

## **Ipar 4.0 szemléletű tesztelés és validálás kialakításának hatásai az elektronikai gyártásban**

### **Effects of Industry 4.0 based test and validation in the electronics industry**

**KOVÁCS B.<sup>1</sup>, HUSI G.<sup>2</sup>,**

**Debreceni Egyetem, Informatikai Kar, Informatikai Tudományok Doktori Iskola,  
kovacs.bence@inf.unideb.hu**

**Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Légi- és közúti járművek Tanszék, husigeza@eng.unideb.hu**

*Absztrakt.*

*Az elektronikai eszközök iránti folyamatos keresletnövekedés kihívások elé állítja az elektronikai termékeket gyártó vállalatokat. A tanulmányban bemutatásra kerülnek egy regionális, saját termékeket fejlesztő és gyártó elektronikai vállalatnak (OEM vállalat) a nagy termékportfólió fenntartásával kapcsolatos gazdasági és gyártási kihívásai, és a kutatásnak ezekre az Ipar 4.0 szemlélet által nyújtott megoldásai. Az Ipar 4.0 alapelveinek elsajátítása és bevezetése a gyártási környezetbe az eddigiektől eltérő, új gyártási felépítést eredményez, azonban a fejlesztések pozitív hatása mind pénzügyi, mind termelés hatékonysági téren kimutatható. A cikkben bemutatásra kerül az elektronikai termékek tesztelési és validálási területéhez köthető szemléletváltás implementálása, és az Ipar 4.0 alapelvei tesztmegoldások kialakításának gyakorlati követelményei. Bemutatásra kerül egy, az informatikai elméleti tudományok terén úttörő technológiának, a Big Data szemléletű adatfeldolgozásnak egy valós gyártási környezetben történő gyakorlati megvalósítása. Részletezésre kerülnek a hardveres, szoftveres és az adatgyűjtéssel kapcsolatos kihívások, valamint az ezekhez köthető költségmegtakarítási, termelés hatékonyságbeli és termékkihozatal növekedési eredmények.*

*Kulcsszavak: Ipar 4.0, elektronikai gyártás, Big Data*

*Abstract.*

*The continuous demand increase of electronic items challenges the electronic manufacturing companies. The economic and manufacturing challenges, and the Industry 4.0 based solutions of having a great product portfolio of a regional, original equipment manufacturer are presented in this study. The acquirement and the implementation of the principles of Industry 4.0 results a new production environment, but the positive effects of that can be demonstrated from financial and production efficiency sides. The mindset change of the test and validation area of an electronic company, and the steps required to achieve Industry 4.0 based test solutions are presented in this article. You can read about the practical implementation of a pioneering technology in the field of informatics, Big Data oriented data processing in a real manufacturing environment. The changes related to hardware and software design and data acquisition are presented, also you can read about the resulting cost saving, production efficiency improvement and product output growth of the study.*

*Keywords: Industry 4.0, electronic manufacturing, Big Data*

*JEL Kód: L63*

---

<sup>1</sup> ORCID: 0009-0008-9959-2806

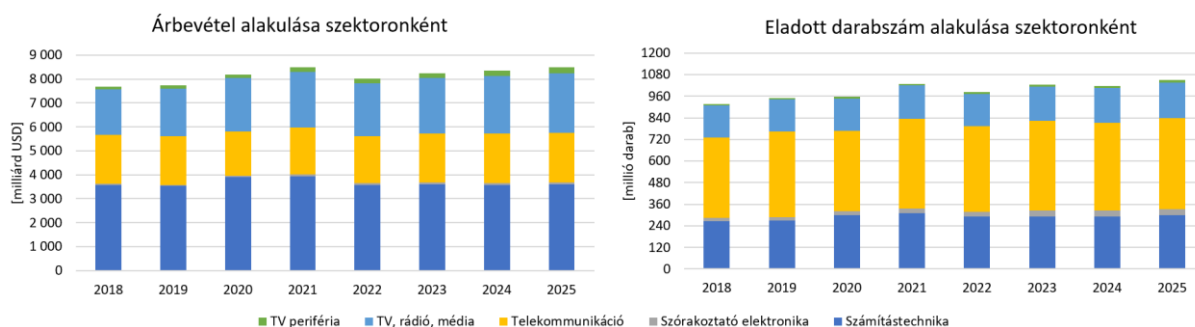
<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-9373-0189

## Bevezetés

A fejlett társadalmak alapvető mindennapjait behálózza a digitális technológia. Ezen digitális forradalom következtében robbanásszerűen elterjedtek az okos eszközök a társadalom, gazdaság és kultúra számos területén. Legyen szó mezőgazdasági tevékenységről, különböző szolgáltatások nyújtásáról, közfeladat ellátásáról vagy gyártási és ipari tevékenységről, a hálózatba kapcsolt intelligens rendszerek mindenütt megtalálhatók (Cui, et al., 2023). Az analóg rendszereket folyamatosan váltják fel a digitális alternatíváik, melyek számos gazdasági és kényelmi előnnyel járnak.

A technológiai fejlődés elterjedéséhez nagyban hozzájárul ezen elektronikus eszközök gyártástechnológiájának felskálázása, fejlődése és optimalizálása, ezáltal azoknak az eszközöknek szélesebb körben történő elérhetővé tétele (Tian, et al., 2023). Az integrált áramkörök, melyek „agyként” funkcionálnak ezekben a termékekben, már az 1950-es években megjelentek és azóta folyamatosan fejlődnek (Halal, 1993). Jellemző a technológiára a miniaturizálás, a komponenssűrűség fokozása, a teljesítmény és a számítási kapacitás folyamatos növelése. Így válnak jobbra és hatékonyabbá a termékek (Yaguang, 2022). Erre kiváló példa, hogy az első holdraszállás alkalmával az Apollo 11 űrsikló számítógépe még csak ~32 ezer bit RAM-mal és ~590 ezer bit ROM-mal rendelkezett. A mai modern telefonok átlagosan 4 GB RAM-mal és 128 GB ROM-mal rendelkeznek, így előbbi körülbelül 1 milliószorosa, míg utóbbi több mint 1,75 milliószorosa a holdraszállást levezénylő számítógép képességének (Mindell, 2008).

A kereslet növekedésének következtében az elektronikai iparág is fokozatosan növekszik, hogy ki tudja szolgálni a vevői igényeket. Az Ipar 4.0 alapú fejlesztések egyik fő katalizátora a hatékony növekedés megvalósíthatósága (Nagy, et al., 2020). Ahogyan az 1. ábra is szemlélteti, az árbevétel (bal oldal) és az eladott termékmennyiség (jobb oldal) évről évre folyamatosan növekszik, egyetlen évet leszámítva, amikor a kereslet a háború, a gazdasági infláció és a COVID-19 járvány utóhatásai következtében megtorpant. Az iparág ennek ellenére kilábalóban van a recesszióból és a következő évekre vonatkozó előrejelzések alapján folyamatosan növekedni fog.



1. ábra - Elektronikai iparág eladási adatai világszinten vizsgálva

Figure 1: Sales data of Electronics industry worldwide

Forrás: Saját szerkesztésű ábra statista.com adatai alapján

## 1. Az OEM gyártók elektronikai ipari kihívásai

Az eredeti termékek gyártásával foglalkozó vállalatokat az angol Original Equipment Manufacturer szóból származtatva hazánkban is gyakran OEM gyártóknak nevezzük. Egy OEM vállalatnak jelentős piaci előnyt jelenthet, illetve nagyobb piaci részesedés birtoklásához vezethet, hogyha rugalmasan reagál a vevőinek az egyedi igényeire és törekszik azoknak a minél magasabb szintű kielégítésére. A vevői igények sokféleségéből adódóan ez azonban gyakran csak nagy termékportfólió fenntartásával érhető el (Zhang, et al., 2023). Így alakulhatnak ki a tömeggyártással ellentétesen olyan gyártási környezetek, ahol a termékek varianciája nagy, azonban a különböző típusokból egyidejűleg gyártott mennyiség kicsi. Ezt az angol megfelelője alapján (High Mix – Low Volume) HMLV gyártásnak szokás nevezni (Didden, et al., 2021, Johansen et al., 2021). A HMLV számos gyártási kihívást tartogat, köztük a gyártási folyamat tesztelési és validációs fázisára vonatkozóan, melynek ipar 4.0 szemléletű optimalizálása ennek a cikknek a témája.

A tesztelés kiemelten fontos szerepet játszik az elektronikai gyártásban. Ezen folyamat következtében történik meg a minőségellenőrzés, a megbízhatóságról és a tartósságról való megbizonyosodás, hogy a vevők a vállalat által specifikált termékeket, funkciójuk ellátására megfelelő állapotban vásárolhassák meg. Emellett a biztonsági követelmények ellenőrzése is ekkor történik meg. Az elektronikai eszközök számos alkalommal olyan környezetben kerülnek alkalmazásra, ahol szükséges az életvédelem fokozott biztonságának biztosítása, különböző érintésvédelmi, földfolytonossági és szigetelési tesztek elvégzése által (Arabian, 2020).

Mindezen tesztelési és validálási kritériumok teljesülése érdekében, az elektronikai gyártásból eredő tesztelési varianciáknak köszönhetően egy OEM vállalatnak alapvetően nagy teszteszköz parkot szükséges fenntartania, különösen abban a helyzetben, hogyha a vásárlói igény folyamatosan növekszik és azok kielégítése csak újabb és újabb termékek bevezetésével valósítható meg, a már meglévő termékportfólió életben tartása mellett. Mivel a gyártási skálázhatóság csak korlátozott mértékig növelhető gazdaságosan, így az újabb és újabb tesztmegoldások gyártásba történő bevezetése helyett az ipar 4.0 szemléletű gyártás kialakítása, valamint a hatékonyság növelése jelenti a megoldást (Cseh, 2020, Govindan et al., 2023).

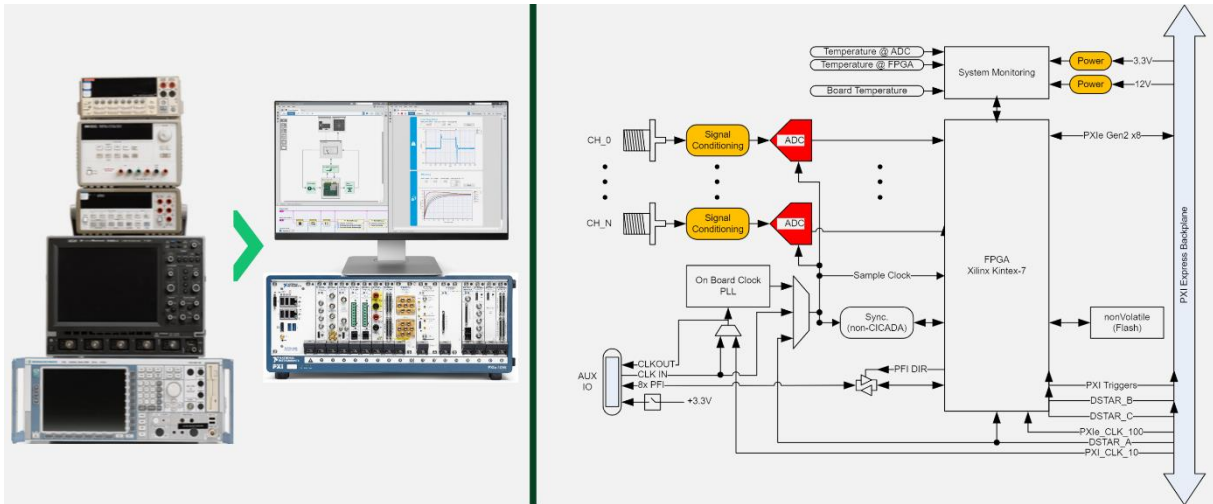
## **2. Szoftver vezérelt, automatizált mérés és adatgyűjtés**

Az elektronikai tesztelés az elektronikai szerelvények gyártásával egyidejűleg került kialakításra. A kezdetektől fogva kiemelten fontos volt a végtermékek megfelelő működésének garantálása, ami az idő múlásával csak fokozódott.

Jó példa erre az autóiipar. A modern autók inkább tekinthetők egy komplex, számítógép által vezérelt elektromechanikai szerkezetnek, mintsem egy hagyományos értelemben vett gépészeti terméknek. Most már nem minden esetben mechanikus kapcsolatokon alapuló erőátvitel tesz lehetővé a jármű hajtását, sőt a modern autókban például már fizikai kapcsolat sincs a kormánymű és a vezérelt kerekek között. Ebből a szempontból is jól látható a tesztelés fontossága. Statisztikai alapokon, amennyiben egy átlagos modern autó 7 ezer darab elektronikai alkatrészből épül fel, mely autóból egy gyártóüzem képes 4 ezer darabot legyártani naponta, akkor az 1 darab/millió komponens hibaráta esetén (ami 99,9999% megfelelőséggel egyenértékű), napi szinten 28 darab hibás járművet jelent.

A tesztelés a kezdeti időkben (mint ahogy a gyártási folyamat legtöbb eleme) manuálisan történt. A méréshez és validáláshoz szükséges mérőműszereknek, mint például multimétereknek, oszcilloszkópoknak, tápegységeknek és függvénygenerátoroknak a vezetékkel manuálisan kerültek felhelyezésre a tesztelés alatt álló termékekre, a mérési eredmények pedig leolvasás útján manuálisan kerültek jegyzőkönyvekbe rögzítésre.

A tesztelési technológia fejlődésének következtében sokat változott a folyamat. A harmadik ipari forradalom folyamán bekövetkezett automatizációs hullám a tesztmegoldásokat is érintette. A cikk által vizsgált regionális elektronikai vállalat egyik fő termékportfóliója is ehhez kapcsolódóan jött létre. A különálló, úgynevezett „stand-alone” mérőműszerek helyett, moduláris felépítésű mérőrendszereket fejlesztett ki a vállalat, amelyek szoftveres alapon voltak vezérelve, megteremtve ezzel a mérési és validálási automatizálás lehetőségét. A 2. ábra bal oldalán a moduláris műszerezettség fizikai megvalósulása látható, míg a jobb oldalán a mérés és adatgyűjtés elvi vázlata, blokk diagrammja került ábrázolásra.



2. ábra– Moduláris műszerezettségű mérés és adatgyűjtés fizikai kialakítása (bal) és blokk diagramja (jobb)

Figure2 – Modular instrumentation based data acquisition and measurement

Forrás: saját szerkesztésű ábra az NI vállalat termékeinek dokumentációja alapján

Fontos kihangsúlyozni, hogy a napjainkban is zajló negyedik ipari forradalom nem az automatizálás vívmányát hozta el. Az már a számítástechnológia térnyerésével kialakult, hanem, bár nincs konkrét definíciója az Ipar 4.0-nak, de az egyik legelfogadottabb szemlélet alapján: A hálózatba kapcsolt szenzorok és berendezések korszakát jelenti, ahol a gépek képesek egymással és az emberrel kommunikálni, adatokat gyűjteni, azokat elemezni és az elemzések alapján adatvezérelt döntéstámogatási javaslatokat tenni. Ennek szükséges, de nem elégséges feltétele a számítástechnológia és az automatizálás térhódítása, azonban ezen alapokra építkezve valósul meg az integrált szakértői rendszereknek a kialakítása.

A publikáció további fejezeteiben bemutatásra kerül ezen definíció alapján a kutatócsoportunk által definiált Ipar 4.0 szemlélet elmélete elektronikai tesztelés területén, és egy ezen szemlélet alapján megvalósított gyakorlati megoldás, illetve annak eredményei.

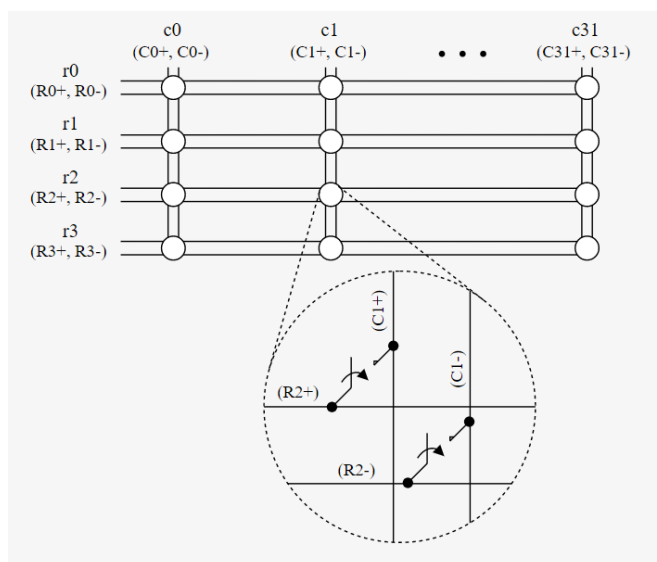
### 3. Ipar 4.0 szemlélet kialakításának módszere HMLV elektronikai gyártás validációs területen

#### 3.1. Termék independencia és univerzális termelés fizikai megvalósítása

A 4. ipari forradalom során mind a hatékonyság növelés, a folyamatokba történő emberi beavatkozások alkalmának minimalizálása, valamint a manuális műveletek eliminálása is cél. Ennek érdekében a gépek érzékelők és szenzorok segítségével képesek tudatában lenni környezetüknek, és aktuátorai és beavatkozó egységeik segítségével pedig reagálni tudnak a környezetükben történő eseményekre (Cannavacciuolo, et al., 2023, Soori, et al., 2023). Fejlett gyártási környezetben ez úgy valósul meg, hogy a gyártóberendezés képes érzékelni a gyártás alatt álló munkadarabot, így képes az ahhoz szükséges gyártási program betöltésére és futtatására. Az aktuátorai segítségével pedig képes a terméktípusok közötti gyártási átállások végrehajtására. A kutatás által vizsgált gyártási környezetben is cél volt ezen szempontokat megvalósítani a tesztelés terén. Bár a harmadik ipari forradalomhoz köthető automatizáció miatt jelentősen nőtt a tesztelési hatékonyság, azonban a tesztmegoldások a termékekhez dedikált egyedi teszteszközöket, úgynevezett célgépeket eredményeztek. Ez nem nevezhető gazdaságosan skálázható folyamatnak egy HMLV gyártási környezetben, a nagy termékportfólió miatt. Így az volt a fő szempont, hogy olyan „okos” tesztmegoldásokat készítsünk, melyek „univerzálisak”, azaz képesek több típusú gyártandó termék vagy termékcsalád tesztelési lefedettségéről gondoskodni. Ennek érdekében minden teszteszközt és tesztperifériát egyedi azonosítóval láttunk el, amelyeket a gyártóprogram össze tudott rendelni a termékek egyedi azonosítójával, így gondoskodva a megfelelő folyamat végrehajtásáról. A gyártáshoz szükséges

moduláris instrumenteket egy rackszekrénybe építettem bele, majd a több terméktípus támogatásához szükséges univerzalitást egy termékhez dedikált tesztelési kerettel, valamint egy univerzális adapterrel oldottam meg.

Ekkor felmerült az a probléma, hogyha egy mérőműszert több termék párhuzamos tesztelésére, vagy pedig egy terméken több, egymástól különböző mérőhelyen szeretném felhasználni, akkor vagy a mérőműszerek számát szükséges növelni a rack kialakításon belül (ami nem gazdaságos), vagy pedig alternatív megoldást kell alkalmaznom. A teszteléshez úgynevezett kapcsoló mátrix kártyákat használtam fel, melyek útválasztó szerepet töltenek be a bemenetek és a kimenetek között. Így lehetőségem lett 1 bemenetet 32 kimenetre rákapcsolni, vagy 2-t 16-ra vagy pedig 4-et 8-ra. Az útválasztás elektromos elvi vázlata a 3. ábrán látható:



3. ábra – Kapcsoló mátrix kártya elvi elektromos működési vázlata

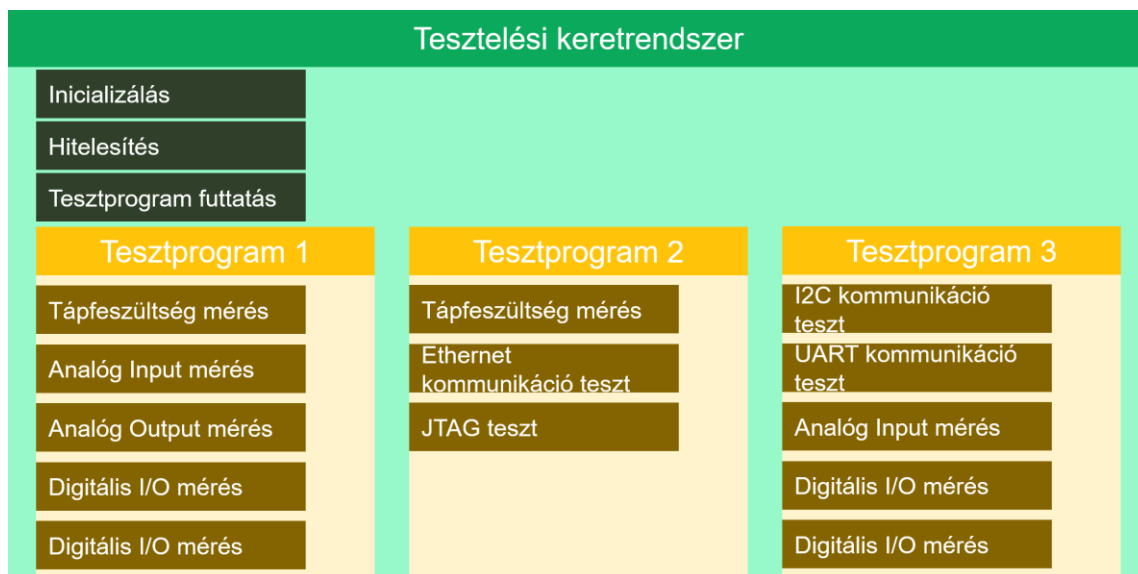
Figure3 – Electrical diagram of Switch Matrix Card

Forrás: ni.com PXI-2529 specifikáció, <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/pxi-2529-features/page/topology.3.html>

### 3.2. Szoftveres architektúra kiépítése univerzális teszteléshez

A tesztelendő termékeknek és a teszthez felhasznált teszteszközöknek az egyedi azonosítójának a beolvasásával a rendszer automatikusan meg tudja kezdeni a termékellenőrzési folyamatot. Ehhez azonban egy olyan szoftveres architektúrát kellett kialakítanom, amely a már létező automata tesztprogramokat, mint egy tesztelési modulként kezeli, így az egész univerzális tesztelési folyamatot egy tesztprogramok köré épülő keretrendszer képes működtetni. Ennek a keretrendszernek az elvi vázlata a 4. ábrán látható.

A keretrendszer alapját az NI TestStand szoftver nyújtotta. Itt került kialakításra az architektúra, amely befogadja és feldolgozza a tesztelendő termék adatait, inicializálást és gyártáshitelesítést végez, majd ezt követően gondoskodik a megfelelő tesztprogramok meghívásáról és futtatásáról.



4. ábra – Kifejlesztett tesztelési keretrendszer elvi működése

Figure4 – Theoretical function of the newly developed test framework

Forrás: Saját szerkesztésű ábra

### 3.3. Adatgyűjtés spektrumának a kiterjesztése és fejlett adatelemzés

Utolsó lépésként az Ipar 4.0 alapú hardveres és szoftveres architektúrák kialakítása után az adatgyűjtés spektrumának kiterjesztése és a fejlett informatikai tudományokon alapuló adatelemzés elvégzése maradt.

Az elektronikai termékek árusítása során a vevők számos alkalommal megkövetelik a tesztelési és validálási mérési eredmények rögzítését és tárolását, főleg, hogyha a végső felhasználás az autóiiparban, hadiiparban vagy a légi közlekedésben történik. Abban az esetben, hogyha az adatgyűjtés körét kiterjesztjük a mért eredményekről minden gyártással kapcsolatos adatra, akkor lehetőséget adunk az informatika legmodernebb vívmányainak, mint például a Big Data adatelemzésnek az alkalmazására (Rodrigues et al., 2022, Drouot et al., 2019).

A tesztelési keretrendszer kialakítása és alkalmazása lehetővé tette számomra, hogy a tesztprogramoktól függetlenül, minden esetben gyűjtssem és eltároljam azokat a változókat is, amelyek nem a mérési eredményhez köthetőek szorosan. Ilyen például a mérést végző operátor azonosítója, a mérés helye, a méréshez használt eszközök, a mérés ideje, a mérés hossza, stb. Ehhez létre kellett hoznom egy nagyobb tárhellyel rendelkező szervert, egy úgynevezett „Data Warehouse”-t, azaz adat raktárat, valamint ki kellett építenem az adatkapcsolatot a fizikai tesztlétesítmények és a szerver között.

A gyártásból származó összes adatnak a sikeres tárolása után azok feldolgozása, majd a gyártástámogatás szempontjából lényeges eredmények közzététele következett.

A kutatás által vizsgált gyárban több mint 9000 terméktípus gyártása történik éves szinten, melyek kis batchekben haladtak végig a gyártócsarnokon, ezzel napi több tucat gyártási átállást, illetve számos tesztlétesítmény használatot eredményezve. Ennek a megnövekedett darabszámú paraméternek a rögzítéséből származó adatmennyiséget nem volt lehetőségem a hagyományos informatikai eszközök segítségével feldolgozni, ugyanis a több terabájtnyi adatot nem tudta kezelni egyik program sem. A problémának a kezelésére egy Big Data alapú programot, az OptimalPlus nevezetű szoftvert használtam. Az adatelemzést egy különálló szervergépről futtattam, amely a Data Warehouseban tárolt adatokat olvasta és elemezte. Az elemzések Vertica Structured Query Language (VSQL) programozási nyelven kerültek lekérdezésre, melynek segítségével az addig feldolgozhatatlan adatmennyiséget, átlagosan 10 perc alatti futásidő alatt, a teljes gyártási környezetre vonatkozó, a gyártás szempontjából kulcsfontosságú teljesítménymutatóként felhasználható gyártási adatokat kaptam eredményül, mint amilyen a teszteszközre vonatkozó hatékonyság, a bukási ráta, illetve a termékre vonatkozó first pass yield és last pass yield értékek.

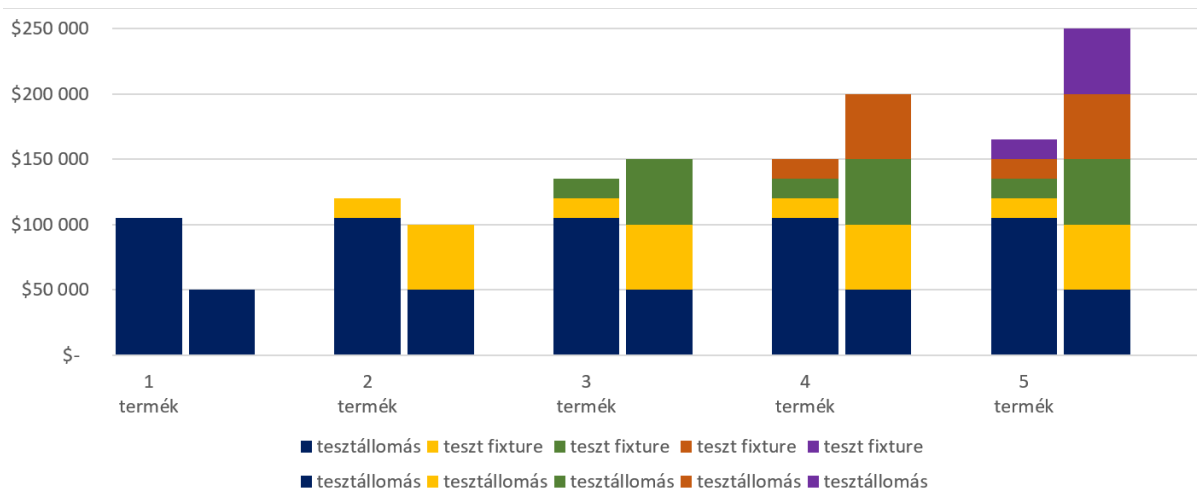
## 4. Ipar 4.0 szemléletű tesztelés és validálás eredményei HMLV környezetben

### 4.1. Pénzügyi költségvetést közvetlenül érintő eredmény

Az univerzális tesztképesség megalkotásával jelentősen csökkenthetővé vált a beruházások költsége. Bár az univerzalitás csak bizonyos korlátokig kivitelezhető, még így is sikerült átlagosan 9-15 terméktípus variánst egy tesztmegoldással lefedni.

Átlagosan a tesztmegoldások beruházási költsége 50 ezer dollár, míg egy univerzális tesztállomásé 100 ezer dollár feletti összeg is lehet. Ennek ellenére megtakarításról beszélhetünk, hiszen míg a célgépként megépített validációs eszközök bekerülési költsége változatlan marad újabb terméktípus támogatási igénye esetén, addig az univerzális állomásoknál elegendő csak a termék és a műszerek közötti kapcsolatot megvalósító tesztperifériákat és kereteket, illetve az adaptereket újraépíteni, melyeknek a költsége töredéke egy állomásénak.

Minél több terméktípust tud támogatni egy univerzális gép, annál nagyobb költségelkerülést jelent a hagyományos módszerekhez viszonyítva. Az átlagos megtakarítás lehetőségeit az 5. ábra szemlélteti. Minden támogatott termék darabszám esetén (x tengely) szemléltetésre kerül az Ipar 4.0 alapú termékfüggetlen validálás (bal halmozott grafikonok), illetve a célgép alapú kivitelezések költségei (jobb halmozott grafikonok). Látható, hogy már a 3. termék támogatásától kezdődően gazdaságosabb az Ipar 4.0 alapú megoldás.



5. ábra – Az Ipar 4.0 alapú tesztmegoldáshoz köthető pénzügyi megtakarítás lehetőségei  
Figure 5 – Possibility of cost saving of Industry 4.0 based test solutions

Forrás: Saját szerkesztésű ábra

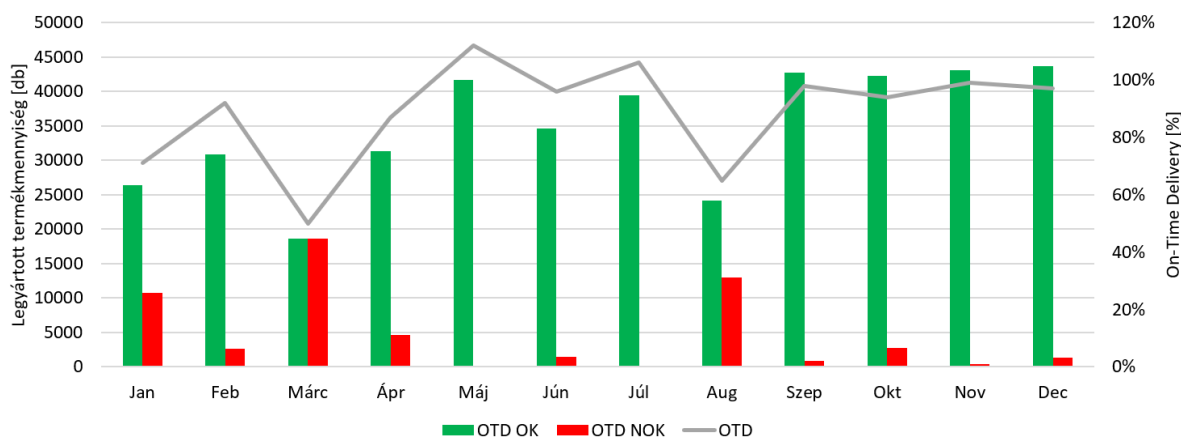
### 4.2. Pénzügyi költségvetést közvetetten érintő eredmény

A széles körben történő adatgyűjtés, majd annak a Big Data eszközökkel való feldolgozása a pénzügyi költségvetést bár közvetlenül nem, de közvetetten érintő hatását eredményezte.

HMLV gyártási környezetben a gyártástervező csapat elé nagy kihívást támaszt a teszteszközök párhuzamos alkalmazásának a lehetőségéből, az operátori manualitásból eredő hatékonyságkülönbségből, valamint a gépek eltérő mértékű kihasználtságából és aktiválásából származó amortizációs különbségekből eredő kiszámíthatatlanság. A tervezők által létrehozott terv alapján időre történő termelés teljesítés eredménye nagy skálán mozgott, sőt gyakran a várt eredményekhez képest ellentétes értékeket mutatott.

2022. folyamán az első nyolc hónapban a terület határidőre történő gyártás teljesülésének a mutatója (On-Time Delivery – OTD) jelentős mértékben szórt, sőt, kettő esetben a maximális 100%-os érték felé is ment, mely a mutatónak a nem megfeleléseit bizonyítja. Az Ipar 4.0 szemléletű adatgyűjtés és adatfeldolgozás következtében parametrikus adatokból Big Data elemzéseknek köszönhetően kimutatható volt a gépek közötti, termékekhez és teszteszközökhöz köthető hatékonyság különbségek.

Ugyanazon termék kettő különböző teszteszköz összeállításon akár 25%-os termelési hatékonyságkülönbséggel bírt. Ezeknek a nagy jelentőségű információknak a tudatában a termelés tervezői részleg képes a lehető legoptimálisabb termelési terv létrehozására, mely nagyban növeli a hatékonyságot és a termékkihozatali darabszámot. A 2022. évi eredmény a 6. ábrán látható.



6. ábra – 2022. évi területi gyártási adatok Ipar 4.0 alapú adatelemzés előtt (01-08) és után (09-12)  
Figure 6 – Area specific production data before Industry 4.0 based analysis (01-08) and after (09-12) in 2022.

Forrás: Saját szerkesztésű ábra

## 5. Összefoglalás és következtetések

A digitális forradalomnak, és az elektronikai eszközök széles körben történő elterjedésének köszönhetően folyamatosan növekszik az elektronikai ipar. Ennek a növekedésnek a lekötése kihívások elé állítja az egyedi igények kielégítésére specializálódott, nagy termékportfólióval rendelkező OEM gyártókat. A gyártási képesség gazdaságosan nem skálázható párhuzamosan az elektronikai termékek iránti kereslettel. A kapacitásból eredő problémákra mutat be gyakorlati megoldást ez a kutatás egy regionális elektronikai gyár Ipar 4.0 irányelveire épülő tesztelési és validálási területén.

Kettő fő téma került elemzésre, majd fejlesztésre. Az első a termékektől független, univerzális tesztelési környezet kialakításainak kihívásait és megoldásait mutatta be. Ennek a komplex problémának a megoldásához szükség volt hardveres és szoftveres fejlesztésekre is egyaránt. A fizikai mérési eszközök és tartozékok egy rack szekrényben kerültek elhelyezésre, amely egy adapter és tesztperifériák, valamint szükség esetén kapcsoló mátrix kártyák segítségével hoz létre fizikai és elektronikus kapcsolatot a tesztelendő termék és a teszteszközök között. Miután ez megvalósításra került, szoftveres oldalon ki kellett alakítani egy olyan keretrendszert, amely kezeli a különböző tesztprogramok futtatását az észlelt termékek függvényében. Ennek eredményeképp jelentős beruházási költség kerülhető el egy HMLV gyártási környezetben.

A második téma az adatgyűjtésre, valamint azoknak a magas szintű elemzésére összpontosított. Ebben az esetben a nagy adatmennyiség Big Data eszközökkel került elemzésre és feldolgozásra. Ennek eredményül olyan korrelációk és összefüggések kerültek azonosításra, mely jelentősen javította a termelési hatékonyságot, a termelés tervezési megbízhatóságot és a területi kihozatalt.

A kutatás bemutatott egy példát a modern elméleti informatikai és mérnöki kutatásoknak a gyakorlatban történő implementációjára, valós ipari környezetben. A példa alapján kijelenthető, hogy az Ipar 4.0 szemléletű fejlesztésekre fordított erőforrások megtérülnek és hasznosak.

A fejlesztések eredményeképp a kutatás során együtt működött vállalatnak a termékspecifikus beruházások költsége akár 50%-kal csökkenthetővé vált, a termelésre vonatkozó OTD értéke 90% feletti értéktartományba emelkedett, valamint az átlagos letesztelt termékdarabszám 10%-kal nőtt. Ezen hatékonyságnövekedések következtében a regionális gyártóegységnek a versenyképességi értéke a cégen belüli gyártóegységekkel szemben növekszik, mely további potenciális fejlesztéseket eredményezhet. Ezen felül a vállalattól függetlenül egy erős Ipar 4.0 szemléletű tudásbázis kiépülés



kezdődhet meg a gyakorlati teszteknek, illetve azoknak a publikálásának köszönhetően. Ez mind tudományos, mind gazdasági szempontból erősítheti régiókat.

#### Irodalomjegyzék

- Arabian, J. (2020), *Computer Integrated Electronics Manufacturing and Testing*. CRC Press, Boca Raton, ISBN: 978-1003065944
- Cannavacciuolo, L., Ferraro, G., Ponsiglione, C., Primario, S., Quinto, I. (2023). *Technological innovation-enabling industry 4.0 paradigm: A systematic literature review*. *Technovation*, 124, 102733. doi:10.1016/j.technovation.2023.102733
- Cui, L., Wang, Y. (2023). *Can corporate digital transformation alleviate financial distress?* *Finance Research Letters*, , 103983. doi:10.1016/j.frl.2023.103983
- Gergely Cseh. (2020). *A digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő mutató – Magyarország európai uniós teljesítménye a digitalizált világban*. Miskolci Jogi Szemle 15. Évf. 1. Különszám, , 51-60.
- Govindan, K., Arampatzis, G. (2023). *A framework to measure readiness and barriers for the implementation of industry 4.0: A case approach*. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59, 101249. doi:10.1016/j.eelerap.2023.101249
- Halal, W. E. (1993). *The information technology revolution: Computer hardware, software, and services into the 21st century*. *Technological Forecasting and Social Change*, 44(1), 69-86. doi:10.1016/0040-1625(93)90007-T
- Johansen, K., Rao, S., Ashourpour, M. (2021). *The role of automation in complexities of high-mix in low-volume production – A literature review*. *Procedia CIRP*, 104, 1452-1457. doi:10.1016/j.procir.2021.11.245
- Kim, T. J. (2018). *Automated autonomous vehicles: Prospects and impacts on society*. *Journal of Transportation Technologies*, 8(3), 137-150. doi:10.4236/jtts.2018.83008
- Mindell, D. A. (2008). *Digital Apollo: Human and Machine in Spaceflight*. The MIT Press, ISBN: 978-0262134972
- Nagy, J., Jámbor, Z., Freund, A. (2020). *Az ipar 4.0 és a digitalizáció legjobb gyakorlatai a hazai élelmiszeriparban*. *Vezetéstudomány*, 51(6), 5-16. doi:10.14267/VEZTUD.2020.06.02
- Ratchev, S. (2018). *Towards industry 4.0: The future automated aircraft assembly demonstrator*. *IFIP advances in information and communication technology* (pp. 169-182). Switzerland: Springer International Publishing AG. doi:10.1007/978-3-030-05931-6\_16
- Rodrigues, D., Carvalho, P., Rito Lima, S., Lima, E., Lopes, N. V. (2022). *An IoT platform for production monitoring in the aerospace manufacturing industry*. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133264. doi:10.1016/j.jclepro.2022.133264
- Soori, M., Arezoo, B., Dastres, R. (2023). *Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review*. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3, 192-204. doi:10.1016/j.iotcps.2023.04.006
- Tian, M., Chen, Y., Tian, G., Huang, W., Hu, C. (2023). *The role of digital transformation practices in the operations improvement in manufacturing firms: A practice-based view*. *International Journal of Production Economics*, 108929. doi:10.1016/j.ijpe.2023.108929
- Yaguang, L. (2022). *Semiconductor Microchips and Fabrication: A Practical Guide to Theory and Manufacturing*. Wiley – IEEE Press, ISBN: 9781119867784
- Zhang, L., Li, W., Zhang, C., Wang, S. (2023). *Outsourcing strategy of an original equipment manufacturer in a sustainable supply chain: Whether and how should a contract manufacturer encroach?* *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 174, 103132. doi:10.1016/j.tre.2023.103132

#### Internetes források:

- ni.com, *PXI-2529 specifikáció*, <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/pxi-2529-features/page/topology.3.html>, letöltve: 2023.06.01.
- statista.com, *Consumer Electronics – Worldwide*. <https://www.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/worldwide>, letöltve: 2023.12.20.