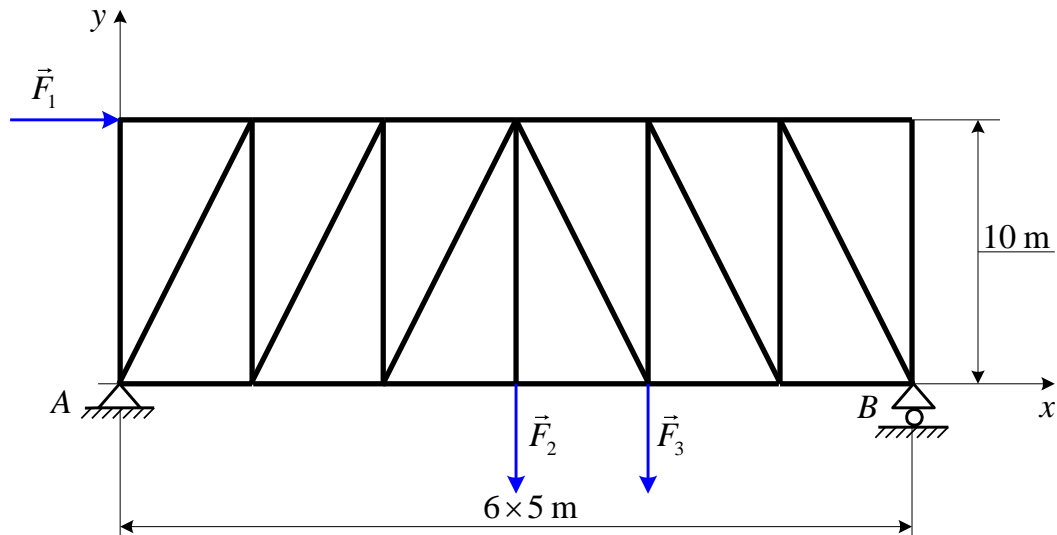


Végeselem módszer 1. gyakorlat
síkbeli rácsos tartó



Adott:

Anyag: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$,
 $\nu = 0,3$,

Terhelés: $F_1 = F_2 = 20 \text{ kN}$
 $F_3 = 40 \text{ kN}$

Rúdátmérő: $d = 30 \text{ mm}$

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

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 végelemet kell figyelembe venni.

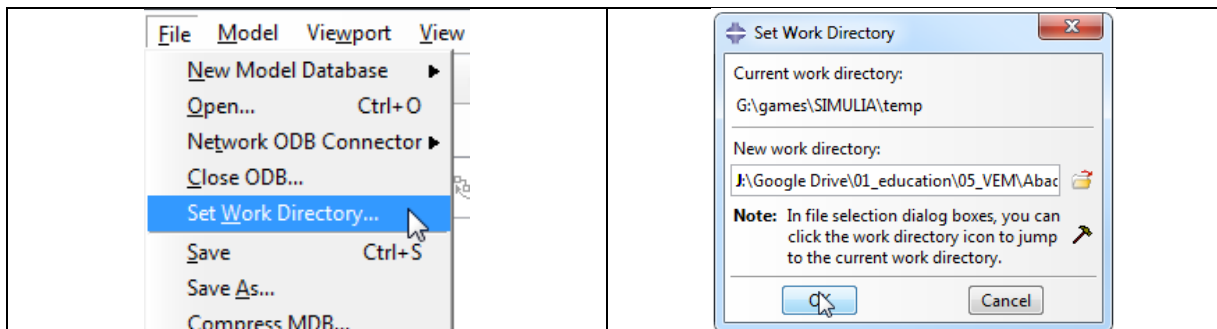
Meghatározandó:

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

Szemléltetés:

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

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.

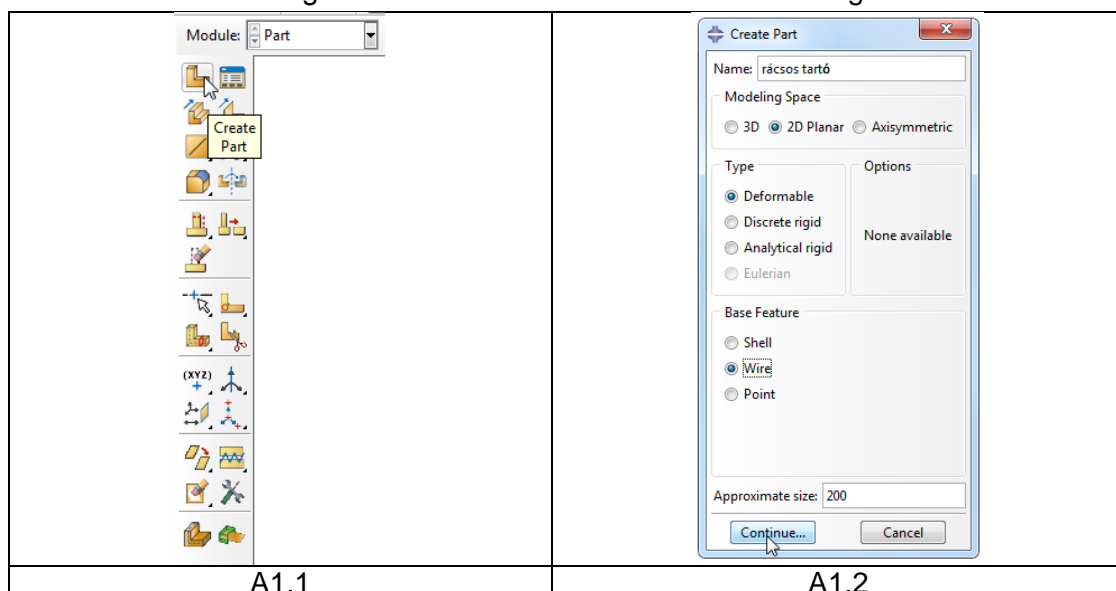


A MODULE | PART geometria megrajzolása

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 rácsos tartó.
 - A Modeling Space alatt válasszuk ki, hogy síkbeli, azaz 2D Planar geometriát szeretnénk rajzolni.
 - A Type alatt hagyjuk az alapértelmezett kijelölést a Deformable előtt, mivel alakváltozásra képes geometriát szeretnénk.
 - A Base Feature alatt válasszuk a Wire-t, mivel a rudakat vonalakkal fogjuk definiálni.
 - Az Approximate size-ot, tehát a modellünk méretét itt is beállíthatnánk, de erre majd később visszatérünk a segédrács beállításánál, most hagyjuk az alapértelmezett 200-on.

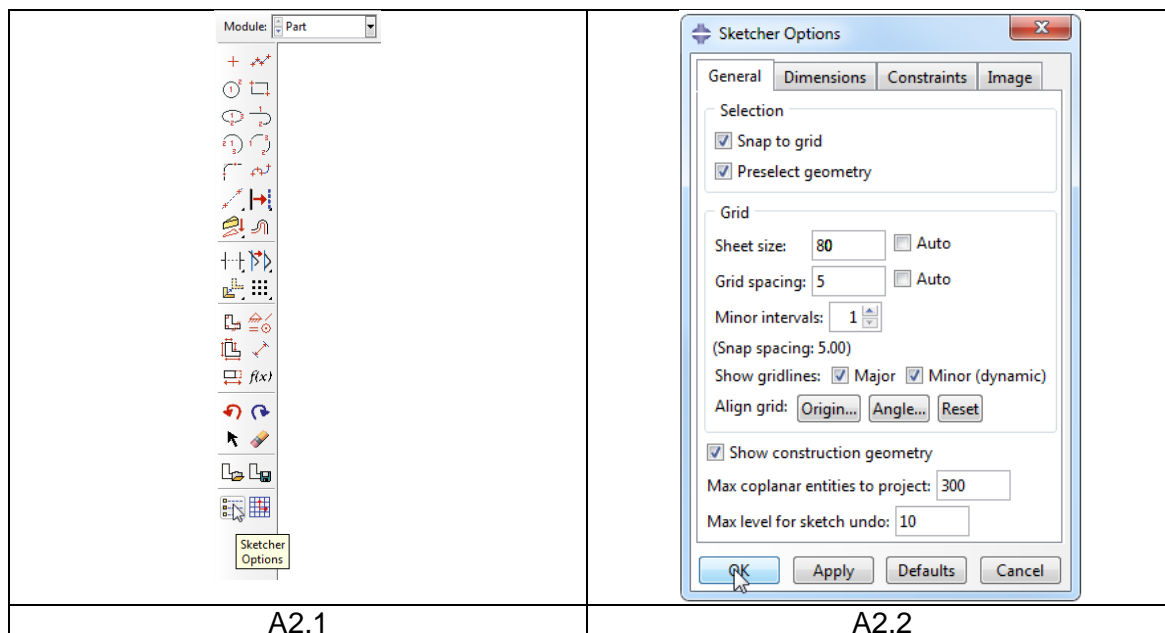
A fenti beállítások elvégzése után kattintsunk lent a **Continue...** gombra.



2. A **Continue...** gombra kattintás után azt tapasztaljuk, hogy a Part modul eszköztára megváltozott, a rajzolást segítő parancsok jelentek meg. Azt is megfigyelhetjük, hogy a program a rajzoláshoz az XY síkot ajánlja fel, és ebben a síkban automatikusan elhelyez egy rajzolást segítő kék segédrácsot (Grid-et). A geometria megrajzolása előtt – különösen egyszerűbb geometriánál – célszerű ezen segédrács méreteit a rajzolandó geometria méreteinek megfelelően beállítani, így egyszerűen meg tudjuk rajzolni a geometriát és megúsztatjuk annak beméretezését is. A segédrács beállításához kattintsunk az eszköztár **Sketcher Options** ikonjára. Az ekkor megjelenő Sketcher Options párbeszédablaknak a General fülének a Grid mezőjében végezzük el az alábbi beállításokat:

- A munkaterület mérete legyen 80 méter, ehhez a Sheet size sorában az Auto elől vegyük ki a pipát, és írjunk be 80-at. Így az XY sík 1. térfelében egy optimális 40 m x 40 m nagyságú rész fog rendelkezésünkre állni a geometria megrajzolásához.
- A rövidebb, vízszintes rudak 5 métereseek, míg a függőleges rudak ennek kétszeresei, 10 métereseek. Ennek megfelelően a rácstávolságot vegyük 5 m-re. Ehhez a Grid spacing sorában vegyük ki a pipát az Auto elől és írjunk be 5-öt.
- A geometria megrajzolásához elég felhasználni a rácspontokat, további belső segédpontokra nincs szükségünk, ezért a Minor intervals-t állítsuk egyre.

A fenti beállítások elvégzése után kattintsunk lent az **OK** gombra.



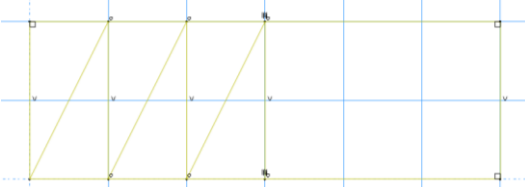
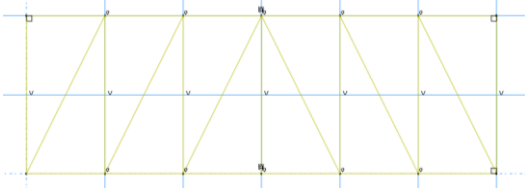
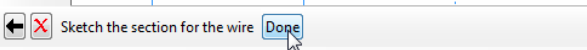


3. A geometria megrajzolásához válasszuk az eszköztárból a **Create Lines: Connected** parancsot. Ezután a segédrács segítségével rajzoljuk meg a rácsos tartót. A rudakat bármilyen sorrendben megrajzolhatjuk, és az egymás után sorban következő rudakat nem kell külön vonalanként megrajzolni, tehát a fenti és lenti 6 db 5 m-es rudat 1-1 30 m-es vonallal rajzolhatjuk meg. A rudak megrajzolásának egy lehetséges sorrendje:

- Rajzoljuk meg a külső rudakat, tehát rajzoljunk egy 30x10 méteres (6x2 Grid egység) téglalapot.

- Az origóba visszatérés után újra kattintsunk az origóra és rajzoljuk meg a baloldalon lévő belső rudakat.
- A 6. belső rúd után (X,Y: 15,0) nyomjuk meg a középső egérgombot, majd kattintsunk az (X,Y: 15,10) pontra és folytassuk a tartó rajzolását a jobb oldali belső rudakkal
- Ha végeztünk a geometria megrajolásával nyomjuk meg az Esc billentyűt.

Ahhoz, hogy a vázlatból vonalakból álló alkatrész legyen a lenti *beviteli mezőben* kattintsunk a Sketch the section for the wire melletti **Done** gombra (vagy nyomjuk meg a középső egérgombot) Ennek hatására elkészül a Part-unk, és visszaáll a Part Modul alap eszköztára.

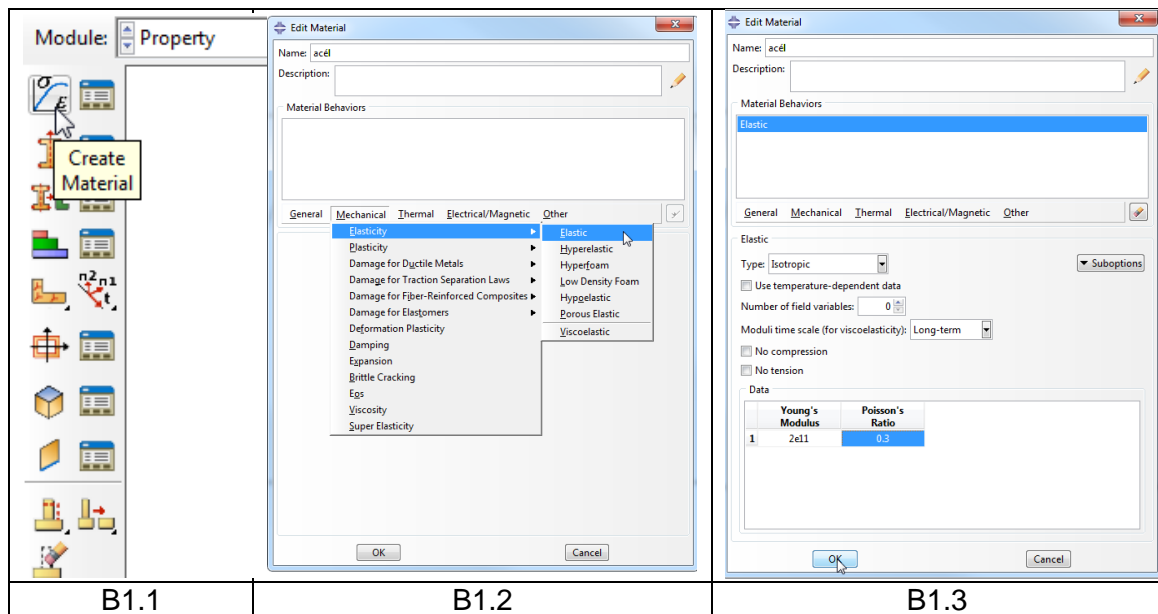
	A3.2	
	A3.3	
	A3.4	
A3.1	A3.5	

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. Anyag definiálása: 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)

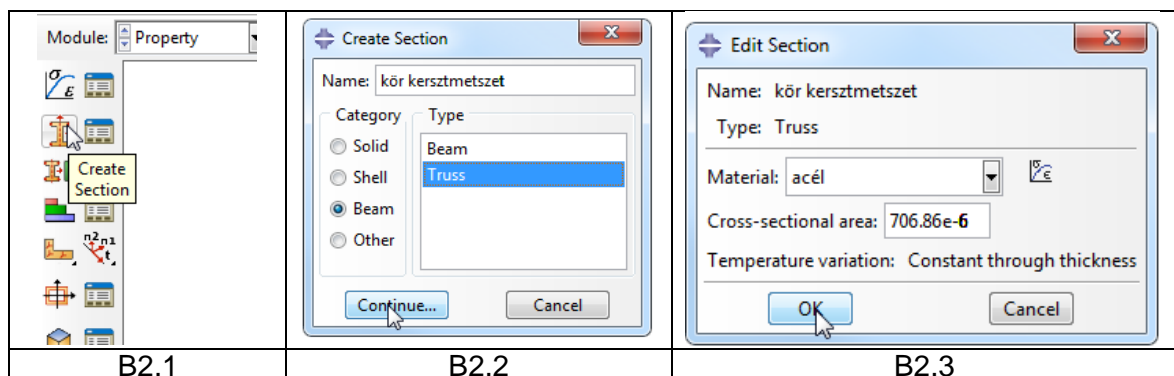
- A lenti Data táblázatban a **Young's Modulus** alá írjuk be a rugalmassági tényezőt, azaz $2e11$ (Pa) –t, a **Poisson's Ratio** alá pedig a Poisson tényezőt, azaz 0.3-at.



2. Keresztmetszet definiálása: A Property Modul eszköztárából kattintsunk a Create Section ikonra. Az ekkor megjelenő Create Section ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:

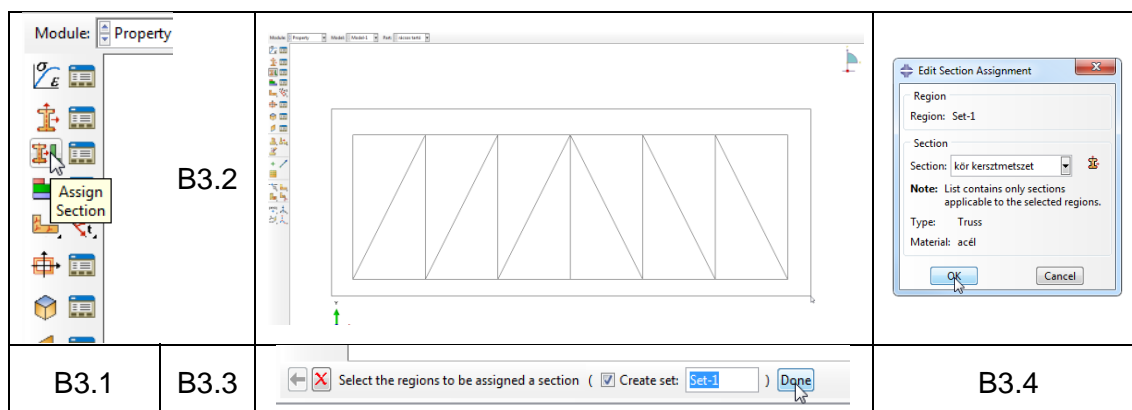
- Nevezzük el a keresztmetszetet: A Name: után írjuk be, hogy kör keresztmetszet.
- A Category alatt válasszuk ki a Beam –t (rúd)
- A Type alatt válasszuk a Truss –t (húzott-nyomott rúd)

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 mértét, azaz $706.86e-6$ (m²) –t. Ezután kattintsunk az OK gombra.



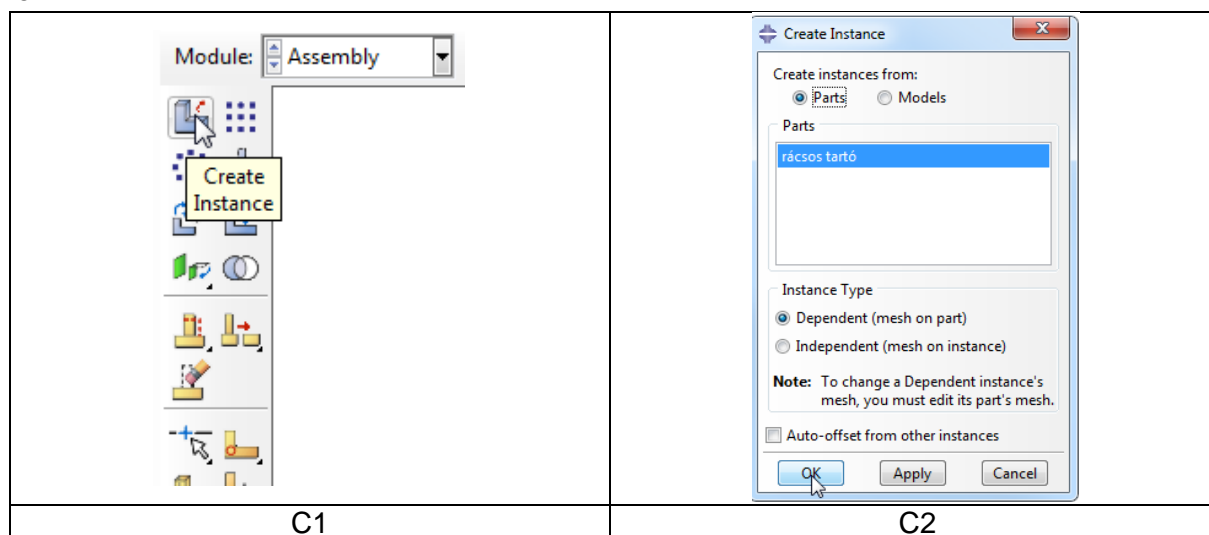
3. Keresztmetszet rudakhoz rendelése: A 2. pontban a keresztmetszethez már hozzárendeltük az anyagot, így most már csak az előző pontban definiált keresztmetszetet kell hozzárendelni a rudakhoz. Ehhez kattintsunk a Property modul eszköztárából az **Assign Section** ikonra. Ezután jelöljük ki az egész rácsos tartót, majd

a lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra. Ekkor megjelenik az Edit Section Assignment ablak, ahol kiválaszthatjuk a keresztmetszetet. Mivel csak egy keresztmetszetet definiáltunk, hagyjuk a Section melletti kör keresztmetszetet és csak OK-zuk le az ablakot.



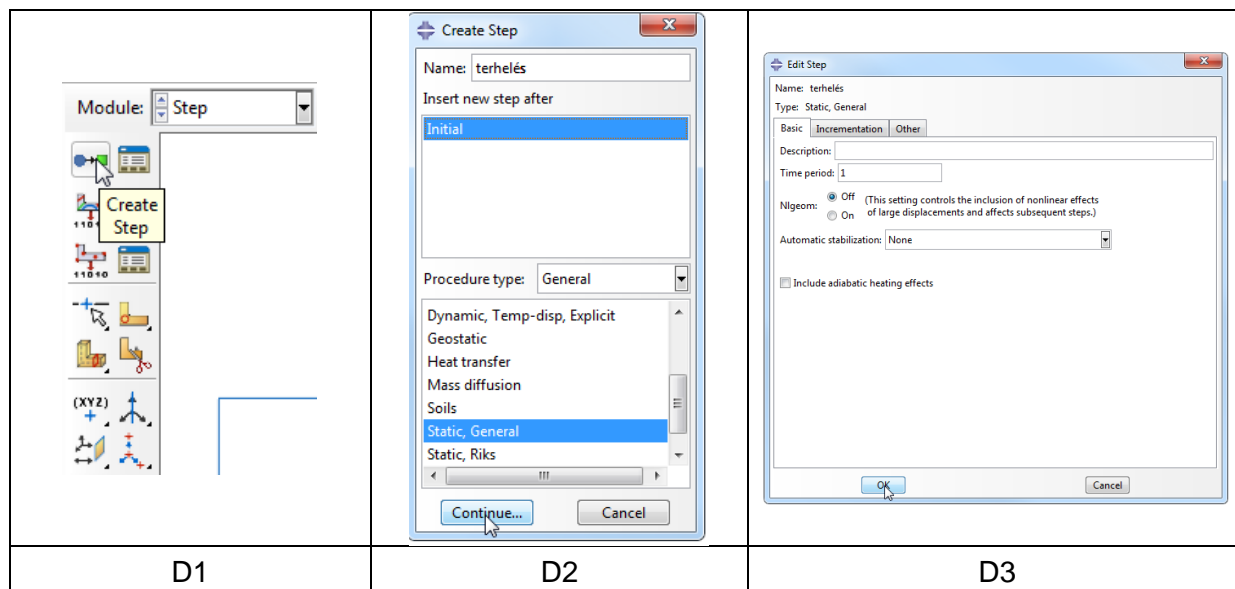
C MODULE | ASSEMBLY összeállítás

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.



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, hogy terhelés. 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.

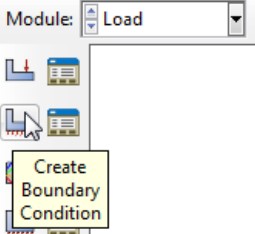
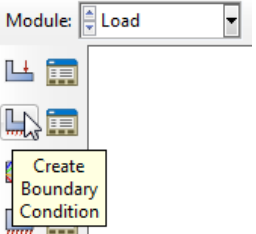
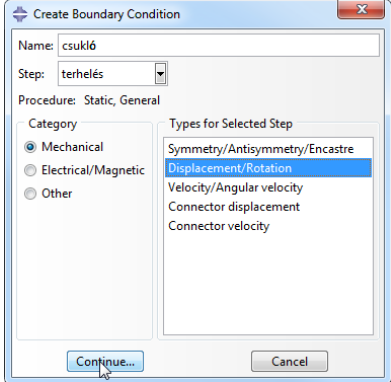
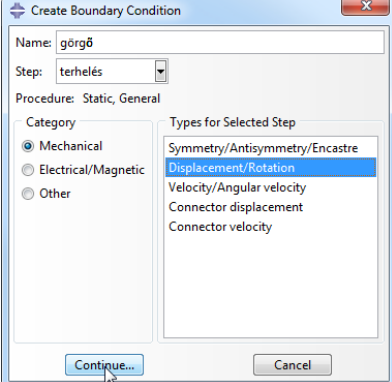

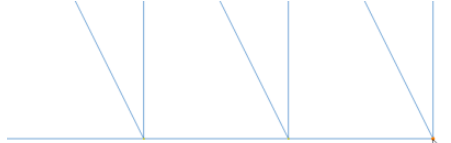
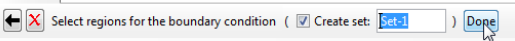
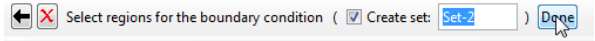
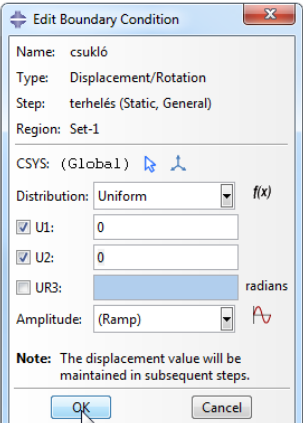
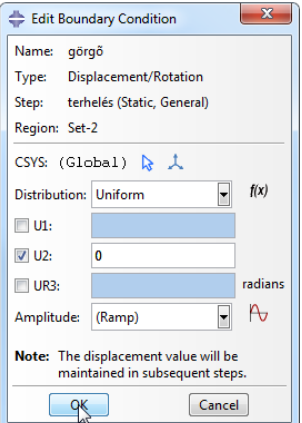


D MODULE | LOAD peremfeltételek megadása

A Load modulban tudjuk megadni a kinematikai peremfeltételeket (megfogásokat) és dinamikai peremfeltételeket (terheléseket). Jelen feladatban 2 megfogást (csukló és görgő) és 3 terhelést (3 koncentrált erő) kell definiálni.

1. megfogások definiálása: (az alábbi lépéseket kétszer kell végcsinálni)

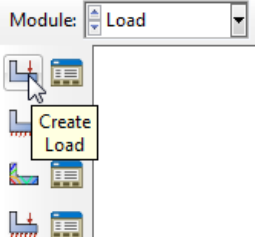
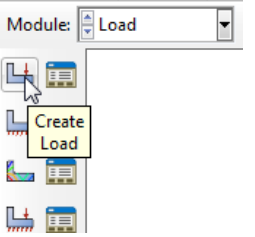
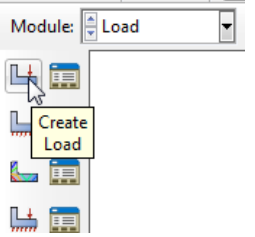
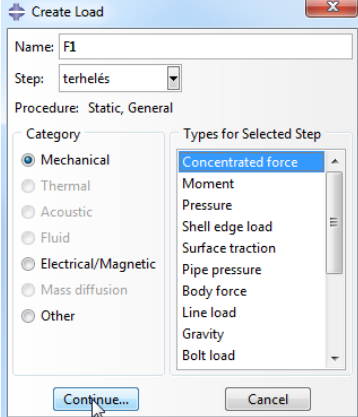
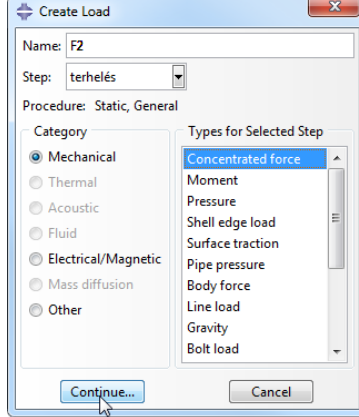
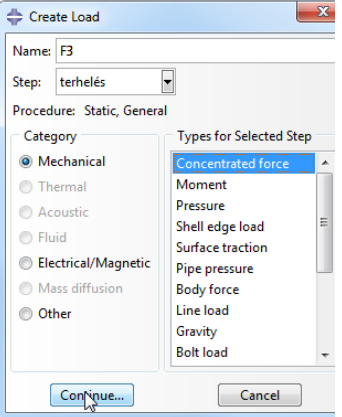
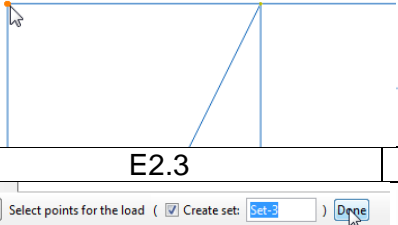
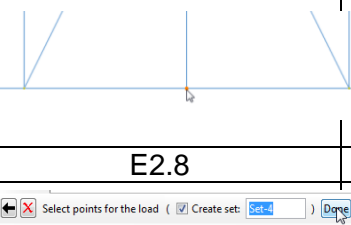
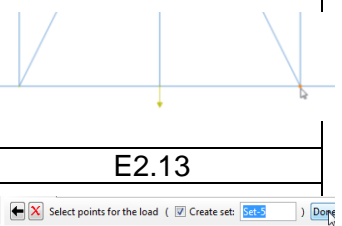
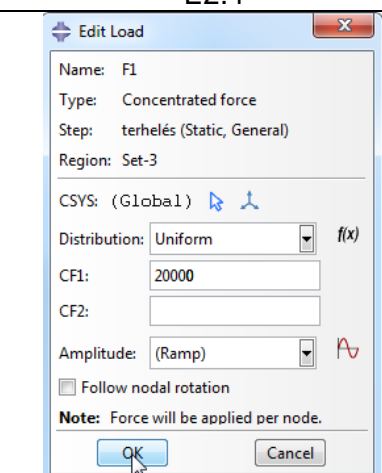
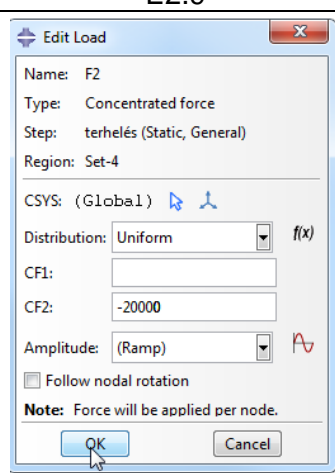
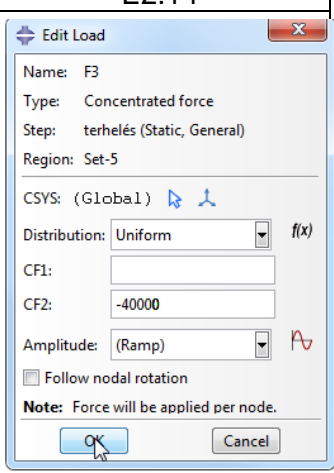
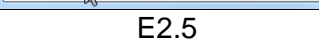
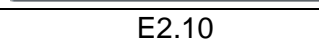
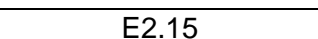
- Kattintsunk a Load modul **Create Boundary Condition** ikonjára.
- A megjelenő Create Boundary Condition ablakban nevezzük el a megfogást csukló-nak, illetve görgő-nek, a Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a Displacement/Rotation-t. Ezután kattintsunk a **Continue...** gombra.
- Jelöljük ki a rajzon a csukló, illetve görgő 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 és U2 előtti négyzeteket, görgő esetén az U2 előtti négyzetet pipáljuk be. Ekkor az elmozduláshoz automatikusan bekerülnek a 0 értékek. OK-zuk le az ablakot.

<p>csukló megadása</p> 	<p>görgő megadása</p> 
E1.1	E1.6
	
E1.2	E1.7
	
E1.3	E1.8
	
E1.4	E1.9
	
E1.5	E1.10

2. terhelések definiálása: (az alábbi lépéseket 3-szor kell végcsinálni F1, F2 és F3 –ra)

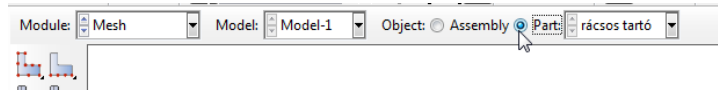
- Kattintsunk a Load modul **Create Load** ikonjára.
- A megjelenő Create Load ablakban nevezzük el az erőt F1-nek, F2-nek, illetve F3-nak. A Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a Concentrated force-t. Ezután kattintsunk a **Continue...** gombra.

- Jelöljük ki a rajzon az F1, F2 illetve F3 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 CF1=20000, F2 esetén CF2=-20000, F3 esetén CF2=-40000)

F1 erő megadása	F2 erő megadása	F3 erő megadása
		
E2.1	E2.6	E2.11
		
E2.2	E2.7	E2.12
		
E2.3	E2.8	E2.13
		
E2.4	E2.9	E2.14
		
E2.5	E2.10	E2.15

F MODULE | MESH háló elkészítése

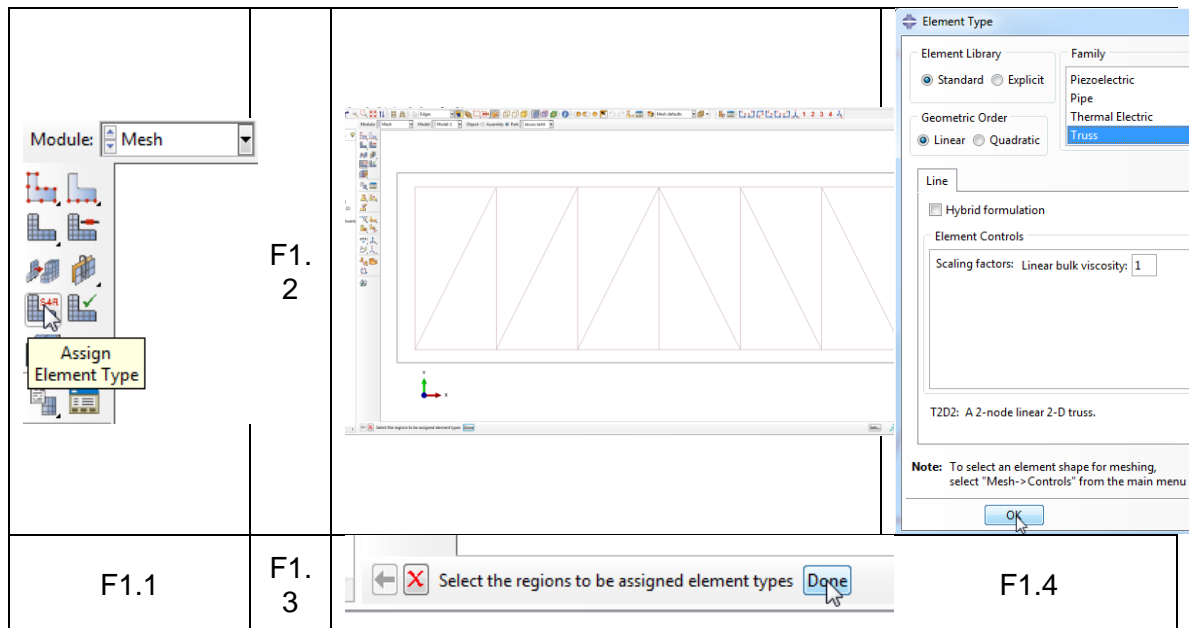
A végeelem hálót a Mesh modulban tudjuk elkészíteni. Legelőször fent az Object-et állítsuk át Part-ra, aminek hatására a Part mellett megjelenik a rácsos tartó felirat.



Ezután a hálózást az alábbi lépésekben végezzük el:

1. Elemtípus megadása:

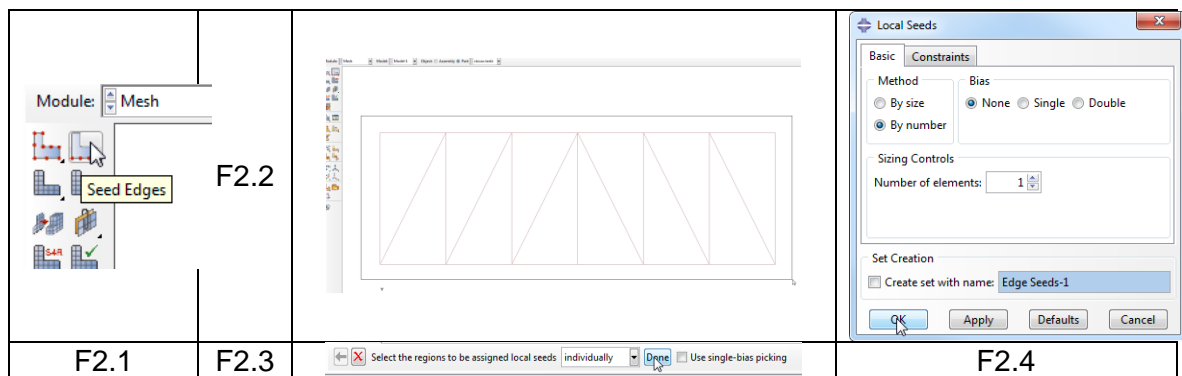
- Kattintsunk a Mesh modul **Assign Element Type** ikonjára.
- Jelöljük ki a teljes rácsos tartót, mivel minden rúdhoz ugyanolyan elemtípust szeretnénk rendelni.
- A lenti beviteli mezőben kattintsunk a Done gombra
- A megjelenő Element Type ablakban a Family-t állítsuk át alapértelmezésről Truss-ra,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



2. Elemméret megadása:

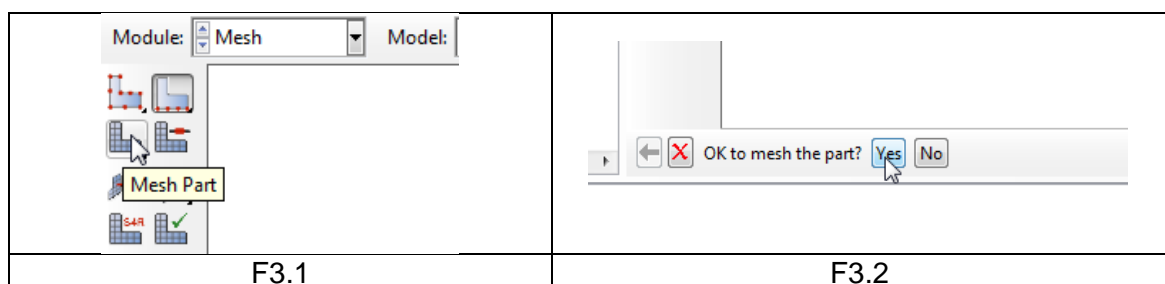
Mivel a rácsos tartó húzott-nyomott rudakból áll, célszerű 1 rudat 1 végeelemnek venni. Ehhez az alábbi lépéseket végezzük el:

- Kattintsunk 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.



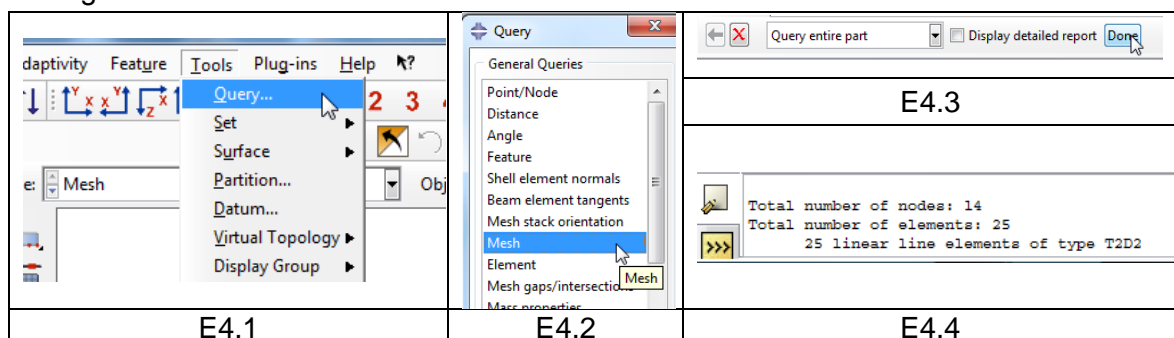
3. Végeselem háló elkészítése:

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.



4. Hálótulajdonságok lekérdezése (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 14 csomópontot és 25 végeselemet tartalmaz.

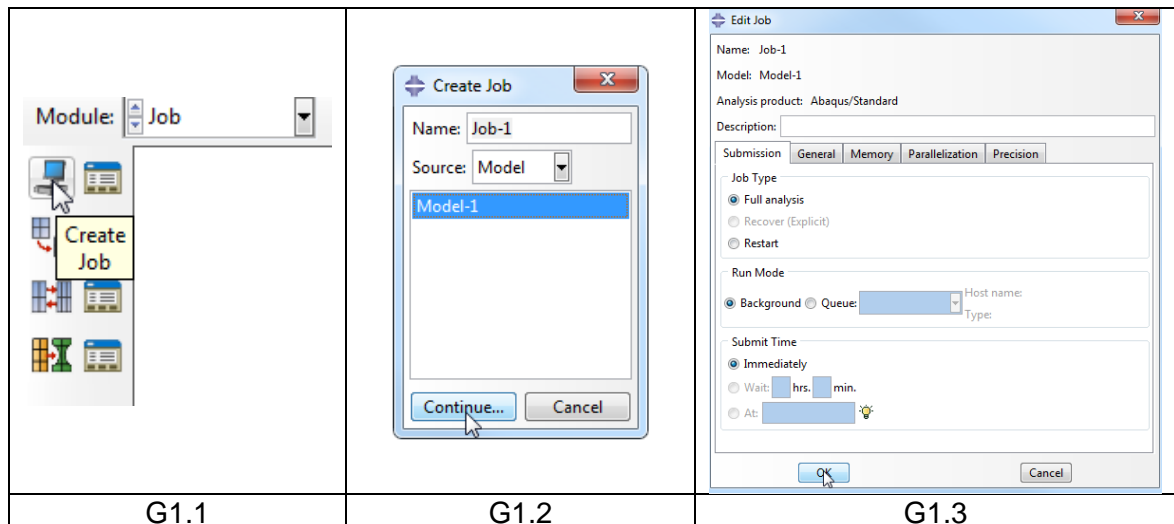


G MODULE | JOB feladat megoldása

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

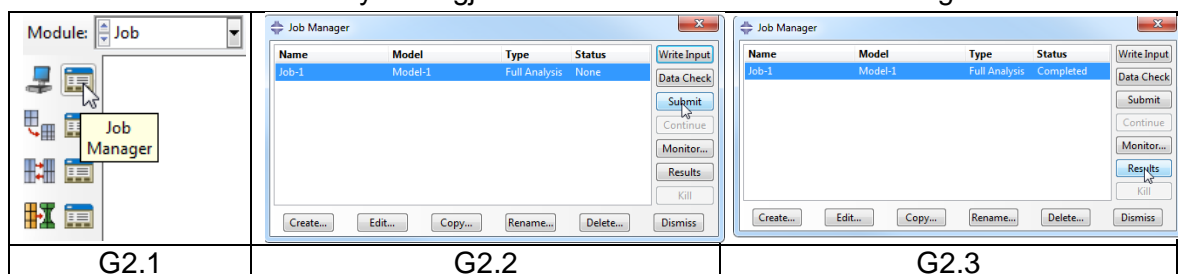
1. Feladat definiálása:

- 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



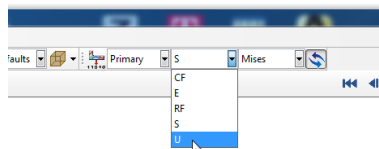
2. Feladat lefuttatása:

- A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Job Manager** ikonra
- A megjelenő Job manager ablakban alpból 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.

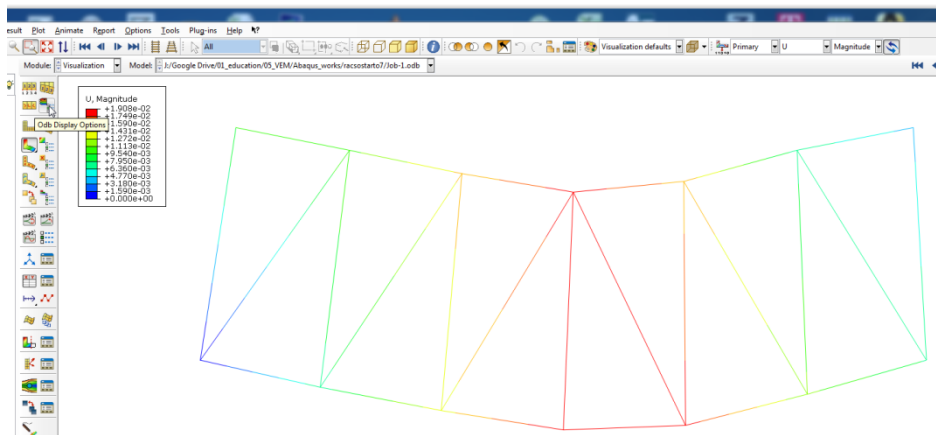


H MODULE | VISUALIZATION eredmények megjelenítése

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.

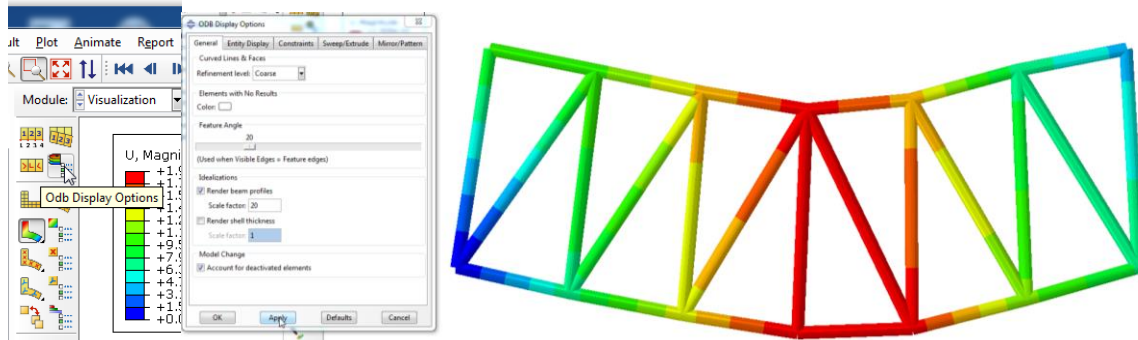


A **Plot Contours on Deformed Shape** ikonra kattintva a deformált alakot láthatjuk.

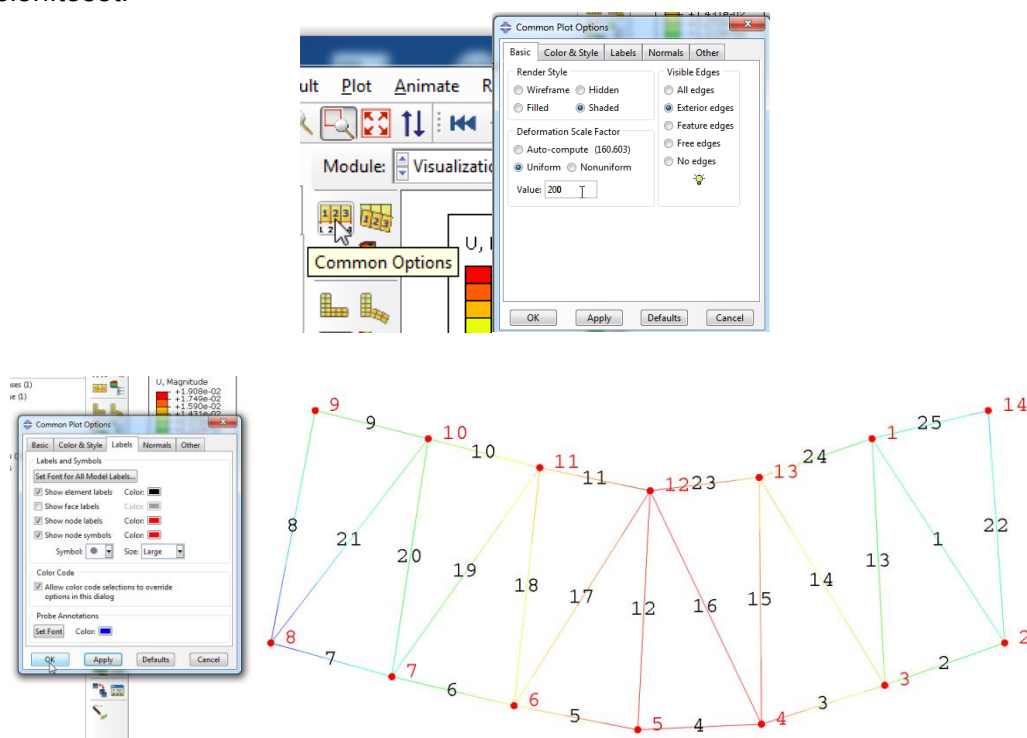


Bal felül látható színskála alapján a maximális elmozdulás 19 mm körül van.

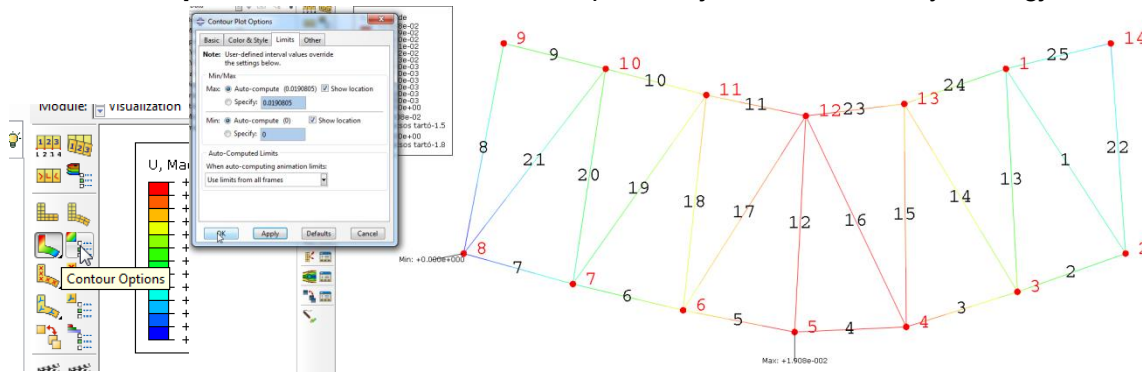
Az **Odb Display Options**-ban megjeleníthetjük a keresztmetszetet tetszőleges mértékben felnagyítva. Ezt kipróbálás után kapcsoljuk ki, mert a továbbiakban zavaró lehet.



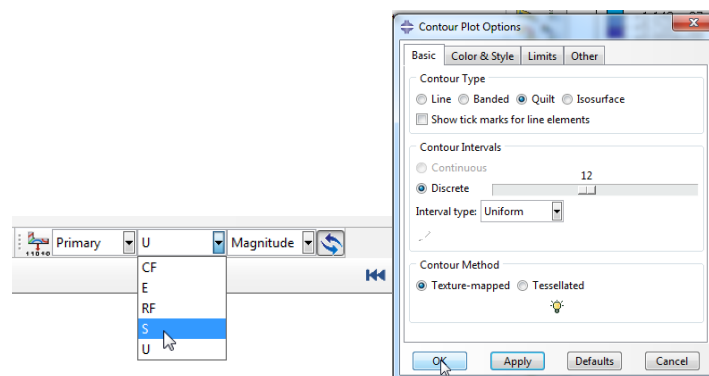
A **Common Plot Options**-ban a **Basic** fülön beállíthatjuk a deformáció felnagyításának mértékét, a **Labels** fülön bekapcsolhatjuk a csomópontok és elemek sorszámainak megjelenítését.



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

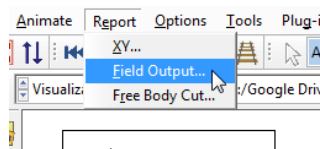


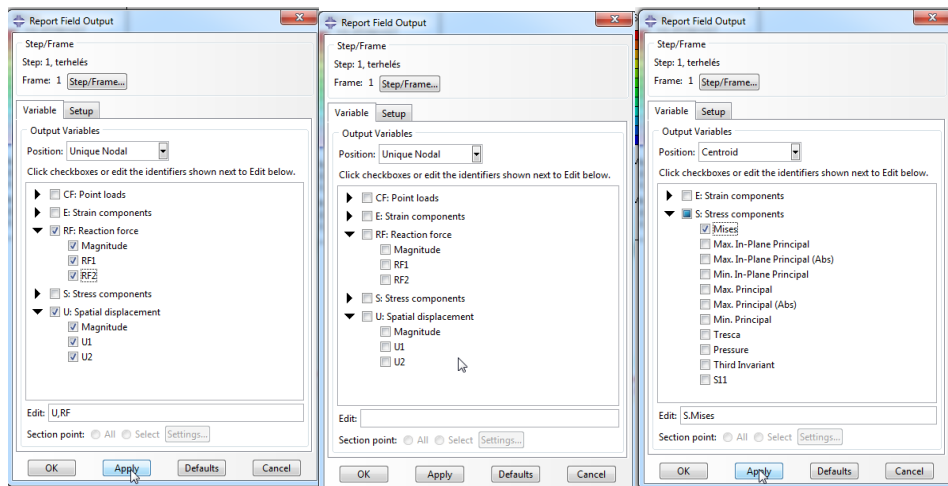
Fent a feszültséget választva a **Contour Plot Options Basic** fülén a Contour Type-ot állítsuk Quilt-re



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.

Fájl Ismerkedés Formátum Nézet Súgó						
Node Label	RF-Magnitude @Loc 1	RF-RF1 @Loc 1	RF-RF2 @Loc 1	U-Magnitude @Loc 1	U-U1 @Loc 1	U-U2 @Loc 1
1	0.	0.	0.	7.39221E-03	4.24573E-03	-6.05112E-03
2	43.3333E+03	0.	43.3333E+03	7.76089E-03	7.76089E-03	-8.1333E-33
3	0.	0.	0.	11.5028E-03	7.01459E-03	-9.11652E-03
4	0.	0.	0.	18.3068E-03	5.48159E-03	-17.4667E-03
5	0.	0.	0.	19.0805E-03	3.89044E-03	-18.6797E-03
6	0.	0.	0.	13.6889E-03	2.78890E-03	-13.4843E-03
7	26.0342E+03	-20.E+03	16.6667E+03	7.31723E-03	1.00208E-03	-7.24828E-03
8	0.	0.	0.	20.0000E-33	20.0000E-33	-16.6667E-33
9	0.	0.	0.	9.55089E-03	9.55089E-03	-16.6667E-33
10	0.	0.	0.	10.7259E-03	8.84353E-03	-6.66936E-03
11	0.	0.	0.	14.6000E-03	7.64145E-03	-12.3156E-03
12	0.	0.	0.	18.4403E-03	6.54463E-03	-17.2689E-03
13	0.	0.	0.	15.2488E-03	5.01203E-03	-14.4015E-03
14	0.	0.	0.	4.24573E-03	4.24573E-03	-43.3333E-33
Minimum	At Node 3 4	-20.E+03 8	0. 14	0. 8	20.0000E-33 8	-18.6797E-03 5
Maximum	At Node 1 2	43.3333E+03 14	43.3333E+03 2	19.0805E-03 5	9.55089E-03 9	-16.6667E-33 9
Total	69.3675E+03	-20.E+03	60.0000E+03	157.904E-03	73.7529E-03	-122.108E-03

Field Output Report, written wed Sep 27 20:16:36 2017

Source 1

ODB: 1:/Google Drive/OL_education/05_VEM/abacus_works/racsosstartot/job-1.odb
Step: terheles
Frame: Increment 1: Step Time = 1.000

Loc 1: Centroidal values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field output reported at element centroid for part: rácsos tartó-1

Element Label	S-Mises @Loc 1
1	68.5399E+06
2	30.6520E+06
3	61.3040E+06
4	61.6618E+06
5	61.6618E+06
6	51.8778E+06
7	40.0834E+06
8	0.
9	28.2841E+06
10	40.0834E+06
11	51.8778E+06
12	28.2841E+06
13	61.3040E+06
14	68.5399E+06
15	61.3040E+06
16	51.8778E+06
17	26.3633E+06
18	23.5781E+06
19	26.3633E+06
20	23.5781E+06
21	26.3633E+06
22	0.
23	61.3040E+06
24	30.6520E+06
25	0.

I