



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

# **„REVERSE ENGINEERING” ALKALMAZÁSA AZ NC TECHNOLÓGIA TERVEZÉSÉBEN**

Ph.D. értekezés tézisei

**FRIEDRICH ATTILA**

Témavezető: Dr. Mátyási Gyula

## A kutatás tudományos eredményei

### 1.

Megvizsgáltam a mérnöki rekonstrukciós folyamatokra vonatkozó, a szakirodalomban található eljárásokat illetve modelleket. Ezeket összevetve speciálisan az egyszerű gépészeti objektumok rekonstrukciójával szemben támasztott követelményeimmel, megvizsgáltam e modellek az említett speciális területen való érvényességét, alkalmazhatóságát és hatékonyságát. Megállapítottam, hogy a vizsgált modellek strukturális felépítése nem teszi lehetővé az egyes részfolyamatok közötti kétirányú információáramlást, továbbá a kimeneti geometriai modell felépítése a megfogalmazott kritériumrendszer alapján nem megfelelő. Így az alaksajátosságok gyors és egyszerű alkalmazhatósága korlátozott.

**1. tézis.** *Olyan folyamatmodellt dolgoztam ki az egyszerű gépészeti objektumok gyors és egyszerű, megmunkálási technológia-centrikus rekonstrukciójára, amely az irodalomban található modellekhez képest figyelembe veszi az alkalmazás-specifikus jellegzetességeket, és az egyes részfolyamatokat komplex rendszerbe integrálva megmunkálási alaksajátosságok rekonstrukciójával állítom elő strukturált geometriai modellt. A kidolgozott folyamatmodellem*

- 1.1 *újyszerű előfeldolgozási folyamat révén képi információk alapján adatokat gyűjt az ismeretlen objektumról, megteremtve ezzel a további részfolyamatok tiszta, világos bemeneti és kimeneti paramétereit. Ezzel az egyes részfolyamatokat külön-külön tervezhetővé tettem, amelyet a folyamaton belül alkalmazott visszacsatolással értem el;*
- 1.2 *a folyamat iterativitása révén lehetővé tettem az egyes részfolyamatok önszervezését, megmunkálási szempontrendszer alapján történő rendszerszintű beavatkozásait;*
- 1.3 *az MRSEV (Material Remove Shape Element Volumes) alaksajátosság osztályok direkt rekonstrukciójához, annak általános eseteire definiáltam a mérési folyamat részfolyamatait, azok pontos geometriai, illetve mérési mozgáspálya-rekonstrukciós algoritmusait; továbbá*
- 1.4 *a kimeneti modellen kifejezésre juttattam azon fontos jellegzetességeket, amelyek adott szinten kielégítik a NC technológia tervezéséhez szükséges alapinformációkat (művelettervezés, műveletelem-tervezés).*

Az 1. tézis az értekezés 2-3-4 fejezetein, és a [3], [6], [7], [9], [11] és [15] publikációkon alapul.

## 2.

---

Megállapítottam, hogy a klasszikus rekonstrukciós módszer által generált strukturálatlan geometriai modell önmagában nem hordoz többletinformációkat arra vonatkozólag, hogy a totális rekonstrukciót hatékonyan meg tudjam valósítani. A kimeneti modell nem támogatja az utólagos modellszintű geometriai szerkeszthetőséget, továbbá nehezen paraméterezhető. Célszerű tehát a kimeneti modellt a rekonstrukció végső fázisában adott szempontrendszer alapján további vizsgálatoknak alávetni.

**2. tézis.** *Olyan strukturált, parametrikus, alaksajátosság-alapú integrált geometriai-technológiai modellt alkottam, amely kielégíti a korszerű CAD tervező rendszerekkel szemben támasztott szigorú követelményeket. A modellt egzaktul definiált megmunkálási alaksajátosságok alkotják. A rekonstruált modell struktúráját az alaptest, mint előgyártmány modellje, és az egyes megmunkálási alaksajátosságok modelljei alkotják. Ezzel biztosítottam azt, hogy az utólagos módosításokat csak az alaksajátosság modelljén szükséges végrehajtani, amely önmagában is paraméteres formában áll rendelkezésre, vagyis nem szükséges a teljes, az esetek többségében igen összetett modellt a CAD rendszeren belül kezelni és feldolgozni.*

- 2.1. *A rekonstrukció során nem egy általános geometriai modellt hoztam létre, hanem egy olyan alaksajátosság-halmaz rekonstruálására fókuszáltam, amely direkt módon támogatja az NC technológia tervezését. Ha a rekonstrukció során nem egyszerűen felületeket rekonstruáltam, hanem komplett megmunkálási alaksajátosságokat, akkor annak geometriai paraméterein túl további technológiai információk birtokába is jutottam. Megteremtve az egyes alaksajátosságok közötti hierarchikus kapcsolatokat, közvetlenül meg tudtam határozni a rekonstruált megmunkálási alaksajátosság eltávolításához szükséges maximális szerszámméreteket és a szerszám egzakt mozgáspályáját.*
- 2.2. *A rekonstruált felületszegmenseket adott megmunkálási ráhagyási alakzatnak feleltettem meg, amely rögzíti a megmunkálási technológiát, a szerszámgéppel szemben támasztott követelményeket, és egyben fontos információt szolgáltat a művelettervezés és a műveletelem-tervezés szintjein egyaránt. Pontosan definiáltam az egyes alaksajátosságok közötti hierarchikus kapcsolatot, továbbá azok előzési feltételeit, amely révén olyan további, a technológia szemszögéből értékes információhoz jutottam, mint szerszám engedélyezett túlfutási zónái, és kezdőpozíciók.*
- 2.3. *Egy keretrendszer kifejlesztésével igazoltam, hogy a rekonstrukció eredményképpen kapott modell struktúrája kihatással van a gyártási folyamat tervezésére (idő, költség), robusztus módon történő tervezhetőségére. Nem mindegy ugyanis, hogy a megmunkálás tervezése során az objektum komplex modellje révén kell az egyes műveleteket, illetve műveletelemeket szubjektív módon megtervezni, vagy már közvetlen a pontos leválasztási alakzatok állnak rendelkezésre. A rekonstruált megmunkálási alaksajátosságaim geometriája az az objektum térrész, amelyet szerszámban belülről kell sűrolni ahhoz, hogy az objektum technológiailag korrekt módon kerüljön legyártásra (szerszámtúlfutások, szigetek, stb.).*

A 2. tézis az értekezés 5. fejezetén, és a [4], [8], [9], [10], [13] és [14] publikációkon alapul.

### 3.

---

Megvizsgáltam a klasszikus módszer kínálta lehetőségeket a modell torzulásainak, un. degenerációinak kezelésére. Megállapítottam, hogy a geometriai modell szintjén a torzulások kiküszöbölése a matematikai programozási modell alkalmazásával még egyszerű objektumok esetében is igen hamar túlzottan bonyolulttá és szerteágazóvá vált. Alaksajátosságok megléte esetén a feladat sokkal áttekinthetőbb, ha a megoldást adott szempontrendszer alapján megfogalmazott, diszkrét relációk alapján keressük.

**3. tézis.** *Diszkrét szabályokra felépített feltételrendszerrel az egyszerű relációkezelő és észlelő algoritmusokat megmunkálási alaksajátosságokkal leképezhető, összetett objektumok esetén is alkalmassá tettem arra, hogy a rekonstrukció során megjelent torzulások kezelését hatékonyan elősegítsék. Technológiai megfontolások alapján igazoltam, hogy az ezek alapján elvégzett vizsgálatok eredményeképpen létrejött kimeneti modell (geometriai-technológiai modell) jótékony hatással van a megmunkálási technológia megítélésére, illetve a teljes NC technológia tervezésére egyaránt. A diszkrét szabályok alkalmazása során egy alternatív megközelítést fogalmaztam meg, amelyben a programozási folyamatot tűréstechnikai és technológiai szempontok sorozatával definiáltam*

- 3.1. *A torzuláskezelés problémájának megoldására két lépésben történő javító algoritmust dolgoztam ki, amely első szinten csak a rekonstruált megmunkálási alaksajátosságokat elemzi (lokális torzuláskezelés). Mivel az alaksajátosságokat az előzőek alapján paraméteres formában tároltam, így a módosítások magukon a paramétereken, mint változókon kell érvényesítenni. A torzuláskezelés második szintjén az alaksajátosság-halmazt globálisan vizsgáltam.*
- 3.2. *Tűréstechnikai attribútumok meghatározásával (párhuzamosság, merőlegesség, stb.) pontosabban megválasztható a technológia, a szerszámgép feltételrendszere, és a megmunkáló szerszám is.*
- 3.3. *Végeredményként a rekonstruált objektum egy olyan dinamikus gráf struktúráját definiáltam, amely felhasználja a tűréstechnikai attribútumokkal kiegészített megmunkálási alaksajátosságokat, és rögzíti a közöttük detektált kényszereket.*

A 3. tézis az értekezés 6. fejezetén, és a [10], [12], és [15] publikációkon alapul.

#### 4.

---

**4. tézis.** *A fenti tézisekben bemutatott módszer alkalmazásával és alkalmazhatóságának bemutatásához kidolgoztam annak prototípus alkalmazását. A rendszer bementét az objektumról készített digitális képek halmaza jelenti, kimenetét pedig részben a rekonstruált megmunkálási alaksajátosságok geometriai-technológiai modellje, részben pedig a technológia számára fontos további információk adják. A geometriai modell tárolására nem az egyszerű szerkezetet jelentő IGES vagy VDFAFS interfész formátumokat választottam - hiszen azok nem képesek alaksajátosságok tárolására – hanem az OLE (COM) interfészen keresztül natív formátumokat alkalmaztam, beleértve a közkedvelt STEP interfész formátumot is. A szoftver főbb ismérvei:*

- *a digitális képfeldolgozási adatok alapján a program automatikusan generálja a méréshez szükséges alsó határfelületi mérőpontokat és a mérőtapintó mozgáspályáját, majd előállítja az egyes megmunkálási alaksajátosságok durva vázát. Ezek ismeretében számítani képes a profilgörbe kontúrponyjainak helyzetét és azok méréséhez szükséges mérőtapintó mozgáspályákat;*
- *a fenti információk ismeretében generálja a megmunkálási alaksajátosság méréssel meghatározott modelljét, majd a torzulások kezelésével definiálja a profilgörbék lokális és globális kötöttségeit;*
- *az alaksajátosságok hierarchikus rendszerének és előzési feltételeinek ismeretében meghatározza a maximális szerszámtérőt, majd korrigálja azt az illesztett szerszámadatbázis alapján, majd háromtengelyes megmunkálás esetére meghatározza a megmunkáló szerszám elemi mozgáspályáit;*
- *lehetőséget biztosít a modell jóságának automatikus ellenőrzésére; továbbá*
- *a további elemzések (pl. végelelemes analízis) támogatása céljából definiálja az objektum modelljének nem csak a megmunkálási alaksajátosságokra épített, áttekinthető modelljét, hanem annak B-rep reprezentációját is.*

A 4. tézis az értekezés 7. fejezetén, és a [9], és [11] publikációkon alapul.

## Az értekezés témájában megjelent tudományos publikációk

- [1] Dr. Zatykó Sándorné, Friedrich Attila, Krikler Róbert: **Szabadformájú felületek rekonstrukciója, ellenőrzése**, *microCAD '99 International Computer Science Conference*
- [2] Dr. Mátyási Gyula, Friedrich Attila: **Újfelvű mérési és megmunkálási stratégiák a „Reverse Engineering” alkalmazásakor**, *microCAD '2000 International Computer Science Conference*
- [3] Dipl.Ing A. Friedrich: **Reverse engineering mit Anwendung des symbolischen Modells**, *Forschungsergebnisbericht TU-Dresden, 2001. pp. 11-17*
- [4] Dr. Mátyási Gyula, Friedrich Attila: **Felületszegmentálás módszere modell-rekonstrukció esetén**, *GTE Gépgyártástechnológia A Gépipari Tudományos Egyesület műszaki folyóirata (2001. október)*
- [5] Dr.Ing. Schöne, Dipl.Ing. Friedrich: **Anwendung der Flächensegmentierung bei der Modellrekonstruktion**, *Werkstatstechnik online Springer, 2002. Március*
- [6] Dr. Mátyási Gyula, Friedrich Attila: **Pontsorozattal definiált 2D-s kontúrok approximációjának vizsgálata**, *GTE Gépgyártástechnológia A Gépipari Tudományos Egyesület műszaki folyóirata (2002)*
- [7] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Interactive reconstruction of geometric models based on a set of discrete measured points**, *Third Conference on Mechanical Engineering 30-31 May, 2002 Volume 2 pp 530-534*
- [8] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Problems of the full-reconstruction of simple geometrical elements**, *microCAD '2003 International Computer Science Conference 6-7 March 2003, Section M: Production Engineering, Manufacturing Systems pp.167-172.*
- [9] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Pre-defined geometrical model of reverse engineering in case of simple mechanical parts**, *7th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems 6-8 April, 2003 pp. 67-72*
- [10] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Post-processor generator for creating parametric cad models by using reverse engineering method**, *4th International Conference of PHD Students 11-17 August, 2003, Section: Engineering Sciences II pp 165-170*
- [11] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Creating parametric structured model by using reverse engineering method**, *Fourth Conference on Mechanical Engineering 27-28 May, 2004 Volume 2 pp 638-642*
- [12] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Controlling of model-degeneration on local and global levels in reverse engineering concept**, *5th International Conference of PHD Students 14-20 August, 2005, Section: Engineering Sciences I pp 55-60*
- [13] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Manufacturing Feature Extraction for Reverse Engineering**, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering Series, Budapest (elfogadva: 2006. március)*
- [14] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Non-classical Reverse Engineering Concept Based On Machining Feature Recognition**, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering Series, Budapest (elfogadva: 2006. január)*
- [15] A. Friedrich, Gy. Mátyási: **Integrated feedback measuring sequence for machining feature reconstruction**, *Fifth Conference on Mechanical Engineering, Budapest May 2006 (elfogadva: 2006. február, megjelenik 2006. május)*