



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Gyártástudomány és -technológia tanszék

TDK DOLGOZAT

Reverse engineering folyamattal létrehozott modell pontosságának vizsgálata

Készítette:

Hodosán Zsolt

IV. évfolyamos hallgató

Nagy Renáta

III. évfolyamos hallgató

Konzulensek:

Gróbb Péter

egyetemi adjunktus, Gép- és Terméktervezés Tanszék

Gyurika István

tanszéki mérnök, Gyártástudomány és –technológia Tanszék

2011.

Tartalomjegyzék

1.Bevezető	4
2. Irodalomkutatás	6
2.1. Reverse Engineering	6
2.1.1 Reverse Engineering alkalmazási területei	6
2.1.2 Reverse Engineering az iparban.....	8
2.2 Felületmodellezés.....	9
2.2.1 Felületmodellezés folyamata.....	9
2.2.2 STL fájlok szerkezete és létrehozása	11
2.3 Digitalizációs eljárások	12
2.3.1 Kontakt szkennerek.....	13
2.3.2 Non-kontakt szkennerek.....	13
2.3.3 Optikai, pont alapú mérések.....	14
2.3.4 Digitalizációs eljárások összehasonlítása.....	15
3.Felhasznált gépek és berendezések	16
4. Modellezés	20
5. Gyártás számítógépes modell alapján	29
6. Legyártott modell mérése.....	36

7. Legyártott modell beszkenneleése és felépítése	51
8. Reverse Engineering-gel előállított modell gyártása és visszamérése	65
9. Összefoglalás.....	73
10. Továbbfejlesztési lehetőségek.....	73
11. Angol nyelvű összefoglaló (Summary).....	76
12. Irodalomjegyzék.....	77

1.Bevezető

A dolgozat témája a Reverse Engineering, vagyis „fordított mérnöki tevékenység” köré szerveződik. A Reverse Engineering alkalmazása annyira sokrétű, hogy az autóiipartól kezdve az egészségügyben és az élelmiszeriparban is egyaránt jelen van. De mi is az a Reverse Engineering pontosan?

Napjainkban különféle területeken találhatók meg azok a tárgyak, amelyek régebben készültek, de újra gyártani vagy éppen archiválni szeretnénk, viszont valamilyen okból kifolyólag nem elérhetőek a műszaki dokumentációk. Itt gondolhatunk például régészeti leletekre, amelyeket újra elérhetővé szeretnénk tenni, vagy jobban meg szeretnénk ismerni a geometriát és ebből következtetni az adott korra. Ezenfelül ide tartoznak a különböző orvosi implantátumok csoportja, hiszen ott is reprezentálni szeretnénk egy olyan geometriát, amely pontosan illeszkedik az egyedi paraméterekhez.

Akármelyik felhasználási területet is vesszük alapul a folyamat mindenhol megegyezik. Elsőként egy 3D szkennel segítségével letapogatjuk az objektum minden pontját, majd egy felületillesztő program segítségével újraépítjük a geometriát, a beszkenelt pontthalmazt alapul véve. Ezzel rengeteg időt spórolunk meg és az így kapott 3D-s modellt pedig gyárthatjuk is.

Jogosan vetődik fel a kérdés, hogy az így létrehozott, majd legyártott modell vajon mennyire méretpontosan reprezentálja az eredeti modellt? Nos, a dolgozatunk éppen erről szól. Első lépésként megalkottuk egy kocka alapú 3D-s modellt különböző geometriákkal bonyolítva, majd legyártottuk marógéppel. Ez a modell volt a „mérnöki visszafejtés” kezdeti tárgya, mivel egy olyan darab kellett, amelynek pontosan tudjuk a méreteit összehasonlításunknak megfelelő alapot biztosítva. Ezután a modellt 3D szkennelrel beszkeneltünk, megtisztítottuk a felesleges, nem odartartozó pontoktól, felépítettük a modellhálót, felületeket és síkokat illesztettünk rá, végül a felesleges részeket eltávolítottuk. A következőkben ugyanazon marógépen, ugyanazon gyártóprogrammal legyártottuk ezt a darabot is.

A TDK célja tulajdonképpen a mérésben bontakozik ki: az eredeti, illetve Reverse Engineering-gel létrehozott modellt koordináta mérőgép segítségével lemértük a jellemző geometriák mentén, majd következtetéseket vontunk le. Az Összefoglalás részben kiderül,

hogy érdemes-e alkalmaznunk ezt a technológiát precíziós alkatrészeknél, vagy sem, milyen pontosság érhető el az általunk használt gépekkel és esetleg mi változna-e az eredmény ha más berendezéseket használtunk volna, és ha igen mely pontokban.

2. Irodalomkutatás

A dolgozatban szereplő vizsgálat megkezdése előtt az első feladatunk a témához kapcsolódó irodalmak megismerése, feldolgozása volt. Az irodalomkutatás célja az, hogy adjon egy általános képet a Reverse Engineering-ről, annak folyamatáról és alkalmazási területeiről. Ez vonatkozik a RE folyamatában jelentős szerepet játszó 3D-s szkennerek bemutatására is, így átfogóbb képet kaphatunk a dolgozat további részében szereplő kutatás lényegéről.

2.1. Reverse Engineering

A fordított mérnöki tevékenység, angolul Reverse Engineering (RE) egy már létező tárgy konstrukciós szabályainak visszafejtése. Segítségével azonosíthatjuk azokat a szabályokat, amelyek mentén a tárgyat tervezték és elkészítették. A gyártóiparban ez általában a termék geometriájának, működési elvének és néha a gyártó alapanyagának rekonstruálását jelenti. A fordított mérnöki munka más területeken is ismert, például a számítástechnikában, ahol feladata a már létező programok elemzése a működés megértése vagy a forráskód helyreállítása érdekében. A hagyományos mérnöki tevékenységekkel ellentétben az RE kiindulási pontja a késztermék, amely gyakran minden konstrukció és technológiai dokumentáció, anyagspecifikáció nélkül áll rendelkezésre, és a fordított mérnöki tevékenység feladata ezen adatok kinyerése. Sok esetben az RE-t a hagyományos termékfejlesztési folyamat kiegészítéseképpen alkalmazzák, főleg olykor, amikor a tervezés innovatív jellege nem meghatározó, a tervezett termék pedig egy már létező és bevált termék alapján készült. A fordított mérnöki munkát az iparban leggyakrabban a fizikai tárgyak geometriájának digitalizálásával azonosítják. Eredménye egy digitális modell, amely a további tervezési munka, számítógépes elemzés például végelem módszer vagy a valós és számítógépes tárgy összehasonlításának kiindulópontja lehet. Egy modell digitális verziójának léte lehetősége ad az adatok közvetlen felhasználására a numerikusan vezérelt berendezéseken az egyre inkább teret hódító számítógéppel támogatott gyártói technológiák segítségével, vagy a gyors prototípusgyártási vagy gyors szerszámgyártási eljárások egyikével [1].

2.1.1 Reverse Engineering alkalmazási területei

Az ideális mérnöki visszafejtő rendszer feladata, hogy valósághű számítógépes modellt állítson elő, továbbá, hogy felismerje az objektum eredeti struktúráját és a valószínűsíthető

tervezési elképzelést vagy a „design intent”-et. Az eredeti felépítés reprodukálása ugyanis megkönnyíti a további felhasználást, átalakítást; hiányában a visszafejtés helyét gyakran a jóval költségesebb teljes újratervezés veszi át. Ily módon az alakvisszafejtés egy mesterséges intelligencia feladatnak is tekinthető [1].

A digitális mérnöki visszafejtésnek számos alkalmazása van. Ilyen egy tárgy digitális archiválása, vagyis azonos, vagy csekély módosításokat tartalmazó másolatának elkészítése, amennyiben nem áll rendelkezésre számítógépes modell, ahogy a régészeti, kulturális értékeknél sincs semmiféle műszaki leírás, például az ásatásokon talált leletről. A régészeti leletek közé tartozó érmék rekonstrukciójánál nagy segítség a RE. Ehhez kapcsolódóan napjainkban szintén népszerű ez a módszer az érmegravírozásnál is [1,2]

A művészettörténet területén is találkozhatunk ezzel a módszerrel, főleg régi, különböző stílusú épületek felújításánál is gyakran alkalmazzák, de ugyanúgy jelen van akkor is, amikor egy szoborról másolatot akarunk készíteni, vagy valamilyen művészeti tárgyat szeretnénk archiválni [1].

Az egészségügyi felhasználások célja tipikusan az egyének geometriai jellegzetességeihez, paramétereikhez pontosan illeszkedő, „testre szabott” kiegészítő elemek gyártása, mint protézisek, implantátumok és fogtömések gyártása, továbbá a RE segítségével rekonstruálni tudjuk a belső anatómiát is [2].

Gyakori, hogy egy tárgy nem számítógépes modell alapján készült, de szükséges annak CAD rendszerekkel történő feldolgozása. Manapság a karosszériák tervezői gipsz modelleken dolgoznak. Ezeket a gyártási folyamat során számítógépes CAD modellekké alakítják, melyeket azután digitálisan dolgoznak fel. A RE alkalmazási területei közé tartozik az autópárban használt szerszámok készítése, a műszaki és egyéb dokumentációk helyreállítása, továbbá alkalmazzák a minőség-ellenőrzésnél is [1,2].

A RE-et alkalmazzák továbbá a csomagolástechnika területén is, hiszen a termékek alakja változó és minden termékénél igyekeznek egyedi csomagolást létrehozni a termék alakjának megfelelően. A csomagolástechnika mellett az élelmiszeriparban, főként a csokoládék és cukorkák megtervezésénél és az öntőforma gyártásánál is alkalmazzák a RE-t az [1].

A RE-t főként az autópárban, az egészségügy és régészet területén alkalmazzák, de kifejezetten kedvelt technológia az olyan iparoknál, melyeknél nagyon fontos a design. Ilyen például a cipőipar, itt főként a minták és szerszámok digitalizálása során alkalmazzák, az

ékszer- és ajándékiparban például nevezetes látnivalók miniatűrjei, illetve a játékiparban. Ezenkívül az egyéb használati tárgyak gyártása során, mint például a palack- és edényiparban is gyakran alkalmazzák [1,3].

2.1.2 Reverse Engineering az iparban

A gyártástechnikában a tárgyak geometriájának helyreállítási folyamata széles körben ismert, és a következő feladatok esetén alkalmazzák:

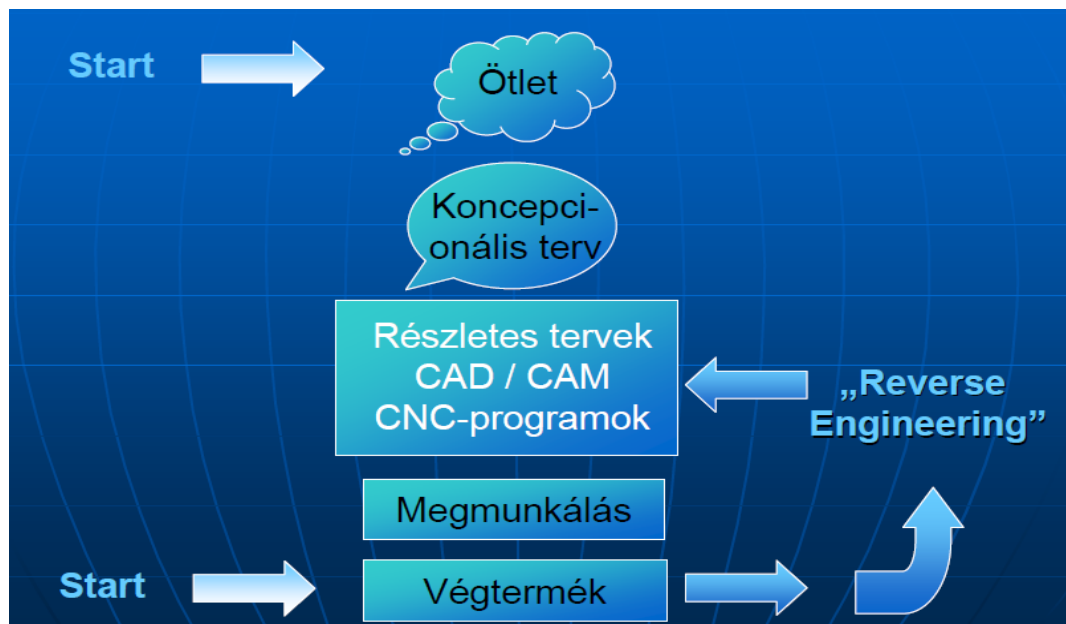
- Prototípusok vagy más legyártott elemek korrekciója
- Gyártói folyamatok megtervezése egyedi termék alapján
- A gyártási folyamat minőségének ellenőrzése
- Egy adott termék dokumentációjának helyreállítása, vagy létrehozása [1].

A piaci siker érdekében a tervezés alatt álló termékek esetén nem csak a műszaki paramétereknek, hanem a külső megjelenésének is megnyerőnek kell lennie. A tervezés megkezdése előtt piackutatást végzünk, hogy meghatározzuk a szükséges funkcionális tulajdonságokat, valamint a termék előzetes tervét is. A külső megjelenés részletes kidolgozása a stylist dolga, aki agyag, gipsz vagy fa modellt használ. Ezután keletkezik a digitalizáció, a műszaki dokumentáció elkészítése és a termék gyártásának beindítása. Az RE további feladata az új termékek tervezésének területén a módosítások létrehozása a műszaki dokumentációban. Amikor egy számítógépes modell alapján létrehozzák az új termék első prototípusát, gyakran előfordul, hogy azt későbbi teszteknek kell alávetni. Ezek eredményeként a prototípust gyakran manuálisan megváltoztatják, így nagy eltérések alakulhatnak ki a fizikai valóság és az eredeti prototípus alapjául szolgáló számítógépes modell között. Ekkor ismét szükségessé válhat a digitalizáció, hogy az így megkapott 3D modell segítségével folytatódhasson a munka [1].

Az RE technikákat egyre tágabb területen használják az iparban is, nem csak, mint a terméktervezés és fejlesztés eszközt, de gyártó-felügyeleti rendszerként is. Ekkor a termék egy részének vagy egészének felületét digitalizálják, majd összehasonlítják az eredeti számítógépes modellel [1].

A RE első lépése a szkennelés. A sorozatos digitalizálás, vagyis szkennelés nem más, mint az ismeretlen 2D-s, illetve 3D-s alakzatok felületi pontjainak letapogatása. Az így nyert XYZ

pontfelhő felhasználható CAD-modellek, majd NC-program készítésére [3]. A Reverse Engineering folyamatának beépülése az 1. ábrán látható.



1. ábra. RE a gyártási folyamatban [3]

2.2 Felületmodellezés

A mérnöki visszafejtés folyamatának főbb lépéseit az 2. ábra szemlélteti. Az eljárás négy fázisra bontható: *mintavételezés*, *háromszögelés*, *szegmentálás*, valamint *felületillesztés* [2].

2.2.1 Felületmodellezés folyamata

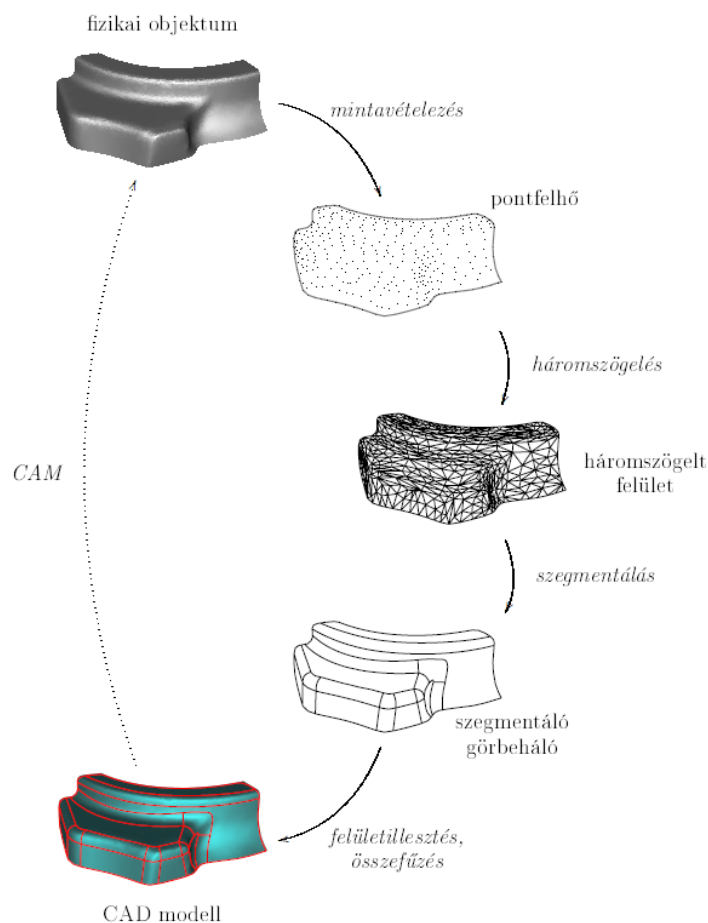
A *mintavételezés* során a fizikai objektum felületi pontjainak térbeli koordinátáit rögzítik. A rendelkezésre álló eszközök, technikák az előállított adat mennyiségében és pontosságában különböznek. A mechanikai érintkezésen alapuló mérőberendezések pontosságuk miatt közkedveltek, míg egyes lézeres, illetve optikai elven működő eszközök másodpercenként több tízezer pont adatait szolgáltatják [2].

A *háromszögelés* célja a mintavételezés eredményeként kapott pontfelhők átalakítása egy háromszögelt felületté. A különböző nézőpontokból rögzített pontfelhők azonos koordinátarendszerbe való transzformációját, zajszűrését a szomszédossági viszonyok felderítése követi, amellyel egy topológiailag konzisztens háromszögelt felületet jön létre [2].

A végső modell kialakítása szempontjából legkritikusabb lépés a *szegmentálás*, amely során a háromszögháló azonos felülethez tartozó elemeit tartományokba (regions) csoportosítjuk és

meghatározzuk azok függőségi viszonyát. A feladat nehézsége abban rejlik, hogy jelen fázisban még nincsenek felületek, azok típusa és kiterjedése ismeretlen. A szegmentálással létrejövő tartományok meghatározzák a későbbiekben keletkező felületek kiszámításához felhasznált pontok halmazát valamint az előállított modell lapjainak topológiáját is. A tévesen csoportosított pontok/háromszögek károsan befolyásolják a keletkező modell minőségét: a felületeken nemkívánatos hullámzások jelennek meg, a görbületeloszlás egyenlőtlené válik, szerencsétlen esetben pedig a szomszédos felületelemek összevarrása is meghiúsul és hibás modell keletkezik [2].

A *felületillesztés* feladata az egyes tartományokhoz legjobban illeszkedő felületek típusának és paramétereinek meghatározása. A felületek előállítása a szegmentálással létrejövő topológiai és függőségi viszonyok figyelembe vételével történik, ami lehetővé teszi a szomszédos lapok összefűzését. A felületek együttes simítását követően létrejön a végső modell, amely már alkalmas lesz CAD/CAM rendszerekben történő feldolgozásra [2]. A mérnöki visszafejtés folyamata a 2. ábrán látható.



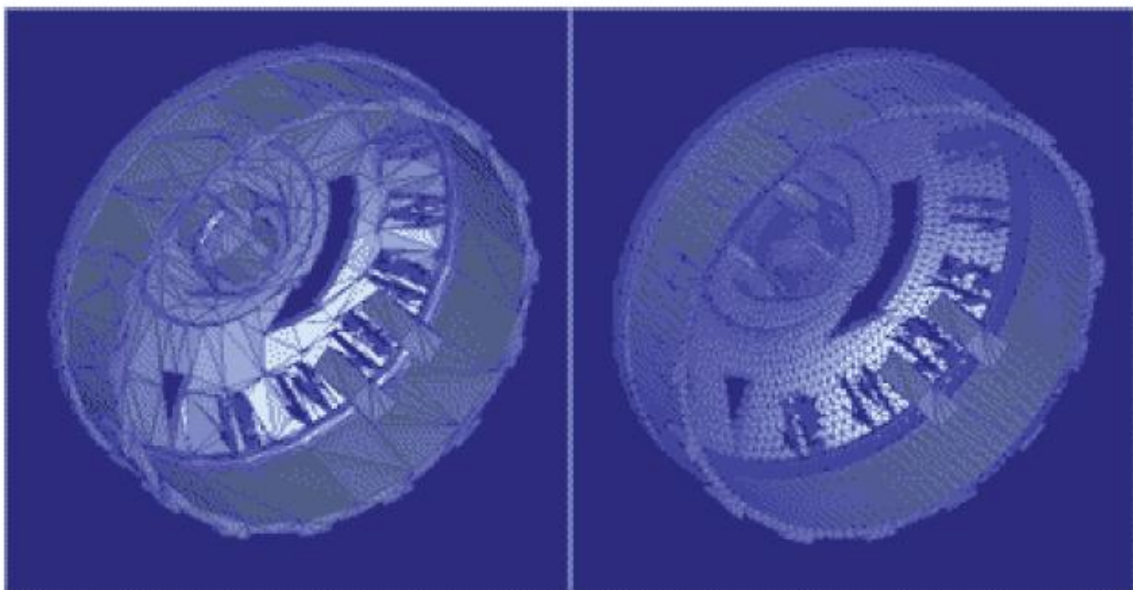
2. ábra: A mérnöki visszafejtés folyamata [2]

2.2.2 STL fájlok szerkezete és létrehozása

Az STL (Standard Triangulation Language, standard háromszögelési nyelv) formátum létrehozásának ötlete a sztereólitográfias eljárások pionírjától, a 3D Systems Company-tól származik. Az ő megrendelésükre 1987-ben az Albert Consulting Group fejlesztette ki az első verziót. A formátum hamarosan az RP folyamatok adatcseréjének alapvető formátumává vált. Az STL sikerének kulcsa az egyszerűség, eredetiség és a tervezett modell megfelelő pontos ábrázolása. A formátum elsődleges célja a 3D CAD modellek átvitele a gyors prototípusgyártó eszközökre. Manapság a legtöbb CAD/CAM program el tudja menteni a modelleket STL formátumban, melyet szinte minden RP rendszer be tud olvasni [1].

Az STL egy sor háromszögletű felületből áll, ezt nevezzük háromszöghálónak, amelyet csomópontok, élek és háromszögek határoznak meg. Ezek oly módon csatlakoznak egymáshoz, hogy minden élen és csomóponton legalább két szomszédos háromszög osztozik („csomópont a csomóponthoz szabály”). Más szóval a háromszögháló az STL formátumban tárolt 3D modell felületének approximációját ábrázolja. A reprezentáció azonban nem kezel olyan elemeket, mint a pont, vonal, görbe, réteg és szín [1].

Az STL fájlok kiterjesztése *.stl, azonban a programok egy része más kiterjesztés használatát is lehetővé teszi. A fájl mérete függ attól, hogy a modell felülete hány háromszögből áll, ennek következtében pedig attól, hogy milyen pontossággal írjuk le a modell geometriáját [1].

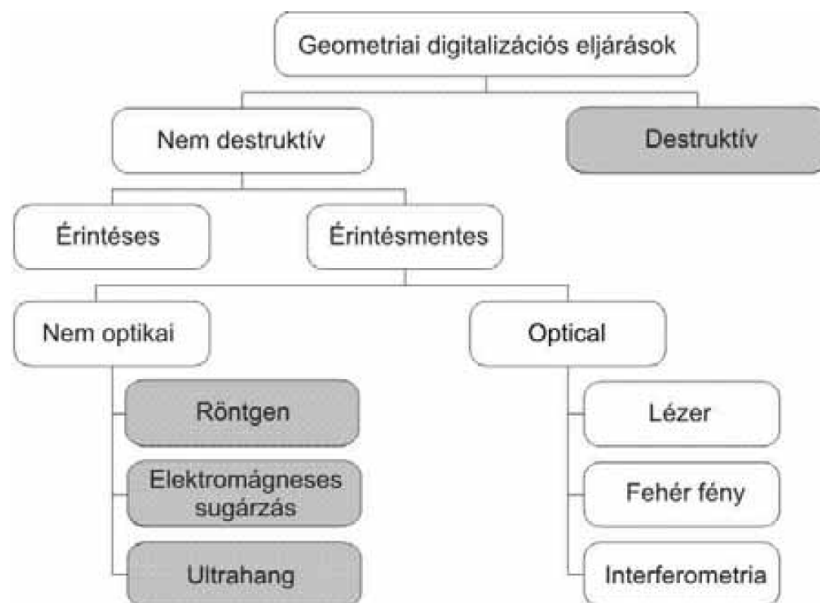


3. ábra. Modell geometria reprezentációinak különbsége a felhasznált háromszögek számának függvényében [1]

2.3 Digitalizációs eljárások

A 3D geometriáról való adatgyűjtési eljárások a mérés elvében, és néha a felvett adat típusában is eltérnek. Az automatizáció szintje alapján a mérés lehet kézi, fél-automatikus vagy teljesen automatikus. A kézi módszereket, amikor a felhasználó vezérli a mérőberendezést, általában egyszerűbb geometriájú modellek méreteinek mérésekor alkalmazzák. Ilyen esetekben a felhasználó a mért adatok alapján a modellt létre tudja hozni a CAD rendszerben. A félautomatikus módszerek esetében a mérőberendezés a modell geometriájának azon elemeit méri és tárolja el, amelyeket a felhasználó kiválasztott, azaz előre definiált.

A térbeli képalkotás alapvető eszközei a különböző eljárásokkal dolgozó, úgynevezett háromdimenziós szkennerek és mérőgépek. A szkennerek és a mérőgépek közötti alapvető különbség, hogy a szkennerek nem létesítenek fizikai kapcsolatot a vizsgált tárggyal. Az érintésmentes módszerek lehetnek optikai, azaz látható fényt, lézert vagy interferometrikus módszereket alkalmazó módszerek vagy nem optikai eljárások, például röntgen, elektromágneses sugárzás vagy ultrahang. Vannak olyan módszerek is ezeket az 5. ábrán láthatjuk, amelyek lehetővé teszik a tárgy belsejének vizsgálatát is. Annak függvényében, hogy a digitalizáció után milyen állapotban van a vizsgált tárgy, a módszereket destruktív és nem destruktív csoportra osztjuk [1,5]. A digitalizációs eljárások csoportosítása a 4. ábrán látható.



4. ábra: A legnépszerűbb geometriai digitalizációs eljárások felosztása. A kiemelt eljárások lehetővé teszik a tárgy belsejének vizsgálatát is [1].

2.3.1 Kontakt szkennerek

Az érintéses szkennerek segítségével nagy mennyiségű mérési pontot mérhetünk automatikusan. Az eljárások elve, hogy a berendezés mérőfeje kapcsolatban marad a mérendő tárgy felületével, és méri a mérőfejre hatóerőt. A letapogatás során a berendezés vezérlése állandó trigger erőt biztosít a mérőfejben, észleli az eltéréseket, és azonnal kompenzál. Elektronikus, nagy felbontású konverterek észlelik a mérőfej pozícióját, és ezt az adatot elküldik a számítógépnek.

Az érintéses szkennerek egyesítik a CMM által demonstrált egyszerű használhatóságot és az érintéses eljárások sebességét a folytonos letapogatás funkciójával. Ezen felül vannak olyan érintéses szkennerek is, amelyek a nagy sebességű folytonos letapogatás biztosításához egy lézeres fejjel is rendelkeznek, és lehetővé teszik a rugalmas anyagból készült tárgyak letapogatását is, ami különben érintéses módszerekkel megoldhatatlan lenne [1]. A kontakt szkennerek letapogatás folyamata közben az 5. ábrán látható.



5. ábra: Érintéses szkennerek [6]

2.3.2 Non-kontakt szkennerek

A másik jellegzetes adatnyerési lehetőség az, amikor a tapintócsúcs helyett egy lézeres berendezéssel, érintkezés nélkül gyűjtjük a 3D-s adatokat. Ennek a módszernek több változata is létezik. Vannak olyan típusok, amikor egy meglévő CNC-marógép főorsójába rögzítjük a lézerfejet, és a marógép vezérlőegységétől független számítógéppel gyűjtjük a térbeli adatokat. Nagyon fontos azt megjegyezni, hogy a 3D-s szkennelést megvalósító lézerezység bármilyen CNC-marógépre utólag is felszerelhető [4].

CNC-marógépre szerelt optikai szkennер

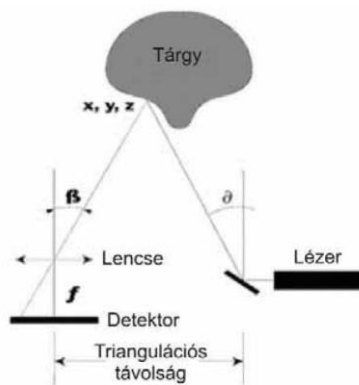
A térbeli pontok X, Y és Z koordinátáit a digitális lézerfejjel úgy tudjuk gyűjteni, hogy a CNC-marógép főorsóját a beszkennelendő objektum területe fölött az X-Y síkban, állandó Z magasságban mozgatjuk. A digitális lézerfej által kibocsátott sugár visszaverődéséből származó jeleket két optikán keresztül egy-egy lineáris CCD méri, a beszkennelt pontok szinkronizált és digitalizált X, Y és Z koordinátáit pedig az adatgyűjtő számítógép tárolja.

A lézeres mérőfej mozgatásához szükséges, egy adott terület bejárását leíró CNC-program elkészítése kézi programozással sem jelent problémát. A digitális lézeregységgel akár több oldalról beszkennelt térbeli pontok halmazát, a pontfelhőt (Cloud of Points) például a RapidForm programmal automatikusan egy zárt ponthalmazzá tudjuk összeilleszteni [4].

2.3.3 Optikai, pont alapú mérések

A pont alapú mérések esetén minden mérési ciklusban csak egy mérési pontot veszünk fel, így az ilyen elven működő berendezések funkcionalitásának javítása érdekében ezek rendelkeznek egy további optikai körrel, ami lehetővé teszi, hogy mérési ciklusonként nagyobb számú mérési pontot rögzítsünk (vonal vagy rács mentén). Ez általában egy forgó tükörrel valósul meg, amely egy lézersugárral végigpásztazza a mérendő felületet, miközben a rendszer többi része mozdulatlan. Ez a jellegű megoldás azonban növeli a rendszer komplexitását, így a méreteit is. Az eljárás fő előnye, hogy pontossága állandó, független a szkennер és a mérendő tárgy távolságától, viszont függ az alkalmazott időmérő rendszer sajátosságaitól.

Az ilyen elven működő berendezések lényegesen gyorsabb mérést tesznek lehetővé, valamint képesek folytonos mérésre is, bár ez ebben az esetben hibákat okozhat. A lézeres trianguláció a 3D adatgyűjtés egyik legelterjedtebb módszere. Az eljárás egy fókuszált fényforrást és egy videokamerát használ a tárgy távolságának megmérésére. A mérési elvet a 6. ábra illusztrálja.

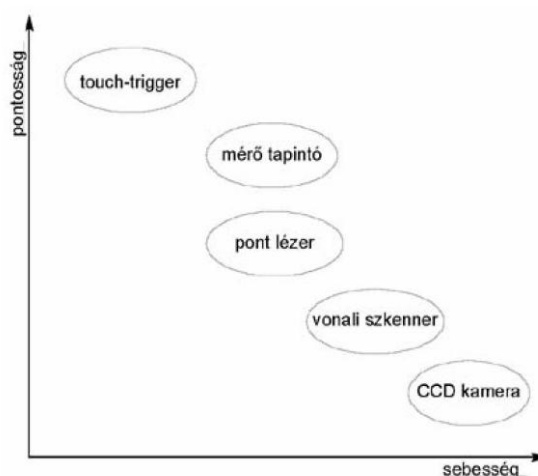


6. ábra: Pont alapú lézeres trianguláció [1]

A lézersugarat egy tükör eltéríti a mérendő tárgy irányába, majd a sugár a tárgy felületén szóródik, és ezt a szórt fényt rögzíti a videokamera, amely a lézertől egy adott (triangulációs) távolságra helyezkedik el. A pont térbeli koordinátái egyszerű trigonometriai megfontolások alapján kiszámíthatók. A szkennер pontosságát a lézersugár mérete határozza meg. Előnye, hogy nincs mérőnyomás, emiatt bármilyen rugalmas felület mérhető. Hátránya viszont, hogy csak sima, reflektáló felületek digitalizálhatók és a szűk hornyok, furatok nem digitalizálhatók [1, 7].

2.3.4 Digitalizációs eljárások összehasonlítása

A digitalizációs eljárások összehasonlításakor összegzősképpen kijelenthetjük, hogy a tapintós mérőgép a legpontosabb, viszont vannak olyan területek, ahol kisebb pontosságok is megengedhetők, de nagy sebességre van szükség [7]. A digitalizációs eljárások összehasonlítási diagramja a 7. ábrán látható.



7. ábra: Digitalizációs eljárások összehasonlítása [7]

3.Felhasznált gépek és berendezések

A TDK munka során számos olyan eszközzel dolgoztunk amelynek a kezelését el kellett sajátítani, a programozási struktúráját megérteni. Ebben a fejezetben röviden összefoglaljuk az általunk használt gépek, illetve berendezések működésének elvét, ezenkívül az adott berendezésre legjellemzőbb paraméterek ismertetjük.

ROLAND MDX-40A marógép

Ezen a gépen végeztük a Solid Works által megalkotott, illetve a beszkenelt 3D-s modell gyártását. Az MDX-40A segítségével precíz modelleket és funkcionális prototípusokat gyárthatunk. A szubtraktív prototípusgyártás technológiájával költséghatékonyabban állíthatjuk elő a modelleket, mint az additív technológiával. A gép számos additív technológia berendezésénél pontosabb végterméket állít elő, és a felhasználható anyagok választéka is jóval szélesebb. Azért választottuk ezt a gépet, mert a megmunkálás után jellemzően nem szükséges semmilyen felületkezelés vagy speciális utómunka, így könnyen és egyszerűen lehet elkészíteni a darabokat. Az általunk használt marógép a 8. ábrán látható:



8. ábra: ROLAND MDX-40A marógép [9]

Összefoglaló:

- a CNC gép anyagok széles tárházát tudja megmunkálni: forgácsolható műanyagokat, habosított műanyagokat, műfát, természetes fát, gipszet és akrilt
- képes funkcionális illetve részlet gazdag prototípusok gyártására

- munkaterület: 305x305x105 mm
- nagy fordulatszámú forgatómotor (15 000 1/perc)
- vészleállító gombbal és biztonsági ajtóval ellátva
- opcionálisan elérhető szkennelő fej
- felszerelhető negyedik, forgatótengellyel
- G-kód kompatibilis
- saját CAM szoftver (SRP Player)
- szoftveres felbontás NC-kódnál: 0,01 mm/lépés
- RLM: 0,01 mm/lépés
- Mechanikai felbontás: 0,002 mm/lépés [9]

ROLAND LPX 60DS lézerszkennelő

A 3D lézer szkennelő segítségével végeztük az elsőként legyártott modell digitalizálását. A szkennelő által generált adat számos CAD/CAM program által feldolgozhatóak illetve szerkeszthetőek. Ezáltal létrehozhat a meglévő designra támaszkodva alternatív, módosított formákat. Az alkalmazási lehetőségek közé tartozik még az animációk illetve filmek körében használt számítógépes modellek előállítás, melyek először egy kézzel készített modellként valósulnak meg. Az LPX-60 szkennelő alaptartozéka a Studio szoftver, mellyel nem csak a szkennelést végezheti el, hanem a beszkennt adatot javíthatja vagy módosíthatja is. A szkennelő a 9. ábrán látható:



9. ábra: ROLAND LPX 60DS lézerszkennelő [9]

Összefoglaló

- tárgyak szkennelése egy gombnyomással
- a szkennelt adat könnyen feldolgozható CAD/CAM szoftverekkel
- kompakt szerkezet, ideális irodai környezetbe
- felbontás: 0,2 mm
- szkennelhető tárgy maximális mérete: $\varnothing 203,2$ mm x 304,8 mm
- Roland EZ Studio szoftverrel
- Pixform Pro 2 szoftver opcionálisan elérhető [9]

Mitutoyo Crysta-Plus 574 mérőgép

Ezen a mérőgépen végeztük az eredeti és a beszkennelés után legyártott modell visszamérését. Ez a berendezés kulcsfontosságú volt, az összehasonlítás alapját adta. Azért választottuk ezt a mérőgépet, mert a mi darabunk könnyen visszamérhető volt a segítségével és a használata egyszerű. A mérőgép a 10. ábrán látható:



10. ábra: Mitutoyo Crysta-Plus 574 mérőgép [10]

Paraméterei

- Méréstartomány:
X=500 mm

Y=700 mm

Z=400 mm

- Felbontás: 0,0001 mm
- Szenzor: TP-200
- Sorozatszám: X76692
- Névleges átmérő (gömb): TapintóA-4,0 mm, TapintóB-8,0 mm
- Szárhossz: TapintóA-20,2 mm, TapintóB-20,2 mm
- Megengedett mérési bizonytalanság:
 $MPE(E)=2,9+4,0+...+L/1000\mu\text{mm}$
- Megengedett tapintási hiba
 $MPE(P)=2,9\ \mu\text{mm}$

4. Modellezés

A Reverse Engineering folyamatának bemutatásához első lépésként egy modellt kellett alkotnunk. Ehhez első sorban ki kellett találnunk a megfelelő geometriát, majd számítógépes 3D-s program segítségével lemodellezni a kiválasztott ötletrajzot. Utolsó lépésként a kész modellt olyan formátumba kellett átkonvertálni, amely a gyártás során használt CAM szoftverrel kompatibilis, vagyis az STL formátumban különböző paraméterek beállításával elmenteni.

Szabadkézi modellalkotás

Kezdetben szabadkézi rajzok alapján gondolkoztunk a geometria kialakításán. Az első legfontosabb dolog az volt, hogy ne legyen alámetszés a tárgyban, mert a szkennelés során nem nyerünk pontos eredményeket, mivel a szkennер nem tudja reprezentálni az alámetszés által takarásban lévő részeket. Ezenkívül a geometria bonyolultságának kialakításában semmi kikötés nem volt, hiszen a szkennelés során nem számít mennyire bonyolult egy adott felület, csak az számít, hogy a lézerefény vissza tudjon verődni. Ezeket figyelembe véve először szabadkézi rajzokkal gondolkodtunk a modell kialakítását illetően. Ezután kiválasztottuk a legjobbnak ítélt ötletrajzokat.

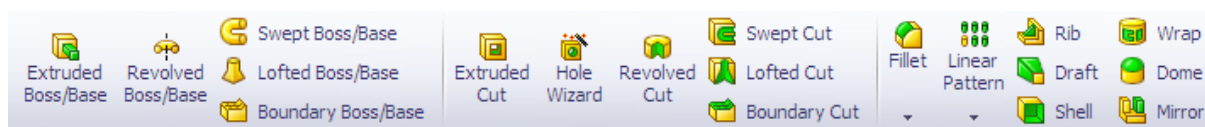
A választott Solid Works 3D-s modellezési program

Miután kiválasztottuk a legjobbnak ítélt ötletrajzokat a Solid Works nevű 3D tervező programmal lemodelleztük. Azért választottuk ezt a programot, mert a mai CAD rendszerek lehetővé teszik az ún. parametrikus modellezést is, amelynek alapja a dimenziók közötti bidirekcionális kapcsolat, melyet ábrázolhatunk Vázlat (Sketch) formában, 3D vagy 2D rajz és 3D geometriai üzemmódban is, és fordítva. Ez azt jelenti, hogy a tervezés bármely stádiumában megváltoztathatjuk a korábban megadott méreteket. Az ilyen rendszerek minden tervezési lépést rögzítenek, majd a modell létrehozásának történetét faábrázolásban tárolják. Egy adott paraméter megváltoztatásához mindössze meg kell találnunk az adott műveletet a faábrázolásban. Azon vázlatokat is módosíthatjuk, amelyek alapján a műveletet létrehoztuk. A változtatások elmentésekor a szoftver a teljes modellt aktualizálja az éppen érvényes paraméterértékekkel. Ez természetesen hibákhoz is vezethet, hiszen a következő művelet alapja lehet, hogy egy már megváltoztatott geometria. Ebben az esetben a rendszer

megmutatja, mely műveletek problémásak, és hol van szükség a felhasználó beavatkozására. Jelenleg minden komoly CAD rendszer lehetővé teszi a háromdimenziós projektek létrehozását, az összeszerelési rajzok létrehozását több különböző alkatrész alapján, ellenőrizve, hogy azok összeillenek-e, sok ember együttműködését nagy projekteken, egy adott részlet megváltoztatása után minden összeszerelési rajz frissítését az aktuális értékkel, az alkatrészek listájának automatikus létrehozását, költségbecslését, továbbá az együttműködést a raktárral, a vizualizáció és még más egyéb gyártással és alkatrésszel kapcsolatos műveletet, becslést. A Solid Works Vázlat kezelőfelületét a 11. ábrán, a 3D-s paneljét pedig a 12. ábrán láthatjuk.



11. ábra: Vázlat mód

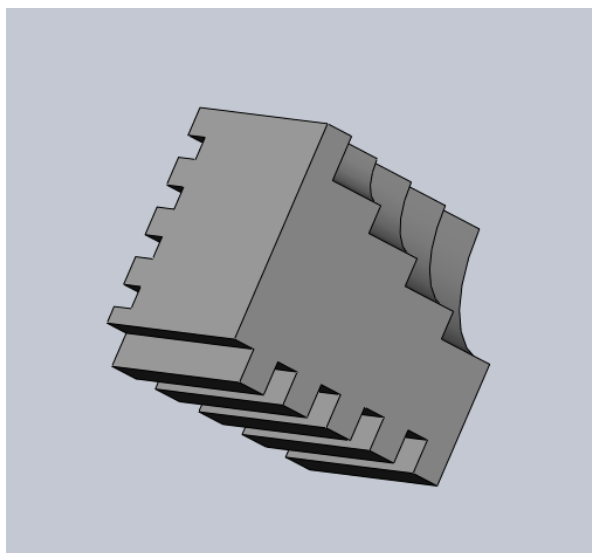


12. ábra: 3D-s modellezési opciók

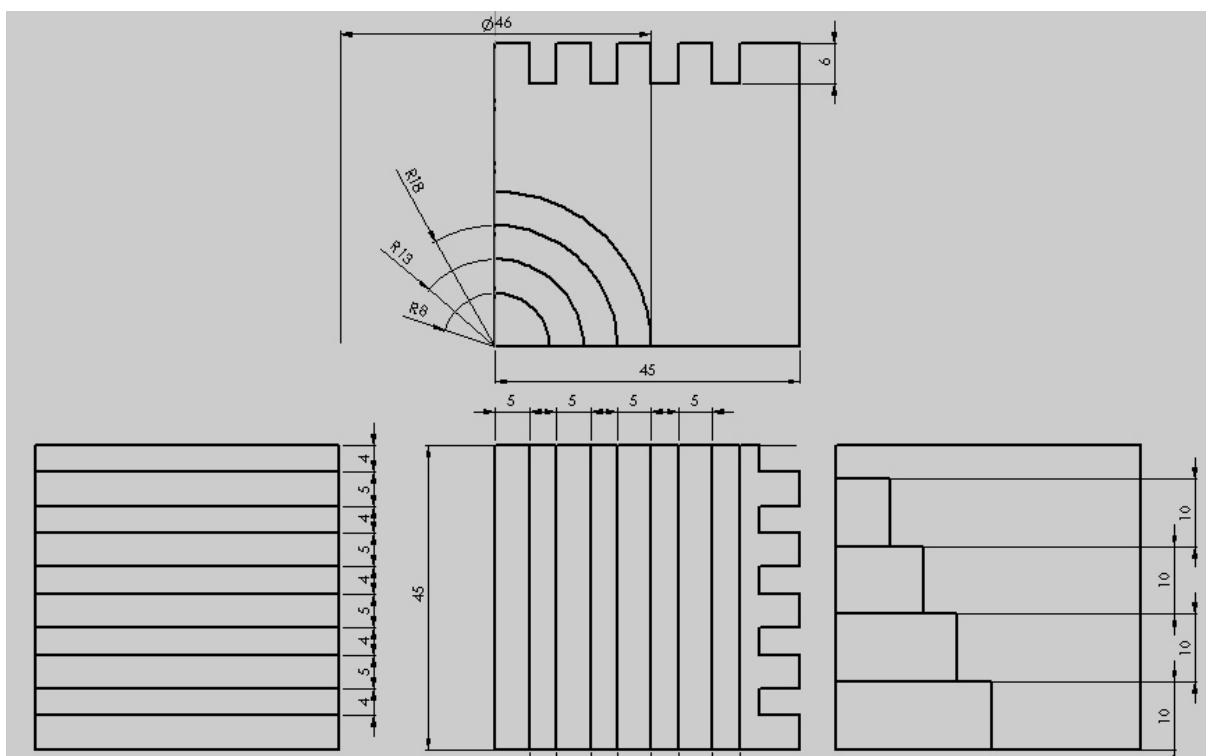
Ügyeltünk, hogy a meghatározott pontos méretek eleget tegyenek bizonyos feltételeknek. Fontos volt, hogy a hornyok 3,5-4 mm-nél ne legyenek kisebbek, illetve a legkisebb rádiusz 1,5 mm legyen, mert a kivitelezés szempontjából a meglévő szerszámkészlet ezeket a paramétereket tette lehetővé. Befoglaló méretnek a 45x45x45 mm-es kockát választottuk az elérhető alapanyagméretek miatt, valamint a mérés optimalizációja érdekében is szükséges volt. Ezután következhetett a kiválasztás.

A kiválasztás során mérlegeltük, hogy melyik lenne a legmegfelelőbb kialakítású modell. Olyat szerettünk volna végső modellnek kiválasztani, amely geometriája nem túl egyszerű, viszont könnyen legyártható és beszkenelhető is. Mindenképpen legyen benne horony, illetve körív, hiszen ezek a geometriai alapelemek nagyon sok alkatrészben megtalálhatók. A körívek azért érdekesek ebben a modellben, mert a középpontjuk azonos, emiatt a visszamérés során meg lehet vizsgálni, hogy tényleg egy egyenesen helyeznek-e el. A hornyok elrendezése pedig a következő: egyik oldalon a hornyok a marás síkjára merőlegese a másik oldalon viszont a marás síkjával párhuzamosak. Az eredmény szempontjából érdekes

lehet, hogy vajon mindkettő horonyelrendezésnél azonos pontosságot kapunk e a marás során. Fontos szempont volt, hogy a modell kialakítása visszamérés szempontjából is megfelelő legyen. Választásunk a következő modellre esett, amely 3D-s modellje a 13. ábrán, műhelyrajza pedig a 14. ábrán látható.

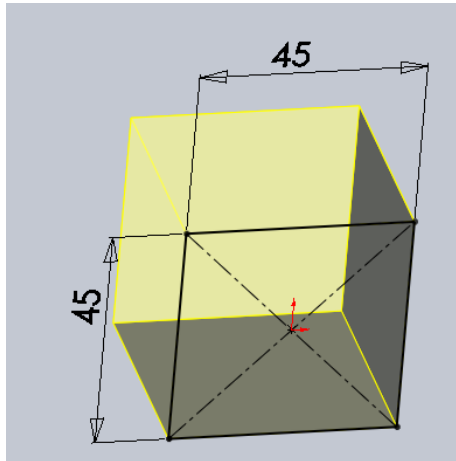


13. ábra: Tervezett modell 3D-s rajza



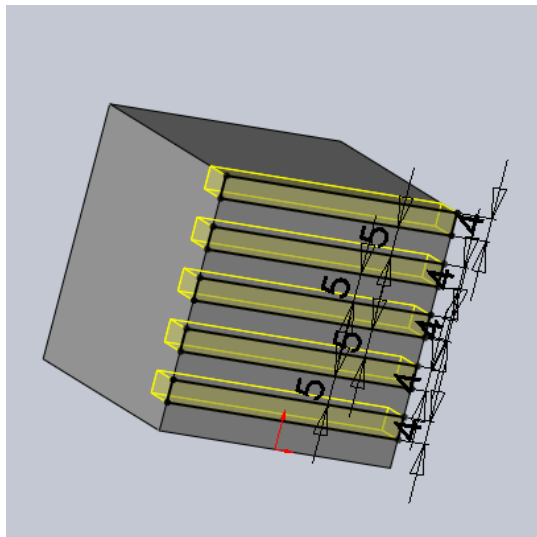
14. ábra: Modell műhelyrajza

A modellalkotás első lépéseként a Solid Works nevű programban létrehoztunk egy 45x45mm-es négyzet alakú Vázlatot (Sketch-et) a Top Plane-re, majd 45 mm magasságban ki is húztuk az Extruded Boss parancs segítségével. Így megkaptuk a már említett 45x45x45 mm-es alapkockát, amely a 15. ábrán látható.



15. ábra: Alapkocka megrajzolása

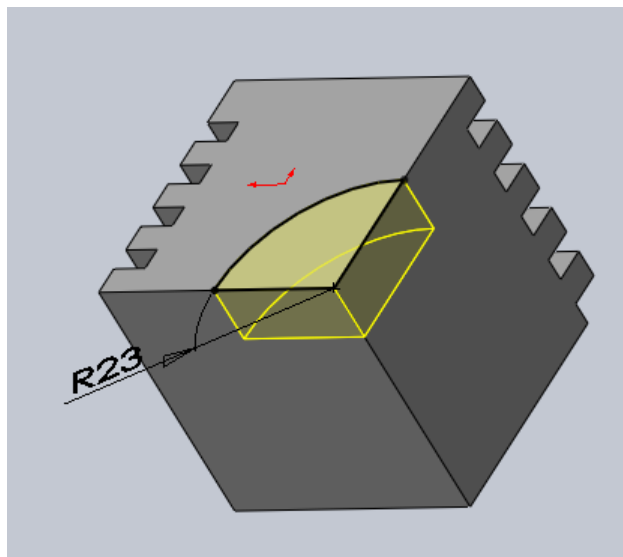
Ezután a vízszintes hornyok kivágása következett. Megrajzoltuk a téglalap alakú 4mm (ügyelve az előbbieken leírt kritériumokra) széles hornyokat, melyekből összesen 4darabot rajzoltunk és kettő horony között 5 mm-esre választottuk a távolságot. Ezután a Kivágás (Extruded Cut) paranccsal 6mm mélyen bevágtuk az említett 4darab hornyot. Ezt a műveletet a 16. ábrán szemléltetjük.



16. ábra: Hornyok létrehozása

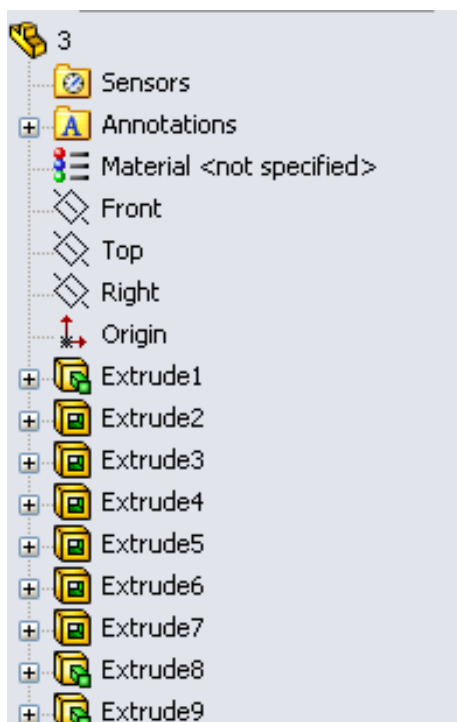
Ezt követően a függőleges hornyok megalkotása következett. Hasonlóan a vízszintes hornyokhoz itt is először megrajzoltuk a téglalap alakú Vázlatokat (Sketch-eket). A hornyok mérete és a hornyok közti távolság megegyezik a vízszintesen létrehozott hornyok kialakításával csak éppen 90°-al elforgatva jobbra. A Kivágás (Extruded Cut) mértéke itt szintén 6 mm volt.

A hornyok kialakítása után a negyedköríves lépcsők megalkotása következett. Elsőként a legnagyobb, 46 mm átmérőjű negyedkört rajzoltuk meg, amelyet a Kivágással (Extruded Cut) 10 mm mélységben kivágtuk. Majd ezt követte a második, 36 mm átmérőjű negyedkör, amelyet szintén 10 mm mélységben vágunk ki. A következő negyedkör átmérője 26 mm, míg az utolsó negyedkör átmérője 16 mm volt és ezeknél a negyedköröknél is 10 mm-es volt a kivágás. Az első negyedkör kivágását a 17. ábra szemlélteti.



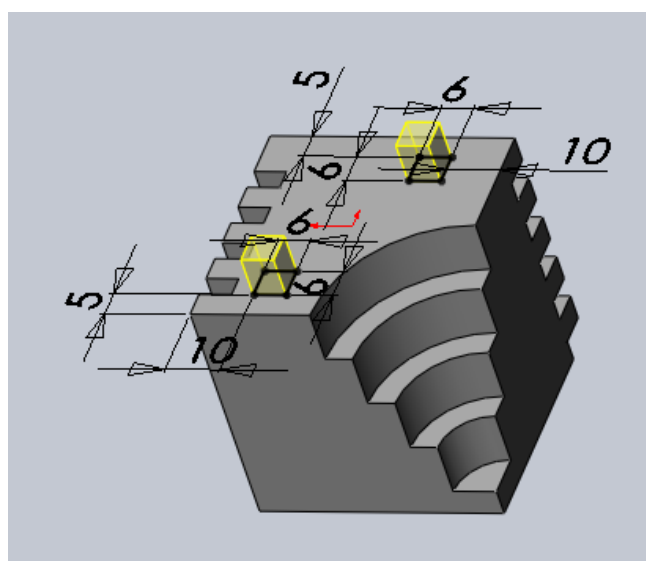
17. ábra: Első negyedkörív megalkotása

A Solid Works program minden modellalkotás során egy modellfát hoz létre, melyben tetszőleges módon változtathatjuk a méreteket (ahogy ezt a program bemutatásánál már leírtuk). Ezen darab modellfája a 18. ábrán látható.



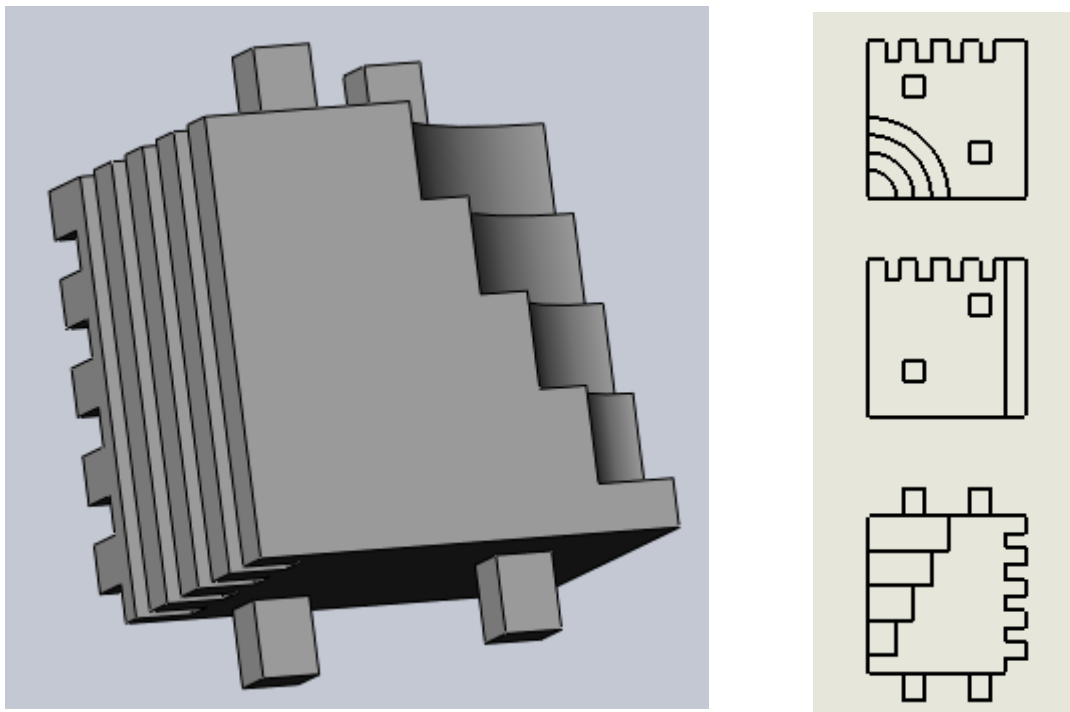
18. ábra: Modellfa

A gyártás miatt a darab mindkét végére szerkesztettünk 2-2 darab „hidat”, mivel az előzetes gyártások során az előre levágott darabból történt gyártás nem járt sikerrel. Ez azt jelentette, hogy a híd ami összetartotta a modellt az eredeti darabbal, túl vékony volt és emiatt a gyártás végén letört, valamint a felületi minősége is rosszabb volt így. Tehát a hidakat 6x6 mm-esekre terveztük és 8mm-re húztuk ki őket. A hidak kialakítása a 19. ábrán látható.



19. ábra: Hidak megalkotása

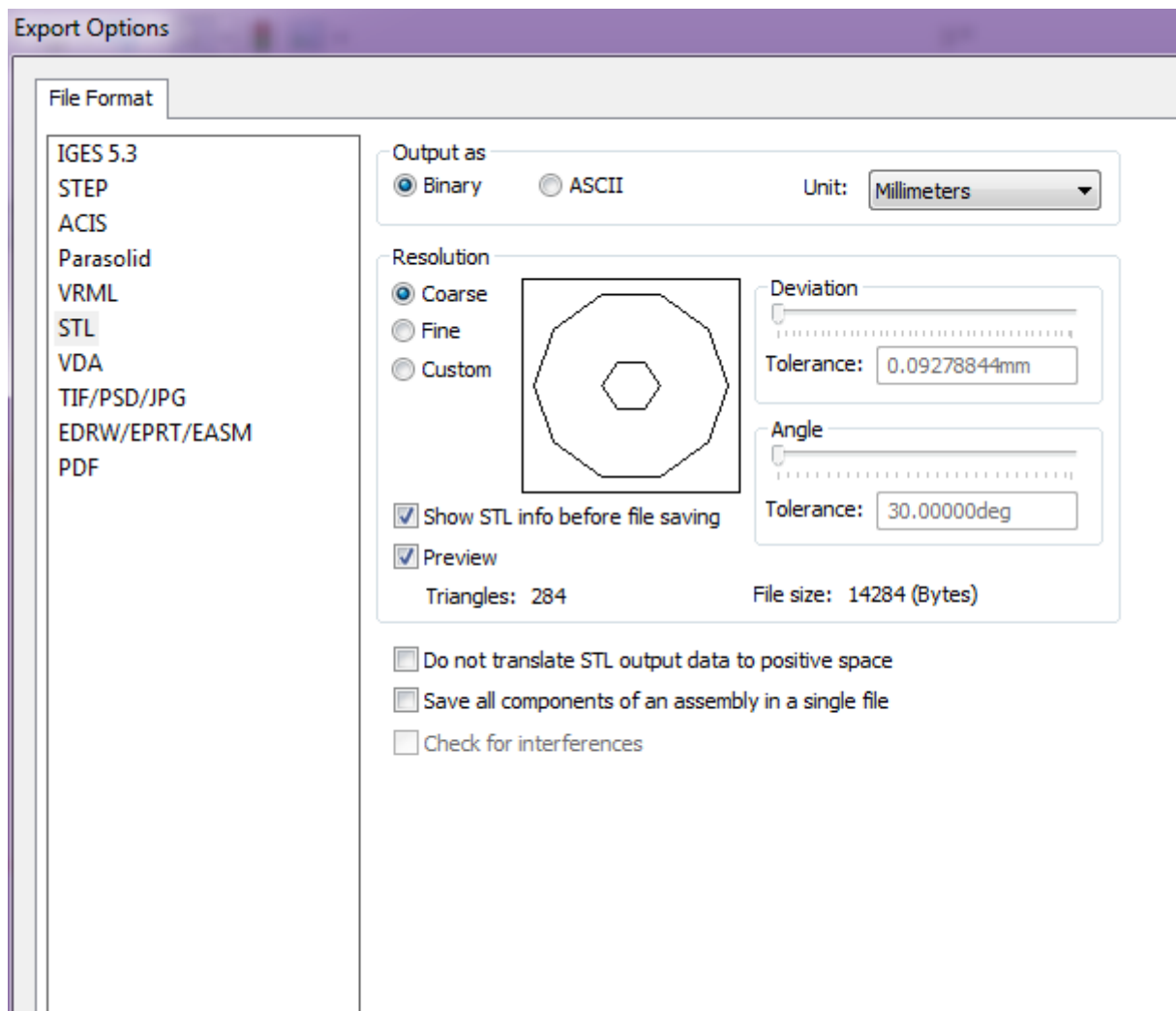
Az elrendezésük a következő volt: mindkét oldalon az egymással átellenes sarokba rajzoltuk őket, viszont a felső és alsó befogott oldalon pont az ellentétes átlóba kerültek, hogy minél stabilabb legyen. A hidak kialakítása, a 20. ábrán látható.



20. ábra: Hidak kialakítása a modellen

Szegmentálás

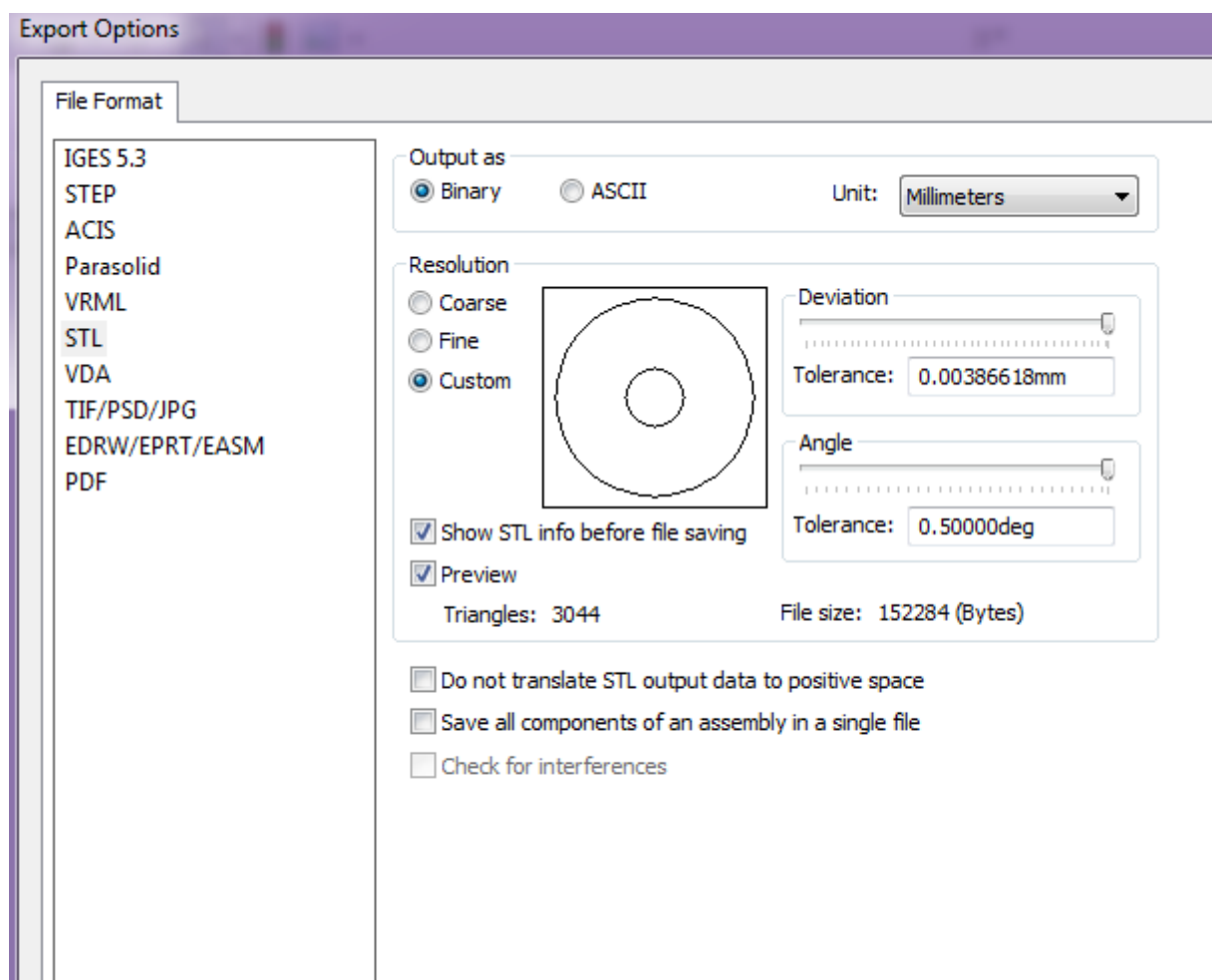
A modell ezután még nem volt kész állapotban a szerszámpálya létrehozásához, hiszen előtte olyan formátumba kellett konvertálni, amely a lehető legtökéletesebb, legpontosabb gyártást biztosítja. Ebben volt segítségünkre a Solid Works program a speciális beállításokkal. Az STL fájlba való elmentéshez első lépésként megnyitottuk az exportálandó modellt. Ezt követően definiálnunk kellett az STL különböző paramétereit, amit úgy tudunk megtenni, hogy az Opciók (Options) gombra kattintva egy újabb ablak nyílt meg, amely a 21. ábrán látható.



21. ábra: Exportálás paramétereinek ablak

Ezután be kellett állítani a megfelelő paramétereket, mivel azok alapbeállításon nem voltak elég pontosak. A Felbontás (Resolution) fül alatt lehet beállítani a háromszögháló tulajdonságait. Három lehetőség áll rendelkezésünkre: Durva felbontás, Finom felbontás és Adaptált opció. Az első két lehetőség adott, előre beállított paraméterekkel rendelkezik, viszont a harmadik választás esetén lehetőségünk van a Szög (Angle) és az Elhajlás (Deviation) megadására. Az Elhajlás toleranciája az alkatrész teljes hálójára vonatkozik, miközben a Szög tolerancia főként az egyes részletek ábrázolását befolyásolja. A megadott paraméterekből adódó változásokat egy ábra jelzi, mely két darab koncentrikuskört mutat. A Finom felbontás fül beépített értékei még mindig nem voltak elég pontosak, ezért az Adaptált opciót választottuk, ahol minden értéket a lehető legnagyobbra állítottunk, minél nagyobb pontosság érdekében. Csak összehasonlításuképpen megnéztük, hogy amíg a Finom felbontással 356 háromszögre bontotta a modellt, az Adaptált opció kiválasztásakor pedig

3044 darabból állt a háromszögháló, ami ezáltal jóval nagyobb pontosságot eredményezett. A végleges szegmentálási beállítások a 22. ábrán láthatók.



22. ábra: Végleges szegmentálási beállítások

Miután elmentettük az STL formátumú fájlt, megkezdjük a gyártási program írását.

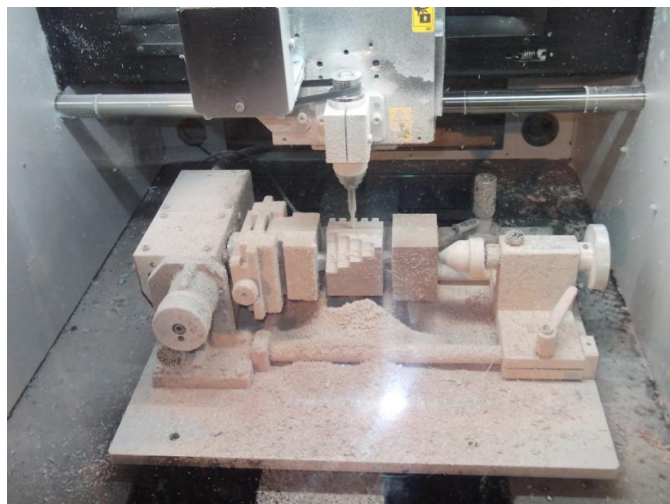
5. Gyártás számítógépes modell alapján

Következő lépésként az előzőekben már definiált STL fájlt megnyitva generáltunk szerszámpályát. A programot a marógép saját szoftverében az SRP Playerben írtuk meg, ahol különböző paramétereket beállítva, illetve különböző értékeket megadva határozhattuk meg a szerszámpályát. A beállításoknál ügyelni kellett a megfelelő opciók kiválasztására, hiszen minél jobb felületi minőség elérése volt a cél a visszamérés miatt.

Marógép CAM szoftverének felépítése

A marást a ROLAND MDX-40-es 4D-s marógéppel végeztük (A marógép és a megmunkált darab a 23. ábrán látható). Azért választottuk a 4 tengelyes marógépet, mert a marógép automatikusan forgatja meg a darabot, nem pedig manuálisan kell ezt végezni, emiatt pontosabb lesz a marás, mert ki van zárva annak a lehetősége, hogy a darab a fordítást követően nagymértékben elmozduljon. A szerszámpályát a marógép saját CAM szoftverével, az SRP Player segítségével hoztuk létre. A program generálása 5 lépésben történik:

- Fájl beimportálása és méretek beállítása
- Marási beállítások
- Szerszámpálya meghatározása
- Marás szimulációja
- Marás végrehajtása

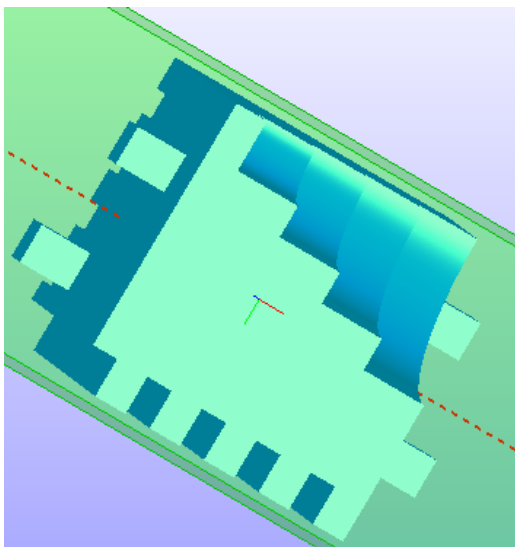


23. ábra: Megmunkált darab helyzete a marógépben

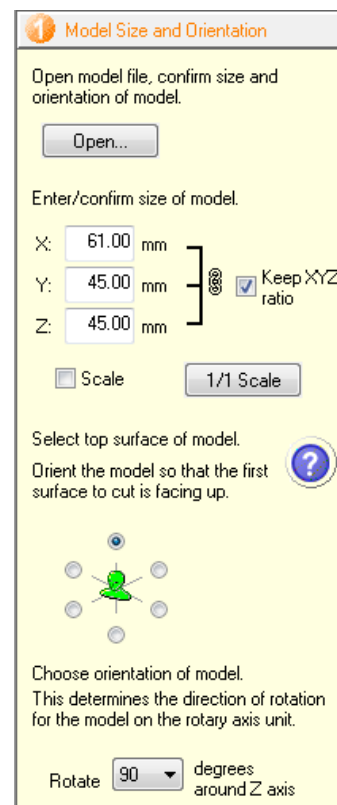
Szerszámpálya generálása

A szerszámpálya generálás első lépésként meg kellett nyitni az előbbiekben leírt, szegmentált Solid Works-ös 3D-s modell STL kiterjesztésűként elmentett modelljét. Miután beimportáltuk a modellt, különböző paramétereket lehet beállítani, például a méretet, melyet lehetett arányosan, aránytalanul nagyítani és forgatni is.

A méreteken változtattunk, mivel nem csak az eredeti 45x45x45 mm-es kocka méretét kellett figyelembe venni, hanem a hidak magasságát is. Azért írtuk be az X koordinátához 61 mm-et, mert az eredeti 45 mm-es kocka magasságához hozzá kellett adni a 8 mm-re kinyúló hidakat, melyek mindkét oldalon ott vannak, ezért kétszer kell venni a nagyságukat. Továbbá itt lehet megadni a szimmetria tengely helyzetét, amely a következő lépés során lesz fontos, hiszen a forgatás a szimmetria tengely mentén fog történni. Ez első lépésnél megadott paraméterek a 24. ábrán láthatók.

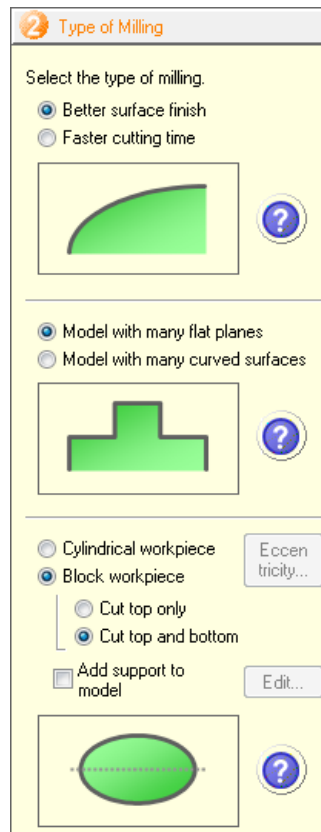


24. ábra: CAM-be beimportált modell és méreteinek beállítása



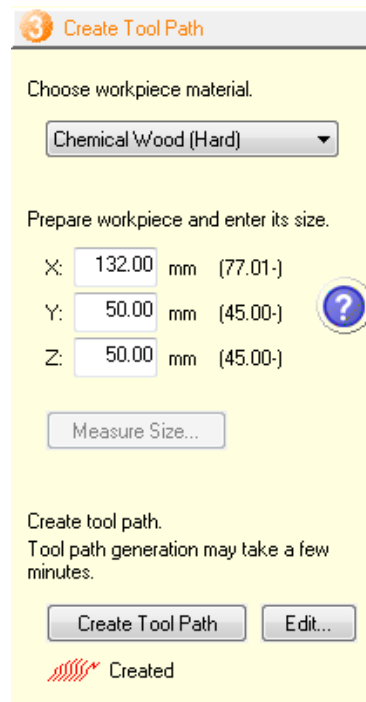
Második lépésben a marási beállításokkal kapcsolatos paramétereket kellett beállítani. Legelőször a marás típusát lehet kiválasztani, hogy inkább Gyors marás legyen (Faster cutting time), vagy lassúbb, de Jobb felületi minőségű (Better surface finish). Mi a jobb felületi minőségű opciót választottuk, hiszen nem volt időhöz kötve a marás, a minél jobb felületi minőség viszont mérvadó volt. Ezután azt állíthatjuk be, hogy a marandó modell inkább szögletes Síkfelületeket (Model with many curved surfaces), vagy Ívesebb felületeket

(Model with many flat planes) tartalmaz. A modellünk inkább szögletes felületeket tartalmaz, ezért az első opciót választottuk. Végül meg kellett adnunk, hogy Hengeres (Cylindrical workpiece) vagy Téglatest (Block workpiece) jellegű munkadarabról van-e szó, és e szerint alakíthattuk ki a befogásokat. Mi a Téglalapos munkadarab lehetőségét választottuk, mivel egy kocka jellegű modelltől van szó. Ezen beállítások a 25. ábrán láthatók.



25. ábra: Marási beállítások

Harmadik lépésnél már maga a szerszámpálya generálása következik. Elsőként meg kellett adni a munkadarab anyagát, ami műfa volt, tehát a Chemical Wood (Hard) lehetőséget választottuk. A munkadarab anyagának azért a műfát választottuk, mert homogén és megfelelően kemény ahhoz, hogy elkerüljük a deformációt, illetve pontos marási eredményeket ad. Ezután meg kellett adnunk az eredeti darab méretét, amiből ki szeretnénk marni magát a modellt. Az előre levágott műfa befoglaló mérete: 132x50x50 mm volt. Az itt megadott beállításokat a 26. ábrán szemléltetjük.

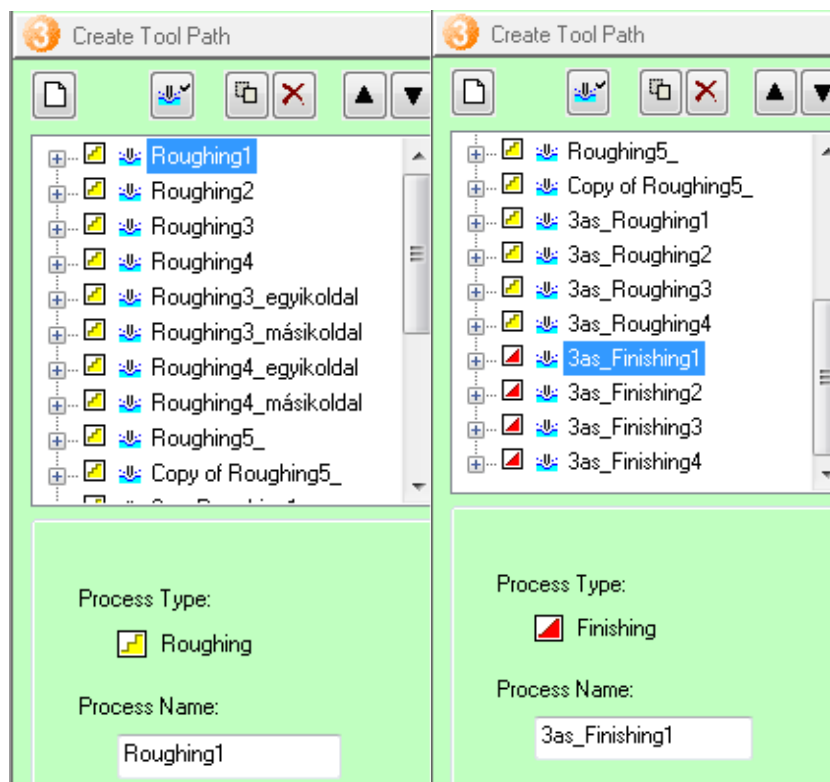


26. ábra: Szerszámpálya generálásnak alapbeállításai

Ezután rákattintunk a szerszámpálya generálása (Create Toolpath) gombra, aminek következtében a program automatikusan generál egy pályát. A Módosítás (Edit) gombbal nézhetjük meg a lépéseket és itt módosíthatjuk is azokat. Új lépés (New process) kiválasztása esetén meghatározhatjuk, hogy Nagyolni (Roughing) vagy Simítani (Finishing) szeretnénk e, melyik szerszámmal és mi mentén. A nagyoláshoz a kétélű gyorsacélból készült 6 mm átmérőjű marót, a simításhoz a 3 mm átmérőjű palást-, illetve 3 mm átmérőjű gömbmarót használtuk. Alapvetően a program által ajánlott előtolási sebességet használtuk, mert a tapasztalatok alapján jónak bizonyult. Nagyolásnál az előtolás értéke 720 mm/perc volt. A fogásmélységet 0,45 mm-nek, a fordulatszámot pedig 9000 1/perc-nek választottuk. Simításnál az előtolás értéke 420 mm/perc volt, a fogásmélység 0,1 mm, a fordulatszám pedig 10000 1/perc.

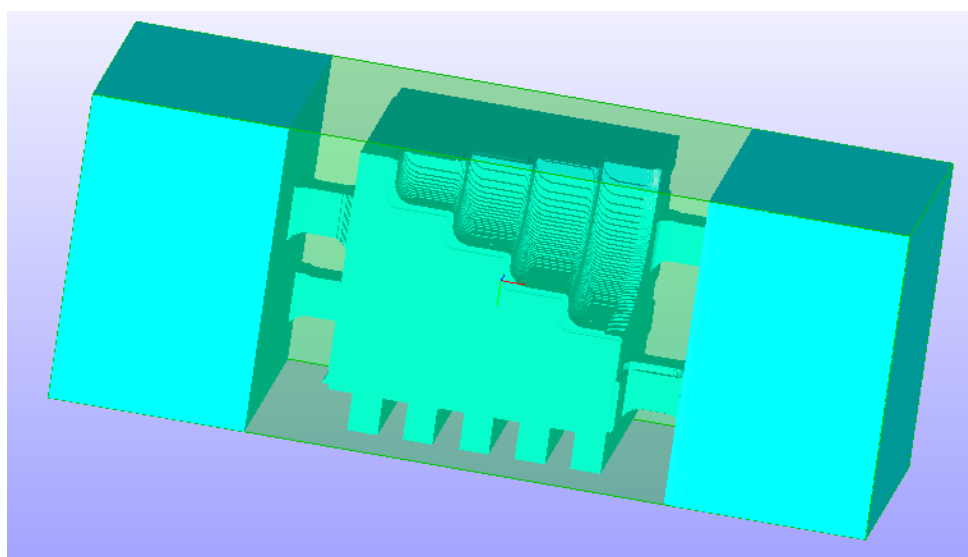
Az általunk generált szerszámpálya összesen 19 lépésből állt. Marásnál először nagyolunk, utána simítunk, ez a mi programunkban is így volt. Az első 15 lépés mind nagyolás volt és csak az utolsó 4 lépésben alkalmaztuk a simítást.

Először nagyolással anyagot választottunk le minden a nem befogott 4 oldalról, ezután a befogott oldalokról a hidakat figyelembe véve természetesen. Ezután a hornyoknál végeztünk nagyolást, majd még egyszer a hidaknál. Végül a simítást végeztük el a 4 be nem fogott oldalon. A gyártási lépések a 27. ábrán láthatók.



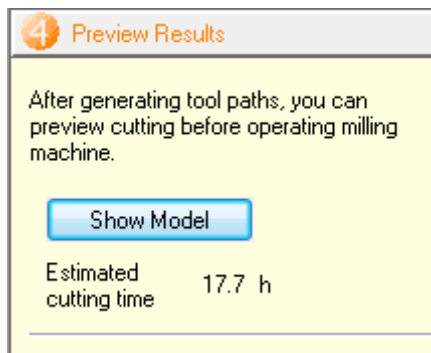
27. ábra: Szerszámpálya meghatározása

Negyedik lépésnél nem kell semmit sem beállítani, itt csak ellenőrizhetjük a virtuális marás segítségével, hogy jól határoztuk meg a lépéseket. Ehhez a Modell megtekintésére (Show model) kellett kattintanunk. A virtuális marási eredmény a 28. ábrán látható.



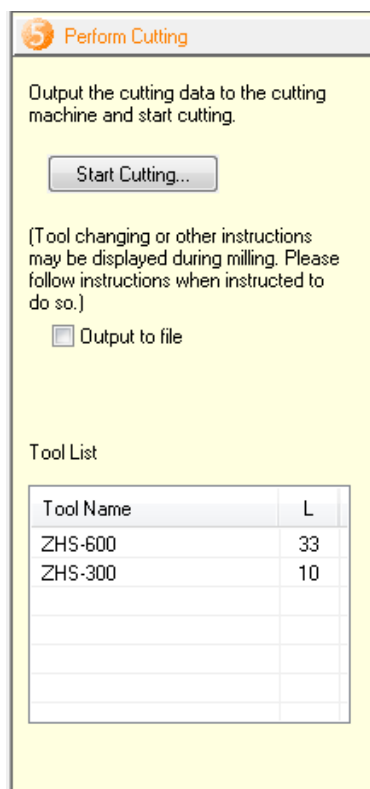
28. ábra: Virtuális marási eredmény

Ekkor a program kiszámítja a Marás várható időtartamát (Estimated cutting time), amely ebben az esetben 17,7 óra volt, ez a 29. ábrán látható ablakban látható.



29. ábra: Marás várható időtartama

Ötödik lépésként magát a marást hajtjuk végre, itt csak a Marás megkezdése (Start Cutting) gombra kell kattintanunk, ha elégedettek vagyunk a negyedik lépésben megjelenített marási képpel. Továbbá megjeleníti a marás során használt Szerszámokat (Tool Name). Ezt az ablakot a 29. ábrán láthatjuk.



30. ábra: Szerszámlista generálás utolsó lépése

A 31. ábrán a legyártott modell látható.



31. ábra: A legyártott modell

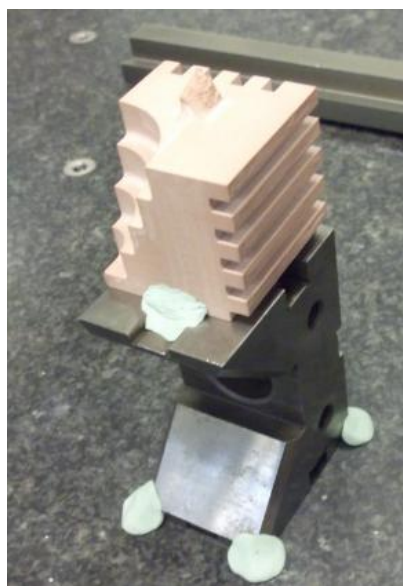
A legyártás után következhetett a számítógépes program alapján létrehozott modell visszamérése.

6. Legyártott modell mérése

A szerszámpálya generálása és a gyártás befejezése után a mérésprogram megírása következett. Mielőtt megkezdtük volna magát a mérést, ki kellett gondolnunk egy jó rögzítést, befogást a darabnak, hogy méréskor ne történjen elmozdulás vagy esetleges ütközés. Ezután meghatároztuk, hogy mely oldalakat, síkokat, mélységeket, hosszúságokat mérjük meg a darabon, ami jó összehasonlítási alap lehet. Ezután a tapintófej pályáját terveztük meg, ami azt jelentette, hogy kiválasztottuk azt az oldalt amelyiken először mérjük le a kiválasztott távolságokat és utána, hogy haladjunk tovább és mely tapintófejek alkalmasak az egyes pontok meghatározására.

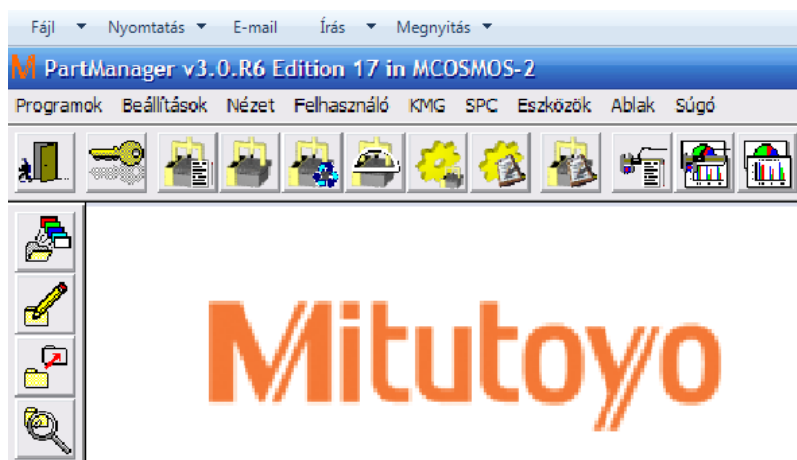
Mérési beállítások

Első lépésként magát a mérni kívánt darabot kellett megfelelően elhelyeznünk a mérőasztalon. A darab elhelyezésénél két fontos szempont volt: megfelelően kellett rögzíteni, illetve ki kellett emelni. A darabot úgy kellett rögzíteni, hogy az ne sérüljön a befogáskor. Mivel mérőgép csak 0,3N erővel tapint, ezért elegendő volt gyurmával rögzíteni. Kiemelni két okból volt fontos: lehetővé tegyük, hogy elfordított mérőfejjel is biztonságosan le tudjuk mérni, illetve esetleges mérőfej beragadásnál könnyen el tudjuk mozdítani a darabot, ezáltal semmilyen kárt nem okozva a gépben. A kiemelést egy befogó készülékkel oldattuk meg. A darab rögzítése a 31. ábrán látható.



32. ábra: Mérési befogás

A következő lépés a nullpont felvétele volt. Meghatározásához a mérőgép saját programját az MCOSMOS-2.0-t használtuk. A program megnyitásakor megjelenő ablak a 33. ábrán látható.



33. ábra: MCOSMOS-2 kezelőfelülete

A program megírásakor 4 fontos opciót használtunk a 34. ábrán látható gombok közül. Elsőként behívtuk a programot, majd az „Új alkatrészprogram létrehozása” opciót választottuk. Ezután kiválaszthattuk, hogy melyik módban szeretnénk dolgozni: Szerkesztés üzemmód, Tanuló üzemmód. illetve Ismétlő üzemmód. A Szerkesztő üzemmódban akkor dolgoztunk, amikor a programban szeretnénk valamit módosítani, amelyet a Tanuló üzemmódban már megírtunk. Az Ismétlő üzemmódot akkor választjuk, ha mérésprogramot újra le akarjuk futtatni változtatás nélkül.

A Tanuló üzemmód kiválasztása után a nullpontot kellett meghatároznunk a darabon. Viszonyítási pontnak a darab felső részének egyik sarokpontját választottuk, amely a 33. ábrán látható. Ekkor egy nullpont eltolást hajtottunk végre, a koordináta tengelyek iránya megegyezett a gépi koordináta tengelyekkel. Miután ez megtörtént, a következő lépésben a modell saját koordináta rendszerét kellett meghatároznunk. Ehhez két egyenest jelöltünk ki a rögzített kocka felső felületén (ahol a nullpontot is). Az XY sík után a darab egyik oldalán felvettünk egy egyenest, mellyel meghatároztuk az X tengelyt. A tengely irányát a felvétel iránya határozta meg. Ezután már csak az X tengely nullpontját kellett meghatározni (az Y tengelyé az X tengely, a Z tengelyé az XY sík). Ehhez felvettünk egy pontot az egyik síkra, ami merőleges az X tengelyre. Mivel a koordináta rendszer jobb sodrású, ezért ez meghatározta az X tengely nullpontja mellett az Y tengelyt és annak irányát is. A munkadarab

koordináta rendszerét a gép koordináta rendszerével közel párhuzamosan vettük fel a saját dolgunk megkönnyítése végett.



34. ábra: Referencia pont felvétele

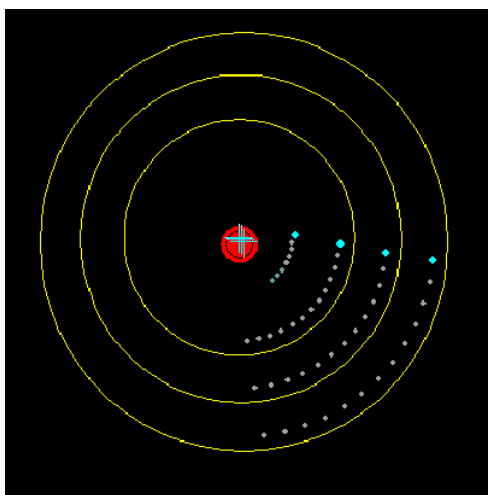
Ezután következett az utazási magasság beállítása. Ez tulajdonképpen egy biztonsági beállítás, ami azt jelenti, hogy ha a mérőgép elvégzett egy mérési utasítást, akkor visszamegy az előre megadott utazási magasságba és ezen közeledik a következő mérési ponthoz, ezzel elkerülve az ütközéseket. Mivel mérés során forgattuk a fejet, ezért mindhárom tengely irányba be kellett állítani ezt a biztonsági távolságot. Az utazási magasság változó volt, mindhárom irányba. Először Z irányba állítottuk be, mégpedig 20mm-re. Ezután ezt változtattuk 70 mm-re, mert a fejforgatásnál már nem lett volna elegendő az előző érték. X irányba az utazási magasság értékét 70 mm-re, Y irányban pedig -30 mm-re állítottuk. Ezután következett maga a tényleges mérőprogram generálása.

Mérőprogram

A mérőprogram generálása előtt meghatároztuk azokat a távolságokat, szögeket, síkokat, amelyek a visszamérés során fontos szerepet játszanak. A program megírásakor a felső

A mérőprogram során igyekeztünk minél több adatot összegyűjteni az egyes mérésekkel. Első lépéseknek a mérőprogramban a síkok helyzetét vizsgáltuk meg. A síknál megvizsgáltuk, hogy tényleg 90° -ot zárnak e be egymással, illetve, hogy párhuzamosak e. Ahhoz, hogy 2 síkot össze tudjunk hasonlítani, meg kell határozni magát a síkot. Ezt ugyanazon a módon tehetjük meg, mint már az első lépések között meghatározott síkot, tehát először fel kell venni 3-3 pontot, ami meghatároz 2 egyenest, amelyek pedig magát a síkot határozzák meg.

A körívek mérésénél a következőket végeztük el: megvizsgáltuk, hogy a sugarak nagysága megfelelő e, illetve, hogy az egyes negyed körök középpontja egy egyenesre esik e. Továbbá a negyedkörívek mélységét is megmértük. A mérések pontjai a 37. ábrán láthatók. A sugarak meghatározásához összesen 13 pontot vettünk fel körönként és a program folyamatosan kijelezte, hogy éppen hányadik pontnál tart a mérést. Egy pillanatnyi állapotot a 38. ábra reprezentál.



37. ábra: Körívek mérése

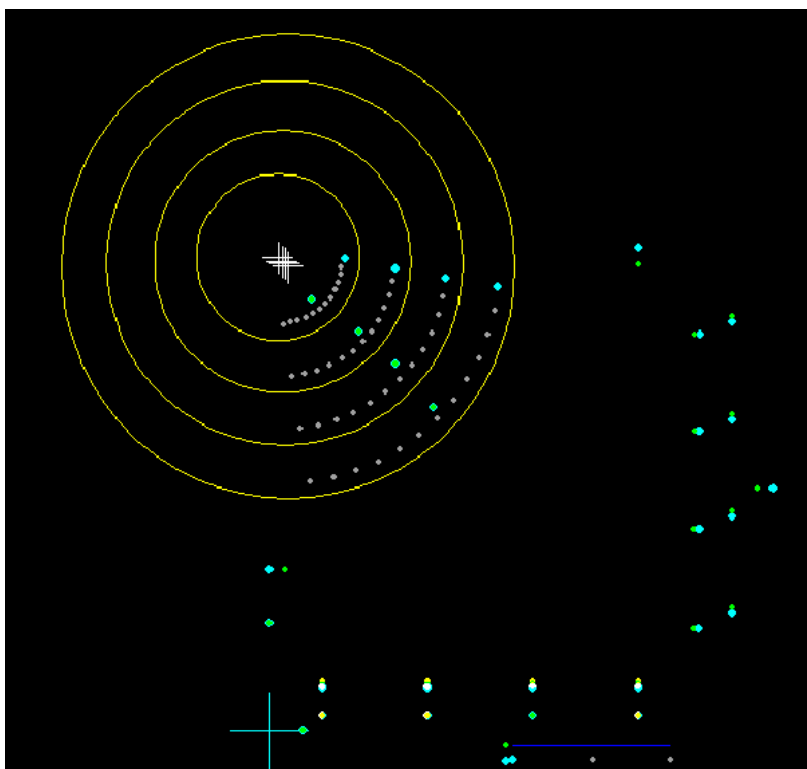


38. ábra: Mérés állapota

Ezután a hornyok méréséhez szükséges lépéseket határoztuk meg. A hornyoknál a mélységet mértük, illetve távolságot. Két horny közötti távolságot határoztunk meg úgy, hogy a horny

két szélénél lemértük a pontokat (azonos mélységben) és a távolságot az X vagy Y koordináták alapján meg tudtuk már határozni, attól függően, hogy éppen a vízszintes, vagy függőleges hornyokat vizsgáltuk. A távolság meghatározásához nem csak egy, hanem négy pontot vettünk fel hornyonként. Ezzel a méréssel nemcsak 2 horony közti távolságot, hanem a hornyok távolságát is meghatároztuk a szélső oldaltól.

A program lefutását követően a 39. ábrán látható képet kaptuk, amelyből egyértelműen felismerhető a mért kocka és az, hogy melyik lapja volt felül, illetve a hornyok és a körívek is jól kivehetők.



39. ábra: A befejezett mérés képe

Mérési eredmények kiértékelése

A program a mérési eredményeket a mérés befejezése után kimentti nekünk egy PDF kiterjesztésű fájlba, ha kiválasztjuk ezt az opciót. Ezen mérés után elmentett PDF fájlt, de mivel kicsit bonyolult az értelmezés, ezért átírtuk a kapott értékeket Microsoft Excel táblázat. Így egyúttal diagramon is szemléltetni tudtuk az adatokat. A 40. ábrán látható a mérési kiértékelés első része. A fejlécben különböző adatok olvashatók, mint az Alketrésznév, Jegyzőkönyv száma és az egyes oszlopok megnevezései. Ami számunkra fontos az a Line No oszlop, ami tulajdonképpen egyfajta sorrendet jelent a lépések között, de nem 1 a lépték. A

Pnt. Ref. (Point Reference), azt mutatja meg, hogy az adott műveletnél hány darab pontot rögzített a tapintó. Az X, Y, Z koordináták pedig egyértelműen az adott síkban lemerített távolságot adják meg, a Diameter/Distance/Angle rovat alatt pedig az átmérőt kör esetén, a távolságot vagy a szöget olvashatjuk le.



Felhasználó név
Gyártástud&Techn.TSZ

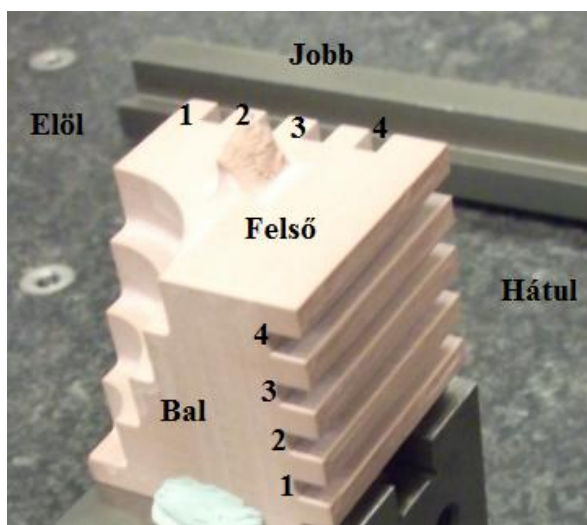
Jegyzőkönyv száma (1)

Alkatrész név
TDK elsoJO

Megnevezés			Rajzsám		Megjegyzés			Ellenőr	
El. No.	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. X-Angle Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance	
1	3	nullpont	1	231.347	332.603	191.809		0.000	
1	9	XYsik Gauss	6	-0.055	-0.003	-1.490		0.014	
				87:53:01	89:53:43	2:07:09			
1	16	Xtengely Gauss	3	-0.004	-0.973	0.000	0.973	0.009	
				0:14:46	90:14:46	90:00:00			
2	21	nullpont	1	-3.237	9.994	-3.004		0.000	

40. ábra: Mérési eredmények fejléce

A 40. ábrán tovább láthatjuk már a kezdeti lépést, vagyis a nullpontfelvételt, az előzőekben már leírt elv szerint felvéve. Ezután a negyedkörívek mérése következett. Mielőtt viszont ennek a kiértékeléséről íránk, definiáljuk az egyes általunk adott elnevezéseket a 41. ábrán.



41. ábra: Síkok elnevezésének definiálása

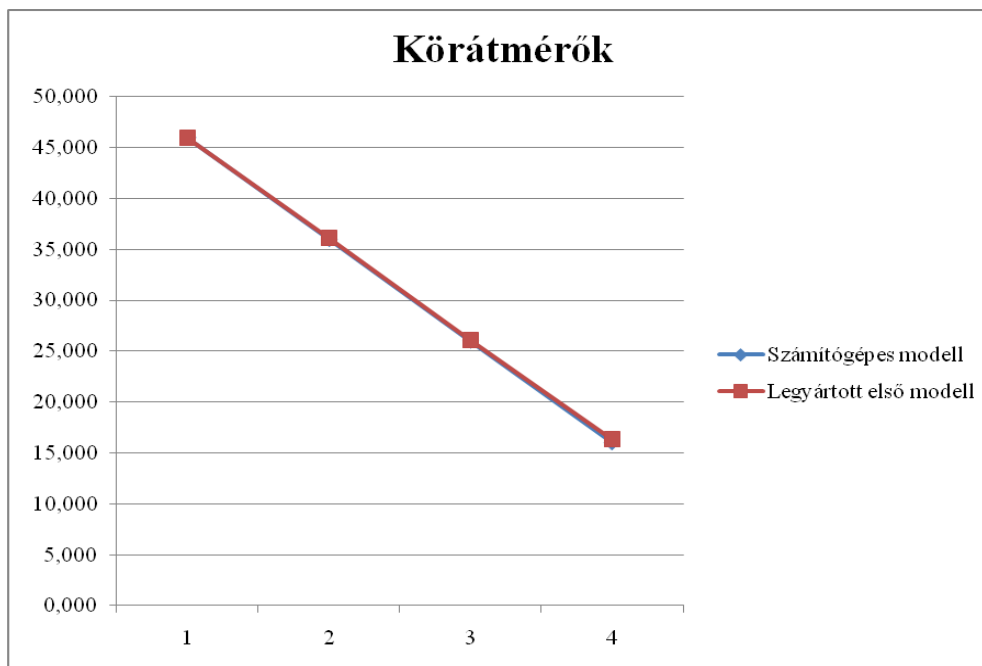
A síkoknak a 41. ábrán látható elnevezéseket adtuk, amelye a mérőprogramban is ugyanilyen néven szerepelnek. A Felső lap néhol „Gauss”-ként szerepel, hiszen ezt választottuk viszonyítási síknak. A hornyokat pedig azért számoztuk be a 41. ábrán, mert a későbbiek szó lesz a hornyoknál lévő távolság, illetve mélységmérésről is és így tettük egyértelművé, hogy a mérésprogramban szereplő például „1. Vízszintes horony mélység 1. pont” (a későbbiekben látni fogjuk) elnevezésnél melyik hornyot mértük éppen.

Ezen bevezető után megkezdjük a valós kiértékelést. A nullpont felvétele után a negyedkörök átmérőjének mérése következett, melynek adatai a 42. ábra táblázatában olvashatók. Az eltérést pedig a 43. ábra szemlélteti diagram formájában.

Körátmérők		
Megnevezés	Legyártott első modell	RE-s modell
Legfelső körív átmérője	45,943	46,015
Második körív átmérője	36,145	36,656
Harmadik körív átmérője	26,083	26,27
Negyedik körív átmérője	16,326	16,301

42. ábra: Negyedkörök átmérőinek mérete

Az értékek nagyon közel vannak az eredeti mérethez, ahogy az a 43. ábrán látható diagramon is megtekinthető, teljesen egy egyenesen vannak az eredeti Solid Works-os modell, és a legyártott modell negyedköreinek átmérői. Érdekes az, hogy a legyártott a modell negyedköreinek átmérői mind nagyobbak, mint a számítógépes modell átmérői, kivétel a legelső körnél, ahol egyébként a legkisebb az eltérés. Az eltérések mértéke változó, hiszen a legfelső körív után a harmadik körívnél van a következő legkisebb eltérés. Tehát minden páratlan körívnél kisebb az eltérés, mint a párosoknál. Az átlagos eltérés: 0,153 mm. Az eredményeket figyelve megállapíthatjuk, hogy a maximális eltérés 0,326 mm és ha jól megnézzük a 43. ábrán látható diagramot, akkor a legutolsó pontnál észre is vehetjük, hogy az egyenes eltér.



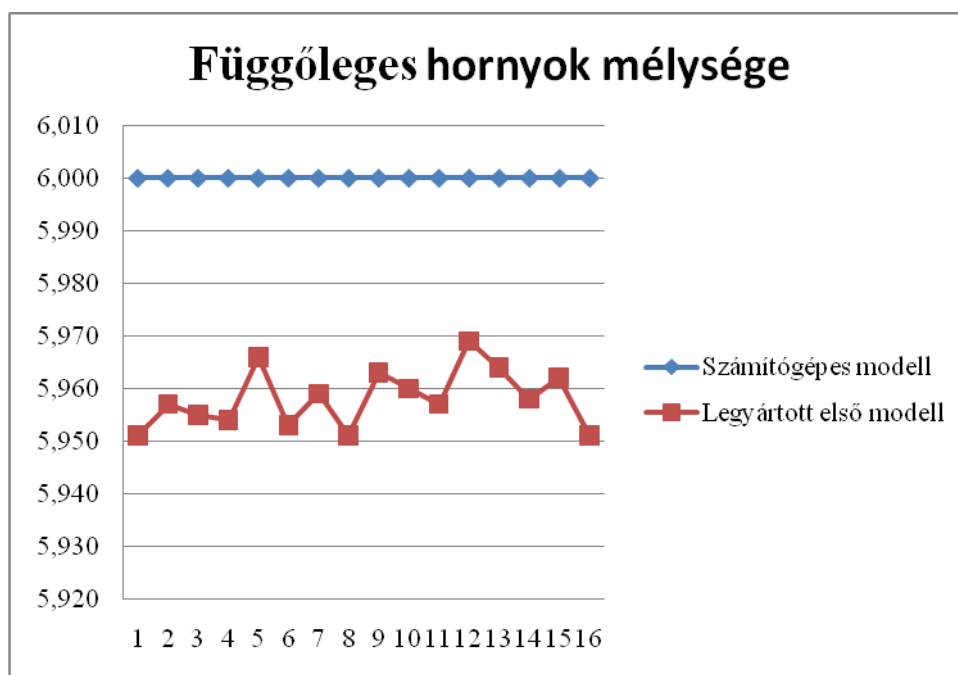
43. ábra: A két modellhez tartozó átmérők méreteinek eltérése

A következő lépésben a függőleges horonymélységek eltérést vizsgáltuk, melyek eredménye a 44. ábra táblázatában láthatók.

Függőleges horonyok mélysége		
Megnevezés	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Függőleges horony mélység 1.pont	5,951	5,470
1. Függőleges horony mélység 2.pont	5,957	5,516
1. Függőleges horony mélység 3.pont	5,955	5,552
1. Függőleges horony mélység 4.pont	5,954	5,591
2. Függőleges horony mélység 1.pont	5,966	5,565
2. Függőleges horony mélység 2.pont	5,953	5,581
2. Függőleges horony mélység 3.pont	5,959	5,586
2. Függőleges horony mélység 4.pont	5,951	5,594
3. Függőleges horony mélység 1.pont	5,963	5,561
3. Függőleges horony mélység 2.pont	5,960	5,589
3. Függőleges horony mélység 3.pont	5,957	5,610
3. Függőleges horony mélység 4.pont	5,969	5,621
4. Függőleges horony mélység 1.pont	5,964	5,556
4. Függőleges horony mélység 2.pont	5,958	5,577
4. Függőleges horony mélység 3.pont	5,962	5,586
4. Függőleges horony mélység 4.pont	5,951	5,584

44. ábra: Függőleges horonyok mélységének értéke

Az eltérések század nagyságúak, a legkisebb eltérés 0,031 mm és az értékek 0,031-0,049 mm között ingadoznak. Az átlagos eltérés: 0,042 mm, amellyel elégedettek voltunk. Az eltérések vizuális megjelenítése a 45. ábrán látható.



45. ábra: A két modell függőleges horonymélységének eltérése

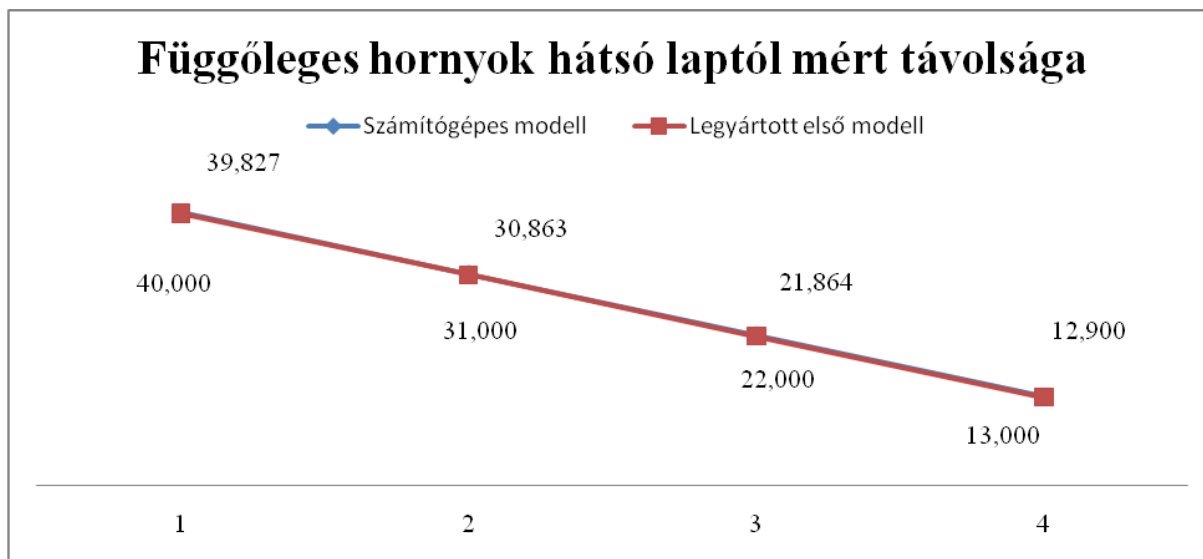
A függőleges hornyok megvizsgálása után a függőleges hornyok belső oldalának és a hátsó oldallapnak a távolságát mértük, melynek eredményei a 46. ábrán láthatók.

Függőleges hornyok hátsó laptól mért távolsága		
	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	39,827	0,000
2. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	30,863	30,744
3. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	21,864	21,932
4. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	12,672	12,988

46. ábra: Függőleges hornyok hátsó laptól mért távolsága

Az eltérések 0,1-0,2 mm körül ingadoznak, de inkább közelebb állnak a 0,1 mm-hez. Az első horonynál a legnagyobb az eltérés mértéke, amely 0,173 mm, a második is harmadik hornyoknál az eltérés csökkent és közel megegyezik, majd a negyedik horonynál ez az érték még tovább csökkent, így elérte a 0,100 mm-es minimális eltérést. A kiértékelés diagramja a

47. ábrán található, ahol láthatjuk, hogy a két egyenes szinte egybeesik, annyira közel vannak egymáshoz a mért és eredeti értékek.



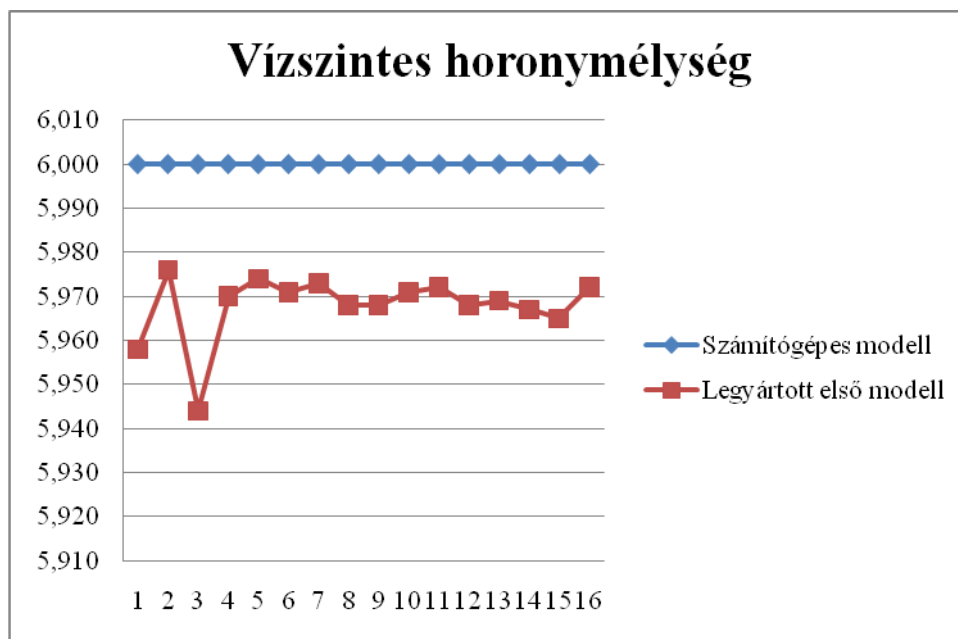
47. ábra: A két modell függőleges, hátsó laptól mért horonytávolságainak eltérése

Miután megmértük a függőleges hornyok általunk legfontosabbnak ítélt méreteit, megkezdtünk egy hasonló vizsgálatot a vízszintes hornyoknál is, melynek eredményeit a 48. ábrán látható táblázat tartalmazza.

Vízszintes hornyok mélysége		
	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,958	5,865
1. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,976	5,834
1. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,944	5,790
1. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,970	5,575
2. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,974	5,446
2. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,971	5,458
2. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,973	5,443
2. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,968	5,444
3. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,968	5,500
3. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,971	5,528
3. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,972	5,551
3. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,968	5,565
4. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,969	5,876
4. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,967	5,834
4. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,965	5,852
4. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,972	5,889

48. ábra: Vízszintes hornyok mélységének értéke

A vízszintes horonymélységek eltérése a Solid Work-ös modellhez képest nagyon csekély, az átlagérték 0,032 mm körül ingadozott, a maximális eltérés pedig 0,056 mm. Az összehasonlító táblázat a 49. ábrán látható, melyről leolvasható a már említett maximális eltérés, de ezen kívül az értékek nem térnek nagyon el.



49. ábra: A két modell vízszintes horonymélységének eltérése

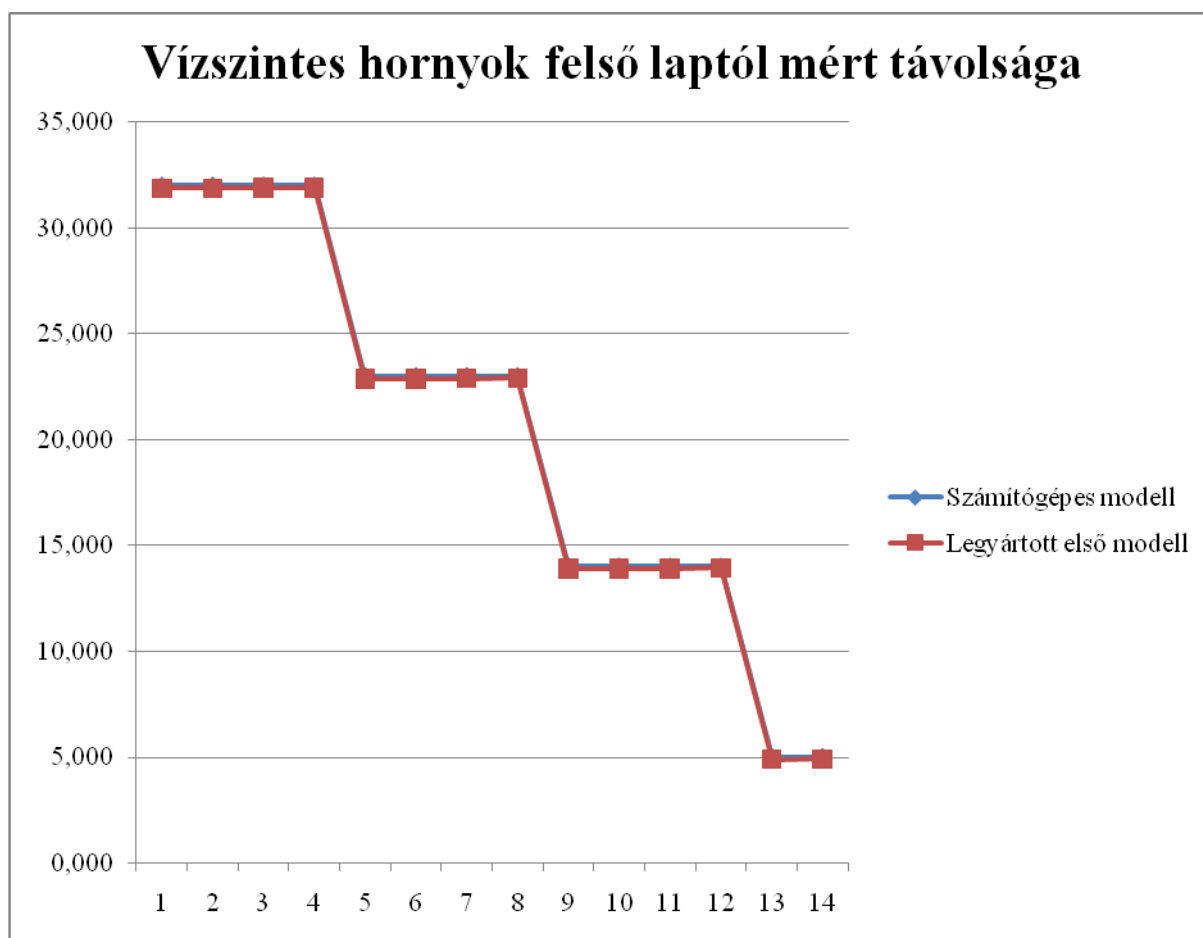
A vízszintes hornyok mélységének megmérése után itt is mértünk egy horony és oldallaptól való távolságot, melynek eredményei az 50. ábrán láthatók.

Vízszintes hornyok felső laptól mért távolsága		
	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	31,873	31,977
1. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	31,878	31,979
1. Vízszintes horony 3.pont felső lap táv	31,897	31,985
1. Vízszintes horony 4.pont felső lap táv	31,903	31,991
2. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	22,579	23,033
2. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	22,882	23,037
2. Vízszintes horony 3.pont felső lap táv	22,894	23,042
2. Vízszintes horony 4.pont felső lap táv	22,906	23,058
3. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	13,893	14,279
3. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	13,908	14,318
3. Vízszintes horony 3.pont felső lap táv	13,921	14,412

3. Vízszintes horony 4.pont felső lap táv	13,939	14,462
4. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	4,900	5,150
4. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	4,922	5,164

50. ábra: Vízszintes hornyok felső laptól mért távolsága

A hornyok felső oldala és a kockaszerű test felső lapja közötti távolság tized nagyságú, pontosabban 0,100 mm körül ingadozik. Ahogyan az 51. ábrán is megfigyelhetjük ez még nem okoz jelentősebb eltérést, az értékek által alkotott két egyenes szinte fedi egymást.



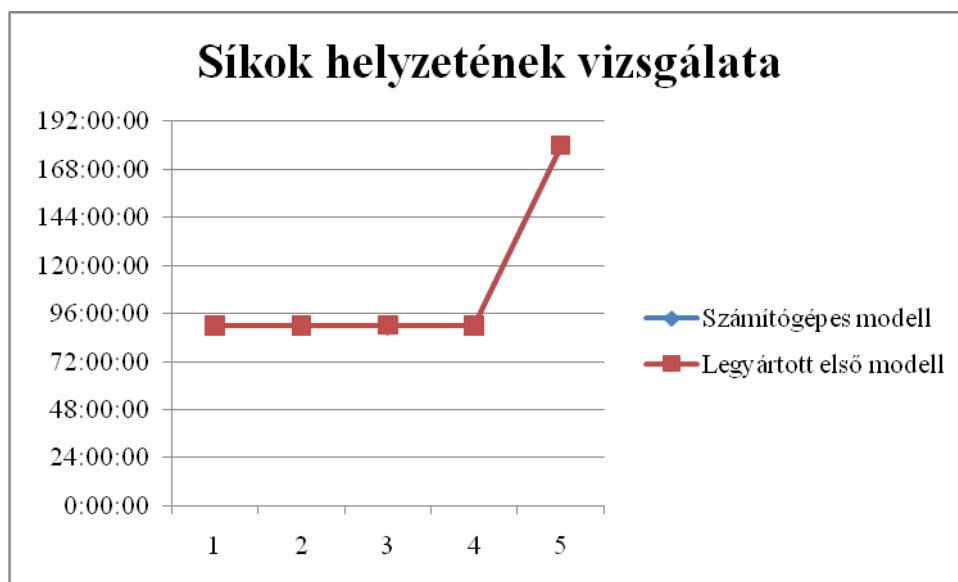
51. ábra: A két modell vízszintes, felső laptól mért horonytávolságának eltérése

Legutolsó lépésként, amikor már végeztünk a negyedkörök és hornyok vizsgálatával is, az egyes oldallapok helyzetét vizsgáltuk meg. Ez azt jelenti, hogy összehasonlítottunk két oldallapot bezárt szög szempontjából, tehát megvizsgáltuk, hogy ténylegesen merőlegesek vagy párhuzamosak-e. A mérési eredmények az 52. ábrán lévő táblázatban láthatók.

Síkok helyzetének vizsgálata		
	Legyártott első modell	RE-s modell
Bal és Felső lap (szög)	89:56:47	90:01:56
Elöl és Felső (szög)	90:00:40	90:05:05
Jobb oldal alsó pontja és Gauss szög (Y)ban	90:10:43	89:59:59
Jobb oldal alsó pontja és Gauss szög (Z)ben	90:07:17	89:49:21
Jobb oldal és Bal oldal által bezárt szög	179:55:44	179:44:45

52. ábra: Síkok helyzetének vizsgálata

A mérési eredmények alig térnek el a 90° , illetve 180° -tól. Az eltérés oly csekély, hogy az 53. ábrán látható diagramon a legyártott modell pontjai teljesen lefedik az eredeti modell pontjait.



53. ábra: A két modell síkjai által bezárt szögek eltérése

Összegzés

Az eredményeket kiértékelve kijelenthetjük, hogy a legpontosabb a síkok közti merőlegesség, valamint a párhuzamosság, itt volt a legkisebb az eltérés. Az ezután következő legpontosabb eredményeket a horonymélységek adták, függetlenül attól, hogy függőleges vagy vízszintes horonyról van-e szó, csupán századokkal tértek el az eredeti 3D-s modelltől. A hornyok és a belső vagy éppen felső oldaluktól mért lap távolság viszont már 0,1 mm-ben tért el az

eredetitől. Végül a negyedkörök mondhatók a legpontatlanabbaknak, mivel itt is jellemző volt a 0,1 mm-es eltérés, viszont volt olyan átmérő is, amely 0,326 mm-rel tért el az eredetitől.

Az előzőekben felsorolt pontatlanságok adódhatnak abból, hogy a marógép tartalmaz egy forgatóegységet és amikor egy oldallal végzett, automatikusan forgatja a modellt mindaddig amíg minden oldalon el nem végezte a marást, tehát forgatáskor a darab nem pontosan került a helyére a forgatás után.

7. Legyártott modell beszkennelése és felépítése

A mérési feladatok végrehajtása után a következő feladat az alkatrész felületelemeinek beszkennelése volt. A beszkenvelt ponthalmazok bevitele után a szkennelt képeket ki kellett manuálisan és automatikusan is javítanunk zajszűrés szempontjából, majd a javított képeket összerendezni egy modellé. Következő lépésként még tovább kellett javítani az így összeállt, ha ez elkészült megkezdhattuk a háromszögháló fektetését a modellre. Végül síkok illesztésével megkaptuk a Reverse Engineering-gel előállított modell képét.

Szkenelési beállítások

A szkennelés első lépéseként a modellt be kellett helyoznünk a szkennerbe a forgó tárcsára, mégpedig úgy, hogy stabilan álljon, hogy szkennelés közben ne mozduljon el. Ez az elhelyezés az 54. ábrán látható.



54. ábra: A darab pozíciója a szkennerekben

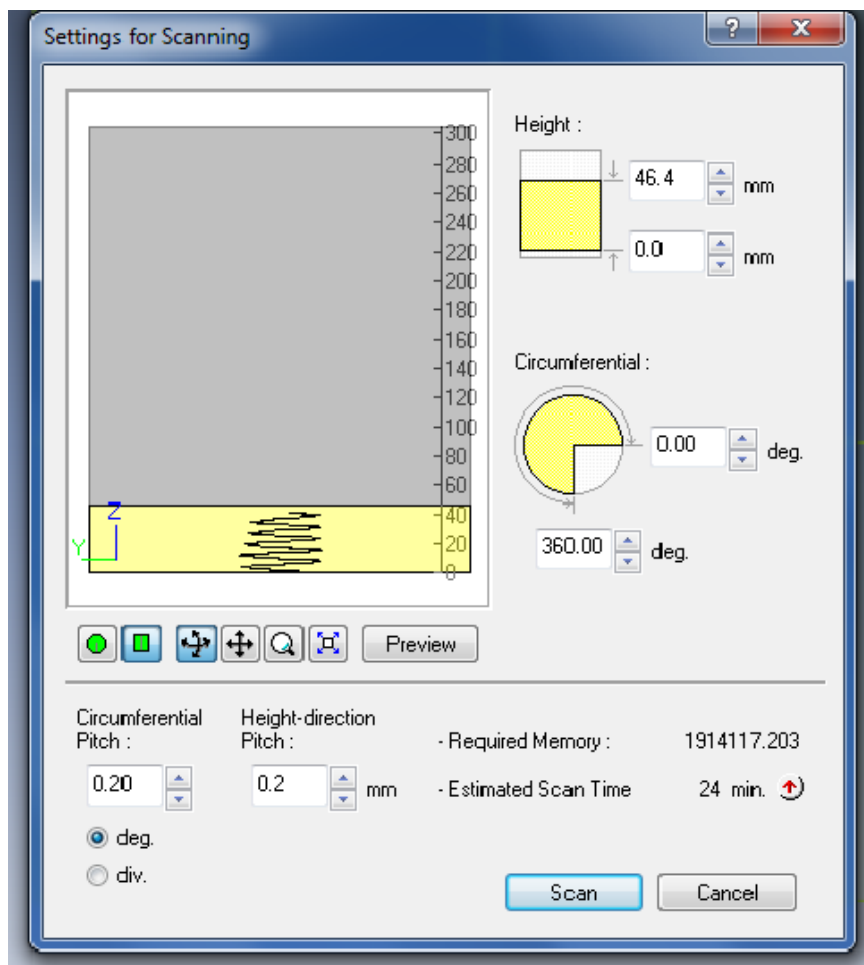
Ezt követően megnyomtuk a szkenneren látható gombot, majd elindítottuk a szkennerekhez tartozó Pixform Pro2 felületillesztő programot és a továbbiakban ezzel dolgoztunk. Beállítottuk az Insert fül, Scanner Direct Control-on belül a ROLAND LPX szkennert. Majd

ki kellett választanunk, hogy melyik szkennert akarjuk csatlakoztatni. Itt megadtuk az LPX-60 típusút, majd a szkennelés típusát kellett beállítanunk: rotációs (Rotational Scan) vagy síkbeli (Planar Scan) szkennelés. A rotációs szkennelést választottuk, amelynek folyamata a következő: a tárgyasztal forog, míg a lézersugár végig nem szkennel az adott magassághoz tartozó pontokat, majd ha ezzel végezett (amikor újra a kezdőponthoz ér), eggyel feljebb megy, ahol szintén elvégzi ugyanezt, egészen addig, amíg el nem éri a darab tetejét. Tehát a darab folyamatosan mozog és a szkennelési pálya tulajdonképpen olyan, mint egy csavarmenet. A síkbeli szkennelés pedig úgy működik, hogy kiválaszt egy kezdő felület és azt a felület tapogatja le folyamatosan, majd megadunk egy szöveget ami alapján továbbugrik a következő felületre. Azért választottuk tehát a rotációs szkennelést, mert a kiegyensúlyozott dinamika miatt előnyösebb. Kipipáltuk azt az opciót, hogy Points Only, tehát csak a pontokat szeretnénk megjeleníteni, mivel a síkokat mi szeretnénk illeszteni. Ezzel azt adtuk meg, hogy a letapogatott ponthalmazt rögtön importálja, be a programba. Az importálási ablak az 55. ábrán látható.



55. ábra: Szkennelés módjának beállítása

Mielőtt elkezdtük volna a szkennelést, még beállítottunk pár paramétert a Settings for Scanning opcióban. Itt beállítottuk a pontosságot, mégpedig a Kerületi Pontosság (Circumferencial Pitch) és a Magassági Pontosság (Height-direction Pitch) minimumra vételével. Ezután behívtunk egy előképet, amire azért volt, hogy a szkennert ne menjen olyan magasságba, ahol már nem is kell mérni, hanem végezzen el egy előszkennelést, amiben meghatározza a szükséges magasságot, illetve kiírja a szkenneléshez szükséges időt. Ez általában 22-25 perc volt, szkennelést 5 oldalról végeztük el, tehát ötször állítottuk be ugyanezeket az értékeket. Azért végeztük el csak 5 oldalról, mert ennyi oldalról már elegendő adatot kapunk a teljes modell felépítéséhez, nem szükséges a hatodik oldalt is beszkennelnünk. A szkennelési beállítások az 56. ábrán láthatók.

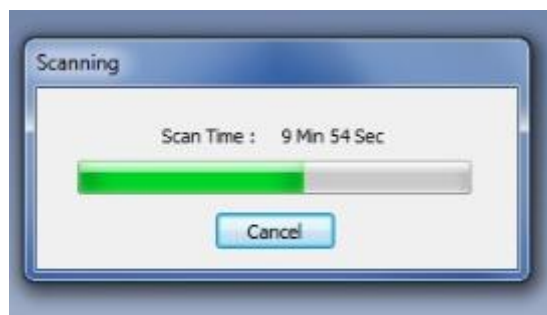


56. ábra: Szkennési beállítások

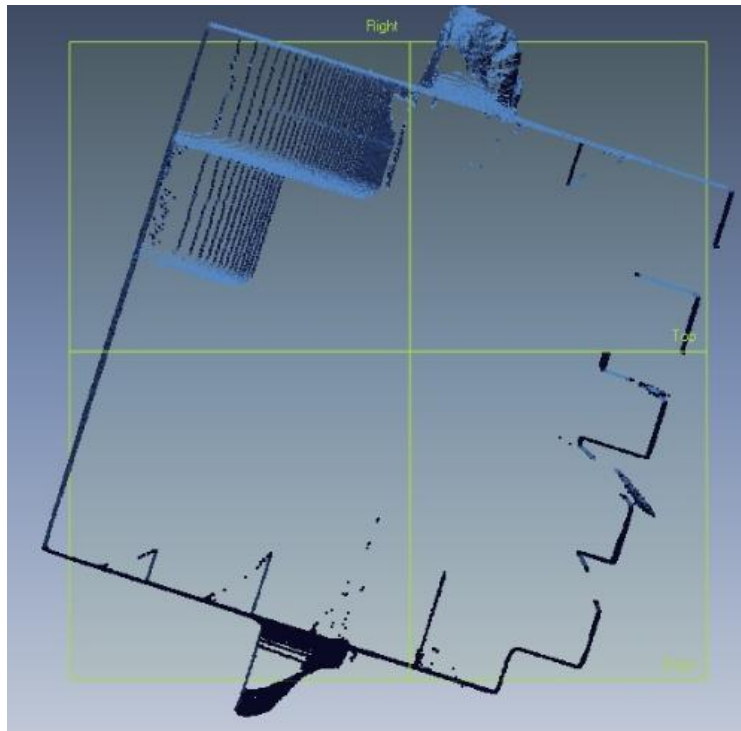
Ebből is láthatjuk, hogy értékelhető pontok csak 46,4 mm-ig voltak, ami jelentősen lerövidítette a szkennelési időt. Ezután megkezdtuk a tényleges szkennelést.

Szkennelési képek zajszűrése és összekapcsolása

A szkennelés aktuális állapota az 57. ábrán látható. A szkennelés előre haladtával egyre tisztább képet kaptunk, amely az 58. ábrán látható.



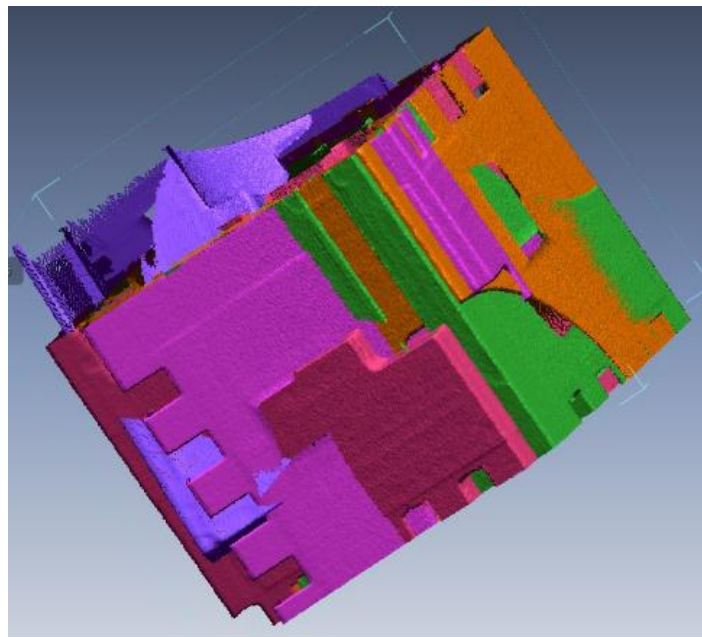
57. ábra: Szkennelés állapota



58. ábra: Beszkennelt pontok képe

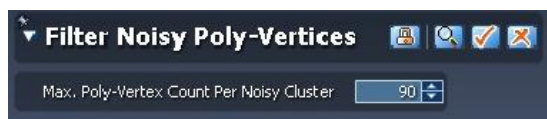
Ha befejeződött a szkennelés eldönthetjük, hogy elégedettek vagyunk e a kapott eredménnyel, vagy új szkennelést szeretnénk végezni. Miután elfogadtunk, a már előzőekben említettekhez híven, még elvégeztük ezt a metódust négyszer.

Az 5 kép beszkenelése után az 59. ábrán látható kép jelent meg.

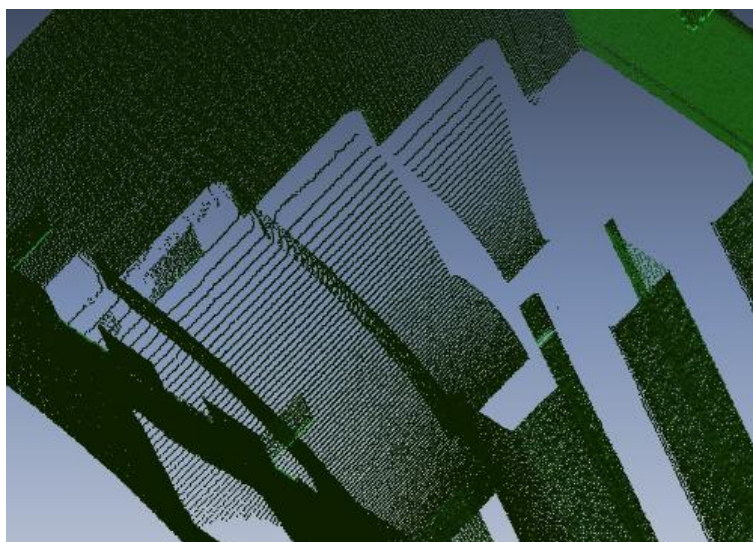


59. ábra: Öt oldalról végzett szkennelési eredmények

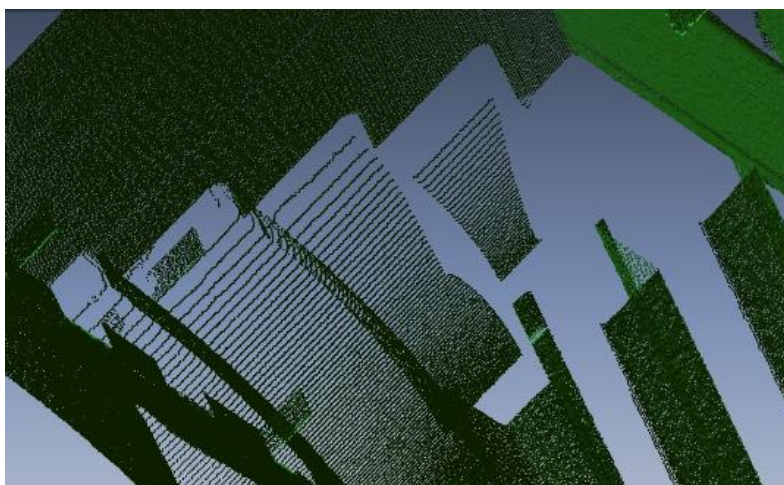
A szkennelést jól elvégezte a gép, csak a kapott adatok nincsenek összerendezve, nekünk azt kellett megtennünk, hogy az összes képet egy egészként rakjuk össze. Előtte viszont minden egyes képen elvégeztük a zajszűrést és a kisebb javításokat. Ezt a Pontfelhő (Point Cloud), Zajszűrés (Filter-Noisy Poly-Vertices) fül alatt tudtuk megtenni. A zajszűrés értékének beállítása tulajdonképpen azt jelenti, hogy ha egy adott csomópontban 90 tagnál kevesebb pont van, akkor azt a csoportot eltávolítja. A Zajszűrés értékek beállítása a 60. ábrán látható. A 61. és 62. ábrán a Zajszűrés előtti és utáni kép látható, hogy megfigyelhessük a különbségeket.



60. ábra: Zajszűrés értékének beállítása



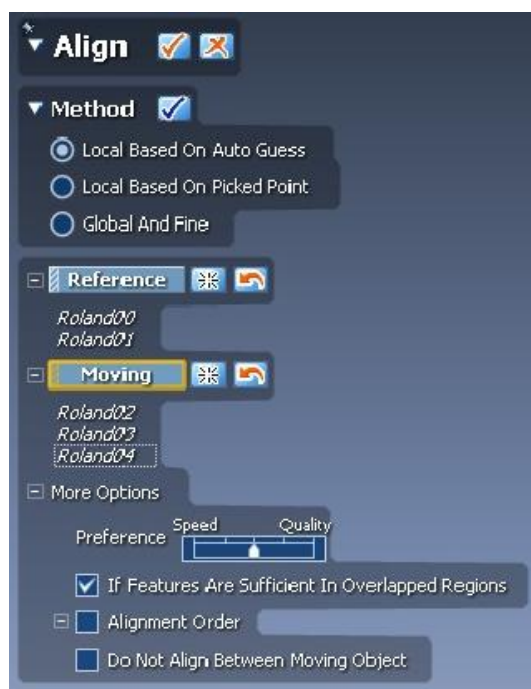
61. ábra: Beszkennelt ponthalmaz zajszűrés előtt



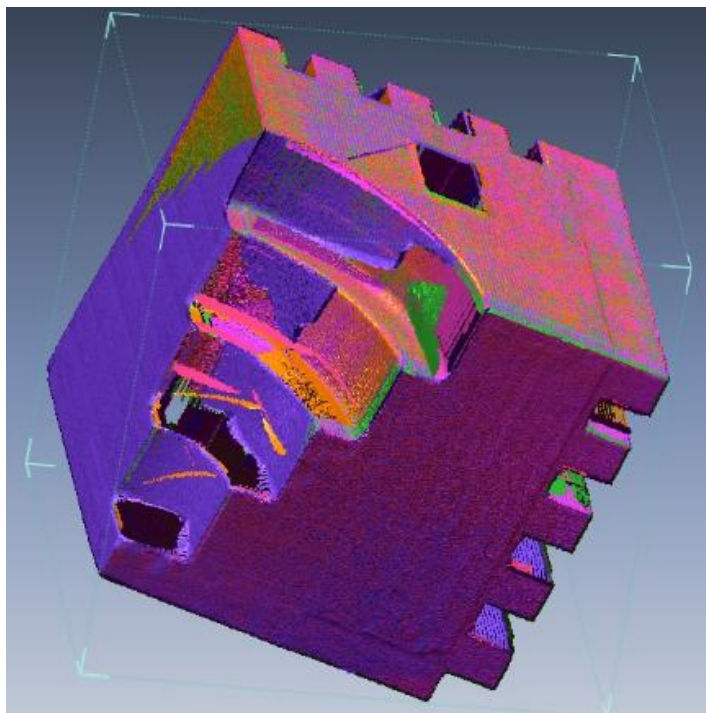
62. ábra: Beszkennelt ponthalmaz zajszűrés után

A zajsztűrés nagy részét így el meg lehetett oldani, viszont még mindig maradtak olyan kósza ponthalmaz csoportok, amik különálltak az egységes felületektől. Ezeket manuálisan kellett eltávolítanunk, a Ponthalmaz (Point Cloud) földre kattintva, alul kiválaszthattuk a kijelölés fajtáját (téglalapos, sokszöges és más egyéb opció). A sokszöges kijelölés választottuk, hiszen ennek segítségével szabadon adhattuk meg az eltávolítani kíván területeket, amin belül a kósza ponthalmazok voltak. Ezen kívül levágtuk a fölösleges részeket is (a gyártás után megmaradt híd csonkot inkább így távolítottuk el, mint levágtuk, mivel így nem biztosan nem tettünk kárt a felületben, ami adott esetben a felesleges részek lefűrészelésekor megtörténhetett volna). Ezt a műveletet elvégeztük mind az 5 beszkenelt ponthalmazon.

Miután elvégeztük a zajsztűrést, a letisztult képeket már összerendezhettük. Ezt az Eszközök (Tools), Szkenelési eszközök (Scan Tools), Elrendezés (Align) opció segítségével végeztük. Először a kézi illesztést választottuk ki két szkennelési képen. Ez azt jelenti, hogy manuálisan megadtunk 10 pontot mindkét képen, amely szerint egymásra igazította a képeket a program. Ezután egy másik paranccsal a többi képet már csak hozzárendeltük a már két összekapcsolt képhez. Viszonyított (Reference) síkoknak a már előzőleg kiválasztott síkokat választottuk, Mozgatható (Moving) síkoknak pedig az összes többit. Ekkor a program a referencia képek pontjaitól való távolságokat veszi figyelembe és e szerint illeszti össze a képeket. Az összerendezési beállításokat a 63. ábra szemlélteti, az összerendelés utáni kép pedig a 64. ábrán látható.



63. ábra: Összerendezési beállítások



64. ábra: Szkennelési kép összerendelés után

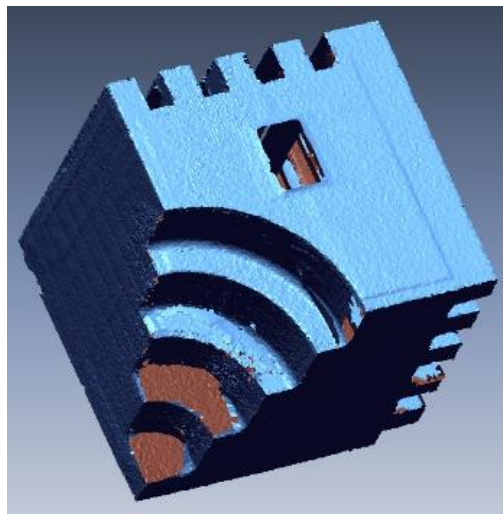
A képek összerendezése után még láthatunk különböző ponthalmazokat, amelyek nincsenek jó helyen (főleg az íveknél), tehát azokat a már leírt módon eltávolítottuk szintén.

Háló kiépítése

A soron következő művelet a Háló (Mesh) kiépítése. Ez elsősorban a lyukak eltávolítását jelenti. Ehhez a művelethez a Háló kialakítása (Mesh) és azon belül a Háló felépítése (Mesh Build up wizard) gombot választottuk. Itt elsőként megváltoztathattuk az összerendezést (amit az előzőekben létrehoztunk az Align paranccsal). Mi jónak találtuk a kialakított képet, így ezen nem változtattunk. A következő pontban a háromszöghálóval (Retriangulate) kapcsolatos beállításokat kellett meghatároznunk. A Háló sűrűségét (Mesh Density), a lehető legsűrűbbre állítottunk, azért, mert minél sűrűbb a háló, annál pontosabb a kép. Ezenkívül a beállíthattuk az újabb zajszűrést és így a felesleges pontok eltávolítását. Az illesztett háló paramétereinek beállításait a 65. ábra szemlélteti, a végleges háromszöghálóval rendelkező modell 3D-s képe pedig a 66. ábrán látható.



65. ábra: Illesztett háromszögháló paraméterei



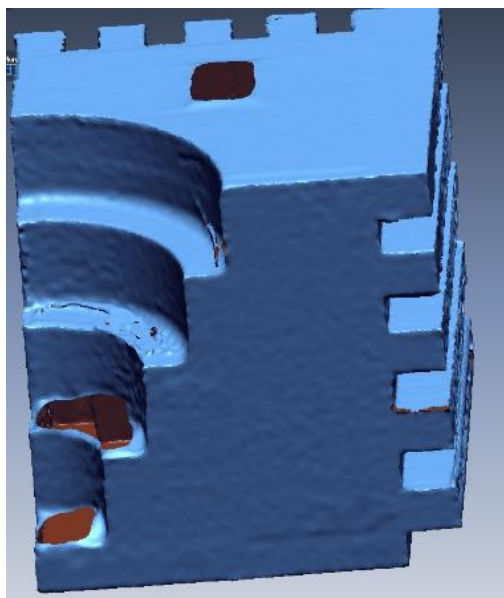
66. ábra: Illesztett háromszögháló

Utolsó lépésként az Élességet (Sharpness) és a Simaságot (Smoothness) állítottuk be a 67. ábrán látható értékekre.



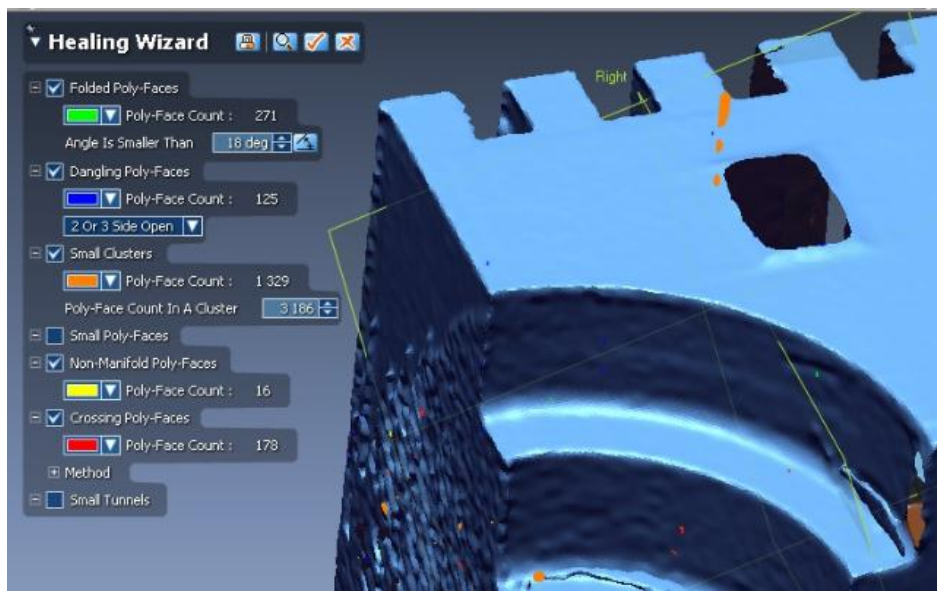
67. ábra: Háromszögháló élességének és érdességének paraméterei

A véglegesen kialakított háromszöghálót szemléltető modell a 68. ábrán látható.



69. ábra: Véglegesen kialakított háromszögháló

A modellt tovább javíthatjuk a Hibák keresése (Find defect) opció kiválasztásával, illetve a Javítás varázslóval (Healing wizard), amely az stl hibákat javítja meg, például a háromszögek kereszteződését. Mindkét parancs kiválasztásakor a különböző hibákat különböző színekkel jelöli, ami a 70. és a 71. ábrán látható.

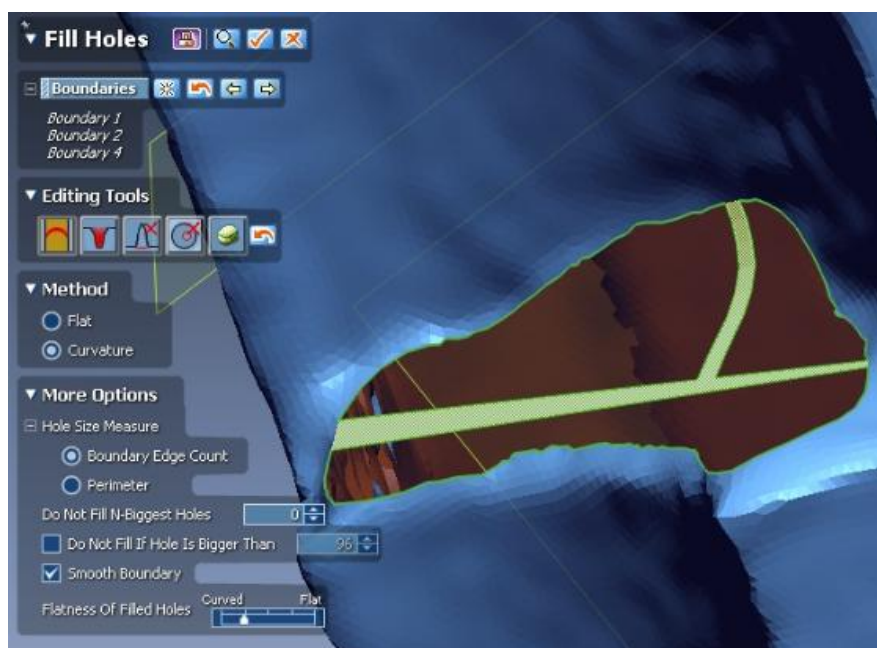


70. ábra: Javítandó hibák



71. ábra: Hibák keresése opció

A Felület simítása (Smooth) fül alatt a felületi egyenlőtlenségek mértéket javítottuk ki. A következő lépésben pedig a lyukak befoltozását végeztük el, mégpedig a Lyukak kitöltése (Fill holes) opció kiválasztásával. Első lépésben kijelöljük a betölteni kívánt lyuk Határait (Boundaries). Ezután meg kell adnunk a „hidakat”, amelyek mentén ki akarjuk tölteni (minél több hidat adunk meg, annál pontosabb lesz a kitöltés). Ezt megadva a program automatikusan elvégzi a kitöltést. A hidak kialakítását szemléltető kép a 72. ábrán látható.



72. ábra: Hidak kialakítása

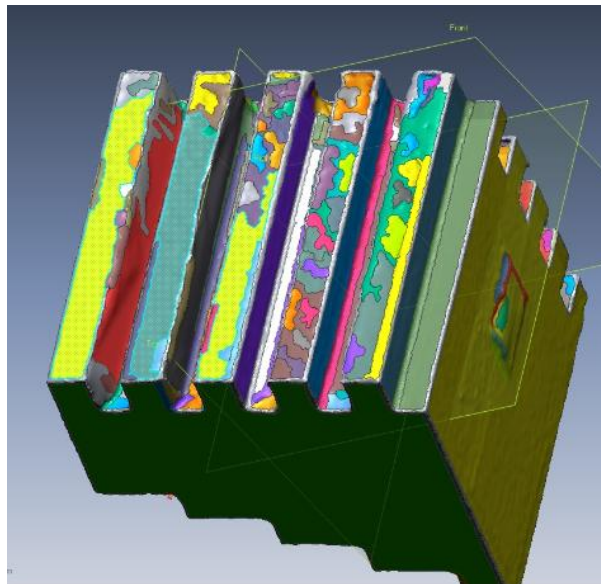
Régiók kialakítás és síkok illesztése

Következő lépés az eddig kialakított modellháló Régiókba foglalása (Region Group) volt. Ehhez csak egyszerűen rákattintottunk a Régiókba foglalás gombra.



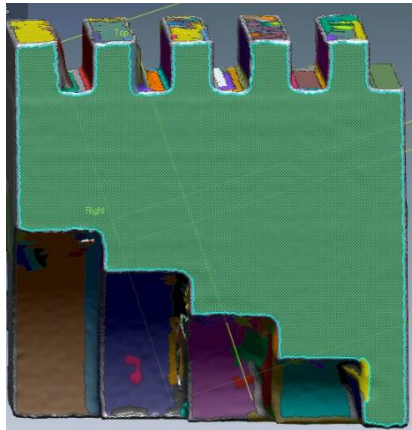
73. ábra: Régiók összevonása opció

Ez a művelet viszont nagyon sok régióra bontotta magát a modellt, így utólag manuálisan össze kellett kapcsolnunk felületeket, amelyeket kisebb részekre darabolt. Ez a 73. ábrán látható Hozzáfűz (Append) paranccsal tudtuk megtenni. Ekkor ki kellett jelölni az összekapcsolni kívánt régiókat, amelyek egy síkhoz tartoznak, például a 74. ábrán látható összes horony, összes régiójának területét ki kellett jelölni és összekapcsolni, hiszen a hornyok mind egy síkon vannak.



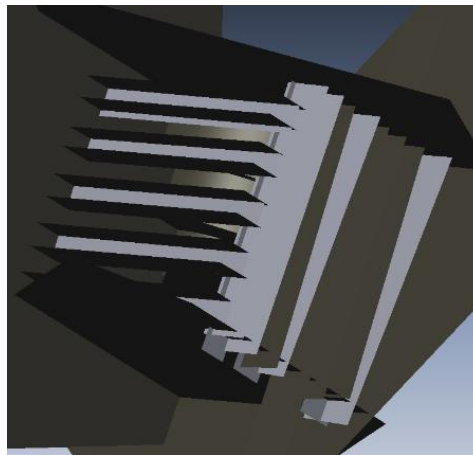
74. ábra: Régiókra osztás

Miután az összes összetartozó síkot hozzákapcsoltuk a megfelelő alaprégióhoz, akkor a következő lépésként a Síkok illesztését (Mesh Fit) kellett elvégeznünk, amit a 75. ábra szemléltet.

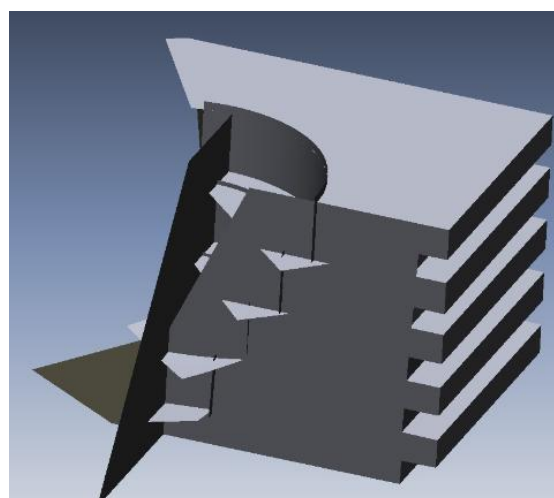


75. ábra: Sík illesztése adott felületre

A különböző felületekre (hornyokra, körívekre) fektetett síkok helyzete, elrendezése a 76. és 77. ábrán látható.

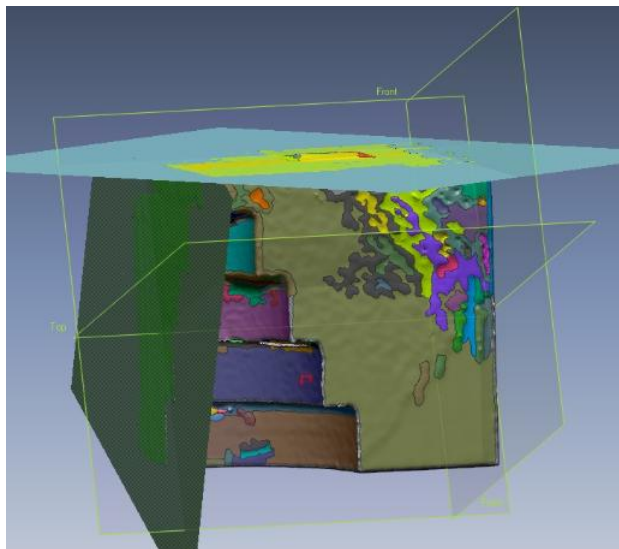


76. ábra: Illesztett síkok a hornyoknál



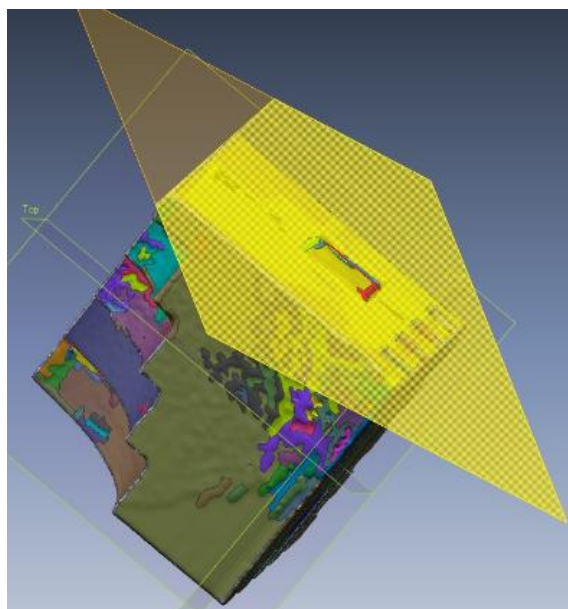
77. ábra illesztett síkok a negyed körívknél

Miután minden egyes felületre ráillesztettünk egy síkot, utána már nem volt más teendőnk, mint a Metszés (Trim) paranccsal a síkok metszését elvégezni, amely a 78. ábrán látható.



78. ábra: Síkok metszése

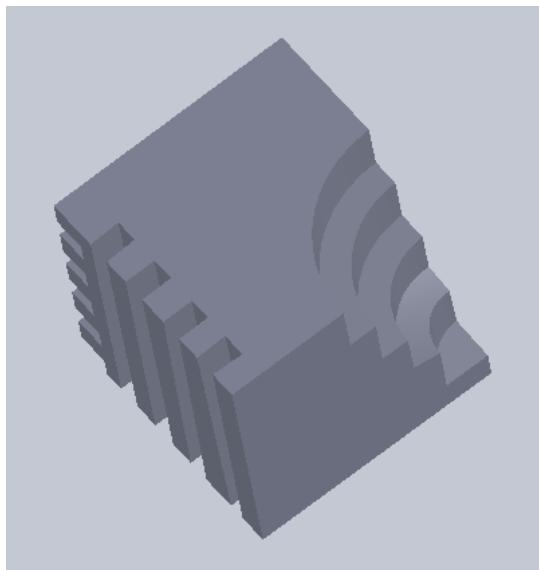
Ekkor ki kellett választani, hogy a síkok metszése során melyik az a rész, amelyet meg szeretnék tartani. Az ezen kívül eső részeket pedig a program eltávolítja, ahogy a 79. ábrán látható.



79. ábra: Síkok metszéséből megmaradó felület

Miután az összes síkot elmetszettük és eltávolítottunk a szükségtelen részeket a modell elkészült. Végző lépésként már csak exportálnunk kellett IGES formátumba, amelyet így

mind Solid Works-be, mind a marógép CAM-es szoftverjébe is be tudunk importálni. Az elkészült modellt a 80. ábra szemlélteti.



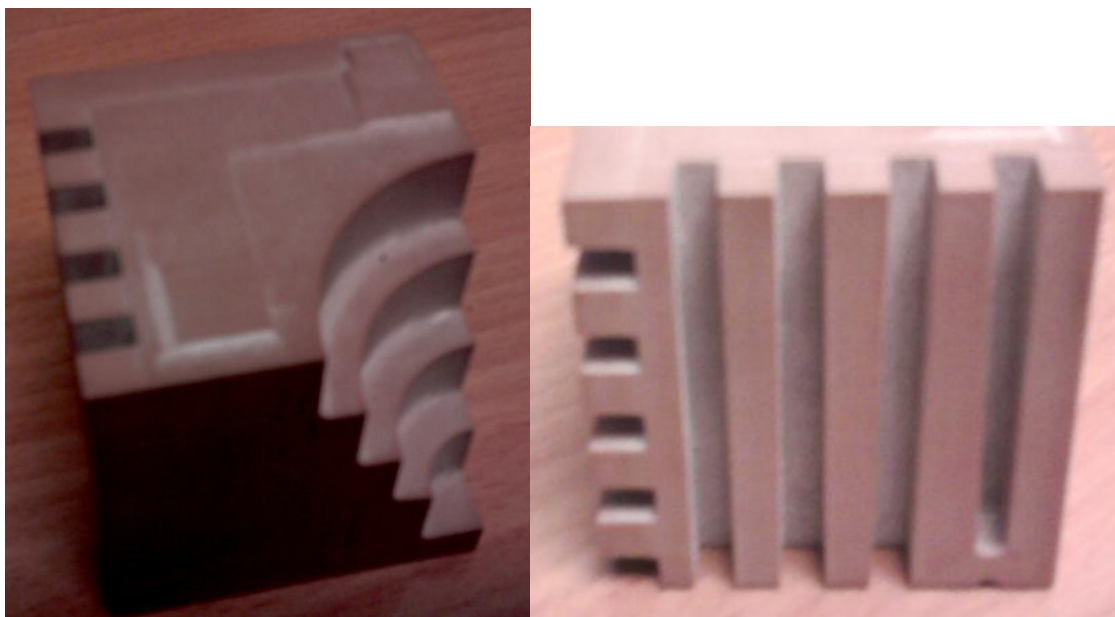
80. ábra: Elkészült modell

8. Reverse Engineering-gel előállított modell gyártása és visszamérése

Az előző fejezetben leírt módon létrehozott modellt STL formátumban mentettük el, ugyanúgy, mint a Modellezés fejezetben, Solid Works programban megalkotott 3D-s modellt. Ezután a gyártási és mérési folyamatot végeztük el.

A gyártási folyamatot ugyanazzal a marógépen, ugyanazon befogással és szerszámokkal végeztük el, természetesen ugyanazzal a szerszámpálya programmal. Ez azért volt nagyon fontos, mert azt akartuk, hogy minden ugyanúgy történjen meg, mint az eredeti modell gyártásakor, tehát ne lehessen méréskiértékelésnél eltérés amiatt, hogy például már maróval végeztük el inkább mégis a gyártást, mert úgy pontosabb. A valódi eredményeket szeretttük volna megkapni, emiatt végeztük el a mérést is ugyanazzal a programmal, melyet az eredeti modellre írtunk meg.

A modell legyártása után a darabot szemrevételezéssel átvizsgálva márt találtunk egy látható pontatlanságot. A függőleges hornyok közül az 1.-nél (az előbbiekben már ismertetett 41. ábra alapján értelmezett 1. horony) a 3-as átmérőjű gömbmaró nem tudta végig kimarni a hornyot. Eredetileg úgy van a gyártásprogram megírva, hogy a 4 mm széles hornyon a 3 mm átmérőjű gömbmaró egyszer végighalad ez egyik irányba, ahol kimar 3 mm nagyságú sávot, majd 1 mm-el arrébb jön visszafele és kimarja a maradék 1 mm-es sávot is. Az említett horonynál 80%-ban teljesítette is ezt a feladatot, viszont a maradék 20%-ban már nem tudta, mert a horony szélessége szemmel láthatóan növekszik, ami miatt már a 3 mm-es gömbmarónak nem volt elég helye. Tehát a mérésprogramot ennyiben módosítanunk kellett: ezen a horonyon nem tudta felvenni az oldallaphoz tartozó távolságot, így ennél a horonynál ezt a lépést kihagytuk. A legyártott darab és látható hibája a 81. ábrán látható.



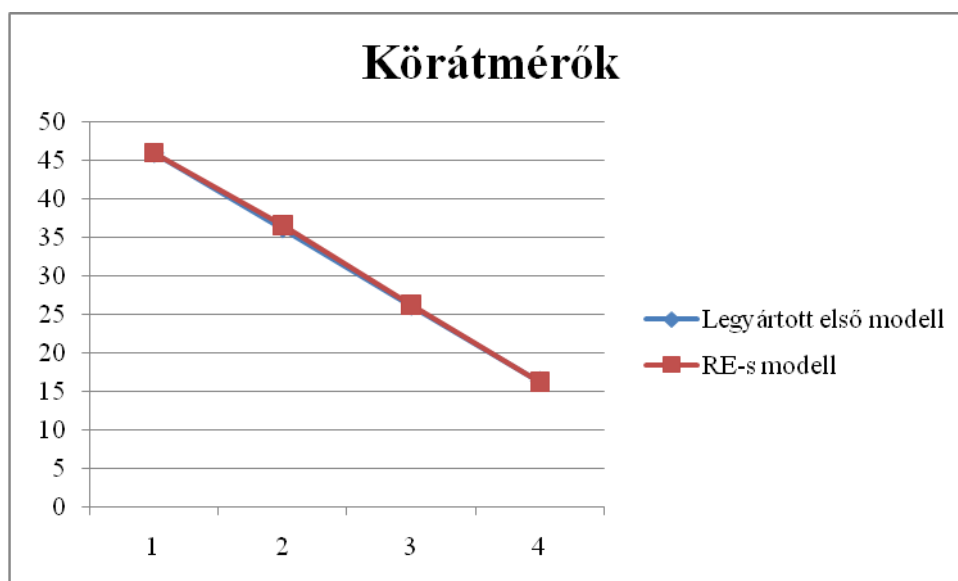
81. ábra: A legyártott Reverse Engineering-gel létrehozott modell

A mérésprogram tehát ugyanaz volt, mint az előző mérésnél az előzőekben leírt változtatást kivéve. Elsőként a RE-gel létrehozott modellnél is a negyedkörök átmérőjét határoztuk meg, melynek eredményei a 82. ábrán láthatók.

Körátmérők		
Megnevezés	Legyártott első modell	RE-s modell
Legfelső körív átmérője	45,943	46,015
Második körív átmérője	36,145	36,656
Harmadik körív átmérője	26,083	26,27
Negyedik körív átmérője	16,326	16,301

82. ábra: Negyedkörök átmérőinek mérete

A RE-gel megalkotott modell negyedköreinek átmérői mind nagyobbak, mint a számítógépes modell átmérői, kivétel a legutolsó körnél, ahol egyébként a legkisebb az eltérés. Az eltérések mértéke változó, hiszen a legfelső körív után a második körívnél jóval nagyobb az eltérés, viszont ezután meg újra elkezdi csökkenni az eltérés mértéke, míg végül a legalsó átmérőhöz tartozó 0,025 mm-es minimális eltérést el nem éri. Ha jól megnézzük a 83. ábrán látható diagramot, akkor a második mért pont körül észre is vehetjük, hogy az egyenes eltér, hiszen a maximális eltérés éppen itt van, értéke pedig 0,511mm. Ahogy haladunk tovább a RE-gel megalkotott modell mért pontjai egyre jobban idomulnak a másik mért pontokhoz. Az átlagos eltérés viszont: 0,199 mm.



83. ábra: A két modellhez tartozó átmérők méreteinek eltérése

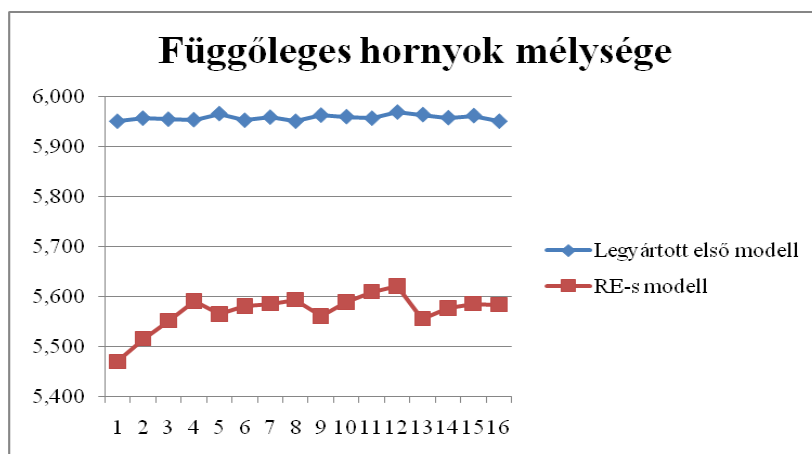
A következő lépésben a függőleges horonymélységek eltérést vizsgáltuk, melyek eredménye a 84. ábra táblázatában láthatók.

Függőleges horonyok mélysége		
Megnevezés	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Függőleges horony mélység 1.pont	5,951	5,470
1. Függőleges horony mélység 2.pont	5,957	5,516
1. Függőleges horony mélység 3.pont	5,955	5,552
1. Függőleges horony mélység 4.pont	5,954	5,591
2. Függőleges horony mélység 1.pont	5,966	5,565
2. Függőleges horony mélység 2.pont	5,953	5,581
2. Függőleges horony mélység 3.pont	5,959	5,586
2. Függőleges horony mélység 4.pont	5,951	5,594
3. Függőleges horony mélység 1.pont	5,963	5,561
3. Függőleges horony mélység 2.pont	5,960	5,589
3. Függőleges horony mélység 3.pont	5,957	5,610
3. Függőleges horony mélység 4.pont	5,969	5,621
4. Függőleges horony mélység 1.pont	5,964	5,556
4. Függőleges horony mélység 2.pont	5,958	5,577
4. Függőleges horony mélység 3.pont	5,962	5,586
4. Függőleges horony mélység 4.pont	5,951	5,584

84. ábra: Függőleges horonyok mélységének értéke

Az eltérések tized nagyságúak, a legkisebb eltérés 0,347 mm és az értékek 0,350-0,450 mm között ingadoznak. Az átlagos eltérés: 0,387 mm. Az eltérések vizuális megjelenítése a 85.

ábrán látható. Ha megnézzük a diagramot, látható, hogy a RE-gel létrehozott modell hornyainál mért pontok nagyon inkadozóak, az eredeti modellhez és önmagukhoz képest. is.



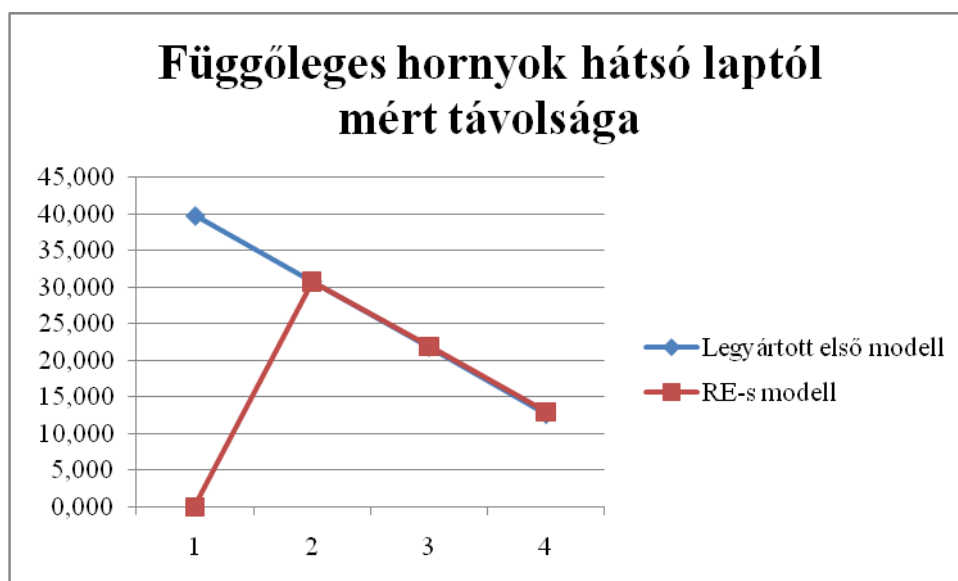
85. ábra: A két modell függőleges horonymélységének eltérése

A függőleges hornyok megvizsgálása után a függőleges hornyok belső oldalának és a hátsó oldallapnak a távolságát mértük, melynek eredményei a 86. ábrán láthatók.

Függőleges hornyok hátsó laptól mért távolsága		
	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	39,827	nem mérhető
2. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	30,863	30,744
3. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	21,864	21,932
4. Függőleges horony jobb oldala és hátsó oldal táv.	12,672	12,988

86. ábra: Függőleges hornyok hátsó laptól mért távolsága

Az előbbieken már leírt okok miatt az első horony belső részénél nem mértünk távolságot, tehát kevesebb adatból vonunk következtetéseket le következtetéseket. Az második horonymnál a legnagyobb az eltérés mértéke, amely 0,119 mm, a harmadik horonyoknál az eltérés csökken, majd a negyedik horonymnál ez az érték nő, viszont csak kis mértékben, így az eltérés még 0,1 mm-en belül marad. Az átlagos eltérés mértéke 0,092 mm. A kiértékelés diagramja a 87. ábrán található, ahol láthatjuk, hogy a két egyenes szinte egybeesik a második pontot követően.



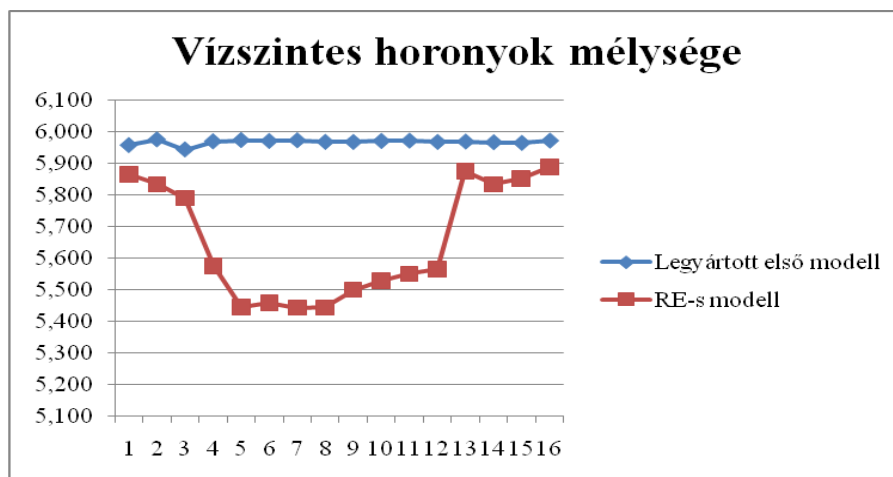
87. ábra: A két modell függőleges, hátsó laptól mért horonytávolságának eltérése

Miután megmértük a függőleges hornyok általunk legfontosabbnak ítélt méreteit, megkezdtünk egy hasonló vizsgálatot a vízszintes hornyoknál is, melynek eredményeit a 88. ábrán látható táblázat tartalmazza.

Vízszintes hornyok mélysége		
	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,958	5,865
1. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,976	5,834
1. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,944	5,790
1. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,970	5,575
2. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,974	5,446
2. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,971	5,458
2. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,973	5,443
2. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,968	5,444
3. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,968	5,500
3. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,971	5,528
3. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,972	5,551
3. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,968	5,565
4. Vízszintes horony mélység 1.pont	5,969	5,876
4. Vízszintes horony mélység 2.pont	5,967	5,834
4. Vízszintes horony mélység 3.pont	5,965	5,852
4. Vízszintes horony mélység 4.pont	5,972	5,889

88. ábra: Vízszintes hornyok mélységének értéke

A vízszintes horonymélységek eltérése az eredeti modellhez képest tizedes nagyságú, az átlagérték 0,315 mm körül ingadozott, a maximális eltérés pedig 0,530 mm. Az összehasonlító táblázat a 89. ábrán látható, melyről leolvasható, hogy a pontok csak az első három és utolsó négy mért szélén térnek el kevésbé az eredetitől, a kettő között az eltérés mértéke sokkal nagyobb.



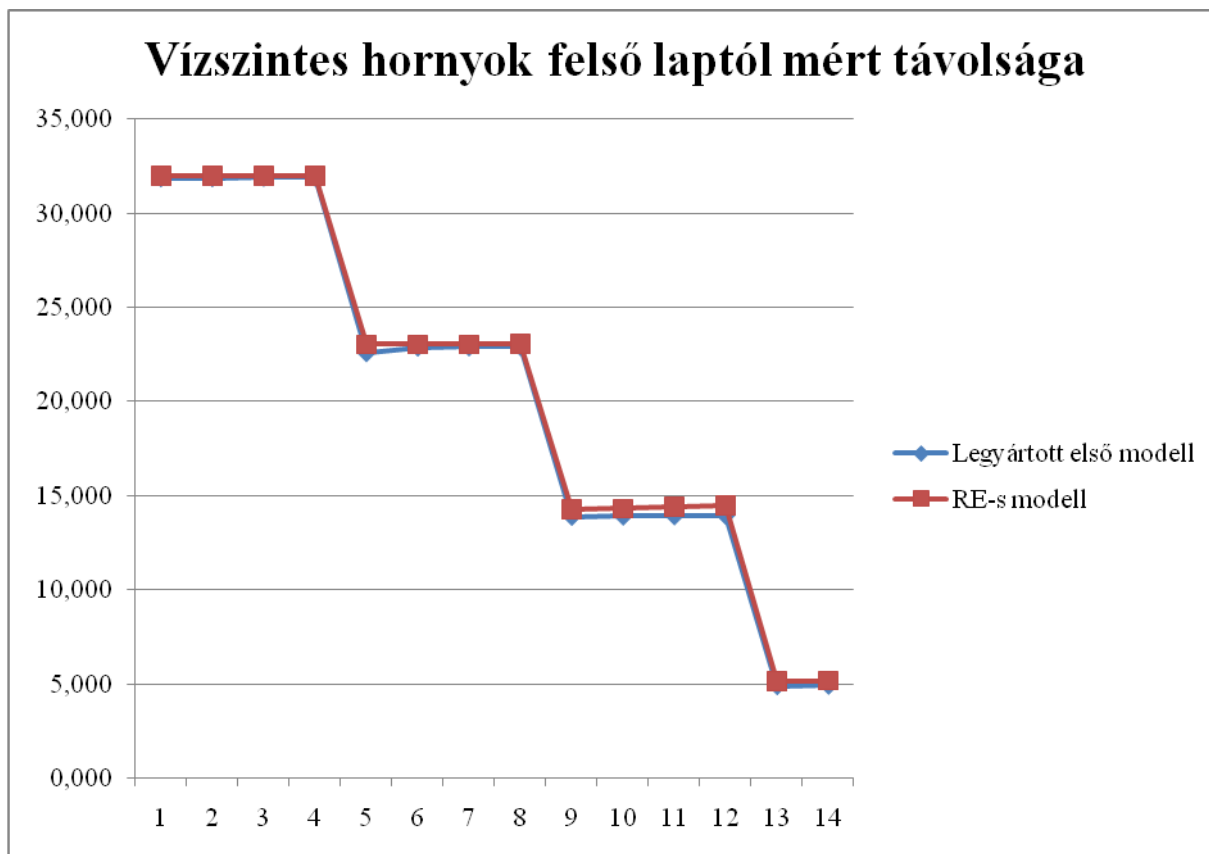
89. ábra: A két modell vízszintes horonymélységének eltérése

A vízszintes hornyok mélységének megmérése után itt is mértünk egy horony és oldallaptól való távolságot, melynek eredményei a 90. ábrán láthatók.

Vízszintes hornyok felső laptól mért távolsága		
	Legyártott első modell	RE-s modell
1. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	31,873	31,977
1. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	31,878	31,979
1. Vízszintes horony 3.pont felső lap táv	31,897	31,985
1. Vízszintes horony 4.pont felső lap táv	31,903	31,991
2. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	22,579	23,033
2. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	22,882	23,037
2. Vízszintes horony 3.pont felső lap táv	22,894	23,042
2. Vízszintes horony 4.pont felső lap táv	22,906	23,058
3. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	13,893	14,279
3. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	13,908	14,318
3. Vízszintes horony 3.pont felső lap táv	13,921	14,412
3. Vízszintes horony 4.pont felső lap táv	13,939	14,462
4. Vízszintes horony 1.pont felső lap táv	4,900	5,150
4. Vízszintes horony 2.pont felső lap táv	4,922	5,164

90. ábra: Vízszinteses hornyok felső laptól mért távolsága

A hornyok felső oldala és a kockaszerű test felső lapja közötti távolság tized nagyságú, pontosabban 0,235 mm körül ingadozik. Ahogyan a 91. ábrán is megfigyelhetjük ez az eltérés azonban nem egyenletes. Az első horonynál még nem okoz jelentősebb eltérést, az értékek által alkotott két egyenes szinte fedi egymást, illetve a negyedik horonynál is ez a helyzet. A két középső horonynál viszont a diagramon is jól észlelhető a nagyobb mértékű eltérés.



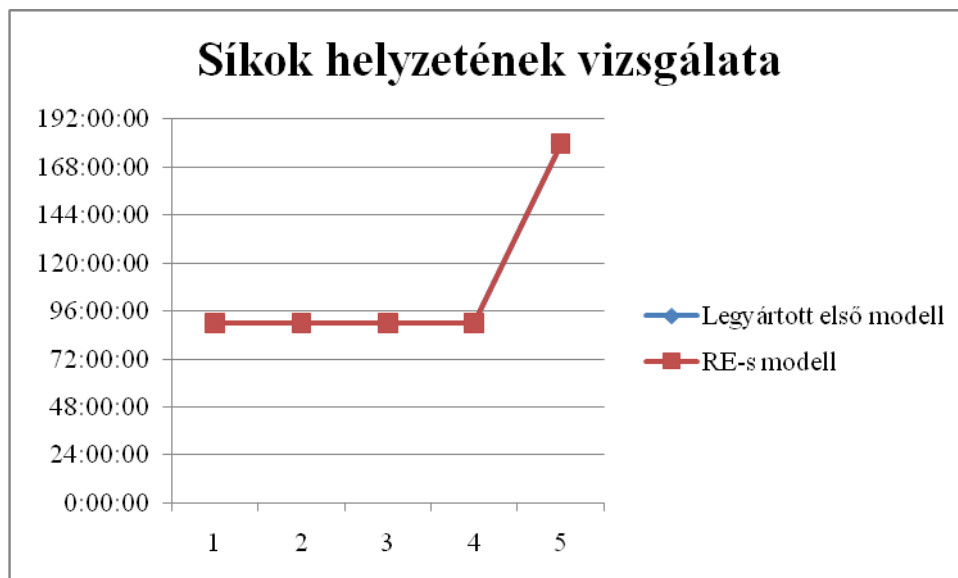
91. ábra: A két modell vízszinteses, felső laptól mért horonytávolságának eltérése

Legutolsó lépésként, amikor már végeztünk a negyedkörök és hornyok vizsgálatával is, az egyes oldallapok helyzetét vizsgáltuk meg. A mérési eredmények a 92. ábrán lévő táblázatban láthatók.

Síkok helyzetének vizsgálata		
	Legyártott első modell	RE-s modell
Bal és Felső oldal bezárt szöge	89:56:47	90:01:56
Elöl és Felső oldal bezárt szöge	90:00:40	90:05:05
Jobb oldal alsó pontja és Gauss sík bezárt szöge (Y)ban	90:10:43	89:59:59
Jobb oldal alsó pontja és Gauss sík bezárt szöge (Z)ben	90:07:17	89:49:21
Jobb oldal és Bal oldal által bezárt szög	179:55:44	179:44:45

92. ábra: Síkok helyzetének vizsgálata

A mérési eredmények alig térnek el az eredeti szögektől. Az eltérés oly csekély, hogy a 93. ábrán látható diagramon a legyártott modell pontjai teljesen lefedik az eredeti modell pontjait.



93. ábra: A két modell síkjai által bezárt szögek eltérése

9. Összefoglalás

A második mérés elvégzése és kiértékelése után ebben a fejezetben fogjuk kifejteni a mérések során tapasztalt észrevételeinket a mérési eredményekkel kapcsolatban. A mérési eredményeket a mérésprogram sorrendjét tartva elemeztük ki, majd egy végső konklúziót kifejtve megállapítottuk a legfontosabb tapasztalatokat.

Az első és második méréskor is szintén a negyedkörök átmérőjének a vizsgálatával kezdtük meg a mérést. Ez egy igen fontos eredményekkel bíró mérés volt, hiszen a körívek a modell egyik legjellemzőbb geometriájának hordozói. A második mérésnél megfigyelhető volt egyfajta tendencia a mért értékekkel kapcsolatban. Az első átmérőnél mért eltérés (0,072 mm) átlagosnak mondható, viszont a következő érték (0,511 mm) egyértelműen magas. Mindezek után viszont, a harmadik és negyedik kör átmérői mind csökkentek, mígnem az utolsó kör elérte a minimális (0,025 mm) eltérést, ami viszont nagyon pontosnak mondható. Kérdés az, hogy ez a csökkenő tendencia folytatódott volna még egy újabb negyedkör esetén, vagy sem.

A következő lépés a függőleges hornyok mélységének mérése volt. Itt nagyon eltérő eredményeket kaptunk. Egyrészt a RE-gel előállított modell mért értékei nagyon ingadoznak, másrészt átlagosan tízszer akkora az eltérés ezen mérésnél, mint az első mérésnél, ami érthető, hiszen, hogy itt több hibalehetőség adódik a gyártáson kívül. A függőleges hornyok mélységének vizsgálata után a horony belső része és a hátsó oldal távolságát vizsgáltuk. Az első horonynál nem végeztünk mérést, hiszen szemmel láthatóan nagyon eltérő, akár egész mm-ben mérhető eredményt kaptunk volna a horony szélességének csökkenése miatt. A többi függőleges horony vizsgálatakor azt vettük észre, hogy a második horonynál a legnagyobb az eltérés (0,119 mm), majd ez csökken a 0,1 mm alá, ezután újra nő az eltérés, viszont csak kis mértékben, így még mindig kisebb lesz, mint 0,1 mm.

Miután megmértük a függőleges hornyok általunk legfontosabbnak ítélt méreteit, megkezdtünk egy hasonló vizsgálatot a vízszintes hornyoknál is, melynek lépései ugyanazok voltak. A vízszintes horonymélységek mérésekor érdekes eredményeket kaptunk. A RE-gel előállított modell két szélső hornyának mélységei csak kis mértékben térnek el (0,1 mm-nél kevesebb az eltérés) az eredeti modell értékeitől, viszont a két középső horonynál az értékek ehhez képest már több tizeddel eltérnek az eredeti mélységektől. A vízszintes hornyok felső lapról mért távolsága érdekes eredményeket adott, mert a mérési eredmények nagyon

hasonlítanak a függőleges hornyok hátsó oldaltól mért távolságára vonatkozó kiértékelésre. Ez abban teljesebb ki, hogy itt is a két szélső horony (legalsó és legfelső) belső része és a felső sík távolságánál mért értékek eltérése a legkisebb, a középső két horonynál meg szintén jóval nagyobb az eltérés az eredeti értékekhez képest. Fontos megemlíteni továbbá azt is, hogy az összes mért érték nagyobb az eredeti értékeknél.

Végül a síkok vizsgálatával fejeztük be a mérést. Ezekről az eredményekről csak pozitívan tudunk nyilatkozni, hiszen az eltérés olyan csekély mértékű, hogy elhanyagolható.

Összegzés

Összegzésként kijelenthetjük, hogy a Reverse Engineering technológiát nem ajánlott használni precíziós, bonyolultabb geometriával rendelkező alkatrészeknél, hiszen az előbbiekben szemléltetett és kiértékelt eredményekből egyértelműen kiderül, hogy a szkennelés, illetve felületillesztés során fellépő hibák akár tízszeresre növelik az eltérést. Ezt onann tudjuk, hogy az első mérésnél kiértékelt eredmények között szereplő átlageltéréseket összevetettük a második mérésnél kiszámolt átlageltérésekkel és mindkét horonymélységnél tizedes eltérést kaptunk, holott az első mérésnél ennek a mértéke csak század nagyságrendű volt. Viszont pozitív eredményeket is kaptunk, hiszen a síkok párhuzamosságának, illetve merőlegességének a vizsgálatakor elhanyagolható eltérést észleltünk csak. A hornyok laptól való távolságnál pedig mindkét esetben a szélső hornyok távolsága 0,1-0,2 mm-ben tért el. A negyedkörökkel kapcsolatban pedig ennyi adatból nem tudunk semmi biztosat állítani, hiszen a kapott értékek eltérései ugyan csökkennek a kisebb átmérőjű kör felé haladva, viszont az ez csak az utolsó két körre vonatkozik, az első két körívénél ingadoztak az eltérések.

A Reverse Engineering technológiája viszont alkalmas az egyszerűbb geometriák visszafejtésére, hiszen a síkok helyzetét megfelelően reprezentálta a mi esetünk, illetve a távolságok értékei is megfelelőek voltak.

10. Továbbfejlesztési lehetőségek

A mérési eredmények kiértékelése után gondolkoztunk ez esetleges jövőbeli továbbfejlesztési lehetőségeken. Két fejlesztési irányban gondolkoztunk: más geometriájú modell Reverse Engineering-es visszafejtése vagy pedig a geometria változatlansága mellett más gépek használata.

Az első fejlesztési tervünként szerepelt az, hogy a modellt körívek és hornyok helyett inkább különböző szabadfelületekkel és térgörbékkel (Spline-okkal) határolt darabként építsük fel. Ekkor viszont a visszamérés okozhat nehézségeket.

A következő fejlesztési javaslatunk az volt, hogy a végső geometria ugyan változatlan marad, viszont több modellből építkeznénk. Ez azt jelenti, hogy például egy három modellből álló sorozatot alkotunk. Az első kockamodell csak a köríveket tartalmazza, a második már a vízszintes hornyokat is, a harmadik pedig az előbbieken felsorolt mellett a függőleges hornyokat is. Ehhez fontos megjegyezni, hogy a modellek befoglaló mérete megegyezik és mind a körívek mind a hornyok ugyanazon helyen vannak mindegyik modellen és ugyanazon paraméterekkel rendelkeznek. A modellek legyártása után, mindhárom darabon elvégeznénk a Reverse Engineering folyamatát, tehát végül három darab Reverse Engineering használatával készült kockát kapnánk. Ezeket összehasonlítanánk a három eredeti darabbal, úgy ahogy ezt a jelent dolgozatunkban is tettük. A három darabos sorozata ötlete azért lenne jó, mert az előző eredményeket felhasználva tudnánk továbblépni a következő darab felületillesztésében így pontosabb eredményeket kapnánk. Ezt az irányelvet még úgy tudnánk továbbfejleszteni, hogy a még pontosabb eredmény fejében növeljük a sorozatban lévő darabok számát.

Harmadik továbbfejlesztési javaslatként pedig arra gondoltunk, hogy lehetne esetleg más gépekkel dolgozni. A jelent dolgozatban használt szkennerek visszatérési pontossága 0,2 mm, de a már elérhető szkennerek képesek nagyobb pontosságra is. Esetleg lehetne abban is lehetőség, hogy ha egy univerzális géppe dolgoznánk, amely az összes Reverse Engineering folyamatában alkalmazott lépést elvégzi. Ilyen gép a ScanTech 3D lézerszkennerek, amellyel a legtöbb 3D szkennelési feladatot meg lehet oldani a lehető legpontosabb eredményekkel. A mérési adatok közvetlenül (átalakítás nélkül) is felhasználhatók marópályák generálására, visszamodellezési problémák megoldására vagy akár összehasonlító mérések végzésére [8].

11. Summary

Inspection of a model made with Reverse Engineering

The subject of my assignment is based on Reverse Engineering. The assignment demonstrate the process of digitalising the surface of a component manufactured by an NC machine tool, then comparing the typical size of the product produced from the CAD model created from the cloud of points with the original components. The result of the TDK assignment is a comparative analysis that demonstrates the precision of the applied Reverse Engineering process in a given environment.

The first step was to find the most suitable geometric construction from the rough sketches for our assay. After choosing the best sketch, the next task was to create the model with the help of a 3D design program. Using CAD technology we used Solid Works to establish the model. The next step was to manufacture the model. For this we had to convert the CAD model into a CAM based CNC program designer and simulational system, then after completing the production planning operations (defining the tools, the technological parameters, the operations) we designed the controlling NC program. In the possession of the component program, we manufactured our model using a ROLAND MDX-40A spindle milling machine.

The model we have created hereby was the basis of our Reverse Engineering project. The scanning was done by a ROLAND LPX-60 optical scanner. Based on the datas and the cloud of points gained after the scanning, using a Pixform Pro2 software we were able to establish a geometry similar to the original model. The new model was manufactured under the same environmental settings as the original one, made by artificial wood using the ROLAND MDX-40A milling machine. The last step was to measure and compare the new and the original models by a Mitutuyo Cryta-Plus 574 gauge.

The results of the measurements generated during the investigations showed the precision of the Reverse Engineering process that can be experienced on different geometric surfaces. The TDK assignment not only introduces the process but also demonstrates how useful Reverse Engineering is. Using it we save time in the design process, furthermore, we can prepare a complete planning documentation in such cases when we would not have any chance with the application of conventional technologies.

12. Irodalomjegyzék

- [1] Dybała, B.-Boratyński, T.-Czajka, J.-Będa, T.- Frankiewicz, M.- Kurzynowski, T. EU-Project Nr. 2005-146319 „MINOS“. Wrocław, Lengyelország. (2008)
- [2] Terék, Zs.: Alakhú szegmentáló algoritmusok a digitális mérnöki visszafejtésben. Ph.D. értekezésének tézisei. BME (2010)
- [3] Pokriva, P.: Gépgyártástechnológia. Kecskeméti Főiskola, GAMF kar (2003)
- [4] Gnädig, A.: RapidFormXOR – az intelligens Reverse Engineering szoftvermegoldás. Gyártóeszközök, szerszámok, szerszámgépek, 1, 33-35 (2007)
- [5] Tondo SP1 KFT. honlapja: <http://www.tondo.hu>
- [6] CNC-STEP cég honlapja: <http://www.cnc-step.de>
- [7] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Gyártástudomány és-technológia tanszék honlapja: <http://manuf.bme.hu/>
- [8] Varinex Zrt. honlapja: <http://varinex.hu/>
- [9] Vinyl Grafik Stúdió honlapja: <http://www.vinylgrafik.hu/>
- [10] Techspex cég honlapja: <http://www.techspex.com>