

SZAKDOLGOZAT

SARUDFALVI DÁNIEL
Gépészmérnöki szak

Gödöllő
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnök Szak

3D mérés automatizálás

Belső konzulens: Dr. Földi László József
egyetemi docens

Külső konzulens: Liptói Tamás
Gépészmérnök

Készítette: **Sarudfalvi Dániel**
HJVWCP
levelező tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet

Gödöllő

2023

MŰSZAKI INTÉZET GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Mérnökinformatika specializáció

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Sarudfalvi Dániel (HJWVCP)

részére

A szakdolgozat címe:

3D mérés automatizálás

Feladatkiírás:

A téma jelentőségének bemutatása. Munkadarab automatizált mérésének megtervezése és elvégzése. A munkadarabhoz befogó készülék tervezése. Felhasznált eszközök és szoftverek. A tapasztalatok leírása, összegzése, értékelése. Gazdasági számítások, megtérülés.

Közreműködő tanszék: Mechatronika Tanszék

Külső konzulens: *Liptói Tamás gépészmérnök*, 3D Infotech Kft, 2100 Gödöllő, Méhész köz 5.

Belső konzulens: *Dr. Földi László*, MATE, Műszaki Intézet, Mechatronika Tanszékvezető

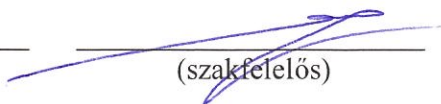
Beadási határidő: 2023. május hó 3. nap

Gödöllő, 2023. április hó 28. nap

Jóváhagyom



(tanszékvezető)



(szakfelelős)

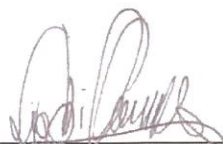
Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. április hó 25. nap



(külső konzulens)

Tartalom

1. Bevezetés	5
1.1. Téma jelentősége.....	5
1.2. Célkitűzés	6
1.3. A cég bemutatása.....	6
2. Irodalomfeldolgozás	7
2.1. A mérőrendszer bemutatása.....	7
2.2. A strukturált fény szkennelők bemutatása.....	7
2.2.1. A strukturált fény szkennelés elve	9
2.3. Az UR3e robot bemutatása	10
2.4. Az UMA Smart Desktop forgóasztal bemutatása	13
2.5. A felhasznált szoftverek	14
2.5.1. Streamline	14
2.5.2. PolyWorks	15
3. A mérendő tárgy bemutatása	16
3.1. A tárgy felfogatásának megtervezése	17
3.2. A befogó megtervezése	18
4. Mérés.....	21
4.1. A mérés megtervezése	22
4.1.1. A mérés előkészítése.....	23
4.1.2. A mérés környezeti feltételei	24
4.2. A mérés menete.....	25
4.2.1. A robot programozása	27
4.2.2. A szkennelési paraméterek.....	28
4.2.3. A forgóasztal beállításának paraméterei	34
4.3. Szoftveres kiértékelés	35

4.3.1.	Szkennelt eredmény CAD modellre illesztése	36
4.3.2.	Alak -és helyzettűrések	39
4.3.3.	Mérési riport készítése.....	39
5.	Eredmények.....	41
5.1.	A mérés kiértékelése.....	41
5.1.1.	A kézi és automatizált mérés összehasonlítása	41
6.	Gazdasági számítások.....	43
6.1.	A bekerülési -és megtérülési költség számítása	43
7.	Összegzés	45
8.	Summary	46
9.	Nyilatkozat.....	47
10.	Irodalomjegyzék.....	48
11.	Mellékletek.....	50

1. Bevezetés

Ebben a fejezetben bemutatom a szakdolgozatomban tárgyalt problémát és annak jelentőségét. Munkám során ki fogok térni a 3D mérés automatizálás részleteire, mintegy a téma mélységeinek és szükségességének megértését elősegítendő.

1.1. Téma jelentősége

Napjainkban egyre komolyabb tendenciát mutat a technológiai fejlődés, mely az élet minden területére kihatással van. Ehhez a fejlődéshez az iparban megjelent, illetve folyamatosan megjelenő innovációk hatalmas mértékben hozzájárulnak. Az általam választott téma is ezen fejlődést kívánja reprezentálni, mind a felhasznált eszközök, mind a felhasznált szoftverek a ezt a célt szolgálják. A mai igények ipari oldalról egyre nagyobb precizitást igényelnek a költség- és időhatékonyság és környezettudatosság mellett. Ezeket alátámasztja az is, hogy a legszigorúbb szabályozások és szabványok az iparra jellemzőek (pl.: [1] ISO 9001 – Minőségirányítási Rendszer szabványa, [2] ISO 14001 – Környezetirányítási Rendszerek szabványa, [3] IATF 16949 – Minőségirányítási Rendszer az Autóiparban). Ezen folyamatok megkönnyítése és ismételhetősége. Robotokra vonatkozó szabvány: [4] MSZ EN ISO 10218-1 – Robotok és robotrendszerek: Ipari robotrendszerek biztonsági követelményei. az ipari robotok használatával kapcsolatos követelményeket és útmutatásokat határozza meg a vele járó biztonságos tervezésre, a védőintézkedésekre és a használati útmutatóra. Ismerteti a robotokkal kapcsolatos alapvető veszélyeket, és megadja azokat a követelményeket, amelyekkel az ilyen veszélyekkel kapcsolatos kockázatok megszüntethetők vagy csökkenthetők. [5] MSZ EN ISO 10218-2 – Robotrendszerek és összehangolásuk. Az ipari robotok és ipari robotrendszerek, valamint az ipari robotcellák összehangolásának biztonsági követelményeit határozza meg az ISO 10218-1-ben meghatározottak szerint. Az összehangolás a következőket foglalja magában: a) az ipari robotrendszer vagy -cella tervezését, gyártását, telepítését, üzemeltetését, karbantartását és leszerelését; b) az ipari robotrendszer vagy -cella tervezésére, gyártására, telepítésére, üzemeltetésére, karbantartására és leszerelésére vonatkozó szükséges információkat; c) az ipari robotrendszer vagy cella részegységeit.

1.2. Célkitűzés

Munkám célja, hogy egy teljes mérési folyamat automatizálását megtervezzem és végrehajtsam. Ehhez a továbbiakban bemutatom a használt eszközöket, megtervezem a mérendő tárgy mérését és befogását a kapott eredményeket pedig elemezni fogom és összehasonlítom az automatizálás nélküli folyamattal. Az ehhez felhasznált mérőrendszert a továbbiakban részletesen bemutatom. A méréseket végre fogom hajtani a mérőrendszer nélkül is, mintegy szemléltetés gyanánt, az automatizált mérés igényének alátámasztására.

1.3. A cég bemutatása

A 3D Infotech Inc. 2008-ban kezdte meg működését mérés automatizálás területén a Kaliforniai Irvine-ban. 2012-ben nyílt meg a magyarországi iroda Gödöllőn, ahol eleinte szoftverfejlesztéssel foglalkozott a cég, a későbbiekben ez géptervezéssel, gépfejlesztéssel egyedi -és kissorozatgyártással, egyedi mérési megoldásokkal -és konzultációval bővült ki. Későbbiekben a megnövekedett igények kielégítése végett a cég további irodákat nyitott: Kínában és Mexikóban, további szoftverek fejlesztésére és tesztelésére nyíltak irodák. A cég jelenleg 70 munkatársat foglalkoztat világszerte.



1. ábra: 3D Infotech termékpaletta
(forrás: www.3dinfotech.com)

2. Irodalomfeldolgozás

Ebben a fejezetben a dolgozathoz felhasznált irodalmakat és eszközöket fogom bemutatni. Olyan információkat fogok itt ismertetni, melyek nagy mértékben segítik a későbbi feladat átfogó megértését.

2.1. A mérőrendszer bemutatása

Az általam használt mérőrendszer magában foglal egy LMI Gocator 3210 strukturált fény szkennert egy Universal Robots UR3e kobotot és egy UMA Smart Desktop forgóasztalt. Az összepárosított mérőrendszer egy 3D Infotech Kft. által fejlesztett Streamline nevű integrációs szoftvert használva fog együtt működni, a kiértékelés pedig az InnovMetric co. PolyWorks szoftverében fog történni.



2. ábra: A mérőrendszer

2.2. A strukturált fény szkennert bemutatása

A használt mérőeszköz egy LMI Gocator 3210-es megnevezésű kék LED-del működő strukturált fény szkennert. Az LMI Gocator család 3200-s és 3500-s családjába a Snapshot ('pillanatkép') szenzorok családjába tartozik. Az alábbi képen látható a szkennert.



ábra 3: LMI Gocator 3210 Snapshot ('pillanatkép') szenzor (forrás: www.lmi3d.com)

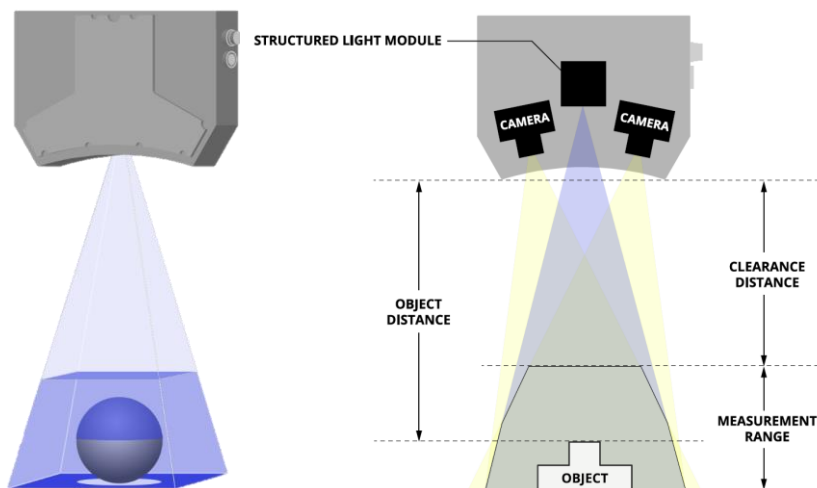
Az alábbi táblázatban a mérőeszköz műszaki paramétereit fogom bemutatni:

1-es számú táblázat: A strukturált fény szkennerek műszaki specifikációi

LMI Gocator 3210 műszaki paramétere	
maximális szkennelési sebesség	4 Hz
Kamerák felbontása	2 megapixel
Clearance Distance*	165.0 mm
Mérési tartomány	110.0 mm
Látómező*	71.0 mm x 98.0 mm – 100.0 mm x 154.0 mm
XY felbontás*	0.060 mm (CE*) - 0.090 mm (FE*)
VDI/VDE Accuracy (pontosság)	0.035 mm
Méret	49 mm x 146 mm x 190 mm
Súly	1.7 kg
Fényforrás	kék LED (465 nm)
Bemeneti feszültség	+24 - +48 VDC (50 Watt)
Burkolat	tömített alumínium, IP67
Üzemeltetési hőmérséklet	0 – 45 °C
Tárolási hőmérséklet	-30 – 70 °C

A *-al jelölt értékeket a 2.2.1 A strukturált fény szkennelés elve bekezdés alatt részletezem

2.2.1. A strukturált fény szkennelés elve



ábra 4: Strukturált fény szkennelés elve

Amint az ábrán is látható, a strukturált fény szkennер a tárgyra fényt vetítve készít képet, mely alapján képes megállapítani a szenzor és a darab közötti távolságot és ez alapján alkot egy részletet az adott tárgyról. A könnyebb megértés jegyében néhány fogalmat tisztázok az alábbiakban:

- **Clearance Distance:** Ez tulajdonképpen egy holt tér, ezen a távolságon belül a kamera nem képes képet alkotni. Ezen a távolságon belül a két kamerának nincs megfelelő átfedése.
- **Measurement Range** (Mérési tartomány): Az a távolság, ahol a két kamera megfelelő átfedésben van. Ezen a távolságon belül képes a szenzor mérést végezni.
- **Field of View** (Látómező): A látómező az a rendelkezésre álló tér, amivel a szenzor maximálisan rendelkezik. Esetünkben ez a tér csonka gúla alakú, ennek méretei a fenti táblázatban találhatóak. Ez a méret a szenzor típusonként változó.
- **XY Resolution** (XY felbontás): A szenzor X,Y koordinátáin rögzített pontok legkisebb távolsága. A táblázatban szereplő értéknél a CE (Close End – közeli oldal) és FE (Far End – távoli oldal) a Látómezőre vonatkozóan változik.
- **Stereo Correlation** (Sztereó korreláció): A két szenzor (kamera) észleli ugyanazt a pontot a fizikai eszközön a két egyszerre alkotott kép alapján, melyek különböző szögből lettek készítve. Tekintve, hogy a pontos távolság és a két kamera közötti szög ismert, így az adott pont távolsága számítható. Ahhoz, hogy a sztereó korreláció működjön és 3D mérési pont készüljön, a pontnak mindkét kamerán láthatónak kell lennie. Ezzel a módszerrel egyszerű

geometriájú alkatrészekről pontos és megbízható eredményt kaphatunk, viszont a kitakart elemek illetve a kiálló alkatrészek bonyolítják a mérést, ilyen esetben külön figyelmet kell fordítani az adott probléma kiküszöbölésére. A strukturált fény szkennelésnél kivetített változó mintákat az alábbi képek reprezentálják:



ábra 5: Strukturált fény sűrűsödő mintázat (bal fentről jobb lentre)

A fenti képeken látható, ahogyan a szenzor különböző mintázatokat vetít a mérendő tárgyra. Ezen mintázatok alapján képes a szenzor a távolságot megállapítani: Az X és Y koordinátákat a mintázat kivetített tartományának szélessége és magassága alapján állapítja meg, a Z koordinátát pedig a mintázat tárgyon történő elhajlásából számítja ki. A kapott eredmények szoftver segítségével kerülnek kiértékelésre.

2.3. Az UR3e kobot bemutatása

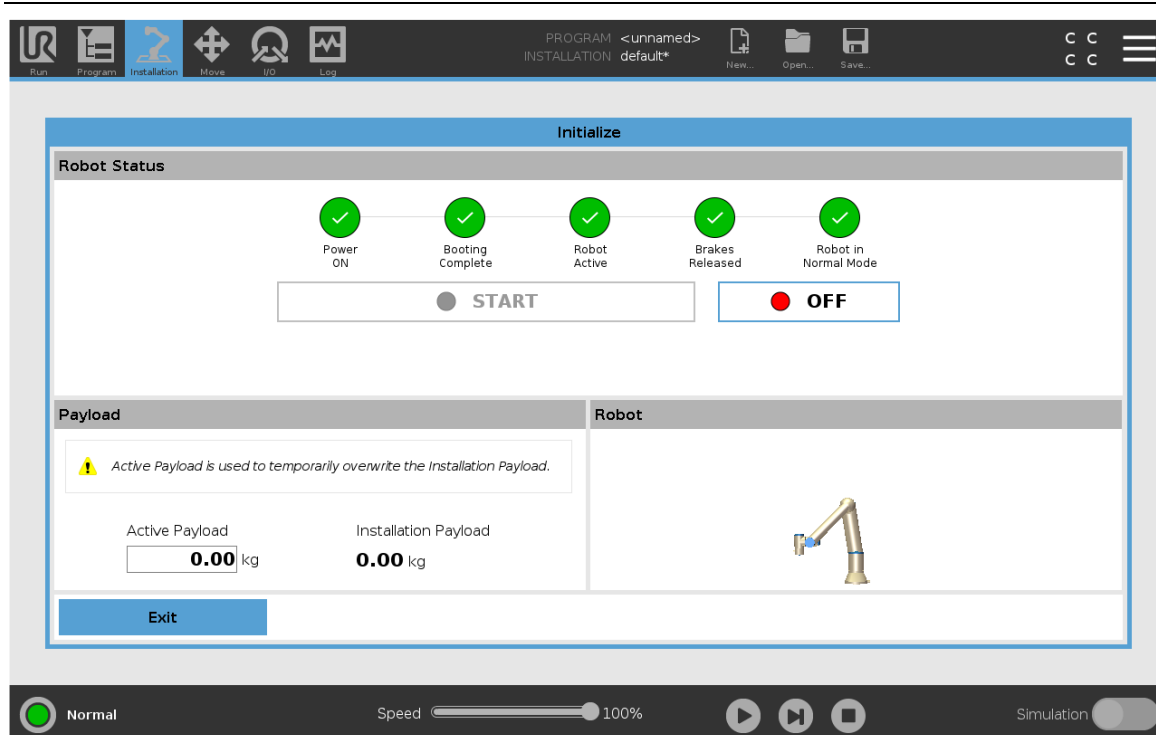
Az UR3e robot egy úgynevezett együttműködő robot, innen a kobot elnevezés (kooperatív robot), mely kis méretű asztali robot, így könnyen alkalmazható egyszerűbb feladatokra (pl.: összeszerelés, mérés stb). Mindössze 11 kg-os, de 3 kg-os terhelhetőséggel (innen a típus megnevezésben a „3” – UR3e). Minden csuklós csatlakozáson 360°-os forgástartománnyal, utolsó csatlakozása pedig végtelenített forgást biztosít. Programozása egyszerű, korábbi programozási tapasztalatot nem igényel.



ábra 4: UR3e kobot

(forrás: <https://www.universal-robots.com/hu/termékek/robot-ur3e/>)

3D-s kezelő felülete vizuálisan segít a robot pozíciójának meghatározásában, így a mozgás megtervezésében. Gyorsan beállítható, illetve üzembe helyezhető, - már a dobozból való kicsomagolás után is néhány órán belül készen áll a használatra – ezért kezd egyre népszerűbbé válni az iparban. Könnyű felépítése és programozhatósága lehetővé teszi a gyártási folyamatokba való integrálás egyszerűségét, illetve rugalmasságát – egyszerűen áthelyezhető más feladat elvégzésére. A megterhelő és monoton feladatok ellátásának kiváltására megfelelő, így ezen munkafolyamatok elvégzése helyett az alkalmazottak a fokozottabb kreativitást igénylő és jövedelmezőbb feladatok ellátására tudnak koncentrálni. Ezen jellemzőiből adódóan automatizált mérés elvégzésére is alkalmas. A mérőeszköz stabilan tartására, illetve egyedi pályák mentén történő mozgatására, a mozgás ismétlésére és ismételhetségére szükség van, ezen kritériumoknak mind eleget tesz ez a robot. Az alábbi képen látható a teach pendant kezelőfelülete. Itt visszajelzést kapunk a robot állapotáról, illetve az aktuális „Payload” azaz a robotra helyezett hasznos teherről.



ábra 3: Polyscope kezelőfelület UR3e teach pendant-en

A felső navigációs sávon a következő lehetőségek érhetők el: **Run**, azaz futtatás, itt lehet a megírt programokat és mozáspályákat lefuttatni. **Program** – itt lehet a különböző programokat megírni, illetve tárolni, melyeket a későbbiekben felhasználás vagy módosítás céljából bármikor előhívhatunk. **Installation** – itt lehet az eszközt konfigurálni, a csatlakoztatott eszközöket beállítani, a robot és a csatlakozások határértékeit beállítani stb. **Move** – itt lehetséges tengelyek mentén és körül manuálisan elmozgatni a robotot illetve itt kapunk az aktuális pozíciókról visszajelzést. **I/O** – bemenetek és kimenetek konfigurációja itt történik. **Log** - itt naplózza a korábbi műveleteket a robot. Amennyiben pl. hiba történik, arról itt található bejegyzés.

2.4. Az UMA Smart Desktop forgóasztal bemutatása

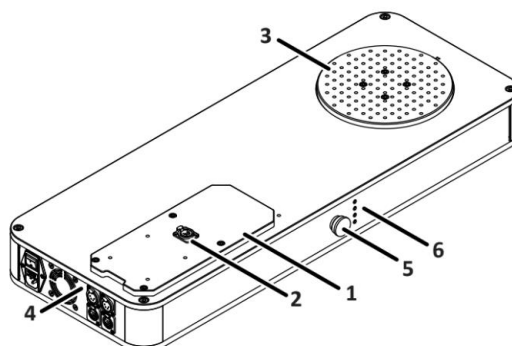


Figure 5-4 USD-R5-80 Overview

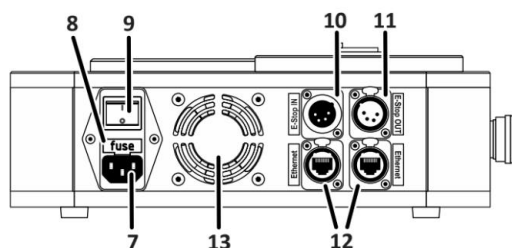


Figure 5-5 USD-R5-80 Connections Panel

ábra 4: Az UMA Smart Desktop felépítése

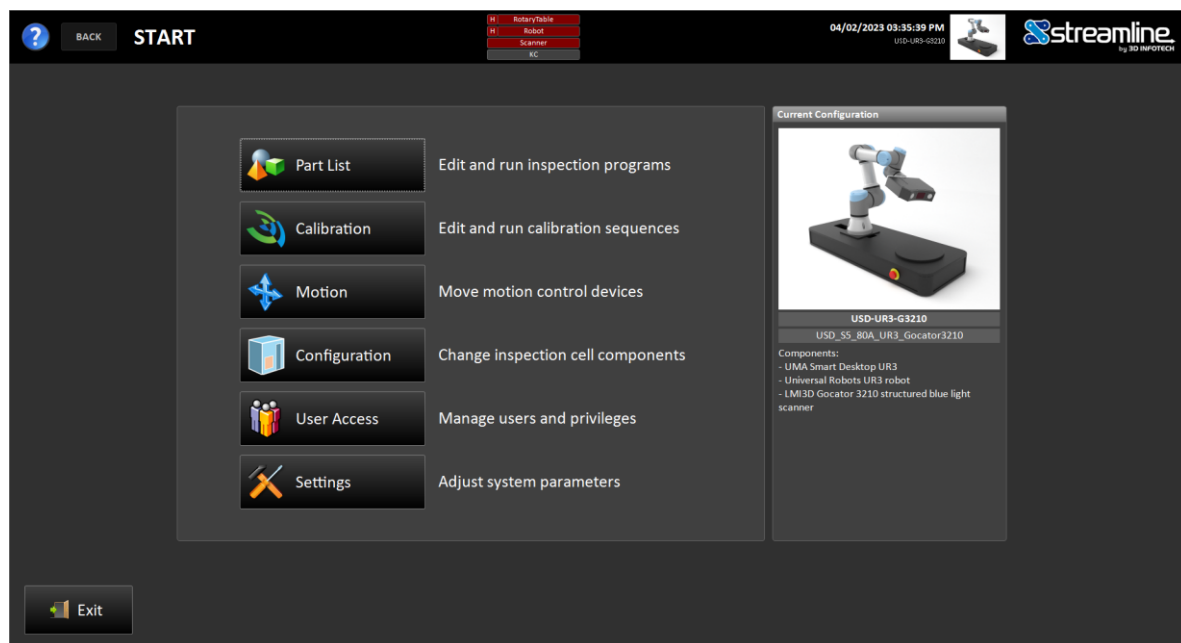
- 1 – Robot rögzítő lemez
- 2 – Szkenner kábel csatlakozó
- 3 – Tárgyasztal
- 4 – Csatlakozó panel
- 5 – E-Stop (veszleállító) gomb
- 6 – Állapotjelző LED-ek
- 7 – C13 táp bemenet
- 8 – Biztosíték
- 9 – Bekapcsoló/Kikapcsoló gomb
- 10 – E-Stop bemenet
- 11 – E-Stop kimenet
- 12 – 2 db Ethernet csatlakozó (RJ45)
- 13 – Hűtőventillátor

2.5. A felhasznált szoftverek

Az automatizálás megkönnyítéséhez elengedhetetlen a számítógépes szoftverek használata. A továbbiakban az Innovmetric Software Incorporation által fejlesztett és forgalmazott PolyWorks™ szoftverének Inspector modulját és a 3D Infotech Kft által fejlesztett és forgalmazott Streamline nevű szoftvert fogom használni, ezeket a következőekben fogom részletesebben is bemutatni.

2.5.1. Streamline

A 3D Infotech Kft. által fejlesztett és forgalmazott integrációs szoftver. Elősegíti a mérések automatizálásának megkönnyítését. Ez a szoftver arra hivatott, hogy több eszköz kezelését, irányítását egy felület alatt egyesíti. A mérőrendszer összecsatlakoztatása után Streamline-on belül néhány beállítás után már össze is van hangolva a rendszer és használatra kész.



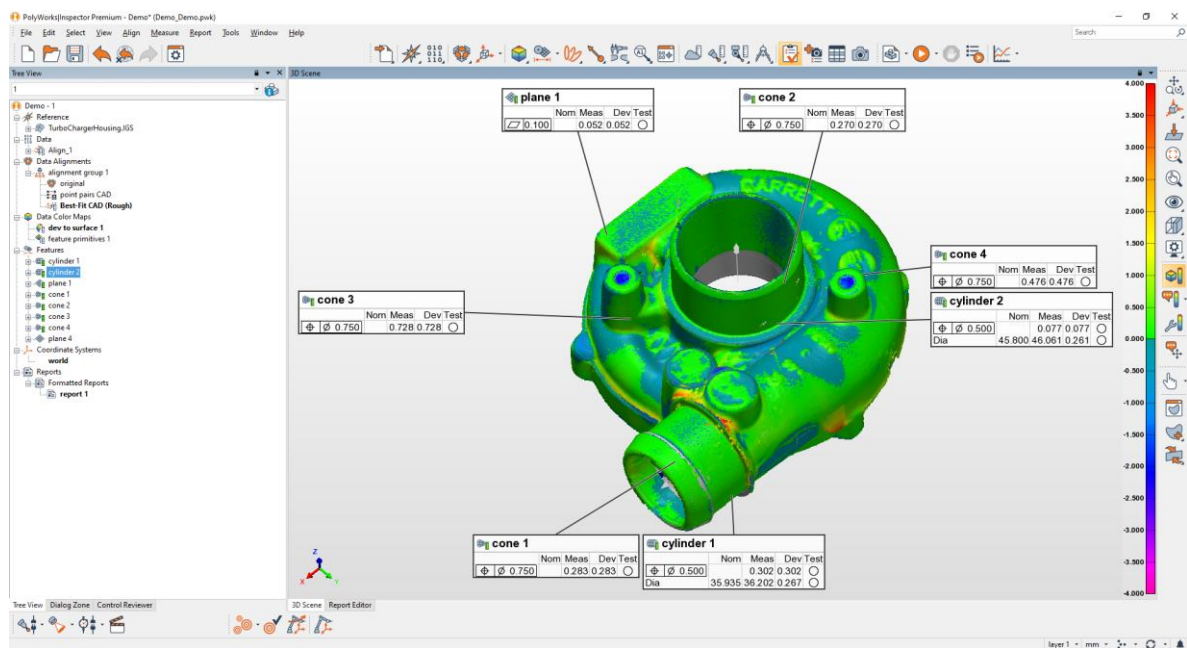
ábra 5: A Streamline főmenüje

A kezelőfelület visszajelzést ad nekünk a csatlakoztatott eszközök állapotáról. A felül közepén található ún. „Status bar”-ok azaz állapotjelző sávok segítenek tájékozódni a

mérőrendszer eszközeinek állapotáról. A robot és a forgóasztal melletti sávban található egy „H” betű is, ez a „Home” pozíciót azaz a kiindulási pozíciót jelöli – ha piros, akkor a szoftver jelzi, hogy az adott eszköz nem kezdőpozícióban van – így adva támpontot a felhasználónak. A felhasználófelület elemei: Part List – munkadarabok listája, itt lehet készíteni vizsgálatokat, programokat a munkadarabokhoz. Calibration – rendszer kalibrációjának automatizálására írható program. Motion – a forgóasztal és a robot manuális mozgását teszi lehetővé programon kívül („Home” pozícióba is lehet küldeni az eszközöket). Configuration – itt lehet kiválasztani a mérőrendszer elemeit, a kiválasztott mérőrendszer képe és leírása jobb oldalon látható. User Access – a felhasználói szinteket lehet itt beállítani, itt lehetséges Rendszergazdai illetve felhasználói jogosultságokat kiosztani. Settings – itt lehet a szoftver, az egyes elemek beállításait elvégezni (pl.: az eszközök IP címét itt lehet beállítani, hasznos terhet és súlypontot itt lehet beállítani a robohoz stb.) illetve a szoftver licenszelését elintézni.

2.5.2. PolyWorks

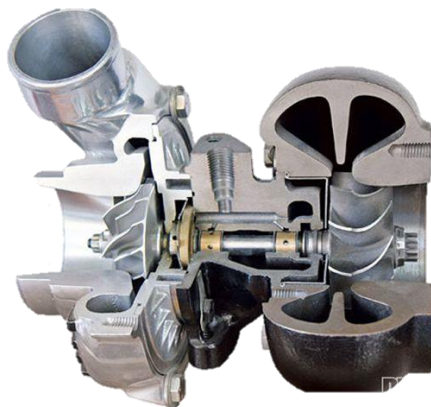
Az InnovMetric Software Inc. által 1994 óta fejlesztett és forgalmazott szoftver a PolyWorks Metrology Suite. Ennek a szoftvernek több modulja is létezik, a mérések kiértékeléséhez a PolyWorks Inspector-t fogom használni. A szoftver felhasználhatóságának sokrétűségét az alábbi kép hivatott szemléltetni: Lehetséges pl. „Data Color Map” azaz színtérkép beállítása a mérési eredmények alapján, elemeket lehet felvenni, kiértékelni, egyedi mérőpontokat lehet elhelyezni a szoftveren belül, szkennelt eredményeket egymáshoz hasonlítani, szkennelt eredményt CAD modellhez hasonlítani, egyedi koordináta rendszereket létrehozni, mérési szekvenciát beállítani, egyedi mérési riportokat készíteni és kinyomtatni. Van lehetőség a szoftverben szkriptelésre is, ez a mérések, kiértékelések automatizálását segíti.



ábra 6: PolyWorks Inspector™ kezelőfelülete

3. A mérendő tárgy bemutatása

A mért tárgy egy turbófeltöltő kompresszorháza. Azért erre a tárgyra esett a választás, mert egyedi geometriai kialakítása és elterjedtsége lehetővé teszi, hogy a mérést és a mérés fontosságát megfelelően szemléltetni tudjam. A turbófeltöltőt a belső égésű motorok



ábra 7: Turbófeltöltő metszete

hatásfokának javítására használják. A turbófeltöltő kompresszorát a motor kipufogó gázai működtetik. Az így nyert energiát arra használja, hogy a motor levegő bevitelét sűrített levegővel fokozza, mely a motor teljesítményének növeléséhez vezet.

3.1. A tárgy felfogatásának megtervezése

A tárgyak mérése során fontos szempont, hogy a mozgásból adódó hibákat kiküszöböljük. Ennek több megoldása is létezik, az egyik és legkönnyebb eset, ha a tárgy önnön súlya elég nagy ahhoz, hogy ezt a hibát kiküszöbölje. Statikus rögzítés esetén – például koordináta mérőgépeknél – ez önmagában elegendő is lehet. Amennyiben a mérés során mozgatás is történik, úgy már külön hangsúlyt kell fektetni a helyes rögzítésre, a tárgy elmozdulását, illetve baleset okozását megelőzendően. A tárgy felfogatásának indoklása:

- Mindig ugyanabban a pozícióban legyen mérhető mindenki által (mérés ismételhetősége)
- Mozgatásból illetve elmozdulásból adódó mérési hibák kiküszöbölése.
- A tárgy hat szabadságfokának lekötése (X,Y,Z tengely menti elmozdulás és körüli elfordulás).

A tervezés lépései:

- A felfogatási cél meghatározása: Első lépésként fontos meghatározni, hogy mi a felfogatási célja a mérendő tárgynak. Az elképzelést az objektum súlyára, méretére, az alkalmazására és az esetleges terhelésekre .
- Felfogatási módszer meghatározása: A választott felfogatási módszernek meg kell felelnie a mérendő tárgy súlyának, méretének és az alkalmazási környezetnek. A felfogatási módszerek közé tartozik a csavarozás, ragasztás, fémcsapok stb.
- felfogatási helyet meghatározása: A felfogatási hely kiválasztása fontos szerepet játszik a felfogatás biztonságában és hatékonyságában. Érdemes olyan helyet választani, amely biztonságosan tartja a mérendő tárgyat, amelynek a lehető legkevesebb hatása van a működésre és ami a legkönnyebben körül járható, megközelíthető.
- Felfogatási pontok meghatározása: A felfogatási pontokat olyan helyeken ajánlott kijelölni, ahol a mérendő tárgy szilárdan rögzíthető, és ahol a terhelések a legjobban eloszlanak.
- A darab: Készíts tervek a felfogatási folyamatról, beleértve az eszközök használatát és a műveletek sorrendjét. Ha szükséges, használj segédleteket, például műszaki rajzokat vagy 3D modelleket a felfogatási tervek megtervezéséhez.

3.2. A befogó megtervezése

Befogó megtervezésének kritériumai:

- Méret:

A munkadarab befogójának méretének megfelelőnek kell lennie a munkadarab méretéhez. Ez azt jelenti, hogy a befogó mérete nagyobb kell legyen, mint a munkadarab mérete.

- Rögzítés:

A befogó rendszernek megfelelőnek kell lennie ahhoz, hogy a munkadarabot biztonságosan rögzítse. Ez különösen fontos olyan munkadarabok esetén, amelyek nagyobb súllyal rendelkeznek. Jelen esetben kis tömegű alkatrészről beszélünk, itt a darab rögzítése kúpokkal történik, ezekre ül fel a darab.

- Tartósság:

A befogó rendszernek tartósnak kell lennie ahhoz, hogy hosszú élettartamú legyen. Javasoljuk, hogy válasszon olyan befogórendszert, amely tartós anyagokból készül.

- Rugalmasság:

Az optimális befogó rendszer lehetővé teszi a munkadarab könnyű eltávolítását és a befogó módosítását, hogy más típusú munkadarabokat lehessen fogni vele.

- Pontosság:

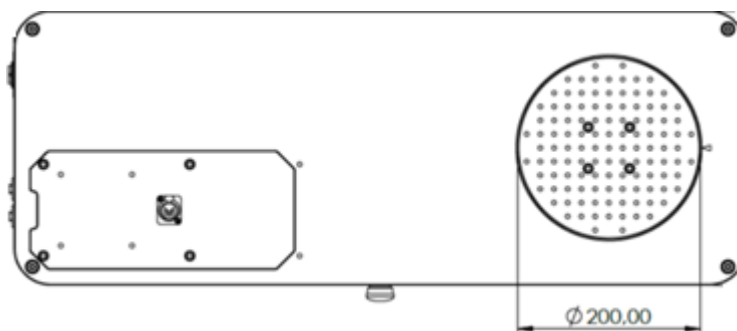
A befogó rendszernek nagyon pontosnak kell lennie, hogy biztosítsa a munkadarab pontos pozicionálását a megmunkálási folyamat során.

- Egyszerű használat:

A befogó rendszernek egyszerűen és könnyen használhatónak kell lennie, hogy időt takarítson meg és növelje a hatékonyságot.

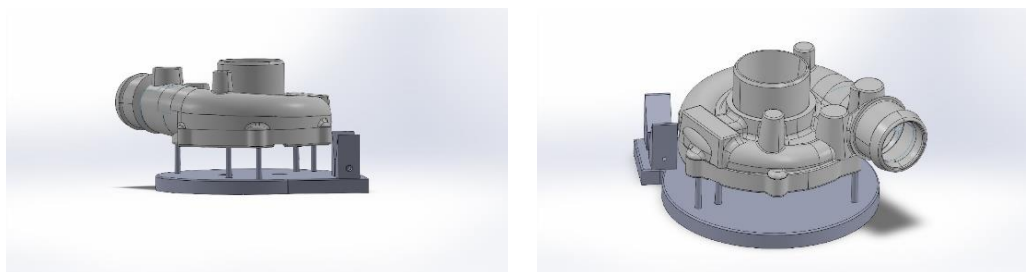
- Ár:

A befogó rendszernek megfelelő árú kell lennie, és meg kell felelnie a munkadarab befogása során felmerülő költségvetési korlátoknak.



ábra 6: Forgóasztal tárgyasztal mérete

A tárgyasztal furatkiosztása: M6x7 mm-es furat 15x15 mm-es kiosztásban. A tárgyasztal 200 mm átmérőjű, míg a kompresszorház legnagyobb távolsága



6. ábra: a darab felső oldali befogása

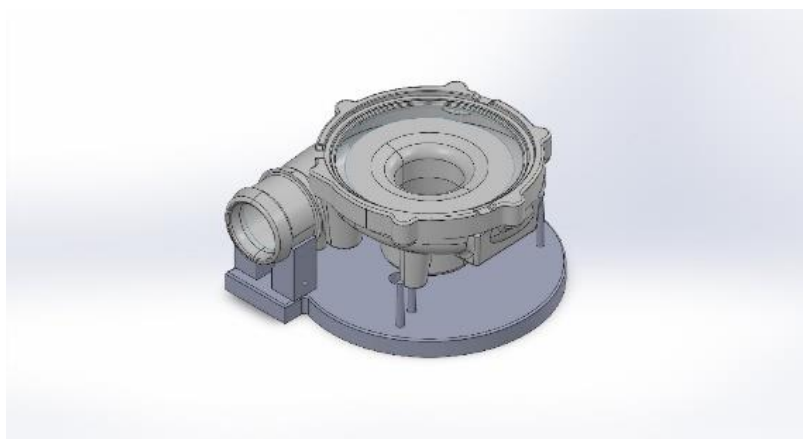
A befogó két különböző pozícióban használható. A fent látható pozíció lehetővé teszi a munkadarab felülnézetének mérését, a másik pozíció pedig a lehetővé teszi a munkadarab alul nézetből történő mérését. A munkadarab rögzítése a befogón található csapokkal történik. Először csavarokkal terveztem a befogót, viszont ez körülményesnek és időigényesnek bizonyult, ugyanis minden mérés után el kellett távolítani a befogót a forgóasztalról és utána lehetett eltávolítani a darabot a befogóról. Ez olyan mennyiségű plusz időt jelentett, hogy más fajta felhelyezést kellett kitalálnom, így döntöttem a csapokra történő felhelyezés mellett. A munkadarabot a befogó tüskéire helyezve, megfelelően pozicionálva lehetőségünk nyílik a darab mérésére. Fontos, hogy ellenőrizzük, hogy a munkadarab

megfelelően van-e felhelyezve a befogóra. A munkadarab miután felül a mérőcsapokra, stabil megtámasztást kap, így a munkadarab optimális pozícióba történő elhelyezése érdekében ellenőrizze, hogy a munkadarab megfelelően van-e pozícionálva a befogó rendszerben. A pozícionálás beállításához a befogó rendszer állítóelemét használja.

Mérés: Indítsa el a megmunkálási folyamatot a munkadarab felmérésére és megmunkálására. A munkadarabot a befogó rendszerben hagyhatja, amíg a megmunkálási folyamat befejeződik.

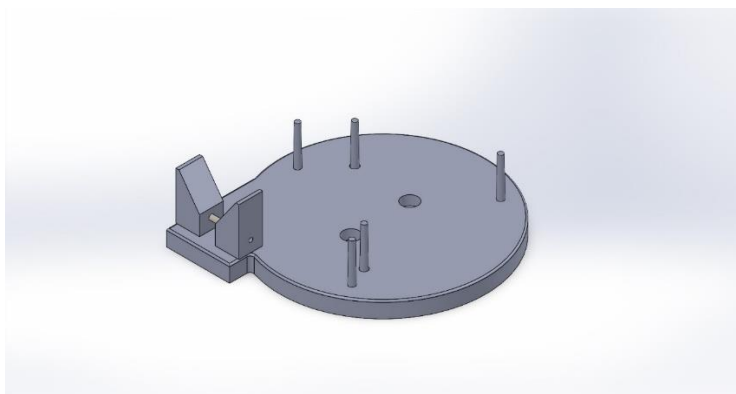
Munkadarab eltávolítása: Ha a mérés befejeződött, a munkadarabot óvatosan eltávolítom a befogó rendszerből. Ellenőrzöm, hogy a munkadarab nem sérült-e meg a mérési folyamat során a befogásból adódóan.

A befogót úgy terveztem, hogy lehetővé tegye a darab minden nézetének és méretének a mérését.



7. ábra: A darab alsó oldali befogása

Mellékeltem egy képet az üres befogóról is, így megfigyelhető a felépítése. A befogó alkatrészeinek, illetve a munkadarabnak a műhelyrajzai a dolgozat mellékleteiben megtalálhatóak.



8. ábra: üres befogó

4. Mérés

A mérési tevékenység során egy adott fizikai jellemző mérőszámát hasonlítjuk össze a mértékegységgel, közvetlen vagy közvetett módon. E tevékenység célja, hogy információt szerezzünk valamely anyag vagy berendezés meghatározott jellemzőjéről. Amennyiben megfelelő mérési eljárást választunk, úgy meghatározott mérési bizonytalansággal rendelkező mérési eredményt kapunk:

$$[6] \ q = \{q\} \cdot [q]$$

Ahol:

q – Mérendő mennyiség

$\{q\}$ – Mérőszám

$[q]$ – Etalon mértékegység

A fenti egyenletből $\{q\}$ azaz a mérőszám három részből áll:

$$\{q\} = x_h - H \pm \Delta$$

Ahol:

x_h – „helyes” érték, amelyet az átlag képvisel ($\bar{x}$)

H – ismert rendszeres hibák eredője

Δ – Mérési bizonytalanság

Ebben az esetben a mérendő mennyiségek a hossz és a szög, illetve alak helyességének mérése (henger, kúp síklapúság stb).

4.1. A mérés megtervezése

A mérés megtervezésénél több szempontot is figyelembe kell vennünk. Az ilyen szempontok vonatkoznak a mérendő alkatrész fizikai jellemzőire, (pl.: súly, anyag, hőmérséklet, szín stb.) a mért jellemzők pontosságának követelményeire. A következő jellemzőket alapul véve döntöttem a strukturált fény szkennerek használatára mellett:

- Geometriai jellemzők alapján:

A darab geometriája összetett, kézi mérőeszközökkel nem, vagy csak nehezen lehetséges jó ismételtséggel megmérni a darabot. Mindemellett a mérési eredményeket könnyebben, gyorsabban és jobb felbontással kapjuk meg, mint kézi mérőeszközökkel történő mérés esetén.

- Mérendő méretek alapján:

A darab előírt méretei pontos és biztos mérést igényelnek. A megnövekedett pontossági követelmények a gyártástechnológia fejlődéséből és a piaci igények által váltak lehetővé. A méretek minél pontosabb és kisebb hibahatárral történő meghatározása ennél a darabnál elvárt, a darab működéséből és jelentőségéből adódóan. A mérendő méretek nehéz hozzáférhetősége pedig újabb indokot ad arra, hogy az általam választott mérő szenzorral legyen mérve a darab.

- Ismételhetőség alapján:

Kézi mérőeszközökkel körülményes a mérés ismétlése. Másik opció lehet a CMM-mel (Coordinate Measuring Machine azaz Koordináta Mérőgép) használata, mely úgyszintén elterjedt technológia munkadarabok ellenőrzésére, pontos eredményt kapunk vissza, ám lényegesen komolyabb feltételei vannak a mérések végrehajtásának. Az említett rendszerektől lényegesen kompaktabb és egyszerűbb méréseket végrehajtani az általam választott rendszerrel, nem igényel magasan képzett személyzetet, illetve a méréssel töltött idő is lényegesen kevesebb, pontosságát tekintve viszont kevésbé pontos mérési eredményeket kapunk.

- Darabszám alapján:

A következő fontos kritérium mérés szempontjából a mérési darabszám. Nagy darabszám esetén a mérési eredmények gyors, pontos és ismételhető mérési igényeket támaszt a mielőbbi beavatkozások, illetve a minőség könnyű és gyors szabályozhatóságát illetően. Kis mérési darabszámnál pedig fontos kritérium lehet a mérés sebessége, így a gyártási költségek is redukálódnak.

- Idomszer/sablon:

Amennyiben rendelkezésre áll idomszer, az a mérések ismételhetőségét és megbízhatóságát nagy mértékben elősegítheti. Jelen esetben a darabhoz semmilyen idomszer, illetve sablon nem áll rendelkezésre.

- Mérési darabszám:

A méréshez jelenleg egy munkadarabot használók.

Készítettem egy táblázatot, amely a mérőeszköz használatának igényét segít osztályozni.

Az alábbi táblázat arra szolgál, hogy meghatározzam a strukturált fény szkennerek használatának szükségességét. Erre a korábban említett feltételeket osztályoztam 1 – 5-ig történő skálán, ahol:

1 – legkevésbé indokolt

5 – leginkább indokolt.

1. Táblázat: Mérőeszköz meghatározási mátrix

Mérőeszköz meghatározási mátrix					
Paraméterek	Érték				
	1	2	3	4	5
Geometria bonyolultsága					X
Mérendő méretek pontossági kritériumai					X
Mérendő méretek hozzáférhetősége			X		
Mérés Ismételhetőségének bonyolultsága				X	
Idomszer/sablon hiánya					X
Mérési darabszám	X				

4.1.1. A mérés előkészítése

A megfelelő méréshez fontos, hogy meggyőződjünk róla, hogy minden szükséges eszköz és tárgy rendelkezésre áll a méréshez, megfelelő, használatra kész állapotban van. Ehhez

szükséges ellenőrizni, hogy a mérőrendszer egységei megfelelő állapotban vannak-e. Az alábbi lépések végrehajtása javasolt az első mérés megkezdése előtt:

1. A robot forgóasztalra történő rögzítése.
2. A robotra felhelyezni a Gocator 3210 strukturált fény szenzort.
3. A forgóasztal, robot és a szenzor elektromos hálózatra történő csatlakoztatása.
4. A robot ethernet portjának csatlakoztatása a forgóasztal portjához.
5. A forgóasztal ethernet portjának csatlakoztatása internet hálózathoz.
6. A tárgyasztalt megtisztítása az esetleges por és az szennyeződések elkerülése végett.
7. A munkadarab befogójának megtisztítása.
8. A munkadarab befogójának rögzítése a tárgyasztalhoz.
9. A munkadarabot felső befogásban rögzíteni.

Amint ezekkel a lépésekkel megvagyunk, a következőkben a szoftver beállításának lépései következnek. A szoftverek ellenőrzésének lépései a következők:

1. A szoftverek licensze naprakész-e (hibaüzenetet kapunk, amennyiben nem)
2. A szoftveren belüli beállítások ellenőrzése:
 - a. A mérőeszközök IP címei megfelelően vannak-e megadva
 - b. Megfelelő konfiguráció van-e betöltve
 - c. A robot és a forgóasztal kezdőpozícióban vannak-e
3. A mérőprogram rendelkezésre áll-e, annak paraméterei megfelelőek-e
 - a. Győződjünk meg, hogy megfelelő expozíciós idő van beállítva
 - b. Ellenőrizzük, hogy a pontsűrűség megfelelő-e
 - c. Ellenőrizzük, hogy megfelelő-e a fájl kimenet (jelen esetben PIF formátum, azaz „Program Information File”)
 - d. Ellenőrizzük a kiértékelésre vonatkozó beállításokat.

4.1.2. A mérés környezeti feltételei

A 3D mérés környezeti feltételei a mérési folyamat minőségét és pontosságát nagyban befolyásolják. Az alábbiakban összefoglalom a legfontosabb környezeti tényezőket, amelyeket figyelembe kell venni a 3D mérés során:

-
- **Hőmérséklet:** A hőmérséklet változása befolyásolja az anyagok méretét, alakját és tulajdonságait. A hőmérséklet változása a mérési pontosságra is hatással lehet, ezért a mérési folyamat során fontos a stabil hőmérséklet fenntartása.
 - **Páratartalom:** A páratartalom változása szintén befolyásolja az anyagok méretét, alakját és tulajdonságait. A magas páratartalom a mérési pontosságra is hatással lehet, ezért a mérési folyamat során fontos a megfelelő szellőzés biztosítása és a páratartalom szintjének ellenőrzése.
 - **Fényviszonyok:** A megfelelő világítás fontos a 3D mérési pontossága szempontjából. A gyenge világítás vagy a túl erős fényhatások a mérési pontosságra negatívan hatnak. A megfelelő megvilágítás biztosítása érdekében használhatóak megfelelő megvilágító eszközök.
 - **Vibráció és zaj:** A vibrációk és zajok a mérési pontosságra is hatással lehetnek, ezért fontos a megfelelő környezeti feltételek biztosítása, beleértve a zajszint és a vibráció szintjének csökkentését is.

Szennyeződések: A szennyeződések, mint például a por vagy a folyadékok, negatívan befolyásolják a mérési pontosságot, ezért a mérési folyamat során fontos a környezet tisztántartása.

Ezek azok a legfontosabb környezeti feltételek, amelyeket figyelembe kell venni a 3D mérés során. Az optimális környezeti feltételek biztosítása segíthet abban, hogy a mérési folyamat pontossága és megbízhatósága növekedjen.

A mérést 22 °C-on, 65%-os páratartalom mellett hajtottam végre. Ennek fenntartásához légkondicionálót használtam. A megfelelő fényviszonyokhoz mesterséges fényforrást, azaz az irodában lévő lámpákat használtam, az ablakokat elsötétítettem. A vibrációk elkerülése végett az mérőrendszer stabil asztalon volt használva, az ebből esetlegesen következő vibrációk megelőzésére. A zajok az irodán belül elhanyagolhatóak. A szennyeződések mikroszálás törülőkendővel távolítottam el, nem használtam semmilyen tisztítószer, ezzel is megelőzve más szennyeződések felvitelét.

4.2. A mérés menete

A mérés a következő lépésekből épül fel:

Mérés megtervezése és előkészítése: Első lépésként meg kell tervezni a mérést a rendelkezésre álló dokumentáció és igények alapján és fel kell készülni a mérésre. Ennek során el kell dönteni a szükséges mérési pontosságot és a mérési környezetet, illetve elő kell készíteni az eszközöket és a mérőberendezéseket.

Felület előkészítése: A mérés előtt fontos előkészíteni a mérési felületet. Ez magában foglalja a tisztítást, az munkadarab felületének előkészítését és a megfelelő befogás, rögzítés használatát.

Mozgási pálya meghatározása: Ebben a lépésben a robot, a forgóasztal, illetve a strukturált fény szkener beállítása következik. A robotnak és a forgóasztalnak pontosan követnie kell a mérendő felületet és biztosítani kell a megfelelő mérési sebességet és pontosságot.

Mérés: Ebben a lépésben a mérés történik a kiválasztott mérőeszközzel vagy berendezéssel. A mérőeszköznek a felület minden pontjáról meg kell határoznia a kívánt mérési adatokat (pl. geometria, szín, hőmérséklet stb.)

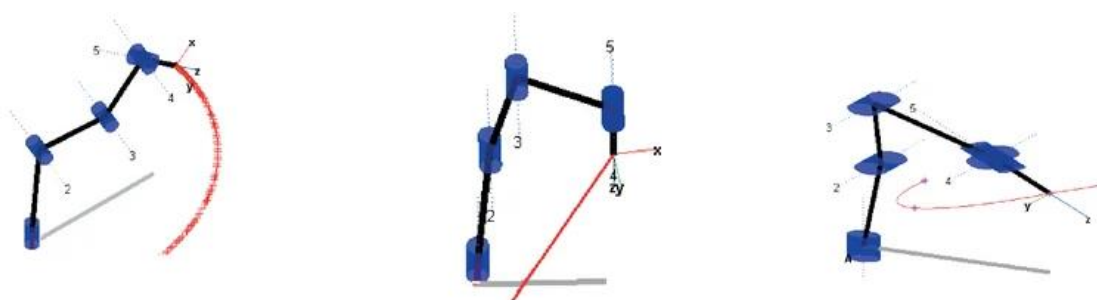
Kiértékelés: A mérés végeztével a mért eredményeket összehasonlítása történik, jelen esetben CAD modellhez, melynek során az eltérések mértéke megállapításra kerül.

Eredmények ellenőrzése: A kiértékelés után meg kell győződni róla, hogy a mérési eredmények megfelelőek-e, minden szükséges információt és mérési eredményt tartalmaz és ezek megfelelően értelmezhetőek.

4.2.1. A robot programozása

Az UR3e robot mozgás lehetőségei:

- MoveJ: A robot csatlakozásainak (joint) egyidejű mozgatásával
- MoveL: Lineáris mozgás
- MoveP: Körkörös, körív mentén történő mozgás

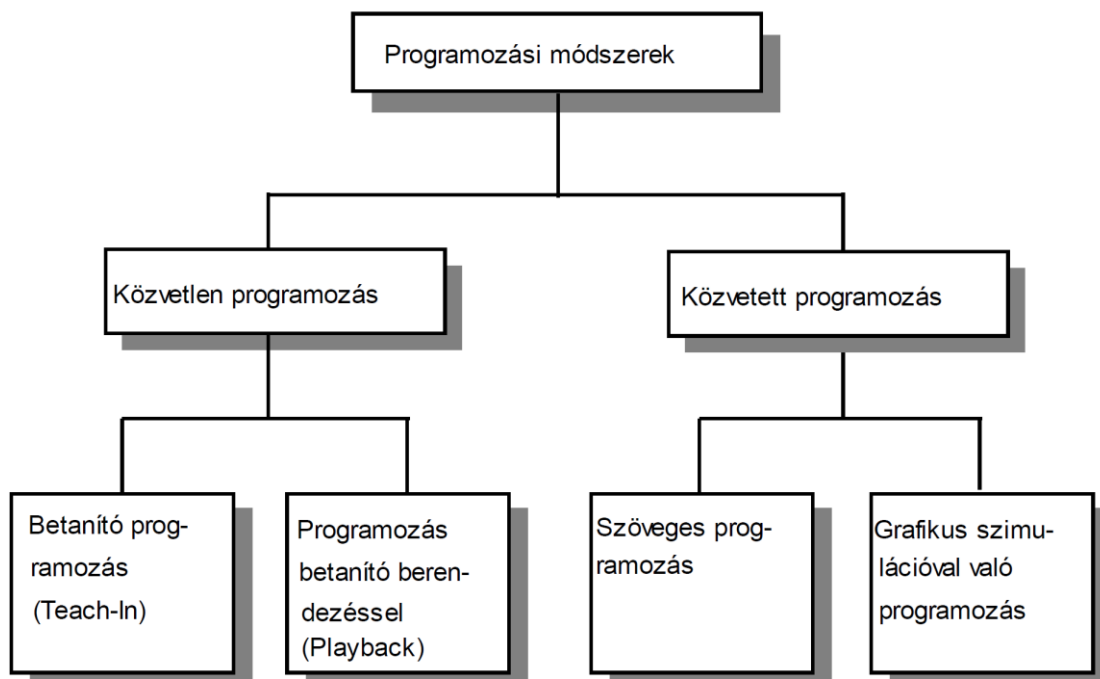


9. ábra: Robot mozgások: MoveJ (bal) MoveL (középső) MoveP (jobb)

A robot programozása azon utasítások és adatok egymáshoz kapcsolása, melynek segítségével a robot egy meghatározott pályát leír, vagy feladatot végrehajt. A programozási eljárások funkcióorientáltan osztályozhatók. A programozási eljárások két fő csoportját különböztethetjük meg:

- Közvetlen (Online)
- Közvetett (Offline)

További csoportokra bontásának szemléltetését az alábbi ábra részletezi:



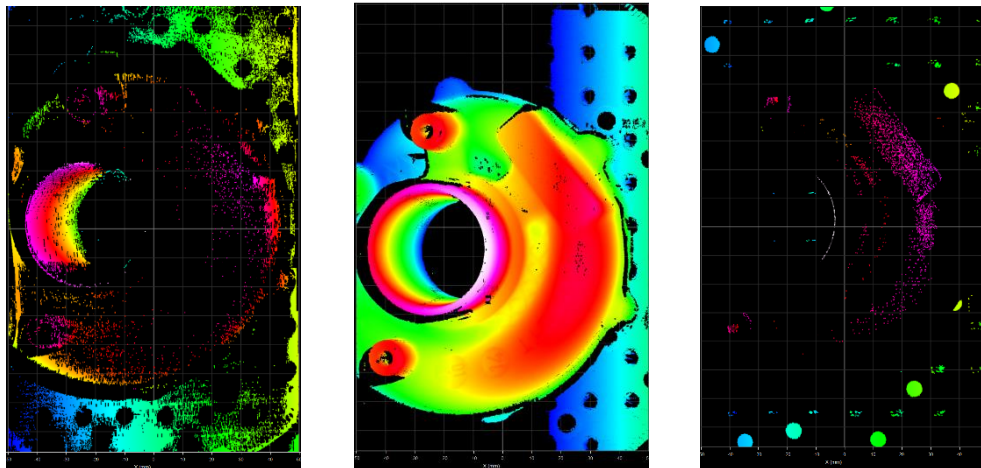
ábra 6: Robot programozási módszerek

A legtöbbet használt eljárás a robotok betanító programozással (Teach In) való programozása. A következőkben a mozgási pálya összetettsége miatt ezt az eljárást fogom alkalmazni. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy összetett mozgási pályákat is egyszerűen és gyorsan megvalósítsunk. Az UR3e robot saját felülete (Polyscope 5.13 – illetve a teach pendant) is lehetővé teszi, hogy ezt a módszert alkalmazzuk. A Streamline még egy lehetőséggel kibővíti a robot programozásának lehetőségeit: van még egy „Record Path” azaz egy útvonal rögzítése opció, melynek segítségével lehetséges

4.2.2. A szkennelési paraméterek

A szkennelés helyes végrehajtásához gyártói előírások adnak támpontot: ilyenek a mérendő tárgy és a szkennelők közötti távolság, a hőmérséklet, a mérendő felület fényessége/sötétsége, az expozíciós idő. Az LMI Gocator előírt Clearance Distance-e (mérési távolság): 165 mm. Amennyiben ezt a távolságot nem tartjuk be, úgy csak egyáltalán nem fogjuk látni a mérendő tárgyat, vagy csak részleteket fogunk látni belőle. Ezért ezt kifejezetten fontos szem előtt tartani. A következő fontos paraméter az expozíciós idő beállítása. Az expozíciós idő az az

időintervallum, amíg a kamera fényt gyűjt az adott tárgyról. Ezeknek a paramétereknek a helyes megválasztásával, illetve betartásával megfelelő minőségű képeket tudunk készíteni.

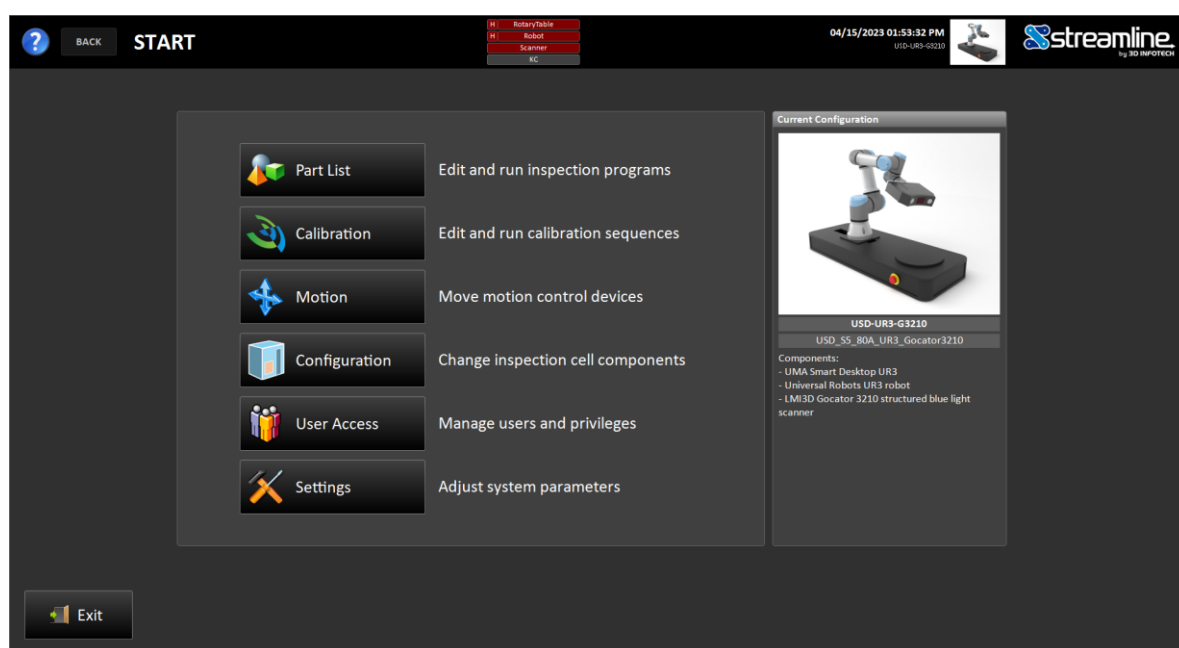


ábra 10: Túlexponált kép (bal), helyesen exponált kép (közép) és alul exponált kép (jobb)

A képeken látható, hogy a megfelelő expozíciós idő megválasztása kulcsfontosságú a mérésben. Helytelenül megválasztott expozíciós idő esetén a végeredményt a bal illetve jobb oldali kép szemlélteti. A helyes expozíciós időn felül ügyelni kell a megfelelő távolságra (Clearance Distance, Mérési tartomány és látómező) ezeket szem előtt tartva kell a mérést megtervezni. Fontos még a tárgy felületének fényessége, fényvisszaverése. Amennyiben fényes felületet kívánunk mérni, úgy az expozíciós időt javasolt csökkenteni. Sötét felületekre érdemes magasabb értéket beállítani. Törekedjünk arra, hogy egy beállításból minél nagyobb részletet tudjunk rögzíteni a szkennelrel.

2. táblázat: a mérés során használt paraméterek

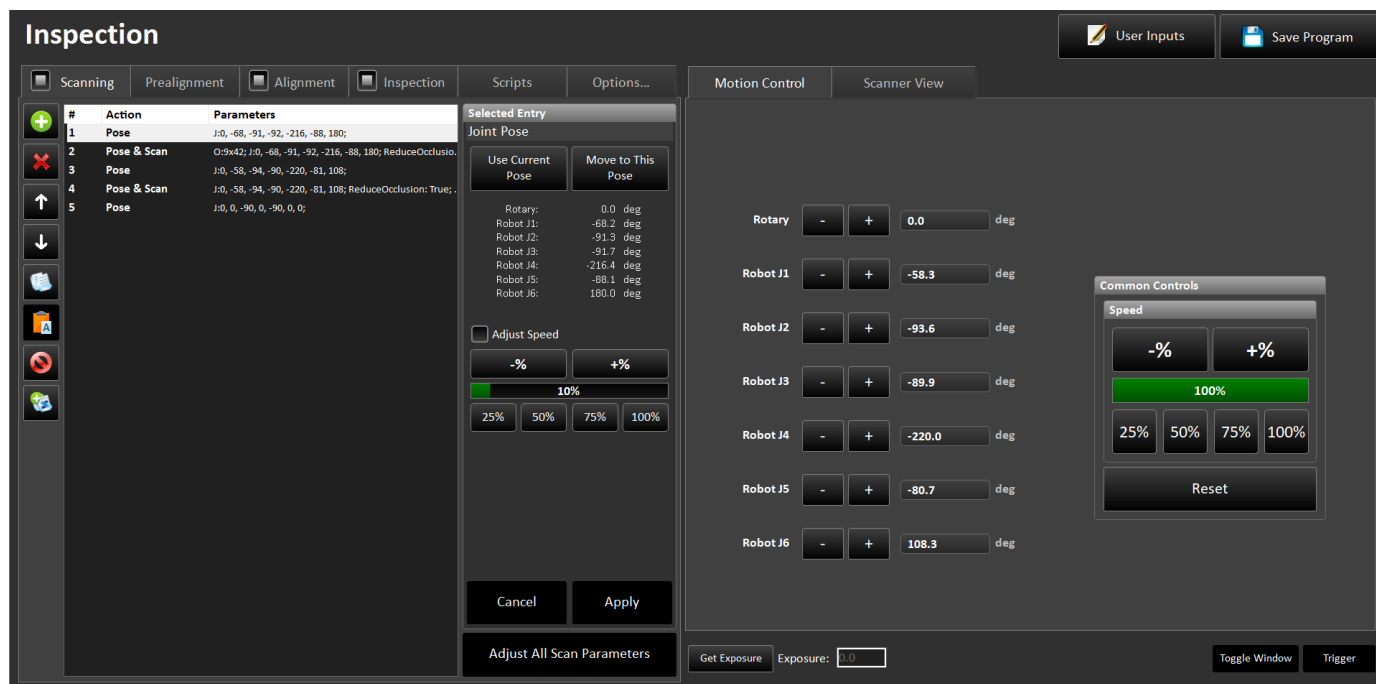
Mérési paraméterek	
Clearance Distance (mérési távolság)	165 mm
Hőmérséklet:	22°C
Páratartalom:	65%
Mérendő felület tükröződése:	Nem tükröződő
Expozíciós idő:	19 ms (19000 μ s)
Measurement range (mérési tartomány)	110 mm
Field of View (látómező)	71x98 mm – 100x154 mm
Resolution XY (X,Y felbontás)	60 – 90 μ m
Point Spacing	0.425 mm



ábra 7: A Streamline kezelőfelülete

A képen látható a Streamline szoftver kezelőfelülete. Ezen a szoftveren belül történik a mérőeszköz, a forgóasztal és a robot összehangolása, így nincs szükség több platformra ezen eszközök beállításához. Az itt csatlakozó eszközök mérései és méréseinek eredményei ezek után a PolyWorks szoftverben fognak kiértékelésre kerülni, melynek több modulja is felhasználásra kerül. A strukturált fény szenzorral készített képek egymáshoz illesztése az IMAlign modulban fog történni, ezt egy script segíti elő, melynek segítségével az illesztés automatikusan lezajlik. Ezután ez az eredmény átkerül a PolyWorks Inspector modulba, ahol az UMA (Ultimate Metrology Automation) template azaz sablon segítségével összeállított mérési sablonnal fog zajlani a kiértékelés. Miután itt megtörténtek a beállítások, a mérési folyamat teljesen automatizálttá válik. Innentől a következő mérések már tulajdonképpen indítás után zavartalanul lezajlanak, a folyamat végén pedig egy mérési jegyzőkönyv lesz az eredmény. Az alábbiakban bemutatom a szoftver beállításait, a méréshez használt paramétereket és azokról bővebb információt adok. Az alábbi képen látható a Streamline-ban készített mérési program, melynek lépéseit részletesen bemutatom. Az első sorban a „Pose” illetve „Joint Pose” a robot „MoveJ” parancsának felel meg, itt az első, kezdő pozícióba áll a robot. A robotnak 6 csatlakozása van, ezek mindegyikében található egy forgó jeladó, amellyel pontosan megállapítható, melyik csatlakozás pontosan milyen szögben van

elfordulva. A forgóasztalban is található egy ilyen jeladó. Ezek szögállásának értékei a mellékelt kép „Selected Entry” füle alatt láthatóak:



11. ábra: Streamline program

Erről a kezdőpozícióról indul mindig a program, annak biztosítása érdekében, hogy ez megtörténjen, a szoftverbe be van építve egy léptető funkció, aminek a segítségével mindig vissza lehet pozicionálni a robotot. A programban találhatóak funkciók mozgásra, képalkotásra, képalkotásra és egyidejűleg történő mozgásra. A pozíció rögzítése úgy történik, hogy először is a kívánt pozícióra mozgunk a robottal, ez történhet akár Streamline-on belül, a képernyő jobb oldalán történő gombok mozgatásával, vagy a robot „teach pendant”-jén történő mozgatással. Amint elértük a megfelelő pozíciót, a „Use Current Pose” gomb lenyomása leolvassa az aktuális értékeket melyek az „Apply” gomb megnyomásával kerülnek elfogadásra. A mozgás és képalkotáshoz a „Pose & Scan” funkció áll rendelkezésre. Ezen funkciónál a robot egy adott pozícióban tartja a szenzort és forgatja a forgóasztal tárgyasztalát. Az aktuális pozíció értékei itt is a „Selected Entry” fül alatt láthatóak. Itt lehetőség van további értékek megadására. Az alatta lévő „Adjust Speed” és a hozzá tartozó értékek a program futása közbeni sebesség beállítására szolgálnak. Alatta a „Use Orbiting” és „Use Offset” opciók a forgóasztal mozgásának beállítását teszik lehetővé. Ezekkel a

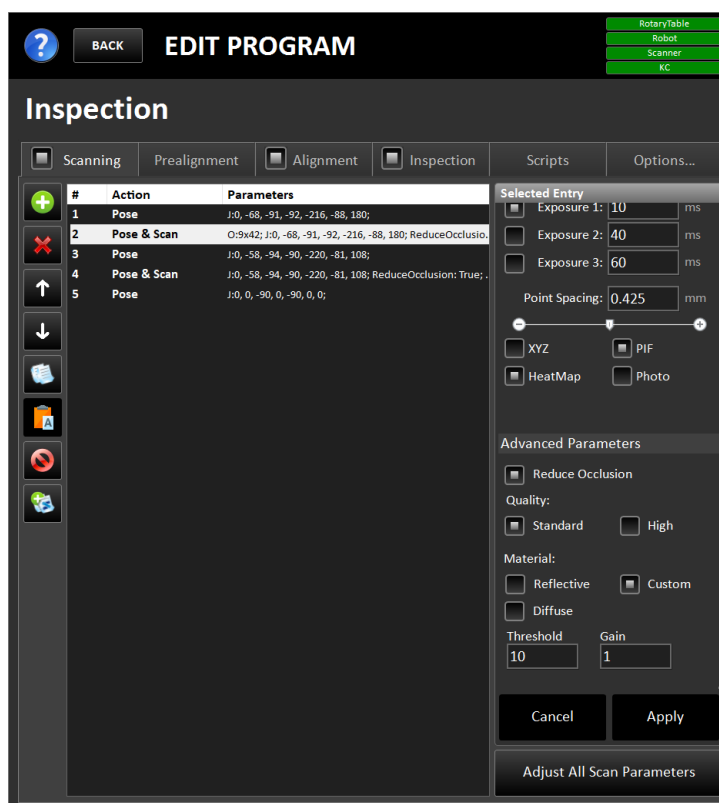
forgóasztal egy körül fordulásának felosztását teszi lehetővé, itt lehet megadni, hogy hány fokos fordulat után álljon meg a forgóasztal kép készítéséhez. A megfelelő átfedéshez és részletességhez érdemes minél több szögből képeket készíteni a darabhoz, viszont kerülendő a túl sok kép készítése, ebben az esetben előfordulhat, hogy a képeket nem fogja tudni megfelelően egymáshoz illeszteni az illesztő szoftver. Az itt beállított értékek alapján 9 kép fog készülni a tárgyról.



12. ábra: Program beállításai 1

A „Scan” rész alatt a szkennerek beállításaihoz itt találhatók a beállítási lehetőségek. Lehetséges 1-3 expozíciós idő beállítására, ez arra szolgál, ha inhomogén felületről szeretnénk képet készíteni. Amennyiben egyszerre van a felületen fényes és matt felület, úgy több expozíciós időt érdemes beállítani. Matt és sötét színű felülethez érdemes magasabb expozíciós időt beállítani, fényes, tükröződő felülethez pedig magasabbat. A turbófeltöltő kompresszorház öntött alumíniumból készült, a felülete matt. A szoftverben az alapbeállítás 20 ms (milliszekundum) az első expozíciós időre. További expozíciós időt nem volt szükséges beállítani köszönhetően a felület homogenitásának. A következő érték, a „Point Spacing”. Ez az alkotott „Point Cloud” azaz pontfelhő pontjai közti legkisebb

távolságot állítja be. Minél kisebb ez az érték, annál több részletesebb az alkotott kép, azonban a kép mérete és a mérés ideje is jelentősen megnövekszik ezáltal. A szoftverben az alapbeállítás 0,425 mm, az ezzel a ponttávolsággal készült képeket megfelelőnek találtam, így nem változtattam rajta. Alatta az „XYZ” a „PIF” a „HeatMap” és a „Photo” jelölőnégyzetek a kért adatok bekérésére szolgálnak. Az „XYZ” a mért kép X, Y és Z koordinátáit tartalmazó fájlt fog adni. A „PIF” a Program Information File rövidítése, ez úgyszintén a készített kép információit tartalmazza. A „HeatMap” a készített kép színtérképét tartalmazza. A „Photo” a kamerák által készített monokróm képet menti el. Az „Advanced Parameters” azaz a haladó beállítások alatt található „Reduce Occlusion” a kitakart részek redukálására szolgál. Ha ez az opció be van kapcsolva, akkor az alkotott kép a kamerák különálló és egyszerre készített képekből lesz összerakva, így a kitakart részekre (például csapok által kitakart részek) nagyobb rálátás nyílik. A „Quality” a minőség beállítására szolgál, itt ismételt a magasabb minőség nagyobb méretet és lassabb mérést okoz, viszont magasabb pontosságot. A „Material” opciók alatt lehet beállítani az anyagra



13. ábra: Program beállításai 2

vonatkozó beállításokat. Lehetőség van választani „Reflective” azaz tükröződő, „Custom” azaz egyéni, illetve „Diffuse”, azaz szórt fény beállítása az anyagra. Itt az egyéni beállítást hagytam. Ezt követően ismételten egy „Pose” mozgás paranccsal a következő pozícióra mozgattam a mérőrendszert. Ezután egy újabb „Pose & Scan” paranccsal az előzőekben ismertetett beállításokból, másik szögben készítettem képeket a tárgyról. Legutolsó parancsként pedig egy „Pose” paranccsal a mérőrendszert nullpozícióba mozgattam.

4.2.3. A forgóasztal beállításának paraméterei

The screenshot shows the 'Application' window of the Streamline software. It contains two sections: 'Limits' and 'Jogging'. Each section has four rows of settings for rotational and translational acceleration and speed. Each row includes a numerical input field, a unit, and a 'Reset' button.

Section	Parameter	Value	Unit
Limits	Max. Rotational Acceleration	360	deg/s ²
	Max. Rotational Speed	360	deg/s
	Max. Translational Acceleration	20000	mm/s ²
	Max. Translational Speed	3000	mm/s
Jogging	Max. Rotational Acceleration	360	deg/s ²
	Max. Rotational Speed	360	deg/s
	Max. Translational Acceleration	20000	mm/s ²
	Max. Translational Speed	10000	mm/s

ábra 8: UMA Smart Desktop forgóasztal beállításai Streamline-ban

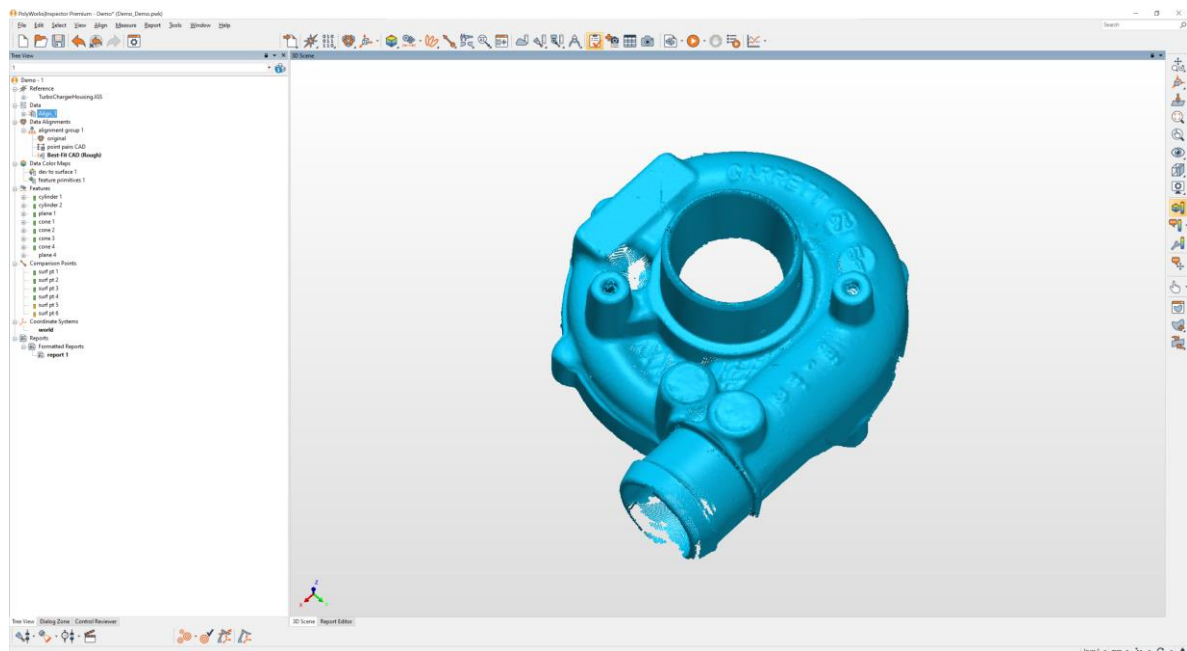
Ezen a képen láthatóak a forgóasztal Streamline-on belüli beállításai. Az értékeket a maximum értékre állítottam, további szabályozásra program készítése és program futtatása közben is van lehetőség. A jelenlegi értékek:

- Program futtatás esetén:
 - Maximum forgási gyorsulás: 360 °/s²
 - Maximum forgási sebesség: 360 °/s
 - Maximum translációs gyorsulás: 20000 mm/s²
 - Maximum translációs sebesség: 3000 mm/s
- Kézi mozgatás esetén:

- Maximum forgási gyorsulás: $360 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
- Maximum forgási sebesség: $360 \text{ }^\circ/\text{s}$
- Maximum translációs gyorsulás: $20000 \text{ mm}/\text{s}^2$
- Maximum translációs sebesség: $10000 \text{ mm}/\text{s}$

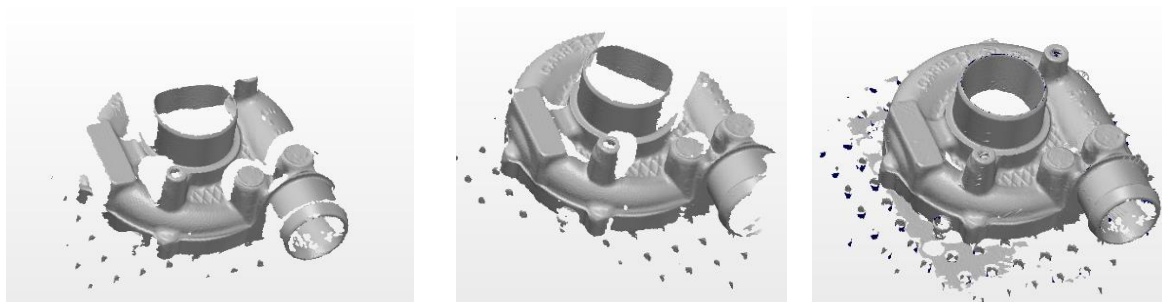
4.3. Szoftveres kiértékelés

A mérés kiértékeléséhez a PolyWorks Metrology Suite 2022 (továbbiakban: PolyWorks) szoftver Inspector™ modulját fogom használni.



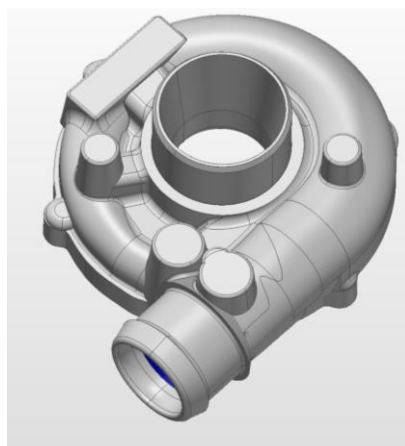
10. ábra: A szkennelt 3D pontfelhő

A képen látható pontfelhő a készített képek IMAAlign szoftver segítségével egymáshoz illesztésének végeredménye. A készített képeket megadott kritériumok alapján a szoftver egymáshoz illeszti. Az alábbi képeken láthatóak a mért képek (felső sor bal és jobb oldal)



14. ábra: A képek egymáshoz illesztése (bal oldali és középső különálló képek, jobb oldali pedig az összes kép egymáshoz illesztve)

és a mért eredmények egymáshoz illesztésének eredményei (alsó kép). A képeken megfigyelhető, hogy megfelelő átfedés van köztük, így biztosítva van, hogy az illesztés könnyen megtörténjen.



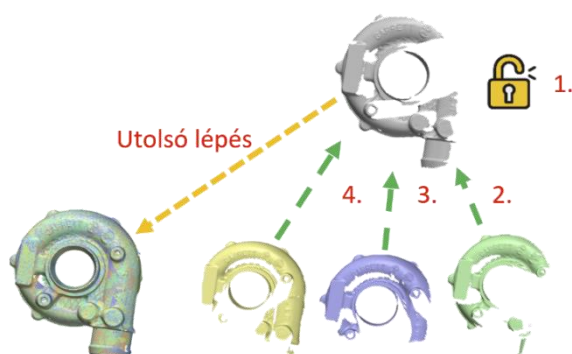
11. ábra: A mérendő darab CAD modellje

4.3.1. Szkennelt eredmény CAD modellre illesztése

Az illesztés történhet kézi illesztéssel (továbbiakban: Manual Alignment) vagy legjobban illeszkedő (továbbiakban: Best Fit) illesztéssel. Ennek három típusa elérhető a Streamline-ban és a PolyWorksben. Az alapértelmezett („Default”) illesztés azon az elven működik, hogy az első képet „lezárja” azaz ez lesz az a kép, amihez a többi illeszteni fogja. Annak érdekében, hogy megfelelően lehessen használni, a képek adatok között kell átfedésnek lennie. Az átfedésnél („overlap”) alaksajátosságokat érdemes keresni, ezzel megkönnyítve

az illesztés folyamatát. Továbbá érdemes minden kép között átfedést hagyni. Ez az esetek kb 60%-ban működik. Az alapértelmezett illesztés lépései a következők:

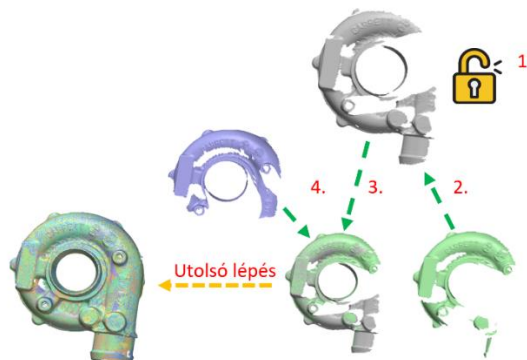
1. Bevinni az adatokat az illesztésre szolgáló szoftverbe (IMAlign)
2. Előillesztést alkalmazni
3. Első képet rögzíteni
4. Legjobb illesztéssel az első képhez illeszteni a többi



15. ábra: Az „alapértelmezett” illesztés lépései

A következő ilyen illesztési metódus az egyenkénti („One by one”) illesztés. Amennyiben az alapértelmezett illesztéssel nem sikerült megfelelő eredményt kapni, úgy érdemes ezt a metódust kipróbálni, ez az esetek kb. 95%-ban működik. Ez az illesztés úgy működik, hogy az első képet lezárja, hozzá illeszti a második képet. Ezután az első és második képet lezárja és hozzá illeszti a harmadikat. Ezt a folyamatot addig folytatja, amíg az adott mérésen belül készült összes képet egymáshoz nem illeszti. Ennél az illesztési folyamatnál is fontos a képek közötti átfedés. Az egyenkénti illesztés lépései:

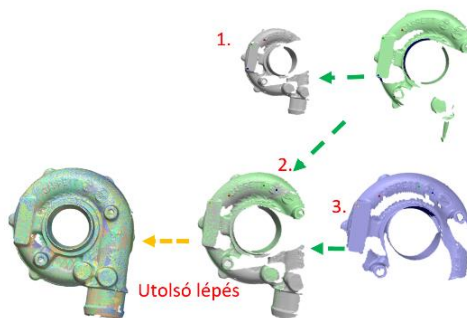
1. A képek illesztő szoftverbe történő importálása (IMAlign).
2. Előillesztés használata.
3. Első kép rögzítése.
4. Második kép illesztése az elsőhöz.
5. Első és második kép rögzítése.
6. Harmadik kép illesztése a rögzített első és második képhez.
7. Ismételni a folyamatot, amíg az összes kép egymáshoz illeszkedik.



16. ábra: Az „egyenkénti” illesztés lépései

A következő illesztési lehetőség az agresszív („Aggressive”) illesztés. Amennyiben az előző metódusok közül egyik sem működött, javasolt ezt az illesztési eljárást használni. Ez az illesztés fajta hasonló az egyenkénti illesztéshez, azzal a különbséggel, hogy pont párokat („Point pairs”) használ, pontosabb illesztéshez. Akárcsak az előző esetekben, itt is szükséges átfedés a képek között. Az agresszív illesztés lépései:

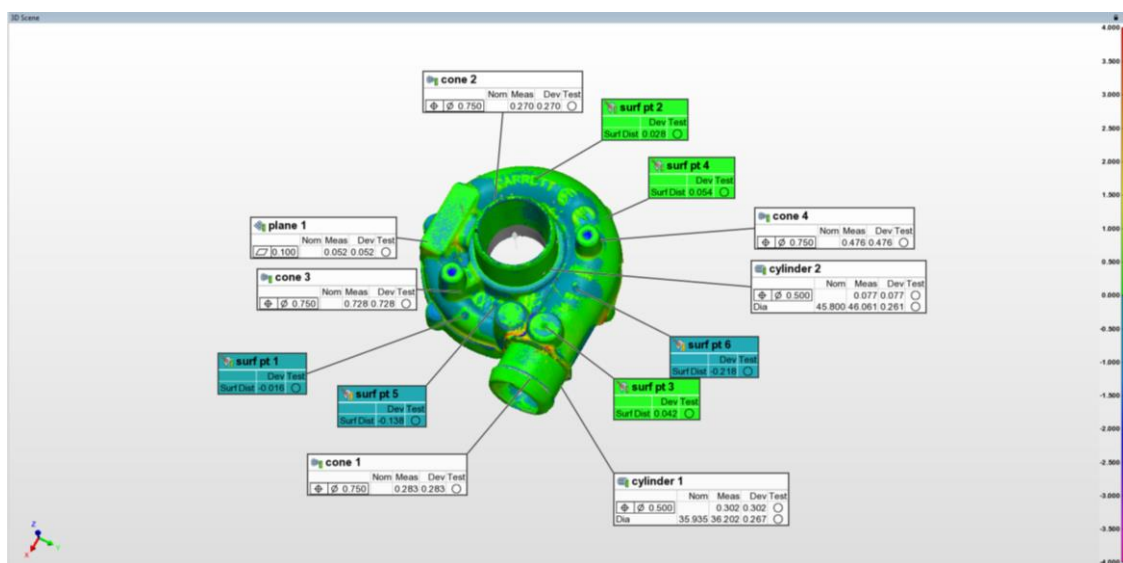
1. Képek beillesztése az illesztést végző szoftverbe (IMAlign).
2. Előillesztés használata.
3. Első kép rögzítése.
4. Pont párok felvétele az első és a második képen, ezt követően a szoftver egymáshoz illeszti a képeket.
5. Első és második kép rögzítése.
6. Harmadik kép a rögzített első és második képhez illesztése pontpárral.
7. Addig ismételni ezt a metódust, amíg az összes kép egymáshoz lesz illesztve.



17. ábra: Az „agresszív” illesztés lépései

4.3.2. Alak -és helyzettűrések

A mérés kiértékeléséhez a szoftver támogatja az Alak -és helyzettűréseket (GD&T – Geometric Dimensioning and Tolerancing). Az általam használt ilyen tűrések a kiértékeléshez a síklapúság és a pozíciótűrés. Az alábbi képen látható, hogy a mért elemek könnyű felismerhetőségére a szoftver címkéket alkalmaz, ezzel megkönnyítve a mért értékek leolvasását. A szkennelt eredmény CAD modellhez képesti eltérését „Data Color Map”-el azaz színtérképpel tettem áttekinthetőbbé, látványosabbá. Ez a funkció bizonyos mérettartományokhoz egy adott színt rendel. A mérés toleranciáját ± 4 mm-re állítottam. A szín skála az anyaghiányt a kék különböző árnyalataival és lilával jeleníti meg, az anyag többlet megjelenítésére pedig citromsárgát, narancssárgát és a felső határ közelében piros színt használ. A zöld és a halványkék színek a minimális eltérést jelölik. Ezeken a részekon vannak a legközelebb a mért értékek a nominálshoz.

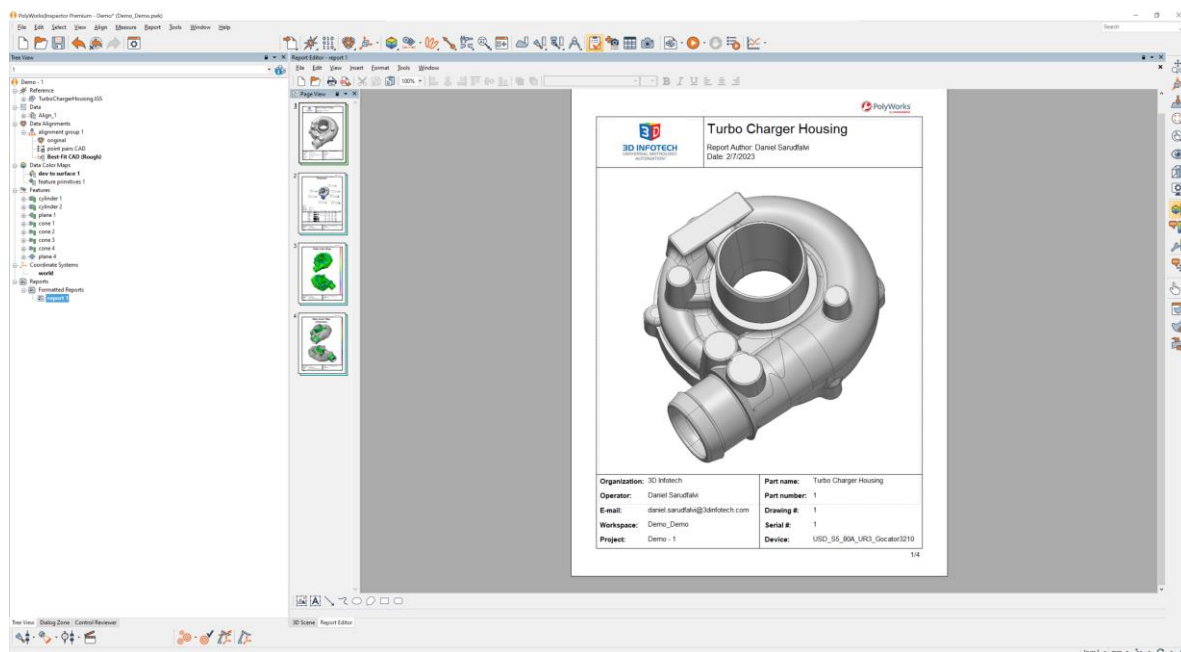


ábra 18: Alak -és helyzettűrések

4.3.3. Mérési riport készítése

Mérési riport készítését segítő elemek a PolyWorks szoftveren belül az Inspector™ modulban a Report fül alatt érhetőek el. A 3D Infotech Kft. által készített Streamline szoftver ezen felül egy ún. UMA template-et hoz létre a mérés végén, melynek segítségével a mérési riport készítése is könnyen automatizálható. Az első mérés végeztével a PolyWorks feldobja

az UMA template-et, ez a Streamline-ban megírt makrók segítségével történik. Ennek szerkesztését egy interaktív varázsló („Interactive Wizard”) segíti. Az alábbi képen látható, hogy feldob egy kérdést, hogy szeretnénk-e használni az interaktív varázslót. Ezt elfogadva, a szoftver végig vezet a szükséges lépéseken, hogy megfelelő riport készüljön a mérésünkhöz. Ez az első lépés. A második lépésben referencia objektumot kér a szoftver, itt tudjuk importálni a megfelelő CAD modellt. A következő lépésben a CAD modellen létrehozhatjuk a számunkra szükséges elemeket, mérési pontokat, méreteket, szintértéket. A negyedik lépésben az adat CAD modellre való illesztése következik, amelyet pont párokka tudunk véghez vinni. Az ötödik egyben utolsó lépés az eddigi munka áttekintésére szolgál, ebben a lépésben még le tudjuk ellenőrizni, hogy megfelelően sikerült-e az illesztés, illetve, hogy minden szükséges mérési pont rendelkezésre áll. Amint kész vagyunk, a Report Editor fülön még további mérési adatokat megadhatunk, illetve a mérési riportot tudjuk testre szabni. Itt megadhatjuk, hogy a riport borítóján, illetve a szövegmezőkben milyen értékek szerepeljenek. További testre szabásokat is végre tudunk hajtani, az eredményeket illetően,



ábra 19: PolyWorks Inspector™ mérési riport készítés

például a mérési eredményeket táblázatba helyezhetjük, axonometrikus képen a méreteket címkékkel elhelyezve fel lehet tüntetni, lehetőség van továbbá a mért elemek illeszkedésének

színtérképes megjelenítésére, ezzel is szemléletessé, átláthatóvá téve a mérési jegyzőkönyvet.

5. Eredmények

Ebben a fejezetben a kapott mérési eredményeket fogom részletesen elemezni, az automatizált és a kézi mérést összevetni. Az itt következő információk segíteni fogják a mérőrendszer előnyeinek ismertetését.

5.1. A mérés kiértékelése

A mérés kiértékelése szoftveres úton történik, ennek lépéseinek nagy része már korábban ismertetésre került. A mérések lezajlása után kapott riport eredményeit érdemes átellenőrizni, hogy meggyőződjünk a mérés pontosságáról és ismételhetőségéről. Annak érdekében, hogy elkerüljem az említett hibalehetőségeket, a PolyWorks-ben felvett elemek pontosságát ellenőrzöm le legelőször. Amennyiben meggyőződtem róla, hogy mindegyik megfelelően van felvéve, úgy következőnek a toleranciák pontosságát ellenőrzöm. Ezek után a színskála toleranciáját. Amennyiben minden rendben van, úgy a program készen áll a sorozat mérés megkezdésére.

5.1.1. A kézi és automatizált mérés összehasonlítása

Ahhoz, hogy megfelelően tudjam szemléltetni a kézi és az automatizált mérés közötti különbséget, 10-10 mérést hajtottam végre, ezeknek mérési idejét átlagoltam, így egy megfelelő közelítő értéket kaptam. A két mérési módszer főbb különbségeit a mérésre szánt időn és a mérőeszközök pontosságán keresztül szemléltetem. A korábbiakban ismertettem az automatizált mérőrendszer pontosságát, a gyártó által írt elérhető pontosság 0,035 mm. A kézi mérésekhez tolómérőt és mikrométert használtam. A tolómérő pontosságára a gyártó 0,1 mm-t garantál. A mikrométer pontosságára 0,05 mm-t. Az alábbi táblázatban a 10 mérés időtartama található és a mérések átlagideje, amivel számolok a továbbiakban.

3-mas számú táblázat: Mérések ideje

Mérés száma	Kézi Mérés időtartama	Automatizált mérés időtartama
1. mérés	0:43:22	0:42:13
2. mérés	0:44:19	0:03:10
3. mérés	0:42:18	0:03:07
4. mérés	0:45:17	0:03:15
5. mérés	0:41:58	0:03:12
6. mérés	0:42:32	0:03:09
7. mérés	0:44:32	0:03:22
8. mérés	0:43:48	0:03:11
9. mérés	0:42:51	0:03:13
10. mérés	0:44:03	0:03:05
Mérések átlaga	0:43:30	0:07:06

A táblázat értékei alapján megfigyelhető, hogy az automatizált mérések az első mérést leszámítva nagyságrendekkel rövidebb idő alatt lezajlottak. Az első mérés idejébe beleszámoltam a mérés teljes automatizálásának idejét, minden ahhoz szükséges lépéssel együtt. A második méréstől kezdve az idők a darab csere, a mérés és a kiértékelés idejéből adódnak.

6. Gazdasági számítások

Ebben a fejezetben ismertetem a mérőrendszer beruházásának költségeit és a beruházás megtérülési idejét. Az ehhez szükséges számításokat a következőkben fogom elvégezni.

6.1. A bekerülési -és megtérülési költség számítása

A teljes mérőrendszer ára minden szükséges eszközzel 43.200.000 Ft. Abban az esetben, ha egy mérést végző személy havi munkabére nettó 500.000 Ft, a cég minden járulékkal együtt összesen 751880 Ft-ot fizet ki. Ez alapján egy kiszámítható egy mérés ára, amit a munkavállaló elvégez. Egy mérés időtartama 43,5 perc, ami átváltva 0,725 óra. Ez alapján egy munkahónapban 168 munkaórával számolva:

$$\frac{168 \text{ h}}{0,725 \text{ h}} = 231,724 \sim 232$$

Tehát kerekítve 232 mérés végezhető el. Ezt elosztva a munkabérrel:

$$\frac{751880 \text{ Ft}}{232} = 3244,72 \text{ Ft} \sim 3245 \text{ Ft}$$

A mérőrendszerrel egy mérés 7,1 perc, ami 0,1183 ~ 0,12 órának felel meg. Ezek alapján egy hónap alatt elvégezhető mérések száma:

$$\frac{1}{0,12} \cdot 168 = 1400$$

Ez alapján a mérőrendszer egy hónap alatt:

$$\frac{1400}{\text{hó}} \cdot 3245 \text{ Ft} = 4.543.000 \frac{\text{Ft}}{\text{hó}}$$

Ekkora összeg értékben mér. Ahhoz, hogy a rendszer megtérüljön, ezzel az összeggel el kell osztani a beruházás összegét és megkapjuk, hogy mennyi idő alatt térül meg a befektetésünk:

$$\frac{43200000 \text{ Ft}}{4543000 \frac{\text{Ft}}{\text{hó}}} = 9,509 \text{ hó} \sim 10 \text{ hó}$$

Tehát a befektetés előreláthatóan körülbelül 10 hónap alatt megtérül.

7. Összegzés

A 3D mérés automatizálása rendkívül fontos a mérési folyamat hatékonyságának növelése és a hibalehetőségek csökkentése szempontjából. A folyamat során az objektumok geometriáját, méreteit és alakját gyorsan és pontosan meghatározhatjuk, értékes időt megspórolva ezzel, ami időt más, fontosabb, nagyobb koncentrációt és kreativitást igénylő munkákba lehet fektetni. Az automatizált 3D mérési folyamat előnyei közé tartozik az időmegtakarítás, a megbízhatóság, a nagyobb pontosság, a nagyobb mérések végzése és a nagyobb adatmennyiség kezelése. Az ilyen folyamatokat a számítógépes rendszerek és a szoftverek fejlődése teszi lehetővé, amelyek képesek a mérni kívánt tárgyakról azonnal információt adni: meghatározni a méreteiket az alakjukat és azonnal visszajelzést adni azok eltérésének mértékéről. Ezen megoldások alkalmazása nagyon fontos és napjainkban egyre népszerűbb az ipari termelésben, a minőségellenőrzésben, a tervezésben és a fejlesztésben. A mérési folyamatok automatizálása lehetővé teszi a termelési költségek csökkentését az emberi hibák minimalizálása mellett, ezzel is elősegítve a minőségi termékek előállítását.

8. Summary

The 3D measurement automation is extremely important in increasing the efficiency of the measurement processes and reducing the possibility of errors. During the process, the geometry, dimensions, and shape of the objects can be determined quickly and accurately, saving valuable time, which time can be invested in other, more important work that requires greater concentration and creativity. The benefits of an automated 3D measurement process include time savings, reliability, greater accuracy, larger measurements, and handling of larger volumes of data. Such processes are made possible by the development of computer systems and software, which can immediately provide information about the objects to be measured: determine their dimensions and shape and immediately provide feedback on the extent of their deviation. The application of these solutions is very important and nowadays increasingly popular in industrial production, quality control, design, and development. Automating the measurement processes makes it possible to reduce production costs while minimizing human errors, thereby promoting the production of quality products.

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Sarudfalvi Dániel
A Hallgató Neptun kódja: HJWVCP
A dolgozat címe: 3D mérés automatizálás
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Mechatronika

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Gödöllő, 2023 év május hó 2. nap


Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Sarudfalvi Dániel (név) (hallgató Neptun azonosítója: HJWVCP) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2023 év május hó 2. nap



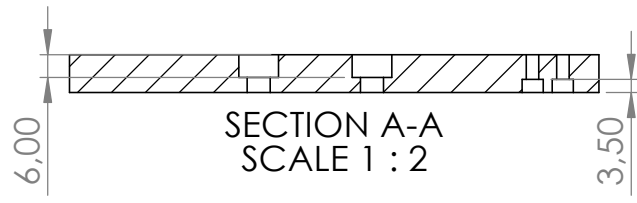
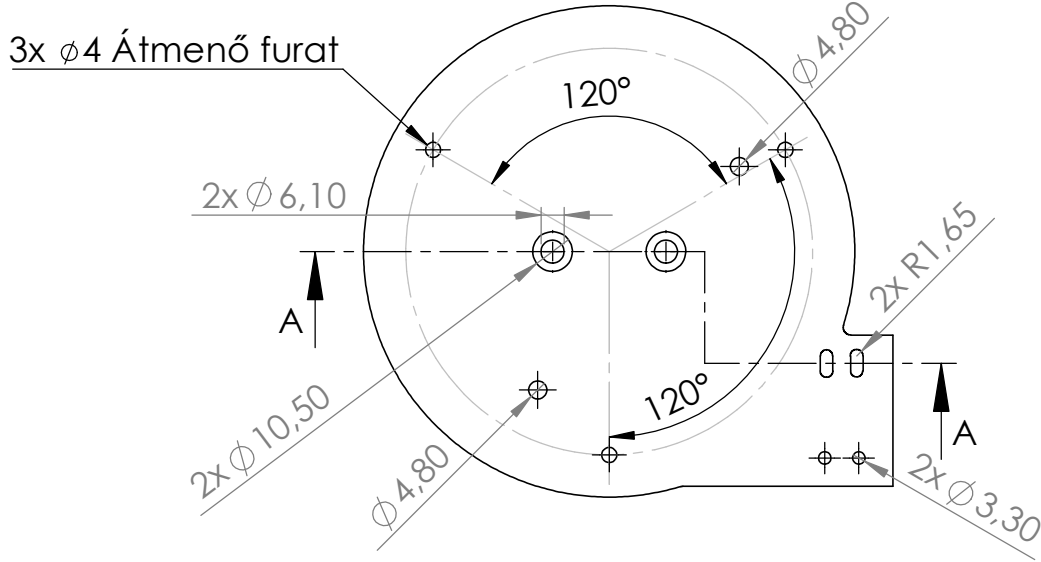
Belső konzulens

10. Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.tuvsud.com/hu-hu/szolgalatasok/audit-es-rendszertanulas/iso-9001>
- [2] <https://www.tuvsud.com/hu-hu/szolgalatasok/audit-es-rendszertanulas/iso-14001>
- [3] <https://www.tuvsud.com/hu-hu/szolgalatasok/audit-es-rendszertanulas/iatf-16949>
- [4] <https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvany-adatok?standard=124789>
- [5] <https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvany-adatok?standard=124790>
- [6] 3D Infotech - Smart Desktops User Manual – 2nd Edition
- [7] Méréstechnika – Czifra Árpád, Drégelyi-Kiss Ágota, Galla Jánosné, Huba Antal, Kis Ferenc, Petróczki Károly, 2012.
- [8] Robottechnika I – Kulcsár Béla
- [9] Robottechnika II – Kulcsár Béla
- [10] <https://www.universal-robots.com/media/1807464/ur3e-rgb-fact-sheet-landscape-a4.pdf>
- [11] <https://www.3d-scantech.com/>
- [12] <https://www.universal-robots.com/>
- [13] <https://www.3dinfotech.com/>
- [14] Kun Krisztián - Dr. Líksa János - Nagy József – Készüléktervezés, 2017.
- [15] User Manual - Gocator Snapshot Sensors 15199-6.1.32.12 – Gocator 3210 & 3500 Series Sensors by LMI Technologies Inc.
- [16] Gyáni K., Kazár L., Molnár J.: Készülékszerkesztés. NME jegyzet. Budapest, 1976
- [17] Filus K. – Szabó B.: Készülékszerkesztés I. GAMF-jegyzet, 1997.
- [18] 3D Infotech, Streamline User Manual, 2022
- [19] Innovmetric – Reference Guide PolyWorks | Inspector, 2023.
- [20] Innovmetric – Reference Guide IMAlign, 2023.
- [21] Dr. Huba Antal – Dr. Lipovszki György – Méréselmélet, 2014.
- [22] <https://control.com/technical-articles/robot-motion-command-typesexplained/>

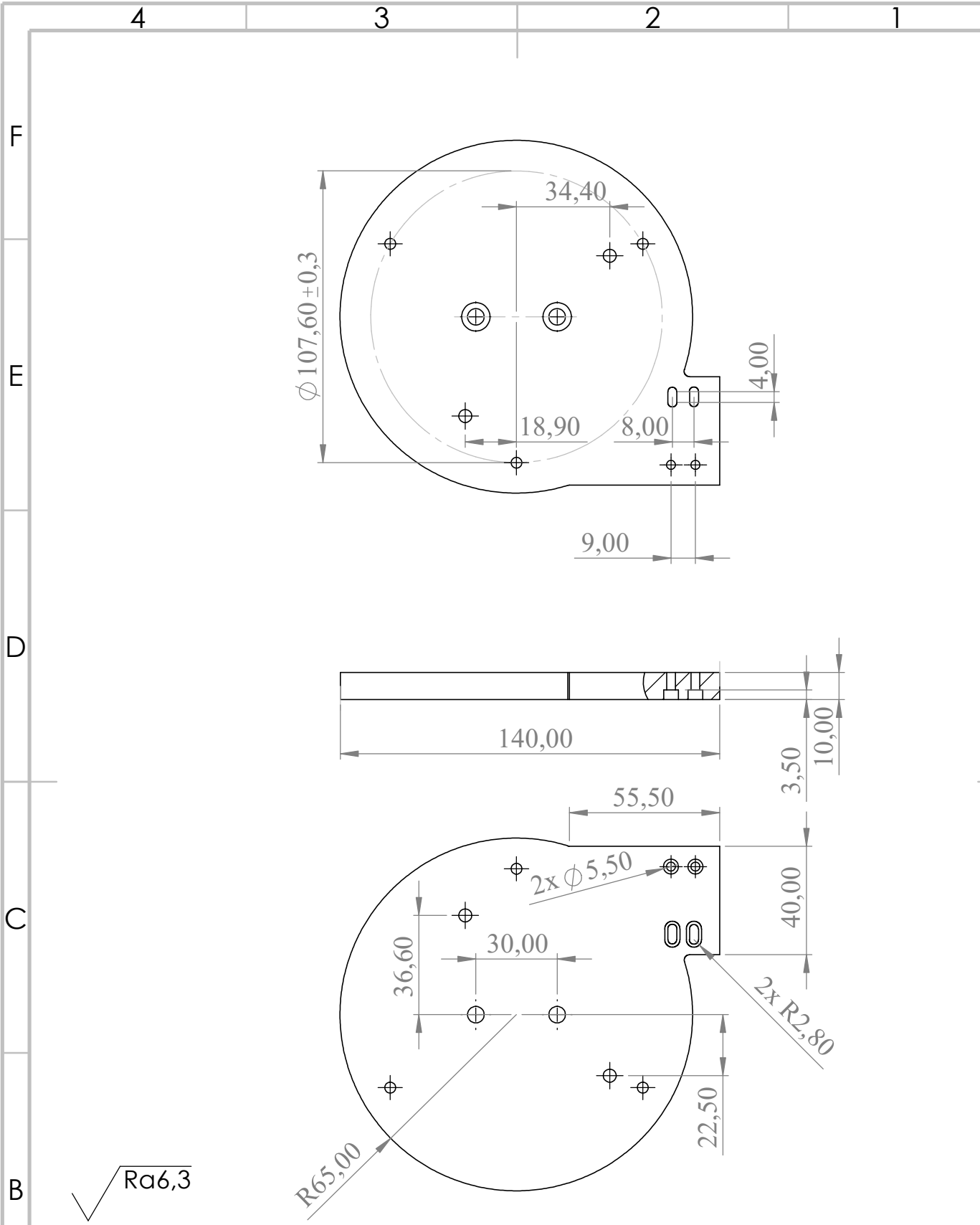
11. Mellékletek

Az alábbiakban mellékelem a tubófeltöltő kompresszorházáról és a hozzá tervezett befogóról készült műhelyrajzokat.



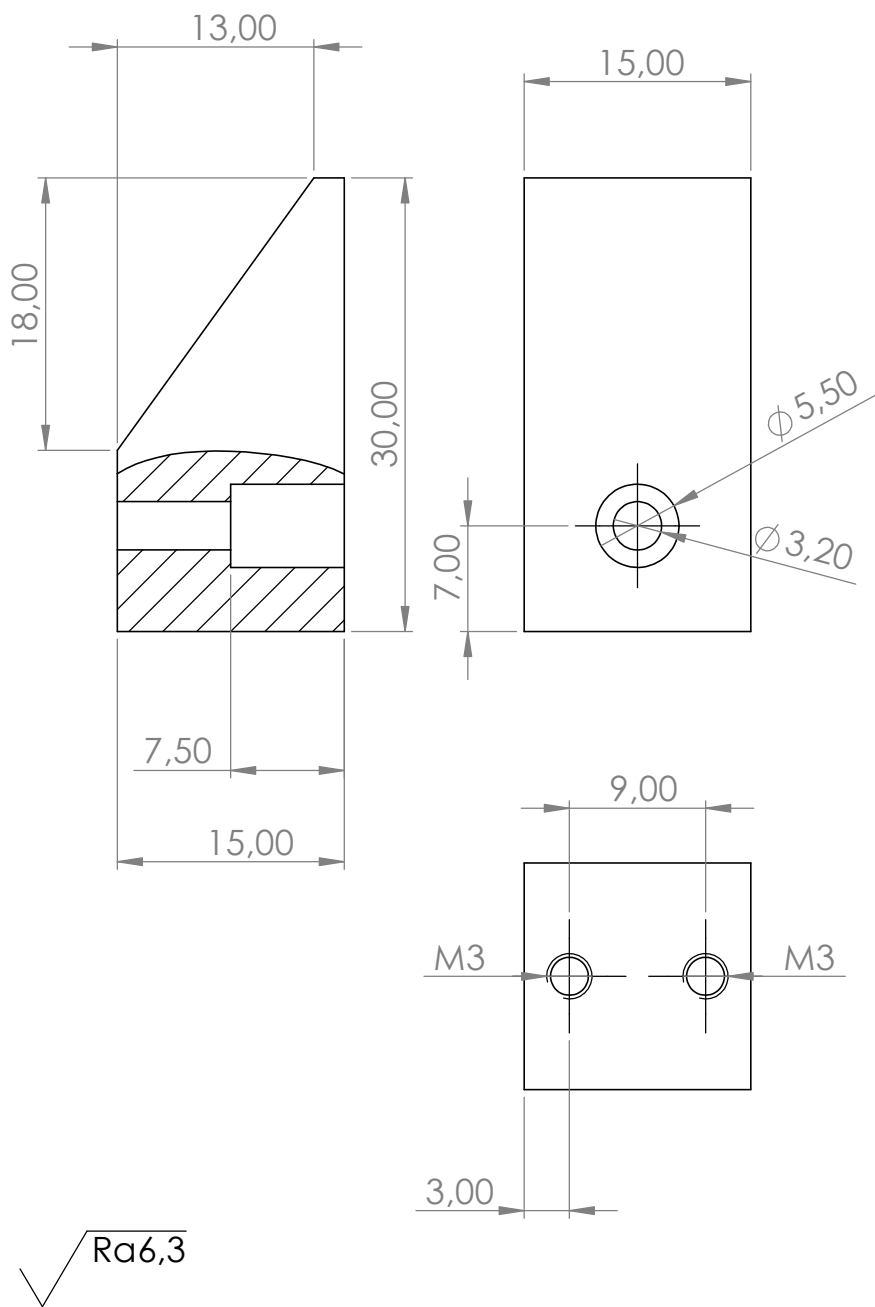
✓ Ra6,3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: Ra 6,3 TOLERANCES: LINEAR: ISO 2768-mK ANGULAR: ISO 2768-mK			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		v1		
		NAME		SIGNATURE		DATE						TITLE: Befogó lemez	
DRAWN		Sarudfalvi Dániel				2023.04.25							
CHK'D													
APPV'D													
MFG													
Q.A													
								MATERIAL:		DWG NO. 1			
								POM-C					
								WEIGHT: 135 g		SCALE: 1:2			
										SHEET 2 OF 2			

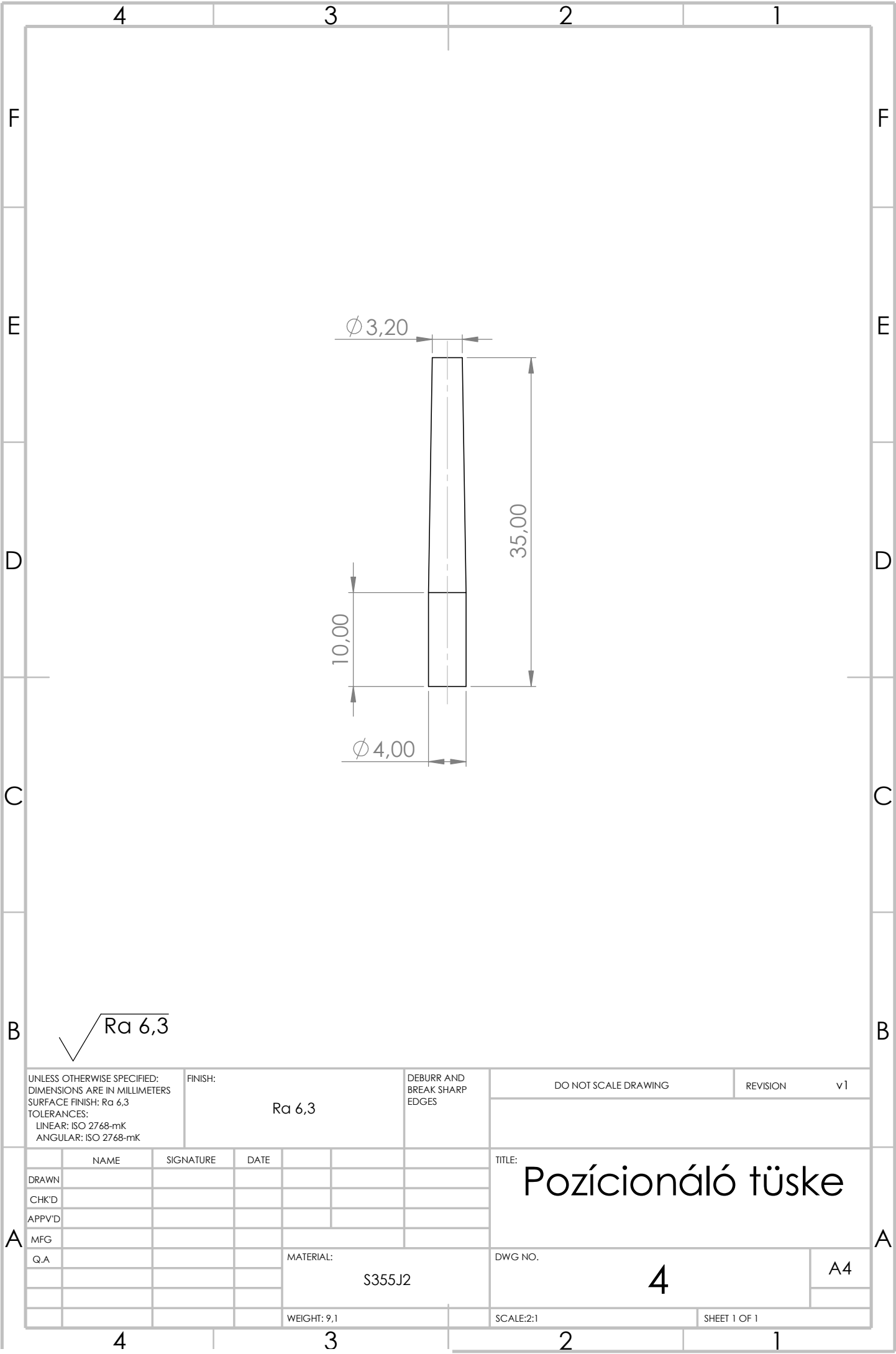


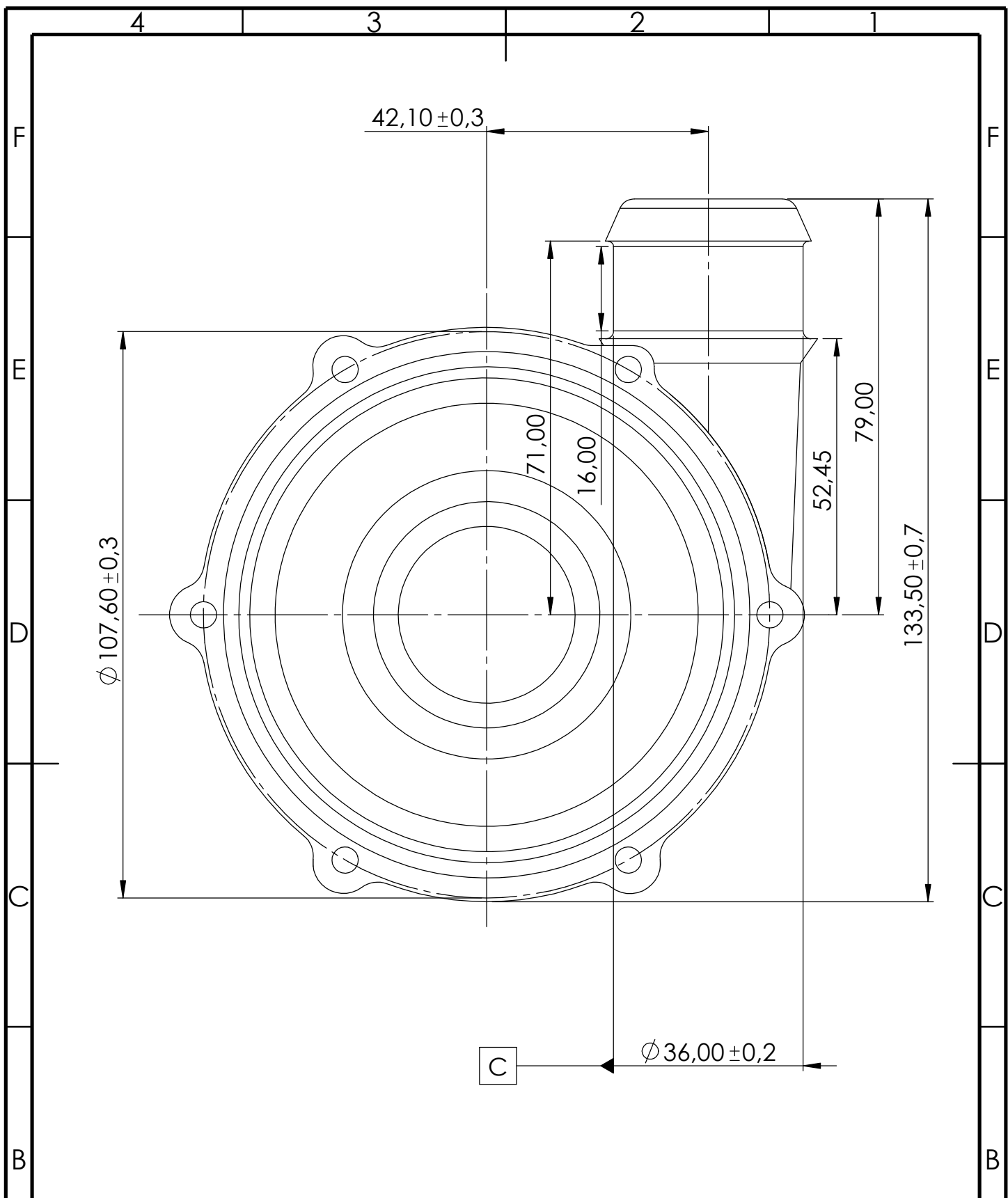
✓ Ra6,3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: Ra 6,3 TOLERANCES: LINEAR: ISO 2768-mK ANGULAR: ISO 2768-mK				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES R1		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION: v1		
	NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE: Befogó lemez			
DRAWN	Sarudfalvi Dániel				2023.04.25							
CHK'D												
APPV'D												
MFG												
Q.A												
							MATERIAL: POM-C		DWG NO. 1		A4	
							WEIGHT: 135 g		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 2	

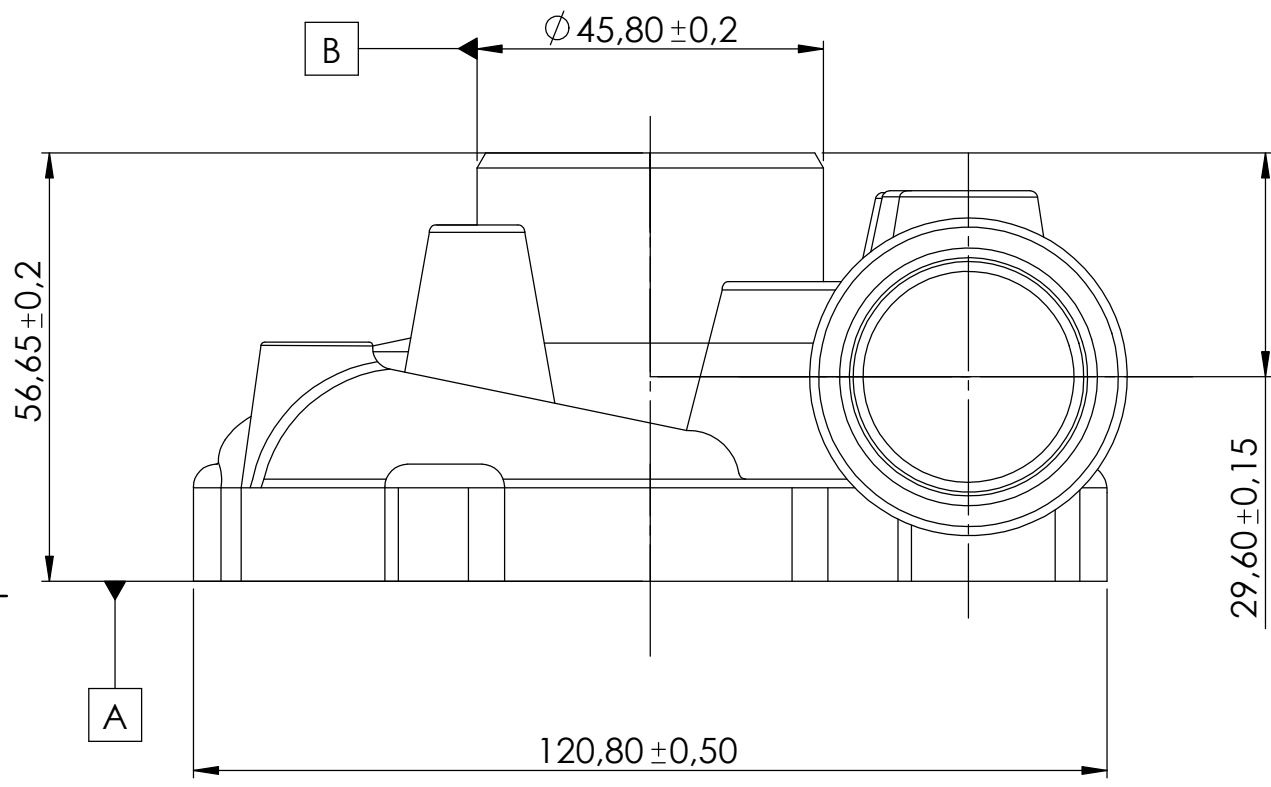


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: Ra 6,3 TOLERANCES: LINEAR: ISO 2768-mK ANGULAR: ISO 2768-mK				FINISH: Ra 6,3		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		v1		
	NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE: Rögzítő elem					
DRAWN														
CHK'D														
APPV'D														
MFG														
Q.A					MATERIAL: POM-C				DWG NO. 3				A4	
					WEIGHT: 9,8 g						SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: Ra 12,5 TOLERANCES: LINEAR: ISO 2768-mK ANGULAR: ISO 2768-mK				FINISH: Ra 12,5		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION v1	
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: Turbófeltöltő kompresszorház - alulnézet					
DRAWN											
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A				MATERIAL: AlMgSi-12			DWG NO. 6				A4
				WEIGHT: 210 g			SCALE:1:1				SHEET 1 OF 1



✓ Ra12,5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: Ra 12,5 TOLERANCES: LINEAR: ISO 2768-mK ANGULAR: ISO 2768-mK				FINISH: Ra 12,5		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION v1																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NAME</th> <th>SIGNATURE</th> <th>DATE</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>DRAWN</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>CHK'D</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>APPV'D</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MFG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Q.A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>									NAME	SIGNATURE	DATE					DRAWN								CHK'D								APPV'D								MFG								Q.A																																								TITLE: Turbófeltöltő kompresszorház - előlnézet			
	NAME	SIGNATURE	DATE																																																																																								
DRAWN																																																																																											
CHK'D																																																																																											
APPV'D																																																																																											
MFG																																																																																											
Q.A																																																																																											
MATERIAL: AlMgSi-12								DWG NO. 7																																																																																			
WEIGHT: 210 g								SCALE: 1:1																																																																																			
								SHEET 1 OF 1																																																																																			
								A4																																																																																			

