

Kecskeméti Főiskola

Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar

Járműtechnológiai tanszék

3D nyomtató fejlesztése és építése



Készítette : **Kun Krisztián** hallgató
Miskolczi István hallgató

Belső konzulens: Fodor Antal
Tanszékvezető: Dr. Lukács Pál

Kecskemét
2014.

Tartalom

Bevezetés	3
A 3D nyomtatás rövid története	3
1. A 3D nyomtatás technológiái	4
1.1 A szeletelő marás	4
1.2 Stereolithography (SLA), Sztereolitográfia	6
1.3 Selective Laser Sintering (SLS), Lézeres szinterezés	7
1.4 Three Dimensional Printing, (Poros-ragasztós) 3D nyomtatás	8
1.5 Objet-PolyJet 3D printing (OBJ), A többsugaras 3D nyomtatás	9
1.6 Laminated Object Manufacturing (LOM), Rétegelt modellkészítés	10
1.7 Fused Deposition Modeling (FDM), A 3D extrudálás	11
2. Konstrukció kiválasztása	13
2.1 A kritériumoknak megfelelő nyomtatók	13
2.1.1 A CubeX 3D	13
2.1.2 Replicator 3D	13
2.1.3 Velleman K8200 3D nyomtató	13
2.1.4 A Felix 2.0	14
2.2 Szempontjaink a 3D nyomtató építése során	14
3. A 3D nyomtató megépítése	15
4. Reverse Engineering (RE)	17
4.1 Szkennelés	18
4.1.1 Az érintéssel eljárás	18
4.1.2 Az érintés nélküli eljárás	18
4.2 Szkennelés után kapott pontfelhő előzetes feldolgozása	20
4.3 A pontfelhő végleges feldolgozása	21
4.4 A RapidForm XOR használata testmodell alkotáshoz	22

4.5 Virtuális prototípus	24
5. A Repetier Host kiszolgáló program bemutatása	25
6. Mérés	27
7. A megépített kísérleti nyomtató által szerzett tapasztalatok.....	29
8. Parametrizálható munkaterületű nyomtatóegység konstrukciós tervezése.....	30
8.1 Az extrúder-fej egység tervezése	30
8.1.1 A tervezést a behajtó-egységgel kezdtük,	30
8.1.2 Az extrúder-fej kialakítása	32
8.2 Y-mozgás megvalósítása az új extrúder-fej egységgel	35
8.3 A Szíj feszítés	36
9. Összegzés	38
10. Köszönetnyilvánítás.....	38
11. Irodalomjegyzék	39
12. Mellékletek jegyzéke	39
13. Hivatkozás jegyzék.....	39

Bevezetés

Dolgozatunkban bemutatjuk a 3D nyomtatás technológiáit, ismertetjük a 3D szkennelés módszereit és felhasználását a gyorsprototípus gyártásban. Ezt követően egy FDM technológiával dolgozó gép konstrukciós kiválasztását és megépítésének lépéseit részletezzük: a műszaki dokumentáció visszaállítását (Reverse Engineering), a nyomtató megépítését, majd annak kalibrációját illetve mérési eredményeit.

Az építésből tanultak szerint saját nyomtatóegység tervezésébe kezdtünk. Ennek ismertetése a dolgozat végén kerül bemutatásra, mely egy kompakt, felhasználói igényekhez igazodó tengelymozgató egység és fejtartó konzol.

A 3D nyomtatás rövid története

A „3D nyomtatás” fogalma még 1955-ből ered, két egyetemi hallgatóhoz fűződik, akik egy tintasugaras nyomtatót alakítottak át úgy, hogy az ne tintát fecskendezzen a papírra, hanem egy speciális ragasztóval egymásra épített rétegekkel térbeli objektumot hozzon létre. Ezt a technológiát szabadalmazták, majd ettől számítva született meg a 3D nyomtatás fogalma.

A 3D nyomtatással komolyabban az 1980-as években kezdtek el foglalkozni, ekkor nagy és drága gépek készültek, melyek felhasználási lehetőségei igen korlátozottak voltak. Az első 3D nyomtató 1988-ban került piacra SLA-250 néven. Ezt a technológiát 1986. március 11-én szabadalmaztatta Charles Hull [1]. Ezt tekintjük a 3D nyomtatás alapjának. Innentől kezdve igen sok tudós foglalkozott ezzel a témával és számos technológiát találtak ki a 3D nyomtatásra, ami így már, mint gyűjtőneve lett a hasonló elvet felhasználó technikáknak.

A 3D nyomtatás több réteget egymásra építve hozza létre a háromdimenziós, azaz a térbeli tárgyakat. Ezen rétegek mindegyike a létrehozandó tárgy egy-egy vékony, vízszintes szelete. Minden 3D-ben nyomtatott tárgyat CAD (számítógépes tervező) program alkot meg. A 3D modell elkészítéséhez használhatunk akár szkennert is. A létrehozott felületmodelleket egy erre specializálódott szoftver segítségével vízszintes rétegekre szeljük. Minél sűrűbb a rétegháló, azaz minél nagyobb a felbontás annál

finomabb felületet kapunk nyomtatáskor. Ezeket a felszeletelt modelleket már tudja értelmezni a 3D nyomtatók többsége.

A 3D nyomtató jelenlegi fő alkalmazási területe a gyors prototípuskészítés és a hobbi szintű használat. A technológia fejlődésének hála már ipari és orvosi alkalmazásra is lehetőség nyílik. A 3D nyomtatás a 21. század legújabb technológiája, az utóbbi időben rohamosan növekszik az eladott nyomtatók száma, míg áruk meredeken csökken.

1.A 3D nyomtatás technológiái

A 3D nyomtatás additív, azaz felépítő módon hozza létre a kívánt formát (kivéve a szeletelő marás). Ez az jelenti, hogy a test előgyártmány nélkül, vékony rétegenként épül fel. Az alkalmazott anyagok általában valamilyen műanyagok, de alkalmazhatnak papírt, fémeket akár kerámiát is.

3D nyomtatás technológiái a rétegalkotási módszertől függően számos eljárás ismert. A legelterjedtebbek és leghatásosabb eljárások:

- szeletelő marás
- sztereolitográfia, SLA
- lézeres szinterezés, SLS
- Objet-PolyJet, OPJ
- rétegelt modellkészítés, LOM
- 3D extrudálás, FDM

1.1 A szeletelő marás

A 3D-s virtuális modellt párhuzamos síkokkal adott maximális vastagságra daraboljuk, majd CNC-vezérlésű, kétoldali gyorsmarással munkadarab részegységeket alakítunk ki. Ezeket utólag összeillesztve megkapjuk a prototípust. A nyersanyag szabadon választható, de előnyös, ha az könnyen forgácsolható.

A **RapidMill** számítógépes program *.STL és *.3DS fájlokat tud kezelni. Ilyen kiterjesztésű fájlt a legtöbb mérnöki tervező program képes létrehozni. A RapidMill programban az első lépések között meg kell adni a rendelkezésünkre álló darab fizikai méreteit, majd az automatikusan kiszámolja a digitálisan megrajzolt test optimális felosztását, figyelembe véve az alámetszéseket, a ragasztási és az alapanyag vastagságot. Az így kialakított darabok két oldalról megmunkálhatók, és az ezekhez tartozó CNC programokat a szoftver automatikusan generálja.

A **Remote** vezérlő program alkalmas a különböző CNC berendezések – léptető és szervomotor által vezérelt CPM gépek – üzemeltetésére, a kombinált mozgások megvalósítására, akár 4 tengelyen is. A program indításakor a CPM gép felveszi a referencia pontokat. A kiválasztott NCP¹ program aktiválása után a betöltött programlista felépítése jelenik meg a képernyőn, majd futtatás után a gép a beállított szerszámot kiválasztja és beméri. Ezt követően – a munkadarab „null pozícióra” lépve – elkezdődik a program által vezérelt mozgások lefuttatása, sorról sorra.

Az elkészült alkatrészek összeillesztése csapszegekkel és ragasztással történik, ami sok kézimunkát és tapasztalatot igényel. Ennek folyamata az 1. ábrán látható. Az eljárás során az alábbi nehézségekkel találkozhatunk:

- Alámetszés nélküli részek szeletelése esetében a vágási síkok helyzetét a felhasználó által megadott, rendelkezésre álló alapanyag vastagsága határozza meg.
- Az ismételt, pontos beállítás nehézkes abban az esetben, mikor a munkadarabot megfordítjuk a hátoldal megmunkálásához.



1. ábra - Szeletelő marással készült darab összeszerelése

A RapidMill program előnyei, hogy felismeri a testek alámetszéseit és ezekből alámetszés nélküli részeket hoz létre, amelyek már a háromkoordinátás marógépen legyárthatók.

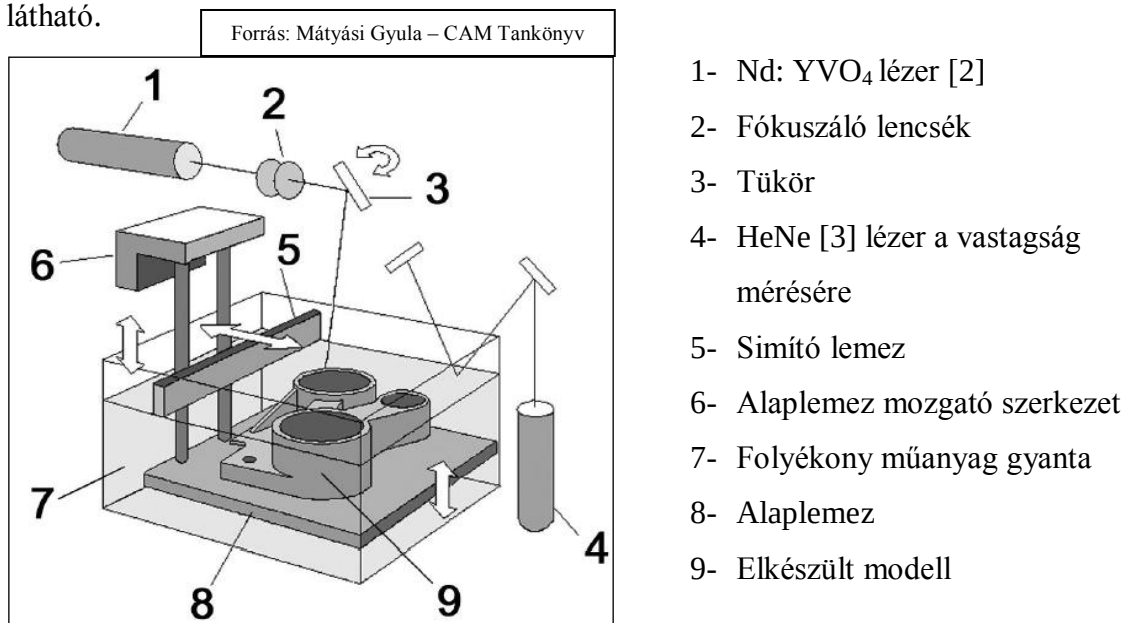
Prototípusgyártásra alkalmasak mindazok az anyagok, amelyek marás szempontjából megfelelőek és felfoghatók a CNC marógép asztalára, mint pl.: fa, műanyagok (PVC, PE, PA, akrilüveg, stb.), fém (alumínium, sárgaréz, acél stb.). Az általános felhasználáshoz kevés befektetést igényel.

¹ NCP – A megmunkáló fájl kiterjesztése

1.2 Stereolithography (SLA), Sztereolitográfia

Az eljárás azon az elven alapszik, hogy a folyékony halmazállapotú fotomonomer anyagból, számítógép segítségével rétegenként szilárd térbeli modellt hozunk létre egy vezérelt lézersugár energiájának segítségével. Az eljárással Charles Hull kezdett el kísérletezni, amikor is sikerült UV sugár hatására szilárduló anyagokat egymásra nyomtatnia.

A 3D nyomtatás során a lézersugarat egy tükör felé vezérli a számítógép. A beesési szög is számítógép segítségével állítható. A tükröt X-Y irányban vezéreljük, így pásztázva a polimerizálandó felületet. Egy-egy réteg megszilárdítása és az alatta lévő réteghez való összekapcsolódás után az asztal a rétegvastagságnak megfelelően Z irányba süllyed. Ez a folyamat addig megy végbe, míg a teljes geometriai alakzat el nem készül. A 3D nyomtatás során előfordul, hogy támasztékot is alkalmazni kell. Ezzel tudjuk biztosítani a gyártás közben a stabilitást. Ezt a támasztékot a munkatérből való kiemelés után könnyen eltávolíthatjuk. A technológia elvi vázlatát a 2. ábrán látható.



2. ábra – Az SLA eljárás elvi vázlatát

SLA eljárás műszaki jellemzői:

- alkalmazott lézer: Nd:YVO₄
- a lézersugár átmérője 0,06...0,3 mm
- lerakható rétegvastagság 0,02...0,12 mm
- méretpontossága ±0,001...0,013 mm
- lerakási sebesség 0,6...5 m/s
- modell súlya 9...70 kg
- modell mérete 250x250x250...500x500x600 mm

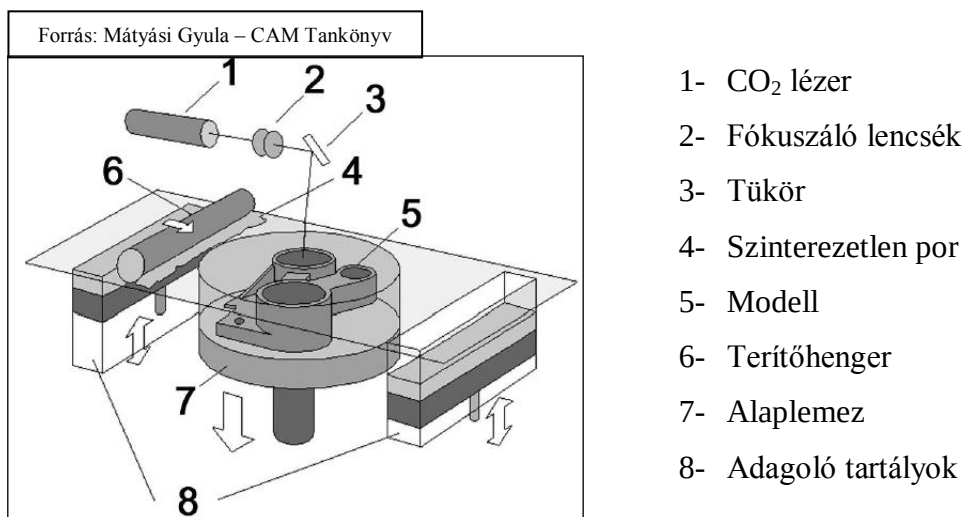
Az SLA eljárás a legelterjedtebb és legrégebbi Rapid Prototyping technológia. A munkatérből kivett darab utómegmunkálást igényel. Ez alatt tisztítás és a támaszték eltávolítását értjük. Ha a nyomtatás elkészült a darabot UV kemencébe kell helyezni, hogy a rétegek közötti polimerizációt növeljük, ezáltal a szilárdságot javítsuk. A gyanta anyagú modellek általában áttetszőek, annak érdekében, hogy a belső terek is szemrevételezhetők legyenek.

Ezt a technológiát már továbbfejlesztették, így már használnak mikrosztereolitográfiát is, ami 10 μm alatti pontosságú. Ezzel a speciális eljárással karcsú modellek készíthetők. A nem polimerizált, folyékony halmazállapotú fotomonomer hulladék nélkül újra felhasználható.

1.3 Selective Laser Sintering (SLS), Lézeres szinterezés

Az eljárás szintén lézersugarat alkalmaz, mint az előbb említett technológia, de annyiban különbözik tőle, hogy egy nyitott tartályban történik a modell kialakítása. Az alapanyag lehet műanyag por granulátum, speciális homok vagy fémpor. Az eljárással elérhető a 100%-os anyagsűrűség, ha a darabot utólagos izzítással szinterezik. Ezzel felválthatja a hagyományos alakadó (maró, öntött) eljárásokat. Az SLS eljárást Dr. Carl Deckard [4] és Dr. Joe Beaman [5] találta fel a 80-as évek közepén.

A 3D nyomtatás során a munkaasztal a rétegvastagságnak megfelelő mértékben lesüllyed a munkaaknában. Az adagoló asztal Z irányban felfelé mozog, és a következő rétegvastagságnak megfelelő porréteg kiemelkedik a portároló aknából. A munkaakna felületére a terítő henger fogja leteríteni a porréteget. A felterített réteget a Rapid Prototyping szoftver által meghatározott geometria szerint fogja pásztázni és szinterezni X és Y irányban a lézersugár, miközben az alatta lévő réteghez kapcsolja. Befejező fázis a tisztítás, felületkezelés és hőkezelés. A technológia elvi vázlata a 3. ábrán látható.



3. ábra – Az SLS technológia elvi vázlata (2012)

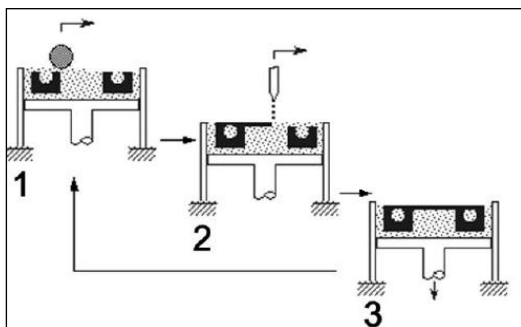
Az SLS eljárás műszaki jellemzői:

- energiaforrás: CO₂ lézer [6]
- lézersugár átmérője 0,2...0,5 mm
- lerakható rétegvastagság 0,1...0,5 mm
- pontosság $\pm 0,02 \dots 0,2$ mm
- lerakási sebesség 5 m/s
- modell mérete 500x500x600 mm

Az SLS eljárás során támaszték alkalmazásra nagyon ritkán van szükség mivel a munkaaknába került por helyén tartja a készülő modellt. A technológia tervezésekor figyelembe kell venni a modell méret- és alakpontosságát, mert azokat nagymértékben befolyásolja a szinterezés és a hőkezelés hatására létrejövő zsugorodás. Nyomtatás közben a nagyteljesítményű lézer alkalmazása miatt a modellalkotási folyamat során az egészségre károsító hatású sugárzás, valamint gőzök és gázok keletkezhetnek.

1.4 Three Dimensional Printing, (Poros-ragasztós) 3D nyomtatás

A poros-ragasztós 3D nyomtatás hasonlít az SLS eljáráshoz, azaz porral dolgozik. A por anyaga legtöbb esetben kerámia, cellulóz vagy gipsz. A munkaaknán található por szemcséire egy X-Y síkon vezérelt fűvókából ragasztót juttatunk. A szemcsék, illetve az egymás alatt lévő rétegek összeragadnak, így hozva létre a kész modellt, amit ezután tisztítanak és szárítanak. A technológia elvi vázlata a 4. ábrán látható.



- 1- Porfelvitel az előző rétegekre
- 2- Köötőanyag elhelyezése a modell metszetén
- 3- Porfűrdő süllyesztése

Forrás: Mátyási Gyula – CAM Tankönyv

4. ábra – A poros-ragasztós (3DP) eljárás elvi vázlata

A 3DP eljárás műszaki jellemzői:

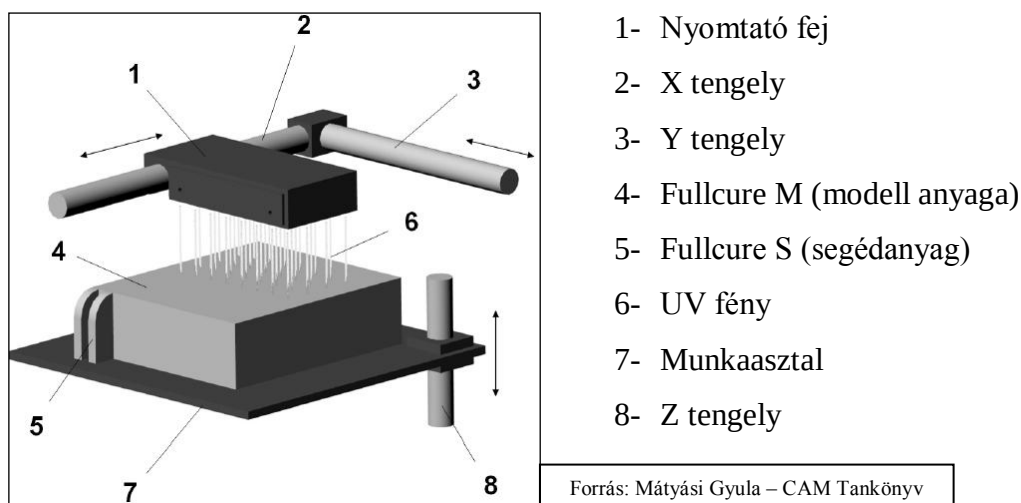
- rétegvastagság 0,08...0,26 mm
- méretpontosság 0,05 mm
- ragasztópatron sebessége <1,6 m/s
- modell mérete 250x250x250 mm

Az eljárás során több patronnal alkalmazva színes 3D-s elemek is készíthetők, ezáltal a működő modellek alkatrészei más-más színűek lehetnek. Az eljárással karcsú modellek előállítása igen nehézkes. Támasztékra általában nincs szükség.

1.5 Objet-PolyJet 3D printing (OBJ), A többsugaras 3D nyomtatás

Teljesen új technológia. Az ismert Rapid Prototyping technológiák előnyeire támaszkodik, úgy mint az SLA és a 3DP építkezési módszerek. Alapanyagként folyékony fotomonomert használ, aminek az előnye az egyszerű üzemeltetés.

A nyomtatófejek Y irányba mozognak, amelyek tartalmazzák a folyékony fotomonomert, míg a konzol X irányba mozog. A fejek folyadéksugárral a megadott helyekre rétegenként rakják fel a szükséges anyagmennyiséget (bittérképet), amit a fejjel együtt mozgó UV fénysugár azonnal térhálósít. A rétegvastagságnak megfelelően rétegenként süllyed az asztal Z irányba. Az alapanyag kazettákból érkezik, vezetékeken keresztül. Modellanyagot és támaszanyagot is tartalmaznak a kazetták. A technológia elvi vázlata a 5. ábrán látható.



5. ábra – Az Objet-Polyjet nyomtatás elvi vázlata

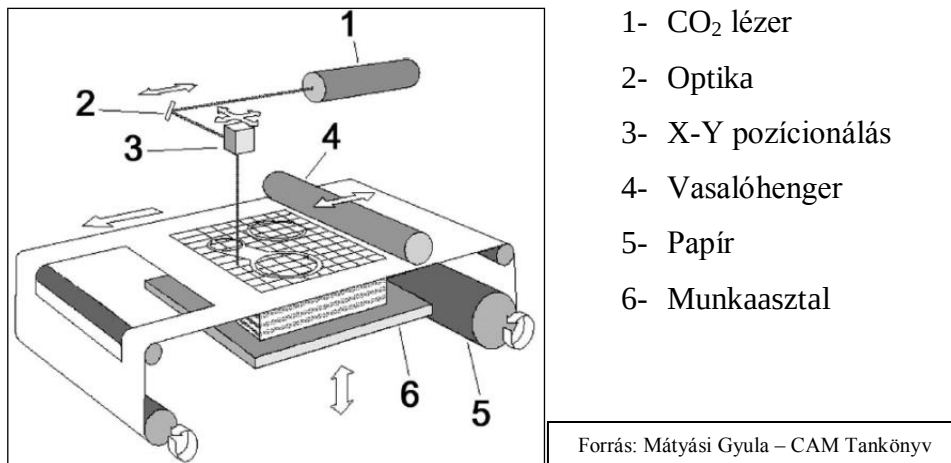
A PolyJet eljárás műszaki jellemzői:

- rétegvastagság 0,016...0,03 mm
- méretpontosság 0,05 mm
- kazetták száma 2...4 db
- nyomtatófejek száma 4...8 db
- lerakási sebesség 6...12 mm/óra/sáv
- modell mérete 500x400x200...250x250x250 mm

Az eljárás segítségével lehet a legkisebb rétegvastagságot lerakni, így a legfinomabb mintázat is ezzel készíthető. A minimálisan felépíthető falvastagság 0,6 mm. Irodai körülmények között is alkalmazható mivel működés közben nem keletkeznek káros gőzök és gázok. Az eljárással karcsú modellek előállítására nincs lehetőség. Támasztékra szükség lehet, ami a modelltől eltérő színű, és könnyen eltávolítható.

1.6 Laminated Object Manufacturing (LOM), Rétegelt modellkészítés

Az eljáráshoz fóliát, papírt használnak kiinduló anyagként. A rétegvastagságot a fólia vastagsága határozza meg. A LOM berendezés egy függőlegesen mozgatható asztalból, egy lézerforrásból, a pásztázást végző optikai egységből valamint a papír továbbítására és összeragasztására szolgáló egységből áll. A gép asztalára egy 5-10 mm vastagságú fémlemezt rögzítenek, és erre építik fel a testet, úgy, hogy a készítendő tömb minden oldalról túlnyúljon a kész modellen. A fólia egyik oldala hőre érzékeny ragasztóval van bevonva, amit ráemelnek, majd egy fűtött hengerrel rásimítanak az előző rétegre, miközben az a melegítés hatására az alatta lévő réteghez ragad. A lézer X-Y irányban vezérelve körbevágja a kontúrvonalak mentén a munkadarabot, majd a hulladékot négyzetekre aprítja a könnyebb eltávolítás végett. Az asztal Z irányba egy rétegvastagsággal lentebb süllyed. A papírtekercset továbbcsévélik, és újra következik a ráemelés és a ragasztás. Ha kész a darab a hulladékot mechanikus vagy kézi úton eltávolítják. A papírból készült modell a fához hasonlóan csiszolható és felülete kezelhető. A technológia elvi vázlata a 6. ábrán látható.



6. ábra – A LOM eljárás elvi vázlata

A LOM eljárás műszaki jellemzői:

- papírvastagság 0,1...0,2 mm
- méretpontosság: 0,05 mm
- lézersugár átmérője: 0,2...0,25 mm
- lézer: CO₂
- a fűtött henger hőmérséklete 100...400°C
- a lézer vágási sebessége 5 m/s
- modell mérete 400x250x350...800x560x500 mm

A LOM eljáráshoz speciális papírt használnak. Az eljárással készíthető modellből legtöbbször öntőmintát készítenek. Alkalmas nagyméretű darabok elkészítésére. Támasztékra nincs szükség. A modell hulladékkal együtt egy tömbben marad. A zárt üregek és mélyen alámetszett felületek nem gyárthatók vele.

1.7 Fused Deposition Modeling (FDM), A 3D extrudálás

A technológiát S. Scott Crump [7] találta fel 1980-ban, majd kereskedelmi forgalomba 1990-re került. A technológia segítségével könnyedén, gyorsan és nagy pontossággal készíthetők változatos geometriájú modellek, melyek a tervezést követően, majd a jellemzően néhány órás építési folyamatot követve kézbe vehetők. Hatékony módja a komplex geometriájú tárgyak, alkatrészek egyetlen példányban, vagy alacsonyabb sorozatszámokban történő gyártására, mivel szerszámozási költségek, vagy bonyolultabb gyártástechnológia műveletek, utómunkálatok nélkül elkészíthetők a kívánt darabok.

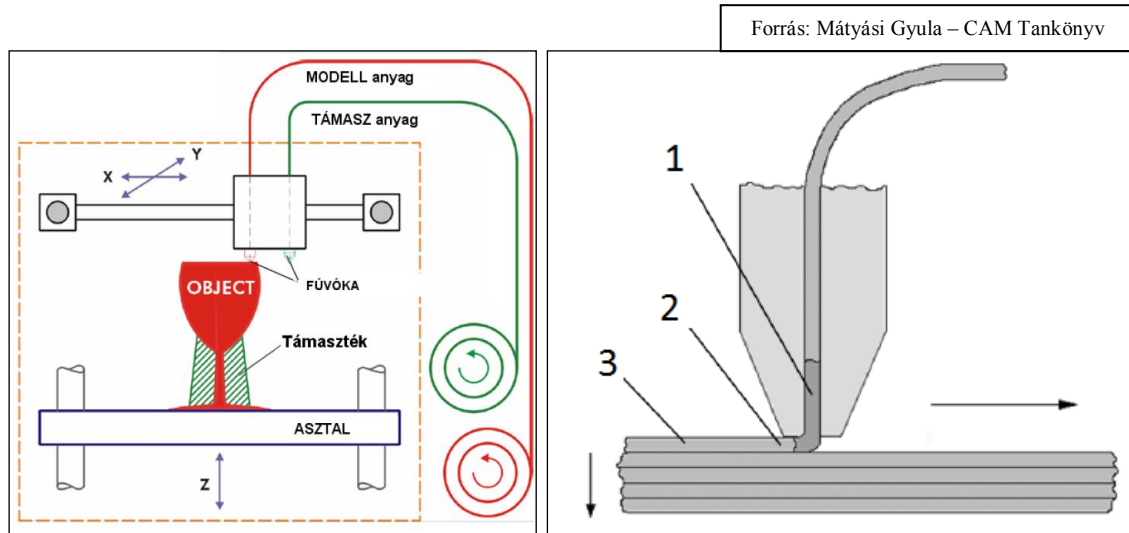
A működési elve az, hogy egy megfelelően megválasztott hőre lágyuló polimer szálát megolvaszt a berendezés, régenként felhordja, majd az adott geometriának megfelelően újra megszilárdítja azt (7. ábra). Hasonlóan minden gyors prototípus technológiához ez is 3D-s modellből kiindulva a sztereólitográfiai² fájlformátumot használja a számítógép és az FDM gép közötti kapcsolat megteremtésére. A gép igen kicsiny is lehet, akár irodai alkalmazásra is alkalmas csendes és gyors működésének köszönhetően. Ezt annak a tulajdonságának köszönheti, hogy a modell nem igényel utólagos keményítést, nincs szükség sem UV, sem lézer fényre, valamint nem szükséges hűtés sem.

Alapelve, hogy egy termoplasztikus szál as anyagot egy extrúderhez hasonló berendezés az anyag olvadáspontja fölé melegít egy fokkal, így éppen megolvasztva azt. Ezzel elérhető, hogy az anyag ömledék állapotba kerülve hozzátapadjon az előző réteghez, valamint, hogy könnyen alakítható legyen. Másik előnye, hogy az anyag így nagyon gyorsan, a másodperc tizede alatt ismét megszilárduljon külső hűtés nélkül.

Az extrúder fejet x-y irányban, valamint z irányban is vezérelni kell. Az előbbi az adott síkban a forma kialakításához, amelyet az STL fájlból határoz meg a számítógép, a z-irányban pedig az új réteg magasságának meghatározásához.

² STereoLithography – *.STL: olyan fájlkiterjesztés, amelyben a felületeket háromszögekkel közelítjük

A hevített fej, ami lényegében tekinthető egy extrúdernek (8. ábra), az egyes pontban az anyagot az olvadáspontja fölé melegíti egy fokkal, a sötétebb szakaszon ömledék állapotban van, de a kettes pontban már kezd megszilárdulni és a hármas pontra teljesen megszilárdul. Ebből is látható, hogy nagyon érzékeny a technika az anyagtulajdonságok változására és igen precíz vezérlést igényel. [8]



7. ábra - Az FDM eljárás elvi vázlata

8. ábra – A hevített fej

Az FDM eljárás műszaki jellemzői:

- extrúder fejbe épített fűtőszálak biztosítják az energiaforrást
- huzalátmérő 1,75 mm
- lerakható rétegvastagság 0,05...0,7 mm
- pontosság $\pm 0,1 \dots 0,25$ mm
- a modell mérete gépenként változó

A fentebb felsorolt technológiák közül kiválasztottuk azt, ami számunkra a legelőnyösebb mind nyomtatási minőség, mind a megépíthetőség szempontjából. A kiválasztott technológia a FDM, azaz a 3D extrudálás lett. Ezután a következő kérdés az volt, hogy milyen gépfelépítéshez alkalmazkodunk. Igen sokrétű 3D extrudáló kialakítás létezik, ezért kiválasztottunk néhány típust, amelyek közül kiszűrtük a számunkra a legideálisabbat. A következő fejezetben részletesen elemezzük a konstrukció-kiválasztás lépéseit.

2. Konstrukció kiválasztása

A konstrukcióválasztás legelső szempontja az volt, hogy minél kisebb költségből, minél jobb minőségű és pontosságú 3D nyomtatót tudjunk építeni. Olyan konstrukciót kerestünk aminek a felépítése lehetővé teszi a testközeli szemléltetést. További feltétel az egyszerű szállíthatóság.

2.1 A kritériumoknak megfelelő nyomtatók

Az alábbi piacvezető nyomtatók teljesítették az elvárásainkat:

- 3D systems nyomtató: CUBEX
- Makerbot nyomtató: Replicator 2
- Velleman K8200
- Felix 2.0

2.1.1 A CubeX 3D nyomtató otthoni felhasználásra alkalmas. A nyomtató designos kinézettel rendelkezik. Az egyszerű kezelés és a könnyen kezelhető szoftver miatt a legjobb választás otthoni felhasználásra.

Hátránya, hogy igen kicsi tárgyasztallal rendelkezik. A legnagyobb hátránya azonban mégsem a nyomtatható méret, hanem, hogy csak a gyártó által forgalmazott, saját szállal dolgozhat, aminek az ára négyszerese a hagyományos, 1kg-os PLA³ vagy ABS⁴ tekercsnek.

Az előnye, hogy a nyomtató munkaterülete zárt, így könnyebbé teszi az ABS nyomtatását. A legjobb minőség, ami elérhető a nyomtatóval a 0,2mm-es rétegvastagság.

2.1.2 Replicator 3D nyomtató már komolyabb technikát képvisel. A nyomtató egy extrúder fejjel rendelkezik és nincs fűtött tárgyasztala, ami igencsak nagy hátrány, ezért egyedül PLA nyomtatására alkalmas. A tárgyasztal mérete 250x160x150mm, ami nem mondható kielégítőnek.

2.1.3 Velleman K8200 3D nyomtató a legolcsóbb és a legegyszerűbb nyomtató a piacon. Nagyon egyszerű vázszerkezettel rendelkezik. A nyomtató elfogadható

³ PLA – Tejsav alapú, biológiailag lebomló műanyag

⁴ ABS – A legelterjedtebb műszaki műanyag

minőséget készít. ABS és PLA műanyagok is nyomtathatók vele, ami a fűtött tárgyasztalnak köszönhető.

A tárgyasztal mérete túl keskeny, így szélesebb darabok nyomtatására nem alkalmazható. A nyomtató 0,5mm-es fűvókát használ, ami túlságosan felbontáshoz, így nagy felületi érdességhez vezet, ezáltal gyengítve a nyomtatás minőségét.

2.1.4 A Felix 2.0 otthoni felhasználásra a legalkalmasabb nyomtató. A vázszerkezet egyszerű és lehetővé teszi a nyomtatás testközeli szemléltetését. Létezik egy és két extrúder fejes változata is. A második fej támaszanyag nyomtatására is alkalmas. Megbízható nyomtatást biztosít a temperált platformnak köszönhetően. Egyes alkatrészeinek modelljét a gyártó STL fájlban biztosítja későbbi pótalkatrész nyomtatásához. A nyomtató rendelkezik LCD kijelzővel, így számítógép nélkül is vezérelhető SD kártya segítségével. Magas felbontás egészen 0,1 mm-ig. Az extrúder fej egyes alkatrészei külön megrendelhetők.

2.2 Szempontjaink a 3D nyomtató építése során

Az egyik legfontosabb feltételünk a hordozhatóság, annak érdekében, hogy egyszerűen és gyorsan működőképes állapotba hozzuk a nyomtatónkat. Így a nyomtató képességeit könnyen prezentálhatjuk nyílt napokon, bemutatókon. A hordozhatóság miatt merev váz szükséges az esetleges szállítás közbeni igénybevételek ellen. Cél volt, hogy a nyomtató egyszerű alkatrészekből álljon, annak érdekében, hogy könnyen összeszerelhető és gyorsan karbantartható legyen. Előnyös szempontként értékeltük a t-horonyok használhatóságát az elemek pontos rögzítésére. Elvárás volt továbbá, hogy kompatibilis legyen olyan elektronikai alkatrészekkel, mint a szabványos végállás kapcsolók. Egyaránt tudjon PLA-t és ABS-t nyomtatni.

A választott konstrukció a felsorolt nyomtatók közül a **FELIX 2.0 (9. ábra)**. A feltételeinket ez a nyomtató elégítette ki leginkább. A következő fejezetben bemutatjuk ennek megépítését.



9. ábra - A FELIX 2.0 típusú nyomtató

3. A 3D nyomtató megépítése

A nyomtató építése előtt felvázoltuk mely alkatrészek megvétele szükséges és melyeket tudjuk saját kezűleg elkészíteni. A Főiskola műhelye lehetőséget adott a forgácsolható alkatrészek legyártására, így azokat mi magunk készítettük el.

A váz elkészítéséhez Bosch Rexroth 40x40 mm keresztmetszetű alumínium profilokat használtunk, amiket megfelelő méretre vágtunk. A profilokat ezután önmetsző belső kulcsnyílású torx csavarokkal rögzítettük egymáshoz, így alakítva ki a nyomtató vázát. A kész vázra lineáris elemeket szereltünk a tengely irányú mozgások megvezetésére, mivel ezek könnyen rögzíthetőek voltak az alumínium profilba.

A Felix 2.0 egyes alkatrészeit kénytelenek voltunk megvásárolni, hogy el tudjuk kezdeni a nyomtatófej megépítését és a szükséges alkatrészek átalakítását. A nyomtatott műanyag alkatrészeket a FELIX cégtől rendeltük meg. A léptetőmotorokat (10. ábra) mi választottuk ki és szereztük be:

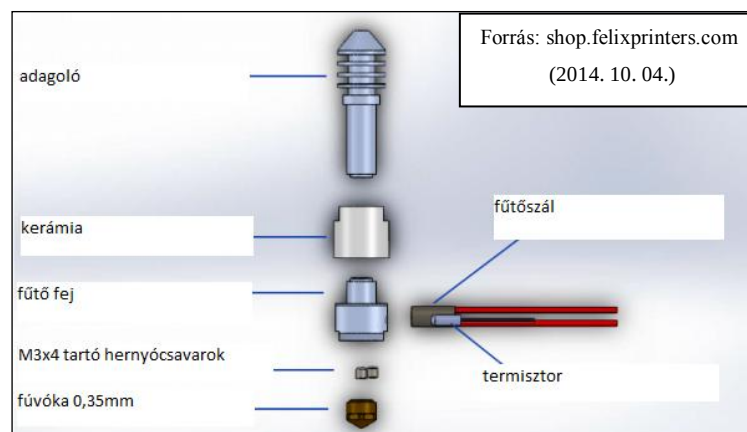
NEMA 17 léptetőmotor:

- Léptetés: $1,8^\circ/\text{lépés}$
- Feszültség: 3,4V
- Áramerősség: 1,7A
- Motor tömege: 0.24kg



10. ábra – NEMA 17 léptetőmotor

Az extrúder kerámia elemét és a fűvókát rendeltük, míg a hengeres alumínium felületeket (adagoló, fűtő fej) magunk forgácsoltuk (11. ábra). A termisztor és a fűtő szál szabványos elemek.



11. ábra - Extrúder fej robbantott ábrája

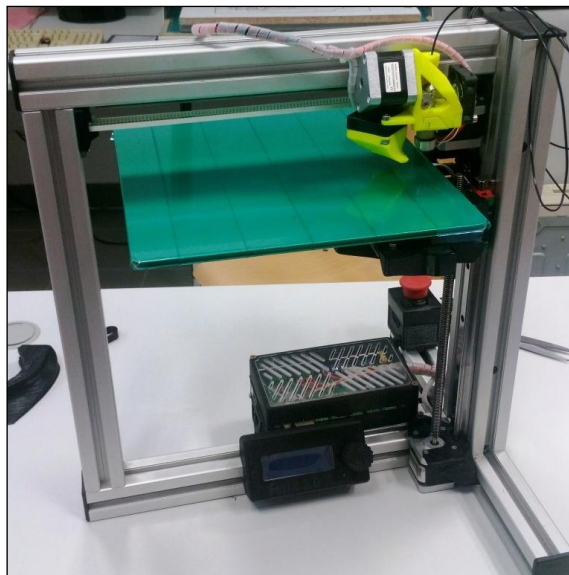
A összeszereléshez szükséges csavarokról, anyákról és alátétekről listát készítettünk. A szíjat, a csapágyakat és a végállaskapcsolókat különböző üzletekből vásároltuk, figyelve azt, hogy azok kompatibilisek legyenek a konstrukcióval.

A végállaskapcsolókat át kellett alakítani, hogy a csatlakozók a megfelelő irányba álljanak.

A tárgyasztal alumínium szendvics lap, amelynek mérete valamivel nagyobb, mint az eredeti FELIX 2.0-é. A tárgyasztal méretének növelése ellenére az extrúder fej nem tudja az egész asztal területét bejárni. A tartóelemet mi terveztük és gyártottuk le hozzá.

Az alaplap egy Arduino rendszerű, a Felix cég által erre a célra kialakított nyáklap, amely két extrúder fej vezérlésére is alkalmas.

Fentebb említett alkatrészeket felhasználva elkészítettünk a Felix konstrukciójára alapuló FDM nyomtatónkat, melynek fotója 12. ábrán látható.



12. ábra – Az összeszerelt Felix 2.0

A 3D nyomtatót virtuális formában is el akartuk készíteni. Ennek célja az volt, hogy a nyomtató paramétereit 3D modell formájában is mérni tudjuk digitális gyártást szimulálva. Mivel a nyomtatott alkatrészeket a forgalmazótól vásároltuk, így azok pontos dokumentációja hiányzott.

Ha minden alkatrészeről méretpontos modell állna rendelkezésre, azok felhasználhatók lennének pótalkatrészek gyártására vagy egy esetleges második nyomtató elkészítésére. Ahhoz, hogy ezt meg tudjuk valósítani a Reverse Engineering módszerét kellett alkalmaznunk, így visszanyerve az eredeti dokumentációkat és méreteket. A módszer lényegét a következő fejezetben tárgyaljuk

4. Reverse Engineering (RE)

A Reverse Engineering magyar fordításban fordított mérnöki tevékenységet jelent. Mindezt pontosítva egy olyan mérnöki munkafolyamat, amelynek során egy fizikailag létező tárgy számítógépes CAD geometriáját határozzuk meg 3D-s digitalizálással. A Reverse Engineering a végtermékből indul ki. Feladata a rekonstrukció. Feladatköréhez tartozik még a bonyolult felületek méretellenőrzése is.

A Reverse Engineering alkalmazási területei:

- Ha az új dizájn meglévő alkatrésze alapul,
- Kézzel készített a mestertermint,
- „Régiek” a tervek (nincs számítógépes adat, rajz),
- Alkatrész, szerszám reprodukció,
- Gyors prototípuskészítés.

A technikát különböző iparágak alkalmazzák, például az autóipar, csokoládé- és édességipar, cipőipar, orvosi gyógyeszközöket gyártó cégek stb.

A szolgáltatás igénybevétele - az ipar szinte minden területén - az alábbi előnyöket biztosítja:

- termékfejlesztési idő radikális csökkentése
- termék minőségének javulása
- a fejlesztés hatékonyságának növekedése
- a termék- és gyártási költségek csökkenése
- a megrendelő igényeinek pontosabb kielégítése
- egy új termék piacra jutási idejének csökkenése.

A bonyolult geometriájú darabokat nem tudtuk volna hagyományos mérőeszközökkel megmérni, mivel a tolómérő nem alkalmas komplex geometriák meghatározására. [9]

A mi esetünkben az alkatrészek csak fizikailag voltak meg, hiányoztak a számítógépes dokumentációk. Ahhoz, hogy újra gyárthatóak legyenek a Reverse Engineering-et kellett alkalmaznunk.

A Reverse Engineering lépései:

- Szkennelés,
- Pontfelhő létrehozása,
- Burkolás, felületillesztés,
- Ellenőrzés, korrigálás,
- Gyártás

4.1 Szkennelés

Első lépésként a térbeli szkennelést, vagy más néven a 3D-s digitalizálást kellett elvégeznünk.

A szkennelés a felületi pontok letapogatását és térbeli koordináták meghatározását jelenti, aminek az eredménye egy térbeli koordináta-rendszerbe helyezett pontfelhő. A felvett pontok száma határozza meg az alakzat bemérési pontosságát, ami akár több tízezer is lehet.

A szkennelés történhet érintéses vagy érintés nélküli eljárással.

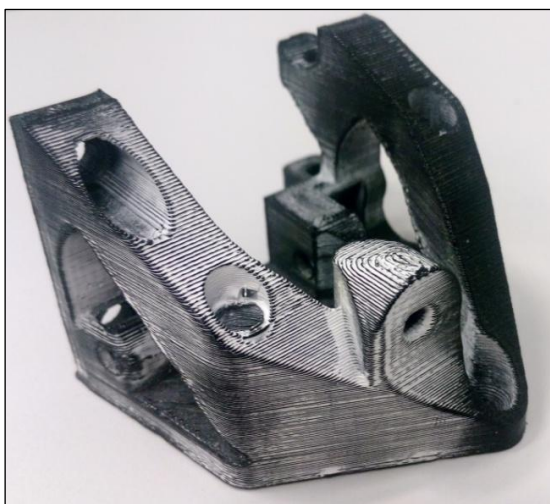
4.1.1 Az érintéses eljárásnál koordinátás mérőgépet alkalmaznak, melynek szoftvere alkalmas a szkennelésre is. Mikrokapcsolós (touch trigger) vagy merev tapintós lehet a használt mérőfej.

A mérőfejekkel pontosan meghatározhatóak a pontok koordinátái. A mikrokapcsolós technika (touch trigger) miatt kicsi a tapintó erő, így lágy felületekhez is alkalmazható, viszont csak pontonkénti mérésre alkalmas, így lassú az eljárás. Célszerű a vonal menti mérés, ami azt jelenti, hogy $x=\text{állandó}$ vagy $y=\text{állandó}$ síkokkal felszeletelik az objektumot és metszésvonalak pontjait tapogatják le sűrű lépésekben.

4.1.2 Az érintés nélküli eljárásnál a külső felületekhez lézert vagy fehér fényt használnak, míg a belső felületek megjelenítéséhez csak röntgensugarat tudnak alkalmazni. A hátránya, hogy reflexiós problémák adódhatnak és a fénysugárral párhuzamos, valamint a takart felületek pontjait nem lehet letapogatni. [8]

A fény használatának a legnagyobb előnye a gyorsasága. Tapintóerő nem keletkezik a mérés során, így a felület nem deformálódhat. Amennyiben egy takart, árnyékolt részről is szeretnénk információhoz jutni, akkor többirányú felvétel készítése szükséges. A megfelelő felvételeket szoftver segítségével össze kell illeszteni.

Számunkra a CCD kamerás eljárás volt adott, ami egy érintés nélküli technológia. Egy Steinbichler Optotechnik VarioZoom 200-400 3D szkennerek segítségével végeztük a méréseket. A meglévő alkatrészek számítógépes dokumentációit ezzel az eljárással tudtuk reprodukálni. A technológia az extrúder fej tartó elemén (13. ábra) keresztül kerül bemutatásra, de a többi nyomtatott geometria is e módszer szerint készült el.



13. ábra – Extrúder fej tartóelem

A felület menti letapogatásra alkalmas szkennelő berendezés vetítője fekete-fehér, párhuzamos fénycsíkokat vetít az objektum felületére, amelyek azon deformálódnak. A szkennelő CCD kamerája érzékeli a visszavert fénycsíkok törését. A számítógépes kiértékelő rendszer kiszámolja a csíkokban sorakozó pontok térbeli helyzetét, ez alapján alkotva meg a pontfelhőt. A folyamat működése 14. ábrán látható.



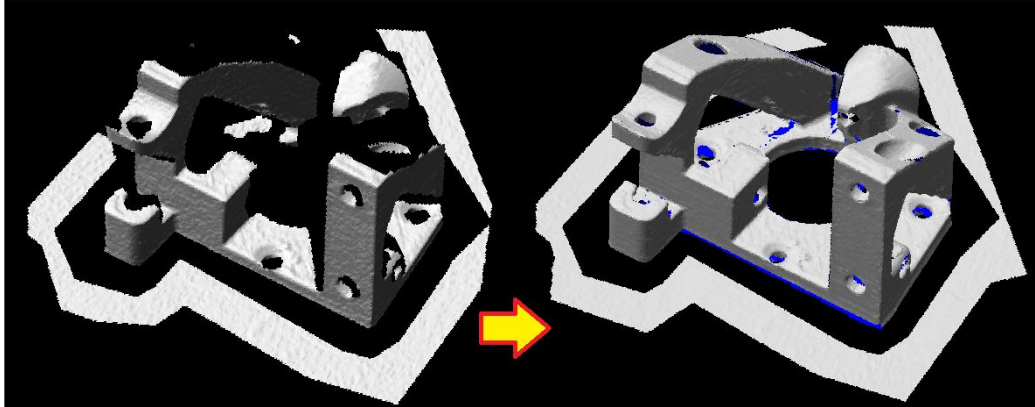
14. ábra – A CCD felvétel, középen a szkennelt darabbal

A digitalizálandó objektum egy mozgatható körasztalon helyezkedik el. A szkennelés során az elsődleges szempont az volt, hogy a munkadarab tájolása biztosítsa azt, hogy a pontfelhő minél részletesebb legyen.

A szkennelést megelőzte az előkészítés: spray segítségével fehér krétaport vittünk fel a darab felszínére. Ez abban segített, hogy minél több kiértékelhető pont rögzítésre kerüljön, így sötét, árnyékolt helyekre is be tudtunk „látni” a kamerával. A krétapor könnyen eltávolítható a feladat elvégzése után.

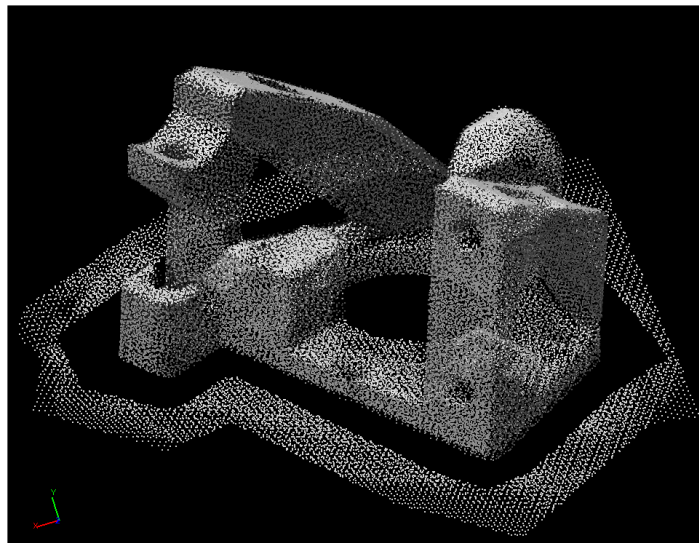
4.2 Szkennelés után kapott pontfelhő előzetes feldolgozása

A végleges felhő összeállításához 34 fotóra volt szükség (15. ábra), amelyeket az egyező pontjaik megkeresésével egyesítettünk.



15. ábra – A felvételek összeillesztése: baloldalon az első felvétel, míg a jobb oldalon a 34 kép összeillesztése

Amikor elkészült a pontfelhő (16. ábra) szükséges volt, az objektumhoz nem tartozó részek (felfogó elemek, tárgyasztal, alátétek, stb.) levágása a képről, továbbá a redundáns⁵ pontok eltávolítása.



16. ábra –

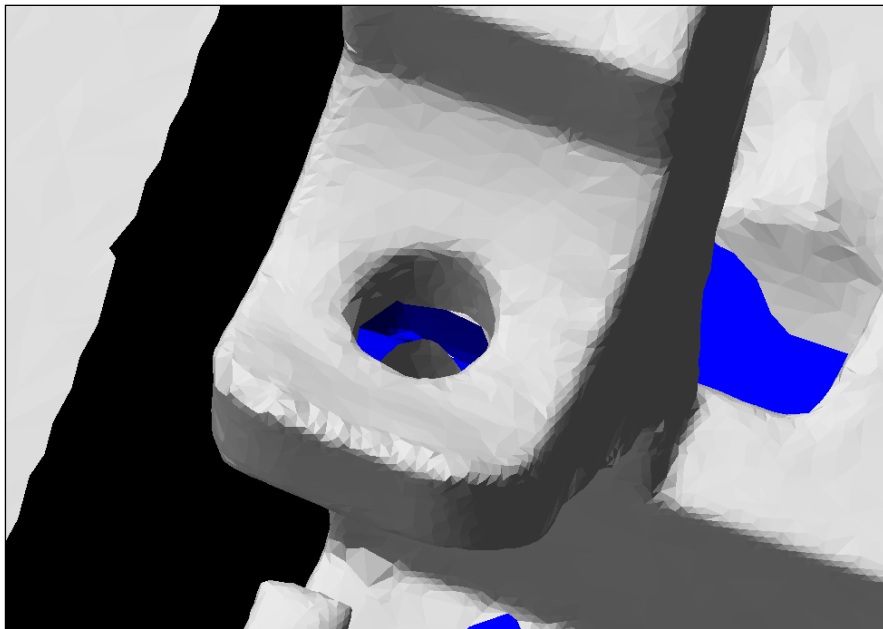
A szkennelés végeztével még csak egymástól független, de a térben rendezetten elhelyezkedő pontok halmazát látjuk

⁵ A 3D-s szkennelés területén a *redundancia* mindig valamiféle többszörözést jelent, jelen esetben az azonos helyen szereplő felhalmozott pontokat.

4.3 A pontfelhő végleges feldolgozása

Az előzetesen feldolgozott, korrigált pontfelhőre felületelemek illeszthetők, amik lehetnek analitikusak (sík, gömb, paraboloid), paraméteresek (Bézier vagy B-spline) és egyszerű háromszögek.

A reprodukcióhoz a legelterjedtebb módszer a háromszögekkel, vagyis az STL formátumban való burkolás, mivel ez egy egyszerű és minden tervező program számára beolvasható fájlhoz létre. A pontfelhő pontjait háromszögekkel közelítjük (17. ábra). Minél kisebbek a háromszögek annál pontosabb az alakkövetés. A háromszögek csúcspontjai a pontfelhő szomszédos pontjai.

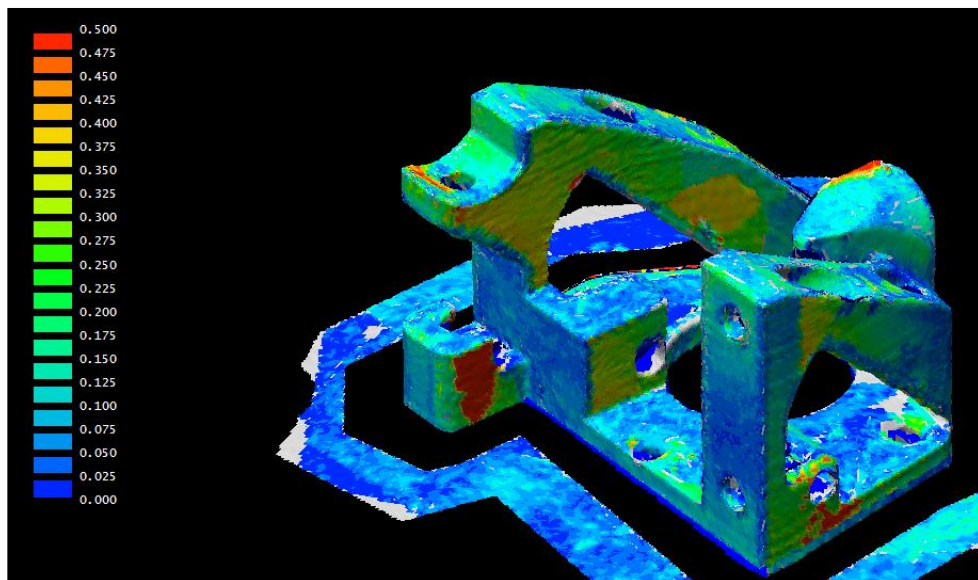


17. ábra – A pontok háromszöggel való közelítése

A képen láthatunk szürke és kék színű felületeket is. A szürke felületek már pontos képet adnak az alkatrész felületéről, míg a kék részek felületfolytonossági hiányra utalnak. Itt a szkennelés nem volt sikeres, mivel a kamera ezekre a területekre nem látott be a rájuk vetülő árnyék miatt.

4.4 A RapidForm XOR használata testmodell alkotáshoz

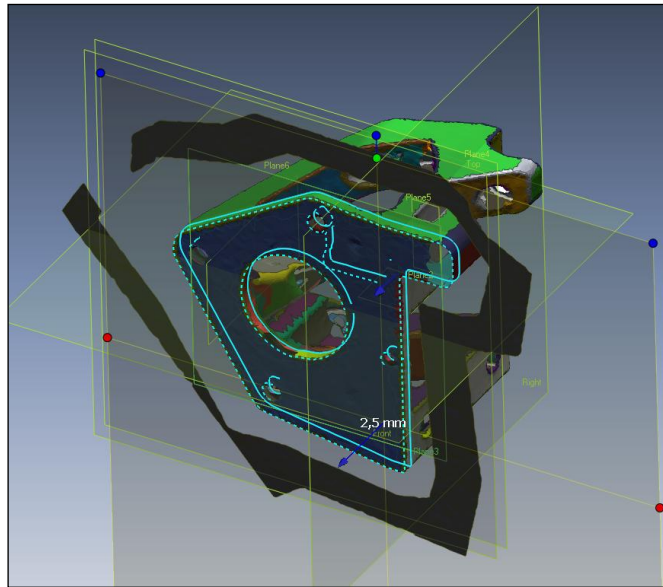
Az előbbieken előállított modell még nem használható fel közvetlenül CNC megmunkálásra vagy 3D nyomtatásra, mivel a háromszögekkel való burkolás során a felületek nem illeszkedtek tökéletesen a pontfelhőkre, amiből mérethibák adódtak. A szkennelő berendezés szoftvere a háromszöggel való burkolás során ezeket a hibákat a 18. ábra képe szerint analizálta. A kék területeken hiba nélküli az illeszkedés valamint a kép jobb oldalán látható skála szerint követhető a hiba nagysága. Egyes területeken a pontatlan illesztésből eredő hibák nagysága eléri a 0.500 mm-t. Egy ilyen modellen a furatközök, az egyes távolságok, valamint a befoglaló méretek nem adnak pontos értéket, ami nyomtatásra alkalmatlanná teszi a modellt. A hagyományos tervező programok (Inventor, Catia, stb.) az *.STL modelleket sem mérni, sem összeállításban kezelni nem képesek.



18. ábra – A háromszöggel való burkolás során keletkező hibák nagysága

A szkennер szoftverével generált *.STL fájlt egy külön erre a célra specializálódott Reverse Engineering programba importáltuk. A program neve: RapidForm XOR. A programban felvettük a modell alapsíkjait.

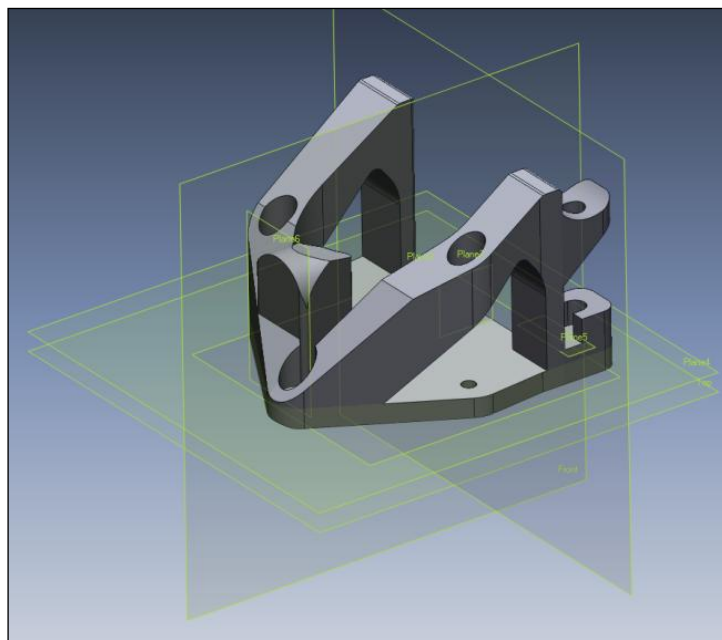
Fontos felismernünk a program használta közben, hogy a darab korábbi tervezője milyen lépéseket követve alkotta meg a kész modellt. Ezt követően az úgynevezett *Mesh Sketch* paranccsal a felületről keresztmetszeti vázlatokat vettünk fel (19. ábra). Ezeket a vázlatokat közelítő vonalakkal körberajzolva, majd azokat egy adott bázistól beméretezve meghatározhatóvá vált a vázlat valós mérethálója.



19. ábra – A Mesh Sketch parancs használata

Az így kapott vázlatokkal a szokásos kihúzás (*extrude*) és kivágás (*cut*) parancsok segítségével rekonstruáltuk a 3D-s CAD modellt. A RapidForm XOR-al párhuzamosan az Autodesk Inventor tervező rendszerrel szintén megrajzoltuk ezeket a vázlatokat és ott is megalkottuk a testmodellt a program saját fájltypusában. Erre azért volt szükség, hogy a darabok méretei parametrizálhatóvá váljanak egy későbbi változtatás esetére.

Ezen folyamatok eredményeképp kaptuk meg a változtatható méretű és minden felületén mérhető CAD modellt. (20. ábra)

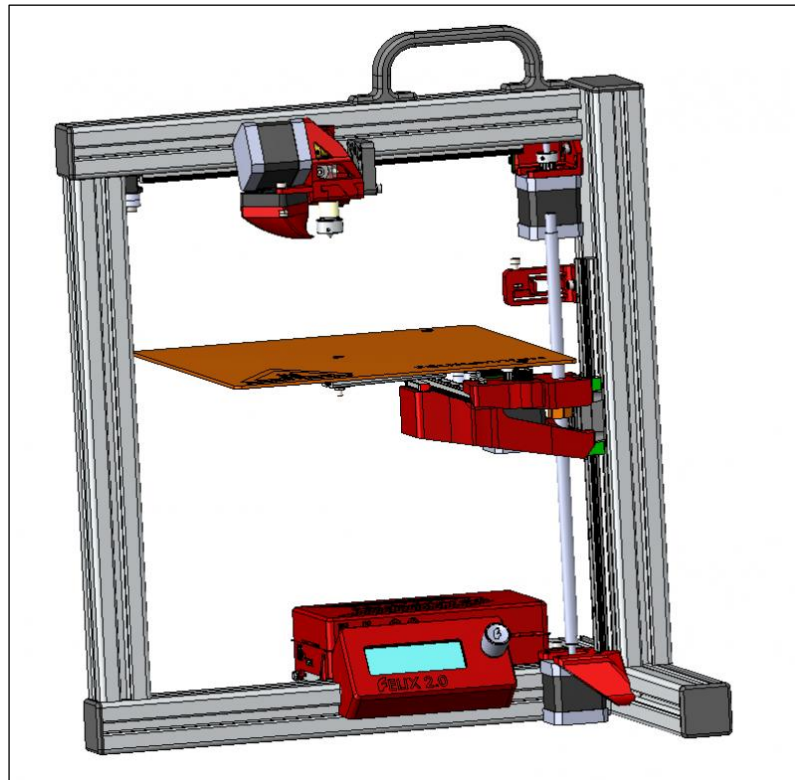


20. ábra – Az extrúder fej tartó CAD modellje

4.5 Virtuális prototípus

A 3.4 pontban bemutatott módszer használata után minden nyomtatott alkatrészről rendelkezésre álltak a 3D testmodellek. Ezt követően az Autodesk Inventor-ban egy összeállítási környezetben belül létrehoztuk a nyomtató virtuális konstrukcióját. Így a nyomtató paramétereit 3D modell formájában is mérni tudtuk, valamint digitális gyártás szimulációjára is megfelelt.

Az összeállítási modell a 21. ábrán látható.



21. ábra – Felix 2.0 összeállítási 3D modellje

Ezzel elkészül a nyomtató fizikailag és virtuálisan összeszerelt berendezése is, azonban a mechanikai szerkezetet irányító szoftveres támogatás még nem volt biztosított. Ennek beállítása a következő fejezet témája.

5. A Repetier Host kiszolgáló program bemutatása

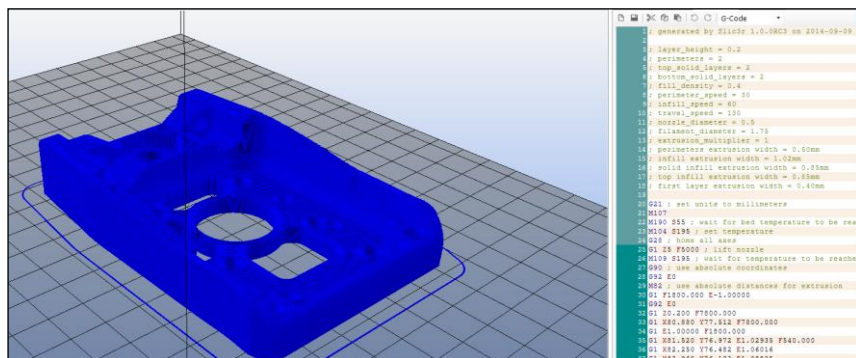
Ahhoz hogy a nyomtató informatikai rendszerét informatikai rendszerét először a vezérlőkártyára feltöltöttük a megfelelő verziószámú firmware-t.. A verzióhoz illeszthető szabad hozzáférésű program a Repetier Host, amelybe első lépésként konfigurálnunk kellett a nyomtató bejárható területét, a fűvóka átmérőjét, az extrúder fejek számát, a bevezetett huzalátmérőt, valamint az orsó menetemelkedését egyaránt. A beállításokat követően létrehoztunk olyan konfigurációs fájlokat, amelyekben tároltuk az egyes anyagminőségekre jellemző nyomtatási paramétereket. Így a PLA nyomtatásáról gyorsan áttérhetünk ABS nyomtatásra, ami magasabb hőmérsékletet igényel.

A Repetier Host szintén *.STL fájlokat kezel. A Felix biztosította egyes alkatrészeit *.STL formátumban, még szkenneléssel rekonstruáltunk a fennmaradó alkatrészek geometriáját is, így minden beszerelt alkarészből pótalkatrészeket nyomtathattunk.

A nyomtatás a következőképpen zajlik:

1. Behívjuk a nyomtatni kívánt modell geometriáját (*.STL)
2. Beigazítjuk a tárgyasztalra
 - Itt skálázhatjuk, forgathatjuk, valamint eltolhatjuk a tengelyek mentén
3. Ezt követően egy, a programba beépülő modul segítségével (Slicer) adott vastagságú rétegekre szeljük a geometriát a kívánt felbontástól függően. Ehhez kiválasztunk egy beállítási módot a konfigurációs fájlok közül.
4. A Slicer egy *G-code-ot* generál, amelyben szerepel az összes technológiai paraméter, valamint a szerszámmozgások.
5. Felfűtjük az extrúdert, temperáljuk a munkaszalot, majd elindítjuk a nyomtatást.

***A G-code:** a 3D modellünket átalakítja CNC szerszámútvonalakká (22. ábra), amelyeket a 3D nyomtató vezérlője értelmez. Ezt úgy éri el, hogy a virtuális modellt vízszintes szeletekre vágja fel. Innen ered a „slice” elnevezés.



22. ábra – Jobb oldalon a szeletelt alkatrész, bal oldalon a szerszámútvonalak

Néhány fontosabb G-code:

- G0: Gyors mozgás
 - Példa: G0 X100
 - A nyomtatófej X100 koordinátára mozog gyorsmenetben.
- G1: kontrollált mozgás
 - Példa: G1 X90.6 Y13.8 E22.4 F3000
 - A nyomtatófej a következő koordinátához mozog (X90.6, Y13.8), és extrudál 22,4mm filamentet⁶. Az előtolás 3000mm/perc-re lesz.
- M0: STOP
 - A nyomtató abbahagyja az összes műveletet és kikapcsol.
- M17: Léptetőmotorok engedélyezése/tiltása
 - Kézi mozgatás céljából tilthatjuk le őket.
- M104 S***: Extrúder hőmérséklet
 - Példa: M104 S190
 - A hőmérséklet 190°C-ra lesz átállítva.
- M106 S***: Hűtőventillátor sebessége (filament hűtés)
 - Példa: M106 S127
 - A sebesség kb. 50%-ra lesz beállítva.
 - Az S paraméter 0-255 között vehet fel értéket, a 0 a kikapcsolást jelenti.
- M112: VÉSZLEÁLLÍTÁS
 - A 3D nyomtató egyből kikapcsol.
- M140 S***: Nyomtatóplatform hőmérséklet
 - Példa: M140 S55
 - A hőmérséklet 55°C-ra lesz beállítva.
- M226: Szünet
 - Egyenértékű a PAUSE gomb megnyomásával, azaz a nyomtató befejezi mozgását és további parancsra vár. Ez a parancs ajánlott filament cseréhez is.

A kinyomtatott darabok mérethelyessége igazolja a nyomtató pontosságát, ezért készítettünk egy próbadarabot. Ezt kinyomtatva majd, egy koordináta mérőgépen lemérve ellenőriztük a nyomtató méretpontosságát és tűrésmezejét.

⁶ A bevezetett huzal (szálanyag) egy hőre lágyuló polimer, esetünkben ø1,75 mm

6. Mérés

A 3D nyomtatót be kellett kalibrálni a próbadarab nyomtatása előtt. A helyesen beállított és kalibrált Z tengely nagyban befolyásolja a nyomtatás minőségét, míg hibás beállítás esetén a fűtött munkalap illetve az extrúder károsodását is okozhatja.

A kalibrálás két részből áll:

- be kell állítani az extrúder düznije⁷ (nozzle) és a fűtött munkalap közti megfelelő távolságot
- be kell szerezni a tárgyasztalt, azaz a munkalapot.

A fűtött munkalap bármely tetszőleges pontja és az extrúder düznije közt mért távolság nem lehet több mint 0,25 mm.

A nyomtatás pontosságát nagyban befolyásolja a Slicer program beállításai. A méréshez használt paraméterek külön konfigurációs fájlban tároltuk a későbbi reprodukció érdekében.

A méréshez használt anyag PLA:

A PLA (Polylactic Acid) – azaz politejsav – tejsav alapú biológiailag lebomló poliészter műanyag. Környezetbarát, hőre lágyuló polimer. Alacsony hőmérsékleten extrudálható. A PLA-val nyomtatott darabok a lehűlés során kevésbé vetemednek. A PLA hajlító erővel szemben ridegen törik. [10]

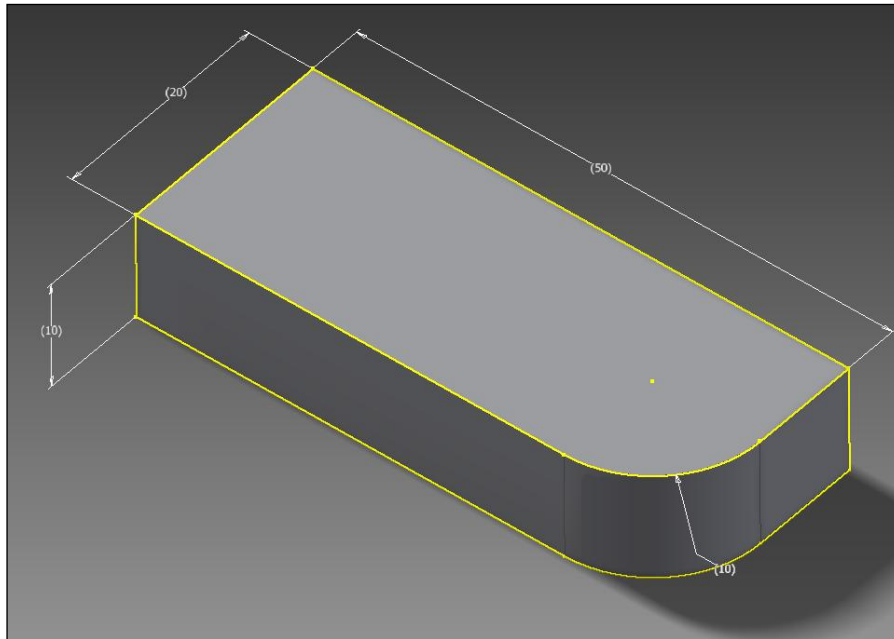
Műszaki paraméterei:

- Huzalátmérő: 1,75 mm
- Átmérő mérettűrése: $\pm 0,05$ mm
- Javasolt extrudálási hőmérséklet: 180-200°C, első réteg 195-200°C
- Javasolt tárgyasztal hőmérséklet: 48°C, első réteg 50°C
- Javasolt nyomtatási sebesség: 50 m/s

A méréshez létrehoztunk egy próbatestet, melynek méretei: 50x20x10 mm, és az egyik élén R10 mm-es lekerekítés található (23. ábra).

A mérést a Főiskola mérő laboratóriumában végeztünk. A mérőgép egy Mitutoyo 3D koordináta mérőgép volt. A tűrésmezők megválasztásakor a Felix 2.0 nyomtatóhoz a gyártó által garantált nyomtatási pontosságokat vettük alapul.

⁷ A fűvóka kilépő keresztmetszete.



23. ábra – A mérendő próbatest modellje

Mért alakpontosságok:

- Síklapúság
- Hengeresség
- Szögérték
- Párhuzamosság

A mérés kiértékeléseként elmondható hogy:

- A síklapúság - 0.05 mm-es tűrésmezőnél mért differencia 0.0520 és 0.0937 mm között változott
- A hengeresség - 0.1 mm-es tűrésmezőnél mért differencia: 0.0636 mm
- A szögérték (90°) - 1° tűrésmezőnél mért differencia: $-0,0085^\circ$ és 0.3352° mm között változott
- A párhuzamosság – 0.5 mm-es tűrésmezőnél mért differencia: 0.0602 és 0.1462 mm között változott

Összességként leírható, hogy a nyomtató teljesíti az előírásnak megfelelő követelményeket, valamint az összeszereléskor keletkezett, alakpontosságokat befolyásoló tényezők nem voltak hatással a nyomtatás minőségére.

A mért értékek mindegyike tűrésmezőn belül maradt. A koordinátamérő gép által generált jegyzőkönyvek **mellékletben** megtalálhatók.

7. A megépített kísérleti nyomtató által szerzett tapasztalatok

A megépített konstrukció egyik legnagyobb hátránya a nyomtatható terület méretéből következett. A temperált, fűtött munkaasztal területe nincs elzárva a környezettől, ezért az asztal méretének növelésére sincs lehetőség a nagy hőveszteség miatt. Így a temperálható terület, ezen keresztül pedig a nyomtatható mérettartomány is elérte a maximumát.

További gondot jelentett, az asztal keresztirányú mozgása (Y) az alábbi okokból:

- Egy bizonyos méretnél nagyobb asztal és a rajta lévő nyomtatott tárgy mozgása túlterhelné a tengely léptetőmotorját
- További probléma, hogy egy zárt konstrukció vázszerkezetének befoglaló méretét mindkét irányba növelné egy ilyen kialakítás.
- A lineáris elemek beszerzése is túlságosan költséges és kevésbé stabil vezetést biztosít a szállított méretek növekedésével.

Ezeket szem előtt tartva saját nyomtatóegység tervezésébe kezdtünk. Az új konstrukción a lineáris elemek helyett lineáris csapágyak és vezetőrudak vették át asztal feletti tengelymozgások megvezetését. Egy olyan szerkezet kialakítását vettük célba, amelyen az extrúder fej végzi az X-Y mozgást egyaránt.

A zárt, ellenőrzött és állandó hőmérsékleten tartott munkatér, elzárva a környezettől, további lehetőség egy esetleges fejlesztés során. Mindez leegyszerűsíti és meggyorsítja a magasabb lágyulási hőmérsékletet igénylő anyagok (ABS) nyomtatását. Azonban egy ilyen konstrukció feltétele is egy két tengelyen mozgó extrúder.

Az extrúder fej tartószerkezete, főként a fűtött egységekkel közvetlen kapcsolatban lévő elemek könnyedén elvetemedhetnek, torzulhatnak a hő hatására. Mivel a korábbi nyomtatón ezek PLA-ból készültek, ABS nyomtatása esetén, az extrúderen lévő porcelán és hűtőbordák ellenére is akkora hőhatást kaptak, amely már elegendő az elemek lágyulásához, torzulásához. Ezt megelőzendően minden alkatrészt, amely közvetve a fűtőelemmel érintkezik, esetleg arról sugárzó hővel kapcsolatba kerülhet ABS-ből kell készítenünk.

A támaszanyag nélküli nyomtatás is nagyban korlátozta a megvalósítható geometriákat, mivel az alámetszett felületek mind beomlanak a nyomtatás során, ha a rétegek egymáson 45°-nál nagyobb szögben találkoznak. Az új nyomtató-egységet ezért két extrúder fejre terveztük, melyek közül az egyik fej vízre oldódó támaszanyagot, míg a másik tetszőleges hőre lágyuló műanyagot nyomtat.

8. Parametrizálható munkaterületű nyomtatóegység konstrukciós tervezése

Új konstrukció fejlesztésekor az alapvető szempontokat⁸ szem előtt tartva, valamint az alábbi követelményeket támasztva kezdtük meg a tervezést:

1. A korábban jelentkezett problémákat maradéktalanul oldja meg a konstrukció *(Problémamegoldás)*
2. Minél több szabványos, kereskedelmi forgalomban beszerezhető elemet (elsősorban kötőelemek) tartalmazzon, a későbbi karbantartás megkönnyítése érdekében *(Szabvány)*
3. A tartószerkezetek, mint: extrúderfej-tartó egység, huzalvezető, tengelyeket rögzítő elemek, stb. geometriai kialakításánál elsődleges szempont azok nyomtathatósága, elkerülve az alámetszéseket, minimalizálva a méreteket. *(Gyárthatóság)*
4. Az összeszerelés minél egyszerűbbé tétele *(Szerelhetőség)*
5. Egyes részegységek (lásd 3.) könnyű hozzáférhetősége *(Karbantartás)*
6. Mivel a korábbi vezérlés és a kiszolgáló program minden követelményt kielégített, az új nyomtató felépítésekor figyelembe kell venni a szoftver adta korlátokat és lehetőségeket. *(Vezérlés)*

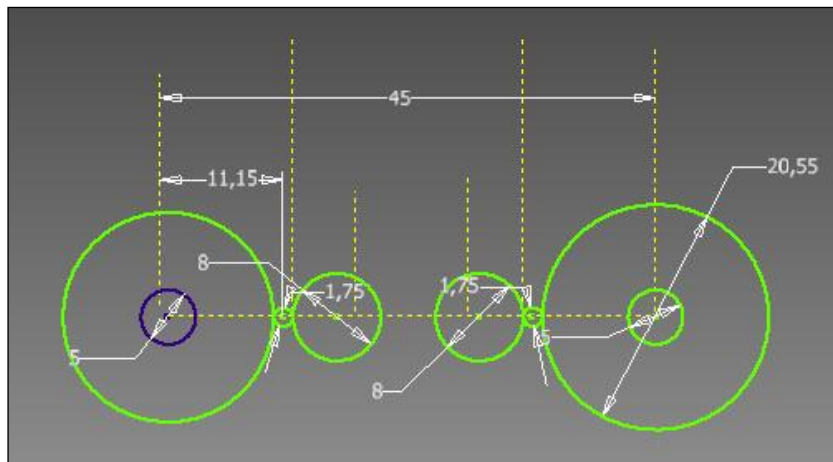
8.1 Az extrúder-fej egység tervezése

Fontos követelménye a lineáris csapágyakon való futás, valamint két extrúder tartása. Előny a vezető szíj feszességének egyszerű állíthatósága, a bevetett szál (Ø1,75mm) motorral való behajtásakor a szorítás állíthatósága.

8.1.1 A tervezést a behajtó-egységgel kezdtük, mivel fontos volt, hogy a két motor egymás melletti elhelyezésekor azok kihajtó tengelyei milyen távolságban vannak egymástól. Ezen adatokra épült a behajtó egység mérethálója, ahol a kihajtó tengelycsonkok méretét (Ø5), a szabványos csapágyméreteket (Ø8) és a bevezetett huzal vastagságát (Ø1,75) is figyelembe vettük. A motorok házának egymás melletti elhelyezése megkövetelt egy-egy a tengelyekre kerülő terelő henger (Ø20,55) alkalmazását. A méretháló a 24. ábrán látható

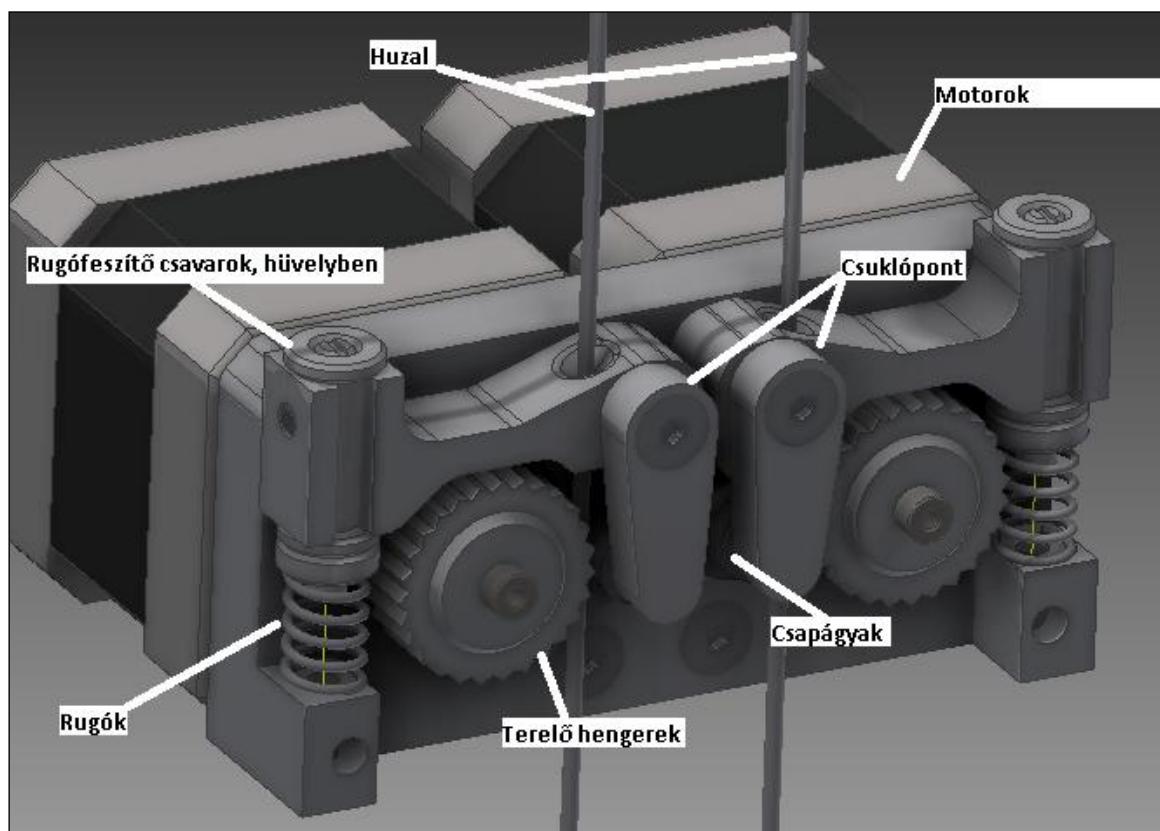
Ezen méretek közvetlenül hatással voltak az extrúderek egymástól való távolságára is.

⁸ Az alapvető szempontok a felsorolás pontjainak végén, dőlt betűvel.



24. ábra – Méretháló felépítése

A behajtó egységnél a huzal könnyű eltávolíthatósága is lényeges szempont, de a legfontosabb a huzal pontos megvezetése az extrúderék felé, valamint a bevezetés folytonosságának fenntartása. Ezt úgy érhetjük el, ha a huzalt a motor végén található terelő hengerrel és a csapágyakkal összeszorítva biztosítjuk a megfogást. Ezek szerint terveztük meg a behajtó-egységet, amelynek modellje a 25. ábrán látható.



25. ábra – A behajtó egység modellje

A megoldásunk több problémát orvosolt egyszerre:

- A rugófesztő csavarokat kézzel lenyomva, a rugókat összenyomva a szorítás oldható, a huzal könnyen eltávolítható
- A rugófesztő csavarokat hüvelyekbe helyeztük el, amelyek belsejébe menetet fúrunk.

(A bevezető egység ABS-ből kerül kinyomtatásra, amibe kevésbé lenne tartós a menetfúrás, ezért használjuk a hüvelyeket). A rugófesztő csavarokat behajtva a rugó összenyomódik, azonban a rugóerő hatására visszarúg, majd egy csuklópontra forgatva neki tolja a csapágyak a huzalnak. A csapágyak a terelőhengernek nyomják huzalt, így hozva létre köztük a szorítást.

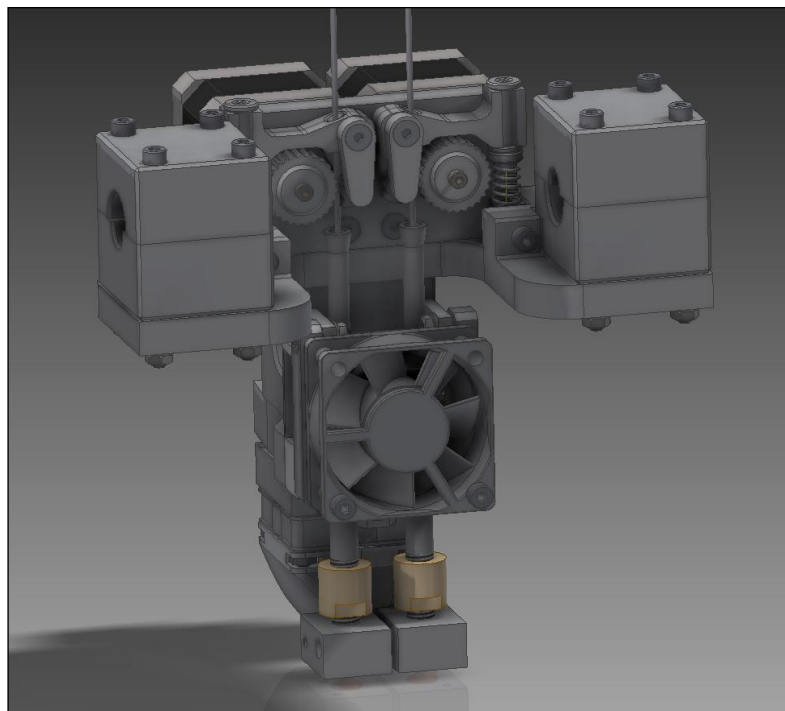
8.1.2 Az extrúder-fej kialakítása

Mivel a behajtó-egység kialakításánál már az extrúderek tengelyének egymástól mért távolsága is meghatározásra került, ezen méreteket felhasználva kezdtük meg egy tartó felépítését.

Fontos szempontok voltak:

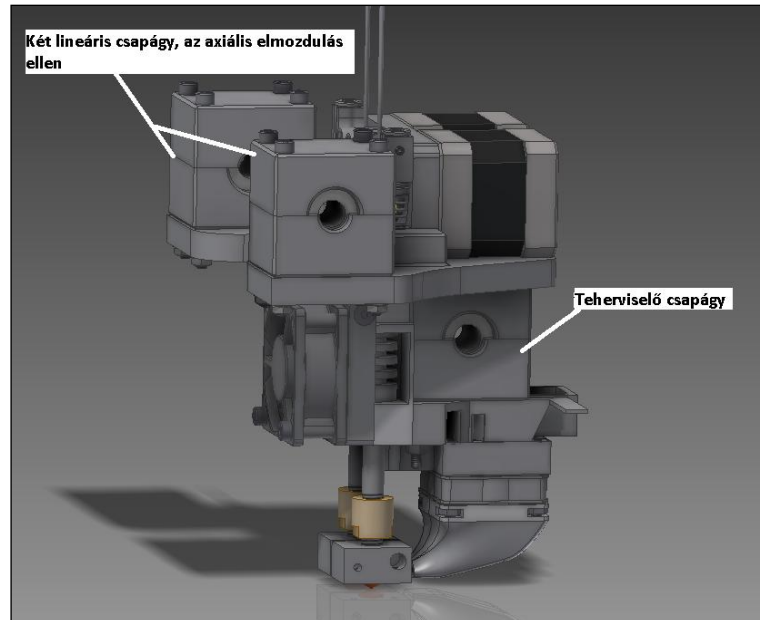
- A méretek minimalizálása,
- A lineáris csapágyak elhelyezése,
- A hűtés biztosítása a fűtött egységgel kapcsolatban lévő elemek védelmére
- A vezető szíj feszességének könnyű állíthatósága

Minden elvárást figyelembe tartva terveztük meg az extrúder-fej egységet (26. ábra), amelynek kialakítása számos részletmegoldással teljesíti, a pontos megvezetést, gyors anyagáramlást és a hűtés biztosítását egyaránt.



26. ábra – Az extrúder-fej egység

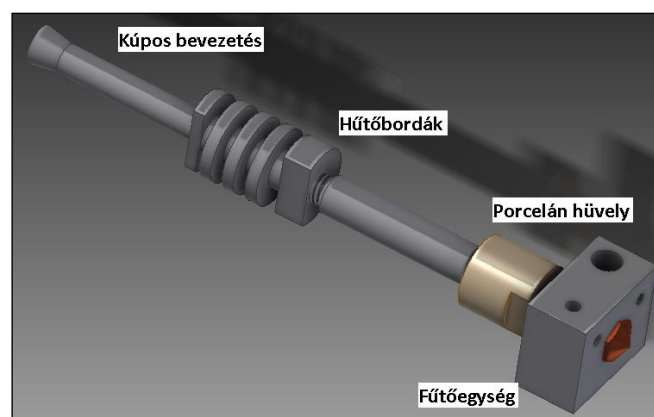
A pontos megvezetés és az alkatrészek teherbírásának érdekében a vezető lineáris csapágyak tengelyvonalait eltoltuk, így elérve, hogy ameddig az egyik a motor terhét viseli, a másik kettő a keresztirányú axiális elmozdulást akadályozza meg. Az elrendezést a 27. ábra mutatja.



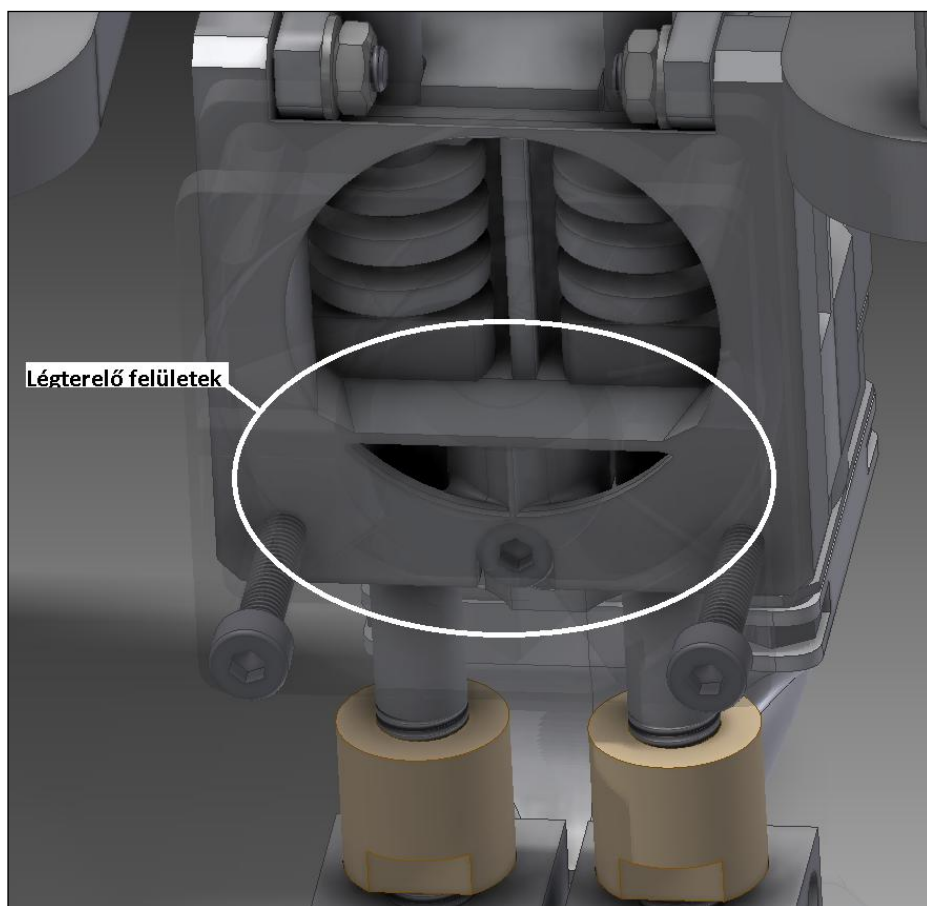
27. ábra – A lineáris csapágyak elrendezése a szerkezeten

A hűtést többféleképpen valósítottuk meg:

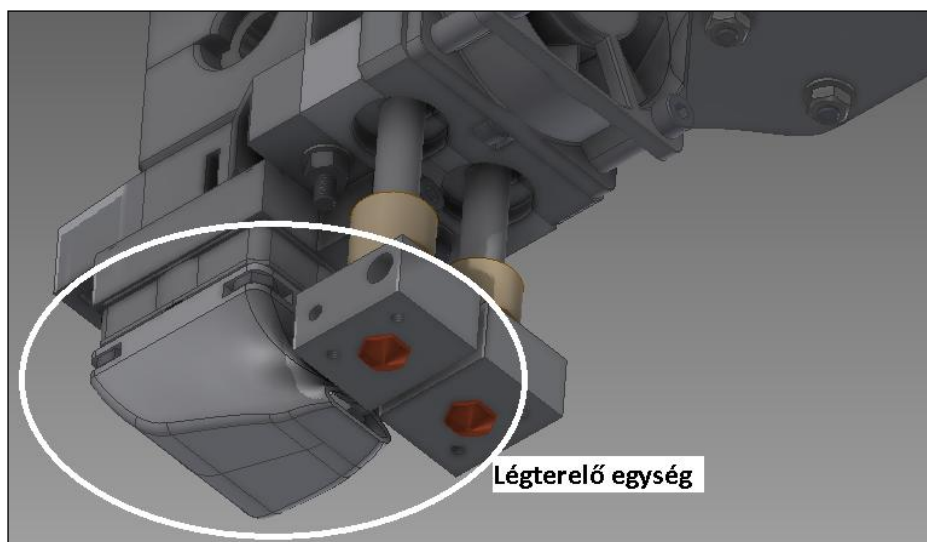
- Szabványos ventilátorokat alkalmaztunk
- A fűtött egységet porcelán hüvelyekkel választottuk el, így is gátolva a visszavezető hőáramot (28. ábra)
- Hűtőbordákat alakítottunk ki az extrúder szárán, amit több darabból szerelhetünk össze, a könnyű tisztántartás érdekében. (28. ábra)
- A levegőt a kívánt helyre terelő felületeket képeztünk ki az extrúdereket tartó elemen, így védve azt a hőhatástól (29. ábra)
- A tárgyasztalon, már kinyomtatott anyag azonnali hűtésére egy, áramlástanilag ideális felülettel rendelkező légterelőt terveztünk (30. ábra)



28. ábra – Az extrúder felépítése



29. ábra – Légterelő felületek kialakítása az extrúderék hűtésére

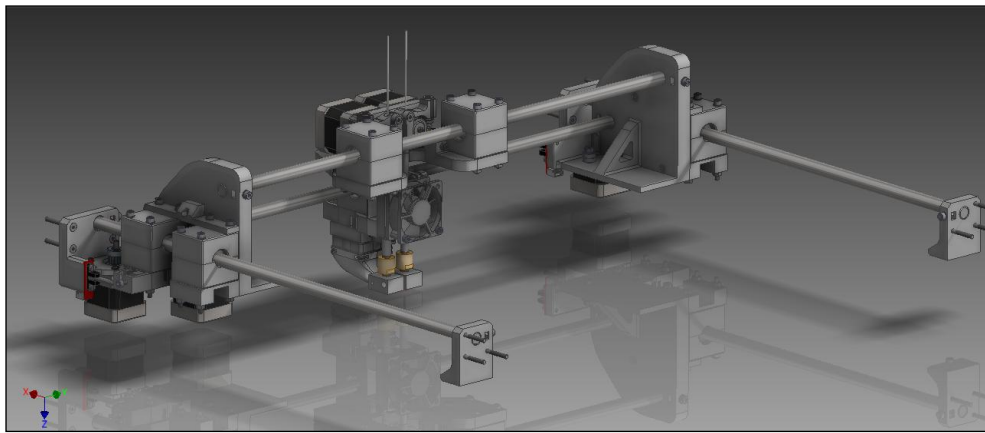


30. ábra – Légterelő egység a szálanyag megszilárdítására

8.2 Y-mozgás megvalósítása az új extrúder-fej egységgel

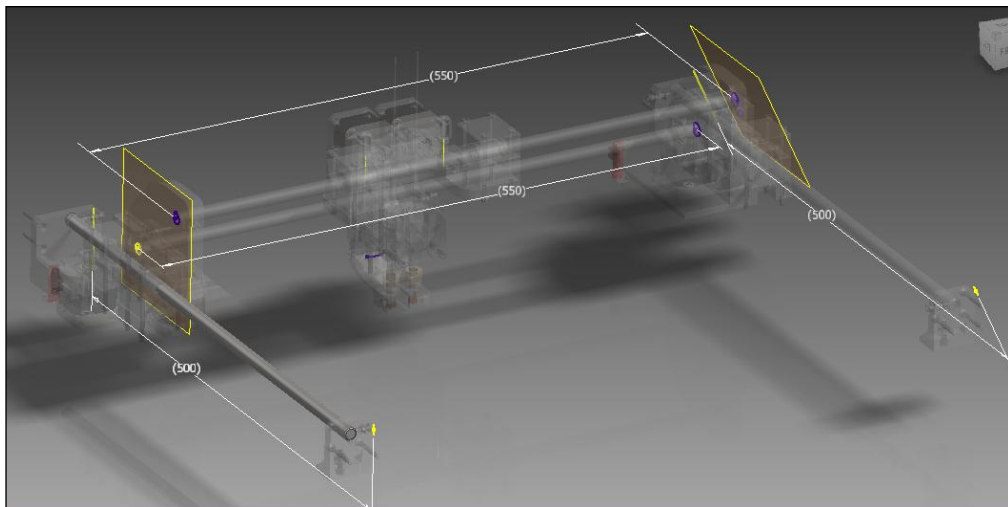
A konstrukció legnagyobb kihívása a fej két tengelyen történő mozgatása volt. Célunk egy olyan parametrizálható munkatér létrehozása, amely felváltja az asztal mozgását és a kívánt igényeknek megfelelő nyomtatható terület alkotható bizonyos értékek megváltoztatásával. Ezt úgy értük el, hogy a lineáris elemeket az X-tengelyen is köszörült rudakon vezetett lineáris csapágyakra cseréltük. Az Inventor 2013Pro tervező szoftverben egy olyan összeállítási rajzot készítettünk a modelltől (31. ábra), ahol a rudak méretét átírva az egész konstrukció frissül így mindenki a saját igényei szerint állíthatja be a nyomtatható terület lefedettségét.

További lényeges szempont volt, hogy a nyomtatóegység könnyen rögzíthető legyen a vázszerkezethez, ezért az X-tengely mindkét végén 3-3 pontban felcsavarozható.



31. ábra – A nyomtató egység összeállítási rajza

A méret szerinti parametrizálás mind az X, mind az Y tengelyen működik, a megfelelő rudak méretváltoztatásával. A 32. ábrán látható ennek módja.



32. ábra – A munkatér parametrizálása a vezetőrudak méretének megadásával

Az asztal a változtatások után már csak süllyed, azaz Z-irányban végez mozgást. Így elérhető, hogy minimális konstrukciós méretváltozás mellett számottevő legyen a nyomtatható terület nagysága. Továbbá az asztal könnyebben viseli a nyomtatott darab súlyát

8.3 A Szíjfesztítés

3.) átfűzzük a motor tengelyén

HORDÓZÓ ELEM

SZÍJ

2.) átfűzzük a csapágyon

1.) beakasztjuk (rögzítjük) a szíjat a profilba

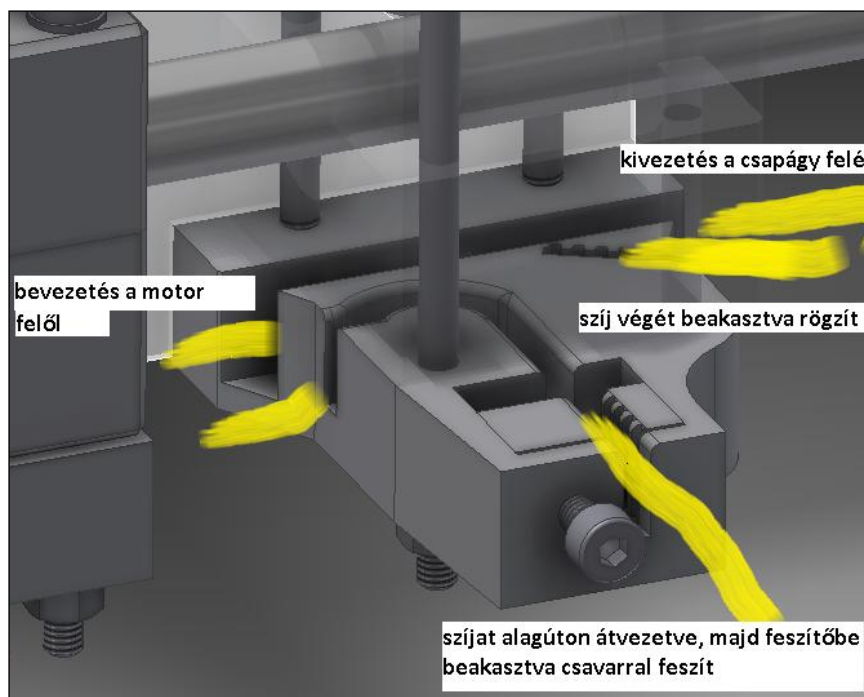
4.) befűzzük az alagútba

5.) beakasztjuk a szíjat a feszítő fogprofiljába

6.) csavar segítségével állítjuk a szíjfeszesességet

36

Az általunk tervezett módszer leegyszerűsíti a karbantartást és a kalibrációt egyaránt. A 35. ábrán 3D-ben is feltüntettük a rendszer lényegét.



35. ábra – A szíjfeszítés bemutatása a 3D modellen

9. Összegzés

A tudományos diákköri munkánk során a gyors prototípusgyártás jelenlegi legelterjedtebb technológiáiban mélyíthettük el a tudásunkat. Megismerkedtünk a 3D nyomtatás technikáival, a kezdetektől a csúcstechnikáig. Betekintést nyerhettünk a 3D szkennelés módszereibe, aminek segítségével rekonstruáltunk egy már meglévő, dokumentáció nélküli konstrukciót. Megépítettük a saját FDM nyomtatónkat, méréseket végeztünk rajta, majd a hibáiból tanulva terveztünk egy minden tekintetben egyedi nyomtatóegységet.

További célkitűzés lehet, a nyomtató egységet felhasználva egy zárt, szabályozható hőmérsékletű munkatérrel rendelkező komplett 3D nyomtató tervezése és annak megépítése.

Az FDM technológia térhódítása és beszivárgása háztartásunkba mindennapos téma. Az általunk tervezett parametrizálható nyomtatóegység egyszerű összeszerelése, változtatható munkaterülete és könnyű karbantartása miatt remek részegysége lehet egy meglévő konstrukciónak vagy egy komplett új gépnek.

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani tudományos diákköri dolgozatunk konzulensének, Fodor Antalnak segítségéért és útmutató tanácsaiért. Köszönjük Molnár Istvánnak, hogy szakmai tudásával hozzájárult a tervezés sikerességéhez. Továbbá köszönjük a tanszék dolgozóinak a közös munka lehetőségét.

Kun Krisztián

.....

Kecskemét, 2014

Miskolczi István

.....

Kecskemét, 2014

11. Irodalomjegyzék

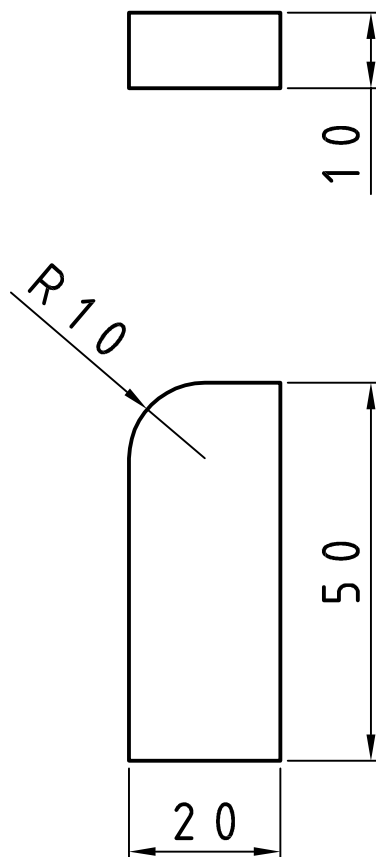
- [1.] Dr. Kodácsy János – Pintér Zsuzsanna – Pokriva Péter: Reverse Engineering módszerrel előállított felületek minősége –GAMF 2003
- [2.] Mátyási Gyula – CAM Tankönyv – BME, ÓE, SZIE Egyetemi tananyag 2012, 615-634.o
- [3.] Kovács J.G., Falk Gy.– RPT/RP, BME Polimertechika Tanszék, Budapest 2006, 1-13.o
- [4.] Kovács, J. G.: Gyors prototípus eljárások II. Gyakorlati megvalósítások, Műanyag és Gumi, 39, 2002, 103-107.o
- [5.] <http://shop.felixprinters.com/> 2014. 08.10.
- [6.] <http://www.nagyformatumu.hu/hu/3d-nyomtato/rapman-32-3d-nyomtato-epitokeszlet> 2014.09. 12
- [7.] <http://www.dimensionprinting.com/> 2014.09. 12.
- [8.] <http://www.varinex.hu> 2014.10 01.
- [9.] <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters> 2014.09. 12
- [10.] http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing 2014.09. 12
- [11.] Falk György: A Rapid Prototyping és 3D-s szkennelés a terméktervezés szolgálatában, 2004. 98-99.o
- [12.] <http://www.arduino.cc/> 2014.10 01.

12. Mellékletek jegyzéke

- 1. melléklet: Mérendő próbatest műhelyrajza
- 2. melléklet: Mitutoyo koordináta mérőgép jegyzőkönyve
- 3. melléklet: Síklapúság mérési eredmények (1-6)

13. Hivatkozás jegyzék

-
- [1] Chuck Hull – http://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull (2014. 10. 04.)
 - [2] Nd: YVO4 – Kodácsy János – Gépgyártás 185.o (2010)
 - [3] HeNe – <http://www.repairfaq.org/sam/laserchn.htm> (2014. 10. 20.)
 - [4] Dr. C. Deckard – http://en.wikipedia.org/wiki/Carl_R._Deckard (2014. 10. 04.)
 - [5] Dr. Joe Beaman – <http://3dprintingindustry.com/> (Interjú, 2014. 10. 05.)
 - [6] CO2 Lézer - Kodácsy János – Gépgyártás 186.o (2010)
 - [7] S. Scott Crump – http://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump (2014.10.15)
 - [8] Mátyási Gyula – CAM Tankönyv (2012)
 - [9] Dr. Kodácsy János – Pintér Zsuzsanna – Pokriva Péter: Reverse Engineering módszerrel előállított felületek minősége (2003)
 - [10] PLA – http://www.ena-hu.com/biologiai_lebomlas.php (2014. 10. 10.)



Ellenőr:	Megnevezés: Mérendő próbatest	Méret:	KF-GAMF
		1:1 Anyag: PLA	
Dátum: 2014. 10. 30.	Név: Felix 2.0	Tömeg:	Rajzszám: 001.kk



Felhasználó / Operator:

Admin

Dátum / Date:

2014.10.21.

Megrendelő

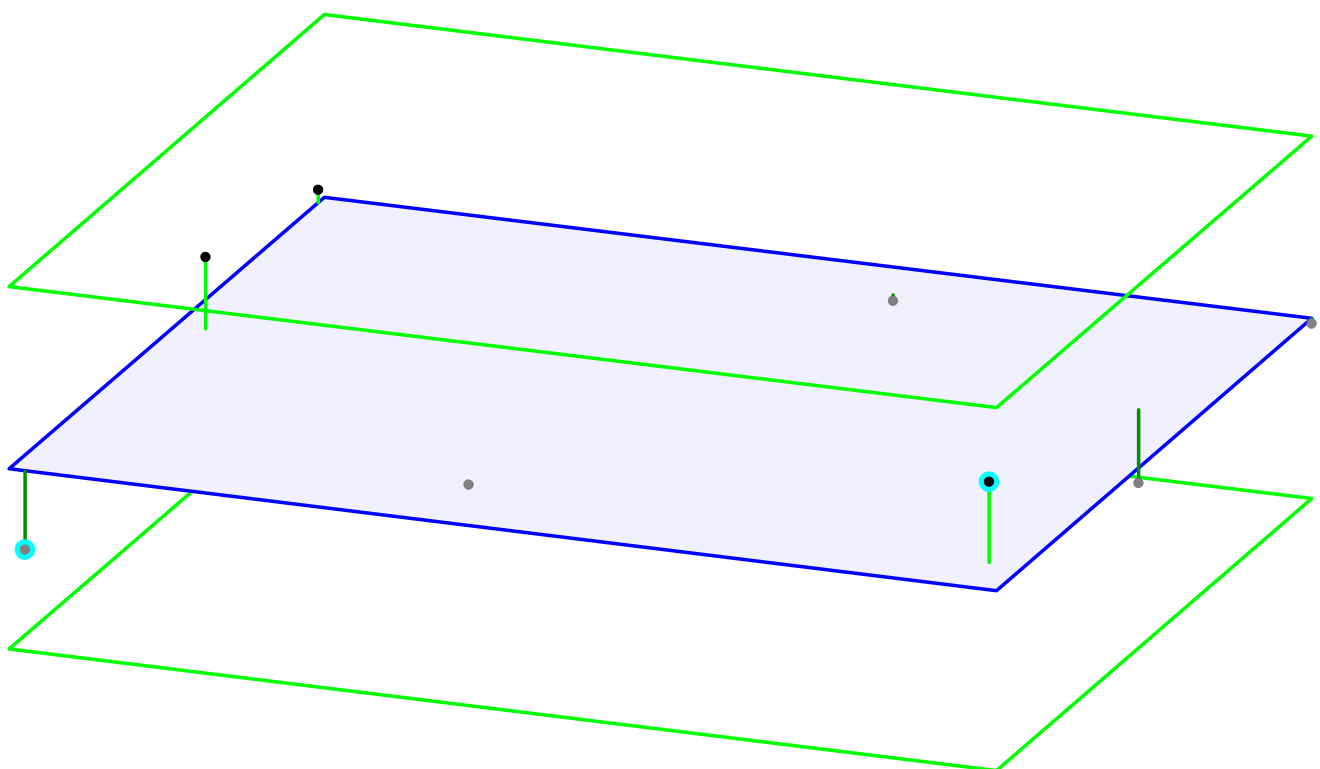
Sorszám

Hőmérséklet

Mérőgép típusa

Elem megnev. FeatureName	Névleges Nominal	Felső tűrés Upper Tol.	Alsó tűrés Lower Tol.	Mért érték Actual	Eltérés Diff.	Hiba Error
1 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0220	0.0220	***---
1 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0220	0.0220	***---
1 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0220	0.0220	***---
1 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0220	0.0220	***---
6 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0569	0.0569	--->>
5 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0520	0.0520	--->>
3 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0937	0.0937	--->>
3 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0925	0.0925	--->>
2 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0661	0.0661	--->>
1 - Síklapúság	0.0000	0.0500	0.0000	0.0220	0.0220	***---
henger - Hengeresség	0.0000	0.1000	0.0000	0.0636	0.0636	****--
Szög 1-4 - Szög	90.0000	0.5000	-0.5000	90.3352	0.3352	-----***--
Szög 3-2 - Szög	90.0000	0.5000	-0.5000	90.0085	0.0085	-----*-----
Szög 2-4 - Szög	90.0000	0.5000	-0.5000	89.9742	-0.0258	-----*-----
Szög 1-3 - Szög	90.0000	0.5000	-0.5000	89.6970	-0.3030	--*****-----
6 - Párhuzamosság	0.0000	0.5000	0.0000	0.0602	0.0602	**-----
1 - Párhuzamosság	0.0000	0.5000	0.0000	0.1214	0.1214	**-----
3 - Párhuzamosság	0.0000	0.5000	0.0000	0.1462	0.1462	**-----

Felhasználó név	Admin	Dátum és pontos idő	2014.10.21. 11:47
Megrendelő		Sorszám	
Hőmérséklet		Mérőgép típusa	
Munkadarab			

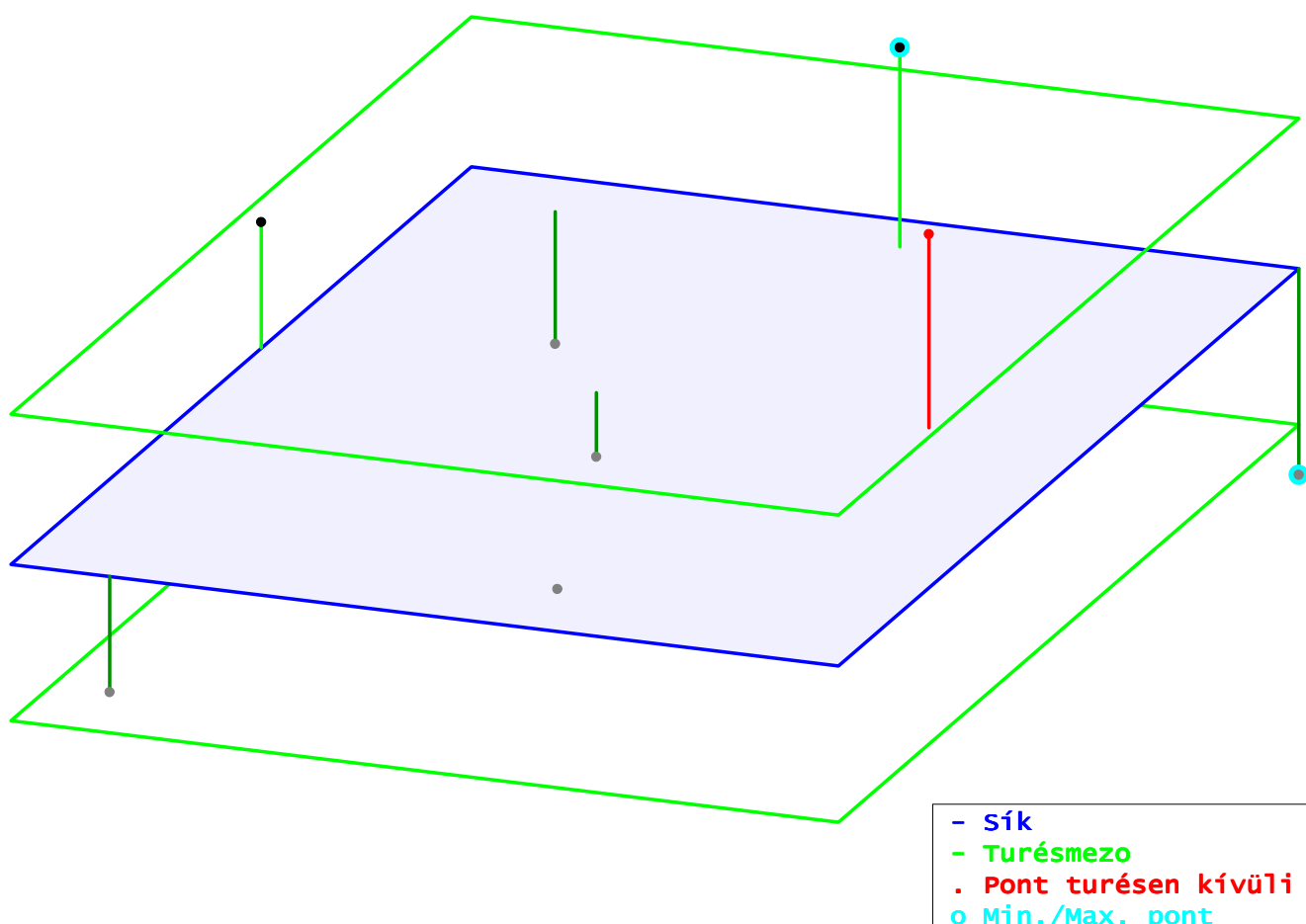


- Sík
- Turésmezo
• Pont turésen kívüli
o Min./Max. pont

[mm] | Nagyítás: 1014

Turésmezo	0.0500	Felső türés	0.0252
		Alsó türés	-0.0248
		Pontszám	8
		Min./Max. pont	6 / 1
		Szórás * 4	0.0378
		Síklapúság	0.0220
Min. táv	-0.0108	Max. táv.	0.0112
X	310.2345	X	309.9016
Y	278.6198	Y	285.1527
Z	128.7186	Z	129.0921

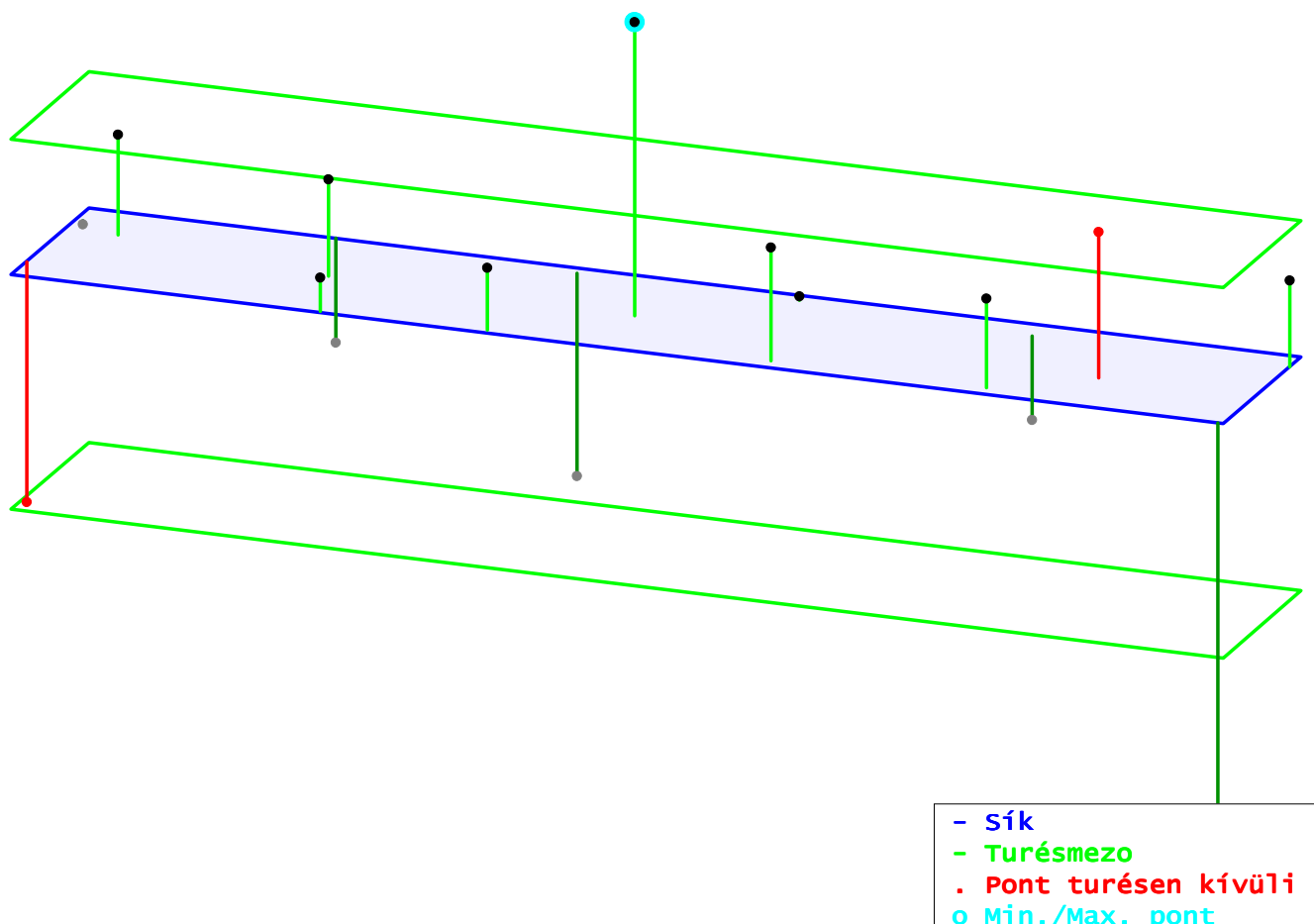
Felhasználó név	Admin	Dátum és pontos idő	2014.10.21. 11:46
Megrendelő		Sorszám	
Hőmérséklet		Mérőgép típusa	
Munkadarab			



[mm] | Nagyítás: 868

Turésmezo	0.0500	Felső türés	0.0245
		Alsó türés	-0.0255
		Pontszám	8
		Min./Max. pont	1 / 2
		Szórás * 4	0.1204
		Síklapúság	0.0661
Min. táv	-0.0336	Max. táv.	0.0326
X	263.7142	X	264.2078
Y	285.3299	Y	282.2742
Z	105.9337	Z	105.5589

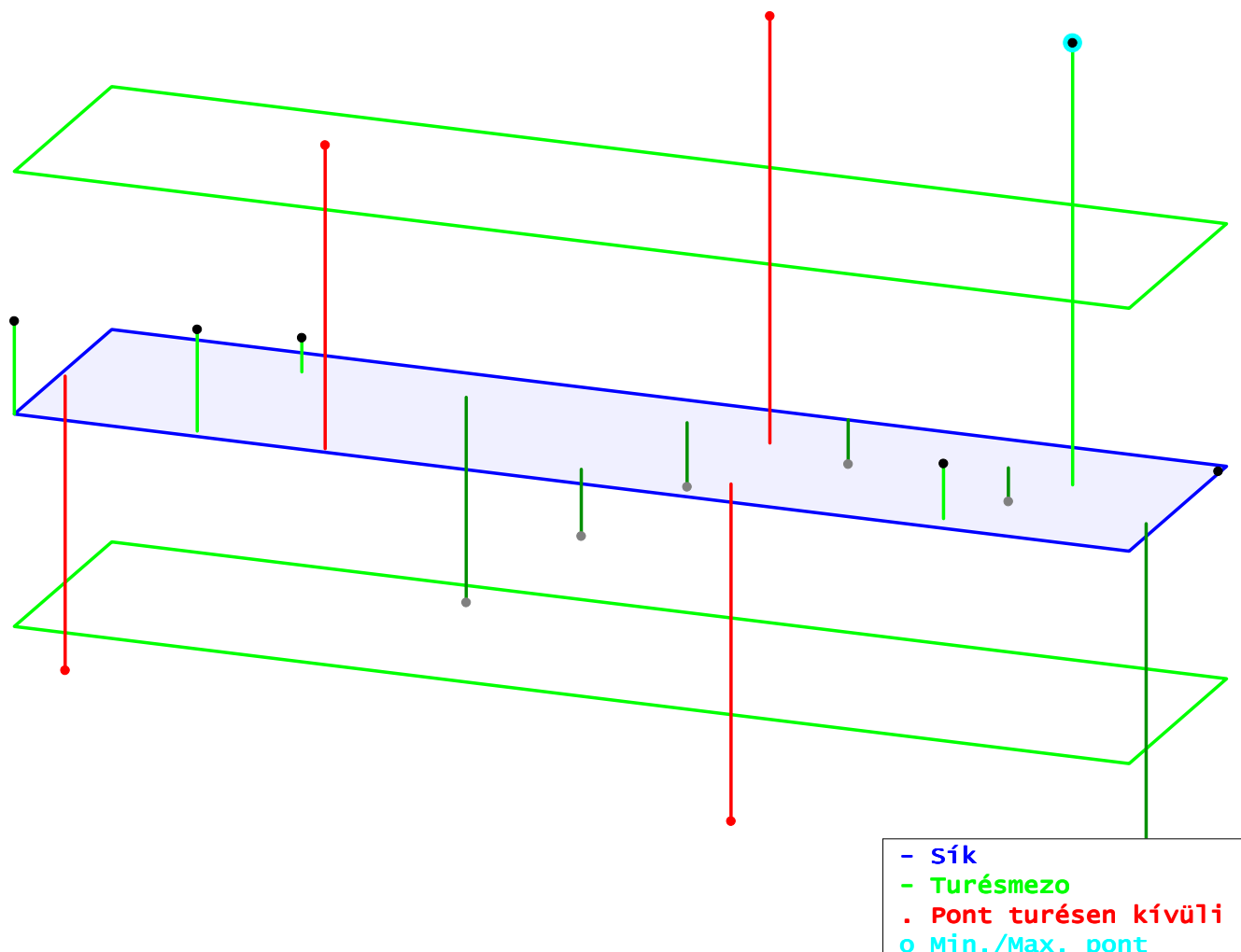
Felhasználó név	Admin	Dátum és pontos idő	2014.10.21. 11:46
Megrendelő		Sorszám	
Hőmérséklet		Mérőgép típusa	
Munkadarab			



[mm] | Nagyítás: 1046

Turésmezo	0.0500	Felső tűrés	0.0184
		Alsó tűrés	-0.0316
		Pontszám	16
		Min./Max. pont	1 / 10
		Szórás * 4	0.0983
		Síklapúság	0.0925
Min. táv	-0.0529	Max. táv.	0.0396
X	288.9263	X	276.3518
Y	277.9573	Y	280.5822
Z	132.4282	Z	121.1276

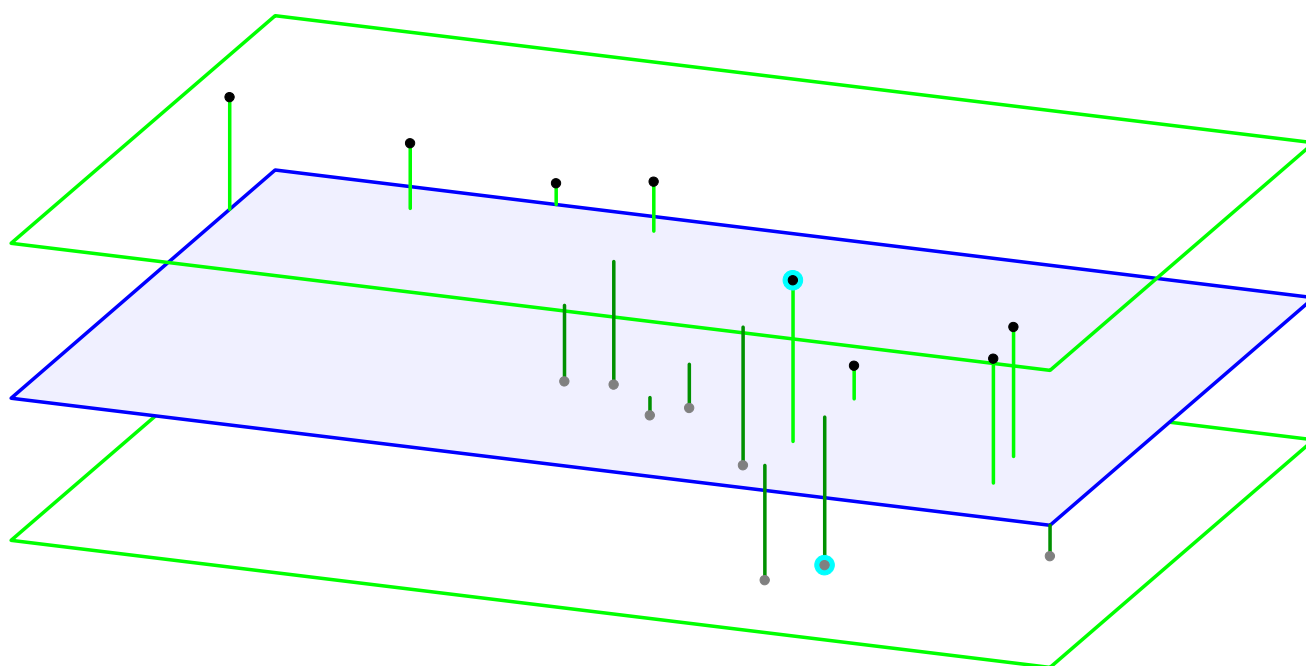
Felhasználó név	Admin	Dátum és pontos idő	2014.10.21. 11:45
Megrendelő		Sorszám	
Hőmérséklet		Mérőgép típusa	
Munkadarab			



[mm] | Nagyítás: 1363

Turésmezo	0.0500	Felső tűrés	0.0267
		Alsó tűrés	-0.0233
		Pontszám	16
		Min./Max. pont	2 / 5
		Szórás * 4	0.1167
		Síklapúság	0.0937
Min. táv	-0.0452	Max. táv.	0.0485
X	310.4210	X	308.6006
Y	280.4019	Y	282.2056
Z	125.9793	Z	124.5400

Felhasználó név	Admin	Dátum és pontos idő	2014.10.21. 11:43
Megrendelő		Sorszám	
Hőmérséklet		Mérőgép típusa	
Munkadarab			

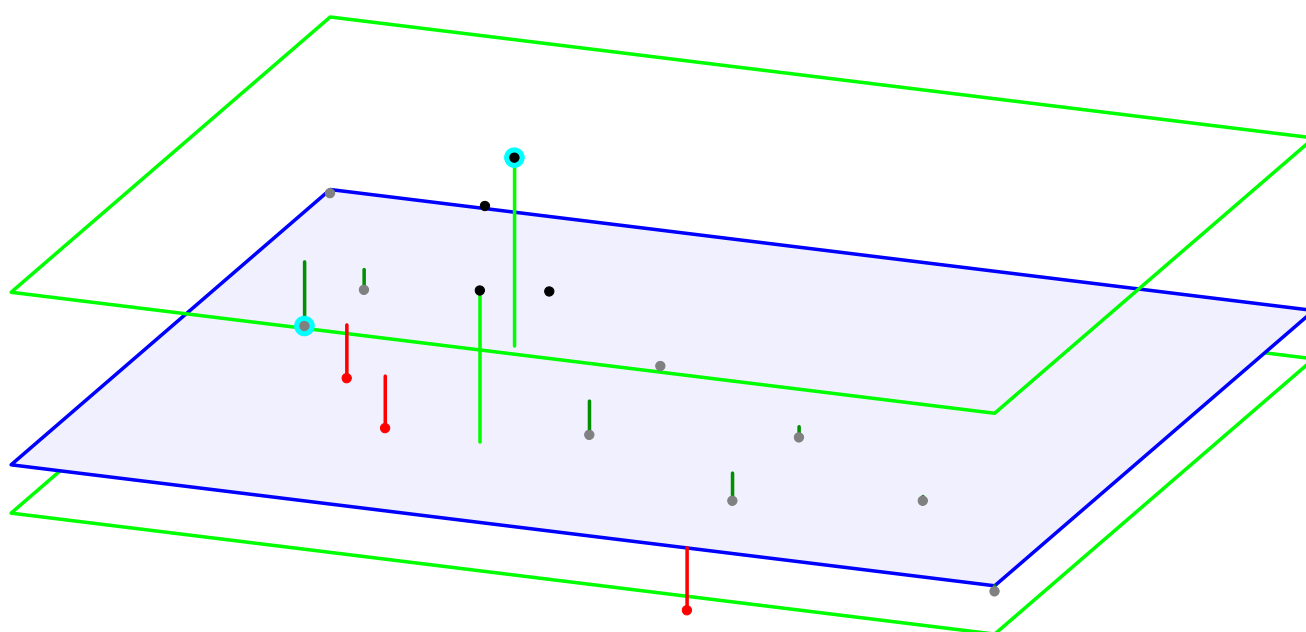


- sík
- Turésmezo
• Pont turésen kívüli
o Min./Max. pont

[mm] | Nagyítás: 831

Turésmezo		0.0500	Felső tűrés	0.0261
			Alsó tűrés	-0.0239
			Pontszám	16
			Min./Max. pont	11 / 12
			Szórás * 4	0.0740
			Síklapúság	0.0520
Min. táv	-0.0249		Max. táv.	0.0271
X	281.2017		X	281.3300
Y	287.2632		Y	287.3549
Z	115.1295		Z	112.5887

Felhasználó név	Admin	Dátum és pontos idő	2014.10.21. 11:41
Megrendelő		Sorszám	
Hőmérséklet		Mérőgép típusa	
Munkadarab			



- sík
- Turésmezo
- Pont turésen kívüli
o Min./Max. pont

[mm] | Nagyítás: 618

Turésmezo	0.0500	Felső tűrés	0.0390
		Alsó tűrés	-0.0110
		Pontszám	16
		Min./Max. pont	5 / 7
		Szórás * 4	0.0685
		Síklapúság	0.0569
Min. táv	-0.0144	Max. táv.	0.0425
X	295.7449	X	289.6133
Y	276.9925	Y	276.9674
Z	129.3470	Z	125.8019