

# REVERSE ENGINEERING MÓDSZER ALKALMAZÁSA CSIGAHAJTÓPÁROK MODELLEZÉSÉRE

## ANWENDUNG DER METHODE VON REVERSE ENGINEERING ZUR MODELLIERUNG VON SCHNECKENRADSÄTZEN

*Bozzay Melinda, PhD hallgató,  
Dr. Horák Péter, egyetemi docens*

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék*

### KURZFASSUNG

Der Aufsatz beschäftigt sich mit der Anwendung von Reverse Engineering zur Modellierung von Schneckenradsätzen. Die exakte Modellierung von Verzahnungen spielt bei der Untersuchung der Berührungsverhältnisse und der Genauigkeit eine wichtige Rolle. Die Generierung der Verzahnung des Schneckenrades stößt mit den herkömmlichen CAD Software auf erhebliche Schwierigkeiten. Durch die Anwendung von Reverse Engineering wurden die CAD Modelle der Zahnflanken zur weiteren Untersuchungen ausgehend vom gefertigten Schneckenradsatz hergestellt.

### 1. BEVEZETÉS

A mérnöki tevékenységek során egyre gyakrabban igény, hogy meglévő, térbeli fizikai objektumokat reprodukáljunk, elkészítsük annak modelljét, majd változatlan formában, vagy a szükséges változtatások átvezetésével reprodukáljuk azt. Ezen folyamatot összefoglaló angol néven Reverse Engineering (RE)-nek hívják. Az elmúlt évtizedekben a RE szoftverek jelentős fejlődésen mentek át, így ezen eljárások a fejlettebb iparral rendelkező országokban már széles körben elterjedtek, hazánkban az utóbbi néhány évben jelentek meg. A Reverse Engineering-nek egy lehetséges alkalmazási területe a legyártott alkatrészek pontosságának vizsgálata, illetve a gyártásgeometriailag definiálható, de a 3D-s testmodellező rendszerekkel mégis nehezen előállítható felületek létrehozása. Ilyen felületekkel rendelkezik számos térbeli fogazott hajtópár, így a csigahajtópárok is [4]. Jelen publikáció a Reverse Engineering módszer alkalmazását mutatja be ZK típusú csigahajtópárokra. A felületrekonstrukció egyik célja a legyártott csiga, illetve a csiga CAD modelljének összehasonlítása, a gyártási pontosság vizsgálata. Másik célkitűzése a csigakerék fog testmodellként való előállítása a legyár-

tott fogazat alapján. Utóbbinak a jelentősége abban rejlik, hogy a csigakerék fog testmodelljének CAD rendszerben való előállítására, tekintettel annak bonyolult gyártásgeometriájára, csak közelítő módszerekkel lehetséges és gyakran komoly nehézségekbe ütközik. Jóllehet a csigakerék egzakt testmodelljére is szükség van, ha a hajtópárok érintkezési viszonyait szeretnénk numerikus módszerrel modellezni, a fogazati merevség, illetve a kenésállapot meghatározására.

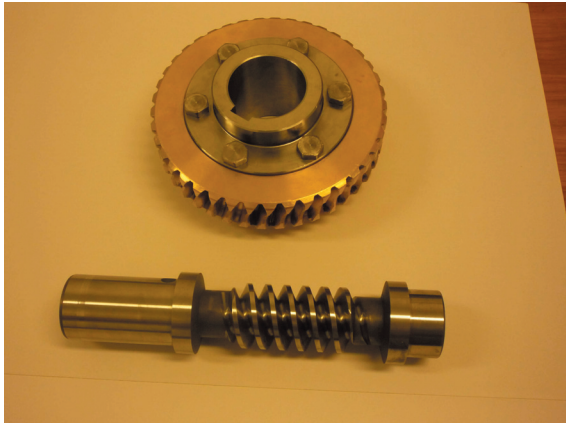
### 2. 3D FELÜLETDIGITALIZÁLÁS

Felületdigitalizálásnak nevezzük azt az eljárást, amikor egy ismeretlen geometriájú fizikai tárgy geometriáját számítógéppel kiértékelhető formában feldolgozzuk. Az elnevezés szakmailag nem teljesen korrekt, mert a szakirodalom a digitalizálás kifejezés alatt egy objektum felületének egy adott pontjának X, Y és Z koordinátájának meghatározását érti, ezek sorozata – a tényleges felületreprodukálás – pedig a szkennelés. A pontok térbeli elhelyezkedésének mérése (letapogatása) többféle módszerrel lehetséges, azonban a végeredmény minden esetben a mért térbeli pontok sokasága, az úgynevezett pontfelhő. A háromdimenziós geometriai adatnyerésnek két fő iránya alakult ki.

Az egyik változat a tapintókkal ellátott koordináta mérőgépek felhasználásával történik: a mérőgépek számítógép segítségével gyűjtik azoknak a térbeli pontoknak a koordinátáit, amelyeket a tapintó csúcsai meg tudnak érinteni. Az így nyert adatok az adott mérőgép típusától függően igen pontosak, az ezred milliméteres pontosságot is elérhetik.

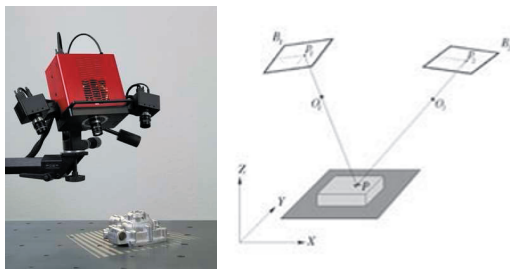
A másik jellegzetes adatnyerési lehetőség az, amikor a tapintócsúcs helyett egy lézeres berendezéssel, érintkezés nélkül gyűjtjük a 3D-s adatokat.

Az 1. ábrán látható csigahajtópár digitalizálása az R-Design Kft-nél, ATOS I. optikai szkennerral történt.



1. ábra. A vizsgálatok tárgyát képező ZK típusú csigahajtópár

Ez a szkennerek a háromszögelés elvén működik. A szenzor különböző fényintenzitású csík mintázatokat vetít a vizsgált tárgy felületére. Ezeket a mintázatokat két kamera rögzíti, ilyenkor a tárgyról visszaverődő, fáziseltolódásos szinuszos fényintenzitás változást érzékeli a CCD. Az ATOS műszer, heterodin fényinterferencia elv szerint, többszörös fáziseltolást alkalmaz a legnagyobb sub-pixel pontosság érdekében. A berendezés az optikai transzformációs egyenletek alapján, a kamerák minden pixeléhez automatikusan 3D koordinátákat számít ki.



2. ábra. Optikai felületdigitalizáló berendezés és a fotogrammetria elve

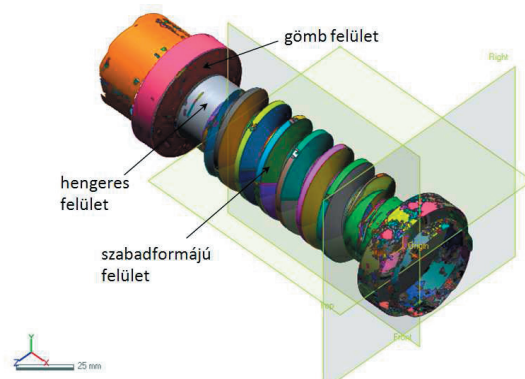
Annak érdekében, hogy a csiga teljes felületét digitalizáljuk, különböző nézetből több, egymástól független mérésre volt szükség. Az ATOS rendszer referenciapont felismerő technikát alkalmaz ahhoz, hogy a különböző nézetekből származó adatokat automatikusan egyítsse. Miközben beméri a tárgyat, egyidejűleg a rendszer automatikusan azonosítja a referenciapontokat, melyeket a mérés előtt a tárgyon az azt körülvevő geometrián vagy a felerősítésen kell elhelyezni. Valamennyi mérési eredmény a

referenciapontokat felhasználva egy közös, globális koordináta-rendszerben, automatikusan egyesítésre kerül. Kisebb tárgyak esetén ezeket a referenciapontokat az ATOS segítségével közvetlenül szkennelhetjük, nagy tárgyaknál ezt a TRITOP digitális fotogrammetriai rendszerrel végezhetjük.

Szkennelés után a berendezés szoftvere a tárgy felületét reprezentáló nagyfelbontású poligonhálót számol, kis háromszögeket helyezve a görbületekre és nagy háromszögeket a lapos részekre anélkül, hogy csökkenne a háló pontossága. Olyan alakzatok, mint furatok, furatkiosztások, hornyok, bevágások és élek a tárgyon, a képekből kontraszt alapján számíthatók és azonosíthatók. Ezt a geometria-információt a poligonhálóra vetítve nyerhetjük az alakzatra vonatkozó pontos koordinátákat és méreteket. A szoftver segítségével töröltük a felületre-konstrukció szempontjából érdektelen pontokat (például a geometrián kívül eső pontokat), valamint kitöltöttük a szkennelés során használt referenciapontok helyeit [1], [2].

### 3. VISSZAMODELLEZÉS

A csiga CAD-modelljét a RapidForm XOR2 szoftver segítségével hoztuk létre. A visszamodellezést előkészítve a csiga teljes felületén ún. felületi régiókat definiáltunk. A program automatikusan felismeri a különböző alakcsajátosságokat (például hengerfelületet, tóruszt, gömböt, kúp felületet, sík felületet, forgáskihúzást, szabadfelületet), és a geometriai tulajdonságok figyelembevételével régiókra osztja a teljes felületet. Az eredeti szkennelt felületen a szomszédos régiókat a program különböző színekkel jelöli.

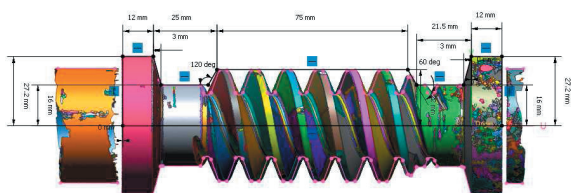


3. ábra. Koordináta-rendszer és a felületi régiók

A 3. ábrán látható elemek közül a mérnöki felületeket (henger, gömb, tórusz, kúp) automatikusan vagy vázaltsíkok definiálásával hozhatjuk

létre, azonban vannak olyan elemek, amelyeket csak vázratsíkok segítségével tudunk rekonstruálni. Ehhez egy általunk célszerűen választott vagy definiált koordináta-rendszerhez (3. ábra) kell igazítani a modellt, így könnyítve a visszatervezést.

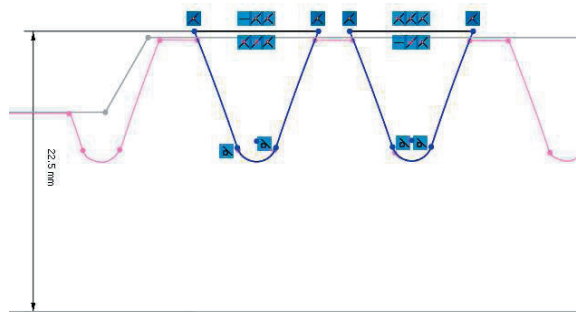
RE szoftverrel történő visszamodellezés során nem csak görbékre illesztett felületeket használhatunk, hanem a szoftver segít „felismerni” a modellek jellegzetességeit, alakosságait, és bizonyos részeket úgy készíthetünk el, hogy az egyes méreteket már mi határozzuk meg. Ezt a módszert hibrid modellezési eljárásnak nevezzük, ami kombinálja az alapszintű testmodellezést, a szabad felületek képzését és a görbék által meghatározott felületeket, valamint az automatikusan illesztett felületek képzését is. A csiga-modellt az elméleti méretek figyelembevételével parametrikusan modelleztük vissza. Kiinduló elemeként a csiga befoglaló térfogati elemét hoztuk létre, mely a 4. ábrán látható profil körbeforgatásával hozható létre.



4. ábra. Kiinduló profil felvétele

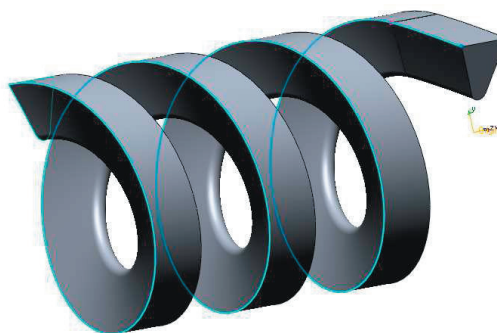
A profil felvétele során a szkennelt állomány pontjai segítségünkre van, ezek az adott vázratsíkon rózsaszín színnel jelöltek, az általunk létrehozott profil az ábrán fekete vonalakból álló vonalsorozat.

Az 5. ábrán látható csiga profilt automatikus vázlat felvétel segítségével hoztuk létre annak érdekében, hogy a pontosság a lehető legjobb legyen.



5. ábra. Csiga profil elkészítése automatikus vázlat felvétel segítségével

Majd ezt a vázlatot végigvezetve a meglévő, elméleti adatok alapján definiált „csavarvonalon” (6. ábra) és ezt a „söpört” testet kivonva a már meglévő körbeforgatott testből, megkaptuk a végleges csigamodellt (7. ábra).



6. ábra. A kivonandó söpört test

A visszamodellezés minden egyes szakaszában lehetőség van ellenőrizni a szkennelt állománytól való eltérést, mely színskálával szemléltethető. A skálán beállítható melyik szín mit jelöl, a 7. és 10. ábrákon a zöld szín a 0,2 mm-es eltérést mutatja, pirossal a pozitív, míg a kék színekkel negatív irányba térünk el a szkennelt állománytól. A szürke színek jelölik azokat a részeket, ahol hiányos volt a szkennelt állomány.

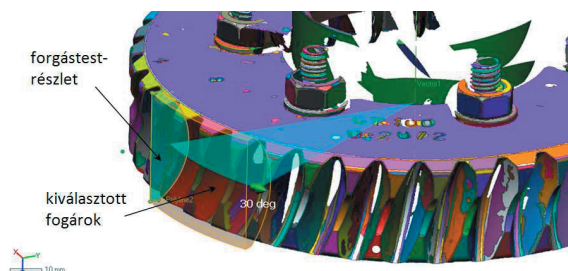


7. ábra. Eltérés szemléltetése a végleges csigamodellen

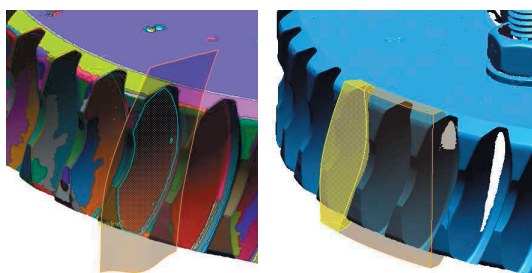
A csigakerék visszamodellezése a csigától annyiban tér el, hogy a csigakerék fog testmodelljének elkészítésekor hibrid modellezési technikát használtunk.

Első lépésben elkészítettük a csigakerék befoglaló elemét, majd ebből kivontuk a hibrid modellezési technikával készített darabot. Mivel a csigakeréknek csak egy része lett digitalizálva - szimmetriai okok miatt -, így kiválasztottunk egy olyan fogárkot, melynek felületei megfelelő minőségűek, nincs szakadás a háromszögelt modellen. A választott fogárkot magába foglaló forgástest részletet definiáltunk

(8. ábra), majd a fogárok két szomszédos fogfelületére definiált automatikus felületekkel eltávolítottuk a forgástest részlet külső részeit.

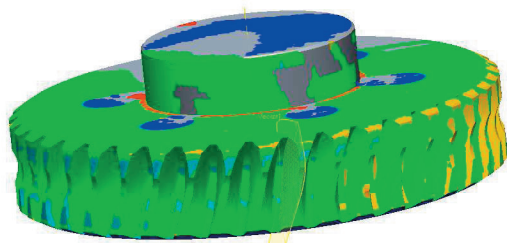


8. ábra. Forgástest-részlet definiálása



9. ábra. Automatikus felületillesztés és felesleges rész eltávolítás

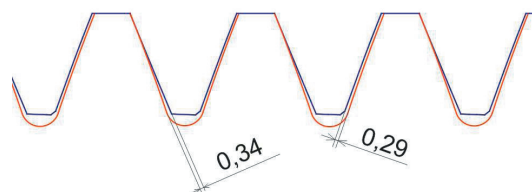
Ezt az elemet körbe kiosztottuk („pattern”), majd az így kapott elemeket kivonva a csigakereket magába foglaló testből kaptuk meg a csigakerék CAD-modelljét.



10. ábra. Eltérés szemléltetése a végleges csigakerék-modellen

#### 4. AZ ELMÉLETI ÉS VISSZAMODELLEZETT CSIGAMODELL ÖSSZEHOSONLÍTÁSA

Az összehasonlítás során az elméleti és a visszamodellezett CAD modell eltérését normálmetszetben vizsgáltuk. A 11. ábrán késsel az elméleti, pirossal a visszamodellezett metszet látható. A két modell összeillesztése úgy történt, hogy a két profil az egyik pontban illeszkedjen, ezzel megnézhetjük, mennyiben tér el a profil alakja, az ábrán látható, hogy egész jól közelíti a visszamodellezett az elméleti profilt, a legnagyobb eltérés 0,34 mm volt.



11. ábra. Eltérés az elméleti és visszamodellezett CAD modellek között

A viszonylag nagy eltérés egyik oka a mérés pontatlansága, ugyanakkor ez az eltérés azzal is magyarázható, hogy a CAD modell generálása során „ideális” szerszám geometriát vettünk figyelembe, amelyet azonban a valós csigák megmunkálása során a köszörűkorong kopása módosít is. Így a visszamodellezés lehetővé teszi, hogy a további vizsgálatokat a legyártott fogfelületet sokkal jobban közelítő modellel végezhessük.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A korszerű 3D-s felületdigitalizálás alkalmazásával a Reverse Engineering módszer alkalmas a bonyolult gyártásgeometriával rendelkező csigahajtópár (csiga-csigakerék) fogfelületek CAD modelljének előállítására. Az így előállított modellek egyrészt a gyártási pontosság ellenőrzésére, másrészt pedig a hajtópárok további numerikus vizsgálataira alkalmasak, melyeknek célja az érintkezési, valamint kenési viszonyok meghatározása.

#### 6. IRODALOM

- [1] GOM – ATOS Handbuch  
GOM, Braunschweig, 2005
- [2] www.r-design.hu
- [3] INUS Technology, INC: XOR Training; Training Material - Basic Course, March, 2007
- [4] Horák P., Magyar B.: Geometrical modelling and investigation of the contact relations of spatial gears. GÉPÉSZET 2008 CD kiadványa (ISBN 978-963-420-947-8) G-2008-A-12

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők szeretnék kifejezni köszönetüket R-Design Kft-nek a szkennelésért, Varinex Zrt-nek a RapidForm szoftver használatának lehetővé tételéért. A csigahajtópárok vizsgálatait és azok beszerzését és jelen publikáció megjelenését az OTKA K62875 sz. kutatási szerződés támogatta.