1. Testmodellezés

Egy objektum modelljén az objektumot reprezentáló adatrendszert értjük. Egy testmodell egy digitális reprezentációja egy létező vagy elképzelt objektumnak. A tervezés, a modellezés során megadjuk a objektum geometria adatait. Ez történhet a modellezési módszernek megfelelő közvetlen megadással, vagy a modellezési rendszertől független módszerrel, a modell általános alapadataival. Utóbbi esetben a rendszer az adatokból a számára megfelelő adatszerkezetet állítja elő. A megjelenítés után lehetőség van a modell módosítására. Általában egy összetett objektumot egyszerűbb adatszerkezű, könnyen definiált, alapobjektumokból állnak össze. A testmodellezésnek, a geometriai modellezésnek (Solid modeling, Geometric modeling) számos felhasználási területe van az ipartól a szórakoztatáson át az egészségügyig.

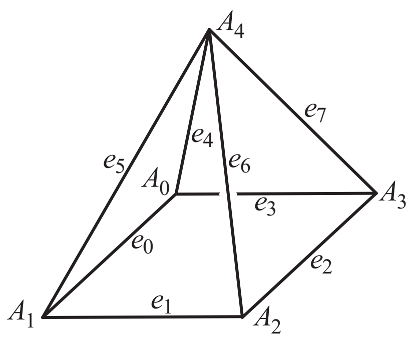
Többféle testmodellt különböztethetünk meg a modell adatszerkezet szerint.

1.1. Drótvázmodell

A drótváz- vagy élmodell (wire frame model) a legegyszerűbb testmodellezési módszer.

Egy drótváz modellezési rendszerben a geometriai objektumot az őket meghatározó csúcspontok és az ezeket összekötő élek írják le. (Az élek nem feltétlenül egyenes szakaszok.)

1.1. Példa. *Az 1. ábrán vázolt négyzet alapú gúla csúcspontjai legyenek a következő koordinátákkal megadva.* $A_0 = (0,0,0)$, $A_1 = (2,0,0)$, $A_2 = (2,2,0)$, $A_3 = (0,2,0)$, $A_4 = (1,1,3)$.



1. ábra. Gúla.

Ekkor a csúcspontok koordinátáit egy V *csúcspont (vertex) listában tárolhatjuk.*

$$V = \{(0,0,0), (2,0,0), (2,2,0), (0,2,0), (1,1,3)\}.$$

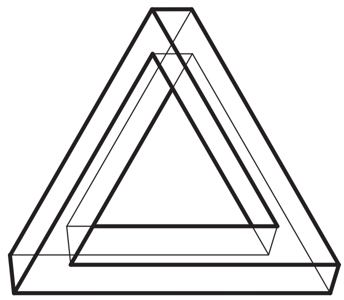
Az csúcspontokat összekötő élek E *(edge) listája a megfelelő élek kezdő és végpontjai indexeiből kapott számpárokat tartalmazza.*

$$E = \{(0,1), (1,2), (2,3), (3,0), (0,4), (1,4), (2,4), (3,4)\}.$$

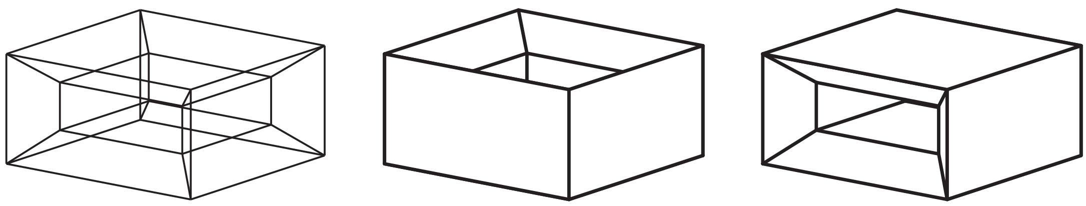
Tehát a gúla drótvázmodelljét a V *és* E *listák együttesen írják le.* □

E módszer előnye, hogy kevés adattal, egyszerűen írhatók le a térbeli alakzatok. A leírt alakzatok gyorsan megjeleníthetők.

Hátránya, hogy nem lehet láthatóság szerint ábrázolni az objektumokat, leírhatók nem létező objektumok (2. ábra) továbbá nem egyértelmű, több testnek is lehet ugyanaz a modellje (3. ábra). Ezen hiányosságok miatt nem tekintjük teljes értékű testmodellnek.



2. ábra. Nem létező, de drótvázmodellel leírható alakzat.



3. ábra. Egy adatrendszer több objektumot is modellezhet.

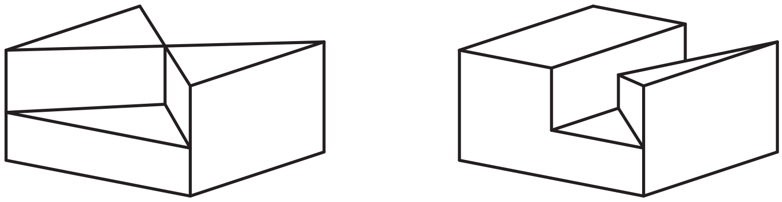
1.2. Felületmodell

A felületmodell (palástmodell, B-rep – Boundary Representation) a drótvázmodell továbbfejlesztésének tekinthető. Azon a feltételezésen alapul, hogy az objektumokat lapok határolják, a lapokat élek, az éleket két csúcspont. A lapok az őket határoló élekkel, az élek az őket határoló csúcspontokkal, a csúcspontok pedig a koordinátájukkal írhatók le. A lapok lehetnek felületek[1], az élek lehetnek görbék, ekkor az egyenleteikkel és a határoló adataikkal adjuk meg őket. Sok felületmodellen alapuló rendszer csak síklapokat enged meg. Az ilyen rendszerekkel csak poliéderek reprezentálhatók egzaktul. A görbült felületeket poliéderekkel közelíthetjük. Az ilyen modelleket *poliédermodell*eknek nevezzük.

A modellezhető testekre néhány megszorítást kell tennünk. A lapok határai egyszerű sokszögek legyenek, minden élben pontosan két lap találkozzon, valamint kizárjuk azokat a testeket, amelyek egymáshoz, vagy önmagukhoz élben, vagy csúcsban csatlakoznak. A 4. ábrán néhány nem modellezhető test látható.

A poliédermodell előnye, hogy a leíró adatstruktúra egyszerű, a láthatóság szerinti ábrázolás könnyen megvalósítható. A modellezett objektum módosítható. A módosítások során az adatstruktúrához pontok, egyenesek, lapok adhatók hozzá, vagy törölhetők.

[1]Melyek előállatására később számos példát látunk.



4. ábra. Felületmodellel nem modellezhető poliéderek.

Ügyeljünk arra, hogy az Euler-tételt betartva mindhárom lista megfelelően módosuljon. Az $c - e + l = 2$ Euler-tétel a poliéder csúcsainak (c), éleinek (e) és lapjainak (l) száma közötti összefüggést írja le. Az Eulet-tételt betartó poliéderek adatstruktúráit módosító műveleteket nevezzük Euler-műveleteknek, vagy Euler-operátoroknak.

A poliédermodell hátránya mindenek előtt a görbült felületek közelítésekor fellépő pontatlanság. Ez csökkenthető a lapok számának növelésével, ami az élek és a csúcspontok számának növelésével jár. Ez jelentősen növeli az adatrendszer tárolásának a helyigényét és az ábrázolás idejét.

1.2. Példa. *Az 1.1 példában adott gúla adatszerkezetét egészítsük ki a gúla lapjait tartalmazó F felület (face) listával. Egy lapot adjunk meg a határoló élek indexeinek sorozatával kívülről nézve pozitív (óra mutató járásával ellentétes) körüljárási irányban felsorolva.*

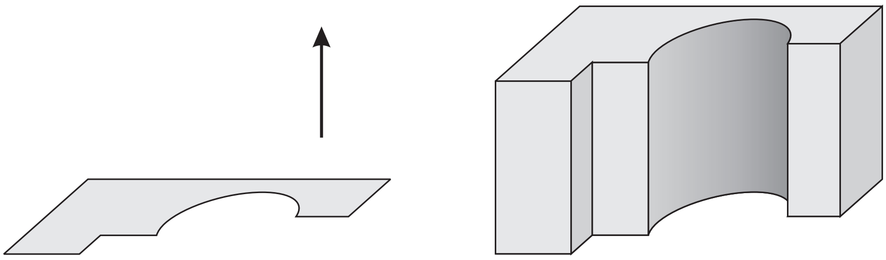
$$F = \{(1,6,5),(2,7,6),(4,3,7),(5,4,0),(0,3,2,1)\}.$$

Tehát a gúla egy felületmodelljét (poliédermodelljét) a V, E és F listák együttesen írják le. □

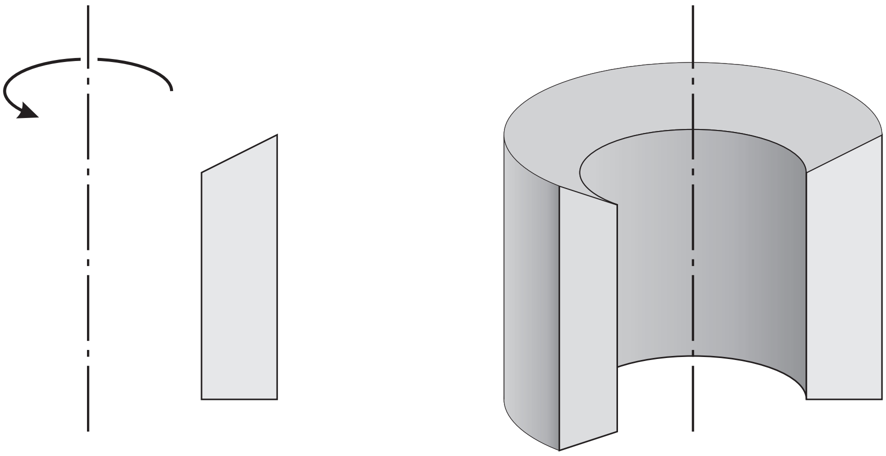
Több felületmodell leírás is létezik, pl. csúcsok listájából megadhattuk volna először a lapok, majd ebből az élek listáját is (ügyelve a körüljárásra).

1.3. Térfogatmodell

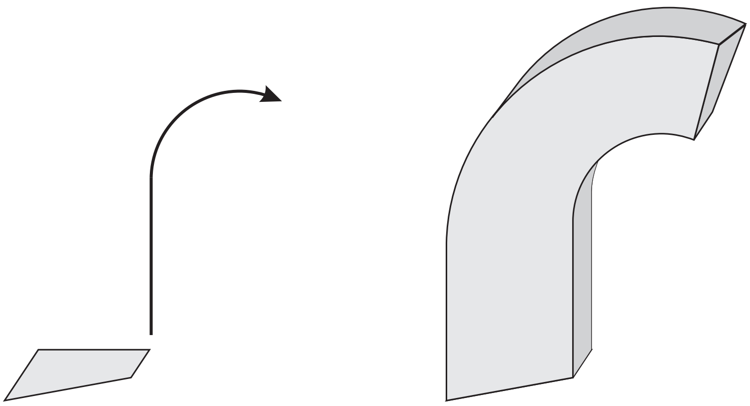
A felületmodell mellett a másik legelterjedtebb modell a térfogatmodell (CSG – Constructive Solid Geometry). Ez a modellezési módszer előre definiált egyszerű alaptestekből, un. primitívekből halmazműveletek (Boole-műveletek – unió, metszet, különbség) segítségével állítja elő az objektumokat. A leggyakrabban alkalmazott primitívek a gúla, a hasáb, a gömb, a kúp, a henger és a tórusz. A primitívek $F(x, y, z) \leq 0$ implicit egyenletekkel megadott zárt térrészként vannak definiálva ($F(x, y, z)$ általában polinomfüggvény). Például az origó középpontú egység sugarú gömb az $x^2 + y^2 + z^2 - 1 \geq 0$ egyenlettel, egy egységkocka az $x \leq 1$, $x \geq 0$, $y \leq 1$, $y \geq 0$, $z \leq 1$, $z \geq 0$ félterek metszeteként állítható elő. Az alapalakzatokat meghatározó adataival adjuk meg, pl gömböt a középpontjának koordinátáival és sugarával, hengert az alapkörének síkjával, középpontjával, sugarával és magasságával. A megadott primitívekre és az általuk előállított objektumokra, melyek szintén zárt térrészt definiálnak, a térbeli transzformációk segítségével módosíthatók. A primitívek általában lokális koordináta-rendszerben vannak tárolva, hogy módosításkor elég legyen az alapadatok megváltoztatása. Általában lehetőség van a tervező által létrehozott további testprimitívek definiálására is. Ezek síkbeli tartományokból létrehozhatók kihúzással (5. ábra), forgással (6. ábra), pásztázással, vagy söpréssel (7. ábra). Az összetett objektumok definiálásánál nem csak az egyesítés, a közös rész képzés, a kivonás megengedett, hanem pl a síkkal való metszés is.



5. ábra. Kihúzás.



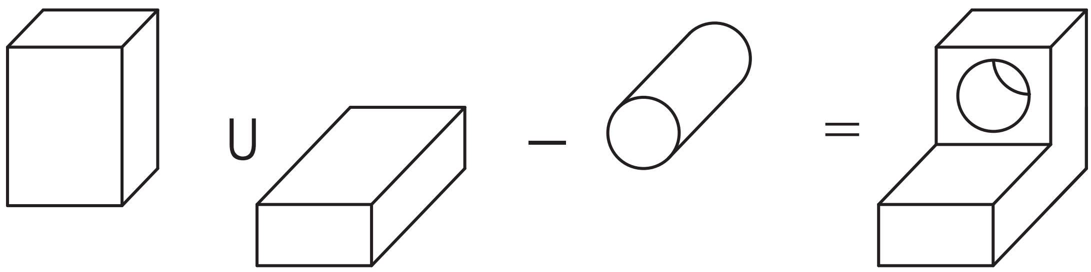
6. ábra. Forgás.



7. ábra. Kihúzás útvonal mentén (pásztázás, söprés).

A térfogatmodellel véges, zárt objektumok széles skáláját lehet definiálni, melyek megvalósíthatósága is biztosított. Az adatszerkezet kis helyen tárolható. A vizuális visszacsatolás, a megjelenítés kissé bonyolult és lassú, mert nincs közvetlen hozzáférés a csúcs, él és lap információkhoz.

1.3. Példa. *Hasábokból és hengerből az unió és a kivonás halmazműveletekkel a következőképpen adhatunk meg egy térbeli testet (8. ábra).*



8. ábra. Térfogatmodell primitívekből.

1.4. Cella módszer

A teret osszuk fel kis elemi részekre, cellákra (celural decomposition). Legyenek az elemi részek, a voxelek (voxel = **vo**lume × **el**ement) kis kockák. Minden voxelről el kell dönteni, hogy a definiált objektumon belül, vagy kívül van. Általában azt a voxelt is amelynek térfogatának több mint fele (vagy középpontja) az objektumhoz tartozik a belsők közé soroljuk.

Az ábrázolandó térrész kis kockái egy 3 dimenziós tömbben bitenként tárolhatók. A megfelelő bit 1, ha a kocka az objektumhoz tartozik, 0, ha nem. Az objektumok uniói, metszetei és különbségei így könnyen kezelhetők bit műveletekkel. Az objektumok adatszerkezete rendkívül egyszerű, a tömeg és térfogat számítás esetén jól alkalmazható. A módszer hátránya, hogy egy testet nagyszámú voxellel írhatunk le, nagy a tárigénye, az ábrázolandó testet csak közelíti. Különböző méretű voxelekkel javítható a módszer hatékonysága.

Néhány CAD szoftver a fenti testmodellezési módszerek közül többet is tud alkalmazni. A módszerek adatstrukturáiból következik az átjárhatóság. Egy geometriai objektum térfogatmodelljéből elő lehet állítani a felület-, majd abból a drótvázmodelljét is, de ez fordítva általában nem lehetséges. Bizonyos feltételek mellett a felületmodellből előállítható a térfogatmodell is.

1.4. Feladat.

1.4.1. Írja le két egység élhosszú kocka drótváz és felületmodelljének adatszerkezetét az 1.1. és az 1.2. példák alapján!

1.4.2. Készítse el a 8. ábrán látható alakzat modelljét ACAD-del!

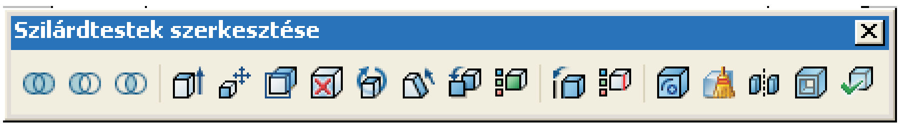
1.4.3. (*Beadandó.*) Készítse el egy összetett alakzat modelljét ACAD-del, amely tartalmaz síkmetszetet és kihúzott alapalakzatot is! Készítse el az alakzat elöl- és felülnézetét, valamint axonometrikus vetületét A4-es méretű lapra kinyomtatva! Vegye figyelembe a következőket: cím – Arial, 7mm, fent középen; név, csoport – Arial 3,5mm, lent jobbra; látható vonalak – folytonos, 0,6mm; takart vonalak – vetületeken szaggatott, 0,3mm, axonometrián nincs takart vonal (vagy folytonos, 0,2mm), a lap szélétől 10mm-re körben egy 0,7mm-es keret van.

1.5. AutoCAD 2004 eszközök

AutoCAD 2004 szilárdtestek szerkesztésére a 9. ábrán szereplő eszköztár használja. A hozzájuk tartozó parancsok : téglatest(_box), gömb (_sphere), henger (_cylinder), kúp (_cone), ék (_wedge), tórusz (_torus), kihúzás (_extrude), forgatás (_revolve), kettészel (_slice), keresztmetszet (_section), áthatás (_interfere), rajz beállítása (_soldraw), nézet beállítása (_solview) és vetület beállítása (_solprof). A papírtérben (elrendezés ablak) a vetületek megrajzolásához és helyes elrendezéséhez a rajz beállítása és a nézet beállítása parancs szükséges.

9. ábra. ACAD 2004 szilárdtestek eszköztára.

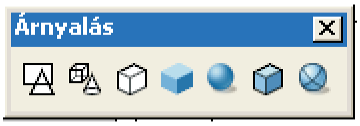
A szilárdtestek szerkesztése eszköztár (a 10. ábra) első három parancsa az egyesítés (_union), kivonás (_subtract) és közösrész (_intersect). A többi a szilárdtest lapjait éleit változtatja.



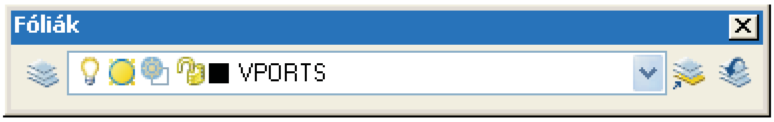
10. ábra. ACAD 2004 szilárdtestek szerkesztése eszköztára.

A szilárdtestek megjelenítését az árnyalás eszköztár (a 11. ábra) parancsaival változtathatjuk. Ezek a parancsok (_shademode) lehetővé teszik 2D drótvázas árnyalást, a 3D drótvázas árnyalást, a takartvonalas árnyalást, a simított árnyalást, a gouraud árnyalást, simított árnyalást élek megjelenítésével és a gouraud árnyalást élek megjelenítésével.

A színek és vonal típusainak és vastagságainak beállítását a fóliák eszköztárral (a 12. ábra) végezhetjük el.



11. ábra. ACAD 2004 árnyalás eszköztára.



12. ábra. ACAD 2004 fóliák eszköztára.

Hivatkozások

[1] Juhász Imre, *Számítógépi geometria és grafika*, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1993.

[2] Budai Attila, *A számítógépes grafika*, LSI Oktatóközpont, Budapest, 1999.

[3] Szirmay – Kallos László, *Számítógépes grafika*, Computerbooks, Budapest, 2001.

[4] Pintér Miklós, *AutoCAD, tankönyv és példatár*, Computerbooks, Budapest, 2008.

[5] Juhász Imre, *Számítógépi grafika*, Miskolci Egyetem, 2007. (`http://193.6.8.43/segedlet/dokumentumok/TISZK/Szamitogepi_grafika.php`)

[6] Tornai Róbert, *Fejezetek a számítógépi grafikából*, mobiDIÁK könyvtár, Debrecen, 2004. (`http://aries.ektf.hu/~emod/bevgraf/fej_graf.pdf`)

[7] Schwarcz Tibor, *Bevezetés a Számítógépi grafikába*, mobiDIÁK könyvtár, Debrecen, 2005. (`www.inf.unideb.hu/grafika/schwarcz/bevgraf.pdf`)

[8] Kovács Emőd, *Fejezetek a számítógépi grafikából*, 1997. (`http://www.ektf.hu/~emod/KOMA.pdf`)

[9] Kovács Zoltán, *Komputergeometria*, (Előadásvázlat). (`http://zeus.nyf.hu/~kovacsz/kompgeom/index.html`)

[10] Christoph M. Hoffmann, *Geometric and Solid Modeling.* (`http://www.cs.purdue.edu/homes/cmh/distribution/books/geo.html`)

[11] Jakubek Lajos, *AutoCAD testmodellezés.* (`http://emk.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/emk/efelt/efelt/jegyzetek/testmodellezes.pdf`)

Készült LaTeX 2_ε–vel.