

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar
Gépszerkezettan tanszék

CAE gépészeknek

Szerkesztette:

Falmann László

Lektorálta:

Dr. Horváth Sándor

Pécs 2004.

ERFP-DD2002-HU-B-01 PROJECT 4. MODUL

Ipari háttérű alternáló képzés előkészítése a Gépészmérnöki Szakon

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
1.1. A számítógéppel segített tervezés fejlődése.....	3
1.2. Számítógépes gépészeti technikák	5
2. A számítógéppel végzett tervezés virtuális világa.....	8
2.1. A virtuális világ	8
2.2. A termékmodellek fogalma és csoportjai.....	8
2.3. Tipikus termékmodellek	10
2.4. A számítógéppel végzett tervezés technikája.....	11
3. Alaktervezés számítógéppel.....	16
3.1. Az alaktervezés informatikai alapjai	16
3.2. Geometria modellezési módszerek	17
3.3. A geometriai modellezés és a matematika	20
3.4. Szerkesztés a felhasználói felületen.....	25
3.5. Objektumok valósághű megjelenítése és felszínének tervezése	27
4. A gépészeti tervezés számítógépes módszerei.....	30
4.1. Összeállítás tervezés	31
4.2. Elemzés.....	35
4.3. Tervek dokumentálása és bemutatása	36
5. Műszaki tervezőrendszerek	38
5.1. Funkcionalitás és modularitás	38
5.2. Adatbázisok és kezelésük	39
5.3. Adatcsere formátumok és szabványok	42
5.4. Hardver környezet.....	47
5.5. Rendszerszoftver környezet.....	50
5.6. Fejlesztés felhasználói környezetben	52
6. CAxx technikák alkalmazásának szervezési kérdései.....	54
6.1. A tervezés követelményeinek elemzése	55
6.2. Terméktagolás.....	56
6.3. A konkurens termékfejlesztés	58
6.4. Tervezőrendszerek üzemeltetése.....	62
6.5. Emberi tényezők.....	66
6.6. A CAD alkalmazása során eddig szerzett tapasztalatok.....	69
7. Irodalomjegyzék.....	71

1. Bevezetés

A huszadik század utolsó évtizedeiben a világpiacokon az ipari termékek túlkínálata és ebből kifolyólag viszonylagos telítettség állt elő. Ezzel együtt szigorúbbá váltak a termékekkel és a termeléssel szembeni elvárások. Rövidebb idő alatt kell piacra juttatni a termékeket a legkisebb költségráfordítással.

Az újszerű termékek iránti igény és a termelés vagy szolgáltatás nyereségorientáltsága alapján véve öngerjesztő folyamatot hozott létre, – ami bár időnként megtorpanások is tapasztalhatók – ösztönzően hat a termelési technológiák korszerűsítésére is. Ebből a helyzetből adódóan az ipari vagy ipari jellegű termékek gyártásának és szerelésének korszerűsítése mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a tervezésük és a fejlesztésük.

A tervezés különösen fontos terület, jelentősen befolyásolja a termékek megvalósításával együttjáró és az árban tükröződő költségeket. A tervezéshez alapvetően információfeldolgozási folyamatok kapcsolódnak, amelyek számítástechnikai eszközökkel és módszerekkel jól támogathatók, fejlesztése ily módon szervesen összefonódott a számítástechnikai eszközök fejlesztésével és alkalmazásával.

A tervezői tevékenység megoszlásának vizsgálata egyértelműen rámutatott arra, hogy a tervezési idő legnagyobb részét a megtervezés, azaz a léptékhelyes főterv kidolgozása, az alkatrészek megrajzolása és a darabjegyzék összeállítása, valamint a változtatások elvégzése és átvezetése teszi ki. A tervező napi munkájának jelentős részét képezik még a szükséges információk összegyűjtése, a számítás, méretezés és ellenőrzés, amelyeket a számítógéppel segített tervezés körébe szintén be kell vonni.

Számos vizsgálat alapján a konstrukciós tervezésre a következő megállapított adatok jellemzők:

- A termék gyártási költségének kb. 75%-át a konstrukciós tervezés folyamata határozza meg.
- A termék átfutási idejének kb. 50%-át a tervezés és a gyártás-előkészítés teszi ki.
- A termelésre ma a magasfokú automatizáltság jellemző. A tervezés ehhez képest nagymértékben elmaradt.
- Egy termelői munkahely kialakítása átlagosan 20 000...50 000 EUR, a tervezői munkahely költsége ezzel szemben kb. 3-5000 EUR.

A jegyzet a rendkívül sokféle formában megjelenő konstrukciók tervezésének számítógépes támogatására összpontosít, melyekre egységesen objektumokként hivatkozunk. Az objektumok körét az általános értelemben vett gépekre, berendezésekre, valamint alaksajátosságokkal és egyéb fizikai tulajdonságokkal (térfogat, tömeg, anyag, szín, optikai tulajdonságok stb.) rendelkező fogyasztási termékekre szűkítjük le. A valós világ objektumainak számítógépi leírását nevezzük *modellelésnek*.

1.1. A számítógéppel segített tervezés fejlődése

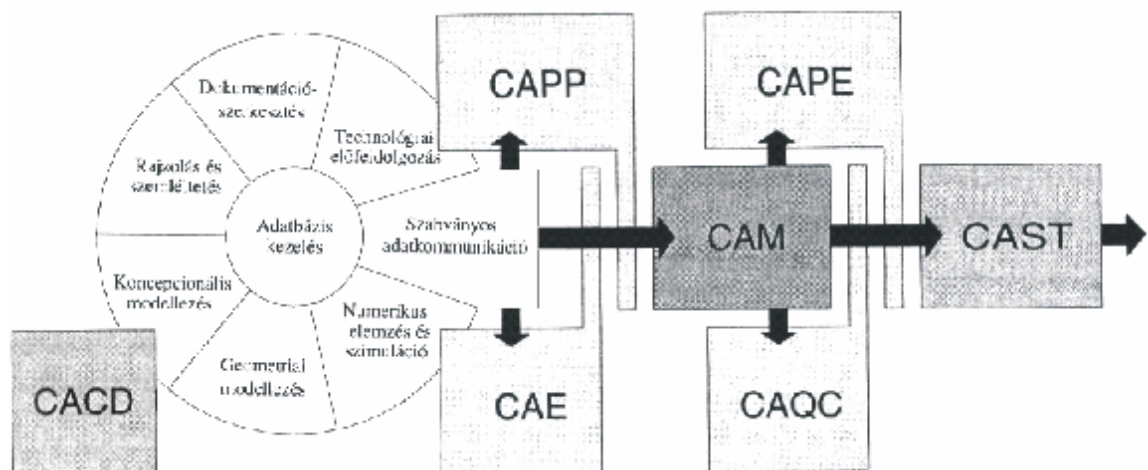
A számítógéppel segített tervezés és termékfejlesztés (CAD/CAE) gyökerei a hatvanas évek elejére nyúlnak vissza. Ma már nehéz eldönteni, hogy a CAD/CAE kialakulásában a számítógépek és a perifériáik fejlődése kapcsán előállt lehetőségek hasznosítása vagy a tervezési tevékenység fejlesztésének igénye motiválták-e erősebben. A számítástechnikai eszközök az erőforrások biztosításán, a tevékenységek hatékony végrehajtását elősegítő módszerek és eljárások a módszertan fejlődésén keresztül járultak hozzá ahhoz, hogy a számítógéppel segített tervezés technológiává alakuljon.

Fejlődésében felismerhető néhány alapvető mozzanat. Eleinte alapvető problémája az ember és számítógép közötti hatékony kapcsolat megteremtése volt. A kutatók és fejlesztők csak jól behatárolt grafikus (pl. műszaki rajzolás) és numerikus (pl. mérnöki számítások, adatbank-szervezés) részfeladatok megoldásával foglalkozhattak. A hetvenes évek elején a számítógépes erőforrások teljesítőképességének növekedése már a tervezői munka számára hatékonyabb támogatást nyújtó módszerek (például a huzalváz- és felületmodellezés, a geometria elemi felbontásán alapuló analízis) kidolgozását is lehetővé tette. A hetvenes évek második felében a tervezési tevékenységek támogatására a hagyományos tervezésből közvetlenül le nem vezethető, újszerű számítógépes eljárásokat is kidolgoztak. Így pl. jellegzetes kutatási és fejlesztési irányvonalként megjelent a háromdimenziós geometriai modellezés, amelyre alapozva különböző szoftvereszközök integrálását lehetett megoldani.

A nyolcvanas évek első felében a számítógépes támogatás új megközelítését, az alaksajátosság-orientált tervezés koncepcióját alakították ki. A mesterséges intelligencia kutatás kapcsán kidolgozott módszereknek köszönhetően, a fejlett vagy tudásalapú CAD-rendszerek gondolata fogalmazódott meg.

A számítógéppel segített tervezés és termékfejlesztés történetében csak a nyolcvanas évek végén merült fel a tervezés számítógépes támogatásának az a formája, mely a modell- és adatszintű integrálás mellett a tervezéshez kapcsolódó egyéb termékmegvalósítási tevékenységek folyamatszintű integrálását tűzte ki célul. E megközelítés a *konkurens termékfejlesztés* megjelölést kapta, és olyan integrált tervező-, fejlesztő- és kivitelezést előkészítő környezetek kialakítását vette célba, amelyek a vállalatra és a termék teljes élettartamára vonatkozó információk kezelését lehetővé teszik.

A fejlesztések egyik része a számítógéppel segített tervezéshez tartozó résztechnológiákat foglalja egységbe, ez a belső integrálás (CAD). Ez azonban csak egyike az ipari környezetben alkalmazható számítógépes technológiáknak, szükségszerűen beleilleszkedik azok rendjébe. Ebből következik külső integrálása, a másik fejlesztendő terület.



1.1. ábra. A számítógéppel segített technológiák kapcsolódásai

A kapcsolódás modelljét, az ún. *technológia vonatot* az 1.1. ábra mutatja. Ennek kezdetén a számítógéppel segített koncepcionális tervezés (CACD) áll. Ezt követi a számítógéppel segített tervezés (CAD), amely 2D/3D-rajzolás és szerkesztés vagy 3D-modellezés formájában valósulhat meg. A CAD geometriaorientáltságát a számítógéppel segített termékfejlesztés (CAE) elemzési lehetőségekkel egészíti ki. A CAD és a számítógéppel segített gyártás (CAM) között az átmenetet a számítógéppel segített folyamat- és

művelettervezés (CAPP) teszi lehetővé. A CAM szorosan összekapcsolódik a számítógéppel segített minőségbiztosítással (CAQC), valamint a gyártási erőforrások és az anyagszükséglet biztosításában, továbbá a gyártás átfutásának ütemezésében érintett, számítógéppel segített termelés tervezésében (CAPE). A technológiai vonat utolsó eleme a logisztikai feladatok végrehajtását támogató, számítógéppel segített raktározás és szállítás (CAST).

Gyakran találkozhatunk azzal az elnagyolt véleménnyel, hogy a számítógéppel segített tervezés vállalati bevezetése és alkalmazása csak pénzügyi kérdés. Bár a fedezetként rendelkezésre álló pénzeszközök kétségkívül döntő szerepet játszanak az ezirányú műszaki fejlesztés megalapozásában, önmagukban nem elegendők. Mára már egyértelművé vált, hogy a számítógéppel segített tervezés vállalati meghonosítása és gazdaságilag eredményes hasznosítása szervezési, személyi és munkamódszertani feltételek egyidejű teljesítését is igényli. A bevezetést általában az is megnehezíti, hogy a termelési vagy szolgáltatási kényszerben lévő vállalatok csak a fokozatosság elve alapján járhatnak el, hiszen a radikálisan bevezetett rendszerek és módszertanok – bármennyire előremutatók is – átmenetileg meg is béníthatják a vállalat tevékenységét. Emiatt hangsúlyozzák a szakértők, hogy a vállalatoknak a számítógéppel segített tervezés bevezetését és továbbfejlesztését az egyéb termelési technológiák fejlődésének ütemével összhangban kell végrehajtaniuk.

1.2. Számítógépes gépészeti technikák

A tervezés a magyar nyelvben gyakran használt szó, irányultsága tekintetében azonban bizonytalan. Az angol, de más nyelvek is, különböző szavakkal fejezik ki a tervezés alapvető formáit. A *design* vagy a *konstruieren*, valamint a *planning* vagy a *planung* szavak egyértelműen utalnak arra, hogy az objektumok létrehozását előkészítő vagy a folyamatok/tevékenységek kívánt lefolyását meghatározó tervezésről van-e szó. Nyelvünk sajátossága miatt az objektumokra irányuló tervezést konstrukciótervezésnek, míg a tevékenységekre irányuló folyamat tervezést nevezük. A két tervezési részterület céljainak különbözőségeiből adódóan számítógépes támogatásuk is többé-kevésbé eltérő eszközöket és módszereket igényel.

1.2.1. Termékkonceptió-kialakítás

A koncepciók kialakítását a számítógépek az információk rendszerezett feldolgozásával, illetve rendelkezésre bocsátásával támogathatják. Ennek érdekében egyrészt az elektronikus kommunikáció különböző formáira, másrészt adatbázis-kezelési szolgáltatásokra van szükség. A számítógépes hálózatokon keresztül kapcsolatot lehet tartani a piacszervezéssel foglalkozó, valamint a termékjavaslatok kidolgozásában, a termék megvalósítás lehetőségeinek és feltételeinek elemzésében érintett, esetenként eltérő helyszíneken tevékenykedő vállalati munkatársak között. Munkájukat segíti, ha közvetlen hozzáférésük van a korábbi termékekre vonatkozó adatokhoz, a beépülő kereskedelmi termékek műszaki és költségadatait tartalmazó, a vállalati termelőkönyvet és kapacitáskihasználást leíró, az ajánlati terveket tartalmazó vagy akár a konkurens gyártók termékeinek adatait magában foglaló adatbázisokhoz. Az információfeldolgozás folyamatában táblázatkezelő, grafikus szemléltető és kiadványszerkesztő szoftvereszközök is eredményesen alkalmazhatók.

1.2.2. Konceptcionális tervezés

A konceptcionális tervezés kezdetén a termékek még absztrakt formában jelennek meg, később viszont már számítógépes modell formájában is létezhetnek. A rendelkezésre álló

szoftvereszközök egy része mesterséges intelligenciás módszereket alkalmaz annak érdekében, hogy a tervezőket koncepcionális megoldás-javaslatok előállításával segítse. A különféle sématervező, funkcionális modellező, elrendezés-tervező, kinematikai tervező, forma- és színterv-kidolgozó, működésszimulációs és látványtervező szoftvereszközök alkalmazására számtalan példa mondható. A koncepcionális tervek szemléltetésében és dokumentálásában már jelentős támogatást adnak a huzalvázás modellező- vagy rajzolószoftverek. A gyakorlatban elterjedt diszpozíciós és ajánlati rajzok kidolgozását a vállalatok többsége célszoftverrel oldja meg.

1.2.3. Konstruktószintézis

A konstruktószintézisben a számítógépes geometriai és összeállítás-modellező módszereket lehet hasznosítani. A termék egészét és komponenseit durvábban vagy pontosabban közelítő huzalváz-, felület- vagy testmodellekkel tudjuk szemléltetni. Rúdszerkezetek, csőhálózatok és hasonló gépészeti berendezések geometriai tervezésében általában a huzalváz-modellezés is kielégítő eredményt ad. A gépészeti alkatrészek 3D geometriai alakjának explicit leírásából adódó előnyök kihasználása érdekében a test- és palástmodellezést célszerű alkalmazni. Az alaksajátosságokra alapozott konstruktómodellezéssel elérhetjük, hogy a geometriai adatokkal egyidejűleg a gyártási műveletek tervezését elősegítő információkat is tároljunk a modell adatbázisában.

1.2.4. Konstruktóelemzés

Napjainkban a konstruktó szilárdsági, termikus, áramlástan és egyéb célú elemzésére célszoftvereket és általános rendeltetésű szoftvereket egyaránt alkalmaznak. A korszerű geometriai modellezőszoftverek többsége a szükséges műszaki adatok (térfogat, tömegközéppont helye, felszín, tehetetlenségi nyomaték stb.) számítását igény szerint végrehajtja. Az általános célú elemzőszoftverek legtöbbje a végelem-módszert alkalmazza, ami statikus, dinamikus és működési folyamat elemzésekre is lehetőséget ad, szabványosított adatinterfészekon keresztül összekapcsolva a geometriai modellezőeszközökkel. A méretek meghatározása hatékonyabban parametrikus optimalizáló szoftverekre támaszkodva lehetséges.

1.2.5. Konstruktó-részlettervezés

A részlettervezés rajz- és modellorientált formában is végrehajtható. A gyártási, szerelési és ellenőrzési rajzok kidolgozásához szükséges funkciókat a kereskedelmi forgalmazású rajzórendszerek biztosítják. A munka hatékonyságát növeli, ha szabványos, parametrikus elemkönyvtárak és rajzi szimbólumkönyvtárak is rendelkezésre állnak. Amennyiben az alkatrészek részlettervezése test-, palást- vagy felületmodellező-rendszerrel történik, a geometriai adatok közvetlenül felhasználhatók az NC-megmunkálási tervek kidolgozásában. Az alaksajátosság-orientált módszerekkel létrehozott modellek a geometriaiaknál magasabb szintű információk továbbadását teszik lehetővé. Általában a részlettervezés szakaszában történik meg a konstruktószintézis szakaszában létrehozott elrendezési és összeállítási rajzok vagy előzetes összeállítás-modellek véglegesítése. Ehhez rajzórendszerek, illetve a geometriai alak mellett az alkatrészek összeépülési struktúráját és a kapcsolódásuk jellemzőit is leíró összeállítás-modellezők használhatók. A részlettervezés során készülnek el az alkatrészejegyzékek, amelyeket szöveges formátumban szövegszerkesztővel vagy táblázatkezelővel lehet összeállítani, illetve az összeállítás-modellezők automatikusan adott formátumban előállítják.

1.2.6. Termékértékelés

A termék egészének és alkatrészeinek gyárthatóság és szerelhetőség szempontjából történő ellenőrzésére kereskedelmi szoftverek állnak rendelkezésre. Ugyanez mondható

el az alkatrészek optimális gyártási és szerelési költségeinek ellenőrzéséről. A funkcióteljesítés ellenőrzése szorosan összefonódik a működés kiértékelésével, amit a számítógépes modellen (virtuális prototípus), vagy a termék prototípusán hajtanak végre. A számítógéppel vezérelt gyors-prototípusgyártási eljárásokkal a mintadarab gyorsan előállítható. Összetett szerkezetek és berendezések esetén a vizsgálatokat működési folyamat szimulációs módszerekkel, fizikai prototípus gyártása nélkül hajtják végre. Már a fizikai modellek és a prototípusok részleges kiküszöbölésével is jelentős költségcsökkentés érhető el, ami az egyik legdöntőbb érv az egyébként számottevő bekerülési költségű számítógéprendszerek alkalmazása mellett.

1.2.7. Termékdokumentálás

A hagyományos dokumentálási tevékenységek célja különböző rendeltetésű, papírhordozójú szemléltetések és leírások létrehozása. Ha a rajz számítógépes szoftverrel készül, a dokumentálás lényegében a rajzfájlok kirajzoltatását jelenti. Modellezés esetében további lehetőségek vannak igényes dokumentációk kidolgozására. A testmodellek alapján takart felületű vagy színes, fényforrástól függő megjelenítésű, felületárnyalt képek állíthatók elő. Ezek a termékek fejlesztési és felhasználói dokumentációiba, valamint reklámanyagokba is beszerkeszthetők. Termékleírások, gépkönyvek és egyéb termékíró dokumentációk szövegszerkesztő vagy kiadványszerkesztő szoftverekkel készíthetők. A statisztikai kimutatások és végrehajtási utasítások kidolgozhatók táblázatkezelőkkel, illetve ütemezőszoftverekkel. A dokumentációknak azonban nem feltétlenül papírhordozón kell megjeleníteniük. Gépkönyveket például gyakran készítenek multimédiás eszközökkel és forgalmazznak CD-lemezeken. A papírmentes gyár koncepciójának megvalósítását az támogatja igazán, ha a gyártás előkészítésében és végrehajtásában érintett részlegek között az adatállományok közvetlenül vagy legalább – az ember által is értelmezhető – semleges formátumú (pl. IGES vagy STEP) fájlokban adódnak át. A szabványos formában való kezelés az utófeldolgozást és az archiválást egyaránt megkönnyíti.

2. A számítógéppel végzett tervezés virtuális világa

Az alkotó tervező képzeletében kialakul egy világ, amelyet az utóbbi századok során papírra vetve próbált mások számára is megérthetővé és megismerhetővé tenni. Hány-szor szeretne volna egy műszaki rajz vonalait életre kelteni, hogy az a térben, valóságában jelenjen meg és elmondjon magáról mindent, amire csak szükség lehet. A számítógépes tervezés mindezt napjainkban megvalósítja.

2.1. A virtuális világ

Mind gyakrabban hangzik el a *virtuális* szó a számítógépes technológiák kapcsán. A való élet tárgyainak, élőlényeknek és az ezekkel kapcsolatos jelenségeknek és folyamatoknak mind valósághűbb, de legalábbis a célnak megfelelő számítógépi leírására, és ennek az ember számára alkalmas módon való megjelenítésére és valóságos berendezések vezérlésére való felhasználására való törekvés az elmúlt években lélegzetelállító fejlődést hozott, alapvetően megváltoztatva egyebek között az iparban dolgozó szakemberek munkáját, és legfőképpen azokat a kihívásokat, amelyekkel nap, mint nap szembe kell néznie.

Nézzük meg, hogy melyek a valóságos világ mechanikai tervezésének azon az objektumai, jelenségei és folyamatai, amelyeket a számítógépes tervezés jelenlegi fejlettsége mellett a számítógépben le tudunk írni, és amelyek így a mérnök számára hasznosítható virtuális világot alkotják. Egy ilyen modell-készletnek alkalmasnak kell lennie arra, hogy segítségével mechanikai rendszereket gyártsunk, elemezzünk, működésüket a valóságosnak megfelelő körülmények szimulálásával vizsgáljuk és valósághűen, működés közben bemutassuk, akár a tervező képernyőjén, akár valamely szűkebb-szélesebb szakmai kör számára való vetítésen, akár nagyobb közönség számára hozzáférhető médiumban. Természetesen velük a hagyományos, papíralapú és az újabban terjedő elektronikus dokumentációk egyaránt elkészíthetők. A szükséges hardver és szoftver a modellezéssel szemben támasztott funkcionális és egyéb igényektől függően igen széles skálán mozog. A piacon ennek megfelelően a termékek óriási választéka áll rendelkezésre.

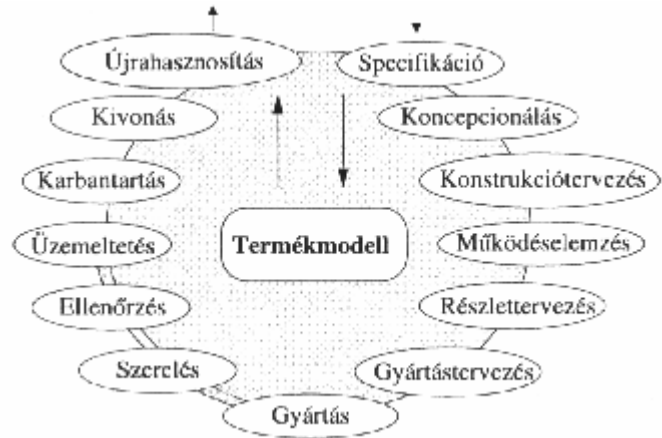
Napjainkban a *termékmodell* elv hordozza a számítógépi modellezés korszerű alapgon-dolatát. A termékmodellben leírható valamennyi információ, amelyre a termék első vázla-tának a megszületésétől a megsemmisítéséig bármely feladathoz szükség lehet. Ez a gya-korlatban nem azt jelenti, hogy minden termékhez ilyen komplex modellt készítenek, az egyes konkrét termékmodellek tartalmát egyedi döntések határozzák meg. A Nemzet-közi Szabványügyi Szervezet (ISO) keretében meglévő, korábban bevált szabványokat egyesítve fejlesztik a STEP (Standard for Exchange of Product Model Data, ISO 10303) termékmodell szabványt. Az Európai Közösség támogatásával az ESPIRIT program szintén termékmodell-szabvány kifejlesztésére irányult.

2.2. A termékmodellek fogalma és csoportjai

A számítógépes erőforrások fejlődése és a kifejlesztett modellezőmódszerek választé-kának bővülése lehetőséget teremtett arra, hogy a modellezésbe a termék egészét, sőt a tervezés folyamatát is bevonják. Tekintve, hogy a tervezési folyamat struktúráját és tar-talmát elsősorban a termék határozza meg, az eddigi kutatások és fejlesztések közép-pontjában a termékmodellezés módszertanának kialakítása állt. A gépészeti termékek számítógépes modellezésének célja ugyanis olyan komplex, többfunkciós, a benne foglalt adatsémák tekintetében integrált termékmodellek létrehozása, amelyek a gépészeti

termékeket a létezésük különféle szakaszaiban a lehető legteljesebb formában ragadják meg. A termék életútjának különböző szakaszait és a termékmodell elvi kapcsolatát a 2.1. ábra mutatja. Adatfeldolgozási szempontból a termékmodell a termékhez kapcsolódó műszaki és gazdasági adatok létrehozásának, feldolgozásának, tárolásának és szemléltetésének eszköze.

A termékmodell nem egyetlen megbonthatatlan (monolitikus) egység, hanem a modell által lefedett életrészek és az azokban igényelt és lehetséges feldolgozásoknak megfelelően részekre tagolt. A termékmodell életrésztől és feldolgozástól függő részeit *aspektus* (alkalmazási) modelleknek nevezik. Jóllehet az aspektusmodellek önmagukban is teljesek, egymáshoz szervesen kapcsolódnak és így alkotják az integrált termékmodellt. A termékmodellekkel



2.1. ábra. A termékmodell és az életrészek kapcsolata

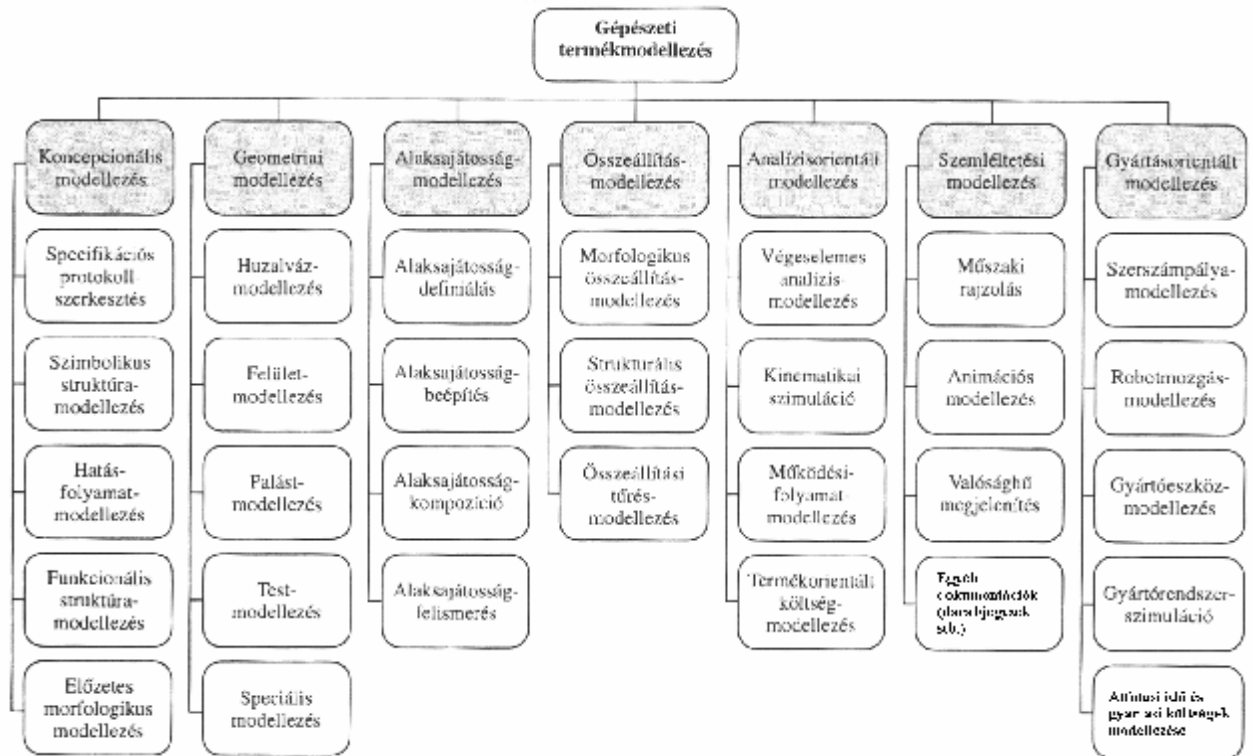
és megvalósításukkal szemben elvárt fontosabb követelmények a következők:

- A terméket a lehetséges legtöbb életrész szempontjából jellemezzék, foglalják rendszerbe, továbbá formalizálják a fejlesztéshez és a kivitelezéshez szükséges információkat.
- Biztosítsanak átjárhatóságot az aspektusmodellek között, és tegyék lehetővé az egyes életrészekre vonatkozó adatok egymás közötti átalakítását.
- Tegyék lehetővé az információknak a tervezési folyamat adott szakaszában végzett feldolgozások számára leginkább megfelelő formájú kifejezését.
- Adjanak lehetőséget a CAxx-rendszerek egymással való együttműködésének megvalósítására, valamint modell- és adatszintű kommunikációjára.
- Segítsék elő átfogó termékadatbázis létrehozását, és támogassák a termékadatok archiválását.

Ezen követelmények alapján a termékmodellek a termékdefiníciós adatok formális leírása, a CAxx-rendszerek modellszintű összekapcsolása, a termék-előállítási tevékenységek közötti adatforgalom megtervezése, az egységesített adatkezelés, valamint a strukturált archiválás szempontjából egyaránt fontosak. A terméket jellemző, tartalmilag és logikailag rendezett információk mellett a termékmodell specifikus feldolgozási eljárásokat is magában foglal. A termékmodell a kidolgozása alatt és feldolgozása során változik. Ugyanakkor a jól megszerkesztett termékmodellnek a termékről olyan átfogó leírást kell adnia, amelynek alapján korábban nem definiált aspektusmodellek is származtathatók az integrálás megtartásával.

Informatikai szempontból a termékmodellből kinyerhető információk a következők: a termékre vonatkozó specifikációk, a termék strukturális leírása, a működési határfolyamatok leírása, a formalizált működési funkciók, a termék geometriai leírása, a terméken felismerhető alaksajátosságok, a szerkezeti elemek morfológiai kapcsolatai, igénybevételek és egyéb származtatott mérnöki jellemzők, fejlesztési és kalkulált kivitelezési költségek, szemléltetési információk, kivitelezés-orientált információk.

A termékmodellelésnek a következő részterületeit, azaz aspektusmodell-csoportjait értelmezzük (2.2. ábra).



2.2. ábra. Termékmodellelési csoportok

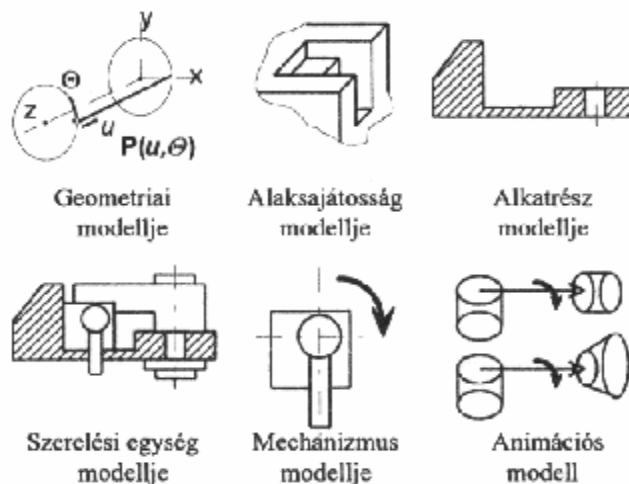
2.3. Tipikus termékmodellek

Vegyük sorra a tipikus modelleket, amelyek a jövőben várhatóan mind átfogóbb termékmodellek részeit fogják alkotni, és amelyek többé-kevésbé megvalósult integráltságát a jelenlegi gyakorlatban alkalmazott műszaki tervezőrendszerekben megvalósítható integráltság határozza meg. Az integráltság azt jelenti, hogy az egyes modellek közötti informatikai kapcsolatokat le lehet írni. A szabványosítási törekvések ellenére napjainkban nagyon sok tervezőrendszer adatbázisa nem szabványos. Amennyiben az alakot leíró geometriai modell két rendszerben egyaránt az ACIS szabványon alapul, ez önmagában még mindig nem jelenti azt, hogy az egyik adatbázis tartalma közvetlenül áttölthető a másik rendszer adatbázisába. Különböző műszaki tervezőrendszerek között az adatátvitelt mindig gondos vizsgálatnak kell alávetni, még akkor is, ha a két fejlesztő közös munkájának eredményeként a modelladatok átvitelére speciálisan erre a célra kifejlesztett programtermék áll rendelkezésünkre.

A termékmodellről már tudjuk, hogy az valójában az összes lehetséges modellt képes magába foglalni. Az alakot matematikailag a *geometriai* modell írja le. A geometriai modell geometriai elemeket, a geometriai elemek kapcsolatát és az anyag elhelyezkedését írja le. A geometriai elemek függvényekkel leírható egyenes és görbe vonalak, valamint sík és görbült felületek. Az *alaksajátosság* modell tartalmazza valamely alak műszaki jelentésével és geometriai modelljével kapcsolatos információkat. Az alkatrész modellje az alaksajátosság modellhez hasonlóan alkalmazás-orientált és alaksajátosság vagy geometriai modell elemekből épül fel. A mechanikai termékek a szerelés folyamán meghatározott alkatrészek összekapcsolásával jönnek létre, erről a *szerelési egység* modellje tartalmaz információt. A szerelési egység mozgásképességének és működőképességének az

ellenőrzéséhez további információkat kell elhelyezni a modellben az alkatrészek kölcsönös elmozdulásának típusáról és lehetőségeiről. Ezt a többletinformációt adja a *mechanizmus* modellje, amely így kapcsolódik a szerelési egység, az alkatrészek, az alkatrészen elhelyezett alakajátosságok, végül pedig a geometriát leíró modellekhez. Látható, hogy mind több információ tárolása válik szükségessé ugyanabban a modell-komplexumban, ugyanakkor a termék modellezése akár csupán geometriai modellre is szorítkozhat (2.3. ábra).

A modell térben elhelyezett, geometriailag leírt objektumok helyzetének és alakjának programozott időbeni változtatását animációnak nevezzük. A változás (frame-ek) fázisok sorozatán keresztül valósul meg. A mozgás x , y és z koordinátairányú eltolások és e tengelyek körüli elfordulások eredményeként jön létre. A tőlünk távolodó testet az animáció egyre kisebbnek láttatja, a megjelenítési méretarányt változtatva a választott vetítési módtól (axonometria vagy perspektíva) függően. Végül a test alakja is módosítható. Ezeket az információkat az *animációs modell* tartalmazza.



2.3. ábra. Tipikus modellek

A geometriai modellel leírt alak felszínének valóság-hű leírása elsősorban a *valóság-hű megjelenítést* szolgálja, azonban az információk elemzési célra is felhasználhatók. A felszín megjelenését annak optikai anyagjellemzői, színe, textúrája, a ráhelyezett képek és a világítás határozzák meg, így annak modellje ezeket az információkat tartalmazza. A valóság-hű megjelenítés ezért csak a fényforrások modelljének ismeretében lehetséges. Az időbeni fényváltozások animációval modellezhetők.

A fent vázolt modelleket alkotó elemeket a műszaki tervezőrendszerekbe épített eljárások hozzák létre, helyezik el az adatbázisokban, módosítják és használják fel további elemek létrehozásához, szimulációhoz, megjelenítéshez vagy dokumentáláshoz.

A tervezők – akik lehetnek a világ különböző pontjain – csoportokban, projektek megvalósításán dolgoznak. A tervezői csoportmunkát kifejezetten e célra kifejlesztett számítógépi módszerek és szoftvereszközök támogatják, az általános célú felhasználásra rendelkezésre álló Internet és Intranet szoftvereszközökkel együtt. Az elkészült modellt a tervezők a csoport többi tagja számára, megvitatás céljára közreadják. A módosítási javaslatokat úgynevezett *annotációként* kapcsolják a modellhez. Az ilyen megjegyzéseket vagy jelzeteket a számítógépes eljárások tartalmilag nem értelmezik, csupán megjelenítenek.

2.4. A számítógéppel végzett tervezés technikája

A számítógépen végzett tervezést hallva még ma is sokan a számítógépen végzett műszaki rajzolásra gondolnak. Mások valamiféle alkotó szerepet tulajdonítanak a számítógépnek. Azonban gyorsan meg kell állapítani azt, hogy a mai számítógéppel segített tervezésnél az alkotómunkát a számítógép előtt ülő tervező végzi, vagy más tervező alkotó munkájának eredményét használja fel a terv létrehozásában. Amit a számítógép levez a

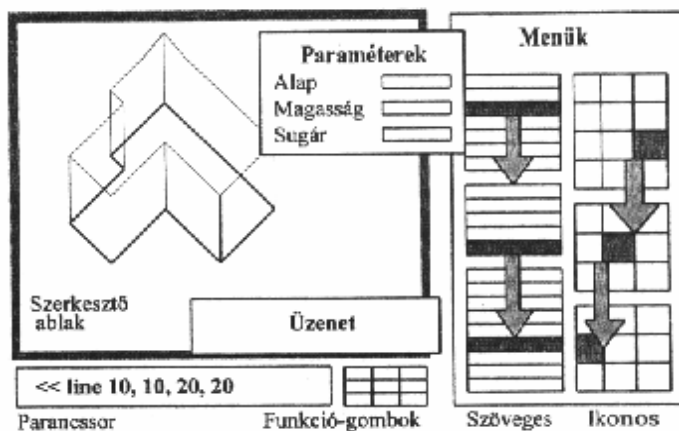
tervező válláról az a rutinmunka, amely a számítógép nélkül végzett tervezés 90%-át is kiteheti. Ezenfelül a számítógép fokozatosan kisebb-nagyobb ellenőrzési és döntéstámogatási feladatot is átvállal.

A hagyományos tervezésben az alkatrészeket és szerkezeteket (objektumokat) rendszerint több összefüggő nézettel szemléltetik. A kezdeti számítógépes tervezőrendszerekkel dolgozó tervező a képernyő síkjában, interaktív grafikus módszerrel, síkbeli vetületeket szerkesztett. A számítógépes rajzoló eljárások vonalak, vonalláncok, méretvonalak, jelölések, vonalkázás (sraffozás) stb. létrehozását és módosítását tették lehetővé. A rajzot meghatározott formátumú adatállomány formájában tárolták, így az bármikor előhívható, módosítható, papíron kirajzolható, hálózaton keresztül más számítógépbe továbbítható volt. Tipikus rajzelemeket, rajzok részleteit tárolhatták későbbi felhasználásra. Mindez a kézi, rajztáblán végzett rajzoláshoz képest óriási előrelépés (időmegtakarítás a rutineljárásoknál), de a számítógépben csupán egy rajz adatai voltak.

Az ember háromdimenziós látásával térben képes látni síkban rajzolt alkatrészt. Azonban a számítógépi tervező eljárások számára a háromdimenziós alkatrésztől a rajzadatokból elő nem állítható információkra is szükség van, a tárolt rajzadatok leíróképessége nem elegendő. Ehhez az alkatrész háromdimenziós leírására van szükség.

Mielőtt rátérnénk a három dimenzióban való tervezésre, meg kell ismerkedni a műszaki tervezőrendszerek grafikus felhasználói felületével, az interaktív, más szóval párbeszédess szerkesztési móddal, valamint a modellter alapvető jellemzőivel.

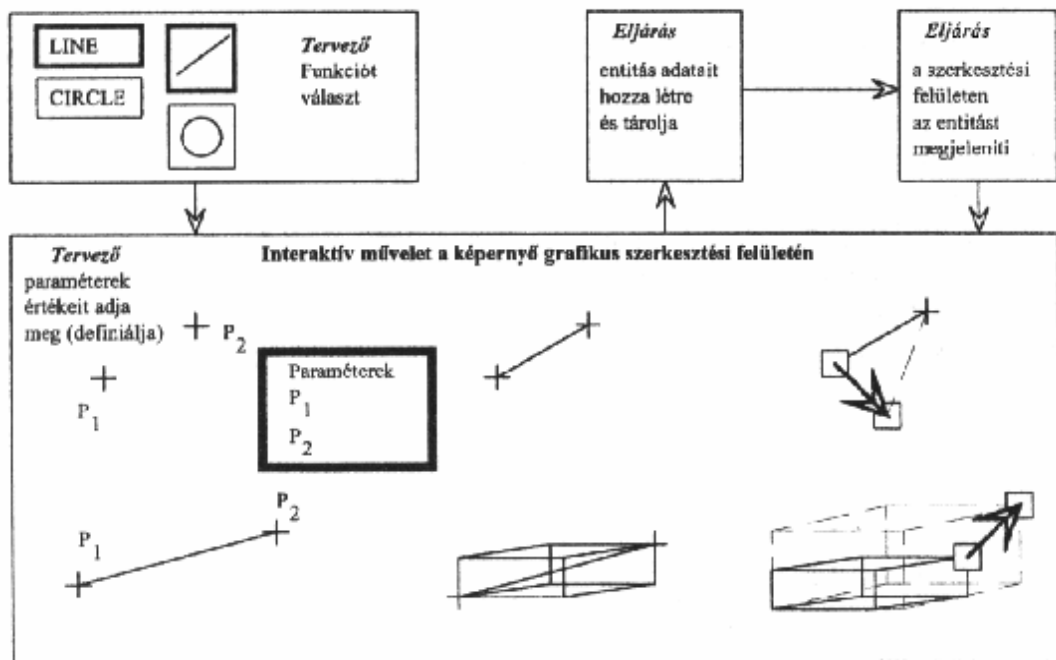
A tervező interaktív kapcsolatban van azokkal a számítógépi programokkal, amelyekben a tervező eljárásokat írták le. Az interaktivitás azt jelenti, hogy a tervező az eljárás működését információk bevitelével folyamatosan irányítani képes, ugyanakkor az eljárás az elvégzett műveletek eredményétől függően információt tud kérni a tervezőtől, és informálni tudja azt az eredményekről és a felmerült rendellenességekről. A tipikus *felhasználói felületen* (2.4. ábra) a tervezőmunka *grafikus szerkesztő-ablakban* (szerkesztő felületen, munkafelületen, viewport-on) folyik. Itt grafikus rajzelemek jeleníthetők meg, amelyekre a tervező rá tud mutatni, ha azzal valamely műveletet kíván elvégezni, például annak méretét, helyzetét, vagy irányítottságát meg akarja változtatni. A tervezést támogató funkciók menü rendszerből való kiválasztással vagy meghatározott nyelven írt parancsokkal érhetők el. A parancs tartalmazza azokat a paramétereket, amelyeket az eljárás számára alapadatként meg kell adni. Ha a kiválasztás menüről történt, a paramétereket a képernyőn megjelenő dialógusdobozban kell megadni. A paraméter módosítja a terv már létező elemét, például egy pontot, egy vonalat, egy felületet, egy testet, egy alkatrészt, vagy akár egy szerelési egységet is. Az ábrán egy alkatrésztervezés kezdeti lépését látjuk. Egy alakelemet hozunk létre, amelyen majd további alakelemek elhelyezésével az alkatrészt megtervezzük. Az alakelem, amelyet a későbbiekben *alaksajátosságnak* (form feature-nek, kiejtve "ficsör"-nek) fogunk nevezni egy hasáb, melynek egyik paramétere a síkbeli



2.4. ábra. Műszaki tervezőrendszerek tipikus felhasználói felülete

alapkontúrt alkotó zárt vonallánc, a másik pedig a magasság. Ez utóbbi számadattal vagy egy korábban megszerkesztett vektorral egyaránt megadható.

Nézzük meg közelebbről a szerkesztés folyamatát (2.5. ábra). A számítógépi eljárás a tervezés tárgyát képező alkatrészek és egyéb objektumok számítógépi leírásának, más szóval számítógépi modelljének egy különválasztható részét az *entitást* hozza létre. Az entitás az angol "entity" szóból származik. A műszaki tervezőrendszerekben létrehozott modellekben mindent entitásnak nevezünk, amelyet típusa és a leírásához felhasználható adatok egyértelműen meghatároznak. Az ábrán látható példában két pontot jelöltünk ki a térben, majd ezeket felhasználtuk egy vonal, illetve egy téglatest entitás paramétereiként. A téglatest esetében a pontok a testátló két végpontját határozták meg. Ezután az ábrán az entitások interaktív grafikus módosítása látható. A vonal végpontjának helyzetét a vastag vonallal jelölt vektor mentén eltolva megváltozik a vonal térbeli helyzete és esetleg mérete is. A téglatest sarokpontjának áthelyezése a térben a téglatest méretét változtatta meg a látható módon. A módosítás oly módon is választható, hogy csak a helyzet vagy csak a méret változzon. További lehetőség az eltolás vagy elforgatás a térben. Ezek *transzformációs* műveletek.

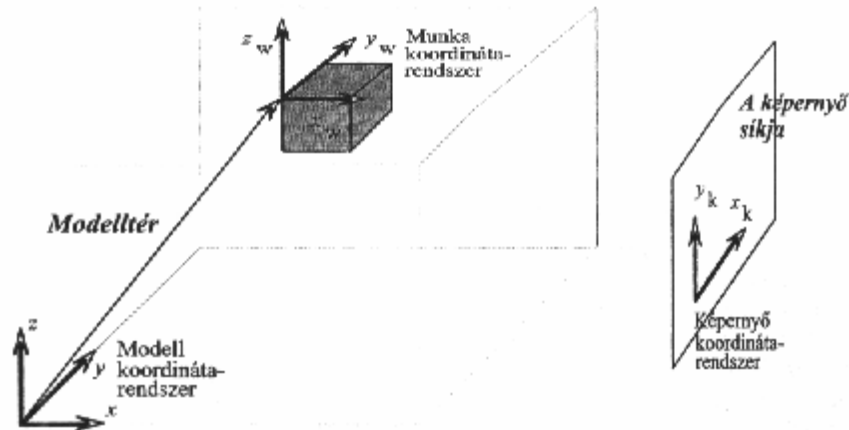


2.5. ábra. Interaktív szerkesztés

A háromdimenziós tervezésnél az alkatrészeket és szerelési egységeket egy elképzelt háromdimenziós térben, a modelltérben hozzuk létre. A számítógépes eljárások entitások meghatározott adatstruktúráit rögzítik és tárolják a műszaki tervezőrendszer adatbázisában. Ez a sok adat az ember számára nehezen, vagy egyáltalán nem értelmezhető, ezért grafikus eljárások a modelltér tartalom háromdimenziós alakjának síkbeli vetületét jelenítik meg a képernyőn (*képszintézis*).

A modellteret a *modell* (más gyakran használt kifejezésekkel világ vagy globális) *koordinátarendszer* (MCS – Model Coordinate System) határozza meg. Ez tulajdonképpen mester koordinátarendszer, x, y és z koordinátákkal (2.6. ábra). A modellt alkotó entitások helyzetét és pontjait ebben a koordinátarendszerben határozzuk meg. A modell koordinátarendszerben megadott koordináták a modelltér tekintetében abszolút koordináták. A tervező a modelltérben definiálhat egy *helyi koordinátarendszert* is, amely munkájához pillanatnyilag célszerűbb. A modelltérben már definiált pontok, mint helyi (más

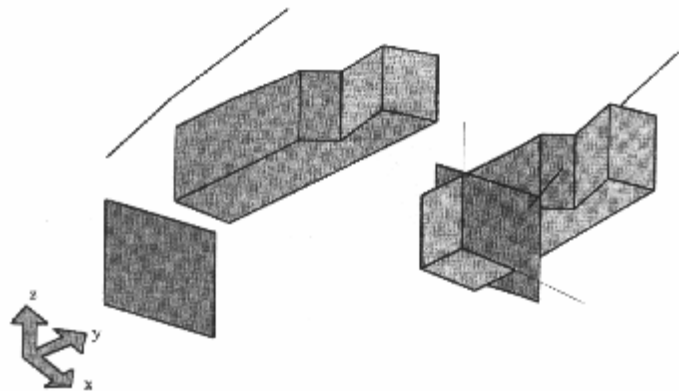
szóval lokális vagy munka) koordináta-rendszerek origói szerepelhetnek. A 2.6. ábrán ehhez a koordináta-rendszerhez x_w , y_w , és z_w relatív koordináták tartoznak. A mindenkori szerkesztési síkot a képernyő síkjába hozva, kényelmes síkbeli szerkesztés végezhető. A modell és a helyi koordináta-rendszerek között szükséges transzformációt a tervező-rendszerekbe épített eljárások automatikusan elvégzik. A kétdimenziós képernyő koordináta-rendszerének x és y tengelye a képernyő síkjában van, z tengelye merőleges arra. A tervező maga választhatja meg azt, hogy merről kívánja szemlélni a modellteret, ennek következtében a modell és a képernyő koordináta-rendszerek relatív helyzete is változtatható. A gyakorlatban a *nézőpont* gyors változtatása rámutató eszközzel ("egérrel") történik, "megfogható" és "forgatható" modellel.



2.6. ábra. Modelltér és koordináta-rendszerek

Ezután térjünk vissza a háromdimenziós tervezésre. A legegyszerűbb háromdimenziós modell, a *huzalváz-modell* csak éleket és a görbe felületek adott sűrűségű felületi vonalait tartalmazza, ugyanis számos – sík, hengeres vagy gömbfelületekkel határolt – testet élei, kontúrjai egyértelműen meghatároznak. Ebben az esetben a tervező munkáját nevezhetnénk háromdimenziós műszaki rajzkészítésnek, azonban az élekből felépített huzalváz-modell fejlettebb formái ennél lényegesen több információt foglalnak magukban. Vetítéssel valamennyi háromdimenziós modellből, így a huzalváz-modellből is automatikusan előállíthatók a műszaki rajzok nézeteihez szükséges kontúrok. A vetületek automatikus előállítása a háromdimenziós modell és a vetületek közötti *asszociatív* kapcsolat eredménye. Ha létrejön vagy megváltozik a háromdimenziós modell, a vetületek automatikusan létrejönnek vagy módosulnak. A vetület módosítása ugyanakkor a modell módosítását is maga után vonja.

Ha nem elegendő a felületeket határoló élek leírása a modellben, hanem a felület bármely pontjának számítására szükség lehet, a testet határoló *felületek modellezésére* van szükség. (Gyakori eset ilyenkor is az, hogy a huzalváz-modellnél lényegesen több információt tartalmazó modellt az egyszerű interaktív szerkesztés megvalósítása érdekében huzalváz formájában jelenítik meg a képernyőn.) A 2.7. ábrán látható felületet egyenesekkel és felülettel

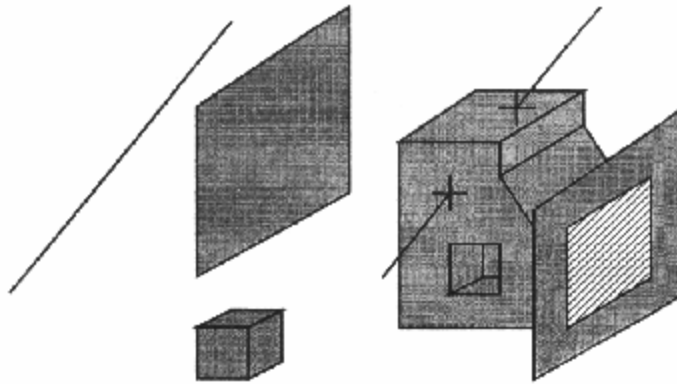


2.7. ábra. Felület a modelltérben

metszve megkapjuk a dőfspontokat és a metszészvonalakot, mint a modelltérben automatikusan létrehozott új entitásokat.

Az ábrán az egyszerűség kedvéért sík felületekből összeállított héj-részt láthatunk. A gyakorlatban azonban mind gyakrabban *analitikus* vagy *szabadformájú* (*szoborszerű*) *felület-leírásokat* alkalmaznak. Analitikus felületeknek nevezzük az egyenesek, körök, körívek, ellipszisek, parabolák és hiperbolák felhasználásával létrehozható felületeket. A szabadformájú felületek ezzel szemben bármilyen alakot felvehetnek.

Az alkatrészek modelljeit számos elemzési és gyártástervezési feladatra használják. Ezért a fejlesztők mind gyakrabban törekednek arra, hogy a modell informatikailag minél komplettebb legyen, azaz a modellezett objektumnak minél több sajátosságának leírására legyen alkalmas. Voelcker megfogalmazása szerint az informatikailag komplett modell-ábrázolás lehetővé teszi valamennyi geometriai tulajdonság és test automatikus számítását. A 2.8. ábrán *tömör testet* leíró modellt láthatunk (angolul *solid model*, ennek nem túl szerencsés magyar fordítása a "*szilárdtest modell*"). Ennek bármely felszíni vagy belső pontját fel tudják használni számításokhoz a megfelelő eljárások. A testmodellek a legfejlettebb alakmodellek, azonban a gyakorlatban koránt sincs mindig szükség az alak tömör testként való leírására.



2.8. ábra. Tömör test metszése, kivágása

A fentiekben az alaktervezés kapcsán megismertük a számítógépen végzett tervezés néhány alapvető módszerét. Fontos megtanulni, hogy a képernyőn csupán egy interaktív kommunikációs felület áll rendelkezésünkre, amellyel számítógépes eljárásokat irányítunk azok modell-létrehozási (generálási) és modell-módosítási tevékenységében.

Az, hogy a modell milyen információkat tartalmaz, és azok az adatállományban milyen struktúrában és formátumban vannak leírva, a tervezőtől, az alkalmazott műszaki tervezőrendszer adta lehetőségektől, valamint a választott módszerektől, elvektől és szabványoktól függ. Az adatok előbb a modelltérben lévő entitások adatai közé kerülnek, majd a *tervezőrendszer adatbázisába* (2.9 ábra). Az adatbázis a modellek egyidejű készítését és többszörös felhasználását, valamint a számítógépen, csoportmunkában végzett tervezés szervezését szolgálja, a számítógépes műszaki tervezés technológiájának egyik legfontosabb részét adja.



2.9. ábra. Számítógépi modellezés

3. Alaktervezés számítógéppel

Mielőtt a modellalapú tervezés gépészeti részfeladatait ismertetnénk, tisztázzuk azokat a modellezési eljárásokat, amelyek az alak meghatározását teszik lehetővé bármely arra alkalmas műszaki tervezőrendszerek valamelyikével. A módszertan általános, az egyes tervező-rendszerektől független tárgyalását az teszi lehetővé, hogy a különböző rendszerekben megvalósított funkciók többé-kevésbé ugyanazokon az eljárásokon alapulnak.

Magát az alakot *geometriai modellek* írják le, amelyek létrehozására a tervezési módszerek igen nagy csoportja szolgál. Külön kezeljük az objektumok *megjelenítésének* tervezését, amelyhez napjainkban igen fejlett modellezési módszerek állnak rendelkezésre.

3.1. Az alaktervezés informatikai alapjai

Az alakot a számítógépben a klasszikus geometriai tudomány tételeit, módszereit és szabályait felhasználva írjuk le. A leírás több-kevesebb geometriai tulajdonság adatait tartalmazza, az alkalmazott modelltől függően. Az alak matematikai leírását geometriai modellezésnek nevezzük, a tervező rendszerrel *leképezést* hajtunk végre. A leképezés szükségszerűen több lépésben megy végbe, mivel meg kell valósítani az ember valóságot tükröző (fizikai jellegű) értelmezésének egyfajta logikai (lényegében algoritmikus) szemléltetését úgy, hogy az először a szoftver logikai szemléltetésévé, majd ezt követően a processzorokkal feldolgozható fizikai egységekké (utasításkóddá és adattá) legyen átalakítható. Az átalakítást részben a modellezést végző ember, a részben a modellező szoftver hajtja végre.

Informatikai szempontból minden geometriai modell egy rendezett információhalmaz:

$$GM = \{I, G, T, L, A, R\}$$

ahol I az azonosítási és modellértelmezési; G a geometriai; T a topológiai; L a lokációs információk részhalmaza; A az attribútív; R a megjelenítési információk halmaza.

A geometriai modellezésben az I azonosítási információk az objektumokat felépítő geometriai, topológiai és egyéb alapelemek megnevezéssel történő megkülönböztetését és kiválasztását teszik lehetővé.

Az alak teljes körű modellezése a G geometriai és a T topológiai információ-részhalmazok együttes kezelésével lehetséges. A részhalmazok terjedelmének beszűkítése nem teljes értékű modellhez vezet. A geometriai információk hordozói egyrészt a 2D geometriai alapelemek, alapegységek, másrészt a dimenzionális értékek. Háromdimenziós (3D) modellezés esetében az alapegységek az euklideszi tér pontjai, térgörbéi, térfelületei és elemi testjei, illetve az utóbbiak elfajult formái. A geometriai alapelemek megadhatók koordináta pontokra támaszkodva vagy dimenzionális *paraméterekhez* rendelt értékekkel.

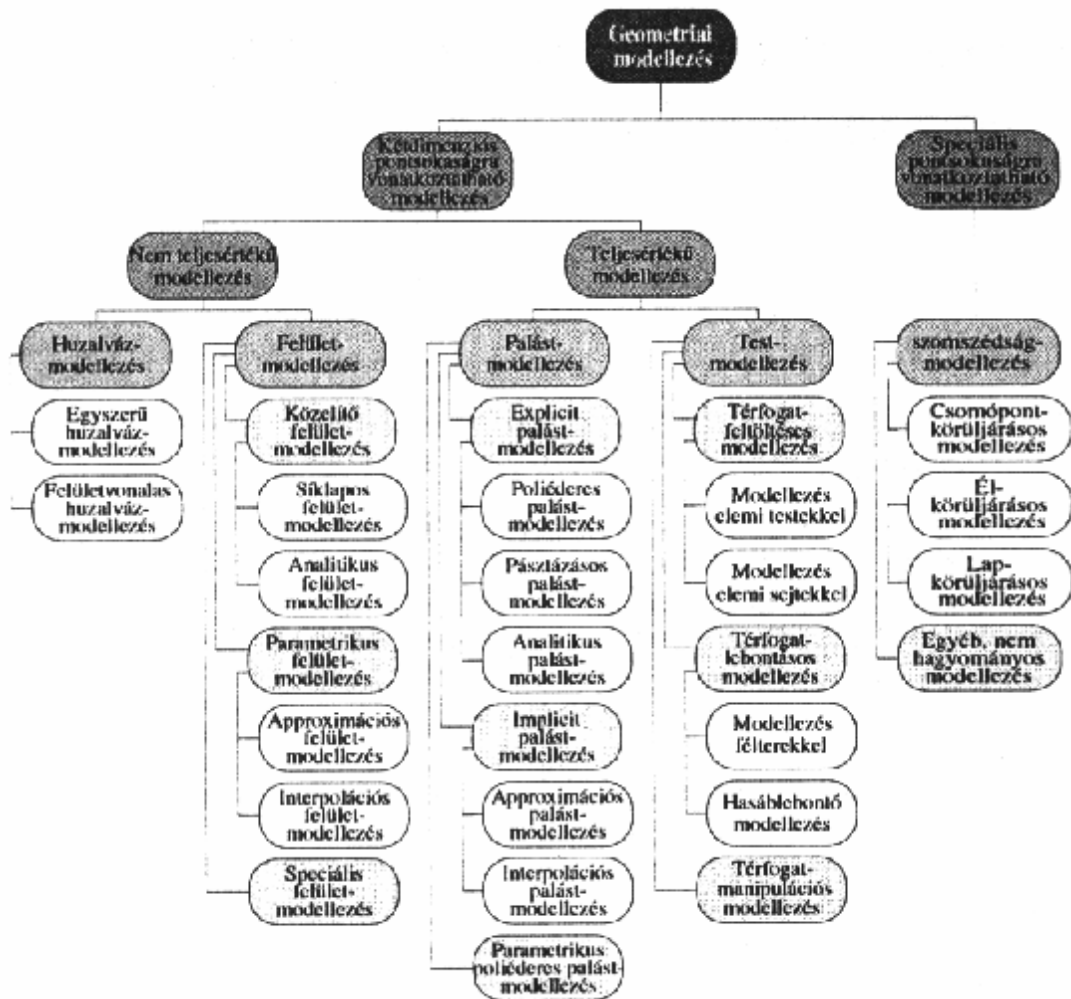
A T topológiai információk hordozói az alakot leíró alapelemek és a közöttük fennálló nemnumerikus kapcsolatokat jellemző *minősítő*k. A kombinatorikus topológiai teret alkotó elemek az Euler által értelmezett elsődleges (csomópont, él, lap, héj), illetve a különbözőféle származtatott (lyuk, hurok, perem, nyílás) elemek lehetnek. A geometriai alapelemek és a topológiai alapelemek között kölcsönösen egyértelmű megfeleltetés létesíthető. Adott topológiai struktúra több alakzatnak is megfeleltethető, ez *variánsok* előállítását támogatja. A topológiai struktúra a modellépítés folyamatában vagy befejezésekor felhasználható a létrehozott geometria érvényességének és valóságosságának ellenőrzésére. Gyakran az egyértelmű topológiai struktúra létrehozása fiktív topológiai alapelemek alkalmazását teszi szükségessé.

Az L lokációs információk a tér vonatkoztatási koordináta-rendszerében a geometriai alakzat helyét és helyzetét határozzák meg. Az A attributív információk a geometriai modell által képviselt objektum különböző fizikai tulajdonságait ragadják meg: anyagjellemzők (anyagminőség, szilárdsági jellemzők, fizikai tulajdonságok stb.), mikrogeometria (érdesség, méreteltérés, alakeltérés, helyzeteltérés stb.), mechanikai kezelések (recézés, rétegfelhordás, felületsimítás stb.), technológia (edzés, kovácsolás stb.). Ezek az információk numerikus, szöveges vagy szimbolikus formában szemléltethetők. Az R megjelenítési információk a 3D-s geometriai modell 2D-s vizuális szemléltetéséhez kapcsolódnak. A megjelenítési információk a megjelenített alakzat geometriájához, az alakzat megjelenítési sajátosságaihoz, és a megjelenítés kezeléséhez kapcsolódnak.

3.2. Geometria modellezési módszerek

Topológiai szempontból közelítve a geometriai modellező módszereknek két alapvető kategóriája különíthető el. Az egyik olyan objektumok modellezésére képes, amelyek 2D-s pontsokaságra leképezhetők (manifold). A másik olyan objektumokat is képes modellezni, amelyek csak speciális pontsokaságra képezhetők le. Az ilyen *non-manifold* topológiájú objektumok általában nem valószerűek, azaz nem gyárthatók.

A *manifold* objektumokra alkalmazható modellező módszereket az alakjellemző információk teljessége alapján lehet osztályozni. E szerint léteznek teljes értékű és nem teljes értékű módszerek (3.1. ábra).

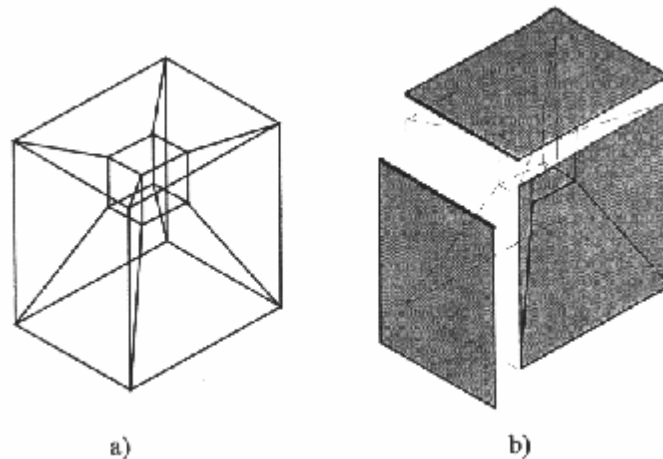


3.1. ábra. A geometriai modellező eljárások rendszerezése

A geometriai entitások írják le a modellezett alkatrész, részegység stb. alakját. Nem kell mindig feltétlenül teljes, komplett alakleírásra törekedni. Például egy csupán sík felülettel határolt alkatrészt élei egyértelműen meghatároznak, vagyis csupán az élek ismeretében felületének bármely pontja számítható. Ezeket a modelleket huzalváz modellnek nevezzük, esetükben a test belsejében található pontok számítása ugyan lehetséges, azonban arra a kérdésre, hogy "hol van anyag" és a vonalláncokból képezett mely határoló sík létezik a valóságban, a modell adatai alapján nem lehet választ adni, azt a tervezőnek kell tudni. Ezért azt mondjuk, hogy a huzalváz modell nem írja le a testet egyértelműen (3.2/a ábra). Cserében viszont lényegesen egyszerűbb lesz a modell és olcsóbb modellező eszközre lesz szükség.

A modell-leírások információ-tartalmának növekvő sorrendjében alapvetően a test éleit, a testet határoló felületeket, illetve palástot, vagy magát a komplett, tömör testet modellezhetjük. A korszerű modellezésnél általában valamilyen hibrid megoldást választanak, a tömör test modellje tartalmazza a határoló felületek és az élek leírását is. Hasonlóképpen a csupán felületek leírását tartalmazó modell tartalmazza a felületeket határoló élek leírását. A mai modellezők ugyanazon entitás-készletből építik fel valamennyi modellt, ezeket a modellezőket egységes modellezőknek nevezzük.

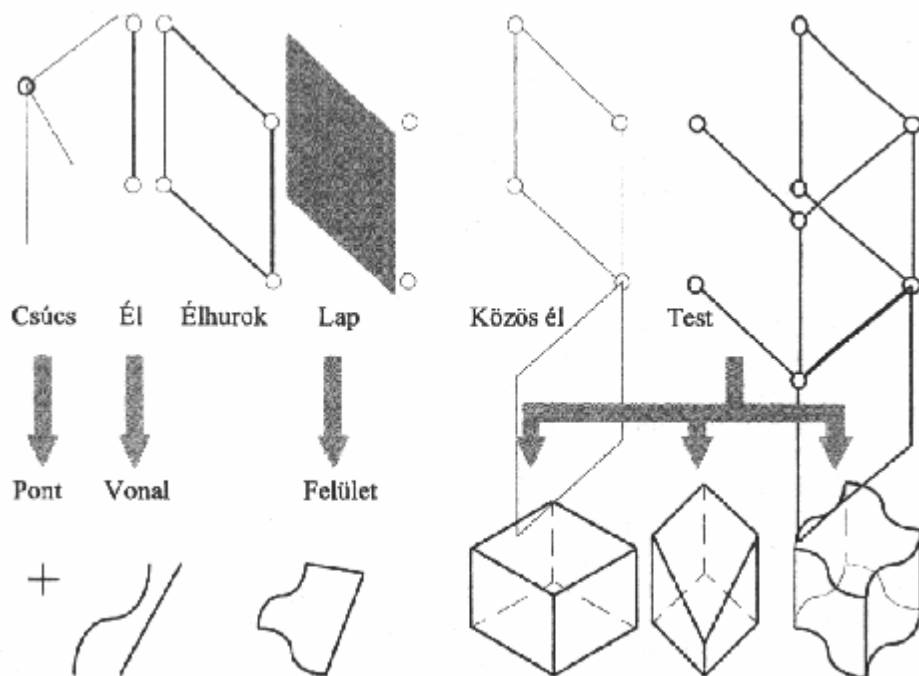
Semmiképpen se jussunk arra a következtetésre, hogy a huzalváz modell a legkezdtelegesebb, a felületmodell "már jobb" és tulajdonképpen a tömör test modell az "igazi". A modellezés módszerét mindig a modell felhasználási céljától, a rendelkezésre álló modellező eszközöktől függően kell megválasztani és lehetőleg a feladat maradéktalan elvégzését biztosító leggazdaságosabb megoldást kell választani.



3.2. ábra. Huzalváz és felület modell

A 3.2/a ábrán megfigyelhető, hogy a huzalváz modellben található élek több különböző testet írhatnak le, attól függően, hogy "hol van az anyag". A 3.2/b ábra felületmodellt mutat, amelyben messze nincs minden felület leírva. Másrészt viszont a felületek "önállóan léteznek" a modell térben, vagyis a testet határoló egyéb felületekkel való kapcsolatát nem írja le a modell. Az ábrán látható módon minden további nélkül el tudunk két sík felületet mozdtani a modell térben, így hibás modellt hozunk létre. A két sík felületen van egy-egy egyenes vonal, amelynek mindenképpen azonos helyen kell maradni, ha a modellezendő alakot hibátlanul szeretnénk leírni. Hasznos lenne tehát a modellben az az információ, hogy a két felületnek egy-egy élét leíró vonalnak azonosnak kell lenni. Ehhez azonban az alakot leíró geometriai entitások kapcsolatát is le kell írni a modellben. Ezért az alakmodellekben a geometriai leírást az úgynevezett topológiai leírás egészíti ki.

A topológia a modell felépítését írja le, azt, hogy mely geometriai modell entitások kapcsolódnak egymáshoz. A topológiai leírás a geometriaihoz hasonlóan entitásokból áll. Az alapvető topológiai entitásokat a 3.3. ábra foglalja össze. A geometriai modellben leírt felületeket élek határolják, amelyekhez egyenes (görbe) geometriai modell entitás tartozik. Az *él* topológiai entitás. Az élek sarokpontokban futnak össze. Ezek a sarokpontok geometriai entitásként pontok, topológiai entitásként *csúcsok*. A csúcshoz azt az információt kapcsolják, hogy abba mely élek futnak be. A felületet vonalak zárt láncának kell körülvenni. Azt az információt, hogy ezt mely élek alkotják a *hurok* topológiai entitáshoz kapcsolják. A *lap* topológiai entitás azt jelzi, hogy a struktúrában ott egy felület leírása van. Hordozza az aktuális hurok entitásra vonatkozó információt. A topológiai entitások rámutatnak az alakot leíró geometriai entitásokra. Nem mindegyik topológiai entitáshoz kapcsolódik geometriai entitás. Megfordítva a dolgot, a geometriai entitások közül a pont a csúcshoz, a vonal az élhez, a felület pedig a laphoz kapcsolódik. Topológiai entitásként kezelhető maga a *test* is.



3.3. ábra. Topológiai és geometriai elemek kapcsolata

Az egyes műszaki tervezőrendszerekbe épített modellezőknek lehet ennél nagyobb topológiai entitás készlete is. A test állhat több különálló testelemről. Topológiai entitás a testen felismerhető zárt külső vagy belső héj és ennek valamely laphoz tartozó rész. Ezekkel a topológiai entitásokkal a gyakorlat igényei kielégíthetők. A geometriai modellt a geometriai és topológiai entitások együttesen építik fel, a testek határfelület ábrázolását teszik lehetővé. Amikor ez a modellezési módszer kezdett elterjedni *határfelület ábrázolású* (boundary representation, rövidítve B-rep) modellnek nevezték.

A topológiát nem tartalmazó modellezés ma már korszerűtlen. A topológiai leírás ugyanis lehetővé teszi a testmodellek complete-ségének ellenőrzését topológiai szabályok alapján. Például egy csúcsba legalább három élnek kell befutni ahhoz, hogy az teljesen zárt test leírásához tartozzon. A lapot élek zárt láncának kell körülvenni, a test határoló felületének ugyancsak zárt konfigurációt kell adni.

3.3. A geometriai modellezés és a matematika

A geometriai modell meghatározott típusú és ennek megfelelő adatokkal leírt entitásokból épül fel. A geometriai entitások csoportjait a *görbék (vonalak)*, a *felületek* és a *testek* képezik. Minden entitás a modell térben helyezkedik. Az xyz koordináta-rendszerrel jelölt modell térben pontot, egyenest és görbét, egyenes vonalakkal és görbékkel határolt sík és görbült felületeket, valamint sík és görbült felületekkel határolt testeket helyezhetünk el.

A *pontot* a koordináták megadásával definiáljuk.

Görbén folytonos vonalat értünk. Matematikai szempontból a görbe pontok halmaza. Ez a halmaz skalár vagy vektor egyenlettel definiálható, amelyeket a görbe pontjai elégítenek ki. Egy 2D görbét megadó egyenletet felírhatunk explicit vagy implicit formában is.

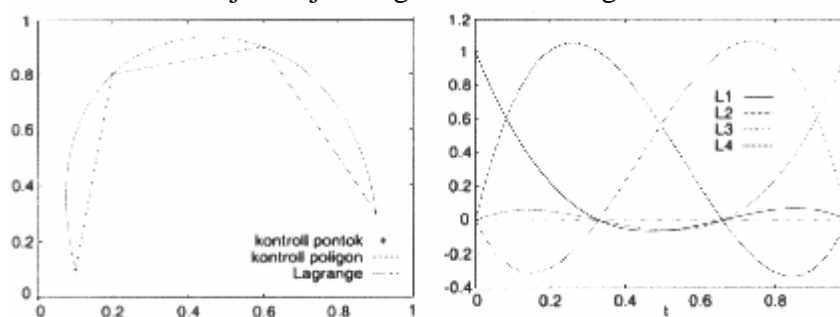
Az explicit forma akkor előnyös, ha pontokat kell generálnunk a görbén. Ekkor az adott intervallumon kijelölünk megfelelő számú paraméterpontot, és behelyettesítjük az egyenletbe. Az implicit forma viszont különösen alkalmas arra, hogy eldöntsük, hogy egy adott pont illeszkedik-e a görbére. Ehhez az adott pontot be kell helyettesítenünk az egyenletbe és ellenőrizni, hogy 0-t kapunk-e eredményül.

Az explicit vagy implicit egyenletek felhasználásával a grafikai programunkat felkészíthetjük klasszikus görbeszegmensek (kör, szakasz, ellipszis stb.) kezelésére is. A modellezés ekkor az egyenletek ismeretlen paramétereinek (például egy kör középpontja és sugara) megadását jelenti.

A modellezési igények általában nem elégíthetők ki csupán klasszikus görbeszegmensekkel. Ugyan bármely görbe kellő pontossággal közelíthető például sok kis szakasszal, de ez nem mindenütt differenciálható görbéket eredményez, ami például mechanikai alkatrészeknél megengedhetetlen. Ezért egy olyan függvényosztályra van szükség, amelyben a görbe alakja a differenciálhatóság garantálásával tetszőlegesen alakítható. Ez a polinomok osztálya.

Sajnos a polinom-együtthatóknak nincs szemléletes tartalma, ezért a modellezés során használatuk kényelmetlen. Az együtthatók közvetlen megadása helyett azt az eljárást követhetjük, hogy a felhasználótól csak ún. *vezérlőpontokat* (control point) kérünk, amelyek meghatározzák a görbe alakját, majd a modellezőprogramra bízunk, hogy a megadott vezérlőpont sorozatra egy görbét illesszen, azaz kiszámolja a megfelelő polinom-együtthatókat.

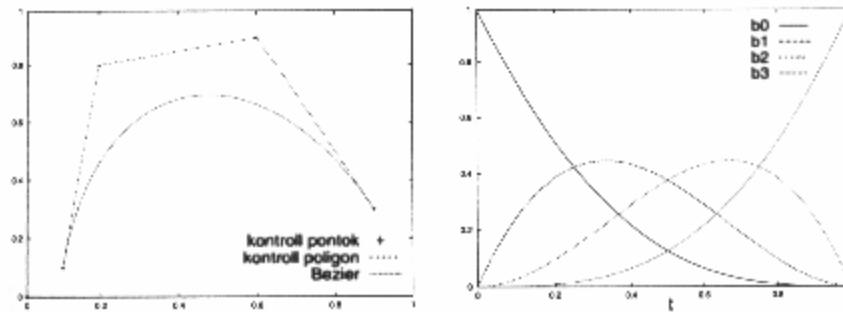
Alapvetően két illesztési stratégia létezik. Amennyiben megköveteljük, hogy a görbe átmenjen a vezérlőpontokon, az eljárást *interpolációnak* nevezzük. Az *approximációs* módszerek ezzel szemben nem garantálják, hogy a számított görbe telibe találja a vezérlőpontokat, csak annyit, hogy nagyjából követi az általuk kijelölt irányvonalat. Az engedményért cserébe számos jó tulajdonságot várhatunk a görbétől.



3.4. ábra. Lagrange interpoláció és súlyfüggvényei

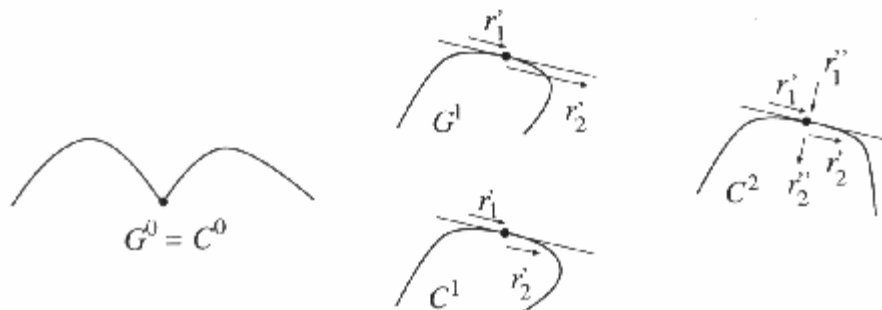
A *Lagrange-interpolációval* kapott $Li(t)$ polinom lényegében az i . pont súlyát határozza meg a paraméter függvényében, ezért *súlyfüggvénynek* (blending function) is nevezük. Sajnos a súlyfüggvény hajlamos olyan kanyarulatok létrehozására, amely nem következne a vezérlőpont-sorozatból. Másik fő nehézsége az, hogy a görbe kényelmetlenül alakítható, hiszen egy vezérlőpont a görbe minden részére hat (3.4. ábra).

Bézier-approximáció: azok a görbék lesznek simák és hullámoktól mentesek, amelyek nem lépnek ki a vezérlőpontok konvex burkából. Az ilyen görbe átmegy az első és utolsó vezérlőponton, kezdete és vége érinti a vezérlőpontok által alkotott sokszöget (3.5. ábra).



3.5. ábra. Bézier-approximáció és súlyfüggvényei

A bonyolult görbét nagyon sok vezérlőponttal definiálhatunk. A görbeillesztés során vagy egyetlen magas fokszámú polinomot illesztünk a görbére, vagy több alacsony fokszámút. A magas fokszámú polinomok hajlamosak a hullámosságra, ezért vonzóbb lehetőség a több alacsony fokszámú görbeszegmens alkalmazása (3.6 ábra). A több görbeszegmensből építkező görbét *összetett görbéknek* (composite curve) nevezzük.



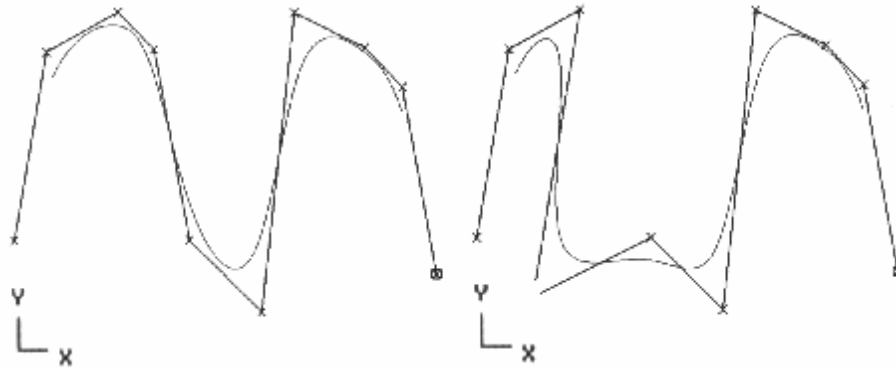
3.6. ábra. Két görbe illeszkedésének folytonossági osztályai

Az összetett görbék alkalmazása során meg kell birkóznunk a szegmensek folytonos illesztésének a problémájával. Két görbét akkor nevezünk parametrikus értelemben C^n folytonos illeszkedésűnek, ha az egyik görbe deriváltjai a végponton megegyeznek a másik görbe deriváltjaival a kezdőpontban az n . deriváltig bezárólag. A mérnöki alkalmazásokban gyakran C^2 folytonos görbékre van szükségünk, ezeknek a neve *szplájn* (spline).

A C^2 folytonos illesztés követelménye az egyes görbeszegmensek illesztési pontjaira eltérő második deriváltat írhat elő. A legegyszerűbb polinom, amelynél a második derivált nem állandó, harmadfokú. Ha a görbe kezdő és végpontján a deriváltak értékét megadjuk, akkor a feladat megoldása egyértelművé válik (*harmadfokú szplájn*).

Lehet célunk olyan súlyfüggvények keresése, amelyek biztosítják, hogy ha két egymást követő szegmens közösen használ a négy vezérlőpontból hármat, akkor a két szegmens C^2 folytonosan illeszkedik egymáshoz. Az ennek megfelelő súlyfüggvény-készlettel definiált szegmensekből összerakott görbe neve *B-szplájn*. A B-szplájn egy vezérlőpont csak az összetett görbe négy legközelebbi szegmensének alakjára hat, a távolabbi ré-

szekre nem, tehát egy vezérlőpont megváltoztatása a görbe egy kicsiny részét módosítja. Az ilyen típusú görbéket *lokálisan vezérelhető* görbéknek nevezzük (3.7. ábra).



3.7. ábra. B-spline lokális vezérelhetősége:
a 4. vezérlőpont áthelyezése csak a görbe első részét módosítja

A szplájnok általánosításaival újabb, még rugalmasabban alakítható görbecsaládokhoz jutunk. Például mind a harmadfokú szplájnt, mind a B-szplájnt kiterjeszthetjük oly módon, hogy az egymást követő szegmensek különböző méretű paramétertartományt fedjenek le (idáig feltettük, hogy minden szegmensnek a paramétertartományban egy egységnyi intervallum felel meg). A B-szplajn ezen változatát *nem-uniform* B-szplájnnak (non-uniform B-spline vagy NUBS) nevezzük. Egy másfajta általánosítás a súlyfüggvényekre nem csupán polinomokat enged meg, hanem két polinom hányadosát is. B-szplájnból ezen a módon *racionális* B-szplájnt (rational B-spline vagy RBS) hozhatunk létre. A két kiterjesztés egyszerre is alkalmazható, amivel a *nem-uniform racionális* B-szplájnhoz (non-uniform rational B-spline vagy NURBS) juthatunk el.

A *területek* síkbeli alakzatok, amelyeknek határa és belseje van. A határ lényegében egy görbe, a belső tartomány fogalma többféleképpen is értelmezhető:

1. A belső pontok azok, amelyeket ha a végtelen távolból közelítenénk meg, a határgörbét páratlan számúszor lépnénk át.
2. A belső pontok azok, amelyeket nem lehet a végtelen távolból anélkül elérni, hogy ne metszenék a határgörbét.
3. Egy adott kezdeti ponthoz képest belső pontok azok, amelyeket a kezdeti pontból elérhetünk anélkül, hogy a határon átlépnénk.

A 3D *felületek*, a 2D görbékhez hasonlóan definiálhatók explicit vagy implicit egyenletekkel.

Egy fontos felületosztályhoz juthatunk, ha az olyan implicit egyenleteket tekintjük, ahol bármely változó legfeljebb másodfokú alakban szerepelhet. Az összes ilyen egyenlet megadható egy általános ún. homogén koordinátás alakban. A *kvadrátikus* felületek speciális típusai a gömb, hengerpalást, kúp, paraboloid, hiperboloid stb.

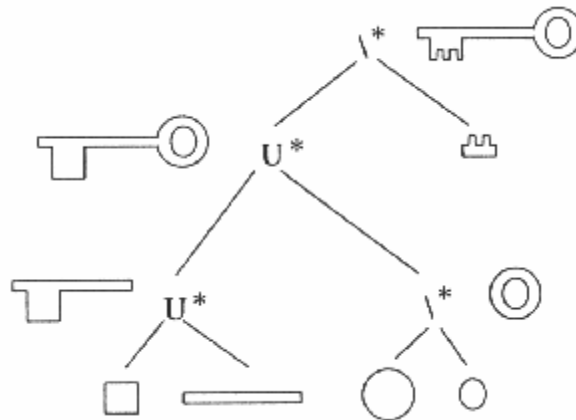
A *parametrikus* felületek kétváltozós polinomok. A polinomokat a görbékhez hasonlóan általában nem közvetlenül a polinom-együtthatókkal, hanem a vezérlőpontokból súlyfüggvényekkel állítjuk elő. Például a Bézier-felület egy kézenfekvő definíciójához jutunk, ha két súlyfüggvény szorzatát képezzük.

Testnek a 3D tér egy korlátos részhalmazát nevezzük. Ebben a halmazban belső pontok azok, amelyeknek van olyan bármilyen kicsiny, nem zérus méretű környezete, amelyben minden pont a halmazhoz tartozik. A halmaz nem belső pontjait határpontoknak nevezzük. Elvárjuk, hogy a határpontok valóban 3D tartományokat fogjanak közre, azaz, hogy

a határpontok bármely környezetében legyenek belső pontok is. Ez a feltétel azt akadályozza meg, hogy a testnek alacsonyabb dimenzióssá fajuló részei legyenek. Az olyan halmazokat, amelyek a belső pontjaik lezártjai, reguláris halmazoknak nevezzük.

A *konstruktív tömörtest geometria* (Constructive Solid Geometry, vagy CSG) az összetett testeket primitív testekből halmazműveletek (egyesítés, metszet, negáció) alkalmazásával építi fel. Annak érdekében, hogy a keletkező test mindig kielégítse a testekkel szemben támasztott követelményeinket a halmazműveletek *regularizált* változataival dolgozik. Regularizált halmazműveletet úgy végzünk, hogy először kivesszük a halmazokból a határpontokat, elvégezzük a belső pontokra a normál halmazműveletet, majd a keletkező halmazt lezárjuk, azaz hozzávesszük annak határpontjait.

Bonyolult objektumok előállításához egy műveletsorozatot kell végrehajtani. A teljes konstrukció egy *bináris fával* szemléltethető, amelynek csúcán a végleges objektum, levelein a primitív objektumok, közbenső csúcspontjain pedig a művelet sor részeredményei láthatók (3.8. ábra). A CSG módszer érdekes kiterjesztéséhez jutunk, ha a szigorú faszerkezet helyett megengedünk ciklusokat is a gráfban.



3.8. ábra. Elemi testek kombinálása

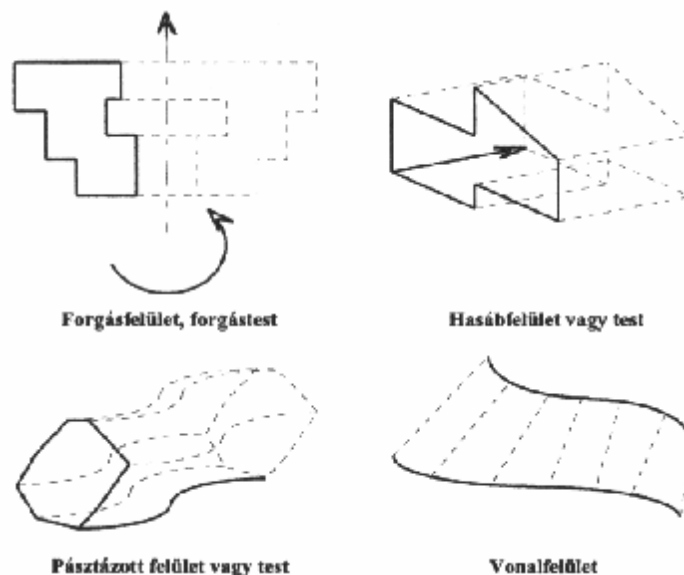
Egy általános test létrehozása visszavezethető a *határfelületek* definíciójára. Ha a határfelületeket egymástól függetlenül adjuk meg, akkor nem lehetünk biztosak abban, hogy azok hézagmentesen illeszkednek egymáshoz és egy érvényes 3D testet fognak közre. Ezért a testmodellelésnek olyan műveletekkel kell építkeznie, amelyek a test topológiai helyességét garantálják (Euler-műveletek).

Elemi testek kombinálásával általában geometriai és topológiai entitásokkal leírt határfelületi modellt hoznak létre a modellező eljárások. Ez a modell azután csúcspontokhoz, élhez vagy lapokhoz rendelt geometriai entitások modelltérbeli elmozdításával helyileg módosítható. Különleges feladat sima átmenet kialakítása három vagy ennél több él összefutásánál.

Az elemi felületek és testek egyik csoportjára jellemző, hogy az alakot a típus egyértelműen meghatározza, csupán néhány méretet kell megadni. Ezek a téglalap, a henger, a gömb, a kúp és a tórusz felület, illetve test leírásai. Az elemi felületek és testek másik csoportja nyitott vagy zárt kontúrgörbékkel állítható elő meghatározott szabályszerűséget kihasználva. Ily módon további alakképzési lehetőséget nyerünk a modell előállításánál. Kontúrok felhasználásával állítunk elő kihúzott, forgásszimmetrikus, pásztázott és héjszerű alakot (3.9. ábra). Speciális felületképzési eljárás a vonalfelület előállítása.

Forgásszimmetrikus alak határfelületét egyszerű vagy összetett görbének valamely tengely körüli *megforgatásakor* végigsöpört felülete adja. Az entitást létrehozó eljárás típu-

sa szerint az eredmény lehet felület vagy test. Egyszerűen belátható, hogy test csak zárt vonalmentésből kiindulva állítható elő. Ha a vonalláncot hasonlóképpen, de valamely vektor, vagyis egyenes vonal mentén mozdítjuk el, *kihúzott* felületet vagy testet kapunk. Az eddigi – az elemi geometria egyszerű törvényszerűségeit kihasználva előállított – elemi alak-entitások a téglalap, a gömb, a kúp és a tórusz entitásokkal együtt minden olyan alak leírását lehetővé teszik, amelyek nem tartalmaznak csak bonyolultabb függvényekkel vagy csak szabadformájuként létrehozható elemeket. Bonyolultabb geometriai leírást igényelnek például a fogazatok. Elterjedt azonban egy a forgástestek és a kihúzott alakok előállításánál sokkal szabadabb alak-képzést lehetővé tevő eljárás az úgynevezett *pásztázás* vagy a napi gyakorlatban elterjedt angol szóhasználatnál *sweep* (szvív). Az alapelve az, hogy valamely zárt vagy nyitott görbét végigvezetünk egy másik görbe mentén és az első görbe által végigsöpört felület lesz a felület-entitás vagy a test-entitást határoló felület. A végigvezetés további kötöttségekkel irányítható, például ily módon az eredményül kapott alak a már meglévő alakhoz illeszthető. Elterjedt felületképzési elv alapján jön létre a *vonalfelület*. Ezt ugyan egyenes alkotók képezik, azonban ezek az alkotók két térbeli görbe azonos paraméterű pontjait kapcsolják össze.



3.9. ábra. Alak előállítása kontúrok felhasználásával

A valamennyi alapmodellnél azonos, ezért egységes geometriai és topológiai entitásokkal dolgozó geometriai modellező eszközökre is jellemző, hogy az entitásokat tartalmazó adatbázisuk nem szabványos. Azonban van két jelentős eredmény, amely a fejlesztők széles körében elfogadást nyert. Ez az ISO égisze alatt fejlesztett STEP termékmodell-szabvány (erről még lesz szó), a másik pedig napjaink gyakorlatában elterjedt ACIS geometriai modellező rendszer. Az ACIS-t geometriai modellek egységes geometriai és topológiai entitás-készletből való építéséhez fejlesztette ki a Spatial Technology cég. Ugyanabból az entitás-készletből építhetők fel huzalváz modellek, az alakfelszínnek csak meghatározott részét (folt) lefedő felület modellek és tömör testmodellek, beleértve a több különálló testből álló alak-komplexumok modellezését is. Több tervezőrendszer geometriai modellezése alapul az ACIS-en, az de facto szabványként működik.

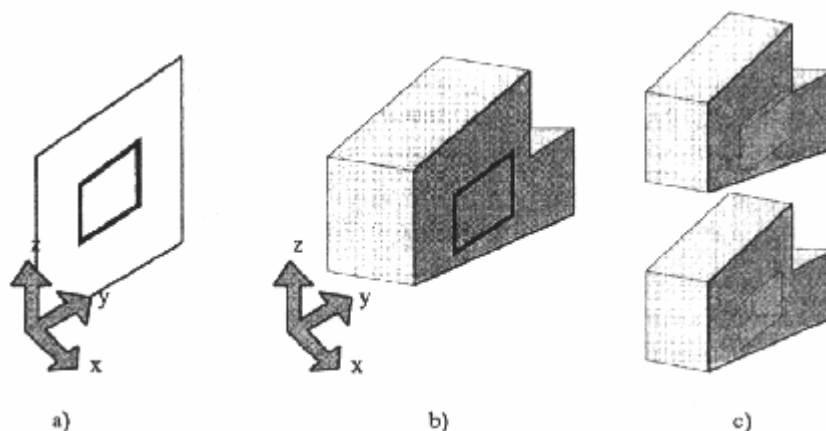
Korábban a felületet síklapok sokaságával közelítették. A közelítéshez előírt pontosság határozta meg a közelítő síklapok mennyiségét. Még a mai gyakorlatban is találunk ilyen elven működő modellezőket, sőt a grafikai megjelenítéshez gyakran a paraméteres leírású felületeket is síklap sokasággal közelítik.

A mai modellezési gyakorlatban a *mode*-entitásokat méreteikkel határozzuk meg, sőt egyes modellezők lehetővé teszik, hogy az elemi alakok kombinálása során keletkezett összetett alakon további méreteket definiáljunk. Az alaktervezésnek ezt a módját *méretek által vezérelt* (dimension driven) modellezésnek nevezzük. Az elkészült alakmodell igen gyakran több méretben, vagy méretsorozatban készül. Ezért az alakmodellezés kiegészült azokkal a módszerekkel, amelyek a csupán méreteikben különböző modellek egyetlen modellként való leírására és méret-változatok képzésére szolgálnak. A modellben a méretek ekkor nem konkrét számértékként, hanem változóként szerepelnek. Ezeket a változókat paramétereknek, az így létrejött geometriai leírást *paraméteres geometriának* nevezzük. A fejlődés során a modellekben mind több összefüggés rögzíthető a paraméterek között matematikai képletek és szabályok formájában. A változók értékadásával kapcsolatban a geometriai leírás számára kétféle feladatot kell megkülönböztetni:

- Az alakot leíró méretek között nincs összefüggés. A modellben ekkor a méretek egy-egy sorozatával leírt változatokat (variánsokat) kell kezelni. Ezt nevezik *variáns geometriának*. A változatok közötti összefüggést matematikai sorozat definiálhatja. Más esetben minden méret azonos, megadott mértékben növekszik.
- Az alakot leíró méretek között képletekkel meghatározható összefüggés van. Ezeket az összefüggéseket az alakmodellben paraméter-modellként rögzítik. A tervező az úgynevezett vezérméretnek vagy vezérméreteknek ad értéket, a többi méretet a számítógép a megadott képletek alapján automatikusan számítja. A paraméter-modellben lévő összefüggések kötöttségek, amelyek figyelmen kívül hagyására a modell további építésénél nincs mód.

3.4. Szerkesztés a felhasználói felületen

Az alakmodell építése és a műszaki rajzok készítése a felhasználói felületen szerkesztéssel történik. A legtöbb háromdimenziós entitást kétdimenziós vonalakból kiindulva tervezzük, amelyek gyakran alkotnak nyitott vagy zárt láncokat. A vonallánc szerkesztése a szerkesztési *sík kiválasztásával* kezdődik. A szerkesztési sík felvehető az üres modell térben, például az *y-z* síkban, amint az a 3.10a. ábrán látható. Ha a modell geometriai-topológia struktúrával van leírva, kijelölhető egy meglévő lap, amin szerkesztünk. Az ilyen modellezők képesek a lapon szerkesztett vonalláncot a modell szerves részeként leírni. Ez a kiválasztott lapon rést nyit és topológiai entitások létrehozását is kezdeményezi. Amennyiben a vonalláncot kihúzott alaksajátosság előállítására használjuk fel, a magasságvektor irányától függően kiemelkedés vagy benyomódás jön létre (3.10c. ábra).



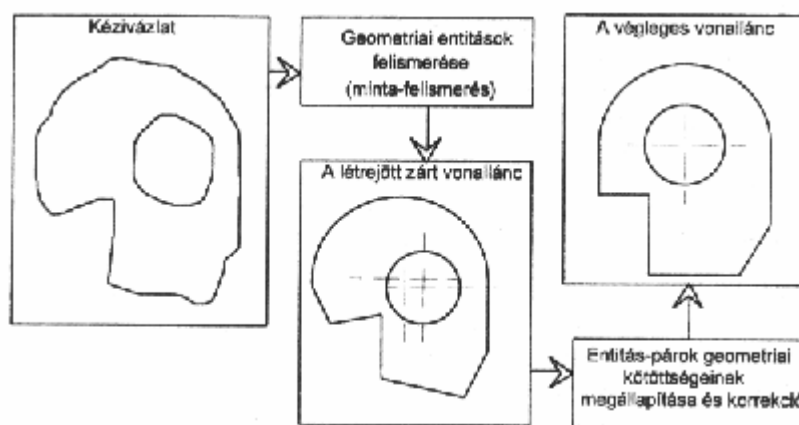
3.10. ábra. Szerkesztési sík felvétele

A vonallánc szerkesztését számos automatikus funkció segítheti. Ezek mintegy irányítják a vonal vezetését, bemutatva az alternatívákat és közülük azt, amelyet a tervező éppen választott. A szerkesztő eljárásoknak ezt a funkcióját *navigációnak* nevezik. Korábbi modellezőknél a vonalak párhuzamosságát és merőlegességét a tervezőnek kellett biztosítani. A hossz- és szögméreteket külön paraméterként kellett megadni a vonallánc létrehozásához és módosításához.

A navigációval vagy anélkül történő szerkesztés során a visszavonásig érvényes és a modellező eljárások által mindenkor érvényesített *kötöttségek* helyezhetők el a modellben, melyeknek szerepe ugyanolyan fontos a geometria kialakításában, mint a méreteknek. A navigációs funkciók teszik lehetővé az alkotó vonalak irányának, viszonyának, valamint a méreteknek aktív, a vonalvezetés közben is működő megjelenítését. A vonalak alapvető irányai a *vízszintes* és a *függőleges*, viszonya pedig lehet *egybeesés*, *érintőlegesség*, *párhuzamosság* vagy *merőlegesség*. Ezek rögzítése is meghozott tervezői döntéseknek tekinthető, megakadályozva a tervezett alak véletlen megváltoztatását.

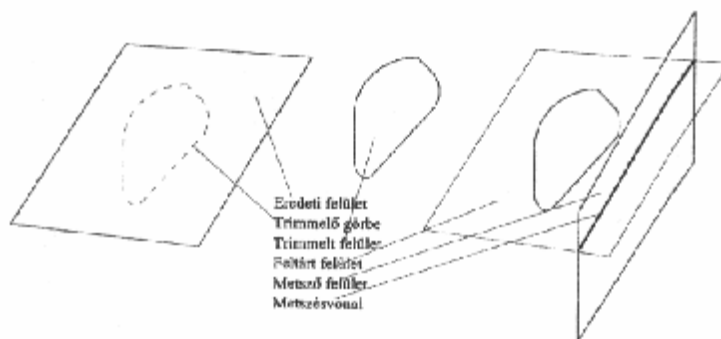
Jegyezzük meg, a korszerű modellezők szinte minden adat megváltoztatását lehetővé teszik, amelyet kötöttség nem rögzít. Ugyanakkor a kötöttség hiánya a tervező mozgásterét adja, amelyet maximális mértékben biztosítani is kell alkotó munkájához. Azonban igen nagy kárt okozhat, ha a tervező például megváltoztatja egy fogaskerék áttételt magában foglaló ház furatainak távolságát, miközben e szerint a méret szerint tervezik, vagy esetleg már gyártják is a fogaskerekeket és a kapcsolódó egyéb szerkezeti elemeket. A termék terve nem egy tervező szabad alkotása, hanem kötöttségeket, például vásárlói igényeket, vezető tervezői döntéseket, szabványokat vagy kereskedelmi termékeket és a csoporton belül hozott korábbi döntéseket figyelembe vevő csoportmunka. Ennek megfelelően fejlesztették ki napjaink modellépítési eljárásait.

Tipikus mai modellezési gyakorlat, hogy meghatározott síkban szabadkézi vázlatot (skiccet) készítenek, majd az ebből létrejött vonalláncot alaksajátosság létrehozására használják fel. Egyes szerkesztő programok alkalmasak vonallánc *szabadkézi vázlat* alapján történő előállítására is. A feldolgozás elve a 3.11. ábrán követhető.



3.11. ábra. Szabadkézi vázlat feldolgozása

A felület határain belül meghatározott, a felületen illeszkedő vonallánc felhasználható a felület kiterjedésének korlátozására. Más szóval a felületnek csak a vonallánc által közrezárt részére van a modellben szükség (3.12. ábra). Ezt a behatárolást *trimmelésnek* nevezzük, a vonalláncot trimmelő görbének, az így lehatárolt felületet pedig trimmelt felületnek nevezzük. A modell építése során azonban szükség lehet a felületnek a trimmelő görbén kívüli részére is (*feltárás*), pl. amikor azt más felülettel is metszeni kell.



3.12. ábra. Trimmelés és feltárás

A modellben definiált vonal vagy vonallánc entitás módosítását a terv új változatának előállítására és finomítása, az elemzések által kimutatott hibák javítása, régebbi tervek átdolgozása, vagy új termék tervezésénél való felhasználása teszi szükségessé. Esetenként kötöttségek feloldására is szükség van.

3.5. Objektumok valóság-hű megjelenítése és felszínének tervezése

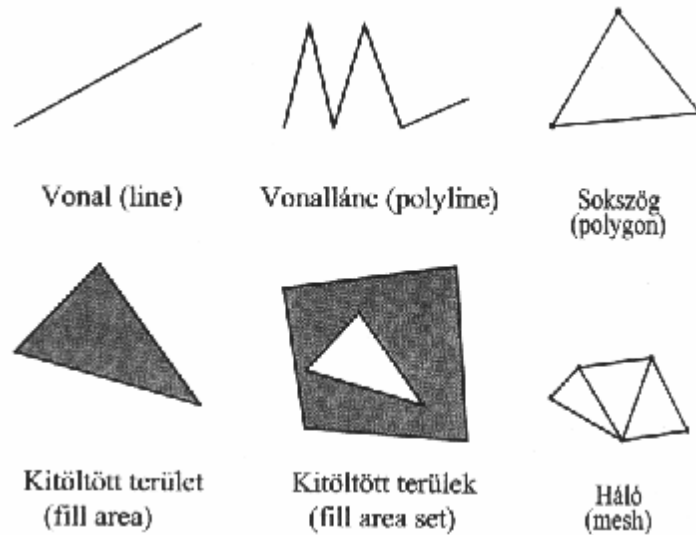
A számítógéppel készült modellek és műszaki rajzok megjelenítése képernyőn, a képernyő vetítésére alkalmas eszközön, vagy rajzgépen papírra nyomtatva lehetséges. A papír, mint már elmondtuk, "passzív", önmagában kevés információt tartalmaz és csak akkor javasolt, ha a helyszínen az elektronikus dokumentáció bemutatása nem biztosítható (közcéli dokumentálás, kezelési utasítás a felhasználóknak, katalógus stb.) vagy finanszírozási szempontok miatt kell a hagyományos megoldást választani. A vetített képes bemutatókat alkalmazzák ahol nagyobb közönségnek kell a képernyő tartalmát látni. A tervezésnél a feladathoz szükséges nagy teljesítményű grafikai feldolgozási eszközökkel felszerelt számítógéprendszerbe épített nagyméretű képernyőt, kivetítőt alkalmaznak.

A műszaki tervezőrendszerek céljára interaktív vektorgrafikára van szükség. Emellett kizárólag megjelenítési és dokumentációs célra mátrixgrafikát is alkalmaznak. A *vektorgrafika* a kijelző megfelelő pontjait összekötő vonalakkal építi fel a grafikus képet. A *mátrixgrafikai* képet pontok mátrixa alkotja, akár csak a képsővön megjelenő képet. Az interaktív vektorgrafika lehetővé teszi, hogy a tervező vektort, vagy vektorok valamely csoportját rámutató eszköz (pl. fényceruza) segítségével kijelöljön, majd a megjelenített műszaki rajz vagy modell entitással kapcsolatban a számítógépes eljárással adatot vagy utasítást közöljön.

A grafikai funkciókat a műszaki tervezőrendszerek és más grafikát igénylő alkalmazások számára az operációs rendszer beépített vagy különálló grafikai rendszere biztosítja. Ezek interfészekon keresztül biztosítják a grafikai funkciókat a fent említett alkalmazások számára. Elsősorban régebbi műszaki tervezőrendszerek rendelkeztek saját egyedi beépített grafikával. Annak érdekében, hogy a grafikai rendszer-funkciók igénybevételenek programozását a műszaki tervezőrendszerben egyszerűsítsék, a grafika szabványokon alapul. Ennek előnye, hogy a felhasználónak nem kell grafikai szoftvert biztosítani és elmaradnak a grafikai rendszerrel kapcsolatos interfész problémák.

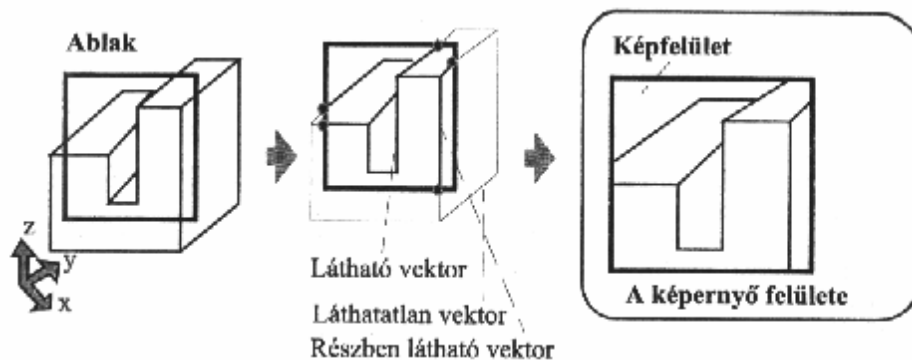
A grafikai szabványok a be- és kiviteli funkciók meghatározott készletét definiálják. Beviteli funkciók például a helyzet-meghatározás, az értékadás, az entitások kiválasztása. Három alapvető beviteli üzemmódban a program értékre vár egy beviteli eszközzel, a felhasználói program a pillanatnyi bevitt értéket kapja és a felhasználói programba a

legutóbbi esemény leírása kerül. A kiviteli funkciók grafikai elemek, más szóval primitívek kirajzolását biztosítják. Az alapvető *grafikai primitíveket* a 3.13. ábrán láthatjuk. A grafikai képbe ezenkívül szimbólum és szöveg illeszthető. A primitívekhez a vonal típusát, vastagságát és színét leíró attribútumok tartoznak.



3.13. ábra. Grafikai primitívek

A 3.14. ábrán a képképzés folyamatának fő szakaszai láthatók. A modell meghatározott részét meghatározott irányból kívánjuk nézni egy ablakon keresztül. A háromdimenziós térből a kétdimenziós képernyőfelületre vetített és a képernyő koordinátarendszerébe transzformált képet alkotó vektoroknak csak azt a részét jelenítjük meg, amelyek az ablakon belül vannak. Közben a modell koordinátarendszeréből a képernyő koordinátarendszerébe kell *transzformálni*. A teljes modell képében definiált vektorok közül egyesek teljes egészükben láthatóak lesznek, mások egyáltalán nem fognak látszani. Ezért a grafikai feldolgozás során ki kell választani a látható vektorokat. A feldolgozás további feladata a részben látható vektorok *vágása* (clipping) az ábrán jelzett pontoknál. A kép felülete rendszerint a képernyő teljes felületének csak egy meghatározott részét teszi ki.

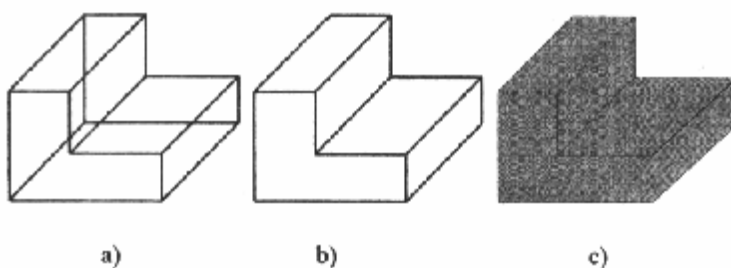


3.14. ábra. Vektorgrafikai feldolgozás

A műszaki tervezőrendszerek több *vetítési módot* alkalmazhatnak. A párhuzamos merőleges vetítésnél a vetítővonalak párhuzamosak. Ha azok merőlegesek a vetítési síkra, vagyis a képernyő síkjára, ortografikus, ha azzal szöget zárnak be, ferde vetítésről beszélünk. Ha ortografikus vetítésnél az objektumot az ábrán látható módon elforgatjuk, a vetítés axonometrikus. Az izometrikus vetítés az axonometrikus vetítés speciális esete, amikor a koordináta-tengely közötti szögek értéke a vetített képen azonos, 120 fok.

Perspektivikus vetítésnél a vetítési vonalak nem párhuzamosak, hanem a vetítési középpontban találkoznak. A vetítési középpont a vetítési sík előtt meghatározott távolságra van. Egy, kettő vagy három vetítési középpont alkalmazható. A perspektivikus vetítés javítja a valósághűséget, de nem őrzi meg a méreteket.

A szerkesztési ablakban különböző *szemléltetési módok* állnak rendelkezésre. A huzalváz szemléltetés az objektum valamennyi élét (3.15a. ábra), a takart vonalas megjelenítés csak a látható éleket (3.15b. ábra) mutatja (esetleg a nem láthatókat másfajta vonaltípussal). Az objektum felületeit kitöltve, egyszerűen színezve, árnyékoltan vagy teljesen valósághűen szemléltetve az alak térszerű képét kapjuk (3.15c. ábra). A mai tervezőrendszerek lehetővé teszik, hogy a tervező a nézőpontját szabadon megválassza, vagyis az objektum és a vetítési sík szögét megváltoztassa, elforgassa.



3.15. ábra. A modell szemléltetésének alapvető módjai

A számítógépen való grafikus megjelenítés mind valósághűbb eredményt ad. Egyes rendszerekben csak a modell árnyékolt, *valósághű megjelenítéséhez* és fényképminőségű (fotorealisztikus) képek készítéséhez vannak eszközök, más rendszerekben a geometriai modellhez kapcsolt felszín-modell entitások hozhatók létre. Az így kiegészült modellalkotás az elemzési és a gyártás-szimulációs eljárásokkal együtt gyakran prototípusok gyártásának kiküszöbölését eredményezi, ezeket virtuális prototípusnak is szokták nevezni.

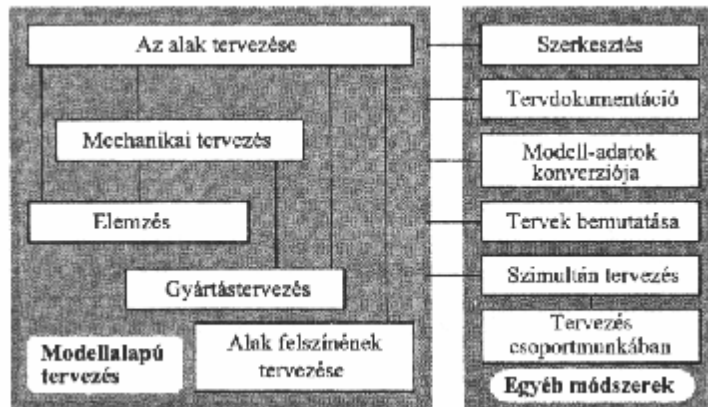
A felszín képzéséhez a számítógépes grafikában általános módszert, a síklapokkal való közelítést alkalmazzák. A felszín megjelenése a fényhatások figyelembevétele nélkül nem lehet valósághű. Ezért a *felszín fénytani jellemzőit* a modellnek tartalmazni kell. A felszín jellemzői többek között a szín (color), az átlátszóság (transparency), a diffúzitás (diffuse), a tükröződés (specular), a csillogás (shinyness), a felület fényvisszaverése (reflectivity). A modellterben az alábbi *fényforrások modelljeit* helyezhetik el. A körülvevő (ambient) fényforrás az objektum egyébként meg nem világított oldalaira juttat fényt. Az irányított (directional) fényforrást párhuzamos fénysugarak hagyják el. A pontból irányított (spot) fényforrás fénykúpot bocsát ki. A pontszerű (point) fényforrás hasonló egy izzóhoz.

Az anyagminőség számos felületi jellemzőt határoz meg. A felszínen az anyagra jellemző *textúra* helyezhető el, amely mátrixgrafikával rögzített kép. A textúra valamely felületi jellemző változásának a mintájáról rögzít információt.

A modellező rendszer ezután a felszín optikai jellemzőinek, a textúráknak és a fényforrásoknak a figyelembevételével határozza és jeleníti meg a felszínt. A *fényhatások* leírására pontos és kevésbé pontos eredményt adó modellezési eljárások állnak rendelkezésre. A Gouraud és a Phong eljárások terjedtek el a gyakorlatban. Gouraud valósághűbb megjelenítést eredményez. A fejlett rendszerek sokszoros tükröződés modellezésére is alkalmasak.

4. A gépészeti tervezés számítógépes módszerei

A számítógépes tervezésnek sajátos módszerei és eszközei vannak a különböző tervezési feladatok megoldására alkalmas műszaki tervezőrendszerekben. Ebben a fejezetben azokat a tervezési módszereket tárgyaljuk, amelyeket a napjainkban korszerűnek ítéltető műszaki tervezőrendszerekben kiterjedten alkalmaznak.

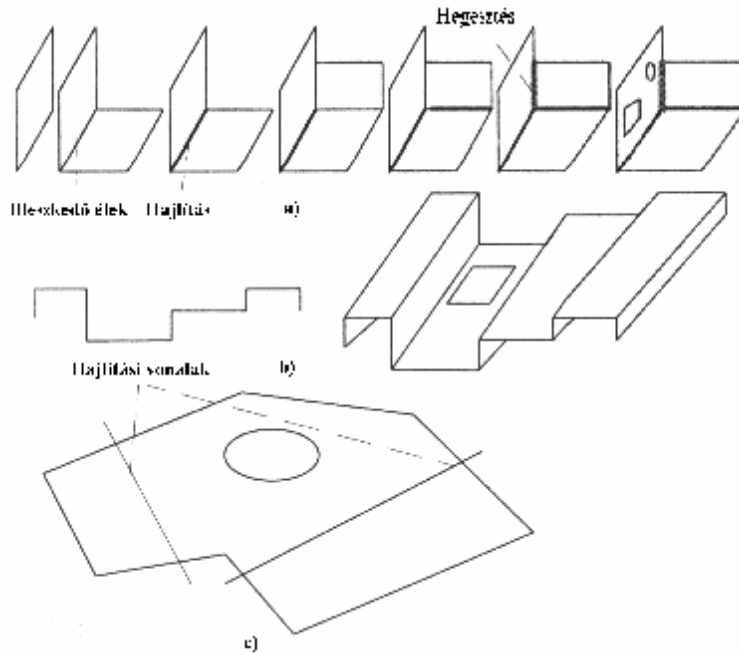


4.1. ábra. A tervezési módszerek csoportjai

A 4.1. ábrán láthatók a módszerek számunkra fontos csoportjai és alapvető kapcsolataik. A mechanikai tervezés az alkatrészek, szerelési egységek és mechanizmusok modelljeinek létrehozására és módosítására irányul. Magát az alakot *geometriai modellek* írják le, amelyek létrehozására a tervezési módszerek igen nagy csoportja szolgál. Mechanikai tervezés elvben és gyakorlatban is lehetséges alaktervezés nélkül is, azonban ekkor természetesen az alak leírásával nem rendelkezünk. A tervet felhasználó szakember számára készíthető műszaki rajzi dokumentáció, azonban az előzőekben leírtak ismeretében érthető, miért nem ad ez a számítógépi feldolgozó eljárások számára értelmezhető alakleírást. Külön kezeljük az objektumok *megjelenítésének* tervezését, amelyhez napjainkban igen fejlett modellezési módszerek állnak rendelkezésre.

Gyakori alkatrészgyártási módszer, hogy lemezből hajlítással és kivágással készítenek alkatrészeket, elsősorban borításokat. Ezeknek a *lemezalkatrészeknek* a modellezése különleges módszereket igényel, ezért a műszaki tervezőrendszerek külön modult tartalmaznak erre a célra.

A lemezalkatrész sajátossága, hogy táblaalakú anyagból, hajlítással és kivágással készül. Meg kell jegyezni, hogy lemezanyagból más módon is készülnek alkatrészek. A hajlításhoz annak sugarától és az anyag minőségétől függő mértékű anyaghozzáadásra van szükség. A lemezalkatrészt tervező programok ezt automatikusan számítják és síkbeli terítékből háromdimenziós alkatrészmodellt, az alkatrészmodellből pedig terítéket tudnak meghatározni. A 4.2a. ábra esetében a térben adott vastagságú lapok modelljét szerkesztjük, majd ezek között adott sugarú rádiuszt definiálunk. Egyes élek mentén hegesztett kötést kell tervezni. A lapokra kivágások kerülnek. A modell alapján a teríték automatikusan készül. A 4.2b. ábra a lemezalkatrész tervezésének azt az esetét illusztrálja, amikor az vonallánc formájában megszerkesztett profilból kiindulva modellezhető. Ha a teríték kontúrja áll rendelkezésre, akkor ebből kiindulva adott vastagságú lapot hoznak létre, ezen megjelölik a hajlítási vonalakat, elhelyezik a kivágásokat, majd az alkatrész modellje automatikusan létrejön (4.2c. ábra). A lemezalkatrészek számára speciális alak sajátosságok tervezhetők, így kivágások, peremes furatok, erősítő bordák stb.



4.2. ábra. Lemezalkatrészek modellezése

A lemezalkatrész általában valamely alaktervezett szerkezeti részt borít. Vannak lemezalkatrészt tervező rendszerek, amelyek képesek a borító lemezalkatrész lapjainak a borított alkatrészek térfogata alapján való automatikus meghatározására.

Az elkészült terveket a szabványok és utasítások előírása, ezenfelül a tervezők belátása szerint *ellenőrizni* kell az igénybevételek, a kinematika és gyárthatóság szempontjából. A szimulációs módszereket is ide soroljuk. Az igen fejlett tervezőrendszerek képesek az elemzést a modell létrehozásával összekapcsolni, tervezett objektum egyes sajátosságainak automatikus meghatározására, például optimális méretek kiválasztására meghatározására. Más esetekben az elemzés-eredményei alapján a tervezőnek kell döntenie a modell módosítása felől. A *gyártás tervezése* CNC programok létrehozását, valamint gyártóeszközök tervezését jelenti. Szükség lehet gyártóeszközök mechanikai tervezésére és alaktervezésére vagy már meglévő modellek felhasználására.

A modell létrehozásán és módosításán túl foglalkozni kell a tervezők együttműködését vagy a külvilággal való kommunikációját szolgáló tevékenységekkel is. Ugyanazon a modellen egyidejűleg több tervező is dolgozik, ezt a *szimultán tervezés* koordinációs módszerei teszik lehetővé. A tervezés eredményeit dokumentálni kell és azokat különböző zsűrik és egyéb döntési és vásárlói csoportok előtt *be kell mutatni*. Az eltérő adatbázisú tervezőrendszerek közötti *adatkommunikációban* a modelladatokat gyakran kell átalakítani a fogadó rendszer számára értelmezhető formába.

4.1. Összeállítás tervezés

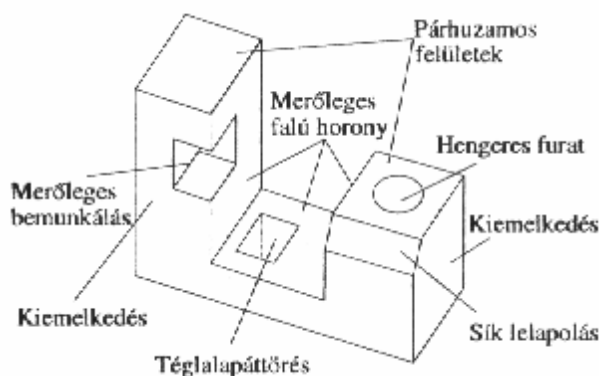
A különböző gépek, készülékek, szerszámok és egyéb, mechanikai elemeket tartalmazó termékek és gyártóeszközök alkatrészeinek alakja geometriai modellező eszközökkel tervezhető. Azonban a geometriai modell csak az alakról ad információt. Az alkatrészt alkotó alakelemek geometriai leírása a tervező számára nem elegendő, hanem ezek funkciójával, minőségével stb. kapcsolatos nem-geometriai információkra is szükség van. Az alkatrészek szerelési egységgé, majd termékké való egymásra épülésének és együttműködésének leírásához további információkra van szükség. Végül a termék modellje magában

foglalhat minden olyan információt, amelyet tervezése, gyártása, felhasználása és a környezetvédelmi előírásoknak megfelelő megsemmisítése, illetve újrahasznosítása igényel. Ez a termékmodell koncepció, amely a STEP termékmodell szabványban jelenik meg. Ezeknek a modelleknek az előállítására és módosítására a műszaki tervezőrendszerek speciális moduljai szolgálnak.

A 2.3. ábrán összefoglaltuk a mechanikai rendszerek tervezésénél alkalmazott alapvető modelleket. Ezek közül az alábbiakban az alaksajátosságok, az alkatrészek, a szerelési egységek és a mechanizmusok modelljeinek előállításával ismerkedünk meg, melyek integrált tervezési adatbázisokban, egymással összefüggésben jönnek létre.

Az *alkatrész* modellje az alkalmazással kapcsolatos attribútumokkal, valamint az alak geometriai és/vagy alaksajátosság modell-entitásokkal való leírásával kapcsolatos információkat tartalmazza. (Attribútumnak nevezünk az alkatrész modellezésben minden olyan adatot, amelyet a geometriai modellben nem lehet leírni, azonban az alkatrészt, vagy az azt felépítő valamely alaksajátosságot jellemzi.) Az alkalmazást maga az alkatrész, a szerelési egység vagy mindkettő határozza meg. Egy csapszeg például lehet a szerelési egységtől függetlenül leírható, szabványos típus, de lehet kifejezetten valamely szerelési egységben való alkalmazásra tervezett. Természetesen az alkatrésznek a "csapszeg" elnevezése önmagában is az alkalmazásra utal. Ha csupán a geometriai modellt nézzük, ez az alkatrész forgásfelület vagy forgástest lehet. Az alkatrész leírása a nem-geometriai jellemzőket tartalmazó attribútumokkal lesz teljes, ilyenek például a méretek, az anyagminőség vagy a felületi érdesség.

A korszerű tervezőrendszereknél a tervező az alkatrészt annak megfelelő funkciójú alaksajátosságokból építi fel. Az *alaksajátosság olyan geometriai alapegység vagy csoport, amely a modellezett objektum alakjának tartományát képezi, és a termék megvalósításához kapcsolódó tevékenységek valamelyike szempontjából jelentősége van.* Ezek lehetnek geometriai vagy alkalmazási sajátosságok. A geometriai sajátosságok azonosak az előző fejezetben megismert elemi alak-modellekkel, azonban ezek nem kombinációs műveletek útján épülnek alkatrészre, hanem a sajátosságot, mint az addig elkészült alkatrész alakját módosító elemet kezeljük. Ez a módosítás lehet anyag eltávolítása vagy anyag hozzáadása az alkatrészhez. A kiinduló sajátosságot alap sajátosságnak (base feature) nevezzük. Ezenkívül az alak módosítható élettörésekkel, éllekerekítésekkel is.

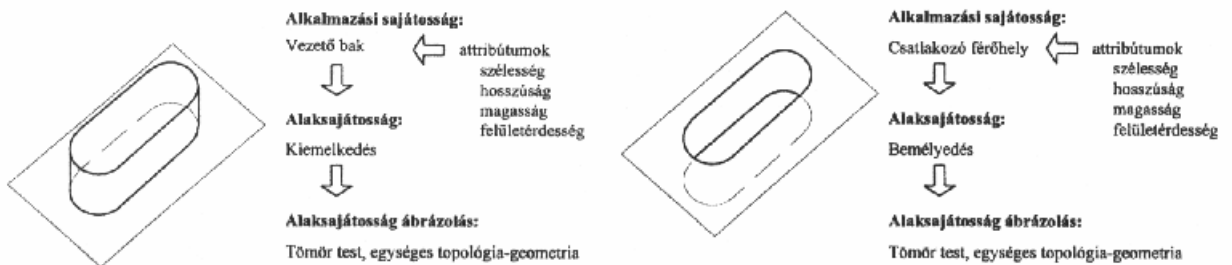


4.3. ábra. Alaksajátosságok geometriai szemléletű értelmezése

A geometriai alaksajátosságokkal végzett alkatrészépítés elvét a 4.3. ábrán láthatjuk. Az alkatrész tervezésének kiindulási alapja, az alap sajátosság egy téglatest. Ezek után anyaghozzáadó és anyagkivonó típusú sajátosságok épülnek be az alkatrészbe, létrejönnek a komplex alak geometriai és topológiai entitásai, nincs szükség egyesítési és kivágási kombinációs műveletek elvégzésére. Meg kell említeni, hogy az alaksajátosságok geometriából kiinduló hagyományos értelmezése nem

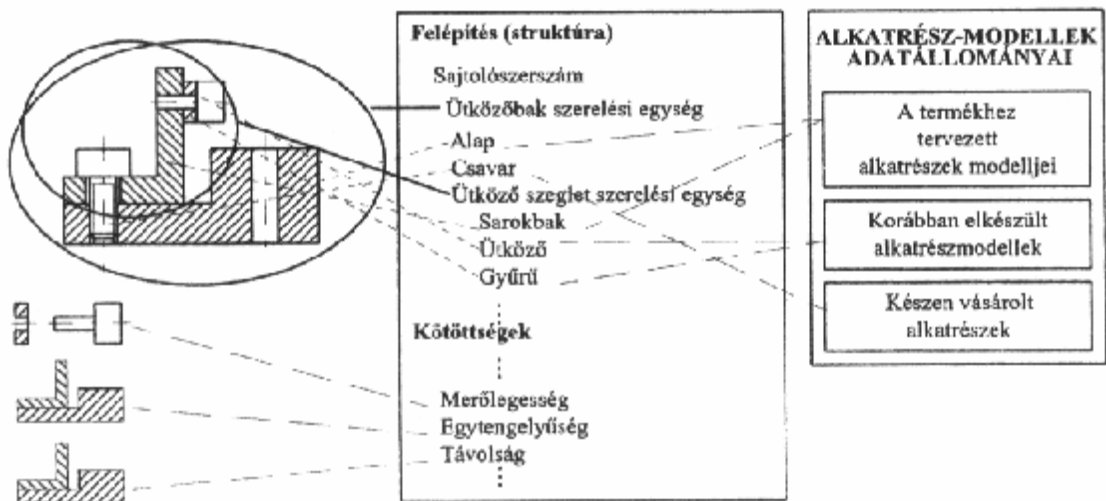
könnyű. A konstrukciós tervező számára az alaptesthez adandó kiemelkedések közötti rész a gyártástechnológusnak a befoglaló alakzathoz képest leválasztandónak bizonyul.

Az *alkalmazási sajátosság* lényege, hogy alkalmazását és funkcióját is kifejezi. A 4.4. ábrán láthatjuk, hogy a tervező számára szakmai jelentéssel bíró elnevezést alkalmaznak. Az alkalmazási sajátossághoz attribútumok kapcsolódnak. Az alkalmazási sajátosság az alak sajátosságra mutat. Az alak sajátosság magát az alakot adja meg, azonban nem tartalmaz információt arra, hogy azt miként állították elő a modellben. Erre az alak sajátosság ábrázolás ad információt. Az alkalmazási sajátosságnak ezt a háromrétegű leírását szabványosították a STEP-ben.



4.4. ábra. Alkalmazási sajátosságok

A termék modellezésének következő lépése a *szerelési egység* modelljének felépítése. A műszaki tervezőrendszerek erre a célra szolgáló modulja lehetővé teszi már létező alkatrész modelljeinek elérését és a szerelési egység struktúrájának az építését. Ez azt jelenti, hogy felülről lefelé, vagyis a struktúra építését követően az alkatrészmodellek kidolgozásával, vagy fordítva, meglévő alkatrészeknek struktúrába építésével, vagyis alulról fölfelé építkezve is lehet dolgozni. A gyakorlatban a két módszert egy terméken belül egyenesen is alkalmazzák.

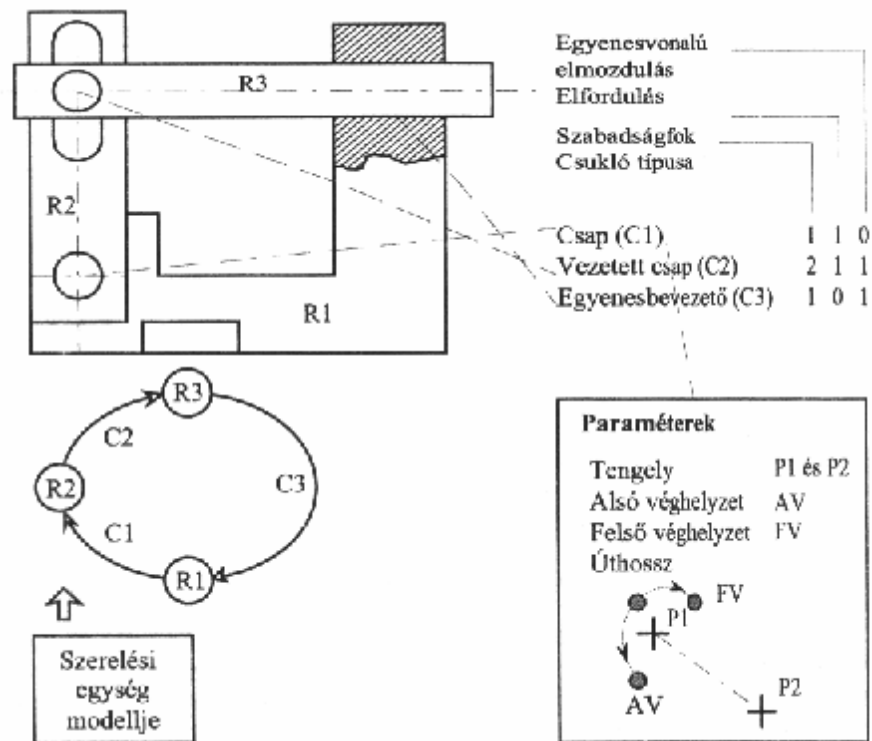


4.5. ábra. Szerelési egységek modellezése

A termék szerelési egységekből, ezek alkatrészekből és további, alsóbbrendű szerelési egységekből épülnek fel. A struktúra leírása végül minden szerelési egységhez információt ad az azt alkotó alkatrészekről. Az információk következő csoportja az *alkatrészek közötti kötöttségeket* tartalmazza. A 4.5. ábrán három példát láthatunk. A kötöttségeket a tervező a mechanikai rendszer megfelelő működése érdekében határozza meg. A szerelési egység modelljében esetenként szerepel az alkatrészek közötti kapcsolat típusa, vagyis hogy azok például csúszó illesztéssel, akadó illesztéssel, ragasztással stb. kapcsolódnak egymáshoz meghatározott felületeiken. Az alkatrészek üzem közbeni elmozdulását is figyelembe kell venni, hogy az ütközéseket elkerüljük.

A mechanikus rendszer üzem közben az alkatrészek kapcsolatainak láncja által lehetővé tett mozgásokat végez. Annak érdekében, hogy a mozgás szimulációjával meg tudjuk vizsgálni azt, hogy a rendszer a tervező által elképzelt mozgásokat végzi-e és hogy a mozgás sebességének és gyorsulásának eredményeképpen ébredő erők nem okozzák-e az alkatrészek túlzott igénybevételét, a modellben információt kell elhelyezni arról, hogy az alkatrészek egymáshoz képest milyen irányokban és milyen mértékben képesek elmozdulni. Azt a modellt, amely az alkatrészek és a szerelési egységek fent leírt modell-információit az elmozdulási lehetőségekkel kapcsolatos információkkal kiegészíti, *mechanizmus* modellnek nevezzük.

A mechanizmus modellje tehát az alkatrészek közötti elmozdulási lehetőségeket írja le. A 4.6. ábrán egy leegyszerűsített alakú mechanizmus három alkatrésze között három elmozdulási lehetőséget írtunk le a modellben. Ezeket az elmozdulási lehetőségeket csuklóknak nevezzük (C1-C3). A csukló, típusától függő számú egyenes vonalú és/vagy elforduló mozgást tesz lehetővé. A csuklókat merev testeknek tekintett rudak kapcsolják össze (R1-R3). A csukló típusa mellett a hozzá rendelt paraméterek írják le az elmozdulási lehetőséget. A mechanizmus modellje rendszerint a szerelési egység modelljéhez, ezen keresztül az alkatrészmodellekhez kapcsolódik. A mechanizmus modellje rugók, csillapító elemek és egymáson elmozduló felületek közötti érintkezési kapcsolat leírását is tartalmazhatja.



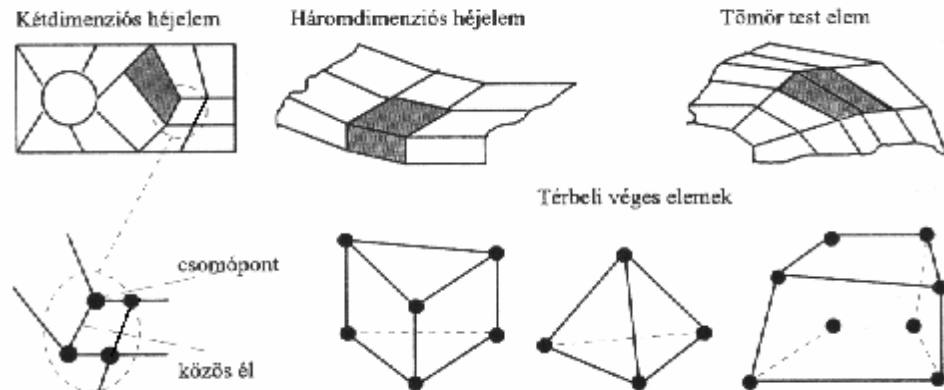
4.6. ábra. Mechanizmus modellje

A mechanizmus szimulációjával ellenőrizzük a struktúra hiánytalanságát, a mechanizmus működőképességét és a mechanizmus elmozdulásának jellemzőit. Egyfelől a mechanizmusnak a csuklókkal meghatározott szabadságfokok mellett való működőképességét, másfelől a fellépő erőhatások okozta igénybevételeket kell ellenőrizni. Egyes mechanizmusok adott pontjának meghatározott pályát kell követnie, például autókarosszériákon hegesztést vagy festést végző robotok esetében. Ennek ellenőrzésekor kiderülhet, hogy a robot képtelen a szükséges mértékben "kinyújtózni" egy távoli pont elérésére.

4.2. Elemzés

A megtervezett termék a modell alapján gyártható, azonban igen költséges, ha csak a prototípus vagy rosszabb esetben az első széria legyártása után derül ki, hogy a termék a tervezett célokra csak módosítással vagy egyáltalán nem alkalmas. Ez annyira költséges, hogy a szintén költséges modell-elemzési módszerek igen gyorsan terjednek. Ezek az elemzés alapján, gyártási tevékenység vagy kísérlet elvégzése nélkül, megfelelő pontossággal adnak választ arra, hogy megadott terhelés mellett az alkatrész miként fog alakváltozni, deformálódni, törni. A terhelés a teljesség igénye nélkül erő, nyírás, hajlítás, gyorsulás, gravitáció, nyomás, hőmérséklet, hőforrás és mágneses hatás lehet. A terhelés hely és idő függvényében, matematikai összefüggéssel leírható módon változhat.

Az alkatrész egyes pontjain tapasztalható igénybevételek, alakváltozások, hőmérsékletek és mágneses tér meghatározására szinte kizárólag a *véges elemeken* alapuló modellezés (FEM- Finite Element Modeling) és elemzés (FEA- Finite Element Analysis) terjedt el. Az elemzéshez az alkatrész geometriai modelljét alkalmasan ki kell egészíteni, esetenként le kell egyszerűsíteni, el kell helyezni azon a fent említett terheléseket, meg kell adni a peremfeltételeket (elmozdulási kényszerek, megfogások stb.) és el kell készíteni az úgynevezett végeelem hálót.



4.7. ábra. Véges elemek és hálók

A végeelem analízisnél hálóban definiált véges elemekkel való közelítést alkalmaznak. Sík felületet, héjat vagy testet meghatározott alakú (elemkészlettől függő) és méretű elemekre osztanak fel (4.7. ábra). Az elemek és a hozzájuk számított jellemzők a modellben, mint végeelem entitások foglalnak helyet. Az elemek közös éllel és csomópontokkal kapcsolódnak egymáshoz. Az él általában egyenesek, azonban szükség esetén alkalmaznak másodfokú és harmadfokú éllel határolt véges elemeket is. Görbült felületek esetében is egzakt lehet az él leírása, ha a görbült felület fokszámának megfelelő fokszámú elemek generálhatók az adott rendszerben. Szilárdsági vizsgálatoknál az elsődleges ismeretlenként kezelt elmozdulások és az ezek segítségével meghatározható igénybevételek pontos számítása csak a háló csomópontjaiban történik meg. A modell többi pontjában (az elemek belsejében) csak közelítő értékek határozhatók meg.

A hálógenerálást irányíthatja a tervező, de lehet automatikus is. Ahol az alkatrésznek nagy igénybevételű kritikus részek mellett jelentéktelen igénybevételű részei is vannak, egyenetlen sűrűségű hálót célszerű alkalmazni. A kritikus részek sűrű hálója mellett az egyéb részekeken ritka háló definiálható, nagymértékben csökkentve a feldolgozási igényt. A szakmai nyelv a végeelem modell készítését előfeldolgozásnak vagy preprocessálásnak nevezi. Miután igen nagy mennyiségű elem sok számítás végzendő és az elemek nagy száma miatt a szükséges tárolókapacitás is igen nagy lehet, a végeelem analízis a

mára sokszorosára nőtt számítógép teljesítmény mellett is gyakran kritikus feladat a műszaki tervezőrendszerek gyakorlatában.

Rendszerint számos rendelkezésre álló modul közül kell a felhasználónak a termékei elemzéséhez szükségességeket kiválasztani. Különbő feldolgozó programok kellenek a szilárdsági, a termodinamikai, az elektromágneses és egyéb elemzésekhez, ezeken belül a sokféle feladathoz. Az elemzési eredményeket a tervező számára szemléletes formákban lehet szemléltetni (utófeldolgozás vagy posztprocesszalás). A legjobban elterjedt grafikus szemléltetések eltérő színekkel jelölik a vizsgált jellemző egyes érték-tartományait. Az eredmények elérhetők táblázatok és további feldolgozásra alkalmas formátumú adatállományok alakjában is. Az alakváltozásokat animációval lehet szemléletesen bemutatni.

Az elemzés eredményeképpen szükséges modell módosításokat általában a tervező dönti és végzi el. Fejlett rendszerekben az egyes méretek automatikus módosítása, sőt az alak adott cél (például minimális vastagság vagy legkisebb súly) elérésére automatikusan optimalizálható. Ez valójában a végelem analízis aktív alkalmazása.

4.3. Tervek dokumentálása és bemutatása

A modellező rendszerekben elkészült tervek a termék-adatbázisban foglalnak helyet, amelyből valamennyi tervező eljárás és szakember információt nyerhet, és amelyből modell és műszaki rajz adatok vihetők át más rendszerekbe. Azonban a termékek adminisztrációjához, propagandájához, telepítéséhez és üzemeltetéséhez hagyományos értelemben vett tervdokumentációkra, termékismertetőkre és reklámanyagokra is szükség van (4.8. ábra). A dokumentációk korszerű, elektronikus változata szöveget, táblázatot, rajzot, fényképet, hanganyagot és videoanyagot tartalmaz. Elhelyezhető számítógépek háttértárolóján vagy valamely hordozható információ-hordozón, ma elsősorban CD lemezen. A számítógépes dokumentáció a világméretű információs rendszeren keresztül elérhető, tárolható vagy letölthető. A dokumentációkba való betekintés rendszerint hozzáférési jogosultságot igényel. Elektronikus dokumentációk előállításához és kezeléséhez, valamint a World Wide Web funkciókhoz a jól kiépített műszaki tervezőrendszerek elemeket tartalmaznak.



4.8. ábra. Számítógépen készült tervek dokumentálása

Mint már korábban leírtuk, a hagyományos papíralapú dokumentációnak ott van helye, ahol az elektronikus dokumentáció nem alkalmazható, vagy a kezeléséhez szükséges technika nem áll rendelkezésre. Az első dolog, amivel számot kell vetnünk, hogy ekkor csak a műszaki rajz, mint a tervezők által hagyományosan alkalmazott kommunikációs eszköz információhordozó képességével számolhatunk. Ezt egészítik ki szövegek, grafikák és fényképek. Műszaki rajzokat a jelentős anyag és karbantartási költséget igénylő rajzgépeken lehet előállítani. Kisméretű rajzok nyomtatókon is készíthetők. Ugyanakkor kisebb méretű, de jó minőségű papír-alapú termékismertetőkre, különféle reklámanyagok

céljára ekkor is szükség van. A papírnak, mint a tervezési eredmények hagyományos hordozójának a szerepe folyamatosan csökken, azonban jelentősége és alkalmazásának kiterjedtsége még ma is nagy.

A papír, mint dokumentáció-hordozó megmaradásának egyaránt vannak valóságos és lélektani okai. Valós ok például, amikor kézi vezérlésű szerszámgépen dolgozó szakember papír műszaki rajzról dolgozik. A tervezési eredményeknek számos hasonló alkalmazása van, ahol egyszerűen nem terjedtek el számítógép-terminálok, így ezek a szakemberek ma is kívül vannak a számítógép-rendszeren. A lélektani ok az a mindannyiunkban meglévő érzés, hogy csak a papírra vetett információ megmaradása az igazán biztos, az elektronikus információ-hordozók olvasásánál bonyolult technika kényénekedvének vagyunk kiszolgáltatva. Erre az érzésre mind kevésbé van okunk. Értékes tervek esetében az elektronikus példány a biztonsági megoldás.

A tervek bemutatását mindinkább olyan emberek előtt kell végezni, akiknek drága az ideje. Hatalmas papírkötegek böngészésére mind kevésbé lehet készíteni a döntéshozókat. Ezért rövid, a terv lényeges részeit és a tervezett termék lényeges sajátosságait bemutató prezentációk terjednek. Ezek a számítógépen megjeleníthető egyszerű dia-sorozatoktól (slide-show) a multimédia prezentációkig terjednek. A prezentáció a számítógép kimeneti eszközeként működő videoberendezésen rögzíthető és a bemutató helyszínén egyszerű videolejátszóval megjeleníthető. Ebben az esetben nem kell a helyszínen számítógépet biztosítani, azonban az interaktivitás előnyét elveszítjük. Korszerű megoldás, amikor az Interneten keresztül saját számítógépünkkel létesítünk kapcsolatot.

A számítógépi környezet fejlett modelljei, a virtuális prototípusok mind gyakrabban tesszik lehetővé fizikai prototípusok költséges gyártásának az elhagyását. Azonban gyakran van szükség arra, hogy ha a prototípus nem is "valódi", de kézzel fogható legyen, melyen ellenőrizhető a tervezett forma és az integritás. Ez az igény vezetett a *gyors prototípus készítési* technológiák kifejlesztéséhez. A gyors prototípus a műszaki tervezőrendszert működtető számítógép periferikus berendezésén, számítógéptermi környezetben készül, nem igényel üzemi környezetet. A berendezések zárt rendszerűek, kis alapterületet foglalnak el és tiszták. A gyors prototípus nem igazi alkatrész, azonban hordozza annak alakját és legfeljebb néhány óra kell az előállításához.. A gyors prototípus-készítéssel kisebb igénybevételre alkalmas szerszámok is előállíthatók. Ezek önmagukban, vagy fémszórással kopásállóvá téve kisebb sorozat elkészítéséhez, például fröccsöntéséhez használhatók.

A különböző elveken alapuló gyors prototípus-készítő berendezések közvetlen kapcsolatban vannak a műszaki tervezőrendszerrel és a geometriai modelltől előállítható adatállomány felhasználásával készülnek. A gyors prototípus-készítő berendezések vezérlőprogramjának létrehozásához a műszaki tervezőrendszer interfész programja a geometriai modell adatállományából szabványos STL fájlt állít elő. Az eredmény a prototípus elkészítése előtt a berendezés vezérlésének képernyőjén ellenőrizhető.

Számos eljárást dolgoztak ki gyors prototípusok előállítására. Ezek közös vonása, hogy az alakot rétegekre bontják, majd a berendezés a rétegekre vonatkozó információk alapján, rétegenként építi fel a gyors prototípust. A kikeményítéssel dolgozó eljárásoknál folyékony vagy por alakú gyanta alapanyagot használnak. Széles körben terjedt el a sztereolitográfiai eljárás, amelynél az alapanyag folyékony műgyanta, amelyet egy tartályba töltenek. A számítógéppel vezérelt ultraibolya lézersugár hatására a kikeményedő anyag felületén az alak vékony rétege jön létre. Az alakot vékony anyagból, a rétegek kivágásával létrehozó eljárások (LOM) a megfelelő pontosság és felületminőség biztosítása érdekében szintén lézeres technológiával dolgoznak.

5. Műszaki tervezőrendszerek

Az előző fejezetekben ismertettük azokat a módszereket, amelyeken a mechanikai rendszereknél alkalmazott műszaki tervezőrendszerek alapulnak. Ezzel valójában kialakult azoknak a funkcióknak a köre, amelyekhez a tervezőrendszerekbe épített programokat fejlesztik. Ebben a fejezetben a leírtakat egészítjük ki azokkal az ismeretekkel, amelyek a leírt funkciókat megvalósító programokat rendszerbe foglaló tervezőrendszerre vonatkoznak. Összefoglaljuk azokat az alapismereteket, amelyekre a tervezőrendszerekkel kapcsolatosan az üzemeltető környezetben dolgozó szakembernek feltétlenül szüksége van, bármi is legyen a konkrét feladata.

A műszaki tervezőrendszer egyike az informatikában alkalmazott alkalmazási rendszereknek. Meghatározott, specifikált mérnöki munka számítógépes eszközökkel való segítésére használják. A tervezőrendszer, mint számítástechnikai termék több-kevesebb építőközből, szakszerűen kifejezve *modulból* épül fel. A felhasználó számítógéprendszerének jellemzői, a tervezési feladat specifikációja és finanszírozási lehetőségei alapján választja ki a telepítendő tervezőrendszert a piacon kínált termékek közül. Ezután kiválasztja a szükséges modulokat, figyelembe véve azt, hogy egyes modulok más modulok meglétét feltételezik.

A műszaki tervezőrendszer kiválasztása és üzemeltetése a vállalat működésére jelentős kihatással van, ezért ezek a tevékenységek igen nagy szakértelmet és körültekintést igényelnek. A tervezőrendszer hiánya éppúgy hozzájárulhat egy vállalat sikertelenségéhez, mint egy magas színvonalú, ám a feladathoz alkalmatlan tervezőrendszer.

5.1. Funkcionalitás és modularitás

Az alkalmazás lehetséges területét és kiterjedtségét a tervezőrendszer funkcionalitása határozza meg. A *funkcionalitás* a tervezőrendszerekbe épített funkciók összességét jelenti és a felhasználó számára a műszaki tervezőrendszer egyik alapvető jellemzője. A tervezőrendszerektől elvárható fontosabb funkciók a következők: a geometriai modellezési, az összeállítás modellezési, a gyártástechnológiai és az elemzési funkciók az alapvető modellezési módszerek megvalósítását jelentik. A műszaki-rajz készítési funkciók lehetnek önállóak vagy modellezési eljárásokkal összekapcsoltan is alkalmazhatók. Az adatbázis-kezelési, az adatcsere, az Internetes, a felhasználói felületi és a nyitott rendszer funkciókat, amelyek a műszaki tervezőrendszerben végzett modellezési és dokumentálási funkciókat szolgálják ki, később tárgyaljuk.

Az egyes funkciókat a különböző tervezőrendszerekben különböző elveket, módszereket, színvonalat és teljesítményt képviselő eljárások valósítják meg. A kiválasztás ennek figyelembevétele nélkül nem lehetséges. A gyakorlatban valamely meghatározott, specifikált tervezési feladathoz szükséges funkcionalitású tervezőrendszer nem mindig konfigurálható a fejlesztők kínálatából. Többnyire a kiválasztott tervezőrendszer funkcionalitásának hiányosságai kiküszöbölhetők a felhasználó által megrendelt, esetleg elvégzett fejlesztéssel. Néha, például igényes elemzési feladatok esetén több tervezőrendszer összekapcsolása adja a megoldást. A tervezési feladat specifikációjának minden információt tartalmaznia kell a tervezőrendszer kiválasztásához.

A kereskedelemben beszerezhető hasonló célú tervezőrendszerek egyes tipikus alkalmazási terület elemzésének eredményeképpen hozott fejlesztői döntések alapján más-más funkciótartományt fednek le. Az egyes rendszerek funkcionalitása esetenként a fejlesztő vállalat fontos felhasználóinak, esetleg a fejlesztést finanszírozó vállalatoknak az igényeit

tükrözi. A fejlesztés a felhasználók észrevételeinek folyamatos figyelembevételével történik. Ezért elmondható, hogy a hosszú fejlesztés alatt a tervezőrendszerben roppant mennyiségű ismeret és tapasztalat halmozódott fel, amelyet a magas színvonalon dolgozni képes felhasználók kamatoztathatnak. A tervező szakember tudását, helyismeretét és kreativitását azonban ez csupán kiegészíteni, nem pedig helyettesíteni tudja.

Napjaink tervezőrendszereinek fontos felépítési sajátossága a *modularitás*. A moduláris felépítésű rendszer olyan önálló elemekből, modulokból áll, amelyekből tetszés szerint építhető fel a konkrét rendszer, amely bármikor kiegészíthető további modulokkal, és amelyből bármikor eltávolíthatók modulok. Egy modul alkalmazási, rendszerfejlesztési és üzletpolitikai szempontok alapján kialakított funkciókat megvalósító eljárások csoportját foglalja magában és a rendszerhez egységesített, specifikált adatátviteli felületen kapcsolódik. A funkciók alkalmas csoportosításával elkerülhető, hogy a felhasználó számára szükségtelen funkciók megvásárlására kényszerüljön csupán azért, mert azok valamely szükséges funkciókkal egy egységben telepíthetők. Pl. nem kényszerül teljes körű NC marási ciklusterveztet telepíteni a felhasználó, ha nem rendelkezik 3 és 5 tengelyű marást lehetővé tevő NC szerszámgéppel és nem is szándékozik azokat beszerezni. A gyakorlatilag önálló programtermékként funkcionáló modulok lehetővé teszik a felhasználó számára a tervezőrendszer installáció fokozatos bővítését és korszerűsítését. A modularitás előnye a fejlesztő számára, hogy fokozatosan alakíthatja ki és fejlesztheti tovább a tervezőrendszert és a már elkészült részeket forgalomba hozhatja.

Az adatbázis-kezelés és geometriai modellezés két hatalmas funkciócsoport, amely mindegyik műszaki tervezőrendszerben megtalálható. Erre specializálódott fejlesztők *magrendszereket* állítanak elő, amelyeket a tervezőrendszerek fejlesztői megvásárolnak és saját rendszerükbe építenek. A magrendszer szakosított fejlesztése és a meglévő elemek felhasználásával történő rendszerfejlesztés egyaránt csökkenti a költségeket. A magrendszerek alkalmazása lehetőséget ad a tervezőrendszerek jövőjében oly fontos szabványosításra.

A tervezőrendszerek fejlesztői ezekben az években gyakorlatilag csak egységes geometriájú-topológiájú geometriai modellező eszközöket építenek termékeikben. A Spatial Technology cég terméke az ACIS geometriai modellező magrendszer jó példa erre. Az utóbbi évek gyakorlatában de facto, vagyis a gyakorlatban létrejött szabvánnyá válva több jelentős és kiterjedt alkalmazású tervezőrendszer geometriai modellező magrendszerét képezi. Az ACIS alapú rendszerek közvetlenül összekapcsolhatók, az adatcsere a közös modellformátum következtében nem okoz különösebb problémákat. Az ACIS SAT adatátviteli formátum eltérhet az adatbázisban való tárolás formátumától.

5.2. Adatbázisok és kezelésük

A tervezőrendszerek adatbázisai céljuknak megfelelően modellek, műszaki rajzok és dokumentációk adatait tartalmazzák. Az adatok eltérő jellegű és adatkezelés-igényű csoportjait számos régebbi, még ma is alkalmazásban lévő tervezőrendszerben több különálló adatbázis-részben tárolták. Napjaink fejlesztésére az integrált adatbázisok jellemzők, amelyekben a termékekhez közös struktúrában tárolják az alkatrészek, a szerelési egységek, a végelem modellek, az elemzési eredmények, a műszaki rajzok, a katalógusi elemek, az ellenőrzési eredmények, a szerszámok, a szerszámgépek, a befogási lehetőségek, a szerszámciklusok és az NC vezérlőprogramok adatait. Az ilyen rendszerben az egyes adatscsoportokon belül és azok között is definiálhatók kapcsolatok, kötöttségek.

Egy tervezőrendszer létesítésének tervezése és megvalósítása során a szabványos alkatrészek könyvtárát és a tervezés adatbázisát koncepcionális és funkcionális szempontból is

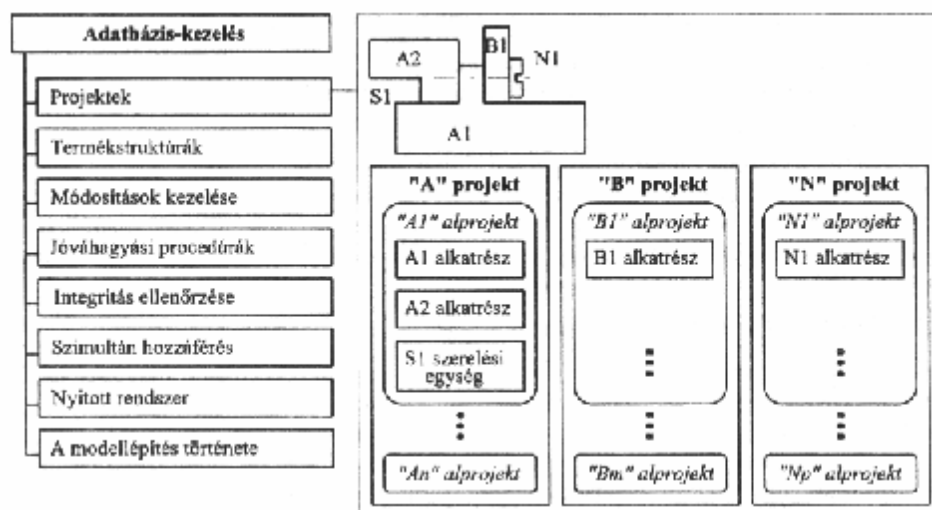
meg kell határozni. Meghatározásuk és szervezésük valószínűleg a tervezőrendszer létesítésének a legnehezebb és a legösszetettebb feladata.

A tervezőrendszer hatékony működésének lényeges feltétele a műszaki alkatrészek könyvtára, amely egyrészt hivatkozási alap, másrészt a szabványos vagy a korábban már használt alkatrészek forrása. A könyvtárnak tartalmaznia kell:

- minden szabványos elemet, pl. csavarokat, anyákat, elektromos alkatrészeket stb., amelyek a tervezőmérnökök munkájához szükségesek;
- az országos és helyi (vállalati) szabványban rögzített félkész-termékeket, alkatrészeket és szerkezeti egységeket (pl. profilidomokat, csapágyházakat, a legfontosabb szerkezeti egységeket stb.);
- tervezési jelképeket, makrókat, dokumentációformátumokat stb.

Az egyes tervezési feladatokhoz tartozó különböző adatokat össze kell kapcsolni, pl. egy tervazonosítóval (egy elsődleges kulccsal). A visszakeresés kódja egy másodlagos kulcs, amely lehetővé teszi a felhasználónak, hogy megtalálja az általa keresetthez hasonló alkatrészek "családját", mégpedig az előre meghatározott tartományban. Egyéb másodlagos kulcsokat a helyi igényeknek megfelelően kell alkalmazni. A tervezőrendszernek képesnek kell lennie a visszakeresési kód automatikus előállítására.

A tervezőrendszerek adatbázisai – általában akkora tárolókapacitást igényelnek, amelyet csak a nagyszámítógépes rendszerek tudnak biztosítani – hasonlóak más nagy alkalmazási rendszerek adatbázisaihoz. A gyakorlatban az úgynevezett relációs adatbázisok terjedtek el, a szabványos SQL lekérdezési nyelv alkalmazásával. A legegyszerűbb megoldás az, amikor a tervezési eredményeket egyedi adatfájlokban helyezik el, amelyek kezelését az operációs rendszerben rendelkezésre álló fájlkezelési funkciókkal végzik. Az operációs rendszerek fájlrendszerei nem alkalmasak az egyes fájlokban lévő adatok közötti szövevényes kapcsolatrendszer leírására. Nem lehet megvalósítani az egymásra hatással levő, például szerelési egység és az abban elhelyezett alkatrészek adatait tartalmazó adatállományok együttes módosítását. Az érintett fájlok manuális módosítása hibák veszélyét rejti. További veszély, hogy ugyanarról az alkatrészről több modellfájl is lehet a rendszerben és nem kapunk figyelmeztetést, ha egy régebbi változatot használunk fel. Ezért a tervezőrendszerekbe sajátos adatmenedzselési funkciókat építenek, amelyek a célnak megfelelően szervezett adatbázisokat kezelnek. Az adatbázis-kezelési funkciók lehetséges csoportjait az 5.1. ábra mutatja.



5.1. ábra. Adatbázis-kezelési funkciók csoportjai

A tervezőmunkák csoportosításának két alapvető megközelítése a projektek és a termékstruktúrák alkalmazása. A *projekteket* a vállalatnál folyó tervezőmunka csoportjainak különválasztására alkalmazzák. A tervezőrendszerben létrehozott eredményeket a megfelelő projektekben helyezik el. A projekteken belül szükség esetén alprojektek definiálhatók. A projektek kapcsolódhatnak termékekhez vagy azok meghatározott részeihez, a jól kiépített projekt adatbázisokban a termék struktúrájával kapcsolatos információk rögzíthetők, azonban a projekt bármely más alapon összetartozó modelleket és műszaki rajzokat is magában foglalhat. Az 5.1. ábrán példát láthatunk, amelyben három projektet tüntetünk fel. Az S1 szerelési egységet és a kifejezetten ehhez tervezett A1 és A2 alkatrészeket az "A" projektben helyezték el. A szerelési egység tartalmazza a B1 alkatrészt, amely a "B" projektben lett elhelyezve. Ennek oka lehet az, hogy a "B" projekt több termékben is felhasznált, azonban a tervezőrendszerrel tervezett alkatrészt tartalmaz, vagy a "B" projekt egy másik termékhez vagy szerelési egységhez lett létrehozva és az S1 szerelési egységbe ebből a B1 alkatrészt beépítik. Az "N" szabványos elemeket tartalmazó projektből az N1 csavar épül az S1 szerelési egységbe. A projektekhez és alprojektekhez személyi hozzáférési jogosultságok kapcsolhatók. Ugyanannak a tervezőnek több projekthez lehet hozzáférési jogosultsága.

A tervezőrendszerek fejlődése az integrált *termékmodellek* irányában mutat. A STEP termékmodell szabvány az EXPRESS nyelv segítségével a termék objektumorientált leírását és ennek programozását teszi lehetővé. A tervezőrendszerek adatbázisainak fejlesztése termékcentrikussá válik. Ezek az adatbázisok a termékből kiindulva fa-struktúrában tartalmazzák a terméket alkotó szerelési egységek, alkatrészek stb. adatait. Egyszerűbb rendszereknél ez a fa az operációs rendszer katalógusaira mutat. A jobban kiépített rendszerek valamely adatbázis-kezelő által létrehozott, jól szervezett adatbázist tartalmaznak. A termékadatok integráltsága nem csupán a mechanikus tervezésen belül, hanem a termék tervezéséhez szükséges egyéb szakterületekre, például az elektromos, az elektronikai, a csőhálózati stb. tervezésre kiterjesztve is megvalósítható. A termékkel, illetve az azt felépítő elemekkel kapcsolatosan módosulatok (revision), alternatívák, változatok, opciók kezelésére lehet szükség. A darabjegyzékek (Bill of Materials, BOM) szintén részét képezik a termékekkel kapcsolatosan tárolandó információknak.

Amikor az arra jogosult tervező valamely alkatrész modelljét módosítja, felelősséggel tartozik azért, hogy megfelelően módosítva legyen minden modell, amely az alkatrészt tartalmazó szerelési egységet, más, a módosított alkatrésztől függő alkatrészt, vagy a módosított alkatrész alkalmazása során keletkezett elemzési eredményt vagy technológiát ír le. Módosítani kell a műszaki rajzokat is. A *módosítás* fejlett rendszerek esetében a modellben leírt kötöttségeken és paraméter-összefüggéseken keresztül automatikusan is megvalósul, vagy legalábbis a tervező megkapja a szükséges figyelmeztetéseket.

Csoportmunkánál a tagok módosítási üzenettel informálhatók a változásokról. A módosítások követhetőségéhez kell tudni, hogy a módosított alkatrész új verziójának létrehozásáról, egy meglévő verzió módosításáról van-e szó. Státuszkóddal lehet megkülönböztetni a még fejlesztés alatti tételeket a már jóváhagyottaktól. A módosítási információ a hagyományos tervezéshez hasonlóan azonosítja a módosított tételt, az érintett további tételeket és a módosítást végző tervezőt, majd leírja a módosítás tartalmát.

A terveket leíró modellek és műszaki rajzok *jóváhagyás* nélkül nem tekinthetők hivatalos verzióknak és így nem használhatók fel. Ma már léteznek a jóváhagyásokat is kezelni képes adatbázisok, azonban számos jól kiépített adatbázis nem kínál ilyen funkciókat. Ez utóbbi esetben a modellhez kapcsolt szöveg tartalmazhatja a jóváhagyást. Az adatbázis logikai- és adatstruktúrájának ismeretében az adatbázis-kezelő felismerheti az adatbázis

integritásának, vagyis komplettségének egyes hiányosságait. A *szimultán hozzáférés* biztonságos megvalósítását az adatbázis-kezelő megfelelő funkciói biztosítják.

A *nyitott rendszer* kifejezés azt jelenti, hogy a műszaki tervezőrendszer fejlesztői eszközöket biztosítanak a rendszer felhasználói környezetben való továbbfejlesztésére. Az adatbázis nyitott rendszer funkciói a felhasználói fejlesztésű programok és más rendszerek számára elérhetővé teszik adatbázis állományait. Különböző szabványoknak megfelelő adatállományok kezelésére és más információs rendszerekkel való összekapcsolásra szolgáló funkciókra is szükség lehet.

A modellezőknél két irányzatot képvisel a *modellépítés történetét* rögzítő és nem rögzítő rendszerek. Az első esetben rögzítik a modell építése során alkalmazott eljárások sorát, valamint a tervező által az egyes eljárások számára megadott paramétereket. A modell módosítása annak újragenerálását jelenti attól a lépéstől, ahol a módosított paramétert megadták. Pl. több elemi testből kombinált alak esetén nem a kész alakot, hanem az elemi testeket vagy azok helyzetét módosítják. Ezután a kész alak újragenerálható. A modellépítés történetét az adatbázisban rögzíteni kell. A modellépítés története nélkül dolgozó rendszerek a kész alakon megjelölhető paraméter módosítását teszik lehetővé.

A csoportmunkában végzett tervezés jelentős adminisztrációt igényel, amely a csoportmenedzser feladata. A csoportmenedzser projekteket hoz létre, meghatározza ezek struktúráját, és könyveli a csoport tagjainak hozzáférési jogait. A *hozzáférési jogokkal* természetesen felelősség is társul. A csoport tagjai egy vagy több projektben vehetnek részt, felelősségük, így hozzáférési joguk is projektenként változhat.

Hasznos, ha kölcsönös megegyezés alapján az együttműködő vállalatok hozzáférhetnek egymás könyvtárához. A hozzáférés visszakeresési kód, alkatrészszám vagy külső alkatrészszám alapján biztosítható. Nem szabad azonban lehetővé tenni a hozzáférést a bizalmasan kezelt alkatrészekhez (dokumentációhoz)!

Ezzel a műszaki tervezőrendszerek fejlett adatkezelési funkcióit tekintettük át. Az adatkezeléssel kapcsolatos modulok nem tartoznak a tervezőrendszerek olcsó elemei közé. Ezért az adatkezelési funkciókat is a tervezési feladatnak megfelelően kell kiválasztani. Ritka, hogy valamennyi fent felsorolt funkciót egy installációban megvalósítják.

5.3. Adatcsere formátumok és szabványok

A CAD bevezetésével a tervezési információk digitális formában rendelkezésre állnak és többnyire nincs szükség papírmásolat előállítására. A gyártás hasznosíthatja ennek előnyeit, és megteremthetik annak feltételeit, hogy az adatokat a gyártás és a termelés-irányítás közvetlenül felhasználhassa. Pl. az NC megmunkálás a méretekre vonatkozó adatait közvetlenül a tervezés adatbázisából nyerheti.

Mindenekelőtt tekintsük át az adatcsere alapfeladatát az 5.2. ábra alapján!



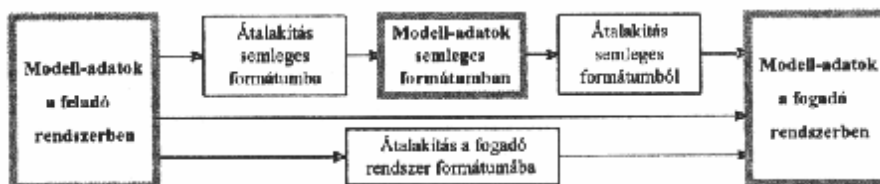
5.2. ábra. Adatcsere

Ehhez a műszaki tervezőrendszernek egyéb tervezőrendszerekkel kell adatforgalmat lebonyolítani, ugyanakkor a tervezők dolgoznak más, egyedi programokkal is, amelyek nem rendelkeznek sem semleges, sem saját formátumú átalakítókkal. Ebben az esetben,

ha szeretnénk elkerülni a manuális adatátvitelt, egyedi fejlesztésű *átalakítót*, interfészt kell létrehozni. Ennek költségei magyarázzák, hogy miért nem számíthat üzleti sikerre az a mérnöki munkát segítő programtermék, amelyhez nem kínálnak semleges formátumú átalakítót. A probléma azonban nem ilyen egyszerű, mert a felhasználók számos jól bevált, régi programot szeretnének jól szervezett tervezőrendszerükkel együtt használni.

5.3.1. Modelladatok konverziója

Már többször hangsúlyoztuk ebben a jegyzetben is, hogy a műszaki tervezőrendszerek adatbázisai általában nem szabványosak, ezért azok egymás modelladatainak közvetlen feldolgozására legtöbbször alkalmatlanok. Ugyanakkor a modelladatok cseréje a tervezőrendszerek között mindennapos feladat (5.3. ábra). Az alábbiakban előbb megismerjük azt, hogy mikor van szükség adatkonverzióra, majd a konverziók során felmerülő alapvető problémák megértéséhez adunk segítséget. Az adatkonverziót erre a célra kifejlesztett *transzlátorok* végzik. A fejlesztők termékeik sokoldalú felhasználhatósága érdekében transzlátorok egész sorát kínálják termékeikhez.



5.3. ábra. A tervezőrendszerek közötti adatsere alapesetei

Azonos vagy szabványos modell-adatbázisú rendszerek között az adatok átalakítás nélkül átvihetők, azonban a tárolási adatformátum eltér az átviteli adatformátumtól. Ha a modelladatok tartalmi vagy csupán formai átalakítása szükséges, igen körültekintően és szakszerűen, a két rendszer, valamint az adatsere formátum alapos ismeretében kell dönteni. Különös veszély a "lerontott" modell, vagyis amikor a fogadó rendszerben az átalakított adatokból létrehozott modell látszólag megfelelő, azonban éppen valamely, a modell kiemelkedő minőségét eredményező információ veszett el. Képzeliük el, hogy az ilyen geometriai modell alapján egy beszállító legyárt egy alkatrészt és az átvételkor derül ki, hogy a modell nem pontosan ezt tartalmazta. Nagy kár, veszteség és kártérítés lehet az ilyen kudarcok eredménye. Nem csoda, hogy a CAD/CAM feladatokon dolgozó szakemberek munkájának jelentős részét teszi ki az adatsere tervezése, megvalósítása és ellenőrzése.

A tervezőrendszerek adatszerjének megkönnyítésére semleges formátumokat dolgoztak ki és szabványosítottak. A műszaki tervezőrendszerek fejlesztői és felhasználói a nemzetközi szabványosítási szervezetekkel összefogva folyamatosan dolgoznak mindenki által elfogadható adatátviteli szabványok kidolgozásán. Ezeket *semleges formátumnak* nevezik, mert egyik rendszernek sem sajátjai, azonban gyakorlatilag minden rendszerhez vásárolható a hozzájuk szükséges *adatátalakító* program (transzlátor). Az ismertebb tervezőrendszerekhez egymás formátumát közvetlenül, vagyis semleges formátum közbeiktatása nélkül előállító programokat is a felhasználók rendelkezésére bocsátanak.

Nézzük meg, mit is jelent a konverzió! A feladó rendszerben kidolgozott modellt meghatározott entitások készlete alkotja. Az entítások típusának lehetséges választékát és az entítások leírását a modellező rendszer sajátosságai határozzák meg. Az első kérdés, hogy a fogadó rendszer képes-e valamennyi entitás-típust a kívánt színvonalon leírni. Ha semleges formátumot iktatunk közbe, a fenti kérdés a semleges formátumra is vonatkozik.

Elképzelhető ugyanis, hogy helytelenül megválasztott semleges formátum nem képes átvinni azt az információt, amelyet a fogadó rendszer modelljében le tudna írni.

Az adatcsere alább vázolt problémáinak elkerülésére a semleges formátumba és az abból való átalakítást végző programokat az egyes tervezőrendszerek fejlesztői saját rendszerekhez, sőt esetenként két meghatározott rendszer közötti adatcseréhez dolgozzák ki. Ebben az esetben az átalakítási nehézségekre maga a transzlátor tartalmazza a megoldást, figyelmeztetve a felmerülő rendellenességekre. Figyelmesen tanulmányozni kell a transzlátorok rendszerint igen nagyszámú üzenetét. Az, hogy az átvitel formailag sikeres, feldolgozható modell-adatok jöttek létre és a képernyőn a modellezett alakot látjuk, egyáltalán nem elegendő bizonyítéka annak, hogy az átvitel hibamentes. A transzlátorok hibellenőrzés és státus jelentés (status report) funkciói követhetővé teszik a fordítás folyamatát. Gyakori, hogy konzultálni kell azzal a tervezővel, aki a feladó rendszerben a modellt készítette. Ez már azért is hasznos, mert kiderülhet, hogy a fogadó rendszerben létrejött eltérő modell valójában teljesen megfelel az alkalmazási célnak.

Ha a fogadó tervezőrendszerben valamely entitás nem létezik, azt más, egyenértékű entitássá kell átalakítani, vagy több entitássá kell szétbontani. A fejlett, egységes topológiai-geometriai leírással dolgozó rendszerekből gyakran kell átvinni modelladatokat régebbi, egyszerűbb rendszerekbe, például NC programok előállítására céljából. Ezek felületeket, esetleg csak trimmelt felületeket vagy csak görbéket tudnak fogadni. Ekkor a fejlettebb rendszerhez kidolgozott transzlátor teszi lehetővé az átalakítást a fogadó rendszer típusa, vagy a tervező által interaktív módon megadott igény alapján. Az átalakítás után a modell ekkor trimmelt felületeket, trimmeletlen felületeket és trimmelő görbéket és görbéket tartalmaz. Az eredeti modellhez képest jelentős információ-vesztés gyakran egyáltalán nem okoz problémát. Mind kevesebb modellező képtelen racionális görbék és felületek előállítására és feldolgozására, azonban ez a probléma is felmerül. A transzlátorok gyakran végeznek automatikusan típuskonverziókat. NURBS-Bezier és Bezier-NURBS átalakításokra van szükség. Az átalakítás után kapott azonos típusú entitás fontos jellemzője, például egy görbe fokszáma eltérhet.

5.3.2. Adatcsere formátumok

Az adatátviteli formátumoknak a szükséges rugalmasság biztosítása érdekében összhangban kell lenniük az általános szabványokkal. Az átviendő adatok három csoportba oszthatók:

- teljesen átvihető adatok - a rendszerbe beépített interfész felhasználásával ténylegesen átvitt adatok, pl. az automatikus aktualizáláshoz;
- kölcsönös megegyezés alapján átvihető adatok - pl. helyi alkatrészsorszámok, saját tervezésű könyvtári alkatrészek;
- nem átvihető adatok - egyes helyi adatok, amelyek információtartalmának átvitele csak a hagyományos dokumentációkkal lehetséges.

A helyi adatbázisrendszernek képesnek kell lennie a független (semleges) adatformátumok helyi adatformátummá való automatikus átalakítására. A felhasználó ezek után képes lesz arra, hogy a termékadatbázisból bármely szükséges alkatrész adattartalmát a konstrukciós tervbe átmásolja. Ennek a következő lehetőségei vannak:

- az adattartalom közvetlen átmásolása;
- a definiált alkatrész elhelyezése "makroszimbólumként" a referenciapontjának, tájolásának és alkatrészsorszámának felhasználásával.

A legfontosabb semleges formátumok közül az IGES (Initial Graphics Exchange Specification – grafikus adatcsere előírás) a legkorábbiak közül való és mindmáig a legkiterjedtebben alkalmazzák. A Boeing és a General Electric cégeknél korábban kidolgozott semleges formátumú adatátviteli szabványok hatással voltak az 1980-ban megjelent IGES 1.0 változatra. Az IGES 1.0 és 2.0 változatok az akkori igényeknek megfelelően kizárólag műszaki rajz entitások átvitelére voltak alkalmasak. Az IGES-t az Amerikai Nemzeti Szabványintézet (ANSI, American National Standard Institute) 1981-ben ANSI Y14.26M szabványként elfogadta. Az IGES 4.0 változat már testmodellek ábrázolását is lehetővé tette, amíg az 5.0 változat az entitás választék és a megbízhatóság tekintetében jelentett fejlődést. A teljes IGES szabványt beépítették a korábban már említett STEP termékmodell szabványba, amelyet a szabványügyi világszervezet – korábbi adatcsere szabványokat is felhasználva – ISO 10303 jelzés alatt fejleszt.

Miután a korai IGES változatok nem voltak alkalmasak paraméteres felületmodellek átvitelére, az a felületmodelleket már akkor kiterjedten alkalmazó járműipar igényeit nem elégítette ki. Német fejlesztők autóiipari alkalmazásokhoz, felületek tervezéséhez dolgozták ki a VDA/FS formátumot, amely később a DIN 66301 német szabvánnyá vált. A VDA/FS 2.0 verzió már topológiai információk átvitelére is alkalmas. Egyes iparágak egyedi igényeinek kielégítésére további adatcsere formátumokat fejlesztettek ki. Ezek közül a SET-et említjük meg, amelyet rajzok és felületek adatainak átvitelére alkalmaznak, például a repülőgépgyártásban, az European Airbus-nál.

A DXF (Data Exchange File – adatcsere fájl) formátumot az AutoDESK cégnél fejlesztették ki az AutoCAD termékek számára. A rajzadatok átvitelére alkalmas formátumot az ipar de facto szabvánnyá tette, az olyan mértékben elterjedt, hogy DXF transzlátort még a legfejlettebb tervezőrendszerekhez is kínálnak.

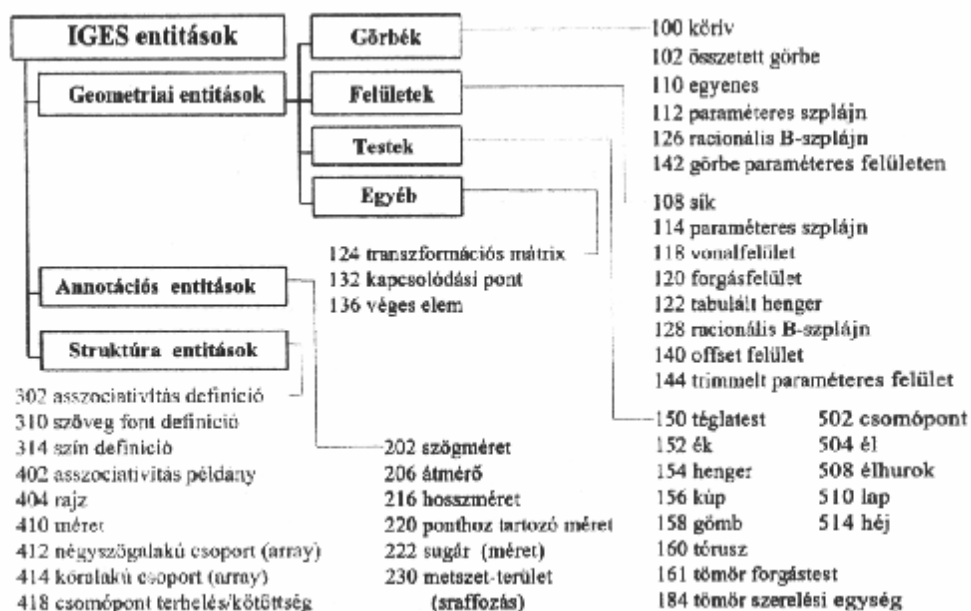
Az alábbiakban részletesebben a DXF és az IGES formátumot tárgyaljuk. A DXF fájlt egymást követő szekciók sorozata alkotja, az általános adatok szekciójával (HEADER) kezdődik. Ezt követi az adattáblázatok (TABLES), a blokkok (BLOCKS) és az entitások szekciója (ENTITIES). A szekciókban típuskód-érték adatpárok helyeznek el. A pont, egyenes, kör, szöveg, valamint összetett kontúr (BLOKK) entitásokat megfelelő adatpárok sorozatával írják le (5.4. ábra).

BLOCK	Blokk	LINE	Egyenes
8	Réteg	8	Réteg
KONTUR	azonosítója	KONTUR	azonosítója
62		10	Kezdőpont x
5		137.0	koordinátája
2		20	Kezdőpont y
KKO	Blokk neve	273.0	koordinátája
(További	A blokkot	11	Végpont x
adatok)	alkotó	137.0	koordinátája
	entitások	21	Végpont y
	adatai	203.0	koordinátája
		0	

5.4. ábra. Entitások DXF fájlban

Az IGES entitások geometriai, topológiai és nem-geometriai termék-adatok leírására alkalmasak fájlstruktúrában és formátumban. Az IGES adatcsere fájl IGES szabványban definiált entitások sorozatát írja le, ezért az információk alapvető egysége az entitás. Az IGES szabvány az IGES modell felépítésénél felhasználható entitásokat, az entitások leírásához szükséges paramétereket, valamint a modellentitások között definiálható összefüggéseket adja meg. Az IGES entitás típusát 1 és 5000 közötti számkód azonosítja. A 600 és 699 közötti számértékekhez a felhasználó speciális igényeit kielégítő entitásokat

definiálhat és alkalmazhat. A tervezőrendszer adatformátumból IGES formátumot előállító programot preprocessornak, az IGES formátumból a tervezőrendszerben feldolgozható formátumú adatállományt előállító programot pedig posztprocesszornak nevezzük. Miután az IGES nem alkalmas az entitások közötti kapcsolatok leírására, ezt az entitások leírásában kell megvalósítani. Egy forgásfelület például az IGES entitásban elhelyezett pontereken keresztül meridián-görbét és forgástengelyt leíró entításra mutat.



5.5. ábra. IGES entitások csoportjai és néhány jellegzetes típusa

Tekintsük át az IGES entitásokat az 5.5. ábrán! Az alapvető csoportokat a geometriai, az annotációs és a struktúra entitások képezik. Geometriai entitások leírhatók modell és munka-koordinátarendszerekben. A két koordinátarendszer közötti tranzformációt a geometriai entitásokhoz kapcsolt tranzformációs mátrix adja meg. Az annotációs entitások elsősorban a szabványos műszaki rajz jelzeteit írják le. A struktúra entitások közül az asszociativitás meghatározott entitások közötti kapcsolatot ír le. További struktúra entitás a rajz, a nézet, az anyagjellemző (pl. Young modulus, Poisson állandó).

Az IGES fájl a DXF fájlhoz hasonlóan szekciók sora alkotja. Az IGES fájl szekciói a Start, a Global, a Directory Entry, a Parameter Data és a Terminate. A Start szekciót a nem kötelező Flag szekció előzheti meg. A Start szekció a felhasználó tervező számára tartalmaz általános jellegű információkat, mint például az IGES adatállományt létrehozó és feldolgozó rendszer, valamint a termék megnevezése. Az IGES szabvány nem írja elő ennek a szekciónak a felhasználását, a szöveg csak a tervező tájékoztatására szolgál. A Global szekció az IGES fájl feldolgozásához szükséges paramétereket, elsősorban a preprocesszort leíró és a posztprocesszor számára szükséges információkat tartalmazza. A szabványban leírt módon ebben a szekcióban van többek között az IGES fájl neve, a létrehozó rendszer verziószáma, az egyes adattípusokkal kapcsolatos specifikáció, a modelltér méretaránya, a minimális felbontás és a legnagyobb ábrázolható koordinátaérték. Az entitásokra vonatkozó adatok a Directory Entry és Parameter Data szekciókban vannak elhelyezve. A Directory Entry szekció az IGES fájlban leírt entitásokat sorolja fel, megadva azok típusát, a Parameter Data szekcióban található adataikra mutató pontert. A Parameter Data szekció így az entitások adatait tartalmazza. Az IGES adatcsere fájl a Terminate szekció zárja, amely az előző szekciókban definiált adatrekordok számát adja meg az adatátvitel teljességének ellenőrzéséhez (5.6. ábra).

Szekció	Adatok					
Start	S1					
Global	„4HPS_1,8HPS_1.IGS,24-----,15HIGES-I-E31.1F00,32,8,G 1 24,8,56,4HPS_1,1.,2,2HMM,450,4.5,13H960314.170800,0.003,300.,7---, G 2 12Hbdmf euclid3_9,0,13H960314.170800; G 3					
Directory entry	110	1	1	1	0 0 0 000010001	D
	1					
	110	0	0	1	0	PS_1 0
	D 2					
	126	2	1	1	0 0 0 000010001	D
	3					
	126	0	0	2	0	PS_1 0
	D 4					
	120	4	1	1	0 0 0 000020001	D
	5					
	120	0	0	1	0	PS 1 0
	D 6					
	(további adatok)					
Parameter data	110,0.,0.,0.,0.,100.,0.;				1	P
	1					
	126,3,3,0,0,1,0,0,0,0,0,0,1.,1.,1.,1.,1.,1.,0.,100.,0.,				3	P 2
	-40.,80.,0.,-50.,60.,0.,-53.33334,43.33334,0.,1.,0.,0.,0.;				3	P 3
	120,1,3,0.,1.5708;				5	P
	4					
	(további adatok)					
Termínate	S	1G		3D	50P	39
	T1					

5.6. ábra. Szekciók és adatok IGES fájlban

5.4. Hardver környezet

A műszaki tervezőrendszer hardver környezetének tekintjük mindazokat a számítógépi eszközöket, amelyekre ennek az alkalmazási rendszernek a megbízható és a felhasználó által igényelt teljesítményű üzemeltetéséhez szükség van. Ha a számítógép-rendszeren más alkalmazások üzemeltetése is folyik, fontos ennek a figyelembevétele, ha a tervezőrendszer hardver-igényéről beszélünk. A műszaki tervezési feladatoknál jellemző, hogy a számítógép-rendszer kizárólag erre a célra létesül és szolgál, azonban mind gyakrabban a nagy teljesítményű számítógépek erőforrásait más alkalmazási rendszerekkel megosztva használják.

Az informatikában közismert a fejlődés igen nagy üteme. A hardver, a rendszerszoftver és a tervezőrendszerek 2-3 év alatt elavulnak. A nemzetközi élvonalban kiélezett piaci versenyben a számítógéprendszerek, a rendszerszoftver termékek, a műszaki tervezőrendszerek és az ezekkel tervezett termékek fejlesztői egyaránt iszonyatos tempót diktálnak. Az egységnyi teljesítményre jutó hardverárak tendenciája ugyan csökkenő, azonban a tervezőrendszerek üzemeltetéséhez szükséges erőforrások folyamatosan növekednek. Ezért a számítógépes műszaki tervezéshez szükséges beruházás és rendszeres korszerűsítés költségei nemhogy csökkennének, hanem általában jelentősen emelkednek.

A tervezőrendszer üzemeltetéséhez a számítógéprendszer specifikálása, kiválasztása és konfigurálása nagy felkészültséget igénylő szakértői tevékenység. Amikor ez már megtörtént, a felhasználó és a hardvert, a rendszerszoftvert, valamint a tervezőrendszert szállító cég szakembereinek szoros együttműködésére van szükség. Az ehhez szükséges tudás, tapasztalat és termékismeret egy átlagos felhasználónál ritkán áll rendelkezésre, ezért általában külső szakértők bevonása szükséges.

Hagyományosan első kérdés a hardver platform. A tervezőasztalon személyi számítógépeket vagy RISC munkaállomásokat helyeznek el. Egy tervezőirodában elhelyezett számítógépek saját erőforrásaik mellett, a rendszerszoftver megfelelő támogatásával felhasználhatják egymás, vagy valamely magasabb szinten elhelyezett számítógépek erőforrásait is.

A nyolcvanas években és a kilencvenes évek első felében a nagyobb teljesítményű tervezőrendszereket RISC munkaállomáson működő változatokba hozták forgalomba. Személyi számítógépeken csak a kisebb teljesítményű, elsősorban a műszaki rajzolás és egyszerűbb modellezést szolgáló tervezőrendszerek voltak beszerezhetőek. A nagy teljesítményű személyi számítógépek, ezzel együtt a nagy teljesítményű üzemeltetést lehetővé tevő operációs rendszerek megjelenésével mind több nagy teljesítményű tervezőrendszernek van személyi számítógépen üzemeltethető változata. A két platform korábban éles határának elmosódása tovább nehezíti a kiválasztást.

A gyakorlatban a RISC munkaállomásokra kifejlesztett tervezőrendszerek, figyelembe véve a rendszerszoftver tipikus igényét, általában nagyobb memóriát igényelnek, mint a személyi számítógépen üzemeltetett rendszerek. Ezek kompromisszumként folyamatosan virtuális memóriát vesznek igénybe. A grafikai funkciók hardverből való támogatása gyorsítja a feldolgozást. A monitor minimális mérete függ a képernyő tervezett információtartalmától, minőségének a munkavédelmi és ergonómiai szempontokat ki kell elégíteni. A rossz minőségű monitor és grafika az egészségkárosodás mellett a vállalat sorsát eldöntő alkotó tevékenység hatásfokát rontó fáradtságot okoz.

A periférikus eszközöket azzal a régen bevált módszerrel lehet gazdaságosabbá tenni, hogy azok több tervező munkahelyet szolgálnak ki. A papíralapú műszaki rajzokra épülő tervezési környezetekben a rajzgépek üzemeltetése kritikus kérdés. Ennek karbantartása és anyagellátása jelentős költséget jelent. A beviteli eszközök közül a szkennerek, mint papíralapú dokumentumok számítógépbe vitelének eszköze azért is fontos, mert még mindig igen nagy igény van kézzel készült műszaki rajzok és egyéb dokumentációk digitalizálására.

A programtermékek telepítéséhez, valamint multimédiás és hagyományos dokumentációk olvasásához CD olvasóra, gyakran változó állományok mentéséhez pedig mágnesszalagra van szükség. Cserélhető hard-diszkeket elsősorban személyi számítógépeknél alkalmaznak. Videoanyagok felvételét és lejátszását biztosító periférikus eszközök korábban leírt célokra való alkalmazása szintén terjed.

A mérnöki munka eredménye a jövőben valószínűleg mindinkább modelleket, műszaki rajzot, képet, hangot, szerkesztett szöveget, videoanyagot és hypertextet egyaránt tartalmazó multimédia anyagok formájában jelenik meg. A virtuális realitás megjelenítésének eszközei a speciális szemüvegek, sisakok, amelyek szemünk elé vetítik a háromdimenziós térben ábrázolt objektumokat. Mint már leírtuk, a gyors prototípuskészítő berendezések is a számítógépek perifériáinak tekinthetők.

Jegyzetünk nem vállalhatja, hogy a fent vázolt elemekből felépített hardver kiválasztásának folyamatába bevezeti az Olvasót. Az alábbiakban csupán a tervezőrendszerek üzemeltetésére szolgáló hardver kiválasztásának legfontosabb szempontjait körvonalazzuk. A kiválasztás elsődleges szempontjai a funkciók, a szoftver-ellátottság és a szükséges hálózati kapcsolatok kialakíthatósága. Az eddig megfelelt számítógépek közül a teljesítmény és a kapacitás specifikációnak megfelelő kiválasztása további szűkítést jelent. További szempontok a fejleszhetőség, az ergonómia, a várható avulás, a szabványoknak való megfelelés, a környezettel, például a táplálással és a klímáztatással szemben tá-

masztott igény, az energiafogyasztás és az üzemeltetés várható szakmai támogatása. Végül az alkalmas hardver eszközök közül az ajánlatok alapján kell választani. A kiválasztás folyamata természetesen nem nélkülözi a szubjektív elemeket sem és lehetőleg a döntéshez alkalmas referenciákat is meg kell vizsgálni.

A hardver teljesítményének elsődleges jellemzői a processzor sebessége, a memória nagysága, a háttértárolók nagysága és elérhetősége, a monitor minősége, a háromdimenziós grafikai feldolgozás minősége és sebessége, valamint a hálózati kapcsolat minősége és teljesítménye. A felhasználó által érzékelt teljesítményt a hardver, a rendszerszoftver és a tervezőrendszer együttesen határozza meg. A gazdaságtalan üzemeltetés, az együttműködni nem képes elemek választása teljesítmény-csökkenés és hardver-erőforrás pocsékolás igen gyakori forrása. A hardver kiválasztása előtt a teljes rendszer üzemeltetési módját meg kell tervezni, hogy ennek ismeretében az erőforrásokat reálisan lehessen megválasztani. Műszaki tervezőrendszerek üzemeltetésekor a legnagyobb teljesítményt a modellek generálása, a végeselem analízis, az objektumok képernyőn való mozgatással járó grafikai megjelenítése és a nagy mennyiségű modell-adat kezelése igényli.

Indokolatlanul, tudatos üzleti megfontolások nélkül nem szabad felesleges csillogást, büszkén mutatható, a vállalati feladatokhoz szükségtelen technikai csodákat alkalmazni. Ugyanakkor a korszerű perifériák alkalmazása ma már gyakran alapvető szükség. A tervező munkaasztalánál idejének nagyobb részét a képernyő előtt gondolkodva tölti, amikor a számítógép erőforrásait nem veszi igénybe. Ezért a nagy teljesítményt a munkaasztalon, csak ennek a tervezőnek a kiszolgálására elhelyezni nyilvánvaló pazarlás. Ugyanakkor a tervezői munkahelyen rendelkezésre kell állni a megfelelő pillanatban a szükséges teljesítménynek. Ezért kell lehetőség szerint több felhasználó között gazdaságosan megosztható módon telepíteni és üzemeltetni a számítógéprendszer erőforrásait. Fontos megjegyezni, hogy a tervező munkáját többnyire nem lassítja, ha a feldolgozás gyorsítására nem növeljük ésszerűtlenül a teljesítményt. Gondoljuk meg, érdemes-e a költségek jelentős növelésével egy entitás generálását három másodpercről egy másodpercre csökkenteni. A feldolgozási teljesítmény, de a háttértárolók iránti igény tekintetében is a végeselem analízis tekinthető a legnagyobb erőforrást igénylő tervezési tevékenységnek. A tervezői asztalokon elhelyezett valamennyi számítógép teljesítményét természetesen nem lehet ehhez igazítani, ugyanakkor a tervező számára biztosítani kell a feladat megoldását. A megoldás helyi rendszeren belüli vagy külső számítógép igénybevétele a tervező munkahelyén biztosított hálózati kapcsolattal. A korszerű, hálózati szolgáltatású operációs rendszerekben bármely számítógépről hozzáférhetünk más számítógépek erőforrásaihoz, mintha azok a saját gépünkön állnának rendelkezésre. Így különböző teljesítményű számítógépek rendszerbe építésével, a reálisan várható felhasználói igény alapján, gondos tervezéssel tehető gazdaságosabbá a műszaki tervezési tevékenység.

A háttértároló szükséges teljesítményének, vagyis a tárolási kapacitásnak és a hozzáférési időnek a meghatározásához az egyidejű tárolást igénylő alkatrészek és szerelési egységek számát, az alkatrészek átlagos komplexitását és a feldolgozási sebesség változásának a hatását kell vizsgálni. Egy átlagos gépészeti rajz információmennyisége általában 25 és 100 kbyte között van. Az egyes felhasználóknál üzemeltetett tervezőrendszerekben végzett munka volumene az évi néhány tíz egyedi alkatrésztől a sok ezer alkatrészt tartalmazó termék feldolgozásáig terjed. A több tervezői munkahelyből álló rendszerekben lehetőleg közös termék-adatbázist kell alkalmazni, azonban ekkor a számítógépek között jelentős hálózati adatforgalmat kell megbízhatóan lebonyolítani, és esetenként a tervezőrendszert ki kell egészíteni a megfelelő modullal vagy modulokkal.

5.5. Rendszerszoftver környezet

A rendszerszoftver környezetet az operációs rendszer és a tervezőrendszer üzemeltetéséhez szükséges, az operációs rendszert kiegészítő szoftver alkotja (5.7. ábra). A kiegészítő szoftvert a tervezőrendszer igénye és az operációs rendszer kiépítettsége határozza meg. A rendszerszoftver döntő mértékben járulhat hozzá a költséges hardver kihasználásához vagy olcsóbb számítógép alkalmazhatóságához. Ahogyan a hardver esetében, itt is hangsúlyozni kell, hogy a megbízhatóan és gazdaságosan működő rendszer alapja a harmonikusan együttműködő hardver, rendszerszoftver és tervezőrendszer.



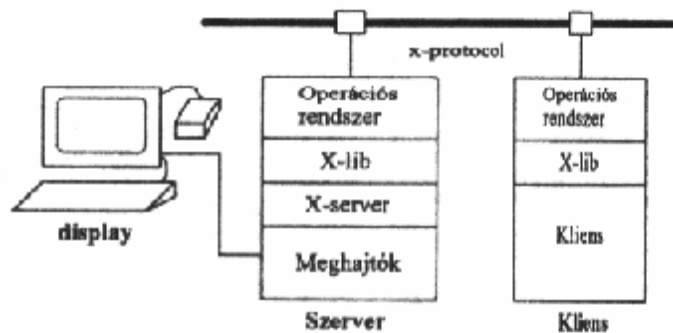
5.7. ábra. A műszaki tervezőrendszer üzemeltetéséhez szükséges rendszerszoftver

Az operációs rendszer alapvető funkciói: a számítógép vezérlése, a programok futtatása, kapcsolat létesítése és fenntartása a felhasználók és a számítógép között, interfész biztosítása a perifériákhoz, a fájlrendszer kezelése, valamint hálózati kapcsolatok létesítése és fenntartása. Többfelhasználós rendszerekben további funkció az erőforrások megosztása a felhasználók között.

RISC munkaállomásokot tipikusan a UNIX operációs rendszer különböző változataival üzemeltetnek. Ezek önmagukban nem tartalmazzak grafikát, ezért a grafikus felhasználói felület és az ablakok kezeléséhez, valamint a vektorgrafikához egyaránt külön programra van szükség. A RISC munkaállomásokon terjed a WINDOWS-NT operációs rendszer, amely önmagában grafikus felhasználói felületű. A tervezőrendszerek üzemeltetéséhez alkalmas személyi számítógépek jellemzően WINDOWS-NT, WINDOWS 9x vagy OS2 operációs rendszerrel működnek. A hálózati üzem általánossá válásával a személyi számítógépek operációs rendszereibe is beépítik a hálózati funkciókat. Ugyanakkor kiterjedt funkcionalitású hálózati szoftverrendszerek operációs rendszerekkel együttműködve teljes hálózatokat szolgálnak ki, ezért esetenként ennek és nem az operációs rendszernek a hálózati funkcióit alkalmazzák. Fontos ismerni, hogy az egyes operációs rendszerek mely verzióival, mely kiegészítő rendszerprogram-termék verziók képesek zökkenőmentes együttműködésre.

Helyi és nagyobb kiterjedésű számítógép-hálózatokon belül más számítógépek erőforrásainak az igénybevétele módját ad a hardver és a szoftver eszközök jobb kihasználására, a több számítógépből álló rendszer üzemének megszervezésére, valamint arra, hogy a tervező valamennyi feladatát munkaasztalánál ülve végezhesse el. A hálózati fájlátviteli eszközök és a felhasználói felületeknek más számítógépekhez való rendelése e célt szolgálja. A számítógépek között a fájlok átvitelét a hálózati fájlkezelő rendszerek valósítják

meg (NFS = network file system). Az 5.8. ábra két UNIX fájlrendszer meghatározott könyvtárai között létesített kapcsolatot illusztrál. Ehhez biztosítani kell a másik számítógépben a fájlrendszer elérését, annak rendelkezésre állását a kívánt elérési ponton. Az ilyen kapcsolatot szerver-kliens kapcsolatnak nevezzük. A szerver számítógép szolgáltatást ad a kliens számítógép számára. Amikor a tervező számítógépéről egy másik számítógépen futtatnak programot, az utóbbi számítógépnek igénybe kell vennie a tervező számítógépének képernyőjét, billentyűzetét és rámutató eszközét, hogy a tervezővel való interaktív kapcsolat megvalósulhasson, attól adatot tudjon fogadni és az eredményeket számára meg tudja jeleníteni. Erre a célra fejlesztették ki az X-window rendszert, amely szintén a szerver-kliens kapcsolatra épül. Az operációs rendszer az X-lib könyvtárban éri el az X-window funkciókat. A szerver a képernyőt biztosító számítógépen az a processz (más néven folyamat, valamely éppen futó program. A többfolyamatú vagy multiprocessz operációs rendszereknél, mint pl. a UNIX, nem csupán több program futhat egyidejűleg, hanem ugyanazon program egyidejűleg több példánya is.), amely a felhasználói felületet vezérli. A kliens a képernyőt igénybe vevő számítógépen az a processz, amely a felhasználói felületet igénybe veszi. A felhasználói felület a display, amely egy vagy több képernyőt, billentyűzetet és pozícionáló eszközt foglal magában.



5.8. ábra. Más számítógép erőforrásainak igénybevétele hálózatban

A *felhasználói felület* a tervező munkájának a hatékonyságát szolgálja azzal, hogy informatív, a tervezési folyamat során történeteket gyorsan és egyszerűen érthetővé teszi és kényelmes, egységes munkakörülményeket teremt. Kialakításánál figyelembe veszik, hogy ez a mérnök egész napos munkájának színtere. A felhasználói felület minőségét a műszaki tervezőrendszer, a számítógép rendszerszoftverének grafikus szolgáltatásai és a monitor minőségi jellemzői együttesen határozzák meg. Régebben alfanumerikus programozású képernyőn nyitott grafikus szerkesztő ablak volt a jellemző. A tervezőrendszerek felhasználói felületei ma rendszerint teljesen grafikusak, a rendszerszoftverhez kapcsolt grafikus felhasználói felület (Graphic User Interface, GUI) funkcióit igénybe véve. A felhasználói felületek fejlesztésénél törekednek arra, hogy a tervező elől eltakarják mindazokat a folyamatokat, amelyek megértése és irányítása a rendszerszoftvert ismerő szakembert igényli. A rendszerszoftverrel kapcsolatos felmerülő hibákat a tervezőrendszernek kell kezelni vagy a tervezővel saját nyelvén megértetni.

A grafikus operációs rendszerek mátrixgrafikán alapulnak és ablak rendszerűek, mint például a Windows9x. Ezek magukban foglalják az ablakok, dialógus dobozok, üzenet dobozok stb. létrehozásához és kezeléséhez szükséges eljárásokat. A felhasználói felületen a megjelenítés az úgynevezett bit-térképeken (bitmap) alapul. Egyes operációs rendszerek, mint pl. a UNIX változatai nem tartalmazzak ilyen eljárásokat, ezért azokat rendszerint ablakkezelő rendszerrel (pl. MOTIF) kell kiegészíteni.

A tervezőrendszerek nagy teljesítményű, háromdimenziós interaktív grafikát igényelnek, amelyet a jelenlegi operációs rendszerek általában nem biztosítanak, így vagy külön vektorgrafikai rendszert alkalmaznak, vagy a tervezőrendszer önmagában tartalmaz grafikai funkciókat.

A tervezőrendszerek bonyolult struktúrájú és kiterjedt adatbázisai hatékony adatbázis-kezelő szoftvert igényelnek, amely valamely ismert szoftver, vagy a tervezőrendszerbe integrált rendszerelem lehet. A jelenlegi tervezőrendszerek adatbázisai nem szabványosak, számos rendszerspecifikus sajátossággal rendelkeznek. A szabványosítási erőfeszítések azonban már eredményt hoztak és várható szabványos adatbázisok kifejlesztése. A jól kiépített adatbázisok tervezői projektekből való munkát tesznek lehetővé.

A nagy kiterjedésű termékadat-rendszerek jól szervezett és hatékony adatkezelést igényelnek. Az adatbázis-kezelési funkciókat általában valamely ismert fejlesztő adatbázis-kezelő rendszere valósítja meg. Ez a rendszer lehet önálló szoftver az operációs és a tervezőrendszerhez kapcsolva, amelynek funkcióit a tervezőrendszer valamilyen szokásos módon eléri, vagy a tervezőrendszerbe szervesen beépült magrendszer. Egyes tervezőrendszerek viszont saját fejlesztésű adatbázis-kezelővel rendelkeznek. Ugyanez a helyzet a számítógéprendszer adminisztrációs funkcióival.

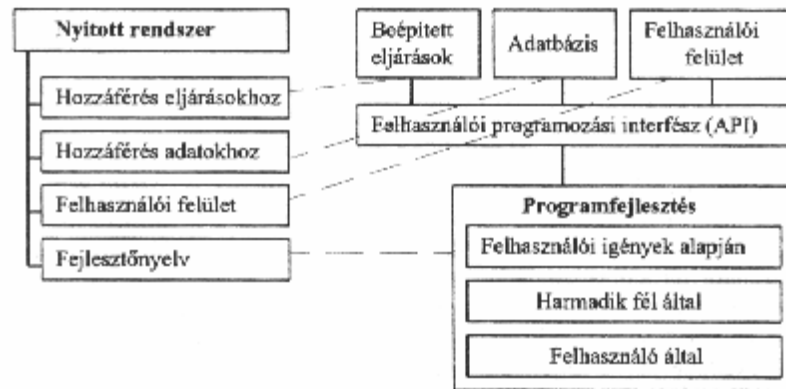
Az Internet eszközök azokat a programrendszereket foglalják magukba, amelyek a World Wide Web és egyéb hálózatokban való tárolást, valamint az elektronikus levelezést teszik lehetővé. Már ezek a funkciók is megjelentek operációs rendszer szolgáltatásaként. A multimédia eszközök kép, hang és videó feldolgozását biztosítják a tervező és az alkalmazási programrendszerek számára.

5.6. Fejlesztés felhasználói környezetben

A tervezés folyamatát nagymértékben meghatározzák az adott iparág, termék, vállalat, ország, vevőkör egyedi jellemzői. A műszaki tervezőrendszerek fejlesztői termékeikbe mind több tervezési funkciót sűrítnek, azonban valamennyi egyedi alkalmazás igényét nem lehet ily módon kielégíteni. Ezért a tervezőrendszerekkel azonos súllyal fejlesztik azokat a programozási eszközöket, amelyekkel a tervezőrendszer helyi alkalmazási céloknak megfelelő, egyedi továbbfejlesztése megvalósítható. Ezt a fejlesztési környezetet felhasználhatja maga a fejlesztő is az egyedi megrendelések teljesítésére. Sokkal jellemzőbb, hogy a rendszer egyedi kiegészítését egy adott szakterületen erre vállalkozó cég végzi a felhasználó megrendelésére. Ezt harmadik fél (third party) által végzett fejlesztésnek nevezzük. Végül a tervezőrendszerrel megvásárolt, abba integrált programozási eszközökkel maga a felhasználó is fejlesztheti rendszerét. Valójában arról is szó van, hogy szűkebb szakterület ismeretei a felhasználó és az arra specializálódott vállalatoknál vannak meg. Számos kisebb vállalat és laboratórium specializálódott ilyen munkákra.

A tervezőrendszerek fejlesztői szinte minden eljárást kidolgoznak, amely a fent vázolt továbbfejlesztések során létrejött programokban szükséges, így a gyakorlatban ez a fejlesztés nagyrészt meglévő elemekből való összeépítést jelent. A tervezőrendszerekben eleve rendelkezésre állnak magas színvonalú grafikai, modellezési, adatbázis-kezelési és műszaki rajz készítési eszközök, amelyek egyedi fejlesztése képtelenség lenne. Az egyedi programokat a tervezőrendszer meglévő funkcióinak az igénybevételével lehet kifejleszteni. A fejlesztéshez ily módon felületet adó, a helyi fejlesztést a rendszer alapfejlesztésének szerves folytatásaként támogató tervezőrendszereket nyitott architektúrájú rendszereknek nevezzük. A felhasználói környezetben végzett fejlesztés leggyakoribb tárgyát tervezési funkciókat megvalósító programok, felhasználói felületek, a külső programok-

kal való adatkapcsolatokat kezelő programok és adatcseréhez szükséges átalakítók képezik.



5.9. ábra. Nyitott rendszer funkciók

A műszaki tervezőrendszerek nyitott felületén a tervezőrendszer meglévő funkcióit, az adatbázis állományait és a felhasználói felületet érhetjük el (5.9. ábra). Természetesen feltételezzük, hogy az ehhez szükséges modulokat a rendszerünkben telepítettük. A felhasználói felület fejlesztése a tervezőrendszer eredeti felhasználói felületének egyedi igényekhez való átalakítását és felhasználói környezetben fejlesztett programok felhasználói felületeinek kialakítását szolgálja. Az adatbázishoz való hozzáférés felhasználói programoknak a tervezőrendszer adatkörnyezetébe való integrálását és adatinterfészek kidolgozását teszi lehetővé.

A fejlesztéshez a könnyű, egyszerű programozást lehetővé tevő nyelvi eszközök is rendelkezésre állnak. A fejlesztés történhet a tervezőrendszer eredeti fejlesztési nyelvén, de más ismert programnyelven is. Az utóbbi években fejlesztett rendszerekben szinte kizárólag objektumorientált, C nyelvű programozást és objektum-könyvtárakat alkalmaznak. A nyitott felületen példányok létrehozásához elérhetők a rendszerben eredetileg definiált objektum-osztályok, valamint új objektum-osztályok hozhatók létre és helyezhetők el a megfelelő taxonómiában. A tervezőrendszer fejlesztési környezete CASE (számítógéppel segített szoftverfejlesztés) eszközkészletként funkcionál és hasonlóképpen segíti a szoftverfejlesztést, amint a mechanikai tervezést a termékmodellezés.

6. CAxx technikák alkalmazásának szervezési kérdései

A globalizált piac kiköveteli a termékfejlesztés idejének csökkentését, amelynek következtében egyre több számítógépes tervezőrendszert alkalmaznak a tervezés termelékenységének fokozására. Alapvető tény az is, hogy a "piacon maradás" beruházást igényel. Az a vállalkozás, amelyik a tervezésben és a gyártásban nem alkalmaz CAxx technikát, elveszíti esélyeit a versenyben maradásra.

Felmérések szerint az elektronikai iparban megalkotott áramkörök, eszközök bonyolultsága évente 15%-al növekszik. Jóllehet ezek nehezen igazolhatók, feltételezhető hogy a kapcsolódó gépészeti termékek esetében is hasonló a helyzet. A tervezési feladatok növekvő bonyolultságának számos forrása van:

- tömör szerkezeti felépítés: összetett, bonyolult szerkezeti egységek, alkatrészek, hőátzármaztatási problémák, ütközésellenőrzés szükségessége;
- gyárthatósági problémák: nagyobb pontosság miatt szűk gyártási tűrések, kisebb alkatrészek, új szerelési technológiák;
- fogyasztói igényekhez való alkalmazkodás: gyors prototípus gyártás, a bonyolultabb termékek következtében a kezelési útmutatók terjedelmének növekedése, kis-sorozatú gyártáshoz igazodás;
- a tervezési információkészlet összetettebbé válik;
- a koncepció kiértékelésének szempontjai bővülnek;
- a tervezési munka eredményeinek további alkalmazhatósága: nagy pontosságú tervezői modell, NC gyártási adatok, dokumentáció-összetétel változtatása a módosításoknak megfelelően, nemzetközi termékadat-csere (PDES).

Minden vállalkozás vezetése, amikor számítógépes tervezőrendszert kíván alkalmazni, a következő célokat tűzheti ki:

- csökkenteni kell a termékek létrehozásának átfutási idejét, ezzel együtt a kapcsolódó dokumentációk, változatok, adaptációk stb. kidolgozásának időtartamát;
- a hagyományos eljáráshoz képest mintegy 30%-kal rövidüljön az új konstrukciók előállításának ideje, a rutinfolyamatok automatizálása;
- javítani kell a termék minőségét, pl. számítógépes szimulációval, elemzéssel és számításokkal, hibátlan dokumentációval;
- alkalmazkodni kell a termékek évenként 5...15%-kal növekvő bonyolultságához (amely az alkatrészek összetett funkciójából és kialakításából, a tűrésezésből, a robotok alkalmazásából stb. adódik);
- növelni kell az új termékek bevezetésének hatékonyságát (nagyobb mennyiségű és gyorsabban elérhető információhalmaz segít az optimális megoldás kiválasztásában);
- csökkenteni kell a termék összköltségét (alkatrészválaszték szabványosításával a raktárkészlet csökkentése) és növelni élettartamát;
- lépést kell tartani a teljesen integrált gyártórendszer jelenlegi és jövőbeli követelményeivel;
- javítani kell, illetve meg kell oldani a hatékony kooperációt mind a vállalaton belüli egyes szervezeti egységek, mind a vállalat külső kapcsolatai (beszállítók, megrendelők) között.

6.1. A tervezés követelményeinek elemzése

A különféle tervezőrendszer fejlesztésekkel szemben támasztott felhasználói követelmények meghatározásához elemezni kell napjaink tervezési eljárásait, eszközeit és a vállalkozás termékszerkezetét, valamint a tervezési tevékenység fejlesztésére vonatkozó elképzeléseket és az ebből előre látható követelményeket. E vizsgálatok eredményei alapján lehetővé válik egyrészt a hagyományos tervezési módszerek továbbfejlesztése, másrészt a tervezőrendszer meghatározása és bevezetése. Ebben a vizsgálatban kell összeállítani a tervezőrendszerrel szemben támasztott felhasználói követelmények jegyzékét. A szervezeti környezet azonban még további követelményeket is megfogalmazhat. Rendkívül fontos, hogy a tervezőrendszer bevezetését fontolgató vállalkozás a rendszer kiválasztása előtt részletesen és módszeresen elemezze ezeket a követelményeket.

A számítógépes tervezőrendszer kialakítását a *hagyományos tervezési eljárás vizsgálatával* kell kezdeni. A vizsgálat terjedjen ki a vállalatnál végzett tervezési tevékenység minden szakaszára, pl. a rendszertervezésre, a számításokra, a részletszerkesztésre, a rajzolásra, a szimulációra, a különféle jegyzékek összeállítására stb.

A tervezési folyamat elemzésére többféle módszert alkalmaznak, közülük legjellemzőbbek a következők:

- a tervezési feladathoz kötődő tevékenységek mintavételezése;
- kikérdezés (interjú) alkalmazása;
- a teljes dokumentáció tanulmányozása, tartalmának és bonyolultságának megállapítása, a dokumentumtípusok elemzése.

A tervezési folyamat felmérésére alkalmazott kérdések listája segítséget nyújt és alapul szolgál az egyes tervezői csoportok és részlegek vezetőinek, tagjainak kikérdezéséhez, amit a tervezőrendszer vállalati bevezetésével foglalkozó csoport tagjai végeznek. A lehető legtöbb tervezőt kell megkérdezni. A listán levő kérdések különböző területekre vonatkoznak, amelyeket a következőkben ismertettek szerint csoportosíthatunk.

Általános ismeretek

- A felelős részleg(ek) munkaerő-állománya (mérnökök, technikusok, műszaki rajzolók).
- A részlegek által tervezett terméktípusok (pl. állványok, szerelvények, rendszerek, gépészeti, elektromechanikai alkatrészek, szerszámok, vizsgálóberendezések, ipari termékek, fogyasztási cikkek stb.).
- A részlegben használt sajátos tervezői eszközök (pl. programozható számítógépek, automatikus feliratozás stb.) és ezek jelenlegi felhasználása, hatékonysága, költsége, valamint további felhasználása.
- A beszállítóknál, illetve megrendelőknél használt informatikai eszközök (leginkább programok) a kompatibilitás, hatékony adatcsere megvalósítása érdekében.

A tervezésre vonatkozó adatok

- Jellemző tervezési feladatok: új konstrukció létrehozása, meglévő konstrukció illesztése, vagy variálása, vásárolt alkatrészek felhasználása, változtatások, javítások.
- A tervezés különböző szakaszaiban adódó tervezési feladatok (információgyűjtés, koncepcióképzés, elrendezés tervezés, részletezés, felülvizsgálat, ellenőrzés, jegyzékkészítés, egyéb) jellegzetes megoszlása.
- A tervezés és a kivitelezés (gyártás) különböző részlegei közötti informatikai kapcsolatok, illeszkedés a gyártási technológiához.

A dokumentációk tartalma (a jellegzetes technológiákkal milyen arányban kell termékeket készíteni).

Éves rajzoló munka, bonyolultsági tényező.

Egyéb kapcsolódó dokumentációk.

Az elemzések eredményei lehetőséget adnak:

- a) a hagyományos tervezési eljárás kritikus útjának és minimális beruházási költséggel rendelkező továbbfejlesztési lehetőségeinek meghatározására;
- b) a megvalósítás kezdetén a tervezőrendszer alkalmazási területeinek kijelölésére, az ehhez szükséges humán erőforrás-fejlesztés meghatározására;
- c) a tervezéshez igényelt adathalmazra és az adatátvitelre vonatkozó követelmények meghatározására;
- d) az alkatrészek, szabványos elemek, dokumentációk stb. könyvtárával szemben támasztott követelmények meghatározására;
- e) a különböző részlegeknél dolgozó mérnökök közötti kommunikáció módjának megállapítására;
- f) a vállalati potenciál megváltozása következtében a terméktervezés kutatási terének körülhatárolására, illetve a továbbra is hagyományos módszerrel végrehajtandó tervezési területek kijelölésére.

6.2. Terméktagolás

A tervezés és a gyártás-előkészítés folyamán sokféle adatot kell rögzíteni az alkatrésztől, az anyagról, a megmunkálási eljárásról, a felületkezelésről stb. Ez adja az alkalmazott hagyományos tervezési eljárás kritikus elemeit:

- a manuális adatátvitelben (átalakításban) elkövetett hibák okozta működési zavarok;
- a manuális adatátvitelből, a papír alapú dokumentációk kidolgozásából és szétosztásából adódó késedelmek.

Minél bonyolultabb a termék, annál nagyobb az adathalmaz, és annál gyakrabban kell döntéseket hozni. A folyamatos, zavartalan munkamenethez ki kell alakítani az adathalmaz szervezett információáramát, ami csak akkor valósítható meg, ha az egyes adathalmazokat egymástól jól elhatároljuk és felcserélhetőségüket megakadályozzuk. Ehhez alapvetően két jól bevált szervezési módszer áll rendelkezésre:

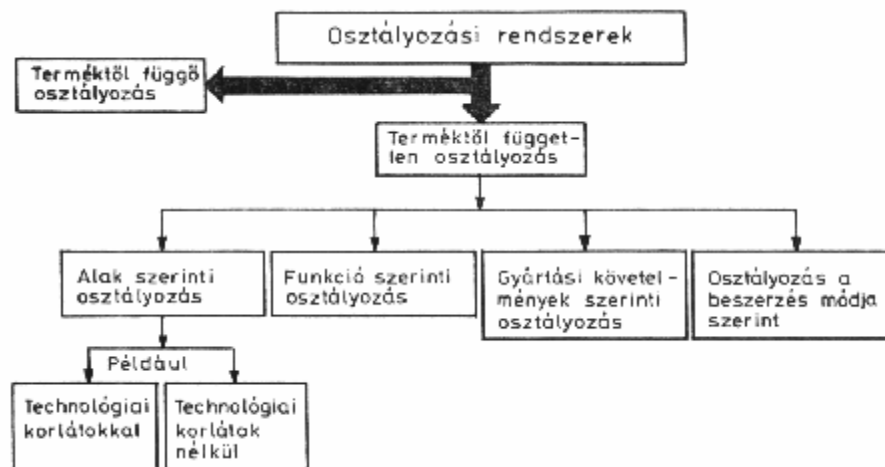
- a termék tagolása, és eszerint az egész adathalmaz alcsoportokra bontása és a csoportok egymástól való elhatárolása;
- a tárgyak számozása, azaz az adatok, illetve az adatok által képviselt tárgyak módszeres megjelölése.

A termék *tagolása* a termék kisebb egységekre való felosztását jelenti. Az összetett termékek így módon csoportonként könnyebben áttekinthetők, és részben párhuzamosan is feldolgozhatók. A termékek többféleképpen is tagolhatók (6.1. ábra).

Számozás

A terméktagolás segítségével az adathalmaz csoportokra bontható és strukturálható. Az információ-feldolgozáshoz azonban hozzátartozik a mindenkori egyértelmű meghatározottság is. Ehhez használható fel a számozás. A *számozás* feladata elsősorban az egyértelmű azonosítás és az osztályozás.

A DIN 6763 előírja, hogy a számok azonosítsák a tárgyat, és azok alapján a tárgyak osztályozhatók is legyenek.



6.1. ábra. Termékek osztályozási lehetőségei

A számozási rendszer különböző szempontok alapján tagolt számcsoportokból és számokból áll. A számozási rendszer feladata

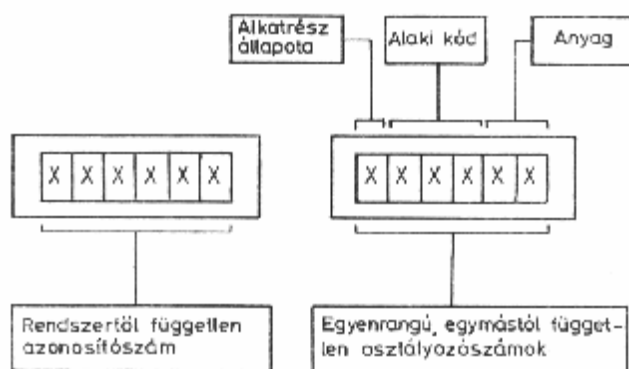
- az informálás;
- a vizsgálat és ellenőrzés;
- az osztályozás;
- az azonosítás.

Ezektől a feladatorientált célkitűzésektől függetlenül a számozási rendszer lehet

- soros számozási rendszer;
- párhuzamos számozási rendszer;
- összekötő számozási rendszer.

A soros számozási rendszerben az osztályozáshoz használt számok azonosításra is alkalmasak.

A párhuzamos számozási rendszerben az egymás mellé írt azonosítószámok és osztályozószámok egymástól függetlenek (párhuzamosak) (6.2. ábra).



6.2. ábra. Példa párhuzamos számozási rendszerre

Összekötő számozási rendszernél az azonosítás az osztályozásból származik, mivel kapcsolatú osztályozó és sorszámokból állnak, és a sorszámrészt az osztályozó számból származik.

A darabjegyzékek és a számozás összehangolása

A terméktagolás és a számozás már lehetővé teszi a számítógépes feldolgozást. Ehhez azonban még bizonyos szervezési feladatokat is el kell végezni.

Annak érdekében, hogy a számítógép a darabjegyzéket a rajztól függetlenül is használhassa, a rajzot és a darabjegyzéket külön-külön dokumentumként kell elkészíteni (ezt ma már az összeállítás-kezelők részben vagy teljesen automatikusan teszik). Ezenkívül a rajzok készítésekor a gyakorlatban jól bevált ún. egylapos rajzolás módszerét kell alkalmazni.

A darabjegyzékek és a rajzok felépítését a terméktagolás határozza meg. A terméktagolás minden komplex csoportjának elkészíthető a darabjegyzéke. A darabjegyzék tartalmával szemben támasztott követelmények különbözők.

A gyakorlatban – bizonyos sajátosságok követelményeit figyelembe véve – a következő darabjegyzék-típusok terjedtek el:

- áttekintő vagy mennyiségmeghatározó darabjegyzék;
- szerkezeti darabjegyzék;
- részegység-darabjegyzék;
- részegység-szerkezeti darabjegyzék;
- variációs darabjegyzék.

A termék és általában a számítógépes adatfeldolgozás szempontjából a részegység-(építőszekrény-) darabjegyzékek a legmegfelelőbbek. A részegység-darabjegyzékből az összes többi darabjegyzék-típus elkészíthető.

A darabjegyzék számítógépes feldolgozása és a CAD/CAM rendszerek integrált felhasználása szempontjából alapvetően fontos az *alkatrész-törzsjelek* kialakítása. Az alkatrész-törzsjel azonosítja az alkatrészt, és tartalmazza az összes adatot, amely a beszerzéshez, készletezéshez, költségszámításhoz, gyártáshoz, határidő-meghatározáshoz stb. szükséges.

6.3. A konkurens termékfejlesztés

Alapelvek

A nyolcvanas évek végén az integrált gépészeti CAD módszertanánál átfogóbb és általánosabb megközelítés jelent meg a termékfejlesztésben, amit konkurens termékfejlesztésnek vagy igen leegyszerűsítve konkurens tervezésnek nevezünk. A számítógép-rendszerekkel támogatott *konkurens tervezés* (Computer-Aided Concurrent Engineering: CACE) olyan filozófia és szisztematikus módszertan, amely a termékek és a hozzájuk kapcsolódó kivitelezési folyamatok tervezését közel egyidejűleg, azonos információ-alapra helyezve valósítja meg. Bár a konkurens termékfejlesztés alap gondolata közel sem új, csak napjainkban áll rendelkezésre az a termelési és informatikai infrastruktúra, aminek alapján a CACE teljes körű megvalósítását tervezni lehet.

A konkurens tervezés módszertana a hagyományos tervezési módszertan szekvenciális jellegét kívánja feloldani, vagyis azt, hogy a tervezés logikailag soron következő lépése mindaddig nem kezdődik meg, amíg az azt közvetlenül megelőző lépés tartalmi kidolgozása, értékelése és dokumentálása be nem fejeződik. Mivel a teljes párhuzamosság elérése gyakran műszaki korlátokba ütközik, korlátozott célként a közel egyidejű (szimultán) vagy átfedő megvalósítást lehet csak kitűzni. Viszont a célkitűzések teljesítésének egyik kulcsa a termék teljes élettartamában meglévő információk összehangolt kezelésében rejlik.

A konkurens tervezés egyben stratégiai tényező is, mert a technológiai fejlesztés megkövetelése mellett a vállalat "kulturális" átalakítását is szükségessé teszi. A CACE filozófiájához két elvi megfontolás kapcsolódik. Az egyik, hogy a konstrukciós tervezéstől

kezdve a gyártás-előkészítési, gyártási, szerelési, üzemeltetési, karbantartási és használatból kivonási részfolyamatok során lehetővé kell tenni a műszaki-gazdasági célkitűzések folyamatos szem előtt tartását. A másik, hogy a kivitelezési részfolyamatok számára közvetlenül hozzáférhető és feldolgozható formában kell biztosítani mindazon információkat, amelyek a hatékony és eredményes végrehajtásukhoz szükségesek.

Az első elvi megfontolásból három feladat körvonalazódik: a) a termék és kivitelezési részfolyamatainak egymással összefüggő, közel egyidejű fejlesztése, b) a termék létrehozásához szükséges tevékenységfolyam szabályozó kör jellegű végrehajtása, c) több konstrukció és folyamatmodell párhuzamos kidolgozása, összehasonlításra alapuló értékelése és optimalizálása. A második megfontolás kapcsán két követelményt kell teljesíteni: a) a termék teljes élettartamának minden lényeges vonását lefedő információkat egységes termékmodellbe kell építeni, b) elosztott elektronikus hálózatot kell létrehozni, amely a konkurens tervezésben érintett virtuális munkacsoportoknak a termékinformációhoz közvetlen, de szabályozott hozzáférést biztosít.

A konkurens tervezés gyakorlati megvalósításának két összetevője van. Az egyik a *KT-környezet létrehozása*, a másik a *KT módszertanának napi alkalmazása*. A *KT-környezet* kialakítása összefügg a vállalati erőforrás-készlettel, a működési struktúrával, az anyag-, energia- és információfeldolgozási folyamatokkal, a feladat-megoldási módszerekkel, a személyi és vezetési kérdésekkel, de nem kevésbé a vállalat jövőképeinek karakterisztikus megformálásával. A hagyományos termékfejlesztés és -kivitelezés feltételrendszerében optimált vállalati környezetek a tapasztalatok szerint nem alkalmasak a *KT* megvalósítására, sőt nem is segítik elő annak kialakítását. A korábban említett tényezők bármelyike önmagában véve is akadályozó lehet. A megoldás kulcsa az integrált információtechnológiai, logisztikai és munkamódszertani megközelítésben rejlik, ami közvetve természetesen feltételezi a magas színvonalú termelési kapacitás meglétét. Az integrált szemléletmód gyakorlati megtestesítésében, a vállalati részfolyamatok fenntartásához szükséges, valamint az erőforrásokra és a termékekre vonatkozó információk összegyűjtésében, tárolásában és feldolgozásában meghatározó szerep jut a számítógépes technológiáknak. Tekintve, hogy a termelési folyamatokhoz kapcsolódó információk előállítására és felhasználására szakterületenként elosztottan történik, a számítógép-hálózatok alkalmazása elengedhetetlen. A hálózati kapcsolatra alapozva olyan virtuális munkacsoportok hozhatók létre, amelyek szakértő tagjai – jóllehet különböző helyszíneken tevékenykednek – egymással valós idejű kommunikációt folytathatnak, ugyanazon információkat használhatják, és saját feladatmegoldásuk során befolyásolhatnak más közreműködőket is.

A szakemberek hatékony együttműködése érdekében felmerül az igény a termékhez kapcsolódó szemantikus információk magas szintű szemléltetésére is. Ennek eszköze és formája az integrált termékmodell, vagyis egy olyan számítógép-orientált információ-állomány, amely az adott termék élettartamához kapcsolódó információkat tartalmazza. A termékmodellek koncepciójáról, lehetséges tartalmáról a 2.2. szakaszban volt szó.

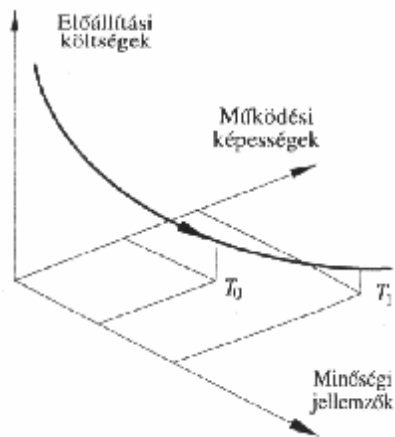
Az előbb említettek egyértelműen mutatják, hogy a konkurens tervezés *integrált termékfejlesztési környezetet* tételez fel. Az integrálás elvileg adat-, modell és folyamat-szinten történhet. A gyakorlatban az integrált számítógépes környezet felöleli: a) a párhuzamos termékfejlesztéshez teljes funkcionalitást biztosító, nyitott architektúrába illeszkedő CAxx-rendszereket, b) a különböző szakterületi részfolyamatok közötti automatikus adatkapcsolatokat létesítő eszközöket, c) a számítógépek által értelmezhető, termékfüggetlen modellezési sémákat, d) a semleges adatformátumokat és termék-adatátviteli módszereket.

A konkurens tervezés megvalósításának feladatai

A konkurens tervezés alapja az integrált gyártási, szerelési és logisztikai környezet. Vállalati megvalósítása az elsődleges műszaki főfolyamat mellett az infrastruktúra kiépítését is megköveteli. Az infrastruktúrának műszaki, gazdasági, szervezeti és személyi részei különböztethetők meg. Az integráltság érdekében biztosítani kell a vállalati termelőeszközök és termékmegvalósítási részfolyamatok számítógépes információfeldolgozással való lefedését. Mind a termelési, mind az informatikai rendszernek nyitottnak és bővíthetőnek kell lennie. Biztosítani kell a különböző alkalmazások közötti valós idejű adat- és üzenetcserét, így téve lehetővé a földrajzilag elkülönült tervezőcsoportok és kivitelező szakemberek együttműködését. Ki kell alakítani a különböző formájú információk megszerzésének és szemléltetésének módszereit, el kell kerülni ugyanazon dolgok különböző formájú ábrázolásait és nyilvántartását. Mindemellett egységesíteni kell a termelési protokollokat vagy minimálisra kell csökkenteni a feleségek számát, hogy a szabványosítási törekvéseket érvényesíteni lehessen.

A konkurens tervezés célja olyan újszerű, magas szellemi tartalmat hordozó (innovatív) termékek kialakítása, amelyek műszaki és gazdasági összértékükön keresztül viszonylagosan hosszú ideig biztosítják a versenyképességet. Az innovatív termék kialakítását a tapasztalatok szerint elősegíti a termékcsaládokban való gondolkodás. A termék-konceptió birtokában a tervezési feladatra vonatkozó funkcionális követelmények meghatározása, valamint a gyárthatóság szem előtt tartása a feladat. A jelenlegi terméktervezési módszerek optimalizálásával, a gyártáshelyes tervezés elveinek, valamint az alkatrészszám csökkentési és a megbízható működés ellenőrzési módszerek felhasználásával egyidejűleg több termékmegvalósítási alternatívát kell kidolgozni. A hatékony és gazdaságos kivitelezési folyamat koncepcióinak kialakítása érdekében nemcsak a termékeket, hanem a gyártókörnyezetet is modellezni kell. A konkurens tervezési módszert egy adott termék esetében a megvalósítás lehetséges legkorábbi időpontjában be kell vezetni. Az alkalmazás tapasztalatai alapján kell meghatározni, hogy a módszerek más termékekre kiterjeszthetők-e. Dönteni kell abban a stratégiai kérdésben is, hogy a piaci szempontból legnagyobb befolyású vezérgyártmányaikkal vagy esetleg a kisebb kockázatot jelentő kiegészítő termékekkel kapcsolatban kezdik meg a konkurens tervezés alkalmazását.

A konkurens tervezés egyik stratégiai eszköze a folyamatok felbontása és a részfolyamatok párhuzamosítási lehetőségeinek erre alapozott feltárása. Erre a célra intuitív és számítógép-orientált formális módszereket egyaránt kidolgoztak. Az intuitív módszerek általában a tevékenységek funkcionális tartalmának és struktúrájának megállapítására irányulnak. A formális módszerek matematikai eszközökön és számítógépes algoritmusokon alapulnak és elsődlegesen strukturált tevékenység-halmazokra alkalmazhatók. A folyamatszervezés első lépése a jelenlegi tervezési és fejlesztési folyamat alkotási tevékenységeinek, információátadási kapcsolatainak, probléma-megoldási módszereinek vizsgálata. Ezt követően meg kell határozni a párhuzamosítható folyamatokat. A folyamat előrehaladásának megfelelően a termék különböző absztrakciós szintű ábrázolásait kell megvalósítani. Mivel információk összegyűjtése és többszempontú feldolgozása szükséges, az együttműködő szakemberek és csoportok között hálózati adat- és modell-kommunikációt kell létrehozni és fenntartani. A gyártástechnológiai előkészítéshez szükséges, alaksajátosságokra vonatkozó adatokat a tervezés korai fázisában kell összegyűjteni. Meg kell teremteni a korai termékszimuláció és a prototípusgyártás feltételeit.



6.3. ábra. Az alapvető tervezési célok összefüggése

A termék teljes élettartamára kiható feljavító módszerek a működési képességek, a minőségi jellemzők és az előállítási költségek alkotta három feltételcsoport kiegyenlített optimalálására irányulnak (6.3. ábra).

Nyilvánvaló, hogy pl. a felügyeletsezegény gyártóeszközök működtetése bizonyos tervezési elvek alkalmazásával elősegíthető. A gyártás-irányultságú tervezés (DFM) a gyártási folyamat optimalálásán túl a megmunkálásból adódó esetleges konstrukciómódosítási igényeket is csökkenti. A gyártás mellett leginkább munkaigényes tevékenység a szerelés. A robotizált vagy emberi közreműködést kevésbé igénylő szerelés vagy bontás új konstrukciókialakítási szempontokat hoz fel. A szerelés-irányultságú célok elérését a tervezésben az alkatrészek kialakítására vezet-

hetjük vissza. Az optimális megoldás azonban sok esetben már nem biztosítható a konstrukció részlettervezésében, ezért a szerelés-irányultságú tervezés (DFA) elveit már a koncepcionális tervezés szakaszában érvényesíteni kell. A DFM és a DFA koncepció gyakorlati alkalmazásának egyik velejárója a számszerű minőségi mutatók képzése. A gyártás tekintetében ez a gyárthatósági indexet és a gyártásigény-indexet jelenti. A legtöbb gyártásszempontrú tervezési módszer a gyártási alaksajátosságok kezelésére összpontosít. A szerelés esetében az alkatrész bonyolultsági mutatója és a szerkezet összetettségi mutatója az általánosan használt mérőszámok.

A mutatószámok képzésére irányuló módszerek mellett léteznek más megítélést szolgáló eljárások is. Gyakran van szükség arra, hogy a termékorientáltan kifejlesztett és alkalmazott konkurens tervezési módszereket felülvizsgáljuk, megváltoztassuk, kombináljuk vagy finomítsuk, hogy az újabb termékek esetében is optimális eredményeket érhesünk el.

A konkurens termékfejlesztés végső célja a termelés jövedelmezőképességének fokozása. Ennek piacszempontrú és termelési tevékenység szempontú összetevői vannak. A konkurens tervezés (KT) a profitot a termelési tevékenységek végrehajtása oldaláról képes befolyásolni. A tevékenységek gazdasági szempontú megítélésének alapja a termékre és a termékfejlesztési folyamatra vonatkozó költségmodell. A hagyományos vállalati költségmodellek a KT filozófiája szempontjából általában nem kielégítően strukturáltak. A KT költségmodellje integrált és aktív, nem elő- és utókalkuláció jellegű, hanem a folyamattal együtt él és annak előrehaladásával fejlődik. A dinamikus megvalósulás egyik kulcsa a hálózati adatgyűjtés. Az aktív költségmodellnek fel kell oldania azt az ellentmondást, hogy a költségek nagy részét a tervezés korai szakaszában határozzák meg, ugyanakkor a termék végső állapota tekintetében ekkor még sok a bizonytalanság.

A konkurens tervezés által befolyásolható költségtényezőket egyrészt a termék előállításához igénybe veendő termelőeszközök működtetésének költsége, másrészt a KT környezetének létrehozására és fenntartására fordítandó pénzüsszegek jelentik. E két költségforma általában nem teszi lehetővé, hogy a KT gazdasági jövedelmezőségét önmagára vetítve mutassuk ki. A gazdasági megítélésnél a költségmegtakarító szemlélet helyett a hozamnövelési szemléletet kell érvényesíteni. A gyártórendszerek működtetésének költsége, pl. fontos szempont a gazdaságosság tekintetében. Viszont nem nehéz belátni, hogy a működtetési költség számottevően befolyásolható a termékek és az alkatrészek megfelelő konstrukciós kialakításával. Hasonló a helyzet a termék egyéb életszakaszai

gépes tervezési módszerekkel, tervezőrendszerekkel és hardver-szoftver eszközökkel kapcsolatos ismeretekkel gyakran kell szakmailag támogatni a tervezőirodákat. A telepített változat használatával kapcsolatos fent bemutatott ismeretek csak annak üzemeltetésével kapcsolatos ismeretekkel együtt teszik lehetővé a karbantartást és hibakeresést.

A fent vázolt ismeretek több szakterületet ölelnek fel, így a számítógépes tervezés sikere több vállalat jó néhány szakemberének felkészültségétől, rendelkezésre állásától és együttműködésétől függ. Ebből belátható, hogy a leállásoktól és zavaroktól mentes üzemeltetés szervezése nem egyszerű. A tervezőrendszerek alkalmazása során számos probléma merülhet fel, amelyet csak az adott tervezőrendszer alkalmazásában nagy gyakorlattal rendelkező szakember képes gyorsan megoldani. Ezért igen fontos, hogy ez a szakmai támogatás elérhető legyen, ne csupán kereskedelmi ügyletek lebonyolítására felkészült szakemberek álljanak rendelkezésre.

A tervezőrendszerek –, mint minden szoftver – üzemeltetésének jogához licencszerződések alapján juthatunk. Ezek az engedélyek meghatározott számú munkahelyen való egyidejű elindításra és gyakran csak meghatározott időtartamra érvényesek. A szerződés magában foglalja a felhasználási jogok leírását. Az engedély időtartamára a szállítók rendszeres frissítés szolgáltatását vállalják. A programtermék nagy értéke miatt fokozottan figyelni kell a szoftverjogra vonatkozó törvények és rendeletek betartására. Sokak számára nem nyilvánvaló, hogy csak a tervezőrendszer meghatározott feltételek mellett való alkalmazásának, nem pedig tulajdonlásának a jogát vásárolták meg. A tervezőrendszerek kiválasztásánál, konfigurálásánál és a szállítóval kötött szerződéseknél a fentiek miatt is fontos a hosszabb távon való gondolkodás. A figyelmen kívül hagyásból meg nem újított engedélyek miatt bekövetkező leállások beláthatatlan következménnyel járhatnak.

Az alkalmazási engedély rendszerint meghatározott időre szól. Egyes tervezőrendszerek örökre is megvásárolhatók, azonban ezek száma csökken. A fejlesztők és a forgalmazók egyre kevésbé támogatják termékeik elavult változatainak az alkalmazását. Az új változatok pedig az új engedély díja mellett gyakran igénylik a hardver erőforrásainak növelését, esetenként pedig cseréjét. Ehhez jön még a rendszerszoftver frissítése. A már meglévő modellek, rajzok stb. további felhasználhatóságáról is gondoskodni kell. Az áttérés új rendszer-verzióra ritkán okoz konverziós problémákat, mert ezek elkerülése a rendszerfejlesztők alapvető üzleti érdeke. A tervezőrendszer felhasználói felületének változása a nagy volumenű napi munkában okozhat nehézségeket, ha arra nem készülnek. A tervezőrendszerek új verzióinál meg kell vizsgálni azt is, hogy a partnerek tervezőrendszereivel való adatkapcsolatban nem merülnek-e fel nehézségek.

A rendszer rugalmasságára, vagyis különböző munkákra való átállíthatóságára és ehhez erőforrásainak átcsoportosítására, a tervezőmunka jelentős és hirtelen változásainál van szükség. A piaci igényekre, a tervpályázatokra és a megbízási lehetőségekre való gyors reagálás a vállalkozás sikerének lassan alapvető feltétele lesz. A műszaki tervezőrendszereket üzemeltető szakembereknek dönteniük kell a tartalékkapacitások felől. Ezen a téren a jól szervezett számítógéprendszer jelentős beruházás megtakarítását eredményezheti.

Gyakran a tervezőknek és a számítógépeknek egyaránt megfelelő klímaviszonyokat kell teremteni, ahol zavartalan szellemi munka végezhető. Az üzemeltetés megfelelő minőségű áramforrást igényel, amelynek áramszünet esetén legalább az eredmények elvesztésének az elkerülésére elegendő ideig tovább kell működni. Jegyzetünkben nem tárgyaltuk részletesen a számítógéprendszer üzemeltetésének általános követelményeit, szabványait és előírásait, amelyek természetesen a tervezőrendszerek esetében is érvényesek és betartandók.

6.4.1. Adatkezelés

Ajánlatos, hogy egy ezzel a feladattal megbízott személy koordinálja az adatkezelés minden területét. Ő a felelős az összes tárolási eljárás biztosításáért, a jelszavak kiosztásáért, a működés nyomon követéséért és általában az adatok integritásának fenntartásáért. Bizonyos rendszerek olyan adatkezelési adottságokkal rendelkeznek, amelyek segítik e feladatok végrehajtását és bármely időpontban információt adnak a rendszer állapotról. A jellegzetes feladatok (amelyek többsége megosztott vagy kijelölt lehet):

Felhasználók hozzáférési lehetőségei

- Hozzáférés bármely elsődleges és másodlagos kulcs szerint.
- Közvetlen hozzáférés a vállalat (központosított) CAD könyvtári adataihoz.
- Gyors hozzáférés más, együttműködő vállalkozás helyi könyvtári adataihoz.

A *biztonsági rendszer* színvonalától függően lehetőséget adhat a konstrukciós tervek megtekintésére, de megtilthatja azok megváltoztatását. Így a teljes értékű "írás" engedélyezése helyett csak "olvasást" tesz lehetővé. Kiegészítő biztonsági lehetőségként több rendszer csak a megfelelő jelszó ismeretében teszi lehetővé a fájlok elérését.

Tárolóhely-kezelés

A rendszerrel kidolgozott konstrukciós tervek számának növekedésével egyre nehezebbé válik egy adott konstrukciós terv vagy könyvtári elem visszakeresése. Emiatt kezdetől fogva szükség van megfelelő jelölési rendszer és kereszthivatkozások alkalmazására. Ezek elemei, pl. a kód, a kérdés időpontja, a kibocsátás időpontja, a fájl neve, a leírás, a "használatban levő" adatok stb.

A szerkezeti egységek tervezése során gyakran előnyös a közbenső fázisokban a konstrukciós tervek helyi tárolása. Így a tárolt tervek visszahívhatók, ha a később kidolgozott változatok nem elégítik ki az igényeket. Az erre és egyéb célokra szánt *ideiglenes fájlok* létrehozásánál vigyázni kell, hogy túlzott elszaporodásukat megakadályozzuk.

Tervezési, könyvtári adatok átadása

A műszaki adatok digitális formában való továbbítása közvetlen vezetéken, telefonvonalon vagy a mágneses adathordozó szállításával lehetséges. Más CAXx rendszerekhez vagy számítógéphez való adatátvitel esetén az IGES-re és a semleges adatformátumra vonatkozó korábbi megjegyzések érvényesek.

A könyvtári és a tervezési adatok átadásának leghasznosabb következménye a saját CAXx rendszerünket támogató egységeken végzett megosztott fejlesztés. A korai koordinációnak ilyenkor gyakran az az eredménye, hogy a kapcsolódó vállalatok is ugyanattól a gyártótól fogják beszerezni CAXx rendszereiket. Az alapvető könyvtári adatoknak a kapcsolódó vállalatok mindegyikénél ugyanannak kell lenniük.

Az *adatátvitel* két általánosabb módszere az írható/olvasható adathordozók szállítása és a közvetlen kapcsolat. A módszert a számítógépek kiépítése, a köztük lévő távolság, az átvitelre rendelkezésre álló idő, a viszonylagos költségek, valamint az átviendő információk mennyisége határozza meg.

A CAXx rendszerek cseréje

A CAXx rendszer megváltoztatásának, cseréjének fontos szempontja, hogy a létező összes konstrukciós terv az új rendszerre átvihető legyen. Ha az eredeti rendszert jó nevű cégtől vásárolták, és az új rendszert is attól kívánják beszerezni, akkor ez rendszerint biztosított. Ha az új rendszert más vállalat szállítja, akkor azonban majdnem biztos, hogy az eltérő tárolási formátumok miatt az átvitel közvetlenül nem hajtható végre.

6.4.2. Könyvtárkezelés és aktualizálás

Minden rendszerben kell, hogy legyen saját szabványos alkatrész könyvtár. A szabványos alkatrészek könyvtárában olyan általánosan használt elemek szerepelnek, mint csavarok és anyák, vagy bármely más egyedi tervezésű, de általánosan használt alkatrész.

A könyvtár kezelésének, a könyvtárba felveendő alkatrészek kiválasztásának, valamint állapotuk beállításának módját előre meg kell határozni:

- A szabványos alkatrészek adatait digitális formában (pl. mágneses adathordozón, memóriakártyán, optikai tárolón stb.) a gyártótól, a kereskedőtől kell beszerezni.
- A saját tervezésű, szabványosnak minősített alkatrészek adatait a modell-fájlból át kell vinni a könyvtári fájlba, és ki kell egészíteni a szükséges szabványos információkkal.

A könyvtárfelújítási és -kezelési eljárásoknak "naprakész" állapotot kell biztosítaniuk a tervezési munka minden területén, pl. az alkatrészsorszámok, a geometria, az ábrázolás, a jelképek, a kapcsolódó közös adatok stb. esetében. A termékadatok változtatási és törlési eljárásait szabályozni kell. Minden könyvtári adatot védeni kell a nem tudatos vagy illetéktelen megváltoztatás és törlés ellen.

A könyvtárak, adattartalmak és eljárások helyileg különbözhetnek, de a rendszerben a félreértelmezést el kell kerülni. A helyi alkatrészkönyvtár egy része a vállalati adatbázis-könyvtárból átmásolható.

6.4.3. Archiválás és biztonság

Az adatok tönkremenetele nagyon nehéz helyzetet idéz elő, de szerencsére viszonylag ritkán fordul elő. A védekezés egyik legegyszerűbb módja, ha minden fájlról más adathordozókon is másolatot készítünk. Ha az egyik adathordozón levő fájl tönkre is megy, elhanyagolhatóan kicsi a valószínűsége annak, hogy ugyanakkor a másik adathordozón levő másolati fájl is meghibásodik. Mivel az adatok tönkremenetelére bármely időpontban számítani kell, fontos hogy minden munkalemezről, könyvtárlemezeztől és programlemezeztől adott időközönként másolatokat készítsünk.

Az információ filmen vagy papíron való archiválása és a digitális adatok mágneses vagy optikai adathordozón való archiválás közötti alapvető különbség az, hogy amíg az első esetben a minőségromlás egy fokozatosan előrehaladó folyamat, addig a mágneses vagy optikai tárolón levő egyetlen hiba is megghiúsíthatja a teljes fájl kiolvasását, így az örökre elvész. Ezért szigorú archiválási eljárásokra van szükség.

Az *adattárolás* legfontosabb szabályai a következők:

1. A különböző adathordozókat védeni kell a környezeti behatásoktól.
2. A tárolt adatokra valószínűleg tovább lesz szükség, mint a számítógépre, amelyik az információt rögzítette. Ezért később az adatok visszaolvasása nehezen megoldható.
3. A bizalmas adatokhoz jogosulatlan személyek ne férhessenek hozzá.

A különböző adathordozók különbözőképpen érzékenyek:

- mechanikus behatásokra, a hőmérsékletre, a páratartalomra, a mágneses vagy változó elektromos terekre, a porra.

A mechanikus behatások és a por ellen legjobban megfelelő tokkal, burkolatokkal lehet védekezni. A hőmérséklet és a relatív páratartalom szabályozása megoldható légkondicionálással, aminek egyéb előnyös hatása is van. A mágneses és elektromos terek hatása

fém-ből készült szekrényekkel kiküszöbölhető. A rendelkezésre álló szekrények egy része tűzállóságot is biztosít.

Az előre nem látható okokból bekövetkező katasztrófák (tűz, víz és egyéb természeti katasztrófák) hatása úgy előzhető meg, hogy az archivált fájlok másolatait különböző épületekben helyezzük el.

A mágneses hordozón tárolt digitális adatok különböző öregedési folyamatok következtében megbízhatatlanná válhatnak.

Optikai eszközök esetében még nem telt el olyan hosszú időtartam alkalmazásuk kezdete óta, hogy megbízhatóan lehetne nyilatkozni a tárolási korlátokkal kapcsolatban. Tény, hogy a mechanikus igénybevételekre (karcolódás, deformáció) érzékenyek, így leginkább ezektől kell megóvni őket.

Ha megfelelő gondot fordítunk a digitális adatok karbantartására, nincs szükség a konstrukciós tervek papíron vagy filmen való archiválására. Ha az előfeltételek mérlegelése alapján mégis úgy döntünk, hogy a konstrukciós terveket másodlagos adathordozón archiváljuk, akkor ezt az adathordozót a CAD rendszertől függetlennek kell kiválasztani. Kis fizikai méretei miatt ez az adathordozó leggyakrabban a mikrofilm. A mikrofilmet rendszerint papíron vagy fólián levő rajzról készítik. A CAD rendszer a konstrukciós adatok felhasználásával közvetlenül készíthet mikrofilmet (COM). Ez kevésbé költséges, mint az elektrosztatikus papírra készített másolatok. A COM a CAD adatok adatbázison kívüli tárolása esetén a következők miatt előnyös:

- a tervezőmérnök nem tud tervezési változásokat végrehajtani CAD rendszer felügyelete nélkül;
- a terveknek papíron való szétosztását ellenőrzi a CAD rendszer, mivel a COM a rendszer része;
- az archiválási módszer azonos lehet a hagyományos manuális és a CAD tervezés esetében.

Papíron vagy filmen tárolt konstrukciós tervek CAXx rendszerbe való visszavitelének egyetlen módja a digitalizálás. Ez az a feladat, amivel kapcsolatban mindenki azt reméli, hogy végrehajtására soha nem lesz szükség.

6.5. Emberi tényezők

Az emberi tényezők jelentőségének felismerése azon az egyszerű tényen alapszik, hogy az átlagos munkateljesítmény jelentős mértékben csökkenhet, ha az alapvető ergonómiai követelményeket nem ismerik fel.

Ahhoz, hogy a CAXx támogatás hasznosítható legyen a tervezési folyamat egésze alatt (a különböző tervezői tevékenységeknél) a CAXx eszközöket szét kell osztani azok között a csoportok között, amelyek beépültek a gyártmányfejlesztési részlegbe, és ahol a speciális műszaki módszertani ismeretek összpontosulnak. A távoli hozzáférési lehetőség biztosítása és a sorban állási idők csökkentése érdekében a nagyvállalatoknál is szét kell osztani az eszközöket. A hozzáférési lehetőség hiánya és a hosszú várakozási idő ugyanis a CAXx elutasításának legfőbb okait jelenthetik.

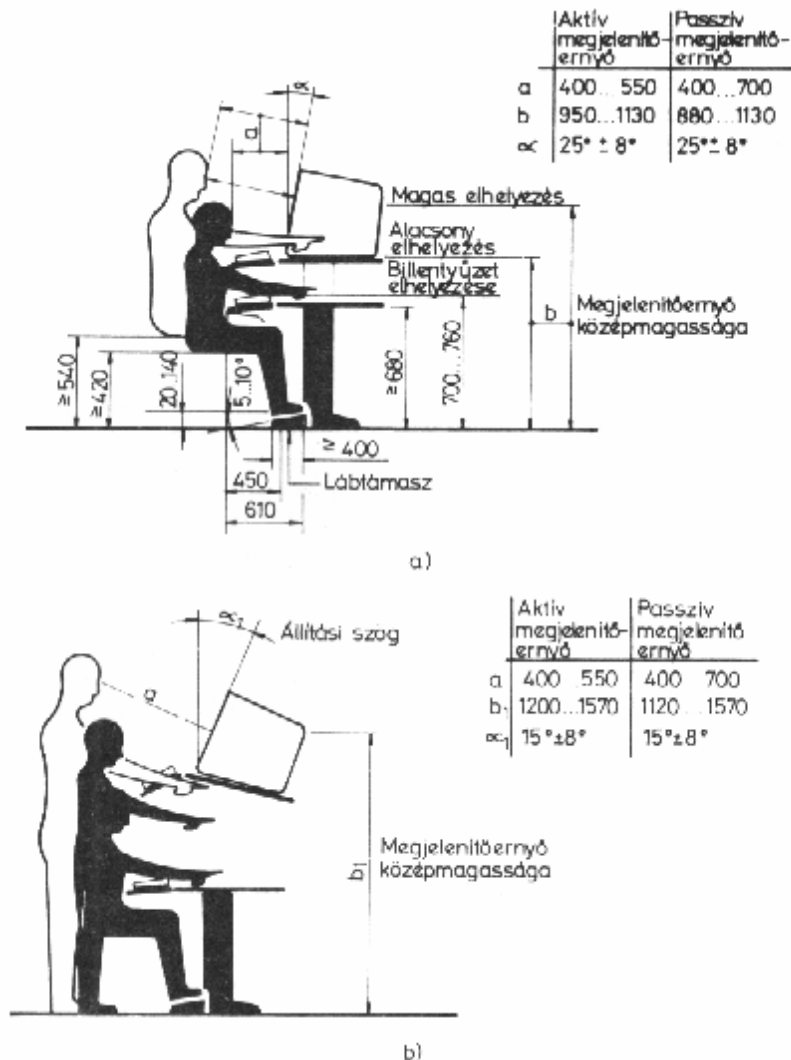
A különböző feladatok megoldására szakosodott részlegekben jelentős dokumentációs tevékenységek (pl. rajzolás, jegyzék-összeállítás, méretmegadás, részletszerkesztés, adott szerkezeti elrendezések megváltoztatása, nyomtatott áramkörök készítése stb.) elvégzésére a központosított CAXx rendszerek (pl. a rajzolóirodák) teremtenek kedvező lehetőségeket.

A mérnökök, a részletszerkesztők vagy a rajzolók által jelenleg végzett munka tartalmában meg fog változni, tevékenységükben szakértelmük növekedésével egyre inkább a kreativitás kerül előtérbe.

A munkaállomás elrendezése

CAXx irodát általában a mérnököket és rajzolókat foglalkoztató hagyományos tervezőirodából kell kialakítani, majd CAXx munkaállomásokkal kell ellátni. A tervezési feladattól függően 1,0-2,5 alkalmazottanként kell egy munkaállomást létesíteni. Az erre vonatkozó irányelvek a következők:

- minden folyamatos munkát végző alkalmazottra, pl. a rajzolást, részletszerkesztést, méretmegadást végző rajzolóra jusson egy munkaállomás.
- koncepcionális tervezés, túszerzés stb. esetén 2,5 tervezőmérnökre jusson egy időszakos felhasználású munkaállomás.



6.5. ábra. Működtetési helyzetek

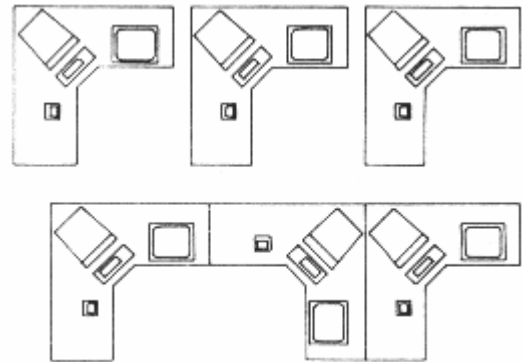
A 6.5. ábra a CAD munkaállomás ülő, illetve álló helyzetű felhasználóhoz igazodó elhelyezési méreteit mutatja be. Lényeges része a motoros működtetésű speciális CAD asztal. A munkaállomás lehet fénytollal működtetett, billentyűzettel és funkcióbillentyűkkel kiegészített aktív és passzív megjelenítőernyőt felhasználó munkaállomás. Az ábra mind az aktív, mind a passzív megjelenítőernyőre vonatkozó adatokat megadja. Gondoskodni kell az esetleges tablettel, egerrel vagy botkormányal történő működtetésről is.

A munkahely elrendezését minden esetben egyeztetni kell a felhasználókkal és a vállalat üzemeltetési szakemberével. Így mindenki együttműködésére számítani lehet, és a szokásos kellemetlenségek többsége elkerülhető. A problémák jellegzetes forrása, pl.:

- az irodai világítás, ablakok visszatükröződése;
- megközelítési utak;
- a berendezések keltette zaj stb.

Különálló munkaállomást kell létesíteni a rendszergazdai feladatok ellátására, amely kiterjed szoftveradaptálásra, menüoptimalizálásra, a tervezőmérnököt segítő szolgáltatások könyvtárának létrehozására, karbantartására stb.

A 6.6. ábra a tervezőirodán elhelyezett munkaállomások különféle elrendezési változataira mutat példát.



6.6. ábra. Munkaállomás-elrendezések

Testi fogyatékosok lehetőségei a CAxx eszközök használatában

A testi fogyatékos tervezők, szerkesztők, technológusok, technikusok és rajzolóok sokkal előnyösebben használhatják a számítógépes programrendszereket, mint napjaink általánosan használt tervezési eszközeit (pl. a rajztáblát, kihúzóeszközöket stb.). Szakmai rehabilitációjukat elősegítheti a CAxx rendszerek következő alapvető adottságainak kihasználása:

- A rendszer hardver és szoftver modularitása.
- A legtöbb rendszermodul között meglévő szabványosított interfészek.
- A rendszer nem kényszeríti a (testi fogyatékos) felhasználót behatárolt időn belüli válaszadásra, így a munkatempóját saját lehetőségei szabályozzák.

Az "intelligens" számítógépes eszközök bevezetése jelentősen megkönnyítheti a szakmai rehabilitációt, amit a testi fogyatékosok megmaradt képességeinek a feltárásával kell kezdeni. A szükséges ember és számítógép közötti kapcsolat kialakítása érdekében ebből a szempontból optimalizálni kell a moduláris be- és kimeneti eszközöket. Az így kialakított rendszernek a "felhasználó szempontjából barátságos" rendszernek kell lennie. Az optimalizálásnak a működtetési eljárásokra is ki kell terjednie.

Ilyen vonatkozásban a CAxx munkaállomások ideális megoldást jelentenek bizonyos testi fogyatékos emberek számára, mivel a rendszer működtetése csak minimális izomerőt igényel. Még a félkarú emberek is működtetni tudják az általános CAxx beviteli eszközök többségét, ha azokat megfelelő helyzetben rögzítik. A mindkét karjukat nélkülöző személyek a jövőben előnyösen hasznosíthatják a beszéddel működtetett beviteli eszközöket, amelyek fejlesztése jelenleg is folyik.

Tolószékhez kötött felhasználó számára célszerű motoros forgatású körasztalon elhelyezni az eszközöket. A csonka kezű vagy ujjhiányos személyek különleges méretű (nagyon nagy vagy kicsi) billentyűzetet használhatnak.

Beszédkorlátozott személyeknek semmiféle problémát nem okoz a CAxx rendszerek használata – kivéve, ha azok hangutasításokkal működnek.

A csökkent látóképességgel rendelkező emberek előnyösen hasznosíthatják a CAxx rendszer nagyítási lehetőségét, amivel a látott kép méretét megnövelhetik. Vakok esetében pillanatnyilag nem ismert semmiféle megoldás, amely lehetővé tenné a grafikus in-

formációk érzékelését. Halláskorlátozottak a parancsok és a működési állapot visszajelzésére fényjeleket kaphatnak.

A testi fogyatékos felhasználók szempontjából döntő kérdés, hogy a CAxx rendszer milyen mértékben felel meg igényeiknek. Ezért a CAxx munkaállomások kialakításának ergonómiai szempontjait felül kell vizsgálni, és a rendszert a felhasználóval folytatott megbeszélés alapján módosítani kell.

Az ergonómiai szempontok ellenőrző jegyzékének összeállítása nagy segítséget nyújt a különféle rendszerek összehasonlításánál. A hardver antropometrikus kialakítása csak az egyik figyelembe veendő tényező. A berögződött tervezési eljárások és módszerek csak teljes körű vizsgálat és egyeztetés után változtathatók meg. Ez a megállapítás minden felhasználóra érvényes.

A CAxx-rendszerek tervezőirodákra gyakorolt hatása

A CAxx-technika új berendezéseivel és eljárásaival a tervezési feladatok kidolgozásának minden szempontból új, jövőbeli módszerét alakította ki.

A CAxx-készülékek kezelése alapos kiképzést igényel. A tervezők és a műszaki rajzolóknak képzésében a jövőben ezt figyelembe kell venni. A tervező tevékenysége a jövőben eltolódik a nagyobb tudást igénylő alkotó munka felé, mivel a rajzolás gyakorlatilag elmarad. Ennek megfelelően alapvetően megváltozik a rajzolóknak iránti igény is. A jövőben a rajzok archiválása, tárolása digitális adatok formájában történik, amihez különleges szervezeti formákat kell kialakítani.

Az új tervezési módszerek elterjesztése kezdetben rövid idő alatt nem valósulhatott meg. Ennek elsősorban az volt az oka, hogy a CAxx-rendszereket viszonylag kevés helyen használták, és még kicsi volt a termelékenységük. A munkatársak kiképzése és az üzemi szervezet átalakítása ugyancsak hosszabb időt igényel. Azonban az iskolai, tanfolyami képzés és a CAxx-rendszerek is tovább fejlődtek. A 8-16 bites miniszámítógépeket felváltották a 32-64 bites számítógépek. A háromdimenziós geometriai alakzatok beviteléhez és megváltoztatásához magasabb szintű programnyelvek állnak rendelkezésre, amelyek megkönnyítik a gyártáshoz szükséges adatok megadását és a térbeli alakzatok leírását.

A számítógépek műszaki alkalmazása nem korlátozódik csupán a CAD/CAM által behatárolt területre, vagyis a számítógépek ma már nemcsak a tervezési és gyártási tevékenység támogatására, hanem egyre több, más műszaki feladat megoldására is alkalmasak. Ide tartozik, pl. az automatizálás, a termeléstervezés, a folyamatirányítás, az NC, CNC, az anyaggazdálkodás stb.

A számítógépek egyre szélesebb körű alkalmazása a szervezeti felépítést is megváltoztatja. Nagyon sok munkahely a jövőben egészen másképpen fog kinézni.

6.6. A CAD alkalmazása során eddig szerzett tapasztalatok

Tekintve, hogy a CAxx tervezési technikák alapját a geometriai modellező (CAD) határozza meg, a világban és hazánkban is ennek bevezetése volt az elsődleges a vállalkozások körében.

A CAD-rendszer kiválasztását egy sor tevékenység előzi meg. Ezek közé tartozik a CAD-rendszer bevezetésének előkészítése és a bevezetés gondos megtervezése.

A kiválasztás legfontosabb szempontjai:

- a CAD-rendszert a felhasználó könnyen kezelhesse;
- a napi folyamatokba való integrálhatósága.

A felhasználó szempontjából a könnyű kezelhetőség nagyon sokféle követelményt jelent. Egyrészt teljesíteni kell az ergonómiai, pszichológiai és nyelvi követelményeket, másrészt nagyon fontos a sikeres gyakorlati felhasználás szempontjából az ember és a gép közötti párbeszéd megvalósítási formájának, nyelvének helyes megválasztása. A legtöbb kezdeti CAD-rendszer menütechnikával egyszerűen kezelhető utasításorientált nyelvet használt. A menü kialakításakor egyre gyakoribb a grafikus jelképek használata, kiküszöbölve ezáltal a nyelvi fordítások szükségességét.

Figyelembe kell venni, hogy a felhasználó szempontjából könnyű kezelés többnyire vállalat- vagy termékorientált menüt igényel. Az ilyen menü kialakítása a feltételezettnél terjedelmesebb.

A CAD-bevezetés előkészítésének másik fontos területe a tervezők betanítása. Ezen a területen a vállalatnak gyakran sok nehézsége támad, mivel a tervezők többsége általában nem rendelkezik kellő ismeretekkel az alkalmazni kívánt CAD-technológiáról. A CAD-rendszerek szállítói által nyújtott tanfolyamok rendszerint nem elegendők ahhoz, hogy a felhasználók a CAD-rendszerrel munkájukat kielégítően végezhessék. A gyakorlati tapasztalatok azt bizonyítják, hogy ehhez legalább három héttől három hónapig terjedő tanulási folyamatra van szükség.

Végül a CAD-rendszer telepítési helyét kell meghatározni. El kell dönteni, hogy központi vagy közvetlen feldolgozást célszerű-e választani.

Központi feldolgozás esetén a CAD-rendszerrel elvégzendő feladatokat a CAD-központban dolgozó szakemberek oldják meg, és az elkészült rajzokat visszajuttatják a tervezőkhöz. Ennek az üzemmódnak az az előnye, hogy a betanulási és begyakorlási időszak után a számítógépek kezelőszemélyzete állandóan nagy termelékenységgel dolgozhat, a CAD-munkahelyek kihasználtsága állandó, kapacitásütemezésre nincs szükség.

A rendszer nehezen számszerűsíthető hátránya, hogy a CAD-központban leadott tervet olyan egyértelműen kell elkészíteni, hogy további információkra, utólagos kérdésekre ne legyen szükség. További hátrányt jelent, hogy időnként kapacitáshiány alakulhat ki, és hosszabb-rövidebb ideig várakozni kell a megoldásra.

Közvetlen feldolgozás esetén ezzel szemben a CAD-munkahely kezelésére megtanított valamennyi tervező és műszaki rajzoló maga végezheti el a munkát a képernyőn. Ez lehetővé teszi, hogy a CAD-rendszert a tervezők már a tervezés kezdeti fázisában is felhasználják és alternatív megoldásokat is kidolgozzanak. A jól összeszokott tervezők és műszaki rajzoló csoportja, mint eddig, a CAD-rendszer alkalmazásakor is együtt dolgozhat.

Hosszú távon csak közvetlen felhasználású CAD-munkahelyet szabad üzemeltetni.

A jövőbeli felhasználóknak egy CAD-rendszer kiválasztásakor a következőket feltétlenül figyelembe kell venni:

1. A CAD-munkahelyek teljesítőképessége és elfogadtatása. Ennek vizsgálati és értékelési szempontjai: a kommunikáció módja, a munkasebesség, a kezelhetőség, a bővíthetőség és a csatlakoztatási lehetőségek.
2. A teljes rendszer (a hardver és a szoftver) illeszkedése a vállalati alkalmazási területekhez.
3. A CAD-munkahelyek központosított vagy területi felállítása és összekapcsolása más számítógépekkel.
4. A várható gazdasági előnyök. A lehetséges termelékenységnövekedés, a költségek és a képernyők kihasználásának és elosztásának szembeállítása.
5. Szerviz, karbantartás, betanulási lehetőségek.

7. Irodalomjegyzék

- Horváth László: A mérnöki tervezés számítógépes rendszerei,
SZIF-UNIVERSITAS, Győr, 1998
- Falman László: Milyen előnyököt rejt az ACIS?
Mérnökműhely BME '95 Budapest
- Horváth Imre – Juhász Imre: Számítógéppel segített gépészeti tervezés,
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1996
- Falman László: A konkurens tervezés alappillérei,
Jubileumi konferencia, Pécs 1996
- Szirmay-Kalos László: Számítógépes grafika,
Computerbooks, Budapest, 1999
- CAD technológiai füzetek 4. A geometria modellezése és szemléltetése, OMIKK
- CAD technológiai füzetek 3. A CAD hatása az emberre és a vállalatra, OMIKK
- J.J. Marchant: Számítógépes műszaki tervezés,
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988
- Rády István: A műszaki előkészítés alapadatainak számítógépen történő feldolgozása,
BME Továbbképző Intézete 4827, Budapest, 1972
- Rolf Bernhardt: A számozástechnika gépipari alkalmazása,
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- Ipari Informatikai Központ: CAD/CAM alkalmazói segédlet, 1985