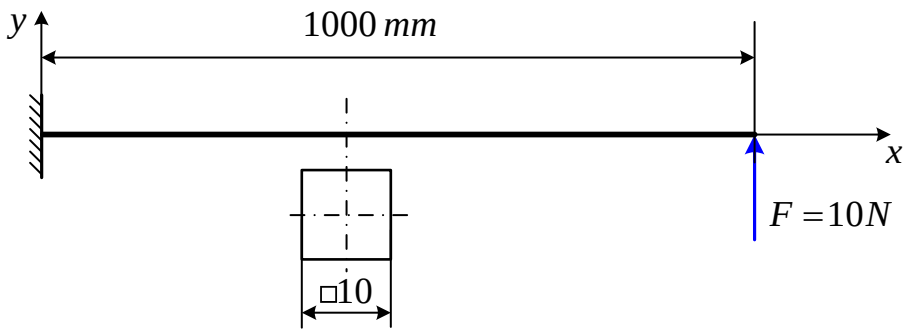
SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

ALKALMAZOTT MECHANIKA TANSZÉK

Végeselem módszer 6. gyakorlat
Befalazott rúd sajátfrekvencia- és dinamikai 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: $F = 10$ N

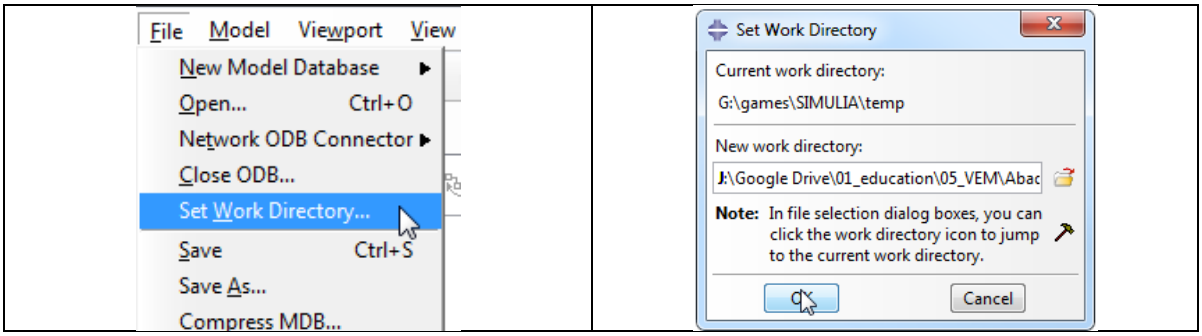
Feladatok: 1. Sajátfrekvencia vizsgálat (itt nem kell terhelés csak megfogás)
2. Dinamikai vizsgálat (az 1. step-ben ráütünk a rúd végére 10N erővel a 2. step-ben nézzünk, hogyan leng a rúd az ütés hatására)

Végeselem modell/háló: húzott-nyomott, hajlított-nyírt rúdelem. Elem darabszám a teljes rúdon 20 db.

Szemléltetés:

- Az első 10 sajátfrekvencia meghatározása.
- Az első 10 sajátfrekvenciához tartozó lengésképek kirajzoltatása.
- A szerkezet lengésének kirajzoltatása.
- A rúd 0,5 és 0,7 másodpercekben a rúdvég elmozdulásának meghatározása.
- 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.

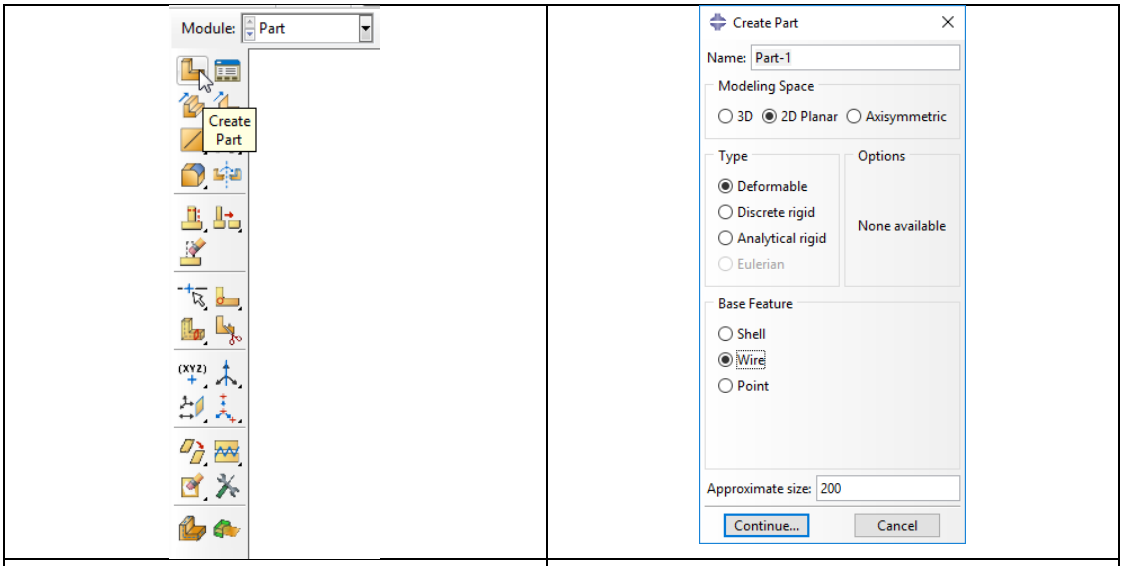


A MODULE | PART geometria megrajzolása

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 **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.

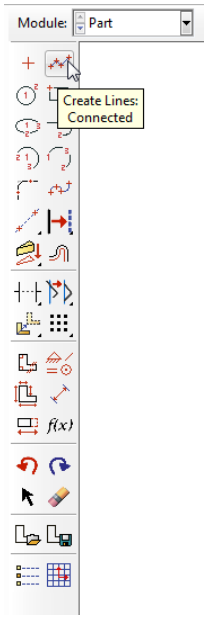


A1.1	A1.2

2. A geometria megrajzolásához válasszuk az eszköztárból a **Create Lines: Connected** parancsot. Ezután rajzoljunk egy vízszintes vonalat.
    - Ha végeztünk a geometria megrajzolásával nyomjuk meg az Esc billentyűt.

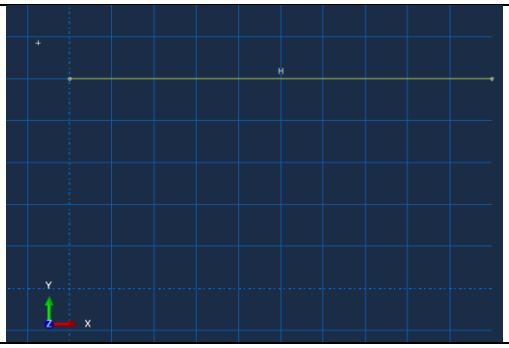
    Ezt követően méretezzük be a megrajzolt vonalat, ehhez válasszuk, az **Add Dimension** parancsot.
    - Kattintsunk a vonalra és lent a beviteli mezőbe írjuk be a méretet, vagyis **1000** és fogadjuk el enterrel.

    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.

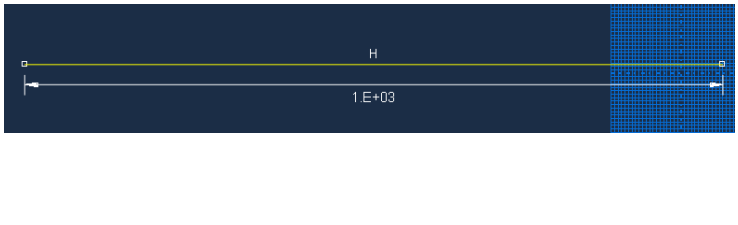


A3.1

A3.2

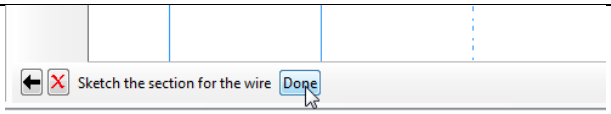


A3.3



A3.4

A3.5

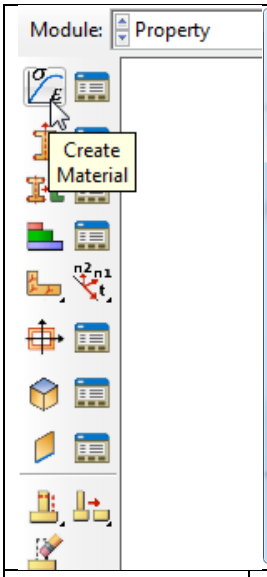


B MODULE | PROPERTY tulajdonságok megadása

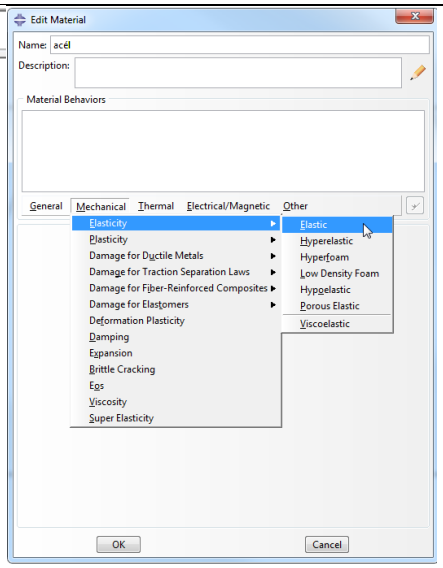
Válasszuk ki fent a Property modult. Itt tudjuk megadni az anyagjellemzőket, illetve rúd esetén a keresztmetszeti jellemzőket. Ehhez az alábbi 3 lépésen kell végmenni:

1. <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:

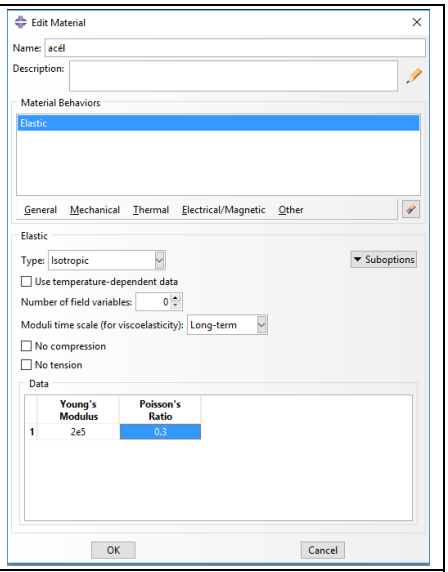
- Nevezzük el az anyagot: a Name: után írjuk be, hogy acél
- A lineárisan rugalmas anyagjellemzők megadásához a Material Behaviors mezőben adjuk ki a **Mechanical ► Elasticity ► Elastic** parancsot
- Az ekkor megjelenő Elastic mezőben az alábbi beállításokat végezzük el:
    - A **Type** mellett hagyjuk 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.



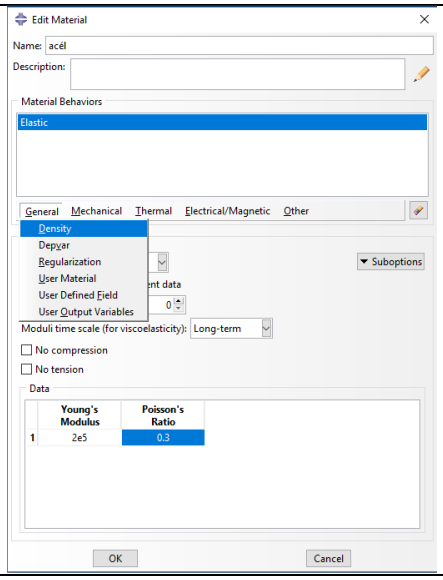
B1.1



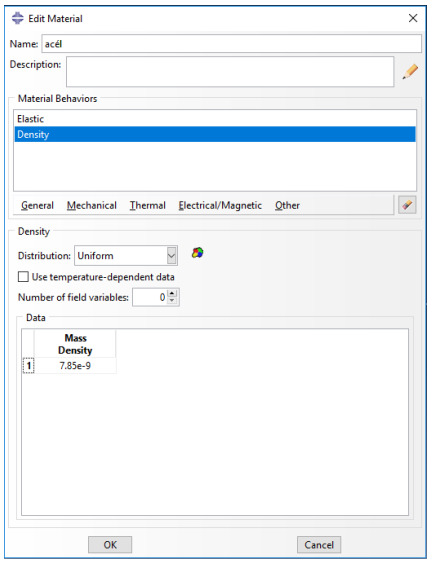
B1.2



B1.3



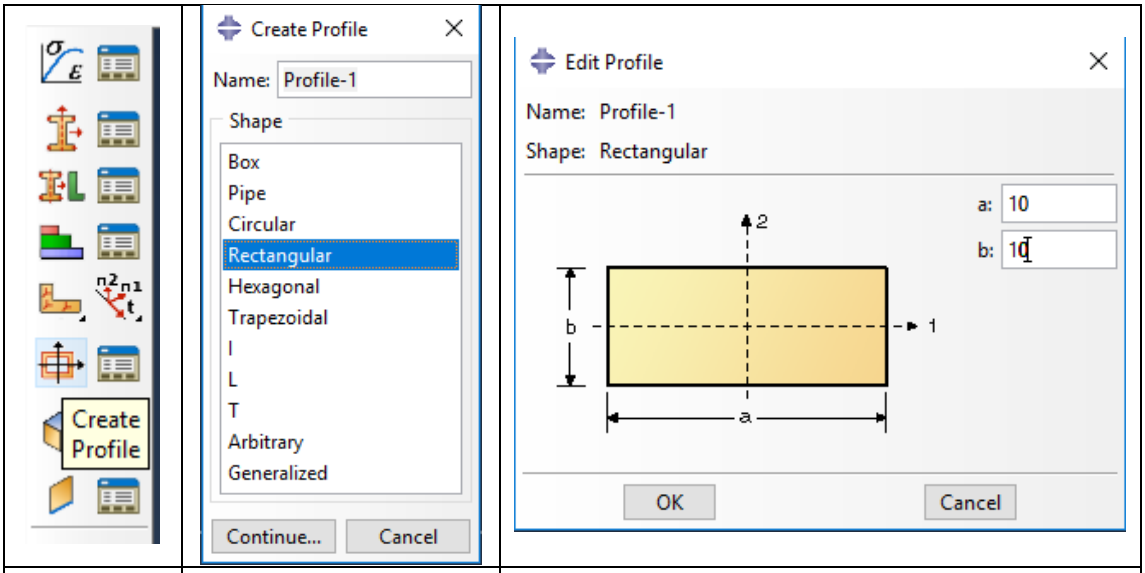
B1.4



B1.5

2. <u>Keresztmetszet profiljának definiálása</u>: A Property Modul eszköztárából kattintsunk a **Create Profile** ikonra. Az ekkor megjelenő Create Prolife ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:
    - Nevezzük el a keresztmetszetet.
    - A Shape alatt válasszuk ki a **Rectangular** –t.

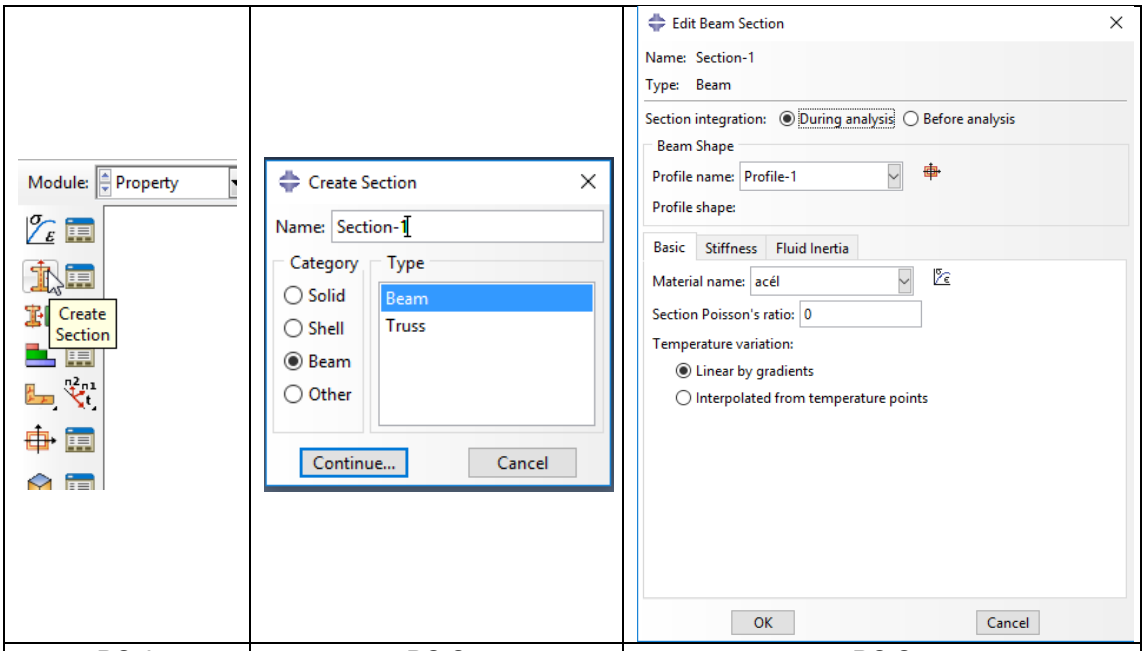
    Ezután kattintsunk a **Continue**… gombra. Az ekkor megjelenő Edit Profile ablakban adjuk meg az négyzet szelvény ábrán látható méreteit. Ezután kattintsunk az **OK** gombra.



B2.1	B2.2	B2.3

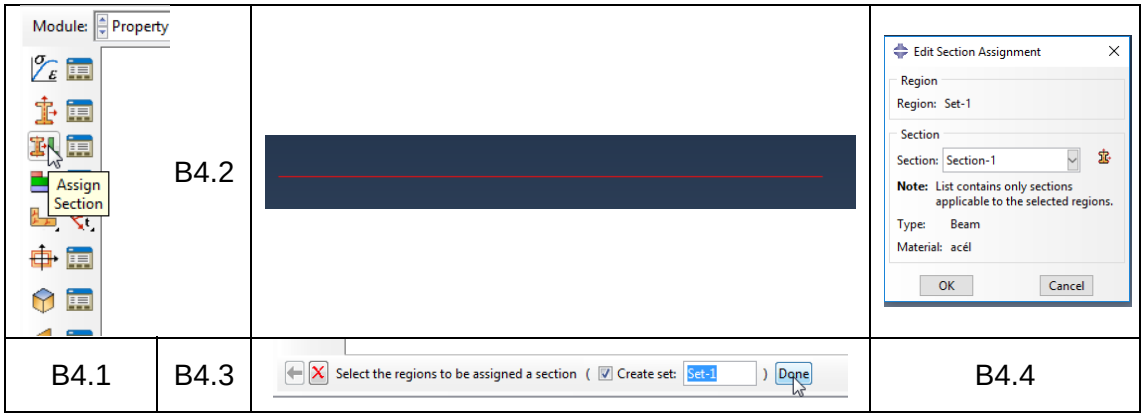
3. <u>Keresztmetszet definiálása</u>: A Property Modul eszköztárából kattintsunk a **Create Section** ikonra. Az ekkor megjelenő Create Section ablakban az alábbi beállításokat végezzük el:
    - A Category alatt válasszuk ki a **Beam** –t (rúd)
    - A Type alatt válasszuk a **Beam** –t

    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 négyzet szelvény. Ezután kattintsunk az **OK** gombra.



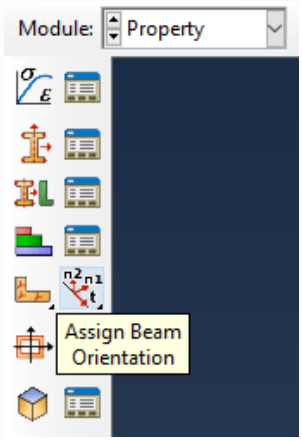
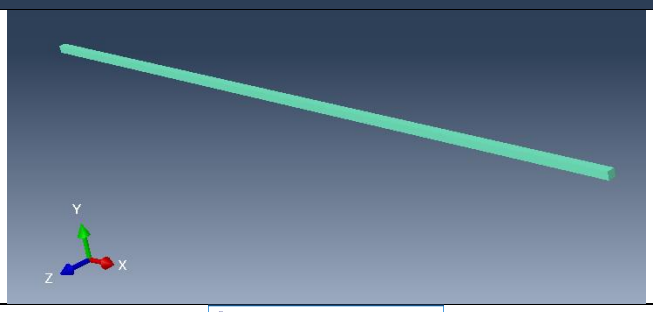
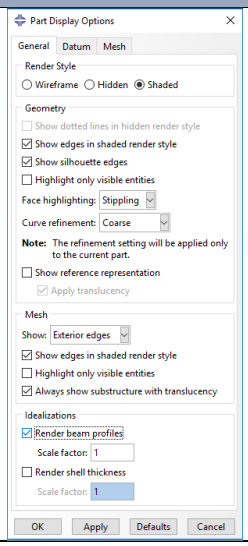
B3.1	B3.2	B3.3

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 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 csak **OK**-zuk le az ablakot.



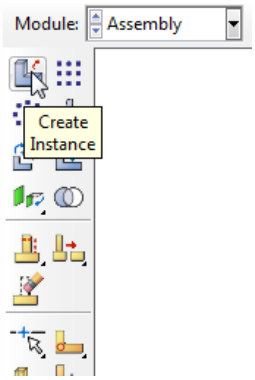
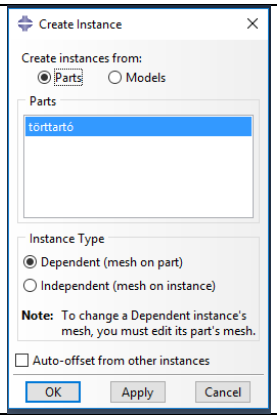
B4.1	B4.2	B4.3	B4.4

5. <u>Keresztmetszet orientációjának megadása</u>: Végül adjuk meg a keresztmetszet profiljának orientációját az **Assign Beam Orientation** paranccsal. Ezután jelöljük ki az egész tartót, 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

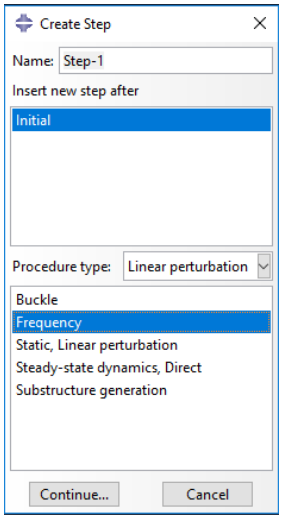
Ennek a lépésnek több alkatrészből álló szerkezetek esetében van igazán jelentősége, mivel itt tudjuk létrehozni az összeállítást. Jelenleg csak egy alkatrészünk van, ennek ellenére nem hagyható ki a lépés, készítenünk kell egy egy alkatrészből álló összeállítást. Ehhez kattintsunk az Assembly modul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

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>C1</td><td>C2</td></tr>
</table>

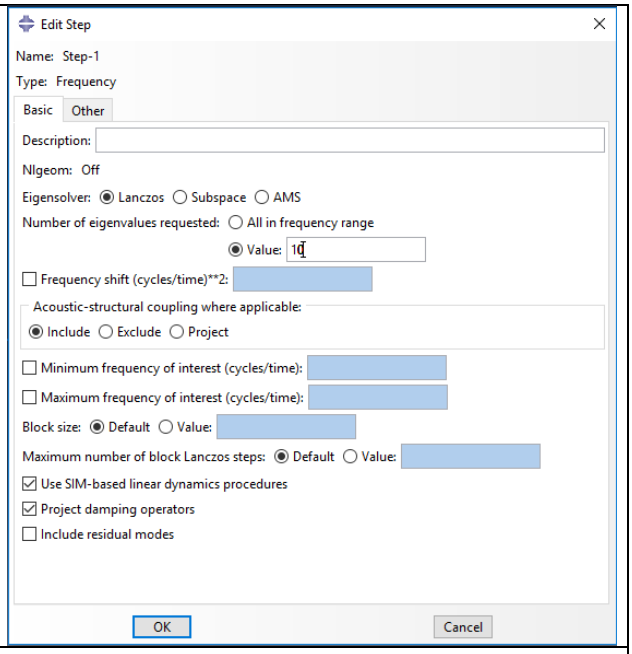
D MODULE | STEP lépések megadása

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 **10**-et, vagyis a program az első 10 sajátfrekvenciát fogja kiszámolni, eztuán **OK**-zuk le.

D1



D2



D3

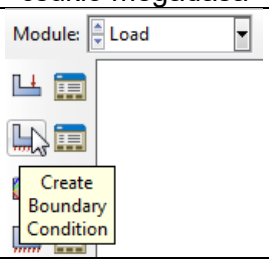
D MODULE | LOAD peremfeltételek megadása

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.

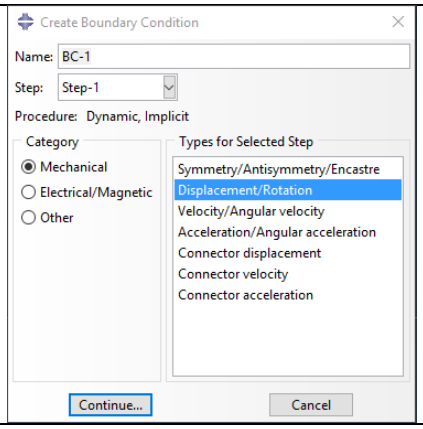
1. <u>megfogások definiálása</u>:
    - Kattintsunk a Load modul **Create Boundary Condition** ikonjára.
    - A megjelenő Create Boundary Condition ablakban nevezzük el a megfogást, a Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a **Displacement/Rotation**-t. 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.

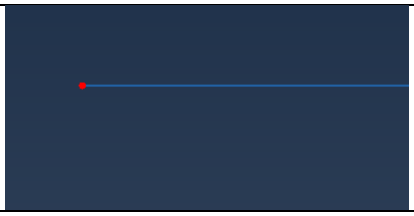
csukló megadása



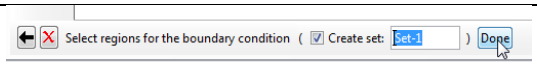
E1.1



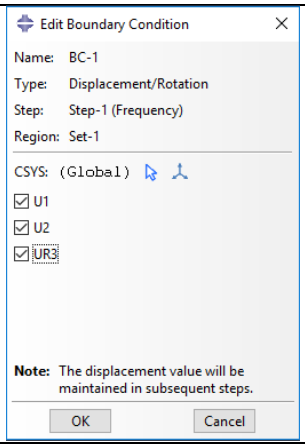
E1.2



E1.3



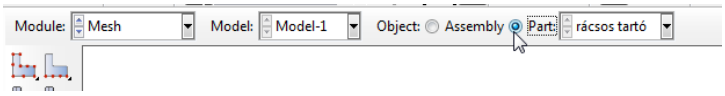
E1.4



E1.5

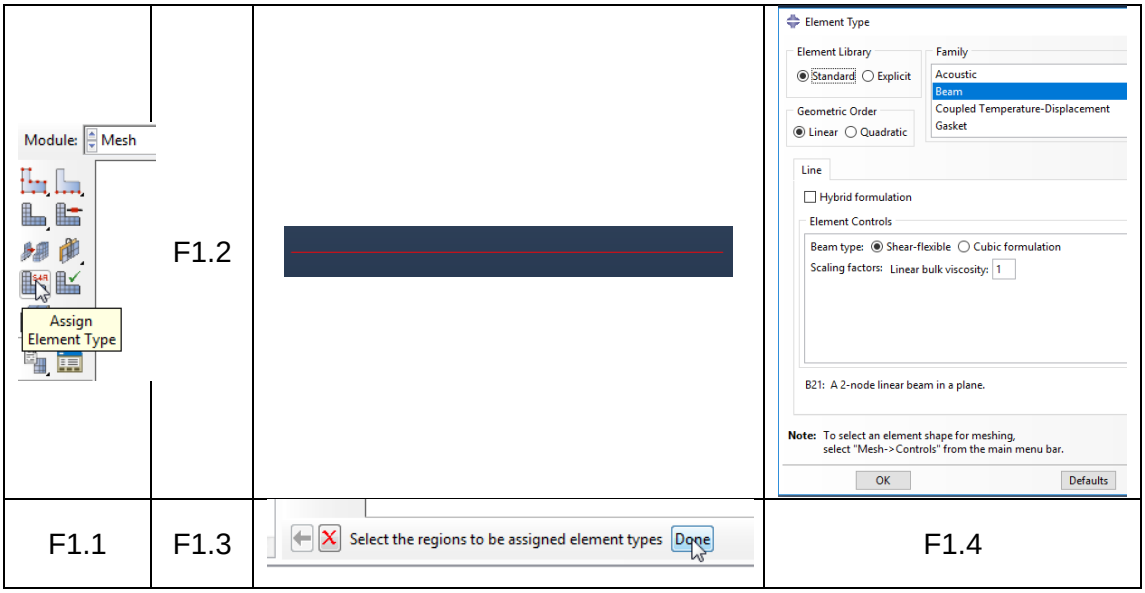
F	MODULE | MESH	háló elkészítése

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.

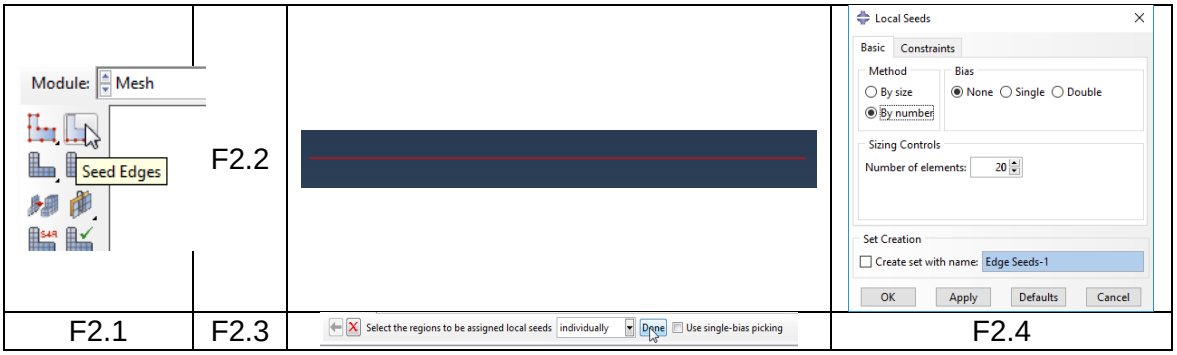


Ezután a hálózást az alábbi lépésekben végezzük el:

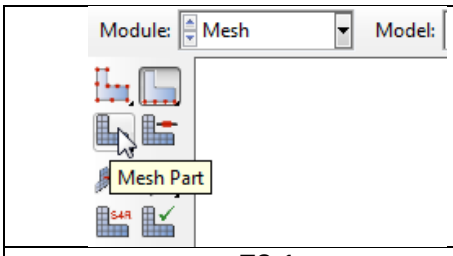
1. <u>Elemtípus megadása</u>:
   - Kattintsunk a Mesh modul **Assign Element Type** ikonjára.
   - Jelöljük ki a teljes tartót, mivel minden rúdhoz ugyanolyan elemtípust szeretnénk rendelni.
   - A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra
   - A megjelenő Element Type ablakban a Family-t állítsuk Beam-re, azaz húzott-nyomott-hajlított-nyírt rúdelemre, majd **OK**-zuk le az ablakot.



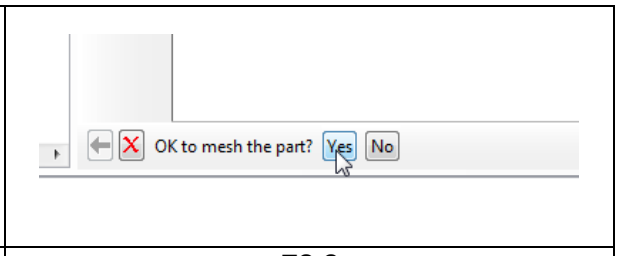
2. <u>Elemméret megadása</u>:
   Ehhez az alábbi lépéseket végezzük el:
   - Kattintsunk a Mesh modul **Seed Edges** ikonjára.
   - Jelöljük ki az egész tartót.
   - A lenti beviteli mezőben kattintsunk a **Done** gombra.
   - A megjelenő Local Seeds ablakban a Basic fülön a Method-nál pipáljuk be a **By number** opciót és lent a Sizing Controls mezőben a Number of elements-hez írjunk be **20**-at. Ezután **OK**-zuk le az ablakot.



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.

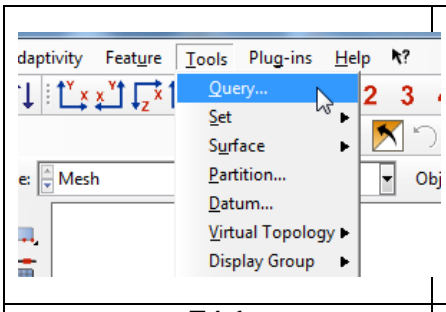


F3.1

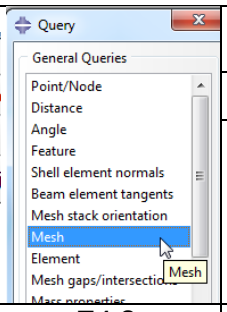


F3.2

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).

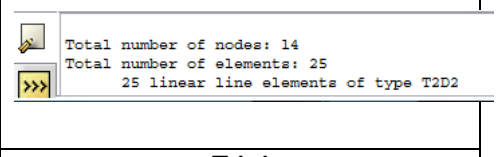


E4.1



E4.2

E4.3

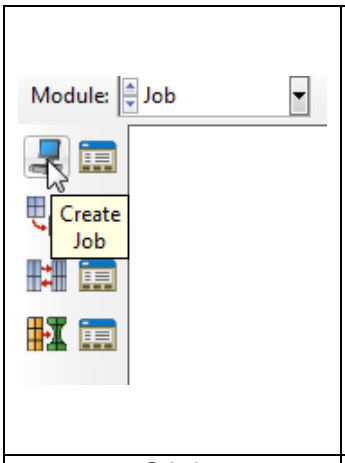


E4.4

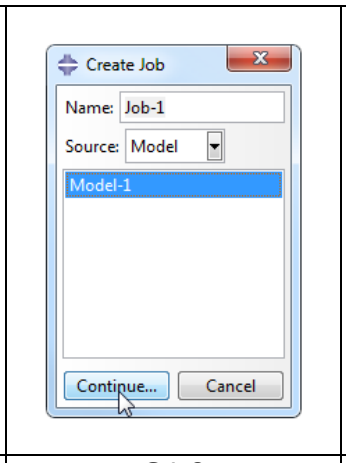
G MODULE | JOB feladat megoldása

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

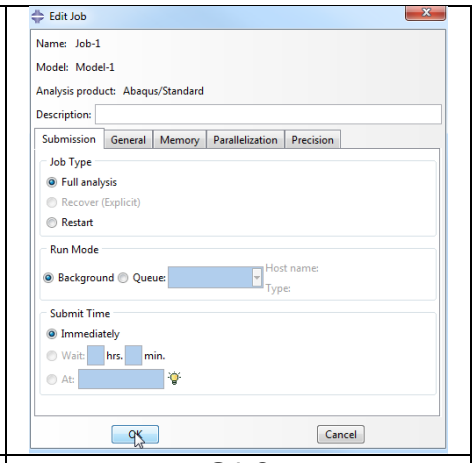
1. <u>Feladat definiálása</u>:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Create Job** ikonra
   - A megjelenő Create Job ablakban kattintsunk a **Continue…** gombra
   - A megjelenő Edit Job ablakban hagyjunk mindent alapértelmezésen és **OK**-zuk le



G1.1

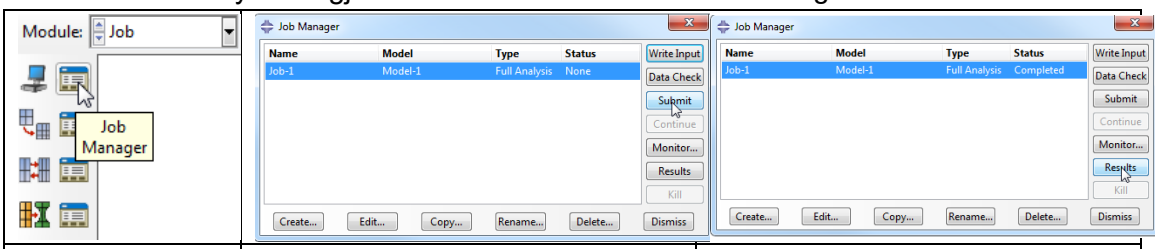


G1.2



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.

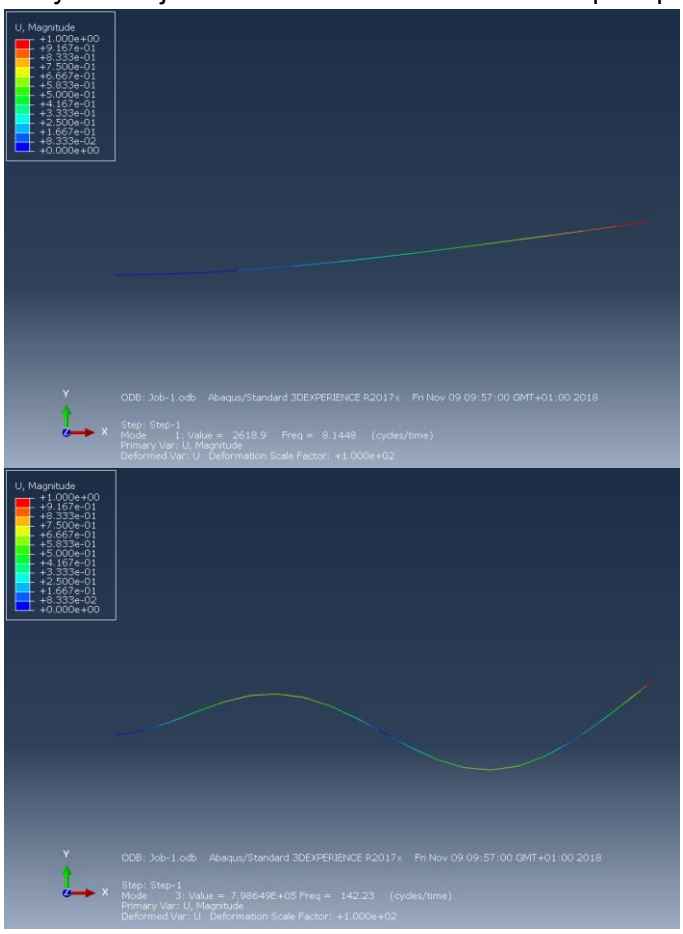


G2.1	G2.2	G2.3

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.



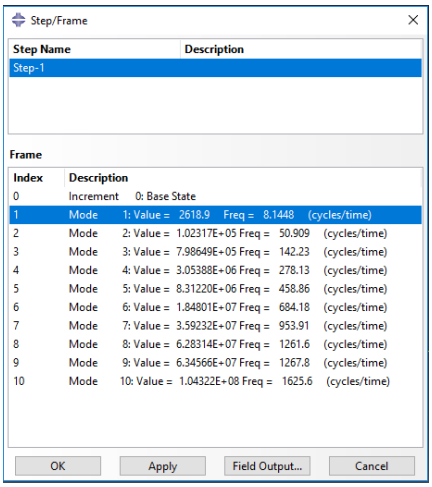
Mode=1 – első sajátfrekvencia

Value =2618,9 – első sajátkörfrekvencia négyzete α^2

Freq= 8,1448 Hz – első sajátfrekvencia értéke

$$f = \frac{\sqrt{\alpha^2}}{2\pi} = \frac{\sqrt{2618,9}}{2\pi} = 8,1448\ Hz$$

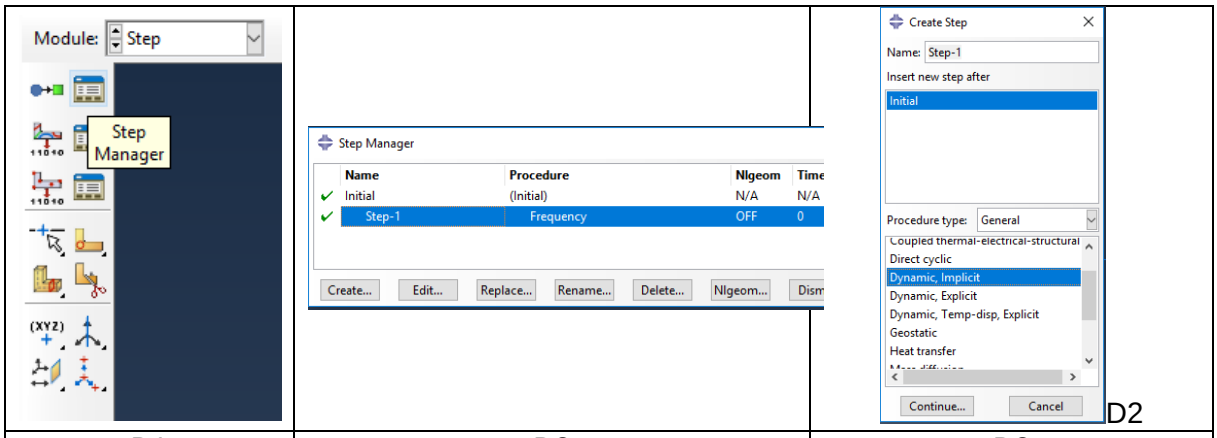
Periódusidő $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8,1448} = 0,123\ s$



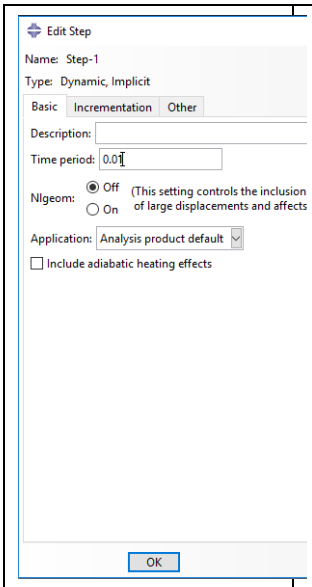
Az 1. feladatot (sajátérték feladat) megoldottuk a következőkben a 2. feladatot, vagyis a dinamikai feladatot oldjuk meg.

D	MODULE | STEP	lépések megadása

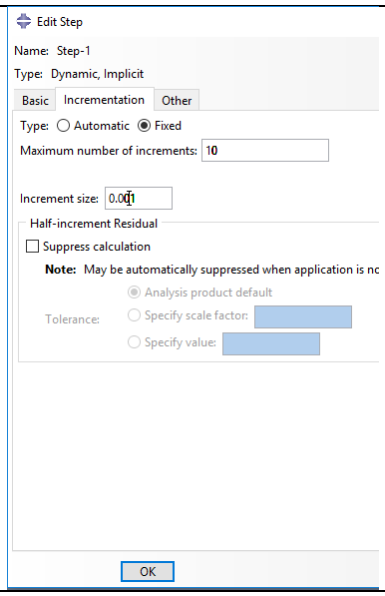
A Step modulba visszalépve töröljük az első feladatban létrehozott step-et. Ehhez kattintsunk a Step Manager-re és ott a Step-1-et kijelölve kattintsunk a **Delete…** gombra. Majd ugyan itt hozzunk létre két új Dynamic, Implicit step-et. Kattintsunk a **Create…** gombra a felugró ablakban válasszuk a **Dynamic, Implicit** opciót majd **Continue**. A felugró Edit Step ablakban a Time period-hoz írjuk be a vizsgálat hosszát, azaz **0.01**-et, majd átlépve az Incrementation fülre a Type-nál kattintsuk be a **Fixed** opciót és a Maximum number of increments-hez **10**-et az Increment size-hoz **0.001**-et írjunk be. Ezután **OK**-zuk le az ablakot. Ezután hozzuk létre a másik Step-et ugyan így mint az előbb. Kattintsunk a **Create…** gombra a felugró ablakban válasszuk a **Dynamic, Implicit** opciót majd **Continue**. A felugró Edit Step ablakban a Time period-hoz írjuk be a vizsgálat hosszát, azaz **1**-et, majd átlépve az Incrementation fülre a Type-nál kattintsuk be a **Fixed** opciót és a Maximum number of increments-hez **1000**-et az Increment size-hoz **0.001**-et írjunk be. Ezután **OK**-zuk le az ablakot. Végül zárjuk be a Step Manager ablakot. Ezután kattintsuk a **Field Output Manager**-re és a felugró ablakban a Step-1-nél a **Created**-re és az **Edit** gombra. A felugró abrakban a Frequency sornál az **n:** értéknél írjuk át a 10-et **1**-re.



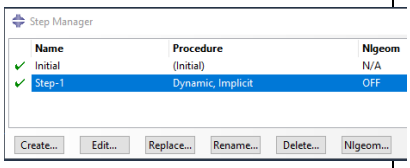
D1	D2	D3



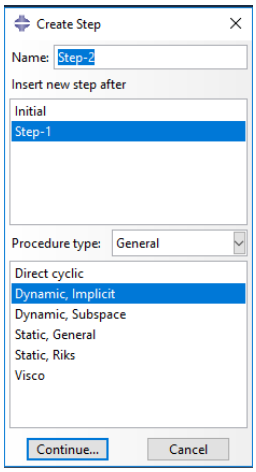
D4



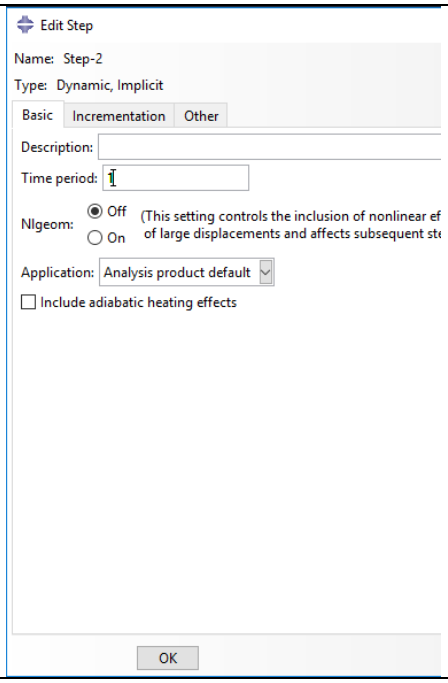
D5



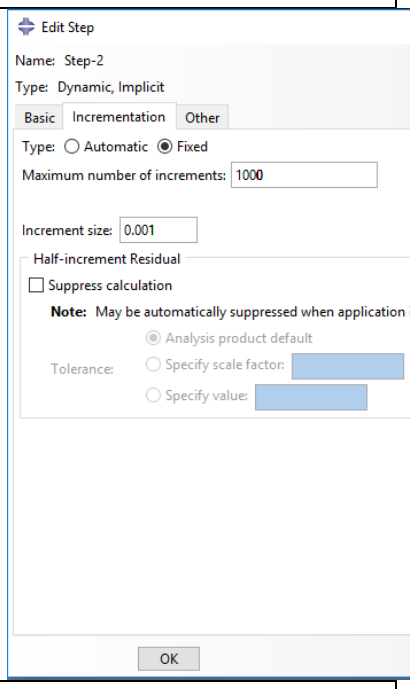
D6



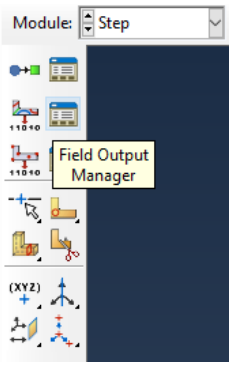
D7

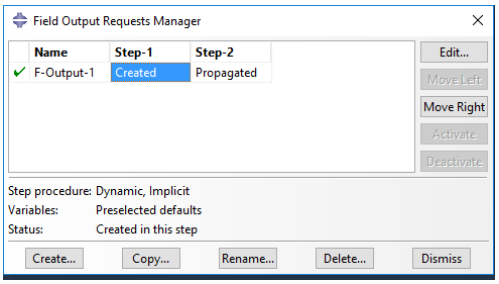


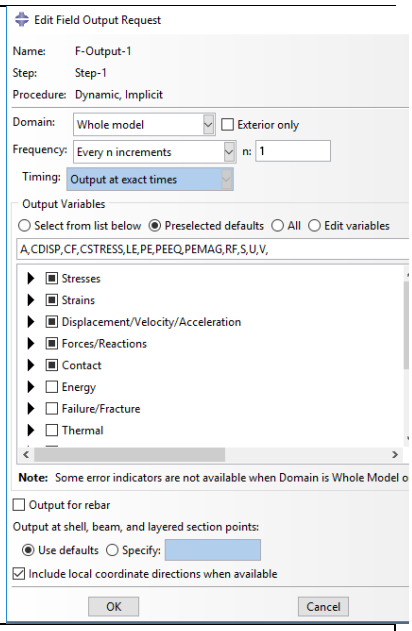
D8



D9





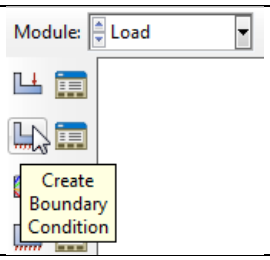


D MODULE | LOAD peremfeltételek megadása

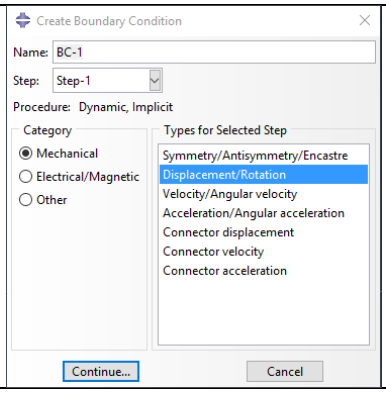
A Load modulban tudjuk megadni a kinematikai peremfeltételeket (megfogásokat) és dinamikai peremfeltételeket (terheléseket). A feladat mindkét step-jében működni fog a fix megfogás a rúdra viszont a kalapácsütés ereje (10N) csak az első step-ben kell hogy működjön a rúdra.

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. Illetve a Step abalkban válasszuk a **Step-1**-et. 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.
    - Végül a **Boundary Condition Manager**-re kattintva ellenőrizzük, hogy a létrehozott fix megfogást a program a Step-2-re is tovább viszi, vagyis a Step-2-nél a **Propagated** bejegyzés látható.

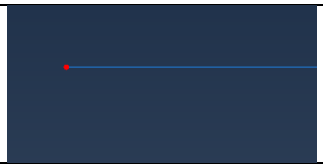
fix megfogás megadása



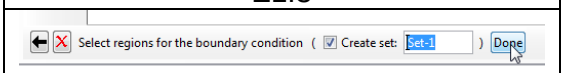
E1.1



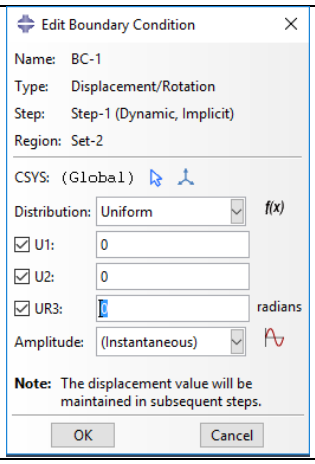
E1.2



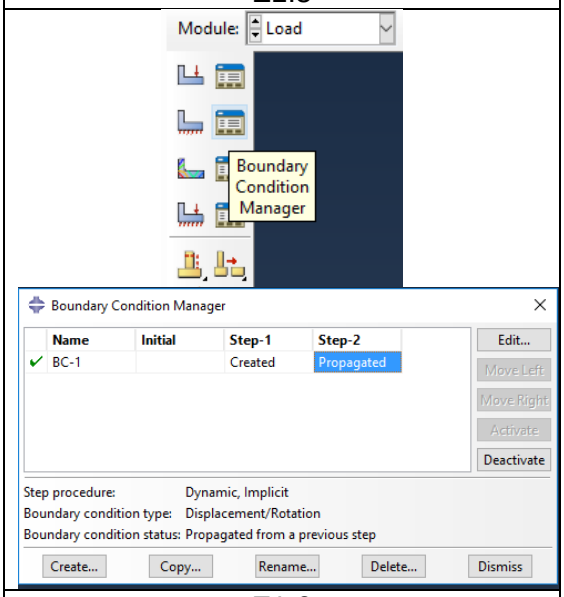
E1.3



E1.4



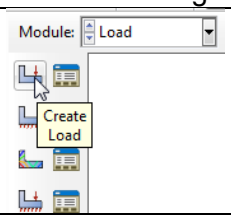
E1.5



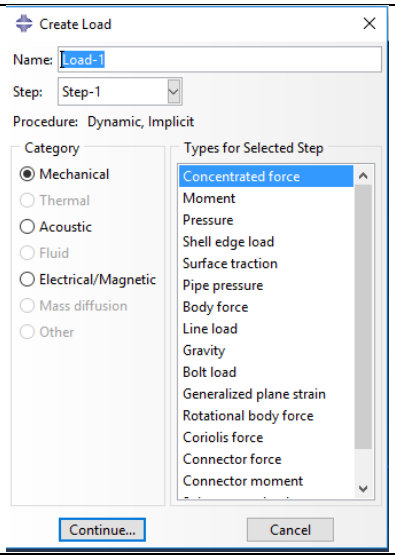
E1.6

2. <u>terhelések definiálása</u>:
    - Kattintsunk a Load modul **Create Load** ikonjára.
    - A megjelenő Create Load ablakban nevezzük el megoszló terhelésnek, az erőt pedig koncentrált erőnek. . A Category-t hagyjuk az alapértelmezett Mechanical-on, a Types for Selected Step alatt pedig válasszuk ki a **Concentrated force**-t koncentrált erő megadáshoz. A Step ablakban pedig válasszuk a **Step-1**-et. Ezután kattintsunk a **Continue…** gombra.
    - Jelöljük ki a rajzon a megoszló terhelés illetve a koncentrált erő 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=10**
    - Ezután a **Load Manager**-re kattintva majd a felugró ablakban a **Step-2**-re kattintva és utána a **Deactivate** ikonra kattintva, kapcsoljuk ki a terhelést a kettes Step-en. Tehát a megadott 10N-os terhelés csak az első stepben fog működni.

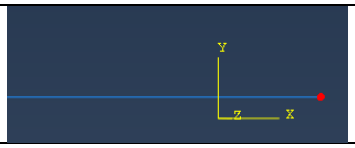
Koncentrált erő megadása



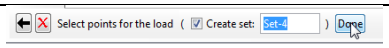
E2.6



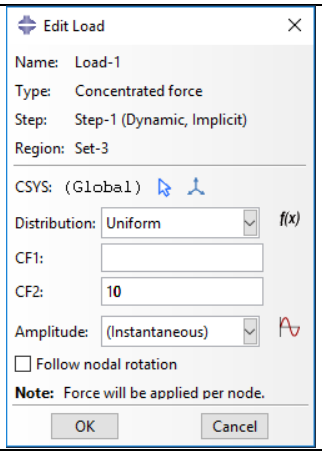
E2.7



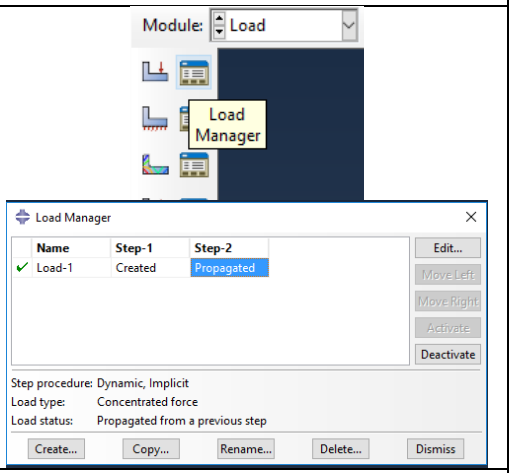
E2.8



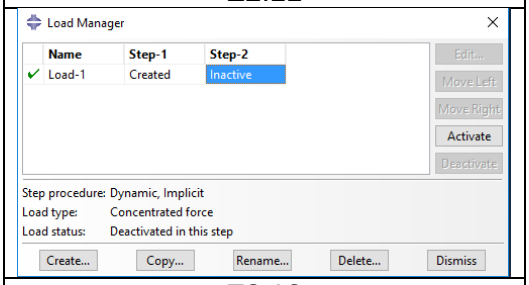
E2.9



E2.10



E2.11

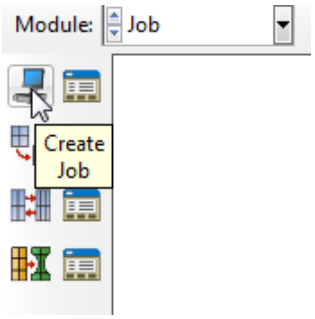


E2.12

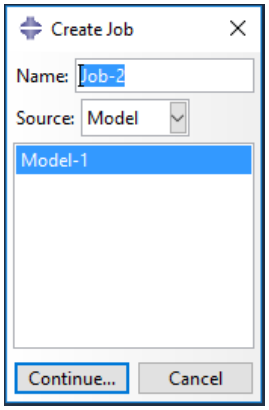
G MODULE | JOB feladat megoldása

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

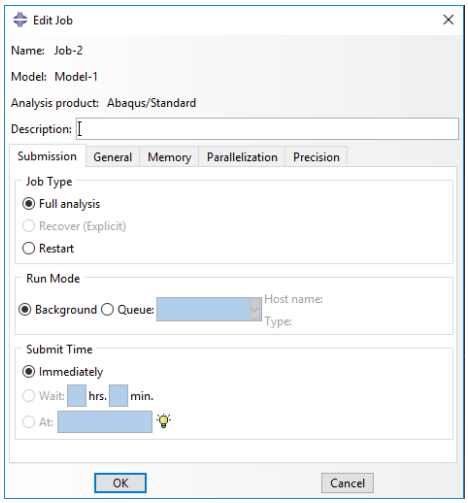
1. <u>Feladat definiálása</u>:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Create Job** ikonra és hozzunk létre egy kettes Job-ot.
   - A megjelenő Create Job ablakban kattintsunk a **Continue…** gombra
   - A megjelenő Edit Job ablakban hagyjunk mindent alapértelmezésen és **OK**-zuk le



G1.1

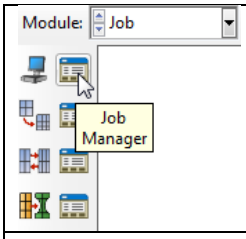


G1.2

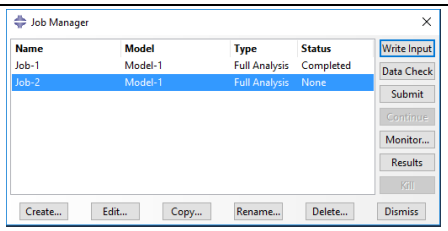


G1.3

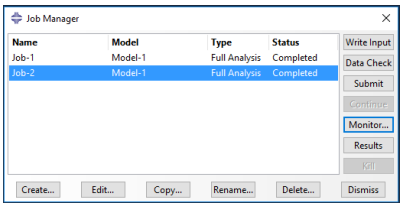
2. Feladat lefuttatása:
   - A Job modul eszköztárából kattintsunk a **Job Manager** ikonra
   - A megjelenő Job manager ablakban alapból ki van választva az előbb definiált Job-2. Kattintsunk a **Submit** gombra.
   - Ha a Status alatt megjelenik a Completed felirat, akkor a feladat sikeresen lefutott.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



G2.1



G2.2

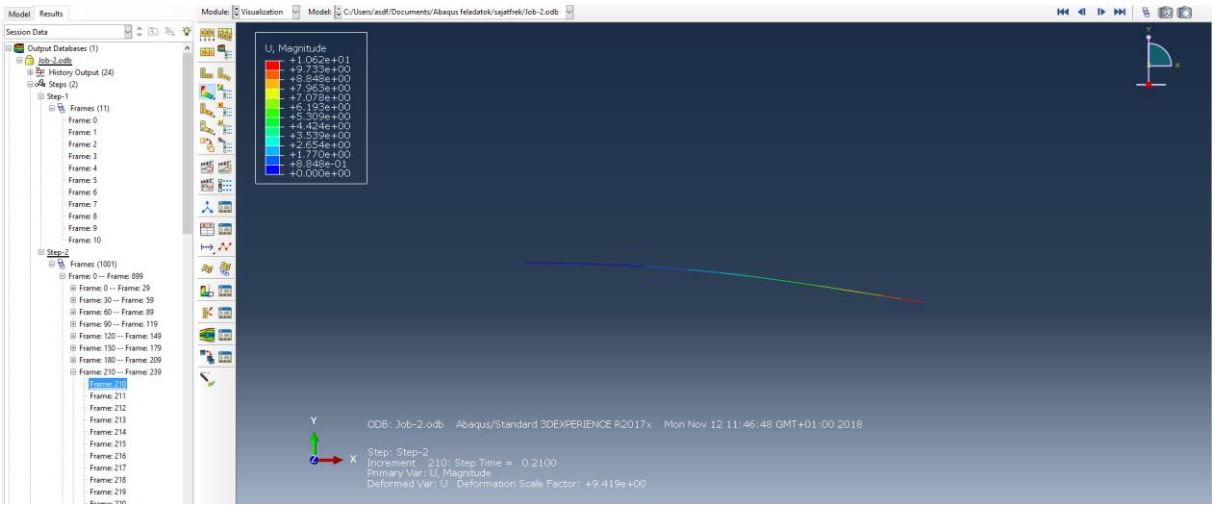
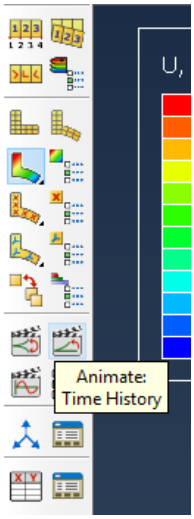


G2.3

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 kiválasztott időpillanatban jeleníti meg a program a rúd pontjainak kitérését. Az időpillanatok között a jobb sarokban lévő ikonokkal tudunk léptetni.



Látványosabban látszik az eredmény, ha az **Animate: Time History** ikonra kattintunk.