

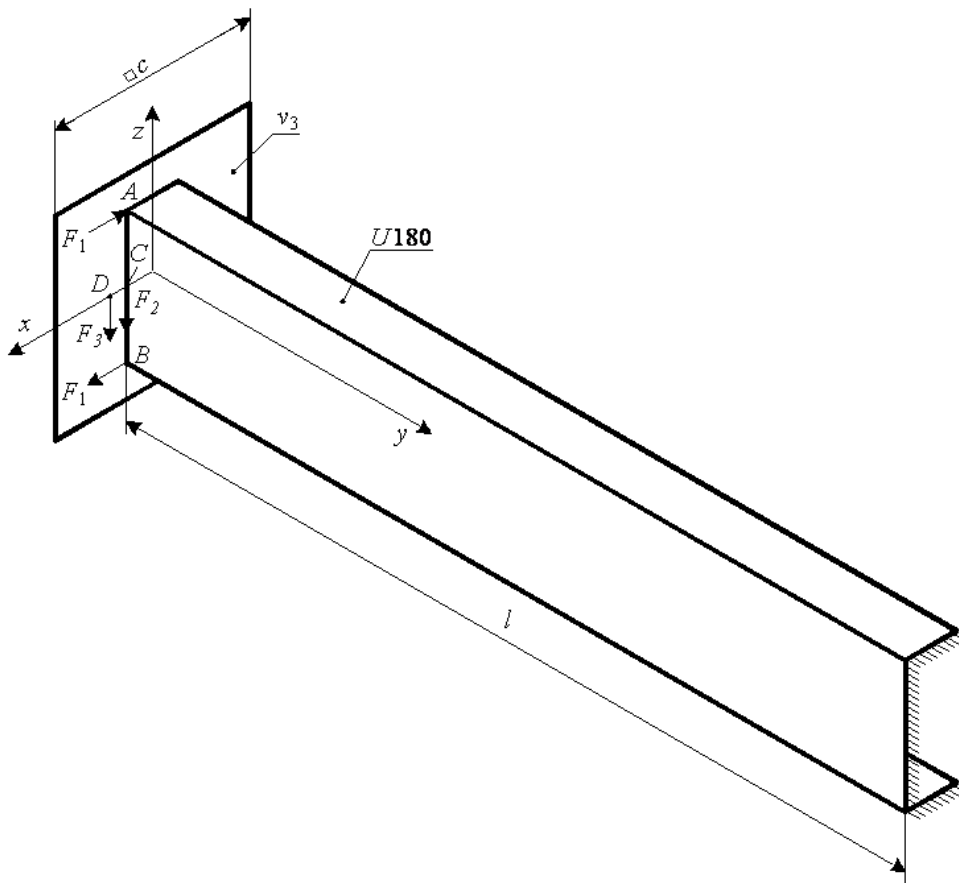
Végeselem módszer 6. feladat
(kidolgozta: Bojtár Gergely)

Megoldás ANSYS14.0-val

Feladat: U-gerenda modellezése lemezszerkezetként

Adott

Egy U180-as profilból készült gerenda az egyik végén befalazott, a másik végére egy 10 mm vastag, $250 \times 250 \text{ mm}^2$ -es négyzet alakú lemez van felerősítve, mely a terhelés felvételére és továbbítására szolgál.



Terhelés

A gerendán 3 különböző terhelési esetet definiálunk:

1. terhelési eset: Csavarás erőpárral (gátolt csavarás a $250 \times 250 \text{ mm}^2$ -es lap miatt)
A és B pontban $F_1 = 5000 \text{ N}$
2. terhelési eset: Hajlítás és csavarás a gerinclemez felezőpontjában működő erővel
C pontban $F_2 = 5000 \text{ N}$
3. terhelési eset: „Tiszta” hajlítás a csavarási középpontban ható erővel
D pontban $F_3 = 5000 \text{ N}$

Anyagjellemzők

Az acél anyagjellemzői:

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

$$\nu = 0,3$$

A tartó geometriai méretei

$$a = 180 \text{ mm}$$

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$\alpha = 3^\circ$$

$$c = 250 \text{ mm}$$

$$v_1 = 8 \text{ mm}$$

$$v_2 = 11 \text{ mm}$$

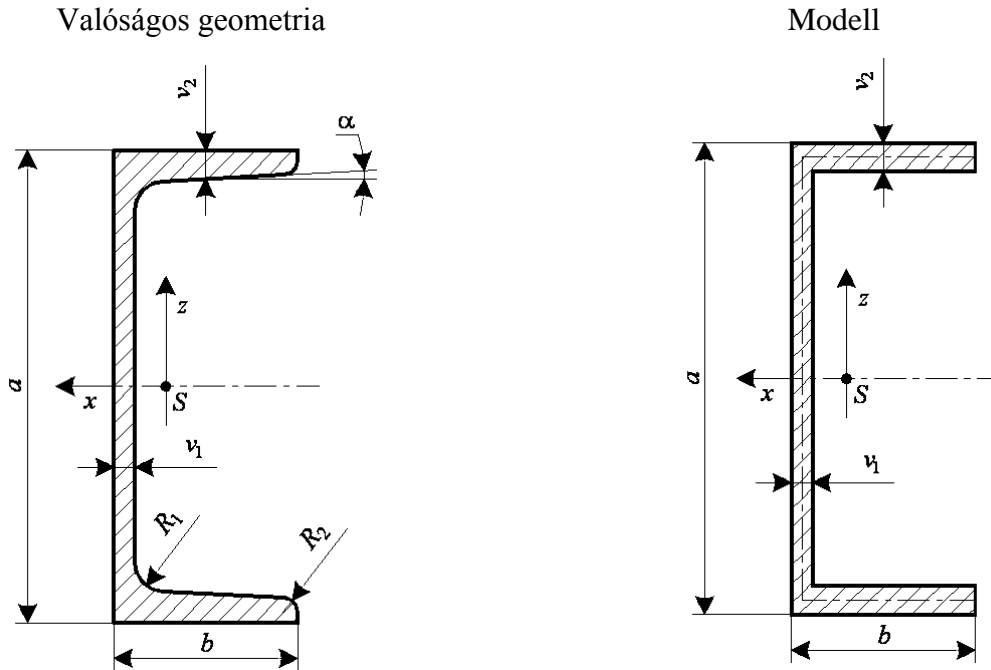
$$l = 1000 \text{ mm}$$

$$v_3 = 10 \text{ mm}$$

$$R_1 = 11 \text{ mm}$$

$$R_2 = 5,5 \text{ mm}$$

Az U-gerenda keresztmetszetét láthatjuk a következő 2 ábrán. Baloldalon a valóságos geometria van, a modellezéshez egy egyszerűsített geometriát használunk.



Feladat mindegyik terhelési esetről:

- A középfelület deformált alakjának kirajzolása, a csomóponti elmozdulás értékek leolvasása.
- Redukált feszültségek (σ_{red}) szemléltetése a külső és a belső felületeken, valamint a középfelületen szintvonalas ábrákon.
- A rúdírányú normál feszültségek (σ_y) a középfelületen szintvonalas ábrákon.

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 hajlításkor a középfelület normálisai az alakváltozás után is normálisai lesznek az alakváltozott középfelületnek és a normálisokon lévő pontok távolsága nem változik.

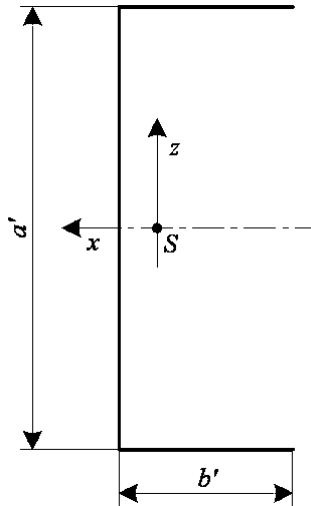
Ha a héj középfelülete párhuzamos az xy síkkal – ez az U-gerenda alsó és felső lapja –, akkor a geometriai hipotézis szerint $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$ és $\varepsilon_z = 0$. Az alakváltozási állapot:

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

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. A lemez modellhez szükségünk lesz a középvonalak geometriájára. A középfelületi méreteket mutatja a következő ábra.

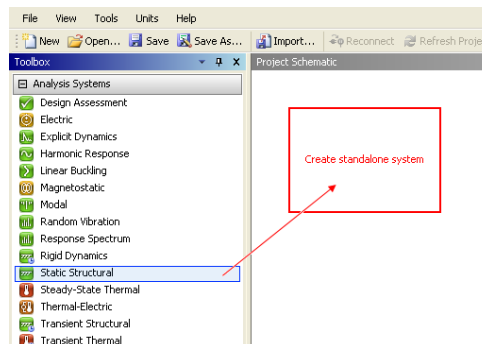


Középfelületi méretek:

$$a' = a - 2 \cdot \frac{v_2}{2} = a - v_2 = 180 - 11 = 169 \text{ mm}$$

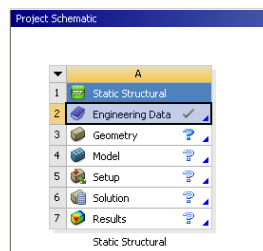
$$b' = b - \frac{v_1}{2} = 70 - \frac{8}{2} = 66 \text{ mm}$$

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

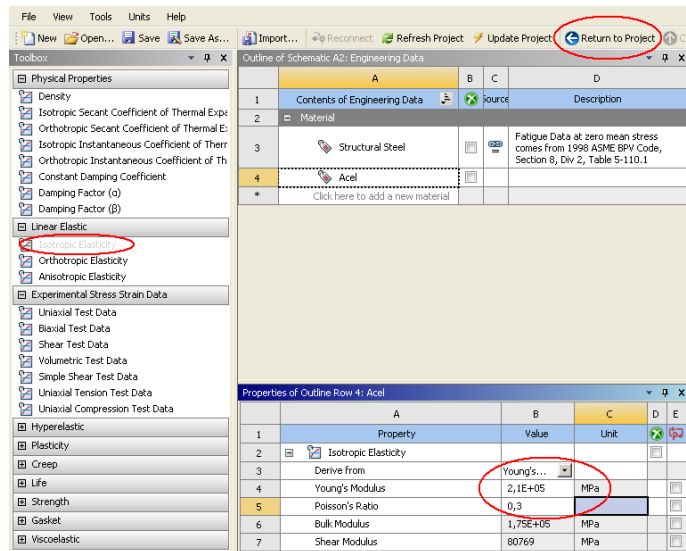


Állítsuk be a mértékegységet: Felső menüsor **Units, Metric (tonne,mm,s,°C,mA,N,mV)**.

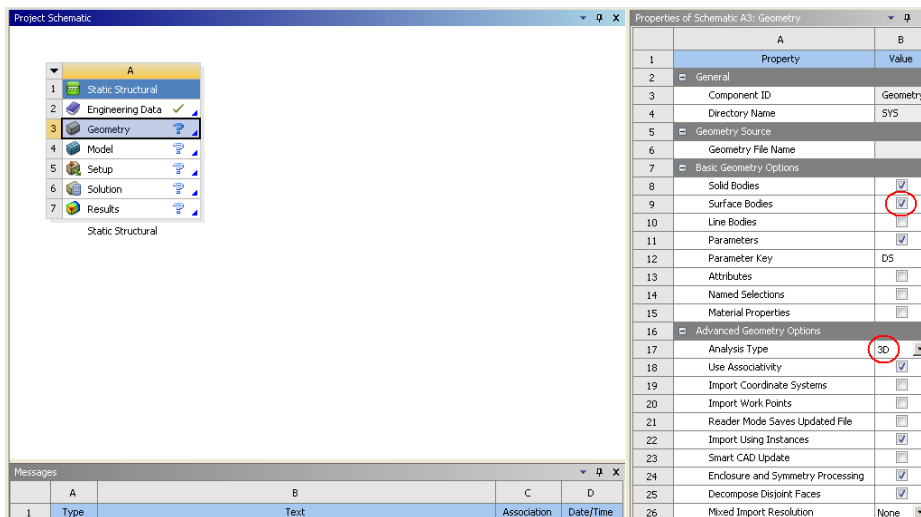
A tartó acélból készült, de más a rugalmassági modulusa és a Poisson-tényezője, mint a programban lévő szerkezeti acélnak, ezért hozunk létre egy új anyagot. Kattintsunk kétszer az **Engineering Data**-re.



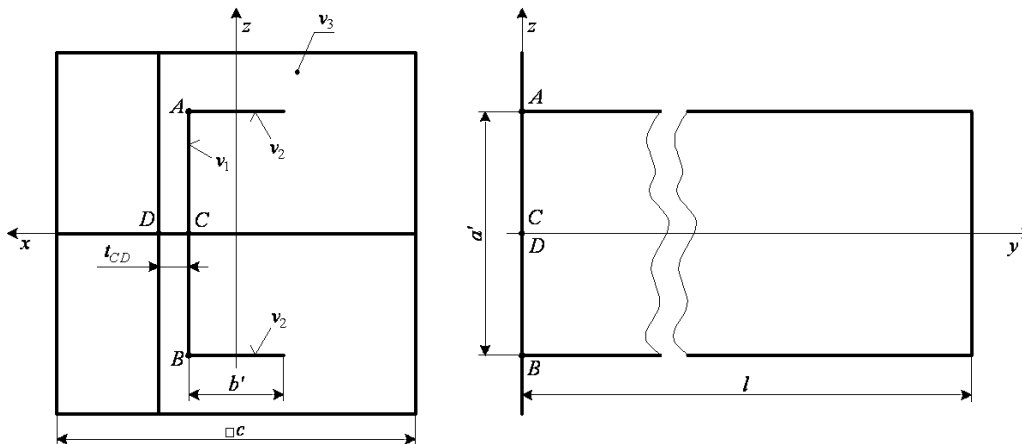
A **Structural Steel** alatt **Click here too add a new material**. Nevezzük el az új anyagot: Acél. A baloldali listán a **Linear Elastic**-ből az **Isotropic Elasticity** változatot húzzuk át az **Acél** névre. Az alul megjelenő táblázatba írjuk be a rugalmassági modulusot és a Poisson-tényezőt. Térjünk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



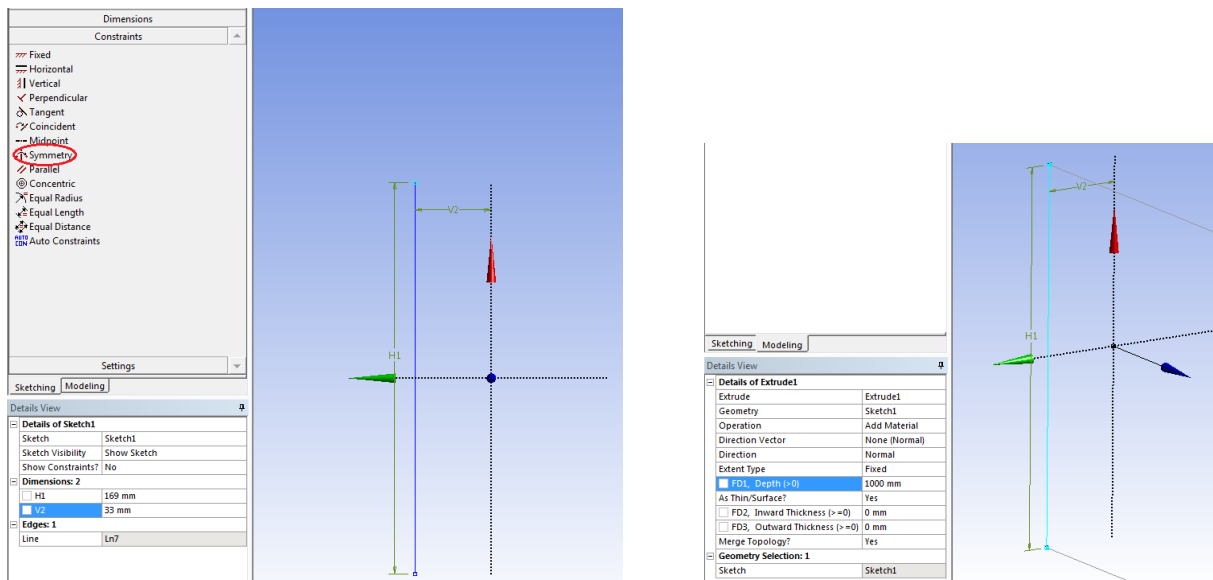
A **Geometry** sorra egyszer kattintva nézzük meg a tulajdonságokat. Jobboldalon a **Properties** ablakban legyen kipipálva a **Surface Bodies** és az analízis típusa **3D**.



A $250 \times 250 \text{ mm}^2$ -es lemezt a zx síkon rögzítjük az U-gerendához. Az F_2 erőt a C , az F_3 -at a D pontban definiáljuk. Felosztjuk 4 részre a lemezt, hogy megkapjuk ezt a 2 pontot. A nyírási középpont a gerinctől $t_{CD} = 25,16 \text{ mm}$ távolságra van. A teljes modell 4 felületi testből fog állni, mert a felületeknek különböző a vastagsága. A 2 db v_2 vastagságú párhuzamos felületet nem lehet 1 testként venni.



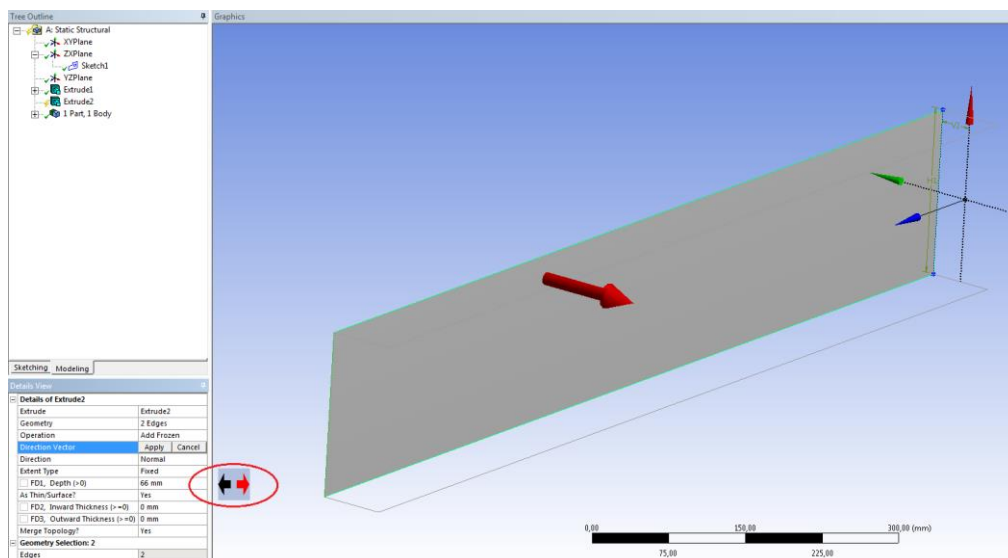
Dupla kattintással a **Geometry** opción indítsuk el a **Design Modeler**-t. Jelöljük ki a modellfán a **ZXPlane**-t, majd készítsünk ott egy vázlatot: **New Sketch**.



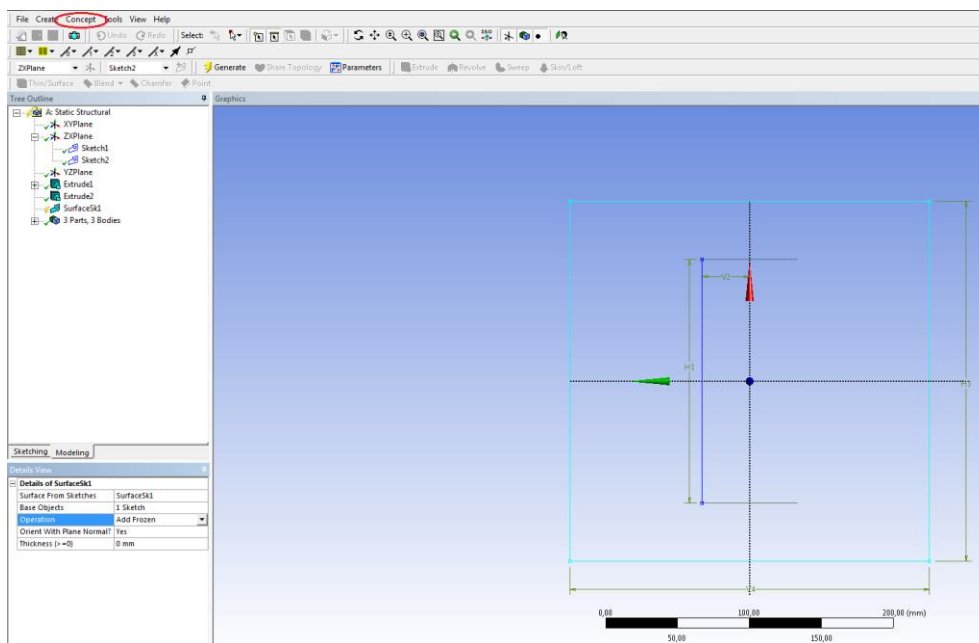
Jobboldalt lent a kis koordináta-rendszer y tengelyére kattintva a baloldali ábrán látható nézet jön be. A keresztmetszet geometriai középpontja legyen az origóban (ne a súlypontja). Rajzoljuk meg az U-gerenda keresztmetszetének gerincét a **Sketching/Draw** fülön lévő **Line** paranccsal. Méretezzük be a **Dimensions**-ben vonal hosszát és a z tengelytől a távolságot. Az illusztráció szerinti nézet esetén a z tengelytől mért távolság a **vertical (V)**, a vonal hossza a **horizontal (H)**. Legyen szimmetrikus az x tengelyre a vonal: **Constraints, Symmetry**. Jelöljük ki először az x tengelyt, mint szimmetriatengelyt, majd utána a vonal 2 végpontját. Ezután nyomjuk meg az Esc billentyűt, hogy ne legyen kiválasztva semmi.

Váltsunk át **Sketching**-ből **Modeling**-be. Forgassuk térbe a vázlatot, és az **Extrude** paranccsal húzzuk ki a gerinc középvonalát a zx síkból, mint felület (**As Thin/Surface? Yes**) $l=1000$ mm hosszon. A felületnek 0 mm vastagságot állítsunk be kívülré és belülré is. A hálózás előtt adjuk majd meg a felületek vastagságát. Miután beállítottuk a baloldali ablakban lévő paramétereket, fejezzük be a kihúzást a **Generate**-tel.

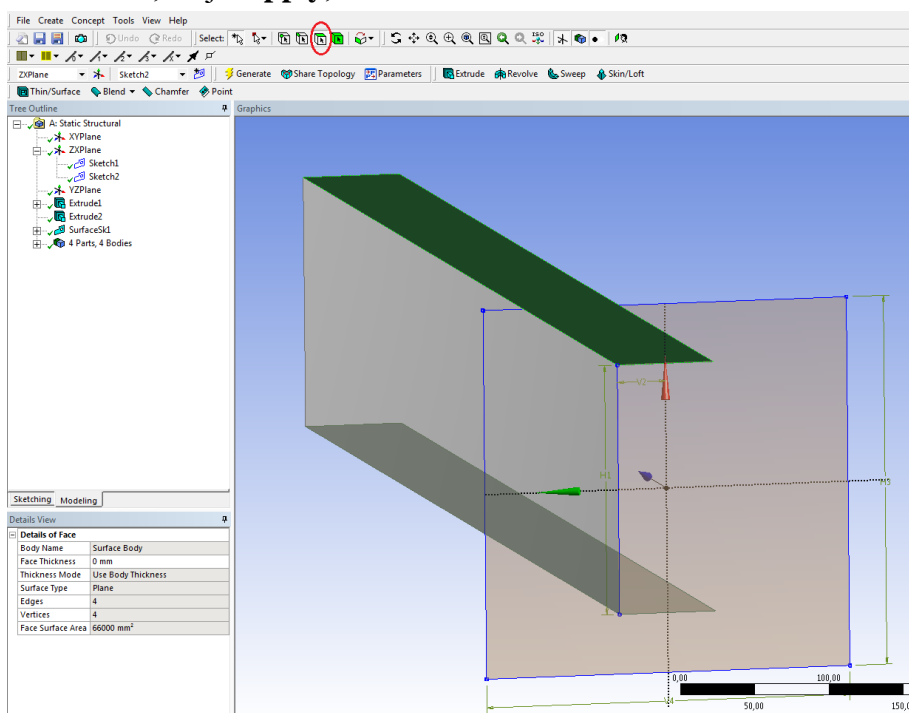
Húzzuk ki a gerinc alsó és felső élét $-x$ irányba $b'=66$ mm-re. Adjuk ki az **Extrude** parancsot. Geometriának jelöljük ki a 2 db y tengellyel párhuzamos vonalat az él kiválasztással, majd **Apply**. A gerinc után az összes felületet lefagyasztva adjuk hozzá (**Operation: Add Frozen**). Állítsuk be a **Details View** ablakban az illusztrációban lévő paramétereket. A kihúzás irányát a felület normálisával adjuk meg. A **Direction Vector**-hoz válasszuk ki a gerinc felületét, és **Apply**. Az irányt baloldalt alul a megfelelő nyílra kattintva tudjuk megadni. **Generate**-tel húzzuk ki a 2 párhuzamos felületet.



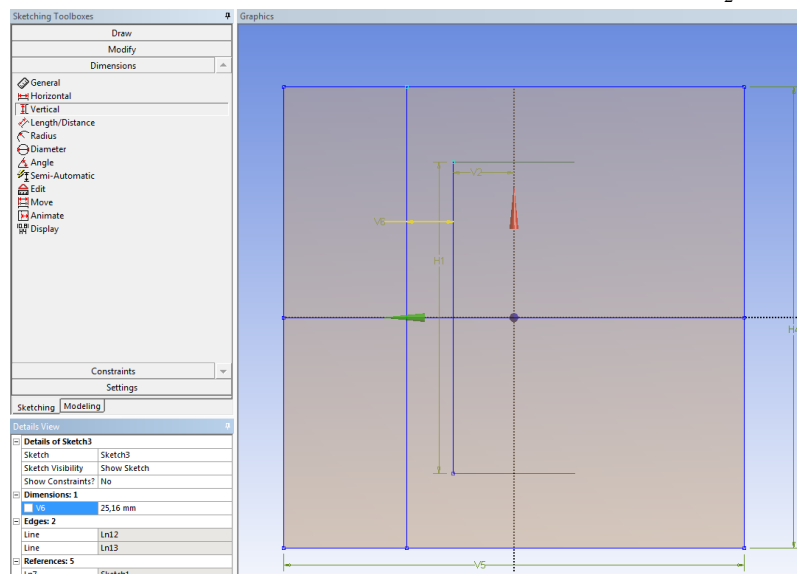
A zx síkon rajzoljuk meg a lemez körvonalát. A projektfán kijelöljük a síkot, és **New Sketch**. 2 sarokpontjával rajzoljunk egy téglalapot a **Draw** fül alatt a **Rectangle** paranccsal. Vegyük fel a vízszintes és a függőleges méretet, állítsuk be mindkettőt 250 mm-re. Az x és a z tengely szimmetriatengely. 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 az x tengelyt, utána a két vízszintes oldalt. A legvégén is nyomjuk meg az Esc-et. Készítsünk felületet a vázlatból: **Concept, Surfaces From Sketches**. Az **Operation** itt is **Add Frozen**, felület vastagsága 0 mm legyen. Fejezzük be a lemezt: **Generate**.



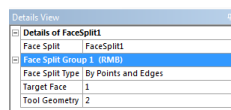
Az U-gerenda külső része legyen a felületeknek a felső, azaz a *top* oldala. A négyzet lemeznek meg a gerenda felőli része legyen a felső. A felületi normális pozitív iránya mutatja a *top* oldalt. Ha egy felületet kijelölünk, akkor a zöld színű oldal jelzi a pozitív irányt. A következő ábrán látható felső felület *top* oldala befelé mutat. Ezt fordítsuk meg: Felső menü, **Tools, Surface Slip**. Kijelöljük a felületet, mint felületi test, majd **Apply**, és **Generate**.



Osszuk fel a $250 \times 250 \text{ mm}^2$ -es lemezt 4 részre. Újabb vázlat a zx síkon: **New Sketch**. Húzzunk a lemezre egy vonalat az x tengely mentén, valamint egyet a z tengellyel párhuzamosan a gerinctől balra. Az utóbbit méretezzük be a gerinchez képest: 25,16 mm. Ezt látjuk a következő illusztrációban. A két rajzolt egyenes metszéspontja megadja a nyírási középpontot (D), az F_3 támadáspontját, az x irányú vonal és az U-gerenda metszéspontja lesz az F_2 erő támadáspontja (C).

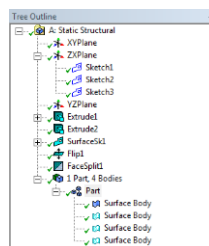


Kapcsoljunk át a **Modeling** fülre, és vágjuk 4 részre a lemezt: Felső menüsor, **Tools, Face Split**. **Target Face** legyen a lemez. Vágóélnek (**Tool Geometry**) jelöljük ki vonal kijelöléssel a **Sketch3**-ban megrajzolt 2 db egyenest. **Generate** után 4 részből áll a 250×250 -es lemez.

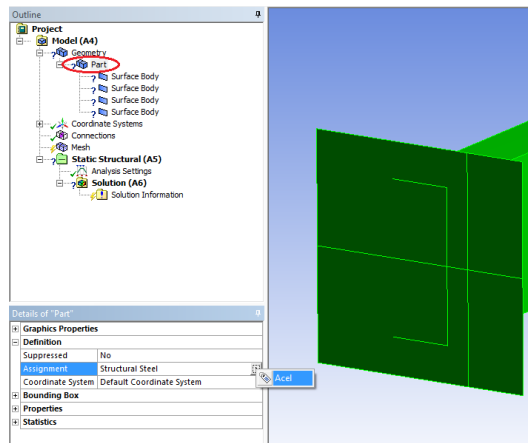


Nem kell megtörni a lemez felületét, ahol az U-gerenda csatlakozik hozzá, mert azt a program megteszi a **Mechanical** modulban, és kiadódik a C pont.

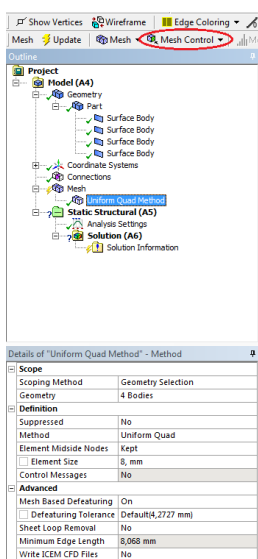
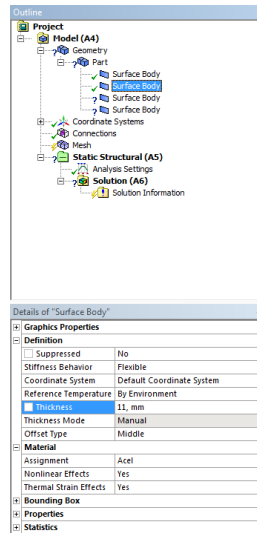
A modellünk 4 alkatrészből és 4 felületi testből áll. Legyen ez 1 Part és 4 Surface Body. Jelöljük ki a modellfán a 4 db **Surface Body**-t, jobb egérgomb, és **Form New Part**. Az eredmény a következő ábrán látható.



Zárjuk be a **Design Modeler**-t. A **Workbench** projektablakon kattintsunk duplán a **Model**-re. A modellfában a geometria kérdőjelesen jelenik meg. Először adjuk meg az anyagot. Jelöljük ki a **Part**-ot, és alul a **Definition/Assignment** sorban állítsuk át az anyagot az **Acel**-ra. Láthatjuk, hogy megvan az U-gerenda lenyomata a lemezen, így a C pont is adott.

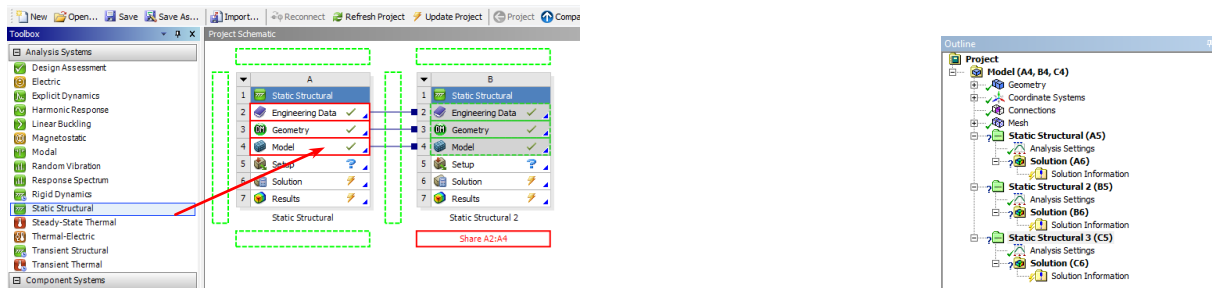


Az adott **Surface Body**-ra kattintva a projektfán adjuk meg a bal alsó ablakban a felületek vastagságát, illetve hogy a középfelülettel modellezzük őket: **Offset Type: Middle**. Az 1. felület, azaz a gerinc vastagsága $v_1 = 8$ mm. A két vízszintes, párhuzamos felület $v_2 = 11$ mm. A 2. beállítását mutatja az illusztráció. Miután a hátsó lemezre is megadjuk a $v_3 = 10$ mm-t, az összes kérdőjel pipára változik.

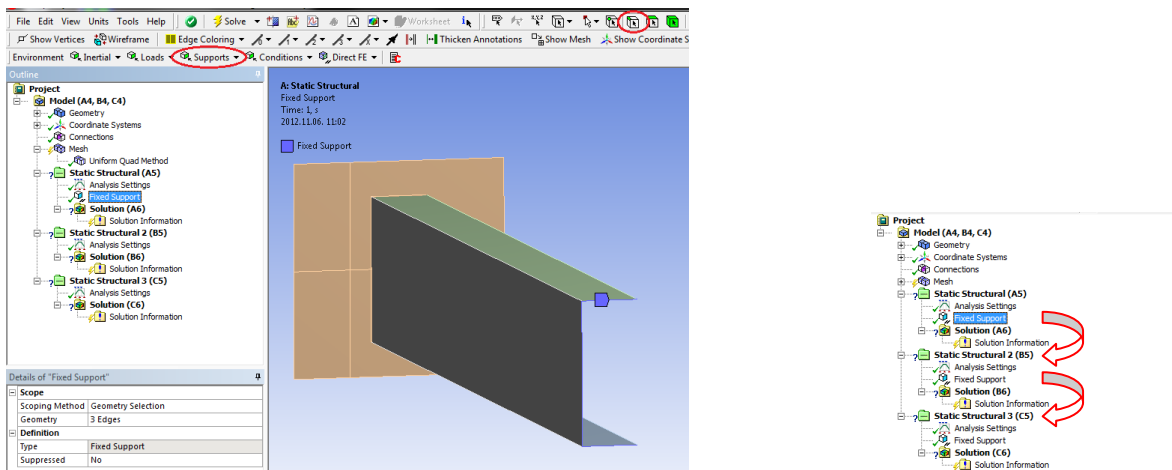


Állítsuk be, hogy nyolc csomópontos, másodfokú négyszög elemekkel hálózson a program. A projektfán a **Mesh**-re kattintva megjelenik a hálózás ikoncsoport. A **Mesh Control**-t lenyitva választjuk a **Method** parancsot. Alul a táblázatban a **Geometry**-nek választjuk ki a 4 testet Ctrl+bal egérgombbal, majd **Apply**. Felül a **Body** kiválasztás ikon legyen az aktuális. **Method**-nak **Uniform Quad**-ot választjuk ki. Alatta adjuk meg, hogy másodfokú héjelemekkel szeretnénk hálózni, azaz legyen csomópont az elemek oldalfelező pontjában is (**Kept**). Az elemméret legyen 8 mm, ezt írjuk be az **Element Size**-hoz. Ezután készítsük el a hálót: **Mesh/Generate Mesh**.

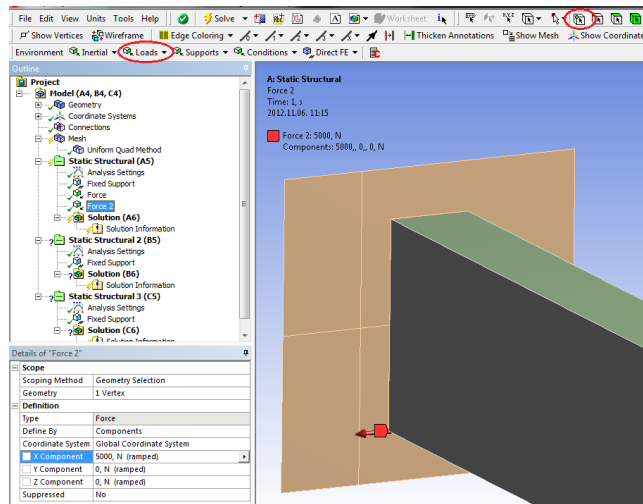
Ugyanez a geometria és háló fog tartozni a mind a 3 terhelési esethez. Térjünk át a **Workbench** ablakra, a **Mechanical** modult nem kell bezárni. A **Static Structural**-t húzzuk át kétszer a már meglévő **A** egység **Model** sorára. Ezeket átnevezhetjük **Static Structural 2**-nek és **Static Structural 3**-nak. A **Mechanical**-ra visszalépve látjuk, hogy a modelfán ott van mind a 3 terhelési esetnél a **Static Structural** és a **Solution**.



A terhelést, megfogást a projektfán a **Static Structural**-ben definiáljuk. Ehhez az **Environment** ikoncsoporthoz tartozik. Mind a 3 terhelési esetben az U-gerenda vége van befalazva. Az 1. esetben kattintsunk a **Static Structural (A5)**-re. A **Supports** ikont megnyitva választjuk a **Fixed Support** parancsot. A **Geometry**-hez jelöljük ki Ctrl+bal egérgombbal a gerenda végén lévő 3 db élt, majd **Apply**. Használjuk az **Edge** kiválasztás ikont. Ezzel lekötöttük a csomópontok 6 szabadságfokát. Nem kell mind a három terhelési esetnél külön definiálni a fix megfogást. Át tudjuk másolni. Az illusztráció szerint jelöljük ki a modelfa **Static Structural (A5)** sora alatt a **Fixed Support**-öt, és a bal egérgombot nyomva tartva húzzuk le a **Static Structural (B5)**-re, majd onnan ugyanígy a **Static Structural (C5)**-re.

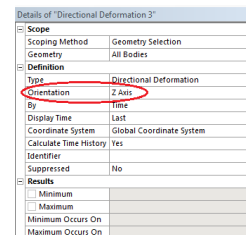
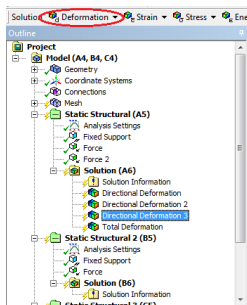


Az erőkénél nézzük az 1. terhelési esetet. A **Static Structural (A5)**-öt jelöljük ki. Az erőpárt 2 erővel vesszük fel. A **Loads**-ot megnyitva kattintsunk a **Force**-ra. Jelöljük ki **Geometry**-nek egyik esetben a gerinc felső, a másik esetben az alsó végpontját. Komponensenként adjuk meg az erőt. A **B** pontban lévő $\vec{F}_1 = (5000\vec{e}_x)$ N erő beállítását mutatja az ábra. Az **A** pontban $\vec{F}_1 = (-5000\vec{e}_x)$ N.

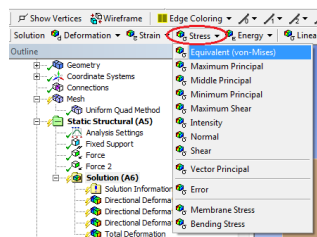


Ugyanígy definiáljuk a **Static Structural 2 (B5)**-ben a *C* pontra az $\vec{F}_2 = (-5000\vec{e}_z)$ N erőt, a **Static Structural 3 (C5)**-ben a *D* pontra az $\vec{F}_3 = (-5000\vec{e}_z)$ N.

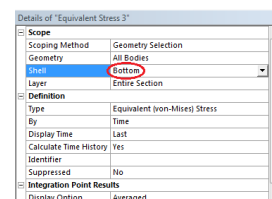
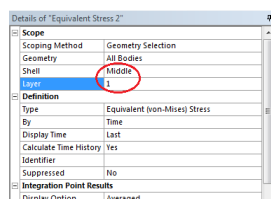
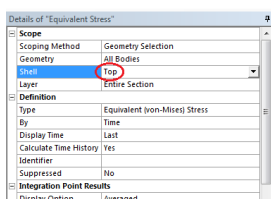
A meghatározandó eredményeket az 1. terhelési esetben definiáljuk. Adjuk meg, hogy számoljon csomóponti elmozdulásmezőt a program. Nézzük meg az *x*, *y*, *z* irányú elmozdulást, valamint az eredőt. Az 1. terhelési esetben kattintsunk a projekt fájlban a **Solution (A6)**-ra. A most aktuális **Solution** 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 elsőnél 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.



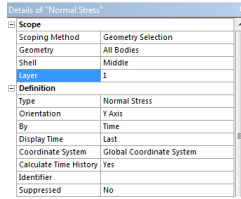
A σ_{red} Mises-feszültségeket meg kell határozni a külső, a belső és a középfelületen is. A **Stress** ikon alatt nyomjuk meg háromszor az **Equivalent (von-Mises)**-t.



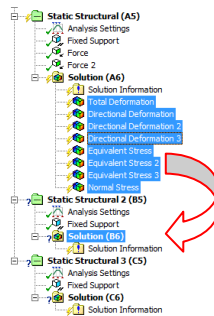
A **Details** ablakban állítsuk be, hogy a héj melyik részére kérjük a feszültséget. A következő képeknél az első mutatja a külső felület, a második a középfelület és a harmadik a belső felület beállítását. Egy rétegünk van csak, de a középfelületnél meg kell adni, hogy annak az 1. számú rétegnek a redukált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



A σ_y rúdirányú normál feszültségeket is nézzük meg a középfelületen. A **Stress** ikon alatt válasszuk a **Normal**-t. Lent az **Details** ablakban állítsuk be, hogy a középfelületekre számoljon feszültséget (**Middle**), a rétegnél **1** álljon. Az orientációnál az y tengelyt adjunk meg.



Nem kell újra definiálni a 2. és a 3. terhelési eseténél, hogy miket akarunk kiszámolni, másoljuk át őket. A modellfán jelöljük ki a **Solution (A6)** sora alatt a 8 db beállított eredményt, és a bal egérgombot nyomva tartva húzzuk le a **Solution (B6)** sorra. Majd onnan ugyanígy másoljuk át ezeket a **(C6)**-ra.



Ezután indítsuk el a számítást a **Solve**-val. Ha külön akarjuk futtatni a terhelési eseteket, akkor a modellfán jelöljük ki az aktuális **Static Structural**-t, és úgy nyomjunk **Solve**-ot.

A modellfán az adott eredményre kattintva tudjuk szemléltetni szintvonalas ábrán az elmozdulásokat és a feszültségeket. A σ_y normál feszültséget látjuk a következő két illusztráción. A baloldali a 2. terhelési esetben, a jobboldali a 3. terhelési esetben mutatja a rúdirányú normál feszültséget. A deformált alakon látjuk, hogy a 2. terhelési eset hajlítás és csavarás, a 3. pedig „tisztá” hajlítás.

