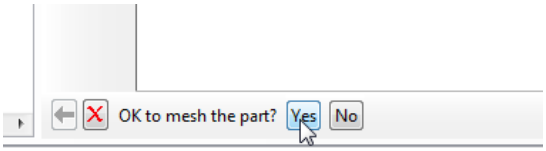


F2.4

3. <u>Végeselem háló elkészítése</u>:
A végeselem háló elkészítéséhez kattintsunk a Mesh modul eszköztárában a **Mesh Part** ikonra, majd a lenti beviteli mezőben az OK to mesh the part? mellett a **Yes** gombra.

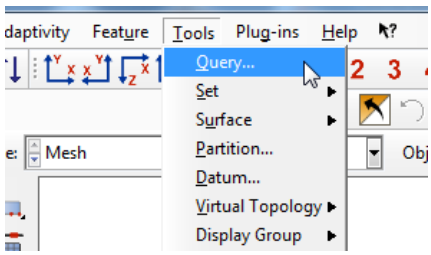


F3.1

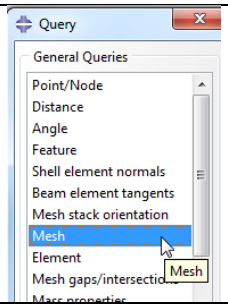


F3.2

4. <u>Hálótulajdonságok lekérdezése</u> (opcionális)
A csomópontok és végeselemek számának ellenőrzéséhez a **Tools ► Query…** Parancsot használhatjuk. A felugró Query ablakban a General Queries mezőben kattintsunk a Mesh-re, majd a lenti beviteli mezőt a Query entire part-on hagyva a **Done** gombra. Ekkor a lenti párbeszédablakban megjelenik a csomópont szám (Total number of nodes) és az elemszám (Total number of elements). Jelen feladat 15 csomópontot és 34 végeselemet tartalmaz.

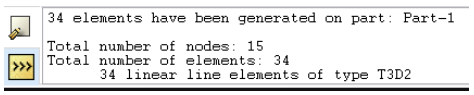


E4.1



E4.2

E4.3

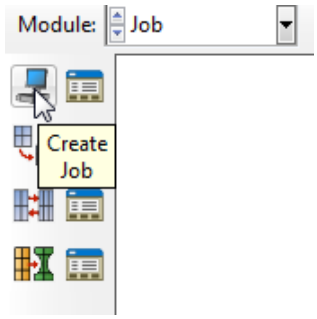


E4.4

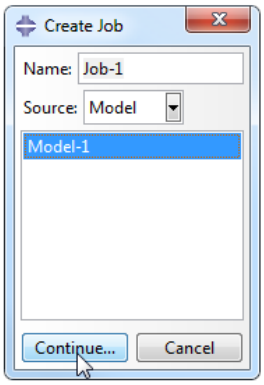
G MODULE | JOB feladat megoldása

A feladatot a Job modulba átlépve tudjuk lefuttatni. Az ehhez szükséges lépések:

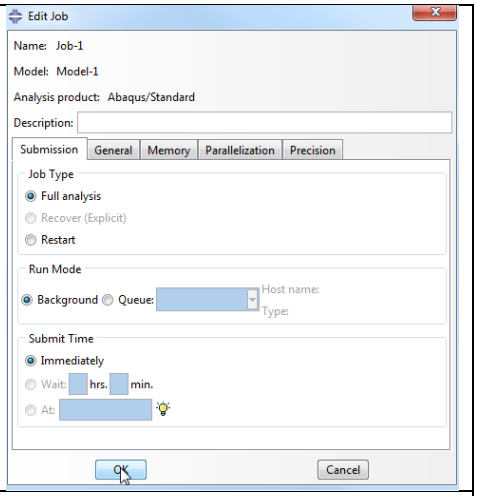
1. <u>Feladat definiálása</u>:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Create Job** ikonra
   - A megjelenő Create Job ablakban kattintsunk a **Continue…** gombra
   - A megjelenő Edit Job ablakban hagyjunk mindent alapértelmezésen és **OK**-zuk le



G1.1

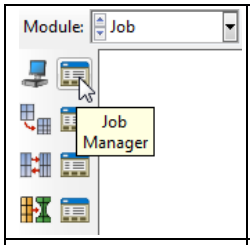


G1.2

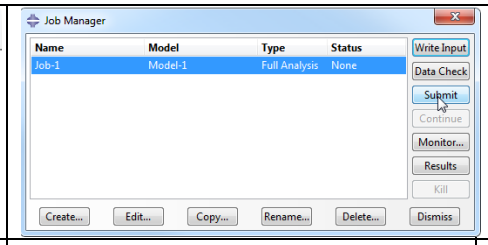


G1.3

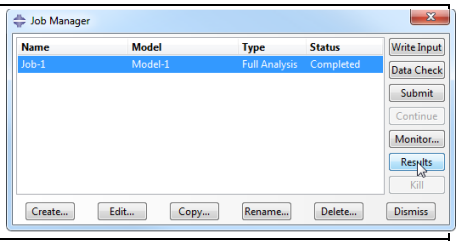
2. <u>Feladat lefuttatása</u>:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Job Manager** ikonra
   - A megjelenő Job manager ablakban alapból ki van választva az előbb definiált 1 db feladat (Job-1). Kattintsunk a **Submit** gombra.
   - Ha a Status alatt megjelenik a Completed felirat, akkor a feladat sikeresen lefutott. Az eredmények megjelenítéséhez kattintsunk a **Results** gombra.



G2.1



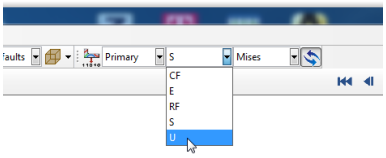
G2.2



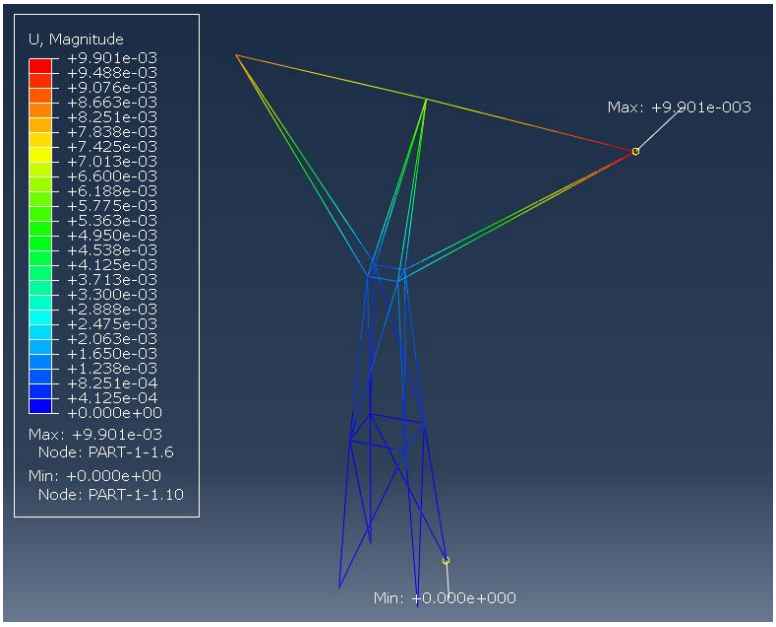
G2.3

H MODULE | VISUALIZATION eredmények megjelenítése

A **Results** gombra kattintva automatikusan a **Visualisation** modulba kerülünk. Fent válasszuk ki az U-t vagy az S-t annak megfelelően, hogy az elmozdulást, vagy a feszültséget szeretnénk megjeleníteni. Először válasszuk az U-t.

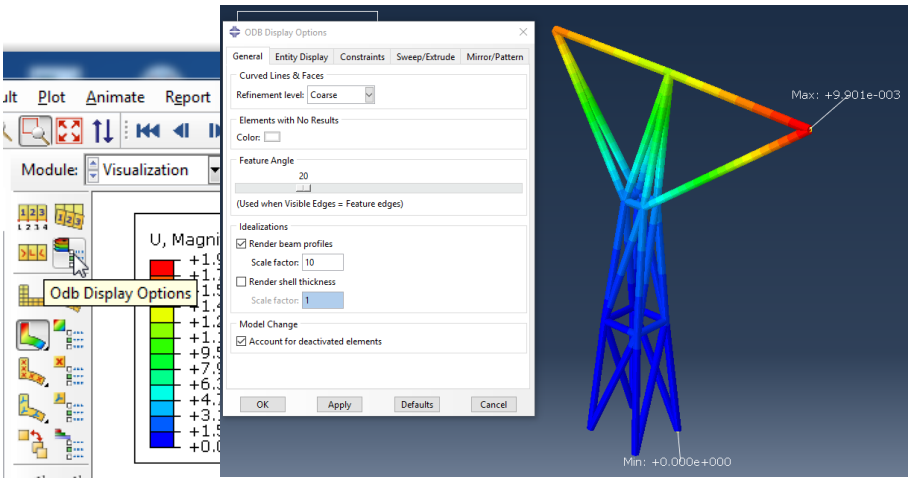


A **Plot Contours on Deformed Shape** ikonra kattintva a deformált alakot láthatjuk.

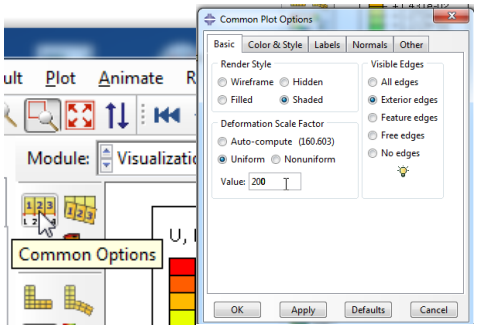


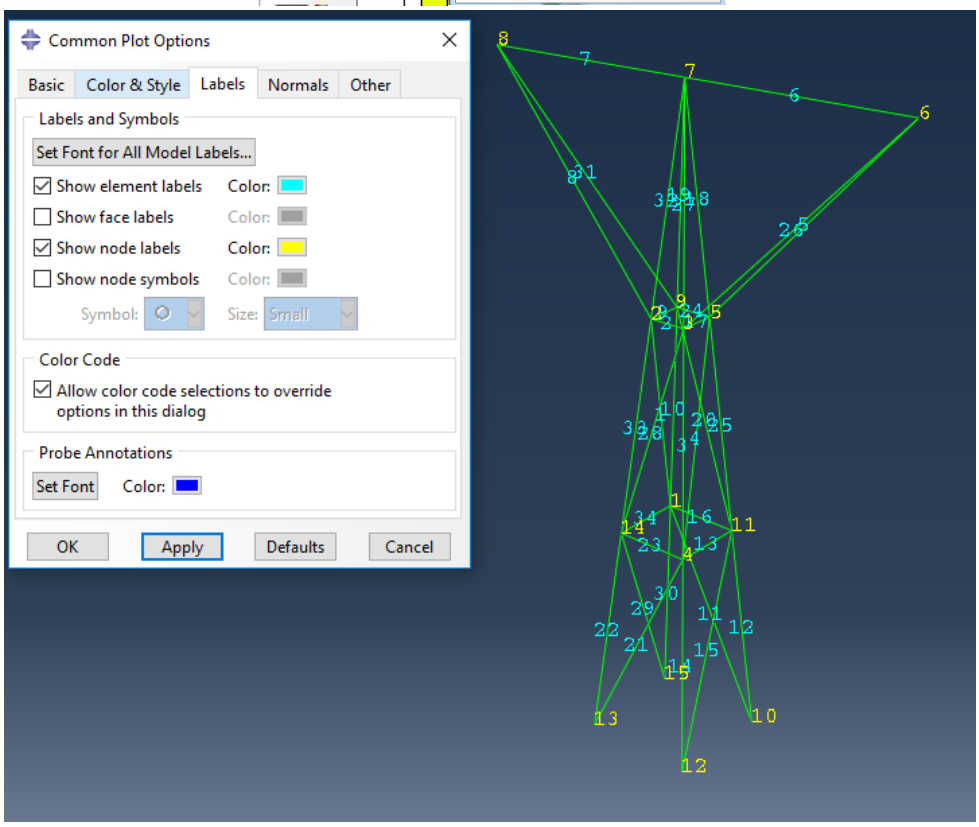
Bal felül látható színskála alapján a maximális elmozdulás 9,901 mm körül van.

Az **Odb Display Options**-ban megjeleníthetjük a keresztmetszetet tetszőleges mértékben felnagyítva. Ezt kipróbálás után kapcsoljuk ki, mert a továbbiakban zavaró lehet.

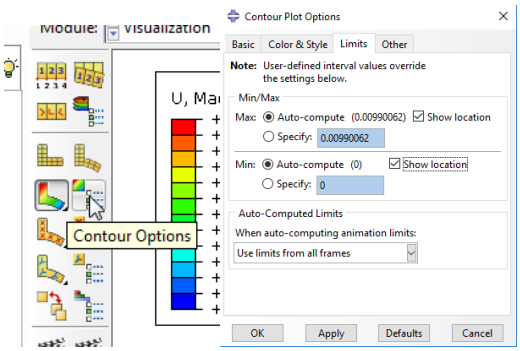


A **Common Plot Options**-ban a **Basic** fülön beállíthatjuk a deformáció felnagyításának mértékét, a **Labels** fülön bekapcsolhatjuk a csomópontok és elemek sorszámának megjelenítését.

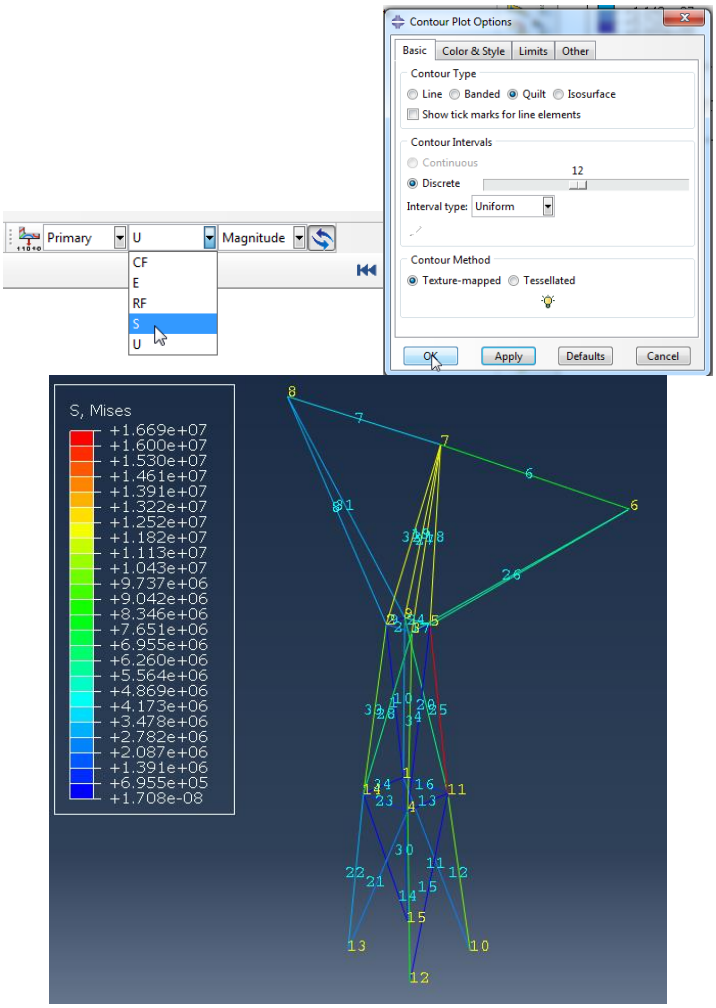




A **Contour Options**-ban a **Limits** fülön bekapcsolhatjuk a max/min helyek megjelenítését.

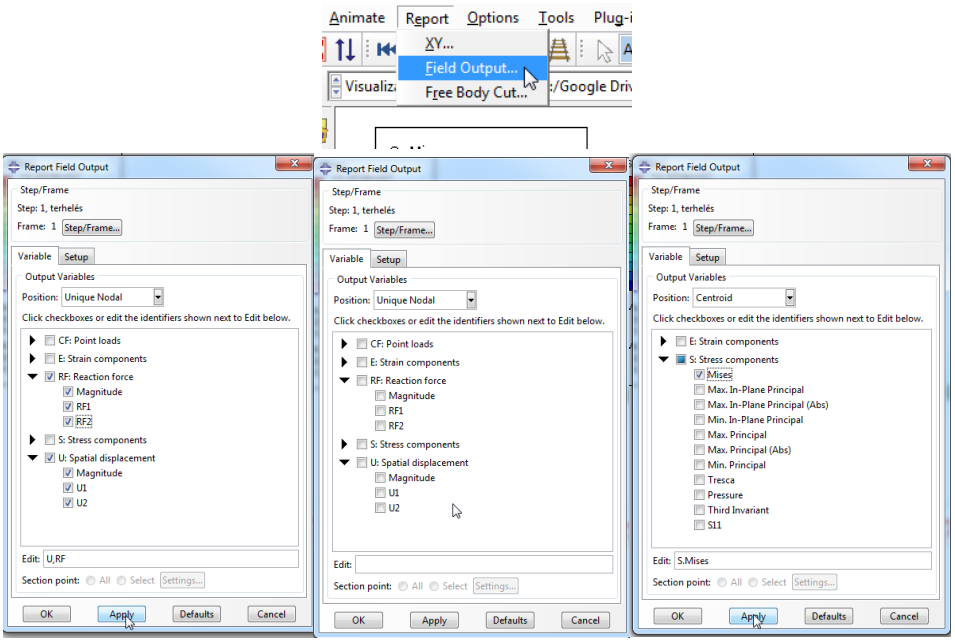


Fent a feszültséget választva a **Contour Plot Options Basic** fülén a Contour Type-ot állítsuk Quilt-re



Az adatok táblázatszerű lekéréséhez használjuk a **Report ►Field Output…** parancsot.

- A Position-t **Unique Nodal**-ra állítva jelöljük ki az RF (reakcióerő) és az **U** (elmozdulás) alatti négyzeteket. Ezzel a reakcióerők, illetve az elmozdulások nagyságát, illetve x és y összetevőit tudjuk lekérni csomópontonként.
- Kattintsunk az **Apply** gombra
- Szedjük ki az összes pipát
- A Position mellett válasszuk a **Centroid**-ot
- Az **S** (feszültség) alatt válasszuk a Mises-t. Ezzel a HMH szerinti redukált feszültséget tudjuk lekérni elemenként.
- Kattintsunk ismét az Apply gombra.



A munkakönyvtárban a fentiek hatására egy abaqus.prt nevű fájl keletkezett, mely a lekért adatokat tartalmazza. Ezt a fájlt jegyzettömb vagy más notepad alkalmazással tudjuk megnyitni és az adatokat kiolvasni.