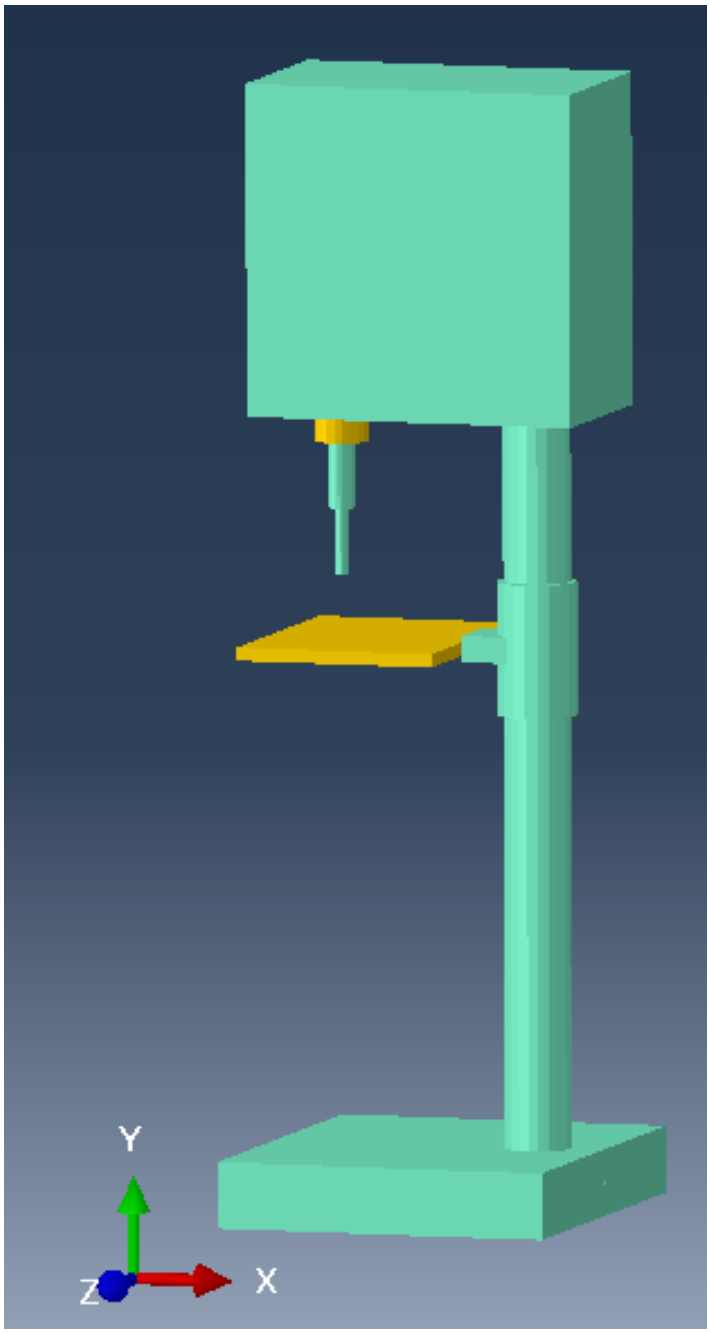
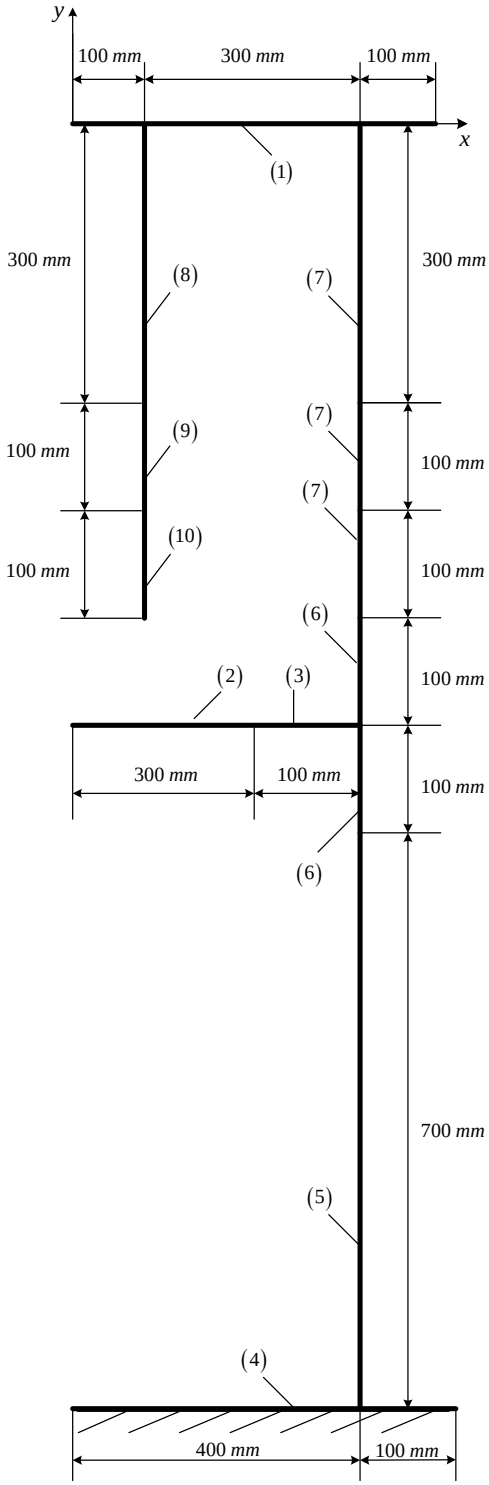
SZÉCHENYI ISTVÁN
EGYETEM

ALKALMAZOTT MECHANIKA
TANSZÉK

Végeselem módszer 7. gyakorlat
Oszlopos fúró sajátfrekvencia- és szilárdságtani vizsgálata





Adott:

Anyag: $E = 2 \cdot 10^5 \text{MPa}$, $\nu = 0,3$, $\rho = 7850 \frac{kg}{m^3} = 7,85 \cdot 10^{-9} \frac{t}{mm^3}$

Terhelés: $F_y = 100$ N és $M_c = 10$ Nm

KM száma	KM neve	KM típusa	a méret [mm]	b méret [mm]	r sugár [mm]
(1)	géptest	téglalap	300	500	
(2)	asztal	téglalap	400	20	
(3)	asztal tartó	téglalap	100	40	
(4)	alap	téglalap	600	100	
(5)	oszlop	kör			50
(6)	asztal tartó oszlop	kör			60
(7)	oszlop	kör			50
(8)	főtengely	kör			40
(9)	szerszámbefogó	kör			20
(10)	szerszám	kör			10

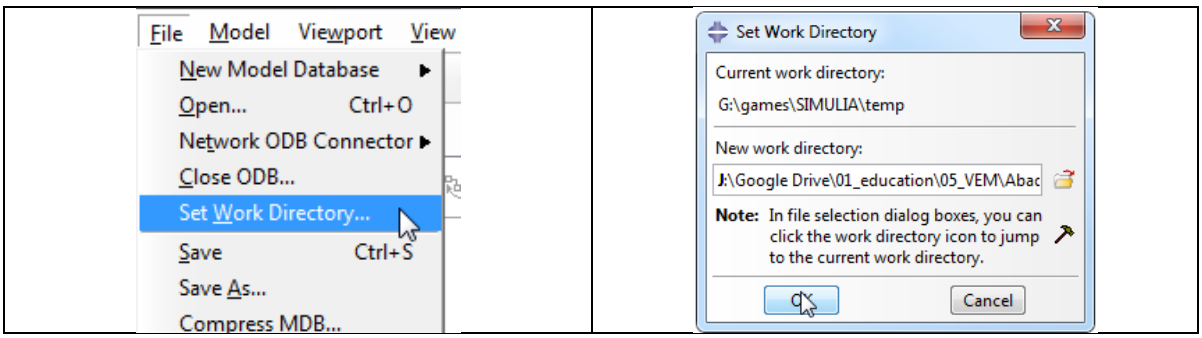
Feladatok: 1. Sajátfrekvencia vizsgálat (itt nem kell terhelés csak megfogás)
2. Szilárdságtani vizsgálat

Végeselem modell/háló: húzott-nyomott, hajlított-nyírt rúdelem. Elem méret 10 mm legyen.

Szemléltetés:

- Az első 20 sajátfrekvencia meghatározása.
- Az első 20 sajátfrekvenciához tartozó lengésképek kirajzoltatása.
- A szerkezet lengésének kirajzoltatása.
- A szerkezet elmozdulás állapotának meghatározása, az adott terhelésrere.
- A legnagyobb elmozdulás helyének megkeresése és elmozdulás értékének 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.

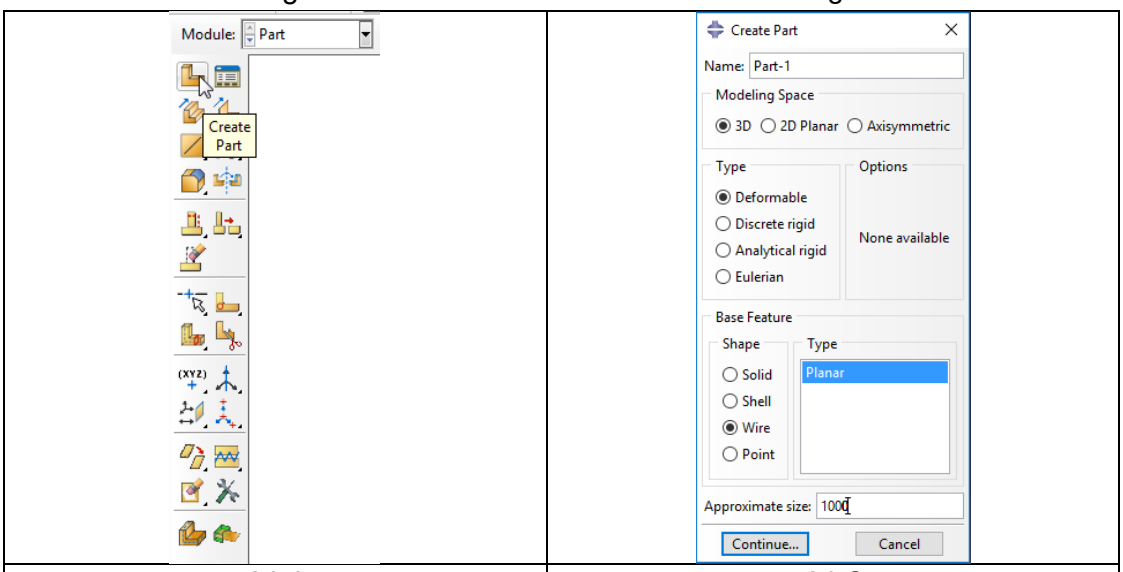


A MODULE | PART geometria megrajzolása

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.
    - 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 **Wire**-t, mivel a rudakat vonalakkal fogjuk definiálni.
    - Az Approximate size-ot, tehát a modellünk méretét itt is beállíthatnánk, írjunk be **1000**-et.

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

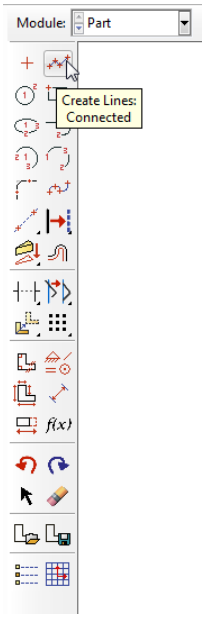
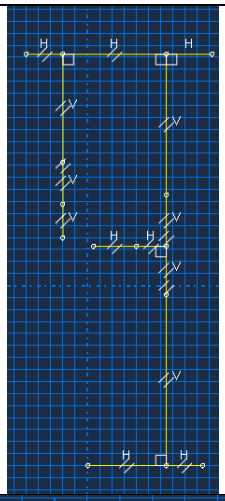
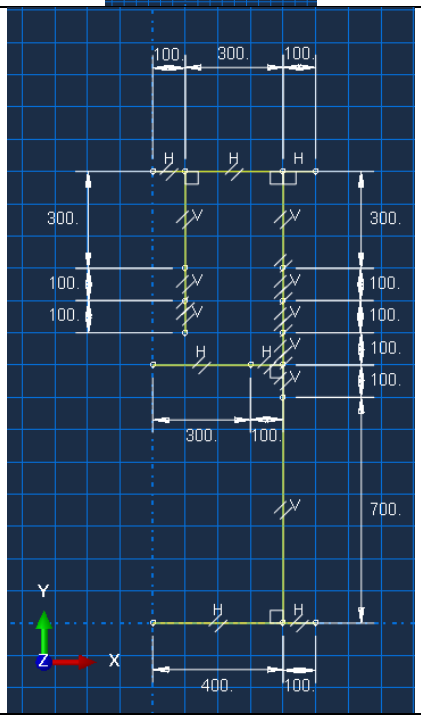
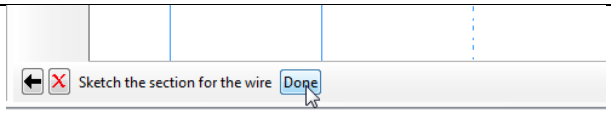


A1.1 A1.2

2. A geometria megrajzolásához válasszuk az eszköztárból a **Create Lines: Connected** parancsot. Ezután rajzoljunk meg a geometriát hasonlóra mint a végleges.
    - Ha végeztünk a geometria megrajzolásával nyomjuk meg az Esc billentyűt.

   Ezt követően méretezzük be a megrajzolt vonalat, ehhez válasszuk, az **Add Dimension** parancsot.
    - Kattintsunk a vonalakra és méretezzük be azokat pontosan a lenti ábrának megfelelően.

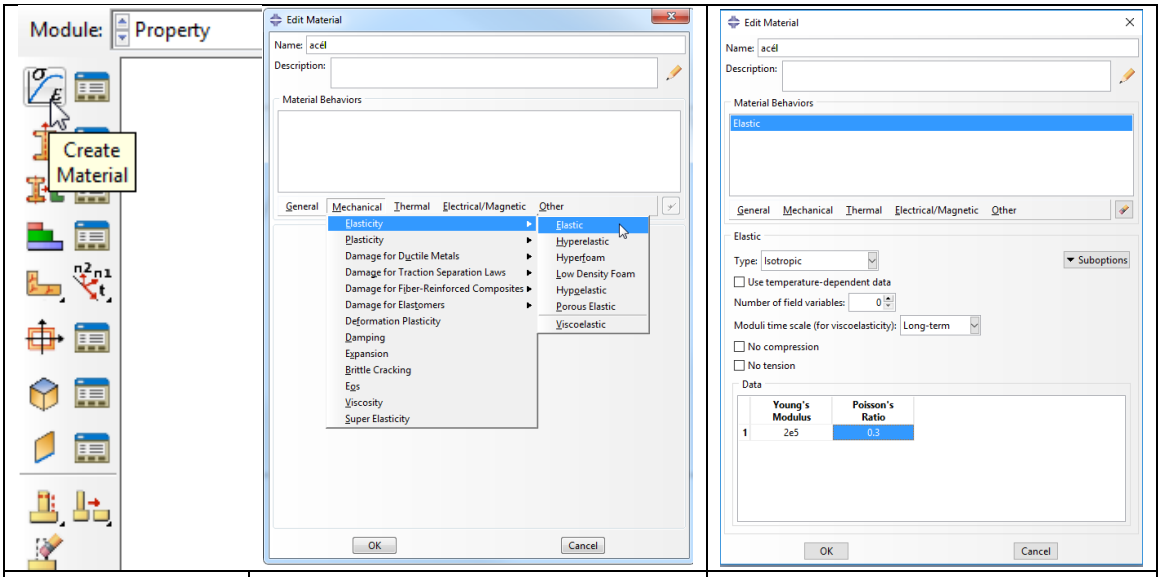
   Ahhoz, hogy a vázlatból vonalakból álló alkatrész legyen, a lenti *beviteli mező*ben kattintsunk a Sketch the section for the wire melletti **Done** gombra (vagy nyomjuk meg a középső egérgombot) Ennek hatására elkészül a Part-unk, és visszaáll a Part Modul alap eszköztára.

<table>
<tr><td rowspan="3"> 
</td><td>A3.2</td><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>A3.4</td></tr>
<tr><td>A3.1</td><td>A3.3</td><td>A3.5
 
</td></tr>
</table>

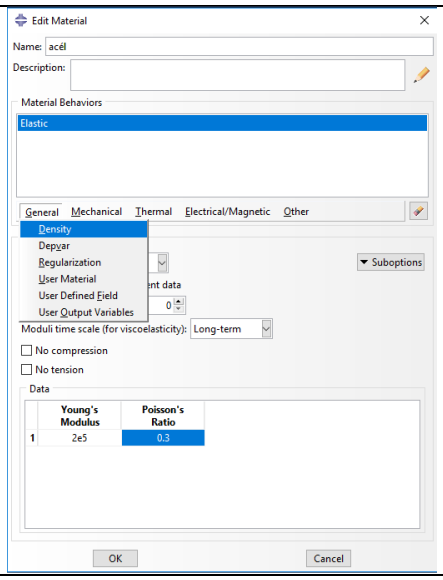
B	MODULE | PROPERTY	tulajdonságok megadása

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

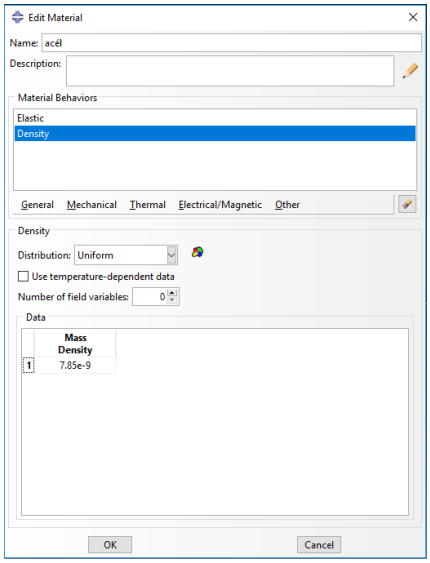
1. <u>Anyag definiálása</u>: Első lépésként egy anyagot kell definiálnunk. Ehhez a Property modul eszköztárából kattintsunk a **Create Material** ikonra. A megjelenő Edit Material ablakban végezzük el a következő beállításokat:
    - Nevezzük el az anyagot: a Name: után írjuk be, hogy acél
    - A lineárisan 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 **Isotropic**-ot (az anyagtulajdonságok irányfüggetlenek)
        - A lenti Data táblázatban a Young's Modulus alá írjuk be a rugalmassági tényezőt, azaz **2e5** (MPa) –t, a Poisson's Ratio alá pedig a Poisson tényezőt, azaz **0.3**-at.
    - Dinamikai feladathoz még egy anyagjellemzőt meg kell adni mégpedig a sűrűséget. Válasszuk a **General ► Density** parancsot.
    - A megjelenő Mass Density alá írjuk be az acél sűrűségének értékét t/mm^3 mértékegységgel, vagyis **7.85e-9** –et.



B1.1	B1.2	B1.3



B1.4

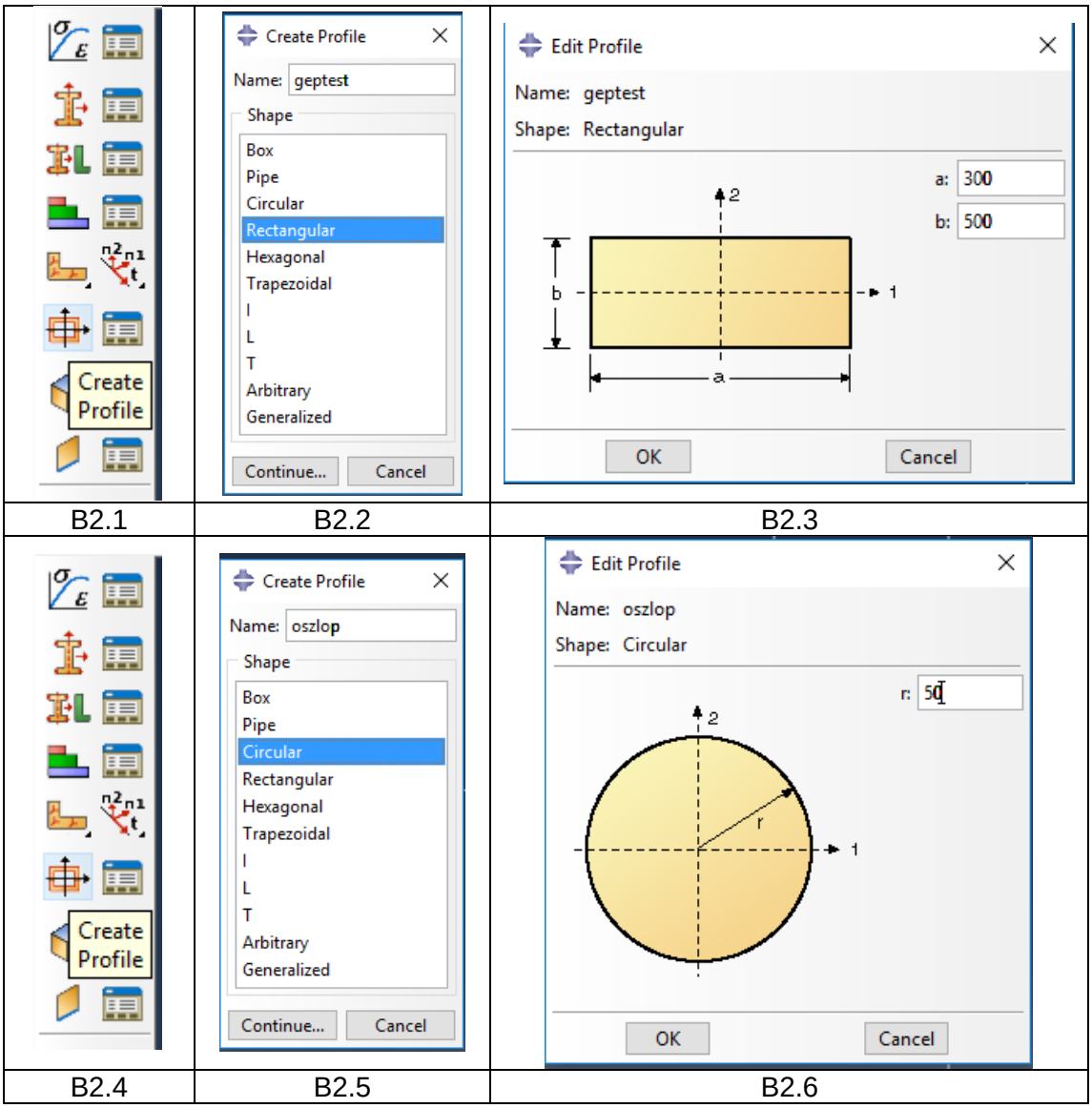


B1.5

2. <u>Keresztmetszet profiljainak definiálása (9db)</u>: A Property Modul eszköztárából kattintsunk a **Create Profile** ikonra és adjuk meg a lenti táblázatban látható keresztmetszeteket. A megjelenő Create Prolife ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:
   - Nevezzük el a keresztmetszetet.
   - A Shape alatt válasszuk ki a **Rectangular** –t téglalap KM megadásához és a **Circular**-t kör KM megadásához.

   Ezután kattintsunk a **Continue**… gombra. Az ekkor megjelenő Edit Profile ablakban adjuk meg a KM táblázatban látható pontos méreteit. Ezután kattintsunk az **OK** gombra.

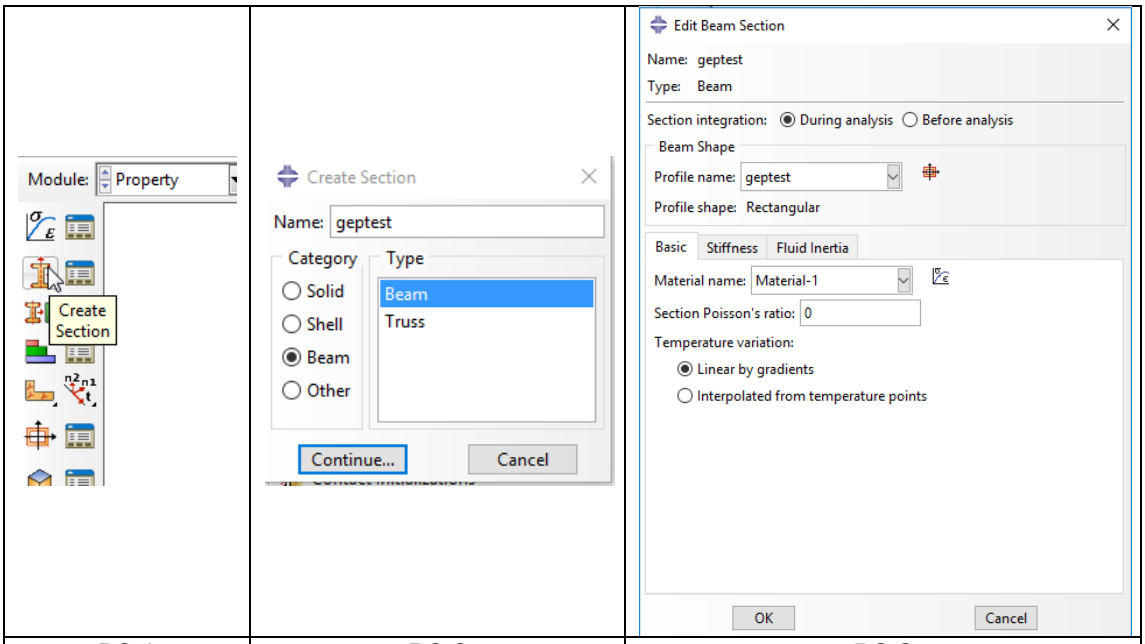
KM száma	KM neve	KM típusa	a méret [mm]	b méret [mm]	r sugár [mm]
(1)	géptest	téglalap	300	500	
(2)	asztal	téglalap	400	20	
(3)	asztal tartó	téglalap	100	40	
(4)	alap	téglalap	600	100	
(5)	oszlop	kör			50
(6)	asztaltartó oszlop	kör			60
(7)	főtengely	kör			40
(8)	szerszámbefogó	kör			20
(9)	szerszám	kör			10



B2.1	B2.2	B2.3
B2.4	B2.5	B2.6

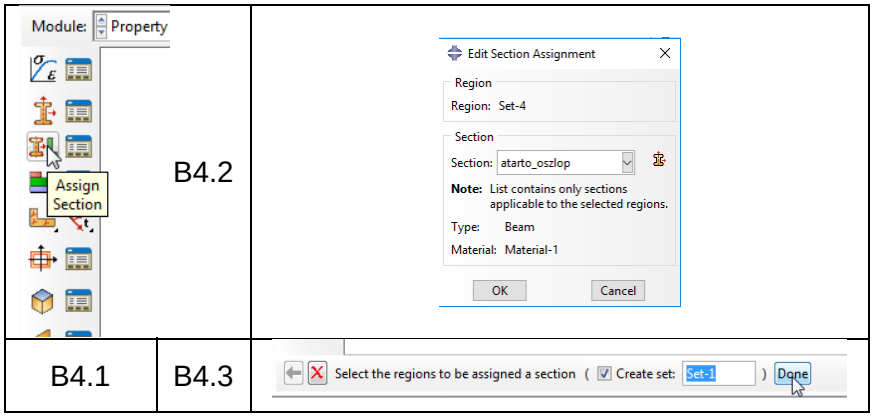
3. <u>Keresztmetszetek definiálása (9db)</u>: A Property Modul eszköztárából kattintsunk a **Create Section** ikonra. Az ekkor megjelenő Create Section ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:
   - Nevezzük el a keresztmetszetet.
   - A Category alatt válasszuk ki a **Beam** –t (rúd)
   - A Type alatt válasszuk a **Beam** –t

   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), illetve a Profile name mellett pedig a korábban megadott szelvények. Ezek közül válasszuk ki a megfelelőt. Ezután kattintsunk az **OK** gombra.



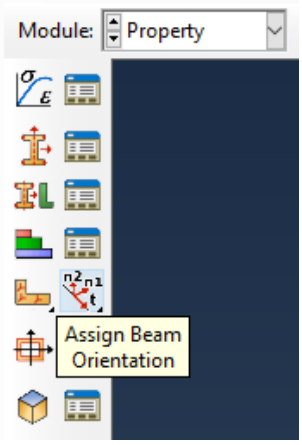
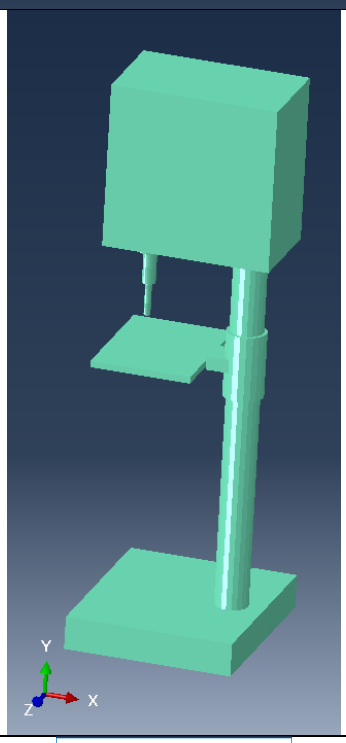
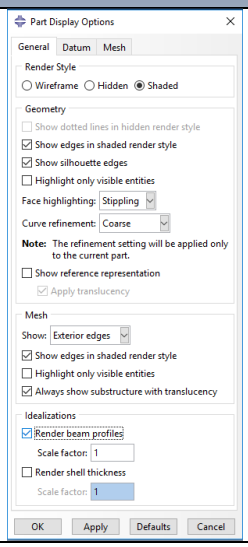
B3.1	B3.2	B3.3

4. <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 a KM-nek megfelelő rudakat, 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 csak **OK**-zuk le az ablakot.



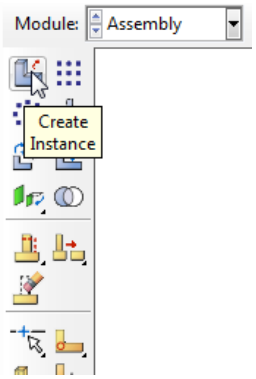
B4.1	B4.2	B4.3

5. <u>Keresztmetszet orientációjának megadása</u>: Végül adjuk meg a keresztmetszet profiljának orientációját az **Assign Beam Orientation** paranccsal. Ezután jelöljük ki egyesével a rudakat külön-külön, majd a lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra. Ekkor megjelenik az orientációt jelölő nyilak az ábrán látható módon, kattintsunk a középső gombbal. Majd még kétszer fogadjuk el a beviteli mezőben megjelenő adatokat a középső gombbal.
A **View ► Part Display Options…** menüben a **Render Beam Profiles** opciót kapcsoljuk be így látjuk a tartóhoz rendelt négyzet szelvényt.

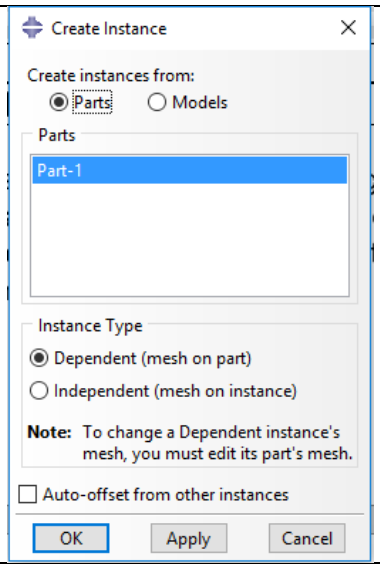
<table>
<tr><td rowspan="3"> 
</td><td>A5.2</td><td> </td></tr>
<tr><td>A5.3</td><td> </td></tr>
<tr><td>A5.4</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>A5.1</td><td>A5.5</td><td> 
</td></tr>
</table>

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

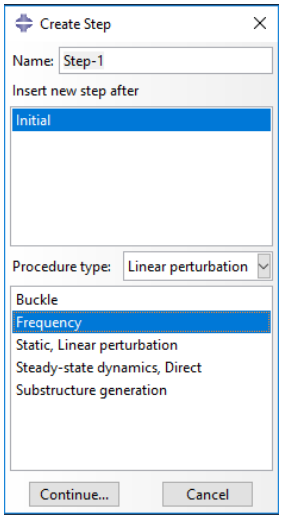


C2

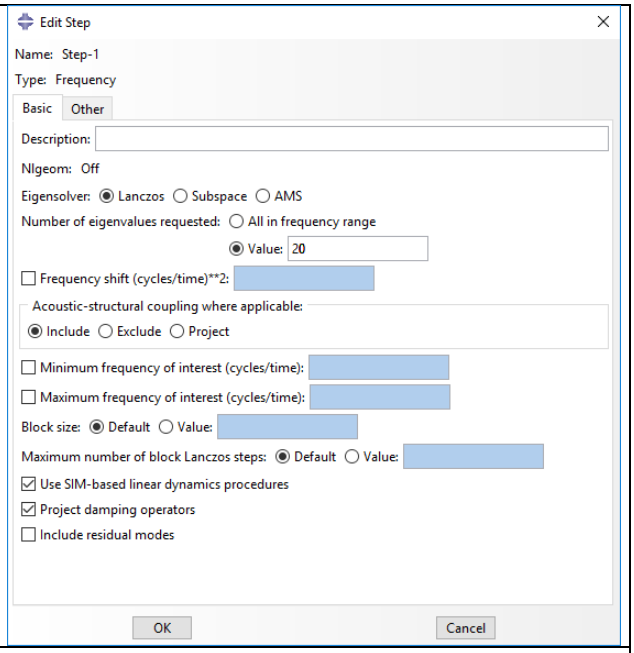
D MODULE | STEP lépések megadása

A Step modulban a végrehajtandó vizsgálat(ok) típusát (pl. statikus, dinamikus, hőtani…), azok részleteit és sorrendjét tudjuk beállítani. Először egy sajátfrekvencia vizsgálatot. Ehhez kattintsunk a Step modul **Create Step** ikonjára. a megjelenő Create Step ablakban nevezzük el a lépést. A Procedure type-nál válasszuk a **Linear perturbation**-t és azon belül a **Frequency**-t. Ezután kattintsunk a **Continue**… gombra, majd a megjelenő Edit Setup ablakban kattintsunk a Number of eigenvalues requested opciónál a **Value**-ra majd adjunk meg **20**-at, vagyis a program az első 20 sajátfrekvenciát fogja kiszámolni, eztuán **OK**-zuk le.

D1



D2



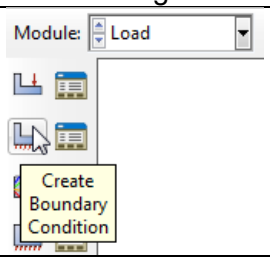
D3

D MODULE | LOAD peremfeltételek megadása

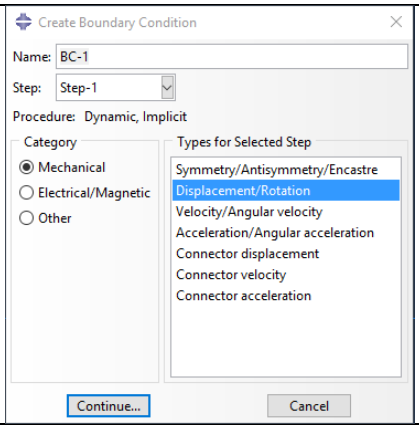
A Load modulban tudjuk megadni a kinematikai peremfeltételeket (megfogásokat) és dinamikai peremfeltételeket (terheléseket). Jelen feladatban a sajátfrekvencia vizsgálathoz csak 1 megfogást (fix) kell definiálni, terhelést nem.

1. <u>megfogások definiálása</u>:
    - Kattintsunk a Load modul **Create Boundary Condition** ikonjára.
    - A megjelenő Create Boundary Condition ablakban nevezzük el a megfogást, 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 fix megfogás 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 az X és Y irányú elmozdulást, és Z tengely körüli elfordulást. Ehhez az **U1, U2** és **UR3** előtti négyzeteket, pipáljuk be. **OK**-zuk le az ablakot.

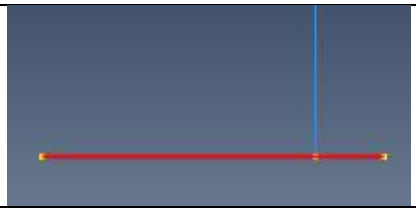
csukló megadása



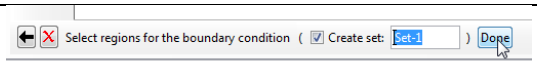
E1.1



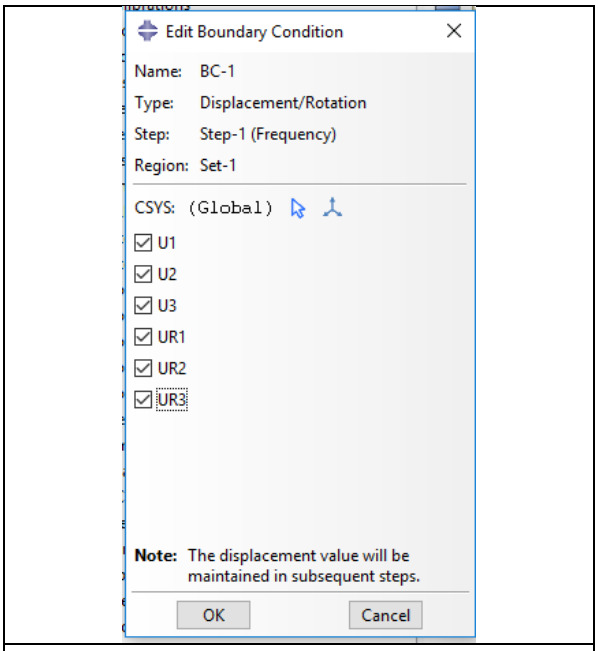
E1.2



E1.3



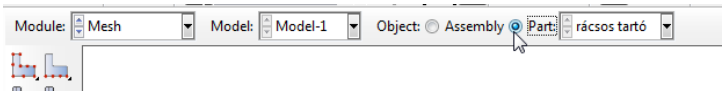
E1.4



E1.5

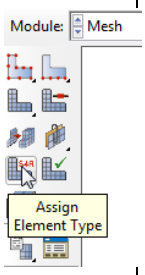
F MODULE | MESH háló elkészítése

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.

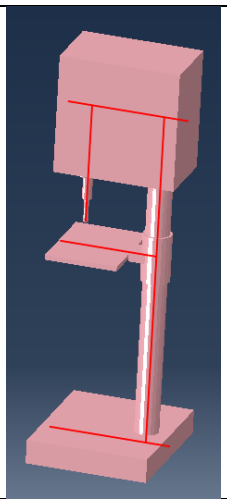


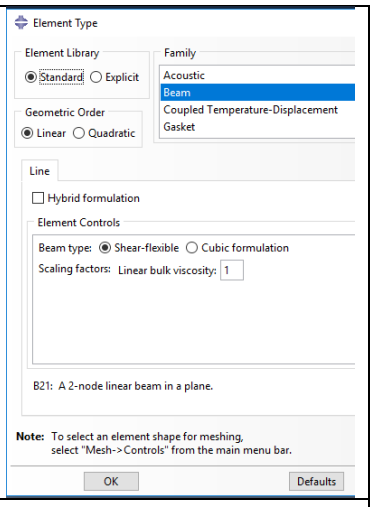
Ezután a hálózást az alábbi lépésekben végezzük el:

1. <u>Elemtípus megadása</u>:
    - Kattintsunk a Mesh modul **Assign Element Type** ikonjára.
    - Jelöljük ki a teljes 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 Beam-re, azaz húzott-nyomott-hajlított-nyírt rúdelemre, majd **OK**-zuk le az ablakot.

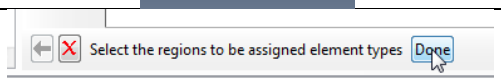


F1.2



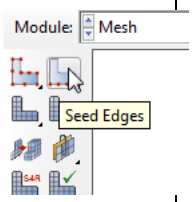


F1.1 F1.3

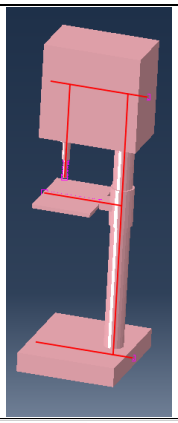


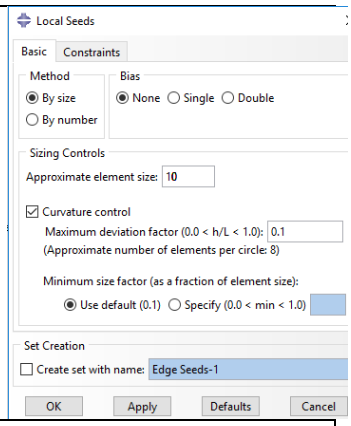
F1.4

2. <u>Elemméret megadása</u>:
   Ehhez az alábbi lépéseket végezzük el:
   - Kattintsunk a Mesh modul **Seed Edges** ikonjára.
   - Jelöljük ki az egész tartót.
   - A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra.
   - A megjelenő Local Seeds ablakban a Basic fülön a Method-nál pipáljuk be a **By size** opciót és lent a Sizing Controls mezőben az Approximate element size-hoz írjunk be **10**-et. Ezután **OK**-zuk le az ablakot.

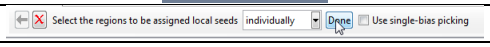


F2.2



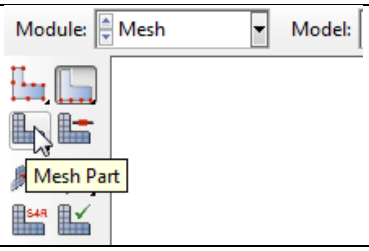


F2.1 F2.3

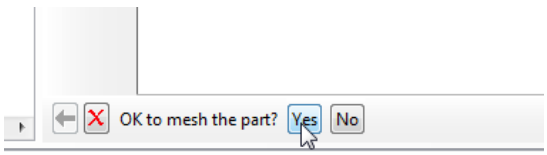


F2.4

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.

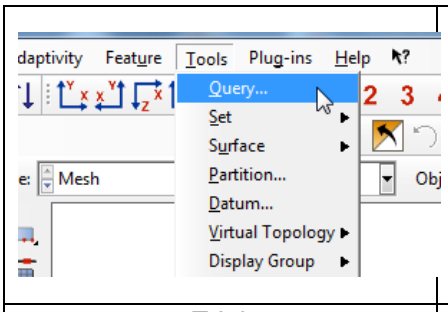


F3.1

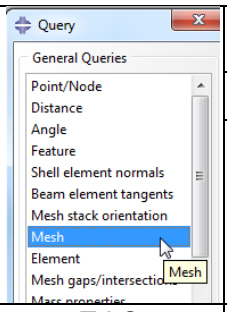


F3.2

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).

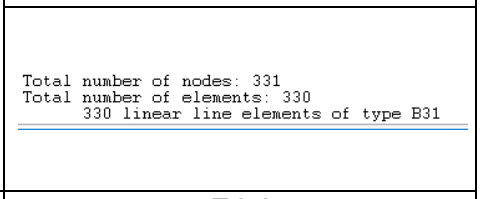


E4.1



E4.2

E4.3

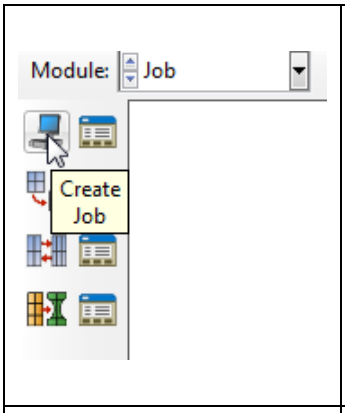


E4.4

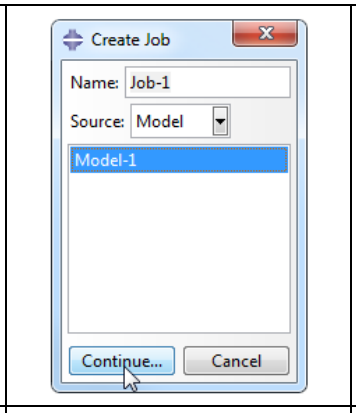
G MODULE | JOB feladat megoldása

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

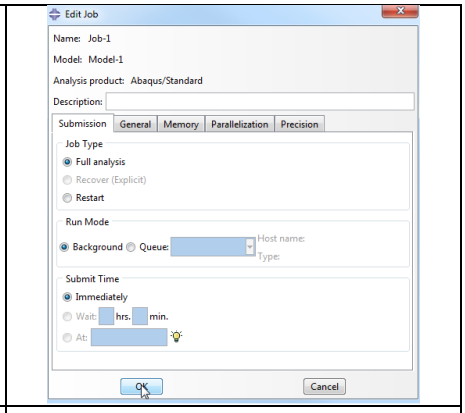
1. <u>Feladat definiálása</u>:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Create Job** ikonra
   - A megjelenő Create Job ablakban kattintsunk a **Continue…** gombra
   - A megjelenő Edit Job ablakban hagyjunk mindent alapértelmezésen és **OK**-zuk le



G1.1

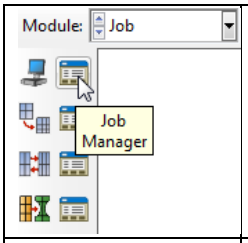


G1.2

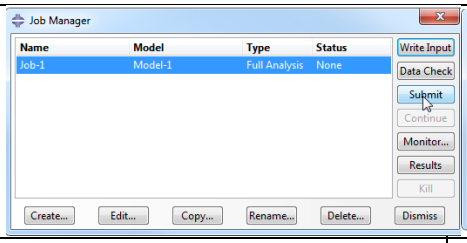


G1.3

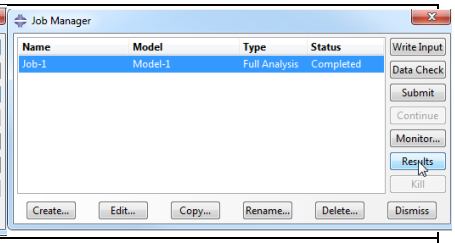
2. <u>Feladat lefuttatása</u>:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Job Manager** ikonra
   - A megjelenő Job manager ablakban alapból ki van választva az előbb definiált 1 db feladat (Job-1). Kattintsunk a **Submit** gombra.
   - Ha a Status alatt megjelenik a Completed felirat, akkor a feladat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



G2.1



G2.2

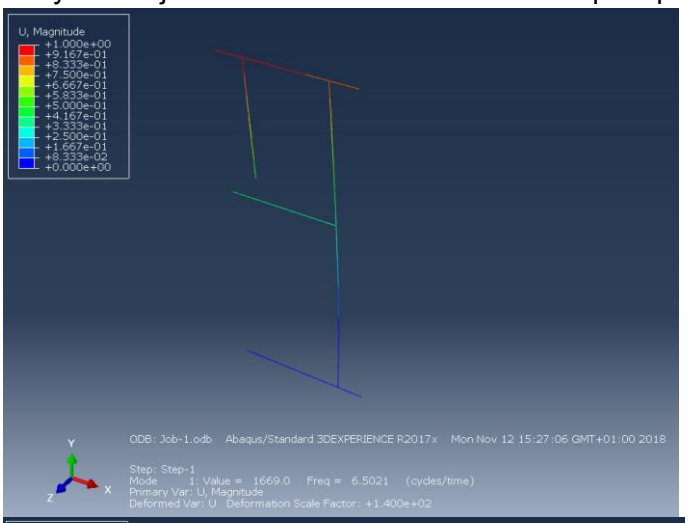


G2.3

H MODULE | VISUALIZATION eredmények megjelenítése

A **Results** gombra kattintva automatikusan a **Visualisation** modulba kerülünk. Fent válasszuk ki az U-t, hogy az elmozdulást jelenítsük meg.

A **Plot Contours on Deformed Shape** ikonra kattintva az adott sajátfrekvencián fellépő lengésképeket látjuk. A sajátfrekvenciák között a jobb sarokban lévő ikonokkal tudunk léptetni. Hogy hányadik sajátfrekvenciához tartozó lengésképet ábrázolja a program, azt a grafikus ablakon alul megjelenő szöveges részben látjuk. A Mode –nál látjuk, hogy hányadik sajátfrekvenciáról van szó és a Freq-nél pedig az adott sajátfrekvencia értéket.



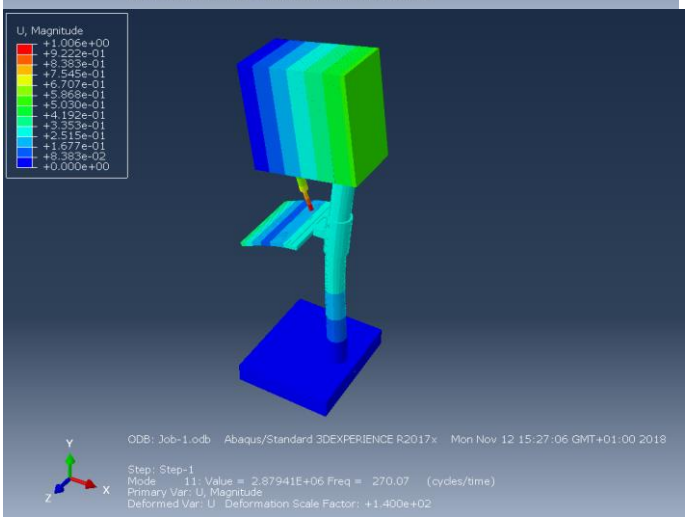
Mode=1 – első sajátfrekvencia

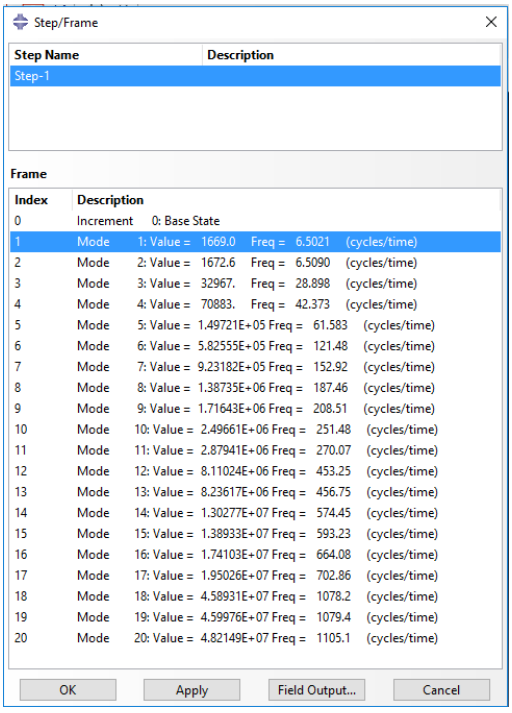
Value =1669 – első sajátkörfrekvencia négyzete α^2

Freq= 6,5021 Hz – első sajátfrekvencia értéke

$$f = \frac{\sqrt{\alpha^2}}{2\pi} = \frac{\sqrt{1669}}{2\pi} = 6,5021\,Hz$$

Periódusidő $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{6,0521} = 0,165\,s$

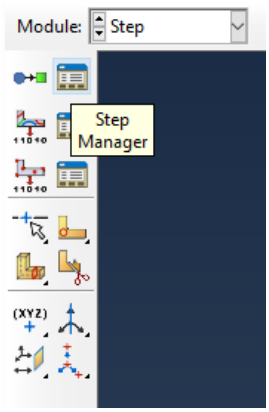




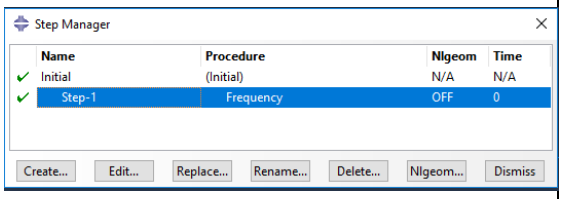
Az 1. feladatot (sajátérték feladat) megoldottuk a következőkben a 2. feladatot, vagyis a dinamikai feladatot oldjuk meg.

D MODULE | STEP lépések megadása

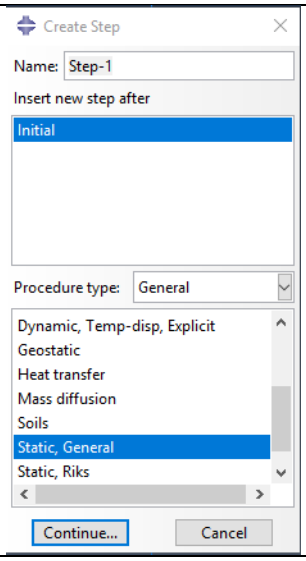
A Step modulba visszalépve töröljük az első feladatban létrehozott step-et. Ehhez kattintsunk a Step Manager-re és ott a Step-1-et kijelölve kattintsunk a **Delete…** gombra. Majd ugyan itt hozzunk létre egy új Static, General step-et. Kattintsunk a **Create…** gombra a felugró ablakban válasszuk a **Static, General** opciót majd **Continue**. A felugró Edit Step ablakot **OK**-zuk le. Végül zárjuk be a Step Manager ablakot.



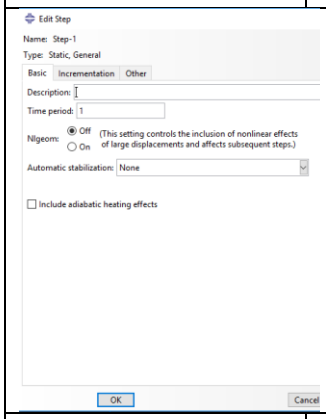
D1



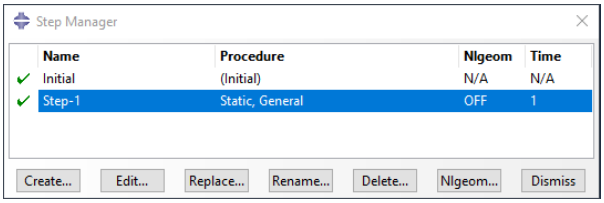
D2



D3



D4



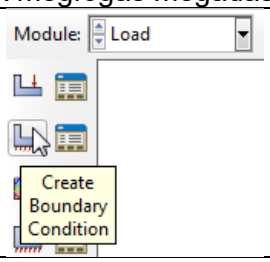
D5

D MODULE | LOAD peremfeltételek megadása

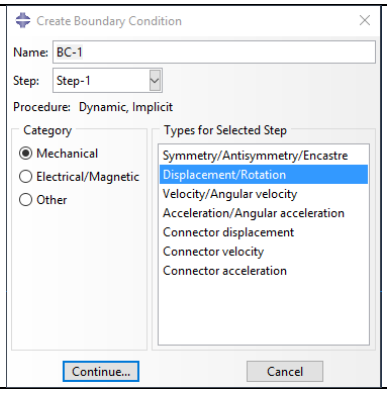
A Load modulban tudjuk megadni a kinematikai peremfeltételeket (megfogásokat) és dinamikai peremfeltételeket (terheléseket). A feladat során működni fog a fix megfogás az alsó rúdra illetve az erő és csavaró nyomaték a fúrószár végére.

1. <u>megfogások definiálása</u>:
    - Kattintsunk a Load modul **Create Boundary Condition** ikonjára.
    - A megjelenő Create Boundary Condition ablakban nevezzük el a megfogást, 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 fix megfogás helyét, az alsó rudat (kijelöléskor egy kis piros vonal jelenik meg a kijelölés helyén).
    - A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done**-re
    - Az ekkor megjelenő Edit Boundary Condition ablakban akadályozzuk meg az X,Y,Z irányú elmozdulást, és az X,Y,Z tengely körüli elfordulást. Ehhez az **U1, U2, U3, UR1, UR2, UR3** előtti négyzeteket, pipáljuk be. **OK**-zuk le az ablakot.

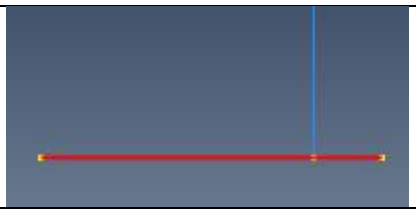
fix megfogás megadása



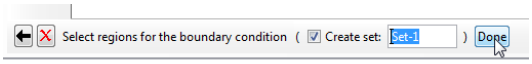
E1.1



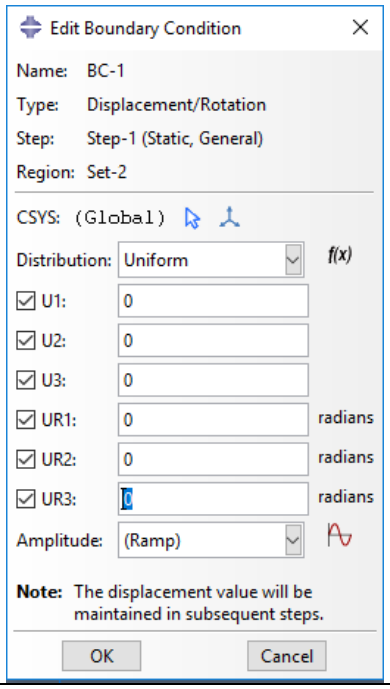
E1.2



E1.3

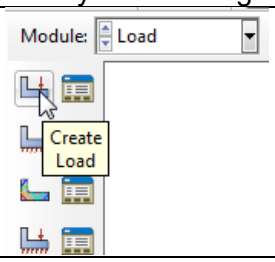
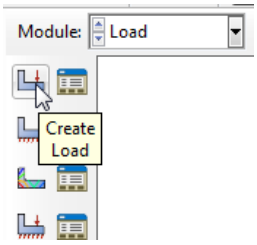
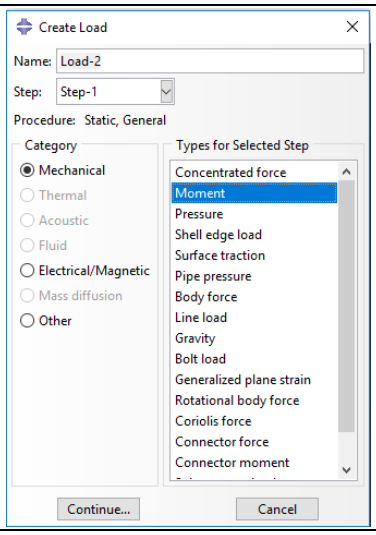
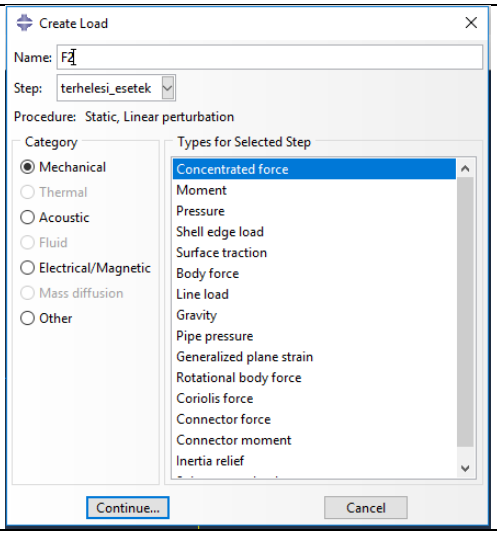
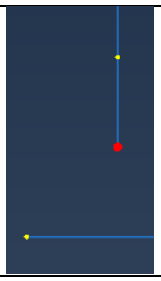
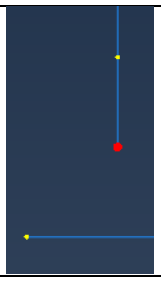
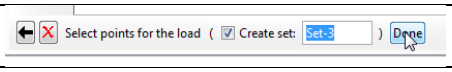
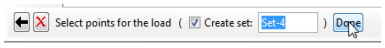


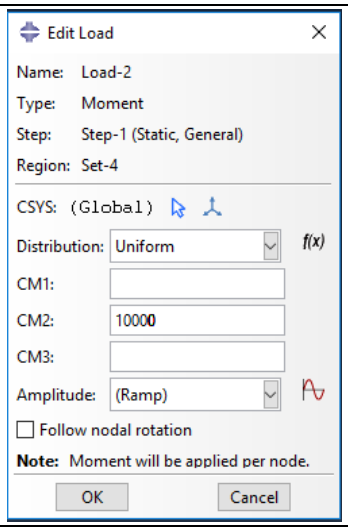
E1.4



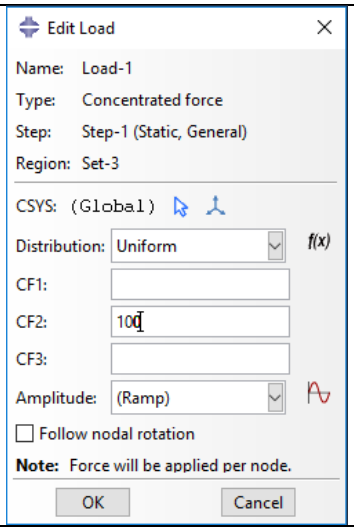
E1.5

2. <u>terhelések definiálása</u>:
    - Kattintsunk a Load modul **Create Load** ikonjára.
    - A megjelenő Create Load ablakban nevezzük el az adott terhelést. . A Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a **Concentrated force**-t koncentrált erő megadáshoz és **Moment**-et a csavaró nyomaték megadásához. A Step ablakban pedig válasszuk a **Step-1**-et. Ezután kattintsunk a **Continue…** gombra.
    - Jelöljük ki a rajzon a terhelés helyét. (kijelöléskor egy kis piros pont illetve piros vonal 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: **CF2=100** koncentrált erő esetén és **CM2=10000** csavaró nyomaték esetén.

Csavaró nyomaték megadása	Koncentrált erő megadása
	
E2.1	E2.6
	
E2.2	E2.7
	
E2.3	E2.8
	
E2.4	E2.9



E2.5

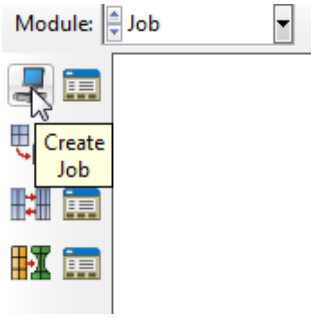


E2.10

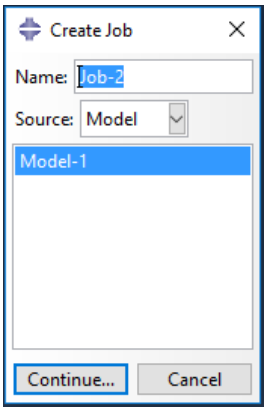
G MODULE | JOB feladat megoldása

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

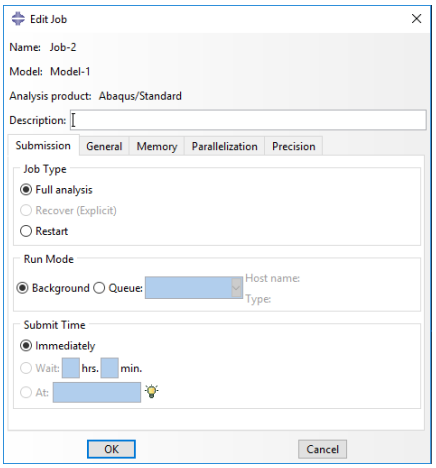
1. Feladat definiálása:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Create Job** ikonra és hozzunk létre egy kettes Job-ot.
   - A megjelenő Create Job ablakban kattintsunk a **Continue…** gombra
   - A megjelenő Edit Job ablakban hagyjunk mindent alapértelmezésen és **OK**-zuk le



G1.1

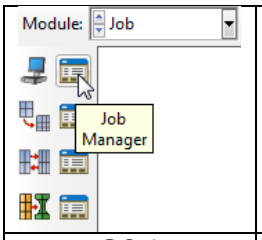


G1.2

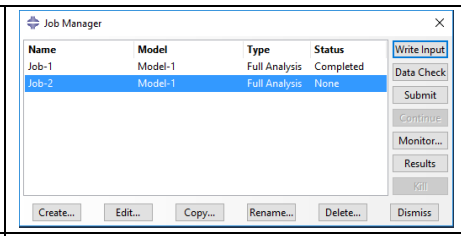


G1.3

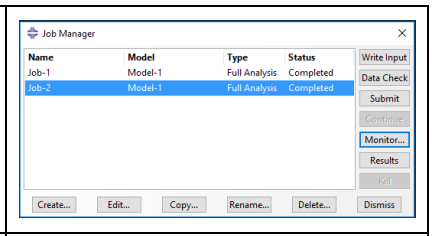
2. Feladat lefuttatása:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Job Manager** ikonra
   - A megjelenő Job manager ablakban alapból ki van választva az előbb definiált Job-2. Kattintsunk a **Submit** gombra.
   - Ha a Status alatt megjelenik a Completed felirat, akkor a feladat sikeresen lefutott.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



G2.1



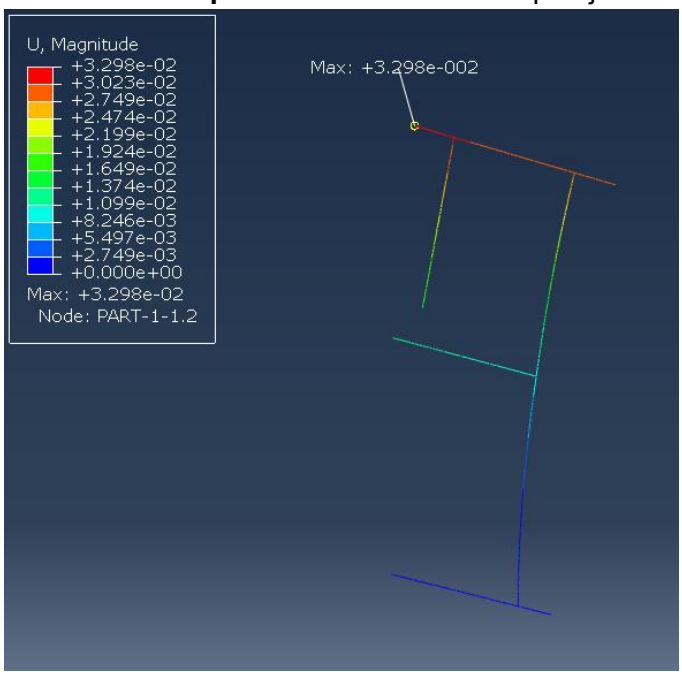
G2.2



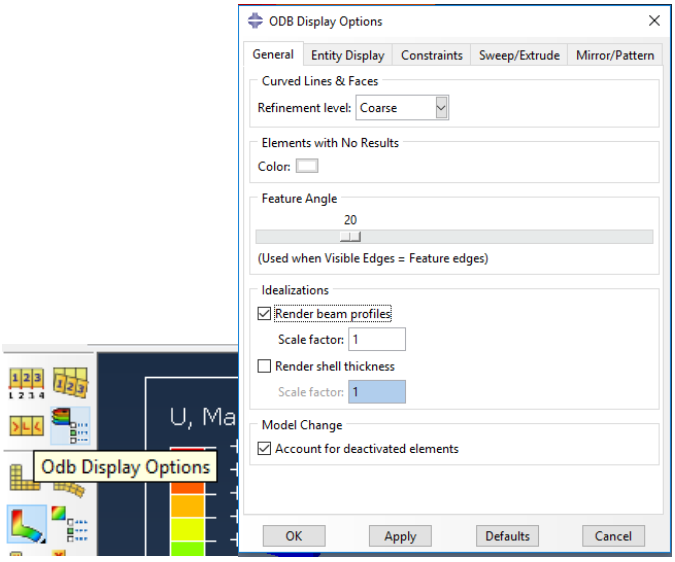
G2.3

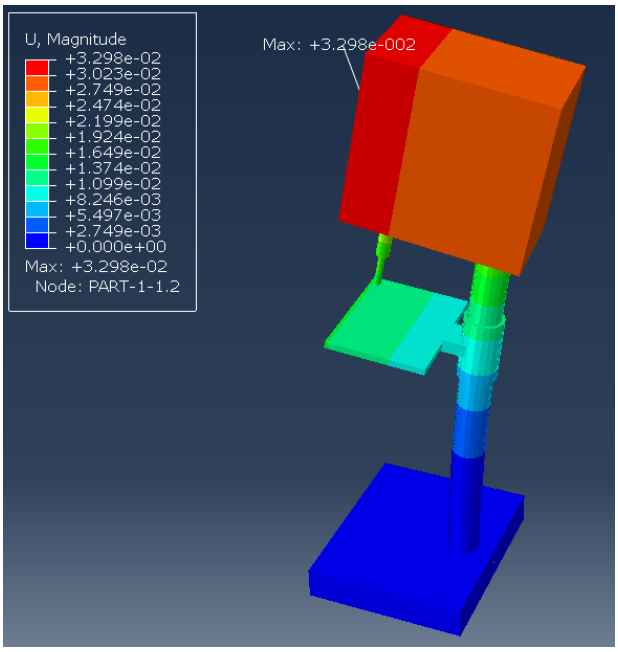
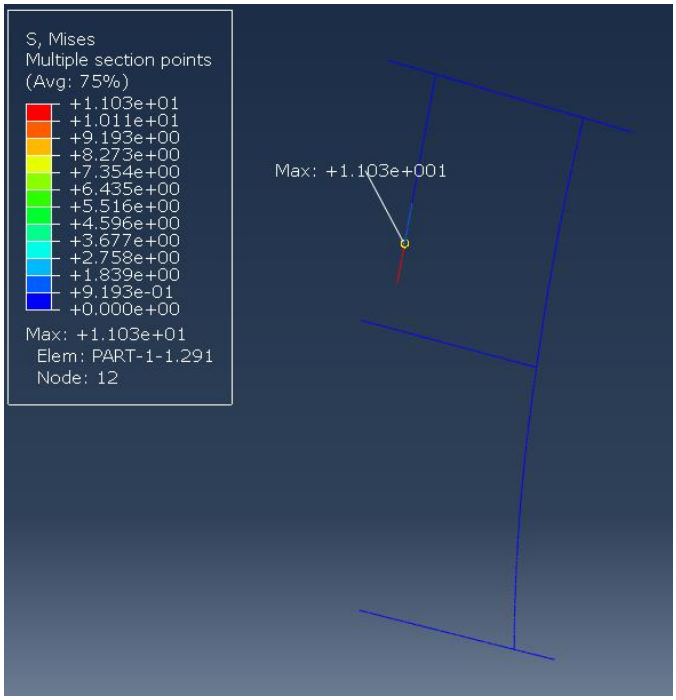
H MODULE | VISUALIZATION eredmények megjelenítése

A **Results** gombra kattintva automatikusan a **Visualisation** modulba kerülünk. Fent válasszuk ki az U-t, hogy az elmozdulást jelenítsük meg.
A **Plot Contours on Deformed Shape** ikonra kattintva a rúd pontjainak kitérését.



Látványosabban látszik az eredmény, ha az **Odb Display Options**-on belül bekapcsoljuk a **Render Beam Profiles** opciót.





Redukált feszültség eloszlás ábrázolása.