

O. VEM GYAKORLAT

(PR, HP)

Bevezető

A Végeselem módszer (VEM) egy numerikus módszer parciális differenciálegyenletek közelítő megoldására.

Jellemzően gépész- és építőmérnökök használják mechanikai (szilárdságtani és lengéstani) feladatokkal kapcsolatos számítások elvégzésére.

Tipikus példa a végeselem módszer használatára egy bonyolult alakú statikusan terhelt gépalkatrész feszültségi állapotának és alakváltozásának meghatározása. Ebben az esetben az alkatrészt modellező testet véges számú elemekre bontják (síkbeli problémánál háromszögekre vagy négyszögekre térbeli esetben hasábokra vagy tetraéderekre). A felosztást célszerű úgy végrehajtani, hogy azokon a részeken, ahol a megoldás szempontjából kritikus az eredmény, ott sűrűbben kisebb méretű elemet, ahol pedig a változások várhatóan kisebb méretűek lesznek, ott nagyobb méretű elemet választunk. A modellekben az elemek csak csomópontjaikon csatlakoznak egymáshoz. A csomópontokon az elemekre ható erők és a csomópontok elmozdulása között, -izotróp (Hooke-törvényt követő) anyag esetén-, lineáris összefüggés áll fenn, ezekből összeállítható az elemek merevségi mátrixa, amelyekből aztán az egész feladat merevségi mátrixa létrehozható. A feladat statikai számítások esetén az alábbi egyenletre redukálódik:

$$\underline{\underline{Kq}} = \underline{\underline{F}}$$

Az egyenletrendszer megoldásával kiszámítható az egyes csomópontok elmozdulása, majd az elmozdulásokból a csomóponti erők és a közelítő mechanikai feszültségek. A statikus probléma tehát végső fokon egy lineáris egyenletrendszer megoldását kívánja, amelyre sok jól használható számítógépes módszert dolgoztak ki.

1 ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÓ

Egyszerűbb alkatrészek (rudak, vastag falú csövek, tárcsák, tartályok) a szilárdságtan hagyományos/klasszikus módszereivel megoldhatók (különböző elméletek léteznek, melynek képletei segítségével kiszámíthatjuk a kialakuló feszültségállapotot)

Bonyolult alkatrészek esetén (pl. főtengely, forgattyúház) nem alkalmazhatók a szilárdságtan klasszikus módszerei. Ezekre a feladatokra egy numerikus közelítő módszert fogunk alkalmazni, melynek lényege hogy az alkatrészt feldaraboljuk sok kisebb, egyszerű alakú elemre (pl. 3D esetén kocka, prizma, piramis, tetraéder) (Szóval inverz LEGO-zunk) és az elmozdulásokat közelítjük elemenként.

Egy szilárdságtani feladat esetén:

Adott (vagy legalábbis úgy véljük, hogy adott):

- az alkatrész geometriája
- az alkatrész anyaga

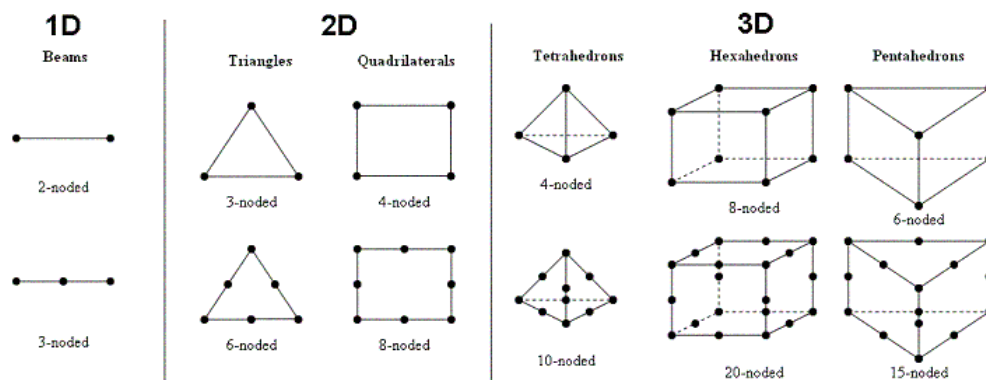
- a terhelések
- a megtámasztások

Meg szeretnénk határozni:

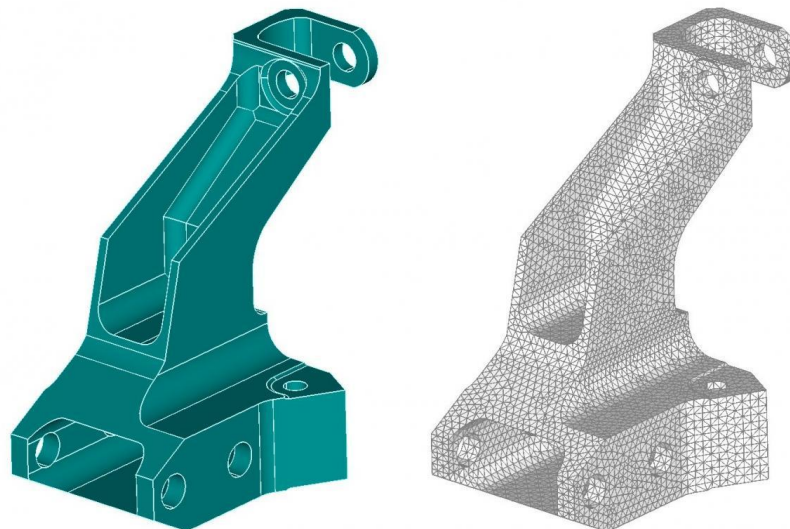
- az elmozdulásmezőt
- az alakváltozás mezőt
- a feszültségmezőt

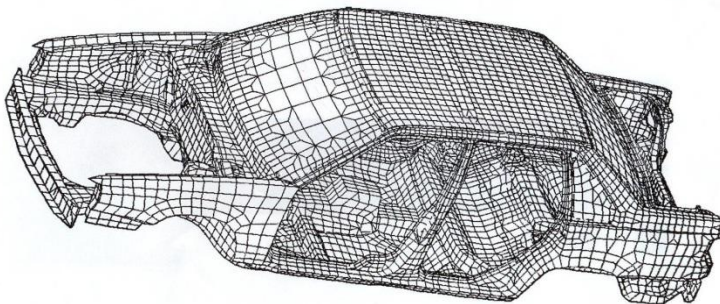
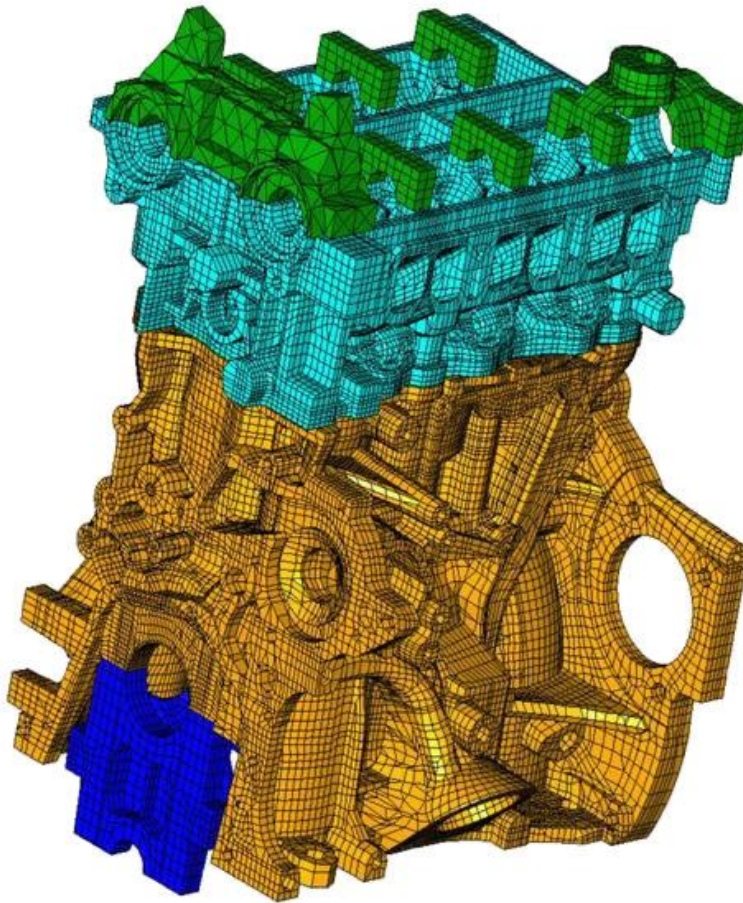
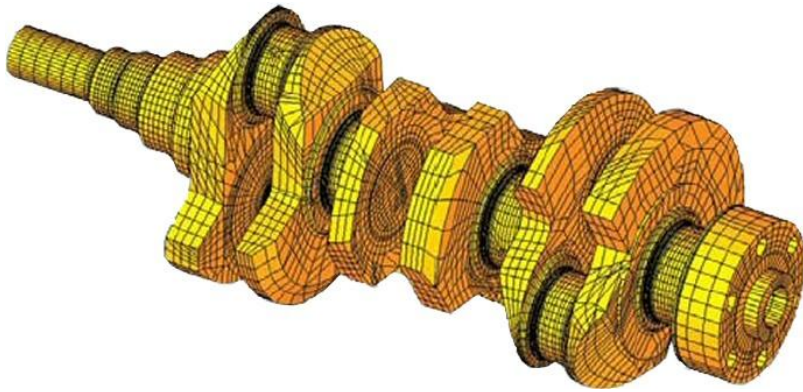
A Megoldás menete végelem-módszerrel:

- **Végelem hálózás:** A testet felbontjuk a fent említett egyszerű kis elemekre. Ezeknek az elemeknek csomópontjai vannak (a csúcsokban mindig, ezen kívül még az oldalak felezőpontjába is rakhatunk csomópontokat) Az elemek ezen csomópontok által vannak definiálva és az elemek a csomópontokban kapcsolódnak egymáshoz. Az elemeket és a csomópontokat is sorszámozzuk. Attól függően, hogy pl. rúddal, lemezzel vagy 3D testtel van dolgunk 1D-s, 2D-s vagy 3D-s elemeket alkalmazhatunk (3D elemeket elvileg bármikor tudunk alkalmazni, de a speciális feladatoknál (rúd, lemez) drasztikusan megnöveli a számítást, vagy hűlyeséget kapunk, ezért kerülendő)



Néhány példa végelem modellekre:





- Az elmozdulásmezőt elemenként közelítjük valamilyen polinommal, amelyek a csomópontokban illesztünk (keresztülmennek a csomópontokon)
- A közelítő elmozdulásmezőből a geometriai és anyagegyenletek segítségével előállítjuk a közelítő alakváltozási meg feszültségmezőt aztán ha ez megvan akkor egy megfelelő módszerrel (Lagrange féle variációs elv) egy egyszerű lineáris algebrai egyenletrendszerhez jutunk:

$$\underline{\underline{K}}\underline{\underline{q}} = \underline{\underline{F}} \text{ amiből } \underline{\underline{q}} = \underline{\underline{K}}^{-1}\underline{\underline{F}}$$

ahol $\underline{\underline{K}}$ a merevségi mátrix, $\underline{\underline{F}}$ a terheléseket tartalmazó oszlopvektor, $\underline{\underline{q}}$ a csomópontok közelítő elmozdulása

Ha a dinamikai hatásokat is figyelembe vesszük, akkor egy picit bonyolultabb egyenletet kell megoldanunk:

$$\underline{\underline{M}}\ddot{\underline{\underline{q}}}(t) + \underline{\underline{D}}\dot{\underline{\underline{q}}}(t) + \underline{\underline{K}}\underline{\underline{q}}(t) = \underline{\underline{F}}(t)$$

- A csomópontok közelítő elmozdulásából megkapható a közelítő alakváltozási és feszültségmező.

2. VÉGESELEMES PROGRAMRENDSZER ÁLTALÁNOS FELÉPÍTÉSE

1. PREPROCESSING (adatbeviteli rész)

- geometria megrajzolása (a végeselem program beépített CAD programjával) vagy importálás külső CAD programból
- Szerkezet anyagjellemzőinek megadása:
 - statikus vizsgálat esetén: rugalmassági modulus (E), Poisson tényező (ν)
 - dinamikus vizsgálat esetén: a fentiekén kívül még sűrűség
 - rúdfeleadat esetén még meg kell adni a keresztmetszeti jellemzőket (A, I), lemezfeladat esetén meg a vastagságot (ezek a programokban általában nem az anyagjellemző bevitel részen kell megadni)
- Szerkezet végeselem hálózása (elemek alakjának, méretének megadása)
- Szerkezet terhelésének megadása (koncentrált erő, nyomaték, megoszló terhelés, hőmérséklet...)
- Szerkezet megtámasztásának megadása (megfogás/rugalmas ágyazás)
- Több egymáshoz kapcsolódó alkatrész esetén a kontaktok definiálása

2. SOLVING (végeselem-számítás rész)

- Lényegében a megoldó futtatását jelenti. Ez a szakasz az, amely a felhasználó elől leginkább rejtve marad.
- a program elkészíti a merevségi mátrixot (illetve tömeg és csillapítási mátrixot dinamikai feladat esetén) illetve a terhelések vektorát
- a program megoldja a lineáris algebrai egyenletrendszert (illetve a mozgásegyenletet dinamikai feladat esetén), ebből kijönnek a csomóponti elmozdulások, majd kiszámítja a kívánt származtatott mennyiségeket (alakváltozási-, feszültség mező)

3. POSTPROCESSING (kiértékelő rész)

- Megadjuk, hogy milyen eredményeket szeretnénk látni (pl. elmozdulás, alakváltozás, redukált feszültség...) – ezeket általában szép színes ábrák formájában kapjuk meg, amiket le is animálhatunk.

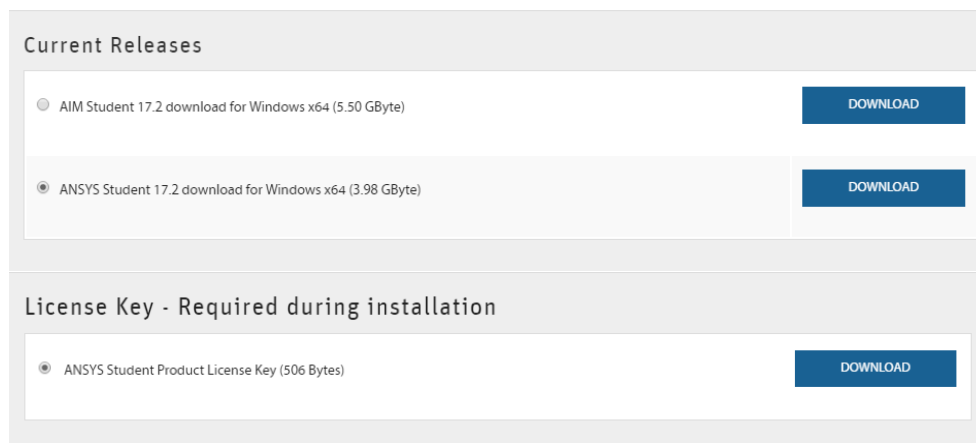
Elterjedt végelem programok:

- PREPROCESSOR: Ansa, Hypermesh, Truegrid
- POSTPROCESSOR: Meta, Animator
- TELJES PROGRAMRENDSZEREK: Ansys, Abaqus, Nastran, Comsol

3. AZ ANSYS PROGRAMRENDSZER

Az ANSYS egy átfogó szimulációs szoftvercsomag, mely a fizika minden területét átöleli, lehetőséget biztosít valamennyi gyakorlatban előforduló mérnöki szimulációra.

Ansys letöltése: ansys.com/student



Az ANSYS-t 4-féle módon is használhatjuk:

1) GUI nélkül

Megnyitunk egy szimpatikus szövegszerkesztőt és az Ansys programnyelvén (APDL – Ansys Parametric Design Language) megírjuk a végelemprogramunkat (a profik általában így csinálják)

2) GUI-val – ebből 3 is van az ANSYS-nak:

- Ansys Classic (Mechanical APDL): ez a legrégebbi GUI. Minden funkció elérését biztosítja, viszont használata nehezebb, használata komolyabb szimulációkhoz célszerű

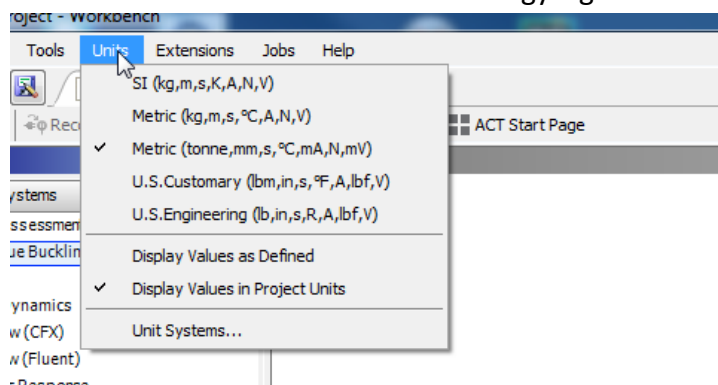
- Ansys Workbench: előnye a könnyen kezelhető és átlátható kezelőfelület, ami sok automatizmussal segíti a felhasználót. Viszont ennek hátránya, hogy némelyik funkció közvetlenül nem érhető el benne
- Ansys AIM: ez a legújabb GUI. A Workbench-en alapul, de még annál is könnyebben kezelhető. Viszont ez a legbutább.

Mi leginkább a Workbench-et fogjuk használni.

4. ANSYS WORKBENCH FELÉPÍTÉSE

Indítsuk el az **ANSYS Workbench 14.0**-t.

1. Fent a **Units** fülön állítsuk be a mértékegységet az ábrának megfelelően.



2 Fő ablak jelenik meg, a Toolbox és a Project Schematic.

A Toolbox 5 alcsoportot tartalmaz, melyek elemeit a Project Schematic ablakba húzhatjuk. A számunkra legfontosabb két alcsoport:

- Analysis systems: előre definiált sablonok, amikkel egy teljes vizsgálat lefolytatható.
- Component systems: komponensek, amelyeket hozzárendelhetünk a sablonokhoz.

Az Analysis systems-ben található sablonok:

- Eigenvalue Buckling: kihajlás vizsgálat
- Explicit Dynamics: ütközés, ejtés vizsgálat (rövid idő alatt nagy alakváltozás)
- Electric: elektromosság
- Fluid Flow: áramlástan szimulációk
- Harmonic Response: frekvenciaátviteli függvények meghatározása (egy alkatrészt valahol harmonikusan gerjesztek akkor mekkora lesz a rezgés amplitúdója ugyanabban, vagy bármely más pontban a frekvencia függvényében)
- Modal: sajátfrekvencia, lengéskép
- Response Spectrum: tranziens terhelésre adott maximális válasz

- Static Structural: időfüggetlen terhelés hatására kialakuló állandósult deformáció, feszültség (dinamikai jellemzőket nem veszi figyelembe). A megoldandó egyenlet:

$$\underline{\underline{K}}\underline{\underline{q}} = \underline{\underline{F}}$$

- Rigid Dynamics: több, egymáshoz kapcsolódó merev testből álló szerkezet dinamikai vizsgálata (MBS = Multi Body Simulation)
- Steady State Thermal: hőmérsékleteloszlás állandósult állapotban
- Transient Thermal: hőmérsékleteloszlás az idő függvényében
- Transient Structural: időfüggő terhelésre adott dinamikus válasz (timehistory analysis). Az alábbi mozgásegyenletet oldja meg a program:

$$\underline{\underline{M}}\ddot{\underline{\underline{q}}}(t) + \underline{\underline{D}}\dot{\underline{\underline{q}}}(t) + \underline{\underline{K}}\underline{\underline{q}}(t) = \underline{\underline{F}}(t)$$

Ennek a megoldása bonyolultabb szerkezeteknél rendkívül időigényes, ezért ha van rá lehetőség, kerülni kell

- ha dinamikai hatás elhanyagolható: Static Structural
- ha a gerjesztés harmonikus: Harmonic Response
- ha az alkatrészek merevek, és csak a kinematikai jellemzők érdekelnek: Rigid Dynamics.

Mi a fentiekből csak a Static Structural-t, illetve a Modal-t fogjuk használni.

Ha eltűnnének dolgok, a munkafelületet a View→Reset Workspace-szel tudjuk helyrerakni.

A Tools→Update Project-tel frissíthetjük a munkánkat (pl. ha utólag módosítottunk a geometrián).

5. STATIC STRUCTURAL MODUL BEMUTATÁSA

Húzzuk át az egérrel a **Static Structural** modult az Analysis Systemsből a Project Schematic ablakba. Tekintsük át az itt látható 6 pontot:

komponens neve		használt alprogram
Engineering Data	anyagjellemzők megadása	Engineering Data
Geometry	geometria megrajzolása	Design Modeler
Model	végeselem háló elkészítése	Mechanical
Setup	megfogások, terhelések megadása	
Solution	a program megoldja a feladatot	
Results	eredmények megjelenítése	

A komponensek után látható ikonok:

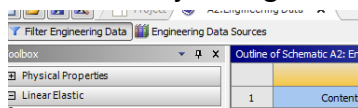
-  hiányzó adat
-  lehetséges, hogy javítani kell valamit
-  frissíteni kell
-  frissíteni kell, az adatok megváltoztak, ami hatással van a többi komponensre is
-  frissített
-  változások vannak függőben

1. Engineering Data – anyagjellemzők megadása:

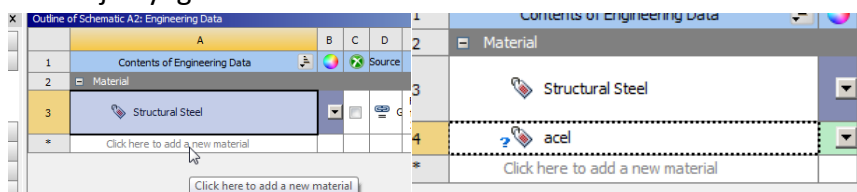
Itt alpból egy pipa látható, mivel a program alapértelmezésként feltételezi, hogy acélt szeretnénk használni. Tehát csak akkor szükséges ezt módosítani, ha nem acélt szeretnénk használni. Ebben az esetben:

Kattintsunk duplán az Engineering Data-ra. Most két lehetőségünk van:

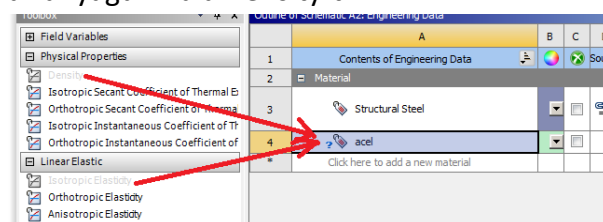
1. Választunk egyet a beépített anyagok közül: ezt fent az *Engineering Data Sources*-re kattintva tudjuk megtenni.



2. Új anyagot definiálunk: kattintsunk a *Click here to add a new material*-ra, majd írjuk be az új anyag nevét.



Ezután a jobb oldali Toolbox-ból húzzuk rá az új anyagunkra a Linear Elastic alól az Isotropic Elastic-ot (már ha lineárisan rugalmas, izotrópikus az anyagunk, mi csak ilyenekkel foglalkozunk), modálanalízis esetén még a Physical Properties alól húzzuk rá az anyagunkra a Density-t.



A lent megjelenő sárga cellákba írjuk be az anyagjellemzőket.

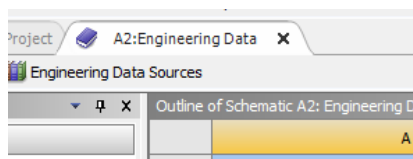
Properties of Outline Row 4: acél				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density		tonne mm ⁻³	
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Mod...		
5	Young's Modulus		MPa	
6	Poisson's Ratio			
7	Bulk Modulus		MPa	
8	Shear Modulus		MPa	

Properties of Outline Row 4: acél				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	7,85E-09	tonne mm ⁻³	
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Young's Mod...		
5	Young's Modulus	2,1E+05	MPa	
6	Poisson's Ratio	0,3		
7	Bulk Modulus	1,75E+05	MPa	
8	Shear Modulus	80769	MPa	

Ügyeljünk a mértékegységekre (MPa, tonna mm⁻³)

A tizedesjel vessző a Workbenchben!

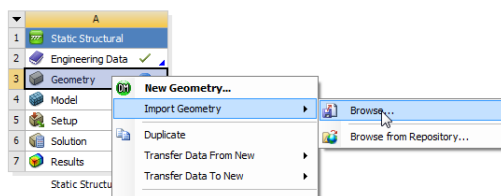
Térjünk vissza a főképernyőre. Ehhez fent x-eljük be az Engineering Data-t (régebbi verziókban Return To Project gombra kell kattintani).



2. Geometry – Geometria definiálása

Geometriát kétféle képen varázsolhatunk: importálunk egyet vagy rajzolunk.

- a) Geometria importálása: Kattintsunk jobb egérgombbal a Geometry-re és válasszuk a helyi menüből az *Import Geometry* → *Browse*-t



*.igs, *.stp file – okat gond nélkül importálhatunk, de ezen kívül az Ansys támogatja a legtöbb CAD szoftvert (pl Creo *.prt, *.asm is gond nélkül importálható).

FONTOS! A CAD modellek általában a gyártáshoz készülnek, nem pedig a szimulációhoz. Vannak olyan részletek, amelyekre a szimuláció szempontjából

nincsen szükség, illetve olyan részletek, amik viszont kellenének a szimulációhoz, de a CAD modell nem rendelkezik velük. Ezért szimuláció előtt fontos a CAD modell megfelelő előkészítése. Pár példa:

- tüntessük el a teljesen felesleges dolgokat (pl. logok),
- a terheletlen részekben egyszerűsítsük a geometriát (pl. letörések eltávolítása, olajzófuratok eltávolítása, bordák eltávolítása) ez nagymértékben leegyszerűsíti az alkatrész végelemekre való bontását,
- ha vannak menetek, azokat távolítsuk el (akár ténylegesen meg van rajzolva, akár szimbolikus – utóbbit felületként értelmezné az Ansys és megzavarná),
- terhelések, megfogások, esetleg kontaktok megadásához célszerű még a CAD szoftverben felületeket definiálni,
- ha szimmetrikus az alkatrész, valamint a megfogás és terhelés is, elég az alkatrésznek csak a felét, negyedét alkalmazni.

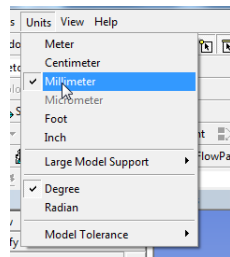
b) Geometria megrajzolása az ANSYS beépített CAD programjával

Az ANSYS-nak 2-féle beépített CAD programja is van, a **Design Modeler**, illetve a **SpaceClaim** (régebbi verziókban csak a Design Modeler van, mi is ezt fogjuk használni, mivel régi az Ansysunk).

A Geometry helyi menüjéből a Properties-re kattintva jobboldalon megjelenik egy ablak. Attól függően, hogy 2D vagy 3D feladatot akarunk vizsgálni, az Analysis Type-nál állítsuk be a 2D vagy 3D-t (alapértelmezésként 3D van, tehát ez csak 2D feladatnál fontos).

A Design Modeler elindításához kattintsunk duplán a Geometry-re.

Fent állítsuk be a mértékegységet:



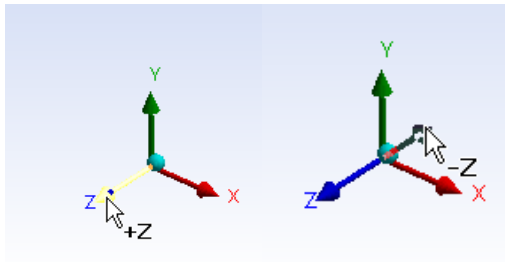
Mozgatás:

középső egérgomb görgetése: zoomolás

középső egérgomb nyomvatartása mellett egér mozgatása: forgatás

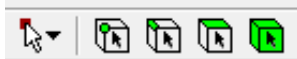
Ctrl + középső egérgomb nyomvatartása mellett az egér mozgatása: tologatás

Ha egy kívánt síkot szeretnénk látni, kattintsunk a síkra merőleges tengelyre:



Felső menüsor fontosabb ikonjai (amiket használni is fogunk):

Selection filter



Az 1. ikonnal választhatunk, hogy egyenként (single select), vagy egy téglalappal (box select) csoportosan akarunk objektumokat kijelölni.

A többi ikon rendre: pont kijelölése, él kijelölése, felület kijelölése, test kijelölése.

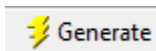
New sketch: ezzel tudunk egy új vázlatot készíteni



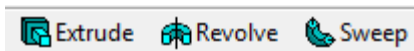
New Plane: új síkot tudunk létrehozni



Generate: Ezzel tudjuk véglegesíteni a különböző parancsokat (pl. egy extrudálást)

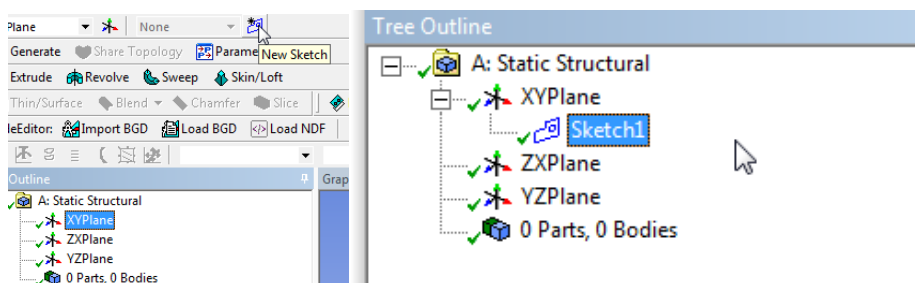


3D eszközök: Miután készítettünk egy vázlatot, ezzel tudunk 3D testet létrehozni.

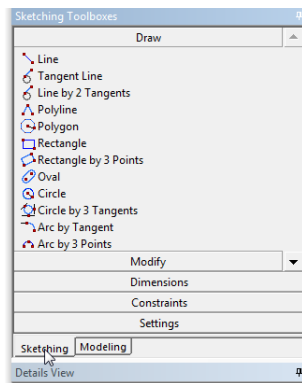


- Extrude: kihúzás,
- Revolve: körbeforgatás egy adott tengely körül,
- Sweep: végigsöprés egy adott görbe mentén.

Vázlat készítése: A *Tree Outline*-ban kattintsunk arra a síkra, amelyen el szeretnénk készíteni a vázlatot, majd a *New Sketch*-re a fenti menük közül. Ekkor az adott sík alatt megjelenik egy Sketch1.



A vázlat elkészítéséhez váltsunk át a **Sketching** fülre.



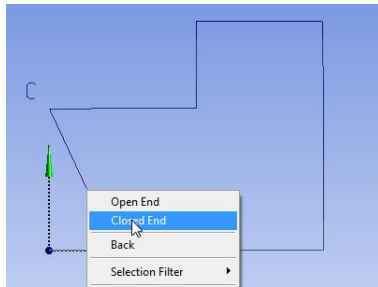
A **Sketching** eszköztár főbb parancsai:

Draw: különböző alakzatokat rajzolhatunk

- Line = vonal rajzolása
- Tangent Line = érintő vonal
- Line by 2 tangents = 2 ívhez hozzácsatlakozó egyenes
- Polyline = törtvonal
- Rectangle = téglalap
- Rectangle by 3 points = téglalap 3 pont által definiálva
- Circle: kör
- Circle by 3 tangents: kör 3 vonal által definiálva
- Arc by Tangent: körív 2 egyenes által definiálva
- Arc by 3 Points: körív 3 ponttal definiálva
- Arc by Center: körív középponttal és sugárral definiálva
- Ellipse: ellipszis
- Construction Point: pont

Megjegyzések:

- Rajzolás közben a vízszintes, függőleges tengelyre, origóra, illetve a már megrajzolt alakzatokra automatikusan (rá)csatlakozunk, amit egy C betű jelez (tehát a coincident kényszer alaphoz be van kapcsolva). Ezen kívül a vertical és horizontal kényszerek is alaphoz be vannak kapcsolva, így ha egy vonal húzása során meglátjuk a H vagy V betűket, akkor a vonalunk garantáltan vízszintes, vagy függőleges lesz, még ha nem is annak látszik pillanatnyilag.
- Polyline esetén célszerű a helyi menüből a Close end segítségével visszatérni a kezdőpontba.

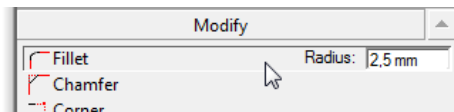


Modify: módosításokat hajthatunk végre a rajzunkon.

- Fillet: lekerekítés
- Chamfer: letörés
- Trim: levágás
- Extend: meghosszabbítás
- Offset: párhuzamos rajzolása

Megjegyzés:

A lekerekítés és letörés mértékét a Fillet és a Chamfer sorában tudjuk megadni. A rajzon kattintsunk arra a két vonalra, amely között kerekítést vagy letörést szeretnénk létrehozni.



Dimensions: méretezzük a rajzot:

- General: általános méret (a program megpróbálja kitalálni, mit akarunk)
- Horizontal: vízszintes méret
- Vertical: függőleges méret
- Length/distance: hossz/távolság
- Radius: sugár
- Diameter: átmérő
- Angle: szög
- Semi-Automatic: a program automatikusan beméretezi a rajzot
- Move: mozgathatjuk a méreteket
- Display: beállíthatjuk, hogy a méret nevét és/vagy értékét akarjuk látni

A méreteket számszerűen a bal alsó részen, a Details Wiev-ban a Dimensions alatt tudjuk megadni:

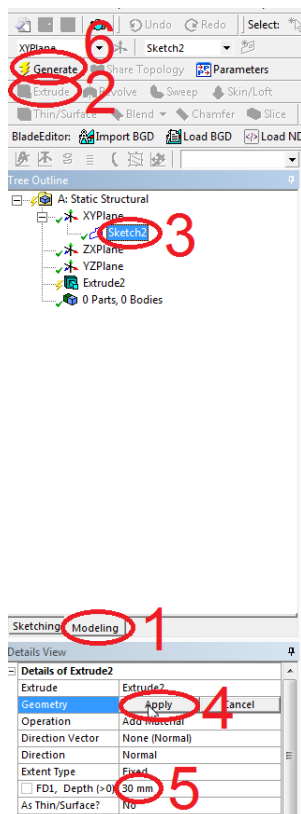
Details View	
Details of Sketch1	
Sketch	Sketch1
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 4	
☐ H19	40 mm
☐ H20	20 mm
☐ V21	40 mm
☐ V22	10 mm
Edges: 6	
Line	Ln28
Line	Ln29

Constraints: különböző kényszereket tudunk megadni. Ezeket a rajzon nem látjuk, kitörölni is elég nehéz őket, ha lehet kerüljük őket Ansys-ban.

Settings: Egy négyzetrácsot tudunk a munkafelületre rakni, amivel egyszerűbb alakzatokat gyorsan, utólagos méretezés nélkül meg tudunk rajzolni.

- Grid: itt kapcsolhatjuk be, illetve bekapcsolhatjuk, hogy csatlakozzunk a rácpontokra (ezt mindenképp célszerű bekapcsolni, enélkül nincs sok értelme)
- Major grid spacing: rácsvonalak távolsága
- Minor-Steps per Major: a fő négyzeteket hány alnégyzetre bontsa fel (ezeket szaggatott vonallal jelöli)
- Snaps per Minor: csatlakozások száma

Ha elkészült a vázlatunk, menjünk át a modeling fülre, fent jelöljük ki valamelyik 3D opciót (mondjuk az extrudálást), jelöljük ki a modelfán a vázlatunkat, majd lent a Details View-ban a Geometry mellett kattintsunk az Apply-ra. A kihúzás méretét az FD1 sorában tudjuk megadni. Végül fent kattintsunk a Generate-re.



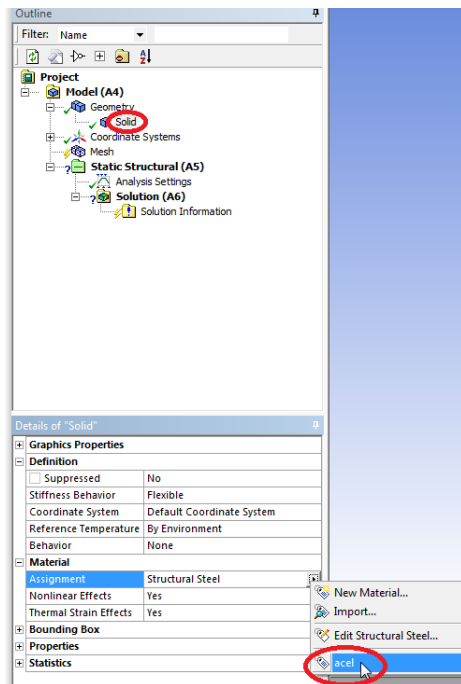
Ha végeztünk a geometria megrajzolásával, zárjuk be a Design Modelert.



3. Mechanical

A végeselem vizsgálathoz kattintsunk duplán a Model-re. Ekkor megnyílik a mechanical. Innentől kezdve mindent részfeladatot ebben végzünk (tehát nem kell külön megnyitni majd a Setup-ot, Solution-t, Results-ot).

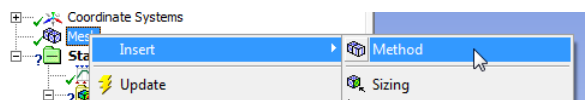
anyag hozzárendelése testhez: A modellfán a Geometry alatt válasszuk ki a kívánt testet, majd lent a Details of „Solid” ban a Material alatt az Assignment mellett válasszuk ki az anyagot.



Ha nem rendelünk anyagot a testhez, alapértelmezésként acélt rendel hozzá.

Hálózás

Elemek típusa: Mesh → Insert → Method



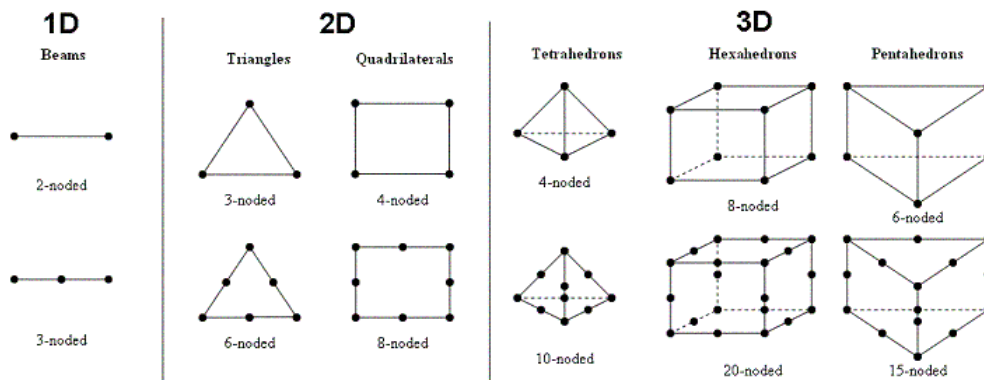
Ha beraktunk egy Method-ot, lent a Geometry mellett kattintsunk a sárga No Selection-re, jelöljük ki azokat a testeket, amelyeken alkalmazni szeretnénk a módszert, majd kattintsunk a Geometry melletti Apply-ra.

Method:

- tetrahedrons: tetraéderekkel háló
- Hex dominant, Multizone: kocka, piramis és prizma alakú elemekkel háló (a 2 más algoritmussal építi fel a hálót, célszerű inkább a Multizone-t választani).

Element Midside Nodes:

- dropped: lineáris elemeket használ (felső sor)
- kept: másodfokú elemeket használ (alsó sor)



A kocka alakú elemek pontosabb eredményeket adnak, viszont sokkal nehezebb (gyakran lehetetlen) egy bonyolult alkatrészt kockákkal behálózni. Ilyenkor másodfokú tetraédereket célszerű alkalmazni.

Sizing: Megadhatjuk az elemek méretét az egész testre, vagy a kijelölt felületekre. A feszültséggyűjtő helyeken célszerű sűríteni a hálót. A háló sűrítésével a feszültségértékek konvergálnak egy adott értékhez. Modálanalízis során durva háló esetén merevebb a test, így magasabb sajátfrekvenciákat kapunk, a háló sűrítésével a sajátfrekvenciák csökkennek, konvergálnak a tényleges értékhez.

A beállítások elvégzése után a Mesh helyi menüjéből a Generate Mesh-sel a program elkészíti a hálót.

Kinematikai és Dinamikai peremfeltételek

A Static Structural helyi menüjéből az Insert-tel, vagy a fenti menüsorból érhetők el.

Megfogások:

- Fixed support: megfog minden szabadságfokot
- Displacement: állandó/időben változó elmozdulás élre/pontra/felületre
- Remote Displacement: geometriai elem elmozdulása/elfordulása adott ponthoz viszonyítva
- Frictionless Support: felületi normális irányába történő elmozdulást akadályozza meg
- Compression only: csak nyomóhatást kifejtő kényszer
- Cylindrical support: hengeres felület mozgását definiálhatjuk
- Elastic Support: rugalmas ágyazás (főleg 3D feladatok esetén ezt célszerű alkalmazni merev megfogás helyett, viszont ehhez meg ismerni kell a kapcsolódó alkatrész rugómerevségét, ami meg általában nem ismert).

Terhelések:

- Pressure: nyomás
- Hydrostatic Pressure: hidrosztatikus nyomás

- Force: erő
- Remote Force: erő erőkarral
- Bearing Load: csapágyterhelés
- Bolt Pretension: csavar előfeszítés
- Moment: nyomaték
- Line Pressure: vonal mentén megoszló terhelés
- Thermal Condition: hőmérsékleti terhelés

Az egyes megfogások, terhelések esetén jelöljük ki a testet/felületet/élt/pontot, amire a terhelés/megfogás hat, kattintsunk lent a Geometry mellett az Apply-ra, majd a Definition alatt töltsük ki értelemszerűen a sárga cellákat. Erő esetén célszerű a Vektor megadási mód helyett a Components-et választani (a Defined By mellett)

Megjeleníteni kívánt eredmények:

A Solution helyi menüjéből az Insert-tel, vagy a fenti menüsorból érhetők el.

- deformation: elmozdulás
 - total: elmozdulás abszolút értéke
 - directional: elmozdulások x, y, z irányokban
- Stress: feszültség
 - Equivalent (von-Mises): HMH szerinti redukált feszültség
 - Maximum Principal: legnagyobb főfeszültség
 - Middle Principal: középső főfeszültség
 - Minimum Principal: legkisebb főfeszültség
 - Normal: normál feszültség
 - Shear: nyíró feszültség
- Strain: alakváltozás
- Energy: alakváltozási energia

A futtatáshoz a Solution helyi menüjéből kattintsunk a Solve-ra.