

## EGY ELEKTRONIKAI TERMÉK SZERELÉSI FOLYAMATÁNAK HATÉKONYSÁGJAVÍTÁSA

**Kovács György** 

egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [gyorgy.kovacs@uni-miskolc.hu](mailto:gyorgy.kovacs@uni-miskolc.hu)

**Szél Kristóf** 

BSc hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [szlkristof@gmail.com](mailto:szlkristof@gmail.com)

### **Absztrakt**

*Napjainkban az egyre gyorsabban változó gazdasági környezet, a globális piaci verseny, valamint a világiárvány okozta gazdasági kihívások következtében a gyártó vállalatok egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek költségeik csökkentésére és gyártási, szerelési tevékenységeik hatékonyságának javítására versenyképességük megőrzése érdekében. A Lean gyártási filozófia bizonyítottan eredményes hatékonyságjavítási módszer a fenti célok megvalósítására. A cikkben – a kapcsolódó elméleti háttér ismertetését követően – egy konkrét gyakorlati feladat kerül bemutatásra. Egy elektronikai termék 18 műveletből álló szerelési folyamatának Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztésére kerül sor. Az eredeti és a továbbfejlesztett, új szerelési folyamat KPI (Key Performance Indicator) mutatóinak összehasonlításával egyértelműen, számszerűsítve is igazolható, hogy a Lean módszerek alkalmazásával az adott szerelési folyamat produktivitása is jelentősen javult.*

**Kulcsszavak:** szerelési folyamat, Lean folyamatfejlesztés, hatékonyságjavulás, KPI mutató

### **Abstract**

*Nowadays, due to the rapidly changing economic environment, global market competition, and the economic challenges caused by the pandemic situation, manufacturers have to focus on cost reduction and efficiency improvement of their manufacturing and assembly activities in order to maintain their competitiveness. The Lean production philosophy is an effective efficiency improvement method to achieve the above mentioned goals. In the article – after discussing the related theoretical knowledge – a specific practical task is introduced. The assembly activity's process improvement of the electronic product including 18 sub-processes is carried out using Lean methods. Based on the KPIs' (Key Performance Indicator) comparison of the original and the newly improved assembly processes, it can be concluded that the Lean methods can increase the productivity of the investigated assembly process significantly.*

**Keywords:** assembly process, Lean process improvement, efficiency improvement, KPI

### **1. Bevezetés**

Az egyre gyorsabban változó vevői igények és gazdasági környezet, valamint a globális piaci verseny következtében a gyártó vállalatoknak nagy hangsúlyt kell fektetniük költségeik csökkentésére és a

gyártási – köztük a szerelési – tevékenységeik hatékonyságjavítására versenyképességük megőrzése és növelése érdekében. Napjainkban ezek a célok a világválság és az orosz-ukrán háború okozta gazdasági kihívások következményeként még inkább felértékelődtek. A gyártási tevékenységek, így a szerelési tevékenység hatékonyságának javítására több ismert módszer is rendelkezésre áll mind a szakirodalomban, mind az ipari gyakorlatban.

Ezek közül az egyik legszélesebb körben elterjedt hatékonyságjavítási módszer a Lean gyártási filozófia, amelyet manapság már nem csak a gyártó (pl. a járműipar, a gépipar, az elektronikai ipar, stb.), hanem a szolgáltató (pl. a pénzügyi, a közigazgatási, az informatikai, stb.) szektorban is eredményesen alkalmaznak. A Lean gyártási filozófia a Toyota Termelési Rendszer (Toyota Production System) alapját képezi, és a Toyota vállalat felvirágzása révén vált az 1950-es évektől világviszonylatban is ismertté. Napjainkban pedig már a leggyakrabban használt gyártási koncepció (Ohno, 1990; Womack et al., 1990).

A cikk célja – a kapcsolódó elméleti háttér ismertetését követően – egy gyakorlati feladat bemutatásával – vagyis egy elektronikai termék szerelési folyamatának Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztésével – annak igazolása, hogy a Lean módszerekkel jelentős hatékonyságjavítás érhető el a gyártási, szerelési folyamatokban.

A cikk első részében a Lean gyártási filozófia főbb jellemzői, valamint a Lean folyamatfejlesztéssel elérhető – mennyiségi és minőségi KPI mutatókkal is igazolható – eredmények kerülnek bemutatásra. Majd a szerelési folyamat általános jellemzői és a gyártmány felépítési struktúrája, beépítési családfája (BOM – Bill of Materials) lesz ismertetve.

Ezt követően a cikk második részében egy konkrét gyakorlati feladat kerül bemutatásra, azaz egy elektronikai termék 18 szerelési műveletből álló – 5 munkaállomáshoz rendelt és 5 operátor által elvégzett – szerelési folyamatának Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztése.

Ennek során az eredeti szerelési folyamatban lévő szűk keresztmetszetek és veszteségek kerülnek feltárára, majd kiküszöbölésre, valamint az egyes munkaállomások feladatainak/műveleteinek kiegyenlítése is el lesz végezve a szerelési folyamat hatékonyságának javítása érdekében.

Miután az eredeti szerelési folyamat Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztése megvalósult, az eredeti és a továbbfejlesztett, kiegyenlített új szerelési folyamat KPI mutatóinak összehasonlítására került sor. Az összehasonlítás eredménye alapján – %-okban meghatározott javulásokkal – egyértelműen bizonyítható, hogy a Lean módszerek alkalmazásával a szerelési folyamatok produktivitása jelentősen javítható.

## **2. A Lean gyártási filozófia főbb jellemzői**

A Lean napjainkban az egyik legelterjedtebb gyártási filozófia és hatékonyságjavítási módszer a gyártási szektorban. A Lean gyártási koncepció módszereinek használata viszonylag egyszerű, magasfokú matematikai és informatikai ismereteket nem igényel (Liker, 2008). Egyrészt ennek is köszönheti széleskörű elterjedését. Azonban alkalmazásának elsődleges oka az, hogy bizonyítottan hatékony eszköz a gyártó vállalatok számára a gyártási tevékenységeik hatékonyságjavítására.

### **2.1. A Lean folyamatfejlesztés célja**

A Lean filozófia alapvető célja egyrészt a veszteségek eliminálása, másrészt a nem értékteremtő, de szükséges folyamatok átfutási idejének csökkentése a gyártási folyamatokban annak érdekében, hogy az értékteremtő tevékenységek részaránya növekedjen.

Tehát a Lean gyártási koncepció lényege az értékteremtő tevékenységek növelése a gyártási folyamatokban. Ezért a szakirodalomban a Lean gyártási filozófiát értékorientált (value-oriented) folyamatfejlesztésnek is nevezik (Kovács, 2020a).

## 2.2. A gyártási tevékenységek típusai a Lean filozófia szerint

A gyártási tevékenységeknek az értékteremtés szempontjából az alábbi 3 típusa van (Kovács, 2017; LEI, 2021):

1. **Értékteremtő tevékenységek:** olyan tevékenységek, amelyek során a megmunkált termék értéke nő. Ezek a műveletek értéket képviselnek a vevők szemszögéből, ezért ezen műveletek elvégzéséért a vevők hajlandóak fizetni (pl. a megmunkálás; összeszerelés; festés, stb.).
2. **Szükséges, de értéket nem teremtő tevékenységek:** olyan műveletek, amelyeket a gyártási tevékenység során szükséges elvégezni, azonban a vevők szemszögéből nem növelik a termék értékét (pl. szerszámcsere; szükséges anyagmozgatás, stb.).
3. **Veszteséget okozó tevékenységek:** olyan felesleges tevékenységek, amelyeket ki kell küszöbölni (eliminálni) a gyártási folyamatokból (pl. túltermelés; felesleges készletek tartása; selejt gyártása, stb.) (Womack et al. 2009).

- A veszteségeknek az alábbi 3 fő típusa van:

1. **Muda** – a szó szerinti veszteség. Minden olyan tevékenység, amely veszteséget termel.

Ennek 8 fajtája van:

- túltermelés és korai termelés,
- túlzott megmunkálás,
- várakozás,
- mozgás,
- szállítás,
- készletek,
- selejt gyártása,
- kiaknázatlan emberi kreativitás.

2. **Muri** – túlterhelés,

3. **Mura** – egyenetlenség.



1. ábra. A veszteségek fő típusai (Kovács, 2020b)

## 2.3. A Lean folyamatfejlesztés módszertana

A szakirodalom áttanulmányozása alapján megállapítható, hogy nagyszámú publikáció lelhető fel a Lean hatékonyságjavítási módszerek jellemzőire, módszertanára és alkalmazási területeire vonatkozóan (Yadav et al., 2007; Oliveira et al., 2019; Chiarini et al., 2016).

A szakirodalom a Lean elvű folyamatfejlesztés 5 alapelvét és azok megvalósításához leggyakrabban alkalmazott fő módszereket az alábbiak szerint írja le (Dennis, 2015; Shang et al., 2014):

1. „Érték”: Meg kell határozni azokat az értékteremtő tevékenységeket, amelyek értéket képviselnek a vevő számára, vagyis amiért hajlandó fizetni.
2. „Értékáram meghatározása”: Miután már tudjuk, hogy mely tevékenységek képviselnek értéket a vevő számára, felül kell vizsgálni értékteremtés szempontjából a teljes gyártási folyamatot.
  - Fő módszerei: 1.) Veszteségek beazonosítása; 2.) az „5 miért” módszer; 3.) Értékáram-térkép készítése.
3. „Áramlás”: Tökéletes értékáramlás megvalósítása, amelyben főként értékteremtő folyamatok vannak, kiküszöbölve a nem értékteremtő folyamatokat és a veszteségeket.
  - Fő módszerei: 1.) JIT; 2.) Egydarabos áramlás; 3.) Ütemidő tervezés; 4.) Heijunka; 5.) SMED; 6.) Jidoka.
4. „Húzó (Pull) elv”: Húzó elvet kell alkalmazni, miszerint csak azt, csak akkor és csak abban a mennyiségben kell gyártani, amire a vevőnek igénye van.
  - Fő módszerei: 1.) Húzó (Pull) gyártás; 2.) Kanban; 3.) Szupermarket.
5. „Tökéletesítés”: Definiálni kell a gyártási folyamatra vonatkozó fejlesztési lehetőségeket, majd a fejlesztési javaslatokat meg kell valósítani.
  - Fő módszerei: 1.) Stabil és szabványosított folyamatok; 2.) Kaizen; 3.) 5S.

A Lean filozófia további, szintén gyakran alkalmazott főbb kiegészítő módszerei a következők: Cellarendszerű gyártás; Munkahelyi ergonómia; 6 $\sigma$ ; TPM; Nulla hibával való gyártás; Vizuális menedzsment; A3; Poke-yoke; Statisztikai folyamatszabályozás, stb.

A Lean gyártási filozófia módszerei és azok gyakorlatban való alkalmazása mára már széles körben elterjedt (Bai et al., 2019; Orr et al., 2014). Ez elsősorban annak köszönhető, hogy a fenti módszerek használata viszonylag egyszerű. Az ipari folyamatfejlesztési projektek megvalósítása során a felsorolt számos Lean módszer közül az adott fejlesztési cél megvalósításához leginkább alkalmas módszert, vagy több módszert együttesen alkalmazunk (Kovács, 2020a).

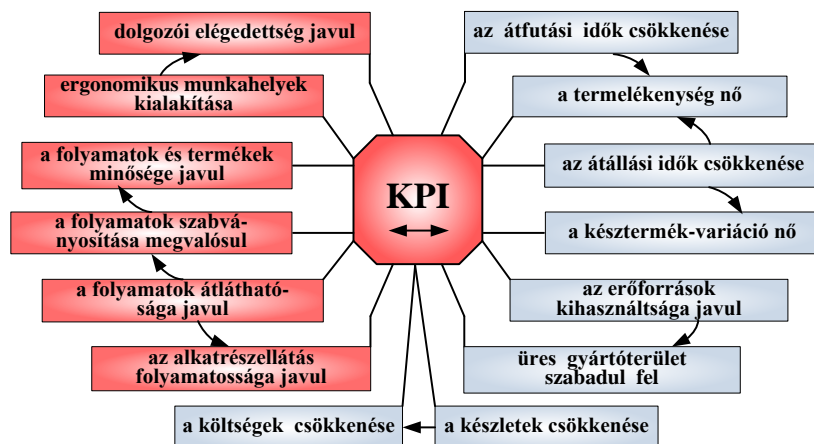
#### 2.4. A Lean folyamatfejlesztés eredménye és annak mérése

A Lean folyamatfejlesztés eredménye a veszteségek – lehetőség szerinti – teljes eliminálása, valamint a szükséges, de nem értékteremtő tevékenységek átfutási idejének csökkentése a gyártási folyamatokban. Ennek hatására az értékteremtő tevékenységek részaránya nő a nem értékteremtő folyamatokhoz képest.

A gyártási folyamatokban a folyamatfejlesztés eredményét a mennyiségi (kvantitatív) és a minőségi (kvalitatív) kulcs-teljesítménymutatók (KPI – Key Performance Indicator) javulásával lehet mérni és értékelni (Holweg, 2007; Péczely et al., 2003). A 2. ábra kék színnel a mennyiségi, piros színnel a minőségi KPI mutatókat szemlélteti.

Összegezve, a Lean folyamatfejlesztés eredményeként – a teljesség igénye nélkül – az alábbi legfontosabb mennyiségi és minőségi KPI mutatók javulását lehet elérni:

- A produktivitás növekedése.
- Az átfutási idők csökkenése.
- Az átállási idők csökkenése.
- Az erőforrások (eszköz- és humán erőforrások) általános kihasználtságának javulása.
- A készletek (alapanyag, műveletközi készlet, késztermék) csökkenése.
- A gyártóterület üres terület felszabadítása.
- A késztermékek minőségének javulása.
- A dolgozók munkakörülményeinek javulása, stb.



2. ábra. A Lean folyamatfejlesztés során javítható mennyiségi és minőségi KPI mutatók (Kovács, 2020b)

### 3. A szerelési tevékenység

A szerelés olyan tevékenység, amelynek során az – előírt műszaki, gazdasági vagy esztétikai követelmények alapján – előre legyártott alkatrészekből adott felhasználásra alkalmas gyártmány (késztermék) állítható össze. Szereléstehnológiai utasítások alapján történik a szerelési tevékenységek részletes meghatározása, vagyis az, hogy az egyes szerkezeti elemek milyen sorrendben épülnek be a gyártmányba. A szerelési tevékenységek összessége képezi egy adott gyártmány szerelési folyamatát, amely minden esetben egy adott szerelési rendszerben definiálható. Minden szerelési folyamathoz szükséges az adott folyamatot leíró szereléstehnológiai utasításokban előírt alkatrészek, berendezések, eszközök és operátorok biztosítása (Tudásbázis, 2021).

A szerelési folyamat típusai a következők lehetnek: előszerelési, főszerelési, végszerelési és utószerelési folyamatok. Az előszerelési és a főszerelési folyamatok eredménye az alkatrészekből alcsoportok, főcsoportok, majd szerkezeti egységek összeszerelése. A végszerelési folyamat végterméke pedig a gyártmány (a késztermék). A szerelési folyamat végső szakaszában szükség lehet még utószerelési tevékenységekre is. Ilyen tevékenységek pl. a vezérlés beállítása, a próbajáratás, a behangolás (jusztirozás), a statikus vagy a dinamikus ellenőrzés végrehajtása.

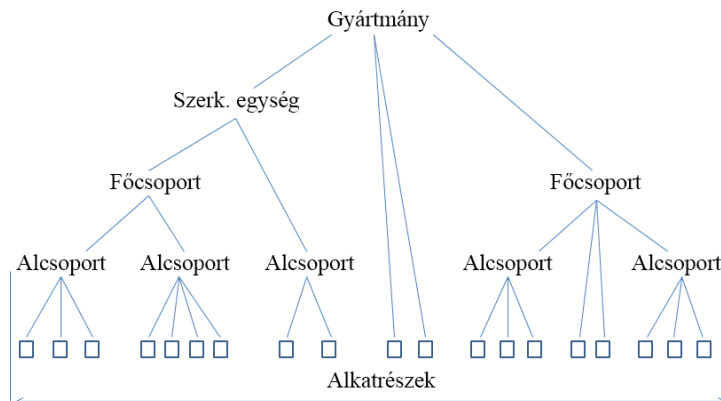
Utószerelésnek minősül még az ún. utánigazítás (repasszálás) is, amelynek során a gyártmányok próbaüzemeltetésére kerül sor. Ezt követően a gyártmányokat szét kell szerelni, majd meg kell vizsgálni az alkatrészek illeszkedésének (pl. elmozdulás, fedés) jellegét és mértékét. A repasszálás következtében a helytelen szerelés vagy működés okai feltárhatók, ezáltal a jövőbeni szerelés során az észlelt hibák kiküszöbölhetők (Tudásbázis, 2021; Vaclav et al., 2019).

#### 3.1. A gyártmány beépülési családfája

A szerelési tevékenység célja az, hogy a gyártmány szerkezeti elemeit – az alkatrészekről az egyre magasabb szerelési egységek felé haladva – a helyes tagolási sorrendben illesszük egymáshoz oly módon, hogy az egyes részegységek szerelése minél rövidebb technológiai szakaszokban legyen megvalósítható, valamint minden – szerelés közbeni – ellenőrzés a legegyszerűbb helyen és módon

legyen végrehajtva annak érdekében, hogy a gyártmány a kívánt minőségben minél egyszerűbben legyen előállítható.

A beépülési családfa (BOM – Bill of Materials) a gyártmány tagozódási és felépítési rendjét adja meg grafikus formában (3. ábra). A BOM tartalmazza az adott gyártmány szerkezeti egységeit, a főcsoportokat, az alcsoportokat és az alkatrészeket is (Butala et al., 2019; Tang, 2017).



3. ábra. A gyártmány felépítési struktúrája (saját szerkesztés)

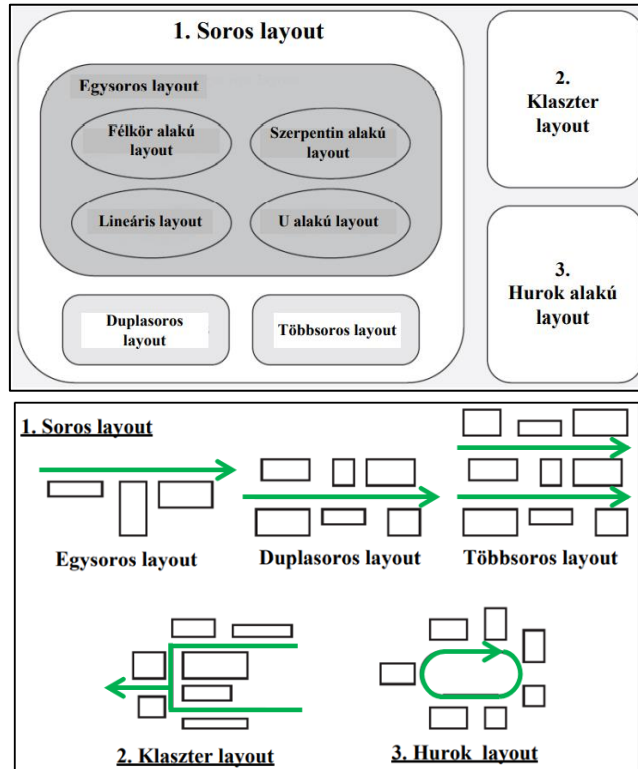
- A gyártmány az alábbi szerkezeti elemekből áll:
  1. Gyártmány  
A gyártmány a szerelési folyamat végterméke. A gyártmány lehet 1 db egységből álló vagy több egységre bontható késztermék is (pl. személygépkocsi).
  2. Szerkezeti egység  
A szerkezeti egység több alkatrészből álló olyan szerkezet, amelyet szerelési vagy konstrukciós szempontból egy szerkezeti egységnek lehet tekinteni. Jellemzője, hogy a gyártmányban önálló feladatot lát el; külön összeszerelhető; kipróbálható és ellenőrizhető is (pl. a személygépkocsi motorja).
  3. Főcsoport  
A főcsoport a szerkezeti egység olyan alkatrészcsoportja, amely áttekinthetőségi vagy szerelési szempontból még kisebb csoportokra bontható. Jellemzője, hogy önállóan összeszerelhető és ellenőrizhető is (pl. a dugattyú dugattyú-rúddal).
  4. Alcsoport  
Az alcsoport a főcsoport bontásából származó kisebb alkatrészcsoport. Jellemzője, hogy összeszerelés után beméréssel ellenőrizhető (pl. a dugattyú gyűrűvel).
  5. Alkatrész  
Az alkatrész a gyártmány olyan eleme, amely tovább már nem bontható (pl. a dugattyúgyűrű).

### 3.2. A szerelési folyamatokban a munkaállomások kialakításának lehetséges módjai

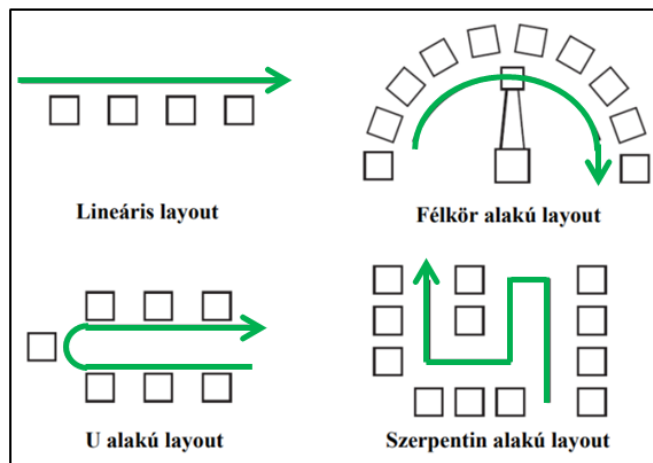
A szerelési folyamatokban a munkaállomások kialakításának lehetséges módjai, layout típusai az alábbiak lehetnek (Kovács, 2020a; Keller et al., 2015):

1. Soros layout
  - Egysoros: 1.) félkör; 2.) lineáris; 3.) szerpentin és 4.) U alakú.

- Duplasoros
- Többsoros
- 2. Klaszter layout
- 3. Hurok alakú layout



4. ábra. A layout-ok jellegzetes típusai (Keller et al., 2015)



5. ábra. Az egysoros layout-ok fajtái (Keller et al., 2015)

#### 4. A konkrét gyakorlati feladat: egy elektronikai termék szerelési folyamatának hatékonyságjavítása Lean módszerekkel

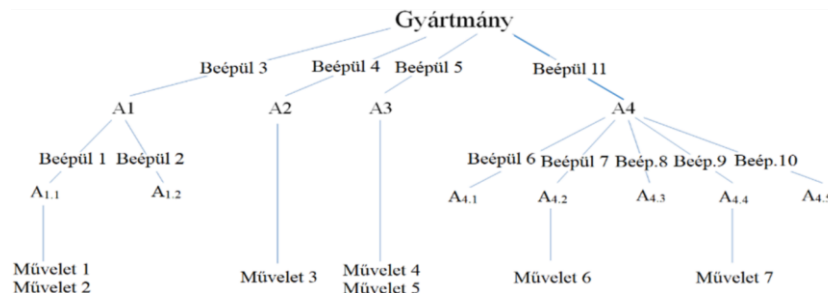
A cikk elkészítésének célja annak igazolása volt, hogy egy elektronikai termék szerelési folyamatának Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztésével jelentős hatékonyságjavítás érhető el az adott szerelési folyamatban.

Először a gyártandó elektronikai termék (gyártmány) beépülési családfája kerül bemutatásra, amely tartalmazza a gyártmány szerkezeti struktúráját. Ezt követően – az eredeti szerelési folyamat elemzése után – a folyamatfejlesztés során alkalmazott Lean módszerek és azok eredményei kerülnek ismertetésre. Az 5. fejezetben pedig a Lean módszerek alkalmazásával elért eredmények lesznek számszerűen összehasonlítva az eredeti szerelési folyamat hatékonyságával.

##### 4.1. A vizsgált elektronikai termék beépülési családfája

A 6. ábra bemutatja a gyártandó elektronikai termék (gyártmány) beépülési családfáját (BOM – Bill of Materials), amely magában foglalja a gyártmány szerkezeti struktúráját, valamint megmutatja, hogy annak milyen szerkezeti egységei, főcsoportjai, alcsoportjai és alkatrészei vannak. Továbbá az ábra azt is szemlélteti, hogy az egyes szerkezeti elemek milyen sorrendben épülnek be a gyártmányba.

A 6. ábrán a „Művelet” jelölések a különböző alegységek összeszerelési folyamatait jelölik. A „Beépül” jelölések pedig az alegységek és a részegységek gyártmányba való beépülési folyamatait mutatják be.



6. ábra. A vizsgált elektronikai termék beépülési családfája (saját szerkesztés)

##### 4.2. Az adott elektronikai termék eredeti szerelési folyamatának bemutatása

A vizsgált szerelési folyamat 18 szerelési műveletből áll, amelyek 5 munkaállomáshoz vannak rendelve. Minden munkaállomáson 1 operátor dolgozik.

1. A folyamatfejlesztés céljai a következők:

- Az egyes szerelő munkaállomások tevékenysége idejének kiegyenlítése.
- A kiegyenlítés eredményeként – lehetőség szerint – a munkaállomások és az operátorok számának csökkentése.
- Az átfutási idők csökkentése, a gyártási kapacitás növelése.
- A tökéletes egydarabos termékáramlás megvalósítása a szerelési folyamatban.
- A műveletközi készletek (WIP – Work in Process) nagyságának csökkentése.
- A lineáris szerelősorok helyett U alakú cellák kialakítása (Kovács, 2020b).

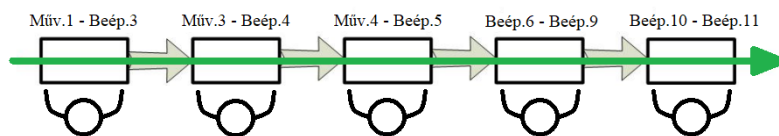


2. A folyamatfejlesztés során az ipari gyakorlatban leggyakrabban használt Lean módszerek kerültek alkalmazásra, melyek a következők:

- Ütemidő elemzés (Takt-time analysis),
- Sorkiegyenlítés (Line balance),
- Egydarabos áramlás (One-piece flow),
- Cellarendszerű gyártás (Cellular design).

#### 4.2.1. Az eredeti lineáris szerelősor jellemzői

Az eredeti, lineáris szerelősorton 5 munkaállomáson 5 operátor dolgozik. A szerelési folyamat 18 szerelési műveletből áll (a 7. ábra és az 1. táblázat).



7. ábra. Az eredeti, lineáris kialakítású szerelősor (saját szerkesztés)

1. táblázat. A vizsgált eredeti szerelősor adatai

	Szerelési műveletek	Műveletek ciklusidejei [sec]	Munkaállomások ciklusidejei [sec]
1. munkaállomás	Művelet 1	3,5	20,5
	Művelet 2	3,4	
	Beépül 1	3,5	
	Beépül 2	6,2	
	Beépül 3	3,9	
2. munkaállomás	Művelet 3	7,0	11,5
	Beépül 4	4,5	
3. munkaállomás	Művelet 4	4,0	12,1
	Művelet 5	3,8	
	Beépül 5	4,3	
4. munkaállomás	Beépül 6	3,9	27,1 !
	Művelet 6	3,7	
	Beépül 7	7,3	
	Beépül 8	4,9	
	Művelet 7	3,5	
5. munkaállomás	Beépül 9	3,8	16,4
	Beépül 10	8,8	
	Beépül 11	7,6	
1-5. munkaállomások ciklusidejeinek az összege:			87,6 sec

#### 4.3. Ütemidő Elemzés (Takt-Time Analysis) módszere

A gyártás ütemét a vevői igény határozza meg. A vevők által megrendelt késztermékek darabszámának ismeretében meg lehet határozni, hogy 1 darab késztermék legyártására maximum mennyi idő áll rendelkezésre (Kovács, 2020b). Ezt nevezzük ütemidőnek. Az ütemidő az alábbi képlettel számítható:

$$T_{\text{item}} = \frac{T_{\text{gy}}}{Q} \quad [\text{sec/db}] \quad (1)$$

ahol:  $T_{\text{gy}}$  – a gyártásra rendelkezésre álló idő [sec/műszak],

$Q$  – a vevő által igényelt késztermékek darabszáma [db/műszak].

- A szerelésre rendelkezésre álló valós munkaidő egy műszakban 7,5 óra, azaz 27000 sec/műszak (a 8 órás munkaidőből 30 perc a pihenőidő).
- A vevői igény 1100 db/műszak késztermék gyártása.

$$T_{\text{item}} = \frac{27000 \text{ sec}}{1100 \text{ db}} = 24,545 \quad [\text{sec/db}] \quad (2)$$

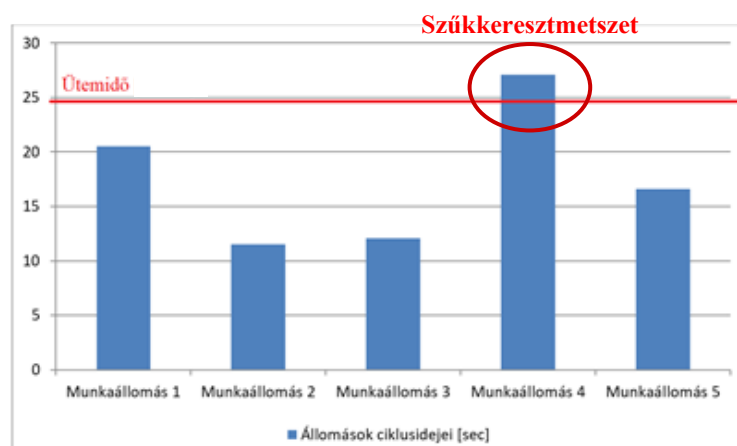
- A konkrét feladatban az ütemidő: 24,545 sec/db.

Ez azt jelenti, hogy a vevői igény – azaz 1100 db/műszak késztermék legyártása – csak akkor teljesíthető, ha a szerelési folyamatban minden munkaállomás ciklusideje az ütemidőnél kisebb. Ellenkező esetben az adott műszakban nem gyártható le a megrendelt késztermékek szükséges mennyisége.

Tehát az Ütemidő elemzés célja az, hogy – a számított ütemidő, valamint az egyes munkaállomások szerelési tevékenységei ciklusidejeinek ismeretében – beazonosíthatók azok a szűk keresztmetszetek (azok a munkaállomások), amelyek ciklusideje hosszabb, mint a rendelkezésre álló ütemidő.

Így az eredeti szerelési folyamatban a 4. munkaállomás a szűk keresztmetszet, mivel ennek a ciklusideje 27,1 sec. Azonban a számított ütemidő csak 24,5 sec (8. ábra).

- Az ütemidőnél jóval kisebb ciklusidejű munkaállomások is veszteséget eredményeznek a szerelési folyamatban, mivel ezeknél a munkaállomásoknál az erőforrások (eszköz- és humán erőforrások) kihasználatlanok maradnak. A konkrét példában az eredeti szerelési folyamat 2. és 3. munkaállomásai is veszteséget okoznak, mivel a 2. munkaállomás (ciklusideje: 11,5 sec) és a 3. munkaállomás (ciklusideje: 12,1 sec) ciklusidejei is jóval a számított ütemidő (24,5 sec) alatt vannak (8. ábra).



8. ábra. Az eredeti szerelősorban a munkaállomások ciklusidejei (saját szerkesztés)

#### 4.4. A Sorkiegyenlítés (Line Balance) módszere és a szükséges operátorok számának meghatározása

A Sorkiegyenlítés során arra kell törekedni, hogy az operátorokat és a munkaállomásokat egyenletesen kell terhelni. Minden munkaállomás és minden operátor esetén a terhelés csak akkor lehet, hogy az egyes munkaállomásokhoz és operátorokhoz rendelt munkamennyiség elvégzéséhez szükséges ciklusidő az ütemidő alatt maradjon. Így a vevői igények – a megrendelt késztermékek darabszámának legyártásával – teljesíthetők, továbbá a munkaállomások és az operátorok túlterhelése (Mura és Muri típusú veszteségek) is elkerülhető.

A következő feladat a műveletek olyan módon való átcsoportosítása és kiegyenlítése az egyes munkaállomások között, hogy azok végrehajtása – a rendelkezésre álló erőforrások maximális kihasználása mellett – a számított ütemidő alatt valósuljon meg.

- A szükséges munkaállomások ( $N_{má}$ ) és a szükséges operátorok ( $N_{op}$ ) számának meghatározása az alábbi képlettel történik (Kovács, 2020b):

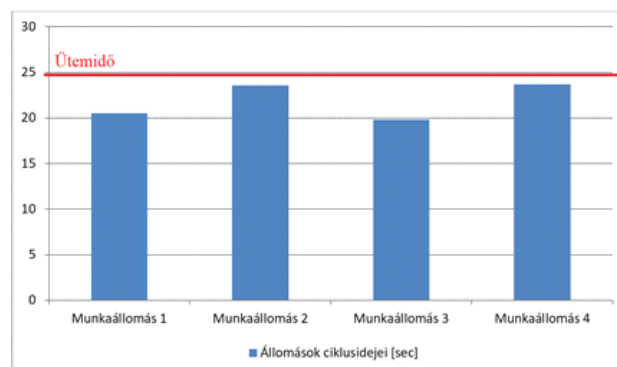
$$N_{má,op} = \frac{T_{teljes}}{T_{ütem}} \text{ [db]} \quad (3)$$

ahol:  $T_{teljes}$  – a teljes szerelési folyamat ciklusidejeinek összege [sec],

$T_{ütem}$  – az ütemidő [sec/db].

- A számítás eredményeként a konkrét szerelési feladatban a szükséges munkaállomások és a szükséges operátorok száma: 4 (3,57) db.

Tehát a konkrét szerelési feladatban az adott munkamennyiség 5 munkaállomáson dolgozó 5 operátor helyett 4 munkaállomáshoz rendelt 4 operátorral is elvégezhető úgy, hogy valamennyi munkaállomás ciklusideje az ütemidő (24,5 sec) alatt maradjon, valamint az egyes munkaállomások ciklusidejei egymáshoz viszonyítva kiegyenlítettek, közel azonosak legyen (a 9. ábra és a 2. táblázat).



9. ábra. Az egyes munkaállomások ciklusidejei a Sorkiegyenlítés után (saját szerkesztés)

Mivel az egymást követő szerelési műveletek sorrendjét technológiai okokból kötöttnek feltételezzük, azok sorrendje nem felcserélhető. Tehát az egyes szerelési műveletek csak az egymással közvetlen szomszédos (megelőző vagy következő) munkaállomások között csoportosíthatók át. Amennyiben egy adott művelet szomszédos munkaállomáshoz való hozzárendelése esetén a munkaállomás új teljes ciklusideje hosszabb lenne, mint az ütemidő, a művelet átcsoportosítása nem lehetséges.

- A folyamatfejlesztés során az eredeti szerelősorban lévő 2. és 3. munkaállomások tevékenységei össze lettek vonva egy munkaállomássá, mivel mindkét fent hivatkozott munkaállomás ciklusideje – a Sorkiegyenlítés előtt – jóval rövidebb volt a számított ütemidőnél (az 1. és a 2. táblázat).
- A 4. munkaállomás utolsó két művelete pedig átcsoportosításra került az 5. munkaállomáshoz (az 1. és a 2. táblázat).

2. táblázat. A kiegyenlített szerelősor adatai

	Szerelési műveletek	Műveletek ciklusidejei [sec]	Munkaállomások ciklusidejei [sec]
1. munkaállomás	Művelet 1	3,5	20,5
	Művelet 2	3,4	
	Beépül 1	3,5	
	Beépül 2	6,2	
	Beépül 3	3,9	
2. munkaállomás	Művelet 3	7,0	23,6
	Beépül 4	4,5	
	Művelet 4	4,0	
	Művelet 5	3,8	
	Beépül 5	4,3	
3. munkaállomás	Beépül 6	3,9	19,8
	Művelet 6	3,7	
	Beépül 7	7,3	
	Beépül 8	4,9	
4. munkaállomás	Művelet 7	3,5	23,7
	Beépül 9	3,8	
	Beépül 10	8,8	
	Beépül 11	7,6	
1-4. munkaállomások ciklusidejeinek az összege:			87,6 sec

#### 4.5. Egydarabos áramlás (One-Piece flow) módszere

A tökéletes Egydarabos áramlás megvalósulásának előfeltétele – a Sorkiegyenlítés módszerének alkalmazásával – az egyes munkaállomások ciklusidejeinek kiegyenlítése.

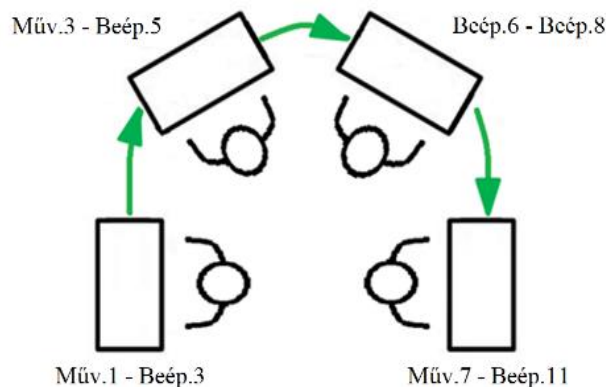
Az Egydarabos áramlás kialakításának célja az, hogy a termékek lehetőleg egyesével, vagy csak kistételben folyamatosan áramoljanak a szerelési folyamatban. Ez akkor valósítható meg, ha az egymást követő munkaállomásokhoz kapcsolódó műveletek ciklusidejei közel azonosak. Ennek következtében a folyamatos anyagáramlás létrehozható.

- Az egydarabos anyagáramlás az alábbi pozitív változásokat eredményezi:
  - A gyártási rendszer hatékonysága és rugalmassága nő.
  - Rövidebb lesz a termékek teljes átfutási ideje.
  - A műveletek közötti készletek (WIP – Work in Process) csökkenthetők, vagy akár megszüntethetők.
  - Az esetleges hibák a szerelési folyamatban láthatóvá válnak.
  - Rugalmasabban lehet reagálni a vevői igények változásaira (Kovács, 2020b).

#### 4.6. A Cellarendszerű gyártás (Cellular Design) módszere

A folyamatfejlesztés eredményeként az – 5 munkaállomásból álló – lineáris kialakítású szerelősor helyett egy – 4 munkaállomásból álló – új, U-alakú cella került kialakításra.

A 18 szerelési műveletet az eredeti, lineáris szerelősoron az 5 munkaállomáson dolgozó 5 operátor tudta teljesíteni. Miután ki lettek egyenlítve az egyes munkaállomások ciklusidejei és az ott dolgozó operátorok kapacitásai, a 18 szerelési műveletet U-alakú cellába rendezve már csak 4 munkaállomáson dolgozó 4 operátor is képes hatékonyan teljesíteni.



**10. ábra.** Az új, U-alakú cella kialakítása (saját szerkesztés)

- A lineáris gyártósor helyett U-alakú cella kialakítása számos előnnyel jár:
  - Kevesebb munkaállomással és kevesebb operátorral végezhető el ugyanazon munkamenység (gyártható le ugyanannyi késztermék), amely az eszköz- és humánerőforrások maximális kihasználását eredményezi.
  - A kevesebb munkaállomásnak köszönhetően a gyártóterületen akár jelentős üres terület szabadítható fel, amely további értékteremtő tevékenységek végzésére (pl. új munkaállomások létesítésére) alkalmas.
  - Gyorsabb és folyamatosabb anyagáramlás valósítható meg a gyártási folyamatban kisebb műveletközi készletek mellett, amely a termelés hatékonyságát növeli.
  - A kompaktabb U-alakú cella kialakítása esetén a munkaállomásokon dolgozó operátorok közötti információáramlás megvalósulása egyszerűbb, mint a lineáris szerelősor esetén, egyes munkaállomások közelebbi elhelyezkedése miatt.
  - Az üzemi anyagáramlás megvalósítása szempontjából előnyösebb, hogy az U cella esetén a belépő alkatrész és a kilépő félkész/készárú átadási pontjai közelebb vannak egymáshoz.
  - Az U-alakú cella elhelyezése a teljes üzemi layout kialakítása során nagyobb tervezői szabadságot biztosít (Kovács, 2020b).

#### 5. A folyamatfejlesztéssel elért eredmények összehasonlítása az eredeti szerelősor hatékonyságával

A folyamatfejlesztéssel elért eredmények pontos megállapítása céljából össze lettek hasonlítva a vizsgált szerelősor folyamatfejlesztés előtti és folyamatfejlesztés utáni adatai a legfontosabb 7 mennyiségi KPI mutató alapján. Az összehasonlítás eredményeit a 3. táblázat foglalja össze.

Az összehasonlító táblázat adatai alapján egyértelműen megállapítható, hogy valamennyi vizsgált mennyiségi KPI mutató jelentősen javult a folyamatfejlesztés következtében. Az összehasonlítást még további minőségi KPI mutatók (pl. a folyamatok átláthatósága; a késztermékek minősége; a dolgozók munkakörülményei, stb.) alapján is el lehetne végezni, amelyek szintén javulást mutatnának a szerelő sor eredeti állapotához képest.

**3. táblázat.** A szerelő sor fejlesztés előtti és utáni adatainak összehasonlítása

Az összehasonlítás mutatói	Eredeti folyamat	Fejlesztés utáni folyamat	Javulás
<b>KPI mutatók:</b>			
1.) A szerelési folyamat leghosszabb ciklusidejű munkaállomásának ideje [sec]	27,1 !	23,7	12,55 %
2.) A termelékenység [db/műszak]	996 ! (27000/27,1)	1139 (27000/23,7)	14,36 %
3.) A munkaállomások száma [db]	5	4	20 %
4.) Az operátorok száma [fő]	5	4	20 %
5.) Az operátorok munkabére [%]	100	80	20 %
6.) A műveletközi (WIP) készlet [%]	100	csökkent (nem szám- szerűsíthető)	javult
7.) A szerelésre felhasznált terület [egység]	5	4	20 %

## 5.1. A folyamatfejlesztéssel elért eredmények kiértékelése

### 1. A szerelési folyamat leghosszabb ciklusidejű munkaállomása

Az 1. táblázat adatai alapján az eredeti, lineáris szerelő sorban a leghosszabb ciklusidejű munkaállomás a 4. állomás volt, amelynek 27,1 sec volt a ciklusideje. Az Ütemidő elemzés módszerének alkalmazásával ki lett mutatva, hogy ez a 4. munkaállomás éppen azért szűk keresztmetszet, mivel a ciklusideje hosszabb a számított ütemidőnél.

A folyamatfejlesztés eredményeként az új, U-alakú szerelő sorban a leghosszabb ciklusidejű munkaállomás szintén a 4. állomás volt, amelynek a ciklusideje viszont már csak 23,7 sec lett.

A fenti adatok összehasonlítása alapján megállapítható, hogy ez a KPI mutató 12,55 %-kal javult a folyamatfejlesztésnek köszönhetően.

### 2. A termelékenység

Az eredeti szerelési folyamatban a 4. munkaállomás ciklusideje (27,1 sec) nagyobb volt, mint a számított ütemidő (24,545 sec). Ezért ez az állomás volt a szűk keresztmetszet.

A termelékenység számítása úgy történik, hogy a műszakban rendelkezésre álló valós munkaidőt (ez jelen esetben 27000 sec) osztani kell azon munkaállomás ciklusidejével, amelyiknek a szerelő soron leghosszabb a ciklusideje (ez a konkrét esetben a 4. munkaállomás ciklusideje: 27,1 sec).

Tehát az eredeti szerelési folyamatban a számított termelékenység 996 db termék előállítását volt műszakonként. Ebből következően az eredeti szerelési folyamatban nem volt teljesíthető műszakonként a megrendelésben vállalt, elvárt 1100 db késztermék legyártása.

A folyamatfejlesztés eredményeként a szűk keresztmetszet kiküszöbölésével minden munkaállomás ciklusideje kisebb lett, mint az ütemidő. Így az új, U-alakú szerelősorban a legnagyobb ciklusidejű munkaállomás ciklusideje 23,7 sec lett. Ha a valós munkaidőt (27000 sec) elosztjuk a 23,7 sec ciklusidővel, a termelékenység számított eredménye 1139 db/műszak lett. Ez azt jelenti, hogy a folyamatfejlesztés után az elvárt 1100 db késztermék már legyárthatóvá vált műszakonként.

Összegezve, az új szerelősor produktivitása jelen esetben 14,36 %-kal növekedett.

### **3 - 4. Az adott szerelési folyamatban a munkaállomások és az operátorok száma**

Az eredeti, lineáris szerelősoron a 18 szerelési műveletet az 5 munkaállomáson dolgozó 5 operátor tudta teljesíteni. Miután – a Sorkiegyenlítés módszerével – ki lettek egyenlítve az egyes munkaállomások ciklusidejei, a 18 szerelési műveletet – U-alakú cellába rendezve – már csak 4 munkaállomáson 4 operátor is képes hatékonyan elvégezni.

Mivel a folyamatfejlesztés eredményeként mind a munkaállomások, mind az operátorok száma eggyel csökkent, a javulás mértéke 20 %-os.

### **5. Az operátorok munkabére**

Mivel a folyamatfejlesztés eredményeként ugyanazt a munkamennyiséget 5 operátor helyett már 4 operátor is el tudja végezni, 1 operátor munkabérével csökkent a gyártó vállalat bérköltsége.

Azonban az itt felszabadult 1 dolgozó a gyártó vállalaton belül egy másik helyen is alkalmazható más értékteremtő tevékenység végzésére.

### **6. Az adott szerelési folyamatban a műveletközi (WIP) készlet**

A Sorkiegyenlítés és az Egydarabos áramlás módszereinek alkalmazásával kialakított közel azonos ciklusidejű munkaállomásoknak köszönhetően a folyamatos termékáramlás a szerelési folyamatban megvalósult. A folyamatos termékáramlás következtében a műveletközi (WIP) készletek is csökkentek.

### **7. A gyártóterületen felszabadított üres terület**

A folyamatfejlesztés eredményeként a munkaállomások száma eggyel csökkent. Így a gyártóterületen – a megszüntetett munkaállomás helyén – üres terület szabadult fel, amely további értékteremtő tevékenységek folytatására vált alkalmassá.

## **6. Összefoglalás**

A cikk első részében – a konkrét gyakorlati feladat elméleti háttereként – a Lean gyártási filozófia lényegi elemei, valamint a szerelési folyamatok jellemzői, típusai és a gyártmány felépítési struktúrája (beépülési családfája) kerültek ismertetésre.

Ezt követően egy konkrét gyakorlati feladat – egy adott elektronikai termék szerelési folyamatának Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztése – lett bemutatva. A gyakorlati feladatban a vizsgált elektronikai termék szerelési folyamatának – amely 18 szerelési műveletből álló, 5 munkaállomáshoz rendelt, 5 operátor által végzett folyamat – elemzésére került sor, amelynek alapján megvalósult a szerelési folyamat Lean módszerekkel történő folyamatfejlesztése.

Majd az eredeti és a továbbfejlesztett, új szerelési folyamat – 7 mennyiségi KPI mutató alapján történő – összehasonlítására került sor, amelynek alapján megállapítható, hogy valamennyi vizsgált KPI mutató – %-os mértékben kimutathatóan – javult a folyamatfejlesztés eredményeként.

A cikkben bemutatott gyakorlati példa is jól bizonyítja, hogy a Lean gyártási filozófia hatékony eszköz a szerelési folyamatok szűk keresztmetszeteinek és veszteségeinek megszüntetésére; az

erőforrások maximális kihasználása érdekében az egyes munkaállomásokon dolgozó operátorok munkamennyiségeinek kiegyenlítésére, valamint a szerelési folyamatok hatékonyságának javítására is.

## Irodalom

- [1] Ohno, T. (1990). Toyota production system. *Beyond large-scale production*, Productivity Press.
- [2] Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (1990). The machine that changed the world: the story of Lean production, Harper Collins Publishers.
- [3] Liker, J. K. (2008). A Toyota módszer, HVG Kiadó Zrt.
- [4] Kovács, Gy. (2020a). Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction. *International Journal of Production Research*, 58, 1-22. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712490>
- [5] Kovács, Gy. (2017). Application of lean methods for improvement of manufacturing processes. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 5(2), 31-37.
- [6] Lean Enterprise Institute (2021. október 14.) *A leanről - Mi a lean? Mi a célja? Hogyan segíthet neked?* <https://lean.org.hu/alapok/a-leanrol/>
- [7] Womack, J. P., Jones, D. T. (2009). Lean szemlélet – a veszteségmentes, jól működő vállalat alapjai, HVG Kiadó Zrt.
- [8] Kovács, Gy. (2020b). Lean értékorientált folyamatfejlesztés. Miskolci Egyetemi Kiadó.
- [9] Yadav, O. P., Nepal, B. P., Rahaman, M. M. & Lal, V. (2017). Lean implementation and organizational transformation: A literature review. *Engineering Management Journal*, 29(1), 2-16. <https://doi.org/10.1080/10429247.2016.1263914>
- [10] Oliveira, R. I., Sousa, S. O. & Campos, F. C. (2019). Lean manufacturing implementation: bibliometric analysis 2007-2018. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101(1-4), 979-988. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2965-y>
- [11] Chiarini, A., Found, P. & Rich, N. (Eds.) (2016). Understanding the Lean enterprise - strategies, methodologies, and principles for a more responsive organization. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19995-5>
- [12] Dennis, P. (2015). Lean production simplified. CRC Press.
- [13] Shang, G., Sui, P. L. (2014). Lean construction management - The Toyota way. Springer.
- [14] Bai, C., Satir, A. & Sarkis, J. (2019). Investing in lean manufacturing practices: an environmental and operational perspective. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1037-1051. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1498986>
- [15] Orr, L. M., Orr, D. J. (2014). Eliminating waste in business, run Lean, boost profitability. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6089-9>
- [16] Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420-437. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>
- [17] Péczely, Gy., Péczely, Cs. & Péczely, Gy. (2003). Lean 3 – termelékenység-fejlesztés egységes rendszerben, A. A. Stádium Kft.
- [18] Tudásbázis (2021. október 1.) <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-3/szerelestecnologia/motorszerelés>
- [19] Vaclav, S., Kostal, P., Michal, D. & Lecky, S. (2019). Assembly systems planning with use of databases and simulation, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 659, ID 012023 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/659/1/012023>
- [20] Butala, P., Mpofu, K. (2019). Assembly systems. CIRP encyclopedia of production engineering, Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53120-4\\_16789](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53120-4_16789)



- [21] Tang, H. (2017). Automotive vehicle assembly processes and operations management, SAE International. <https://doi.org/10.4271/R-456>
- [22] Keller, B., Buscher, U. (2015). Single row layout models. *European Journal of Operation Research*, 245, 629–644. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.03.016>