

KECSKEMÉTI FŐISKOLA
GÉPIPARI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI MŰSZAKI FŐISKOLAI KAR
JÁRMŰTECHNOLÓGIAI INTÉZET
GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI SZAKCSOPORT
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Készítették:

Czingel Tamás

V. évf. Gépészmérnöki szak, gyártásinformatikai szakirány

Hári Péter

Gépészmérnöki szak, terméktervező szakirány

Konzulens:

Fodor Antal

Műszaki tanár

KECSKEMÉT
2012
Tavaszi félév

Sérült gépészeti alkatrész rekonstrukciója Reverse Engineering eszközeivel

Bevezetés.	4
1. Irodalomkutatás a sérült önvény gépalkatrész rekonstrukciójához használható RE módszerei tekintetében.	6
1.1 A Reverse Engineering ismertetése.....	6
1.2 A képfeldolgozás eszközei és csoportosítása.....	10
1.3 A technológia optimális mérési (szkennerési) eljárásának kutatása.....	15
1.4 Lézerrel működő (Non-contact) mérőgépek tanulmányozása.....	16
1.5 Az eljárás során alkalmazható szoftverek felkutatása.....	20
1.6 A Reverse Engineering szoftverek fő jellegzetességei és a CAD modellel nem rendelkező darab reprodukálásának módszerei.....	21
1.7 A kiválasztott szoftverek.	24
1.8 A műszaki probléma meghatározása.....	27
2. Számítógépes modell kidolgozása.....	28
2.1 Elemi pontfelhők előállítása.	29
2.1.1 Pontfelhők.	29
2.1.2 Pontfelhők illesztése.	33
2.1.3 Optimalizálás.	34
2.1.4 Pontfelhők illesztésének megerősítése.....	35
2.1.5 Elkészült pontfelhők.....	36
2.2 Háromszögháló szerkesztése.....	37
2.3. A 3 koordinátás mérőgép tanulmányozása.....	39
2.4 Testmodell visszatervezése, javítása.....	40
2.5 A visszamodellezett alkatrész felületeinek illesztési vizsgálata.....	48
3. Modell elemzése, prototípus gyártás megtervezése 3D nyomtatás technológia felhasználásával.	51
3.1. Anyaghozzáadás elvén (ADDITIV) működő eljárások áttekintése.....	53
3.1.1. Papírtechnika (Laminated Object Manufacturing).....	53
3.1.2. Térhálósító technika (Stereolithography).....	54
3.1.3. Por alapanyagú technika (Selective Laser Sintering).....	55
3.1.4. 3D nyomtatásos technika (3D Printing).....	56
3.1.5. Objet/PolyJet technika.....	59
4. A 3D nyomtatóhoz kapcsolt szoftver.....	61
Felhasznált irodalom.....	71

Bevezetés

A 21. századra jellemző a felgyorsult életvitel. Az életszínvonal emelkedésével magasabbak lettek a termék iránti igények. A vállalatoknak három fő alapelvet kell betartani ahhoz, hogy a vásárló piacon versenyképesek tudjanak maradni.

Első, minél gyorsabb a termék előállítás, amely a második, minél kisebb összegből kivitelezhető legyen. Természetesen a harmadik szemszög elengedhetetlen az első kettő kritériumhoz, a minél jobb minőség elérése. Amennyiben ezeket a vásárló piacon érvényesíteni tudják, a vállalat sikeres lesz.

Kiemelném azt az egységet, amely a munkánkban talán a legfontosabb, a gyors termék előállítás. A Rapid Prototyping (RP) vagyis a gyors prototípus-gyártáshoz szükséges eszközök, berendezések fejlődése a globalizáció miatt szinte megállíthatatlan. A dolgozat célja egy sérült gépalkatrész kijavított modelljét hozzuk létre a felület érintése nélkül és a hiányzó (részben szimmetrikus) letört résszel kiegészíthető legyen.

Munkánk első lépéseként a gépalkatrészről digitális háromdimenziós képet kellett alkotni, amelyet térbeli pontfelhőként tudtunk definiálni. A folyamat során több oldali 3D-s pontfelhőt hoztunk létre a teljesebb munkadarab meghatározása érdekében. Az így kapott pontfelhőket külön-külön értelmezi a szkennerek alap szoftvere, amely azt jelenti, hogy más-más pozícióban illeszti be az koordináta rendszerbe. Az illesztési művelet több féle képen is megvalósítható. Azt a megoldást választottunk ahol, az azonos felületeken illesztési pontokat határozzuk meg, ami alapján a szoftver kiszámolja a lehetőség szerinti legjobb illesztést. Az így kapott egyesített pontfelhő adatmennyiségét csökkentettük a könnyebb kezelhetőség érdekében.

Mivel a pontfelhők modellezési folyamatban eredeti formájukban nem illeszthetők, ezért egy háromszög modell létrehozásával folytattuk a modellezési műveletet. A pontfelhő hiányossága miatt a háromszög modell egyes része is hiányosan jöttek létre. Ezeket a hiányosságokat később a letört darabbal egyetemben ésszerűség elvén alapulón kijavítottuk. A végleges modellt oly módon hoztuk létre, hogy a háromszögmodellt egy térbeli háttérképként kezeltük, melyből megkaptuk, öntési alapmodellt.

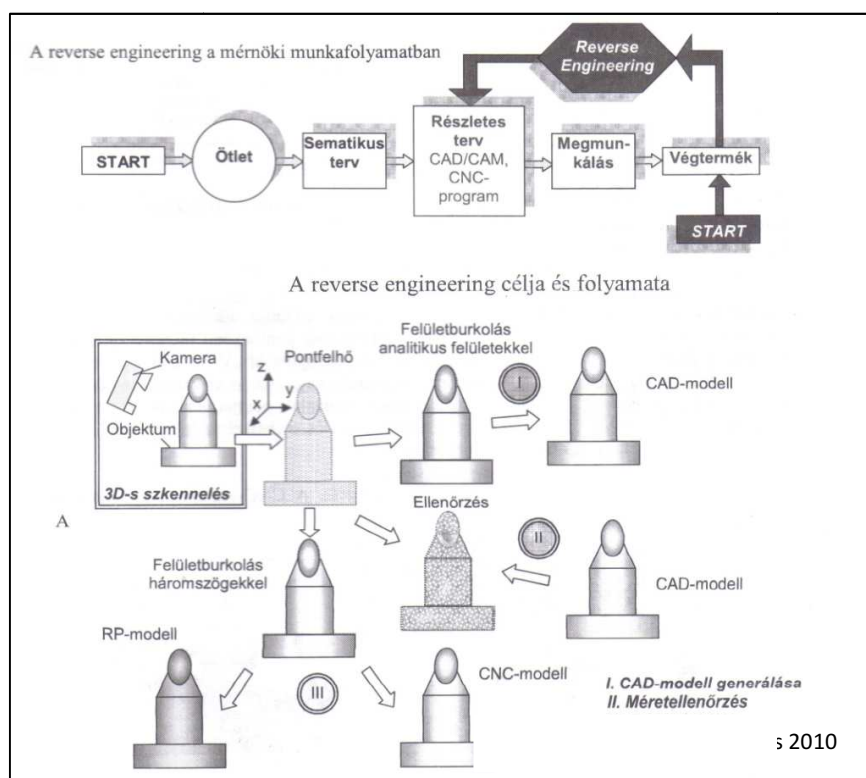
A digitalizálás folyamatához a Kecskeméti Főiskola Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar Járműtechnológiai Tanszékén megtalálható Steinbichler Comet Vario Zoom 200-400 típusú 3 dimenziós, fehér fénnel működő (White light) szkennert alkalmaztuk, amellyel a felület formáját – a 3D-s pontfelhőjét számítógépre vittük.

A modell elkészítéséhez többféle programot is használtunk, végül két különböző szoftverrel sikerült megoldani a munkafolyamat ezen részét. Ezen szoftvereknek a feladat egyedisége miatt csak az ide illeszkedő funkcióját használtuk fel. A RapidForm Xor Reverse Engineer szoftver olyan interfésszel rendelkezik, amely régiócsoporthoz bontja fel a szkennert pontfelhőt, melyre a későbbiek folyamán háromszögfelületeket generál. Az így kapott felületeket kis háromszögek határolják, amelyek egymáshoz csatlakoznak. Matematikai képlettel leírható szomszédos függvények sokaságából egy közelítő modell keletkezik, amely kiexportálható a későbbiekben felhasználásra kerülő stl. kiterjesztésű fájlként. Ezt a fájlformátumot kezeli minden egyes Rapid Prototyping elvén működő berendezés.

1. Irodalomkutatás a sérült önvény gépalkatrész rekonstrukciójához használható RE módszerei tekintetében

A Reverse Engineering (RE) szó szerinti fordításban visszafelé végzett mérnöki tevékenység vagy mérnöki munkafolyamat. Ennek során egy fizikailag meglévő tárgy (alkatrész, prototípus) számítógéppel segített CAD-geometriáját határozzák meg 3D-s digitalizálással, amit ezen műveletek végtermékeként különböző célokra használhatnak fel. Az általános mérnöki munka szerinte az alapötlet a kiindulópont, míg a Reverse Engineering a végtermék, illetve annak prototípusából indul ki (1. ábra), aminek egyik célja lehet rekonstrukció, azaz egy új, valószínűleg módosított végtermék előállítása, de a Reverse Engineering elvárásai közé tartozhat a bonyolult felületek méretellenőrzése vagy akár a CAD-modell előállítása is.

1.1. A Reverse Engineering ismertetése



1. ábra. A RE a mérnöki folyamatban

Az Reverse Engineering első lépése során a térbeli szkennelést, vagy más néven a 3D-s digitalizálást hajtjuk végre.

A szkennelési folyamat lényege a felületi pontok letapogatása, térbeli koordinátáinak meghatározása foglalja, aminek végterméke egy térbeli koordináta-rendszerbe helyezett

pontfelhő megalkotása. Az alakzat bemérési pontossága a létrehozott pontfelhő pontjainak számával – ami egyes esetekben akár több ezer, tízezer is lehet - növekedik. A pontok koordinátáinak a felületérintéses módszerrel való meghatározásához szinte kizárólag olyan háromkoordinátás mérőgépet alkalmaznak, melynek szoftvere alkalmas a szkennelésre is. A tapintó mérőfeje általában mikrokapcsolós (touch-trigger) vagy merev tapintó. Ezen mérőfejek segítségével pontosan meghatározhatóak a pontok koordinátái, de a cizellált kubatúrák meghatározását a tapintóátmérő korlátozza. A mikrokapcsolós technika alkalmazásakor a tapintóerő meglehetősen kicsi, ezáltal finom, lágy felületekhez is használható, mindemellett csak pontonkénti mérésre alkalmas, és ezáltal lassú mérési technológiának mondható. A merev tapintó előnye ebből kifolyólag az, hogy a mikrokapcsolóshoz képest a szkennelési folyamat gyorsabb. Adott tengely mentén célszerű végrehajtani a mérést, ami azt jelenti, hogy vagy az x =állandó vagy az y =állandó síkokkal kis osztásokban felosztják a mérendő objektumot, s metszésvonalak pontjait tapogatják le aprólékos lépésekben. Hátránya ezen technológiának a mikrokapcsolós technikához képest a tapintóerő nagysága, ami lágy, finom felületek tapintásakor roncsolást okoz. A mérőfejek manuális és CNC-vezérléssel is irányíthatók. A CNC-vezérlésű, automatikus bemérés nagymértékben meggyorsítja a szkennelési folyamatot.

A külső felületek szkennelése lehetséges érintés nélküli meghatározással, amely során fényt használnak (lézer, fehér fény), de belső felületek meghatározásához csak a röntgensugaras szkennelés jöhet számításba. Ezen fények használatának előnye és ezáltal gyorsasága az, hogy lágy és cizellált felületek meghatározása során is alkalmazható. A mérési folyamat során nincs a felületet roncsoló, deformáló tapintóerő, ami a felület szkennelési eredményét befolyásolná. Hátránya, a fényre jellemző reflexiós probléma megjelenése, s a fénysugárral párhuzamos, valamint a nem látható felületek pontjainak körülményes meghatározása. Ha a nem látható felületekről is információt szeretnénk kapni, akkor többirányú szkennelést szükséges készíteni, és ezeket a különböző szögű készített képeket a megfelelő szoftver segítségével össze kell illeszteni, egységesíteni kell őket.

A lézeres mérőfejek – az érintéses módszerhez hasonlóan – háromkoordinátás mérőgéphez vannak csatolva. Alkalmasak pontonkénti és vonal mentén alkalmazott mérések esetén is. Akkor ajánlott alkalmazni, ha a szkennelendő felület matt és nincsenek mély vágatok, bordák illetve azok hornyai.

A lézerfej és az ahhoz csatolt számítógépes rendszer a felületek fénysugárirányú pontjainak távolságait a visszavert fény sebességével határozza meg, fényinterferenciával, időméréssel és háromszögelés módszerével.

A fényinterferencia mérés mikrométer pontosságú, ami általános esetben a fény hullámhosszának felével számítható. A felület érdessége is mérhető, ha a felület megfelelőképpen matt. Akár még a mikro-geometriai felületeket is be lehet szkennelni.

Az időkülönbség elvén működő távolságmérés távolabb lévő, nagyobb méretű formák (épületek, hajók, gépkocsik, világűrbeli objektumok) [1] meghatározására alkalmas. „Tájékoztató: egy 50 m távolságban lévő pontról a fénysugár $t=3,3 \times 10^{-7}$ s alatt érkezik vissza, amit ma már minden nehézség nélkül érzékeltetni tudnak, de a centiméteres és milliméteres távolságokkal már nem ilyen egyszerű a helyzet.” [1]

A leggyakrabban alkalmazott szkennelési módszer a háromszögelés. Távolságot a lézerefényforrás az α valamint a β szögek segítségével határozza meg.

A „fehér” fény elvén működő, felület menti letapogatásra alkalmas szkennelő projektorra fekete-fehér, párhuzamos fénycsíkokat bocsát ki, amelyek az objektum felületére vetülve deformálódnak a felület kubatúrája alapján. A visszatükrözött fénycsíkokból a műszer CCD-kamerája érzékeli, s a hozzá csatolt számítógépes kiértékelő rendszer a szoftver segítségével kiszámítja a deformált csíkokban sorakozó pontok térbeli koordinátáit. A mérés sebessége többszöröse az eddig ismertetett módszerekénél és a műszaki előírások, körülmények betartása esetén, matt felületen, akár ezred milliméteres közelítő pontossági mérésekre is alkalmas.

Gyakran szükséges külső és belső felületekkel is rendelkező, bonyolult alakú kubatúrák minden felületének pontos meghatározása. E modellek végett fejlesztették ki az ipari computertomográfokat, amelyek az elektromágneses sugárzás „fehér” fényénél erősebb energiájú röntgensugarakat alkalmaznak a mérés során. Az ipari rendeltetésű computertomográf az orvosi gyakorlatban alkalmazott berendezéseknek megfelelően működik, csupán a sugárzási energiája sokkal nagyobb.

A röntgen, a szkennelő test több szintjéről készít képeket, majd ezeket – geometriai elemeket készítve – egy 3D-s, voxel-modellben illeszti össze. Ezáltal jön létre a térbeli pontfelhő. Az így generált pontfelhő alakja annál jobban közelíti az eredeti munkadarab alakját, minél több metsző alkalmazásával készül. A metszők darabszámának mértéke lassítja a szoftvert és a további modellezési folyamatokat.

Az Reverse Engineering második lépése a szkennelés végeredményeként kapott pontfelhő szerkesztése, feldolgozása, javítása. Egyes esetekben, ha az alakzat pontjait mechanikus úton tapogatják le, előfordulnak a pontfelhőben olyan részegységek, melyek nem jól illeszkednek a szomszédos ponthalmazhoz, s ez akár olyan mértékű is lehet, hogy szabad szemmel is látható. Ilyen esetekben ha megengedhető, a kritikus felületelemen ismételt mérést kell végrehajtani. Korrigálás céljából ez a legmegfelelőbb megoldás arra, hogy a durva mérési hibákat kiküszöböljük. Lehetőségünk van továbbá, hogy akár többféle analitikus felülettel – legtöbbször síkkal, tengellyel – behatároljuk az ez utáni feldolgozásnál alkalmazandó pontokat.

Abban az esetben, ha a pontfelhőt fény alkalmazásával készítik el, szükség lehet a nem az alakzathoz tartozó részek (pl. készülék darabok, alátétek, tartó felületek) beazonosítására és eltávolítására. Gyakorta előfordulnak olyan munkadarabok, amelyeknél többirányú felvételt kell készíteni a teljes meghatározás érdekében. „Ilyenkor – felhasználva a felület jellegzetes elemeit (referencia pontjait) – az egyes felvételeket össze kell illeszteni, majd a redundáns pontokat el kell távolítani” [1].

Az Reverse Engineering harmadik lépése a javított pontfelhő utolsó feldolgozási fázisa. Az előzetesen megalkotott, javított pontfelhőre geometriai formákat illesztnek, amelyek vagy analitikusak (pl. sík, kúp, gömb) vagy paraméteresek (Bézier vagy B-spline) illetve egyszerű háromszögek.

Az analitikus felületelemekkel való kitöltés eredménye, hogy minél kisebb eltéréssel kapcsolódjanak egymáshoz, s egy meghatározott tartományon belül a legkisebb távolság legyen köztük és a magukban foglalt pontok között. Leggyakrabban a CAD-modell készítéséhez és a méretellenőrzésekhez alkalmazzák.

A reprodukcióhoz leggyakoribb alkalmazási technológiája a háromszögekkel, való burkolás, egyszerűsége, kompatibilitása miatt. „A felületet ilyenkor háromszög alakú pikkelyekkel fedik le, és könnyű belátni, hogy annál pontosabb az alakkövetés, minél kisebbek a háromszögek, azaz minél nagyobb a pontfelhő sűrűsége. A háromszögek csúcspontjai a pontfelhő szomszédos pontjai.” [1]

Az Reverse Engineering negyedik, utolsó lépése a geometriai formák létrehozása után kapott felületek, illetve az ebből generált végleges testmodellek alkalmazása CNC-megmunkálásra vagy gyors prototípusgyártásra. Az STL eljárással elkészült modellből egy Cam szoftver segítségével CNC-programot szerkeszt, amely meghatározza és levezeti a nagyolási és a simítási stratégiát is, aminek elfogadása és rögzítése után CNC-marógépen

elkészíthető a megmunkálás. A gyors prototípusgyártás egy különálló technológia, de meg kell említenünk, hogy általában ezt a két technológiát egymástól elkülöníthetetlenként kezeljük a mérnöki gyakorlatban. A Reverse Engineering a tervezés, a Rapid Prototyping a megvalósítás.

1.2. A képfeldolgozás eszközei és csoportosítása

A képbeviteli berendezések feladata: valamilyen kézzelfogható térbeli tárgyról, térrésről azok képének másolása, amely során számítógép által kezelhető formátumú adatok hozhatók létre. Az adatok általában képpontok, amelyek raszteres tömörülésben tartalmazzák a fényesség-, valamint a színesség- értékeket. A képbeviteli eszközökön képérzékelők és jelátalakítók (illesztők, kódok) egységét értjük. Az első besorolásba tartoznak pl. a TV kamerák; a következőbe pl. a képdigitalizáló kártyák. Léteznek olyan készülékek, amelyek az érzékelőket és a jelátalakítókat együtt tartalmazzák, pl. ebbe a csoportba tartoznak a szabványos adatvonalra dolgozó szkennerek vagy a digitális kamerák,. A képbevitel első lépése: a kép érzékelése. Ez – eltekintve a képfeldolgozás egyes speciális felhasználási területeitől, melyek más kölcsönhatáson alapulnak – látható tartományba eső elektromágneses hullámok, azaz a fény érzékelését teszik szükségessé.”[2]

A képérzékelés általános hátterének bemutatása:

- az ún. elsődleges fényforrás megvilágít egy objektumot, a megvilágított felület a fény egy részét visszaveri, ezáltal ún. másodlagos fényforrássá válnak a tükröződő felületek. A visszavert fény információkat továbbít a munkadarab helyéről, alakjáról, felületének különböző jellemzőiről
- a visszatükröződő fényből mintát veszünk optikai eszközökkel (pl.: objektívvel), amelyet leképezve éles képet hozunk létre
- a képérzékelő eszköz érzékeli ezt a képet, s pontról-pontra letapogatja.

A képérzékelő berendezéseket több alternatíva alapján is lehet csoportosítani.

a) Csoportosítás az eszköz feladata alapján:

Síkban elhelyezkedő objektumok (képek, iratok, olyan filmek, amelyek átvilágításra alkalmasak) mintázatának, képének bevitele.

Néhány alapvető eszköz-típus:

Kézi (handy) szkennerek: Alkalmas kis szélességben, egy fekete-fehér, illetve színes sort beolvasására. Az adott sorra merőleges irányban kézzel kell egyenletes sebességgel

vezetni. Olyan integrált fényforrást is tartalmaz, amelyet a készülékkel együtt mozgatjuk. Fekete-fehér valamint színes változatuk egyaránt létezik.

Felhasználási alkalmazottsága: kis mennyiségű írott, nyomtatott dokumentumok beolvasása.

Síkágyas (flat-bed) szkennerek: Nagyobb (általában A4, illetve A3 méretű) fekete-fehér, valamint színes dokumentumok szkennelésére alkalmas. Általában a visszavert fény beazonosításával működik, de létezik olyan fajtája is, amely az átmenő fény felhasználásán alapul. Integrált fényforrást tartalmaz, a papír- illetve néhány esetben a fényforrás és az érzékelő sor – mozgatása automatikusan megy végbe.

Felhasználási alkalmazottsága: különböző dokumentumok beolvasása.

Dob-szkennerek: alkalmas nagyméretű fekete-fehér vagy színes dokumentumok, képek, filmek meglehetősen jó minőségű szkennelésére. Mind átmenő, mind visszavert fénnel egyaránt alkalmazható. A beolvasandó dokumentumot a dobfelületre kell rögzíteni. Majd ezt a beolvasáshoz meglehetősen magas fordulatszámmal megforgatják. Ezen művelettel egy időben változtatható finomságú előtolást is alkalmazhatnak, ezáltal a pontszerű fényforrás és az ennek megfelelő pontszerű érzékelő a dokumentumot spirál pályán tapogatja le. Felbontása és visszaállítási pontossága akár elérheti 10 µm nagyságrendet is.

Felhasználási alkalmazottsága: professzionális képfeldolgozás (DTP, úrfelvételek digitalizálása).

Grafikus vagy digitalizáló tábla: Koordinátarendszerrel határolt elektronikus rajztábla. Leggyakrabban soros porton csatlakoztatható a számítógéphez. A szerkezethez minden esetben tartozik egy elektronikus rajzoló eszköz, ceruza illetve szátkereszttel felszerelt korong.

Működési elve: A tábla felületén vékony elektromos huzalokból készült háló található. A metszéspontok egy raszteres felületet alkotnak, amelyek koordináta rendszert határoznak meg. A raszteres felület a kapcsolóval felszerelt ceruza illetve szátkereszt koordinátái meghatározhatók az általuk keltett elektromos impulzusok futásidejét kiértékelve. A raszterpontok közötti érzékelést alkalmazva interpolációval határozzuk meg a ceruza vagy szátkereszt pontos helyzetét. A pontok valamint a pontokat összekötő háló segítségével generált, tetszőleges rajz, dokumentum közvetlenül a számítógépbe kerül és egy adott szoftver feldolgozza az így létrejött adatokat.

Felhasználási alkalmazottsága: Tervrajzok, térképek, vonalas dokumentumok digitalizálására, illetve akár művészeti munka során is alkalmazzák.

Térben elhelyezkedő objektumok képének bevitele a számítógépes rendszerbe

A leggyakoribb eszköz-típus:

TV-kamera objektívvel: A képérzékelő síkjára digitalizált fekete-fehér, illetve színes képet érzékelő és akár videojellé alakító szkennerek. A mindennapi életben is gyakran találkozhatunk különböző felszereltséggel ellátott fajtáival. Állóképek készítésére is könnyűszerrel alkalmazható a digitális kamera. Fontosságuk és alkalmazási területeik napjainkban globális méreteket öltött. Működésüket tekintve a digitális képalkotása hasonló az általános fényképezőgéphez, ami azt jelenti, hogy ebben az esetben is a lencserendszer vetíti a képet a CCD érzékelőre. Ezután történik a képpontok azonosítása, digitális kép generálása. A kamerát leggyakrabban integrált adattároló egységgel (memóriával) ellátott mikroprocesszor irányítja. A processzor végrehajtja a kép javítási műveleteit, tömörítését és tárolását. Az így készített képek leggyakoribb esetben ilyenkor egy a kamerához tartozó LCD képernyőn közvetlenül megtekinthetők, beállíthatók, korrigálhatók valamint törölhetők is. A felvétel mentésével a szkennelési körülmények is tárolásra kerülnek, mint ahogy például a készítés dátuma illetve a felvételi beállítások is. A készülék közvetlen kapcsolattal csatlakoztatható számítógéphez, szoftver segítségével és/vagy erre alkalmas TV készülékhez és/vagy közvetlenül nyomtatóhoz is.

A 3D szkennerek: az eddig bemutatott szkennelési eljárásokkal ellentétben – ahol csupán kétdimenziós digitális felvételezésre volt lehetőség – a háromdimenziós felületek digitális rögzítésére, azonosítására alkalmazható. A megfelelően megvilágított, forgatható asztalra helyezett munkadarabról CCD kamerával – amelyet első lépésben az asztalhoz kell kalibrálni – képeket készítünk. A képek készítése között a munkadarabot szögben elforgatjuk, ezáltal az egyes képek között egy szögtérítés jön létre, ami azt eredményezi, hogy mindig újabb adatokat tartalmaz a következő kép pontfelhője. A kamera minden esetben egy komputerhez csatlakozik, amely adott szoftver segítségével elvégzi a képek mintavételezését, rekonstrukcióját és közvetlenül generálja a textúrákat is tartalmazó háromdimenziós digitális felvételt. Itt végezhető el a különböző szögből készített digitális képek egyesítése. Ezáltal lehetséges egy 3D-s alkatrész minden oldalának teljes mértékű meghatározása. Viszont mivel csak felületi szkennelésre alkalmas a berendezés, ezért

korlátozva képezhetők le nagymértékű alámetszések. Nem alkalmas olyan részek digitalizálására, amely saját szemmel sem látható.

b) Csoportosítás az érzékelés elve alapján:

Hagyományos, elektroncsöves: Ilyen fajta képérzékelővel működnek a pl. vidikon, plumbikon stb. csöveket alkalmazó kamerák.

„Működésük alapelve: az optikai úton fényérzékeny rétegre leképezett képnek megfelelő úgynevezett töltésképet megfelelően vezérelt elektronsugárral letapogatják, s a pontról-pontra változó töltés kisülésével arányos analóg jelből videojelet állítanak elő.”[2] Az ilyen fajta kamerák általában a mágneses elektronsugár-el térés elvét alkalmazzák, ezáltal a külső mágneses terek hatása is befolyásoló tényező lehet, akár komoly hibák előfordulását is eredményezheti. Digitális képalkotásuk geometriai szempontból nagymértéken befolyásolható a különböző áramkörök kivitelezésétől, a tápfeszültség ingadozásától, illetve a különböző alkatrészek öregedése következményében is változhatnak. Manapság már alkalmazási területeik – a CCD berendezések elterjedése következtében – folyamatosan csökken.

Töltéscsatolt félvezetők: Olyan kamerák melyek, érzékelők alkalmazásán alapulnak. Az optikai úton generált kép a töltés mennyiségének változását okozza (mint az előző esetben). Ennél a fajta szkennelési eljárásnál viszont eltérve az előzőtől az analóg jelek meghatározása a megfelelő képelemeknek a hozzájuk tartozó töltéscsomagok elektronikus léptetése következtében történik. Minden egyes képelemnek több tranzisztor egysége felel meg, amelyek különböző feladatokat látnak el, mint a feltöltés, érzékelés és a töltéstovábbítás.

CMOS félvezető berendezések: CMOS fényérzékelők elve megegyezik a töltéscsatolt félvezetőkével. Az elektronikai berendezések egységesítésének nagymértékű növekedése, illetve a CCD érzékelők meglehetősen magas beszerzési árának következtében, a CMOS érzékelők és az ezen elven alapuló berendezések fejlesztése manapság ismét előtérbe került. Híresebb, elismertebb gyártók több különböző ilyen érzékelőt fejlesztettek ki gyártottak és forgalmaznak.

„A CMOS érzékelők előnyei közé tartozik, hogy kicsi az energiafogyasztásuk, olcsón előállíthatók és bizonyos jelfeldolgozási feladatok közvetlenül az érzékelő chipbe épített processzor segítségével digitálisan elvégezhetővé válik.”[2] A berendezés olyan képminőséget képes létrehozni, amely a többi szkennelési eljárással készült kép

minőségével is felveszi a versenyt. A CCD mellett előreláthatólag ez az érzékelő fajta lesz az, ami alkalmazottá és elterjedté válik világszerte.

c) Csoportosítás az érzékelés párhuzamossága alapján:

Egyetlen érzékelőt és kiegészítő letapogató mechanizmust alkalmaznak, mint pl. a professzionális forgó-dobos szkennerek, illetve az egyes műholdas képalkotó berendezések. Ezeknél az eljárásoknál az érzékelő paramétereinek stabilitása a teljes szkennelési folyamat során biztosított, azaz az különbségek kiküszöbölésére ebben az esetben nincs szükség. Érzékelőként alkalmazhatnak fotoelektron sokszorozót, amely nagy sáv szélességgel, magas érzékenységi tartománnyal és dinamikával definiálható.

Vonali érzékelők azok, amelyeket az optikai olvasók is tartalmaznak. Az ilyen berendezéseknél minden egyes ponthoz (a vonalon belül) külön érzékelő tartozik. A mai technikai fejlettség azt eredményezi, hogy az érzékelők egymáshoz viszonyított eltérése százados nagyságrendű. A teljes azonosság a pontosság tekintetében csupán adott szoftver segítségével érhető el. Az ilyenfajta érzékelő akkor képes eredményesen pontos 2D-s képet alkotni, ha egy mechanizmus egyenletes mozgás biztosít neki a szkenneléshez. Az érzékelőhöz gyárilag megvilágító berendezést is csatolnak.

2D (azaz kétdimenziós) érzékelőt alkalmaznak pl. a CCD videokamerák, valamint a hagyományos (elektroncsöves) kamerák. A szkennelni kívánt dokumentum minden egyes pontjához külön érzékelő tartozik. A képalkotás az összes pont esetében egy időben megy végbe, viszont az adatok feldolgozása folyamatosan megy végbe leggyakrabban sorfolytonosan.

d) Csoportosítás az érzékelés színtelbontása alapján:

Fekete-fehér képérzékelők a látható fény tartományában lineáris pontossággal érzékelik a fényességet, valamint minden képpontról külön csupán egy adatot hoznak létre. Ezen adatot a látható tartományban meghatározott jelek integráljaként értelmezhetjük.

Színes képérzékelők a látható fényt tartományokra (spektrumokra) választva érzékelik a fényességet, valamint minden képpontról külön több adatot is létre hoznak. „Ezek az adatok az egyes tartományokban érzékelt jelek erősségével függnek össze, s általában az adott pontbeli „piros”-ságot, „zöld”-séget és „kék”-séget jellemzik. A színes képalkotás az eszköz felépítésétől függően történhet színváltással, vagy egyidejűleg.”[2]

1.3. A technológia optimális mérési (szkennerési) eljárásnak kutatása

A mai világ a tervező mérnökök már nem papíron terveznek, hanem 2D illetve 3D modellezés formájában. Ez a CAD. A számítógéppel segített különféle módszerekkel való tervezés, a gyors termékfejlesztés miatt szinte nélkülözhetetlenné vált. Vannak azonban olyan szakmai területek, feladatok és természetesen megjelenő problémák, amelyeknél a tervezés alapját jelentő információk, csak fizikai objektumként állnak a mérnökök rendelkezésére. Tipikus megoldásnak is nevezhető szinte az a gyakorlat, amelyben egy késztermék vagy egy alkatrész első modelljét a formatervezők és iparművészek kézi megformázási módszerekkel készítik, állítják elő az első mintadarabokat, prototípusokat. Többszöri átvizsgálások, finomítottatások, különböző esztétikai, ergonómiai tesztek elvégzése után jóváhagyják a modellt a gyártáshoz. Ahhoz hogy gyártható formában jelenjen meg, be kell digitalizálni, hogy feldolgozható legyen a CAD rendszer számára is. Hasonló feladatokat illetve problémákat jelent egy régen legyártott CAD dokumentációval nem rendelkező törött öntvény pótlása vagy egy kopott, hiányos szerszám felújítása illetve rekonstruálása.

Ezen problémák megoldása tette szükségessé a Reverse Engineering megszületését. Azt a mérnöki folyamatot, amelynek során egy fizikailag már létező tárgy (alkatrész, hiányos termék, öntvény stb.) számítógépes CAD-es geometriáját megalkotjuk, s valamilyen CAM szoftver segítségével NC vezérlésű gépen legyártjuk. A Reverse Engineering folyamat lényege, hogy a 3D-s koordináta-mérőgép segítségével az alkatrészről digitalizált pontfelhőt veszünk fel, amelyből a már említett CAD modellt készítünk.

Ez az eljárás szükségessé válhat a következő tevékenységeknél:

- új design készítése a már kész alkatrészből kiindulva
- formatervező által kézzel kialakított mesterminta reprodukálása
- számítógépes adatok nélküli régi késztermékek feldolgozása
- kopott, hibás szerszámok javítása

A Reverse Engineering folyamat a következő főbb lépésekre tagolható:

- alkatrész szkennelése, pontfelhő létrehozása
a pontfelhő feldolgozása, értelmezése
- a megmunkálási eljárás kiválasztása, CAM szoftver segítségével történő szerszámpálya generálása

- a generált szerszámpálya teljes leszimulálása és posztprocesszálása
- CNC megmunkálás
- az elkészült darab dimenzionális és minőségügyi ellenőrzése

Reverse Engineering szoftverek fejlődése

Az RE szoftverek fejlődése annak köszönhető, hogy a visszatervezés (vagyis az újramodellezés) nem találkozott a tervező mérnök által már jól megszokott CAD modellező rendszer kezelőfelületével, illetve annak gondolkodásmódjával.

1.4 Lézerrel működő (Non-contact) mérőgépek tanulmányozása

Steinbichler által gyártott legújabb generációs készülék. A Comet/Comet VarioZoom digitalizáló rendszer egy érzékelőfejből, egy tartórendszerből, egy vezérlőből, egy nagy teljesítményű Windows XP-t futtató számítógépből és a CometPlus saját gyártású szoftveréből áll. Az érzékelő fejek rugalmasan mozgathatók, kézzel vagy elektromosan állítható tartórendszerek segítségével (háromlábú állvány, amely a kiegyensúlyozhatóság szempontjából nagyon előnyös). A robosztus és a moduláris felépítésének köszönhetően, minden Comet rendszer egyszerűen szállítható, nagy mobilitású.



2. ábra. Comet Vario Zoom

A Comet VarioZoom rendszerek a szabálytalan felületek digitalizálásra lett kifejlesztve.

Az intelligens hardver és szoftver adta lehetőségeknek köszönhetően a rendszer bebizonyította a digitalizálási alkalmazások terén nyújtott nagy teljesítményét, a minőségellenőrzésben, termékfejlesztésben, Reverse Engineering és a Rapid Prototyping feladatokban is. Így megvalósult a tökéletes adatpontosság és felhasználóbarát működés. A gyakrabban alkalmazott formátumokba történő exportálás (dxf, iges, stl, vda) lehetővé teszi a további szoftverekkel való kompatibilitást.



3. ábra. Lézer pointer

A rendszer tulajdonságai:

- a felület adatainak gyors és pontos beolvasása (1,3 millió pont egy nézetből)
- ellenőrizhető pontosság ($\pm 20 \mu\text{m}$)
- a mérési terület változtatása hardver-változás nélkül, szoftveresen irányított zoom funkcióval

- a fotogrammetikai és a tapintható referencia-pontok integrációja
- bővíthető szoftvercsomagok (Match, Basic, Reference) adatbeolvasásra és feldolgozásra
- nem érzékeny a kívülről beeső környezeti fényre
- az átalakítás bármely koordináta-rendszerbe (3-2-1, RPS irány)
- automatikus, makró-vezérelt autómódoknál átlagosan 0,15 mm pontosságú

A mért objektum felületének pontos leírása mellett, a rendszer képes összehasonlítani a beolvasott 3D adatokat a CAD rajzokkal is. Az eredmények megjeleníthetők numerikus formában vagy hibajelző színes grafikonon is. Tervezési alkalmazásokban, az automatikus jellegörbe-felismerés megkönnyíti a modellek adatainak további feldolgozását.

	C100VZ	C250VZ	C400VZ	C250/400 VZ*
Mérési terület (mm) Nagy felbontású és standard módban	100x80	245x200	420x340	245x200 vagy 420x340
Mérési terület (mm) Zoom módban	45x35	120x100	210x170	120x100 vagy 210x170
Pontosság (mm)	+/-0,02	+/-0,04	+/-0,07	+/-0,04-0,07
Oldalhelyzetű felbontás (mm)	0,07 (nagyfelb.) 0,14 (standard)	0,19 (nagyfelb.) 0,38 (standard)	0,33 (nagyfelb.) 0,66 (standard)	0,19-0,33 (nagyfelb.) 0,38-0,66 (standard)
Mérési távolság (mm)	450	820	820	820
Érzékelő mérete (mm)	275x164x124	440x164x140	440x164x140	440x164x140

1. táblázat. VarioZoom technológiai adatai

*a C250/400VZ könnyen cserélhető objektívlencsékkel rendelkezik, amelyek lehetővé teszik a C250VZ és a C400VZ közötti egyszerű váltást.

Fotogrammetriai rendszer elve (AICON)

Tudományos magyarázat: „*Tudomány, amely speciális műszaki fényképről vett méretekből meghatározza a valós tárgyak kiterjedéseit elhelyezkedésüket, így a fotótérképezés és geometriailag pontos távérzékelés alapja.*” [Forrás: regis 2011 Távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai fogalomtár]

A 3D felületek digitalizálása során elért kiemelkedő geometriai pontossághoz a mért pontfelhők igazítása során nagy pontosságú referencia koordináta-rendszerre van szükség. Különösen nagyméretű objektumok mérésekor, a nagy pontosságú referencia koordináta-rendszer egyszerűen generálható fotogrammetriai módszerrel.

Miután több pillanatfelvételt készítünk a kódolt vagy a kódolatlan célról (ami a mérendő objektumon helyezkedik el) a fotogrammetriai kamerával, egy 3D koordináta-rendszert generálunk és olvasunk be a CometPlus szoftverbe. A következő digitalizálási folyamat során, a célok automatikusan felismerésre kerülnek, ahogyan az egyes pontfelhők igazítása is automatikusan történik.

A CometPlus szoftvert szintén a Steinbichler Optoelektronik vállalat fejleszti. Alkalmazástól függően, optimális mérési stratégia választható és alkalmazható a mérési folyamatban. Kezelése nem túl bonyolult. Az optika és a fejegység kellő hőmérsékleti határ elérése után, a kalibráló lézerpontok elhelyezkedésének segítségével állítható be a megfelelő mérési tartomány. A program beállítható egészen olyan szintig, hogy a valóságos és az átjátszott képkésési idő nélkül működjön. Ez tehát az jelenti, hogy képes a szkennert valós időben mozgó, élő képet is mutatni, amely nagymértékben segít a felhasználónak magas szintű élességgel beállítani az alkatrészt. A szoftver nagyméretű pontfelhők generálására és kezelésére lett fejlesztve, él-és görbület megőrzését biztosító szűrőkkel kiegészített intelligens adatmennyiség-csökkentéssel, valamint a jelleggörbék kiemelésének és egy nagyobb objektum több nézetének összeillesztési lehetőségeivel. A beolvasott 3D adatmennyiség bármilyen koordináta-rendszerben transzformálható.

Tulajdonságai:

- Windows operációs rendszerű
- Grafikus felhasználói felület (OpenGL támogatással)
- Közvetlen adatcsere a CometPlus és az AICON szoftverek között
- Automatikus célfelismerés

- Érintésmentes, mobil rendszermegoldás
- Referencia-pontok automatikus illesztése

A Comet VarioZoom rendszer tehát kiválóan alkalmas a törött nyomáshatároló öntvényünk szkennelésére. A készülék a Járműtechnológiai Intézet Gépgyártástechnológiai szakcsoport mérőszobájában állt rendelkezésünkre.

1.5 Az eljárás során alkalmazható szoftverek felkutatása

A kipróbált, de fel nem használt szoftverek:

Copycad: Alkalmas, de nem tud teljes valódi felületet generálni.

Rhinoceros3D: Korlátozottan alkalmas. A teljes modellezésre nem csak részfeladatokra használtuk.

A Rhino3D jellemzése

A Rhino3D könnyen tanulható, minimális gépigényű, rendkívül kedvező árú NURBS modellező alkalmazás Windows környezetre. A Rhino 3D-vel NURBS görbéket, felületeket, objektumokat, fizikai modelleket készíthetünk. Széleskörű kompatibilitása révén a Rhino 3D tökéletes integrációt biztosít a leggyakrabban használt design, mérnöki, CAM, stb. alkalmazáshoz. Korlátozottan alkalmas az általunk igényelt feladatra, a Rapidform XOR-ben generált felület bezárásánál használtuk fel.

A Solid Edge jellemzése

Kiváló modellezési mag és a mérnöki folyamatokat leképező munkafolyamatok segítséget nyújtanak a mérnököknek abban, hogy gyorsabban modellezhessék le terveiket, mint más CAD rendszerekben. A Solid Edge messzemenően kihasználja a UGS saját modellező magjának, a Parasolidnak az erejét.

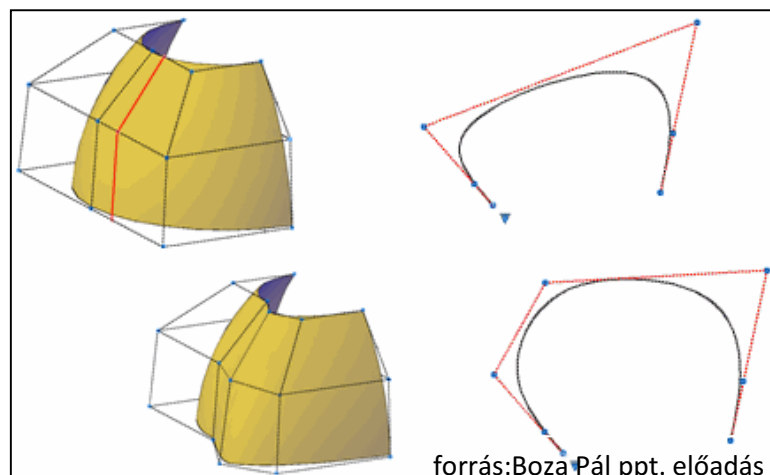
A magas szinten innovatív modellezési eszközök lehetővé teszik a mérnökök számára a modell alap alakjának gyors elkészítését, és a jellemző gépészeti építőelemek (furatok, lekerekítések, letörések vagy akár komplexebb oldalferdeségek, vezetett vagy csavarvonal alapsajátosságok) hozzáadását. A még formatervezettebb alakzatok készítéséhez, például a fogyasztási termékek esetében a Solid Edge forradalmi Gyors Forma technológiája nyújt olyan formatervező eszközöket, amelyek mellett, hogy hatékonyak és rugalmasak, továbbra is egyszerűen kezelhetők. A szoftver alkalmas az általunk kiválasztott modellezési folyamatokhoz. Napjainkban a Solid Edge 3D-s tervező szoftverébe integrálta

a szinkronmodellezés alapvető pilléreit. Szinkronmodellezésnek két nagy előnye is ismeretes.

Ettől a kernertől kezdve teljes mértékben kompatibilis más 3D-s modellező programban tervezett modellek kiterjesztésével. Ez azt jelenti, hogy mindenféle fennakadás nélkül behívható a másik szoftverben tervezett modell. Az így beimportált darab fastruktúrája elveszik, de a szinkronmodellezési fázisban már nincs is rá szükség, mivel a méretek szabadon állíthatók.

- Az első generációs RE-programok elsődlegesen a pontfelhők háromszög lapkamodellé történő átkonvertálását tartották szem előtt. Arra törekedtek, hogy minél nagyobb mértékben kisimítsák és alakhelyessé tegyék a generált felületeket. Az így kisimított STL-felületmodellre automatikusan NURBS felületeket feszít.

1.6 A Reverse Engineering szoftverek fő jellegzetességei és a CAD modellel nem rendelkező darab reprodukálásának módszerei:



4. ábra. NURBS felület (Non Uniform Rational Bezier-Spline)

Bezier-Spline: A kontrollpontok által meghatározott, minimum harmadfokú, parametrikus, folyamatos görbe, amelynek kezdő-és végpontja érintőlegesen fut a kontrollpontok által meghatározott poligonhoz.

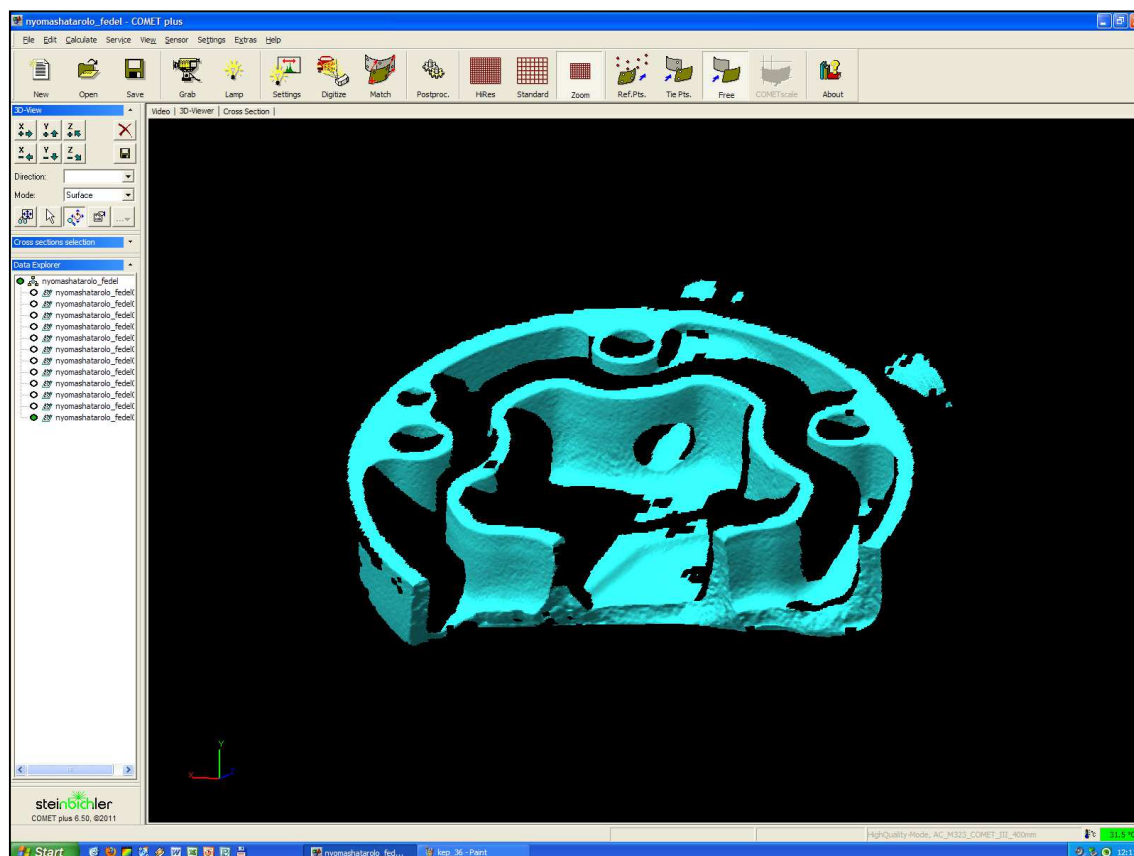
A NURBS felület is egy Bezier-Spline, annyi változással, hogy a paraméterek az ívhossz mentén tetszőlegesen változtathatóak, ezért a NURBS-Spline rugalmasabb, jobban közelíti a kontrollpontok által alkotott poligont.

Az első generációs RE szoftverek eljárásai nagyon időigényesek voltak, emellett nem volt ellenőrizhető a végeredmény pontossága.

- A második generációs szoftverek a hangsúlyt már nem a tökéletes lapkamodell kialakítására tették. Ehelyett inkább arra törekedtek, hogy a lapkamodellekre minél tökéletesebben felfekvő görbéket tudjon illeszteni, melynek pontosságát az illesztő pontok számával lehet szabályozni. Ennek a generációnak a hátránya ismét a nagy időigény, s emellett még a héjmodell csökkentett számú manipulációja.

- A harmadik generációs RE szoftverek már nem csak a görbékre illesztett felületeket kezelték jó eredménnyel, hanem a szoftver már támogatta az alkatrész alaksajátosságait, s azok dimenziójának a szabadon való változtatását.

- Egy merőben új megközelítést alkalmazott először az Inus Technology vállalat a RapidForm XOR szoftverénél. A program hatalmas segítséget nyújt a felhasználónak oly módon, hogy a szkennert, zárt pontfelhőt térbeli háttérképként kezeli. Erre a háttérképre illeszthetjük fel a már jól megszokott CAD-es funkciókkal a modellünket. Ezáltal az újramodellezés sokkal rövidebb idő alatt elkészíthető. Nem jelent plusz időt a pontfelhő simítása sem, mivel az már elhanyagolható. A szoftver fejlesztői arra is ügyeltek, hogy a korszerű paraszolid kernel felhasználásával 3D-s CAD-s környezetet alakítsanak ki. Nagy előnye, hogy a modell építése során teljesen szabadon és egyszerűen a szkennert alkatrész és a modell közötti kimutatkozó eltérés, s az őket alkotó felületek kapcsolódása, esetleg hibája. A paraszolid kernel magában foglalja a rugalmas paraméterezhetőséget, így akár még egy régióra feszített szabadfelület is pontosítható a jövőben. Ennek a technológiának a következő lépése a szinkronmodellezés, melynél már nem fellelhető az úgynevezett fastruktúra. Helyette a tervező teljes szabadságot kapott a dimenziók változtatására.



5. ábra. COMET-es környezet

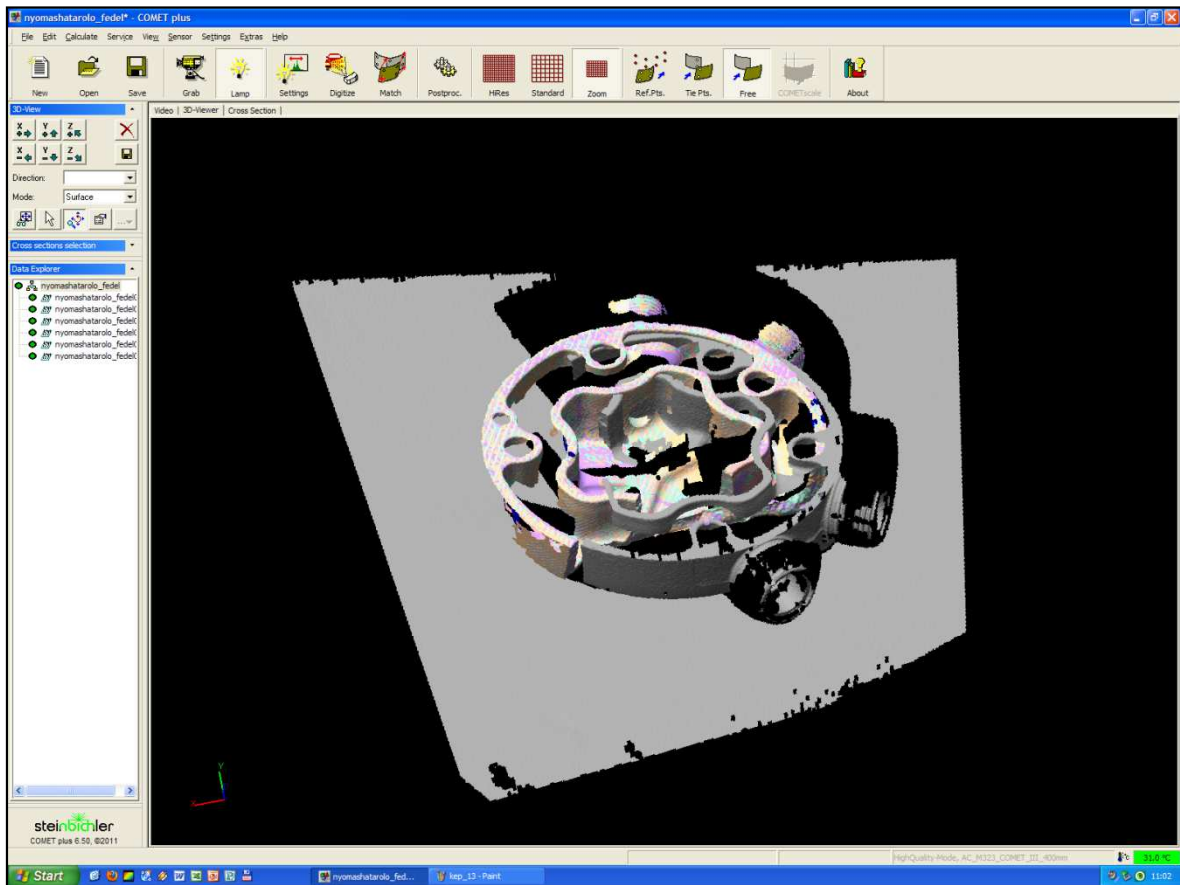
„Parasolid: a Siemens PLM (korábban UGS) tulajdonában álló ShapeData által fejlesztett kernel. Hibrid 3D-s felület és testmodellezést valósít meg, a 2D-s elemkészlet minimális.” [5]

1.7. A kiválasztott szoftverek

A RapidForm XOR már korábban is rendelkezett olyan adatkezelési módszerrel, amelynek segítségével óriási számú, több millió pontból álló halmazok kezelését is tudta. Ehhez a tudáshoz már nem számított mérföldkönek hozzácsatolni a térbeli pontfelhő technikáját, amely tovább alakítható volt háromszögekkel határolt lapkamoddellé. Az ilyen modellt a program rétbeli háttérképként valós időben késlekedés nélkül tudja kezelni, s ezt, a korszerű 3D-s CAD-es funkciókkal megvalósítani.

A szoftver természetesen hatalmas eszköztárral rendelkezik a hékmodell szerkesztésére. Könnyen kiszűrhető a bedigitalizált szkennelési hiba. A darab alaksajátosságait automatikusan felismeri, s azokat a könnyebb kezelhetőség végett különböző színkódokkal ellátja. A színkódokat a felhasználó könnyedén módosíthatja, saját elképzelésének megfelelően. Célszerű úgy színkódot módosítani, hogy annak a későbbiekben történő értelmezése triviális legyen, ez csökkentheti a mellékidőt, növelheti az elkészítést.

Ezeket a színekkel ellátott alaksajátosságokat speciálisan felületi régióknak nevezzük. A felismert régiók elhelyezhetők külön-külön koordináta-rendszerben, viszont célszerű a további munkát elősegíteni az egy koordináta-rendszeres állapottal. Így megfelelően együtt pozícionálható lesz a testmodell. Amennyiben az imént említett testmodell a cél, egymással kapcsolatban lévő vázlatsíkokat hozhatunk létre, amelyek méretekkel és úgynevezett kötöttségekkel azonnal elláthatók.

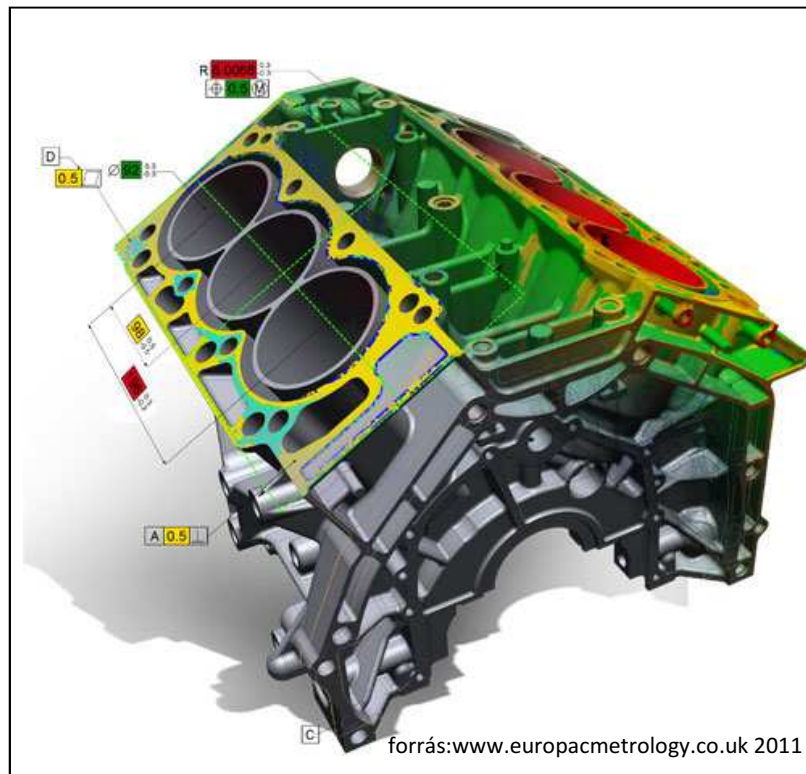


6. ábra. Szkennerési hiba

A szkennert darabhoz képest valós időben követhetjük a szerkesztendő modell eltérését. Ezeket az eltéréseket színekkel is érzékelteti a szoftver. Beállítható az előírt megengedett eltérés is. A 3D-s modell eltérései pl.: a rádiuszok nagysága teljesen szabadon beállítható, mozgatható a behívott háttér pontfelhőhöz képest. A Rapid Form XOR lehetővé teszi a tervezőknek azt is, hogy a felületmodellezéssel készített úgynevezett szabadfelületeket kombinálni lehessen a testmodellezéssel előállított modellalkatrészekkel, felhasználva a CAD rendszerekben megszokott Boole-algebrai műveleteket, kiosztási és többszörözési funkciókat.

A szoftver nagy előnye még, a térbeli görbék által meghatározott felületek támogatása, szerkesztése új parancsokkal. Korábban mindezt a görbehálót 3-5 határgörbe tette egyértelművé. Algebrai műveletekkel leírt pontokra addig fektetett cons-foltokat, ameddig a felület literációja el nem érte az optimális szintet, tehát minimális eltéréssel illesztette össze a felületeket.

A szoftverben beépített eszközök közül érdemes még kiemelni – a korszerűbb CAD-es rendszereknél is már alkalmazott „fastruktúrát”. Ez azt jelenti, hogy a grafikus képernyő mutatása mellett a modell-építés történetét is tartalmazza. A felépített lépések kényszerezés nélkül szabadon mozgathatók, s a változások követhetők. Fontos tulajdonság emellett még valamennyi réteg közvetlen paraméterezhetősége, így akár a felültrégióra feszített szabadfelület is pontosítható.



7. ábra. RapidForm sketch

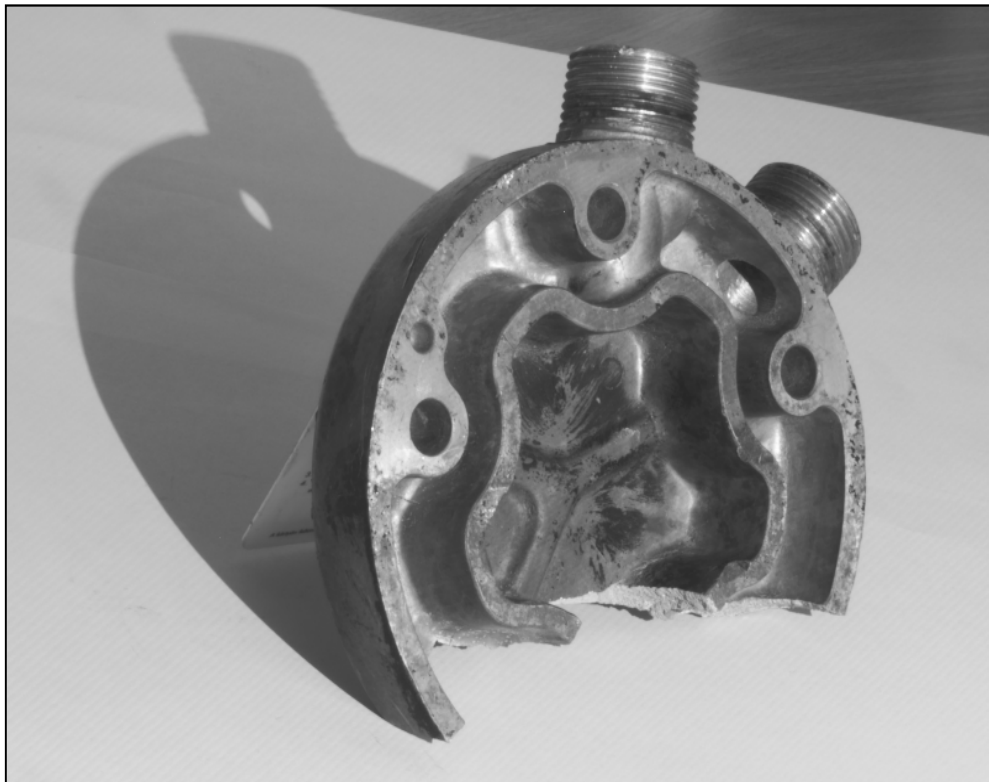
1.8. A Műszaki probléma meghatározása

Feladatunk egy öntvény gépalkatrész, - nyomáscsökkentő fedél - modellezése, melyhez nem tartoztak dokumentációk és egyéb méret adatok (8. ábra). Az ismeretlen méretek és formák meghatározása szükségesek az adott munkadarab újragyártása érdekében és számunkra is ez volt a fő cél. Tehát egy olyan modellt szerettünk volna létrehozni az eredeti öntvényből, ami segítségével a reprodukálás lehetségessé válik.

Az első fő probléma abból adódott, hogy a felületek, illetve az öntvény formái az általános mérési módszerekkel nem megvalósítható, mivel egy bonyolult kubaturájú és gyakran megközelíthetetlen mérendő felületekkel rendelkezik a munkadarab.

A második problémánk az öntvényi pontatlanság kijavításában rejlett, mivel a munkadarab valószínűleg homokforma öntési technológiával lett elkészítve. A felület pontatlansága mellett az öntési oldalferdeség is problémát okozott a későbbi modellezési folyamatok során.

A harmadik problémánk az volt, hogy az általunk kiválasztott öntvény rendelkezett egy olyan törött felülettel, amely által az eredeti munkadarab egy jelentős része hiányzott. Szerencsénkre az adott részen az öntvény részben szimmetrikus kialakítású, ezáltal a modellezés során sikerült ezen probléma megszüntetése is.



8. ábra. Nyomáscsökkentő fedél

2. Számítógépes modell kidolgozása

A nyomáshatároló öntvényünk kubatúráját a Kecskeméti Főiskola Gépipari és Automatizálási Műszaki főiskolai karán található Járműtechnológiai Intézet tanszékén lévő érintkezés nélküli Comet VarioZoom típusú 3D szkennelvel digitalizáltuk be. A szkennel alapállapotában szabad állapotban volt beállítva. A konkrét, pontos helyzetét csak a számítógép és a zoom rendszer betöltése után lehetett meghatározni. A szkennel bekapcsolása után közvetlenül még nem használható, amíg el nem éri az optimális üzemi hőmérsékletet. Miután az összekapcsolt számítógépen el lett indítva az alapszoftver, a szkennel 2D lézerpontier gyullad ki. Szerepe a beolvasni kívánt alkatrész pozicionálása. A lézer segítségével jól kivehető a mérési tartomány, melyen belül, legjobb esetben középen kell elhelyezni a darabot.

Miután dimenzionálisan beállítottuk a tárgyunkat, a szoftver léptetésével a kalibrált pontierek lekapcsolnak, majd beélesedik a VarioZoom fényszenzorja. A berendezés elsődlegesen megvizsgálja a környezet természetes vagy mesterséges megvilágítását. Másodlagosan pedig a letapogatni kívánt középre elhelyezett nyomáshatárolót méri meg. Ez a lépés nagyon fontos, mivel ettől a beállítástól függ legnagyobb mértékben a készített kép élessége. Ha túl sok fény verődik vissza, akkor a kép „kiég”. Ez nagyon hátrányos tulajdonság ennél a mérésnél. Nagy mértékben segíthetjük a szkennel munkáját azzal, hogy a darab háttérében, egy a darab felületi színétől jól elkülöníthető sablont helyezünk el. A mi esetünkben előbb egy sötét árnyalatút, majd egy világosabbat próbáltunk. A kísérletezgetés és a képek minőségének javulása arra engedett következtetni, hogy a fehér háttér sablon lesz a legjobb megoldás. A munkadarabunk és a háttér között itt volt a legnagyobb a kontraszt. A program nem tudja kezelni, illetve nagyon rossz képminőséget eredményez a kevésbé látható oldalaknál található felület. Az általunk vizsgált nyomáshatároló fedél több alaksajátossággal rendelkezik. Ezt azt eredményezte, hogy a későbbiekben 30%-kal több felvételt kellett készítenünk, mint egy pl. téglalap alapú alkatrész esetében. Ezért lett szükség újabb és újabb mérésekre, hogy legyen több információnk a hiányzó felületekről.

2.1. Elemi pontfelhők előállítása

A folyamatos szkennelés eredményeként a digitalizált pontfelhők egyre jobban leírták a darab körvonalait.

2.1.1 Pontfelhők

Már két darab szkennert felület esetében rendelkezünk olyan régiókkal, amelyek kis mértékben is, de fedik egymást, s így egymásba/egymásra illeszthetők.



9. ábra. Többszöri szkennelés

Fontos, hogy a szoftveren belül rögzítsük az általunk kiválasztott legjobb minőségűnek választott képet. A lerögzítés azt jelenti, hogy a kiválasztott pontfelhő csoport lesz a referencia, amelyet fixen rögzítünk a térben.

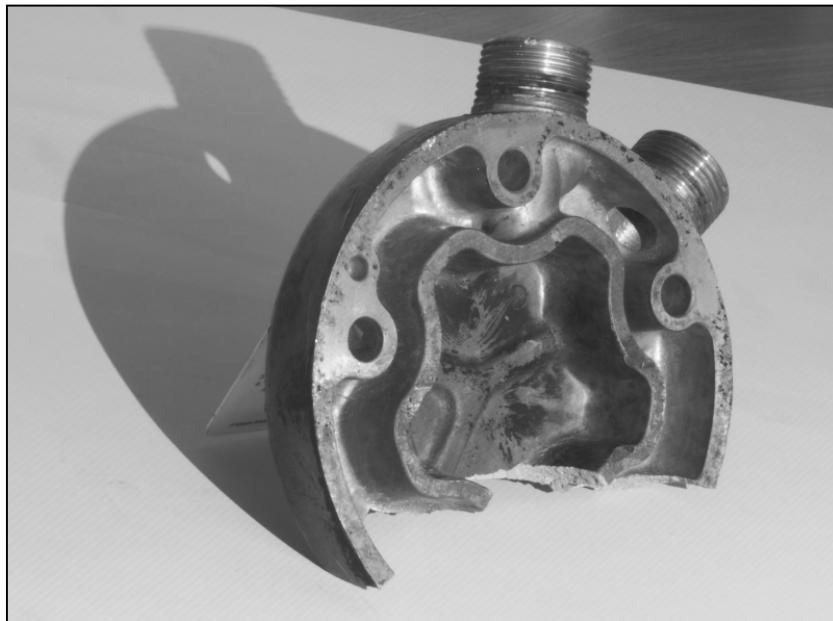
A munkadarab tárgyasztalon való elhelyezése

A szkennelési folyamat során egy az adott eljárásra jellemző problémára kerestünk megoldást, amely nagyban segítette a pontfelhők létrehozását. A probléma mibenléte abból adódott, hogy a tárgyasztal igen könnyen szkennelhető felület. Ez a mi esetünkben nem kívánt tulajdonság, mivel ez által minden egyes szkennert pontfelhőhöz hozzáadta azt a pontfelhő-felületet, amelyet a tárgyasztal síkjáról készített. Ilyen esetekben minden egyes pontfelhőről le kellett vágnunk a felesleges részeket, ez egy nagyon hosszadalmas művelet és emellett fontos információkat is veszítünk a levágás pontatlansága végett.

A problémát oly módon oldottuk meg, hogy egy olyan tárgyasztal felületet hoztunk létre, amely a szkennelés szempontjából előnytelen részeket kihagyott. Ezáltal csak a számunkra fontos információval bíró felületek lettek szkennelve. A régiók elkülönítésére több alternatívát is találtunk. Első megoldásként egy sötét árnyalatú, vászon anyagú

terítéket használtunk, amelyet a tárgyasztalra helyeztünk, s arra fektettük a munkadarabunkat. Sajnos ez a megoldás nem sikerült tökéletesre, mivel a felület mattsága miatt a szkennert túl sok felesleges adatot azonosított be. A második és egyben végső megoldásunk egy aránylag fényes fehér felület volt. Azon helyeztük el szkennerni kívánt öntvényt. A Comet VarioZoom 200/400 típusú mérőberendezés alap szoftver beállításait oly módon állítottuk be, hogy az alap tárgyasztal felülete ne akadályozza a tökéletes és hasznos pontfelhő létrehozását. A fehér háttér és a nyomáshatároló fedél egymással nagy kontrasztban álltak, így tökéletesebb, élesebb képet kaptunk.

A Comet VarioZoom alapszoftverében lehetséges volt különböző megvilágítási módokat választani. A darabunkra eső fénnel, szintén mértékletesen tudtuk szabályozni a kapott kép minőségét.



10. ábra. Árnyékolás

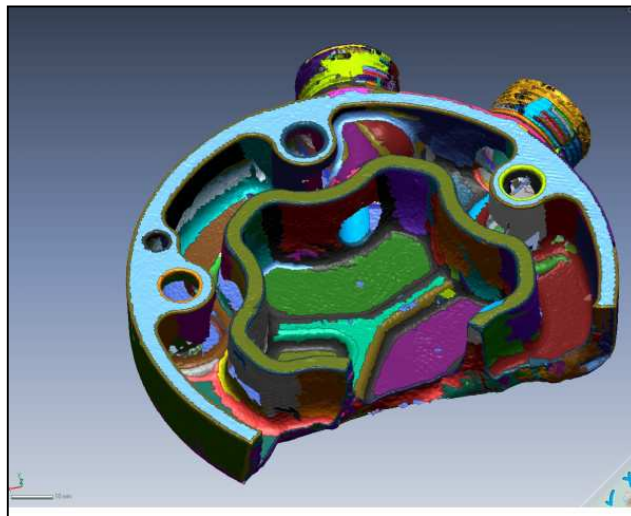
A dolgozat célja az volt, hogy az általunk kiválasztott problémát a lehető legpontosabban kidolgozzuk, illetve megoldást találjunk rá. Adott volt egy törött nyomáshatároló fedél. Ez az alkatrész öntött darab, ezért már a szemrevételezéskor észrevehető volt az öntvény kubatúrájának szabálytalansága. A hiányos öntvény formája nem teszi lehetővé a későbbi gyártását. A darabon olyan rádiuszok, oldalferdeségek találhatók, amelyek teljes mértékben megakadályozzák a pontos méretezést. Méret feltételek és alaksajátosságok nélkül az alkatrészt nem lehet kiönteni vagy megforgácsolni. Erre a problémára kellett találni megoldást. Mivel a fedélnek nem voltak előzetes

dokumentációi pl.: Cad rajzok, abból nem lehetett kiindulni. A gyártáshoz szükséges adatokat csak egy módon tudtuk elérni. Ez a mód a darab pontos bedigitalizálása lett. A digitalizálást több oldalról is meg lehet közelíteni, s feltételezhető, hogy az összesből helyes értékeket kapnánk.

A bedigitalizálás első lépése a darab megtisztítása, s a szkennelés. Az alaksajátosságokról két féleképpen is információt kaphatunk. Mind letapogatásos 3D mérőgéppel, mind érintkezés nélküli 3D szkennelssel. Ebben a dolgozatban az érintkezésmentes szkennelést választottuk. A szkennel típusjelzése: CometVario Zoom. Lézerfények segítségével bekalibrál, majd különböző fényerősségek beállítása után beolvasta a fedelet. Mivel a kamera mindig csak azt az adott felületet látta, amelyik épp felé nézett, ezért fokozatosan kellett állítani a darabunk szögén. Kisebb elforgatások után szkennelés, majd ismét elforgatás, s újra beolvasás. Ez addig folytatódott, amíg a teljes alkatrész kubatúrája látható nem lett. Miután befényképezett egy felületet a kamera, az alapszoftverében azonnal megjelent. Az automatikus illesztés kihagyása végett, teljes mértékben kézzel történt a felületek illesztése. A kubatúrát úgynevezett régiókra bontottuk, majd megadott pontpárok alapján összeillesztettük. A kiválasztott épp aktuális pontfelhőket egymás mellé helyezte a program, s szemrevételezéssel találtunk mindkét képen olyan sajátos, egyedi pontokat, amelyek alapján össze tudtuk kényszeríteni őket. Minél több illesztő pontot adtunk meg, annál pontosabb lett az illesztés. Ezt addig folytattuk, amíg már eltűntek a darabról a láthatatlan, a program számára értelmezhetetlen felületek. Természetesen minden szkennelésnél voltak olyan felületek, amelyek mindig nagyon élesen és jó minőségben látszódtak. Amikor megtörtént az egymásra helyezés, nem csak az „üres” lyukakat, felületeket fedtük le az újonnan szkennelt darabbal, hanem azokat is, amelyek már előzőleg is kiváló minőséggel látszódtak. Így mondhatni, hogy rétegek egymáson csak növekedtek. 30 összeillesztésnél már közel 30 réteg feküdt egymáson. Ez rengeteg adatfelesleg, amelyet a program nagyon nehezen tud kezelni. Ennek kiküszöbölésére szolgál az automatikus adatcsökkentés, amelynek végigfuttatása kivette, a felesleges egymáson fekvő felületeket. Miután manuálisan is eltávolítottuk a nem kívánt felesleget, jöhetett a háromszögháló létrehozása. Ekkor a szoftver az addig összeillesztett pontfelhőkből háromszögek segítségével egy hálót hoz létre, amely háló lefedi az egész darab felületét. A legkisebb négyzetgyökök különbségével rásimítja a hálót a pontthalmazokra. Ennél a fázisnál már körvonalazódik a valódi forma. Az alkatrészünkről viszont még mindig nem tudunk pontos méreteket, s a hiányossága is még meg van.

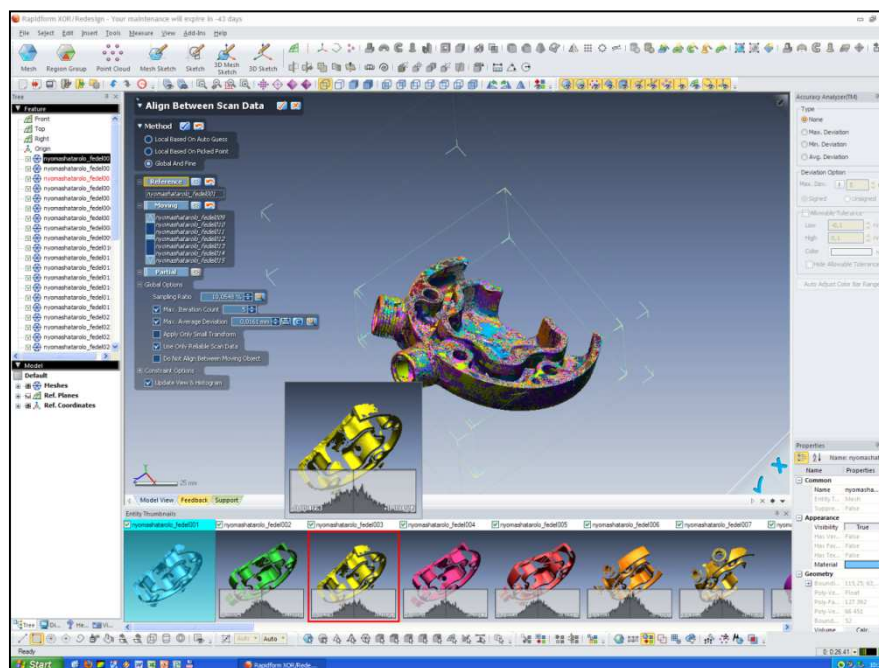
Csak most hívtuk segítségül a Reverse Engineer módszer segítségét. Folyamatos programtesztelések után megtaláltuk a megfelelőt. RapidForm Xor. A Rapidform XOR szoftver azért került alkalmazásra, mert valódi CAD-es felület tud készíteni a háromszögfelületre. A piacon előforduló szoftverek nagy részénél, a felület illesztését négy határoló él vagy vonal kijelölésével úgynevezett Coons folt felületet tudunk létrehozni, amely nem fedi le a teljes létrehozandó felületet, ezért újabb és újabb Coons foltokat kell létrehozni, amely folt felületeket egymáshoz kellene rendelni és ezt már nem vagy csak részlegesen támogatják ezek a szoftverek. Ezzel szemben a Rapidform XOR szoftver támogatja a globális felületillesztést. A szoftver a beimportált ponthalmazokat külön-külön régióként bontotta le, s kezelte. A program automatikus összeillesztéssel egymásra húzta a szkennert felületeket egy bizonyos tűrésen belüli pontossággal, amelyet iterációs értékkel tudtunk megadni.

Ha még ekkor sem felelt meg az előírt elvárásoknak az illesztés pontossága, manuálisan szabad formában lehetett rajta tovább javítani. A régiókat különböző színekkel jelöli a szoftver.



11. ábra. Felületi régiók

Az összeillesztések után jöhetett a darab lemodellezése általános 3D CAD-es modellező környezetben. A kubatúrát matematikailag leírható függvényekkel másoltuk le. Miután már meg volt a szkennert fedél 3D-s modellje, jöhetett a hiányzó rész pótlása. A szoftver rengeteg elérhető funkciójának segítségével a pótlás megtörtént.



12. ábra. Elterés Gauss-görbe

Az ellenőrző illesztés után már készen is állt a munkadarabunk a méretezésre. Ettől kezdve már bármilyen dimenzionális adat a rendelkezésünkre állt.

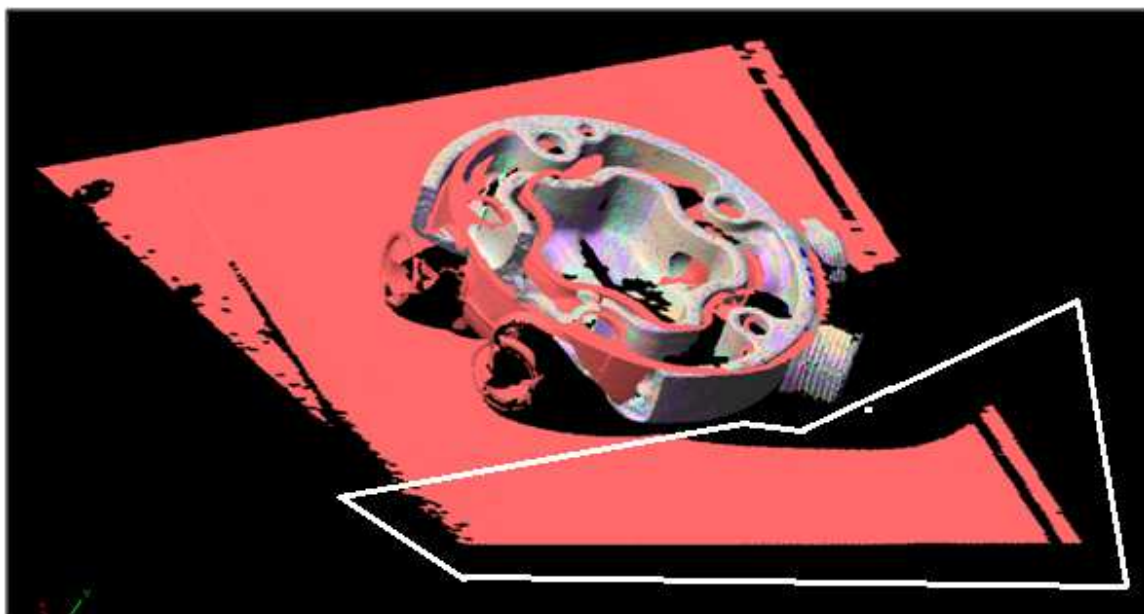
2.1.2 Pontfelhők illesztése

A többi szkennert pontfelhőt kényszermentessé tesszük. Ezt követően az összeillesztést segítve a szoftver a kiválasztott pontfelhőket egymás mellé helyezi. Kézzel be tudjuk állítani, hogy a szkennert képek felületei egybevágóan álljanak. Ennél a fázisnál már viszonylag egyszerűen ki tudjuk választani a pontpárokat, amelyeket a felület ugyanazon jellegzetes pontjain helyezünk el. Pl.: ha az illesztendő képen található furat belső ívének középpontját jelölöm ki, akkor a referenciaképként használt modellnél is ugyanazt a pontot kell kijelölni. Ez legtöbbször 3-3 pontot jelent, de természetesen a több pont pontosabb felületet eredményez. Megkülönböztetni a pontpárokat a program különféle színekkel segít.

Az összeillesztést a legkisebb gyökök különbségével számítja. Az illesztés addig folytatódik, amíg az illesztések iterációja a harmincat, míg a felületi illesztések konvergenciája a 10^{-6} -os értéket el nem éri. Ha e határ alá csökkennek, az értékek a szoftver már talál közös felületeket, s elvégzi az összeillesztést.

Ha a felületek összeillesztése megtörtént, s meg vagyunk elégedve a kapott eredménnyel, utána következhetnek az automatikus műveletek. Ilyenek a finomító, megerősítő illesztések. A modellhez fel nem használt felesleges részeket az Interactive Clipping funkció segítségével távolíthatjuk el.

Az Interactive Clipping szolgáltatás több lehetőség is nyújt a felhasználónak. A mi esetünkben két módot használtunk. Az egyik mód a teljesen interaktív, automatikus levágás. Ekkor semmilyen értéket nem kell megadni, a szoftver teljesen önállóan távolítja el, az általa nem az alkatrésznek ítélt egységeket. A másik mód pedig a manuális. A kézi természetesen sokkal több időt igényelt, viszont a pontossága sok esetben nagyobb volt az interaktívénál. A képen (13. ábra) a körberajzolt felesleges rész látható.



13. ábra. Interactive Clipping

2.1.3 Optimalizálás

A szkennelés során a pontfelhők oly módon jönnek létre, hogy részben átfedik egymást. Ezeken a közös felületeken kellett olyan referencia pontokat létrehozni, amelyek pozícióját az adott két pontfelhőn meg tudtuk határozni. Az ilyen módon végrehajtott illesztés egyszerre csak két pontfelhő összekapcsolását teszi lehetővé

Lehetőségünk volt egy automatikus, gép által végrehajtott illesztési formát alkalmazni, de a gépi pontatlanság elkerülése végett, úgy láttuk helyénvalónak, hogy az egyenkénti illesztési művelet folyamán minden pillanatban meg tudjuk majd vizsgálni az adandó eltéréseket.

A manuális összekapcsolás révén sikerült hibásan szkennert pontfelhőt beazonosítani és eltávolítani, ezáltal a választott illesztési formák helyessége is beigazolódott.

2.1.4 Pontfelhők illesztésének megerősítése

A további egyesítési folyamatban ez első (rögzített) fél minden esetben az akkora már többszörösen illesztett pontfelhő volt. Az összekapcsolási fázist gyakorta kellett felülbírálnunk mivel öntési formáról lévén szó nehéz volt egyértelműen meghatározni azonos pozícióban lévő pontokat és ilyenkor a szoftver hibás összeállítást generált. Az egyik kubatúra képet az illesztési folyamat elején rögzítettük, így a szoftver feladatát csökkentettük, mert csupán az szabadon maradt pontfelhőt kellett a rögzítettéhez igazítania. Ezt a műveletet a „Group Matching” paranccsal végeztük el.

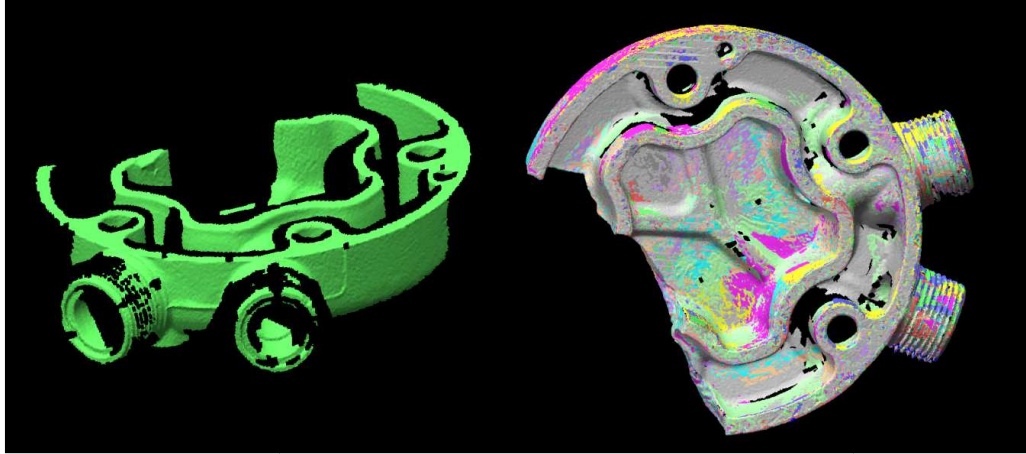
A pontatlansághoz az emberi tényező is hozzájárult, mert a referencia pontok kiválasztása során nem mindig tudtuk egyértelműen meghatározni ugyan azt a pontot a két pontfelhőn. Ezt a jelenséget leginkább akkor tapasztaltuk, amikor olyan felületet próbáltunk csatolni az addigiakhoz, ahol az átfedés csupán kismértékű felületi azonosságot mutatott.

A szoftverben beállítottunk egy iteráció értéket, amely azt volt hivatott ellenőrizni, hogy az eltérés milyen mértékűre sikerült. Ezt az értéket harmincra állítottuk. Minden illesztés során figyelemmel kísértük az iteráció kiszámolását, mert minél nagyobb értéket ért el a szoftver, annál nagyobb eltéréssel sikerült csak illesztenie a felületeket. Ha az adott értékig számolt a gép (esetünkben 30-ig), akkor az azt jelentette, hogy az összekapcsolás a mi általunk megszabott tűrésen kívül esik.

Az ilyen esetekben először új referencia pontokkal próbáltuk kijavítani a hibát. Ha a számolás így sem hozott kedvező eredményt, akkor új szkennert készítettünk az adott oldalról, esetleg kis mértékben változtattuk a helyzetét a még minőségibb kép érdekében. Az összes felület egyesítése után automatikus finomítási műveletet hajtottunk végre. Ezek után egy megerősítő illesztést alkalmaztunk. A végső fázisban ellenőriztük a felületek illesztési pontosságát.

2.1.5 Elkészült pontfelhők

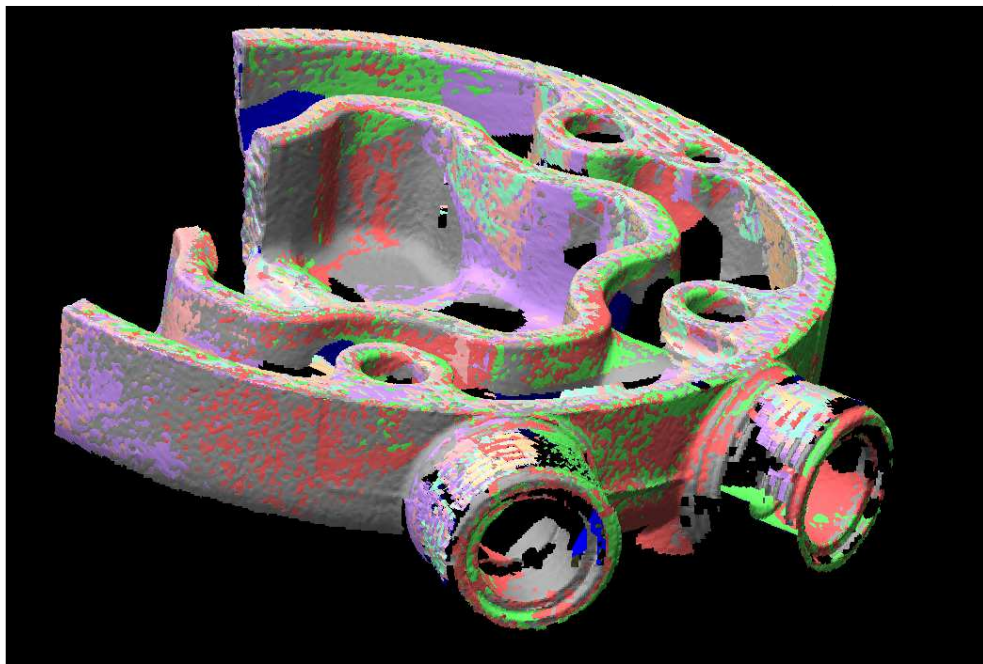
A (14. ábra) megmutatja, hogy melyik az az illesztési fázis, amikor már szembetűnő a differencia, az eddigi összeillesztett régiók és a pillanatnyi szkennelés által bevitt felületrégió terjedelme között.



14. ábra. Illesztési pontosság

Az újabb és újabb szkennelés mindig több és több információt ad meg a hibás alkatrészünkről.

Addig kell a felhasználónak az alkatrész szkennelését végezni, amíg elvárástól függően kismértékben vagy már egyáltalán nem található a modellben üres felület. (15 ábra)



15. ábra. Üres felületek

2.2. Háromszögháló szerkesztése

A háromszöghálót generálásának fő kritériuma az előzetesen összeállított pontfelhő modell megléte. Az összeillesztett pontelhőkből trianguláris modellt generálunk. A pontfelhő régiókat a mi esetünkben a szkennert szoftverével valósítottuk meg. Ekkor még nem beszélhetünk 3D modellről, mivel a nyomáshatároló fedelünk kubatúrája, még csak pontok kapcsolatából épül fel. A háromszögháló szerkesztéséhez ismét a CometVario Zoom program segítségét használtuk. Miután kiadtuk a szoftvernek a háló generálása parancsot, elkezd vizsgálni a pontokat. Miután megtalálta az összefüggéseket, megpróbál minél pontosabb felületet illeszteni a pontthalmazokra. Ezek a felületek gyakorlatilag még nem valós felületek, ezért nevezik inkább hálónak. A hálót háromszögekre bontja fel, így éri el a szoftver a legpontosabb illesztést. A szerkesztés során el kellett végezni a háromszögek utólagos bepótlását, az aláforduló háromszögek visszafordítását, eltávolítását. Ezen lépések után még meg kellett a programnak határozni a maximális háromszög-húrhosszt, mely alapján ki tudta zárni az elkülönült pontokat (úgynevezett zajcsökkentés). Ezen műveletek eredményeként egy „hiba nélküli” háromszöghálót kell kapnunk. A teljes hibamentesség az egymáshoz kapcsolódó felületek tökéletes zárását, folytonosságát jelenti. Ha szakadás áll fent, a folytonosság értelemszerűen nem generálható le, így ennek következménye, hogy a háromszögháló nem létrehozható, további javítást igényel.

A háromszög felület képzési folyamata Comet szoftverben

- | | |
|---|---|
| ☐ Closing gaps - | hézagok bezárása |
| ☐ Shrinking boundaries - | határvonalak csökkentése |
| ☐ Remove overlaps - | átlapolások eltávolítása |
| ☐ Restore necessary vertices - | szükséges pontok helyreállítása |
| ☐ Building topologies - | topológiák felépítése |
| ☐ Predecimate data - | ritkítás előzetes becslése |
| ☐ Sewing (Iteration) - | felesleges részek levágása, több lépésben |
| ☐ Combining to one object - | objektum-részek egyesítése |
| ☐ Finishing the process - | feldolgozás befejezése |
| ☐ Removing outliers - | kilógó részek eltávolítása |
| ☐ Smoothing - | simítás |
| ☐ Decimating - | ritkítás |

Háromszög modell létrehozása:

A programunk illetve az általunk generált ponthalmaz között még mindig találni úgynevezett üres területeket. Ennek a kijavítására ismét számítógépes, szoftveres programra volt szükségünk. A szoftver viszonylag egyszerűen és gyorsan kiszámolta matematikai algoritmusokat felhasználva a területek, háromszög alakú síklapokkal való beburkolását. Így már a háromszögek csúcspontjai a mért pontokban vagy azok közelében helyezkednek el. A háromszög 3 szomszédos elemi pont összekötéséből épül fel. Miután megadtuk ezeket a segédpontokat, a szoftver háromszöghálót feszített a pontfelhőre. Itt már lehetőségünk lett a modell árnyékolására. Az olyan részeket, amelyekre a program nem tudott háromszögeket illeszteni, utólagos korrekcióra szorultak.

A háromszögháló csatlakozási pontjai szemrevételezéssel nem állapítható meg pontosan. Az alkatrészen lévő görbületeket, domborulatokat ki tudjuk emelni különféle módszerekkel. Az egyik ilyen megjelenítési lehetőség az, amikor a modellt alkotó háromszögeket árnyékoljuk. Ennek segítségével már megállapítható, hogy a készülő modell hol kíván még további igazítást. Olyan eset is előfordulhat, amikor a pontfelhőre illesztett háromszögháló tartalmaz olyan részeket is, amelyeknél nem megoldható az árnyékolás. Ezekre a szoftver nem tudott önállóan háromszögeket illeszteni, mert a kézi szkennelés miatt az árnyékolatlan foltoknál nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű pont.

Előfeldolgozás

A folyamat főbb lépései:

- I. Pontok csoportosítása
- II. A szomszédsági gráf
- III. A maximális háromszögméret kiszámítása
- IV. Normálvektorok becslése

Háromszögelés

A folyamat főbb lépései:

- I. Háromszögek generálása
- II. Voronoi-cellák generálása
- III. Szögkritérium (a háromszögek szögeinek számítása)
- IV. A jelölt háromszögek generálása
- V. Egységes és egyenletes háromszögháló létrehozása

Utőfeldolgozás

A folyamat főbb lépései:

- I. Lyukak befoltozása (Fill holes)
- II. Élek felcserélése (Inversion of the Edges)

- III. A háromszögek simítása (Smoothing)
- IV. A háromszögek utószűrésére (Reduce)
- V. Végleges háromszögháló generálása

2.3. A 3 koordinátás mérőgép tanulmányozása

A kis vagy nagy sorozatú digitalizálás alatt ismeretlen síkbeli, amely 2D-s illetve térbeli, amely 3D-s alaksajátosságok felületi pontjainak letapogatását értjük.

A háromdimenziós geometriai adatnyerésnek két iránya alakult ki. Az egyik a talán kissé rövidebb befektetett munkát igénylő módszer a tapintókkal ellátott koordináta-mérőgép felhasználása.

A mérőberendezés össze van kötve egy számítógéppel, amellyel folyamatosan kommunikál. A kezelő, a berendezés tapintója mérendő termék vagy alkatrész különböző geometriájához érinti. Ekkor a program a számítógép segítségével elraktározza a térbeli pontok koordinátáit, majd ha már kellő adatmennyiség áll rendelkezésre, képet formál a pontok összekötésével. Ezek a tapintással nyert adatok pontosak, az ezredmilliméteres pontosságot is elérhetik.



16. ábra. Automatizált méretvétel

Kezelésük viszont nem túl egyszerű, s a széles körű elterjedésüket még a magas költségük is akadályozza. Valójában nem csak a magas ár az egyetlen hátránya ezeknek a mérőgépeknek.

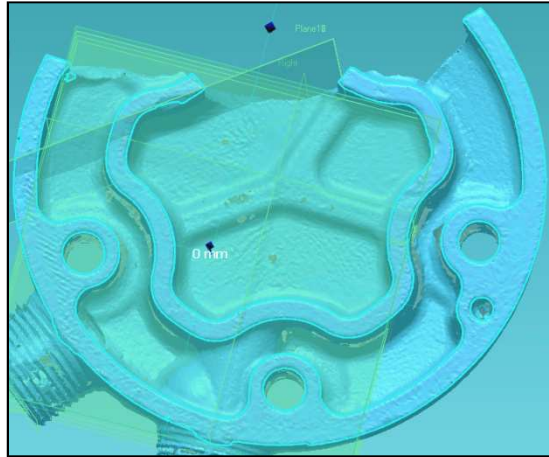
A koordináta mérőgépek technikai felépítésükből és feladatukból adódóan azt lehet mondani, hogy minden tengelyirányban megsértik az Abbe-féle elvet. Ez az elv azt mondja ki, hogy a mérőeszköz és a mérendő méret skálájának mindig egy hatásvonalban kell találkoznia. Ezen felül e gépek felépítési szerkezetükből adódóan azt a kritériumot szintén nem tudják teljesíteni, hogy a hatásvonalak távolsága a lehető legkisebb legyen. Itt tehát szükséges lenne az ágyazási távolságot, a hatásvonalak távolságának többszörösére megválasztani, mivel így a vezeték egyenetlenségi hibáiból származó elsőrendű parallaxis hiba nagymértékben csökkenthető lenne.

Megfelelő pontosságú mérőgép csak úgy gyártható, ha az ágyvezetékek normálhoz való eltérése differenciális kicsi, vagy a méréskor előállított hibák korrekciózásra kerülnek. Ez a helyesbítés természetesen számítógépes támogatással történik.

A másik jellegzetes és egyre gyakrabban alkalmazott adatnyerési lehetőség az érintkezés nélküli letapogatás. Ennél a módszernél már nincsenek tapogatók, enélkül gyűjtik a 3D-s adatokat. Ennek a módszernek több változata is létezik. Az általam bemutatott technológia a 3D szkennelés, mivel ezt a verziót használtuk fel mi is a problémamegoldására.

2.4 Testmodell visszatervezése, javítása

Az általunk létrehozott, illetve javított háromszög modell a gyártás szempontjából nem elégséges, mivel akár megmérhetőek az egyes méretek, mégse rendelkeznek pontos adatokkal, az öntési folyamat pontatlansága miatt. A meghatározási folyamatot olyan módon tudtuk végrehajtani, hogy a háromszög modellt egy térbeli háttérképként alkalmaztuk. Ezt oly módon hajtottuk végre, hogy a XORedisegn programon belül egy „MeshSketch” nevű parancs segítségével valósítottuk meg. A parancshoz különböző adatok szükségesek, amelyek konkrétan behatárolják az adott felületet, amelynek síkjában kívánunk modellezni. Az itt kijelölt felülettől határoztunk meg egy megegyező állású síkot, amelyet úgy választunk meg, hogy az adott háromszög felületeket olyan helyen metsszen el, ami számunkra referencia pontokat tartalmaz a modellezés során (18. ábra). Ezekhez a pontokhoz tudunk csatolni különböző alakzatokat, amelyeket a későbbi modellezési folyamatoknál alkalmaztunk.



17. ábra. Pótolandó sketch

Első lépésben vázlatot hoztunk létre az Top síktól mérten. Már az első lépésnél szembesültünk a háromszög modell hiányosságaival, azaz a törött rész modellezési műveletét úgy hoztuk létre, hogy a munkadarab szimmetrikusságra hivatkozva kiosztást hoztunk létre. Mindazonáltal a kiosztási művelet nem hozott számunkra tökéletes siker, mert az öntvény esetében az egyértelműség szempontjából feltételezhetjük, hogy alkalmaztak egyféle PokaYoke elvet, amelye a kiosztások szögeltolásával tette egyértelművé a későbbi szerelési műveleteket. A PokaYoke elv az emberek okozta hibák bekövetkezését akadályozza meg, illetve azok korai felfedését, a többnyire véletlenszerű hibák csökkenését tartja szem előtt.

Két jellegzetes alkalmazási területre bontható:

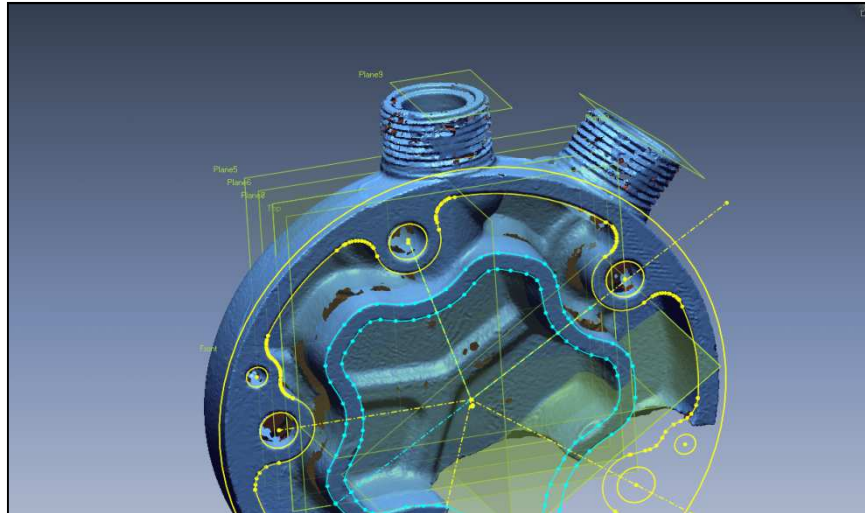
- Termék és folyamattervezés
- Gyártási folyamat

A PokaYoke a tervezési fázisban alapvetően nem más, mint egy szemléletmód. Japán felfogás szerint a hibamentesség gyakorlati megközelítése megköveteli a gondolkodás és viselkedés megváltoztatását.

Közelebbről megvizsgálva a gyártási fázisban a hibaforrások kiküszöbölésére irányult, egyszerű műszaki eszközök alkalmazását jelenti. A rendszer kiépítése megkülönböztető jegyeken (pl.: tömeg, furatpozíció, alaksajátosság), a folyamatsorrenden (az egymást követő műveletek kapcsolata), számoláson vagy mérésen (pl. számlálóval, jelzőkészülékkel) alapulhat. A PokaYoke elv alkalmazása a minőségirányítási rendszer egyik meghatározó alapeleme.

Tehát a többlépcsős kiosztási művelet után, igazítást kellett végrehajtani, amelyet segéd referencia vázlatokkal (szimmetria vonalakkal) oldottuk meg (21. ábra). A belső és a külső

peremfelületet egyszerre hoztuk létre egy kihúzási művelettel. A kihúzás mértékénél nagyobb adatot adtunk meg a tényleges méretnél. Az így kihúzásra került modellnél külön figyelemmel voltunk az előgyártmány elkészítésének technológiájára, miszerint több helyen is oldalferdeséget alkalmaztunk az öntött modell eltávolítása érdekében.

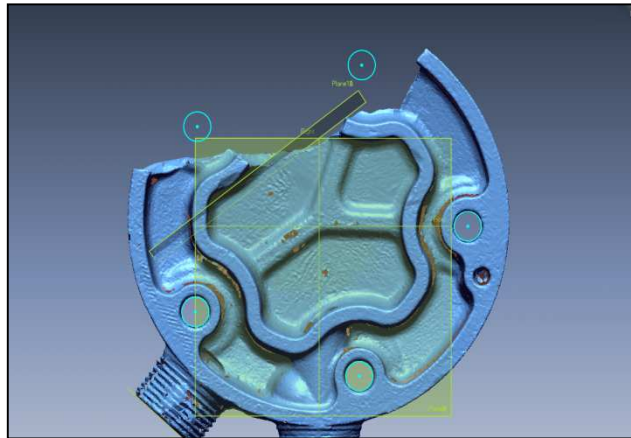


18. ábra. Mesh sketch alkalmazása

A következő lépésben a front síkon készítettünk vázlatot, azért mert az öntvény homlok felülete egy görbületi ívként meghatározható, amelyet oly módon hoztunk létre, hogy az pontfelhő által felhasznált pontokra a „spline” vonal segítségével egy oldali vázlatot hoztunk létre.

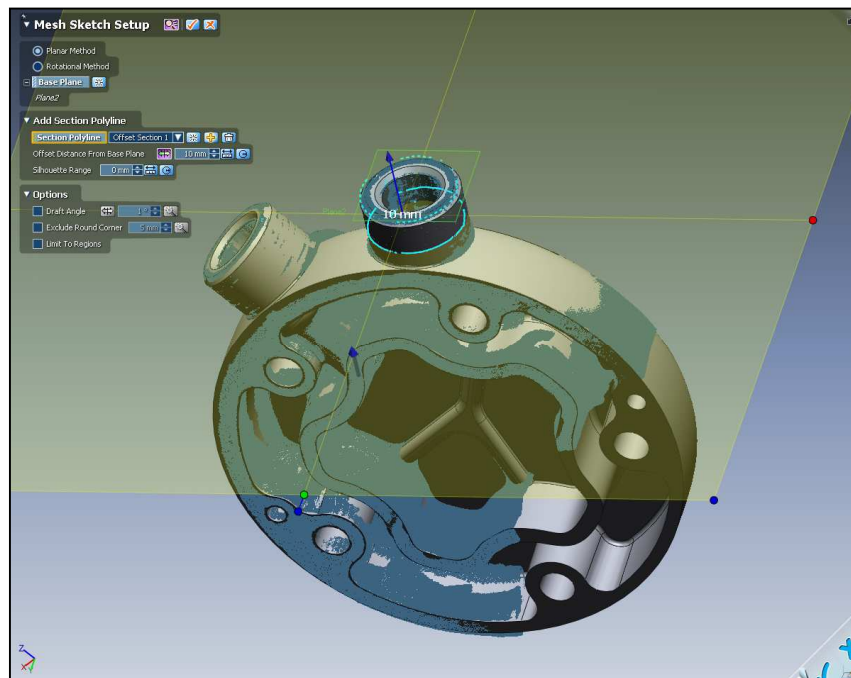
A munkadarab ezen része szimmetrikusnak bizonyult, ezért az így kapott vázlatot a már előre meghatározott középvektor körül elforgattuk. Mivel ennél a résznél még nem kapcsoltuk össze az előbb kihúzott résszel, alkalmunk nyílt a homlokfelület mentén egy levágást végrehajtani, majd az eddig elkészült modellrészeket összekapcsolni.

A következő lépésben a furatokat készítettük el, amely során ismét tapasztaltuk a Poke Yoke elvét ugyanis szögeltéréseket alkalmaztak az eredeti öntvényen. Három esetben a furatköz szögeket 74 fokosnak tapasztaltuk, míg a maradék két esetben csupán 69 fokra tudtuk behatárolni őket. Gondot okozott még, hogy a két 69 fokos furat, pont abba a tartományba esik ahol az eredeti öntvény hiányos volt, így csupán a kiosztás hozzávetőleges szimmetrikussága végett határoztuk meg így őket (18. ábra). A „cut” parancs beállításával anyagelvélt valósítottunk meg. Az illesztőszégeket nagyon pontosan az eredeti munkadarab geometriájához igazítottuk, egyrészt mert úgy véltük, hogy ezek az értékek nagyon pontosan és azért, hogy akár a felfogatás az eredeti gépre megoldható legyen. Ezt egy kivágási műveletben hajtottuk végre (19. ábra).



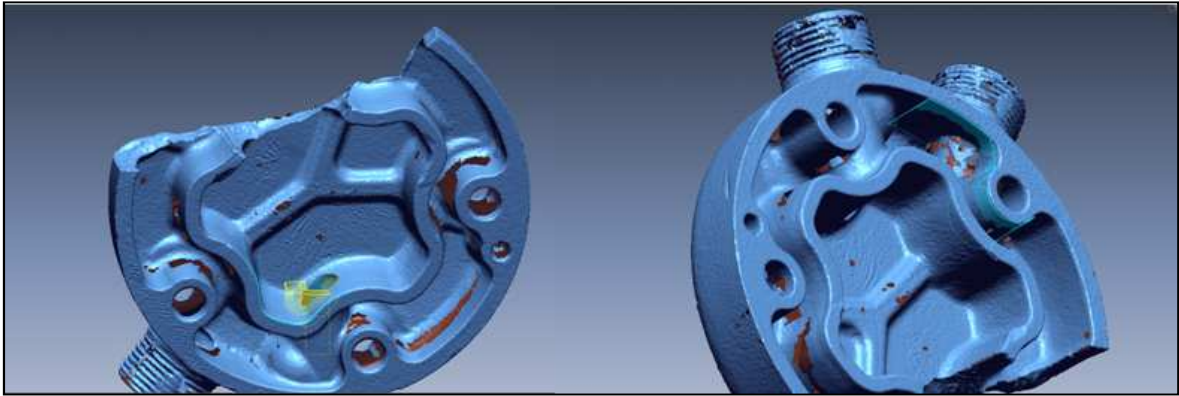
19. ábra. Furatok meghatározása

Két új síkot hoztunk létre a két menetes csap végfelületére. Ezeket azért hoztuk létre, hogy a kihúzási műveletet a pontos méretig tudjuk meghatározni (20 ábra).



20. ábra. Felületig tartó kihúzás

A belső méretnél az eredeti méretnél nagyobb kihúzást alkalmaztunk (20 ábra).



21. ábra. Kihúzás

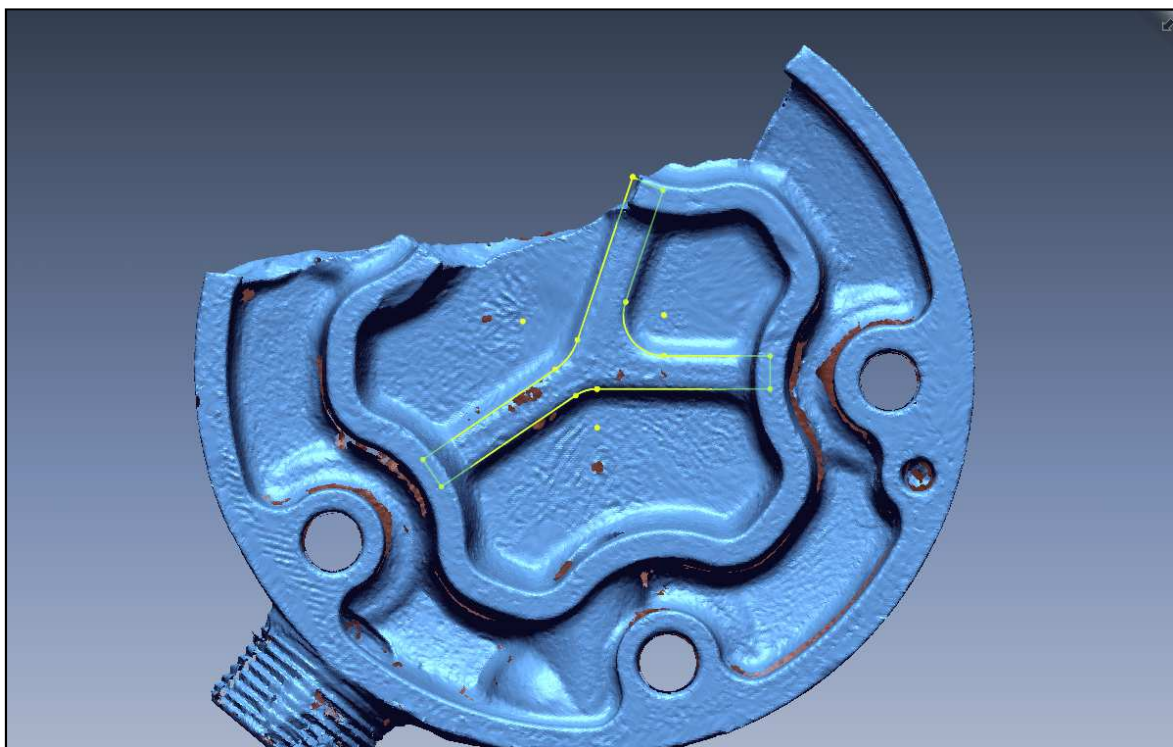
22. ábra. Felülettel való levágás

Ekkor a már előtte kihúzott modell felülete mentén vágtuk el a kihúzás túlnyúló részét (21. ábra). Lépcsős megoldást alkalmaztunk, mivel a két egymástól különböző méretet kellett koncentrikusan létrehozni egymást követően. Az átmenetet egy későbbi műveletben, lekerekítéssel végeztük. Majd ezek után kapcsoltuk össze a modellrészeket a „Merge” paranccsal. A vázlat készítésénél ismét a „MeshSketch” parancsot alkalmaztunk, amelynél a töméretet használtuk támpontként. A belső furatot külön parancsként hoztuk létre, amely kivágását régióig végeztük.

A homlokfelületi kivágást a már kész furatokhoz mérten, koncentrikusan helyeztük el oly módon, hogy az élek folytonosságát túlhúztuk és ebben az esetben is ügyeltünk az oldalferdeség kialakítására (22. ábra).

A homlokfelületen két kihúzási műveletet hajtottunk végre egy lépésben, amelyek pozícióját már nem a háromszögmodell alapján hoztuk létre, hanem a már elkészült csapok méreteihez igazodva végeztük el. Azt tapasztaltuk, hogy az eltérés csupán nagyon kismértékűre alakult, tehát az eddigi modellezési folyamatunk helyesnek igazolta magát az adott lépésben, mindamellett, hogy arra törekedtünk, hogy pontos, illetve kerek számokkal dolgozzunk.

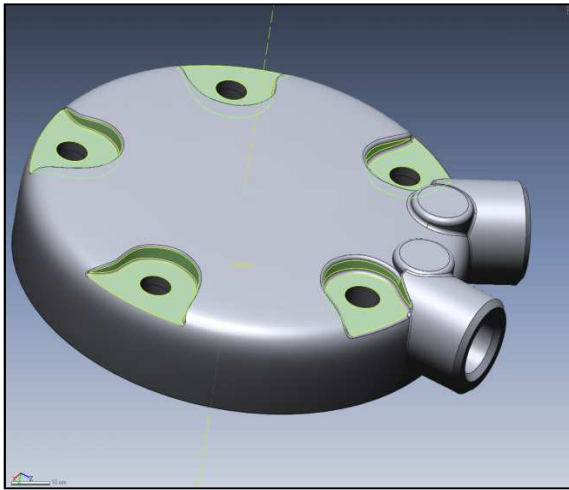
A belső felülettartalmaz egy szilárdsági megerősítést, illetve öntési eljárásnak megfelelő felöntést, amely a „Y” mintának felel meg. A „MeshSketch” paranccsal határoztuk meg a méreteid, de a kapott adatokat kiegészítettük különböző kényszerekkel, amelyek szimmetrikussá illetve egyértelművé tették a modell ezen részét. A lekerekített részeket egységes sugárral hoztuk létre, mert ezen adatok értelmezhetetlenek voltak a pontfelhő olvasásakor (28 ábra). Az öntési eljárásnak megfelelő oldalferdeséggel láttuk el.



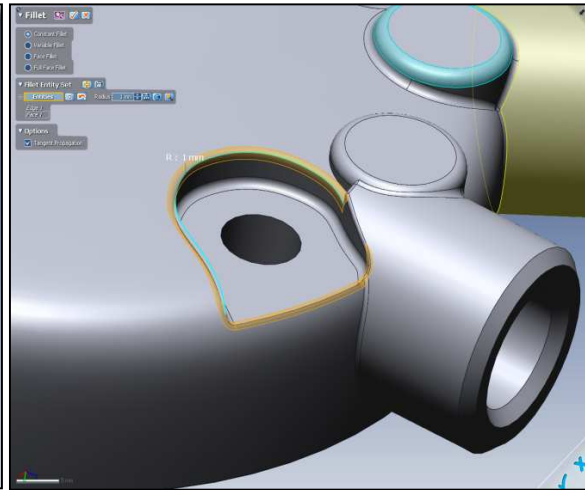
23. ábra. Merevítő borda szerkesztése

A csapok külső és belső élein letöréseket alkalmaztunk és ez által ezek a felületek a végleges formájukba kerültek.

A befejező művelet a lekerekítési eljárások véghezvitele volt. Sajnos általában a modellezési szoftverek nagy többségénél tapasztalhatók a különböző lekerekítési hibák, összeférhetetlenségek és megvalósíthatatlanságok. Nagyon sok időt vett igénybe, az a művelet, hogy az adott felületeket megfelelő sorrendbe készítsük el, hogy a szoftver sikeresen tudja végrehajtani a parancsokat. A leg kritikusabb pontok a többszörösen összetett élkapcsolatok, valamint a hosszú és geometriailag nehezen leírható alakzatok körüli élek voltak (24-25.ábra).



24. ábra Felületsüllyesztés



25. ábra. Lekerekítések létrehozása

A Reverse Engineer módszerével bedigitalizált, kijavított, majd 3D CAD-es eszközökkel elkészített modell, elengedhetetlen a fellgyorsult termelésben. A korszerű alkatrésztervezés egyik nagyon nagy előnye az a megjelenési forma, amely lehetővé teszi a tervező számára, hogy a testet virtuális térben szemléltetse a geometriai, alaksajátossági és mechanikai vizsgálatát. Az ISO minőségügyi rendszer megjelenésekor a betartott normák sokat változtak.

A Rapid Prototyping eljárások lehetővé teszik a 3D CAD-es modellek műanyagbázisú mintadarabbá való transzformálását. A fejlett prototípusgyártást 3 nagy csoportba lehet sorolni. Az első eset (amely talán a legelterjedtebb felhasználási mód) amikor a gyártani kívánt termékünk alaksajátosságát, dimenzióit szeretnénk valós térben vizsgálni. Ekkor a tervező megfoghatja, szemrevételezéssel az arányokat, méreteket ellenőrizheti. Megállapíthatja egyszerűen, hogy az adott alkatrész meg fog-e felelni a jövőben funkcionálisan vagy sem. Ha teljes mértékben nem tudná betölteni feladatkörét, a mérnöknek még mindig van lehetősége a módosításra, s ehhez csak minimális anyagköltséggel kell számolnia. Ennél az esetnél tehát még nem kell figyelembe venni a különböző mechanikai tulajdonságokat. Nincs még se statikus, se dinamikus vizsgálat. A cél, hogy a mintadarab, alak-és méretsajátosságai túréson belüli tartományban maradjanak, s megfeleljenek a jövőbeni terméknek.

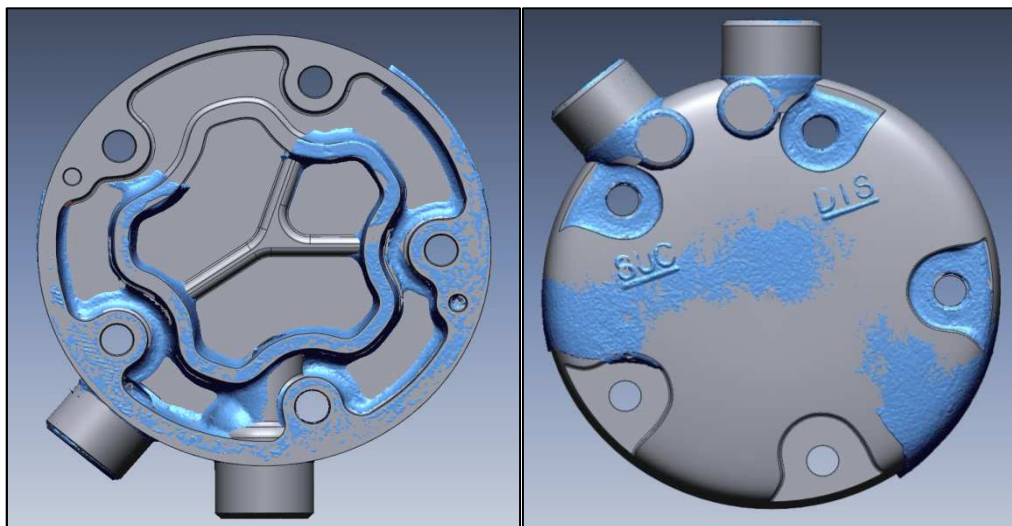
A következő csoport már a modell használati alkalmasságára figyel oda. Ezért kapta a funkcionális megnevezést. Itt már magasabbak és szigorúbbak a modellel szemben támasztott követelmények. Ennél az esetnél a különféle fizikai jellemzők számítanak, mint

például a szilárdsági, rugalmassági, hőtágulási tényezők. Méreteltérések természetesen ebben a fázisban már nem megengedettek. Az alkatrész valós környezetben tesztelt szilárdsági jellemzőit sokszor csak abban az esetben lehet vizsgálni, ha a prototípus és a gyártani kívánt termék anyaga megegyezik. Ekkor az elkészítés már sokkal körülményesebbé válhat.

A harmadik csoporthoz már egy olyan prototípus tartozik, amelynek előállításához szükséges szerszám megtervezése a cél. Tehát egy olyan mintadarab, amelyből az adott terméket előállító szerszám készül. A tervezett szerszám létjogosultsága többnyire csak kis sorozatgyártásra való. A módszer nagy előnye az, hogy a Rapid Prototyping-gal előállított modell tökéletes másolata az eredeti alkatrészünknek. Így maximalizálni tudjuk annak az esélyét, hogy méretpontosságában, anyagtulajdonságában és gyártástechnológiájában is megegyező darabot lehessen előállítani. Mivel a Rapid Prototyping módszere egyre kiforrottabb, ezért annak gyors legyártására is elindultak a fejlesztések. Ez lett a gyors szerszámkészítés (Rapid Tooling). Célja az előbbi indokon felül, hogy a szerszámok elérjék azt a mechanikai szintet, ahol már teljes szintű sorozatgyártáshoz is felhasználható.

2.5. A visszamodellezett alkatrész felületeinek illesztési vizsgálata

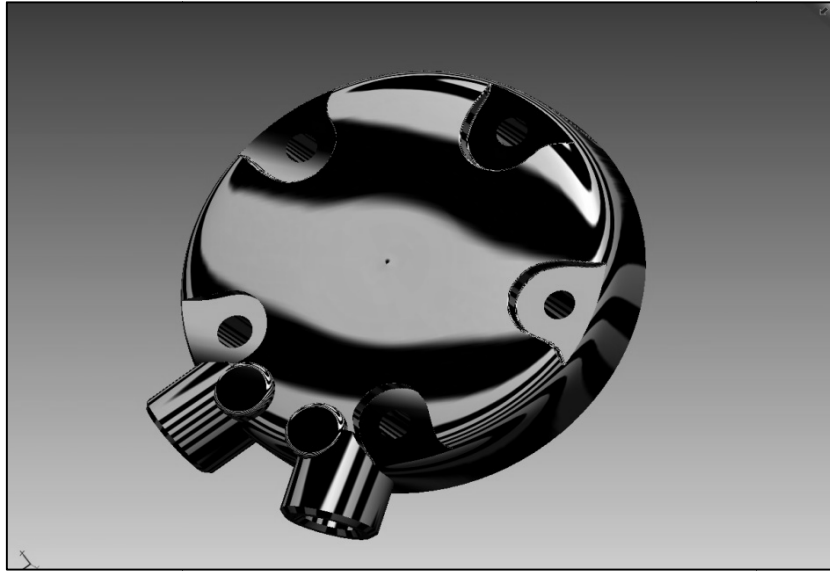
Az eltérések jó érzékelhetők abban az esetben, ha egyszerre mutatjuk meg a háromszög és a már általunk generált kész modellt (26-27. ábra). Mivel a modellezett egzakt módon lett elkészítve, nem vehettük pontos támpontnak az öntési hibával ellátott eredeti munkadarabot.



26. végleges modell (előlnézet)

27. ábra végleges modell (hátnézet)

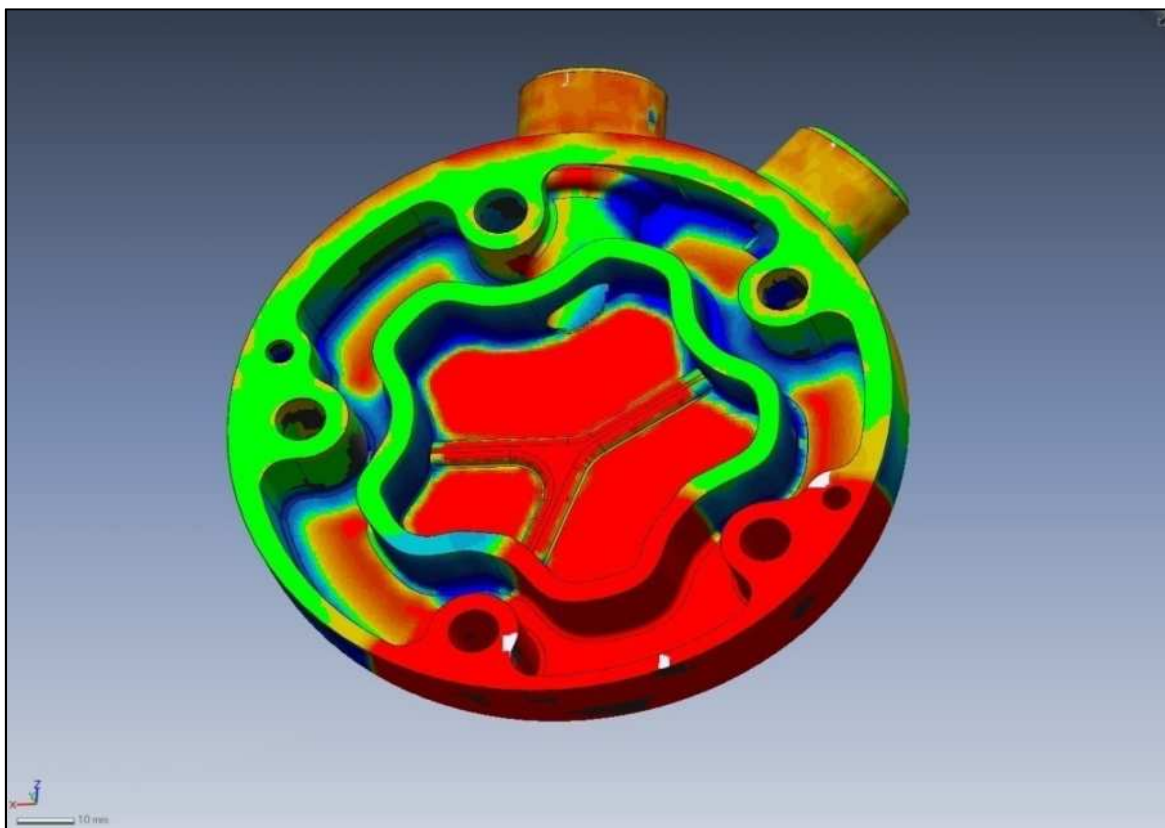
Felület ellenőrzés céljából a szoftver több vizsgálati funkciója is le lett futtatva. Az eltérés vizsgálatok az mutatták, hogy az elkészült modell felületei csupán kis mértékben térnek el a háromszög modellétől. Egyes felületeken a nagymértékű eltérés csupán annak volt köszönhető, hogy az adott részen javítást hoztunk létre az eredeti öntvényhez képest. Így már a végső nyomáshatároló fedél modellje elkészült, amely a gyárthatósági feltételeknek megfelel, ezáltal alkalmas akár öntési eljárásra, illetve gyorsprototípus gyártásra is.



28. ábra. Felületi folytonosság

A felületi folytonosság vizsgálatánál azt tapasztaltuk, hogy bár az eredeti munkadarab a gyártás technológiájának következtében meglehetősen durva felületi minőséggel rendelkezett, az általunk szerkesztett geometriai részekből alkotott modell felületi adottságaihoz nem örököztük a szkennert felület minőségét, ezáltal teljesen síkfelületeket hoztunk létre. A fenti (28. ábrán) jól megfigyelhető, hogy az egyes felületek domborúságát leszámítva, a felület minőségét megmutató analízis képe is érdekesség nélküli kubatúrát igazol. A csíkozás nem csupán a felületek gömbölyűsége miatt torzultak, hanem az öntési eljárásnak megfelelően kialakított oldalferdeség is befolyásolja a vizsgálatot.

Az élek kontinuitását analizáltuk ennek a vizsgálatnak az alkalmazásával. Azt tapasztaltuk, hogy az adott élek lehetőleg a legkevesebb törésponttal kapcsolódnak egymáshoz és az adott formai követelményeket követve meghatározzák meg a geometriákat. Ez az analízis segítséget nyújtott ahhoz, hogy a nem kívánt éleket eltávolítsuk, és a hibásakat korrigáljuk.



29. ábra. Illesztési pontosság

Az illesztési pontosság vizsgálata (29. ábra)

Ez az analízisforma azt mutatja meg, hogy az adott geometria és az általunk generált modell az egymáshoz tartozó pontokon esetében, mekkora eltérés tapasztalható. A szoftverhez tartozó színskála segítségével még könnyebben korrigálhatóak az eltérések. A zölddel jelzett felületek azokat a helyeket jelölik ahol az előbb említett eltérés közel nulla. A sötétkékekkel jelzett felületek a pozitív irányú eltérést mutatják, amelyek 1 mm-esek vagy azt meghaladják. A piros felületek azt mutatják meg, ahol a negatív irányban történő eltérés eléri, illetve meghaladja az 1 mm-et. A köztes állapotokat a különböző színváltozatok hívatottak érzékelteni, és a színskála segítségével lehet kiértékelni az egyes eltéréseket. A nagymértékű különbözőség nem azt jelenti, hogy az utólagos tervezés során hibásan lett elkészítve a modell, csupán annak következményeként jött létre ez a nagymértékű változás, hogy a tervezés során egész, kerek számokkal dolgoztunk valamint az excentricitási hibákat is kiküszöböltük. A hiányzó térrész esetében egyértelmű, hogy a háromszögháló hiánya okozott negatív eltérést.

3. Modell elemzése, prototípus gyártás megtervezése 3D nyomtatás technológia felhasználásával

Számtalan kutató, mérnök keresi napjainkban is a minél innovatívabb megoldásokat annak érdekében, hogy a lehetőségekhez képest a legegyszerűbben kezelhető, költséghatékony berendezések álljanak a minél szélesebb körből kikerülő felhasználók teljes rendelkezésére. Az utóbbi tíz évben kijelenthető, hogy ezeknek az elveknek a teljesítése sem elegendő. A gyártásfejlesztésben a következő kihívásokkal is szembe kell nézni:

- bizonytalansággal, amely a gyors, változó felhasználói igényekből adódik
- a design, vagyis a kubatúra (formaterv) jelentőségének megnövekedésével
- a termék egyediségének igényével
- a gyorsan változó típusválaszték mellett, a versenyképességgel
- nem utolsósorban a környezetbarát gyártási folyamatok, anyagok térhódításával illetve azok újrafelhasználásával, megsemmisítésével

Ezen követelmények teljesítéseként elengedhetetlen a CAD-hez (számítógéppel segített tervezés) tartozó SE (Simultaneous Engineering) részeként alkalmazandó eljárás az RP technológia.

Ha az ipar szemszögéből nézzük ezt a fejlődő technológiát, akkor a következő megállapításra juthatunk.

Elengedhetetlen egy új termék bemutatásában méret- és alakhűség szigorú betartásának szempontjából illetve a termék fejlesztésében Ha az öntészeti eljárást nézzük (mint kevésbé pontos gyártási technológiát) ott is nagy szerepet játszik a termék etalonjának öntőformájának elkészítésében. A Rapid Prototyping legnagyobb előnye talán a viszonylag kevés anyagi és időbeni ráfordítással való elkészíthetőség.

Nézzük meg egy példa által prezentálva ezen módszer alkalmazását. Rendelkezésünkre áll egy bonyolult kubatúrájú, alámetszésekkel, furatokkal, szemnyomással rendelkező alkatrész. Ha ezt a terméket készre szeretnénk hagyományos úton legyártani, legalább hat-féle eljárást kellene alkalmazni. Amiből természetesen az adódik, hogy a darab ára növekedni fog, a hosszadalmas, költséges gyártás végett, s itt még nem széria, hanem egyedi gyártásról beszélünk. A gyors prototípus-gyártási technika

szabad utat nyit a bonyolult alkatrész előállításához, akár egy művelettel is. Így a megmunkálási idő (melybe beletartozik a fő idő, s a különböző mellékidők is pl.: befogási, szerszám-választási idő) és az előállítási költség a töredékére csökken. A Rapid Prototyping eljárásokkal megvalósíthatók a szaknyelvben csak „bennszülöttnek” nevezett termékek is. A következőkben a RP eljárásait részletezem. Alapvetően négy nagyobb csoportra bontható:

- papír alapanyagú technikára
- térhálósító technikára
- por alapanyagú technikára
- marás elvén működő technikára

Gyors prototípus gyártás elve:

Az RP (Rapid Prototyping – gyors prototípusgyártás) egy olyan eljárás, amellyel kézzelfogható, fizikai értelemben vett tárgy hozható létre közvetlenül egy háromdimenziós CAD forrásból.

- Anyagleválasztásos módszer (Slice Milling – Szeletelő marás)
- Anyag hozzáadásos módszer:
 - o SLA (Stereolithography)
 - o SLS (Selective Laser Sintering)
 - o FDM (Fused Deposition Modelling)
 - o LOM (Laminated Object Manufacturing)
 - o 3DP (Three Dimensional Printing)
 - o PolyJet

Az anyag-hozzáadásos módszer alappillére rétegekből felépülő folyamaton áll. Ezek a folyamatok a következők:

A termék bedigitalizálása majd 3D-s CAD modell elkészítése, vagy a termék műszaki dokumentációja alapján történő CAD-es modell elkészítése. Itt 3D- modellekkel dolgozó tervezőrendszerek, a síkbeli ábrázolástól egészen a térbeli ábrázolásig. Pl.: Solid

Edge ST, Pro Engineer Wildfire, Inventor, Catia V jöhetnek szóba. Az önmagában csak 2D-s ábrázolást ismerő szoftverek Pl.: AutoCad, SolidWorks Cad viszont nem.

Az elkészült 3D-s CAD modellt posztprocesszáljuk (átalakítjuk, kiexportáljuk) a továbbiakban alkalmazható háromszög STL modellé.

A modellünk tehát kész, amelyet a szoftver síklapok sorozatával közelít. Így a termék kubatúrája alak- és méretpontos lesz. Ez a síklapokkal közelített modell lesz az a közös formátum, amelyből a modellek geometriai adatai betölthetők a prototípus-gyártó berendezés vezérlésébe. A síklapok különböző matematikai függvényekkel is leírható, sokszögekből, poligonokból épül fel. Ez a módszer csökkenti a modell leírásához szükséges adatmennyiséget, s nagymértékben leegyszerűsíti a berendezés vezérlését. A mai modern 3D-s tervező-rendszerek többsége már rendelkezik a síklapokkal való közelítést végző STL formátumú interfésszel. Lehet olyan eset, amikor nincs ilyen modul, ekkor az jelenti a megoldást, hogy az átvitelt valamilyen semleges adatformátummá konvertáljuk. Itt szóba jöhet pl.: DWG, DXF, IGES, STEP, SAT.

A berendezés szoftvere dönti el, hogy milyen technológiai lehetőségeknek megfelelő vastagságú rétegekre bontja fel.

Kubatúra alapján meghatározza a kontúrokat, s azt, hogy hol adjon hozzá anyagot.

A szoftver a különböző műszaki paraméterek megadása után (vágósebesség stb.) legenerálja magának a szerszámpályát.

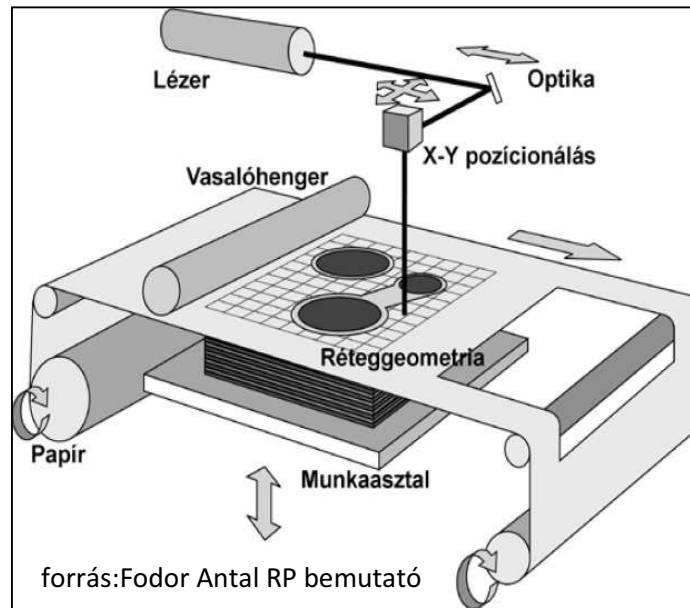
Elkezdődik a rétegek felvitele

3.1 Anyaghozzáadás elvén (ADDITIV) működő eljárások áttekintése

Ez a gyártási módszer annyiban különbözik más pl.: CNC marás automatizált megmunkálásoktól, hogy az alakadás nem leválasztással, hanem anyaghozzáadással jön létre. Ez azt jelenti, hogy test előgyártmány nélkül, vékony réteggént épül fel, melynek alapanyaga lehet valamilyen műanyag, papír, fém és kerámia alapú is.

3.1.1 Papírtechnika (Laminated Object Manufacturing (LOM)):

A termék térbeli modelljét síklapokkal közelítő modellel alakítjuk ki. STL, ahol a közelítés pontossága csak a felhasználó egyéni elképzelésétől függ.



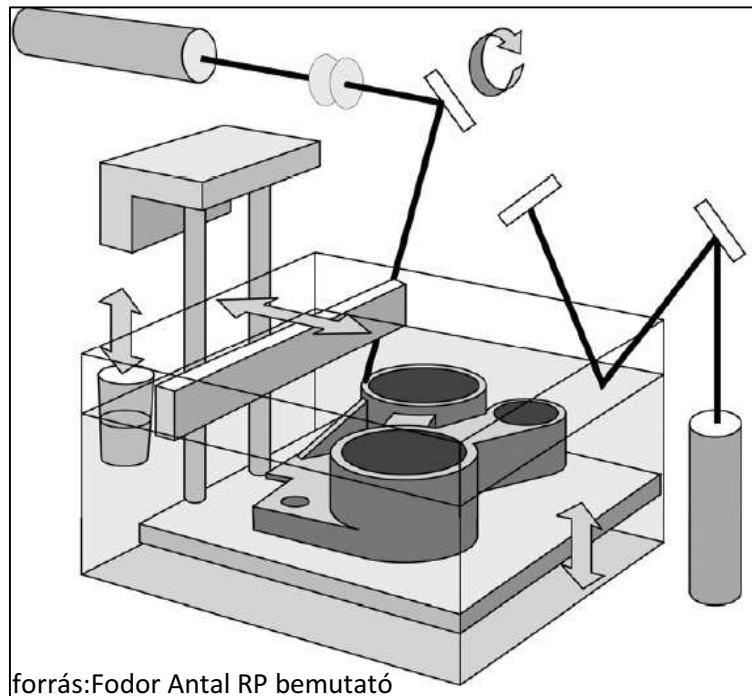
30. ábra. Laminated Object Manufacturing

Ezt a modellt posztprocesszálja a Laminated Object Manufacturing berendezés szoftvere, s ilyenkor egyben már fel is szeleteli a 3D-s térbeli alakzatot.

Ez az eljárás úgynevezett fóliát (amely általában papír) használ a kiinduló anyagához. Ezt az anyagot rétegszerűen vágja ki és erősíti egymáshoz. A papír rétegek között a kötőanyag egyszerű ragasztó, s amelyet az egyes rétegek elkészülése után hord fel a berendezés, s amelyet a melegített henger olvaszt meg, magyarul aktivizál. Miután a ragasztás megtörtént, egy újabb szeletnek, rétegnek kell felkerülnie az előzőre. Ez úgy történik, hogy a hengerezés után, a gép lézersugara belevágja az aktuális kontúrt. Ilyenkor bizonyos hulladék marad fent, melyet rácsszerűen felszeletel a lézer, s így könnyedén eltávolítható lesz miután elérte a kívánt termék magasságát. Magassági méretekből adódóan, ez a technológia korlátozottan alkalmas prototípusok gyártására. Ezen felül sok utómunkát igényel, mely nagyon időigényes, s pontatlan. A saját munkadarabunk legyártáshoz tehát ezért nem alkalmaztuk ezt a módszert.

3.1.2 Térhálósító technika (StereoLitography (SLA)):

A StereoLitography módszer alapelve megegyezik a Laminated Object Manufacturing alapjával. A berendezés itt is különböző vastagságú rétegeket visz fel az előző rétegre.

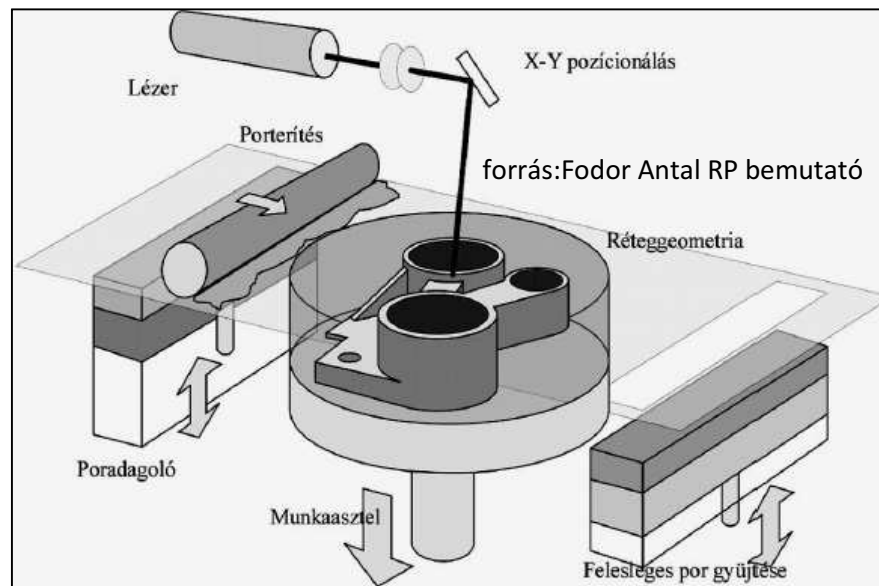


31. ábra. Stereo Litography

A tér, ahol dolgozik a berendezés viszont már teljesen különböző. Ezt a munkateret úgynevezett edénynek nevezzük. Az edényben egy az erre a célra kifejlesztett speciális folyadék Oligamer oldat található. A modell kiformalásához használt eszköz itt is a lézerfény. A lézersugár a posztprocesszált kubatúrát követően pásztáz az oldatban. Ahol az oldat találkozik a magas hőmérsékletű lézersugárral, ott betérhálósodik a folyadék. Miután megtörtént a térhálósodás munkasztal függőleges irányba leereszkedik, ekkor kezdődik előlről (lézer, pásztázás), mindaddig, amíg a teljes alkatrész el nem készül. A térhálósodott oldat ekkor még instabil állapotban van. A megszilárdításához UV kemencét alkalmaznak, amelyben az adott mérettől és oldattól függően 10-24 órát is eltölthet a munkadarab. Az oldat jellegéből adódóan teljesen homogén szerkezetű lesz. A saját munkadarabunk elkészítéséhez bár alkalmas lenne, viszont indokolatlanul drága, ezért tovább kellett keresnünk az RP módszerek közül.

3.1.3 Por alapanyagú technika (Selective Laser Sintering (SLS)):

A Selective Laser Sintering módszer alapelve szintén az anyag-hozzáadásos (ADDITIV) eljárások közé soroljuk. Az alapanyag, tehát a por többféle lehet, Két nagyon fontos kritériumnak kell megfelelnie:



32. ábra. Selective Laser Sintering

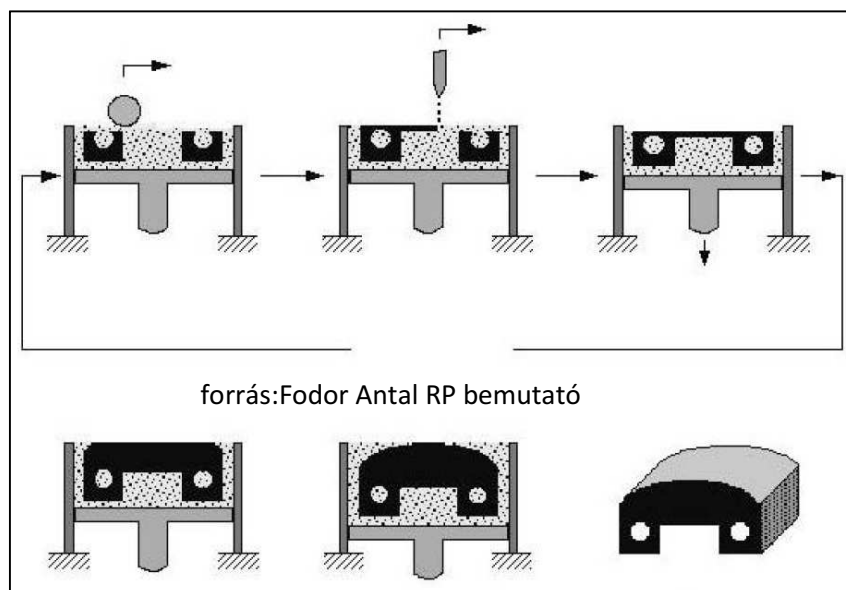
Kis szemcsenagyságú kell, hogy legyen, a minél egyenletesebb elosztás és a pontosság érdekében.

Csomósodásra nem lehet hajlamos, mivel az teljes mértékben kizárná a gyártási folyamatot. A munkadarab, mint az eddigiekben rétegekre van felbontva. A munkadarab, mint az eddigiekben rétegekre van felbontva. A berendezés a porból egyenletesen felvisz egy adott, számára a legkedvezőbb rétegvastagságot a munkaterületre. A megmunkálószer szám itt is szintén a lézersugár, mely a munkadarab kubatúrájának és a por adott rétegének megfelelően felmelegíti a területet. A folyamat során a porszemek megolvadnak, s egymáshoz kötnek. Idegen néven ezt a lézerezést „szintézisnek” nevezzük. A művelet folyamatossága addig tart, ameddig az alkatrész végső formája ki nem alakul. Ennél a módszernél nincs úgynevezett hulladék, mivel a megmaradt por újra felhasználható.

A kért munkadarab alak és – méretpontossága kiváló, mely nagyban függ a már említett por szemcseméretétől. A por anyagától függően a keletkezett termék anyaga homogén. Ez a módszer szintén alkalmas lenne a nyomás határolt munkadarab legyártására. Hátránya, a berendezés működési költsége rendkívül magas.

3.1.4 3D nyomtatásos technika (3D Printing (3DP)):

A 3D Printing egy amerikai kutatócsoport (Massachusetts Institute of Technology) (MIT) által kifejlesztett, majd szabadalmaztatott technológia. Kifejlesztése a többi prototípusgyártó berendezés magas üzemeltetési költsége miatt történt.



33. ábra. 3D Printing

Működése egyszerűbb tintasugaras nyomtatóéval egyezik meg. Mivel a nyomtatás eredményeként egy térbeli testet kapunk, így találóan nevezték el 3D nyomtatásnak. Alapelve: Egymásra épülnek a rétegek, amelyek úgy alakulnak ki, hogy az eltérített porszemcséket a tintasugaras nyomtatásnál megszokott nyomtatófejből kiáramló kötőanyaggal rögzíti egymáshoz. Különböző porok használhatóak, mivel a porral szemben támasztott abszorpció nem követelmény. Az egyetlen kritérium, hogy a feljuttatott ragasztó réteg megfelelően nedvesítse a nyomtatóport. Folyamata könnyedén követhető. Első lépésként a por adagolásával elteríti a nyomtatóteret, majd a felesleges porszemcséket sűrített levegős eljárással eltávolítják és összegyűjtik. Így a hulladék mennyisége nem jelentős. A porszemcsék eltávolításakor a vezérelt munkatér megsüllyed, mellyel szinkronban az adagolóhenger felemelkedik. Kinyomtatás után a munkadarab még merőben porózus (50 %-ban), ilyenkor még sérülékeny, törékeny. Megszilárdításához kötőanyagot használnak, melybe beitatják, majd szinterelik. Telítőanyag lehet pl: cianokrilát, újabban víz vagy viasz, esetleg uretán, műgyanta. A modell készítésekor megtámasztás nem szükséges, mivel a modellen kívüli porszemcsék nem érintkeznek a nyomtató fejből kiáramló kötőanyaggal. Az elkészülő modell anyagának tömörsége szabályozható.

Mivel újabban kerámia por használata is igen elterjedt, így lehetőség nyílt a termék negatív öntőformájának és az öntőformához szükséges magok elkészítésének kialakítására.

Az így elkészített öntőformába különböző öntő anyagot pl.: alumíniumot tehetünk, amelyből 20-48 órán belül megkaphatjuk a késztermék fém prototípusát.



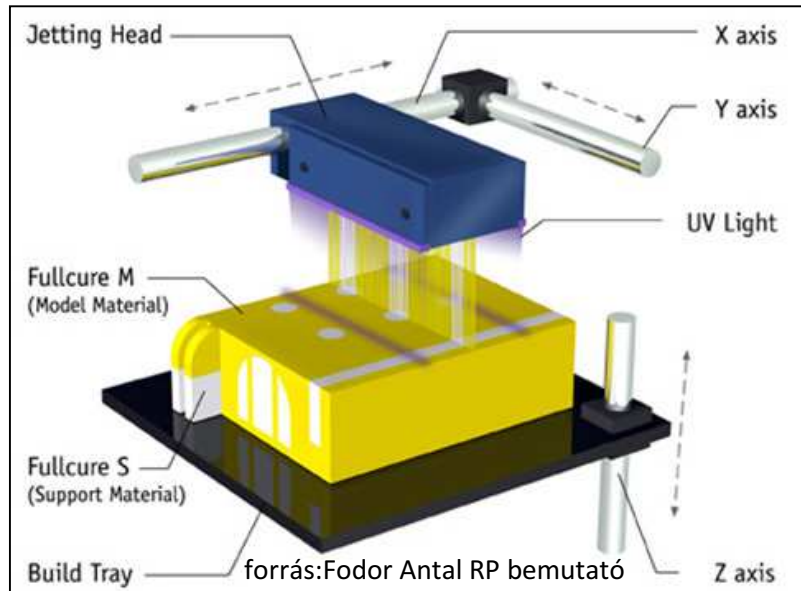
forrás:Fodor Antal RP bemutató

34. ábra. 3D Printing

Ez a módszer ténylegesen kevesebb költséggel jár, mint az eddig megismert gyors prototípusgyártási eljárások. Hátránya: eltörhet, sérülhet a munkadarab. Legfőbb oka az inhomogén szerkezet.

3.1.5 Objet/PolyJet technika:

Objet / PolyJet technológia egy olyan eljárás, amely az összes eddig ismert RP technológia előnyét egyesíti és egyben az egyes technológiák kedvezőtlen tulajdonságait is kiküszöböli.



35. ábra. Objet/PolyJet

Az eljárás ötvözi a sztereolitográfia (SLA) kiváló anyagait, és a 3D Printing építkezési módszerét. A PolyJet tulajdonképpen egy speciális 3D nyomtatás, de itt a nyomtatófej a végleges modellt nyomtatja rétegenként egymásra. Az alapanyag fényérzékeny műgyanta (fotopolimer, mint az SLA –nál), amelynek szilárdítását UV fényforrással oldják meg. Ez a megoldás jóval olcsóbb és gyorsabb, mint az SLA és a 3D Printing módszernél, pontosabb és jobb szilárdsági paraméterekkel jellemezhető.

A PolyJet a Rapid Prototyping új dimenziója. Az Izraelben működő high-tech cég, az Object Geometries egy a 3D nyomtatásnál még újabb technológiai megoldást talált ki.. Alapillére megegyezik a 3D nyomtatásával, viszont itt nincs a nyomtatás után kötőanyagba mártás és szinterezés. Ezeket a feladatokat a nyomtatófej egyszerre oldja meg. Egymás után viszi fel rétegről rétegre a végleges modell anyagát. Itt az alapanyag olyan fényérzékeny műgyanta, amelynek megszilárdításához nem lézersugár által biztosított hő szükséges, hanem egy UV tartományban sugárzó fényforrás. Ez a megoldás jóval kisebb költségekkel jár, mint az elődei. Ennél a módszernél mivel nincs a munkatérben por, amely megtámasztaná a munkadarabot, emiatt térbeli alátámasztás

szükséges. Ezt a megtámasztást a PolyJet egy támaszanyag kinyomtatásával oldja meg, mivel a levegőben nem lehet a műgyanta cseppjeit térben pozícionálni. Ezt a megtámasztást nem kell a tervezőknek megalkotni, mivel ezt a berendezés szoftvere már a posztprocesszálas folyamatával létrehozza. Miután elkészült a kinyomtatott munkadarab a támasztó felület e helyén marad. Ennek feloldását vízzel oldották meg. Az eljárásnak a legnagyobb előnye a pontossága. A felvitt ultra vékony réteg mérete elérheti a 16 μm (0,016mm) –es pontosságot is. Jelenleg a világon ez a legvékonyabb műanyag alapanyagból építkező RP technológia.

Összehasonlításképp:

SLA 150 -200 μm

LOM 120-200 μm

SLS 150 μm

FDM 254-400 μm

Ezzel az eljárással akár 0,6 mm-es függőleges falvastagság is építhető.

Eden gépcsalád műszaki adatai:

	Műszaki paraméterek	Professzionális gépek			Irodai gépek	
		Eden500V	Eden350V	Eden350	Eden260	Eden250
Gépek	Tálca mérete, cm	50×40	35×35	35×35	26×26	26×26
	Munkaterület mérete, cm	49×39×20	34×34×20	34×34×20	25×25×20	25×25×20
	Építési sebesség, mm/óra/sáv	12/12	12/20	12	12	6/12
	Felbontás, dpi	600×600×1600	600×600×1600	600×600×1600	600×300×1600	600×300×1600
	Rétegvastagság, μm	30/16	30/16	16	16	30/16
	Nyomtató fejek száma, darab	8	8	8	8	4
	Kazetták száma, darab	4	4	2	2	2
	Kazetta súlya, kg	3,6	3,6	3,6	2	2
	Építhető elasztomer mérete, cm	49×39×20 (HS)*	34×34×20 (HS)*	31×25×10	–	–
Anyagok	FullCure720	+	+	+	+	+
	VeroWhite, VeroBlue, VeroBlack	+	+	+	+	+
	TangoBlack, TangoGray	+	+	+	–	–

1. táblázat. Technológiai adatok

A PolyJet megbízhatósága, és kellő pontossága révén választottuk ezt a gyors prototípus technológiát, a nyomáshatároló-fedelem tényleges legyártására.

A berendezéshez többféle alapanyag párosítható, attól függően, hogy milyen technológiai, szilárdsági és felhasználási kritériumoknak kell megfelelnie. Leggyakoribb használatban a kemény és a rugalmas alapanyagok vannak.

Transparent és a Vero modellanyagok képviselik a kemény kategóriát

Tangó modellanyagok pedig a rugalmas, elasztomer modellek anyagait

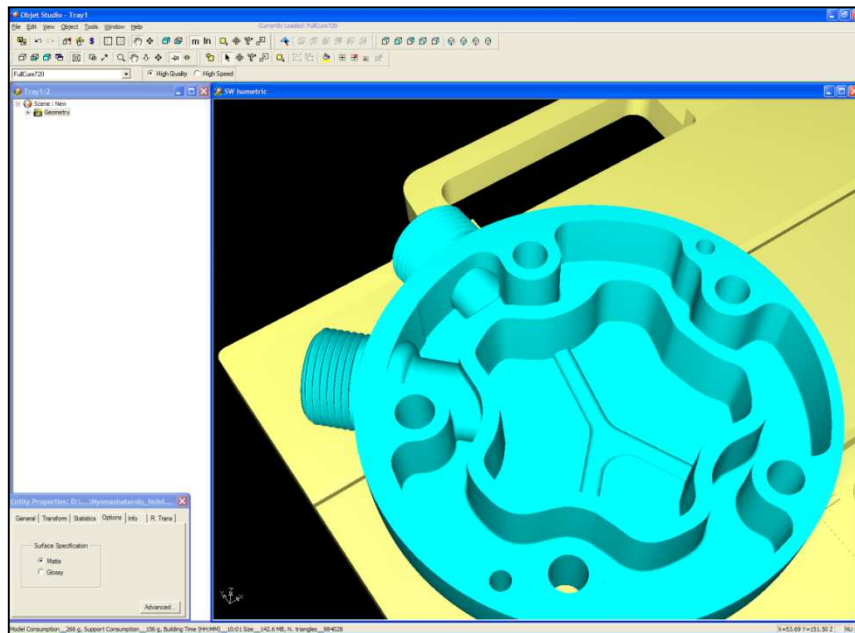
Az alapanyagok egy szabványosított méretű zárt műanyag edényben, azaz úgynevezett „kazettákban” kaptak helyet. Betöltésük így nagyon kényelmes a felhasználónak, melynek pótlása, akár üzem közben is lehetséges. Munkánkat az Objet családból az EDEN 250-es típuson végeztük. (36. ábra)



36. ábra. Objet EDEN250 típusú 3D nyomtató

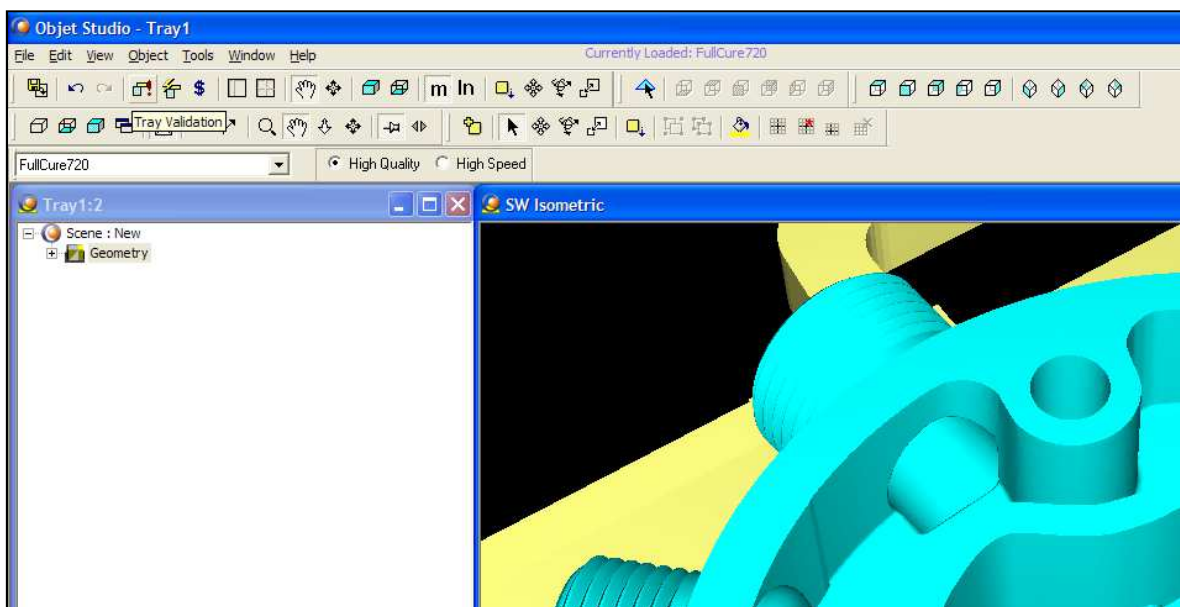
4. A 3D nyomtatóhoz kapcsolt szoftvere

Az Objet EDEN250-es típusú berendezést az Objet Studio szoftverrel tudtuk működtetni. A nyomtatóhoz két számítógép csatlakozik, melyek folyamatos online kapcsolatban álltak egymással.



37. ábra. Objet Studio - Importálás

Első lépésként a 3D-s modellt kellett exportálni stl fájlra. Az első számítógépen elindított Objet Studio programban megtörtént a behívás. A szoftver automatikusan felismerte a pontfelhő csoportot, amely adja a behívott modell kubatúráját. (37.ábra)



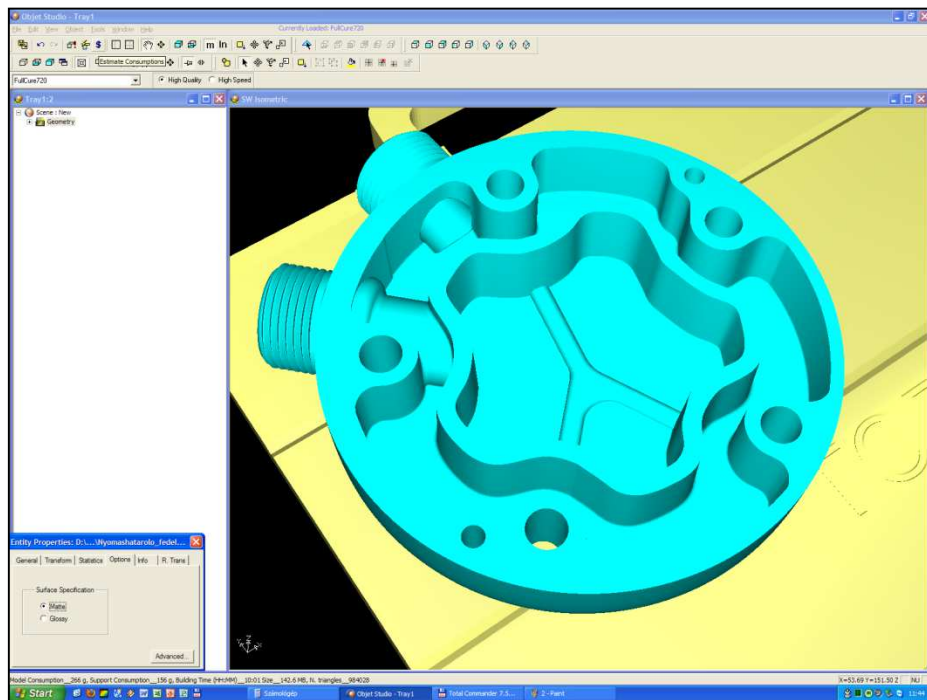
38. ábra. Objet Studio – Validálás

Ekkor jön az alkatrész validálása. Ez azt jelenti, hogy a szoftver teljes körű vizsgálatot végez a modell optimális elhelyezése, illetve legyárthatósága érdekében. (38. ábra)

Miután a szoftver befejezte a modell validálását, következik a legyártással előállított jövőben alkatrész anyagszükséglete, szeletek darabszáma és nem utolsó sorban a 3D nyomtató teljes munkaideje. (39. ábra)

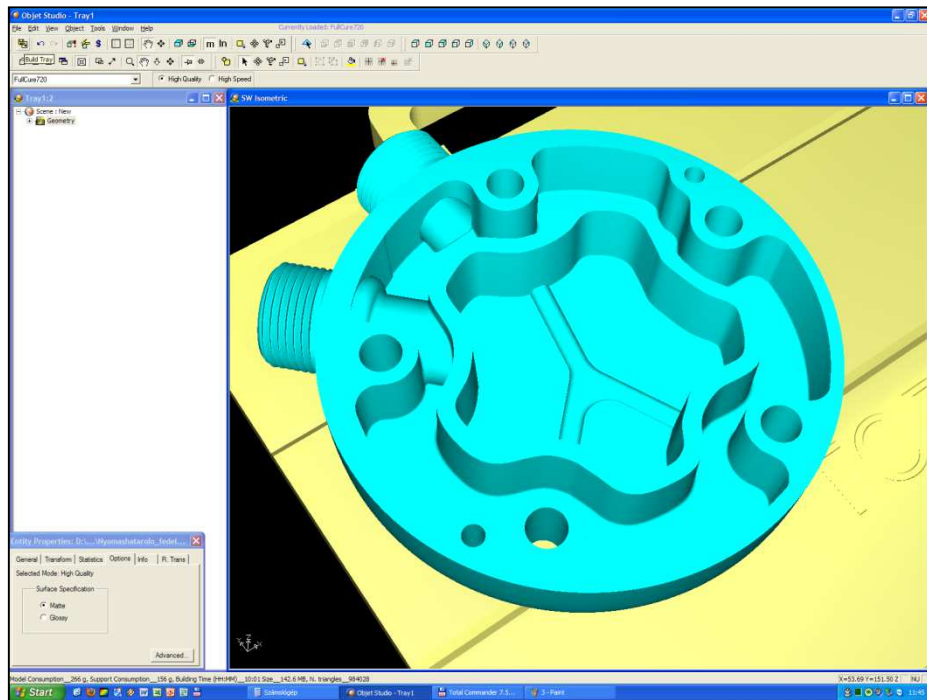
A 3D-s nyomtató berendezésnél esetleges áramkimaradás végett, a befektetett munka nem veszik el, mivel a belső programja tudja kezelni. Memóriájában tárolja folyamatosan, hogy épp melyik munkafázisnál tart. Fontos és megemlítendő az optimális működéshez elengedhetetlen fejtisztítás. Mivel működési elve nem tér el az általános rendeltetésszerűen használt nyomtatókéhoz, így a fűvókák beszáradhatnak. A gép kezelőjének nyomon kell követnie a munkafázist, majd a nyomtatás befejeztével egy teljes körű tisztítást.

Az így kinyomtatással előállított alkatrészen semmilyen utólagos munka nem szükséges.



39. ábra. Estimate Consumptions parancs elindítása

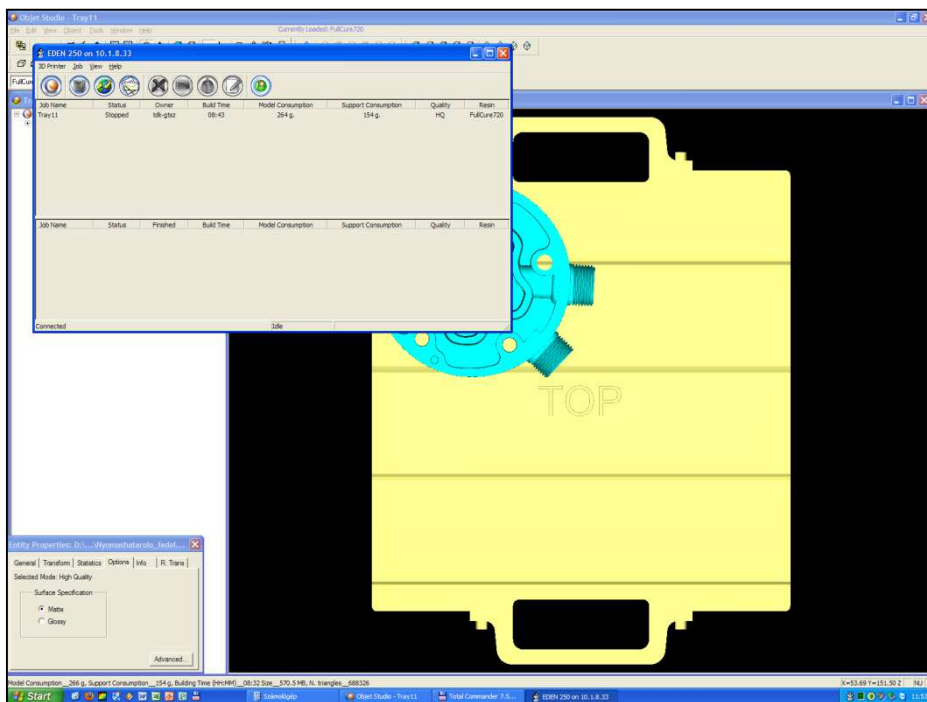
A modell regenerálását, illetve a belső munkatérben elhelyezkedő Objekt egyedi asztalon való elhelyezését a „Build Tray” paranccsal adhatjuk ki. A pozicionálási értékeket percek alatt kiszámolja a szoftver. (40. ábra)



40. ábra. Build Tray parancs elindítása

Az OBJET gép belsejében a tárgyasztal mérethelyesen megtalálható. A legkisebb anyagfelhasználás érdekében helyeztük el a nyomáshatároló fedelet.

További lépésként a két számítógép közötti kommunikáció összeszinkronizálása következett. Mindkét hardver-en azonosan és egy időben az Objet Studio fut. Megtörtént ekkor a jelenlegi pc-ről a másik pc-re való információ küldése. (41.ábra)



41.ábra. Számítógépek összeszinkronizálása

A modelleket betöltötte a szoftver, a sikeres összeszinkronizálást követően át is ért a nyomtatóval közvetlen kapcsolatban álló számítógépre. A Job Manager szoftver elindítása után betölti a szükséges adatokat. Itt részletesen látható az egyes munkafolyamatok, tömegegységek. (42.ábra)

The screenshot shows the 'Job Manager: EDEN 250 (FullCure720) - Tray11' window. It features a toolbar with icons for various functions like start, stop, and refresh. Below the toolbar is a table with columns: Job Name, Status, Owner, Build Time, Model Consumption, Support Consumption, Quality, and Resin. The first row shows 'Tray11' with status 'Stopped', owner 'tdk-gtzz', build time '08:43', model consumption '264 g', support consumption '154 g', quality 'HQ', and resin 'FullCure720'.

Below this table, there is a section for 'Tray11' with 'Time Remaining (HH:MM): 08:42' and 'Built 0 of 1703 slices'. It also shows 'Job Start: 2011.12.09. at 11:51' and 'Job Stopped: 2011.12.09. at 11:54'.

Next is a comparison of material consumption:

Estimated Job Material Consumption:		Actual Job Material Consumption:		Required Material To Complete Job:		Material Left In Cartridges:	
Model resin:	264 g	Model resin:	0 g	Model resin:	263 g	Model resin:	2120 g
Support resin:	154 g	Support resin:	0 g	Support resin:	153 g	Support resin:	2100 g

At the bottom, there is a scrollable table with the same columns as the top one, listing multiple jobs including 'Tray8.off', 'heads-test.off', 'Tray6.off', 'Varinex_headtest', 'Tray19_Knorr_Br...', 'Tray20_Próba rny...', 'Varinex_headtest', and 'Tray18_Próba rny...'. The status for most is 'Completed', while for 'Tray8.off', 'heads-test.off', and 'Tray18_Próba rny...' it is 'Stopped'.

The bottom right corner shows 'Connected: 2'.

42.ábra. Job Manager állapot kiírása

Ekkorra a felhasználónak már nincs más teendője, minthogy leellenőrizze a nyomtatófej tisztaságát, az alapanyag mennyiségét és szoftver aktivitását. A nyomtató saját fejlesztésű programja folyamatosan értesíti a gép kezelőjét a változó értékekről, s a hátralévő időről.(43.ábra)



43.ábra. Objet belső programja

Összefoglalás

A feladat egy nyomáshatároló-fedél modelljének létrehozása volt oly módon, hogy a munkadarab egy szimmetrikus felületen törött, így a hiányzó darab pótlásával kellett létrehozni a végleges modellt. Első lépésben vetített mintakép alapú adatfelvételi eljárások közül a színkódolt fáziseltolási módszert választottuk, ebben a munkában segítségünkre volt a Járműtechnológiai Tanszéken található Steinbichler Comet VarioZoom 200/400 típusú mérőberendezése.

Szkennerés során a berendezés pontfelhőt hozott létre, a munkadarab látható felületeiről. A munkadarab több oldali szkennerése lehetővé tette, hogy a munkadarab komplexebb pontfelhő létrehozását. A pontfelhőket egymáshoz illesztettük a Rapidform XOR Redesign szoftver segítségével. Az így kapott pontfelhő egyfajta adat-többlettel rendelkezett, amely csupán lassította a további modellezési folyamatokat, ezért adatcsökkentő eljárással optimalizáltuk az adatmennyiséget. Háromszög modell létrehozása után, kialakult a végleges kijavított 3D-s modell.

Meg kellett vizsgálnunk, hogy a piacon milyen Rapid Prototyping megoldások vannak, s melyek jöhetnek számításba a saját alkatrészünk legyártásánál. Kiválasztottuk a RP eljárások közül a legalkalmasabbat. Ez a választás a 3D nyomtatás elvén nyugvó Objet/PolyJet eljárásra esett. A 3D nyomtatóhoz egy kiválasztott szoftver segítségével kapcsolódtunk, amely az Objet Studio volt. Exportáltuk az stl. kiterjesztésű fájlt, majd megtörtént az ép nyomáshatároló-fedél nyomtatása.

Különböző nehézségekkel találkoztunk. Az általunk hozzá jutott nyomáshatároló fedél öntött anyagminősége végett nem tarthattunk a befoglaló méreteihez. Ragaszkodnunk kellett az egzakt, saját magunk által megállapított méreteinkhez, melyből a nyomtatás után egy szabályosságokkal ellátott alkatrészt kaptunk.



44.ábra. Nyomtatott nyomáshatároló-fedél

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat elkészítése a felmerülő probléma megoldással együtt nem jöhetett volna létre, szakmai-és elméleti támogatás nélkül. Elérhető volt számunkra a Kecskeméti Főiskola GAMF Karának Járőműtechnológiai Intézetében megtalálható összes mérőgép illetve számítógépes szoftver.

Szakmai segítségével és a tanszéken található hatalmas mennyiségű szakirodalommal támogatott minket Dr. Kodácsy János szakcsoportfelelős. Szeretnénk őszinte segítségét megköszönni!

Továbbá kiemelt Köszönettel tartozunk a dolgozat felelős konzulensének Fodor Antal műszaki tanárnak.

Felhasznált szakirodalom

- [1] Kodácsy János, Gépgyártás 2010 255-261. o
- [2] Berke József, Hegedűs Gy. Csaba, Kelemen Dezső, Szabó József, Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai 23-27.o
- [3] Fodor Antal, Dr. Boza Pál, Ipari koordináta adatfelvételi eljárások összehasonlító elemzése AGTEDU 2008 1. kötet 164-169.o.
- [4] www.docs.autodesk.com 2011
- [5] www.bme.hu 2011
- [6] <http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/polimertechnika-alapjai/polimertechnika-alapjai-081028-174>
- [7] Nagyné Pintér Zsuzsanna, Pokriva Péter, Sachinger Attila, Tóth Sándor, Szoborszerűalakzat reprodukálása Reverse Engineering módszerrel, Gépgyártás Szakfolyóirat 2005 14-16.o.
- [8] Fodor Antal, Reverse Engineering alkalmazása numerikus áramlás-szimuláció modellalkotásához Gyártás automatizálás 2010 48-51.o.
- [9] Joach Wirth, Rapid Modeling 2002 25-62.o.
- [10] Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes, ReverseEngineering An IndustrialPerspective 2008 1-31.o.
- [11] Fodor Antal – Rapid Prototyping Bemutató 2008