

# SZÁMÍTÓGÉPPEL INTEGRÁLT ROBOTVEZÉRLÉSŰ RUGALMAS GYÁRTÓCELLA KIFEJLESZTÉSE KIS ÉS KÖZEPES SOROZATÚ GYÁRTÁSSZÉRIÁK SZÁMÁRA

## DEVELOPMENT OF COMPUTER-INTEGRATED, ROBOT- CONTROLLED FLEXIBLE MANUFACTURING CELL FOR SMALL AND MEDIUM PRODUCTION BATCHES

*Balaskó Péter, dr. Ferenczy László, Ferenczy László, dr. Postásy Rudolf, Postásy Csaba*

### 1. ABSTRACT

It is vital importance for the competitiveness of the SME's to be able to join the international Industry 4.0 network. Because of the lack of the existing complex robotic solutions in the market Technocar-MC-2003 Ltd. developed a flexible manufacturing cell, which comply with the criteria of Industry 4.0.

### 2. BEVEZETÉS

Az első, második és a harmadik ipari forradalom az általános célú technológiák – gépesítés, villamos energia és informatika – gyors terjedésének köszönhetően nagy termelékenységnövekedést ért el. A negyedik ipari forradalom az első háromtól abban különbözik, hogy az élet minden területére vonatkoztatható: „Az Ipar 4.0 magában foglalja a gyártási környezet növekvő digitalizálását és automatizálását, valamint a digitális értékláncok létrehozását a termékek, környezetük és üzleti partnereik közötti kommunikáció megvalósulása érdekében.”

A Technocar-MC-2003 Kft. (továbbiakban Technocar) magyarországi KKV vállalat, melynek fő tevékenysége a fémmegmunkálás. **Az Ipar 4.0 térnyerésével szükséges számukra egy olyan gyártóegység cella, amellyel a vállalat be tud kapcsolódni a nemzetközi Ipar 4.0 hálózatába.**

A piacon késztermékként elérhető komplex robot-megoldások jelentős áruk miatt elsősorban nagyvállalatok, azon belül is a multinacionális vállalatok (pl. autógyárak) számára elérhető; ugyanakkor a KKV-k is fokozottan érdeklődnek a termék iránt. Érdeklődésük legfőbb oka az iparban általánosan jellemző munkaerőhiány, amely az utóbbi években a legkomolyabb gátjává vált növekedésüknek.

A humánkapacitás szűkössége ellenére a robottechnológiát mégsem tudják alkalmazni, mert egyrészt nincs meg hozzá a felkészültségük, hogy a kapható alkatrészekből, modulokból felépítsék saját rendszerüket, másrészt a piacon nem érhető el speciálisan nekik szánt funkcióval és árázással jellemezhető késztermék.

Így a Technocar által kifejlesztett rugalmas gyártócella alkalmazása nemcsak munkaerő megtakarítást jelent, hanem természetszerűleg, a termelékenységet is ugrásszerűen javíthatja, így az eredményesség is nőhet. Emellett a termelékenység javulása magával hozza a takarékosabb erőforrás gazdálkodás (pl. kevesebb selejt), a kisebb környezetterhelést (pl. energia- és anyagfelhasználás csökkenés, üzemen belüli logisztikai utak észszerűbbé válása), nemzetgazdasági szintű versenyképesség javulást.

### 3. A RUGALMAS GYÁRTÓCELLA

A kutatás célja egy **IPAR 4.0-ra alkalmas intelligens gyártócella** fejlesztése volt, melynek elemei (1. ábra):

- Alapanyag előkészítő
- CNC eszterga (MAZAK Quick Turn 200MSY)
- CNC megmunkáló központ (MAZAK HCN-5000/50)
- Késztermék- és hulladékártoló egység
- Központi robot megfogóval a logisztikai feladatokhoz (ABB IRB 6620)
- Geometriai mérésre alkalmas szkennerek (GOM ATOS Core 5M)
- Munkadarab jelölő (Markem Imaje 9410)



1. ábra – A gyártócella elemei

Az említett egységek mindegyike összeköttetésben áll egy központi számítógéppel, amelyen egy általános gyártásfelügyelő program fut. Az összeköttetés a központi számítógép részéről kétirányú, a központ adatokat kap a gyártóegységektől, valamint a beépített PLC segítségével, a gyártóegységek állapotától (státuszától) függően, utasításokat küld az egyes gyártóegységeknek.

Ehhez a központi számítógéphez egy adatbank is tartozik, melynek segítségével általános adattárolás történik; minden adat, amely a rendszeren belül létrejön, automatikusan tárolásra kerül. A szükséges adatok a kutatási projekten belül riportokban lekérhetők, valamint a kutatási projektet követően tetszőleges riportokat is kiszolgálhatnak.

A geometriai mérésre alkalmas szkennerekkel a gyártási folyamat közvetlenül ellenőrizhető. A munkadarabok így három kategóriába sorolhatók be:

- **jó** minősítés
- **javítható selejt** minősítés (pl. furatbővítés)
- **javíthatatlan selejt** minősítés (pl. túl nagy átmérőjű furat)

A kialakításra kerülő gyártócella így maximális kontrollt biztosít a teljes folyamatot illetően. A gyártócella a belső elérésen kívül távoli hozzáférést is biztosít a cellát alkalmazó vállalatnak, illetve az ügyfeleknek és a beszállítói láncnak egyaránt.

A munkadarab jelölés és az általános adattárolás lehetőségével minden munkadarabról – igény szerint – teljes dokumentáció (pl. mérési jegyzőkönyv) készül automatikusan. Ez később visszakereshető, és statisztikai illetve tetszőleges későbbi gyártási (pl. szerszámbeállítások), illetve szerelési (pl. válogató párosítás) művelethez felhasználható.

#### 4. AZ IPAR 4.0-HOZ SZÜKSÉGES ÚJ FUNKCIÓK

A piacon a rendszer alapját adó gépek (alapanyag adagoló, CNC eszterga, CNC megmunkáló központ, 3D szkennerek, központi robot, munkadarab jelölő) elérhetőek. Ez a hat gép viszont hat különböző működési rendszerrel rendelkezik, melyeket **egy közös központi rendszerbe integrálni kellett.**

Az Ipar 4.0-ra való felkészüléshez szükséges továbbá egy **gyártásfelügyelő-** és egy **távoli elérést biztosító informatikai rendszer,** amely képes:

- **Kapcsolatban állni az összes eszközzel,** adatokat kiolvasni, programot visszatölteni, logisztikai feladatokat (alapanyag adagoló, központi robot) felügyelni, valamint a késztermék/selejt osztályozással a folyamatba beavatkozni

- **Adatokat tárolni,** valamint tetszőlegesen definiált riportok formájában ezeket megjeleníteni

- **Előre definiált helyzeteket felismerni** (pl. adott paraméter definiált értékének túllépése) és figyelmeztetést / riasztást küldeni

- **Munkadarabokat mérés alapján minősíteni** és javítható selejt esetén egy javító CNC programot generálni

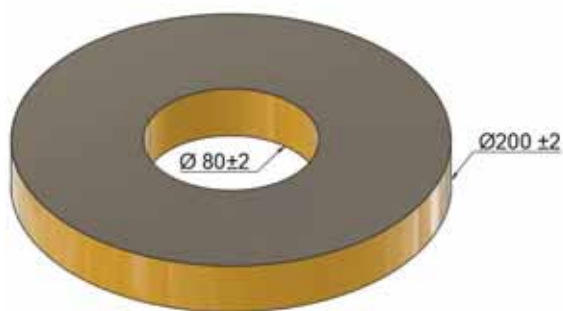
- A tárolt adatok alapján a **munkadarabhoz/sorozathoz tartozó adatot exportálni,** és nyomtatott formában a munkadarabon eltárolni

- Az **adatokat hozzáférhetővé tenni belső hálózaton belül**

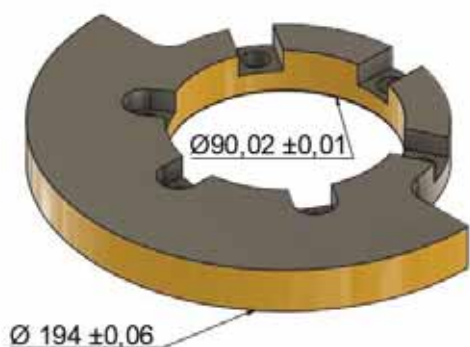
- **Külső elérést** biztosítani a megfelelő jogosultsággal rendelkezők számára a belső adatokhoz

#### 5. MUNKADARAB, MEGMUNKÁLÁSI MŰVELETEK, GEOMETRIA ELLENŐRZÉS GOM 3D SZKENNERREL

A gyártócella kifejlesztéséhez kiválasztott munkadarab egy Technocar által gyártott termék. Az előgyártmányt, a kész terméket, valamint a kritikus méreteket az alábbi képek mutatják:



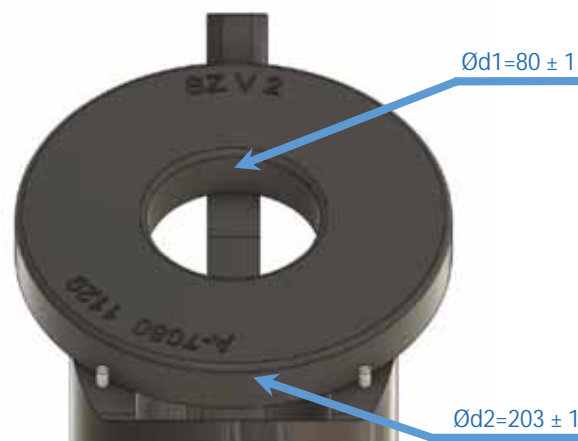
2. ábra – Előgyártmány geometriája



3. ábra – A kész munkadarab a kritikus túrt méretekkel

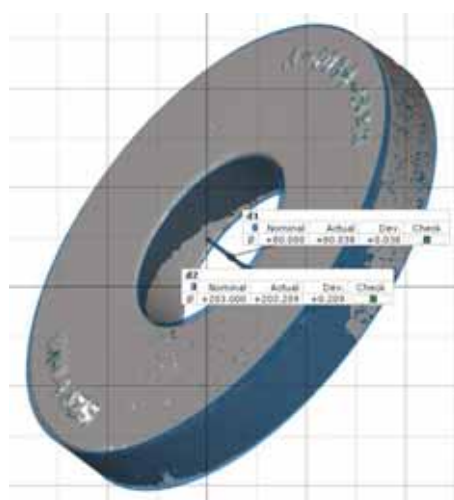
A munkadarab cellában történő megmunkálására a korábban bemutatott gyártástechnológiai, valamint a rugalmas gyártócella elkészüléséhez szükséges követelmények alapján a következő gyártási és készülékezési műveletek kerültek kialakításra:

- A cellába történő bevitelt, és az első pozícióba történő mozgatást egy futószalag végzi
- Ezt követően a robot az öntvénytárcsa előgyártmányt felveszi, és a GOM 3D mérőeszköz ülékébe helyezi (4. ábra)



4. ábra – Előgyártmány GOM 3D szkennert forgóasztalára szerelt ülékben, ellenőrzött átmérők jelölésével

- A GOM 3D optikai mérőrendszer ellenőrzi az öntvény előgyártmány belső furatát és külső átmérőjét, a megfelelő esztergálási ráhagyás meglétéhez (5. ábra)
- A külső átmérő az első megmunkálási műveletnél is fontos az eszterga tokmányában történő megfogáshoz

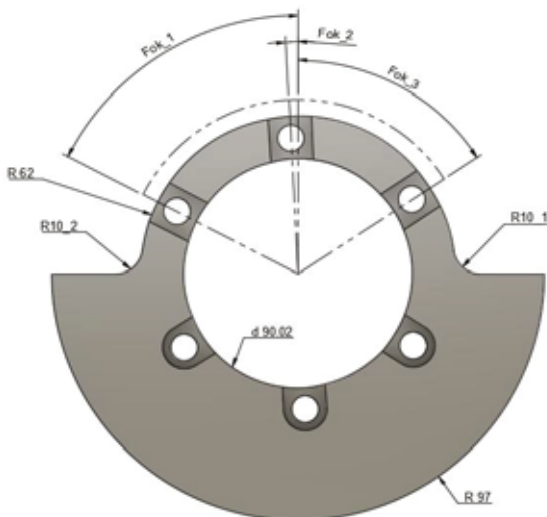


5. ábra – Példa az előgyártmány d1 és d2 átmérőjének ellenőrzésére GOM 3D szkennerral

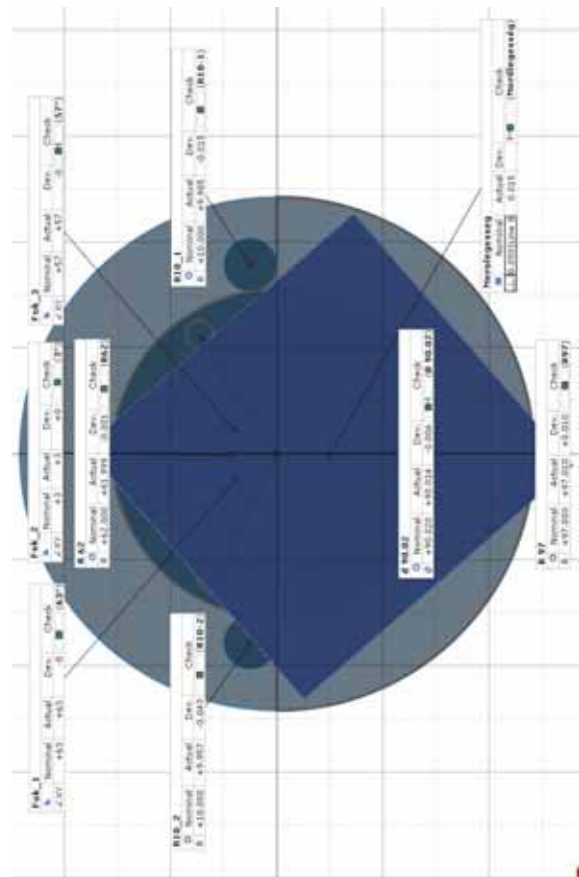
- Ha az öntvény megfelelő (az 5. ábra mindkét átmérő „Check” mezője zöld színű), a darabot a robot áthelyezi a Mazak QT200 MSY főorsójába az első megmunkálási műveletre
- Az első megmunkálás az eszterga főorsójában történik, ezt követően az előgyártmányt az ellenorsó átveszi és a

következő megmunkálás ebben a megfogásban történik

- Az esztergálást a megmunkálóközpont műveletei követik öt különböző megfogásban. A megfogások közötti váltás a központi robot és fordítóasztal segítségével történik. A gyártásközi mérés a Renishaw rendszerével ebben a műveleti sorban került kialakításra, amikor a végleges túrt méretek is megmunkálásra kerültek
- A megmunkálást követően a robot kiveszi a kész darabot. Ezt követi a munkadarab levegővel történő lefúvatós tisztítása, a mérési felület előkészítése / automatikus lefúvatása AESUB Green szublimáló folyadékkal és a túrt méretek ellenőrzése 3D szkennelvel (6. ábra és 7. ábra); majd a munkadarab megjelölése, a kritikus méretek és a mérés minősítésének (jó – nem jó/eldöntendő) munkadarabra történő nyomtatása.



6. ábra – A kész munkadarab GOM 3D szkennelvel ellenőrzött méretei



7. ábra – Példa a kész munkadarabon GOM 3D szkennelvel végzett mérési eredményekre

## 6. GOM 3D SZKENNER ADAPTÁCIÓ ÉS A FOLYAMAT PONTOSÁGA

A gyártócellában a geometriai méretek ellenőrzésére a **GOM ATOS Core 5M 3D** – Digitalizáló rendszere került kiválasztásra, amely ATOS Core 5M Professional Line **mérőrendszert** és GOM ROT **motorizált forgató asztalt** tartalmaz. A gyártó tájékoztatása szerint a kék LED fényforrást használó GOM vetítőegység által használt Blue Light technológia lehetővé teszi a környezeti fényviszonyoktól független, pontos mérést. Azonban az optikai mérőrendszert esetlegesen zavaró, sajátosan változó környezeti fényviszonyok hatásainak csökkentése érdekében különböző árnyékolásokat alkalmaztunk az üzemben.

A jó kontrasztértékek és a pontos mérési eredmények eléréséhez AESUB **mattító anyagot** (folyadékot) választottunk, amely teljesen **elpárolog** és nem hagy maradványokat a munkadarab felületén. Kísérleti tapasztalataink alapján a mattító anyag alkalmazása főleg a magas fényvisszaverő tulajdonsággal rendelkező részek, valamint bevarások esetében fontos. Ennek megfelelően

csak a kész munkadarab mérése esetén alkalmaztuk. A folyadékot egy **vezérlőszelvényekkel ellátott szórófejjel** vittük föl a felületre, hogy vékony és homogén matt bevonatot tudjunk kialakítani a munkadarab felületén, amely ideális előfeltételeket biztosít a pontos optikai érzékeléshez.

A cella pontossága egyrészt a gyártóeszközök pontosságából, valamint a cella önálló mérési képességéből (3D szkennerek) adódik. A fejlesztés eredményeként kialakított gyártócella, illetve a beépített GOM 3D szkennerek pontosságának ellenőrzéséhez összehasonlító méréseket végeztünk, ennek megfelelően **a GOM 3D szkennerek mérési adatait összehasonlítottuk egy 3D koordináta mérőgéppel** (típusa: WENZEL LH87) **mérési adataival**. Az összehasonlítás eredményeit az alábbiakban foglaltuk össze.

| Megnevezés   | névleges méret | ATH   | FTH   |
|--------------|----------------|-------|-------|
| merőlegesség | 0              | 0     | 0,05  |
| d 90,02      | 90,02          | 90,01 | 90,03 |
| R10_1        | 10             | 9,5   | 10,5  |
| R10_2        | 10             | 9,5   | 10,5  |
| R 62         | 62             | 61,95 | 62,05 |
| R 97         | 97             | 96,97 | 97,03 |
| fok_1        | 63,0°          | 62,5° | 63,5° |
| fok_2        | 3,0°           | 2,5°  | 3,5°  |
| fok_3        | 57,0°          | 56,5° | 57,5° |

8. ábra – WENZEL koordináta mérőgép mérésismétlési eredmények

| min.    | max.    | max.-min |
|---------|---------|----------|
| 0,001   | 0,0062  | 0,0052   |
| 90,011  | 90,025  | 0,014    |
| 9,968   | 9,992   | 0,024    |
| 9,965   | 9,994   | 0,029    |
| 62,018  | 62,021  | 0,003    |
| 97,004  | 97,008  | 0,004    |
| 63,034  | 63,037° | 0,003°   |
| 3,044°  | 3,048°  | 0,004°   |
| 56,9656 | 56,968° | 0,002°   |

9. ábra – WENZEL koordináta mérőgép mérésismétlési eredmények

| mérés ismétlési bizonytalanság (+/-) | mérés ismétlési bizonytalanság (+/-) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0,0026 mm                            | 2,6 μ                                |
| 0,0070 mm                            | 7,0 μ                                |
| 0,0120 mm                            | 12,0 μ                               |
| 0,0145 mm                            | 14,5 μ                               |
| 0,0015 mm                            | 1,5 μ                                |
| 0,0020 mm                            | 2,0 μ                                |
| 0,0017°                              |                                      |
| 0,0020°                              |                                      |
| 0,0010°                              |                                      |

10. ábra – WENZEL koordináta mérőgép mérésismétlési eredmények

A 3D koordináta mérőgépen elsőként egy **bázis mérés** készült, majd mérésismétlési próbát végeztünk. A koordináta mérőgép – ehhez tartozó – mérésismétlési eredményeit a fenti táblázat (8. ábra, 9. ábra, 10. ábra) mutatja. Az összefoglaló eredmények ugyanazon munkadarabról készültek, 10 mérés alapján. A fenti táblázat alapján a WENZEL koordináta mérőgép mérésismétlési hibát **megfelelőnek** tartottuk, ezért a GOM mérési eredményeket ehhez viszonyítva vizsgáltuk ugyanazon a munkadarabon. A GOM mérési eredményeket az alábbi táblázatok foglalják össze. (11. ábra, 12. ábra, 13. ábra, 14. ábra)

A legkritikusabb méret a  $\varnothing 90,02 \pm 0,01$  méret (a táblázatokban d90.02 jelöléssel szerepel) volt. A WENZEL mérésismétlés hiba erre a méretre 7 μ szórást mutatott, így a GOM rendszerrel mért  $\varnothing 90,023$  mm-t elfogadottnak tekintettük.

| Element      | Property | Nominal | Actual  | Tol -  | Tol +  | Dev    |
|--------------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Merolegesség | ⊥        | +0.000  | +0.013  | +0.000 | +0.050 | +0.013 |
| d 90.02      | ∅        | +90.020 | +90.023 | -0.010 | +0.010 | +0.003 |
| R10_1        | R        | +10.000 | +9.951  | -0.500 | +0.500 | -0.049 |
| R10_2        | R        | +10.000 | +9.971  | -0.500 | +0.500 | -0.029 |
| R 62         | R        | +62.000 | +62.003 | -0.050 | +0.050 | +0.003 |
| R 97         | R        | +97.000 | +97.011 | -0.030 | +0.030 | +0.011 |
| Fok_1        | ∠XY      | +63     | +63     | -1     | +1     | -0     |
| Fok_2        | ∠XY      | +3      | +3      | -1     | +1     | +0     |
| Fok_3        | ∠XY      | +57     | +57     | -1     | +1     | -0     |

11. ábra – GOM Mérés eredménye



| Element      | Property    | Nominal | Actual  | Tol -  | Tol +  | Dev    |
|--------------|-------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Merolegesség | $\perp$     | +0.000  | +0.015  | +0.000 | +0.050 | +0.015 |
| d 90.02      | $\emptyset$ | +90.020 | +90.014 | -0.010 | +0.010 | -0.006 |
| R10_1        | R           | +10.000 | +9.985  | -0.500 | +0.500 | -0.015 |
| R10_2        | R           | +10.000 | +9.957  | -0.500 | +0.500 | -0.043 |
| R 62         | R           | +62.000 | +61.999 | -0.050 | +0.050 | -0.001 |
| R 97         | R           | +97.000 | +97.010 | -0.030 | +0.030 | +0.010 |
| Fok_1        | $\angle XY$ | +63     | +63     | -1     | +1     | -0     |
| Fok_2        | $\angle XY$ | +3      | +3      | -1     | +1     | +0     |
| Fok_3        | $\angle XY$ | +57     | +57     | -1     | +1     | -0     |

12. ábra – GOM mérésismétlési próba (1)

| Element      | Property    | Nominal | Actual  | Tol -  | Tol +  | Dev    |
|--------------|-------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Merolegesség | $\perp$     | +0.000  | +0.017  | +0.000 | +0.050 | +0.017 |
| d 90.02      | $\emptyset$ | +90.020 | +90.021 | -0.010 | +0.010 | +0.001 |
| R10_1        | R           | +10.000 | +9.986  | -0.500 | +0.500 | -0.014 |
| R10_2        | R           | +10.000 | +9.973  | -0.500 | +0.500 | -0.027 |
| R 62         | R           | +62.000 | +61.998 | -0.050 | +0.050 | -0.002 |
| R 97         | R           | +97.000 | +97.006 | -0.030 | +0.030 | +0.006 |
| Fok_1        | $\angle XY$ | +63     | +63     | -1     | +1     | -0     |
| Fok_2        | $\angle XY$ | +3      | +3      | -1     | +1     | +0     |
| Fok_3        | $\angle XY$ | +57     | +57     | -1     | +1     | -0     |

13. ábra – GOM mérésismétlési próba (2)

| Element      | Property    | Nominal | Actual  | Tol -  | Tol +  | Dev    |
|--------------|-------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Merolegesség | $\perp$     | +0.000  | +0.010  | +0.000 | +0.050 | +0.010 |
| d 90.02      | $\emptyset$ | +90.020 | +90.027 | -0.010 | +0.010 | +0.007 |
| R10_1        | R           | +10.000 | +9.970  | -0.500 | +0.500 | -0.030 |
| R10_2        | R           | +10.000 | +9.939  | -0.500 | +0.500 | -0.061 |
| R 62         | R           | +62.000 | +62.001 | -0.050 | +0.050 | +0.001 |
| R 97         | R           | +97.000 | +97.010 | -0.030 | +0.030 | +0.010 |
| Fok_1        | $\angle XY$ | +63     | +63     | -1     | +1     | -0     |
| Fok_2        | $\angle XY$ | +3      | +3      | -1     | +1     | +0     |
| Fok_3        | $\angle XY$ | +57     | +57     | -1     | +1     | -0     |

14. ábra – GOM mérésismétlési próba (3)

A kritikus átmérő (d90.02) értékei 90,014 és 90,027 közötti volt. Ebben az esetben megállapítható 6,5  $\mu$ -os „szórás”, ami figyelembe véve a WENZEL 7  $\mu$ -os „szórását”, abszolút elfogadható.

**Fentiek alapján a mérési eljárást, mérőprogramot és folyamatot elfogadottnak tekintjük.**

## 7. GOM 3D SZKENNER VEZÉRLÉSE

Ahogy az korábban említésre került, a 3D-s optikai mérőberendezés gyártócellán belüli alkalmazásának célja, hogy a meghatározott méreteket ki tudja értékelni, valamint a mérési eredményt a cella többi résztvevője felé tudja kommunikálni. A megvásárolt GOM szkennert nem rendelkezik ilyen szoftverfunkcióval, ezért ezt a funkciót (*nem várt módon*) a projekt során

külön ki kellett fejleszteni. A kifejlesztett szoftverfunkció futtató környezete röviden a következő:

Az irányítást egy Windows cmd script fájl végzi, amelynek helye: `c:\automation_tools\listen.cmd`.

A script elindítása után folyamatosan fut, és .start vagy .install fájlakat keres a `c:\automation` mappában. Amennyiben talál ilyet, annak megfelelően elvégzi a telepítést (fájlmásolás) vagy az ATOS program indítását:

"C:/Program Files/GOM/2019/bin/atos" -eval "import automation.%1"

a %1 helyére a futtatandó projekt nevét helyettesítve. Ezen kívül a script naplózást végez, kezeli az ATOS program hibára futását, valamint biztosítja, hogy a megfelelő kommunikációs fájlok (.ok és .error) mindenképpen létrejöhessenek.

A cmd scriptet egy Windows Scheduled Task / Ütemezett feladat futtatja. Az ütemezés miatt a fenti script percenként kerül futtatásra. Ennek oka az, hogy ha valamiért az leállna, vagy valaki véletlenül leállítaná, egy percen belül a rendszer működés helyreáll. A script a GOM eszköz manuális használatát nem zavarja. A scheduled task neve: gom automation.

Ha a programfutást valamilyen okból meg akarjuk szakítani (például mert gyanús, hogy lefagyott), egy speciális "kill" fájlal lehet ezt kezdeményezni. Az összes futó atos program le lesz állítva.

```
\\GOMPC\automation
```

```
kill
```

Aminek hatására hamarosan megjelenik egy .ok vagy .error fájl:

```
\\GOMPC\automation
```

```
kill.ok
```

A fájl tartalma további információt tartalmaz. Ha mérés volt folyamatban, az megszakad, és a mérésnek megfelelő .error fájl keletkezik. Az .error és .ok fájl törlése a vezérlő feladata.

### 7.1 Példa a vezérlésre

Telepítés:

A vezérlő bemásolja a `\\GOMPC\automation` mappába az alábbi fájlokat:

```
\\GOMPC\automation
```

```
A7080_1129.project_template
```

```
A7080_1129.py
```

A vezérlő létrehozza az alábbi üres fájlt ugyanott:

```
\\GOMPC\automation
```

```
install
```

A vezérlő észreveszi a `\\GOMPC\automation` mappában az `install.ok` fájlt:

```
\\GOMPC\automation
install.ok
```

A telepítés ezzel befejeződött.

Indítás:

A vezérlő létrehoz egy **ref.start** fájlt a

```
\\GOMPC\automation mappában:
```

```
\\GOMPC\automation
ref.start
```

Ennek hatására a forgóasztal alapállapotba kerül, és létrejön az igazoló fájl:

```
\\GOMPC\automation
ref.ok
```

Ekkor a vezérlő felhelyezi a munkadarabot, majd létrehoz egy **A7080\_1129.start** fájlt a **\\GOMPC\automation** mappában:

```
\\GOMPC\automation
A7080_1129.start
```

Ennek hatására elindul az ATOS program, és elindítja a korábban telepített **A7080\_1129.py** scriptet. A script létrehoz egy projectet az **automation\A7080\_1129** template alapján, majd elvégzi a mérést. Eközben naplófájlba ír:

```
\\GOMPC\automation
A7080_1129.log
```

A script az eredményeket a **c:\automation** mappába írja, végül kilép az ATOS programból. Ekkor létrejön az **.ok** vagy **.error** fájl.

A vezérlő észreveszi a **\\GOMPC\automation** mappában az **A7080\_1129.OK** fájlt. Az összes többi fájl (**A7080\_1129.\***) készen áll:

```
\\GOMPC\automation
A7080_1129.atos
A7080_1129.csv
A7080_1129.log
A7080_1129.OK
A7080_1129.good
A7080_1129.pdf
```

A vezérlő a fájlokat letölti, és a

**\\GOMPC\automation** mappából törli. A **A7080\_1129.good** fájl láttán a vezérlő megállapítja, hogy a gyártás folytatható.

## 8. GYÁRTÁSFELÜGYELŐ PROGRAM ÉS TÁVOLI ELÉRÉS

A program rövid bemutatásánál először a szoftver általános felépítését ismertetjük, majd a funkciók közül hármat emelünk ki: az adatgyűjtést, a munkadarabok követését és az elemzéseket.

### 8.1 Általános felépítés

A szoftver kliens-szerver architektúrát követ, amelyben a szerver egy Web Service programozói interfészt (API) nyújt a kliensek számára. Az adatbázis a szerver szoftver belső

része, a kliensek számára nem látható. A Web Service API felépítése OpenAPI [5] formátumban van dokumentálva, így különböző programnyelveken gyorsan implementálható hozzá kliens.

A rendszer három kliens eszközt tartalmaz:

- Web Kliens: böngészőben futtatható vastag kliens
- Python modul
- Parancssori eszköz (CLI, command line interface)

A felhasználók jellemzően a Web Klient használják. A python modul, illetve a parancssori eszköz a folyamatok automatizálását teszi lehetővé.

Az API direkt elérésével, illetve a CLI és a python modul segítségével a gyártásfelügyelő szoftver egy nagyobb rendszerbe, például vállalatirányítási rendszerbe illeszthető.

### 8.2 Adatgyűjtés

Az adatgyűjtést a gyártócellába helyezett PC végzi, amely a cella számítógépeivel össze van kapcsolva, és az összes gyűjtött adatot a központi adatbázisba továbbítja (gépnapló). A gyűjtött adatok közül több műveleti jellegű, azaz a folyamat előrehaladását követi (robot tevékenysége, jelölés, azonosító). A fontos műszaki adatok a Mazak megmunkálógépekről, a Renishaw mérőeszköztől és GOM 3D szkennerről származnak.

A Mazak gépekre a szabványosított MTConnect adatszolgáltatási technológiát implementálják [6]. Ezen keresztül részletes adatokat kapunk a megmunkálás teljes folyamatáról és a gépek állapotáról, beleértve töredékmásodperc felbontású orsóterheléseket és pozíciókat, a vezérlőprogramok nyomkövetését, vészleállási eseményeket, hőmérsékletet, hűtőfolyadék mennyiséget, ajtó állapotát.

A beépített Renishaw rendszer gyártás közbeni méret-ellenőrzéseket végez. Emellett a mért adatokat fájlba is írja, amelyet az adatgyűjtő program feldolgoz. Ebben nagy pontossággal szerepelnek kitüntetett méretek.

A GOM 3D szkennert felel a munkadarab végső minősítéséért. Emellett azonban az összes mért adat a központi adatbázisba is bekerül. Eltávolítjuk továbbá az ATOS program által készített fájlt, amiben a teljes felvett pontthalmaz is megtalálható, amin így később további analízis végezhető. Eltávolítjuk az ATOS program által készített pdf formátumú mérési jegyzőkönyvet is.

A szoftver az adatokat nyers formában, veszteségmentesen tárolja. Ennek előnye, hogy bármilyen későbbi igényt ki lehet szolgálni, valamint esetleges feldolgozási hiba miatt információ nem veszik el. Az adatok alapján a folyamat bármikor visszajátszható, azaz a szoftver által nyújtott monitor felületen nem csak a jelenlegi tevékenység követhető, hanem vissza lehet lépni egy korábbi, akár évekkel ezelőtti időpontra, és visszajátszani a cella akkori tevékenységét.

### 8.3 Munkadarab adatai

A gépnaplóból összegyűjtjük az egyes munkadarabok gyártása során keletkezett információkat, melyek a következők:

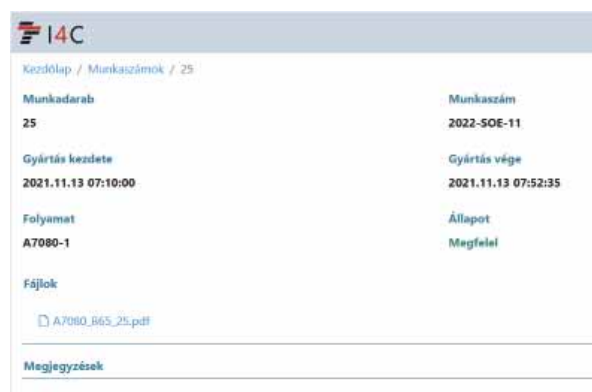
- azonosító
- gyártás kezdete
- gyártás vége
- minősítés
- gyártási folyamat neve („rajzsám”)
- fájlok (atos és pdf mérési jegyzőkönyv)
- gépnapló, azon belül az összes mért méret

Ezen kívül kézzel, utólag megadhatók további adatok:

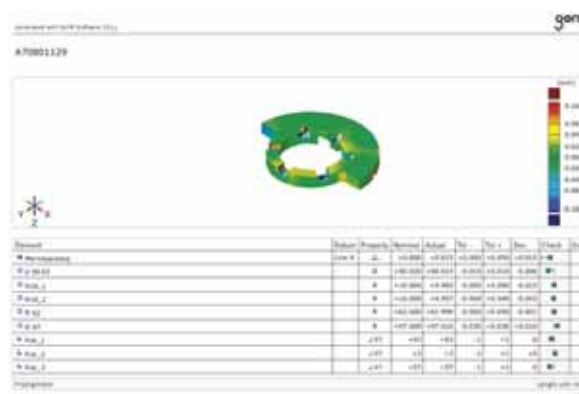
- jegyzetek
- munkaszám

A munkaszámok ügyfelekhez kapcsolhatók. Ezután az ügyfél az interneten keresztül belépve megnézheti a saját munkadarabjainak adatait (15. ábra), illetve letöltheti a GOM mérési jegyzőkönyveket (16. ábra).

A jegyzőkönyvön színeképes ábrázolással látható a kész megmunkált munkadarab valós geometriai mérete és a tervezett geometria (3D CAD modellt importálni kell a GOM rendszerébe) közötti eltérés.



15. ábra – Program képernyő munkadarab adatainak és jegyzőkönyv letöltéshez



16. ábra – Minta GOM mérési jegyzőkönyv

### 8.4 Elemzések

Az elemzések köre a későbbiekben bővíthető, köszönhetően annak, hogy minden adatot változatlanul tárolunk. Első körben négy lekérdezési típust határozunk meg. Ezen felül a nyers adat a rendszerből letölthető és külső eszközzel elemezhető.

#### 8.4.1 Idősoros elemzés

Az idősoros elemzés egy adott számszerű érték időbeli változását vizsgálja, tipikusan orsóterhelést vagy méret eltérést. Lehetőség van arra, hogy összegzett pontokat vizsgáljunk, azaz például egy adott megmunkálási fázis közben az átlagos terhelést. Valamint lehetőség van bizonyos események alapján „újraindítani” a görbét, azaz például szerszámcserehez képest vizsgálni, amely esetben nem egy görbe, hanem egy görbesereg áll elő.

#### 8.4.2 XY elemzés

Különböző logikai objektumokat definiáltunk, amik a gépnapló bizonyos nézeteiből, illetve egyéb kiegészítő adatokból állhatnak. Az alábbi objektumokat ismeri a rendszer:

- munkadarab
- Mazak program futás
- Mazak alprogram futás
- szerszám
- munkaszám

Az objektumoknak számított mezői vannak, amelyek lehetnek számszerűek, vagy kategóriák. Például a Mazak program futás mezői között szerepelnek a minimum, maximum, átlag orsóterhelések, a program neve, a futási idő, és az, hogy a munkadarab végül milyen minősítést kapott.

Az XY elemzésben egy választott logikai objektumtípust lehet vizsgálni oly módon, hogy minden objektumból egy jel lesz képezve egy XY diagramban. Tetszőlegesen megválasztható, hogy milyen számszerű



tulajdonságok határozzák meg az X és Y pozíciót, illetve mely kategória típusú mezők adják meg a jelölő színét és formáját.

Ezek a diagrammok arra szolgálnak, hogy összefüggéseket fedezzünk fel a különböző adatok között. Például, ha készítünk egy új program verziót, színnel jelezhetjük a munkadarabok minősítését, formával pedig a program verzióját, az X a maximális orsóterhelést, az Y tengelyen pedig egy méret eltérését jelentjük meg. A megjelenő ábrából vizuálisan leolvasható, hogy az új programváltozat hogyan befolyásolta a műszaki paramétereket, valamint az is, hogy a selejt keletkezése a terheléssel összefügg-e.

#### 8.4.3 Lista

Az előző pontban ismertetett logikai objektumokat listában jeleníti meg. Az elemzés értelme elsősorban az, hogy az így kinyert adatokat valamilyen más szoftverbe vagy dokumentumba átvigyük.

#### 8.4.4 Capability

Capability index kiszámítását végzi [7]. Egy adott méret alapján, szűrőparaméterekkel meghatározott körben statisztikai becslést ad arról, hogy a gép vagy a folyamat várhatóan milyen hibaarányal képes az alkatrészt legyártani. Az elemzés kimenetei:

- középérték mértani közép
- darab munkadarabok száma
- min legalacsonyabb érték
- max legmagasabb érték
- $\sigma$  szórás
- $3\sigma$  háromszoros szórás
- C capability a szisztematikus hiba elhagyásával
- Ck capability a szisztematikus hiba figyelembevételével

```
c:\>i4c log list --help
Usage: i4c log list [OPTIONS]

List log entries. Returns a list of DataPointDevice, see
'doc DataPointDevice' for details. Calls GET /log/find

Options:
--device [mill|lathe|gom|robot|renishaw] An enumeration.
--timestamp ISO_TIMESTAMP Around timestamp, iso format.
--sequence INTEGER Sequence, after or before.
--before-count INTEGER Number of log records before the timestamp.
--after-count INTEGER Number of log records after the timestamp.
Defaults to 1 if before is omitted, 0 otherwise.
--categ [EVENT|CONDITION|SAMPLE] An enumeration.
--data-id TEXT Log data type.
--val TEXT Value of the log item.
--extra TEXT Extra of the log item.
--rel [=|!|=|<|<=|>|=|*|!*] Relation for condition, event data type.
```

17. ábra – Parancssori eszköz, súgó az OpenAPI dokumentáció alapján

```
c:\>i4c log list --device mill --categ CONDITION -X ${0} ^
More? --val Warning
{
  "timestamp": "2022-07-05T10:24:58.140Z",
  "sequence": 259454,
  "instance": "1656935380",
  "data_id": "system",
  "value": "Warning",
  "value_num": null,
  "value_text": "Warning",
  "value_extra": "CUTTING BLOCK START INTERLOCK",
  "value_add": {
    "nativeCode": "136",
    "nativeSeverity": "25"
  },
  "device": "mill"
}
```

18. ábra – Parancssori eszköz, gépnapló lekérdezése

```
from i4c import I4CConnection

conn = I4CConnection()

warnings = conn.log.list(
    device="mill",
    categ="CONDITION",
    val="Warning")

print(len(warnings))
print(warnings[0]["timestamp"])
print(warnings[0]["value_extra"])
```

19. ábra – Python modul

## 9. A GYÁRTÓCELLA INTEGRÁLÁSA A GYÁRTÁSI FOLYAMATBA

A kifejlesztett gyártócella alkalmazása során a gyártási folyamatban az eddigiekhez képest a következők tekintetében történt előrelépés:

- Gyártási paraméterek teljes körű, automatikus digitális naplózása. Teljes információs kontroll a gyártási folyamat során

- o **Felkészülés karbantartásra:**

gép- és szerszámparaméterek változása alapján (pl. szerszámcsere)

- o **Gyártási folyamat kontroll**

**alatt tartása:** a mért értékek tűrésmezőben és az alsó és felső kontroll értékek közötti monitorozása

- o **Folyamat FMEA** (Lehetséges hibamód- és hatáselemzés)

**detektálhatóság mutatószámának csökkentése** (a közvetlen felfedezhetőségen és az automatikus munkadarab osztályozáson keresztül)

- **Minőségbiztosítási mérőszámok generálásának lehetősége** mintavételezési eljárások helyett **a teljes minta adatai alapján**

- Az adatok továbbításának segítségével **az ellátási lánc további folyamatainak javítása** (pl. szerelés során válogató párosítás a már elérhető összes adattal) és **gyorsítása** (pl. a meglévő mérési eredmények alapján nem szükséges további minőségellenőrzés)

- **Ipar 4.0:** automatizált működés és **távoli elérés**

## 10. IRODALOM

[1]: [http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/6301/1/VT\\_2021n2a6.pdf](http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/6301/1/VT_2021n2a6.pdf) [2022.01.08.]

[2]: [https://konzervtelefon.blog.hu/2017/07/12/ipar\\_4\\_0\\_avagy\\_beleptunk\\_a\\_jovobe\\_5\\_fogalom\\_ami\\_segit\\_az\\_eligazodasban](https://konzervtelefon.blog.hu/2017/07/12/ipar_4_0_avagy_beleptunk_a_jovobe_5_fogalom_ami_segit_az_eligazodasban) [2022.01.08.]

[3]: <http://www.ipar4.bme.hu/ipar-4-0/#page-content> [2022.01.08.]

[4]: <http://gazdasagfejlesztes.gov.hu/hirek/ipar-40-megoldasok-kkv-k-szamara-szemleletformalasnak-elsodleges-szerepe-van?theme=mag> [2022.01.08.]

[5]: <https://swagger.io>

[6]: <https://www.mtconnect.org>

[7]: [https://en.wikipedia.org/wiki/Process\\_capability\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Process_capability_index)