



Mérnöki módszerek gépészeti alkalmazása



MI A FEM/FEA?

- Véges elemeken alapuló elemzési modellezés (FEM - Finite Element Modeling) és elemzés (FEA - Finite Element Analysis).
- A modellek elemzésén alapuló termékfejlesztés.
- A számítógépes elemzés minőségi változás.
- Az elemzések végső célja az a tervezői megállapítás, hogy a termék tervei változatlan formában, a javasolt módon módosítva, esetleg egyáltalán nem alkalmasak arra, hogy a gyártás tervezésének az alapját képezzék.



MI A FEM/FEA?

A végeelem analízis egy numerikus módszer.

- Általános feladatmegoldó eszköz: bármely bonyolultságú alak elemezhető, bármely anyagjellemző meghatározható, valamint bármely terhelés és határfeltétel figyelembe vehető.
- Az alkatrész működése közben, a fellépő terhelések hatására: igénybevétel, deformáció
- A terhelés hely és idő függvényében, matematikai összefüggéssel leírható változása is figyelembe vehető.
- Öntőszerszámok (formák) öntés közbeni hőmérséklet-eloszlásának és a formakitöltésnek a vizsgálata.



A véges elemeken alapuló modellezés és elemzés alapvető lépései

Az elemzési modell készítése (preprocesszálas)

Geometriai modell előkészítése

Külső alkatrész modell konvertálása

Geometriai modell kidolgozása

A modell egyszerűsítése

A modell kiegészítése

Hálógenerálás

Végeselem modell előkészítése

Terhelések és határfeltételek definiálása

Anyagjellemzők meghatározása

Modell komplettiségének és korrektségének ellenőrzése

A modell optimalizálása

Elemzés

Posztprocesszálas

Eredmények feldolgozása a felhasználó számára

Terhelések és eredmények kijelzése intervallumokban

Táblázatok összeállítása

Animált megjelenítés



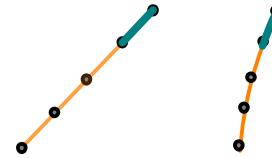
Geometriai modellek felhasználási esetei

- A geometriai modell a végeelem eszközökkel integrált modellezővel készül így az közvetlenül feldolgozható.
- A geometriai modell külső rendszerből származik, azonban az áthozott adatok a végeelem modellezőben közvetlenül feldolgozhatók.
- A geometriai modell külső rendszerből származik és az áthozott adatokat előbb semleges formátumra, majd a végeelem rendszerben alkalmazott formátumra kell alakítani (konvertálni).
- Ugyan a végeelem háló is külső modellező rendszerben készül, azt a geometriai modellel hozzák át, azonban az adatok közvetlenül, átalakítás nélkül felhasználhatók.
- A geometriai modell és a végeelem háló adatait semleges formátumban hozzák át, így az azokat kettős konverzióknak kell alávetni. Ez a bejövő adatok valamely semleges formátumba való alakítását, majd a semleges formátumnak a célrendszer formátumába való alakítását jelenti.
 - Például IGES formátumba.
- A geometriai modellt a végeelem rendszerben kell kidolgozni.

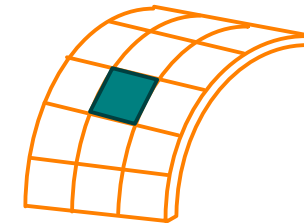
Véges elemek

- Az alak, amelyet véges elemekre bontanak lehet vonal (egydimenziós), kétdimenziós héj, háromdimenziós héj vagy test.
- A véges elemek egymáshoz közös éllel kapcsolódnak.
- A véges elemeket határoló él metszéspontjaiban, esetenként pedig az éleken csomópontok helyezkednek el, amelyekben a vizsgált jellemzők számítása történik.

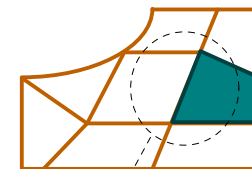
Vonal (egydimenziós) elemek



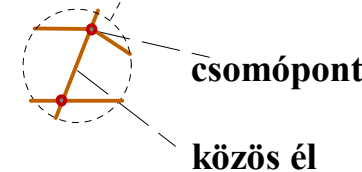
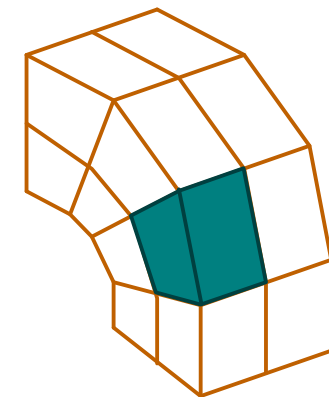
Háromdimenziós héjelem



Kétdimenziós héjelem

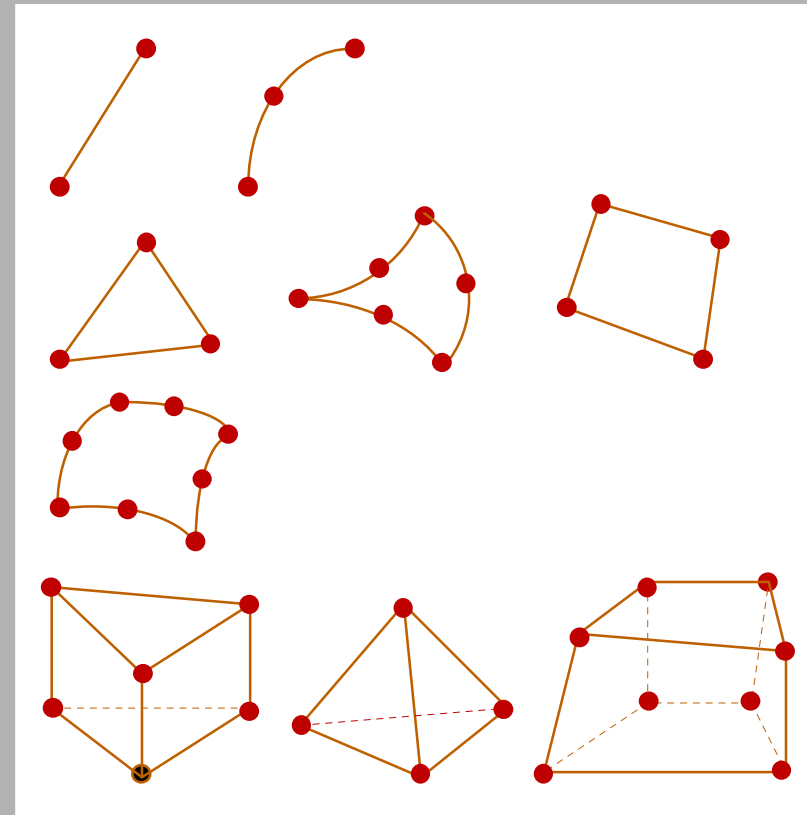


Tömör test elem



Véges elemek készlete

- Az elemek alakja a felbontandó alaknak megfelelő típusok közül választható
- Egydimenziós elem, kétdimenziós héjelem (háromszög vagy négyszög keresztmetszetű), háromdimenziós héj, valódi térbeli elemek (a harmadik méret állandó vagy változó).
- A *határoló él* fokszáma: elsőfokú (egyenes), másodfokú vagy harmadfokú. A másodfokú élen egy, a harmadfokú élen két közbenső csomópont.



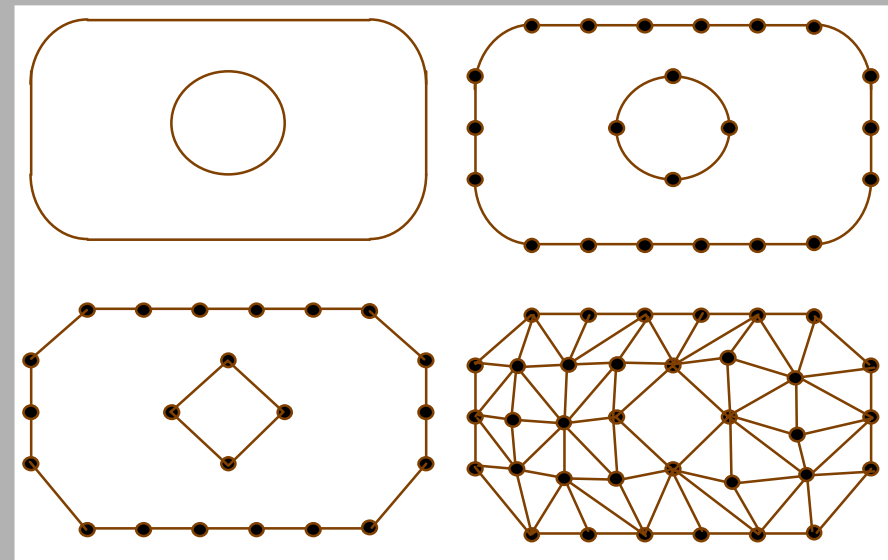


Véges elem háló

- *Az elemek alakját, méretét és sűrűségét* alkalmasan választják meg.
- A felosztott alak és az elem azonos fokszáma: görbült határoló élekkel és felületekkel rendelkező testek esetében *egzakt elemek*.
- A még alkalmas legkisebb *feldolgozási igényű* megoldást eredményező végeelem modell: ha a közelítés megfelelő pontosságú elemzési eredményt ad, azt kell választani. *A végeelem analízis a sokszorosára nőtt számítógép teljesítmény mellett is fokozottan erőforrás-igényes feladatnak számít a műszaki tervezőrendszerek gyakorlatában.*
- *A véges elemek mérete* az elemzési feladatnak megfelelően megválasztva. A háló lehet *egyenletes vagy változó sűrűségű*. Ahol az alkatrészeken kisebb és nagyobb várható igénybevételű régiók azonosíthatók, a háló helyi sűrítésével és ritkításával lehet jó hálót kialakítani. A szükségesnél sűrűbb háló felesleges feldolgozási igényt eredményez, a szükségesnél ritkább háló pedig pontatlan eredményt ad.

A háló létrehozásának lépései

- Tervező által irányított és automatikus hálógenerálás.
- Háló ellenőrzése: torzulás, szakadás és egyéb rendellenességek
- Automatikus hálókorrigáló eljárások.
- Számos módszer, eszköz és fogás megfelelő minőségű, optimális háló kialakítására.





Terhelési modell

- Terhelések és a korlátok elhelyezése a hálóval ellátott geometriai modellen.
- A terhelés elhelyezhető csomópontokban, vonalak mentén vagy felületen. Tipikus terhelés
 - a koncentrált, vagy megoszló *erő*,
 - a *nyíró igénybevétel*,
 - a *hajlító igénybevétel*,
 - a gyorsulás, amely lehet gravitációs, transzlációs vagy rotációs,
 - az *élen vagy felületen ható nyomás*,
 - a csomópontokban, elemen vagy felületen uralkodó *hőmérséklet* és
 - a koncentrált vagy megoszló *hőforrás*.
- A fejlett rendszerekben a *terhelés változása* is megadható matematikai összefüggés formájában.



Terhelési modell

- Az *objektum mozgásának korlátait leíró kényszere* pontokhoz, görbékhez és felületekhez, illetve csomópontokhoz rendelhetők.
- A kényszer az elmozdulást meghatározott irányban korlátozza, az elemzés eredményében reakcióerő fog megjelenni.
- A mechanikából ismert alapvető kényszereket kész modellépítő elemekként tartalmazzák.



A kész elemzési modellről

- A teljes elemzési modell, vagy annak meghatározott részei az elemzési eredmények alapján módosítása után felhasználhatók, az elemzés megismételhető.
- A termék modelljében az alkatrész modellje és az elemzési modell között kötöttségek definiálhatók, az alkatrészmodell módosításai automatikusan átvihetők az elemzési modellbe.
- Az elemzési modell összeállításánál gyakran használnak fel adatbázisban tárolt, *könyvtári* modell-részeket.



Elemzés

- Az elemzés során többek között
- feszültség,
- alakváltozás,
- nyomás,
- reakcióerő,
- alakváltozási energia,
- saját frekvencia,
- hőmérséklet,
- hőáram és
- mágneses tér határozható meg.
- A különféle elemzésekhez megfelelő elemző programok.
- A feladatot alapvetően *lineáris*, *nemlineáris*, *statikus* és *dinamikai* elemzésként kezelhetjük. A végeselem rendszerekben rendelkezésre álló eszközök meghatározott feladat-típusokhoz alkalmasak.



Elemzési feladatok

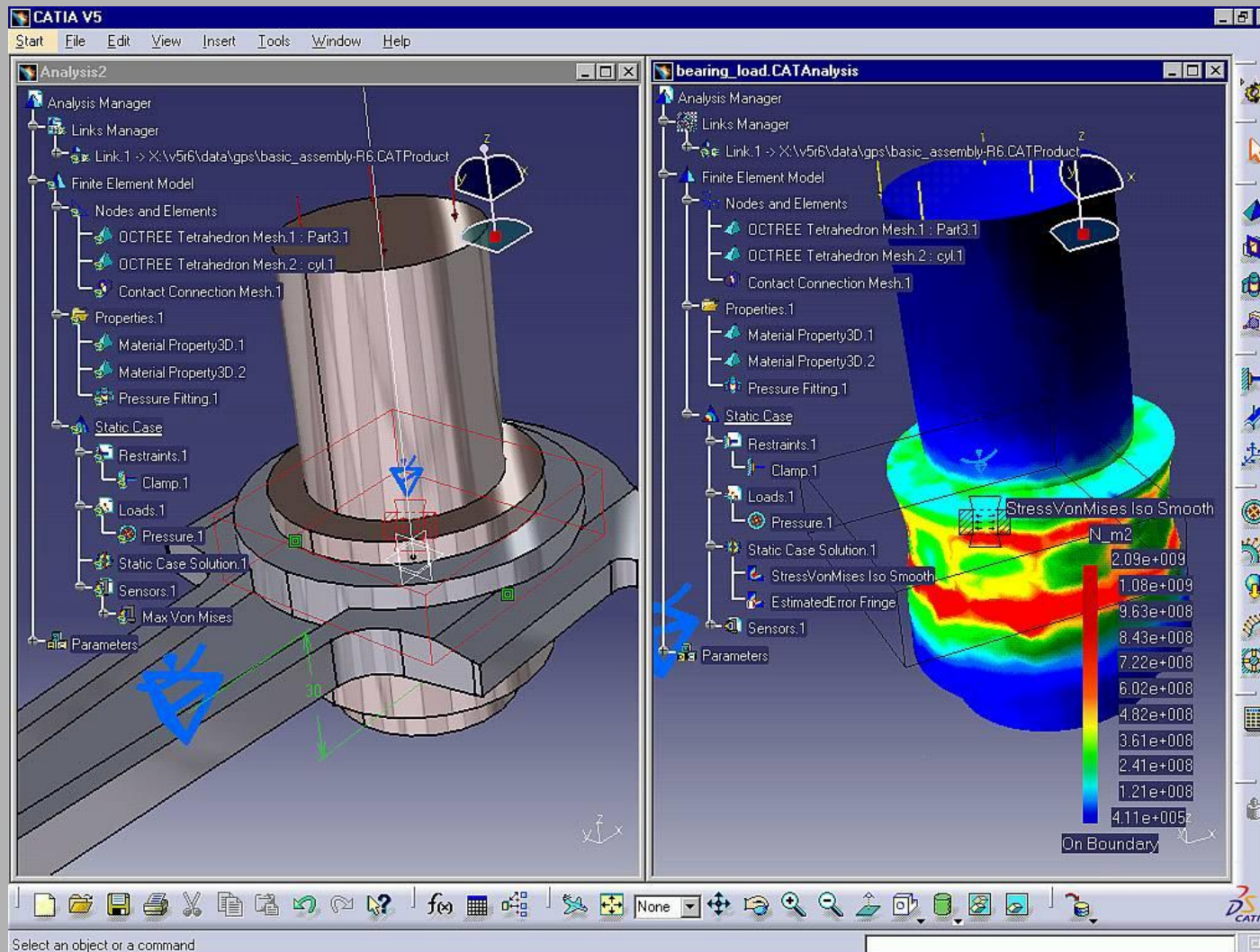
- A *lineáris feladat* megoldásának az alapja az a feltevés, hogy a vizsgált tartományban az anyag rugalmas és legfeljebb a terheléssel arányos, kismértékű elmozdulás lép fel. A gyakorlatban nagyon sok feladat lineárisként való megoldása tökéletesen megfelel, a fenti feltevés helytállónak bizonyul. Lineáris elemzéssel elsősorban feszültséget, alakváltozást, elmozdulást, reakciót, rugalmas alakváltozási energiát, hőmérsékletet, hőáramot és hullámalakot számítanak. A *nemlineáris feladat* esetében figyelembe vesszük, azt is, hogy a terhelés, az anyagjellemzők, az érintkezési feltételek és a szerkezeti merevség az elmozdulás vagy a hőmérséklet függvénye. A nemlineáris elemzés során a képlékeny és a kúszó alakváltozást, valamint az anyag-felkeményedését vizsgálják.
- *Statikus elemzéssel* feszültséget, alakváltozást és hőmérséklet-eloszlást számítanak. A *dinamikai elemzés* saját frekvencia és rezgések meghatározására szolgál.



Elemzési eredmények felhasználása

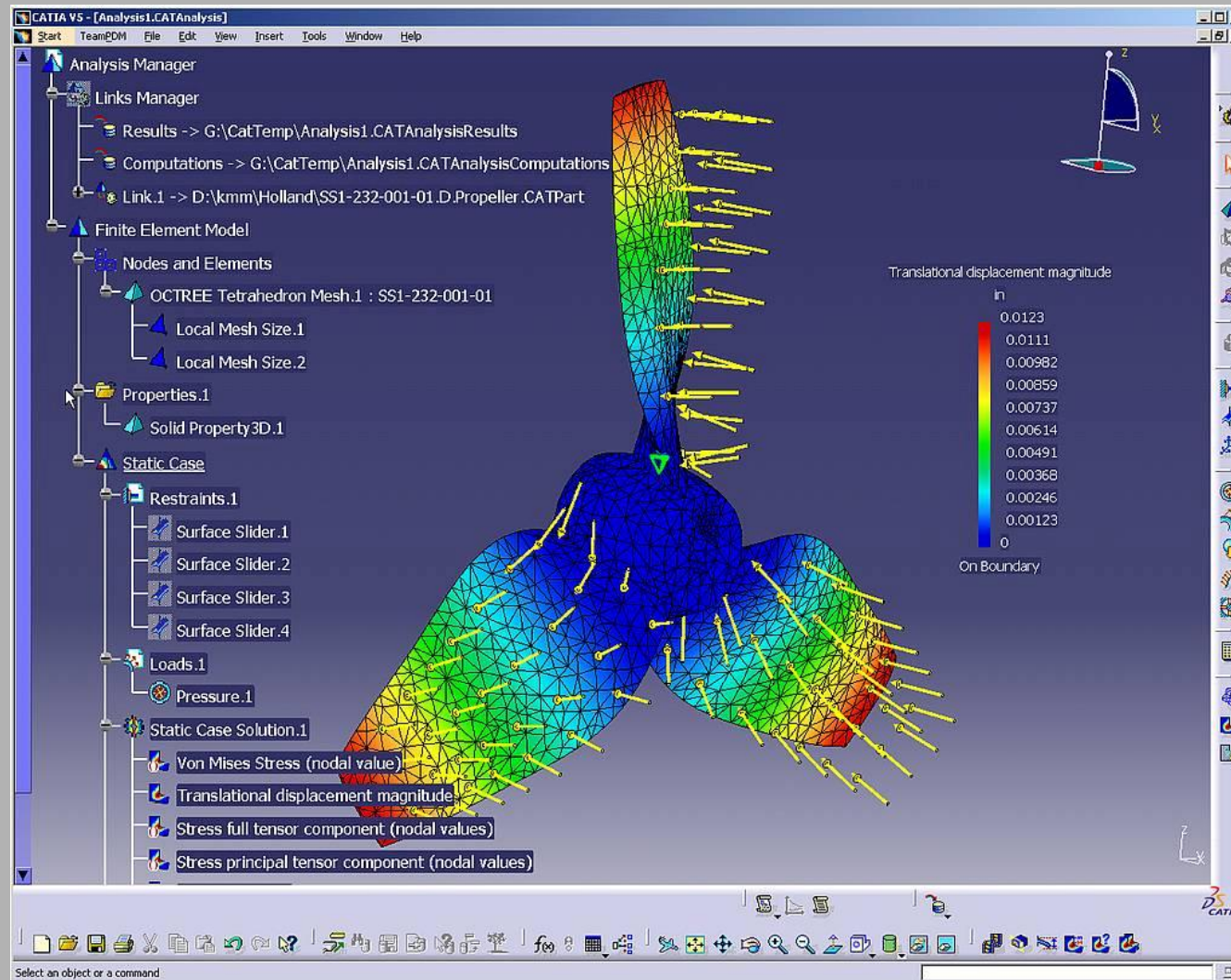
- Az elemzési eredményeket a posztprocesszor a *tervező számára alkalmas formában szemlélteti.*
- További feldolgozásra alkalmas adatállomány.
- Összehasonlítás a megengedhető értékekkel.
- Grafikus módszert alkalmaznak, amely esetében az alakon eltérő színekkel jelölik a vizsgált jellemző értékének meghatározott tartományait.
- Az elemzés eredménye táblázat alakjában.
- Az alak változásait animációval lehet szemléletesen bemutatni.

Feszültség vizsgálata kapcsolódó testeken

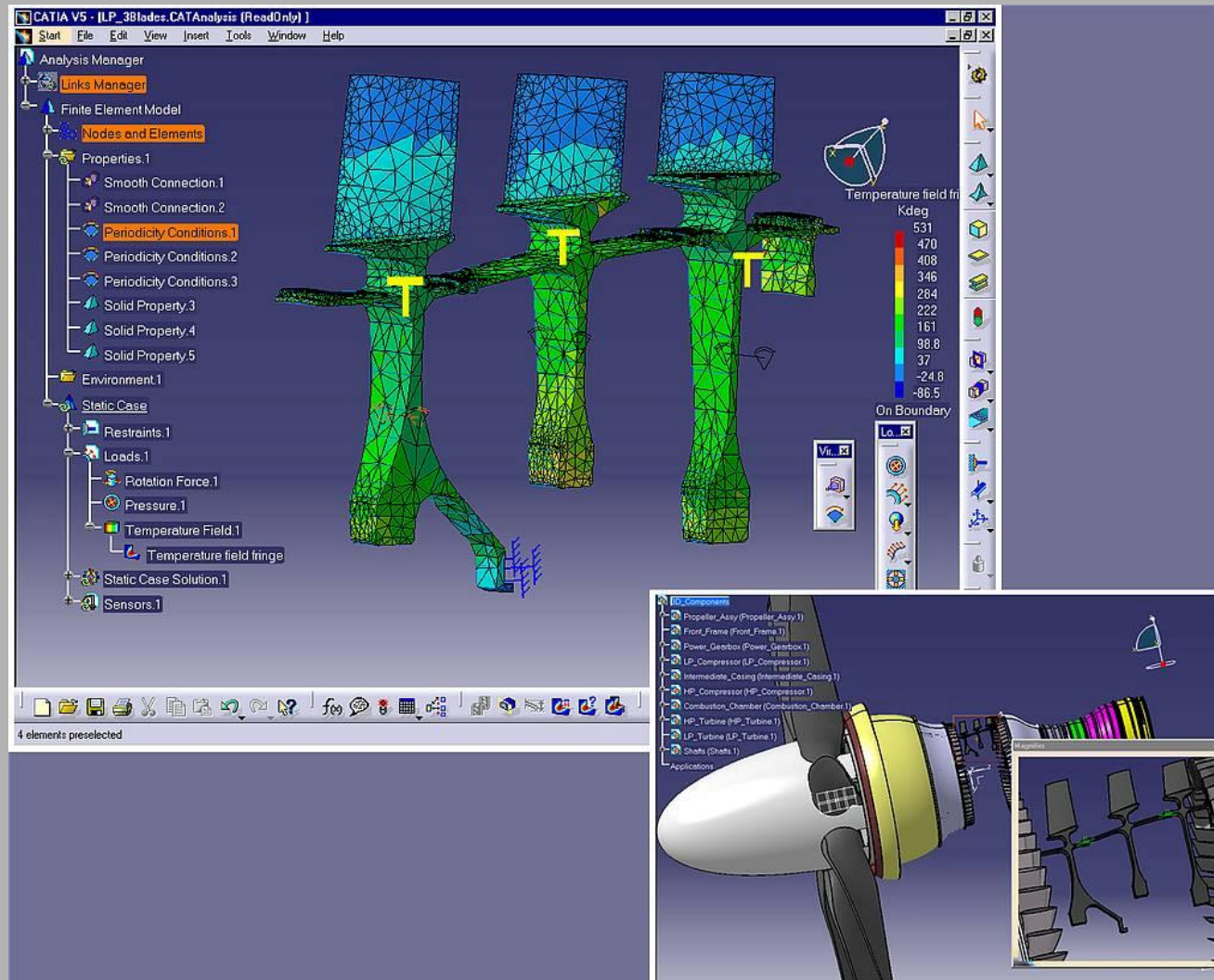




Elmozdulás elemzése

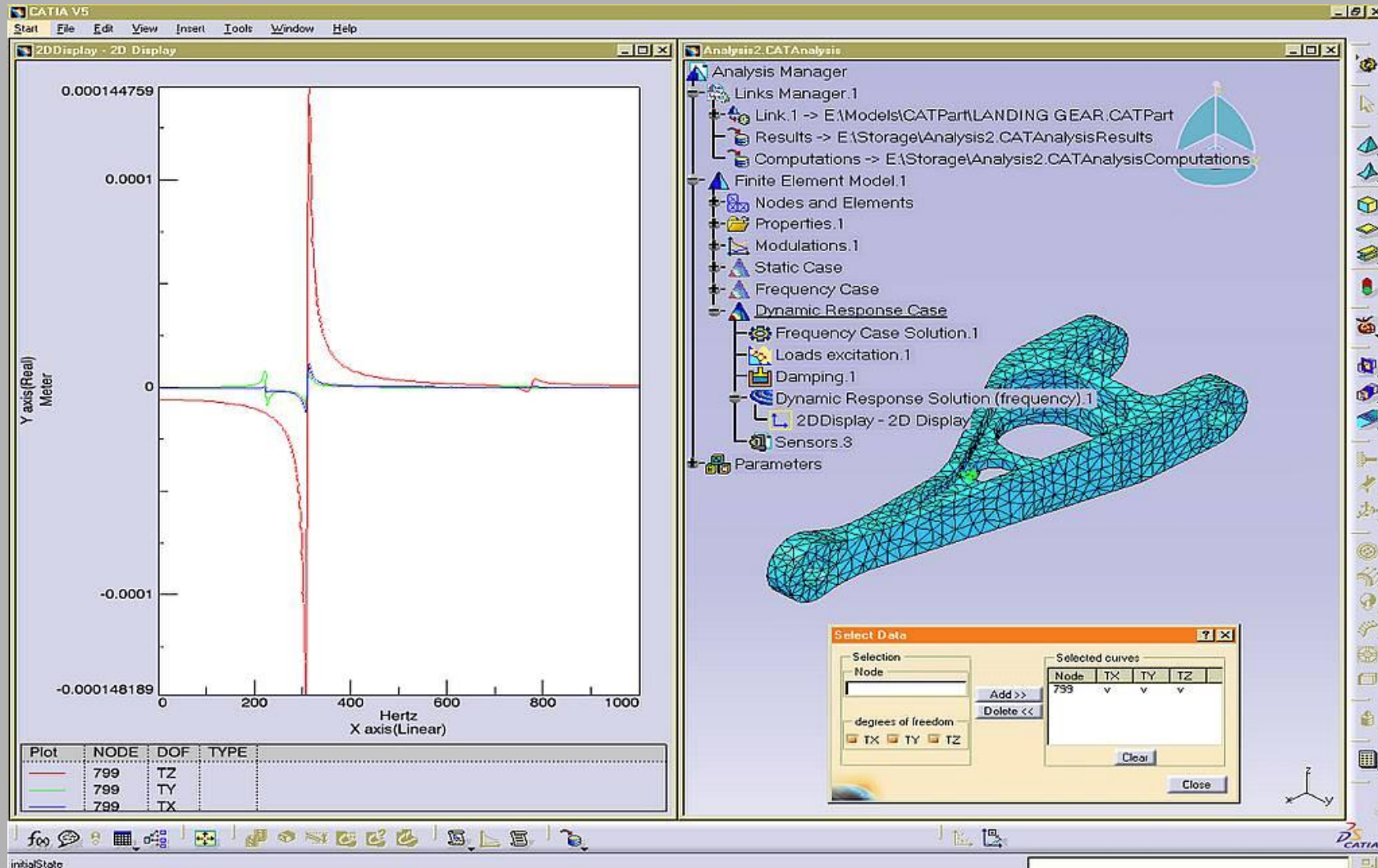


Hőmérséklet elemzése



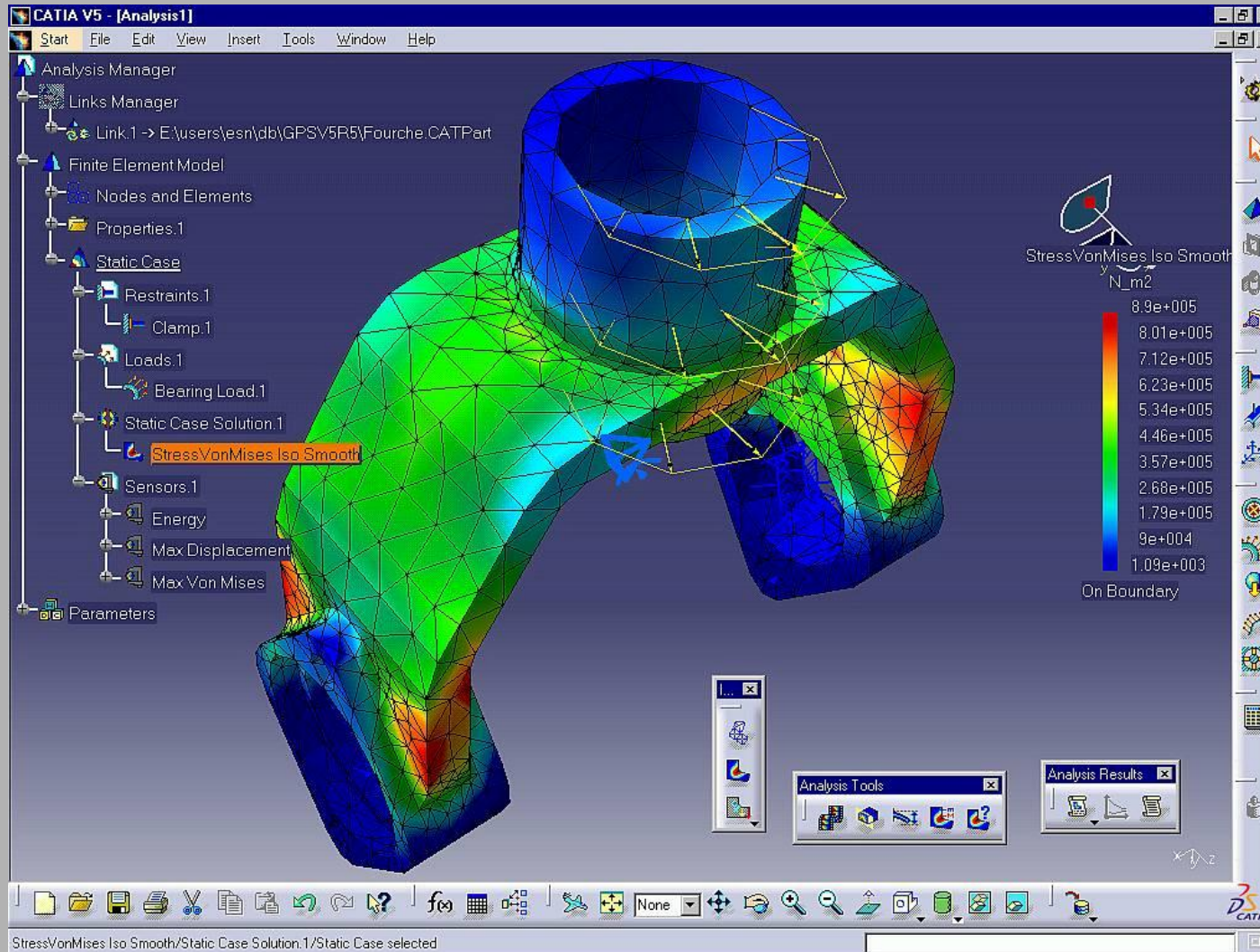


Dinamikai vizsgálat





Színskála alkalmazása



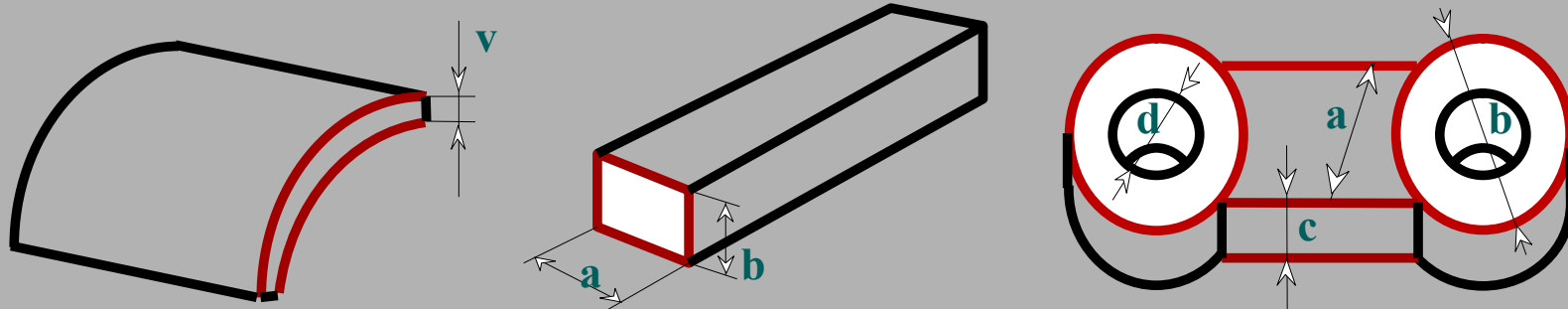
Alakoptimalizálás

A véges elemeken alapuló elemzés *aktív* alkalmazása.

Javasolt tervezési paramétereknek megfelelő alak elemzése helyett a *tervezési paramétereket* javasol, elemzés útján.

A tervező előírásai (*az alakoptimalizálás feltételrendszere*):

Optimalizálandó tervezési paraméterek



Tervezési korlátok (*megengedhető értékek*):

Tervezési paraméterek *megengedhető tartományai*,

Anyagban ébredő igénybevétel, elmozdulás, sajátfrekvencia.

Tervezési célok:

Teljesítményt meghatározó paraméterek minimális, maximális vagy optimális értéke,

Az alkatrész minimális tömege.

Igénybevétel és deformáció maximális megengedhető értékének kihasználása.

Az alakoptimalizáló eljárás *tervezési paraméter értékeit javasol*, tervezési céloknak megfelelően, tervezési korlátok betartásával.



Köszönöm a figyelmet!