

# REVERSE ENGINEERING MÓDSZERREL ELŐÁLLÍTOTT FELÜLETEK MINŐSÉGE

**Dr. Kodácsy János**  
tanszékvezető, főiskolai tanár

**Pintér Zsuzsanna**  
főiskolai adjunktus

**Pokriva Péter**  
tanszéki mérnök

*Kecskeméti Főiskola GAMF Kar  
Gépgyártástechnológia Tanszék*

## 1. BEVEZETÉS

A háromdimenziós világunkban rengeteg bonyolult alakú tárgy fordul elő, melyek CAD modellezésére két alakleíró módszer terjedt el: az analitikus és a szintetikus. Az analitikus módszer hátránya, hogy nagyon ritkán ad elfogadható, pontos megoldást a valóságos alakzatok megjelenítésére, mert a rendelkezésre álló analitikus elemek módosítása, korrigálása rendkívül nehézkes. A szintetikus módszer sokkal eredményesebben használható, mert ez a tervezési folyamat támogatását helyezi középpontba, így az alakmódosítások – a valóságos alakzathoz való igazítás – egyszerűen végrehajthatók.

Néhány mérnök és matematikus fejében a problémák már a 70-es években felvetődtek, de minden szempontot kielégítő, elfogadható megoldás akkoriban még nem született. Napjainkban kezd rohamosan meghonosodni hazánkban is az ún. Reverse Engineering (RE) irányzat, amely a kor számítógéppel támogatott lehetőségeinek eredménye képen a korábban felvetődött kérdéseket is képes megfelelően kezelni. A Reverse Engineering szókapcsolat helyes fordításban a „fordított mérnöki tevékenység”-et jelent. Ezalatt azt a mérnöki folyamatot értjük, amelynek során egy fizikailag már létező tárgy (alkatrész, szobor, stb.) számítógépes CAD-geometriáját alkotjuk meg, és ezt követően egy CAM szoftverrel CNC szerszámgépen reprodukáljuk azt. Alkalmazásának szükségességét az indokolja, hogy az analitikus (henger, kúp, gömb, stb.) felületekkel le nem írható alakzatok geometriájának definiálása rendkívül fontos, egyre többször előforduló feladat. Az RE iparban való gyors megjelenését az is indokolta, hogy a régi, számítógépes adatok nélküli tervek gyakran elkallódtak vagy éppen egy kézzel formázott mesterminta reprodukálására volt szükség. Másik szempont, hogy a komplex, szoborszerű alakzatok – például egy számítógép beviteli eszközeként használt „egér” - geometriájának meghatározása, lemérése tradicionális mérőműszerekkel (tolómérő, mikrométer, stb.) nem valósítható meg. Az RE ezekre megoldást ad, de segít az elhasználandó szerszámok javításában, és segíti a gyors prototípuskészítést (Rapid Prototyping, RP) is.

## 2. A REVERSE ENGINEERING FOLYAMATA

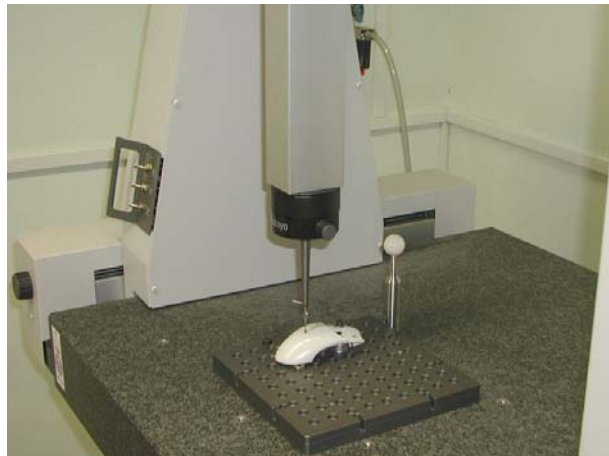
**Az RE folyamat a következő lépésekre tagolható**

- a pontfelhő létrehozása, szkennelés
- burkolás
- a megmunkálási stratégia kiválasztása, szerszám-pálya-generálás

- a szerszámhálya szimulációja
- CNC megmunkálás.

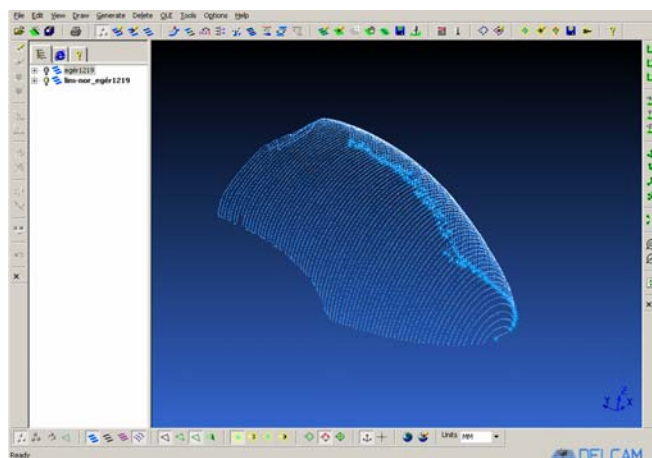
### 2.1. A SZKENNELÉS

A szkennelés (vagy sorozatos digitalizálás) alatt ismeretlen síkbeli, 2D-s illetve térbeli, 3D-s alakzatok felületi pontjainak letapogatását értjük. A Kecskeméti Főiskola GAMF Karának Gépgyártástechnológia Tanszékén egy EURO-M544 típusú háromkoordinátás mérőgéppel, merev tapintóval ( $D = 2,6 \text{ mm}$ ) vettük fel a pontfelhőt egy „egér” hátsó felületéről (1.ábra). A mérőgép összeköttetésben állt a COSMOS 2.0.R Edi.3 programot tartalmazó adatfeldolgozó és kiértékelő PC-vel.



1. ábra  
Szkennelés háromkoordinátás mérőgéppel

A továbbiakban a szkennelt pontokra illesztett háromszögmodell illetve felületmodell létrehozására került sor. A szkennelés után kapott digitalizált pontok sorozatát összefűzve, majd szöveges fájl formátumba (\*.txt) elmentve kaptuk a feldolgozandó pontfelhőt.

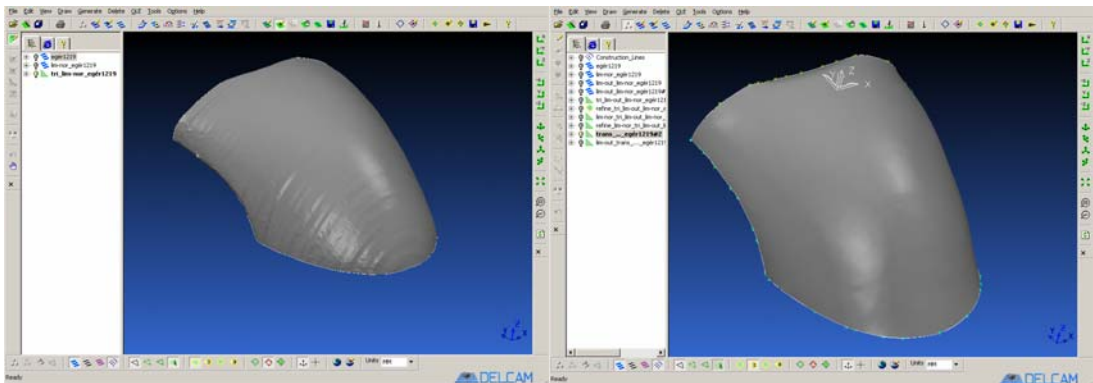


2. ábra  
A mérőgéppel felvett pontfelhő (point cloud)

A pontfelhőt a DELCAM cég CopyCAD szoftverébe importálva (2. ábra) lehetőség nyílt a „scanline”-ok (a szkenneléskor kapott görbék) kitisztítására, vagyis az esetleges durva mérési hibák korrigálására, majd a pontokra illesztett háromszögmodell illetve felületmodell létrehozására [2].

## 2.2. BURKOLÁS HÁROMSZÖGEKKEL – A HÁROMSZÖGMODELLEL

A 3. ábra a pontfelhőre illesztett háromszögmodell árnyékolt megjelenítését mutatja. A pontfelhőre megadott tőrésel illeszkedő háromszögek nem mindig adnak tökéletes eredményt, ezért gyakran szükséges utólagosan a „háromszög szerkesztése opcióval” illetve a finomítás (refine) paranccsal módosítani a modellt.



3. ábra

A pontfelhőre illesztett durva és finomított háromszögmodell árnyékolt megjelenítésben

A „refine” opció segítségével növelhető a pontfelhőre feszített háromszögek száma. Erre azért lehet szükség, hogy javítsuk a felület folytonosságát. Jól látható a 3. ábra bal oldalán, hogy a 6828 mérési pont ellenére is meglehetősen egyenetlen, hepehupás felületet kapunk, tanácsos tehát a modellt a „refine” opcióval – a meglévő háromszögeket négy részre bontva – finomítani, esetleg többször is (3. ábra jobb oldala).

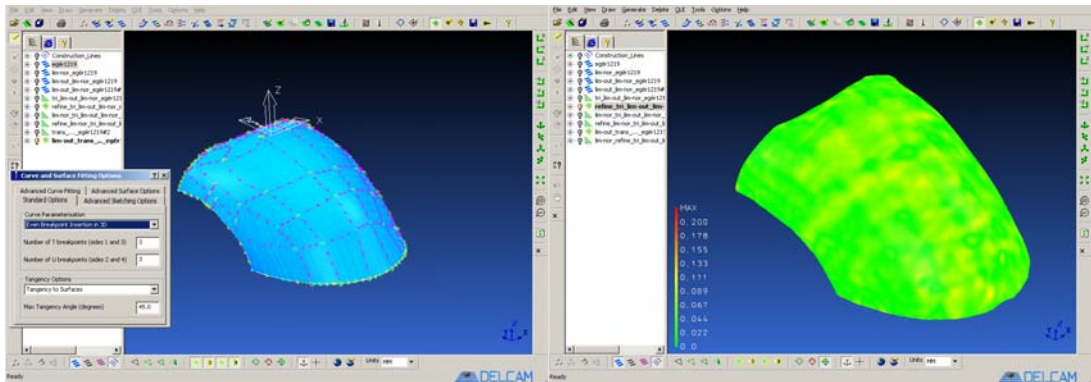
Fontos teendő még a gyártási technológia megtervezését megelőzően a munkadarab-nullpont felvétele, a megmunkálás számára kedvező pozícióba. A CNC programban szereplő értékek ettől a bázisponttól íródnak.

## 2.3. BURKOLÁS ANALITIKUS FELÜLETEKKEL – A FELÜLETMODELLEL

A háromszögekkel való burkolás mellett lehetőség van a pontfelhőre analitikus felületegységeket is illeszteni (4. ábra bal oldala). Az egyes felületelemek illesztésekor figyelembe kell venni a modell görbültségét, mert – az adott tőrést tartva – csak a közel azonos görbültségű területekre lehet megfelelő felületelemeket hozzárendelni.

A felületgenerálást meg kell előznie az ún. konstrukciós görbe szerkesztésnek, ugyanis az alakzat kontúrjának görbületét úgy szeretnénk lekövetni, hogy a felületelemeket pontosan tudjuk elhelyezni a modellünkre. Azonban ez sem

mindig elegendő. Előfordul, hogy külön ponto(ka)t kell beszúrni a görbület megfelelő lekövetéséhez. Ha felületelemek csatlakozásánál meg nem engedhető módon és mértékben élek alakulnak ki, mód van az egyes felületdarabok módosítására, újra képzésére. Erre a hibaanalízis nyújt segítséget, ami mutatja, hogy a felületdarabok a szkennelt pontokra milyen tűréssel illeszkednek. Ezt szemlélteti a 4. ábra jobb oldala, ahol az eltérésekhez színek vannak hozzárendelve. A színes ábrán jól látható, hogy esetünkben a legnagyobb eltérés is az előírt  $T = 0.1$  mm tűrés alatt van!



4. ábra

A felületmodell árnyékolt megjelenítésben, a hibaanalízissel

#### 2.4. A SZERSZÁMPÁLYA GENERÁLÁSA

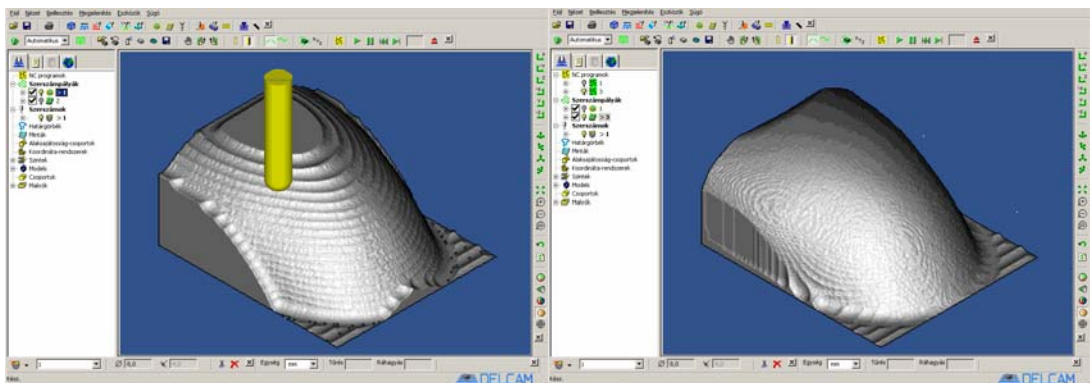
A felületmodellek a továbbiakban felhasználhatók más CAD- modellek kiegészítésére, de CNC szerszámgépeken lehetőség van a felületek legyártására is. A DELCAM cég PowerMILL szoftverébe beolvasott háromszögmodell vagy felületmodell legyártását az előgyártmány választásával kezdjük [3]. Ez után nyílik lehetőség a szerszámpanya megtervezésére, azaz CNC program automatikus generálására. Először egy nagyoló, majd egy simító szerszámpanya készítésére kerül sor. A nagyoláshoz egy  $d=4$  mm átmérőjű, gömbvégű marót használtunk.

A nagyolási műveletben a háromszögmodellhez és a felületmodellhez egyaránt a „raszter” stratégiát alkalmaztuk. A technológiai paraméterek a következők voltak: fordulatszám –  $n = 3000$  1/min, fogásmélység –  $a = 2$  mm, fogankénti előtolás –  $f_{z1} = 0.16$  mm/min, fogásszélesség –  $b = 3$  mm, ráhagyás a nagyolás után –  $R = 1$  mm, az előírt megmunkálási tűrés –  $T = 0.5$  mm. A nagyolás gépi ideje a felületmodellre:  $t_{gf} = 25$  perc 30 másodperc, a háromszögmodellre:  $t_{gf} = 24$  perc 42 másodperc. A simításhoz szintén  $d = 4$  mm átmérőjű gömbvégű marót alkalmaztuk. A simításra is a „raszter” megmunkálási stratégia tűnt a legjobbnak, ezért itt is ezt használtuk, mindkét modell megmunkálására. A technológiai paraméterek a következők voltak: fordulatszám –  $n = 3000$  1/min, fogankénti előtolás –  $f_{z1} = 0.08$  mm/min, fogásszélesség –  $b = 0.1$  mm, tűrés –  $T = 0.1$  mm. A simítás gépi ideje a felületmodell megmunkálásakor  $t_{gf} = 2$  óra 51perc 10 másodpercre, a háromszögmodellnél a  $t_{gf} = 2$  óra 54 perc 24 másodpercre adódott.

A KF GAMF Kar Gépgyártástechnológia Tanszék Szerszámgép Laboratóriumában rendelkezésre álló TOMILL 160 típusú számjegyvezérlésű CNC marógép NCT 2000M vezérlőjére [4] történt a posztprocesszálás. A megmunkálás során speciális, környezetkímélő kenési technikát, ún. minimálkenést alkalmaztunk!

### 2.5. A SZERSZÁMPÁLYA SZIMULÁCIÓJA

A helyes technológia illetve a megmunkáláskor fellépő esetleges hibák kiküszöbölése érdekében célszerű előbb letesztelni a szerszámpályát, és csak azt követően gyártani. A szimulációban a háromszögmodell illetve a felületmodell szerszámpályáinak lefuttatásakor nem észleltünk különbséget, ezért a nagyolásra és a simításra csak egy szimulációs ábrát közlünk (5. ábra).



5. ábra  
A nagyoló és a simító szerszámpálya szimulációja

### 2.5. A CNC MEGMUNKÁLÁS

A megmunkálás szimulációja és az azt követő korrekciók után megtörtént a digitalizált alkatrészfelület legyártása CNC marógépen, felére kicsinyített kivitelben (6 ábra).



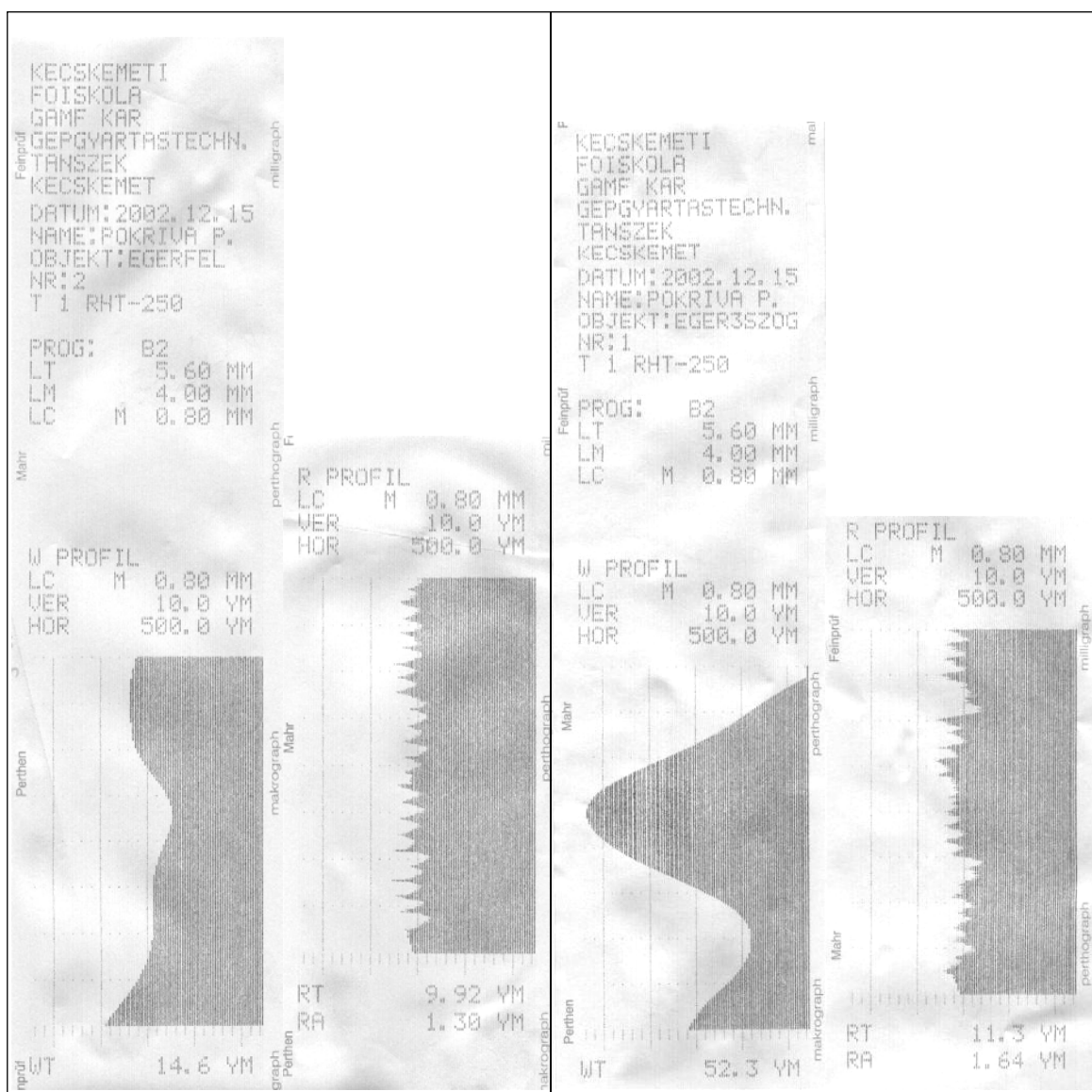
6. ábra  
A legyártott háromszögmodell (elől) és a felületmodell (hátsó) a CNC marógépen



### 3. EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A két felületillesztési módszer szerinti megmunkálás – ugyanazon stratégia és technológiai paraméterek mellett – a gépi főidőre lényeges különbséget nem adott. Nagyoláskor a háromszögmodell megmunkálási ideje csak kevesebb, mint egy perccel rövidebb, simításkor pedig három perc a különbség, ami csupán pár százalék eltérést jelent.

A megmunkálás után kapott felületek minőségét hullámosság- és érdességméréssel ellenőriztük. A méréseket egy PERTHOMETER S6P típusú laboratóriumi érdességmérőn végeztük, és nyomtatással dokumentáltuk (7. és 8. ábra). A tapintási úthossz  $LT = 5.6 \text{ mm}$  volt.



7. ábra

A felületmodell mérési eredményei

8. ábra

A háromszögmodell mérési eredményei

A háromszögmodell – szerkezete miatt – „szögletesebb”, míg a felületmodell folytonosabb felületet eredményezett. Ezt támasztják alá a két kiválasztott ábrán (7. és 8. ábra) közölt adatok is. A felületmodell használatakor kisebb felületi érdesség mérőszámokat kaptunk: a megmunkált felület átlagos felületi érdessége  $R_a = 1.3\mu\text{m}$ , a legnagyobb érdességmélység  $R_t = 9.92\ \mu\text{m}$ . A háromszögmodellre ugyanezek az adatok:  $R_a = 1.64\mu\text{m}$ ,  $R_t = 11.3\mu\text{m}$ . A felületmodell alkalmazásakor a maximális hullámmélység értéke a  $W_t = 14.6\ \mu\text{m}$ , míg a háromszögmodellnél  $W_t = 52.3\ \mu\text{m}$ .

Levonható tehát a következtetés, hogy harmonikus felületek – mint amilyen a kísérletünk tárgyát képező „egér” hátsó felülete is – RE módszerrel való reprodukáláskor a felületmodell alkalmazása célszerűbb. Ez eredményez nagyobb pontosságot, az eredetit jobban közelítő felületstruktúrát.

## IRODALOM

- [1] William M. Newman – Robert F. Sproull: **Interaktív számítógépes grafika** 1979 /Magyar kiadás:1985/
- [2] Delcam Hungary Kft.: **CopyCAD kézikönyv** 2000
- [3] Delcam Hungary Kft.: **PowerMILL kézikönyv** 2000
- [4] NCT Kft.: **NCT 2000 M vezérlés leírása**