

13. CAX RENDSZEREK INTEGRÁCIÓJA

Dr. Mikó Balázs

A számítógéppel segített tervezés (CAD), gyártás-előkészítés (CAM) és mérnöki tervezés (CAE) számítógépes rendszerei nem önmagukban, elszigetelten dolgoznak, hanem egy adott feladat megoldása során egyetlen rendszert alkotnak, melyben a különböző feladatok végrehajtásán együttesen dolgozik több mérnök, akik akár földrajzilag is eltérő helyen vannak. Ezen közös munka több aspektusból vizsgálható, az együttműködés különböző szinteken valósulhat meg.

A tervezők munkájuk során számos szabványos, vagy más cégek által gyártott alkatrészeket illetve részegységeket alkalmaznak, melyek jelentős része különböző elemkatalógusokban illetve a forgalmazók internetes honlapjain elérhetők.

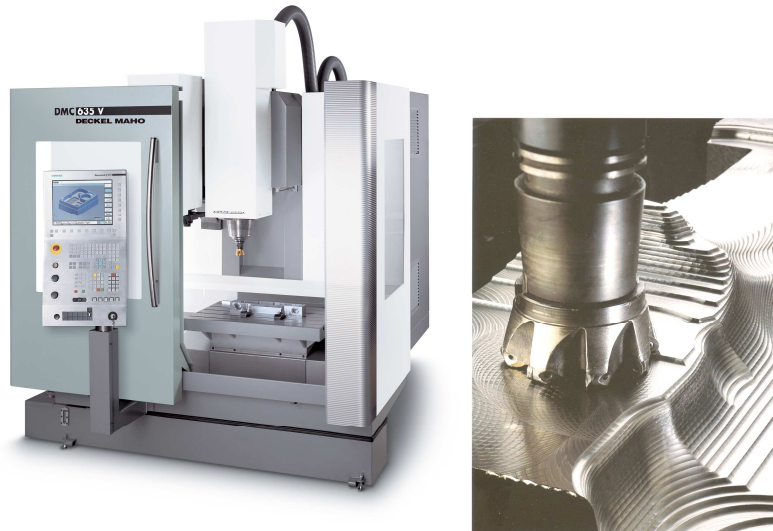
Az egyes tervezési feladatokat gyakran különböző CAD/CAM/CAE rendszerekben oldják meg, így ezek között meg kell teremteni az adatok cseréjét, mely történhet natív fájlok beolvasásával, vagy szabványos fájlformátumokon keresztül. A tananyag bemutatja a leggyakrabban használt STEP és IGES formátumokat, használatuk előnyeit és hátrányait.

Amennyiben a tervezési folyamatot egyetlen rendszerbe foglaljuk, melyben az egyes tervezési fázisok térben és időben elválnak egymástól, meg kell oldanunk a projekt menedzselését, valamint a hatékony adatkezelést. A tervezői csoportmunka erre ad megoldást. A tervezés során keletkező adatokat egyetlen egységként célszerű kezelni. A termék adatkezelő (PDM) rendszerek ezt a feladatot oldják meg, így valamennyi adat megfelelő jogosultság esetén hozzáférhető, kereshető, módosítható.

13.1 CAx rendszerek

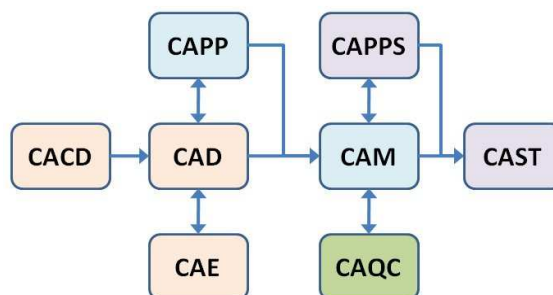
A CAD rendszerek fejlődésével hamar nyilvánvalóvá vált az igény a rendszerek képességeinek bővítésére. Ez három irányba indult el: egyrészt a modellezési technológiák és a modellezési képességek fejlesztése területén; másrészt a CAD rendszerekbe integrálható szakmodulok irányába; harmadrészt a CAD modellekre alapuló további feladatok számítógépes támogatására.

E harmadik terület fejlődésének jelentős hajtó ereje a CNC megmunkálási technológiák fejlesztése. Az egymásra hatás nyilvánvaló: a felhasználói igények egyre bonyolultabb termékgeometriát igényelnek, tehát szükséges a CAD rendszerek fejlesztése, hogy a szükséges geometria lemodellezhető legyen. Ez azonban hasztalan, ha nem tudjuk legyártani a megtervezett geometriát, melyhez a CNC (Computer Numerical Control) vezérlésű szerszámgépek fejlesztése vált szükségessé. A 13.1. ábra egy korszerű CNC vezérlésű megmunkáló központot mutat, valamint marással előállított 3D-s felületet nagyolás után.



13.1. ábra CNC megmunkálóközpont (DMC 635V) és 3D-s mart felület nagyolás után

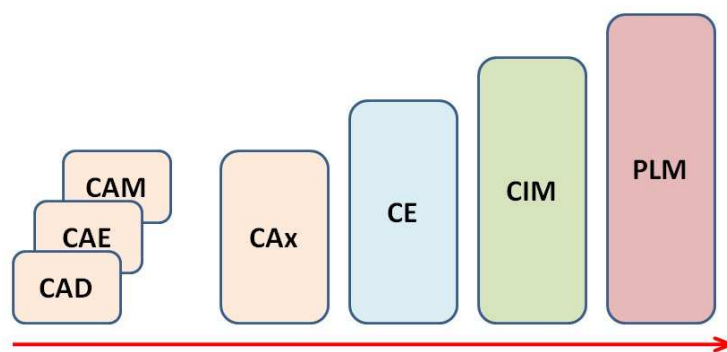
A számítógéppel segített technológiák kapcsolódását mutatja a 13.2. ábra. Ennek kezdő állomása a *számítógéppel segített koncepcionális tervezés* (computer aided conceptual design - CACD), amely segít összegyűjteni, megfogalmazni a termékkel szembeni elvárásokat, valamint a korai formaterveket, koncepciókat. A számítógéppel segített *tervezést* (computer aided design / drawing - CAD), amely jelenthet 2D-s *rajzolás*t, szerkesztést, vagy 3D-s modellezést és az alapján rajzgenerálást, különféle mérnöki számításokkal, termék szimulációval, *mérnöki számításokkal* támogatjuk (computer aided engineering-CAE). A CAD adatok alapján a számítógéppel segített *gyártás* (computer aided manufacturing – CAM) rendszerek segítségével tervezhetjük meg a gyártáshoz szükséges szerzőpályákat és NC programokat. A két rendszer elem közötti kapcsolatot a számítógéppel segített *folyamattervezés* (computer aided process planning – CAPP) teremti meg, melynek feladata a gyártási folyamat lépéseinek megtervezése (művelettervezés). A CAM szorosan összekapcsolódik a számítógéppel segített *minőségellenőrzéssel* (computer aided quality control – CAQC), amely elsősorban koordináta mérés technika támogatását jelenti. A gyártás-előkészítés fontos feladata a gyártási erőforrások és az anyagszükséglet biztosítása, valamint a gyártás ütemezése, melyet a számítógéppel segített *termelés-tervezés* (computer aided production planning and scheduling – CAPPs) valósít meg. A gyártáshoz kapcsolódó logisztikai feladatokat a számítógéppel segített *raktározás és szállítás* modul (computer aided storage and transportation - CAST) segítségével tervezhetjük.



13.2. ábra CAx technológiák kapcsolatai

A CAx rendszerek integrációja révén megvalósítható a *párhuzamos, konkurens, szimultán termékfejlesztési folyamat*, mely tulajdonképpen egy stratégia a terméktervezés szervezésére. A konkurens tervezés (Concurrent Engineering - CE) stratégiája két alapelve épül: az egyik, hogy már a konstrukciós tervezés során figyelembe kell venni a gyártási, szerelési, karbantartási és a termék használatból való kivonhatósági vizsgálatának műszaki-gazdasági feltételeit. A másik, hogy a kivitelezési részfolyamatok számára közvetlenül hozzáférhető és feldolgozható formába kell biztosítani minden információt.

A hardver és szoftver eszközök fejlődésével létrejött az *integrált gyártás* koncepciója (computer integrated manufacturing - CIM) abból indul ki, hogy a termelési rendszerek eredményességét az erőforrások kapcsolatainak minősége és a rajtuk végrehajtott operációk együttesen határozzák meg. Egy vállalaton belüli legfontosabb termelési alrendszer: a vállalatirányítási (management), a műszaki (engineering) és a termelési (production). A CIM rendszerek a vállalatirányítási, gazdasági, pénzügyi, vevő és beszállító funkciókat integrálja a műszaki folyamatokkal együtt.



13.3. ábra

13.2 CAx rendszerek integrációja

CAD rendszerek integrációjának kétféle iránya figyelhető meg. Egyrészt a CAD rendszerek bizonyos funkciói beépülnek más alkalmazásokba, melyek valamilyen módon kapcsolódnak a termék életciklusával kapcsolatos tevékenységekhez, másrészt a CAD rendszerek integrálnak magukba más alkalmazásokat.

A CAD rendszerek manapság túl bonyolultak ahhoz, hogy beépíthetők legyenek más alkalmazásokba. Ez a bonyolultság egyrészt jelentkezik a kezelhetőségben, mivel a számos funkció teljes körű alkalmazása – már ha ez lehetséges egyáltalán – komoly képzettséget igényel. A bonyolultság másrészt megmutatkozik a rendszer szoftveres megvalósításában is, amely az integrációt nehezíti meg.

A CAD rendszerek fejlődése során a számításokat végző **grafikus mag**, úgynevezett **kernel**, és a használatot lehetővé tevő felhasználói felület elvált egymástól. Ez lehetővé tette, hogy a háttérben dolgozó matematikai módszerek fejlesztése és a felhasználói felület grafikai megjelenése, menürendszerének kialakítása elváljon egymástól. A grafikus kernel biztosítja tehát a 3D-s objektumok kezelését és megjelenítését, valamint az adatkommunikációhoz szükséges funkciókat, melyek a CAD rendszeren belüli modulok és más CAD rendszerekkel való kommunikációt biztosítja. A CAD rendszerekben létrehozott 3D-s adatokat egyre szélesebb körben, egyre több alkalmazásban használják és a grafikus kernel fejlesztése hosszadalmas, drága és bonyolult feladat, a grafikus kernel piacképes terméké vált. Így más rendszerek fejlesztői hozzáférnek a kernel biztosította 3D-s geometriák keze-

léséhez, a fejlesztés az alkalmazásra koncentrálhat. A grafikus kernel más alkalmazásokba történő integrációjával a CAD rendszerek egyes funkciói elérhetővé válnak más szoftverekben, biztosítják a tökéletes adatkommunikációt az ugyan ezen kernelen működő CAD rendszerrel. Az integráció jellemzően a 3D-s adatok kezelésére, megjelenítésére és az adatátvitel egyszerűsítése céljából történik. A 3D-s kernelt használó tipikus alkalmazások:

- a CNC megmunkálás szimulációs programjai,
- formatervező alkalmazások,
- szimulációs programok,
- PLM rendszerek megjelenítési moduljai,
- adatkonvertáló programok.

A legjelentősebb 3D-s grafikus kernelek a következők:

- ACIS: a Dassault Systemes-hez tartozó Spatial Corporation 3D grafikus kernelje, amely objektum-orientált C++ környezetben készül, és támogatja a drótváz, felület és testmodellezés hibrid alkalmazását. 1989-ben jelent meg az első verzió, 2010-ben a 21. verziónál tartanak. A kernel elérhető Windows, Apple OS, SunSolaris és Linux operációs rendszerekhez. A kernel három fő területet fed le: 3D modellezés, 3D modellek menedzselése és 3D modellek megjelenítése. A kernel saját fájlformátumának kiterjesztése .SAT.
- Parasolid: a Siemens PLM (korábban UGS) tulajdonában álló ShapeData által fejlesztett kernel. Hibrid 3D-s felület és testmodellezést valósít meg, a 2D-s elemkészlete minimális. A kernel saját fájlformátumának kiterjesztése .X_T.
- Granite: a PTC 3D-s felület és testmodellező kernelje Windows, SunSolaris és Linux operációs rendszerekhez. A kernel saját fájlformátumának kiterjesztése .G.

CAx rendszerek integrációjának első, legkevésbé integrált módja, amikor egy CAD rendszer egy adott funkciót ellátó külső programmal működik együtt. Az integráció ezen alacsony szintű megvalósítása tipikus volt a 70-es, 80-as években. Ekkor a CAD rendszer átadja egy kommunikációs modulon keresztül a CAD adatokat a külön futtatott programnak, amely elvégezte a szükséges feladatokat, majd az adatokat visszaadta a CAD rendszernek, mely megjelenítette azt. A korai végelem rendszerek általában így működtek. Az integráció magasabb szintjét jelenti, ha az adott funkciót még mindig egy külső független program végzi el, de ennek elindítása már a CAD rendszerből történik automatikus adatátadással, vagyis a CAD adat konverziójával, mentésével, majd beolvasásával nem kell a felhasználónak foglalkoznia.

A teljes integrációt a szakmodulok megjelenése jelenti, mely esetben az adott integrált CAD rendszeren belül indítjuk az adott speciális funkciót, a CAD rendszer megszokott kezelőfelületét és struktúráját használva végezzük el a feladatot. Tulajdonképpen semmi nem utal arra, hogy elhagytuk a CAD rendszert. A szakmodulok nem részei az alap CAD rendszernek, a felmerülő speciális igények esetén bővíthetjük CAD rendszerünket.

A szakmodulok kétféle módon készülhetnek:

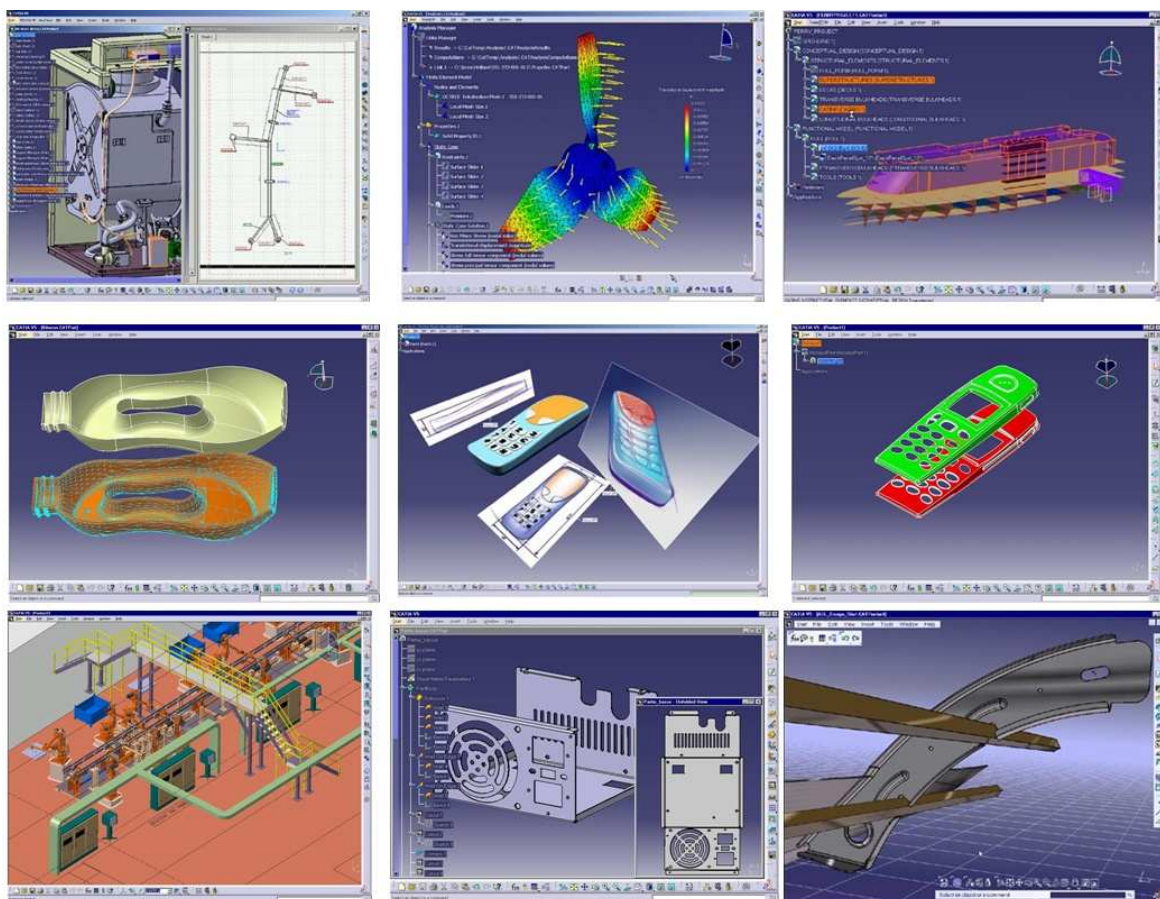
- a felhasználói igények alapján belső fejlesztésként jönnek létre, vagy
- egy létező szoftver megvásárlásával és teljes integrációjával.

Gyakori, hogy egy nagy felhasználó (pl. autó- vagy repülőgép tervezéssel foglalkozó vállalat) speciális igényét kielégítő egyedi kiegészítő alkalmazásból jön létre az adott iparágban használható szakmodul.

A szakmodulok száma tulajdonképpen végtelen, a felhasználók igényei újabb és újabb modulok fejlesztését teszik szükségessé (13.4. ábra). A 13.1. táblázat a legismertebb szakmodulok listáját mutatja.

13.1. táblázat CAD szakmodulok

konceptcionális tervező	öntészeti modul	cipő tervezés
formatervező	fröccsöntő szerszámtervező modul	elektronikus áramkörti panelek megjelenítése
lemezalkatrész tervező modul	fémöntő szerszámtervező modul	ergonómiai elemzés
kábelezés modellezése	lemezalkatrész megmunkáló modul	repülőgép konstrukciós szakmodul
csővezeték modellezése	hegesztés tervező modul	autó konstrukciós szakmodul
kinematikai szimuláció	koordináta mérőgép adatait feldolgozó modul	
dinamikai szimuláció		
szilárdsági szimuláció		



13.4. ábra Néhány szakmodul (CATIA v5)

A felsorolt szakmodulok egy-egy speciális feladat megoldására alkalmasak, azonban van néhány olyan általános célú modul, mely nem köthető ilyen feladatokhoz, többféle tervezési, fejlesztési feladat megoldása során is alkalmazható. Régebben ezen feladatokra külön szoftvereket alkalmaztak, azonban idővel az integráció lévén ezek beépültek CAD rendszerekbe.

Az integráció eredményeként a létrejövő dokumentum asszociatív az eredeti CAD modellekkel, vagyis azok változása esetén, az eredmények aktualizálhatók. Előny, hogy a CAD rendszer megszokott felhasználói felületét használhatjuk és csak egy forgalmazóval kell kapcsolatot tartanunk terméktámogatás szempontjából. Hátránya ezen megoldásoknak, hogy a modulként megjelenő alkalmazás általában kisebb funkcionalitással rendelkezik, mint az önálló szoftver, lévén nem akar saját maga konkurense lenni.

A fotórealisztikus megjelenítés tipikusan ebbe a körbe tartozik. Ezen rendszerekkel fotórealisztikus képet illetve animációt lehet készíteni a modellről, mellyel támogathatjuk a termék marketingjét.

A mindennapi termékfejlesztés során nem csak szilárdságtani vagy kinematikai szimulációra lehet szükség, hanem a geometriát meghatározó mérnöki, geometriai számításokat is kell végezni. Ezen számítások határozzák meg a konstrukció geometriai méreteit. A 3D-s tervezés sokszorosára növeli a kezelendő paraméterek számát egy optimalizációs folyamatban. Az optimalizálás támogatására komplex matematikai megoldásokat is tartalmazó szakmodulok készültek, valamint külső programok (pl. Excel, MathCad) eredményei is kapcsolhatók a modellhez.

13.3 Adatcsere CAx rendszerek között

CAD/CAM/CAE rendszerek között, a magas fokú integráció ellenére, gyakran szükség lehet adatok cseréjére. Az adatcsere során a modellek lehetnek a CAD rendszerre jellemző eredeti, úgynevezett natív fájlformátumú (tehát például Pro/Engineer vagy a CATIA saját fájlformátuma), illetve semleges (neutrális) fájlformátumú. A semleges formátum arra utal, hogy a tervezőrendszer belső adatábrázolásától eltérő formátumról van szó.

Natív fájlformátumokat általában az azonos anyavállalathoz tartozó rendszerek olvassák gond nélkül (azonos kernel), illetve gyakori a külön modulként megvásárolható adatkonverziós modul. A natív fájlok olvasásának nyilvánvaló előnye, hogy nincs szükség külön adatmentésre, az információ tartalom nem sérül. Gyakran emlegetik előnyként, hogy az esetleges modell változások egyszerűbben végigvezethetők például egy CAM rendszer alkalmazása esetén, azonban, ha figyelembe vesszük, hogy a CAM munkafolyamat során a tervező kiegészíti a modellt, illetve más helyeken egyszerűsíti, tehát tovább építi a modellt, akkor az egyszerű modellcsere módszere már nem tűnik olyan egyszerű eljárásnak.

Szabványos fájlformátumok használata mindig adatvesztéssel jár, viszont ezen fájlokat a különböző rendszerek képesek olvasni, illetve tovább feldolgozni.

Az adatvesztés három kérdéskört érint:

- *Parametrikusság elvesztése:* a szabványos fájlformátum használata esetén az egyes építő elemek nem módosíthatók a létrehozásukkor definiált paraméterekkel, ezen paramétereket nem tudjuk elérni.
- *Modellfa elvesztése:* a beolvasott modell története egyetlen import építőelemet tartalmaz, amely a teljes modell. Így elveszik a modell létrehozásának folyamata, nem látjuk, hogy milyen építőelemek alkotják az alkatrészt, azok hogyan követik egymást, hogyan épülnek egymásra. Ez a tulajdonság persze nem feltétlenül hátrány. Amennyiben az darabot technológizálásra küldünk tovább egy másik véghez, nem szeretnénk, ha látnák, hogyan hoztuk létre a modellt. A modellalkotás folyamata fontos vállalati tudás, szeretnénk bizalmasan kezelni. A modell geometriájának kikerülése nyilván elkerülhetetlen, azonban a létrehozás folyamatát védünk célszerű. Egy parametrikus modell alapján könnyedén létre tudjuk hozni a termék kisebb, vagy nagyobb verzióját, esetleg egy kicsit módosítva egy teljesen egyenértékű terméket, a szükséges hosszadalmas kreatív modellezési munka nélkül.

- *Geometriai hibák:* a beolvasott modell gyakran tartalmaz hibákat, melyek alapvető oka az objektumok készletének és ábrázolásának különbsége illetve a geometriai modul számítási, modellábrázolási pontossága. A tipikus hibák közé tartozik a kontúr görbék nem metsződése (gyakran csak pár tízezred mm a különbség), hiányzó vagy túllógó felület darabok illetve duplikált felületek. A CAD rendszerek egy része tartalmaz parancsokat e modellhibák automatikus vagy manuális javítására. Ha ez nem sikerül, célszerű más formátummal dolgozni, illetve a mentés esetleges paraméterein változtatni.

A felsorolt hátrányok egy részének kiküszöbölésére fejlesztette ki a Siemens cég (Solid Edge, Unigraphics fejlesztő) a 2008-ban megjelent *szinkronmodellezési technológiát*, amely modelltörténet nélküli, alakelemeken alapuló, parametrikus modellezést tesz lehetővé. A szinkronmodellezés a Parasolid geometriai kernelre épül. Közvetlenül a modellel dolgozhatunk, a vázlat (sketch) nem vezeti a modellt, így módosításkor nincs újraszámolás. A technológia intelligenciájának köszönhetően idegen modellekkel is úgy lehet dolgozni, mintha az adott CAD rendszerben készült volna.

A leggyakrabban használt szabványos (neutrális) fájlformátumok a következők:

- DXF
- IGES (.igs)
- VDA/FS (.vda)
- STEP (.stp)
- STL

13.2.1 DXF formátum

A DXF (*Drawing Exchange Format*) formátumot az AutoCAD fejlesztő Autodesk alkotta meg CAD rendszerek közti adatcsere céljából, mint a neve is mutatja. 1982 decemberében megjelent AutoCAD 1.0 rendszerben már szerepelt, kezdetben csak ASCII, 1988-tól már bináris (binary dxf) formában is. A formátum alapvetően rajzi adatok, tehát 2D-s adatcsere-re alkalmas.

A DXF fájl felépítését tekintve egymást követő szekciók sorozata. Az információkat típus kód – érték adatpárok írják le, Az objektumok szekcióban pontok, egyenesek, körök, szövegek adhatók meg. Az elemi objektumokból összetett objektumok, a DXF elnevezés szerint blokkok is generálhatók, melyek azonosítókkal és beépítési koordinátákkal rendelkeznek. Ilyen blokkok lehetnek például a különböző kontúrok.

13.2.2 IGES formátum

Az IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) formátum, melynek hivatalos neve *termék adatok digitális reprezentációja (Digital Representation for Communication of Product Definition Data)*, 1980 januárjában publikálta az Amerikai Szabványügyi Hivatal (U.S. National Bureau of Standards, azonosító: ANSY Y14.26M).

Az IGES 1.0 és 2.0 a kor igényeinek megfelelően rajzi objektumok átvitelére voltak alkalmasak. A 4.0 változat már CSG testmodellek ábrázolását is lehetővé tette, az 5.0 változat az ábrázolható objektum készlet és a megbízhatóság terén jelentett előrelépést. A formátum alkalmas drótváz, szabad formájú felületek és testmodellek leírására, támogatja a gépészeti műszaki rajzok és az áramköri rajzok átvitelét is. A formátum megszületése az Amerikai Szabványügyi Hivatal, az Amerikai Védelmi Minisztérium és számos iparvállalat (pl. Boeing, General Electric, Xerox, Computervision, Applicon) együttműködésének köszönhető.

A STEP formátum 1994-es szabványosítása után az IGES fejlesztése gyengült, az utolsó verziót 1996-ban publikálták (v 5.3).

Az IGES objektum központú, ami elsősorban a 70 évek filozófiáját tükrözi. Az objektumok típusát számkód jelzi 1-től 5000-ig számozva. Háromféle objektum csoport létezik: geometriai, annotációs és struktúra objektumok. Ezek fontosabb elemei a következők:

Geometriai objektumok

Görbék

100	körív
102	összetett görbe
110	egyenes
112	parametrikus szplájn
126	racionális B-szplájn

Felületek

108	sík
114	paraméteres szplájn
118	vonalfelület
120	forgásfelület
128	racionális B-szplájn
144	trimmelt paraméteres vonalfelület

Testek

150	téglatest
154	henger
156	kúp
158	gömb
160	tórusz
161	tömör forgástest
502	csomópont
504	él
508	élhurok
510	lap
514	héj

Egyéb

124	transzformációs mártix
132	kapcsolódási pont
136	véges elem

Annotációs objektumok

202	szöveg
206	átmérő
216	hosszméret
220	ponthoz tartozó méret
222	sugár méret
230	metszett terület

Struktúra objektumok

302	asszociativitás definíció
310	szöveg betűtípus definíció
314	szín definíció
404	rajz
410	méret

- 412 négyszög alakú csoport
- 414 kör alakú csoport

Az IGES fájl ASCII karakterekből áll, 80 karakter hosszú sorokat tartalmaz.

A fájl öt szekcióból áll (S, G, D, P, T).

Az *S* – *Start* szekció a felhasználó számára tartalmaz általános jellegű információkat, például a fájl nevét, a szabvány nem írja elő ennek tartalmát.

A *G* – *Global* szekció a fájl feldolgozásához szükséges paramétereket tartalmazza úgynevezett „Hollerich” formátumban szerepelnek, ahol egy szám jelöli a karakterek számát, majd egy *H* karakter után szerepel az adat, mint például a létrehozó rendszer neve, verziószáma, a modellter mérete, mértékegység, a minimális felbontás stb.

Az objektumok a *D* – *Directory entry* és a *P* – *Parameter data* szekciók tartalmazzák. Ezen szekciók kétirányú kapcsolatban vannak egymással. A *D* szekció a leírt objektumokat sorolja fel és azok néhány attribútumát, típusát, altípusát és mutatót a *P* szekcióra, amely az objektum adatait írja le.

A *T* – *Terminate* szekció az előző szekciókban elhelyezett rekordok számát adja meg, biztosítva ezzel az adatátvitel ellenőrzését.

13.2.3 VDA/FS

Az IGES korai verzióinak hiányosságait kiküszöbölendő a szabad formájú felületek átvitelére német fejlesztők létrehozták az elsősorban autóiipari alkalmazásokhoz kidolgozott VDA/FS formátumot, amely később német szabvánnyá vált (DIN 66301). A formátum geometriai és topológiai információk átvitelére egyaránt alkalmas. A formátum használata elsősorban a német autóiiparban és az azzal kapcsolatban álló kiszolgáló vállalatoknál elterjedt. A formátum ASCII formájú, 80 karakter széles sorokból áll, a kezdő szekció tartalmazza a fontosabb technikai adatokat (modell neve, verzió szám, dátum, készítő stb.), majd a geometriai adatok következnek.

13.2.4 STEP formátum

A STEP formátum hivatalos neve ISO 10303 *Szabvány termék modell adatok cseréjére* (*Standard for the Exchange of Product model data*), célja pedig a termék gyártási információinak számítógépes reprezentációja. A formátum tehát nem csak geometriai információk leírását célozza, hanem a termék életciklusához kapcsolódó *minden* információ tárolható. A formátum fejlesztője az ISO 184-es bizottság 4-es albizottsága (TC 184/SC 4). A fejlesztés 1984-ben kezdődött, 1995-ben került publikálásra az első verzió, amely tartalmazta a 3D-s modellek leírását. A 2002-ben záródó második szakaszban kiterjesztették a leírást több speciális ipari területre (repülőgép ipar, autóiipar, elektronikai ipar stb.) figyelembe véve azok speciális igényeit. A számos speciális alkalmazás nagyon szerteágazóvá, átláthatatlanná, redundánssá és az ISO legterjedelmesebb szabványává tette a STEP-et. A modulok harmonizációja és egységesítése jelenti jelenleg a legnagyobb feladatot.

A STEP az Express modellezési nyelvet használja.

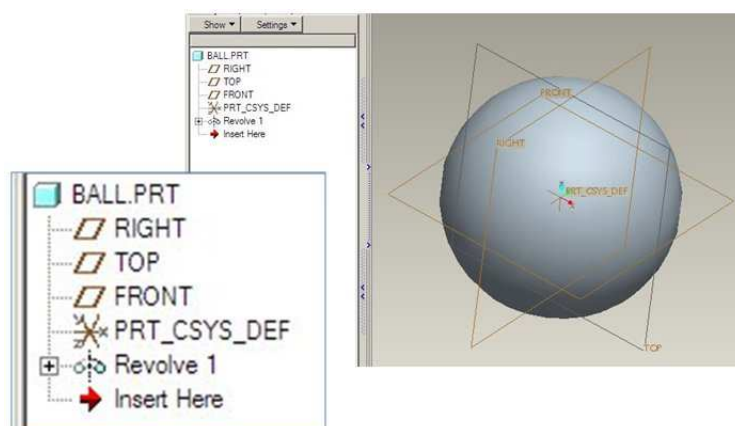
13.2.5 STL formátum

Az STL formátumot a 3D Systems nevű cég fejlesztette a sztereolotográfiai gyors prototípus rendszeréhez (lásd 15. fejezet), azonban idővel CAM rendszerek és analízis szoftverek is átvették. Az STL fájl csak a 3D modell geometriáját írja le a szín, a textúra vagy egyéb tulajdonság nem vihető át. Létezik ASCII és bináris változata is, melyek közül a kisebb fájl méret okán a bináris népszerűbb.

Az STL megadható méretű háromszögekre osztva definiálja a 3D geometriát, megadva a felületi normálist és a háromszög csúcsait derékszögű koordináta-rendszerben.

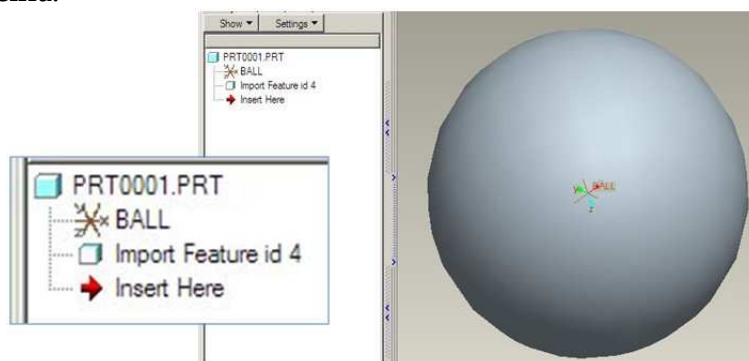
Az STL fájl nem módosítható, a legtöbb CAD rendszerben még a felületek sem másolhatók le, így igen alkalmas prezentációra a geometria kiszivárogtatásának veszélye nélkül.

Az 13.5. ábra egy 50 mm átmérőjű gömböt mutat. A modell Pro/Engineer WF4 rendszerben készült. A bal oldali modellfán jól látható a három koordináta sík, a koordináta-rendszer és az egyetlen építő elem, ami egy forgatás.



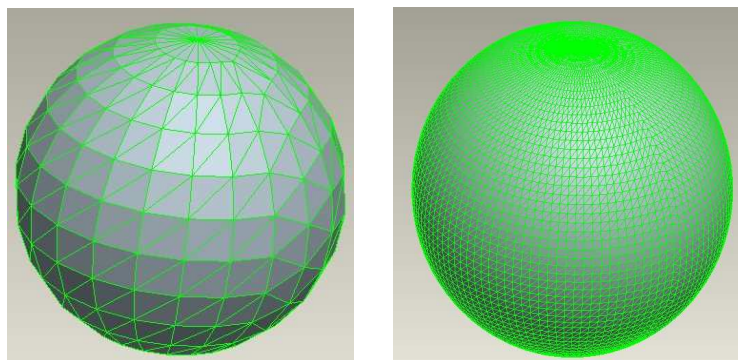
13.5. ábra Gömb CAD modellje Pro/Engineer WF4 rendszerben

A 13.6. ábra ugyan ezt a modellt mutatja miután elmentettük IGES formátumba és visszaolvastuk. A különbséget a modellfa mutatja, ahol eltűntek a koordináta síkok, és az egyetlen építőelem egy import geometria. Tetszőlegesen bonyolult modell esetén is csak ennyiből állna a modellfa.



13.6. ábra A gömb visszaolvasott IGES modellje

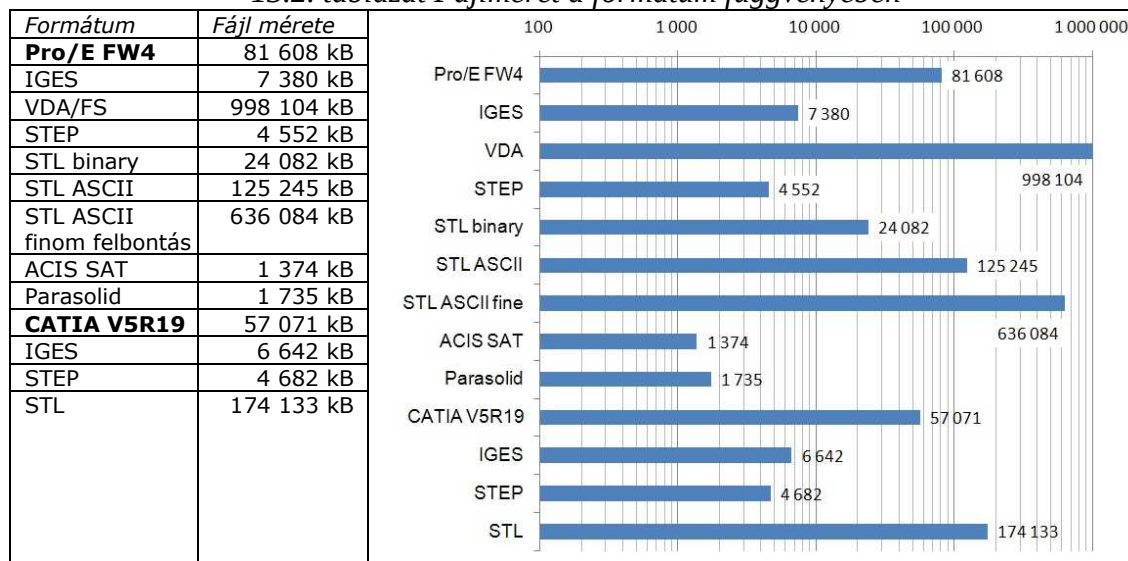
A 13.7. ábra a gömb STL formátumú modelljét mutatja, ahol jól látszanak a felületet alkotó háromszögek, melyek a jobb láthatóság miatt nagy méretűre lettek állítva. A méretük csökkentésével a modell felbontása finomítható, az alakhűsége javítható, a fájl mérete viszont nő.



13.7. ábra STL modell különféle felbontásban

A VDA/FS mérete kiugróan nagy, a többi fájl mérete közel azonos, vagy kisebb, mint az eredeti, natív Pro/E fájl mérete. A legkisebb mérete a két kernel fájlnak van. 13.2 ábra a gömb modelljének méretét mutatja, különféle fájlformátumok esetén. A VDA/FS mérete kiugróan nagy, a többi fájl mérete közel azonos, vagy kisebb, mint az eredeti, natív Pro/E fájl mérete. A legkisebb mérete a két kernel fájlnak van. CATIA V5R19 CAD rendszerben elkészítve ugyan ezt a modellt a natív fájl méret kisebb, az IGES szintén kisebb, azonban a STEP minimálisan nagyobb méretű fájl eredményezett.

13.2. táblázat Fájl méret a formátum függvényében

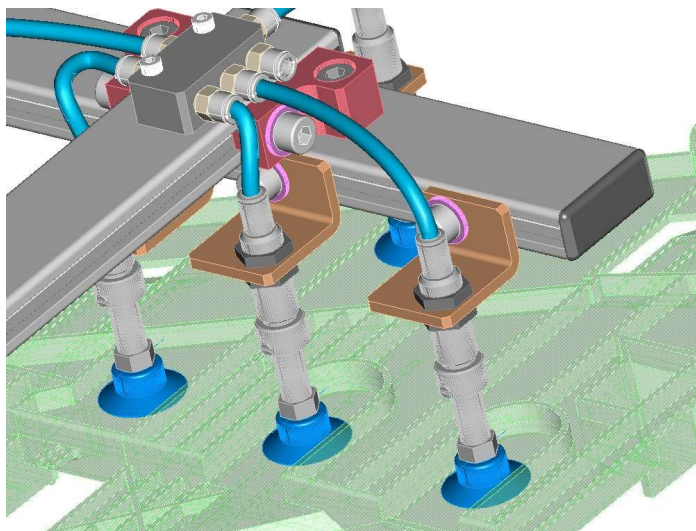


13.4 CAD elemtárak

A konstrukciós tervezés során törekednünk kell a saját tervezésű, egyedi alkatrészek számának minimalizálására. Ennek célja egyrészt a tervezési folyamat hatékonyságának növelése, másrészt a gyártási, szerelési folyamat racionalizálása. Az újra felhasznált komponensek lehetnek szabványos elemek, például kötőelemek, vagy kereskedelmi részegységek, melyek köre igen széles: csapágyak, vezetékek, motorok, hidraulikus- pneumatikus elemek, profilok, ipari robotok stb.

A modellezési folyamat hatékonysága jelentősen növelhető, ha ezen kereskedelmi elemeket nem kell újra lemodellezni, hanem kész részmodellként építhetjük be az összeállítunkba.

A 13.8. ábra 90%-ban katalógus elemekből összeállított pneumatikus robotmegfogó CAD modelljének részletét mutatja.



13.8. ábra Katalógus elemekből épített vákuumos robotmegfogó

A kivitelezést tekintve több megoldás is létezik. Az első elemkönyvtárakat a CAD rendszereket fejlesztő cégek hozták létre a rendszer moduljaként plusz szolgáltatást nyújtva. Ezen elemkönyvtárak szabványos, gyakran használt elemeket tartalmaztak, melyek beszerzése nem köthető egy adott vállalathoz. Az ilyen elemtárak használata egyszerű, általában bővíthető a felhasználó által, de az elemkészlet szűk.

A különböző gépészeti alkatrészeket, részegységeket gyártó cégek felismerték a piaci lehetőséget, hogy amennyiben a tervezés során kész CAD modellekkel támogatják, és ezzel egyszerűsítik és gyorsítják a tervezési folyamatot, ennek hatás megjelenik a növekvő értékesítési mutatóikban. Így egyre több cég teszi hozzáférhetővé termékeinek CAD modelljét. Ennek több formája alakult ki.

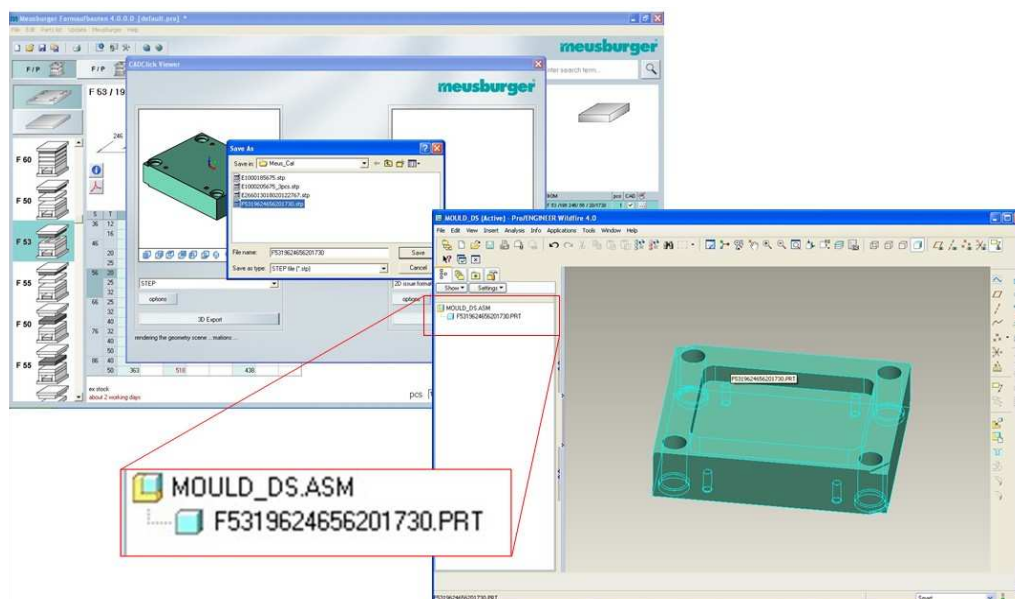
Kezdetben telepíthető katalógusokat fejlesztettek, melyek a papír alapú katalógusok digitális verziói voltak a CAD modellekkel kiegészítve. Később megjelentek a kiválasztást, méretezést segítő alkalmazások is, melyek tovább automatizálták a tervezés bizonyos fázisait. Ezen megoldás hátránya, hogy el kell juttatni a telepítő csomagot a felhasználóhoz, a termékpaletta változásának követése nehézkes, a telepített állományok helyet foglalnak. A telepített programok vagy beépülnek a CAD rendszerben és közvetlen elérést biztosítanak a katalógus elemeihez, vagy külön futtathatók.

A felmerülő hátrányok kiküszöbölésére fejlesztették ki az internet alapú on-line katalógusokat, melynek természetesen előfeltétele volt a széles sávú internet kapcsolat elterjedése. Ebben az esetben a katalógus frissítése nem okoz gondot, bárki hozzáférhet, aki rátalál a cég honlapjára, nem foglal helyet a felhasználó gépén, viszont hálózati kapcsolat nélkül nem elérhető. Az ilyen rendszerek gyakran tartalmazznak rendelési lehetőséget is.

Amennyiben keresünk valamilyen alkatrészt, de nem tudjuk, milyen cég gyártja, vagy nincs állandó beszállítónk, akkor a CAD elem portálok nyújthatnak segítséget, ahol közös felületen kereshetünk különböző cégek termékei között.

A fenti megoldások esetén nem parametrikus modelleket tölthetünk le CAD rendszer specifikus natív vagy többféle szabványos formátumban, azonban ezek a modellek a legritkább esetben parametrikusak. Tehát egy csavar hosszának változása esetén egy új modellt kell letöltenünk és beillesztenünk a konstrukcióba, ami okozhat problémát.

A letölthető modellek részletessége a beépítés követelményeivel összhangba lett kialakítva. Egy pneumatikus útszelep esetén például a befoglaló méretek, a rögzítési pontok, a csatlakozások helye és mérete a fontos, de a belső kialakítás nem.



13.9. ábra Szerszámlap letöltése a Meusburger szerszámelem katalógusból és a beolvasott katalógus elem

A 13.9. ábra a Meusburger cég szerszámelem katalógusát mutatja, amely mind telepíthető, mind on-line változatban létezik. A katalógusból kiválasztott elem letöltése után egy CAD rendszerbe beolvasva jól látható, hogy az egyébként elég komplex geometriájú alkatrész egyetlen CAD építőelemből áll, mely nem parametrikus. A katalógus lehetőséget ad arra is, hogy egy már kiválasztott elemhez kapcsolódó további alkatrészek körét szűkítse, például csak a már kiválasztott szerszámlap vastagságához és furataihoz és illő vezetőoszlopokat tudunk választani.

13.5 Digitális prototípus (digital mockup)

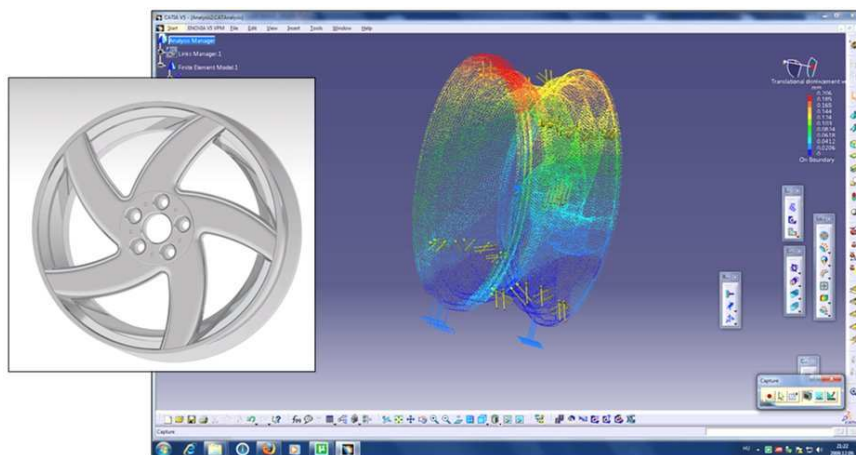
A CAx rendszerek integrációjának egyik fontos és dinamikusan fejlődő alkalmazása a digitális prototípusok létrehozása. Digitális prototípusnak (*Digital Mock-up, DMU*) a geometriai prototípusok és a funkcionális prototípusok fizikailag meg nem valósuló formáit nevezzük. A digitális prototípus technológia a termékfejlesztés során keletkezett adatokat egyetlen digitális modellbe tömöríti. Ez az önálló digitális modell testesíti meg a terméket, annak minden tulajdonságával, valamint lehetővé teszi a tervezőmérnökök számára, hogy élethűen megjelenítsék, kezelhessék, tesztelhessék, optimalizálhassák a modellt, még mielőtt fizikai prototípust gyártanának.

A digitális prototípus a termék digitális szimulációja, amely az alak, az alkalmasság és a funkció tesztelésére egyaránt alkalmazható. A digitális prototípus a koncepcionális, gépészeti és elektronikai adatok összekapcsolásával egyre összetettebbé válik. A kész digitális prototípus a végtermék valódi fizikai szimulációja és a költséges fizikai prototípusok legyártásának csökkentése céljából a termék virtuális minősítésére, optimalizálására és elfogadására (validálására) használható.

A digitális prototípus a valós termék számítógépes definíciója, mely tartalmaz minden azal kapcsolatos dokumentumot, jellemzőt és struktúrát [5.]. A DMU a termékmodellnek

azon egyértelműen meghatározott adathalmazra, amely leírja a valós terméket. A termékmodell alatt értjük mindazon információkat, melyek a termékfejlesztés során keletkeznek. A DMU egy olyan adatkészlet, mely lehetővé teszi a termék funkcionális tesztelését vagy ellenőrzését.

A digitális prototípus előállítása alkalmat ad a tervező és gyártó részlegeknek arra, hogy a komplett gyártmányt még azelőtt virtuálisan felülvizsgálják, mielőtt azt fizikai valóságban legyártanák. A digitális prototípus előállításával a gyártók az ötlet megfogalmazásától kezdve a gyártással bezárólag a tervek előállítására, érvényesítésére, optimalizálására és kezelésére kapnak olyan kedvező terepet, ahol az érintett részlegek között a kommunikáció magasabb szinten valósul meg és ennek eredményeként a jóval innovatívabb termékek is gyorsabban dobhatók piacra.



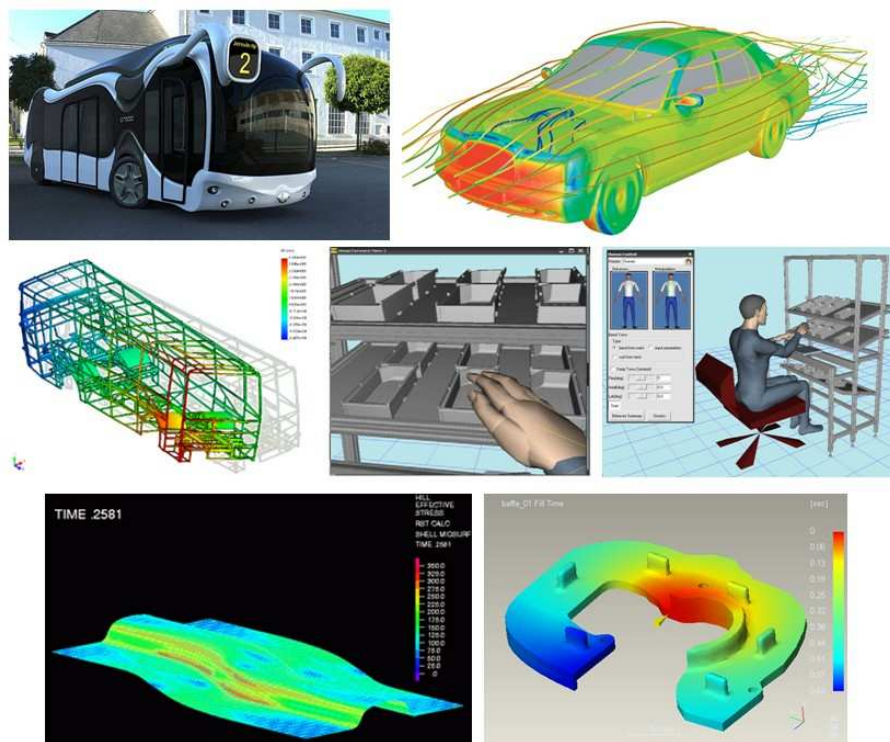
13.10. ábra Gépkocsi felni szilárdsági végelem modellje (CATIA v5)

A digitális prototípusok általi fejlesztés nagy előnye, hogy a fejlesztők megtekinthetik munkájuk eredményét fizikai prototípus létrehozása nélkül is. Mindezen feladatok elvégzéséhez szükség van olyan digitális prototípusra, mely a komplett munkafolyamatot végigkíséri a koncepcionális tervezéstől a szériagyártásig [4.]. Ez látszólag ellentmond a prototípus definíciójának, hiszen a koncepcionális tervezést nem kíséri végig olyan modell (a VDID szerint), amely geometriai pontossága és funkcióhordozása révén digitális prototípusnak minősül. Ellentmondásnak tűnhet továbbá az is, hogy a látványterv (élethű megjelenítés), mint stílusmodell szintén nem tekinthető prototípus értékűnek. Figyelembe kell vennünk azonban azt a tényt, hogy amennyiben a funkcionális tervezést, a tervezés során létrejövő termékváltozatokat azonnal modellterben definiáljuk, úgy egyből meghatározott geometriával rendelkező modellt kapunk, amely már prototípus. Az ilyen módon, pusztán ötletgyűjtés során létrehozott, ám meghatározott geometriával rendelkező modell persze a virtuális tesztek során vagy elbukik, vagy része lesz a fejlesztési folyamatnak. A látványterv is készülhet (és készül is) már kidolgozott tesztelés alatt álló, vagy gyártás előtt álló modell alapján. Amennyiben a termékfejlesztésre, mint műszaki és gazdasági tevékenységre tekintünk, úgy a látványtervnek van funkciója a termékfejlesztési folyamatban, tesztelhető általa a piaci környezet reakciója, a termék várható profitabilitása.

A digitális prototípus használata a gépészeti tervezés fokozott minőségi követelményei és az átfutási idő valamint költségek csökkentése miatt szükséges. A termék fejlesztési fázisában nagymértékben csökkenteni kell a termék koncepciójának kidolgozásától a piacra kerülésig eltelt időt, amely a fizikai prototípus kiiktatásával illetve számának csökkentésével érhető el. A fejlesztés során alkalmazkodni kell a korlátozott anyagi erőforrásokhoz,

valamint már a tervezés során hatékonyan kell támogatni a gyártási és értékesítési folyamatokat is. A digitális prototípus mára olyan haladó ipari gyakorlattá vált, amely lehetővé teszi a termék teljes digitális értékelését, széleskörű lehetőséget ad az együttműködésre, segíti a hibakeresést és a hibák korai kiküszöbölését.

A digitális 3D-s prototípus magában foglalja a 3D-s alkatrész modelleket illetve minden olyan adatot, amely lehetővé teszi a különböző elemzéseket. Ezek az elemzések lehetnek virtuális tesztek (pl. különböző végelem analízisek, ergonómiai elemzések) illetve fotórealisztikus képgenerálási folyamatok.



13.11. ábra Példák digitális prototípus alkalmazására (Valóság-hű megjelenítés (fotó: E-Bone), áramlási szimuláció, szilárdsági végelem analízis, ergonómiai vizsgálat, képlékeny alakítás szimuláció, fröccsöntés szimuláció)

A felülről lefelé (top-down) tervezési elv különösen alkalmas a digitális prototípusok alkalmazására. Első lépésként a papír alapú vázlatok vagy fizikai modellek helyett (pl. agyag vagy gipsz modell) digitális koncepcionális modelleket kell létrehozni, alkalmazni. A számítógépes koncepcionális modellek kiküszöbölik a fizikai koncepciók időigényes módosítását, valamint a kész fizikai modellek digitalizálását, amely alapjául szolgál a későbbi részletes 3D CAD modellezéshez.

A digitális prototípus olyan, mint egy rendkívül részletes CAD modell, amely képes helyettesíteni a fizikai prototípust, mivel tartalmaz minden olyan geometriai, topológiai, anyag adatot, amely szükséges a virtuális tesztek végrehajtásához. Így minden geometriai részletnek, minden alkatrésznek (kötelemelek, beszállított részegységek) és minden anyag adatnak (anyagtulajdonságok, színek, felület stb.) szerepelnie kell a 3D-s CAD modellben. Egy közös forrás használatával könnyebb elkerülni az adatátviteli problémákat. A digitális prototípus hatékonyan támogatja a szimultán tervezést is, mivel a digitális prototípus különböző példányain egy időben végezhetők el különböző vizsgálatok.

A digitális prototípus célja tehát a fizikai prototípus helyettesítése számítógépes modellel, melyen különböző tesztek, vizsgálatok hajthatók végre. Sokféle szimuláció hajtható végre ezen modelleken, mint például statikus és dinamikus végelelemes szimulációk, folyadék-dinamika alapú szimuláció, formatervezett felületek reflexió analízise, ergonómiai tesztek. Ezen tesztek eredményeinek alapján a modell módosítható, a módosítás hatása újabb tesztekkel ellenőrizhető. A szimulációk áthelyezése a valóságból a virtuális tervezési területre jelentősen csökkenti a fejlesztési időt és költséget.

A szimulációk azon típusai, amelyek nincsenek közvetlen hatással a tervezés menetére, mint például a fotórealisztikus megjelenítés, hatékonyan támogatja a marketing tevékenységet, szükségtelemné teszik a hagyományos fényképészeti munkát.

Egy ilyen részletességű digitális prototípus létrehozásához az informatikai eszközöknek számos funkciót el kell látniuk. Ezen szoftveres háttér az integrált tervezőrendszerek képében áll a tervezőmérnökök rendelkezésére. Az ilyen rendszereknek mindenképp tartalmazniuk kell:

- 3D-s parametrikus felület és szilárdtest modellezőt a gépészeti tervezéshez, ellenőrzéshez, dokumentáláshoz,
- a szilárdtest modell valósághű megjelenítését lehetővé tevő alkalmazást segítve ezzel a döntéshozók munkáját,
- PDM adatmenedzsment eszközöket.

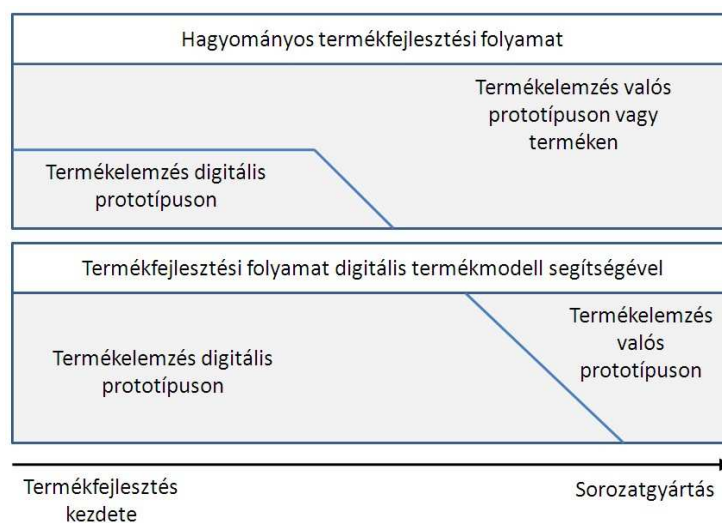
Ezek közül a funkciók közül kiemelten fontos a modellezők szerepe, melyeknek nem kizárólag a felület és testgenerálási, módosítási eljárások lehetővé tétele a célja, hanem a már létrehozott szilárdtest modell értékelésének, tesztelésének, szimulációknak az elvégzése is. Ilyen kiemelten fontos, a modellezőtől elvárt képességek például a véges elemes analízis (Finite Element Method - FEM) és a hidrodinamikai és aerodinamikai szimulációk (Computational Fluid Dynamics - CFD).

A legelterjedtebb szimulációk, mely egy digitális prototípuson végrehajthatók:

- fotórealisztikus megjelenítés,
- mozgás analízis
- ütközés vizsgálat
- túrús analízis,
- statikus szilárdságtani végelelem analízis (feszültség, elmozdulás),
- dinamikus szilárdságtani végelelem analízis,
- áramlástan végelelem analízis,
- mágneses végelelem analízis,
- hőtan végelelem analízis,
- ergonómiai analízis (hozzáférés, láthatóság),
- gyárthatósági elemzés, gyártáshelyesség vizsgálata,
- szerelészelyesség vizsgálata,
- képlékeny alakítási technológiai szimuláció,
- fröccsöntés analízis,
- virtuális töréstan (járműipar).

Az előbb említett tesztelési és ellenőrzési funkciók nem tartoznak a DMU fogalmába. A DMU nem egy termék-kiértékelést, ellenőrzést vagy tesztelést segítő szoftverrendszer, hanem tartalmazza a hasonló kiértékeléseket lehetővé tevő szoftverek számára szükséges információt. A digitális prototípus használatának tehát nem kizárólag az információátvitel megkönnyítése a célja, hanem az is, hogy lehetővé tegye a termék jellemzőinek ellenőrzé-

sét, elemzését a termékfejlesztési folyamat korai fázisaiban, virtuális prototípus segítségével.



13.12. ábra Termékelemzés a DMU adatai alapján [5.]

Ilyen módon egyes esetekben elkerülhető az, hogy bizonyos értékeléseket kizárólag a valós prototípus legyártása után tudjunk elvégezni. Ma azonban még nem lehetséges az, hogy a termék értékelését legnagyobbbrészt kizárólag a DMU adatainak elemzésével végezzük, sok esetben szükséges egy fizikailag is létező prototípus legyártása. Reményeink szerint ez a jövőben változni fog, hiszen a virtuális prototípusok elemzésével kapott eredmények visszacsatolása a termékfejlesztési részfolyamatok végén fontos eleme a modern fejlesztési folyamatnak. A 13.12. ábra mutatja a termék funkcionális elemzésének megoszlását a termékfejlesztés kezdetétől a sorozatgyártásig aszerint, hogy valós, ténylegesen elkészített darabon vagy virtuális prototípuson végezzük azokat [5.]. Az ábrán láthatjuk azt is, hogy ezen elemzések és szimulációk lehető legnagyobb részének elvégzését a jövőben virtuális prototípusok segítségével kívánjuk elvégezni.

13.5 Irodalom

- [1.] Horváth Imre – Juhász Imre: Számítógéppel segített gépészeti tervezés 1.; Műszaki Könyvkiadó Budapest 1996.
- [2.] Váradi Károly – Horváth Imre: Gépészeti tervezést támogató technológiák; Műegyetemi Kiadó, Budapest 2008.
- [3.] Horváth László: Bevezetés a számítógépes gépészeti és technológiai tervezésbe; Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola HS27, Budapest 1995.
- [4.] Digitális prototípus gyártás az Autodesk Inventorral; MCAD Magazin, 2009. szeptember, I. évf. 3. szám
- [5.] Dölner, Germot – Kelner, Peter: Digital mock-up and rapid prototyping in automotive product development; J. of Integrated Design and Process Science, 2000/3. p.??