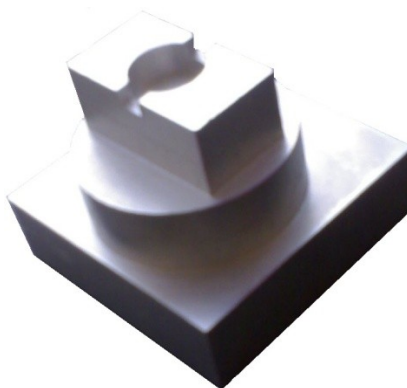




BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNY EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
GYÁRTÁSTUDOMÁNY ÉS –TECHNOLÓGIA TANSZÉK

TDK DOLGOZAT

Szkennelési eljárások összehasonlítása idő, költség és pontosság szempontjából



Készítette:

Nagy Tibor (IV. éves BSc hallgató)
Hodosán Zsolt (IV. éves BSc hallgató)

Konzulens:

Dr. Mátyási Gyula (tanszékvezető, egyetemi docens)
Gyurika István Gábor (tanszéki memők)

.....
Nagy Tibor

.....
Hodosán Zsolt

Budapest, 2011

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	2
2.	IRODALOMKUTATÁS	3
2.1.	EGY LÉZER- ÉS EGY MÉRŐTAPINTÓS SZKENNER ÖSSZEHASONLÍTÁSA	3
2.2.	ÚJ SZKENNELÉSI ELJÁRÁS KIDOLGOZÁSA	5
2.3.	MÉRŐGÉPPLE TÖRTÉNŐ FOG SZKENNELÉS, S AZ EREDMÉNYEK ELEMZÉSE	6
2.4.	REPRODUKÁLÁS RETROFIT 3D SZKENNELÉS SEGÍTSÉGÉVEL	8
2.5.	KÖLTSÉGFAJTÁK CSOPORTOSÍTÁSA	11
3.	A KÍSÉRLETEKNÉL ALKALMAZOTT MUNKADARAB TERVEZÉSE ÉS GYÁRTÁSA	12
3.1.	A MUNKADARABBAL TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK	12
3.2.	A MUNKADARAB TERVEZÉSE	12
3.3.	A MUNKADARAB GYÁRTÁSA	14
3.3.1.	<i>Megmunkáló központ bemutatása</i>	<i>14</i>
3.3.2.	<i>Szerszámválasztás</i>	<i>15</i>
3.3.3.	<i>Technológiai paraméterek meghatározása</i>	<i>15</i>
3.3.4.	<i>NC program elkészítése</i>	<i>16</i>
3.3.5.	<i>A darab elektrokémiai oxidálása (eloxálás).....</i>	<i>19</i>
4.	KOORDINÁTA MÉRŐGÉPPLE VALÓ SZKENNELÉS	21
4.1.	MCOSMOS 3.0 SZOFTVER BEMUTATÁSA	22
4.2.	AZ ELJÁRÁS MENETE	26
4.3.	SZKENNELÉS KÖZBENI PROBLÉMÁK	28
4.4.	RÉSZEREDMÉNYEK	30
5.	LÉZER SZKENNELÉS	31
5.1.	AZ ELJÁRÁS MENETE	34
5.2.	SZKENNELÉS KÖZBENI PROBLÉMÁK	36
5.3.	RÉSZEREDMÉNYEK	36
6.	MODELL-KÉSZÍTÉS	37
6.1.	A HASZNÁLT PROGRAM BEMUTATÁSA	37
6.2.	A MODELLEZÉSI FOLYAMAT	39
6.2.1.	<i>A két folyamat általános ismertetése</i>	<i>39</i>
6.2.2.	<i>A pontfelhők kimentése</i>	<i>39</i>
6.2.3.	<i>Importálás</i>	<i>40</i>
6.2.4.	<i>Pontszűrés</i>	<i>44</i>
6.2.4.1.	<i>Pontszűrés a mérőgépnél.....</i>	<i>44</i>
6.2.4.2.	<i>Pontszűrés a lézerszenne mé l</i>	<i>48</i>
6.2.5.	<i>A lézerrel szkennelt nézetek összeillesztése</i>	<i>50</i>
6.2.6.	<i>Az STL felületmodell előállítása</i>	<i>53</i>
6.2.7.	<i>Alaksajátosságok felismertetése</i>	<i>55</i>
6.2.8.	<i>Felületek illesztése</i>	<i>55</i>
6.3.	RÉSZEREDMÉNYEK	58
7.	KIÉRTÉKELÉS	59
7.1.	PONTOSSÁG	59
7.2.	IDŐ - KÖLTSÉG.....	61
7.3.	ÖSSZEGZÉS	65
8.	KUTATÓMUNKA EREDMÉNYEI	66
9.	SUMMARY	67
10.	FELHASZNÁLT IRODALOM	68

1. Bevezetés

TDK témánk választásánál azt vettük figyelembe, hogy szervesen kapcsolódjon a gépgyártáshoz, aktuális kérdésekkel foglalkozzon, nagy területet magába foglaló, de nem megoldhatatlan feladatot állítson elénk. Miután mindkettőnket nagyon érdekli az alkatrész gyártás, modellezés, ezeknek a gépei illetve szoftverei, így kézenfekvő lett a témánk: „Reverse Engineering”.

A Reverse Engineering (RE) a gépgyártás ma már elengedhetetlen része. Magyar fordításban „fordított mérnöki folyamatot”, „visszafelé tervezést” jelent. Sokszor előfordul, hogy a kezünkben van a gyártani kívánt alkatrész, viszont annak dokumentációja hiányos, vagy teljes egészében hiányzik. Ebben az esetben lép be az RE. Ennek nagyvonalakban lényege, hogy az alkatrészt digitalizáljuk, modellt építünk, meghatározzuk a technológiai paramétereket, legyártjuk, majd összevetjük az „újat” a „régivel”.

Mivel maga a téma nagyon tág, ezért mi ennek csak két szegmensével foglalkozunk ebben a dolgozatban: digitalizálás, modellépítés.

A gyártásban a két legelterjedtebb digitalizálási eljárás a 3D-s lézerszkennelés és a koordináta mérőgéppel történő szkennelés. Hogy melyiket és mikor éri meg használni? Erre a kérdésre keressük a választ dolgozatunk során.

Ehhez első lépésben „találnunk” kellett egy olyan munkadarabot, mellyel hitelesen lehet a két eljárást összehasonlítani. Legegyszerűbb volt az általunk felállított követelményeknek megfelelőt legyártani, mintsem keresgetni. Ehhez meg kellett ismernünk és programoznunk egy megmunkáló központot és meg kellett határoznunk a technológiai paramétereket. Ezután következhetett a digitalizálás. Először koordináta mérőgépen szkenneltünk, majd lézerrel. Természetesen az ezekhez szükséges technológiát is meg kellett ismernünk, és annyira elsajátítani, hogy önállóan tudjuk használni. Eközben feljegyeztük a megfelelő paramétereket (pl. idő). A kapott pontfelhőket egy speciálisan erre kifejlesztett, csúcskategóriás szoftver segítségével dolgoztuk fel, majd építettünk belőlük modellt. A modell segítségével meghatározhattuk az egyes eljárás relatív pontosságát, míg az eltelt időből tudtunk következtetni az egyes eljárások költségigényeire.

2. Irodalomkutatás

Dolgozatunk első lépéseként különböző forrásokat kerestünk, amelyek segítenek minket az elindulásban, illetve a további munkánkban. Konkrét irodalmat, amely ezzel a témával foglalkozik nem találtunk, viszont volt egy pár, főként angol nyelvű cikk, ami segített minket, kapcsolódott a dolgozatunkhoz.

2.1. Egy lézer- és egy mérőtapintós szkennerek összehasonlítása

Cím: A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner [2]

Szerzők: Anna Persson BSc, Matts Andersson DDS, PhD, Agneta Oden MSc, PhD, DDS, Gunilla Sandborgh-Englund DDS, PhD

Megjelenés helye: The Journal of Prosthetic Dentistry Volume 95, Issue 3, Pages 194-200

Kiadás ideje: 2006 Március

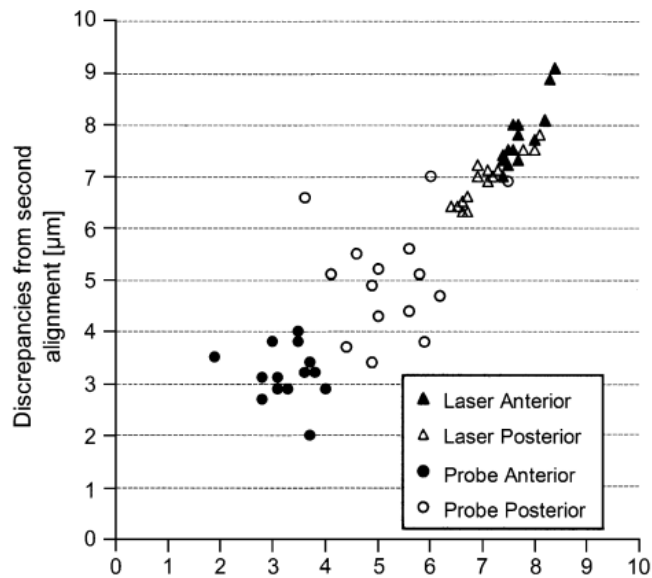
A cím magyarul: Egy lézerszkennerek és egy mérőtapintós szkennerek háromdimenziós összehasonlítása

Napjainkban megfigyelhető a mérnöki tevékenységek, műszaki tudományok egyre növekvő mértékű alkalmazása más tudományágakban. Erre egy példa a reverse engineering és a CAD-CAM technológia megjelenése a fogászatban. Ezeket a technológiákat fogak pótlásakor, koronakészítéskor alkalmazzák. Ekkor mintát vesznek a fogakról, ezt ezután beszkennek, a kapott pontfelhőből egy modellt készítenek, majd egy CAM szoftver segítségével mozgáspályát generálnak, melyet betáplálva egy CNC gépbe nagyobb, mint 0,01 milliméteres pontossággal reprodukálják a fogakat. Ezzel az eljárással biztosítani tudják a fogak pontos egymáshoz való illesztését.

A forrás a lézerrel való szkennelést, és a mérőtapintóval való szkennelést tanulmányozza, a két eljárás ismétlési és relatív pontosságát vizsgálja. Tíz fogmintát készítettek a fogak teljes koronájáról Y-TZP anyagból. A felületek mindkét eljárással háromszor lettek digitalizálva azért, hogy az ismétlési pontosságról is elegendő információt kapjanak.

A beszkennekett felületeket egy programba importálták, felületmodellt készítettek, és így a programon belül meg tudták határozni a különböző eltéréseket a tér mindhárom dimenziójában.

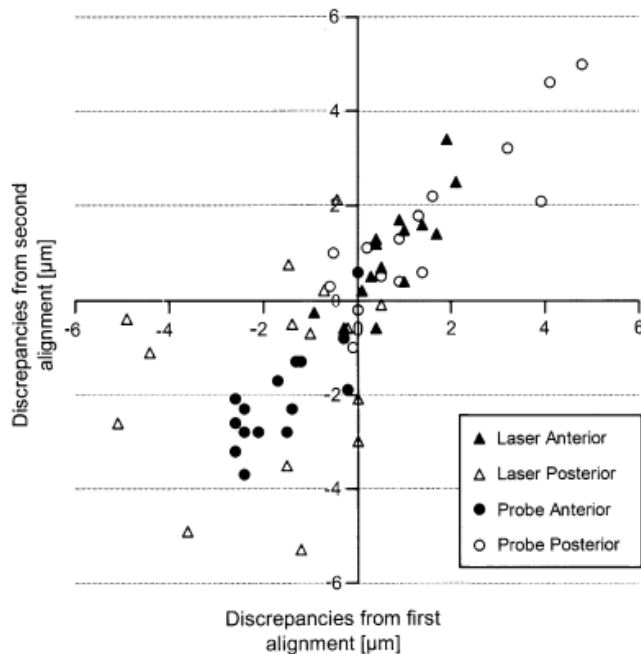
Az ismétlési pontosság mindkét módszernek 10 mikrométeren belül volt, ami belül esett a megengedett tűrésen. Megfigyelték, hogy a lézerszkennerek a laposabb területeken, míg a mérőtapintó által felvett pontthalmaz volt a dominánsabb, bonyolult felületeken majdhogynem tökéletesen azonos volt a digitalizálandó felülettel. A relatív pontosság középértéke mindkét módszernél ± 6 mikron volt.



1. ábra A mért ismétlési pontosság

Az 1. ábra az elülső és hátsó fogak lézerrel és mérőtapintóval beszkenelt felületeinek az ismétlési pontatlanságait ábrázolja.

A 2. ábra a két módszer átlagos, relatív eltéréseit mutatja:



2. ábra A két módszer átlagos, relatív eltérései

A kutatás klinikai jelentősége: megállapították, hogy mind a két módszer tökéletesen alkalmazható inputként a protézisgyártási folyamatokban. Mind a két módszernek megfelelő az ismétlési, illetve relatív pontatlansága.

Ez a forrás azért volt hasznos számunkra, mert alapvető információkat tudtunk meg a két szkennelési eljárásról, valamint az összehasonlításoknak a lehetőségeiről, módjairól.

2.2. Új szkennelési eljárás kidolgozása

Cím: Rapid and Accurate Data Integration Method for Reverse Engineering Applications [3]

Szerzők: Jafar Jamshidi, Antony Roy Mileham and Geraint Wyn Owen

Megjelenés helye: Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering II, Pages 169-181

Kiadó: Springer

Kiadás ideje: 2007

A cím magyarul: Gyors és pontos adatfeldolgozó eljárások Reverse Engineering alkalmazásokhoz.

A Reverse Engineering folyamata segít olyan tervezéshez, újratervezéshez szükséges információknak a kinyerésére melyek addig elérhetetlenek voltak, vagy hiányoztak. Számos szkennelő rendszer van, amely alkalmazható ezekben a folyamatokban. Két csoportra lehet osztani őket: érintkező és nem érintkező (optikai) eszközökre.

Az egyik a mérőtapintóval ellátott koordináta mérőgép, mely az érintkező eszközökre egy példa. Ennek a tulajdonságai a pontosság, melynek hátulütője az időigényesség és a magas költségek. A másik csoportra példa a lézerszkennер, amely gyorsabb, de kisebb a pontossága, vagy a nagyobb felbontású verziók rendkívül drágák.

Az alaksajátosságok kinyerése a pontfelhőből mindig csak egy közelítő megoldással lehetséges, amely nem biztos, hogy helyt álló a precíziós mérnöki alkalmazásoknál.

A forrásban a szerzők egy olyan eljárást dolgoztak ki, amelyben a fent említett két féle szkennelési módot egyszerre használják. A nagy pontosságot igénylő, bonyolultabb részeket koordináta mérőgéppel szkennelik be, majd a maradék, egyszerűbb felületeket a lézerszkennерrel digitalizálják. Ez az eljárás növeli az egész folyamat sebességét és a szkennelés rugalmasságát, anélkül, hogy ez a pontosság rovására menne.

A szerzők munkájuk során egy egész reverse engineering folyamatot vittek végig.

Az 1. táblázat mutatja be az általuk használt szoftvereket, eszközöket és azoknak a pontatlanságát:

Hardware	Accuracy (mm)			Software
	X	Y	Z	
Minolta 900 Laser Scanner with Minolta tele-Lenz	±0.22	±0.16	±0.19	Minolta Polygon Editing Tool Version 1.1
Brown & Sharpe Global CMM with TP20 Renishaw Probe	±0.035	±0.035	±0.036	PC-DMIS Version 3.5 MR1 Beta

1.táblázat Az általuk használt szoftvereket, eszközöket és azoknak a pontatlanságát

Megfigyelhetjük, hogy a lézerskenner pontatlansága ötször nagyobb, mint a mérőgépé. Ezek az arányok nagyjából hasonlítanak a mi általunk használt eszközök pontatlanságának az arányához.

Ebben a forrásban lényeges jellemzőket tudtunk meg a két eszköz előnyeiről, hátrányairól, valamint a pontosságaikról. A forrás témájának vizsgálata a dolgozatunk egy potenciális továbblépési lehetősége.

2.3. Mérőgéppel történő fog szkennelés, s az eredmények elemzése

Cím: Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations [4]

Szerzők: Sebastian Quaas , Heike Rudolph, Ralph G. Luthardt

Megjelenés helye: Journal of dentistry 35, Pages 903-908

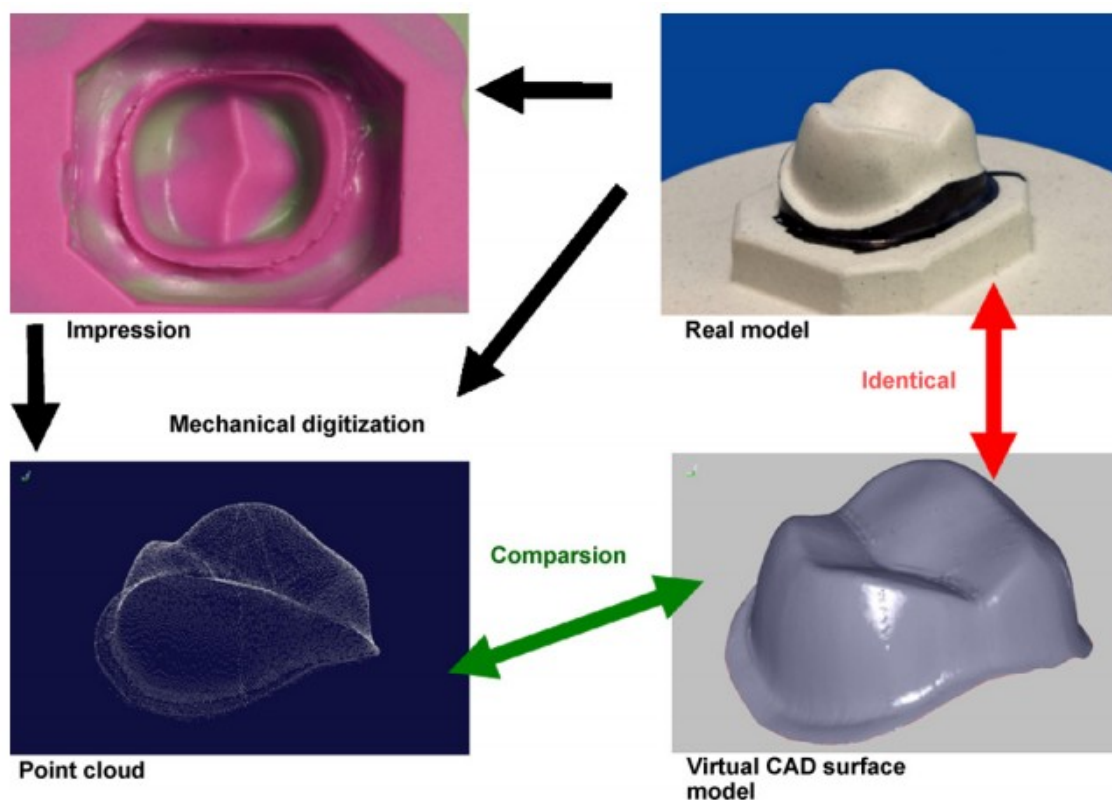
Kiadó: Elsevier

Kiadás éve: 2007

A cím magyarul: Közvetlen műszaki adatgyűjtés orvosi lenyomatokról, CAD/CAM módszerek által segített másolatok gyártásához.

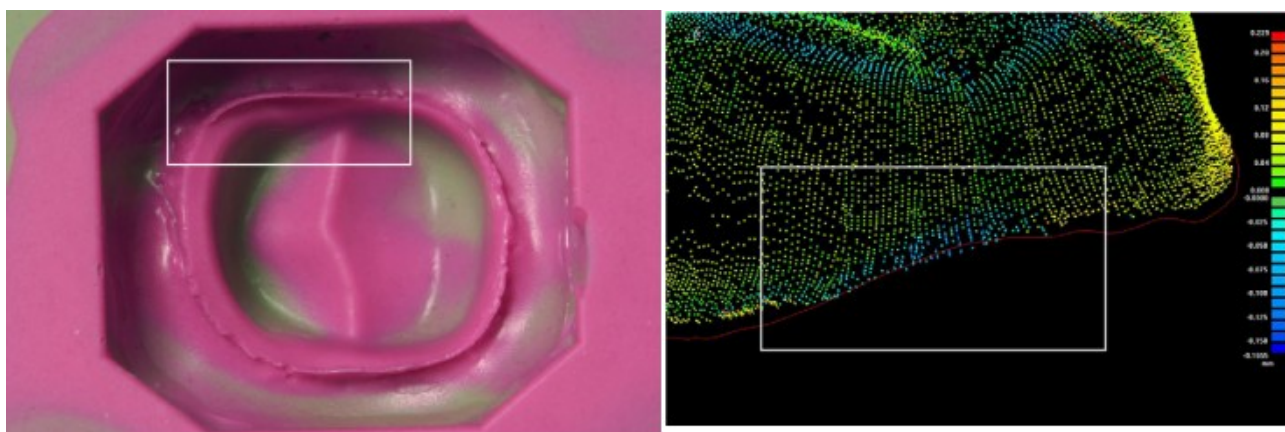
Ez a forrás nagyban hasonlít az elsőhöz [2].

A tanulmány célja a mérési bizonytalanság és a három-dimenziós pontosság megállapítása a precíziós, mérőtapintóval ellátott szkennerral való digitalizálásnak. Itt is egy fog reprodukálása a fő cél, egy fogon hajtanak végre egy reverse engineering folyamatot, most csak a mérőgépet használva (3. ábra):



3. ábra Modellezés folyamata

Az első forráshoz képest annyiban nyújt plusz információt, hogy itt vizsgálja a kapott felületmodell és a mért pontfelhalmaz, valamint a lenyomat és az eredeti fog egymáshoz viszonyított pontosságát, szórását (4. ábra):



4. ábra Ebben a régióban mérték a legnagyobb eltéréseket

A legnagyobb eltérés a bekeretezett területeken mutatkoztak, ennek a mértéke 208 mikron, mely elég nagymértékűnek mondható.

Ennek egyik oka az élek, tapintóval történő letapogatásának a tökéletlensége, melyet a későbbiekben részletesen tárgyalunk (6.2.4. fejezet). A másik ok a 0,5 N –os tapintási erő, melynek következtében a képen látható vékony peremeket a tapintó mérés közben deformált, a mért pontokat a deformáció megtörténte után vette fel.

Ezen okok miatt a szerzők ezt a szkennelési módszert nem tartják alkalmasnak erre a feladatra.

Fontos információkat szolgáltatott nekünk ez a forrás a mérőtapintóval való szkennelés sajátosságairól, esetleges hibáiról, illetve a pontfelhők, CAD - modellek vizsgálatáról.

2.4. Reprodukálás Retrofit 3D szkennelés segítségével

Cím: 3D-s szkennelés és CNC marás a fafaragás szolgálatában [5]

Szerző: Falk György

Ez a forrás is egy teljes reverse engineering folyamatot ír le, melyben az input eszköz a laser scanner. Leírja, hogy ennek a technológiának a segítségével a bútorok, belsőépítészeti létesítmények felújításánál a díszítő elemek rekonstruálása jóval leegyszerűsödik, a kézi faragás automatizálható. A fafaragás világában a feladatok főleg az eredeti formák másolásáról szólnak, mely objektumok 3D-s megtervezése általában nem is olyan egyszerű, valamint a minták nem rendelkeznek semmilyen rajzi dokumentációval.

A forrásban leírt Retrofit 3D-s szkennelési eljárás, majd a számítógéppel vezérelt CNC marás segítségével ezek a problémák valóban leegyszerűsödnek, felgyorsul, illetve pontosabbá válik az egész gyártási folyamat. A Retrofit 3D szkennelésnek a lényege, hogy a szkennelő fejet egy marógép főorsójába rögzítjük és a marógép vezérlésétől független számítógéppel gyűjtjük az adatokat. Ebben a leírásban ugyanolyan lézerszkennert használnak, mint amilyen a rendelkezésünkre állt munkánk során.

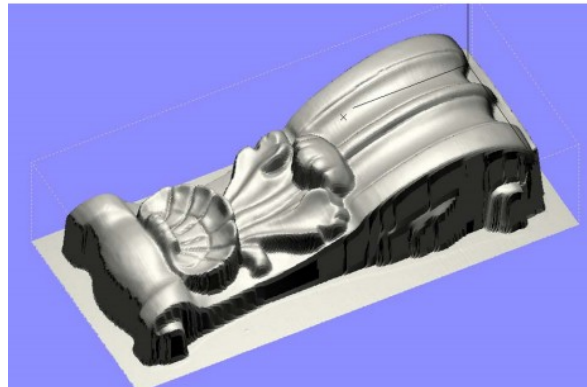
A folyamat:

1 Szkennelés



5. ábra Szkennelés

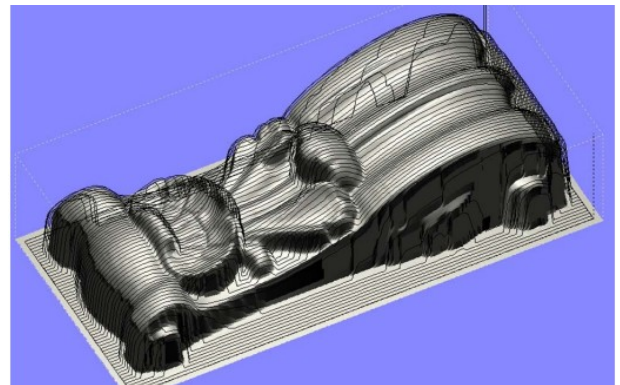
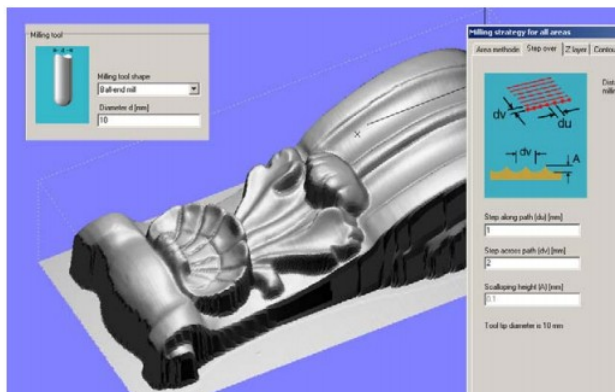
2 Felületmodell készítése a pontokból



6. ábra Modell készítése

A felületmodell készítésére a CARSO elnevezésű szoftvert használták. A pontok kimentésére mi is ezt a programot használtuk, viszont mivel a munkánk során nem volt elegendő egy nézetből beszkennelni a munkadarabot, az összeillesztésre egy másik (6. fejezetben tárgyalt) programot használtunk, illetve a felületgenerálást is ebben a szoftverkörnyezetben hajtottuk végre.

3 Marópálya generálása a CARSO segítségével



7. ábra Mozgáspálya generálása

A szerszám típusa, valamint a forgácsoláshoz szükséges paraméterek megadása után elkészül a marás mozgáspályája.

4 A darab legyártása



8. ábra A darab legyártása

Megállapíthatjuk, hogy a kézi faragás valóban automatizálható gyorsabban, pontosabb produktumot tudunk előállítani. Azonban ezt az eljárást olyan egyedi gyártásnál, ahol a pontosság nem feltétel, nem szükséges alkalmazni. Itt a költségek jóval magasabbak valamint az ilyen termékeknél általában a megrendelők a kézimunkát preferálják, annak a magasabb eszmei értéke miatt.

2.5. Költségfajták csoportosítása

Cím: Költségek, befektetések, balanced scorecard (előadás vázlat) [6]

Szerző: Boda György

Dolgozatunk során költségelemzést is készítettünk. Ehhez fel kellett térképezni, hogy egy szkenelési folyamat milyen fajta költségekből tevődik össze. Ehhez a 2. táblázat tartalmát használtuk fel. Ebben a költségfogalmak a legelterjedtebb költségfelosztási szempontok szerint van összefoglalva.

Összköltség	Gyártási költségek	Közvetlen anyag költségek		A késztermékbe beépülő anyagköltségek.
				A késztermék gyártása érdekében felhasznált anyagköltségek.
				Tisztán, egyértelműen késztermékhez rendelhető anyagköltségek.
		Közvetlen munka költségek		Az anyagokat végtermékké konvertáló dolgozók foglalkoztatása érdekében kifizetett munkaköltségek.
				A végtermékhez tisztán és egyértelműen hozzárendelhető munkaköltségek.
				A gyár által termelt termékek volumenével egyenes arányban változó munkaköltségek.
		Gyártási általános költségek	Közvetett anyagköltségek	Azon anyagköltségek, amelyeket gyakorlati okok, vagy gyakorlati nehézségek miatt nem tudunk, vagy nem akarunk közvetlenül a megtermelt késztermékhez rendelni.
			Közvetett munkaköltségek	Azon munkaköltségek, amelyeket gyakorlati okok, vagy gyakorlati nehézségek miatt nem tudunk, vagy nem akarunk közvetlenül a megtermelt késztermékhez rendelni.
			Egyéb gyártási költségek	Gyári gépek amortizációja, biztosításai, stb.
	Nem gyártási költségek	Értékesítési költségek		Azok a költségek, amelyek a vevők megrendeléseinek megszerzése érdekében merülnek fel, illetve azért, hogy a késztermékek a vevők tulajdonába kerüljenek.
		Irányítási költségek		A szervezet működtetéséhez, illetve a személyzet munkafeltételeinek ellátásához szükséges költségek.

2. táblázat Költségfogalmak felosztási szempontjai

3. A kísérleteknél alkalmazott munkadarab tervezése és gyártása

3.1. A munkadarabbal támasztott követelmények

Munkánk során nagyon fontos lépés volt a megfelelő munkadarab kiválasztása.

Olyan munkadarabot kellett választani, amely megfelel, mind a lézerrel, mind a koordináta mérőgéppel (továbbiakban KMG) való szkennelésnek, könnyen visszamodellezhető (Rapidformmal), egyszerű de életszerű.

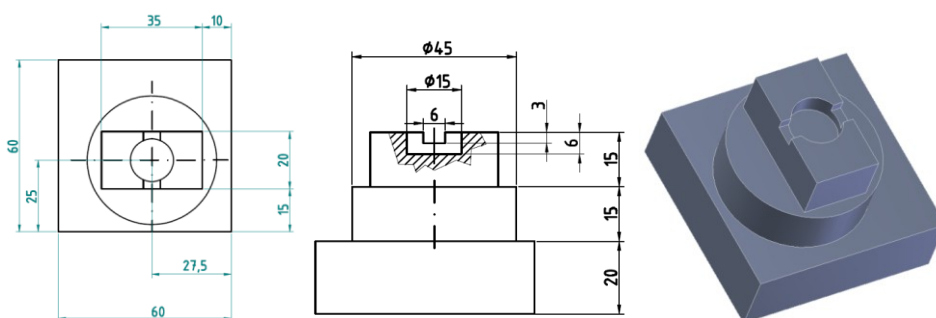
A mérési módok követelményei:

- A lézer szempontjából:
 - Matt legyen
 - Minél kevesebb nézetből kelljen szkennelni
 - Minél inkább konvex legyen, ne legyen alámetszés
- A mérőtapintó/KMG szempontjából:
 - Egy fejjállásból be lehessen szkennelni (pozícióváltási hiba)
 - Tapintási erő hatására nem deformálódik
- Közös szempontok:
 - Geometriai méretei ne legyenek túl nagyok

A sok követelmény miatt egyszerűbb volt megtervezni és legyártani egy megfelelő darabot.

3.2. A munkadarab tervezése

Az előző fejezetben taglalt követelményeknek megfelelő munkadarabot kellett terveznünk. Célunk az volt, hogy geometriailag minél egyszerűbb legyen, de minél tágabb határok között lehessen vele összehasonlítani a két eljárást. Ilyen egyszerű geometriai elem a sík, kör, henger. Ezek sorozatából építettük fel a következő alkatrészt (9. ábra):



9. ábra A megtervezett alkatrész

Maga az alkatrész négy elkülöníthető részből áll. A legalsó téglatestnek csak a felső síkja van megmunkálva. A többi oldala szolgál a befogásra. A vizsgálatunkban csak a test felső síkja vesz részt, illetve az oldalaiból 2-3 mm. Ennek jelentősége, hogy pontosan meg tudjuk állapítani ennek a síknak a határait. Ha ugyanis, csak a felső síkot szkenneltük volna be, a szoftver nem tudta volna megállapítani a sík kiterjedését. Azért volt ez fontos, mert az ábrán is jól látható, hogy a darab excentrikus, ezáltal a modell egyértelműen orientálható. Lézer szkennelés során több felületből kell összerakni a modellt. Ennek köszönhetően sokkal egyszerűbb ennek megvalósítása, illetve kiértékelés szempontjából is több hasznos információt hordoz magában. A következő elem a henger. Ennek segítségével olyan kiértékeléseket tudunk tenni, mint például körkörösség, átmérő. A rajta fekvő hasáb sajátosságából adódik, hogy síklapúságot tudunk ellenőrizni. Azért, hogy a modell életszerűbb legyen, terveztünk rá egy zsebet, amibe egy hornyot martunk. Ezzel tudunk szimulálni például egy tájoló hornyot.

Minden metsző sík egymással derékszöget zár be. Mivel összehasonlító elemzésünk során a beszkenelt darabokat nincs értelme legyártani, ezért ebből kifolyólag is felesleges lett volna bonyolult, szabad felületeket alkalmazni. Az elkészült modell legyártását azért vetettük el, mert előzetes kutatásainkból kiindulva, a darab gyártási hibája nagyobb lett volna, mint a két szkennelés hibája, ezáltal nem tudtuk volna hitelesen lemérni az eltéréseket.

A tervezés során figyelembe vettük azt is, hogy könnyen forgácsolható, illetve rendelkezésünkre álló anyagból készüljön. Ezért esett a választás egy 60x60-as keresztmetszetű, *AlMgSi1* anyagi minőségű hasáb előgyártmányra.

3.3. A munkadarab gyártása

A darab legyártása teljes egészében marással történt. Ehhez a tanszéken található Siemens vezérlésű megmunkáló központot használtuk.

3.3.1. Megmunkáló központ bemutatása

Ez egy négytengelyes megmunkálásra is alkalmas Topper TMV-510T típusú megmunkáló-központ, Sinumerik 840D vezérléssel, melyet a Siemens fejlesztett. Piackutatást végezve a gép egy közép kategóriásnak mondható megmunkáló központ, viszont a vezérlés csúcskategóriás.

A gép paraméterei [8]:

Típus	Topper TMV-510T
X / Y / Z löket [mm]	510 / 360 / 300
Főorsó teljesítmény [kW]	5,5
Max. főorsó fordulatszám [1/min]	12 000
X / Y / Z gyorsmeneti sebesség [mm/min]	48 000/ 48 000/ 40 000
Munkameneti előtolás [mm/min]	1 – 10 000
Pozícionálási pontosság [mm]	0,01
Ismétlési pontosság [mm]	0,003
Szerszámtár kapacitás [db]	20
Szerszámváltási idő [s]	2
Gép tömege [kg]	2300

3.táblázat Topper paraméterei



10. ábra Topper TMV-510T

A vezérlés paramétereit:

- moduláris felépítésű
- 32 bites mikroprocesszor
- esztergálási, marási, fúrási, csiszolási, lézervágási feladatokra is alkalmazható
- 31 tengelyt képes egyszerre vezérelni
- NURBS interpolációra is képes

3.3.2. Szerszámválasztás

Az előgyártmányunk egy 60x60x52 mm-es alumínium téglatest volt. Ebből kellett előállítani a munkadarabunkat. A megfelelő geometria kialakításához minimum 2 szerszámmal volt szükség.

A két szerszám:

- 22 mm átmérőjű, 6 fogú, HSS maró
- 6 mm átmérőjű, 2 fogú, HSS maró

A kisebb átmérőjű maróval a felső furatot és a hornyot martuk, minden mást a másik maróval készítettük el.

3.3.3. Technológiai paraméterek meghatározása

Gyártási paraméterek pontos és jó meghatározása nagy tapasztalatot igényel. Függ az anyag minőségétől, a szerszám tulajdonságaitól (minőség, átmérő, fogszám), a gép teherbírásától [1]. A többi szükséges adatot (pl. fogankénti előtolás, vágósebesség) katalógusból [10], konzulensek tanácsaiból határoztuk meg.

A paraméterek meghatározásánál a darab anyagi minőségén kívül figyelembe kellett vennünk azt is, hogy a szerszámot kíméljük.

A felületi érdességgel szemben nem volt előírt követelményünk, ugyanis egyik eljárással sem mérhető.

A 22 mm-es marónak beállított technológiai paraméterei

Vágósebesség	$V_c = 100 \frac{mm}{min}$
Fogankénti előtolás	$f_z = 0,06 \frac{mm}{fordulat}$
Fordulatszám	$n = \frac{1000 \cdot V_c}{D \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 100}{22 \cdot \pi} \cong 1447 \frac{1}{min}$
Előtoló sebesség	$V_f = n \cdot f_z \cdot z = 1447 \cdot 0,06 \cdot 6 \cong 521 \frac{mm}{min}$

A 6 mm-es marónak beállított technológiai paraméterei

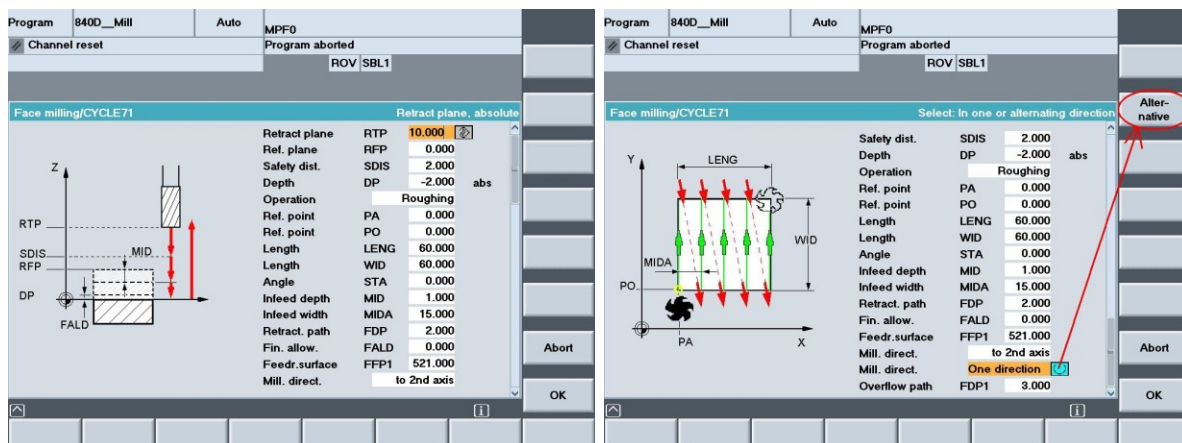
Vágósebesség	$V_c = 50 \frac{mm}{min}$
Fogankénti előtolás	$f_z = 0,02 \frac{mm}{fordulat}$
Fordulatszám	$n = \frac{1000 \cdot V_c}{D \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 50}{6 \cdot \pi} \cong 2654 \frac{1}{min}$
Előtoló sebesség	$V_f = n \cdot f_z \cdot z = 2564 \cdot 0,02 \cdot 2 \cong 106 \frac{mm}{min}$

Ez az előtoló sebesség csak a vízszintes mozgásoknál érvényes. A furat kialakítása ferde pályán történő lesüllyedéssel történt (lásd 18. oldal, 3.3.4. fejezet), ezért ott az előtoló sebességet 25%-kal csökkentettük. Így akkor a $V_f = 80 \frac{mm}{min}$.

3.3.4. NC program elkészítése

A Sinumerik 840D típusú vezérlés lehetőséget ad arra, hogy a gyakran használt geometriai elemeket felhasználóbarát felületen állítsuk be. Ilyenek például a különféle csap marások. Ezek segítségével jóval gyorsabban és kevesebb hibalehetőséggel oldhatjuk meg a kívánt feladatot. A köztes műveleteket, illetve a zseb és horony kialakításának programját ISO kódokkal adtuk meg.

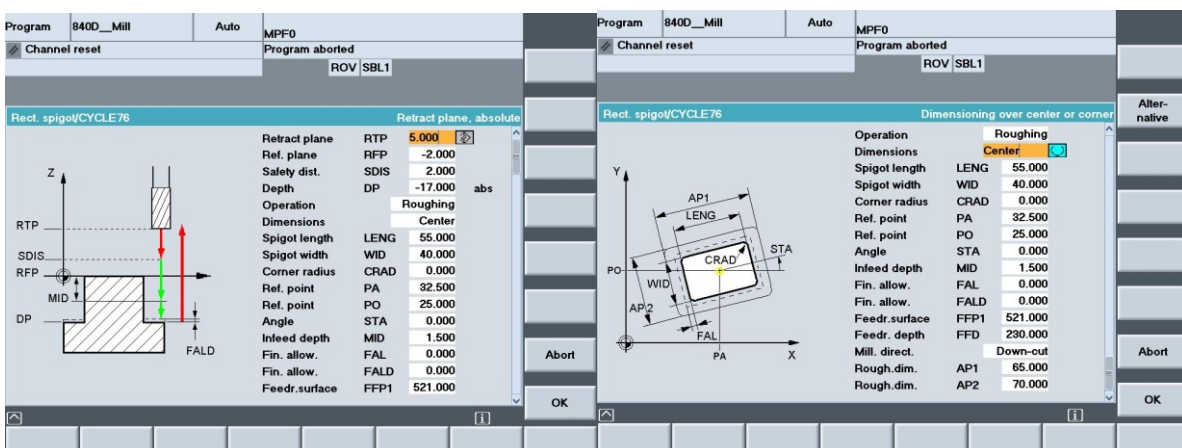
Első lépésben a „síkmárás ciklussal” eltávolítottunk a felső rétegből 2 mm vastagságú anyagot, hogy a mérésben megmunkált felület vegyen részt. Az elérését és a beállított paramétereket a 11. ábra mutatják.



11. ábra Síkmarás ciklus paraméterei

A beállítandó paraméterek többek között a visszahúzási sík (RTP), referenciasík (RFP), biztonsági távolság (SDIS), a lemarandó ráhagyás (DP), marás típusa (ellen- vagy egyenirányú), stb.

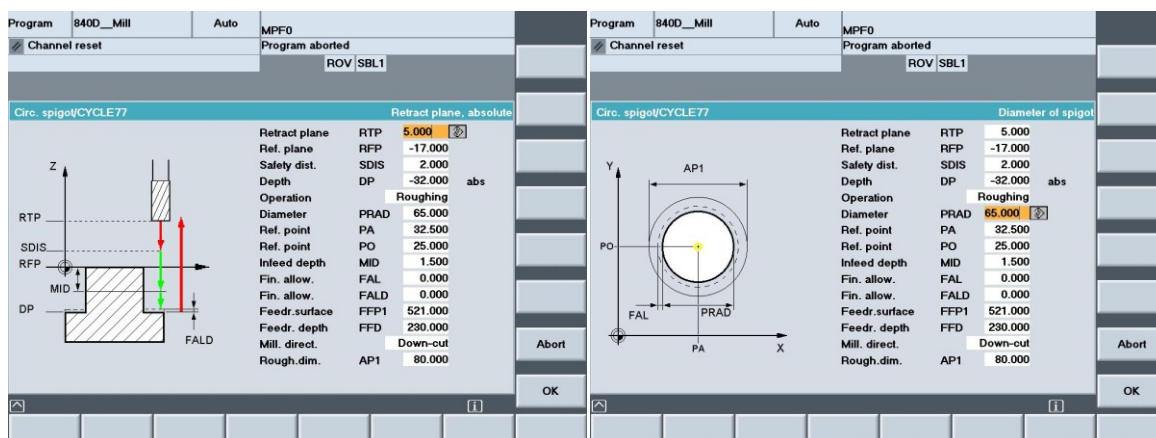
Második lépésben a négyzet csapot martuk ki. A 12. ábra a beállított paraméterlistát mutatja.



12. ábra Négyzetcsap ciklus paraméterei

A síkmarás ciklusnál említett értékek itt is beállítandók, azzal a kiegészítéssel, hogy itt a geometriai értékeknek még nagyobb jelentősége van, ugyanis ezzel már alakot ölt a forma.

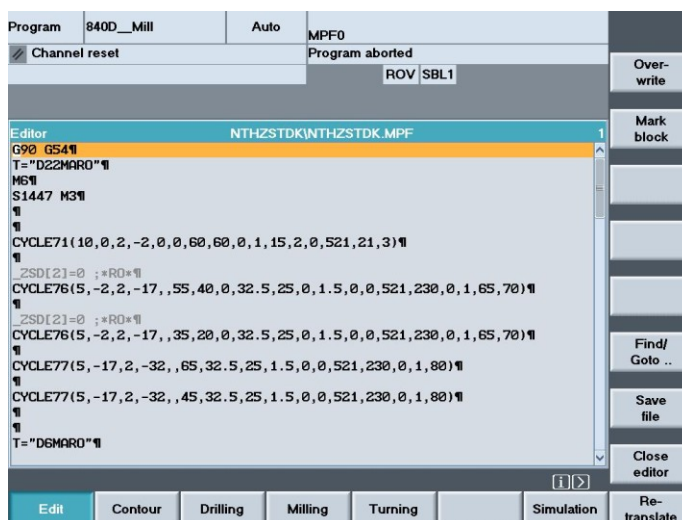
Harmadik lépésben a kör csapot alakítottuk ki. Ebben a lépésben határoztuk meg azt is, hogy a darab aszimmetrikus legyen (13. ábra).



13. ábra Körccsap ciklus paraméterei

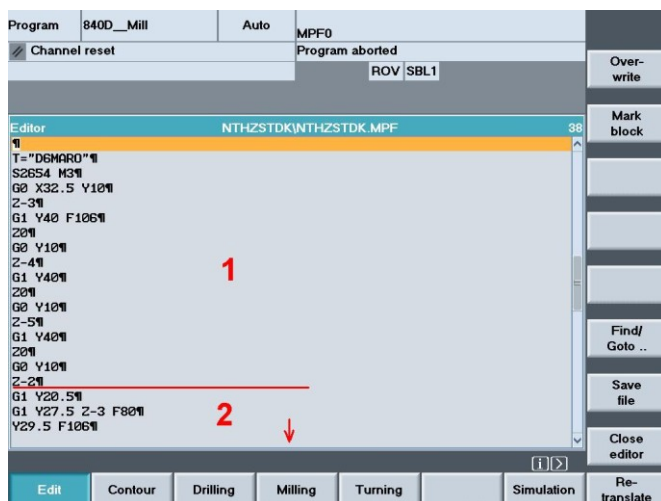
A négyzetcsapnál beállított értékek itt is megtalálhatók, azt leszámítva, hogy más geometriai értékeket kell megadni.

A 14. ábra mutatja, hogyan néz ki a program a ciklusok megírása után. Minden egyes paraméter a zárojelek között található, így gyakorlott programozó itt is közvetlenül módosíthatja az értékeket. Szükség esetén természetesen a párbeszéd ablak is előhívható.



14. ábra Ciklusokkal feltöltött program

Negyedik lépésben a zseb marása volt a feladat. Katalógusból utána nézve kiderült, hogy a



15. ábra Zseb és horony programrészlete

Ø6-os maróval „szögben” szabad merülni, ezért nem volt szükséges fúrószerszámot alkalmazni. Ehhez a részhez megírt programrészlet a 15. ábra szemlélteti.

A 6-os maró beváltása után először (1) a hornyot martuk ki. Ezután kb. 6°-os szögben merülve, ciklikusan kialakítottuk a zsebet is.

Minden merülés után egy teljes kört tettünk a maróval, hogy teljes egészében megmunkálja a zsebet. A merülést úgy oldottuk meg, hogy az elmozdulás Y és -Z tengely irányába történt. Ezért nem volt szükséges előfuratot fúrni egy harmadik szerszámmal.

A Sinumerik 840D vezérlésen lehetőség van szimuláció lefuttatására, így megbizonyosodhatunk arról, hogy mindent tökéletesen készítettünk el.



16. ábra Az alkatrész gyártása

3.3.5. A darab elektrokémiai oxidálása (eloxálás)

Előzetes vizsgálatunkkor kiderült, hogy az alumíniumot nem lehet lézerrel szkennelni, mert fémesen csillog. A lézerszkennelés egyik előfeltétele pedig, hogy a darabnak minél mattabbnak kell lennie, ezáltal a lézerfényt nem szétszórja, hanem a megfelelő pozícióba veri vissza.

Az alumínium és ötvözetek levegőben igen gyorsan oxidálódnak, és a fémen jól tapadó, átlátszó, vagy fehéres, vékony oxid réteg keletkezik. A fém korrózióellenállását az oxidhártya vastagságának mesterséges növelésével lehet fokozni. Ez az eloxálás elsődleges célja. Az eloxált réteg vastagsága kb. 5-15 μm között van [13].

Az alumínium és ötvözetek anódos oxidrétegét alkalmazzák:

- védőréteggént a kémiai és mechanikai hatások ellen,
- díszítőréteggént, főleg színezett állapotban,

- közbenső réteggént a galvanizálást, festést megelőzően, elektrolitkondenzátor gyártáshoz,
- kemény, kopásálló réteg kialakításához stb [7].

Az alumínium eloxálás lépései:

1. *Előkészítés:* Zsírtalanítás, lúgos pácolás, semlegesítés. Célja: fémtiszta felület.
2. *Eloxálás :* A munkadarabokat megfelelő felszerszámozás után egy erre a célra kialakított "eloxáló kád" vezető sínére akasztva történik híg sav (pl. kénsav) oldatába mártva elektromos áram segítségével. Cél: mesterséges, porózus oxid réteg kialakítása.
3. *Színezés:* Az anódos oxidréteg póruscsatornái a színezéket abszorbálják, ezt felhasználva lehet előállítani a jó minőségű, élénk színű felületeket, amihez szerves színezőanyagot tartalmazó oldatot használunk megfelelő festékkoncentrációban.
4. Fekete eloxálás, a natúr eloxálás (színtelen), különböző színes eloxálás elvégzése.
5. *Oxidréteg tömítése:* A korrózióállóság és a színezett felület színtartósságának növelésére a bevonat póruscsatornáit tömíteni kell [13].

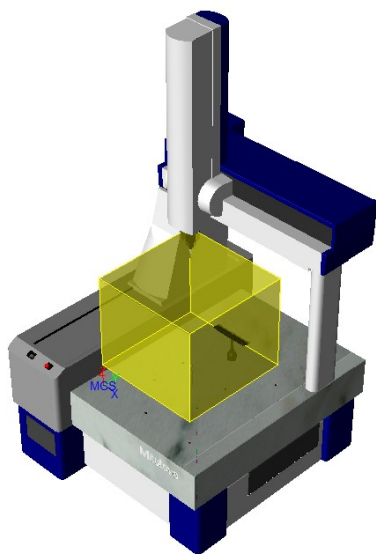
Az eloxálást egy külső céggel végeztettük el. A kérésünk az volt, hogy minél mattabb legyen, ezért új színt nem kapott az alkatrész, jelentős különbség nem látható az eloxálás előtti állapothoz képest.



17. ábra Az elkészült darab

4. Koordináta mérőgéppel való szkennelés

Vizsgálatunkhoz egy Mitutoyo Crysta-Apex C 776 típusú koordináta mérőgépet használtunk



18. ábra A koordináta mérőgép (KMG) modellje

(19 ábra). A koordináta mérőgép (továbbiakban KMG) egy olyan nagypontosságú mérőműszer, mely a tér mind három dimenziójában le tudja mérni a darabot. A mérési tartománya nevéből kiderül: 776, azaz x irányba 700 mm, y irányba 700 mm, z irányba 600 mm. A gép önmagában még kevés volna a méréshez, szükség van egy mérőfejre is. Mi egy Renishaw SP25M-es mérő típusú tapintót használtuk. A mérő típusú tapintó egy olyan szenzor, mely bizonyos kitérés hatására kapcsol, a felületen marad és mozgás közben követi azt. Saját útmérő rendszerrel van ellátva. A mérőfejet a mérés megkezdése előtt kalibráltuk. A gép főbb paramétereit a 4. táblázat [11] mutatja.

Modell				Crysta-Apex C 776
Méréstartomány	X - tengely		[mm]	700
	Y - tengely			700
	Z - tengely			600
Munkadarab	Max. magasság		[mm]	800
	Max. tömeg		[kg]	800
Mdb. rögzítés	Rögzítő M8 furatok száma			10
Mérési bizonytalanság az ISO 10360-2 szerint	MPE _E 16°C – 26°C	SP25M	[μm] L [mm]	1,7+0,4 L/100
	MPE _E 18°C – 22°C			1,7+0,4 L/100
Tapintási hiba	MPE _p		[μm]	1,7
Szkennelési tapintási hiba az ISO 10360-4 szerint	MPE _{THP} / MPT _T		[μm]/[s]	2,3/110
Felbontás			[mm]	0,0001
Megvezetés				Levegő csapágyazás
Mozgatási sebesség	CNC mód	1D/3D	[mm/s]	8 -300 / max. 520
	Joystick	gyors		0-80
		lassú		0,05
Max. gyorsulás		1D/3D	[mm/s ²]	1275/2255
Mérési sebesség		CNC mód	[mm/s]	1-8

Mérőasztal	Anyaga	Gránit	
	Mérete	[mm]	880x1420
Levegőfogyasztás		[L/min]	15/0,4 MPa
Levegő igény		[L/min]	30/0,5-0,8 MPa
Befoglaló méret	Szélesség	[mm]	1470
	Mélység		1650
	Magasság		2730
Tömege		[kg]	1675

4.táblázat KMG paraméterei



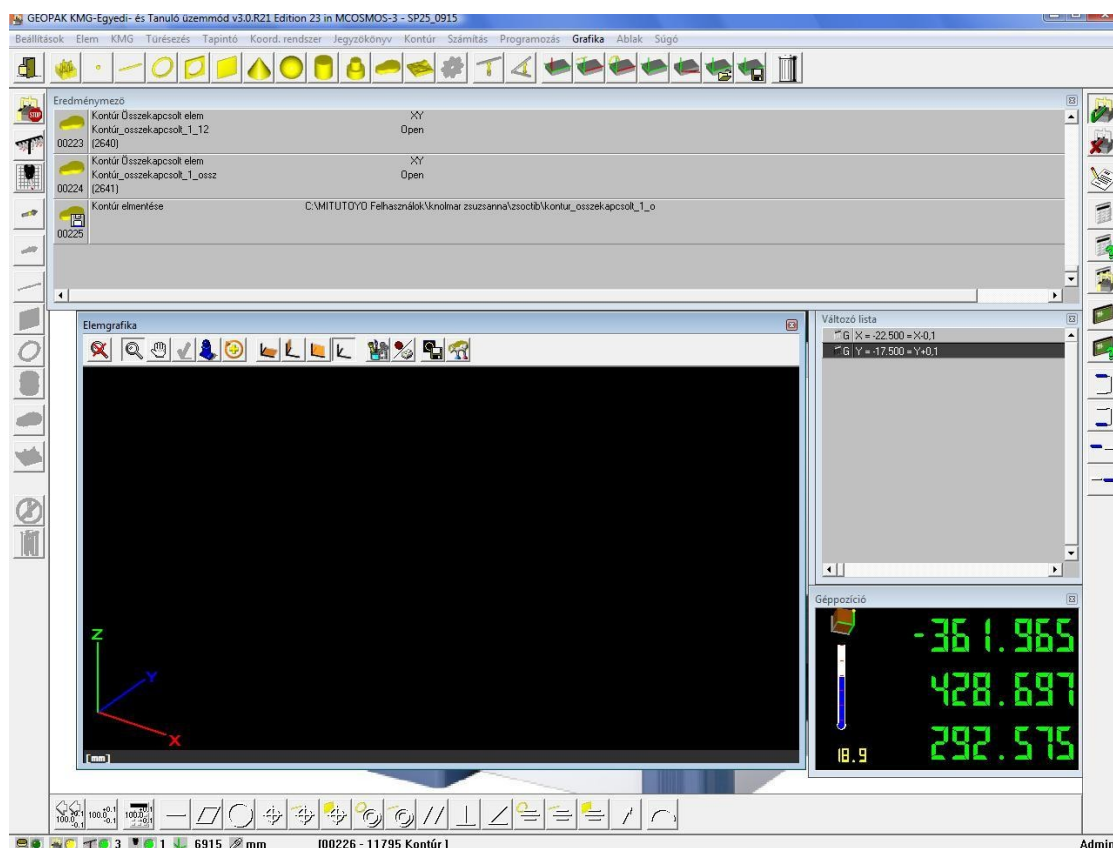
19. ábra A koordináta mérőgép

4.1. MCOSMOS 3.0 szoftver bemutatása

A Mitutoyo saját fejlesztésű szoftverével, az MCOSMOS-szal lehet vezérelni a KMG-t. Ez egy igen összetett, sok funkcióval és bővítménnyel ellátott program. Mérésünkhöz a GEOPAK alprogramot használtuk.

Három üzemmód közül választhatunk, mégpedig

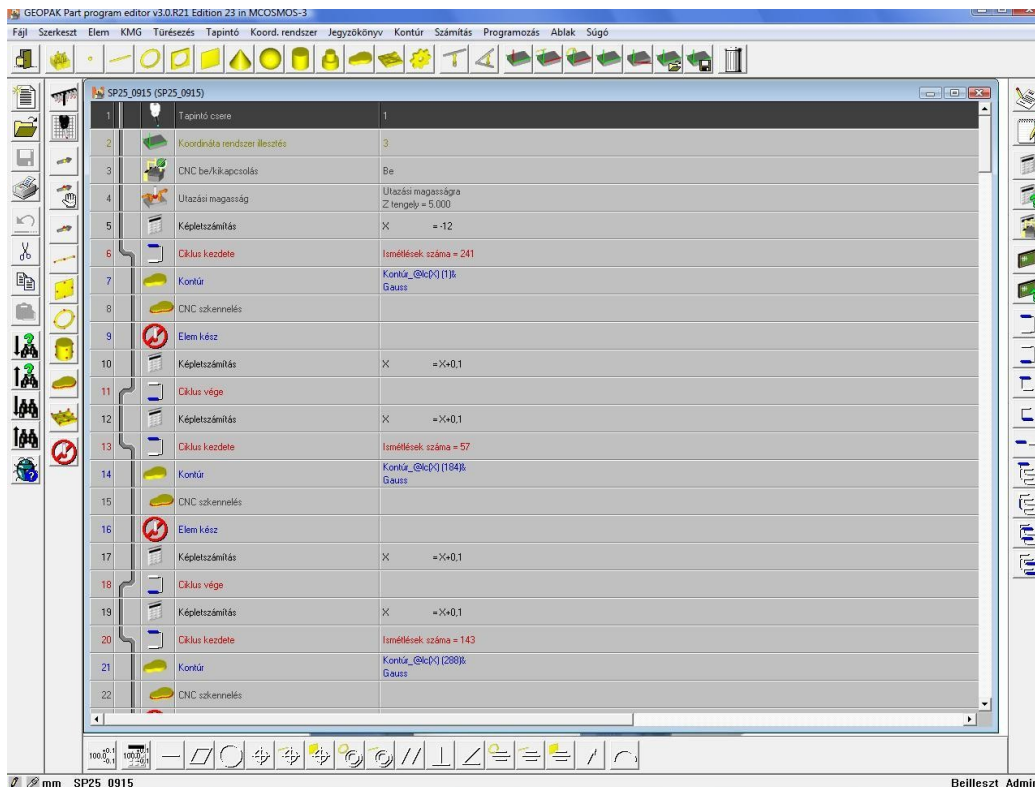
- *Tanuló:* a program írását itt tudjuk elvégezni (20. ábra). A sajátossága, hogy minden parancsba adott műveletet azonnal elvégez, így egyből láthatjuk, hogyan hajtja végre a műveletet.



20. ábra A Tanuló üzemmód alapnézete

A felső menüsorban találhatóak a különböző elemek, melyeket mérni lehet, a baloldalon többek között a mérőfej beállítások, alul a kiértékelő sáv. Középen, a fekete képernyőn jelennek meg az aktuálisan felvett pontok, elemek, a tapintó gömb aktuális koordinátája pedig a jobb alsó sarokban látható a munkadarab koordináta rendszerében.

- **Szerkesztő:** itt is programot tudunk írni, viszont a megadott műveleteket csak felsorolja egymás után, nem hajtja végre (21. ábra). Tehát lehetőség nyílik offline programozásra, illetve csak ebben az üzemmódban szerkeszthetünk a programunkba feltételes elágazást. A Szerkesztő üzemmódban megírt programot *Ismétlő* üzemmódban le kell futtatni, hogy működjön.



21. ábra A Szerkesztő üzemmód alapnézete

A Tanuló üzemmódnál felsoroltak itt is érvényesek, kivéve, hogy nem látható az aktuális koordináta, illetve középen egymásután fel vannak sorolva a program során végrehajtott elemek. Ezekre duplán kattintva ugyanaz a beállítási menü jön elő, mint Tanuló üzemmódban.

- *Ismétlő*: itt csak futtatni tudunk programot. Több ugyanolyan darab mérésénél lehetőség van arra, hogy olyan programot írjunk, ami mindegyikre megfelelő (pl. tömeggyártás esetén). Ekkor a mérés automatikusan fut. Grafikai felépítése hasonló a Tanuló üzemmódéhoz.

Természetesen a legkézenfekvőbb Tanuló üzemmódban dolgozni. Mivel a darabunk egyedi, ezért újrafuttatni a programot nem fogjuk, így az Ismétlődő üzemmód feltételeinek teljesülése nem volt feladat.

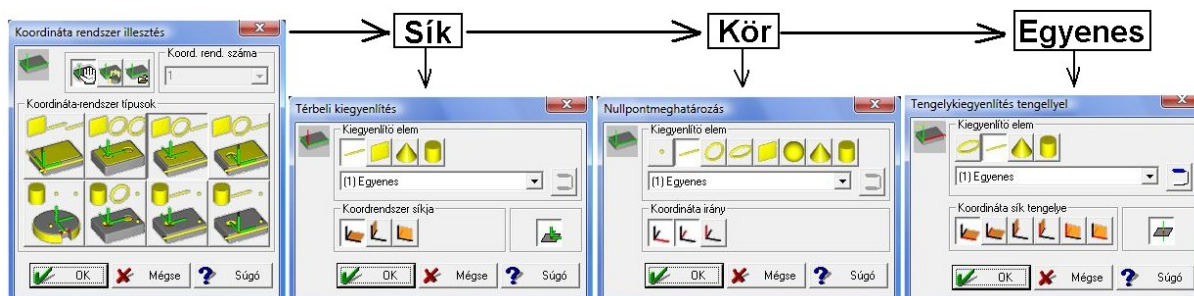
A gép megfelelő beállításai után (mérési sebesség, gyorsmenet, kompenzálás, stb.) a munkadarabot készülékezni kell. Mivel nagyon kis erők ébrednek (a tapintási erő 0,3 N), ezért nem kell nagy szorítóerőt alkalmazni. Célszerű úgy felhelyezni a darabot, hogy a téglatest síkjai közel párhuzamosak, vagy merőlegesek legyenek a KMG XYZ tengelyére.

Sokkal átláthatóbb a program, illetve kezelhetőbb a gép, mert a gépi koordináta rendszer a gránit asztal széleivel párhuzamos és merőleges, ezáltal van viszonyítási alap a mérés során.

Következő lépésben fel kellett vennünk a munkadarab koordinátarendszert. Legjobb, ha ugyan az a bázisa, mint a gyártási bázis, így is csökkentve a mérési hibalehetőségeket. Olyan koordinátarendszert célszerű felvenni, mely alkalmazkodik a munkadarab és készülékezés sajátosságaihoz (pl. a tengelyek párhuzamosak és merőlegesek a koordináta rendszer felvételekor használt felületekre).

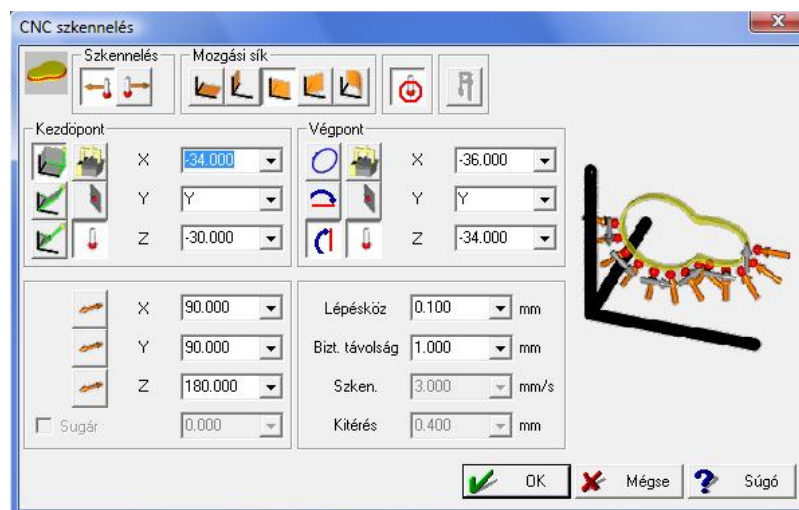
A koordináta rendszer felvételének lépései (22. ábra):

1. Sík mérése a darab legfelső síkján, majd térbeli kiegyenlítést hajtunk végre, ahol megadjuk, hogy ez a sík lesz az XY sík. Ebből következik, hogy ez a Z tengely 0 pontja.
2. Kör mérése a zseb palástfelületén. A mért kör középpontját beállítjuk az X és Y tengely 0 pontjának.
3. Egyenes mérése az egyik oldalsó síkon a tengely pozitív irányának megfelelően. Ezzel megadjuk az X tengely pozitív irányát.



22. ábra Koordináta rendszer felvételének módja

A GEOPAK elemek mérésének alapelve, hogy különböző geometriai elemeket lehet mérni. Ilyenek pl. a pont, egyenes, sík, kör, ellipszis, kúp, stb. Bizonyos feladatoknál (TP200-as tapintó, mérésirányába eső szögek kisebbek, mint 90°) a mérésen kívül ezek is használhatók szkennelésre. Viszont egyéb, általános esetben erre szolgál a „Kontúr” funkció (23. ábra).



23. ábra Kontúr beállítása

Ennek lényeg, hogy nem kell teljesen határozottan definiálni a szkennelendő területet. Kezdőpont és végpont (esetenként hossz) megadása után a fej követi a területet, mégpedig úgy, ahogy azt az ábra mutatja. A példánkban az X tengellyel párhuzamosan haladna, akadály esetén pedig negatív Z irányba próbálna meg tovább haladni. A beállított végpont elérésekor leáll a kontúrmérés. A Kontúr nem geometriai elem, ezért azon vizsgálatokat csak bizonyos lépések után végezhetők el. Beállítható, hogy a kontúron milyen sűrűn vegye fel a pontokat. Minden mérés annál hitelesebb, minél több pontból áll. Viszont mérlegelni kell azt, hogy mi az az optimális megoldás, mely már nem javít jelentősen a minőségen, ugyanakkor idő (költség) szempontjából még elfogadható.

Mérő típusú tapintónál ez a probléma nem ütközik ki, a tapintó jellegéből adódóan, viszont arra is figyelni kell, hogy a kiértékelendő fájl méret is drasztikusan meg tud ugrani, lassítva ezzel is a vizsgálatot (nekünk kb. 150 Mbyte lett).

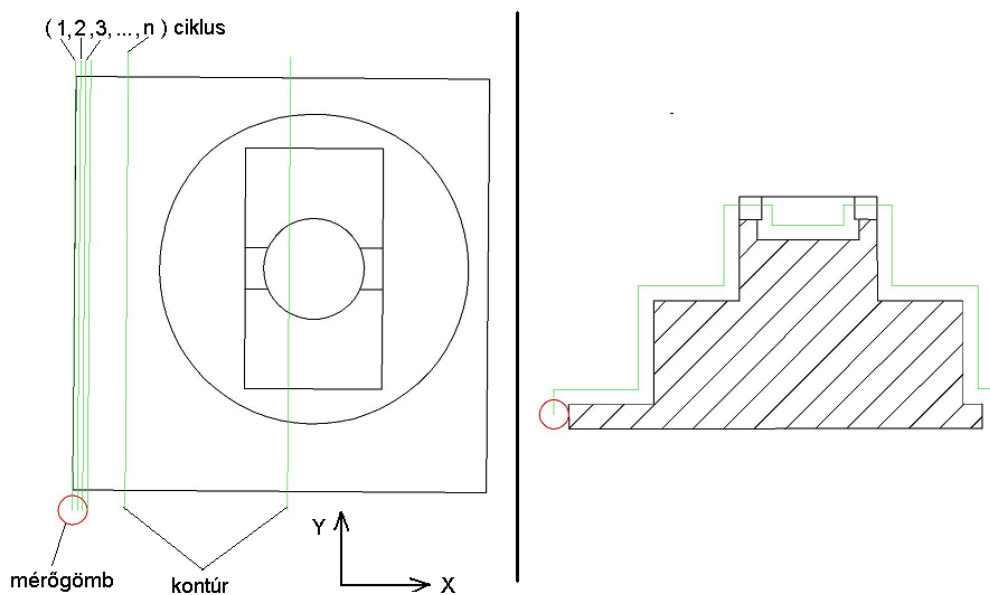
Mindezeket figyelembe véve, néhány próbamérést elvégezve, arra a megállapításra jutottunk, hogy a **pontokat 0,1 mm lépésközzel vegye fel a kontúron a KMG**.

4.2. Az eljárás menete

A darab szélétől indulva ($X_{\min}$) az Y tengellyel párhuzamosan indítottuk a kontúr felvételt. Befejezéskor X koordinátát növeltük az előző fejezetben meghatározott, 0,1 mm-rel és újonnan elindítottuk a kontúr felvételt.

A szoftver lehetőséget nyújt arra, hogy ezt az ismétlődést egy egyszerű Ciklus paranccsal megoldjuk.

Ennek lényege, hogy előzetesen beállítjuk, hányszor szeretnénk lefuttatni az adott parancsot (25. ábra), felvesszünk egy (akár több) változót, és a ciklus befejeztével adott mértékben változtatjuk ezt az értéket (24. ábra).



24. ábra Ciklusok végrehajtása

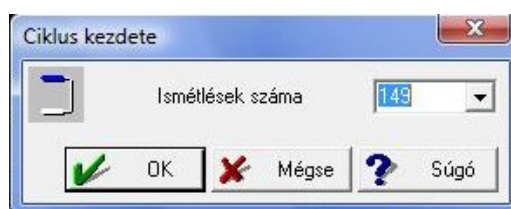
1. ciklus: $X_1 = 0 \text{ mm}$
2. ciklus: $X_2 = X_1 + 0,1 = 0,1 \text{ mm}$
3. ciklus: $X_3 = X_2 + 0,1 = 0,2 \text{ mm}$
- n. ciklus: $X_n = X_{n-1} + 0,1 \text{ [mm]}$

$X_{1,2,3,n}$: X tengely koordináta értéke

(megjegyzés: az egyszerűség kedvéért nullától lett számolva, a valóságban a megfelelő koordináta értékeket kellett figyelembe venni)

Egy jól megírt Ciklusos eljárással nem csak az idő csökkenthető jelentősen, hanem emberi kapacitást sem igényel. Amikor Y tengellyel párhuzamosan indítjuk a kontúrt, a változó az X koordináta lesz. Ha befejeződött egy ciklus, az X koordinátához 0,1 mm-t hozzáadott. Könnyen kiszámítható, hogy ebben az esetben ez több mint 600 ciklust eredményezett.

Természetesen ebben az esetben az Y tengellyel párhuzamos síkokat nem érintette a tapintó, így szükség volt az X tengellyel párhuzamosan is indítani egy Ciklus sorozatot, szintén 0,1 mm-ként, szintén több mint 600 ciklust. Ebben az esetben a változó az Y volt.



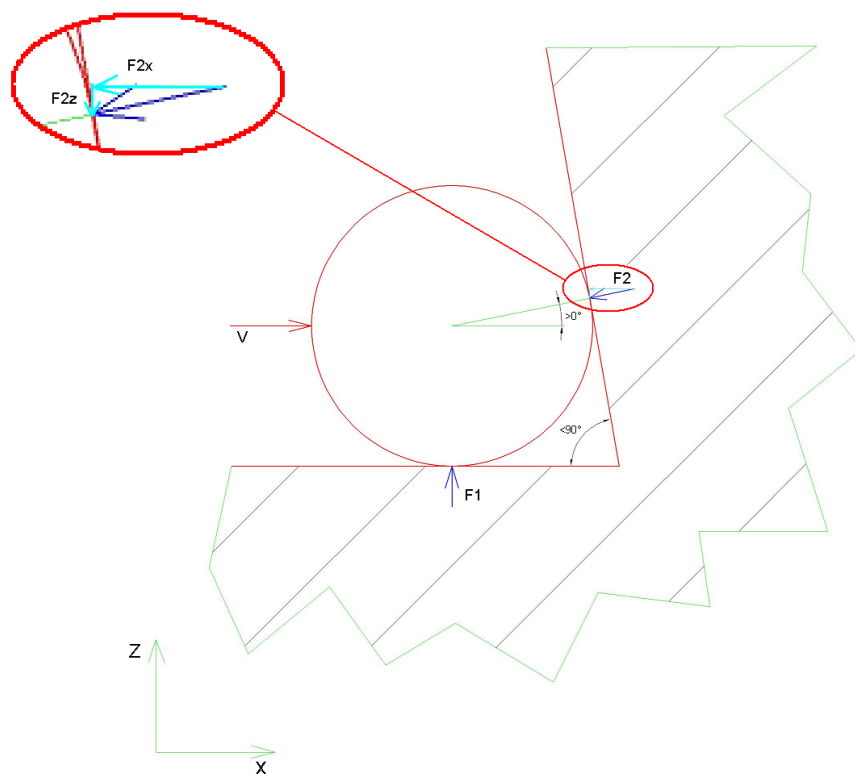
25. ábra Ciklusszám megadása

4.3. Szkennelés közbeni problémák

Első megoldandó probléma volt, hogy hogyan kövesse a kontúrt a fej. Két megoldás merült fel: az előzőekben említett, vagy az, hogy minden geometriai elemet külön mérünk. Tehát pl. a hengert hengerként, a síkot síkként. Ennek előnye, hogy biztosan nem ütközik a tapintó. A nagy hátránya, hogy folyamatosan ki kell számolni az egyes felület elemek közötti határt, a gömb sugarát figyelembe véve. Ez az időigényesség, és a folyamatos emberi jelenlétet is igényli. A másik a bonyolultabb és szintén időigényesebb alkatrészprogram megírása. Pár teszt után ezt a módszert elvetettük, és a már említettet oldottuk meg a feladatot.

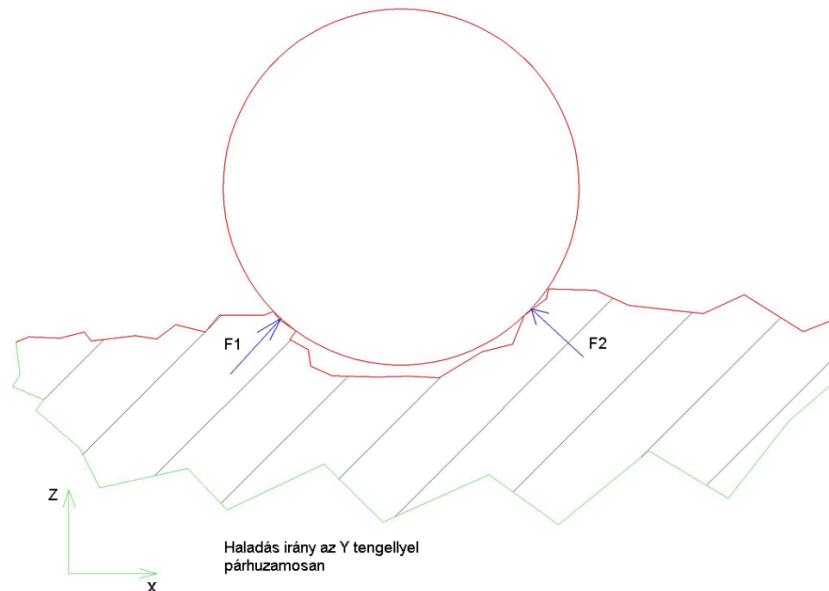
Mivel a mérőtapintó közvetlenül érintkezve gyűjti az adatokat, ezért a következő geometriai problémákkal kellett szembenézni:

- **90°-os szög:** bármelyik élben összefutó síkok egymással 90°-os szöget zárnak be. Ez a határszög, már ebben az esetben is előfordult, hogy nem tudott a megfelelő irányba továbbhaladni, mivel két egymásra merőleges erő hatott rá. Hegyes szögnél (alámetszésnél) már vannak olyan erőkomponensek melyek egymással szemben hatnak, így nem lehet megállapítani a megfelelő irányt (26. ábra).



26. ábra F2z irányba akar a tapintó tovább haladni, de mivel ott van anyag (melyet az F1 jelképez), ezért hibát jelez. A V az előzetesen beállított haladási irány, ezért az F2x-t figyelmen kívül hagyja.

- *felületi egyenletlenség*: gyártás során előállított rossz felület miatt vannak akkora egyenletlenségek, melyeket nem tud mechanikusan kiszűrni (gömb sugara be tud hatolni két barázda közé), így folyamatosan „jobbra-balra cikázik”, lassabb előrehaladás mellett (27. ábra).



27. ábra F1 és F2 közötti barázda Y tengellyel közel párhuzamos és egészen addig ott halad, míg a barázda iránya jelentősen nem változik

- *élen való futás*: akkor jelentkezett ez a probléma, amikor a sarkokon futott végig a tapintó. Bizonytalan haladás mellett (mely lassúsággal párosult) rosszul is kompenzált. Ezért alapvetően nem vezetünk végig tapintót éleken. Viszont számunkra ez hosszabb eljárást jelentett volna, ugyanis minden élnél új ciklust kellett volna indítani. Illetve a hibás pontokat szoftveresen könnyebb eltávolítani és kevesebb idő is, mint egy bonyolultabb alkatrész programot megírni. A hibás kompenzálást és a pontszűrést a 6.2.4.1. fejezetben tárgyaljuk részletesen.

Ezek következtében néhányszor előfordult bizonytalanság, akár leállítás is. Ennek következménye az adott kontúr újra mérése, legrosszabb esetben kihagyása. Egy-egy kontúr kimaradása egyáltalán nem befolyásolta a CAD modell készítését, mert a kimaradt kontúrok nélkül is elegendő számú, és megfelelő sűrűségű pont lett beszkenelve.

Ennél a darabnál megoldhatatlan problémát okozó eseménnyel nem találkoztunk, tehát elmondható, hogy a KMG szempontjából megfelelő darabot terveztünk.

4.4. Részeredmények

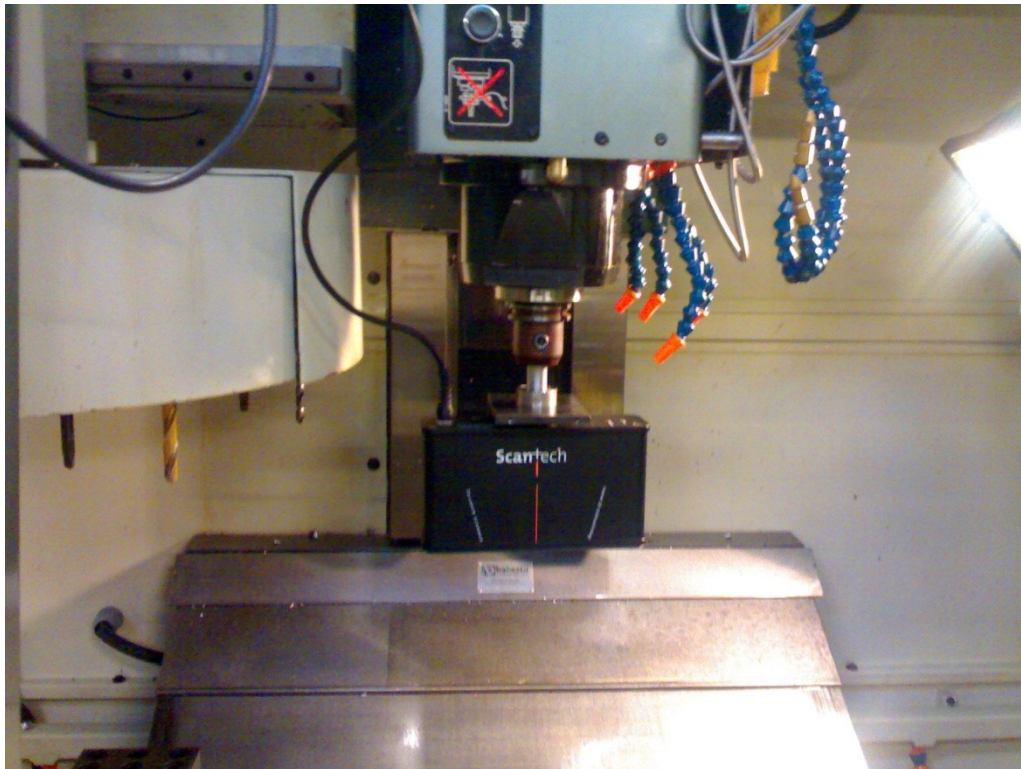
Mérés közben mértük az időt. Ebből lehet majd következtetni a költségekre is. A teljes munkaórája a gépnek kb. 24 óra volt. Ez egy ekkora darabnál mondható soknak, viszont figyelembe kell venni az előző fejezetben leírt, hátráltató körülményeket (90° sarokszög, felületi egyenletlenség, élen való futás) melyek egy minden igényt kielégítő darabon nem jelentkeznek.

Ennek a gépnek az óráköltsége 10000 Ft-ra reálisan felvehető adott körülményeket figyelembe véve. Ebből következik, hogy ennek a munkadarabnak a **teljes felület beszakennelése 240000 Ft-ra adódik.**

5. Lézer szkennelés

Munkánkhoz egy Scantech (28. ábra) gyártmányú pont lézerszkennert használtunk. Ezt egy Kondia B640 típusú megmunkáló központ főorsójába helyeztük el. Ennek előnye, hogy gyakorlatilag egy az adott berendezéshez szükséges készülék segítségével bármilyen eszközre felszerelhető. Ezt a szkennelési eljárást hívják úgy, hogy Retrofit 3D-s szkennelés.

Scantech paraméterei:



28. ábra A főorsóban elhelyezett lézerszkennер

A mérőfej a kibocsátott lézer sugár visszaverődéséből származó sugarakat két optikán keresztül egy-egy lineáris CCD-vel méri, a visszaverődés távolságának megfelelő mértékben az adatgyűjtő számítógép a beszkennelt pontok szinkronizált, és egyben digitalizált X, Y, Z koordinátáit tárolja. Az 1 mW teljesítményű félvezető lézer segítségével kb. 1000 pont térbeli adatait tudjuk másodpercenként összegyűjteni (természetesen ez függ az asztal előtoló sebességétől is). A felbontása 2-3 mikron, amely $\pm 0,05 - 0,1$ mm-es pontosságot biztosít egy adott pont Z koordinátájának vonatkoztatásában, maximum 400 mm-es távolságban. A berendezés X, Y irányú pontossága egyenlő a megmunkáló-központ pontosságával [5].

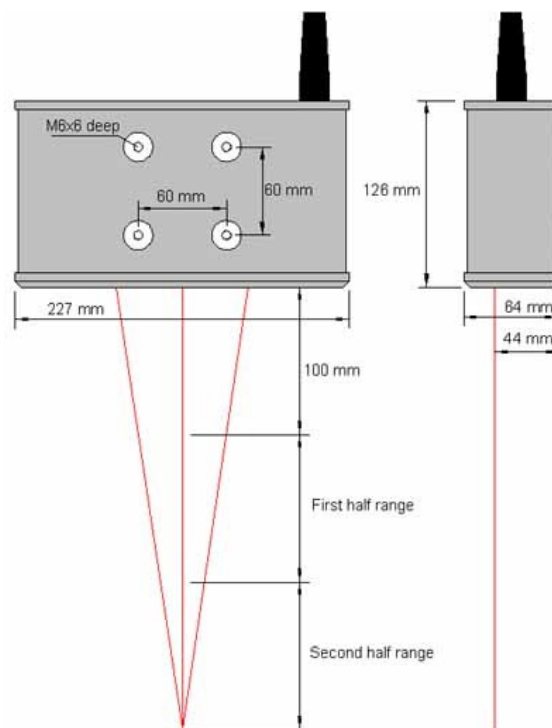
A 400 mm-es távolság több mérési tartományra osztható [12]:

- 100 mm
- 200 mm
- 400 mm

Ezen tartományok pontossága (29. ábra, 5. táblázat):

Szkennelési tartomány	Pontosság a tartomány első felében	Pontosság a tartomány második felében
100 mm	±0.02mm	±0.05 mm
200 mm	±0.05mm	±0.10 mm
400 mm	±0.10mm	±0.20 mm

5.táblázat Lézerszkennér pontossága



29. ábra A lézerszkennér paramétere (forrás: scantech.dk)

Látható, hogy a 100 mm-es tartományon belül a legpontosabb a szkennér. Ezek az adatok 22 °C ± 5 °C tartományban biztosíthatók.

A szkennér súlya: 1,8 kg

Kondia paramétere [9]:

Típus	Kondia B640
X / Y / Z löket [mm]	600 / 400 / 510
Főorsó teljesítmény [kW]	7,5
Max. főorsó fordulatszám [1/min]	8 000
Gyorsmeneti sebesség [mm/min]	30 000
Munkameneti előtolás [mm/min]	30
Pozícionálási pontosság [mm]	< 0,015
Ismétlési pontosság [mm]	<0,008
Szerszámtár kapacitás [db]	22
Szerszámváltási idő [s]	< 8
Gép tömege [kg]	4200

6.táblázat Kondia paramétere



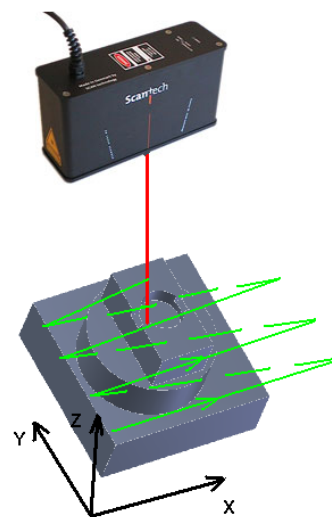
30. ábra A megmunkáló központ

A megmunkáló központ (30. ábra) NCT vezérléssel működik. Ez a vezérlés szinte teljes egészében az ISO6983 szabványra alapszik. Ez az úgynevezett G kódos programozás. A szkenneléshez egy külön paraméteres alprogram lett írva, melynél három paramétert kell megadni:

- X irányú elmozdulás hossza
- Y irányú elmozdulás hossza
- Pont felvétel sűrűsége

A pont felvétel sűrűsége alatt értendő, hogy egy adott soron, milyen gyakorisággal regisztrálja a visszavert lézerfényt, és hogy Y irányban mekkora lépésközzel mozduljon el. Csak X pozitív irányban regisztrál pontokat, adott ciklus végén a darab elejére fut vissza gyorsmenetben. (31. ábra). A lézerszkennert állandó magasságban tartjuk. A hiteles összehasonlítás érdekében itt is **0,1 mm-es lépésközt** határoztunk meg (ugyanúgy, mint a KMG-nél).

Az alprogram jellegéből adódóan ez minden szkenneléshez használható. Arra kell figyelni, hogy az alkatrész megfelelően legyen pozícionálva.



31. ábra Szkennelési ciklusok

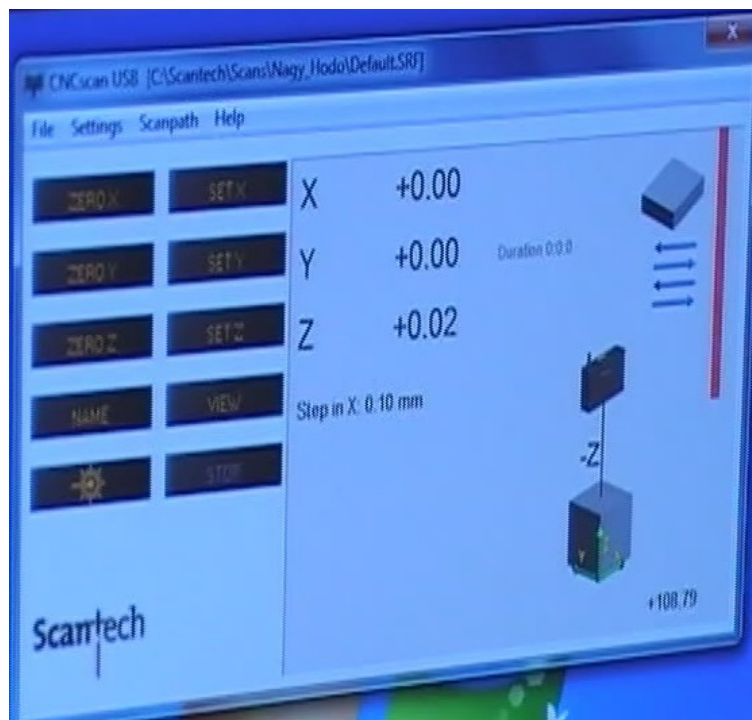
5.1. Az eljárás menete

Első lépésben előkészítjük a gépet a szkennert kézzel történő főorsóba való helyezéséhez (megfelelő szerszámhely beváltása, főorsó hűtő-kenő folyadéktól mentesítése stb.). A főorsó nyitáshoz is lett rendelve egy M kód (M161), mely egy alprogramot takar. Így egyszerűbb és gyorsabb a művelet. Mivel az orsó a művelet alatt nem fog mozogni, ezért a szkennert rögzítése után nem szabad reteszelní. Ennek oka, hogy a reteszelés elektronikusan, a vezérlésen keresztül történik. Ilyenkor az orsó nem áll, hanem az adott pozíciójába tartásához ide-oda mikrométereket mozog. Ez befolyásolná a mérést.

Miután a szkennert összeköttöttük a PC-vel, és elindítottuk a szoftverét (Scantech CNC scan USB), nullpont eltolást kell alkalmazni. Az alprogram ugyanúgy, mint forgácsoló megmunkálásnál a munkadarab koordináta-rendszerében dolgozik. A szem bizonytalansága milliméterekben mérhető, ezért célszerű valamivel a munkadarab mellé állni, kis ráhagyást hagyva. Ha nem megfelelően lett készülékezve, akkor a felesleges rész eltávolítása (csak szoftveresen lehetséges) problémákba fog ütközni (nincs éles határ a szükséges és a szükségtelen pontfelhő között).

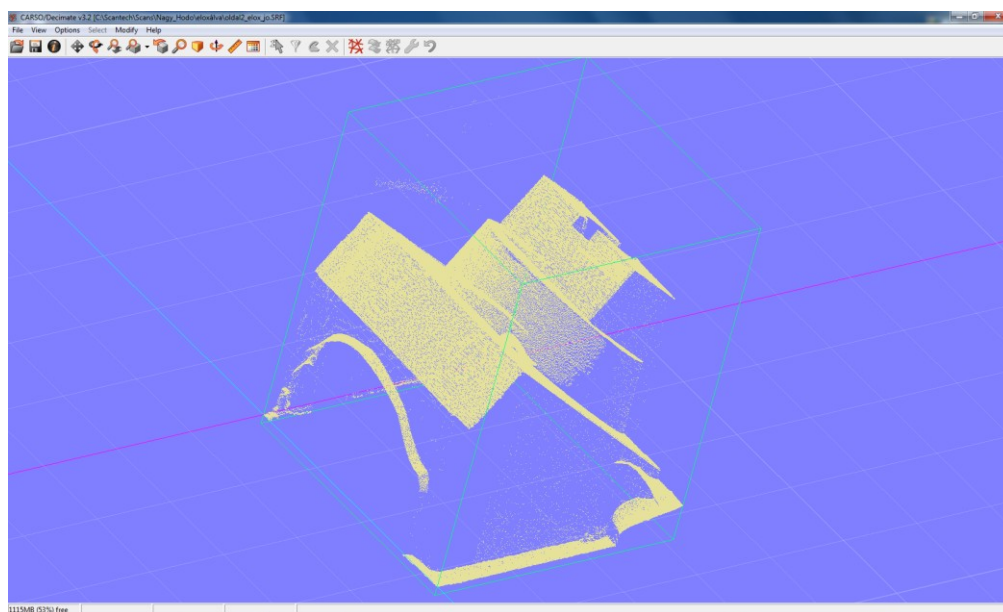
Esetünkben a készüléknek csak a pozicionálás a fő feladata, a szorítás másodlagos, mivel kis erők ébrednek (közvetlen erőhatás csak az asztal gyorsulásából és lassulásából adódik). Viszont ahogy az előző bekezdésben is említettük, fontos, hogy az esetlegesen beszkennt készülék felületelemek jól elkülöníthetők legyenek. Mivel a mi darabunk egymásra merőleges és egymással párhuzamos felületekből állnak, ezért megdöntve kell felhelyezni. A lézerszkennert feltétele, hogy a fény minimum 5°-ot zárjon be a szkennelni kívánt felülettel.

Szoftveres nullázás és START után Ciklus Start-tal indítjuk a mérést. A szoftver gyakorlatilag ennyi funkciót is tartalmaz (32. ábra). A pontok regisztrációinak sűrűségét lehet még beállítani. A darabunkat elegendő négy oldalról digitalizálni, ezért négyszer kell megismételni a folyamatot. Darab forgatásakor ügyelni kell arra, hogy legyenek a beszkennt felületek között átfedések.



32. ábra A lézerszkennер programja

Minden nézet szkennelésé végén a kiadott fájlt meg kell nyitni egy CARSO nevű programmal (33. ábra), mely szemléletesen megjeleníti a pontthalmazt, látszati felületet tud rá húzni annak érdekében, hogy előzetesen meg lehessen vizsgálni az eljárás eredményességét. Továbbá ez szolgál arra, hogy a számunkra megfelelő kiterjesztésű fájlba tudjuk elmenteni a felvett pontfelhőt.



33. ábra CARSO-ban megjelenített pontfelhő

5.2. Szkennelés közbeni problémák

Az eljárás során a legnagyobb problémát a megfelelő szögben történő elhelyezés jelentette. Első sorozatnál nem megfelelően lett ez meghatározva, így a test oldalain nem sikerült elegendő mennyiségű pontot mintavételezni. Ez a sorozat újra ismétlését jelentette (csak a jó sorozat ideje lett felhasználva a költségszámításnál). Az eljárás közben más hátráltató körülmény nem lépett fel.

5.3. Részeredmények

A mérés mindösszesen másfél munkaóra telt. Ebből, illetve a gép állandó költségeiből lehet számítani a darabra vonatkozólag egy részköltséget. Ez a következőképpen alakult. A megmunkáló-központ óraköltségét konzulensünk tanácsára 15000 Ft-ra vettük fel. Csak ezen költséget figyelembe véve **a darab szkennelése 22500 Ft-ra** jött ki.

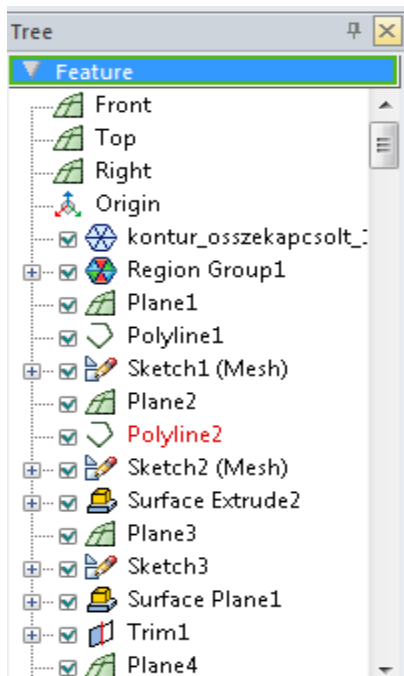
6. Modell-készítés

6.1. A használt program bemutatása

Munkánk során az összehasonlítás egyik fő területe az összehasonlítandó eljárások reverse engineering eljárásra való alkalmassága volt.

A reverse engineering szókapcsolat magyarul fordított mérnöki tevékenységet jelent. Ez alatt azt a folyamatot értjük, amelynek során egy már legyártott, létező tárgy CAD - geometriáját készítik el, majd a darabot az így kapott modell alapján legyártják.

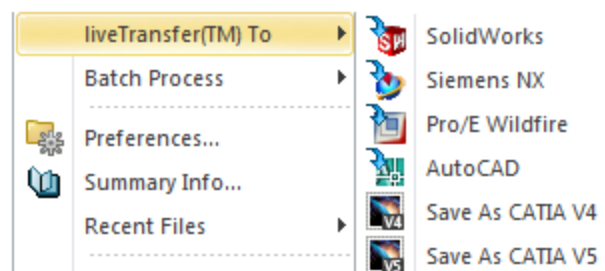
Ehhez az eljáráshoz először a beszkenelt pontokból egy felületmodellt kellett csinálnunk, amihez az INUS Technology Rapidform XOR3 – as szoftverét használtuk. Ez az egyik



34. ábra Fa struktúra

legkorszerűbb reverse engineering szoftver jelenleg a piacon. A mérnöki munkákon kívül használják még minőség ellenőrzésre és orvosi kutatásokban is. A vezető vállalatok (AUDI, Ford, Hyundai, Toyota, Nissan, Honda, GM, Volkswagen, Hitachi, Panasonic, Samsung, Sony, LG, Lufthansa, Alcoa [15]) a Rapidform fejlett technológiáját, újításokra, kutatásokra, tervek, gyártások és minőségellenőrzési eljárásokra használják. A program a legmodernebb parametrikus felület és testmodellező eljárásokat alkalmazza, így nagypontosságú CAD-modell hozható létre a szkennelés után kapott pontfelhőből. Pontosságát több hitelesítő intézet is igazolta.

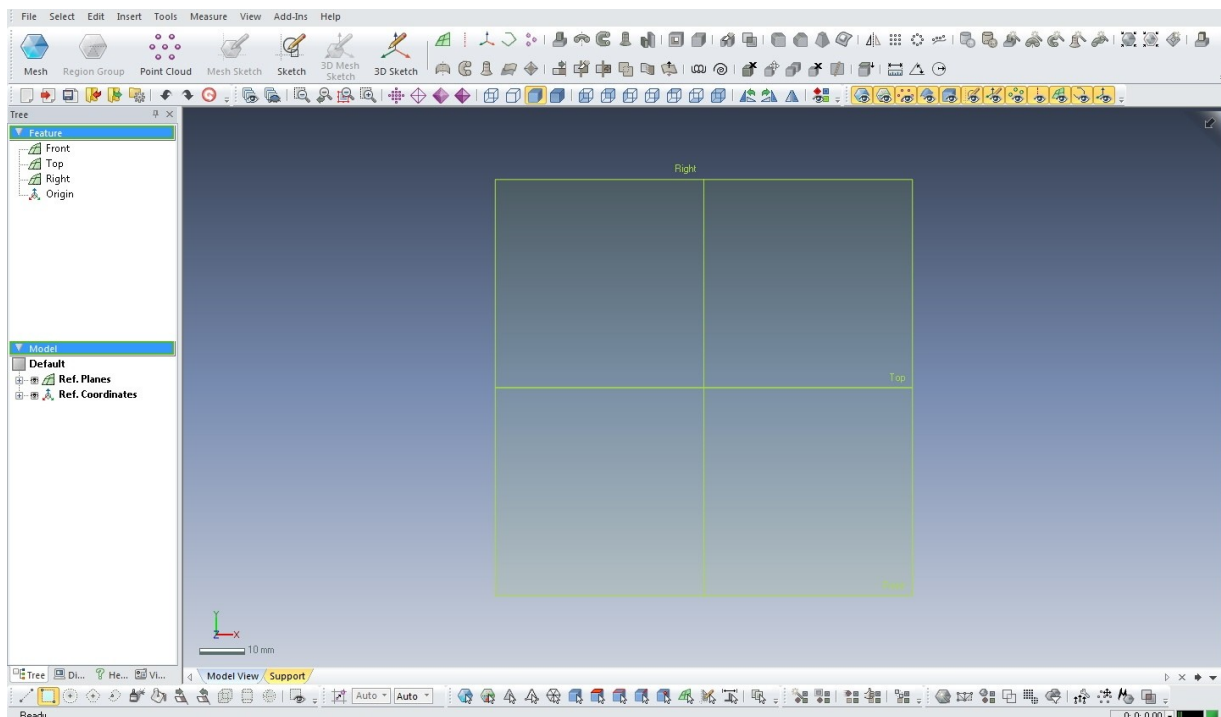
Könnyen használható, mivel eljárásai, felhasználói felülete rendkívül hasonlít az általános 3D-s modellező programokhoz. Ezen hasonlóságok közül érdemes kiemelni a fa struktúra funkciót (34. ábra), amely modellépítés „lépcsőit” tartalmazza. Ha ezt a fa struktúrát módosítjuk, akkor a CAD-modell is változik. A liveTransfer™ funkcióval lehetőség nyílik ennek a fastruktúrának más CAD rendszerekbe való átadása is (35. ábra).



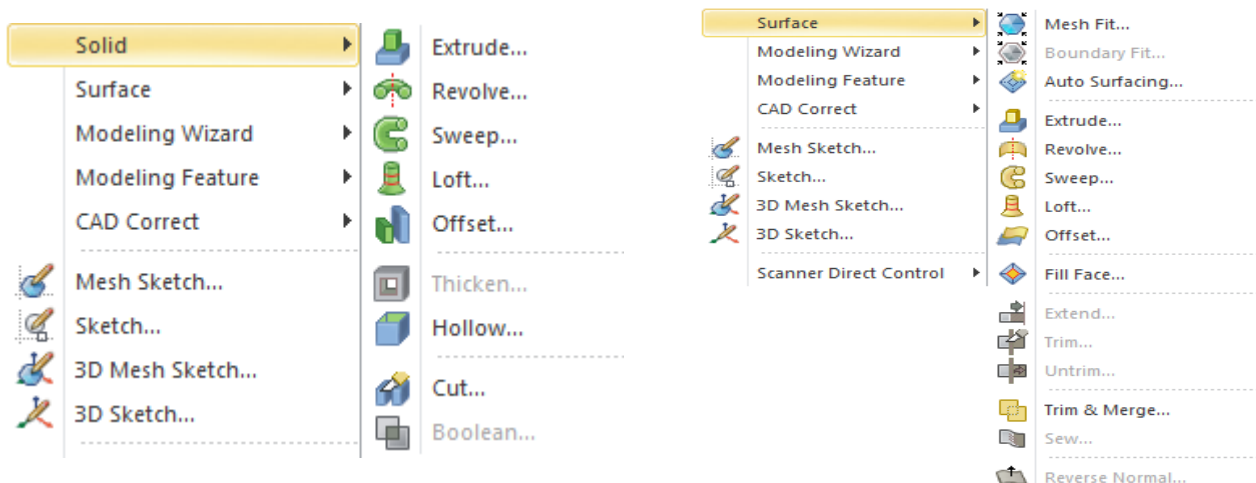
35. ábra liveTransfer™ funkció

Két nagy, a munkánkat érintő újítását érdemes még megemlíteni:

- A beszkenelt pontfelhőt térbeli háttérképként kezeli [16] és az integrált teljes értékű CAD modellező funkciókkal. Ezen háttérképet felhasználva lehet előállítani a kívánt CAD modellt (37. ábra). Ez lehetővé tette nagyszámú pontból álló halmaz kezelését, illetve a modellezési folyamat felgyorsítását.
- Különböző orientációjú szkennelési nézetek összeillesztése. Ennek a lézerrel szkennelt pontthalmaznál vettük hasznát, mivel ennek az eljárásnak a sajátosságai miatt több nézetből kellett a munkadarabot beszkennelni.



36. ábra A program főképernyője



37. ábra A felület és testmodellezési funkciók

6.2. A modellezési folyamat

6.2.1. A két folyamat általános ismertetése

A két metódus lépései időrendi sorrendben:

Mérőgépnél:

- A pontfelhő kimentése
- A pontfelhő importálása
- Az egyértelműen hibás pontok szűrése
- STL felületmodell előállítása
- Alaksajátosságok felismerése
- Felületek illesztése
- Végső CAD modell elkészítése

Lézerszkennelésnél:

- A pontfelhők kimentése
- A pontfelhők importálása
- Nézetenként a pontok szűrése
- Nézetek összeillesztése
- STL felületmodell előállítása
- Alaksajátosságok felismerése
- Felületek illesztése
- Végső CAD modell elkészítése

Látható, hogy a jobb oldali folyamat egy ponttal áll több lépésből: a nézetek összeillesztésével.

A továbbiakban minden egyes lépés leírására, tárgyalására kerül sor.

6.2.2. A pontfelhők kimentése

Ahhoz, hogy a beszkenelt pontfelhőket adatként fel lehessen használni először ki kell „nyerni” ezeket a gépekből, mely különböző fájlformátumokként való elmentésével történik. Mindkét eljárás bővelkedik az elmenthető fájlformátumokban, a kiválasztásnál az egyszerű kezelhetőség és az adatvesztés minimalizálása, kizárása volt a fő szempont.

A koordináta-mérőgépnél a TXT, míg a lézerszkennernél az ASC formátum került kiválasztásra.

Mindkét formátum a mért pontok munkadarab koordináta-rendszeren belüli XYZ koordinátáját menti el. A mérőgép TXT fájlja 34,9 Mbyte, míg a lézerskenner ASC fájlai összesen 72,1 Mbyte (38. ábra), mind a két formátum megnyitható szövegszerkesztésre alkalmas programmal:

Fájl	Szerkesztés	Formátum	Nézet	Súgó
53.610001	1.785000	1.235000		
53.785000	1.785000	1.355000		
53.955002	1.785000	1.585000		
54.130001	1.785000	1.785000		
57.814999	1.785000	0.570000		
57.950001	1.785000	0.195000		
58.084999	1.785000	-0.100000		
58.220001	1.785000	-0.095000		
58.355000	1.785000	-0.125000		
58.485001	1.785000	-0.175000		
58.615002	1.785000	-0.145000		
58.740002	1.785000	-0.115000		
58.869999	1.785000	-0.080000		

Fájl	Szerkesztés	Formátum	Nézet	Súgó
-0007.8970	-0032.3244	-0030.0973		
-0007.8948	-0032.2735	-0030.0972		
-0007.9018	-0032.1860	-0030.0978		
-0007.9042	-0032.0825	-0030.0990		
-0007.8975	-0031.9750	-0030.0993		
-0007.8970	-0031.8630	-0030.0993		
-0007.9029	-0031.7571	-0030.0977		
-0007.9123	-0031.6666	-0030.0971		
-0007.9302	-0031.5713	-0030.0976		
-0007.9332	-0031.4703	-0030.0979		
-0007.9317	-0031.3700	-0030.0989		
-0007.9372	-0031.2704	-0030.0994		
-0007.9306	-0031.1695	-0030.1010		

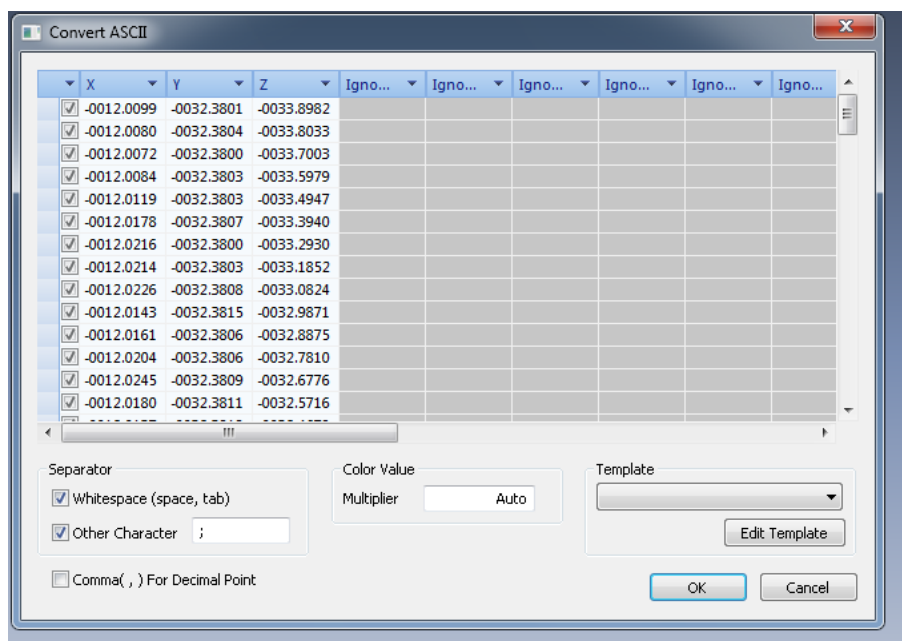
38. ábra A két fájl jegyzetkönyvben megnyitva

Megfigyelhető, hogy a lézerszkennér 0,000001 mm pontosan, míg a mérőgép 0,0001 mm pontosan menti ki a pontok koordinátáit. Az előbbinél az utolsó 4 helyi érték kiírásának nincs felhasználható információtartalma, mivel a CNC gép útmérő-rendszerének a felbontása mikronos, illetve a lézerszkennér felbontása tizedmikronos.

A mérőgép TXT fájlában pedig az egész helyi értékeken szereplő nullákat lehetne elhagyni. Ezen helyi értékek elhagyásával az ASC fájl mérete körülbelül a felére csökkenne, a TXT fájl kisebb mértékben ugyan, de kisebb helyet foglalna el, ami megkönnyítené az adatok hordozását, feldolgozását, amelynek a következő lépése a rapidformba való importálás.

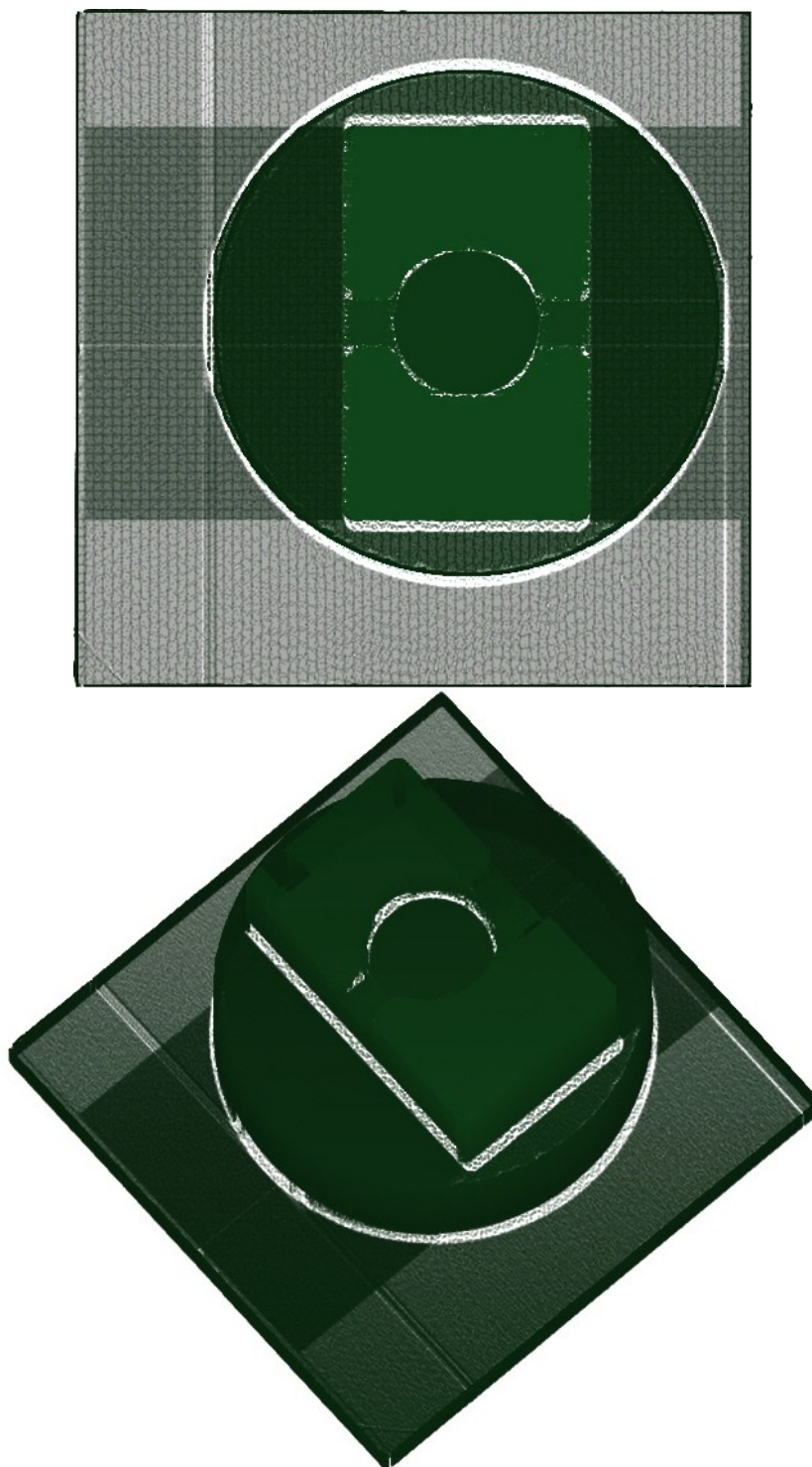
6.2.3. Importálás

Ahhoz, hogy a kimentett fájlokban a három koordinátával leírt pontokat fel tudjuk használni, megjeleníthessük a monitoron, importálnunk kell a kimentett adatokat. Ezt a folyamatot a Rapidformmal egészen egyszerűen, gyorsan el tudjuk végezni (39. ábra):



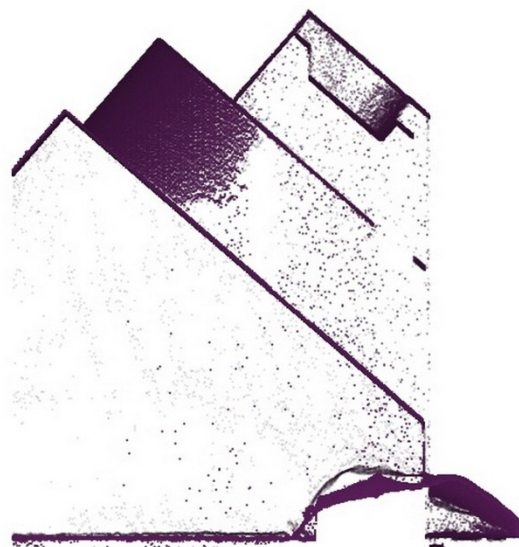
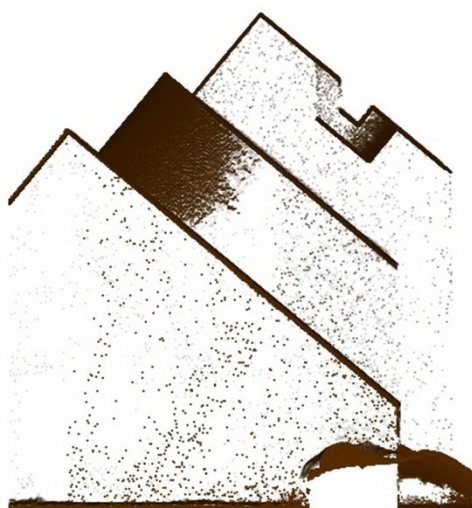
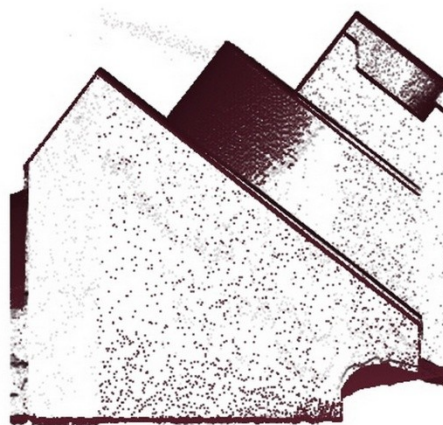
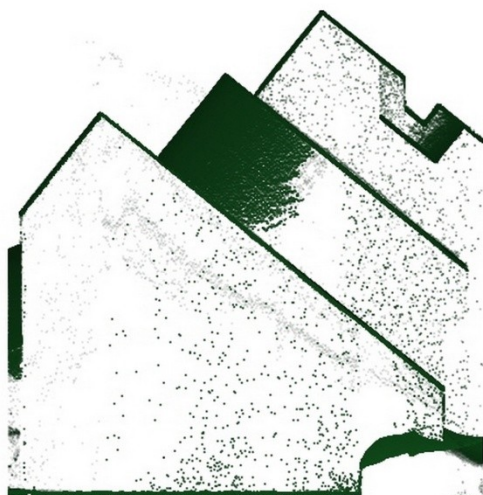
39. ábra Pontok importálása Rapidformba

Az importálás eredményeképpen 1 051 082, mérőgép által beszkenelt pont (40. ábra), és a 4 nézetben összesen 1 893 447, lézerszkennertől felvett pont (41. és 42. ábra) jelenik meg a programban. Ezekben a pontfelhőben még megtalálhatók, az eljárások sajátosságaiból adódó, hibásan felvett pontok. Ezen pontok felhasználása a modellezés további szakaszaiban rontaná a modell pontosságát, ezért szükséges a pontfelhők megtisztítása, a hibás pontok kiszűrése, melyre a következő bekezdés tér ki.

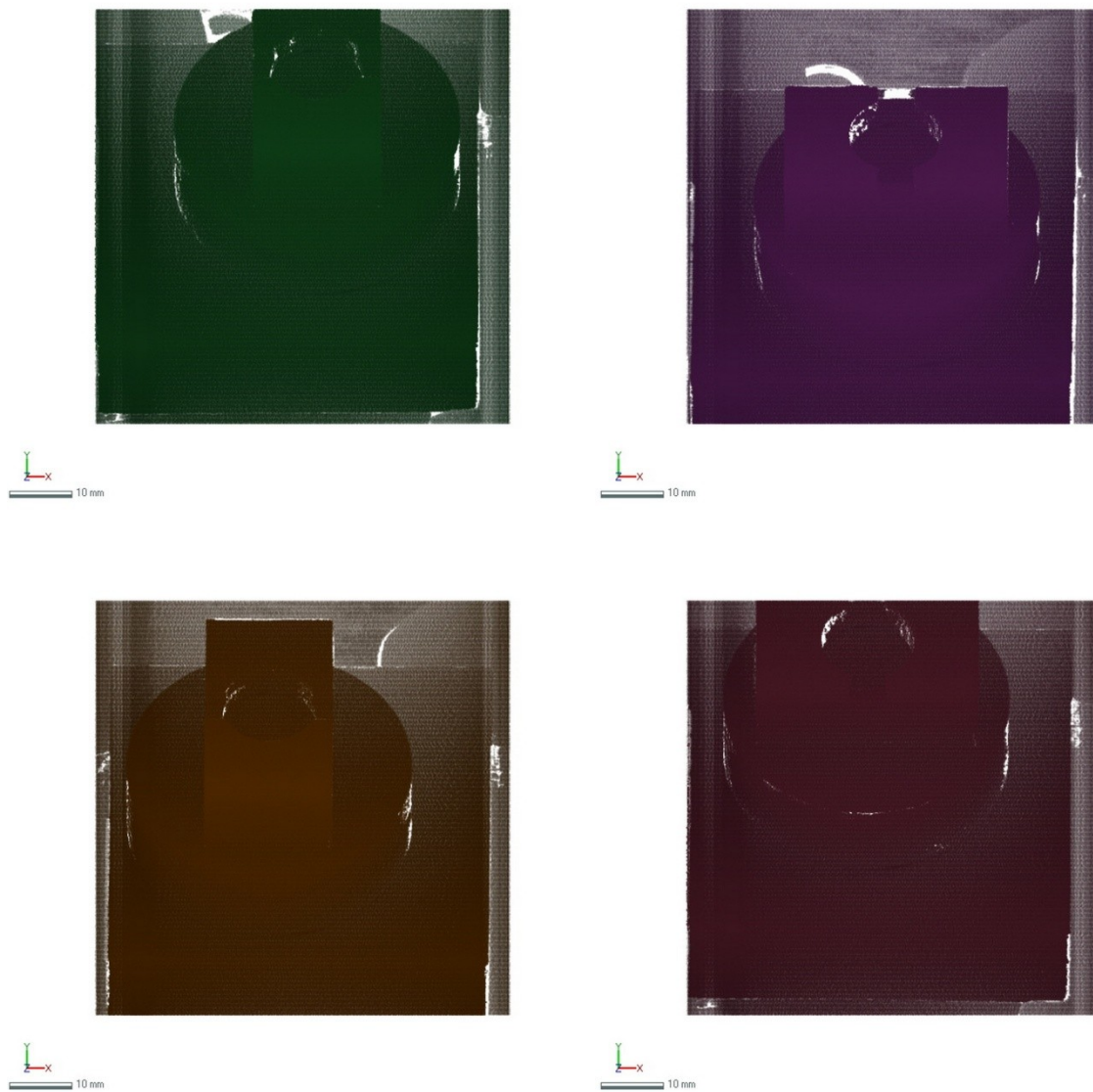


40. ábra A mérőgép szkennelésének importált pontfelhője

Jól látszik ahol keresztben is végig ment a fej. Ott sötétebb a modell.



41. ábra A lézerszkennertől beszkennelt nézetek jobb oldalról



42. ábra A lézerszkennertől beszkenelt nézetek felülről

Ezekből a nézetekből egyértelműen megállapítható, hogy a szkennelés milyen nézetekből történt. Jól látható, hogy a 4 nézetet a darab z tengely körüli 90°-os elforgatásaival kaptuk.

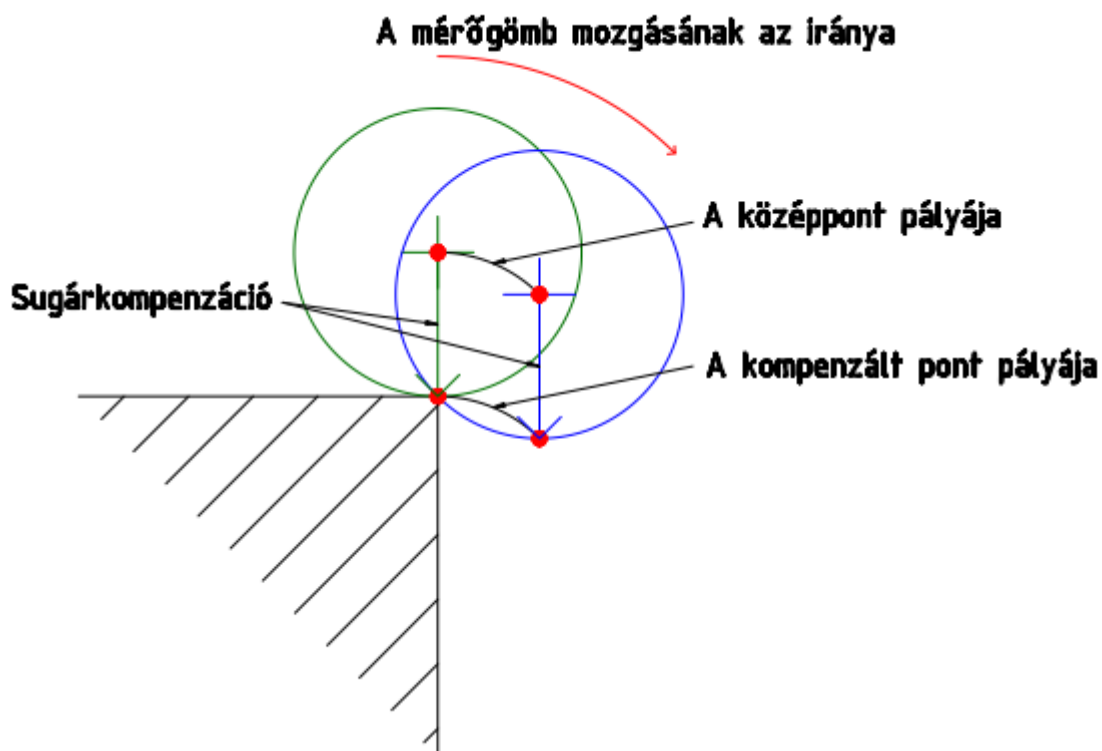
6.2.4. Pontszűrés

6.2.4.1. Pontszűrés a mérőgépnél

A szkennelések során ezek az eszközök számtalan hibás pontot vesznek fel, melynek kiszűrése, kitörlése a Rapidform segítségével történik. A mérőgépnél két jellegzetes hibaforrással lehet találkozni.

Az egyik az élek szkennelésekor a nem megfelelő sugárkompenzáció. Mivel a programozott pont a gömb középpontjában található a gép a pontok regisztrálásához sugárkompenzálást hajt végre melynek iránya a tapintás irányával megegyezik. Az élek mérésekor a mérőtapintó gömbje egy negyed köríven át ugyan azon az élen tapint, viszont mivel a gömb középpontja is egy negyed kört jár be a kompenzált pontok képe is ugyan ezt az alakzatot mutatja egy sugárnyival a darab felé eltolva.

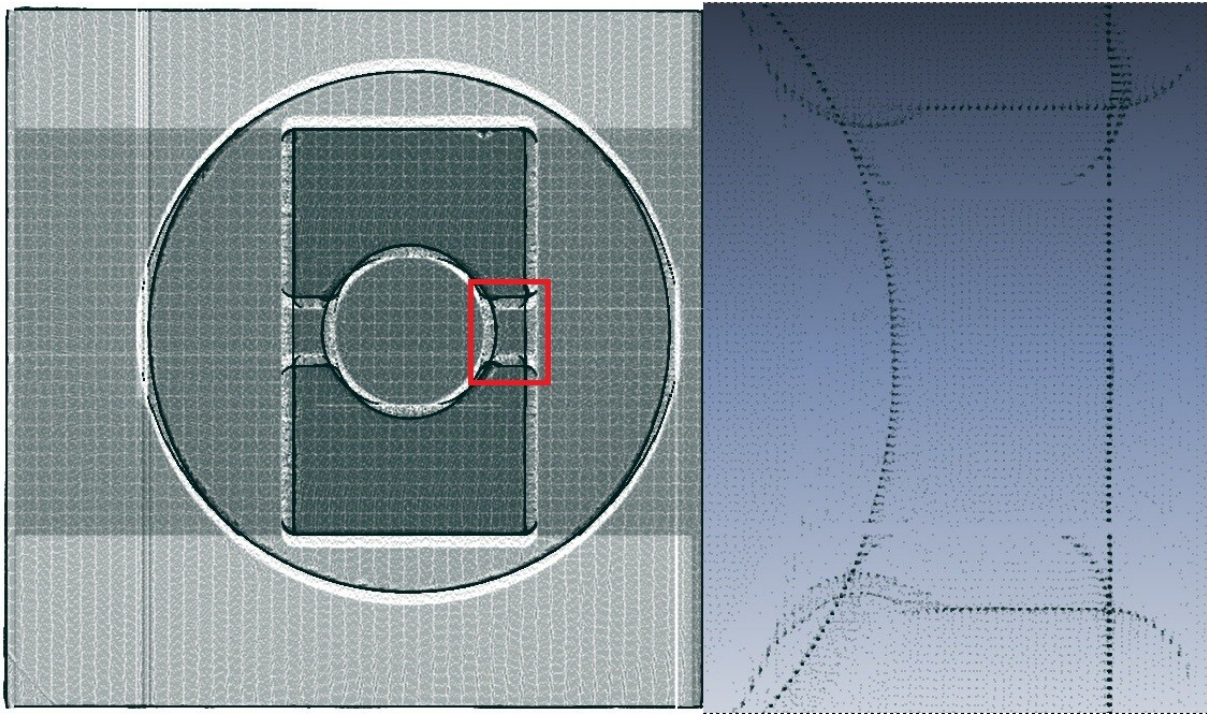
A 43. ábrán egy 90°-os sarkon tapint a mérőgömb. A tapintás iránya lefele mutat egészen addig, míg abban az irányban a gömb bármely felülete anyagba ütközik. Látható, hogy a sugárkompenzáció után a regisztrált pont egy hibás pont.



43. ábra Mérőgömb pályája élen

{ 45 }

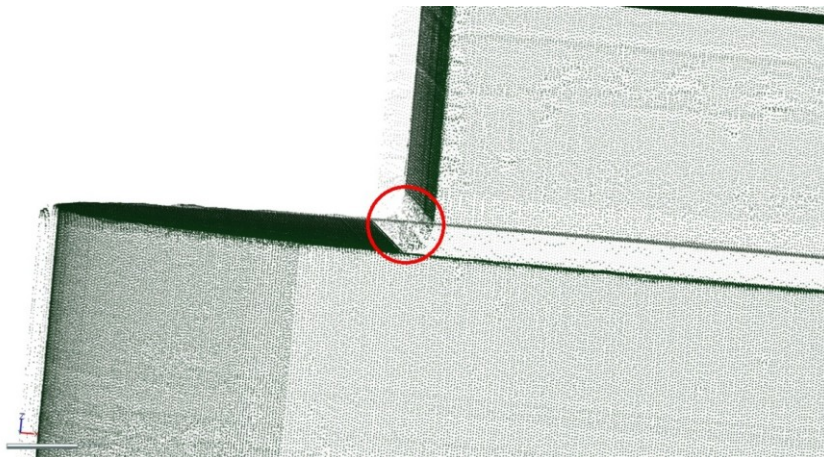




46. ábra A hiba képe a munkadarabon

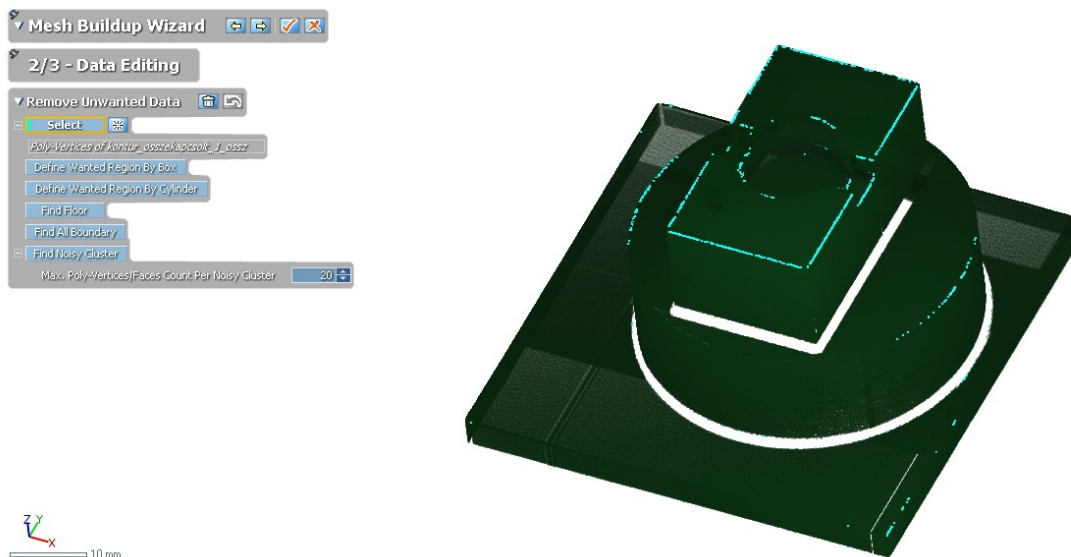
A 46. ábra szemlélteti a sugárkompenzációs problémákat a valóságban.

A másik jellegzetes hiba a sarkok szűréséből adódik. Nyilvánvaló geometriai korlátok miatt a mérőgömb nem tud a sarkokra rátapintani, ezért ott nem tud valós, használható pontokat felvenni, viszont mégis találunk ott pontokat, ez a mérőgömb előfeszítéséből ered (47. ábra). Ahhoz, hogy a mérőgömb állandóan érintse a munkadarabot, elő kell feszíteni, ami a mérőfej az adott felület normálisával ellentétes irányba való 0,4 mm-es elmozdításával történik. A sarkoknál mind a tapintási irány, mind az előfeszítés iránya is fokozatosan megváltozik, ekkor a mérőgömb középpontja a mérőfejhez képest egy körívet jár be, ez az alakzat sugárkompenzáció után egy a mérendő felületeket érintő körív lesz. Ezeket a pontokat is szükségszerű kiszűrni.



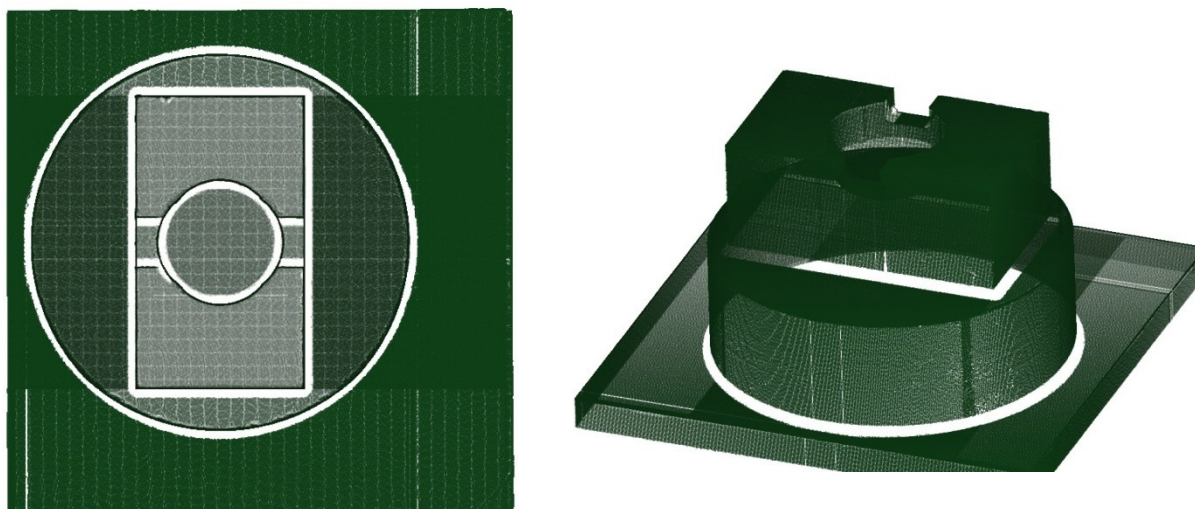
47. ábra Hibás pontok a sarkokon

Ezen pontok kiválogatásához, törléséhez a Rapidform ad némi segítséget, de a hibás pontok legnagyobb részét manuálisan kell eltávolítani (48. ábra). Ez elég időigényes feladat, mivel törekedni kell a hibás pontok minimalizálására, ugyanakkor a pontos felületmodell létrehozása érdekében a megfelelően felvett adatokat meg kell tartani.



48. ábra A megtisztított sarkok

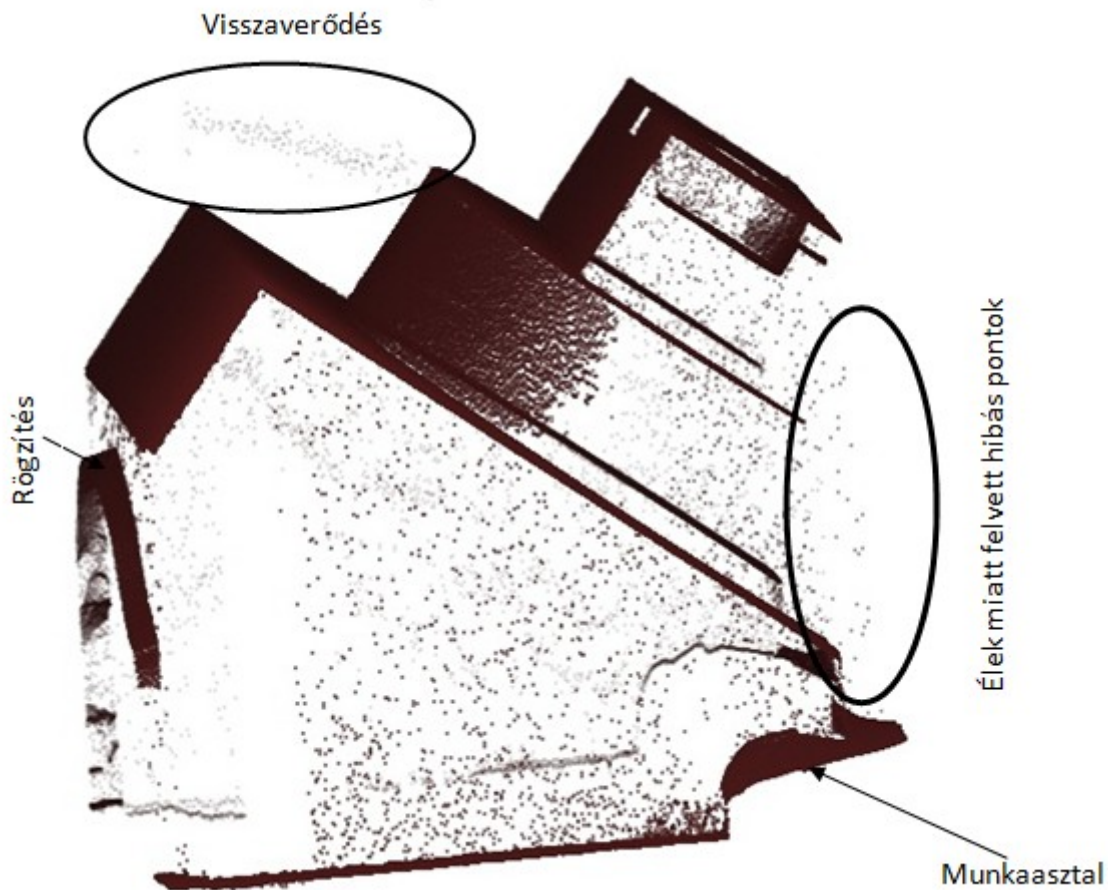
A szűrés eredményeképpen az 1 051 082 pontból álló felhőt 983 148-ra csökkentettük, közel 70 000 hibás pontot töröltünk ki. Ez 6,5%-os pontszámcsökkentést jelent. A hibás pontok eltávolítása miatt, így már alkalmas az STL felületmodell előállítására (49 ábra).



49. ábra A végleges adathalmaz

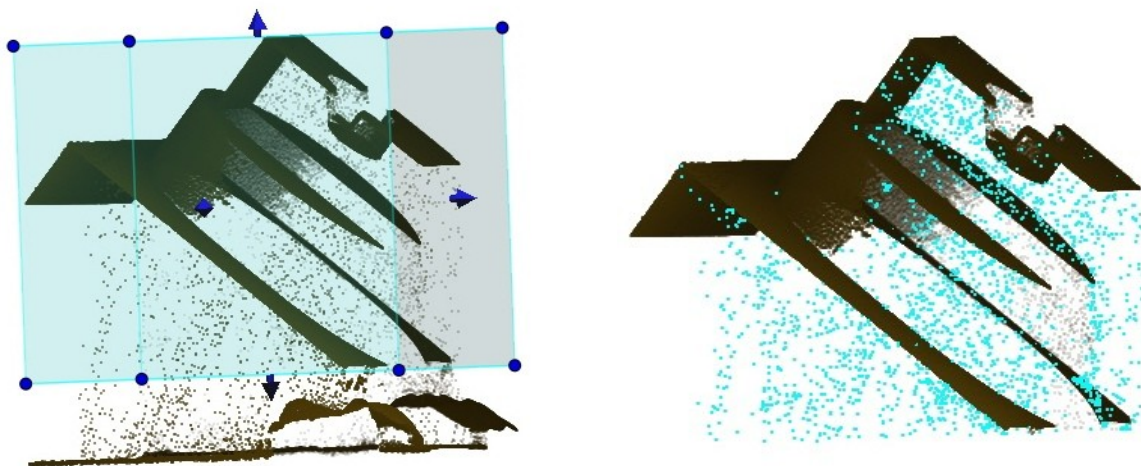
6.2.4.2. Pontszűrés a lézerszkennernél

A lézerszkennernél szemmel látható, hogy jóval nagyobb a hibás pontok aránya, száma. Ennek egyik oka lehet, hogy az eloxált darab egyes felületrészei elfogadható mértékben ugyan, de visszaverik a fényt. Másik pedig az éleken, sarkokon való pontok felvétele ennél a módszernél sem tökéletes. A lézersugárnak is van átmérője, ha nem teljes keresztmetszetben vetül a darabra, akkor az szintén hibás pontot eredményez. A szkennelés során az XY (vízszintes) síkban a munkadarabnál nagyobb területet adtunk meg szkennelésre, azért, hogy biztosan benne legyen minden felület. Ennek eredménye az, hogy néhol regisztrálásra kerültek a rögzítő elemek, illetve a munkaasztal is. Nyilvánvaló, hogy az ezeken felvett pontokat is ki kell törölni (50. ábra).

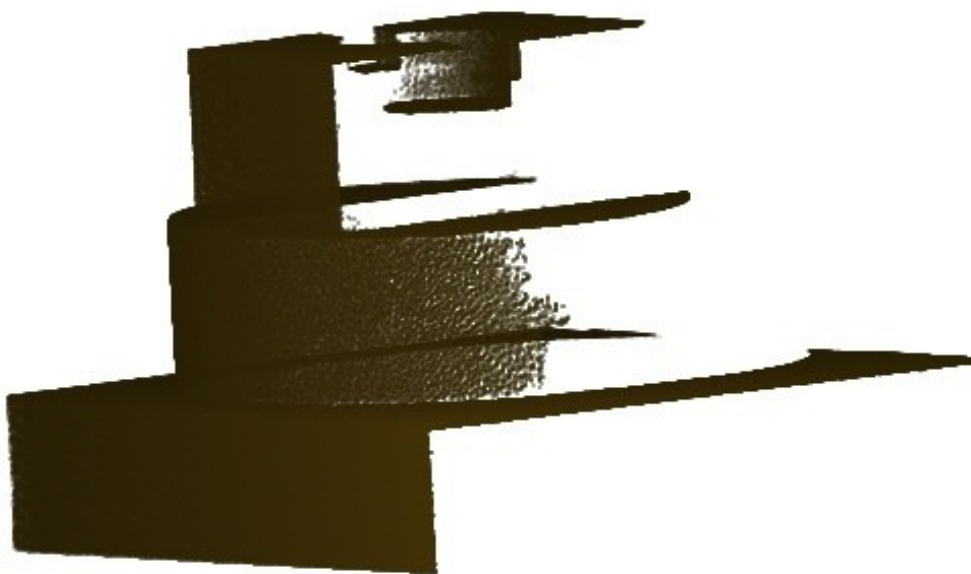


50. ábra Az egyik nézet a szemmel látható hibás pontokkal

A pontok szűrése itt nagyrészt automatikusan zajlódik. Először kijelöljük, melyik térfogatrészt akarjuk megtartani, majd az automatikus pontszűrő segítségével sikerül kitörölni a hibás pontok legnagyobb részét, kevés pontot kell ezek után manuálisan törölni (51. ábra).



51. ábra Pontszűrés

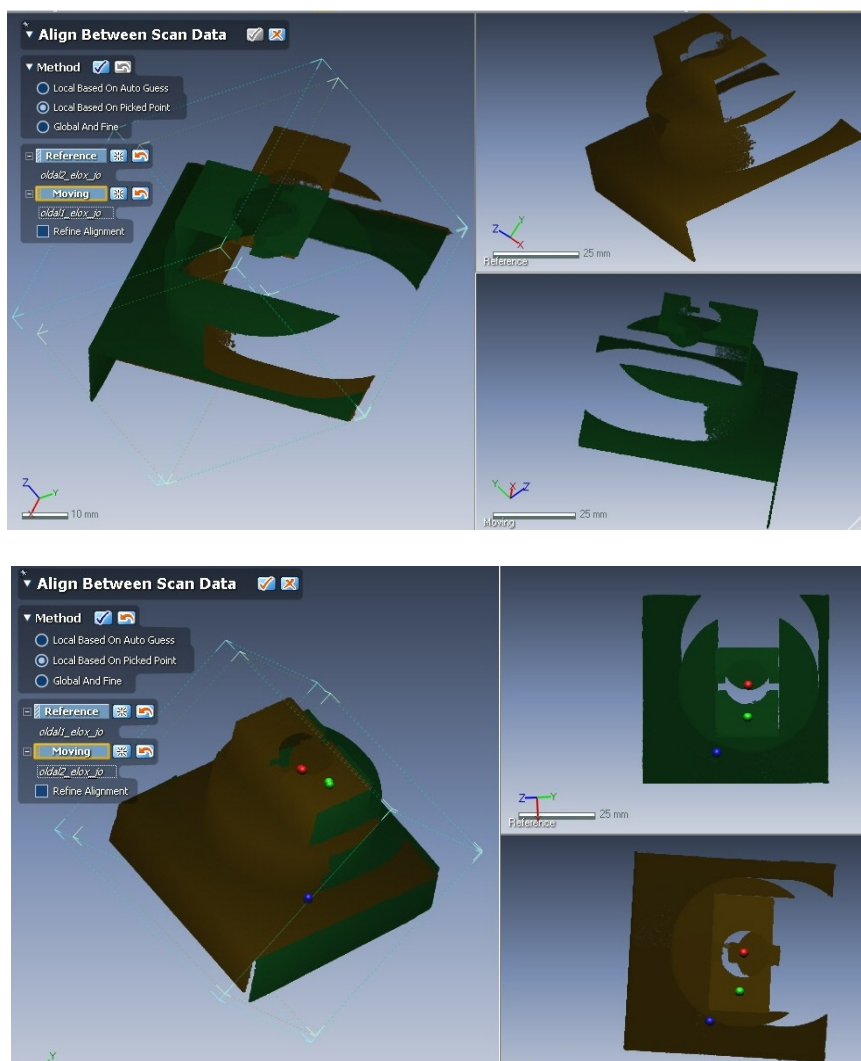


52. ábra A szűrés után kapott pontfelhő:

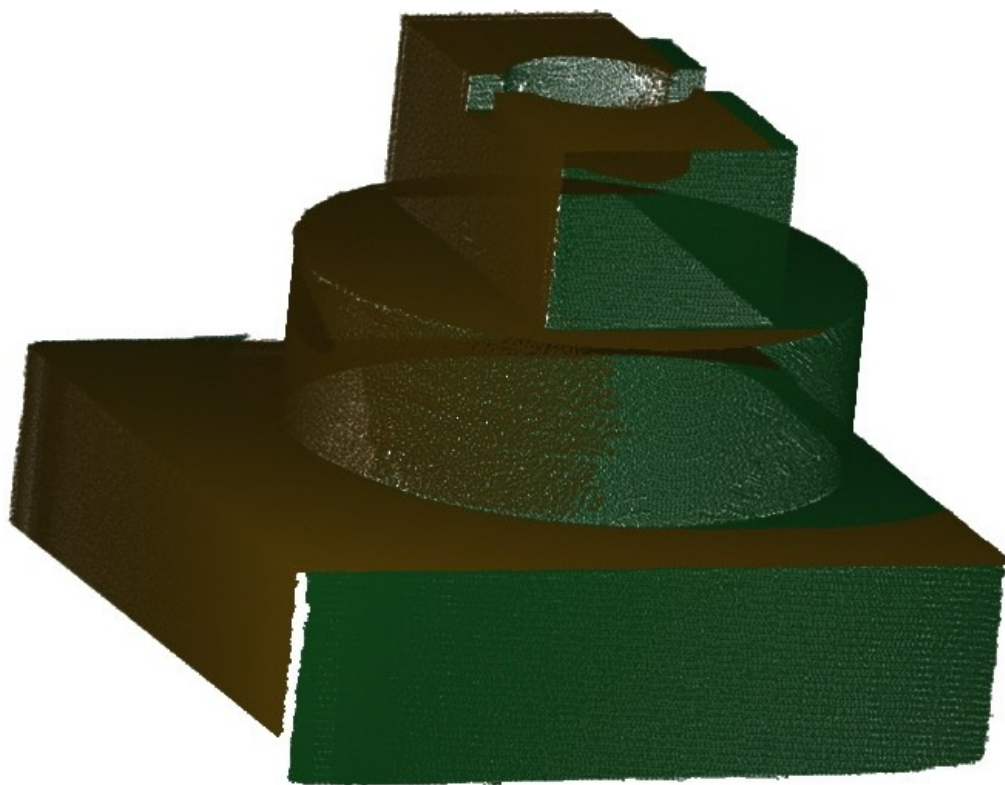
Ezt a műveletsort végrehajtva mind a 4 nézeten megkapjuk az összeillesztésre kész pontfelhőinket (52. ábra). A szűrés során a 1 893 447 pontból 1 267 071 pontot kaptunk. Ez 33%-os csökkenést jelentett. Így végeredményben kevesebb használható pontot kaptunk, mint a mérőgépnél.

6.2.5. A lézerrel szkennelt nézetek összeillesztése

A Rapidform egyik lényeges újítása, hogy képes a különböző szkennelt nézetek összeillesztésére. Ez történhet automatikus, illetve „fél automatikus” módon. Az előbbinél megpróbálja a program önállóan összeilleszteni a felületeket úgy, hogy minél nagyobb részek kerüljenek egymással átfedésbe. Ez főleg „freeform” felületeknél (például egy kavicsnál) alkalmazható, mivel ott a szimmetrikus, ismétlődő felületek száma kevés. Ez nálunk a szimmetrikus featureök miatt sajnos nem volt alkalmazható, ugyanis kevés volt az „átfedés” a különböző felületek között. Emiatt a „fél automatikus” (*Local Based On Picked Point*) megoldás került kiválasztásra [14] (53. ábra). Ez úgy történik, hogy a különböző nézeteken nagyjából azonos helyen pontokat veszünk fel, melyeket ezután a program az előnézetben igyekszik minél jobban egymáshoz közelíteni, majd automatikusan, megpróbálja a közös felületrészek legjobb fedésbe hozásával összeilleszteni a két nézetet (54. ábra).

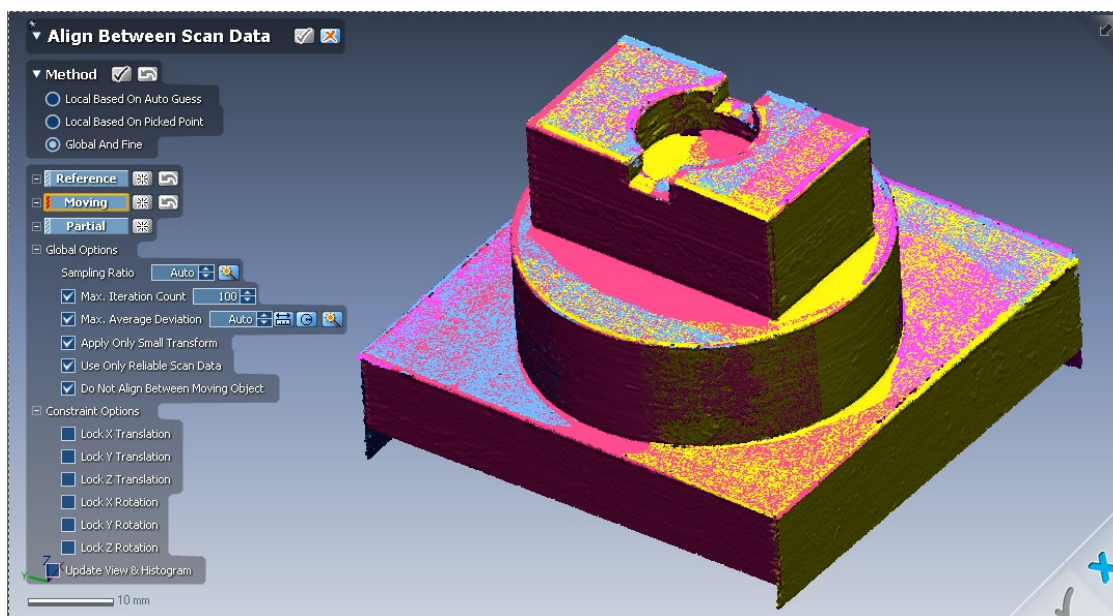


53. ábra Két nézet összeillesztése



54. ábra A kapott illesztés

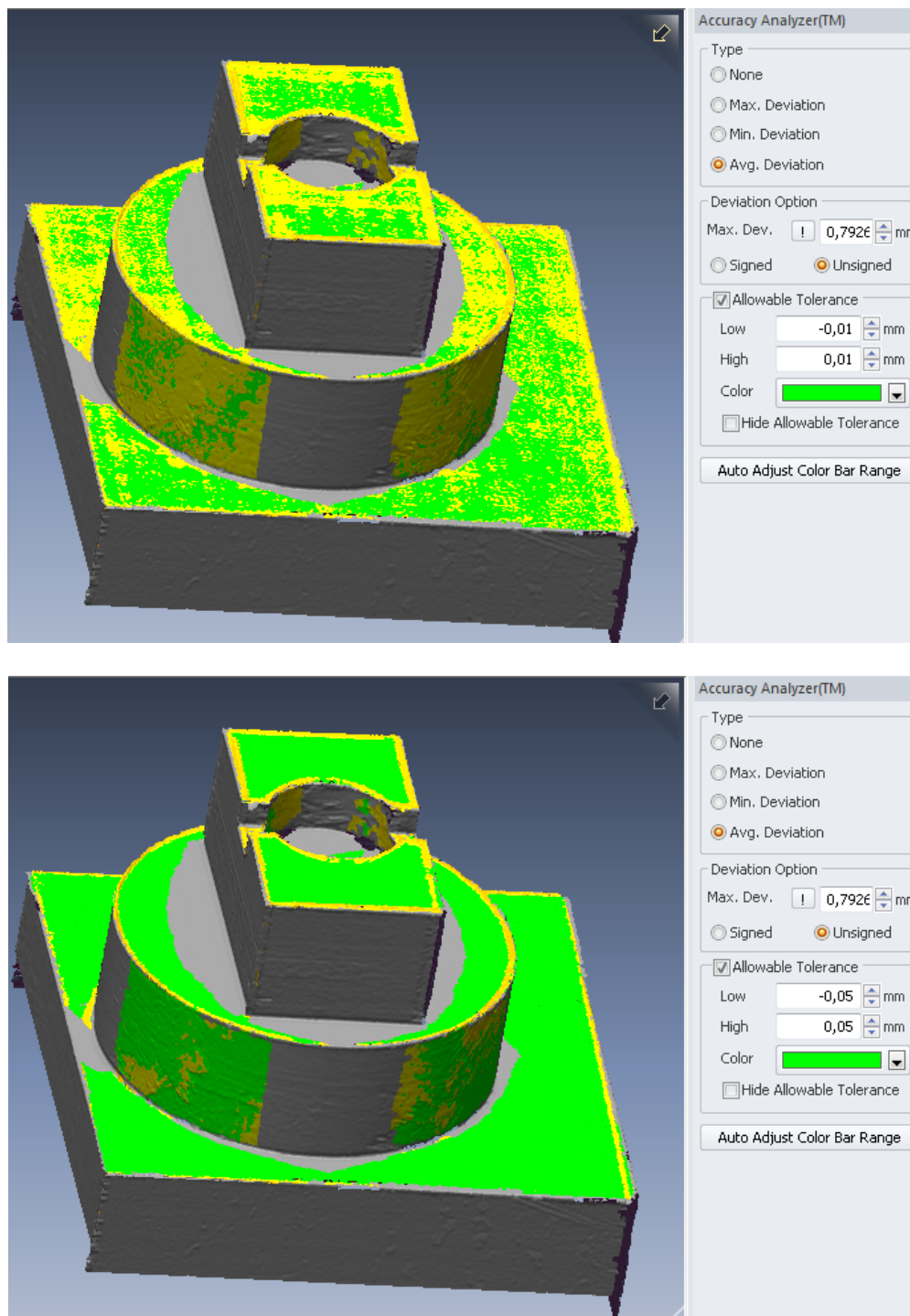
Ezt a műveletet a maradék 2 nézettel is el kell végeznünk. Legvégül a finomillesztések után megkapjuk a háromszögmodell előállítására alkalmas pontfelhőt (55. ábra). Ez a folyamat meglehetősen időigényes, illetve a program haladó szintű ismeretét igényli.



55. ábra A véglegesen összeillesztett pontfelhő

A programba beépített Accuracy Analyzer™ segítségével megvizsgálhatjuk, hogy a nézetek milyen pontosan illeszkednek egymásra. Az 56. ábra első képén a zöld terület $\pm 0,01$ mm, míg a másodikon $\pm 0,05$ mm a zöld mezők alsó illetve felső határa. A szürke mezőknél csak 1 nézetben van felület, tehát ott nem tud más felülethez viszonyítani.

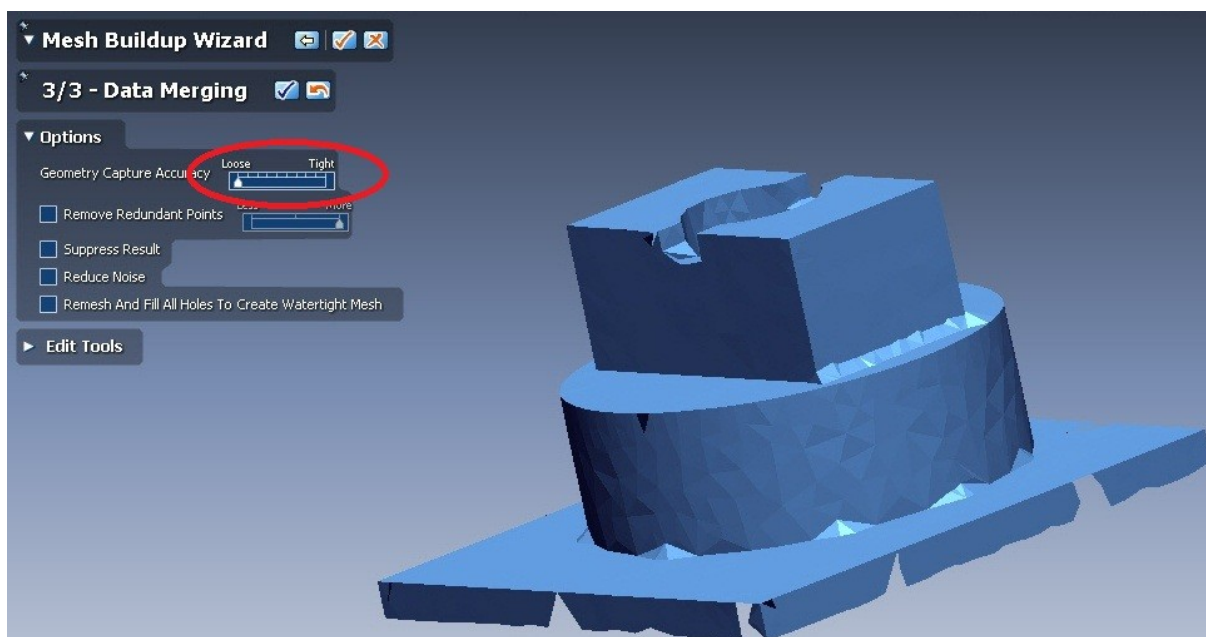
Megállapíthatjuk, hogy az összeillesztés jól sikerült, a felületek legnagyobb része $\pm 0,05$ milliméteren belül van, ami nagyjából megegyezik a szkennor pontosságával.



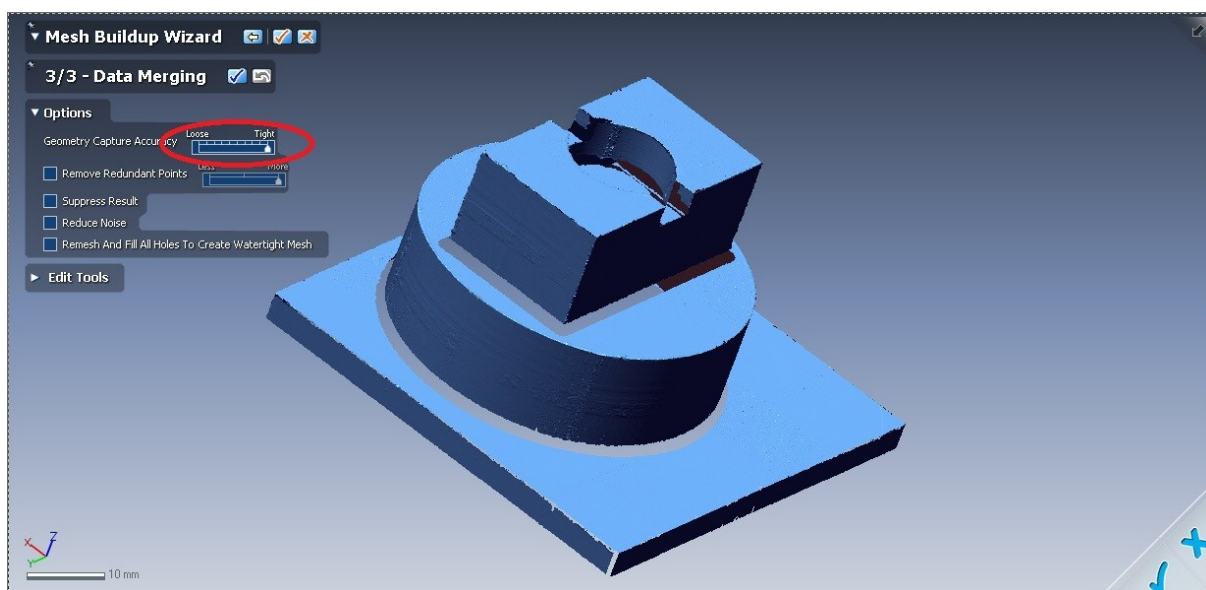
56. ábra A kapott eltérések Accuracy Analyzer™-ben mutatott képe

6.2.6. Az STL felületmodell előállítása

Az STL (Standard Tessellation Language) fájl felületleíró adatformátum, amely háromszögek segítségével írja le az adott felületeket. Minden egyes háromszög esetén definiáltak a csúcspontok, melyek a pontfelhő pontjai, valamint a hozzá tartozó normál vektorok. Az STL modell 100%-ban nem képes visszaadni a valós modellt, de megközelíti. A pontosság érdekében törekednünk kell a minél jobban a pontfelhőre simuló háromszögmodell kialakítására (57. és 58. ábra).

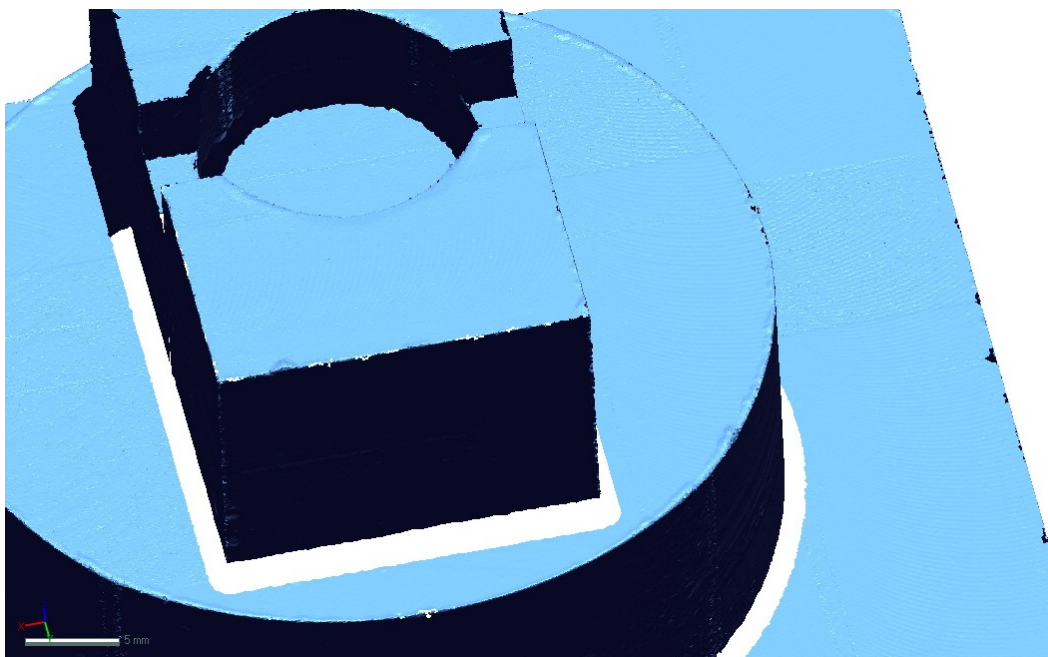


57. ábra A koordináta mérőgép pontfelhőjére *leglazábban* rásimuló háló:

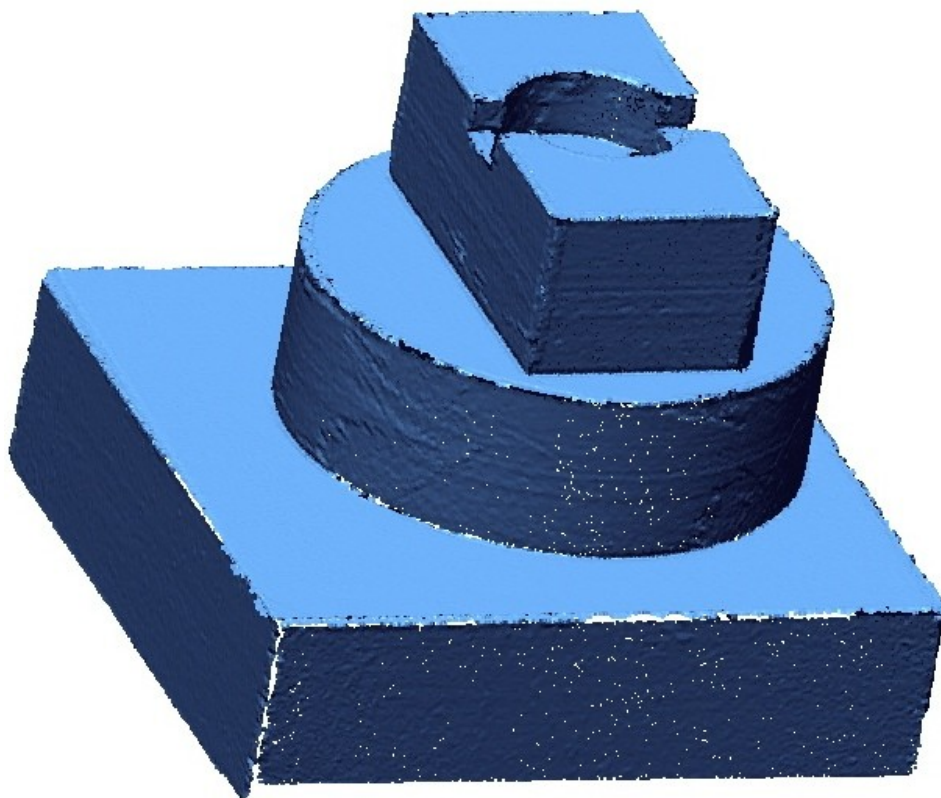


58. ábra A koordináta mérőgép pontfelhőjére *legfeszesebben* rásimuló háló:

A legszorosabban a pontfelhőre simító opció kiválasztásával, a mérőgép által beszkenelt pontfelhőből olyan felületet kapunk, amelyen még a megmunkálások nyomai is láthatóak.



59. ábra Mérőgép pontfelhőjére húzott STL felület



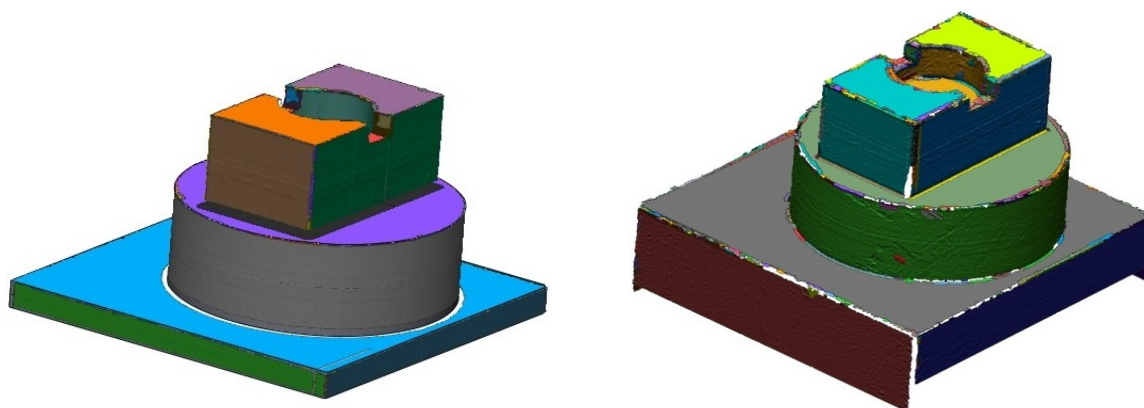
60. ábra A lézerszkennér összeillesztett nézeteire húzott STL felület

Jól látható, hogy a 60. ábrán szemléltetett felület rosszabb minőségű a 59. ábrán szemléltetett felülettel szemben, ami a zajosabb szkennelésnek, a 4 nézet összeillesztésének, az egy nagyságrenddel rosszabb pontosságnak köszönhető. Ez végeredményben a CAD modellt is befolyásolhatja.

6.2.7. Alaksajátosságok felismertetése

Ahhoz, hogy a pontfelhőből kialakított, háromszögekből álló felületből egy CAM szoftverbe beolvasható, könnyen legyártható alakzatot kapjunk egy zárt, egyszerű feature-ökből álló felületmodellt kell létrehoznunk. Ennek első lépése az alaksajátosságok felismertetése a Rapidformmal.

Ötféle alakzatot képes felismerni: síkot, hasábot, kúpot, gömböt, tóruszt. Azokat a felületrészeket, amelyeket nem tud az előbbiek közé csoportosítani, freeformként kezeli, ezekre a későbbiekben saját belátásunk szerint tudunk felületeket illeszteni.



61. ábra A felismertetés után (baloldali a mérőgép, jobb oldali a lézerszkennér)

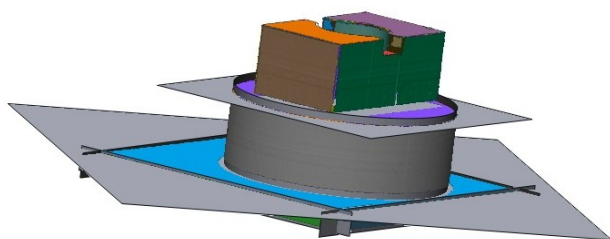
Megfigyelhető, hogy mind a két modellen sikeresen felismerte a legfőbb alaksajátosságokat: a két hengert és a síkokat (61. ábra). Az éleket freeformként illetve tóruszként kezeli. Ezeknek a pontos legyártása a reverse engineering folyamatokon belül általában nem cél, ésszerűtlen. Emiatt a későbbi végleges felületmodellekben az éleket a felismert alaksajátosságokra illesztett feature-ök metszéseként kapjuk meg, ugyanúgy, mint a sarkokat.

6.2.8. Felületek illesztése

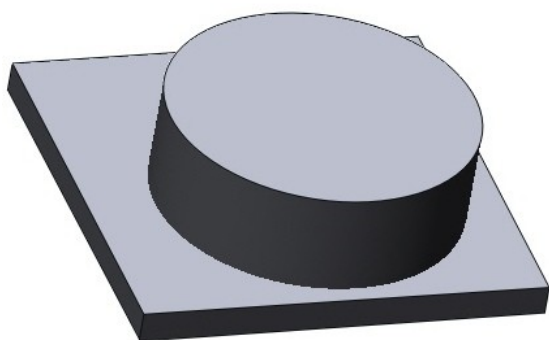
A modellezési folyamat utolsó lépése a felismert alaksajátosságokra való síkok, hengerpalástok illesztése (62. ábra). Ezeknek a felületeknek az illesztésekor a rapidform a lehető legkisebb átlagos eltérés elérésére törekszik, ezzel megkapva szkennelt pontfelhőhöz

leghűbb, egyszerű, könnyen kiforgácsolható felületekből álló CAD modellt. Az éleket, sarkokat ezen felületek metszésével kaphatjuk (63. ábra), tehát ezek a részek mind „elméleti” részek lesznek, de mint ahogy az már korábban le lett írva az élék, sarkok pontos reprodukálása a reverse engineering folyamatokban nem cél, nem létezik 100% -osan pontos eljárás ezeknek a részeknek a visszaadására.

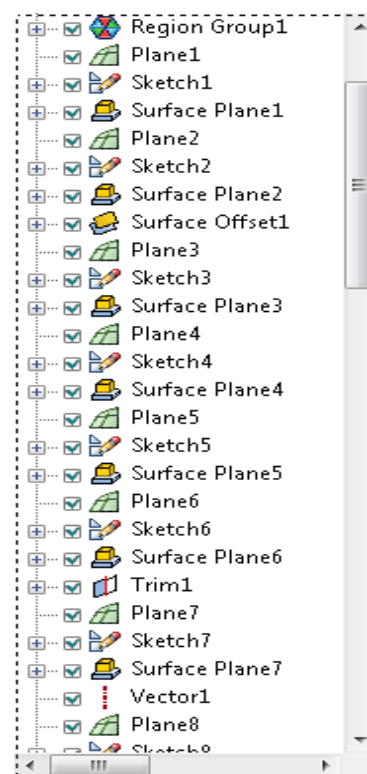
Ez a folyamat egyszerű, általános 3D-s modellező programokból ismert parancsokkal véghezvihető (64. ábra).



62. ábra Határoló elemek (síkok, hengerek) meghatározása

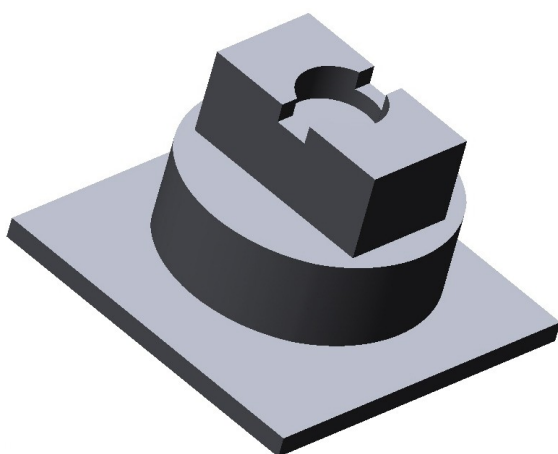


63. ábra Az elemek metszete megadja a modellt

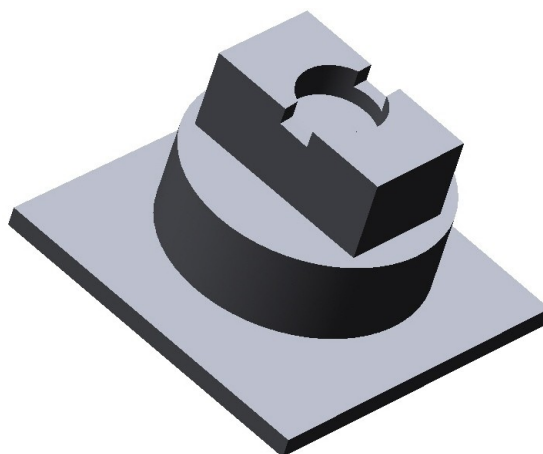


64. ábra Modellezés lépései

A végeredmény:

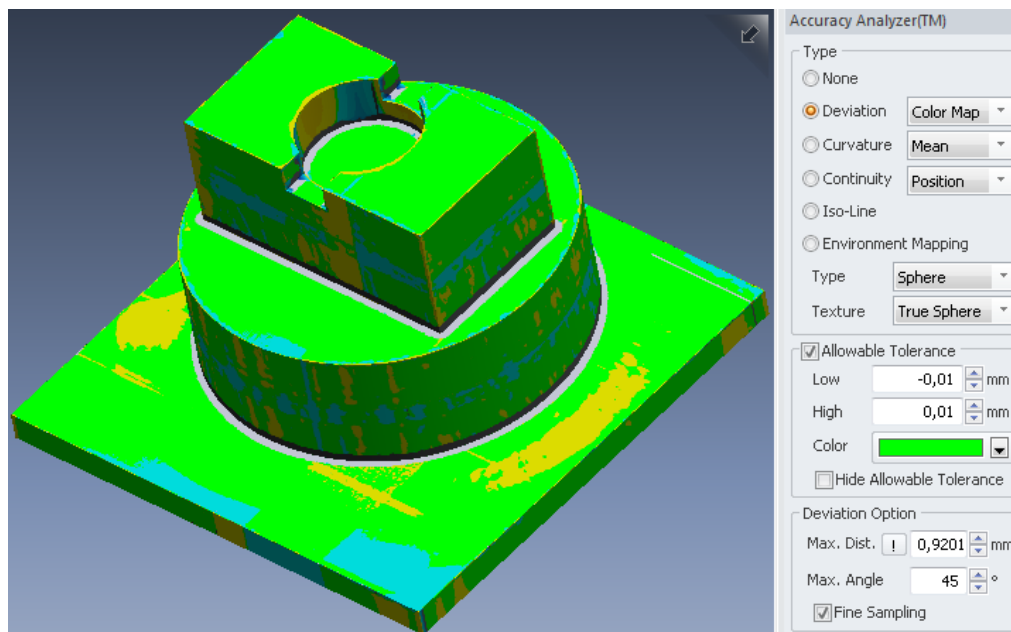


Mérőgép



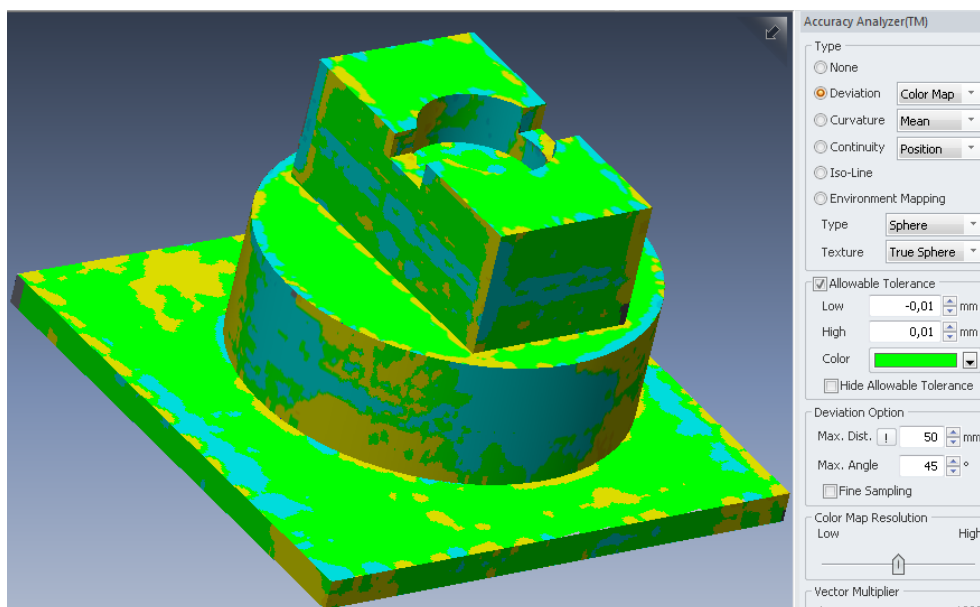
Lézer

A programba beépített Accuracy Analyzer™ segítségével megvizsgálhatjuk, hogy a kapott modell hol, és milyen mértékben tér el a pontfelhőktől.



65. ábra Eltérések a mérőgépnél

A 65. és 66. ábrán a zöld mezők 0,01 milliméteren belüli eltérést jeleznek.



66. ábra Eltérések a lézerszkennernél

Az eltérések valamivel nagyobbak, ami az összeillesztések, illetve magának a lézerszkennernek a pontatlanságából adódik.

6.3. Részeredmények

Megállapítható, hogy a két folyamat közül a lézerszkennel által felvett pontfelhőből hosszabb, időigényesebb a modellkészítés. Ennek oka az, hogy az egész metódus egy lépéssel többől áll (a nézetek összeillesztésével), ezen felül a pontszűrés is időigényesebb, mivel több nézetet kell azt végrehajtani, valamint több pontot kell eltávolítani a zajosabb szkennelés miatt. A többi lépésben nincs jelentős különbség sem a műveletek elvégzésében, sem az időigényességben.

Ez a két nagyobb differencia azonban azt eredményezi, hogy a modellkészítés a lézerszkennernél körülbelül másfélszer több időt igényel, illetve a program magasabb szintű ismeretét igényli.

7. Kiértékelés

A TDK dolgozat célja egy összehasonlító elemzés készítése, mely elemzés alapján következtetéseket lehet levonni a lézerszkennelési eljárás és a koordináta mérőgéppel végrehajtott szkennelési folyamat relatív hatékonyságának, gyorsaságának és pontosságának területén.

A három összehasonlítási terület:

- pontosság
- idő
- költség

7.1. Pontosság

Pontosság szempontjából a KMG-vel felvett pontfelhőt, és az abból épített modellt vehetjük alapul, ugyanis ugyanazzal a géppel mérnénk le. Tehát mérés és a szkennelt felület között nem lenne jelentős eltérés.

Az eltérések elemzéséből kiderül, hogy a végeredmény a mérőgépnél pontosabb, olyan felületet kapunk, amelynek nagyobb a méret-, illetve alakhűsége az eredeti beszkenelt munkadarabhoz képest (67. és 68. ábra).

A kapott felület modelleket megvizsgáltuk gyárthatóság szempontjából is. Problémát egyedül az alámetszések jelenthetnének. A kapott síkok közötti szög értékek beleesnek az egyes eljárások, és a felület összeillesztés hibahatáraiba, ezért ezekből megfelelő következtetést a pontosság szempontjából nem lehet levonni.

7.2. Idő - költség

„Az idő pénz!”, tartja a mondás. Mivel ez a gépgyártás területén hatványozottan igaz, ezért ennek a két mennyiségnek a tárgyalását nem érdemes külön venni. Minden fizetendő mennyiségnek megvan a maga elkészítési ideje, és minden időtartománynak megvan a maga költség hányada.

A részkiértékeléseknél már meghatároztuk az egyes szkennelési eljárások időigényét és az ehhez tartozó gépköltséget.

Eszerint a következőket kaptuk:

➤ **lézerszkennner**

$t_l = 1,5 \text{ h}$	$t_l - 1 \text{ db szkennelési ideje}$
$Q_l = 15\,000 \text{ Ft/h}$	$Q_l - \text{gép óradíja}$
$C_l = ?$	$C_l - 1 \text{ db szkennelési költsége}$
$C_l = t_l \cdot Q_l = 1,5 \cdot 15000 = \mathbf{22500 \text{ Ft}}$	

➤ **koordináta mérőgép**

$t_k = 24 \text{ h}$	$t_k - 1 \text{ db szkennelési ideje}$
$Q_k = 10\,000 \text{ Ft/h}$	$Q_k - \text{gép óradíja}$
$C_k = ?$	$C_k - 1 \text{ db szkennelési költsége}$
$C_k = t_k \cdot Q_k = 24 \cdot 10000 = \mathbf{240000 \text{ Ft}}$	

Jól látható, ha csak a konkrét művelet jellemzőit vesszük figyelembe egy nagyságrenddel (!) drágább a mérőgéppel történő szkennelés. De mivel egy teljes folyamat közel sem ennyi jellemzővel rendelkezik, ezért hiba lenne csak ezt a két értéket figyelembe venni. A továbbiakban részletesebb elemzéssel foglalkozunk.

Négy költségfajta fogalmazható meg a mi kutatásunknál:

- *Gép alapidíja*: ide soroljuk azokat a költségeket, melyek a teljes konfiguráció beszerzéséhez, kiépítéséhez szükséges
- *Gép óradíja*: egy órai fenntartási költségét tartalmazza
- *Gép amortizációja*: a gép évenkénti értékcsökkenése
- *Gépkezelő óradíja*: a gépet folyamatosan használó, és felügyelő személy bére

Az Irodalomkutatás fejezetben található, költségekre vonatkozó táblázat szerint a következőképpen alakul jelenleg a „termelés” (7. táblázat) [6]:

Összköltség	Gyártási költségek	Közvetlen munkaköltség		Gépkezelő óradíja
				Gép óradíja
		Gyártási általános költség	Közvetett munkaköltség	Gép alapidíja
			Egyéb gyártási költség	Gép amortizációja

7.táblázat Általunk használt költségfajták

Az egyes költség fajták táblázatba foglalva a két eljárásra lebontva (8. táblázat):

	Lézerszkennner	KMG
Gép alapidíja	Kondia: 15-16 millió Huf Scantech: 2-3 millió Huf	Crysta Apex: 26 millió Huf
Gép óradíja	~ 15000 Huf/óra (Kondia+PC+Scantech)	~ 10000 Huf/óra
Gép amortizációja	2 610 000 Ft/év	3 770 000 Ft/év
Gépkezelő óradíja	OKJ-s NC gépkezelő ~2000 Huf/óra	Mérés technikus ~3000 Huf/óra

8.táblázat Az eljárások költségei

A lézerszkennernél az alprogramot csak egyszer kell megírni (5. fejezet bevezetőjében leírtak miatt), az utána minden alkatrészre alkalmazható. Ezért elegendő egy NC gépkezelő, akinek a fő feladata a paraméterek beállítása. Mérőgépnél viszont minden egyes darabra más és más programot kell írni, ami magasabb képzettségű személyt követel meg.

A tanszéken a gépek amortizációját 14,5%-ban, 7 évre határozták meg. Eszerint a 7. táblázatban említett összeggel csökkenek az értékei a gépeknek minden évben.

A további számításainkhoz felvettünk egy szokásosnak mondható, 50%-os haszon rátát. Ez annyit takar, hogy minden költséget beleszámítva darabonként 50%-os haszonnal áruljuk a termékeinket.

Ahhoz, hogy 7 év alatt visszahozza a gépek árát, meg kell határozni a *minimális haszon rátát* (akkor nincs nyereség, csak a megtérülés):

- *Koordináta mérőgép:*

7 év -> 2191 db ugyanilyen alkatrész beszkenelése

$$X_k = \frac{A_k}{(C_k + D_k) \cdot 2191} \cdot 100 = \frac{26\,000\,000}{(240\,000 + 3000) \cdot 2191} \cdot 100 = \mathbf{4,88\%}$$

ahol A_k – Mérőgép alapdíja [Ft]

C_k – Egy darab szkennelési költsége [Ft]

D_k – Gépkészítő óradíja [Ft]

X_k – A mérőgép teljes költségének visszatérüléséhez szükséges minimális haszon ráta [-]

- *Lézerszkennő:*

7 év -> 35 000 db ugyanilyen alkatrész beszkenelése

$$X_l = \frac{A_l}{(C_l + D_l) \cdot 2191} \cdot 100 = \frac{18\,000\,000}{(22\,500 + 2000) \cdot 35\,000} \cdot 100 = \mathbf{2,1\%}$$

ahol A_l – Lézerszkennő alapdíja [Ft]

C_l – Egy darab szkennelési költsége [Ft]

D_l – Gépkészítő óradíja [Ft]

X_l – A lézerszkennő teljes költségének visszatérüléséhez szükséges minimális haszon ráta [-]

Tehát a lézerszkennőnek sokkal kevesebb a darabdíja, illetve darabonként kevesebb haszonnal is megtermeli a gép árát adott időszakon belül.

Négy, a valóságban is előfordulható szempont szerint történik a teljes folyamat elemzése:

1. Mindkét gép teljes felszereléssel rendelkezésre áll
2. Egyik gép sincs, melyiket éri megvenni
3. Csak maró van, szkennőrel
4. Csak mérőgép van

Csak a 4. pontot vizsgálva:

Mennyi darab után érdemes beruházni egy marógépre és hozzá lézerszkennőre?

Egy egyszerűsített modellt használunk. Ekkor a mérőgép költségei mindösszesen a gép és a személyzet óradíja. A marógépnél viszont mind a 4 költségfajtát figyelembe kell venni. A marógép alapidóját (A_l) osztjuk az egy darab digitalizálási költségének és személyzet óradíjának összegével ($C_k + D_k$) és megkapjuk azt a darabszámot, ami pont meghaladja a marógép árát:

$$\frac{A_l}{C_k + D_k} = \frac{18\,000\,000}{240\,000 + 3000} = 74,07 \sim 75 \text{ db}$$

Ha ennél a darabszámnál ruháznánk be, akkor volna egy marógépünk és 0 beszkenelt darab, míg KMG-vel már 75 darab volna beszkenelve. Ezért figyelembe kell venni azt, hogy amíg a KMG-vel egy darabot, addig a megmunkáló-központtal hány darabot lehet digitalizálni. A lézerszkennel 16-szor gyorsabb, mint a tapintó. Ebből következik, hogy KMG-vel plusz 5 db-ot beszkenelve, azaz $75 + 5 = 80$ db-nál lesz egyenlőség, mert $5 \cdot 16 = 80$. Tehát amíg a mérőgép 5 db-t szkennel be, addig – a már megvásárolt lézerszkennel – 80 db-t. Viszont meg kell vizsgálni, hogy ebben az esetben olcsóbb-e még a KMG:

KMG		Lézerszkennel
$80 \text{ [db]} \cdot 243\,000 \left[\frac{\text{Ft}}{\text{db}}\right] =$	$<$	$80 \text{ [db]} \cdot 24\,500 \left[\frac{\text{Ft}}{\text{db}}\right] + 18\,000\,000 \text{ [Ft]} =$
19 440 000 Ft		19 960 000 Ft

Azaz igen, még mindig olcsóbb ebben az esetben a KMG. A 80 db-on felül még mennyit kell digitalizálni ahhoz, hogy megérje beruházni egy lézerszkennelre és vele együtt egy megmunkáló-központra? A választ a következő egyenlet adja meg:

$$19\,440\,000 + 243\,000 \cdot n = 19\,960\,000 + 24\,500 \cdot n \quad (n \text{ a } 80 \text{ feletti plusz darabszám})$$

$$n = 2,38$$

A nagyobbik egészre, tehát 3-ra kerekítünk. Ebből következik, hogy $80 + 3 = \mathbf{83 \text{ db}}$, vagy a **felett** már **érdemes** beruházni és **átterni a lézerszkennelre**.

Következtetés. A fenti egyszerűsített modell alkalmazása során kiderült, hogy **idő és költség tekintetében szinte mindig megéri a lézerrel történő szkennelést**. Ennek megfelelően ár/érték aránya sokkal jobb, mint a koordináta mérőgéppel történő szkennelésnek.

7.3. Összegzés

Jelenlegi kutatómunkánk eredményeképpen arra a következtetésre jutottunk (hangsúlyozva, hogy csak egy általunk készített darabon keresztül bemutatva), hogy az egyik eljárás előnyei elég magas százalékban hatástalanítják a másik eljárás hátrányait, tehát kellőképpen kiegészítik egymást.

A kiértékelés rávilágított arra, hogy az esetek többségében felesleges a jóval nagyobb időt igénybevevő mérőtapintóval történő szkennelés. Viszont vannak eset, mikor használata elengedhetetlen. Jó példa erre egy öntvényház szkennelése. Az öntvénynek azon felületei, melyek további megmunkálás alá nem kerülnek, általában nem is szükséges tized mm-nél pontosabb szkennelésük sem. A rossz felületi minőség is jobban kedvez a lézernek, illetve az, hogy szükség esetén fehér porral lefújható a csillogás elkerülése végett (ez is pár tized mm-vastagságot jelent pluszban). Viszont megmunkált felületek, amik általában tűrésezve is vannak, nem célszerű lézerrel szkennelni. Ennek több oka van. Az első és legfontosabb, hogy ezeknek a pontossága általában század mm nagyságrendű (vagy pontosabb). Ezt csak mérőtapintóval tudjuk biztosítani. A másik, hogy a felületi minőségük jó, mely általában azzal jár, hogy csillog. A mérőtapintónál ez a hátrány nem jelentkezik. A harmadik a kevesebb készülékezés. Mivel ezek a ház méreteihez képest jóval kisebb felületek, ezért nagy idővesztés (és ebből kifolyólag költségvesztés) volna, mert csak a legritkább esetben található egy felületen az összes megmunkált felület. Tehát sokszor kéne forgatni. A mérőgépnél viszont a fej nagyon sok féleképpen állítható. Természetesen ez pozícióváltási hibával jár, de ez még az esetek többségében jóval a megengedett hibán belül található.

Egymáshoz viszonyítva tehát a lézerszkennereknek sokkal több előnye van, de van egy „apró” szegmens a gyártás során: a pontosság, mely gyakran felülír mindent. Ebben viszont a koordináta mérőgép a jobb.

8. Kutatómunka eredményei

Fő célunk az volt, hogy olyan technológiának az alapjait tegyük le, illetve olyan tapasztalatokat gyűjtsünk, mellyel a későbbiekben hatékonyan tudjunk egyes tárgyakat, alkatrészeket digitalizálni. Célunk volt még olyan berendezések használatának elsajátítása, melyek ismerete szakmai pályafutásunk során szinte elengedhetetlen lesz.

Munkánk során megtapasztalhattuk egy valódi kutatási tevékenység sokszínűségét, érdekességét, nehézségét.

Tovább lépési lehetőségek:

- Mindkét berendezés ismétlési pontosságának vizsgálata
- Geometriai felépítésben jelentősen eltérő alkatrészek digitalizálásának sorozata, hogy pontosabb eredményeket, függvényeket kapjunk.
- Olyan adatbázis létrehozása, illetve folyamatos feltöltése, mellyel egyes alkatrészek digitalizálásának módja különböző szempontok szerint kiválasztható, a ráfordítandó idő és költség megbecsülhető.
- Olyan eljárás kifejlesztése, mellyel a két alkalmazás könnyen és hatékonyan használható együtt, egymást kiegészítve [3]

9. Summary

The comparison of scanning methods based on the three of time-cost-efficiency

The purpose of our TDK project was to work out a comparison, in which conclusions can be drawn from an analysis of relative efficiency, speed and accuracy of field of the laser scanning procedure and the coordinate measuring machine scanning process.

A literary research as a first task was performed in connection with using various scanning methods and research. The articles, books found by us, compare roughly the accuracy of the two procedures and superficially descend to the three of time-cost-efficiency. Then a standard work piece had to be designed and constructed, which has justification with both types of scanning procedure, so the comparative study can turn into feasible through the work piece. After the selection of the tools and the definition of the technological parameters the manufacturing of the work piece was performed on the Siemens controlled CNC machining centre of the professorship. The piece made of aluminium, which has the characteristic, that metallic shine. The Scanning using a laser scanner have a pre-condition that the component cannot shine. Therefore, after the manufacturing the production has gone through an anodizing process. After the preparation procedures the piece were scanned with both methods. At first we used a Scantech point laser scanner was fitted on the Kondia CNC machining centre (can be found at the professorship). In the other method we used a Renishaw SP25 touch-probe, which was mounted on the Mitutoyo Crysta-Apex C 776. The two CAD model, were accomplished from the point clouds using a special software (named Rapidform), are the basis of the accuracy analyzing. The working time was clocked, from which can be concluded the costs.

Our project as a result of a comparative analysis was made of each procedure Q of degree, split by different criteria. In the future using this analysis, conclusions can be inferred which one method is more adaptable in a firm-specific environment beside given conditions

10. Felhasznált irodalom

- [1] - Dr. Horváth Mátyás, Dr. Markos Sándor: Gépgyártástechnológia Műegyetemi Kiadó, Budapest 1995.
- [2] - Anna Persson BSc, Matts Andersson DDS, PhD, Agneta Oden MSc, PhD, DDS, Gunilla Sandborgh-Englund DDS, PhD: A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner, The Journal of Prosthetic Dentistry Volume 95, Issue 3, March 2006, Pages 194-200
- [3] - Jafar Jamshidi, Antony Roy Mileham and Geraint Wyn Owen: Rapid and Accurate Data Integration Method for Reverse Engineering Applications, Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering II, Springer, Dordrecht 2007, Pages 169-181
- [4] - Sebastian Quaas, Heike Rudolph, Ralph G. Luthardt: Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations, Journal of dentistry 35, Elsevier 2007, Pages 903-908
- [5] - Falk György: 3D-s szkennelés és CNC marás a fafaragás szolgálatában, Varinex Zrt. bemutató anyaga
- [6] - Boda György: Költségek, befektetések, balanced scorecard (előadás vázlat)
- [7] - Csokán Pál: Az alumínium elektrokémiai felületkezelése Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975
- [8] – Topper TMV-510T gépkönyv
- [9] – Kondia B640 gépkönyv
- [10] – Perfor 2011 katalógus
- [11] –Mitutoyo Hungária Kft. elektronikus katalógusa, www.mitutoyo.hu
- [12] – Scan Technology hivatalos weblapja, www.scantech.dk
- [13] – Z-Elox, alumíniumeloxáló üzem hivatalos weblapja, www.elox.hu

[14] – INUS Technology Rapidform XOR 3 Tutorial

[15] –INUS Technology elektronikus segédlete, www.rapidform.com

[16] – Varinex Zrt. hivatalos weblapja, www.varinex.hu