

1. BEVEZETÉS CAD/CAM/CAE RENDSZEREK ALKALMAZÁSÁBA

Dr. Mikó Balázs

1.1 Számítógéppel segített tervezés

A számítógéppel segített tervezés alatt (CAD – computer aided design) többféle, számítógépen alapuló módszert értünk, amely mérnököket és más tervezéssel foglalkozó szakemberek tervezési tevékenységét segíti. A jelenleg használatos CAD rendszerek kínálata igen széles körű, a 2D (síkbeli) vektor-grafikai rajzoló programoktól a 3D-s (térbeli) parametrikus asszociatív integrált modellező rendszerekig. CAD rendszerek alkalmazása szintén igen széles körű, tananyagunk fókuszában a gépészeti tervezés áll, azonban CAD rendszerek megtalálhatók az építészeti tervezés, az elektronikai termékek, áramkörök, mikrocsipek tervezés, a ruha- és cipőipari tervezés területén is. A különböző alkalmazási területek természetesen más-más igényeket támasztanak a CAD rendszerrel szemben.

CAD rendszereket számos szempont szerint osztályozhatjuk.

- Ez első lehetséges osztályozás az alkalmazási terület. Bár léteznek általános rendszerek, a legtöbb rendszer vagy iparág specifikus, vagy létezik iparág specifikus szakmodulja. A gépészeti / elektronikai / építészeti / ruha- és cipőipari CAD rendszerek azonban alapvető eltéréseket mutatnak.
- A modellezési módszer egy másik vetülete a 2D-s, vagyis síkbeli és a 3D-s, vagyis térbeli modellezést alkalmazó CAD rendszerek.
- A CAD rendszereket osztályozhatjuk az alkalmazott modellezési módszerek szerint, így léteznek drótváz-, felület- és testmodellező rendszerek, valamint hibrid modellezési rendszerek is, melyek egyszerre képesek többféle modellezési módszert kezelni.
- A CAD rendszer modellkezelése lehet parametrikus és nem parametrikus. A parametrikusság azt jelenti, hogy a geometriai elemek méretét a méretszámok megadásával tudjuk módosítani, vagyis a méretszám módosításával a modell is módosul. A nem parametrikus rendszereknél a modell határozza meg a méretszámot, a módosítása a modell geometriai elemeinek manipulálásával tudjuk elérni.

A korszerű gépészeti CAD rendszerek számos azonos vonással, funkcióval rendelkeznek. Ezen fontosabb tulajdonságok, melyek részleteit a tananyag különböző fejezetei fejtik ki bővebben, a következők:

- 3D parametrikus alaksajátosságon alapuló modellezés, térfogati modellezés,
- Szabad formájú felületmodellezés,
- Kétirányú parametrikus asszociativitás: különböző aspektusokból is módosítható a modell és ezen módosítások hatása kölcsönösen jelentkezik (pl. a 3D-s modell alaksajátosságainak módosítása megjelenik a rajzon, a rajzon módosított méter megváltoztatja a 3D-s modellt),
- Teljes körű összeállítás modellezés, melyek összetevői alkatrészek vagy más összeállítások lehetnek,
- Műszaki rajz készítés a térfogati illetve felület modellből,
- Műhelyrajzok és darabjegyzékek készítése,

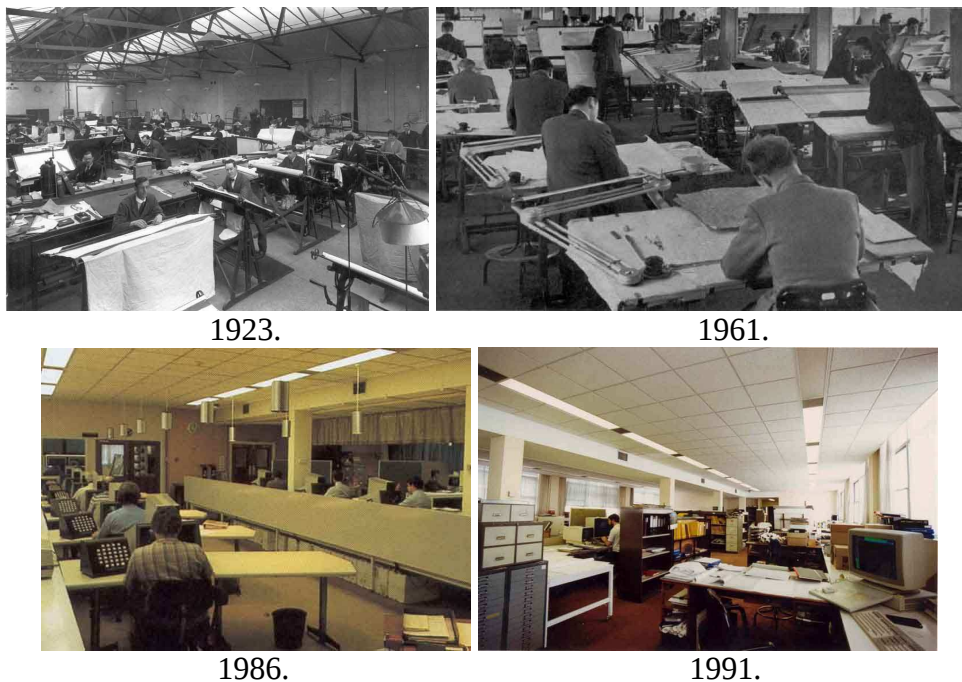
- Ábrázolási segítségek biztosítása (sraffozás, elfordítás, takart vonalak eltávolítása stb.),
- Tervrészletek újbóli felhasználása,
- A modell könnyű változtathatósága és változatok készíthetősége,
- Szabványos alkatrészek generálása katalógus alapján,
- Tervek hozzáigazítása tervezési szabályokhoz és specifikációkhoz,
- Tervek szimulációja legyártandó prototípusok elkészítése nélkül,
- Kinematika, ütközésvizsgálat, tőrésanalízis,
- Lehetőség arra, hogy más szoftverekkel adatot lehessen cserélni (export, import),
- Közvetlen kapcsolat a gyors prototípus és gyors gyártás rendszerek felé,
- Tömeg és tehetetlenségi nyomaték számítás,
- Lemezalkatrészek tervezése,
- Flexibilis csövek, kábelek tervezése,
- Elektromos alkatrészek kábelezése,
- stb.

A CAD rendszerek fejlődésével felvetődött az igény a termékfejlesztés illetve gyártás más területein is a számítógépek adta lehetőségek kiterjesztésére.

A számítógéppel segített gyártási módszerek (CAM – computer aided manufacturing) a CAD adatok alapján képes meghatározni forgácsoló megmunkálásokhoz szükséges NC programokat (a rendszerek valós képességeit ismerve az elnevezés talán túlzó).

A számítógépek alkalmazása megjelent a mérnöki számítások (CAE – computer aided engineering), folyamattervezés (CAPP – computer aided process planning), a minőségbiztosítás (CAQA – computer aided quality assurance), a termelésirányítás (CAPPs – computer aided production planning and scheduling), a raktározás (CAST – computer aided storage and transport) területén is, mely funkciók integrálása jelentős kihívást jelentett az elmúlt 30 évben. Ezen technológiákat együttesen CAx technológiának nevezzük.

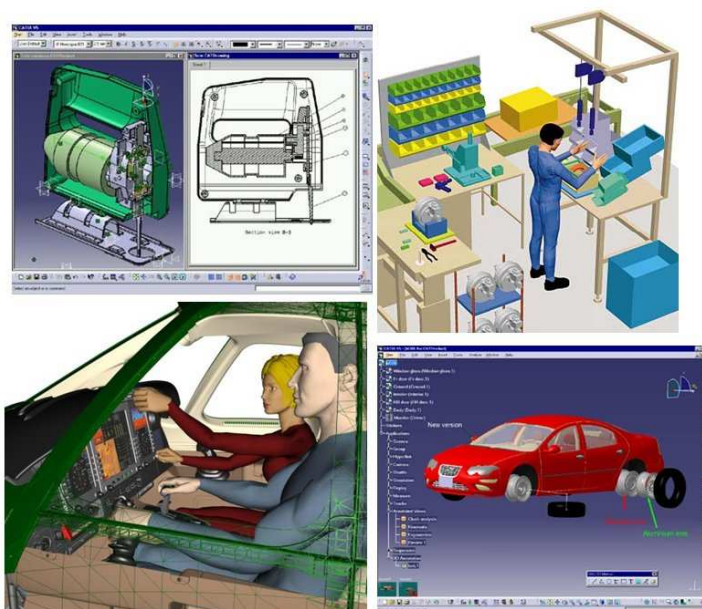
A tervezési technikák és technológiák változása és hatása a tervezési környezet változásán is jól lemérhető. Mint a 1.1 ábrán látható a rajztáblán történő kézi rajzolás sokáig nem nagyon változott, A CAD rendszerek megjelenése azonban amellet, hogy hatékonyabbá tette a tervezői munkát, hatással volt a tervezési folyamatra és a munkakörnyezetre is. A nagy méretű rajzasztalok eltűntek, helyüket számítógépek vették át. Ezzel együtt eltűnt számos korábbi olyan feladat is, melyet nem a tervező mérnökök végeztek, például a pauszra történő kihúzását végző műszaki rajzoló feladata megszűnt.



1.1. ábra Mérnöki tervezőiroda változása a Westwood Works (www.westwoodworks.net) vállalatnál

1.2 A gépészeti tervezés folyamata

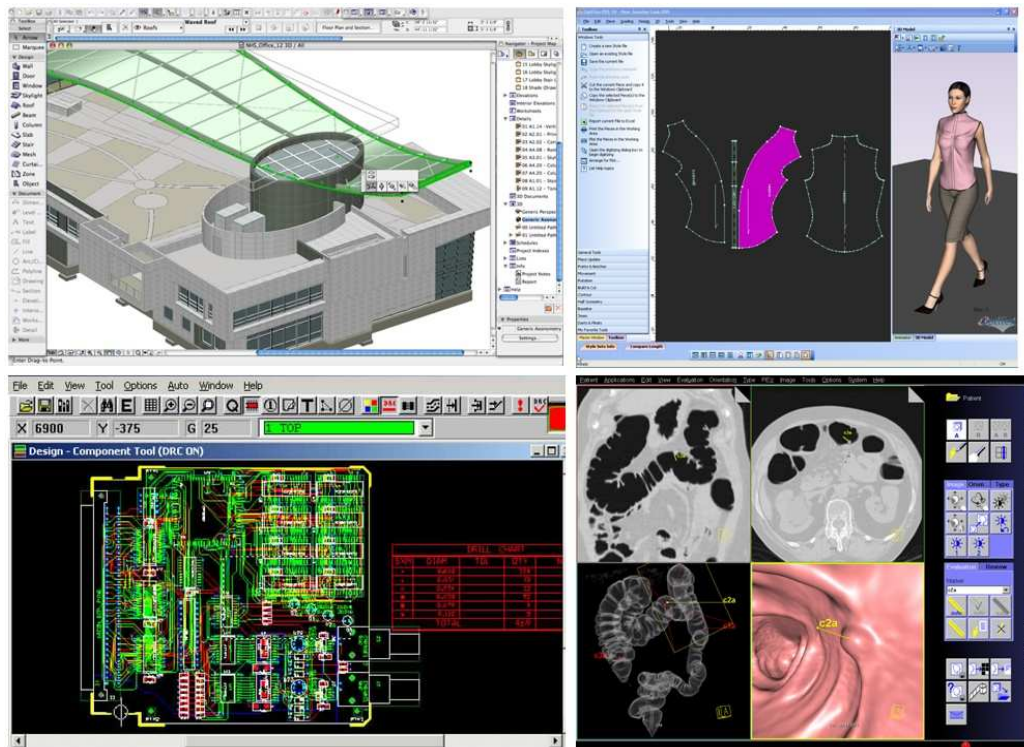
A gépészeti tervezés célja egyrészt fogyasztási termékek tervezése, melyeket mindennapi életünk során használunk, legyen az akár fogkefe, akár fűrészgép vagy gépkocsi. Másrészt olyan eszközök tervezését jelenti, melyek szükségesek ezen termékek gyártásához, legyen az csigafúró, egy satu, ipari robot vagy egy egész gyártórendszer (1.2. ábra).



1.2. ábra Példák gépészeti CAD alkalmazásokra

A CAD technika azonban nem csak a gépészet területén nyert teret, hanem más rokon mérnöki alkalmazások is léteznek, valamint a mérnöki tudományoktól távol eső alkalmazások is.

zások is ismertek. A 1.3. ábra Építészeti (ArchiCAD), ruhaipari (OptiTex), elektronikai (OrCAD) és orvosi (Lung CAD) CAD alkalmazásoknégy alkalmazásra mutat példát: építészeti tervezésre, ruhaipari tervezésre, elektronikai tervezésre és orvosi alkalmazásra láthatunk példákat.



1.3. ábra Építészeti (ArchiCAD), ruhaipari (OptiTex), elektronikai (OrCAD) és orvosi (Lung CAD) CAD alkalmazások

A tervezés tárgya tehát sokféle lehet, azonban a tervezési folyamat főbb lépései egységesíthetők. A tervezésemélet területén számos iskola létezik, melyek sokféle módszert dolgoztak ki az egyes részfeladatok hatékonyabbá tételére. ([3.][4.])

A konstrukció tervezés első lépése a *termékkonceptió kidolgozása*, amely során meghatározásra kerül a tervezendő konstrukció műszaki, gazdasági, minőségi, környezetvédelmi követelményei a piaci elvárások alapján, meghatározásra kerülnek a kielégítendő célok és a tervezési folyamat peremfeltételei.

A *konceptcionális tervezés* során meghatározzuk a konstrukció fajtáját (új, áttervezett, módosított), a termék funkciói, a működés alapját képező természettudományos összefüggéseket, a termék struktúráját, a működést meghatározó paraméterek értékét, a forma- és színtervet. A konceptcionális terv befejezése után válik lehetővé az ajánlati terv kidolgozása.

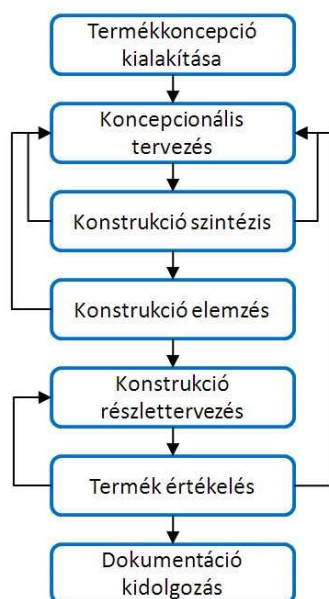
A *konstrukciósintézis* során a termék rendszerszemléletű modellezését végezzük, részegységekre és alkatrészekre bontjuk, meghatározzuk az alkatrészek közelítő méretét, alakját, anyagjellemzőit.

A konstrukciósintézishez szervesen kapcsolódik a *konstrukció elemzés*, amely során meghatározzuk az alkatrészek és részegységek terhelését, igénybevételeit, szimuláljuk a termék működését és meghatározzuk az optimális kialakítás műszaki paramétereit.

A *részlettervezés* az egyes alkatrészek alakjának, anyagának, anyagjellemzőinek, méreteinek, a működést befolyásoló méretek tűréseinek meghatározására irányul, valamint a gyártáshoz szükséges kiegészítő információk rendszerezését jelenti.

A *termékértékelés* során a termék megfelelőségét vizsgáljuk. A megfelelőséget több szempontból értékelhetjük: funkció teljesítése, szerelhetőség, gyárthatóság, költségek, vonatkozó szabványok, biztonsági előírások stb.

A *termékdokumentáció kidolgozása* során a termék összeállítási rajzait és alkatrészejait készítjük el, valamint az ezekhez kapcsolódó darabjegyzéket, anyagszükségleti terveket, működési-, karbantartási-, szerelési-, vizsgálati leírásokat.



1.4. ábra A gépészeti tervezés részfolyamatainak kapcsolata

A terméktervezés ezen általános folyamatának részletei a termék jellege szerint jelentősen eltérhetnek egymástól. A folyamatokra a terméken kívül jelentős hatást gyakorolnak a tervezőiroda hagyományai, a termék majdani gyártási környezete, a tervezők tapasztalatai, illetve a tervezés során használt eszközök. A konstrukció elemzése és termék értékelése során jelentkeznek azon feladatok, melyek a legidőigényesebb részét jelentik a tervezésnek, a prototípus építést, tesztelést, az eredmények visszavezetést a tervezésre, majd újbóli prototípus készítést és tesztelést. Ezen iterációk száma, mélysége és időigényessége függ a termék funkciójától, attól, hogy új terméket fejlesztünk, vagy egy meglévőt tervezünk át, egészítünk ki új funkciókkal.

1.3 Termékfejlesztési folyamat modellek

A gépészeti tervezés folyamata és lehetőségei jelentős változáson ment keresztül köszönhetően a számítógépes tervező rendszereknek köszönhetően. Bár kezdetben csak egy új eszközt jelentettek a mérnöki gondolatok megjelenésében, hatással voltak a tervezési folyamatra, valamint a számítástechnika teljesítőképességének fejlődésével új lehetőséget jelentettek. Számos olyan alkalmazás jelent meg, mely egyszerűsíti, hatékonyabbá teszi a tervezőmérnök munkáját. A fejlődés természetesen kölcsönhatás eredményének tekinthető, hiszen a számítógépek fejlődése új eszközt biztosított a gépészeti tervezésnek, azonban a tervezés elvárásai újabb célokat jelöltek ki a számítógép tervezők számára.

Egy termék célja az emberi tevékenység valamilyen speciális módon, a tervező által meghatározott formában történő támogatása. A termék által támogatott tevékenységben három tényező van jelen: a felhasználó, a termék, mint eszköz, a környezet, amelynek egy részét át kell alakítani.

A terméket, mint a termékfejlesztés elsődleges célját legkönnyebben annak funkcióin keresztül definiálhatjuk. Ezek a funkciók arra hivatottak, hogy a vevői vagy megrendelői igényekre kínáljanak megfelelő megoldást. Ezek szerint a termék olyan funkcióhordozó, mely tulajdonságai révén képes valamely igény hiánytalan kielégítésére [5].

A termék életciklusát többféleképpen értelmezhetjük, így a termékfejlesztés folyamatának is többféle értelmezése lehet. A következőkben megvizsgáljuk a termék életútját a piaci környezetben, komplex műszaki és gazdasági folyamatként tekintve annak előállítási folyamatára, majd tovább tárgyaljuk a műszaki fejlesztési tevékenységeket és annak modern vonatkozásait.

A piac többi szereplőjétől folytonosan változó, alkalmazkodó magatartást várnak el a vásárlók. A vásárlói igényeket a forgalmazók, mint a vevői igény közvetítői az általuk forgalmazott termékek, illetve azok funkciója révén igyekeznek kielégíteni. A piac legfontosabb szereplője maga a termék, mely az igények kielégítésére hivatott, és amellyel szemben elvárásaink igen sokfélék. Elvárjuk a terméktől, hogy az igényeket gyorsan kielégítve, a megkívánt minőségben, a funkciójának lehető legmegbízhatóbb teljesítésével, az igény-nyel arányos költségek árán, és minden környezettel kapcsolatos elvárásnak megfelelően, a szükséges mennyiségben legyen jelen a piacon [7].

Annak érdekében, hogy egy termék a piacra kerülhessen, először azt ki kell gondolni, majd ki kell fejleszteni, elő kell állítani, be kell vezetni a felvevőpiacra és értékesíteni kell. Ez a folyamatosan ismétlődő, megújító, alkotó tevékenységsorozat az innováció folyamata, melyet részletesen a 1.5. ábra szemlélteti, melyből az innováció egyes részfolyamatai kiolvashatók. Az folyamatára alapján a következő megállapítások tehetők:

Az innováció folyamata egy, az adott termékre vonatkozó célkitűzés megfogalmazásával veszi kezdetét, mely a kielégíteni kívánt igényből fakad. A célkitűzés egy elhatározott stratégia.

Az elhatározott célkitűzés nyomán kialakul a termékre vonatkozó elképzelés (vagy elképzelések), amely lehet egy új termékötlet vagy akár egy továbbfejlesztési javaslat egy meglévő termékre. A kialakult termék-elképzeléseknek megvalósításuk után alkalmasnak kell lenniük a már jelen lévő, felismert vagy prognosztizált, azaz a későbbiekben nagy valószínűséggel felmerülő igények kielégítésére, ráadásul versenyképes áron.

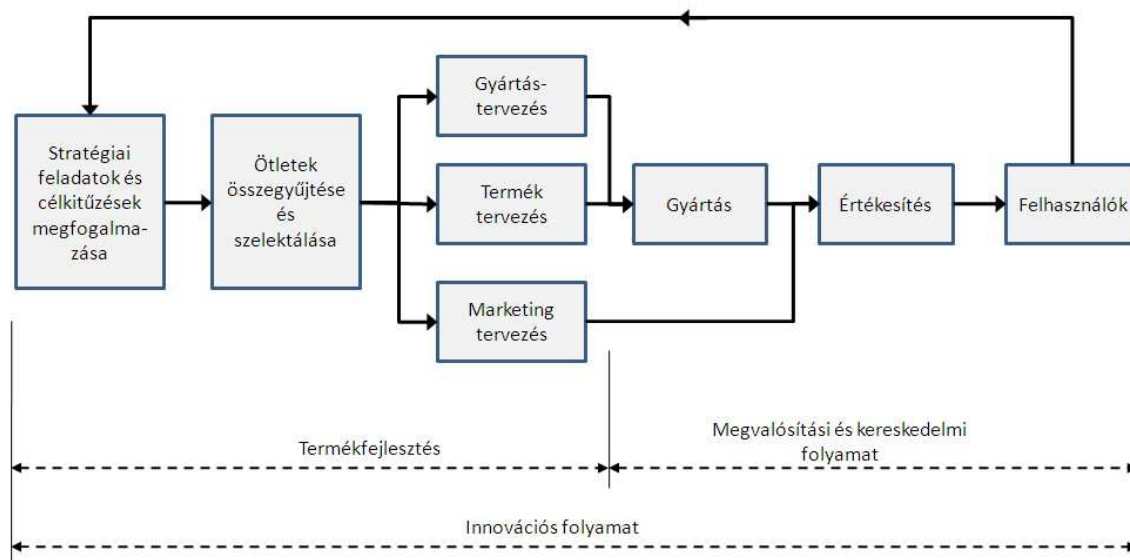
A célkitűzések megfogalmazásának és az ezzel összhangban lévő termékötletek összegyűjtésének tevékenységeit nevezzük a terméktervezés folyamatának.

A terméktervezés folyamata után következik azoknak a tevékenységeknek az összessége, melyek során a termékről alkotott elképzelést vagy elképzeléseket alapul véve előállítják a gyártáshoz szükséges összes dokumentációt. Ezeket nevezzük a termék fejlesztési folyamatának, melynek során biztosítani kell azoknak a követelményeknek a teljesülését, amelyeknek funkciójából adódóan meg kell, hogy feleljen a termék. A fejlesztési folyamatban tervezési tevékenységek nyomán készül el a termékdokumentáció, a gyártási terv és a marketingterv. Ezek a tervezési tevékenységek egymástól függetlenek, az egész tervezési folyamat alatt mégis egymásra építve, egymás eredményeit felhasználva oldják meg a feladatot és alkotják meg a terméket.

A terméktervezés folyamatát, és a fejlesztési folyamatot hívjuk összefoglaló néven a termékfejlesztés folyamatának. Ezen folyamatösszességnek még nincs kézzel fogható, fizi-

kai végeredménye, de a folyamat végén a fizikai megvalósításához már minden rendelkezésünkre áll.

Az innovációs folyamat utolsó szakaszában a kidolgozott tervek alapján testet ölt és „életre kel” a termék. A gyártási, szerelési, csomagolási és szállítási folyamatok végén a termék készen áll arra, hogy elfoglalja a helyét a piacon.



1.5. ábra Az innováció és részfolyamatai [7.]

Az innovációs folyamat kreatív, együttműködő emberek munkájának, valamint a kor vívmányainak megfelelő technikai eszközöknek, módszereknek és eljárásoknak a folyamatba történő hatékony integrálása révén megy végbe.

A termékfejlesztés folyamatát sok szemszögből és sokféleképpen értelmezhetjük. Az előzőekben elhelyeztük és értelmeztük a termékfejlesztést a termék, mint piaci szereplő kapcsán. A mérnöki szemlélethez azonban sokkal közelebb áll a termékfejlesztésnek, mint a termék kialakulásának folyamatában legfontosabb részfolyamatnak értelmezése.

A termék kialakulása az alapkoncepció képzése és az új termék, illetve annak első szériagyártásának megkezdése közötti időintervallumban történő tevékenységek összessége [8.]. A termék konkrét jellemzőitől függően, a termék kialakulásának e definíció szerint csak egy része a termékfejlesztés. Ahogy azt a 1.6. ábra is mutatja a termék piacra (sorozatgyártásba) kerüléséig a termékfejlesztés önmagában is komplex folyamata mellett, esetenként azzal párhuzamosan szükség lehet a következő tevékenységekre:

A legyártáshoz szükséges szerszámok fejlesztése. A termék és az annak legyártásához szükséges szerszámok fejlesztési módszere teljesen azonos, tehát az adott szerszámfejlesztés is egy különleges termékfejlesztési folyamatnak tekinthető. Ezen folyamat során kerül kifejlesztésre a funkciója szerint „a terméket készítő (vagy azt lehetővé tevő) termék”.

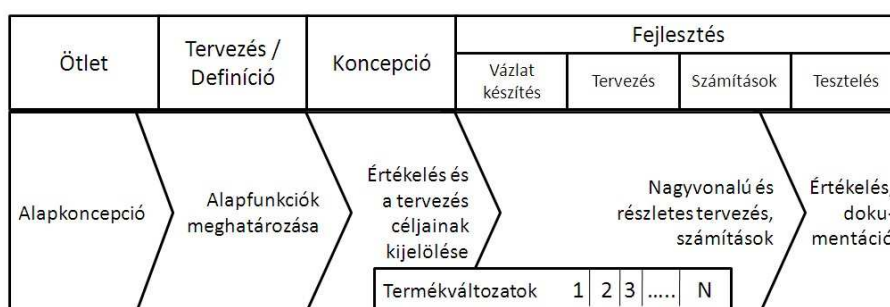
A megtervezett szerszámok legyártása. Láthatjuk, hogy a termékfejlesztés, a szerszámfejlesztés, és a szerszámkészítés egymás mellett párhuzamosan is haladhatnak előre a termék kialakulása során. A folyamatok természetesen hatással vannak egymásra, gondoljunk csak a már legyártott szerszámokkal elért rossz tesztteredmények hatására. Ha a szerszám nem képes a termékkoncepció által előírt követelmény teljesítésére, módosíthatjuk a szerszámtervet ennek érdekében, vagy felülvizsgálhatjuk az alkatrésztervet, hogy valóban szükség van-e az adott követelményre.

A termék illetve alkatrészeinek legyártása.



1.6. ábra A termék kialakulásának részfolyamatai [8.]

A termékfejlesztés folyamatát, annak részletesebb tárgyalása céljából további elemi részfolyamatokra kell bontanunk. A részfolyamatok határait pontosan ki kell jelölnünk, meg kell neveznünk és a bennük foglaltatott tevékenységek által definiálnunk kell. A VDI (Német Mérnökök Egyesületének - Verein Deutscher Ingenieure) 2221 [9.] irányelv szerint a folyamat négy alaplépésként definiálható, melyek a következők: ötlet (felvetés), tervezés / definíció, koncepció, fejlesztés / realizáció. A 1.7. ábra a termékfejlesztés ezen lépéseit szemlélteti.



1.7. ábra A termékfejlesztés klasszikus lépései a VDI szerint [9.]

Az alapvető ötlet és koncepció nyomán alakulnak ki a késztermék alapvető tulajdonságai. A termékfejlesztésnek ebben a fázisában, valamint a tervezési (definíciós) és koncepció fázisban a funkciók, az alapvető tervek, és az elkészítés folyamatai letisztázódnak, és általuk meghatározhatóvá válnak az elérni kívánt célok. Ezeket hívjuk a tervezet (angolul: project) céljainak [8.]. A funkciók és részfunkcióik kombinálása, variálása és műszaki-gazdasági értékelések nyomán alakulnak ki a termékváltozatok, melyek közül egy vagy több is részt vesz a fejlesztési folyamatban. A fejlesztési folyamat első lépéseként a vázlatkészítés során a termékváltozatokról nem optimalizált léptékhelyes főtervek, vázlatok készülnek. Ezeket a vázlatokat a tervezés során, műszaki és gazdasági szempontból optimalizálják [4.]. Ezek után eldől, hogy melyik változat kerül megvalósításra. Persze előfordulhat, hogy nem egy, hanem több változat kerül teljes kidolgozásra, akár több prototípus is készülhet, ha a méretezések, műszaki számítások végére még mindig nem egyértelmű, hogy a termékváltozatok közül melyik az optimális.

Ismert konstrukcióból kiindulva könnyebb a feladat absztrakt meghatározása és könnyebb a feladat össz- és részfunkcióinak meghatározása. Minél inkább általánosítjuk a feladat megfogalmazását, annál könnyebb a folyamatot kezdő fázisaiban becsatlakozni a fejlesztés folyamatába, annál nagyobb lesz a megoldási változatok száma és annál sokrétűbb.

többek lesznek a megoldási változatok. Ez azért fontos, mert a későbbi fejlesztési fázisokban való belépés nem eredményez jelentős javulást, miközben az anyagi ráfordítás és az értéknövelés ezekben a legjelentősebb. Lényeges javulás tehát, csak a folyamat elején való becsatlakozással érhető el, és ennek anyagi ráfordításai jelentősen kisebbek.

Műszakilag nem éri meg, hogy a fejlesztés egy késői fázisában végrehajtott javítgatásokkal a funkcionálisan rossz megoldást életben tartsuk.

Az új termékfejlesztési stratégiákkal szemben támasztott követelmények többnyire a folyamat időigényességének és anyagi ráfordításainak csökkentésére, valamint egy jobb termékminőség megvalósítására irányulnak. Hogy ezek a követelmények teljesíthetők legyenek, meg kell határozni a folyamat időigényét leginkább befolyásoló tényezőket. A termékfejlesztésre fordított időt leginkább meghatározó tényezők a következők [8.]:

- A leendő termék jellemzőinek korai elhatározása
- A részfolyamatok egymással párhuzamossá tétele
- Az információáramlás intenzitása
- A tervezést és fejlesztést segítő számítógépes eszközök folyamatba való integrálása
- A fejlesztők motiváltsága

A termékjellemzők korai elhatározása

A termékfejlesztési folyamat sikeres véghezviteléhez elengedhetetlen, hogy a termék jellegzetességeit a lehető legkorábban meghatározzuk, és a továbbiakban ehhez szigorúan ragaszkodjunk. Így lehetővé válik minden a terven dolgozó mérnök, vagy munkacsoport számára, hogy egyértelműen meghatározott tervezet alapján, világos és érthető utasításokat követve, akár egymástól függetlenül haladjanak a termék fejlesztésével. Amennyiben ezen utasítások nem egyértelműek vagy hiányosak, úgy minden munkacsoport a saját maga által felvett jellemzők alapján készült tervét fogja előnyben részesíteni. Az ilyen módon elkészült inhomogén tervhalmaz elemeinek egymáshoz illesztése, későbbi harmonizációja jelentős erőfeszítést igényel, és messzemenően kerülendő.

Az egymással párhuzamosan haladó termékfejlesztési részfolyamatok

A folyamat időigényének csökkentéséhez létfontosságú, hogy az egymástól függetlenül is végezhető tervezési és fejlesztési tevékenységek megfelelő felügyelet mellett egymással párhuzamosan haladjanak. Természetesen, az egymásra épülő tevékenységekre ez nem vonatkozik, ezért a részfolyamatok relációi és azok párhuzamossá tétele minden egyes új termék esetén külön megfontolás tárgyát kell, hogy képezze.

Az információáramlás intenzitása

A hatékony termékfejlesztéshez szükség van intenzív információáramlásra. Ma már nem elegendő az, ha az információcsere megbízhatóan végbemegy a munkacsoportok között. Az is fontos, hogy ez milyen formában és milyen gyakorisággal történik. Ennek a kommunikációnak a lehető leggyorsabbnak és legteljesebbnek kell lennie.

Integrált informatikai eszközök használata

Az informatikai eszközök nem kizárólag a számításigényes feladatok megoldását segítik elő, hanem az intenzív információcsere alapeszközei is. Csak magas szintű és a fejlesztés minden lehetséges területére kiterjedő számítógépes háttér működtetése képes biztosítani azt, hogy egy adott terméken dolgozó munkacsoport, vagy munkáját egyénileg végző személy egy közös adatbázist használva dolgozzon. Egy, az adott termékhez kapcsolódó közös és a fejlesztők számára könnyen elérhető adatbázis alkalmas arra, hogy a termék különféle részfolyamatait párhuzamosan fejlesztők valós időben használhassák egymás adatait, és elért eredményeiket is ide rögzítsék. Ezt az információs rendszert nevezik *PDM*-nek (angolul: Product Data Management – Termék Adat Menedzsment).

Motiváció

A csapatmunka kizárólag akkor hatékony és sikeres, ha az adott fejlesztési folyamaton dolgozók motiváltak. Motiváció hiányában a dolgozók a csapatmunkára, úgy tekintenek, mint egy olyan rendszerre, melybe könnyen beleolvadnak, az esetleges rossz eredményekért felelősséget nem vállalva, másokra hárítva azt. Ha a fent említettek mellett az emberi tényezőt is figyelembe vesszük, beláthatjuk, hogy a modern termékfejlesztési stratégiákat támogató eszközök hatástalanná válnak, ha a fejlesztési tevékenységet végzőknek nem érdeke a kívánt végeredmény.

Az előzőekben szó esett arról, hogy fontos az, hogy a fejlesztéssel foglalkozók a folyamat elején csatlakozzanak a munkához. Ez segíti az alapkoncepciót úgy továbbgondolni, hogy a kezdeti megoldások sokfélék legyenek, és ezekben az alapgondolatokban, ezeknek apró részletei között ott rejtőznek az optimális megoldások, esetleg több is melyek közül esetenként nem csak egy kerül megvalósításra. A termékváltozatok párhuzamos fejlesztése nem keverendő össze a későbbiekben végzett fejlesztési munkafolyamat részfolyamatainak magas szintű párhuzamossá tételével. Ha a VDI által definiált termékfejlesztési folyamatot, annak négy alapelemét tekintjük, akkor a következő megállapítások tehetők:

Az *ötlet* (alapkoncepció) és a *tervezési* (azaz az alapfunkciókat meghatározó) fázisban szükség van a lehető legtöbb fejlesztő részvételére, hiszen sokan sokféleképpen közelíthetik meg az adott problémát vagy felvetést.

A *koncepció*s fázisban el kell dönteni, hogy melyek a funkcionálisan életképes megoldások, melyek közül akár több is tovább vihető a következő fázisba.

Az utolsó fázis a *fejlesztés*, melynek során egy vagy több termékváltozat kerül kidolgozásra és esetenként akár több prototípus is készül. A fejlesztés során a fejlesztők az egymásra nem épülő munkafolyamatokkal párhuzamosan haladnak.

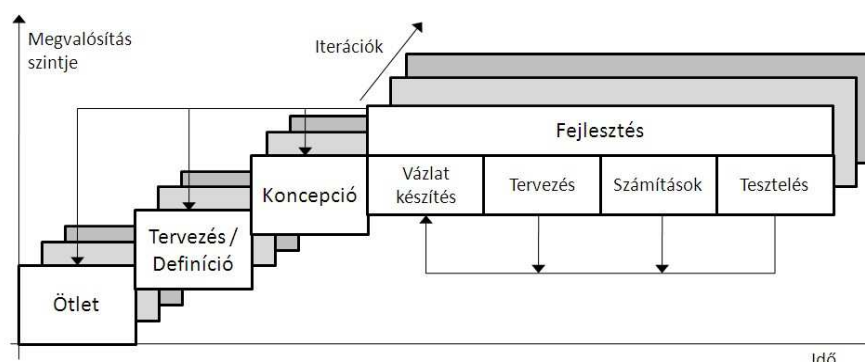
Természetesen minden termékfejlesztési szakasz végén (nem csak a fejlesztési fázisban!) értékelni kell az eredményeket és visszacsatolni az optimális megoldás megtalálása érdekében. A fejlesztési folyamat során létrehozott megoldás, vagy megoldások akkor tekinthetők optimálisnak, ha azok [6.]:

- optimálisan elkészíthetők (anyaghelyesek, gyártáshelyesek, szerelési helyesek, ellenőrzés-helyesek)
- optimálisan működők (működéshelyesek, kezelés helyesek, igénybevétel helyesek, üzembe helyezés helyesek, környezethelyesek)
- optimálisan megszüntethetők (újrahasznosítás-helyesek, megsemmisítés-helyesek).

A korszerű termékfejlesztéssel szemben támasztott számtalan követelmény közül a két legfontosabb a következő:

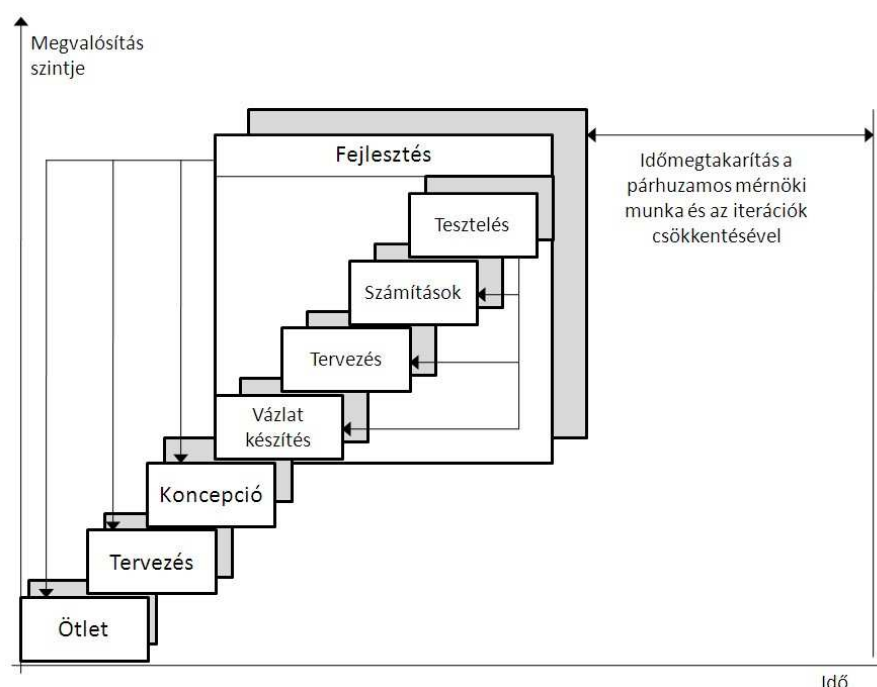
- A régebben egymást szigorú sorrendben követő termékfejlesztési, részfolyamatok szimultán elvégzése.
- Mindenki számára könnyen elérhető adatbázisok használata (és kommunikáció számítógépes eszközökkel).

Az ezeknek megfelelő termékfejlesztési stratégia *szimultán illetve konkurens mérnöki munka* (angolul: Simultaneous Engineering – SE / Concurrent Engineering - CE) néven vált ismertté. Ennek legfőbb jellemzője az, hogy a lehetővé teszi a fejlesztési részfolyamat egymásra nem épülő műveleteinek szimultán elvégzését, sőt esetenként kiterjedhet az egész termékfejlesztési folyamatra. A következő két ábra a hagyományos és a korszerű szimultán termékfejlesztés összehasonlítására szolgál, a termék kidolgozottságának szintjét ábrázolja a termékfejlesztés során, az idő függvényében. A 1.8. ábra a termékfejlesztés klasszikus folyamata látható.



1.8. ábra A klasszikus termékfejlesztés időbeli lefolyása [8.]

Az ábra jól szemlélteti, hogy a klasszikus termékfejlesztés során, a VDI által meghatározott négy fő részfolyamat kötött sorrendben követi egymást. A egyik részfolyamat sem kezdődhet el addig, míg az azt megelőző be nem fejeződött. Amennyiben egynél több termékváltozattal dolgozunk, úgy ez az összesre igaz, tehát minden termékváltozatra teljesen ki kell dolgozni a termékfejlesztési részfolyamatokat egyenként. Ez azzal jár együtt, hogy ha az egyik termékváltozatról a termékfejlesztés egyik részfolyamatában kiderül, hogy mégsem alkalmas a teljes értékű terméké válásra, akkor az előtte lévő tevékenységeket főlegesen végeztük el teljes egészében. Szimultán munka esetén az egyes részfolyamatok még az előző befejeződése előtt elkezdhetők. Lehetőség van az egyes termékváltozatok fejlesztésének abbahagyására a párhuzamosan haladó részfolyamatok eredményei alapján úgy is, hogy nem fejeztük be annak részfolyamatait, időt spórolva ezzel. A szimultán mérnöki munka, az életképtelen megoldások gyors kizárásával lehetővé teszi azt is, hogy az életképes megoldásokra koncentráljuk. A korszerű szimultán termékfejlesztési folyamat időbeli lefolyását az 1.9 ábra szemlélteti [8.].



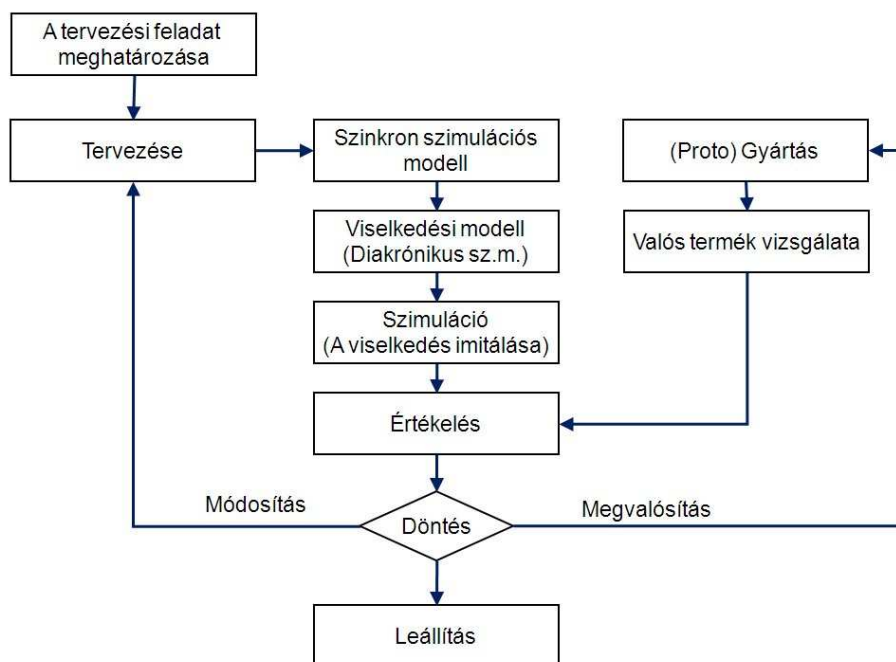
1.9. ábra - A szimultán termékfejlesztés időbeli lefolyása

Az 1.9. ábra jól látható, hogy a nem csak VDI irányelv által definiált négy részfolyamat végezhető szimultán, hanem a komplex fejlesztési fázis egyes mozzanatai is, lehetővé téve ezzel a legapróbb részfolyamat elemek visszacsatolását ellenőrzés céljából.

1.4. A termékmodellek és szimuláció

A fejlesztés során a felhasználó – termék – környezet kapcsolatokat kell vizsgálni, hogy el tudjuk dönteni, a termék kielégíti-e a támasztott követelményeket. A vizsgálatok szimulációval valósíthatók meg, a szimuláció egy rendszer viselkedésének, bizonyos jellemzőinek „leutáázása”, a szimuláció szerepe információ gyűjtés a tervezési alternatívák értékeléséhez. A szimuláció célja a termék környezetre kifejtett hatásának vizsgálata; a termék viselkedése a használat során (elhasználódás, meghibásodás) és a termék és a felhasználó közötti kölcsönhatás vizsgálata. A szimuláció során tehát a következő kérdésekre keressük a válaszokat:

- Úgy működik-e a termék, ahogy terveztük, megfelel-e a funkcionális követelményeknek?
- Megfelel-e a műszaki, ergonómiai, esztétikai stb. funkcióknak?
- Gyártható-e a termék a tervezett mennyiségben, a megfelelő minőségben és áron?



1.10. ábra Szimuláció folyamata

A szükséges vizsgálatokat legkézenfekvőbb módon egy, a tervezett termékkel minden szempontból azonos *prototípus*on hajthatjuk végre, ez azonban nagyon időigényes és drága folyamat, tehát a vizsgálatokhoz valamilyen *modell*t használunk. Modell imitált objektum, az eredeti objektum reprezentálása, azzal nem mindenben egyenértékű. A modellek a szimuláció során módot nyújtanak arra, hogy tanulmányozhassuk a rendelkezésre még nem álló, vagy hozzá nem férhető eredetiket.

Egy modell lehet *szinkron modell*, mely esetben nincsenek időbeni relációk például konstrukciós dokumentáció, diagram, léptékhelyes makett, vagy *diakrónikus modell*, amely időbeni egymásutániséget is leíró szimulációs modell.

Felépítés szerint a modell lehet anyagi (fizikai) vagy szimbolikus modell, a működési elv szerint:

- szerkezeti modell,
- ikonos modell,
- analóg modell,
- matematikai modell,
- vegyes.

A *szerkezeti modellek* a tárgy vagy a folyamat kvalitatív (minőségi) struktúrájának a láthatóvá tételén alapszik. Ilyen például a folyamatábrák, kapcsolási rajzok, grafikonok, tömbvázlatok, vázlatok, makettek, manekenek (embermodellek).

Az *ikonos modellek* a tárgy vagy a folyamat eredeti tulajdonságait a modell azonos tulajdonságaival reprezentálja. A hasonlóság nem azonosság, mivel nem terjed ki minden jellemzőre. Hasonlóság lehet geometriai, statikai, kinematikai, dinamikai, termikus, kémiai, stb. Az ikonos modellek mindig anyagi modellek például makettek, minták, léptékhelyes modellek, prototípusok.

Az *analóg modellekben* az eredeti valamely tulajdonságát a modell egy másik tulajdonsága reprezentálja. Ez feltételezi azt, hogy a másik tulajdonság ugyanolyan módon változik, mint az eredeti megfelelő tulajdonság.

A *matematikai modellek* matematikai összefüggések segítségével előállított szimbolikus modellek, a mérnöki gyakorlatban talán a legszélesebb körben használt modell típus. A matematikai modellek lehetnek elsődleges matematikai modellek, melyek fizikai vagy kémiai törvényszerűségek, alapelvek felhasználásával írják le a rendszer vagy termék viselkedését. A másodlagos matematikai modellek ezen alapösszefüggésekből levezetett származtatott matematikai modellek.

A termékmodell fogalmába minden olyan információ beletartozik, mely a termékfejlesztés során keletkezik. Ennek megfelelően a modellekkel szemben támasztott követelmények jelentősen különböznek a termékfejlesztés egyes szakaszaiban. Ezeknek a modell típusoknak definiálása nem lehetséges pusztán azzal, hogy hozzárendeljük őket az egyes termékfejlesztési lépésekhez. Meg kell vizsgálnunk azt is, hogyan jönnek létre az egyes típusok. A vonatkozó szakirodalmakban sokféle modelldefiníciót találhatunk. Mindközül a legáltalánosabbak és legszélesebb körben értelmezhetők a Német Ipari Tervezők Egyesülete (németül: Verband der Deutschen Industrie Designer - VDID) által megfogalmazott modelldefiníciók, melyek megkülönböztetik az alábbi modell típusokat [8.]:

- arányos modell,
- ergonómiai modell,
- stílus modell,
- funkcionális modell,
- prototípus,
- termékpéldány.

Az *arányos modell* leírja a külső formát és annak legfontosabb arányait. Megkönnyíti a kommunikációt, elősegíti az információ gyors áramlását. Segít abban, hogy a termék különböző tulajdonságai tekintetében a termékfejlesztésben résztvevők hamar konszenzusra

jussanak. Ezen modelltípusnak gyorsan, egyszerűen és olcsón elkészíthetőnek kell lennie, részletes termékjellemzőket nem tartalmaz. Gyakran hívják koncepciómodellnek, vagy magyarázómodellnek.

Az *ergonómiai modell* elősegíti a megvalósíthatóságról való döntést (lehetséges-e kifejleszteni az adott terméket, és egyáltalán szükséges-e?). Fontos információkat közöl az üzemeltetésről és használatról és az esetleges részfunkciókról. Termékjellemzőket már tartalmaz.

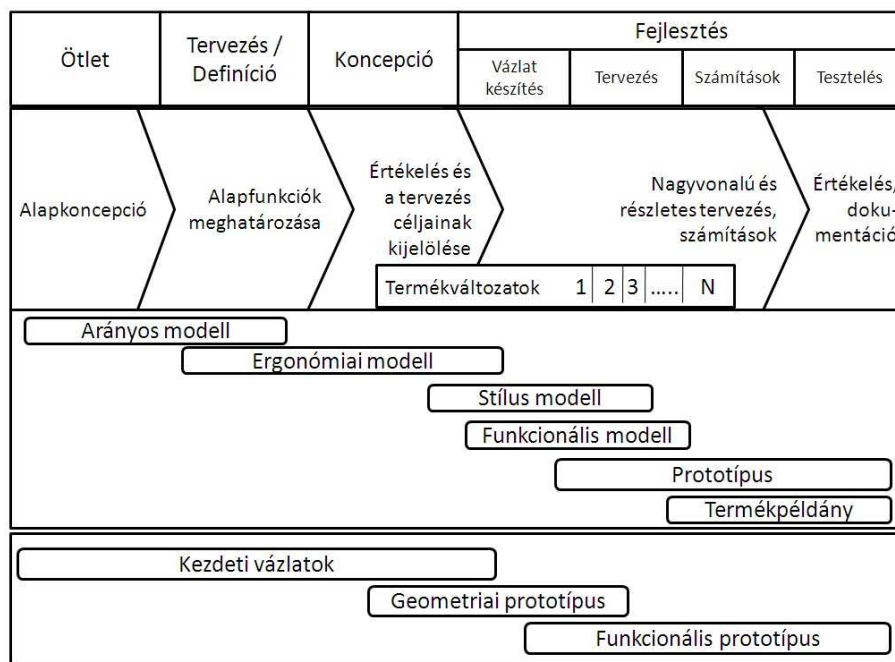
A *stílus modell* a későbbiekben vélhetően sorozatgyártásba kerülő termék külső megjelenését mutatja meg. Ennek a lehető legjobban kell hasonlítania a valós termékpéldányra. Az ábrázolt felületeknek „bemutatótermi” minőségben kell megjeleníteniük. Segítségével esetleg könnyebben eldönthető, hogy milyen gyártási eljárást válasszunk, amennyiben ez még nem dönt el. Alkalmazásával lehetőség nyílik arra is, hogy a fejlesztésben részt nem vevők (vásárlók, értékesítők, sajtó, beszállítók) is elbírálhassák a terméket a termékfejlesztés korai szakaszában. Esetenként a PR munka is megkezdhető, egy megfelelő részletességű modell alapján. Bizonyos jellemzők kidolgozása részletes, nem hordoz minden termék-funkciót.

A *funkcionális modell* lehetővé teszi a számított vagy empirikus módon meghatározott jellemzők megfelelőségéről való megbizonyosodást és bizonyos funkciók korai tesztelését (hogyan szerelhető, hogyan tartható karban, milyenek a kinematikai jellemzők). Megmutat néhány, esetleg minden jellemző funkciót, ha szükséges, a termék külalakjának, formájának megjelenítése nélkül is. Információt szolgáltat a szerszámkészítéshez, vagy öntőforma készítéshez, elősegítve a gyártás előkészítését.

A *prototípus* a leendő sorozatban gyártott termékhez nagyon hasonló, vagy azzal teljes mértékben megegyező példány. Minden termékfunkciót és valamennyi termék jellemzőt tartalmaz. A már véglegesnek tekinthető gyártási dokumentáció alapján készül, csak a gyártási folyamatában különbözik attól. Általa lehetőség van egy vagy több termékjellemző tesztelésére. Lehetővé teszi a szerszámgyártás megkezdését, és a termék piaci bemutatását.

A *termékpéldány* a már sorozatban gyártott termék. Lehet próbasorozat, mellyel vagy a gyártási technológiát vagy magát a terméket tesztelik, vagy lehet teljesen végleges verzió is. Egy ilyen példány segítségével minden egyes termékfunkció megvizsgálható. Segítségével elkezdhető a gyártást kiszolgáló személyzet és a későbbiekben a termékhez kapcsolt szolgáltatásokat nyújtó személyzet (karbantartó, szerelő) képzése, valamint a vevőkkel és beszállítókkal való részletes egyeztetés. Lehetőség van továbbá a gyártást és szerelést végző eszközök beállításainak finomhangolására, véglegesítésére, előkészítve ezzel a tömeggyártást.

A gyakorlat számára a modelltípusok ilyen részletességű felosztása nem szükséges, ezért egy egyszerűsített felosztás szerint a hat modelltípust három típusba tömörítjük. A 1.11. ábra a VDI által definiált modelltípusoknak az elhelyezkedését, felhasználását mutatja a VDI szerint felosztott termékfejlesztési folyamat során. Az ábra alsó szegmensében az egyszerűsített felosztás látható:



1.11. ábra Modelltípusok a termékfejlesztés különböző fázisaiban

Az ábrán jól látszik, hogy a három kategória egyenként jóval nagyobb termékfejlesztési részterületet fog át. Ez a három típus a következő:

A *kezdeti vázlatok* kategória magában foglalja a VDID definíciói szerinti első három modelltypust. Az arányos modellek, ergonómiai modellek és stílusmodellek csak a leendő termék arányait szemléltetik, és a termék megjelenéséről adnak információt, nincsenek konkrét méretei, vagy legalábbis nem optimális méretekkel és arányokkal rendelkezik.

A *geometriai prototípus* a termék geometriáját már konkrét méretekkel, nem csak arányaival definiálja, esetenként felületi jellemzőket is magában foglal. Bizonyos termékjellemzők már ez alapján tesztelhetők, szimulálhatók.

A *funkcionális prototípusok* körébe a funkcionális (digitális) modellek, a hagyományos értelemben vett és gyors prototípusok (fizikailag is létező formák), valamint a termékpéldányok tartoznak ide.

Egy mérnök sem vitatja a funkcionális modellek, a prototípusok és az első termékpéldányok fontosságát a termékfejlesztésben, viszont gyakran komolytalannak titulálják a kezdeti vázlatok és látványtervek, jelentőségét pedig ez korántsem igaz. A fejlesztésnek ebben a kezdetleges modellformák által kommunikált szakaszában zajlik le a megvalósíthatóságról való döntés, és az esetleges piaci igény felmérése is.

A fenti modelltypus felosztásban a prototípus szót, már jóval tágabb értelemben használjuk, mint tettük azt a VDID definíció szerint. Ma már a mérnöki szóhasználatban a prototípus szó jelentése jelentősen megváltozott az értelmező szótár szerinti jelentéshez képest, mely szerint a prototípus „egy típus vagy tipikus jelenség mintaképe a valóságban”. Prototípusnak hívunk ezek szerint minden olyan modelltypust, mely a termék jellemzőinek egyértelmű leírásával, funkciók definiálásával, lehetővé teszi annak funkcionális tesztelését, szimulálását valós vagy virtuális térben. Ebből következik tehát, hogy a prototípusok két alaptípusba sorolhatók. Lehetnek [10.]:

- digitális, más néven virtuális prototípusok,
- fizikai prototípusok.

A *digitális prototípus* a virtuális térben épül, és elemzések során mutatja meg azt, hogy a valós (fizikai) prototípus, melynek a számítógépes reprezentációja hogyan viselkedne. Jellemző rá, hogy nagy mennyiségű előre tervezett szimulációs kísérlet végezhető. A modell építését és szimulációját lehetővé tévő szoftverek tudásháttérre, adatbázisa folyamatosan bővíthető, sok év tapasztalata építhető bele. A modellezési és szimulációs, valamint az alkalmazási terület szakértőinek magas szintű együttműködése révén folyik a termék fejlesztése.

A *fizikai prototípusok* valóságos termékek, melyek a benne megvalósuló mérnöki munka, valamint az annak alapját képező elmélet és módszertan kipróbálására készülnek. Gyártásuk költséges és időigényes. Ésszerű költségek mellett, nincs lehetőség egy termék minden jellemzőjének kipróbálására, a vizsgálati lehetőségek, annak költségük miatt korlátozottak. A fizikai prototípusokat két csoportra bonthatjuk. Lehetnek hagyományos technológiákkal gyártott egyszerűsített vagy teljes részletességű prototípusok, illetve gyors prototípusok melyek térfogatelemek vagy rétegek egymáshoz illesztésével hozzák létre a fizikai formát.

1.5 CAD rendszerek története

Ha igazán az alapoktól akarjuk elkezdni a téma boncolgatását, elsőként mindenképpen meg kell említenünk Euklidészt. Ő volt az aki i.e. 300-ban munkásságával megalkotta az Euklidészi geometriát, megteremtve ezzel a geometria alapjait, mely végül a technikával együtt fejlődve az 1960-as évek elejére lehetővé tette a számítógéppel segített tervezés (CAD – computer aided design) megteremtését [5.].

Az 1960-as évek elején Ivan Sutherland diplomamunkája részeként megalkotta a CAD szoftverek első generációját, a *Sketchpad*-et (1.12. ábra) és ezzel útjára indította a CAD rendszerek fejlesztésének hosszú, mai napig töretlen folyamatát [12.]. Ezen eszköz lényege az volt, hogy egy speciális tollal rajzolhatott a tervező a számítógép monitorára. Ez az ötlete olyan jól használhatónak bizonyult, hogy még ma is (2009) megtalálhatók ennek a továbbfejlesztett változatai pl. nyomásérzékeny TFT monitorok stb. Igaz, ennek a rendszernek órákig tartott olyan műveletek elvégzése, ami a mai számítógépeknek a másodperc töredéke.



1.12. ábra Sketchpad

Habár az első CAD szoftver az 1960-as évek elején jelent meg, az első CAM rendszer már 1957-ben megszületett. Ennek megalkotója Dr. Patrick J. Hanratty volt, rendszerét pedig *PRONTO*-nak nevezte el. Így aztán őt emlegetik a „CAD/CAM rendszerek atyjának”.

Ebben az időben nem sokan tudtak megfizetni egy számítógépet és egy ilyen rendszert. Kivéve a nagy autó és repülőgépgyártó vállalatokat. Így aztán ők váltak ezen rendszerek elsődleges felhasználóivá, sőt fejlesztőivé.

Az első rendszereket egyetemekkel kooperálva hozták létre. Ezek még 2D-ben ábrázoltak. Létrehozásuk fő célja az volt, hogy a mindennapi rajzolgatás és módosítást (ami egy ceruzarajz esetében igen körülményes) meggyorsítsa, megkönnyítse.

1965-ra elkészült egy újabb CAD rendszer, a DAC (Design Automated by Computer), melyet Dr. Hanratty a General Motors-szal karöltve tervezett. (1.13. ábra) Ez a rendszer nagyban hasonlított Ivan Sutherland Sketchpadjára.



1.13. ábra DAC



1.14. ábra CADAM

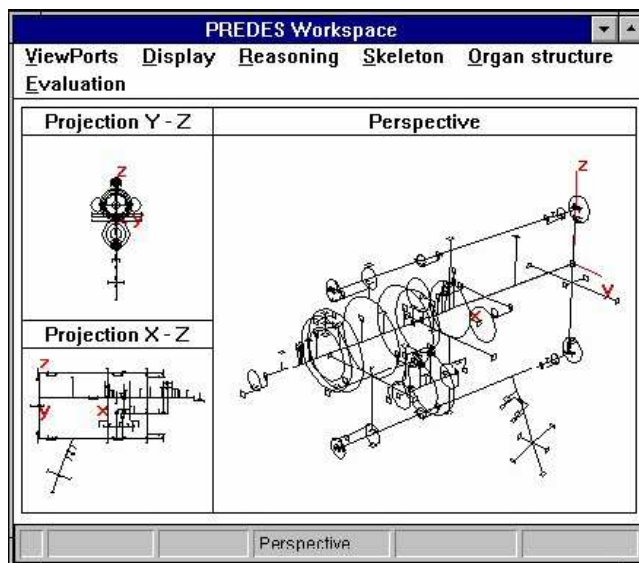
További autó és repülőgépgyártók jelentek meg saját fejlesztésű rendszereikkel. Így például 1966-ban a McDonnal-Douglas CADD nevű szoftverével, 1967-ben pedig a Ford és a Lockheed. Előbbi PDGS, utóbbi CADAM nevű rendszerével. (1.14. ábra)

Szintén az 1960-as évek közepén jelent meg a Digigraphics szoftvere, mely végre szélesebb körben hozzáférhető volt. Ez az ITEK cég egyik kutatási rendszerének jogutódja volt, és PDP-1-es számítógépeken futott. Ez a rendszer a *Sketchpad*hoz hasonlóan egy speciális fényceruzát használt bemeneti perifériaként. Azonban az igen borsos (\$500.000) ára miatt csak néhány darabot értékesítettek belőle.

Habár látszólag csak a 70-es évek elején kezdtek el a 3D szoftverek fejlesztésével foglalkozni, valójában már a 60-as évek közepén.

Ekkor fogalmazták meg először a komplex 3D görbék és felületek számítógépes modellezésének módszerét. Nevezetesen de Casteljau a Citroen mérnöke. Az ő algoritmusait felhasználva aztán Bézier publikálta a szabadformájú görbék leírásának módszerét a 60-as évek végén. Ezen algoritmusok az alapjai a mai felület és térfogat modellező szoftvereknek.

Összefoglalva az évtized technológiáját. Ebben az időben elsősorban 2D rajzoló programok születtek. Az ekkor megjelenő „3D” rendszerek valójában csak huzalváz modellek készítésére voltak alkalmasak, nem voltak képesek felületek leírására. (1.15. ábra)



1.15. ábra Huzalváz modell

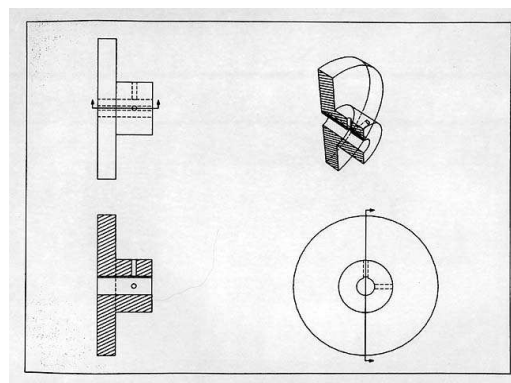
Ennek számos hátrány volt. NC pályák generálására nem minden esetben alkalmas, néhány esetben nem egyértelmű a modell. Ütközésvizsgálat korlátozottan végezhető el vele. A megjelenítő eszközök felbontása, színmélysége stb. mind borzalmas, és igen költséges. Hálózatokról még nem beszélhetünk, legjobb esetben is csak nyomtatómegosztásról. A beviteli és kiviteli eszközök billentyűzetre, digitalizáló táblákra, esetleg 2D szkennerekre, valamint tollas plotterekre korlátozódik.

Az 1970-es évek elején véget ért az első CAD/CAM szoftverek kifejlesztése, megkezdődhetett széles körű elterjedésük. A 60-as évekhez hasonlóan továbbra is a nagy autó és repülőgépgyártó vállalatok (Ford, General Motors, Mercedes-Benz, Toyota, Lockheed, McDonnell-Douglas) húzták előre a szoftverfejlesztést. A 70-es években ezen cégeknek külön CAD fejlesztő részlegük volt, ahol saját belső használatú rendszereiket készítették.

A legtöbb CAD szoftver továbbra is 2D-s volt, de megkönnyítette a munkát, csökkentette a hiba lehetőségét, és lehetőséget biztosított a rajzol újra felhasználására. Az egyik legjelentősebb ilyen program, amely ma, több mint 30 évvel később is létezik, a fent már említett CADAM (Computer Augmented Drafting and Manufacturing) nevet viseli. 1975-ben egy szintén repülőgépgyártó vállalat, az Avions Marcel Dassault megvásárolta a Lockheed-től a CADAM jogait és a forráskódot, majd ezt felhasználva létrehozta az első 3D modellező programot: a CATIA-t (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) (1.16. ábra).



1.16. ábra CATIA



1.17. ábra PADL

A 70-es évekre nagymértékben megnőtt az igény a 3D tervezőrendszerek iránt. 1975-ben K. Vesprille PhD disszertációjában foglalkozik a B-spline görbék alkalmazásával a 3D szoftverekben. Ezek mind de Casteljau és Bezier munkáin alapultak. Az első 3D szilárdtest modellező program a *MAGI Syntha Vision* nevű programja volt (1972), ami nem alkatrészek tervezésére szolgált, hanem nukleáris robbanások szimulálására. A meglévő szilárdtest modellező szoftverek túlzottan nagy számítási igénye elég nagy problémát jelentett. Ennek orvosolására két mérnökcsoport is munkához látott. Az egyiket Herb Voelcker vezette, és a CSG (constructive solid geometry) szilárdtest modellezési eljárással megalkotta a *PADL* névre keresztelt rendszert (1.1.17. ábra).

Ugyan ebben az időben Charles Lang mérnökcsoportja a *b-rep* fejlesztésén dolgozott. Ennek lényege az volt, hogy a testeket különböző geometriai és topológiai információkkal írták le. Ennek eredményeként jött létre a *BUILD* szilárdtest modellező szoftver.

Az 1970-es évek közepe, vége felé, ahogy a számítógépek teljesítménye nőtt, mérete csökkent, egyre jobb grafikus megjelenítésre voltak képesek, úgy kezdtek a CAD/CAM rendszerek egyre jobban elterjedni. Azonban a szerteágazó fejlesztési út, a sok különböző rendszer egy újabb nagy problémát szült. Az egyes rendszerek nem voltak képesek kommunikálni egymással, a rendszerek mindenféle szabványosítást nélkülöztek. 1979-ban a Boeing, a General Motors és a NIST (National Institute of Standards) megegyezett az első olyan szabványt, mely lehetővé tette az egyes rendszerek közötti adatátvitelt. Ez volt az *IGES* (Initial Graphic Exchange Standard) formátum melyet 1980-ban vezettek be. Ez a formátum a mai napig legtöbbször használt szabvány formátum. Az IGES 1.0 még csak műszaki rajz elemek átvitelére szolgált, később az IGES 4.0 / 5.0 már testmodellek átvitelére is alkalmas volt.



1.18. ábra IBM 7094 típusú számítógép az 1970-es évek elején

A 70-es években sok új CAD szoftver fejlesztő cég alakult (M&S Computing (későbbi Intergraph), MCS), sok új CAD rendszer jelent meg. A 70-es évek végére lecsillapodott az első nagy CAD/CAM hullám. A legtöbb vállalat már használta valamely kereskedelmi forgalomban kapható szoftvert, összekötve a saját fejlesztésű rendszerével. Időközben a fejlesztgetés is szép lassan átalakult kemény piaci küzdelemmé. Ez nagymértékben köszönhető a számítógépek fejlődésének, és olyan nagy computer cégek megjelenésének, mint az IBM, aki ezekben az években a Lockheed már többszörösen híressé vált CADAM szoftverét megvásárolta, és saját számítógépeivel tovább népszerűsítette. Ide sorolható még a HP mint nagy számítástechnikai vállalat. Szintén a 70-es évek végére jelentek meg új, magasabb szintű programnyelvek (pl.: C) valamint olyan egyszerűbb operációs rendszerek mint a UNIX.

Az évtized során megjelennek az első szoborszerű felületmodellezési technológiák. Megjelenik a testmodellezés koncepciója, hozzálátnak elvi alapjainak kidolgozásához. Megjelenik a volumetrikus (térfogati) testmodellezés, és a határfelület modellezés. Ezek egyszerű testekből, kocka, henger, gömb stb. állnak. Azok kivonásával, összeadásával hozhatunk létre összetettebb geometriát. Bár jelentős technológiai fejlődés ment végbe, a perifériák területén jelentős áttörés még nem történt. A kis és bemeneti eszközök, hálózatok, csoportos munkát segítő egyéb kommunikációs lehetőségek továbbra sem álltak rendelkezésre.

Az 1980-as évek elején megjelent a számítógépek egy újabb generációja, a DEC MicroVAX-a. (1.19. ábra). Ez volt az első olyan számítógép, amely speciális áramellátás és hűtés nélkül képes volt a CAD szoftverek futtatására.

1983-ra az addigra már Intergraph-ra keresztelt M&S megjelent a piacon InterAct és InterPro nevű CAD szoftverjeivel, melyek a DEC VAX és MicroVAX gépein futottak. Ekkor jöttek rá a számítógép gyártó cégek, hogy gépeiket könnyebben eladhatják különböző CAD rendszerekkel. Ekkoriban több hardver/szoftver csomagot kínáltak a gyártók.

1981-ben Avions Marcel Dassault létrehozta a Dassault System-et, és aláírt egy egyezményt az IBM-mel, melyszerint az IBM árulhatta a Dassault System CATIA szoftverét. Ez a szoros együttműködés a mai napig tart.



1.19. ábra MicroVAX

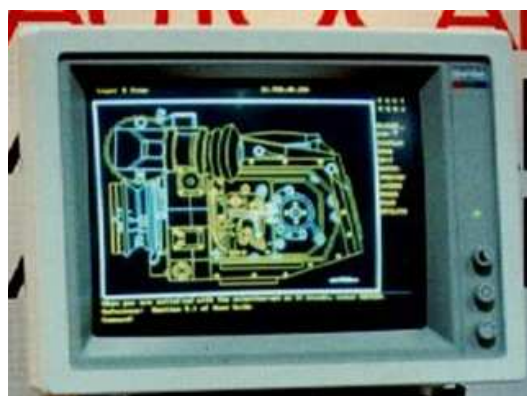


1.20. ábra UNIX munkállomás (Apollo)

Az 1980-as években a DEC megkérdőjelezhetetlenül a számítástechnika csúcsán állt az akkor már zsúfolt piacon. De egy újabb fejlesztésével biztosította magának azt első helyet hosszabb időre. Ez volt a UNIX munkaállomás (1.20. ábra).



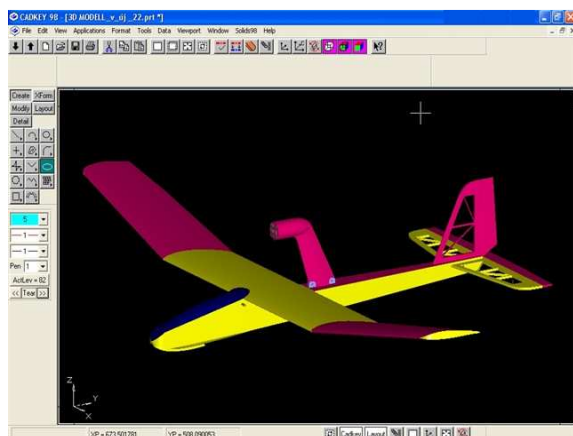
1.21. ábra IBM PC



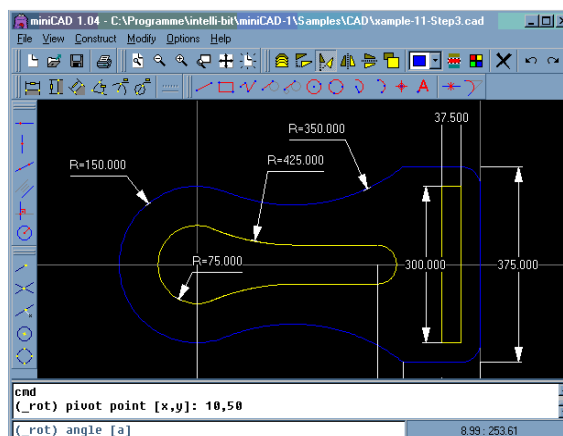
1.22. ábra AutoCAD

Ezzel megkezdődött egy új irány mely alacsony áru, kis méretű, de magas minőségű, kis karbantartási igényű, CAD rendszerek futtatására optimalizált számítógépek gyártását tűzte ki célul. 1980-ban az IBM megjelent a piacon az első PC-vel (1.21. ábra), majd 1981-ben az Autodesk az bemutatta az AutoCAD Release 1 szoftverét, mely az IBM PC-jén futott (1.22. ábra). Ebben az időben ismét megélénkült a CAD piac. 1985-ben megjelent az első 3D drótváz modellező PC-re, a CADKEY (1.23. ábra).

1984-ben az Apple is megjelent a CAD piacon Macintosh 128 gépével, majd az 1985-ben Diehl Graphsoft által kiadott miniCAD rendszerrel a legsikeresebb Mac Szoftver lett (1.24. ábra).

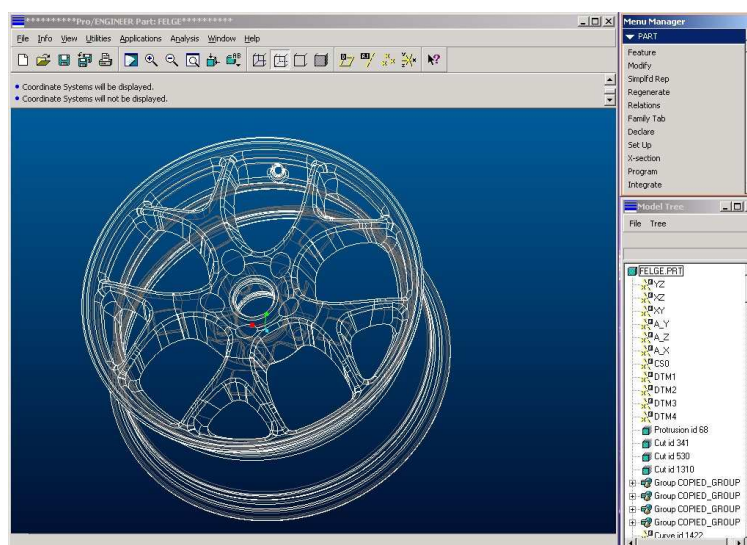


1.23. ábra CADKEY



1.24. ábra MiniCAD

1985-ben megjelent a CATIA 2-es verziója, melynek alapja még mindig a Lockheed cég CADAM szoftvere volt. Úgy látszott, hogy kezd megnyugodni a CAD piac, amikor megjelent egy új vállalat, a Parametric Technology. 1987-ben a piacon még újak számító Parametric Technology megjelent Pro/ENGINEER 3D szoftverével (1.25. ábra).



1.25. ábra Pro/Engineer

A versenytárac nem tulajdonítottak neki különösebb jelentőséget, azonban mindenki legnagyobb meglepetésére megjelenésétől számított 18 hónapon belül rekord mennyiséget adtak el a Pro/ENGINEER licenszéből. Ennek igen egyszerű okai voltak. A Pro/ENGINEER végre egy felhasználóbarát, ikonokat, legördülő menüket és más hasonlókat tartalmazó felhasználói felületet kínált. Itt jelent meg először az úgynevezett *History-tree* (modell fa) melyen lekövethetjük az egyes alaksajátosságok, kényszerek stb. egymásból következőségét, kapcsolatát. A korábbi rendszerek Fortran és assembler nyelven íródtak, melyek miatt lassúak, nehézkesek voltak szemben a Pro/ENGINEER C programozási nyelven X-Windows-ra írt programjával.

A Boeing cég még 1980-ban kezdte *TIGER 3D* szoftverének fejlesztését, ám 1988-ra világossá vált, hogy 777-es repülőgépét a CATIA rendszerrel fogja tervezni. 1989-ben a Unigraphics leváltotta *UniSolids* nevű szoftverét, és egy sokkal versenyképesebb, sokkal integráltabb rendszert dolgozott ki, az *UG/Solids*-ot. Japán kutatók szintén munkához lát-

tak a 80-as évek elején, hogy végül 1987-ben előálljanak *Designbase* nevű modellezőjükkel.

Az 1980-es évek végére a sok 3D modellezési eljárás egyesítésének hatására kialakult a ma használatos *parametrikus, asszociatív testmodellezés*. A paraméterezett geometriai modellezés a méretmegadás paramétereinek, az algebrai kifejezéseknek és geometriai kényszereknek az egyidejű kezelését foglalja magába.

1990-ben a Boeing elhatározta, hogy teljes mértékben áttér a digitális tervezésre, a papír alapú munkával teljes egészében felhagy. Ezen felbátorodva a nagy vállalatok úgy döntöttek, elkötelezik magukat valamelyik CAD szoftver mellett. A Mercedes-Benz, a Chrysler, a Renault és a Honda a *CATIA* mellett döntött. A Caterpillar a *Pro/Engineert* választotta, a General Motors pedig a *Unigraphics* rendszerei mellett kötelezte el magát.

Eljött az ideje, hogy a nagy CAD vállalatok belássák, a Pro/ENGINEER felépítése és felhasználói felülete olyan hatással volt a piacra, hogy azt az utat kell követni. Ennek következtében a rendszerek egyre jobban elkezdtek hasonlítani egymásra. Szép lassan minden rendszerben megjelent a vázlatkészítés (sketching), kényszerek kezelése (constraints-management), alaksajátosság alapú szilárdtest modellezés (feature-based solid modelling), modell fa (history tree), NURBS felületek és X-Windows alapú interface-ek.

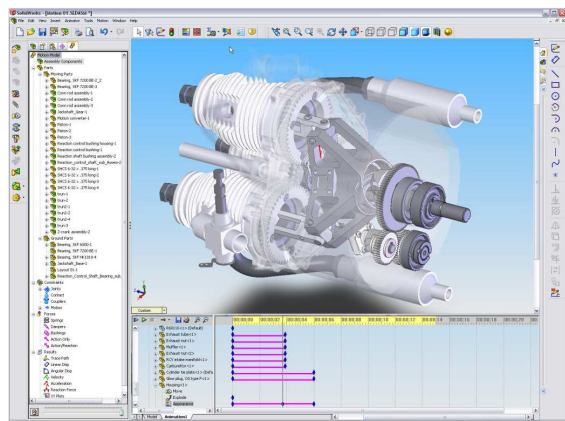
A NURBS felületek habár már korábban megjelentek, igazán csak ekkor váltak általánossá. Ezek sokkal általánosabb görbék mint a B-Spline vagy Bézier görbék. Például, míg egy Bezier kör csak egy többtagú közelítő kör, addig a NURBS görbe egy pontos kört ír le.

1990-94-ig az Autodesk AutoCAD release 13 programja soha nem látott népszerűsége telt szert. 4 év alatt 1 millió liszencet adtak el. Időközben megjelent a Windows NT operációs rendszer, melyen a legtöbb CAD szoftver már futott.

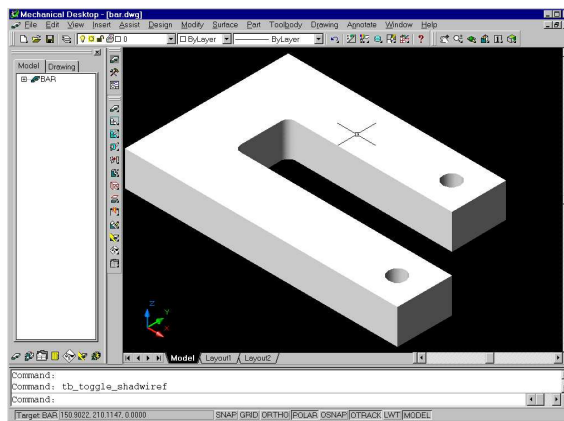
A felület és testmodellek már megfértek egymás mellett a rendszerekben. Az alaksajátosságok kezelése egyes rendszerek között még megoldásra váró probléma volt, bár már jelentek meg fordítók. A grafikus megjelenítő eszközök már bőven kiszolgálják az elvárásokat. A bemeneti eszközök nem sokat fejlődtek a kezdetek óta, billentyűzet, egér, nyomásérzékeny digitalizáló tábla állt rendelkezésre. A hálózatok már megjelentek, de még mindig komoly akadály volt a sávszélesség. A szimulációs lehetőségek még csak korlátozottan érhetők el, de már megtalálhatók a mérnöki gyakorlatban.

A Boing 777-es „papírmentes” tervezése világossá tette, hogy nem elég a CAD rendszerek modellezési eljárásait finomítani, felületet kell biztosítani a csoportos munkára, mely a nagy projektek esetén elkerülhetetlenné vált. Kezeln kellett azt a hatalmas adatbázist és rajzállományt mely egy-egy ilyen munka során keletkezett. Elkezdtek megjelenni az úgynevezett PDM (Product Data Management) eszközök, amelyek feladata, kezelni egy szervezeten belül azokat a folyamatokat és adatokat, amelyek a tervezés és gyártás során keletkeznek, valamint ezek kezelését támogatni a termék teljes életciklusa során. Ekkor még elsősorban PC-n érhető el, más rendszereken nem jellemző.

Ebben az időszakban jelent meg a piacon a SolidWorks. Ez ugyan a Pro/ENGINEER funkcióinak csak hozzávetőlegesen 80%-át kínálta, ám ára a Pro/ENGINEER árának 20%-a volt csupán. Mint minden program már ekkor, természetesen ez is parametrikus modellező program volt (1.26. ábra). A vállalatot végül 2 évvel később a Dassault Systems megvásárolta.



1.26. ábra SolidWorks



1.27. ábra Mechanical Desktop

A UNIX számítógépek ugyan erősebbek voltak, de a PC-k gyors fejlődése, és a Windows rendszeren futó CAD szoftverek olcsósága miatt, a UNIX piaci szerepe veszélybe került. 1995-been megjelent az Intel Pentium processzora, 1996-ban a Windows NT operációs rendszer, valamint 1997-ben az OpenGL-re épülő grafikus gyorsító kártyák, mely három esemény kiterjesztette a PC-k teljesítményét, elérhetővé tették a csúcskategóriás CAD rendszerek hardver elemeit, a UNIX mukaállomások végleg háttérbe szorultak.

1996-ban az Intergraph megjelent SolidEdge nevű szoftverével. Ezt igen nagy grafikai teljesítményű számítógépeikkel árulták, ám hasonlóan a SolidWorks-höz 1997-ben a Unigraphics felvásárolta.

Mivel az AutoCAD egy 2D rajzprogram volt, a vásárlók kezdtek elpártolni ettől a rendszertől, így az Autodesk rákényszerült egy minden funkciót kínáló 3D modellező kifejlesztésére, amely Mechanical Desktop lett (1.27. ábra).

Az ezredforduló előtti években az elvárások tovább nőttek a CAD rendszerekkel szemben. Modellezés terén már bőven elég funkciót kínáltak, ám a PDM és más, csoportos munkát elősegítő lehetőségek még mindig nem voltak tökéletesek, és főleg nem széles körben elterjedtek. 1997-ben a Dassault System előállt CATWeb navigátorral, mely lehetőséget adott az modellek és összeszerelések webes megjelenítésére, majd 1998 végén ezt kiegészítették ENOVIA névre keresztelt PDM II rendszerükkel, így létrehozva egy most már csoportos, országhatárokon átívelő projekt kezelésére alkalmas CAD szoftvert (1.28. ábra). Ezután sorra jelentek meg a hasonló webes és PDM kiegészítők. *iMAN* web és PDM szoftver, a Parametric Tech. *Windchill* PDM szoftvere, a HP *OpenSpace* nevű webes portálja.



1.28. ábra ENOVIA

1999-ben megjelent a piac által régóta várt CATIA v5. Az első valóban Windows-os változat, végre valóban Windows-os felhasználói felülettel, felhasználó barát ikonokkal, menükkal és sok más kényelmi szolgáltatással. Ezt az utat követte a többi vezető vállalat is, beleértve az Autodesk-et is, megjelent az első, nem AutoCAD-en alapuló szoftvere, az Inventor.

A 90-es évek végére megvalósult a csoportos munka lehetősége, megjelenik a tudásmenedzsment, az internet is eléri azt a szintet, mely alkalmassá teszi a webes munkákra, megjelenik a 3D scannelés mint új beviteli eszköz. Az alaksajátosságok végleg átvették a hatalmat, felváltották az egyszerű pontok, vonalak stb. helyét. Megjelentek a különböző végeelem és szimulációs lehetőségek, főként mechanikai, korlátozottan hőtani, mágneses és áramlástan feladatok megoldására.

Az ezredforduló után tovább folytak a munkák a LAN-on keresztüli tervezés fejlesztése irányában. A Toyota ebben is élen járt, már a 90-es évek közepén, még a „kliens-szerver” kifejezés megjelenése előtt használt ilyen rendszer, melyet TeamCAD-nek hívtak. Az Autodesk csak 2000 közepén jelent meg első web-es szolgáltatásokat nyújtó szoftverével, az AutoCAD 2000-rel. Ez lehetővé tette a rajzok web böngészőben történő megjelenítését, és minimális szintű együttműködő munkát a Microsoft Net Meeting-en keresztül.

A következő felmerülő igény, a termék-életpálya minimalizálása, a koncepció, tervezés, gyártás idejének minimalizálása.

Elsőként a Ford bizonyította be, mennyi idő takarítható meg az integrált gyártórendszerrel, amikor 2000-ben bemutatta a C3P (Ford saját integrált tervezőrendszere) rendszerben tervezett új Ford Mondeo-t. Ezzel a teljes tervezési és gyártási időtartamot a korábban szükséges idő 1/3-ára csökkentette. Az integrált gyártórendszer (ekkor már valóban erről beszélhetünk) nem csak időt takarított meg, de kiküszöbölt olyan problémákat is, mint egyes alkatrészek rossz méretezése, esetleg hiánya, amely problémák általánosak voltak. Most már azonban az alkatrészek a virtuális térben összeszerelhetők, így azonnal kiderül, ha nem illeszkedik a neki szánt helyre. Ütközésvizsgálat, és mozgás szimuláció végezhető el.

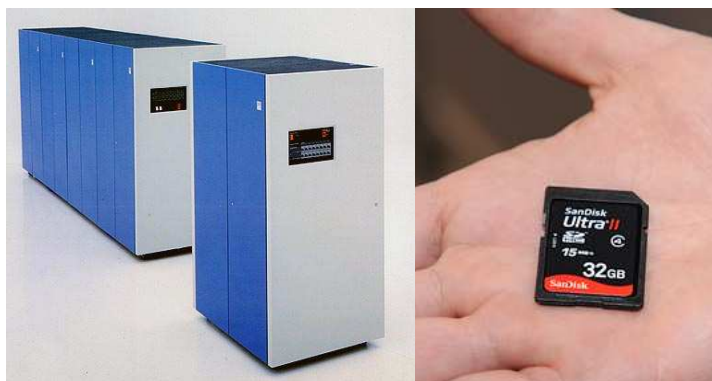
Megjelent egy új fogalom a termékfejlesztésben a PLM (Product Life-cycle Management/ Termék életciklus menedzsment). A négy nagyvállalat, a Dassault System, a Parametric Tech., az UGS, melyet 2008-ban megvásárolt a Siemens és az SDRC belátta, hogy a PLM meghatározó eleme lesz korunk mérnöki munkájának, így ezek után már nem is igazán CAD szoftverekről, inkább PLM rendszerekről beszélhetünk. A fejlesztő cégek tulajdonosi köre szinte folyamatosan változik, egyre nagyobb cégek jönnek létre, melyek mind több CAx rendszert integrálnak közös platformon, azonos felhasználó felületen, így elégítve ki a felhasználók igényeit. A cél az, hogy a tervezés során felvetődő valamennyi feladatot az adott cég termékével lehessen megoldani. Mindennapossá váltak a szimulációk és végeelem analízisek, a ki és bemeneti eszközök terén új eszközök jelentek meg (1.29. ábra).



1.29. ábra SpaceMouse és SpacePilot a 3DConnexion-től

A mai rendszerek modellezési algoritmusai szinte minden modellezési szituációval megbirkóznak. Az átjárhatóság az egyes rendszerek között a fordítóknak, és jól működő semleges formátumoknak köszönhetően biztosított. Az internet sávszélesség korlátja szinte megszűnt, sőt elterjedően vannak igen nagy sebességű mobil internet lehetőségek. Napjaink meghatározó rendszerei: a Dassault Systemes CATIA & ENOVIA, a Siemens PLM Unigraphics & iMAN és a PTC Pro/ENGINEER & WindChill rendszerei.

A hardver elemek fejlődését jól szemlélteti az 1.30. ábra, melyen egy 1980-ban csúcskategóriának számító 20GB kapacitású IBM 3380 típusú disk egység látható, melynek tömege 2.000kg volt, az ára 800.000,- \$. A másik kép egy microSD kártyát mutat, mely 2010-re mindennapossá vált, kapacitása 32GB, tömege 1g, az ára 120,- \$.



A)

B)

1.30. ábra A) IBM 3380 adattároló rendszer (1980.);
B) microSD memória kártya (2010.)

Az 1.1. táblázat a CAD rendszerek egyes elemeinek fejlődését mutatja [5.]. A legfontosabb fejlődés jelenleg a 3D megjelenítés terén várható, valamint a CAx rendszerek integrációja, átjárhatósága és a fejlesztési ciklust lerövidítő technikák kerülnek előtérbe.

1.1. táblázat CAD rendszerek teljesítőképességének fejlődése

	Múlt	Jelen	Jövő
Geometria	A modellezés gyakran igen speciális megközelítést igényel, a síkbeli elemek, felületek és szilárd testek ábrázolása külön sémákban történnek.	Csak a legkülönlegesebb alakzatok modellezése okozhat problémát, a testek és felületek modellezése együttesen létezik, az alaksajátosságok alkalmazása általánosan elterjedt.	A különböző geometriai elemek homogén ábrázolása, alaksajátosságok felismerése és parametrizálása.
Eszközök együttműködése	Egyedi fejlesztésű fordítók a funkciók szűkítésével, DXF, IGES.	Kereskedelmi fordítók, az alaksajátosságok nem kezelhetők, STEP.	Tudásalapú szándék felismerők, melyek képesek az ábrázolható komponensek kinyerésére és tetszőleges sémában történő megjelenítésére.
Grafikus és nem-grafikus adatok összefűzése	Rendszerenként eltérő módon, a geometriai fájlokban elrejtve.	Relációs kapcsolat a CAD fájlok és adatfájlok között, iparág specifikus XML megoldások, gyakori problémák.	Objektum orientált adatkezelés.
Megjelenítés	Költséges és alacsony teljesítmény, felbontás és színmélység.	Az általánosan elérhető sztenderd megjelenítő eszközök megfelelőek.	Nagyméretű megjelenítő eszközök, 3D-s megjelenítés.
Hálózatok	Nincs, esetleg nyomtató megosztás.	Szélessávú kommunikáció.	Sávszélesség nem korlátozó tényező, mobil hálózati eszközök elterjedése.
Beviteli eszközök – felhasználó/gép	Billentyűzet. Digitalizáló tábla.	Egér, speciális CAD orientált eszközök.	Mozdulat, szemmozgás felismerés.
Beviteli eszközök – dokumentumok és objektumok	Nehézkés 2D szkennelés.	Hatékony 2D-s szkennelés, szimbólum és szövegfelismerés. Számos kissé nehézkes 3D-s módszer létezik.	Teljes mértékben automatikus szöveg, szimbólum és alakfelismerés.
Kimeneti eszközök	Mátrix nyomtató, tollas plotter.	Nagy felbontású, nagy méretű nyomtatók. Lassú, korlátozott anyagválasztékú 3D kimeneti eszközök könnyen elérhetők.	Gyors, olcsó 3D prototípus eszközök, széles anyag és színválaszték, teljes értékű prototípus.
Interaktív eszközök	Nincs	Érintőképernyők, erővisszacsatolásos eszközök.	Érintésalapú interaktivitás.
Felhasználói felület	Billentyűzet, digitalizáló tábla, rendszerenként eltérő felhasználói felület, menüstruktúra.	Hierarchikus modellfa, egységesedő ikonok és menük, testre szabható felhasználói felület. Kiválasztási szándék felismerése.	Tanulásra képes felület, többszörös (különböző szempontokat figyelembe vevő) megjelenítés.
Elemzés	Költséges és nehézkes, CAD kapcsolat nincs, csak specialistáknak.	Integrált rendszerek, elérhető a tervezők számára.	Integrált, széleskörű elemző eszközök, kombinált elemzések.
Szimuláció	Ritka, specializált, nehézkes.	Számos területen elérhető, alkalmazása terjedőben (mechanika, áram-	Széles körben elterjedt, integrált, kombinált szimulációk elvégzése

		lástan, hőtan, villamos-ságtan, mágnesesség, ergonómia stb.).	napi tervezői feladat.
Koncepcionális fázis automatizálása	Nincs	Ötletgeneráló szoftverek megjelennek.	Ötletgenerálás, koncepciók újrafelhasználása, tudásalapú rendszerek széleskörű alkalmazása.
Csoportmunka	Papír alapú kooperáció, floppy.	Internet, PDM rendszerek.	Valós idejű együttműködés.
Tudásmenedzsment	Nincs	Szükségessége széles körben felismerésre kerül, egyedi megoldások léteznek.	A tervezési folyamatba teljes mértékben integrált.

1.6 Irodalom

- [1.] Horváth Imre – Juhász Imre: Számítógéppel segített gépészeti tervezés 1.; Műszaki Könyvkiadó Budapest 1996.
- [2.] Hatvany Lajos – Horváth Mátyás: Számítógéppel integrált anyag- és adatfeldolgozó rendszerek moduljainak kompatibilitásáról, Gépészeti Kutatási és Fejlesztési Társaság / MTA SzTAKI Budapest 1986.
- [3.] Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang: A géptervezés elmélete és gyakorlata; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [4.] Roth, Karlheinz: Tervezés katalógussal; Műszaki könyvkiadó Budapest, 1989.
- [5.] Dr. Kovács Zsolt: Tervezéselmélet II; Óbudai Egyetem Budapest, 2007.
- [6.] Dr. Kozma Mihály: Gép és szerkezeti elemek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- [7.] Dr. Kamondi László: Tervezéselmélet; Miskolci Egyetem, 2002.
- [8.] Gebhardt, Andreas: Rapid prototyping; Hanser Publication München 2003
- [9.] VDI Regulation No. 2221
- [10.] Dr. Horváth László: Mérnöki objektumok leírása és értelmezése virtuális terekben Óbudai Egyetem ??
- [11.] Tóth József: Merre tart a gépészeti CAD tervezés? CADvilág 2002. V.évf. 4.szám p.46-48.
- [12.] CADAZZ : www.cadazz.com