

KONVERGENS MODELLEZÉS ÉS REVERSE ENGINEERING

Tóth Sándor Gergő

*PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszéke
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros*

Hegedűs György

*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszéke
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: hegedus.gyorgy@uni-miskolc.hu*

Absztrakt

A reverse engineering módszerek gyakorlati alkalmazásával az utóbbi időben egyre gyakrabban merülnek fel a visszamodellezett objektumokon végzett tervezési feladatok. Korábban a pontfelhő alapú geometriai elemeken végezhető műveletek korlátosak voltak, azonban az elmúlt években bevezetett konvergens modellezési technológia ezeket a korlátokat feloldotta. Jelen cikkben a konvergens modellezési technológia néhány gyakorlati példáját ismertetjük.

Kulcsszavak: *konvergens modellezés, reverse engineering*

Abstract

With the practical application of reverse engineering methods, design tasks on re-modeled objects have become more frequent recently. Previously, operations on point cloud-based geometric elements were limited, but convergent modeling technology introduced in recent years has overcome these limitations. This article describes some practical examples of convergent modeling technology.

Keywords: *convergent modelling, reverse engineering*

1. Bevezetés

A számítógéppel segített tervezés története egészen 1957-ig nyúlik vissza, amikor *Patrick J. Hanratty* – akit a CAD/CAM szülőatyjának is neveznek – létrehozta *PRONTO* néven az első CAM szoftvert. A következő fontos állomás 1960-ban volt, amikor *Ivan Sutherland* megalkotta a *Sketchpad* nevű alkalmazását, ahol a felhasználó egy fényceruza segítségével rajzolta meg a geometriai objektumokat, amit egy képernyőn jelenített meg. Ezt követően az elektronikai és számítástechnikai eszközök fejlődésének köszönhetően újabb és újabb alkalmazások jelentek meg. A hardver és szoftver fejlesztését elsősorban a repülőgép- és járműiparban meghatározó vállalatok jelentették. A személyi számítógépek megjelenésével és azok elterjedésével a független CAD/CAM szoftverfejlesztők és hardver gyártók is előléptek. A számítógépi geometriai adatok megjelenítése, feldolgozása – a hardverrel párhuzamosan – folyamatosan fejlődött. A kezdeti időszakban alapvetően a kétdimenziós – analitikusan meghatározható – geometriai elemek megjelenítésén volt a hangsúly. A felhasználói igények következtében azonban szükség volt a szabadformájú térbeli görbék kezelésére is, melyeknek matematikai megvalósítása *Pierre Bezier* és *Paul de Casteljau* francia származású tervezőmérnökökhöz köthető. *Pierre Bezier* a Renault autógyártónál a gépjárművek karosszéria elemeihez használt parametrikus szabadformájú görbék és felületeket a geometria megadásához. A róla elnevezett *Bezier görbék és felületek* a *Bernstein-polinomokat* – melyek már 1912 óta ismertek –

használják az adott geometriai egyenletben, azonban a meghatározásukhoz szükséges nagyigényű számítási kapacitás miatt nem alkalmazták a számítógépi grafikában. Az áttörést a *Paul de Casteljau* által kidolgozott és róla elnevezett *de Casteljau algoritmus* jelentette. Az eljárás többszörös lineáris interpolációk sorozatával határozza meg a görbe pontjait, előnye, hogy a megoldás előállítására numerikusan stabilabb eredményeket ad [1]-[3].

Az 1970-es években a számítógéppel segített rajzolás súlypontja a 2D-s műszaki rajzok reprodukciójáról eltolódott a 3D-s komplex drótváz modellek alkalmazása felé, köszönhetően a korábban lefektetett matematikai eljárások számítógéppel történő meghatározásához és az eredmények megjelenítéséhez. Ebben az időszakban már megkezdődtek a szilárdtest (térfogat) modellezés fejlesztései is. Az első kereskedelmi forgalomban megjelent a *SynthaVision* nevű szoftver volt, melyet a *MAGI (Mathematical Applications Group, Inc)* fejlesztett. A szoftvert alapvetően nukleáris sugárzás nyomán követésére alkalmazták, melynek meghatározásához szilárd alakprimitíveket, boolean műveleteket és ray-tracing technikát alkalmaztak. 1978 áprilisában megjelent a *Unigraphics RI (UGS Corp./McDonnell Douglas)*, 1981-ben kezdték fejleszteni a *GEOMOD (SDRC)* első verzióját. Az 1980-as években a szabadformájú felületek (*Bezier, B-szplájn, NURBS, Coons*) és az azokkal végzett műveletek váltak elterjedté a számítógépi grafikában, valamint a CAD szoftverekben. A következő mérföldkő a *Pro/ENGINEER RI* verziójának megjelenése volt 1987-ben. A szoftver a mai integrált tervezőrendszerek elődjének tekinthető, melyben bevezették az asszociatív, alaksajátosság alapú, parametrikus szilárdtest modellezést. A parametrikus rendszerek egyik fő jellemzője a modellalkotás tekintetében a modelltörténet. A különböző szoftverek közötti termék adatcserét a szabványosított, rendszersemleges fájlformátumok biztosítják, azonban a konverziós adatvesztés mellett másik hátrányuk a modelltörténet hiánya. Az ilyen modellek módosítása a paraméterek és modelltörténet ismerete nélkül időigényes, a probléma megoldására a szoftverfejlesztők az explicit (direkt) modellezés és a szinkronmodellezési technológiákat vezették be a 2000-es évek végétől kezdődően, ami lehetővé tette a geometria módosítását a topológia ismeretében. Megemlítendő, hogy 1993-ban már megjelent kereskedelmi forgalomban az első explicit modellezési technológiát alkalmazó *CoCreate* szoftver, azonban a *Pro/ENGINEER* programban bevezetett alaksajátosság és modelltörténet alapú modellezési technológia térhódítása a *CoCreate* megoldásait háttérbe szorította.



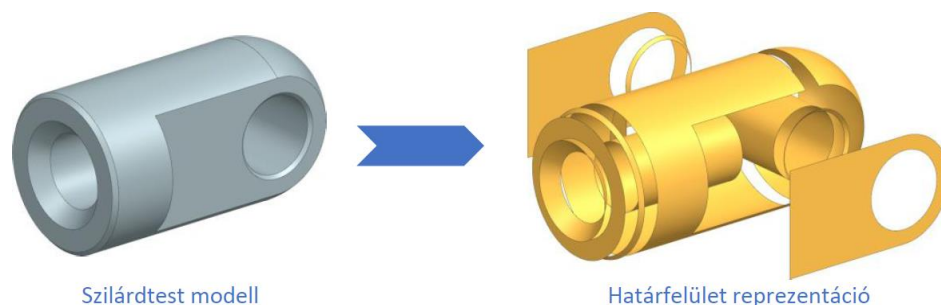
1. ábra. A CAD modellek típusai

A gyors-prototípusgyártás (*Rapid ProtoTyping – RPT*) és a *Reverse Engineering* eljárások következtében az elmúlt években szükségessé vált a hálómódellek (poligon modellek) adott rendszeren belül megvalósítható módosítása is. Az ilyen modellek kezelésére alkalmas a konvergens modellezési technológia (1. ábra).

2. Alkalmazott modellek a gépészeti tervezésben

Az előző fejezetben ismertetett rövid történeti áttekintés mérföldköveinek megfelelően látható, hogy a gépészeti tervezéskor – a geometriai tulajdonságok tekintetében – többféle modellel kell műveleteket végrehajtanunk. Az alábbiakban ezeket foglaljuk össze röviden.

1. Drótváz vagy huzalváz modell: a drótváz modellek csak pontokkal és éllel valósítják meg a 2D-s, 3D-s objektumok ábrázolását. Kétdimenziós drótváz modelleket 2D-s műszaki rajzok létrehozásához, egyszerű komponensekhez vagy NC pálya generálásához alkalmaznak. A drótváz modellek képezhetik a felület, vagy térfogat modellek alapját is. A drótváz elemei meghatározhatják a komponensek síkbeli vagy térbeli helyzetét, azonban nem egyértelműen ábrázolhatják a térbeli objektumokat, mivel a felületek árnyékolt megjelenítésére, az anyagjellemzők definiálására nincs lehetőség. A gépészeti modellezésben ezeket a típusú modelleket jelenleg ritkán használjuk.
2. Felületmodell: a felületmodellek térbeli objektumok leírására alkalmasak. A felületek megadhatók egyszerű egyenletekkel (pl. sík, henger, kúp), valamint szabadformájú felületek (*Bezier*, *B-spline*, *NURBS*) formájában kontrolpontokkal vezérelve. A felületmodellekkel elsősorban járműipar (pl. karosszéria elemek), repülőgépipar (pl. szárnyprofil), energetika (pl. turbina, szivattyú járólapát) és az ezekhez kapcsolódó szerszámtervezés területén találkozhatunk. A felületmodellek takartvonalas és árnyékolt megjelenítése is lehetséges, azonban az anyagjellemzők megadására itt sincs lehetőség.
3. Háló vagy poligon (sokszög) modell: a poligon modellek az objektumokat háromszögek vagy négyszögek halmazával írja le. A gépészeti tervezésben ezek a modellek leggyakrabban a 3D szkennelés eredményeként jönnek létre, valamint az *.stl* fájlformátumra történő konverzióként. A geometria leírása a sokszögek csúcspontjaival és a sokszögek által bezárt felületfolt normálisával történik. Az objektumok takartvonalas és árnyékolt megjelenítésére van lehetőség, de anyagjellemzők megadása ennél a típusnál sem lehetséges.
4. Szilárdtest modell: a szilárd testek modellezésére többféle eljárás is létezik a gyakorlatban. Ezek közül a CAD modellezésben a határfelület reprezentáció (**Boundary-representation** – *B-rep*), vagy palástmodell, illetve az elemi testekkel (alakprimitívekkel) történő modellezés a legelterjedtebb.
 - A palástmodell a modellezett objektum határolófelületeit felhasználva írja le a geometriát. A drótváz modellnél megismert csomópontok és él mellett az éllel határolt zárt felületelemet is definiálja a topológiában (2. ábra).

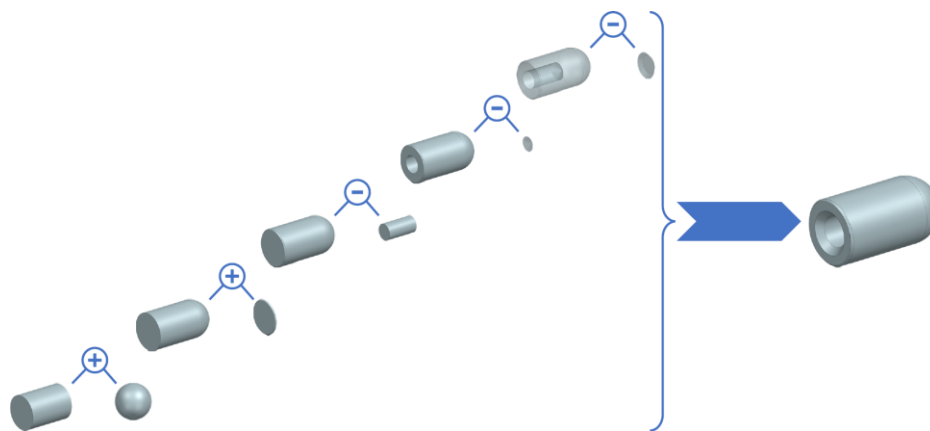


2. ábra. Szilárdtest modell és határfelület (*B-rep*) reprezentációja

A gyakorlatban kétféle palástmodell fordul elő, az egyik a poliéderez palástmodell, ez a modellezett objektumot sík felületelemekkel írja le vagy közelíti. Analitikusan megadott

gömbült felületek modellezésére is van lehetőség, de ezek explicit formájúak lehetnek csak, így alkalmazhatóságuk korlátozott. A másik – elterjedtebb – palástmodell a szabadformájú felületek használatát is támogatja, így az objektumot az ábrázolási pontosságnak megfelelően definiálhatjuk. A palástmodellek alkalmasak térfogat és – az anyagjellemzők ismeretében – tömegszámításra, ütközés vizsgálatok elvégzésére, végelemek hálókészítésre, illetve gyártástechnológiai tervezések elvégzésére [4].

- **Térfogatmodell:** konstruktív szilárd geometria (*Constructive Solid Geometry – CSG*), amely a teljes tömör ábrázolását adja az objektumnak. A modellezés alakprimitívekből (hasáb, henger, kúp, gömb, tórusz) hozza létre a végleges geometriát, különböző halmazalgebrai (*boolean*) műveletek (kivonás, összeadás, metszet) alkalmazásával (3. ábra).



3. ábra. CSG modellezés alakprimitívekkal és boolean műveletekkel

Az említett szilárdtest modellező technikákon kívül léteznek még további eljárások is, mint például a féltér-módszer, hasáblebontó módszer, elemi sejtekkel való modellezés, söprés, azonban a napjainkban elterjedt modellező kernelek CAD moduljai a fent említett két eljárást alkalmazzák.

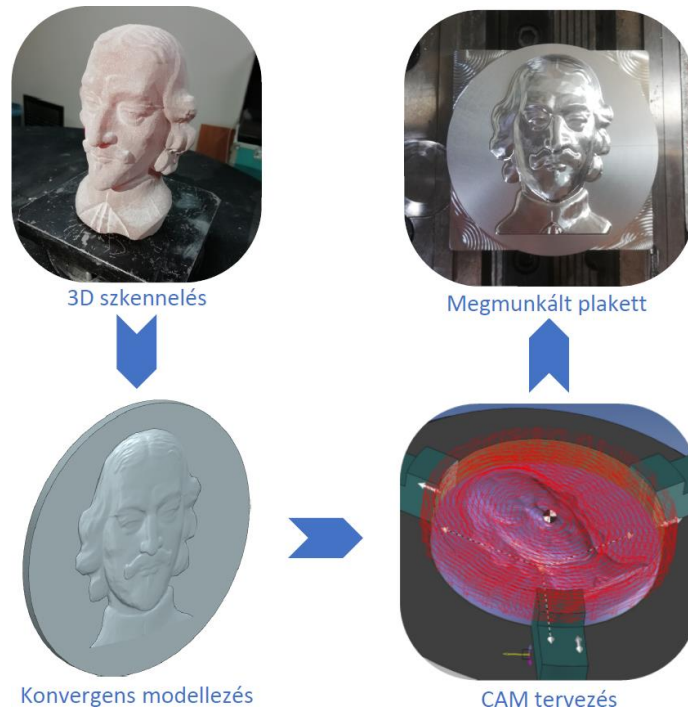
5. **Hibrid-modell:** a hibrid modellek a fenti geometriai modelleket ötvözik, ami legtöbbször felület- és szilárdtest modell (pl. szerszámtervezésnél), valamint poligon- és szilárdtest modell (pl. szkennelt objektumok modellezésénél).

3. Esetpéldák konvergens modellezésre

A Szerszámgépek Intézeti Tanszékén több éves tapasztalat és ismeret halmozódott fel a *reverse engineering* területén [5]. A rendelkezésre álló hardver (*Breuckmann Smartsan 3D-HE* optikai szkener) és szoftver (*Siemens PLM NX*) segítségével lehetőség nyílik a szkennelt objektumok visszamodellezésére. A szoftverben 2017-ben bevezetett konvergens modellezés a parametrikus és a poligon modellezésre épülő technológiák előnyeit ötvözi. A hagyományos hálómodellként importált fájlokkal való műveletek korlátozottak, azonban a gyakorlatban egyre gyakrabban fordulnak elő olyan feladatok, ahol a szkennelt objektum módosítása, áttervezése, CNC megmunkálása, vagy 2D-s műszaki rajzdokumentációja szükséges. A szkennelt objektumról rendelkezésre álló állományt konvergens modellként importálva lehetőségünk nyílik hibrid modell létrehozására, ahol használhatjuk az alaksajátosságalapú modellezési műveleteket. Az alábbi két eset erre a modellezési technológiára mutat szemléltető példákat.

1. Emlékplakett készítése 3D CNC technológiával

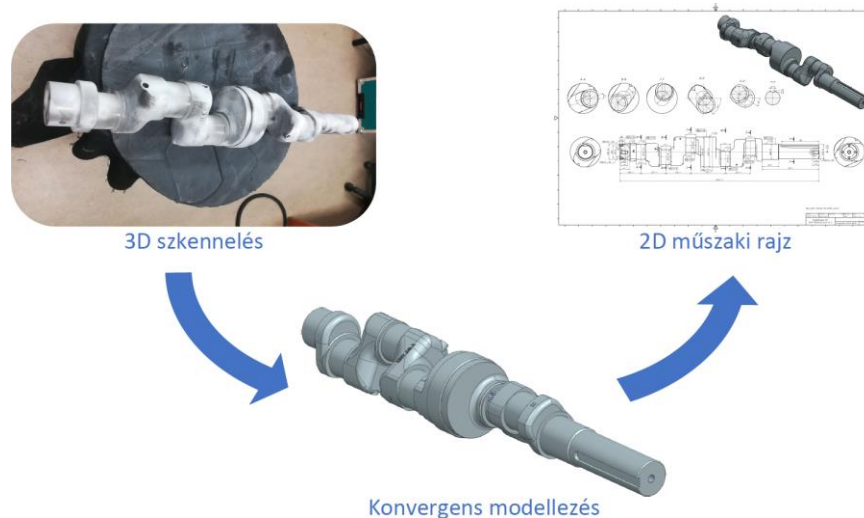
Ennél az esetben a feladat egy rendelkezésre álló szobor (fej-, vagy mellszobor) alapján egy emlékplakett elkészítése volt (4. ábra). Az ilyen művészeti alkotásoknál a szkennelési pontosság másodlagos, azonban a problémát a visszamodellezés során a meglévő objektumon található alámetszések jelenthetik, ami az utómunkálatok műveleti idejét növelhetik.



4. ábra. Emlékplakett gyártása szkennelt objektumból

2. Szivattyútengely 2D-s műszaki rajzának előállítás

A következő példa egy öthengeres dugattyús szivattyú főtengelyének 2D-s műszaki rajzdokumentációjának előállítását szemlélteti. A tengelyt egy kovácsolt előgyártmányból, az illesztett felületek utólagos megmunkálásával állítják elő. A megmunkált felületek – geometriai szempontból – egyszerű, hengeres felületek, melynek mérése hagyományos eszközökkel mérhető. A tengely befoglaló méretei ($l=1015,5mm$) miatt a munkadarab mérése a rendelkezésre álló mérőgépen nem valósítható meg és tömege ($m=60kg$) miatt a mozgatása is körülményes a mérési műveletekhez. További mérési nehézséget okoznak a kovácsolt előgyártmányon található szabadformájú felületek, lekerekítési ívek és átmenetek, melyek mérése időigényes. Az ehhez hasonló eseteknél előnyösen alkalmazhatók a 3D szkennelési eljárások a munkadarab méreteinek felvételéhez. A szivattyú műszaki rajzdokumentációja hiányzik, emiatt javításkor, felújításkor vagy cserealkatrész gyártásakor szükséges egy 2D-s műszaki rajzdokumentáció, ami alapján az alkatrész gyártáshoz (pl. forgácsolás) szükséges méretei, tűrései, illesztései leolvashatók. Az 5. ábra a főtengely műszaki rajzdokumentációjának előállításához szükséges főbb lépéseket szemlélteti. A visszamodellezés során lehetőség nyílt a felújított tengely méreteinek ellenőrzésére is (a meghibásodás oka a tengely meghajlása volt, amit egyengetéssel és az illesztett felületek felszabályozásával javítottak).



5. ábra. Öthengeres dugattyús szivattyú főtengelyének konvergens visszamodellezése

A mérések alapján megállapítható volt, hogy a tengely tömegközéppontja és inercia tengelyei eltérnek az ideális állapottól, így ezen tulajdonságokat utólag szerelt póttömegekkel beállítják.

4. Összefoglalás

Jelen cikkben röviden áttekintésre kerültek a számítógépes geometriai modellezésben elterjedt különböző geometriai objektumok. A reverse engineering alkalmazások térnyerésének következtében bevezetett legújabb konvergens modellezési technológia lehetőségei gyakorlati alkalmazásokon keresztül kerültek bemutatásra.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Farin, G., Hoschek, J., Myung-Soo, K.: *Handbook of computer aided geometric design*, Amsterdam, Elsevier, 2002, ISBN 0-444-51104-0
- [2] Hirz, M., Dietrich, W., Gferrer, A., Lang, J.: *Integrated computer-aided design in automotive development*. Heidelberg, Springer, 2013, ISBN 978-3-642-11939-2
- [3] Stroud, I., Nagy, H.: *Solid Modelling and CAD Systems*, London Springer, 2011, ISBN 978-0-85729-258-2 <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-259-9>
- [4] Stroud, I.: *Boundary Representation Modelling Techniques*, London, Springer, 2006, ISBN 978-1-84628-312-3
- [5] Csáki, T., Lajtós, J., Makó, I., Szilágyi, A.: *Reverse engineering alkalmazási lehetőségei*, GÉP LXIII, 2012(3), ISSN 0016-8572