

Lakatos Ernő Levente, Szigeti Ferenc, Százvai Attila

## A kissorozat- és az egyedi gyártás összehangolása adott üzemben

*A vizsgált üzem fémmegmunkálással foglalkozó területe 2020-ban kapott egy megkeresést, amelyben az ügyfél egy nagy méretű farönkök megmunkálására szolgáló esztergagép gyártását rendelte meg. A rönkeszterga-főorsó konstrukciójának megtervezése és gyártástechnológiájának elkészítése után azonban akadályokba ütközött a folyamat üzemi processzálása. A cikkben ezért megkíséreljük az üzem sorozatgyártásban időszakosan megjelenő, rögzített mennyiségű megrendeléseinek és az egyedileg tervezett termék gyártásának összehangolását. Ehhez az üzemben futó gyártási folyamatokat először megvizsgáljuk, modellezzük, és a gyártási kapcsolatukat szimuláljuk. Az elvégzett szimulációk eredményeit kiértékeljük, majd elvégezzük a gyártási folyamatok optimalizálását. Célunk a kísérletezés segítségével megtalálni a széria- és az egyedi gyártás hibrid módszerét, figyelembe véve az üzem aktuális lehetőségeit. Ezen túlmenően célunk az olyan hosszú távú, bevezetésre alkalmas gyártási módszer megtalálása, amely lehetővé teszi a változó paraméterű és tételszámú, kis sorozatú vagy egyedi gyártású alkatrészek folyamatos áramlását a gyártóegységek között.*

**Kulcsszavak:** rönkeszterga, Tecnomatix Plan Simulation, digitális iker, gyártási folyamat, optimalizálás, gyártástechnológia, lézerszkenneres vizsgálat

### 1. Bevezetés

A gyártástechnológiai sorrendtervezést, művelettervezést és műveletelem-tervezést minden esetben az adaptálás, avagy posztprocesszálás követi [4]. Ez utóbbi feladata az adott gyártási környezetre való illesztése a technológiai terveknek. A múltban a fogyasztói kereslet stabilabb volt, és a vállalatok kevésbé voltak kitéve a versenynek, mint ma [6]. Ennek következménye, hogy az egyedi gyártás lehetőségét a cégeknek fent kell tartaniuk. A vizsgált üzem jellegét tekintve műhelyrendszerű gyártásra van berendezkedve, a hasonló megmunkálógépek csoportosítottan, a gyártelepen rendszerint különböző csarnokokban foglalnak helyet [2]. Ilyenek a forgácsolóműhely, a lakatosműhely, a hegesztőműhely, a szemcsésző- és tisztító-műhely, a festőműhely, a lézervágó csarnok, a lángvágó csarnok. A gyártás sokáig megtartotta rugalmas jellegét, azonban az üzem gyártókapacitásának növekedése, valamint régóta visszajáró állandó megrendelők miatt egyre inkább kis és középszeri elemek jelennek meg a munkaasztalokon. Ezek az alkatrészek szerződéses megállapodások keretében készülnek, állandóan visszatérő, hétről hétre szükséges termékek. Mivel a gyártás velejárója időnként

a selejt, s megkerülhetetlen olykor a gépek szükségszerű leállítása, előre nem tervezett javítási vagy más céllal, ezért rendszerint torlódások alakulnak ki a gyártásban. Ezek közösen vezetnek ahhoz, hogy az egyedi alkatrészek, termékek gyártása nehezebben illeszthető be a gyártási folyamatba.

A prioritást a folyamatos megrendelésből adódó szériagyártás élvezzi, így számos egyedi alkatrésze időközben nem jut idő. Ez sem az ügyfél szempontjából nem előnyös, akinek többet kell várnia megrendelése teljesítésére, sem a cég részéről, hiszen az időközben elkallódott egyedi, hiányzó alkatrészeket újra kell gyártani. Az is előfordulhat, hogy a már legyártott egyedi alkatrész egyszerűen a raktárban porosodik, és értékes helyet foglal el más termékek elől, mert további feldolgozása vagy beépítése várat magára.

A fent említett probléma megoldási javaslatának kidolgozása előtt meg kellett vizsgálnunk az időszakosan visszatérő gyártmányokat, azok gépigényét, gyártási folyamataik terjedelmét és munkaállomások közötti eloszlását. Három visszatérő gyártmányt választottunk ahhoz, hogy velük együtt modellezhessük az egyedi gyártású rönkeszterga-főorsó gyártási folyamatát. A vizsgálatok menete minden esetben a következő volt:

- a dokumentációk összegyűjtése és értelmezése;
- a gyártási folyamat nyomon követése és adatainak feljegyzése;
- a folyamat technológiai lépéseinek táblázatba foglalása;
- a folyamat Tecnomatix Plant Simulation 2021-es programban való modellezése;
- a modell értékelése, az optimalizálási lehetőségek vizsgálata.

## 2. Visszatérő gyártmányok folyamatmodelljei

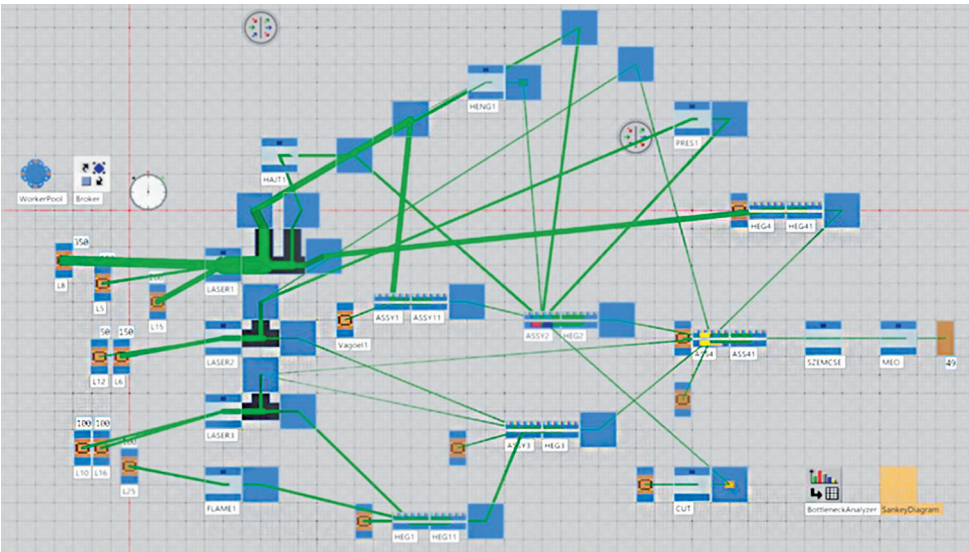
A digitális gyár szimulációs technikák alkalmazását jelenti a gyártási folyamatok és rendszerek tervezésére és optimalizálására [3]. A digitális gyár koncepciója lehetővé teszi a teljes gyártási rendszer tervezését, kiértékelését, monitorozását és vezérlését 3D-szimuláció segítségével, amelyben virtuális 3D-elrendezést hozunk létre a valós létesítmény reprezentálására [1]. A vizsgálat során objektumorientált anyagáram-szimulátort használtunk a folyamatok modellezésére [5]. A visszatérő jelzöt azokra a megrendelésekre használják az üzemek, amelyek gyártására minden héten rendszeresen szükség van bizonyos darabszámig. Ezek közül azokat választottuk a vizsgálatra, amelyek érintik azokat a munkaállomásokat, amelyekre a főorsó gyártásához is szükségünk van. Továbbá figyelembe vettük azt is, hogy van-e olyan zavaró tényező benne, amely esetleg zavarja a többi gyártási folyamat gördülékenységét, volt-e már többször csúszásban a gyártása. Ezek alapján három jellemző gyártmányt választottunk ki. A TDA-kanalat, az SM-pivotot és az SFC-pivotot (1. ábra). A TDA egy markolókanál markológépekhez, a pivotok pedig hasonló kanalakra erősített felfogatófejek, amelyekeken keresztül megtörténik a markolókar és -kanál összekapcsolása. Az SM kötött kivétel, oldása csak szereléssel történhet, az SCF pedig képes a munka helyszínén történő gyors öncsatlakoztatásra és önkivételre is.



1. ábra

*TDA-kanál, SM-pivot és SFC-pivot [a szerzők]*

Mindhárom gyártmány esetében először elkészítettük a szükséges alkatrészek darabjegyzékét, aztán műveleti sorrendjüket. Ezek mintájára készült három különálló folyamatmodell, amelyek munkaállomásait a sorrendterv munkaciklusainak megfelelően állítottuk be. Ezeket a modelleket vizsgálva megállapítottuk, hogy melyek a kritikus műveletek a jelenlegi gyártási folyamat során, meghatároztuk, hogy az adott munkaállomás milyen várakozási és blokkolt százalékos idővel üzemel. A modellezés különböző verziói vagy a munkafolyamatok felépítését (2. ábra) vagy az állomások hatásfokát, indulásának szükséges idejét vizsgálták. A fennakadásmentes üzemeltetésben nagy szerepet kapott a munkaállomások közötti pufferek nagysága. Ezek a valóságban a félkészben raklapozott, rövid ideig várakoztatott alkatrészkészletek voltak.

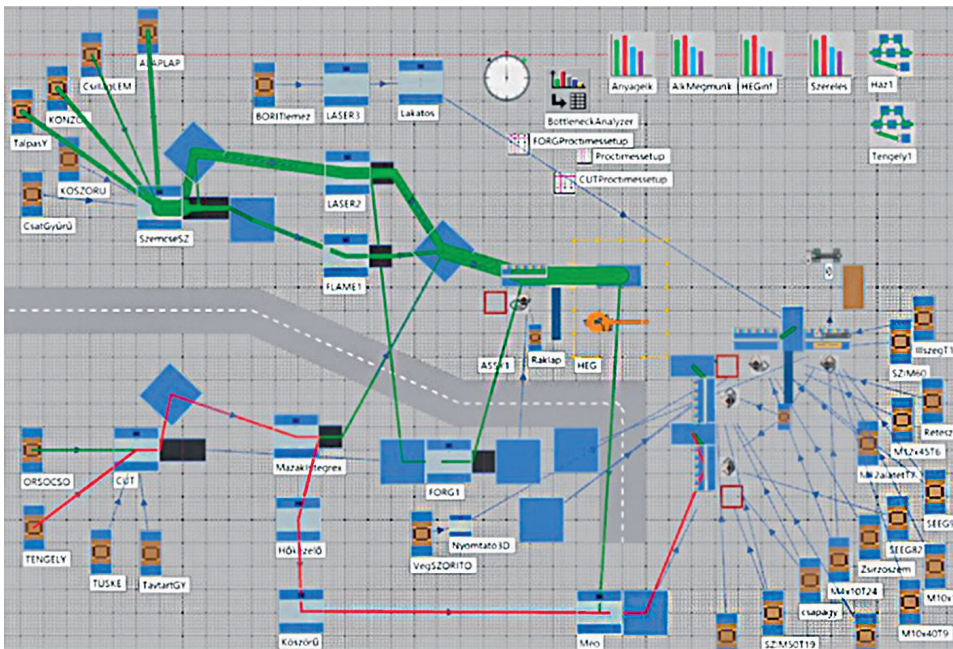


2. ábra

*A TDA-kanál műveleteinek felépítése a gyártási folyamatban [a szerzők]*

## 2.1. A főorsó gyártási folyamatmodellje

A főorsó folyamatmodellje szintén külön környezetben készült el, pedig az első elképzelések alapján nem ez volt a terv. Ennek oka az, hogy a program diákverziója nem enged 80-nál több objektumot elhelyezni egy területen. A probléma felbukkanásakor interfészekkel próbáltunk bizonyos megmunkáló egységeket összevonni, és alprogramokból behívni. Ezeket azonban a főfelülethez csatlakozásuk miatt ugyanúgy figyelembe vettük a határérték számításakor. Így az 1 modell helyett a 4 folyamatmodell elemzésén alapuló Microsoft Project környezeti elemzés jelentett megoldást. A modell sajátossága még (amely egyébként a valós alkatrészek kinézetével megegyező objektumokkal szimulál), hogy nem az alkatrészek súlyozott átlagidejével számol. A „*process time setup*”-ok táblázatba foglalják az egyes alkatrészek bizonyos gépeken való megmunkálási idejét. Ezt behívva a gép mindig változó időértékkel dolgozik, így folyamatában is értelmessé válik a vizsgálat, nemcsak végállapotában [5]. A folyamatmodell 3. ábrán látható felülnézeti képén jól kivehetők az állomások összekapcsolására szolgáló kék színű útvonalak. Ezekon kívül a futószalagok is részei még a darabátadásnak. Ezek azért nem a hagyományos *line*-bekötéssel kapcsolódnak a következő munkaállomáshoz, mert kiválasztást végeznek szenzorok segítségével. A szenzorok kódja egyszerű, MU-attribútumok (a mozgó munkadarab tulajdonságai) megadott feltétellel való egyezése esetén „*move*” paranccsal helyezik át az egyes elemeket. Ezzel a módszerrel nemcsak egy elágazás helyét spóroltuk meg a rendszerben, hanem a megfelelő munkadarabokat csoportosíthattuk is a későbbi állomás számára. Így az összeszerelő állomásokat már nem szükséges MU-attribútumhoz kötni, elég csak az útvonalon átengedett egységnyi szükséges mennyiséget meghatározni.

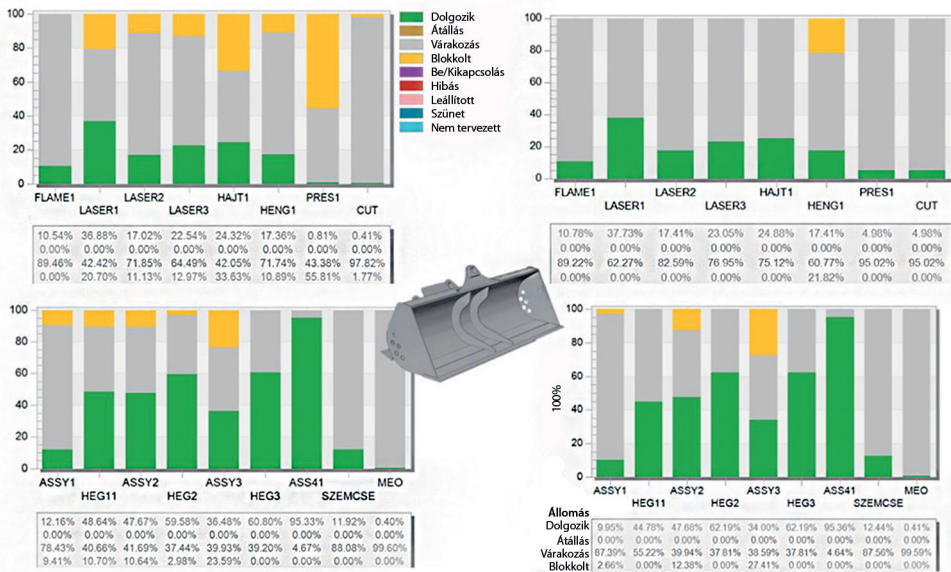


3. ábra  
A főorsó folyamatmodellje [a szerzők]

A 3. ábrán kiemeltünk két vizsgált útvonalat. Az egyik a zöld színű, amely az orsóház készre munkálását, a másik, a piros színű pedig a főorsó megmunkálását szemlélteti. A vizsgálat során az orsóház folyamata jelentősebbnek tűnhet, teljes megmunkálási ideje kevesebb, mint a főorsónak. Ezért bizonyos esetben célszerűbb is lehet a főorsóval kezdeni. Ha a gyártásban leterhelt az összeállító üzem, akkor akár egy műszakkal korábban is elkészíthető az orsócső és a főorsó.

### 3. Vizsgálati eredmények

Az üzemvizsgálatok eredményeit legegyszerűbben a folyamatelemek diagramjai segítségével lehet áttekinteni. Először mindig kontrollvizsgálat futott le. Ennek eredménye alapján kiválasztottuk a fennakadásokat, késéseket, ütközéseket produkáló útvonalakat, ezeket optimalizáltuk, majd újra lefuttattuk a vizsgálatot. Ezt ismételtük, minden alkalommal elvégeztük, míg kedvező eredményre nem jutottunk. A blokkolások ellen a raklapon való tárolás helyett kalodás megoldást vettünk alapul. Ez a rendszerezett tárolás az összeállítási műveletek idején is pozitív, 0,5–1,5 min intervallumon belüli javulásokat eredményezett állomásonként. A 4. ábrán látható bal oldali oszlop a jelenleg is használatban lévő folyamatot mutatja be, míg a jobb oldali az általunk optimalizált folyamatot. A sárga blokkolt állások jól láthatóan jelentős csökkenést mutatnak, míg az összeállítási blokkolt állapotok kismértékben növekedtek. Ennek magyarázata, hogy az összeállítás mögött elhelyezkedő hegesztési munkaállomás rendelkezik puffertárral, de az összeillesztett előgyártmányok várakoztatása a hegesztőblokk előtti elrendezésből adódóan nem megoldható. Ezért függ ennyire élesen az összeillesztés az azt követő hegesztéstől.



4. ábra

A TDA-nál gyártásának szimulációs eredménye és optimalizálása [a szerzők]

A három visszatérő folyamatmodellből összesítve az óránként legyártható névleges egységérték minden esetben nőtt, ez műszakonként az SM-pivot esetében még egy darabot jelentett az optimalizálások után. Az átfutási idő alatt azt az időt értjük, míg a folyamat első lépésének megtételétől a kész gyártmány végig nem ér a teljes gyártási folyamaton [2]. Ezek az átfutási idők a TDA esetében 5 min-et, az SM-pivot esetében 3 min-et, az SFC-pivot esetében pedig 20 min-et csökkentek. Így a végleges heti gyártott mennyiség tekintetében 45, 88 és 27 min időmegtakarítást lehet megfigyelni.

### 3.1. Gantt-alapú projektfelület

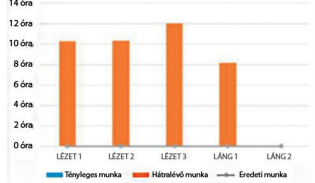
A szimulációk eredményeit a név, a munka időtartama, a kezdés időpontja, a követő folyamatok és a felhasznált erőforrások alapján táblázatba foglaltuk (5. ábra). Mivel a Tecnomatix Plant Simulation program arra is lehetőséget ad, hogy a szimulációk jellemzőit és értékeit ilyen formátumba kimentsük, így az automatikus adatbekérés egy Gantt-formátumot kezelő program számára könnyen kivitelezhetővé válik.

Ha a táblázat eredményei automatikusan Gantt-diagramon jelennek meg (amely nemcsak vizualizálja a folyamatot, de annak állapotáról és a közte beiktatott szünetekről is jelentést tesz), akkor erőforrásokra szűrve olyan ütemlista készíthető, amelyen jól láthatóvá és kezelhetővé válnak a munkafolyamatok idő- és gépskálán beosztva. Az így kapott lista bármelyik eleme rugalmasan elcsúsztatható, blokkokká rendezhető, réseibe új munkák iktathatók. Példaképpen a 6. ábrán bemutatjuk a lemezvágó gépek csoportjára bontott ütemlistát. A műszakok és a munkavégzési szünetek itt nincsenek figyelembe véve, csak a táblacsere és az ebédszünet. A munkavégzés időpontjait meghatározó keret könnyen felülírható műszaknaptár-táblázat csatolásával.

## ERŐFORRÁS ÁTTEKINTÉSE

### ERŐFORRÁS STATISZTIKA

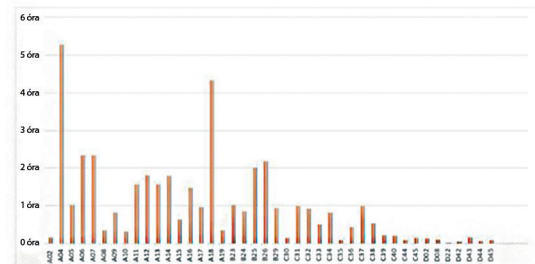
Az összes munkaszerződés munkaköltsége.



### ERŐFORRÁS ÁLLAPOTA

A munka típusai erőforrások hátralévő munkája.

Név	Kezdés	Befejezés	Hátralévő munka
LÉZET 1	H 21/11/22 06:00	H 21/11/22 16:58	10.28 óra
LÉZET 2	H 21/11/22 06:00	K 22/11/22 08:34	10.33 óra
LÉZET 3	H 21/11/22 06:00	K 22/11/22 10:44	12.07 óra
LÁNG 1	H 21/11/22 06:00	H 21/11/22 16:01	8.18 óra



Név	Szerződés	Kezdés	Befejezés	Hátralévő munka
A12	0 emeo 109 perc	H 21/11/22 09:04	H 21/11/22 10:53 12	LÁNG 1
A16	0 emeo 128 perc	H 21/11/22 11:13	H 21/11/22 14:01 37	LÁNG 1
C31	0 emeo 60 perc	H 21/11/22 06:00	H 21/11/22 07:00 25	LÁNG 1
C32	0 emeo 30 perc	H 21/11/22 07:10	H 21/11/22 08:05 17	LÁNG 1
C34	0 emeo 41 perc	H 21/11/22 08:15	H 21/11/22 09:04 10	LÁNG 1
C36	0 emeo 20 perc	H 21/11/22 14:35	H 21/11/22 15:01 30	LÁNG 1
C37	0 emeo 60 perc	H 21/11/22 15:01	H 21/11/22 16:01	LÁNG 1
D02	0 emeo 8 perc	H 21/11/22 14:17	H 21/11/22 14:26 26	LÁNG 1
D04	0 emeo 4 perc	H 21/11/22 14:01	H 21/11/22 14:07 06	LÁNG 1

5. ábra

Microsoft Project 2019-alapú Gantt-diagramos erőforrás-kezelés áttekintése [a szerzők]



6. ábra

TDA-SM-SFC-főorsó lézer- és lángvágókra készített ütemlistája [a szerzők]

## 4. Összefoglalás

A cikkben elvégeztük adott üzem sorozatgyártásban megjelenő, rögzített mennyiségű megrendeléseinek és az egyedileg tervezett termék gyártásának összehangolását. Ehhez megvizsgáltuk az üzem rendelkezésre álló erőforrásait, és feltérképeztük a visszatérő folyamatokat három mintagyártmány esetében. Ezeket modellezve szimulációkat tudunk készíteni, amelyeket értékeltünk és optimalizáltunk. Ezt követően folyamatszimulációt készítettünk az egyedi gyártmányként szereplő főorsóhoz is, és az összegyűjtött adatokat Gantt-diagram-alapú programban egyesítettük egymással a diákverziós program korlátai miatt. Az elért eredmények alapján kidolgozható olyan kártyás folyamatrendszer, amely lehetővé tenné a gyártási folyamat állapotának nyomon követését, a folyamat rendszeres ellenőrzését.

## Felhasznált irodalom

- [1] A. Carrie, „Simulation of Manufacturing Systems,” New York, Amerikai Egyesült Államok: John Wiley & Sons, 1988.
- [2] Dudás I., Cser I., „Gyártástechnológia IV. Gyártórendszerek tervezése,” Egyetemi tankönyv, Miskolc, Magyarország: Miskolci Egyetemi, 2003.
- [3] M. Gregor et al., „Digital Factory,” Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems, 3. évf. 3. sz. pp. 123–132. 2013.
- [4] P. Centobelli et al., „Layout and Material Flow Optimization in Digital Factory,” Nápoly, Olaszország: Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering, 2016, pp. 223–235. Online: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM15\(2\)3.327](https://doi.org/10.2507/IJSIMM15(2)3.327)
- [5] Plant Simulation Help 2021.
- [6] S. Chambers, „Flexibility in the Context of Manufacturing Strategy,” in Manufacturing Strategy: Process and Content, C. Voss szerk. London, Egyesült Királyság: Chapman & Hall, 1992, pp. 283–295.

## Coordination of Series and Individual Production in a Given Plant

*The metal machining department of the examined facility received a request in 2020, in which the client ordered the manufacturing of a lathe machine for machining large-sized logs. However, obstacles were encountered in the operational processing of the workflow after designing the main*

*spindle of the log lathe and developing its manufacturing technology. In this thesis, we attempt to synchronize the periodically appearing fixed-quantity orders in the facility's mass production with the production of individually designed products. To achieve this, we first examine, model, and simulate the manufacturing processes running in the facility, including their interconnections. The results of the conducted simulations are evaluated, and the manufacturing processes are optimized. Our goal is to experimentally find a hybrid method combining mass production and custom production, considering the current capabilities of the facility. Additionally, our aim is to discover a long-term, implementable manufacturing method that allows for the continuous flow of variable-parameter and small-batch or custom-made components between production units.*

**Keywords:** *log lathe, Technomatix Plan Simulation, digital twin, manufacturing process, optimization, manufacturing technology, laser scanner inspection*

<p>Lakatos Ernő Levente gépészmérnök Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék <a href="mailto:lakatoserno9927@gmail.com">lakatoserno9927@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0003-7973-1796">orcid.org/0009-0003-7973-1796</a></p>	<p>Ernő Levente Lakatos Mechanical Engineer University of Nyíregyháza Institute of Technical and Agricultural Sciences Department of Technical Foundation, Physics and Mechanical Engineering Technology <a href="mailto:lakatoserno9927@gmail.com">lakatoserno9927@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0003-7973-1796">orcid.org/0009-0003-7973-1796</a></p>
<p>Dr. Szigeti Ferenc mb. intézetigazgató tanszékvezető Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék <a href="mailto:szigeti.ferenc@nye.hu">szigeti.ferenc@nye.hu</a> <a href="https://orcid.org/0009-0007-0662-5043">orcid.org/0009-0007-0662-5043</a></p>	<p>Ferenc Szigeti, PhD Commissioned Director of Institute Head of Department University of Nyíregyháza Institute of Technical and Agricultural Sciences Department of Technical Foundation, Physics and Mechanical Engineering Technology <a href="mailto:szigeti.ferenc@nye.hu">szigeti.ferenc@nye.hu</a> <a href="https://orcid.org/0009-0007-0662-5043">orcid.org/0009-0007-0662-5043</a></p>
<p>Százvai Attila műszaki oktató Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék <a href="mailto:szazvai.attila@nye.hu">szazvai.attila@nye.hu</a> <a href="https://orcid.org/0009-0002-7915-2850">orcid.org/0009-0002-7915-2850</a></p>	<p>Attila Százvai Mechanical Instructor University of Nyíregyháza Institute of Technical and Agricultural Sciences Department of Technical Foundation, Physics and Mechanical Engineering Technology <a href="mailto:szazvai.attila@nye.hu">szazvai.attila@nye.hu</a> <a href="https://orcid.org/0009-0002-7915-2850">orcid.org/0009-0002-7915-2850</a></p>