



VIRTUÁLIS GYÁRTÁS ALKALMAZÁSA IPARI GYÁRTÓEGYSÉGEK KORSZERŰSÍTÉSÉRE

APPLICATION OF VIRTUAL PRODUCTION TO UPGRADE INDUSTRIAL PRODUCTION UNITS

Palánkai Emese,¹ Sarvajcz Kornél²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország,
palankaiemese02@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék, Debrecen, Magyarország,
sarvajcz@eng.unideb.hu

Abstract

Our research work involves the study, analysis and modernisation of the production line of a company that has been operating with traditional systems for a long time with unchanged principles. The paper highlights the use of virtual production as a tool for modernising the company's production processes, providing a comprehensive understanding of its characteristics, advantages and positive impact on process development. The scientific article, after an overview of a selected real production process, describes the steps to build a digital twin for the implementation of virtual manufacturing. It explains in detail the different features and the results obtained in the Tecnomatix Plant Simulation modelling environment used to build the model. After evaluating the simulation, the paper examines the current state of the real process and its overall tool efficiency, and based on the conclusions drawn, it presents a way forward for the development of the production line and the possibilities for further research.

Keywords: *virtual production, Industry 4.0, Tecnomatix Plant Simulation, digital twin, simulation.*

Összefoglalás

Kutatómunkánk egy hosszú ideje változatlan elveken üzemelő, hagyományos rendszerekkel dolgozó vállalat egyik gyártósorának megismerésére, elemzésére, majd modernizálására terjed ki. A publikáció a cég gyártási folyamatainak korszerűsítésére alkalmas módszerek közül a virtuális gyártás eszközeit emeli ki. Átfogó ismereteket ad annak tulajdonságairól, előnyeiről, valamint a folyamatok fejlődésére gyakorolt pozitív hatásairól. A tudományos cikk a kiválasztott valós termelési folyamat áttekintése után a virtuális gyártás megvalósításához létrehozott digitális ikertestvér felépítésének lépéseit mutatja be. Részletesen kifejti a modell megalkotásához felhasznált Tecnomatix Plant Simulation modellalkotó környezet különböző funkcióit és az abban elért eredményeket. A tanulmány a szimuláció kiértékelését követően vizsgálja a valós folyamat jelenlegi állapotát, illetve teljes eszközhatékonyságát, majd a levont következtetések alapján előremutat a gyártósor fejlesztésére vonatkozóan, valamint bemutatja a kutatás továbbhaladásának lehetőségeit.

Kulcsszavak: *virtuális gyártás, ipar 4.0, Tecnomatix Plant Simulation, digitális iker, szimuláció.*

1. Bevezetés

Manapság a világ minden részén gyártnak termékeket. Az iparban kétféle gyártípust különböztethetünk meg digitalizációs felkészültségük alapján. A ma már újonnan épülő vállalatok teljesen digitális alapokról indulnak. Megtervezésük

folyamán nagy hangsúlyt fektetnek az innovatív szemléletek beágyazására, illetve a gyártási stratégiák gondos kialakítására. Ezzel szemben a másik csoportot az évtizedek óta változatlan elveken működő gyárak képezik, amelyek elavult gyártósorai már kevésbé alakíthatóak. Ezen cégek fej-

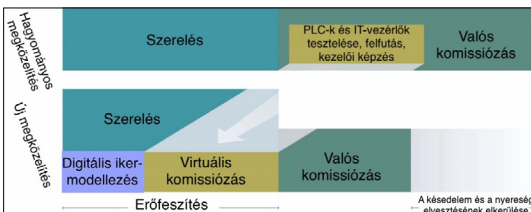
lődésében nagy akadályt jelent, hogy termelési rendszereik nehezen összeegyeztethetőek a jelenkori technológiákkal. Azonban a cél mindkét esetben azonos, azaz a minél több, jó minőségű fogyasztási cikk előállítására minél rövidebb időn belül.

Kutatómunkánk irányvonala egy ilyen régi típusú, illetve az ipar 4.0 adta lehetőségeket csak részben hasznosító gyár termelésének támogatása a virtuális gyártás eszközeinek alkalmazásával. Célunk az üzem egy kiválasztott gyártósorának korszerűsítése egy szimulációs programban felépített digitális ikertestvér segítségével, melynek köszönhetően a cég fejlődésében előrelépés érhető el.

2. Virtuális kommissiózás

2.1. A fogalom jelentése

A virtuális kommissiózás az a folyamat, melynek során a gyártást virtuális környezetben szimulálják egy számítógépes program felhasználásával a valóságos rendszer telepítése előtt (1. ábra). Egy gyártóegység kiépítéskor az üzembe helyezéssel ki a legidőigényesebb részfolyamatot, és a rendszer hibáinak mintegy 70%-a ekkor derül ki, melyek korrigálása számos munkaóra mellett hatalmas költségeket emészt fel. Így a virtuális kommissiózás alkalmazásának legfőbb funkciója a tervezési és összeszerelési hibák korai észlelése és a megvalósítás előtti módosítása. [1]



1. ábra. Gyártás virtuális kommissiózással és anélkül [1]

2.2. Jelentősége napjainkban

Az ipar 4.0 és a korszerű számítástechnika a virtuális gyártás kialakulását eredményezték. Ennek alap gondolata, hogy a piaci igényekre gyors és hatékony válasz adható, ha a termékek előállítását szimulációs modellekkel virtuális környezetbe integrálják. A szimulációk használata támogatja a termelési folyamatok fejlesztését, valamint elősegíti a cégek versenyképességének fokozását. Egyre inkább céliránnyá vált a gyártási technológiák javítása és a termelékenység növelése, melyek megvalósítására a virtuális gyártás tökéletes megoldást jelenthet.

3. Virtuális gyártás

3.1. Előnye

A virtuális gyártás technológiája az iparban egyre jelentősebb szerepet tölt be, számos előnnyel rendelkezik. Digitális iker felépítésén keresztül alkalmas új termelési rendszerek tervezésére vagy a már meglévők fejlesztésére. A szimuláció alapján megtörténik a gyártás előzetes elemzése anélkül, hogy a valós folyamatokba beavatkoznának. A tesztelés során elsősorban az egyes gyártóegységek tökéletes működését, a termékek legyárthatóságát ellenőrzik, majd a gyártási folyamat működőképességét, hatékonyságát értékelik. A hibák időben történő észlelése leredukálja a gyártás beindításáig szükséges időt, és a későbbiekben kevesebb termelési leállás tapasztalható, valamint a modellalkotásnak köszönhetően a rendszer utólagos áttervezései elkerülhetőek. Bár a megfelelő szoftver megvásárlása jelentős ráfordítással jár, azonban a hibakeresés és az átdolgozás költségei csökkennek, így a beruházás az évek múltán megtérül. Egy esetleges átalakítás során a digitális ikerről gyűjtött nagyszámú adat lehetővé teszi a legcélravezetőbb döntéshozatalt. [2]

3.2. Az ipar 4.0 témakörében végzett kutatások ismertetése

Az ipar 4.0 adta lehetőségekkel kapcsolatban egyre több tanulmány születik, kedvező lehetőségeket rejt a témában elmélyedni vágyó kutatók számára.

A negyedik ipari forradalom tervezési alapelvei William de Paula Ferreira et al. publikációjában kerülnek ismertetésre. [3] Simon János tanulmánya szerint a VR-technológia a humán erőforrás oktatásában lehetővé teszi az ipari dolgozók digitális gyárban történő képzését. [4] Raimund Wegener et al. a szimuláció eszköztét fonalak és gyaluszállak gyártásának virtualizációjához használják fel. [5] Eric VanDerHorn et al. a digitális iker fogalmára egy általánosított meghatározást alkotott meg. [6]

Kuldeep Kumar Verma és Vivek Babele publikációja előnyben részesíti a szimulációk használatát, és feltárja a Tecnomatix Plant Simulation programban rejlő különféle lehetőségeket. [7] Karolina Bendowska és Przemysław Zawadzki a Tecnomatix Plant Simulation alkalmazásával egy automatizált összeszerelő sor lehető legpontosabb szimulációs modelljét készítették el kutatásukban. [8]

A fenti tanulmányok ösztönzően hatottak projektünkre, számos taglalt elmélet hasznunkra vált, amelyeket igyekeztünk beépíteni munkánkba.

3.3. Alkalmazása az autóiparban

A virtuális gyártás egyik legnagyobb felhasználója az autóipar. A BMW Group legújabb eredménye, hogy felépítettek egy olyan virtuális gyárat, melynek a valóságos kiépítése a világon egyedülálló módon csak a modellezést követően történik meg. Az NVIDIA Omniverse rendszerében létrehozott pontos, magas színvonalú előkészítés lehetővé teszi a NEUE KLASSE modellek virtuális járműgyártását a tényleges sorozatgyártás beindítása előtt.

4. Tecnomatix Plant Simulation

Kutatásunk során létrehoztunk egy valóságos gyártóegység virtuális másolatát a Tecnomatix Plant Simulation használatával. A program egy diszkrét, eseményvezérelt folyamatszimulációs eszköz, melyben a gyártási és logisztikai folyamatok digitális ikertestvére gyorsan felépíthető és vizsgálható (2. ábra). Leggyakoribb felhasználási területe az áramlási folyamatok szimulációja. A program kínálja kitűnő lehetőségek segítségével a valós termelési folyamatok felgyorsíthatóak, a termékfejlesztés hatékonyabbá tehető.

5. A cég valós termelési folyamata

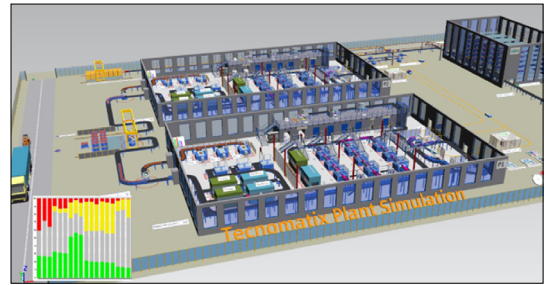
A kutatási projektet támogató cég egy piacvezető szerepet betöltő multinacionális vállalat, amely folyékony tisztítószer gyártásával és csomagolásával foglalkozik. Több helyszíni bejárás alkalmával lehetőségünk volt mélyreható elemzést készíteni az üzem egy adott terméket előállító gyártósoráról. A kiválasztott tisztítószer gyártásának azon részfolyamatát vizsgáltuk, melyben az üres műanyag flakonok elindulnak egy futószalagon, majd különböző állomásokon keresztül eljutnak a piacképes állapotig, és megkezdődik a termékek dobozolása (3. ábra).

A termelési rendszerben bár folyamatos gyártás zajlik, azonban a gyártósor életkorából, illetve a gyártóegységek működési pontatlanságaiból adódóan vannak leállások. Ezek kiküszöbölésére jelenthet egy lehetséges megoldási módot a virtuális gyártás.

6. A felépített digitális iker

A virtuális gyártás megvalósításához a valóságos gyártás folyamatait virtuális környezetbe ültettük át. A Tecnomatix Plant Simulation program alkalmazásával létrehoztunk egy folyamatszintű digitális ikertestvért, amely a valós gyártórendszert pontosan reprezentálja (4. és 5. ábra). A modellezés során a cég által összegyűjtött 2022. évi

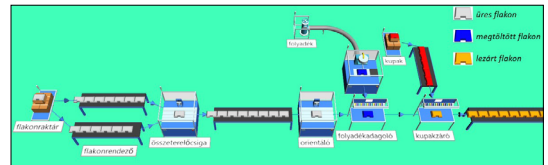
gyártósori adatok alapján dolgoztunk. A felépített digitális modell elemeihez emellett számos további adat került hozzárendelésre, mint például a futószalagok hossza és sebessége, valamint az egyes állomásokon percenként legyártott termékek száma. Ezen paramétereket a valóságban precízen megfigyeltük és megmértük, majd a szimulációs szoftverbe beilleszthetővé alakítottuk át. A következőkben ismertetjük a modell egyes részeit, amelyeken a bemutatás során láthatóvá válik, hogyan feleltethetőek meg a valóságnak.



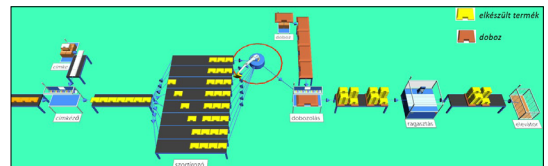
2. ábra. Plant Simulation modell a gyakorlatban [9]



3. ábra. A termelési folyamat gyártórendszere



4. ábra. A felépített virtuális modell I.



5. ábra. A felépített virtuális modell II.

6.1. A valós gyártósor a Tecnomatix Plant Simulation programban

A szimuláció első lépéseként a flakonraktárból az üres palackok egy gravitációs elven működő adagolón keresztül ömlesztve érkeznek az első állomásra. Ezt követően a flakonok talpukra állítva, sorokba rendeződve indulnak tovább két futószalagon, melyeket végül egy összetereelő csiga egyetlen sorra egyesít.

A modellben szereplő futószalagok hosszanti méretei centiméter-pontossággal megfelelnek a valóságnak. Ezenfelül a sebességüket határoztuk meg, melyet a valós egységeknél feltüntetett BPM mértékegységről a modellben beállítható m/s értéké számoltunk át.

Az összetereelő csigát követő futószalag az orientáló állomásra irányítja a flakonokat. Az orientáló olyan egység, amely az üres flakonokat 30°-os döntés mellett megfelelő irányba fordítja, miközben töltőfej nagyságú hézagot állít be közöttük. Ezen műveletekkel előkészíti a folyadéktöltést. A töltőberendezés $\pm 1\%$ -os tűréssel minden egyes flakonba 0,75 liter vegyi anyagot juttat. Ennek menetét a modellben összeszerelésként értelmeztük.

Mind az állomásokhoz, mind az összeszerelésekhez feldolgozási időt adtunk meg, amely azt jelenti, hogy az adott részegység mennyi ideig foglalkozik a meghatározástól függően egy vagy akár több termékkel.

Ezt követően a megtöltött flakonok biztonságos lezárása következik. A kupakzáró állomás a gravitációs elven érkező kupakokat 40 N nagyságú meghúzási erő kifejtésével tekeri rá a flakonokra. A következő futószalag a kupakzáró és címkéző összeszerelések közötti anyagáramlást biztosítja. A címkéző állomáson a lezárt flakonok maguk köré csavarják a címkéjüket, melyek megfelelő rögzítése ragasztott kötással történik. A már megtöltött és külső borítással ellátott késztermékek egy futószalagon keresztül a szortírozó egységbe jutnak, ahol egy pneumatikus útterelő $2 \times 4 = 8$ utas pályára rendezi azokat, majd megkezdődik a palettázásuk.

A dobozba helyezés műveletét egy pneumatikus megfogással rendelkező TT manipulátor 8,3 s alatt viszi véghez. Egyszerre 40 db termék megemelésére képes, melyeket 4×5 -ös elrendezésben (4 oszlop, 5 sor) helyez el, egyidejűleg 2 doboz feltöltését elvégezve.

A dobozolás befejeztével egy futószalag vezet a dobozok leragasztását végző állomáshoz. Utolsó lépésként megvalósul a 20 db flakon befogadására alkalmas kartondobozok ragasztószalag hasz-

nálatával történő biztonságos lezárása, melyeket egy futószalag, majd az elevátor szállít tovább a csomagolóüzembe.

A digitális iker felépítésének szempontjából az elemek 3D-s alakja helyett a funkcióik kerültek előtérbe, ezen túlmenően a Plant Simulation sem kezeli tökéletesen a 3D-s objektumok megjelenítését, ezért a szimuláció külsőre csak szemléltető, azonban a valósággal megegyező feladatokat ellátó munkaállomásokkal dolgozik.

6.2. A szimulációs modell pontosítása

Annak érdekében, hogy a digitális iker még jobban tükrözze a valóságot, a cég gyártósori adatai alapján összegeztük a részegységeken előforduló működési hibákat. Az **1. táblázat** alapján látható, hogy az egyes állomások működési pontatlanságaiból adódó hibák a 2022. évben jelentős állásidőket okoztak a cégnek. Azért, hogy ezek a veszteségek a szimuláció eredményeiben is megjelenjenek, az egységekhez hozzárendeltük ezen üzemelési hibákat. A modell minden egyes eleméhez beállítható, hogy a szimulációs időhöz viszonyítva milyen rendelkezésre állás mellett képes dolgozni. Az egyes állomások évre tett működési hibája a szimulációban rendelkezésre állásként mutatkozik meg.

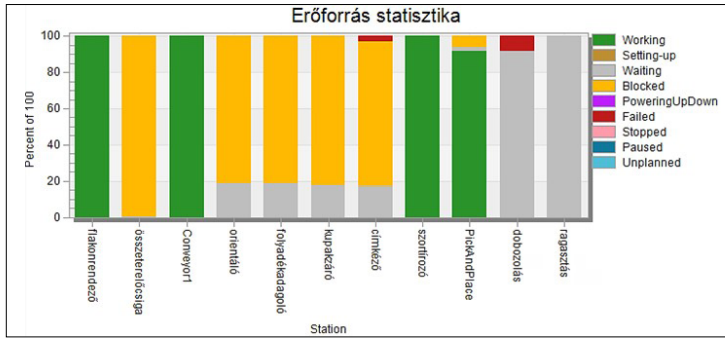
1. táblázat. A gyártósor 2022. évi működési hibája

Gyártósori elem	Okozott hiba (perc)	Rendelkezésre állás (%)
Flakonrendező	3838	98,97
Összetereelő csiga	1326	99,65
Conveyor	676	99,94
Orientáló	1694	99,56
Folyadékadagoló	7830	97,95
Kupakzáró	2766	99,28
Címkéző	3048	99,20
Szortírozó	1309	99,56
Robotkar	1519	99,60
Dobozolás	13904	96,36
Ragasztás	970	99,75

6.3. A szimulációs modell kiértékelése

A modellen elvégzett elemzések kapott eredményei a valóságnak megfelelő szimulációt tükröznek (**6. ábra**).

Ezekből megállapítható, hogy az egyes részfolyamatok nincsenek megfelelően összehangolva, a rendszer korszerűsítésre szorul. Míg az összetereelő csiga már a gyártósor elején szinte teljesen blokkolja a termelési folyamatot, addig a dobozolás



6. ábra. A jelenlegi gyártósor erőforrás-statisztikája

és a ragasztás állomásai az üzemelési idejük több mint 90%-ában termékekre várnak. A gyártórendszer 2022. évi adatai alapján a termelési folyamat jelenlegi hatékonysága (OEE) megközelítőleg eléri a 72%-ot, mely értékhez a következő módon jutottunk:

tervezett gyártási idő: 382 022 perc
 tényleges gyártási idő: 274 785 perc
 leállások összesített ideje: 62 987 perc
 tervezett ütemidő: 0,0038 perc/db
 legyártott termékmennyiség: 60 448 969 db

Selejttel nem számol a cég, mivel minden alapanyag újrahasznosítható.

$$A = \frac{274\,785}{382\,022 - 62\,987} \cdot 100 = 86,13\% \quad (1)$$

$$P = \frac{60\,448\,969 \cdot 0,0038}{274\,785} \cdot 100 = 83,59\% \quad (2)$$

$$Q = \frac{60\,448\,969}{60\,448\,969} \cdot 100 = 100\% \quad (3)$$

$$OEE = (0,8613 \cdot 0,8359 \cdot 1) \cdot 100 = 71,99\% \quad (4)$$

Mindezek alapján megállapítható, hogy a gyártórendszer fejlesztésre szorul. A cég fejlődésének érdekében szükséges a teljes eszközhatékonyság nagymértékű növelése.

7. A kutatás fejlesztési lehetőségei

A kutatás során sikerült egy ipari gyártósor digitális ikertestvérét létrehozni, melyet a vállalat 2022. évi adatai alapján elemeztünk. A projekt további fejlesztési tervei között szerepel a kapott eredményeknek megfelelően módosítási javaslatok megfogalmazása, melyekkel a folyamat hatékonyságában jelentős növekedés és az egyes elemek működésében maximális kihasználtság érhető el.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Xcelgo by Schneider Electric, What Is Virtual Commissioning?. (letöltve: 2024. február 22.) <https://xcelgo.com/virtual-commissioning>
- [2] Morshedzadeh I., Amos H. C. Ng, Jeusfeld M., Oscarsson J.: *Managing Virtual Factory Artefacts in the Extended PLM Context*. Journal of Industrial Information Integration, 28. (2022) 100369. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100369>
- [3] Ferreira W. P., Armellini F., Santa-Eulalia L. A.: *Simulation in Industry 4.0: A State-of-the-Art Review*. Computers & Industrial Engineering, 149. (2020) 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- [4] Simon J.: *Ipari digitalizáció – Ipar 4.0 és virtuális valóság (VR) a gyártásban*. Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok, 2023, 431–443. <https://doi.org/10.14232/jtfg.2023.kulonszam.431-443>
- [5] Wegener R., Marheineke N., Hietel D.: *Virtual Production of Filaments and Fleeces*. Currents in Industrial Mathematics, 2015, 103–162. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48258-2_6
- [6] VanDerHorn E., Mahadevan S.: *Digital Twin: Generalization, Characterization and Implementation*. Decision Support Systems, 145. (2021) 113524. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113524>
- [7] Verma K. K., Babel V.: *Evaluation and Enhancement of Transfer Line in Production Process by Simulation*. Research Journal of Science and Technology, 12. (2020) 110–122. <https://doi.org/10.5958/2349-2988.2020.00014.5>
- [8] Bendowska K., Zawadzki P.: *Development and Verification of a Simulation Model of an Automated Assembly Line*. Applied Sciences, 13. (2023) 10142. <https://doi.org/10.3390/app131810142>
- [9] Siemens Digital Industries Software, Discrete Event Simulation with Tecnomatix Plant Simulation Tutorials. (letöltve: 2024. február 28.) <https://resources.sw.siemens.com/en-US/download-discrete-event-simulation-with-tecnomatix-plant-simulation-tutorials#disw-fulfillment-form>