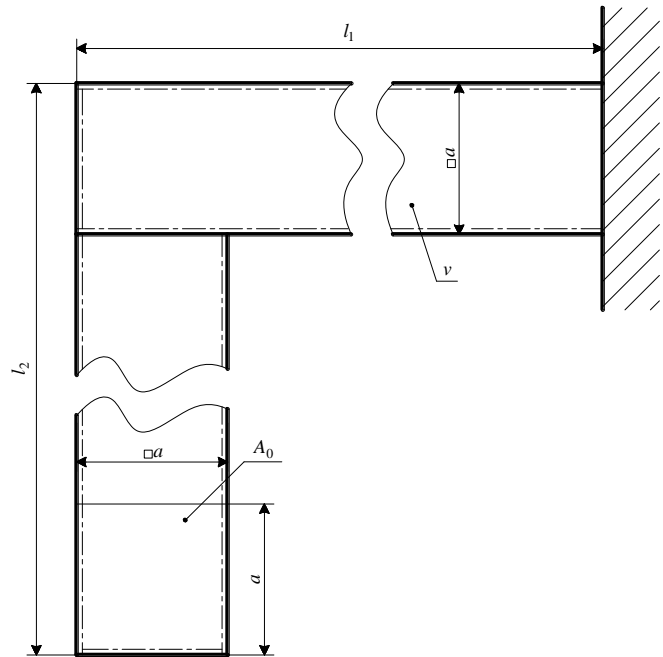
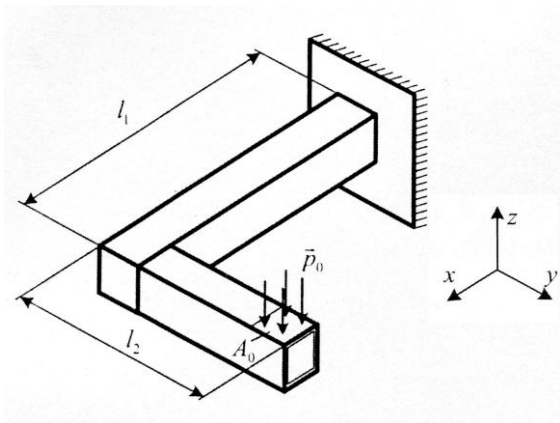


Végeselem analízis 6. gyakorlat  
(kidolgozta: Bojtár Gergely)

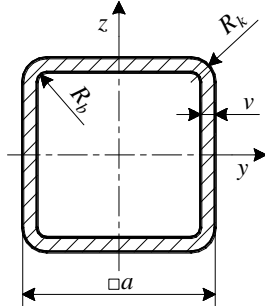
Feladat: Zárt, vékony falú térbeli tartó héjmodellje

Adott:

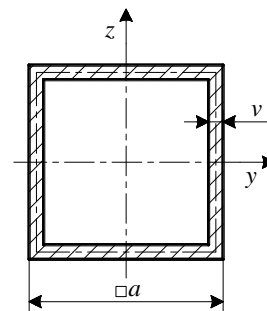
Térbeli tartó Nt40/40×2-es zártszelvényből.



Valóságos geometria



Modell



A tartó geometriai méretei:

$$l_1 = 1000 \text{ mm}$$

$$l_2 = 540 \text{ mm}$$

$$A_0 = a^2 = 40^2 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$a = 40 \text{ mm}$$

$$v = 2 \text{ mm}$$

$$R_b = 2 \text{ mm}$$

$$R_k = 4 \text{ mm}$$

Mindkét zártszelvény vége le van zárva  $v = 2 \text{ mm}$  vastag lemezzel.

Anyagjellemzők:

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}, \nu = 0,3$$

Terhelés:

$$\text{A héjszerkezetet az } \vec{F}_0 = \int_{(A_0)} \vec{p}_0 dA = (-100\vec{e}_z) \text{ N erő terheli.}$$

**Feladat:**

- A középfelület deformált alakjának kirajzolása, a csomóponti elmozdulás értékek leolvasása.
- Redukált feszültségek ( $\sigma_{red}$ ) szemléltetése a külső és a belső felületeken, valamint a középfelületen szintvonalas ábrákon.
- Az elmozdulások szemléltetése animáció segítségével.

A héj olyan test, melynek egyik mérete a másik két mérethez képest kicsi. A legkisebb méret a vastagság. Értelmezhető középfelület, amely görbült felület is lehet.

A Kirchhoff-Love-héjelmélet nem veszi figyelembe a nyírási alakváltozást. A hipotézis szerint hajlításnál a középfelület normálisai az alakváltozás után is normálisai lesznek az alakváltozott középfelületnek és a normálisokon lévő pontok távolsága nem változik.

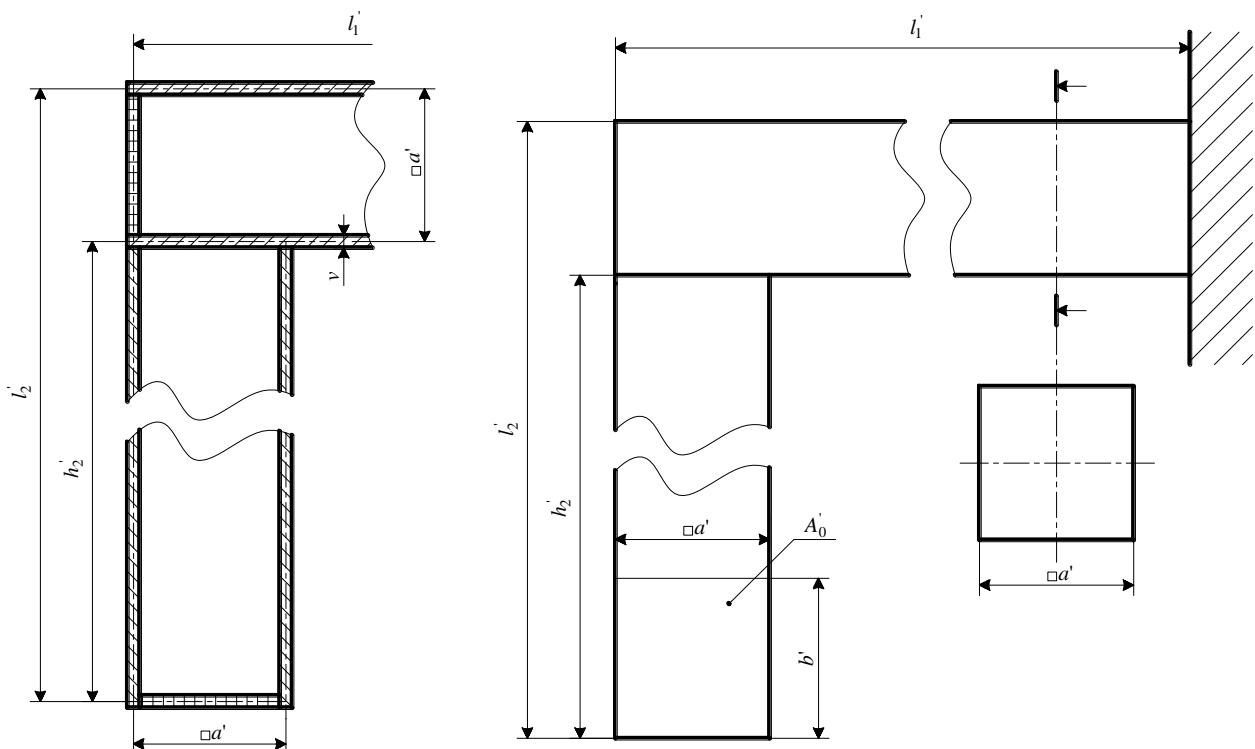
Ha a héj középfelülete párhuzamos az  $xy$  síkkal – ez a szelvény alsó és felső lapja –, akkor a geometriai hipotézis szerint  $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$  és  $\varepsilon_z = 0$ . Az alakváltozási állapot:

$$[\underline{\underline{A}}] = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & 0 \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A feszültségi hipotézis szerint  $\sigma_z \approx 0$ . A feszültségi állapot az alsó és felső lapon:

$$[\underline{\underline{F}}] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A számítások elvégzéséhez a tartónak, mint héjszerkezetnek csak a középfelületét rajzoljuk meg. Számoljuk ki a középfelületi méreteket az ábrák alapján.



$$a' = a - 2 \cdot \frac{v}{2} = a - v = 40 - 2 = 38 \text{ mm}$$

$$h'_2 = l'_2 - a' = 538 - 38 = 500 \text{ mm}$$

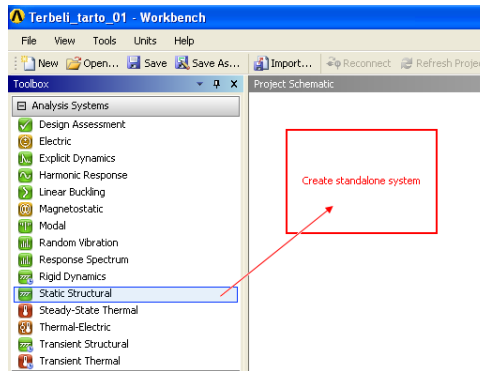
$$l'_1 = l_1 - \frac{v}{2} = 1000 - \frac{2}{2} = 999 \text{ mm}$$

$$b' = a - \frac{v}{2} = 40 - \frac{2}{2} = 39 \text{ mm}$$

$$l'_2 = l_2 - 2 \cdot \frac{v}{2} = l_2 - v = 540 - 2 = 538 \text{ mm}$$

$$A'_0 = a' \cdot b' = 38 \cdot 39 = 1482 \text{ mm}^2$$

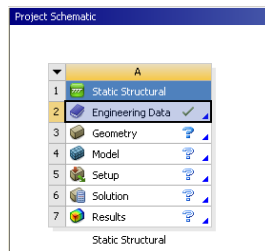
Indítsuk el az **ANSYS Workbench** programot. Húzzuk át az egérrel a **Static Structural** modult a **Project Schematic** ablakba.



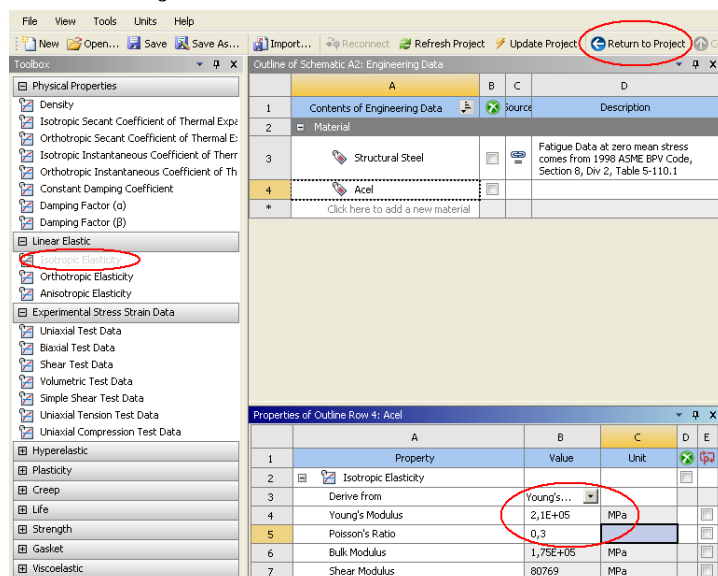
Állítsuk be a mértékegységet.

Felső menüsor **Units, Metric (tonne,mm,s,°C,mA,N,mV)**

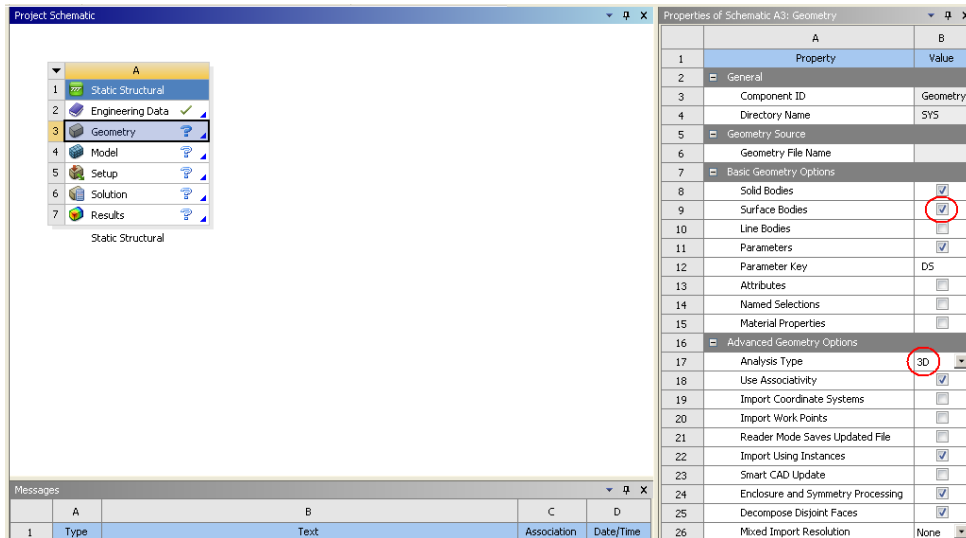
A tartó acélból készült, de más a rugalmassági modulusa és a Poisson-tényezője, mint a programban lévő szerkezeti acélnak, ezért hozunk létre egy új anyagot. Kattintsunk kétszer az **Engineering Data**-re.



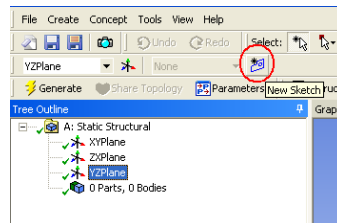
A **Structural Steel** alatt **Click here too add a new material**. Nevezzük el az új anyagot: **Acel**. A baloldali listán a **Linear Elastic**-ből az **Isotropic Elasticity** változatot húzzuk át az **Acel** névre. Az alul megjelenő táblázatba írjuk be a rugalmassági modulusot és a Poisson-tényezőt. Térjünk vissza a projekt ablakhoz a **Return to Project** ikonnal.



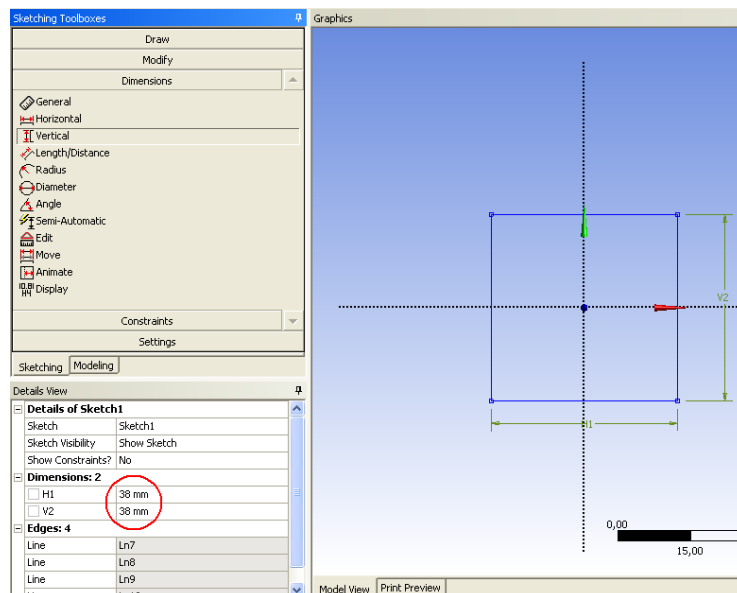
A **Geometry** sorra egyszer kattintva nézzük meg a tulajdonságokat. Jobboldalon a **Properties** ablakban legyen kipipálva a **Surface Bodies** és az analízis típusa legyen **3D**.



Dupla kattintással a **Geometry** opción indítsuk el a **Design Modeler**-t. A tartó befogása az *yz* síkon van. Jelöljük ki a modellfán az **YZPlane**-t, majd készítsünk ott egy vázlatot: **New Sketch**.

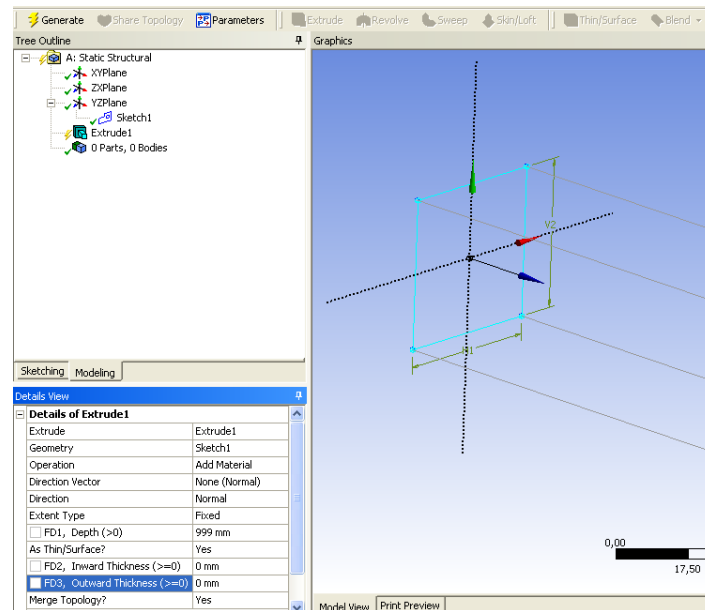


Rajzoljunk egy téglalapot két sarokpontjával a **Sketching/Draw** fülön lévő **Rectangle** paranccsal. Méretezzük be a négyszöget a **Dimensions**-ban a **Horizontal** és a **Vertical** paranccsal a két-két szemben lévő oldalra kattintva. Baloldalon lent a **Details View**-ban állítsuk be mindkét méretet 38 mm-re.



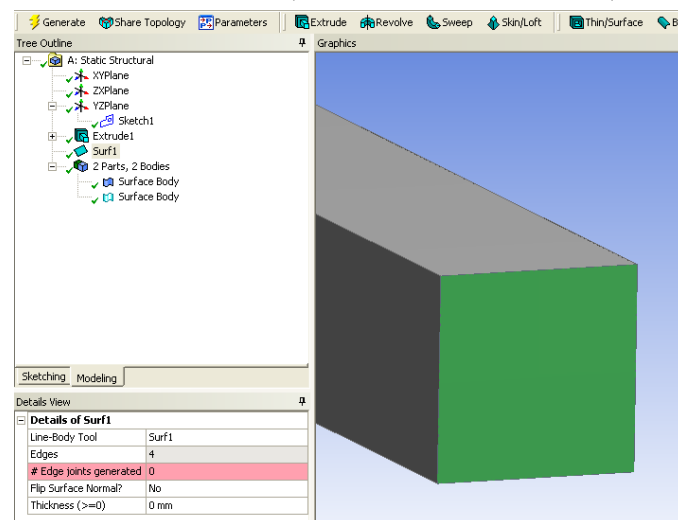
Nem szükséges, de állítsuk be, hogy az origó a négyzet súlypontjában legyen. A **Constraints**-ben kattintsunk a **Symmetry**-re. Jelöljük ki a *z* tengelyt, mint szimmetria tengelyt, majd utána a két függőleges oldalt. Nyomjuk meg az **Esc** billentyűt, hogy ne legyen kiválasztva semmi, és újra a **Symmetry** parancs. Jelöljük ki *y* tengelyt, utána a két vízszintes oldalt. A legvégén is nyomjuk meg az **Esc**-et.

Vátsunk át **Sketching**-ből **Modeling**-be. Forgassuk térbe a vázlatot, és az **Extrude** paranccsal húzzuk ki az  $yz$  síkból, mint felület  $l_1 = 999$  mm hosszon. A felületnek 0 mm vastagságot állítsunk be kívülrre és belülrre is. A hálózás előtt adjuk majd meg a  $\nu = 2$  mm-t. Miután beállítottuk a baloldali alsó ablakban lévő paramétereket, fejezzük be a kihúzást a **Generate**-tel.

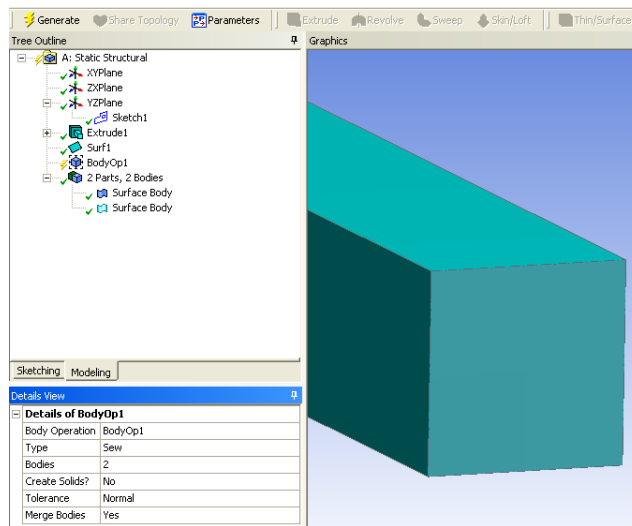


Zárjuk le a kihúzott rész végét. Ehhez a felső menüben a **Concept** alatt lévő **Surface From Edges** parancsot használjuk. Ctrl+bal egérgomb segítségével válasszuk ki a 4 élt, és **Apply**. Vastagságnak 0 mm-t adjunk, ezután **Generate**.

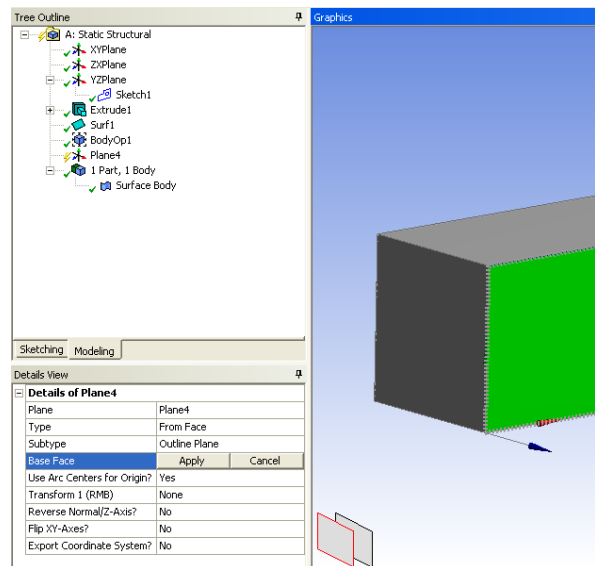
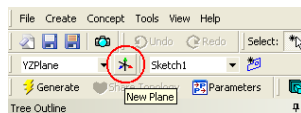
A tartó külső része legyen a felületeknek a felső, azaz a *top* oldala. A felületi normális pozitív iránya mutatja a *top* oldalt. Ha egy felületet kijelölünk, akkor a zöld színű oldal jelzi a pozitív irányt. Zárt görbe kihúzásánál a kihúzott felületek normálisa kifelé mutat. A zárt szelvény végén az éllel definiált felület normálisa is kifelé fog mutatni, de ezt most nézzük meg. Jelöljük ki a felületet. (Ha nem a zöld színű oldal van kifelé, akkor fordítsuk meg a normális irányát. A **Flip Surface Normal?** kérdésre állítsunk be **Yes**-t, ezután ismét **Generate**.)



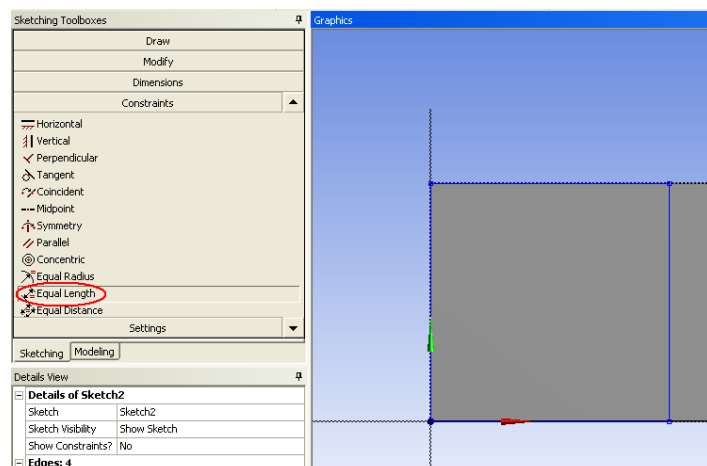
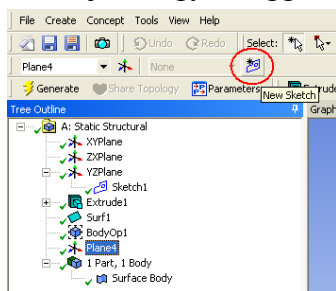
A modellfán látszik, hogy 2 alkatrészünk és 2 testünk van. Egyesítsük a kettőt a **Create** alól legördülő lista, **Body Operation** paranccsal. Típusnak összefűzést (**Sew**) állítsunk be. Válasszuk ki a 2 testet a modellfán vagy a grafikus mezőben, majd **Apply**. A **Generate** után **1 Part, 1 Body** látható a projektfában.



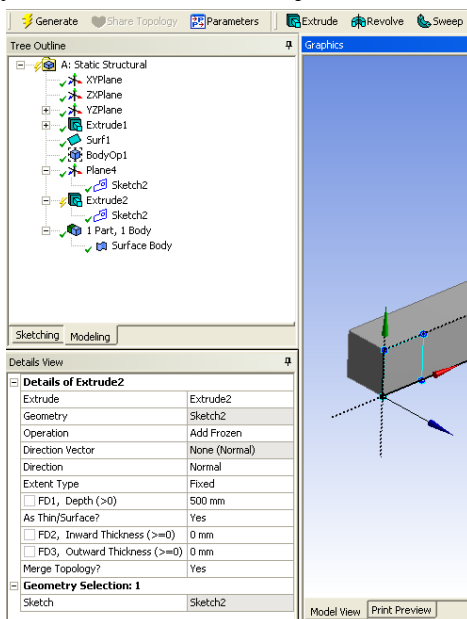
Az y tengelyirányú részt is kihúzással készítjük. Jelöljük ki vázlatként az y normálisú felületet a **New Plane** parancs segítségével. Típusnak **From Face**-t állítsunk be. A **Base Face** megadásánál annyiszor kattintsunk bal egérgombbal a felület bal alsó részére, míg a helyi koordináta-rendszer a képen látható állásba kerül. Utána **Apply** és **Generate**.



Az új vázlatot jelöljük ki a modellfán, és adjuk ki a **New Sketch** parancsot. A **Sketching/Draw** fülön a **Rectangle**-val rajzoljunk téglalapot. A bal alsó sarokpont legyen az egyik sarokpont, a másik pedig a felső élen, így a magassága 38 mm. A **Sketching/Constraints** fülön adjuk meg, hogy legyenek egyenlő hosszúak az oldalak. Az **Equal Length** lenyomása után kattintsunk az egyik vízszintes, majd az egyik függőleges egyenesre.

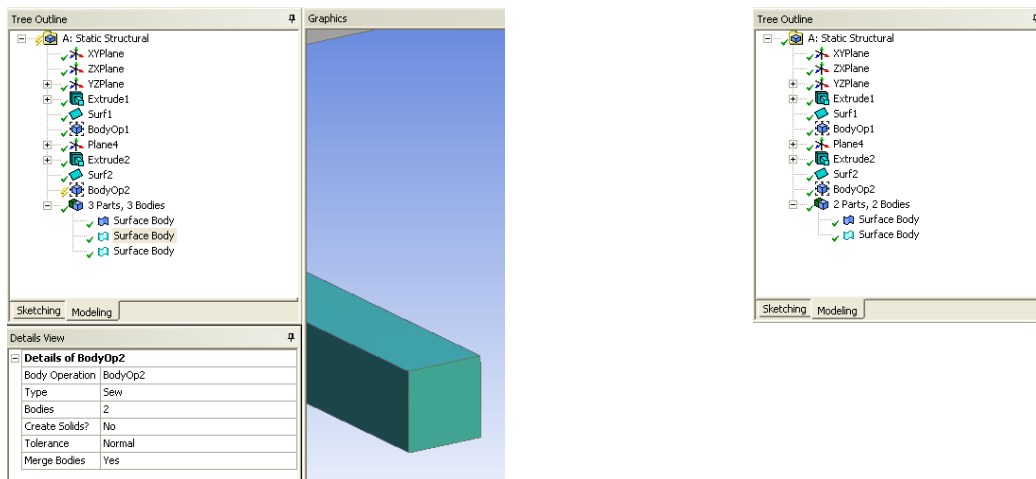


Kattintsunk a **Modeling** fülre, és húzzuk ki ezt az új vázlatot, mint felület  $h_2' = 500$  mm-re az **Extrude** ikonnal. Ezt csak új testként adhatjuk hozzá úgy, hogy ez a 2. test le lesz fagyasztva: **Add Frozen**, majd **Generate**. Azért kell 2 testként modellezni a 2 összehegesztett zártszelvényt, mert egy felületi testen belül csak egy tér lehet, nem oszthatja azt ketté felület.



Zárjuk le itt is a zártszelvény szabad végét a **Concept/Surfaces From Edges** paranccsal. A felület vastagságának itt is 0 mm-t adjunk meg, azután **Generate**.

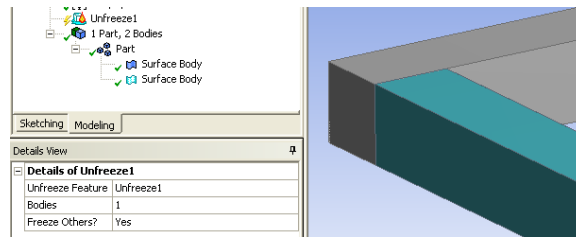
Fűzzük össze a  $h_2' = 500$  mm hosszú zártszelvényt és a zárólemezt: **Create/Body Operation**. Jelöljük ki a 2 összefüzendő testet, **Apply**, a típus legyen **Sew**. **Generate** után 2 alkatrészünk és 2 testünk lesz.



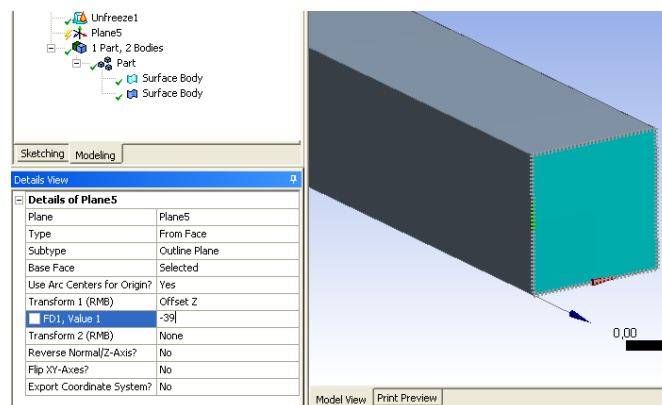
Legyen 1 alkatrészünk, ami 2 felületi testből áll. Jelöljük ki a modellfában a 2 testet, majd nyomjunk jobb egérgombot. Ott választuk a **From New Part**-ot, és az eredmény a jobboldali képen látható.



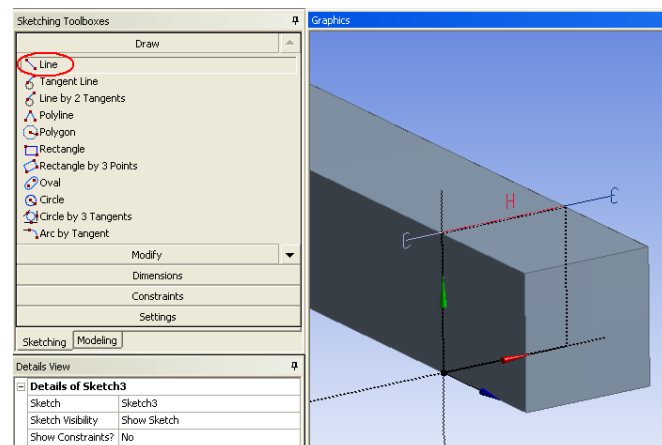
A 2. testen lévő felső felületet osszuk fel, hogy külön legyen az  $F_0 = 100 \text{ N}$  erőhöz tartozó  $A'_0 = a' \cdot b'$  területű rész. Tegyük aktuálissá a 2. testet: Felső menüsor **Tools/Unfreeze**. Jelöljük ki az  $y$  irányú részt és **Apply** a **Bodies** sorában. A képen látható beállítás után nyomjuk meg a **Generate** ikont. Ezzel az  $x$  irányú zártszelvény lesz lefagyasztva.



Húzzunk egy  $x$  irányú egyenest a 2. test felső felületére a véglaptól  $b' = 39 \text{ mm}$ -re, ahol meg akarjuk azt törni. Ehhez új munkasíkot kell felvenni: **New Plane**. A típusa **From Face**, a bázis a zártszelvény végén a zárófelület. A felület bal alsó részére kattintva a képen látható lokális koordináta-rendszer jelenik meg. A **Transform 1 (RMB)** sorban állítsuk be, hogy a síkot eltoljuk  $z$  irányba a bázisfelülettől, az alatta lévő sorban pedig az eltolás nagyságát adjuk meg:  $-39 \text{ mm}$ . A beállítások után **Generate**.

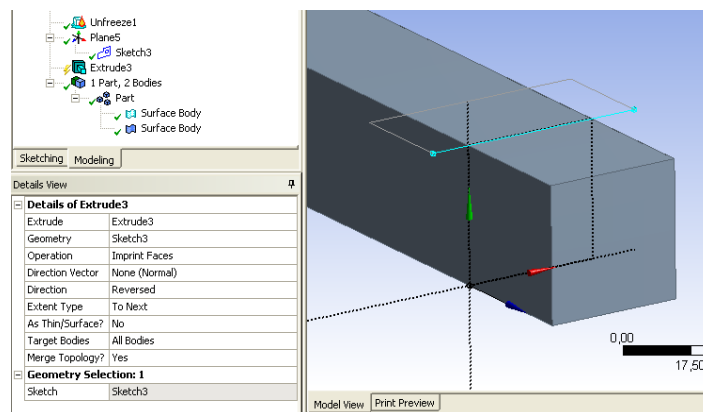


Készítsük el a 3. vázlatot. Jelöljük ki a faszerkezeten a **Plane5**-t, majd kapcsoljunk hozzá egy új vázlatot a **New Sketch** parancsikonnal. A **Sketching/Draw** fülön a **Line** paranccsal húzzunk egy vízszintes vonalat a felső felület mentén. Az egyenes ne legyen rövidebb az oldal hosszánál, inkább lógjon túl.

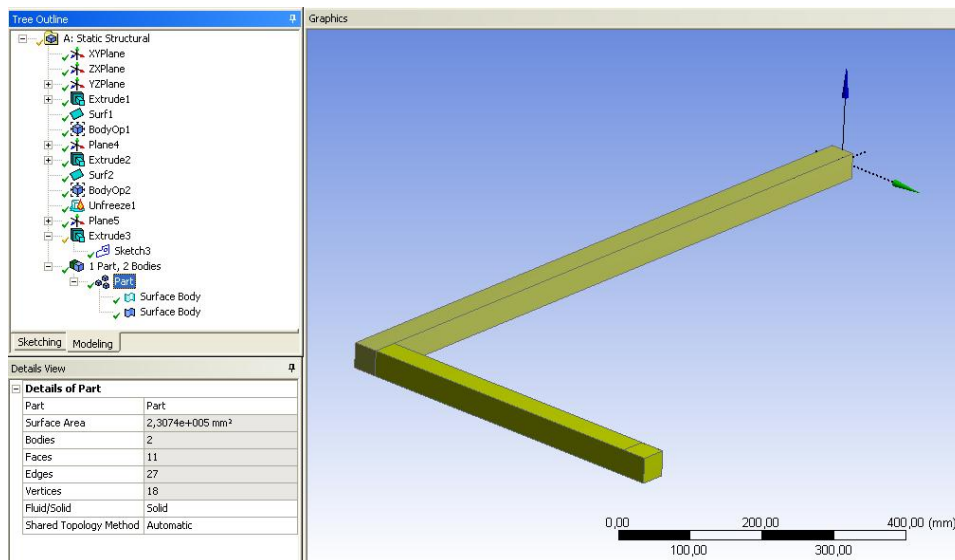




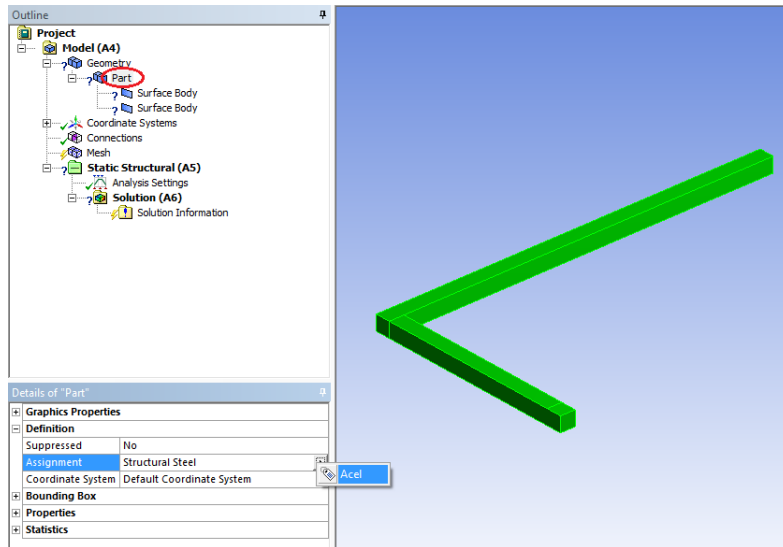
Kattintsunk át a **Modeling** fülre, és az **Extrude** paranccsal húzzuk ki az új vázlatot. Állítsuk be az illusztrációban látható jellemzőket a **Details View** ablakban. Ha kiadtuk a **Generate**-et, a felső felület 2 részből fog állni.



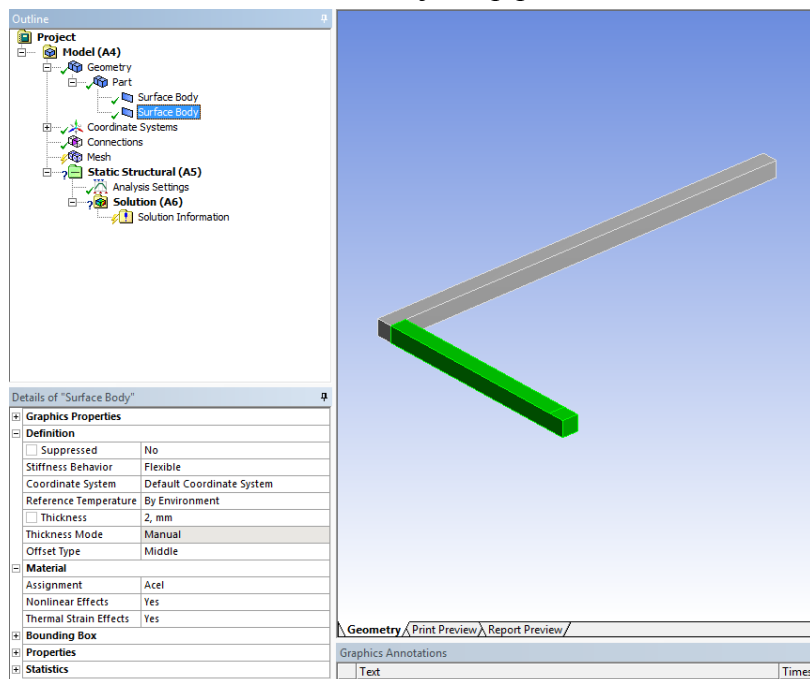
A modellfán külön-külön a **Part**-ra és a 2 db **Surface Body**-ra kattintva le lehet olvasni a geometriai jellemzőket baloldalt alul. Az  $x$  irányú zártszelvénynek nem kell felosztani azt a felületét, ahol össze van hegesztve a másikkal, mert azt a program a hálózásnál két részre osztja biztosítva ezzel, hogy közös csomópontja legyen az 1. és a 2. zártszelvénynek a csatlakozásnál. Most 5 felülete van az 1. testnek, a hálózásnál már 6 lesz. A geometriát elkészítettük, zárjuk be a **Design Modeler**-t.



A **Workbench** projektablakon kattintsunk duplán a **Model**-re. A modellfában a geometria kérdőjelesen jelenik meg. Jelöljük ki a **Part**-ot, és alul a **Material/Assignment** sorban a **Structural Steel**-re kattintva állítsuk át az anyagot az általunk megadott **Acel**-ra.



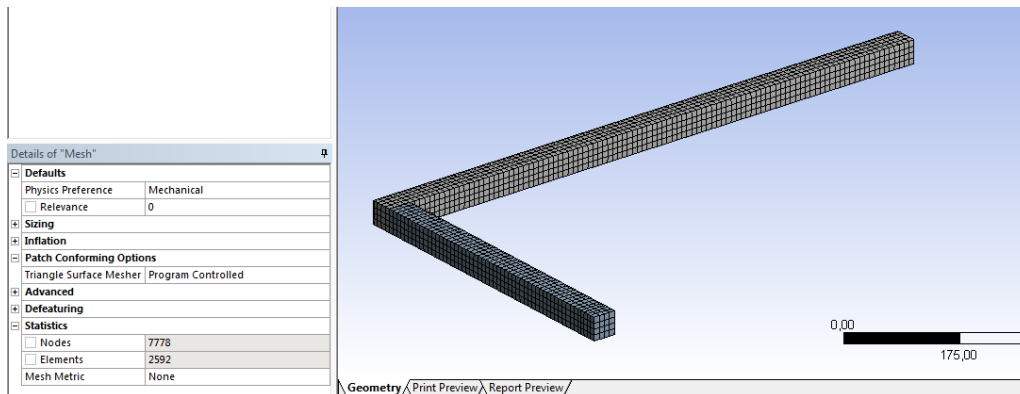
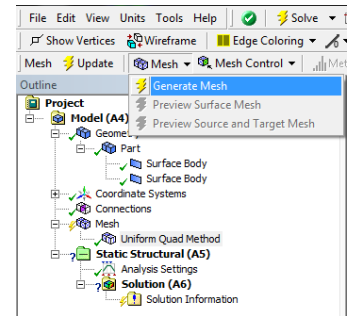
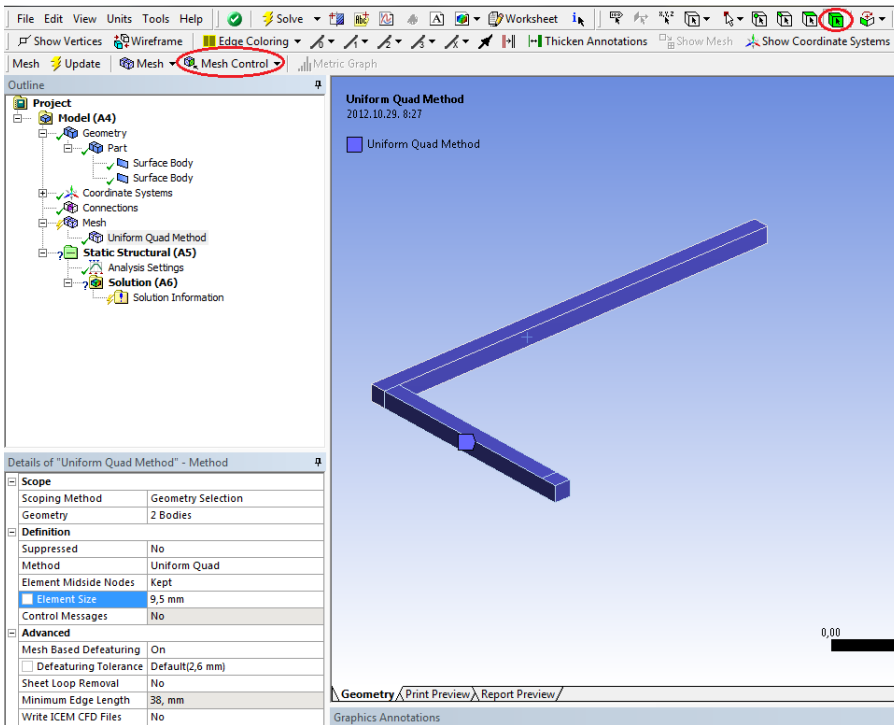
Külön-külön a két felületi testet kijelölve írjuk be a felületek vastagságát a **Definition/Thickness** sorba: 2 mm. A tartót a középfelületével modellezzük, ezért az **Offset Type** sorban **Middle** legyen. Miután beállítottuk ezeket mindkét testnél, a kérdőjelek pipára változnak.



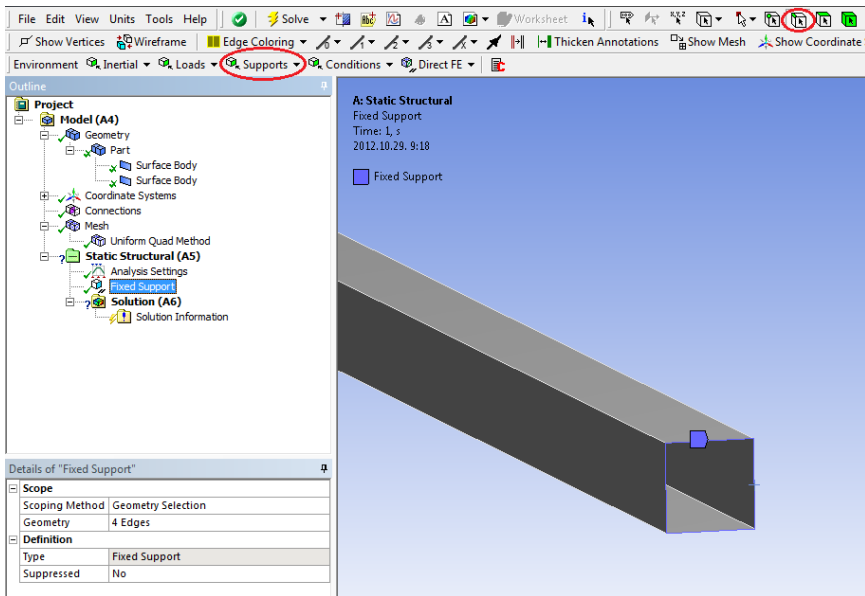
Állítsuk be, hogy nyolc csomópontos, másodfokú négyszög elemekkel hálózson a program. Az elemméretet úgy válasszuk meg, hogy a keresztmetszet egy oldalán 4 db elem legyen.

$$e = \frac{a'}{4} = \frac{38}{4} = 9,5 \text{ mm}$$

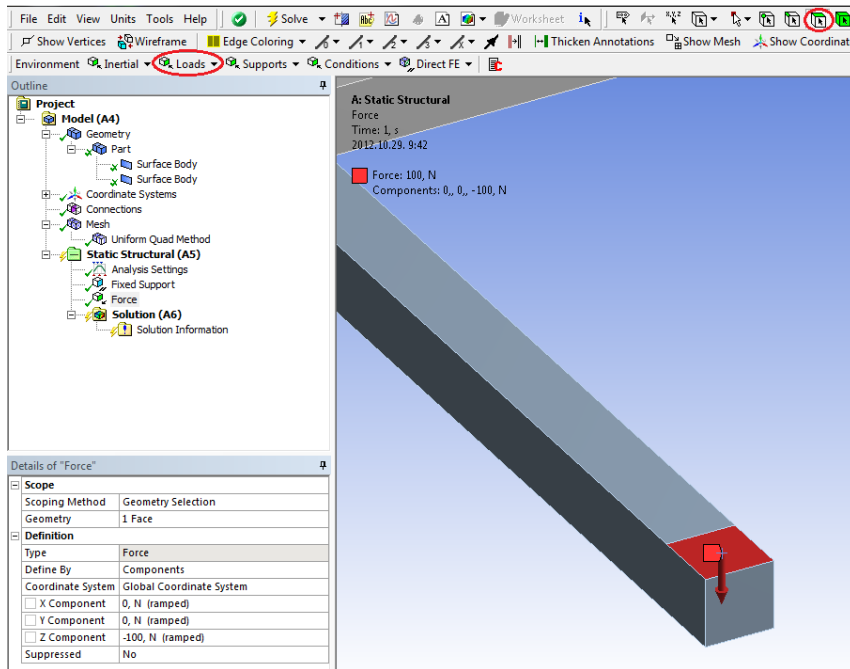
A projektfán a **Mesh**-re kattintva megjelenik a hálózás ikoncsoport. A **Mesh Control**-t lenyitva válasszuk a **Method** parancsot. Alul a táblázatban a **Geometry**-nek válasszuk ki a 2 testet Ctrl+bal egérgombbal, majd **Apply**. Felül a **Body** kiválasztás ikon legyen az aktuális. **Method**-nak **Uniform Quad**-ot válasszuk ki. Alatta adjuk meg, hogy másodfokú héjelemekkel szeretnénk hálózni, azaz legyen csomópont az elemek oldalfelező pontjában is (**Kept**). Az **Element Size**-hoz pedig írjuk be az előbb kiszámolt elem méretet. Mindezek után **Mesh/Generate Mesh**.



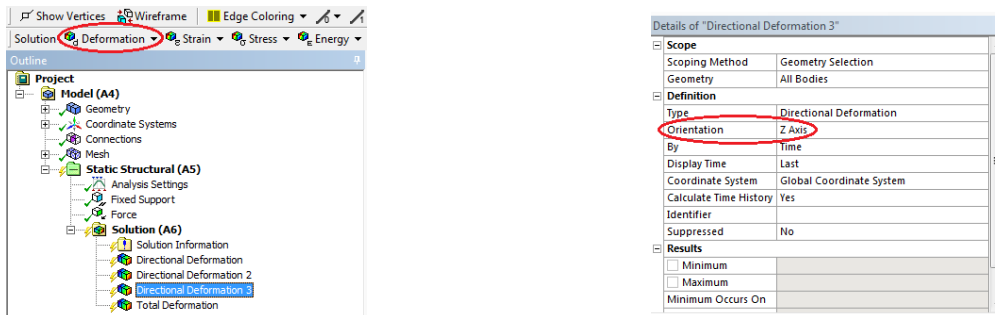
A terhelést, megfogást a **Static Structural (A5)**-ben definiáljuk. Ehhez az **Environment** ikoncsoport tartozik. Az yz síkon van bealazva a tartó. Kössük le a csomópontok 6 szabadságfokát. A **Supports**-ot lenyitva válasszuk a **Fixed Support** parancsot. A **Geometry**-hez jelöljük ki Ctrl+bal egérgombbal az yz síkon lévő 4 db élt, majd **Apply**. Használjuk az **Edge** kiválasztás ikont.



Definiáljuk az  $\vec{F}_0 = (-100\vec{e}_z)$  N erőt az  $A'_0$  felületre. A **Loads** ikont lenyitva adjuk ki a **Force** parancsot. A **Face** kiválasztás ikonnal jelöljük ki az  $A'_0$  felületet, azután **Apply** a **Geometry**-nél. Komponensenként adjuk meg az erőt (**Define By Components**) az illusztráció szerint.

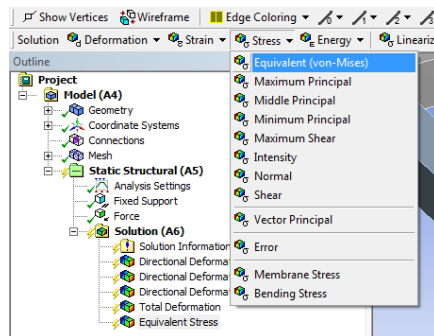


A modellfában látható **Solution(A6)**-ban tudjuk beállítani a meghatározandó eredményeket. Először adjuk meg, hogy számoljon csomóponti elmozdulásmezőt a program. Nézzük meg az  $x$ ,  $y$ ,  $z$  irányú elmozdulást, valamint az eredőt. A most aktuális **Solution** ikoncsoportban lévő **Deformation** legördülő menüből válasszuk ki háromszor a **Directional**-t, valamint egyszer a **Total**-t.

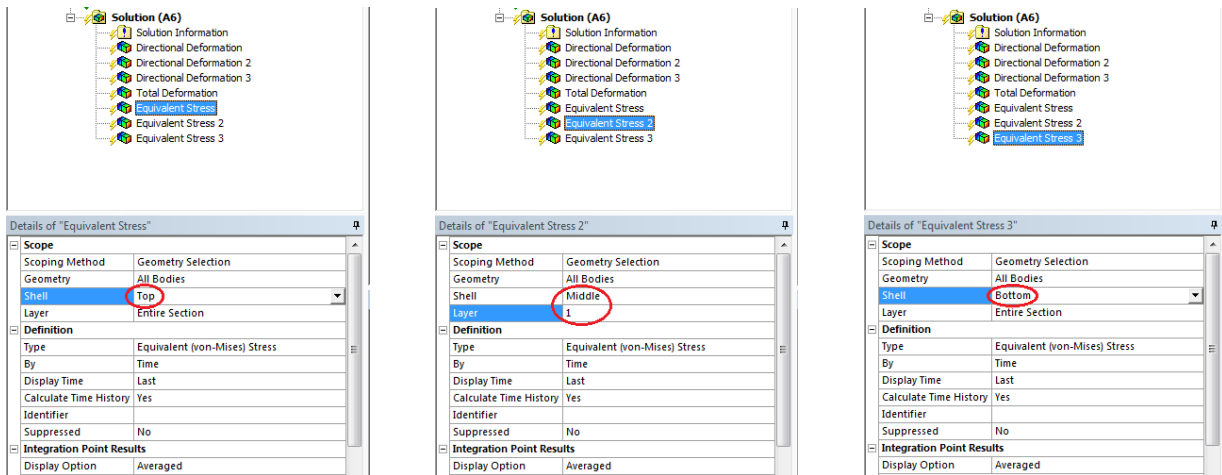


A **Details** ablakban baloldalt alul a három **Directional Deformation** közül az elsónél az  $x$  tengelyt, a másodiknál az  $y$ -t és a harmadiknál a  $z$  tengelyt állítsunk be az **Orientation** sorban. A  $z$  irányú elmozdulás beállítását mutatja az illusztráció.

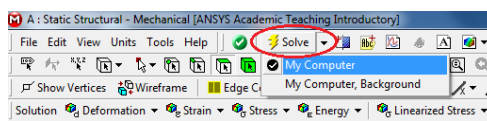
A  $\sigma_{red}$  Mises-feszültségeket meg kell határozni a külső, a belső és a középfelületen is. Ezt 3 lépésben kell megadni. A **Stress** ikon alatt nyomjuk meg háromszor az **Equivalent (von-Mises)**-t.



A modellfán válasszuk ki az egyik **Equivalent Stress**-t, és a **Details** ablakban állítsuk be, hogy a héj melyik részére kérjük a feszültséget. A következő képeknél az első mutatja a külső felület, a második a középfelület és a harmadik a belső felület beállítását. Egy rétegünk van csak, de a középfelületnél meg kell adni, hogy annak az 1. számú rétegnek a redukált feszültségét kérjük.



Indítsuk el a számítást a **Solve**-val.



A modellfán az adott eredményre kattintva tudjuk szemléltetni szintvonalas ábrán az elmozdulásokat és a feszültségeket. Animáljuk az elmozdulást, és figyeljük eközben a redukált feszültségeket a középfelületen. Jelöljük ki a középfelülethez tartozó **Equivalent Stress**-t, és a **Graph** ablakban indítsuk el az animációt a **Play** gombbal. A **Stop**-pal tudjuk leállítani.

