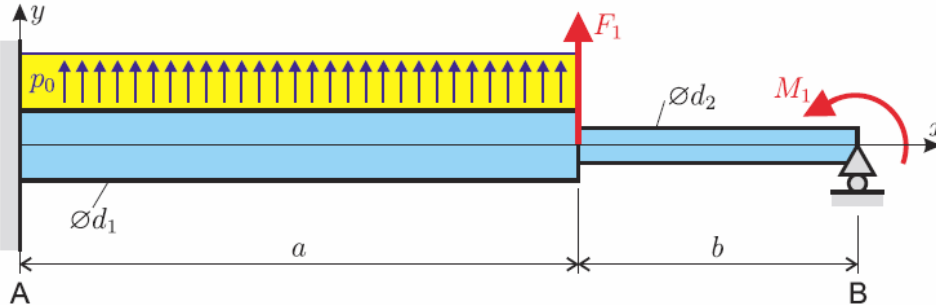


FELADAT LEÍRÁSA

Határozzuk meg az alábbi ábrán látható tartó reakcióit, súlypontvonalának eltolódását ANSYS végeeselemes szoftver használatával 2, illetve 3 gerendaelem alkalmazásával. Hasonlítsuk össze a hajlítónyomaték változását a *Mathematicában* végzett számítással!

A tartók két különböző átmérőjű ($d_1 = 2d$, illetve $d_2 = d$) kor keresztmetszetű tartókból vannak összesítve. A tartók anyaga lineárisan rugalmas, homogén, izotop. A d_1 átmérőjű rész rugalmassági modulusza E , míg a d_2 átmérővel rendelkező részé $4E$.



Adatok:

a	$= 800 \text{ mm}$
b	$= 400 \text{ mm}$
d	$= 20 \text{ mm}$
E	$= 50 \text{ GPa}$
ν	$= 0,3$
F_1	$= 2500 \text{ N}$
M_1	$= -500 \text{ Nm}$
p_0	$= -5000 \text{ N/m}$

MEGOLDÁS ANSYS-BAN

ANSYS indítása, majd válasszunk munkakönyvtárat és *jobname*-t. A munkakönyvtár legyen pl. D:\NEPTUNKOD.

Utility Menu -> File -> Change Directory ...

Utility Menu -> File -> Change Jobname ...

Utility Menu -> File -> Change Title ...

GEOMETRIA MEGADÁSA

A geometriai modellhez definiáljuk három *Keypoint*-t, amelyek az A, B valamint a két rúd összeillesztési helyének koordinátái:

Main Menu -> Preprocessor -> Modeling -> Create -> Keypoints -> In Active CS

A felugró ablakban a *keypoint* sorszámát írjuk be és adjuk meg a koordinátáit. A Z-t hagyhatjuk üresen. Ha **Apply**-t nyomunk és nem **OK**-t akkor nem tűnik el az ablak. Az alkalmazott *keypoint*ok koordinátái:

keypoint	X	Y	Z
1	0	0	
2	0.8	0	
3	1.2	0	

Adjuk meg az egyenes gerendaszakaszokhoz tartozó egyeneseket

Main Menu -> Preprocessor -> Modeling -> Create -> Lines -> Lines -> Straight Line

Definiáljuk a megadott *keypoint*ok között a vonalakat:

line	keypoint 1	keypoint 2
1	1	2
2	2	3

ANYAGTULAJDONSÁG MEGADÁSA

Main Menu -> Preprocessor -> Material Props -> Material Models / Structural / Linear / Elastic / Isotropic

A felugró ablakban EX jelenti a rugalmassági moduluszt és PRXY a Poisson-tényezőt. Adjuk meg először az 1-es rúdszakasz rugalmassági moduluszának és Poisson-tényezőjének értékét: 50E9 és 0.3 majd **OK**.

Adjuk meg a másik rúdszakasz anyagjellemzőjét. Az aktív ablak menüjében válasszuk a *Material/New Material* opciót, majd adjuk meg az új modell sorszámát (ID: 2), **OK**. A *Linear / Elastic / Isotropic* kiválasztva adjuk meg ennek az adatait is: 200E9 és 0.3, majd **OK**.

ELEMTÍPUS MEGADÁSA

Itt most csak egyfajta elemet fogunk használni, mégpedig gerendaelemet. Az új ANSYS-ban csak kétféle gerendaelem közül választhatunk BEAM188 nevű és BEAM189 nevű. Mindegyik 3D esetre is alkalmazható. Előbbi kétcsomópontos elem, míg utóbbi három csomópontos elem. Fontos kihangsúlyozni, hogy ezen elemek a Timoshenko-féle gerendaelméleten alapulnak, nem az Euler-Bernoulli-féle elméleten! BEAM188-t válasszuk.

Main Menu -> Preprocessor -> Element Type -> Add/Edit/Delete / Add... / Structural / Beam / 2 node 188

A BEAM188 elemtípus alapbeállítása olyan, hogy a hajlítónyomatékot az elem felett konstansként kezeli. Ahhoz, hogy lineáris legyen hajlítónyomaték eloszlás (mint a síkbeli gerendaelem esetén) az *Options...* menüben a K3-as opciót állítsuk át „Quadratic Form”-ra majd **OK**. **Close**.

Meg kell adni a gerenda keresztmetszetének geometriáját:

Main Menu -> Sections / Beam / Common Sections

A felugró ablakban a Sub-Type legördülő menüből válasszuk ki a kör keresztmetszetet, majd az R értékénél adjuk meg az 1-es rúdszakasz sugarát: 0.02. **Apply**.

Ezt követően adjuk meg a másik rúd keresztmetszetét. Ehhez adjunk meg egy új ID-t (2), a Sub-Type menüből válasszuk ki ismét a kör keresztmetszetet, majd adjuk meg R értéknek a sugarát: 0.01. **OK**.

Utility Menu -> Plot / Lines

HÁLÓZÁS

Most először minden rúdszakasz mentén 1 elemet hozunk létre.

Main Menu -> Preprocessor -> Meshing -> MeshTool

Először az egyes elemtípusokat, keresztmetszeteket és anyagmodelleket kell az egyes *Line*-okhoz rendelni.

A felugró ablakban az *Element Attributes* legördülő menüből válasszuk ki a vonalakat, majd nyomjunk a mellette levő **Set** gombra.

Először válasszuk ki az 1-es rudat (baloldali rúd), majd nyomjunk az **Apply**-ra. Ezt követően a felugró ablakban válasszuk ki az anyagmodellt (MAT:1), az elemtípust (TYPE: 1 BEAM188), valamint a keresztmetszetet (SECT: 1). Nyomjunk **Apply**-t. Válasszuk ki a 2-es rudat (jobboldali rúd), **Apply**, majd adjuk meg a 2-es anyagmodellt (MAT:2), az elemtípust (TYPE: 1 BEAM188), valamint a keresztmetszetet (SECT:2). Végül **OK**.

Line Attributes	
[LATT] Assign Attributes to Picked Lines	
MAT Material number	1
REAL Real constant set number	None defined
TYPE Element type number	1 BEAM188
SECT Element section	1
Pick Orientation Keypoint(s)	<input type="checkbox"/> No
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

Line Attributes	
[LATT] Assign Attributes to Picked Lines	
MAT Material number	2
REAL Real constant set number	None defined
TYPE Element type number	1 BEAM188
SECT Element section	2
Pick Orientation Keypoint(s)	<input type="checkbox"/> No
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help"/>	

A *MeshTool* ablakban a *Size Controls:* alatt válasszuk a *Lines* melletti **Set** gombot, majd a felugró ablakban válasszuk ki valamennyi *Line*-t (vagy nyomjunk **Pick All**-t). A felugró ablakban az NDIV mezőbe írjunk 1-et és **OK**. Az elkészült háló minden vonal mentén csak 1 elemet fog tartalmazni. A háló elkészítéséhez válasszuk a *MeshTool* ablak **Mesh** gombját, majd **Pick All**. A Graphics Window-ban megjelenik a háló. Ha szeretnénk a csomópontok és az elemek számát látni, akkor válasszuk

Utility Menu -> PlotCtrls -> Numbering ...

A NODE jelölőnégyzetet válasszuk ki, valamint az alatta levő legördülőmenüből válasszuk ki az *Element Numbers*-t

KINEMATIKAI PEREMFELTÉTELEK MEGADÁSA

Main Menu -> Solution -> Define Loads -> Apply -> Structural -> Displacement -> On Nodes

Válasszuk ki a baloldali csomópontot majd **OK**. Az új felugró ablakban válasszuk ki az All DOF-t és **OK**.

Ezt követően válasszuk ki a jobboldali csomópontot, majd **OK**. A felugró ablakban válasszuk ki az UY értéket, majd VALUE-nak adjuk meg 0-t. **OK**.

TERHELÉSEK MEGADÁSA

Main Menu -> Solution -> Define Loads -> Apply -> Structural -> Force/Moment -> On Nodes

Válasszuk ki a két rúd illesztési pontját (2-es csomópont), majd válasszuk ki terhelésnek (Lab) az y-irányú erőt FY. Adjuk meg értéknek (VALUE) 2500-t. **Apply**.

Válasszuk ki a jobb szélső csomópontot, majd adjuk meg z-irányú nyomatéknak (MZ) -500-t. Nyomjunk **OK**-t.

Main Menu -> Solution -> Define Loads -> Apply -> Structural -> Pressure -> On Beams

Válasszuk ki a baloldali elemet, majd **OK**. A felugró ablakban adjuk meg a LKEY értéknek 2-t (ez jelöli ki a -y-irányú terhelést). A mi esetünkben a megoszló terhelés -y-irányba mutat, ez megegyezik a LKEY-ben megadott -y-iránnyal, ezért a megoszló terhelés nagysága 5000 legyen. Ezt kell megadni a VALI és VALJ mezőkbe. (Mivel itt konstans a terhelés, elég, ha csak a VALI-t adjuk meg és VALJ-t üresen hagyjuk).

MEGOLDÁS

Main Menu -> Solution -> Solve -> Current LS

Felugró ablakban **OK**. Ha kész akkor az értesítés ablak jelenik meg, hogy „Solution is done!”. **Close**. A /STATUS ablakot is bezárhatjuk.

EREDMÉNYEK MEGJELENÍTÉSE

Deformált alak kirajzoltatása:

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Deformed Shape

A felugró ablakban válasszuk ki a „Def + undef edge” opciót. **OK**.

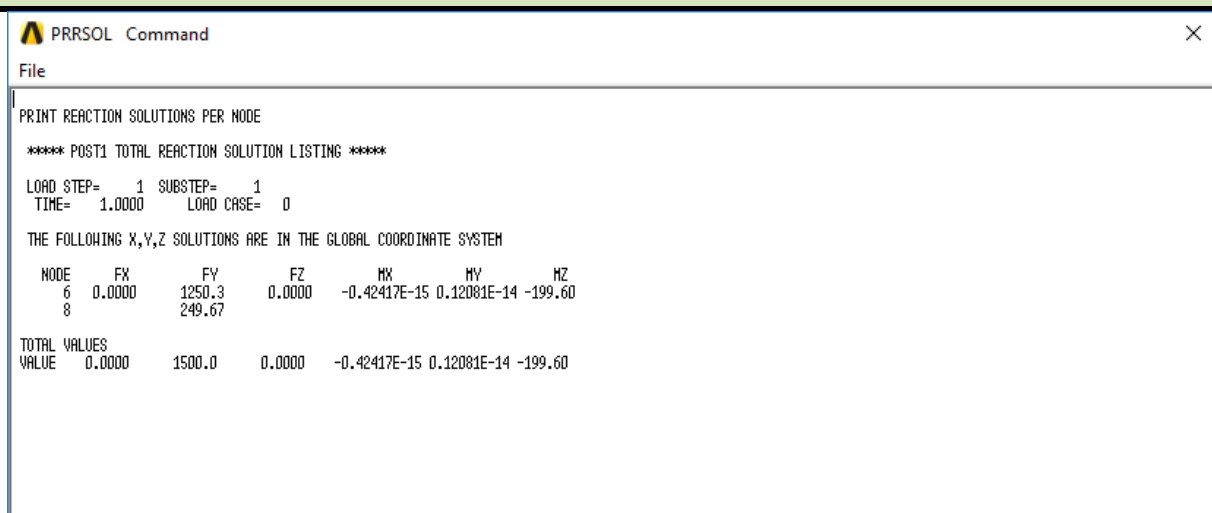
A deformáció nagyítását (*scale factor*) átállíthatjuk:

Utility Menu -> PlotCtrls -> Style -> Displacement Scaling

A felugró ablakban válasszuk ki a „Def + undef edge” opciót. **OK**.

Listázzuk ki a reakcióerőket

Utility Menu -> List -> Results -> Reaction Solution ... / All items

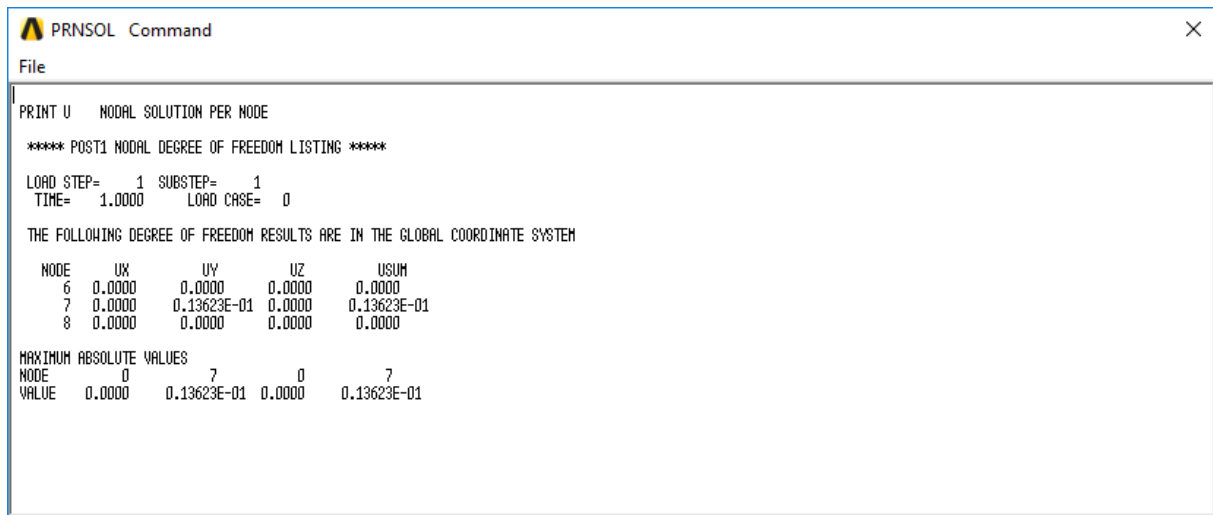


Az alábbi táblázatban a Mathematicában számolt értékekkel hasonlítjuk össze a reakcióértékeket

Reakció	Mathematica	ANSYS
F_A	1250 N	1250.3 N
M_A	-200 Nm	-199.6 Nm
F_B	250 N	249.67 N

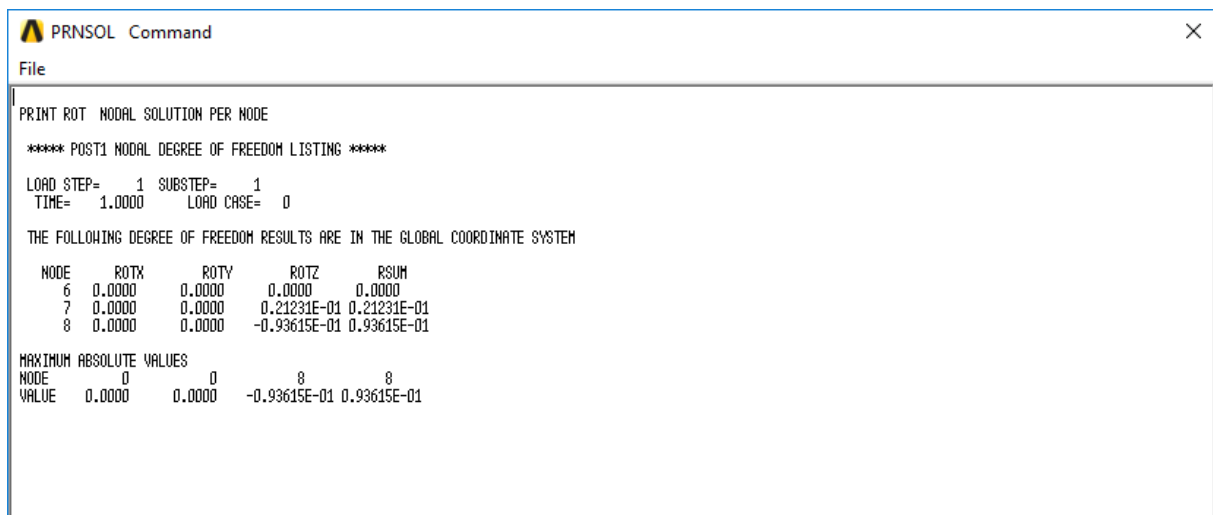
Most kérdezzük le az elmozdulásokat az egyes csomópontokban:

Utility Menu -> List -> Results -> Nodal solution ... / Nodal Solution / DOF Solution / Displacement vector sum



Valamint kérdezzük le a szögelfordulásokat az egyes csomópontokban:

Utility Menu -> List -> Results -> Nodal solution ... / Nodal Solution / DOF Solution / Rotation vector sum



Ha egy táblázatban összegyűjtjük az elmozdulás és a szögelfordulás komponenseket, láthatjuk, hogy visszakaptuk a Mathematicában számolt értékeket:

	<i>Mathematica</i>	ANSYS
v_2	0.0135812	0.013623
θ_2	0.0212207	0.02123
θ_3	-0.0933709	-0.093615

Készítsük el a hajlítónyomatéki igénybevételi ábrát. Ehhez először definiáljunk egy elemhez kötött értékekből álló táblázatot (*Element Table*)

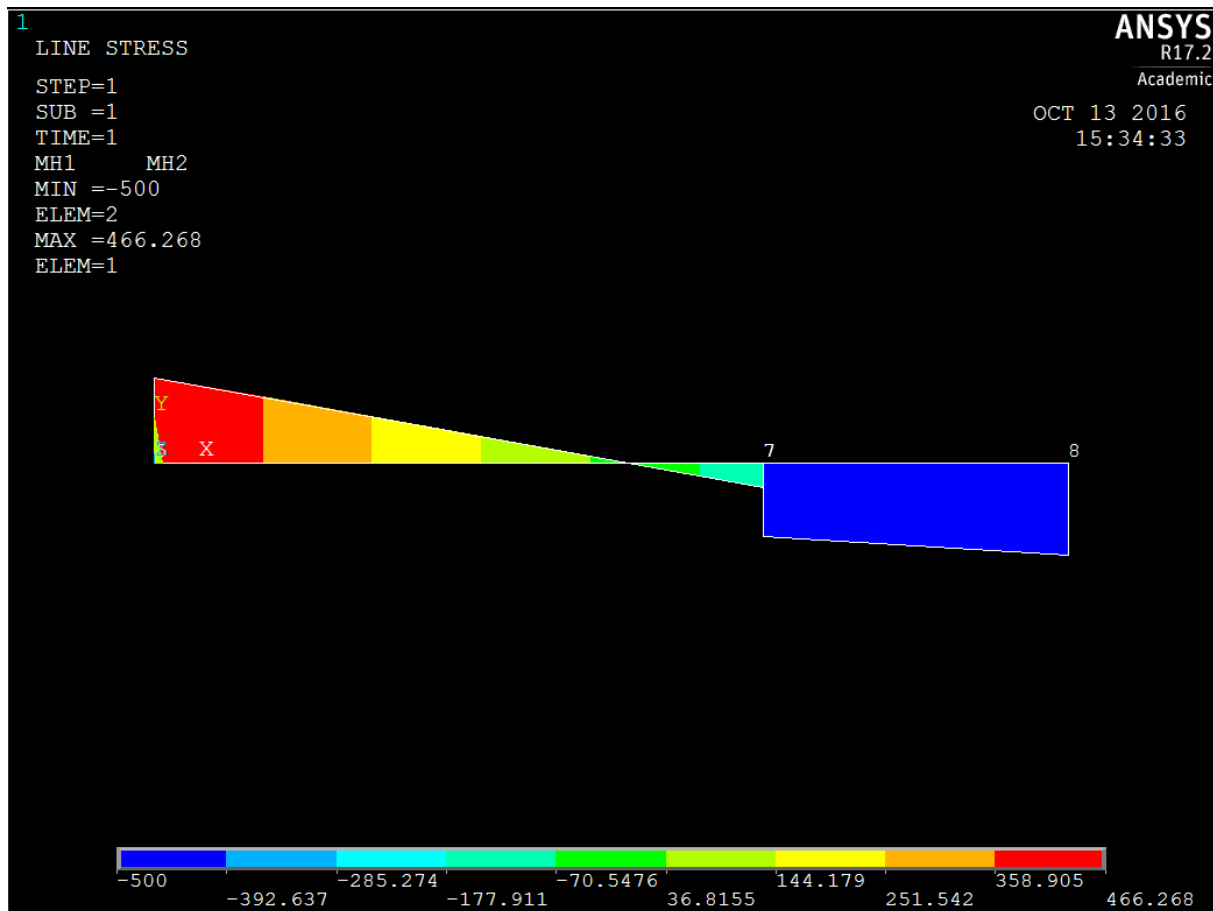
Main Menu -> General Postproc -> Element Table -> Define Table / Add ...

A felugró ablakban tudunk nevet adni a táblázatnak. Először adjuk az Mh1 nevet, amely az elem lokális kezdőcsomópontjában érvényes hajlítónyomatéki igénybevétel nagyságát tartalmazni. Az *Item* menüben válasszuk a „By sequence num” opciót, majd a *Data Item* mezőbe írjuk be az SMISC,3 mennyiséget (részletes leírás ezzel kapcsolatban az 5. labor leírásában található). **Apply**. Ismételjük meg ezt a végpontra is, azaz adjuk meg névnek az Mh2-t, a *Data Item* mezőbe pedig írjunk SMISC,16 -t. **OK**.

Ezt követően ki tudjuk plottoltatni az elemek mentén a hajlítónyomaték függvényét.

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Contour Plot / Line Elem Res

Válasszuk LabI értékek az Mh1-et, illetve LabJ-nek az Mh2-t, majd **OK**.



Az eredmények megegyeznek azzal amit Mathematicában számoltunk. A hajlítónyomatékot lineáris egyenesekkel közelítjük az egyes elemek mentén. Ez a második elemre pontos megoldást ad, mivel itt nem lett megosztó terhelés megadva, míg az első elemnél nagy eltérést okoz (lásd az a Mathematica számítás). Fontos megjegyezni, hogy az ANSYS-ban az előjelkonvenció nem egyezik meg azzal, amit az *Mathematicában* végzett számításban a hajlítónyomatékokra alkalmazunk. Ezért az ott számolt hajlítónyomatéki függvény (-1) -szeresét kapjuk.

MEGOLDÁS HÁROM ELEMMEL

Vizsgáljuk meg a megoldást, hogy az első *Line*-t két elemmel hálózzuk be. Ehhez töröljük a meglévő hálót.

Main Menu -> Preprocessor -> Meshing -> Clear -> Lines

Válasszuk a Pick All-t majd **OK**. Ezt követően rajzoltassuk ki a *Line*-okat.

Utility Menu -> Plot / Lines

Végezzük el újra a hálózást.

Main Menu -> Preprocessor -> Meshing -> MeshTool

Az *Element Attributes* legördülő menüből válasszuk ki a vonalakat, majd nyomjunk a mellette levő **Set** gombra.

Először válasszuk ki az 1-es rudat (baloldali rúd), majd nyomjunk az **Apply**-ra. Ezt követően a felugró ablakban válasszuk ki az anyagmodellt (MAT:1), az elemtípust (TYPE: 1 BEAM188), valamint a keresztmetszetet (SECT: 1). Nyomjunk **Apply**-t. Válasszuk ki a 2-es rudat (jobboldali rúd), **Apply**, majd adjuk meg a 2-es anyagmodellt (MAT:2), az elemtípust (TYPE: 1 BEAM188), valamint a keresztmetszetet (SECT:2). Végül **OK**.

A *MeshTool* ablakban a *Size Controls*: alatt válasszuk a *Lines* melletti **Set** gombot, majd a felugró ablakban válasszuk ki az baloldali *Line*-t. A felugró ablakban az NDIV mezőbe írjunk 2-et és **Apply**, majd válasszuk ki a jobboldali *Line*-t és a felugró ablakban adjunk meg NDIV-nek 1-et.

A háló elkészítéséhez válasszuk a *MeshTool* ablak **Mesh** gombját, majd **Pick All**.

Ezt követően adjuk meg újra a terheléseket. Figyeljünk arra, hogy most a baloldali rúd már két elemből áll, így a megoszló terhelést is erre a két elemre kell megadni. Ha kész vagyunk, futtassuk le a számítást.

Main Menu -> Solution -> Solve -> Current LS

EREDMÉNYEK MEGJELENÍTÉSE (HÁROM ELEM ESETÉBEN)

Deformált alak kirajzoltatása:

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Deformed Shape

A felugró ablakban válasszuk ki a „Def + undef edge” opciót. **OK**.

A deformáció nagyítását (*scale factor*) átállíthatjuk:

Utility Menu -> PlotCtrls -> Style -> Displacement Scaling

A felugró ablakban válasszuk ki a „Def + undef edge” opciót. **OK**.

Listázzuk ki a reakcióerőket

Utility Menu -> List -> Results -> Reaction Solution ... / All items

Az alábbi táblázatban a Mathematicában számolt értékekkel hasonlítjuk össze a reakcióértékeket

Reakció	<i>Mathematica</i>	ANSYS
F_A	1250 N	1250.3 N
M_A	-200 Nm	-199.6 Nm
F_B	250 N	249.67 N

Most kérdezzük le az elmozdulásokat az egyes csomópontokban:

Utility Menu -> List -> Results -> Nodal solution ... / Nodal Solution / DOF Solution / Displacement vector sum

```

PRNSOL Command
File

PRINT U   MODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

  NODE      UX          UY          UZ          USUM
  18  0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
  19  0.0000      0.13623E-01  0.0000      0.13623E-01
  20  0.0000      0.38183E-02  0.0000      0.38183E-02
  21  0.0000      0.0000      0.0000      0.0000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
  NODE      0          19          0          19
  VALUE      0.0000      0.13623E-01  0.0000      0.13623E-01

```

Valamint kérdezzük le a szögelfordulásokat az egyes csomópontokban:

Utility Menu -> List -> Results -> Nodal solution ... / Nodal Solution / DOF Solution / Rotation vector sum

```

PRNSOL Command
File

PRINT ROT  MODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

  NODE      ROTX      ROTY      ROTZ      RSUM
  18  0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
  19  0.0000      0.0000      0.21231E-01  0.21231E-01
  20  0.0000      0.0000      0.20180E-01  0.20180E-01
  21  0.0000      0.0000     -0.93615E-01  0.93615E-01

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
  NODE      0          0          21          21
  VALUE      0.0000      0.0000     -0.93615E-01  0.93615E-01

```

Ha egy táblázatban összegyűjtjük az elmozdulás és a szögelfordulás komponenseket, láthatjuk, hogy visszakaptuk a Mathematicában számolt értékeket:

	Mathematica	ANSYS
v_2	0.00381972	0.0038183
θ_2	0.0201596	0.020180
v_3	0.0135812	0.013623
θ_3	0.0212207	0.021231
θ_4	-0.0933709	-0.093615

A hajlítónyomatéki függvényhez frissítsük a korábban létrehozott *Element Table*-t.

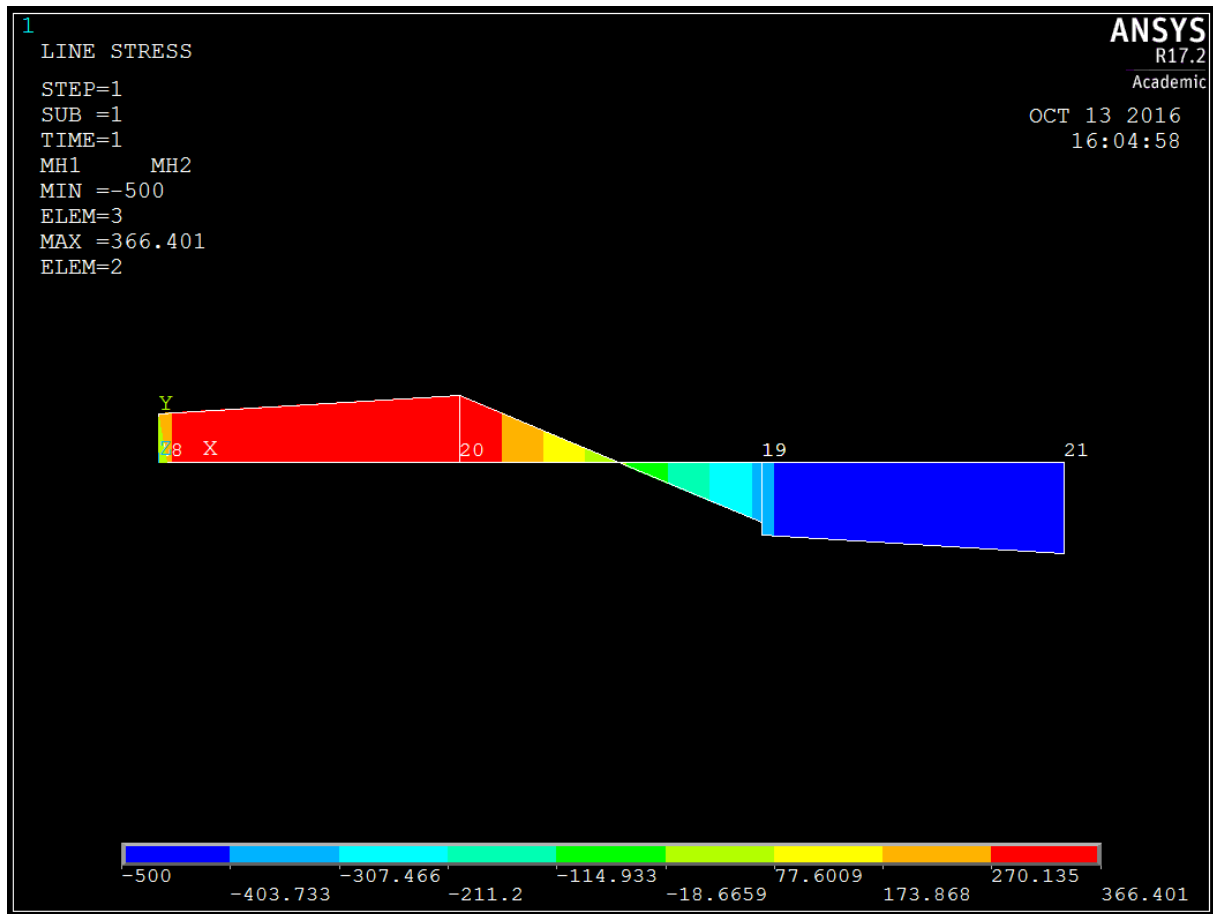
Main Menu -> General Postproc -> Element Table -> Define Table / Add ...

Itt kattintsunk az Update-re.

Ezt követően ki tudjuk plottoltatni az elemek mentén a hajlítónyomaték függvényt.

Main Menu -> General Postproc -> Plot Results -> Contour Plot / Line Elem Res

Válasszuk LabI értéknek az Mh1-et, illetve LabJ-nek az Mh2-t, majd **OK**.



Fontos megjegyezni, hogy az ANSYS-ban az előjelkonvenció nem egyezik meg azzal, amit az *Mathematicában* végzett számításban a hajlítónyomatékokra alkalmazunk. Ezért az ott számolt hajlítónyomatéki függvény (-1) -szeresét kapjuk.