

Modell gyártósor fejlesztése folyamatszimulációval

Development of a production line using process simulation

RUZICKA Gábor¹, DR. CZÉGÉ Levente², DR. MANKOVITS Tamás³

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u.2-4., 0652 415 155,
<https://eng.unideb.hu/>

Abstract

Virtual production line simulation plays an indispensable role in the planning and development of manufacturing processes. It enables the evaluation and fine-tuning of production workflows prior to physical implementation. The aim of this study is to design, simulate, and further develop an automated production line model suitable for serial manufacturing using the Siemens Tecnomatix Plant Simulation environment, combined with the construction and programming of a DOBOT Magician robot-based production system. The research focuses on creating a manufacturing model capable of representing real industrial production processes and analyzing their operational behavior. The integrated application of the two systems allows examination of the overall system performance, development and optimization of robotic processes prior to real-world deployment, and implementation of a digital twin connection. Furthermore, the developed model is applicable in both industrial and educational environments. The simulation model provides a detailed representation of material flow, capacity relationships, and bottlenecks within the production line. The study also investigates the integration possibilities between Plant Simulation and robotic systems, highlighting the significance of OPC UA-based industrial communication.

Keywords: process simulation, modeling, manufacturing system

Kivonat

A virtuális gyártósor-szimuláció nélkülözhetetlen szerepet játszik a termelési folyamatok tervezésében és fejlesztésében. A gyártási folyamatok értékelését és finomhangolását teszi lehetővé. A tanulmány célja egy automatizált, sorozatgyártásra alkalmas gyártósor modell megtervezése, szimulációja és fejlesztése a Siemens Tecnomatix Plant Simulation környezetben, a DOBOT Magician robot-és termelési rendszer megépítésével és programozásával. A kutatás célja egy olyan gyártási modell kialakítása, mely alkalmas valós termelési, ipari folyamatok modellezésére és viselkedésük elemzésére. A két rendszer együttes alkalmazása lehetővé teszi a teljes rendszerműveletek hatásának vizsgálatát, a robotizált folyamatok fejlesztését még a valós bevezetés előtt, digitális iker kapcsolat megvalósítását, továbbá ipari és oktatási környezetben egyaránt jól alkalmazható modellek létrehozására. A szimulációs modell részletesen bemutatja a gyártósor anyagáramlását, kapacitásviszonyait és szűk keresztmetszeteit. A tanulmány továbbá vizsgálja a Plant Simulation és a robotrendszerek összekapcsolásának lehetőségeit, kiemelve az OPC UA alapú ipari kommunikáció jelentőségét.

Kulcsszavak: folyamatszimuláció, modellezés, gyártórendszer

1. BEVEZETÉS

Az Ipar 4.0 gyors alkalmazásával a termelési rendszerek tervezése és fejlesztése egyre inkább digitális környezetben történik. A virtuális gyártórendszer-szimuláció a termelésstervezés egyik alapvető eszközévé vált, mivel lehetővé teszi a folyamatok előzetes vizsgálatát, optimalizálását és validálását még a fizikai rendszer megvalósítása előtt, csökkentve a bevezetési kockázatokat, mérsékelve a költségeket, valamint támogatva a döntéshozatali folyamatokat a kapacitásstervezés, az anyagáramlás-szervezés és a szűk keresztmetszetek azonosításában. A robotizált gyártórendszerek implementációja tovább emeli a modellezési feladat bonyolultságát, ugyanakkor lehetőséget biztosít az egész rendszer működésének részletes elemzésére. A digitális iker koncepció megvalósítása, amely a fizikai és a virtuális rendszer szoros összekapcsolását jelenti,

új dimenziót nyit a gyártási folyamatok előzetes fejlesztésében. A valós idejű adatkapcsolat és az ipari kommunikációs szabványok, különösen az OPC UA alapú megoldások alkalmazása biztosítja a rendszerek közötti megbízható és skálázható adatszinkronizálást. A tanulmány célja egy automatizált, sorozatgyártásra alkalmas gyártósor modell megtervezése és fejlesztése a DOBOT Magician alapú robotizált termelési rendszerrel, a rendszer modellezése a Siemens Tecnomatix Plant Simulation környezetben, illetve az adott rendszerek összekapcsolásának megkísérlése. A kutatás olyan integrált modell kialakítására törekszik, amely képes valós ipari folyamatok modellezésére, viselkedésük vizsgálatára és a rendszerparaméterek hatásának elemzésére. A bemutatott megközelítés szintén alkalmazható ipari, kutatási és oktatási környezetben, elősegítve a robotika, a szimuláció és az ipari digitalizáció gyakorlati összevonását.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az elmúlt időszakban a virtuális gyártórendszerek modellezése és a robotizált folyamatok szimulációja az Ipar 4.0 meghatározó központi kutatási területévé vált. A termelés-szimuláció célja nem csak az anyagáramlás modellezése, hanem a ciklusidők, a kapacitáskihasználtság, az erőforrás-elosztás és szűk keresztmetszetek elemzése is. A szakirodalomban egyre nagyobb hangsúlyt kap a digitális iker, amely a fizikai és virtuális rendszerek párhuzamos működését és adatkapcsolaton alapuló integrációját teszi lehetővé.

Oktatási célú robotrendszerek, mint a DOBOT Magician, egyre nagyobb jelentőséget kaptak kutatási és fejlesztési területeken. A következő tanulmányban [1] képfeldolgozáson alapuló rajzolórendszert hoztak létre a robotkar alkalmazásával, bemutatva a manipulátor és a vision rendszer összevonási lehetőségeit. A kutatás igazolta, hogy a robot alkalmas koordinátatranszformáción alapuló precíz mozgásvezérlésre. A tanulmány szerzői [2] kutatásukban a DOBOT Magician pontosságát és reprodukálhatóságát vizsgálták, és megállapították, hogy megfelelő kalibráció mellett a rendszer megfelelő teljesítményt nyújt oktatási és laboratóriumi automatizálási környezetben. A robot alkalmazhatóságát egészségügyi laboratóriumi folyamatokban a kutatás [3] szerzői is vizsgálták, ahol a fizikai és szimulált modell összehasonlításával mutatták be a digitális iker jellegű megközelítés előnyeit. A következő cikkben [4] az összeszerelő rendszerek prototípus-fejlesztését mutatták be, ahol a DOBOT robotot szenzorokkal és vezérlőrendszerrel integrálva automatizált szerelési folyamatokban alkalmazták. Eredményeik alapján kimutatták, hogy a rendszer alkalmas bemutató jellegű, kis volumenű rendszerek modellezésére. Az feldolgozott irodalmak alapján kijelenthető, hogy a DOBOT Magician alkalmazását legfőképpen laborautomatizálási, oktatási és vision-alapú feladatok elvégzésére tanulmányozták [1]–[4]. Azonban mérsékelt számban fellelhetőek olyan kutatások, amelyek a robotot komplex, sorozatgyártásra tervezett gyártósor-szimulációval alkalmazzák, különös tekintettel a digitális iker létrehozására, illetve OPC UA alapú adatcserére [5], [6]. A digitális iker feltevés új szemléletet fejez ki az intelligens gyártásban. A következő cikk [5] szerzői értelmezése alapján a digitális iker a fizikai és virtuális rendszer dinamikus, adatvezérelt összekapcsolása, amely lehetőséget biztosít a valós idejű monitorozásra és prediktív elemzésre. A rendszerek közötti adatcsere egyik kulcstechnológiája az OPC UA alapú ipari kommunikáció, amely platformfüggetlen adatszinkronizálást biztosít [6]. A laborautomatizálási alkalmazások területén Ciulu, Stoicu-Tivadar és Benis [7] a DOBOT Magician robot alkalmazását kutatták orvosi és laboratóriumi folyamatokba. Kutatásukban viselkedés-összehasonlítást végeztek a fizikai és annak virtuális modellje között, amely a digitális iker megközelítés alapelveire épült. Eredményeik alapján a megfelelően paraméterezett szimulációs modell alkalmas a valós működés előrejelzésére, valamint a folyamatoptimalizálás támogatására. Fontos szerepet kap a digitális iker a valós idejű adatokkal történő szinkronizáció és a költséghatékony tesztelési környezet kialakításában [8]. Kampa munkája például egy olyan gyártási rendszer digitális iker modelljét mutatja be, ahol a szimuláció WIP (work-in-process) adatokkal történő kezdeti feltöltése lehetővé teszi a valós termelési viselkedés precízebb leképezését [9].

3. ALKALMAZOTT ESZKÖZRENDSZER

3.1. Dobot Magician V2 robotkarok és szállítószalagok

A vizsgálat elvégzéséhez használt DOBOT Magician V2 egy négy szabadságfokú, oktatási és kutatási célra tervezett robotkar. A rendszer lézerral, színérzékelővel és vákuumos megfogóval is felszerelhető, ezáltal alkalmas anyagmozgatási, minőségellenőrzési és egyszerű szerelési feladatok ellátására. A robot-és szállítószalag elemek programozása DobotStudio környezetben valósult meg, lehetővé téve tanító (Teaching & Playback), blokk-alapú (Blocky), valamint script-alapú vezérlést. A mérések stopperórás módszerrel voltak meghatározva, többszöri ismétlést alkalmazva, majd az átlagértékek implementálására került sor a szimulációs modellbe. Az 1. ábra a DOBOT Magician robotrendszer elemeit szemlélteti.



1. ábra. DOBOT Magician robotrendszer elemei

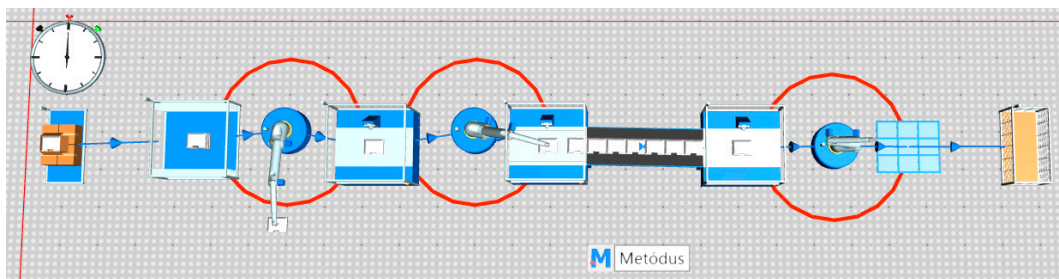
3.2. Siemens Tecnomatix Plant Simulation

A digitális modell a Siemens Plant Simulation szoftverben lett létrehozva, mely diszkrét esemény alapú modellezést valósít meg. A szimulációs modellterben létrehozásra kerültek a gyártási folyamat elemei (Bemenet, Állomások, Szállítószalag, Robotkarok, Kimenet), valamint definiálásra kerültek a műveleti idők, erőforrások és peremfeltételek.

A szimulációs modellezés lehetővé tette az alábbi mutatók vizsgálatát:

- ciklusidő,
- átfutási idő,
- gépkiszhasználtság,
- várakozási idők,
- selejtarány.

Az 2. ábra a virtuális szimulációs modellt ábrázolja.



2. ábra. Tecnomatix Plant Simulation modell

4. A GYÁRTÁSI FOLYAMAT BEMUTATÁSA

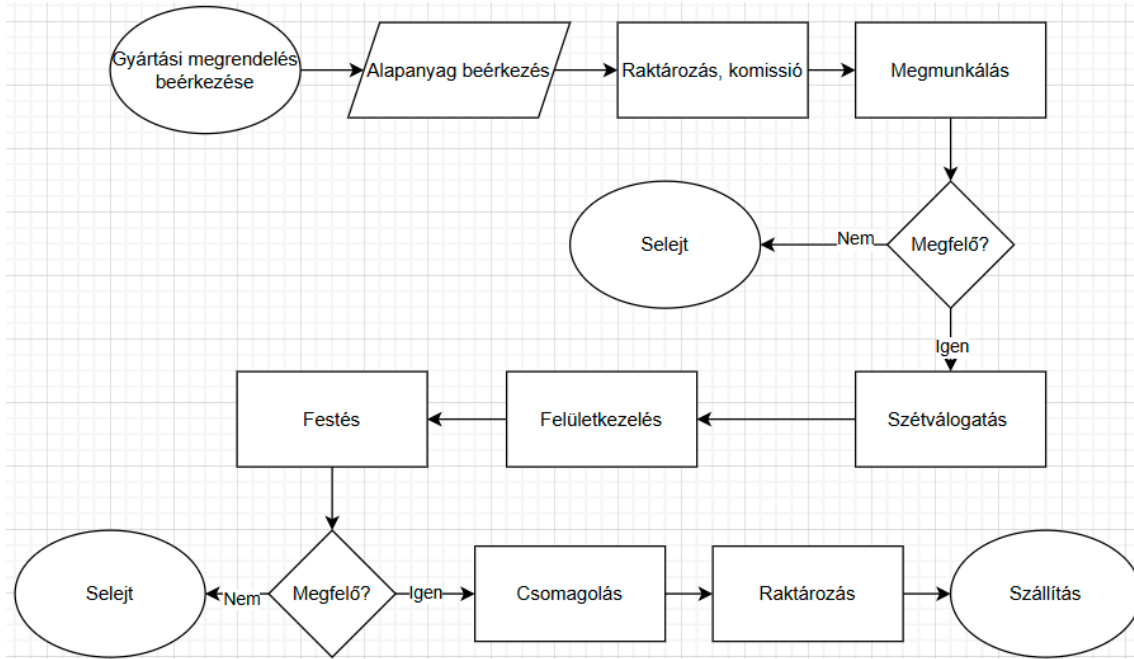
A modell megépítése során egy fiktív gyártási folyamatot vettünk alapul, mely az alábbiak szerint tengelyek gyártását tárgyalja: A folyamat acélrudak, illetve kovácsolt előgyártmányok beszállításával kezdődik. Az alapanyagok konténerekben, illetve raklapokon érkeznek, majd innen automata anyagmozgató rendszerek juttatják el a megmunkáló állomásokhoz. A tengelyek gyártása CNC eszterga- és marógépeken történik, az alábbi két fő szakaszban:

- durvamegmunkálás,
- finommegmunkálás.

A kezdeti állapotban a robot által végzett anyagmozgatás ciklus ideje 17,22 s volt. A fejlesztést követően, a gépbeállítások változtatásával, ez az érték 9,08 s-ra csökkent. A megmunkált alkatrészek minőségellenőrző állomásra kerülnek, ahol geometriai és felületi paraméterek ellenőrző vizsgálata történik. A rendszer három kimenetet határoz meg:

- megfelelő darab,
- selejt,
- újramegmunkálendő darab.

A kiindulási ciklusidő 26,38 s volt. Az állomások integrálásával és a robot által végzett automatikus szétválogatással az átfutási idő 13,19 s-ra csökkent. A megfelelő darabok felületkezelés folyamatára kerülnek tovább. Ebben a szakaszban fejlesztés nem történt, a ciklusidő 3,69 s maradt. A tengelyek védőbevonatot kapnak, amely javítja a korrózióállóságot és az esztétikai megjelenést. A robot által támogatott anyagmozgatás ciklus ideje 6,12 s volt. A végellenőrzési és csomagolási műveletek csoportosításra kerültek, amely jelentős időmegtakarítást eredményezett. A ciklusidő 12,83 s-ról 6,42 s-ra csökkent. A késztermékek a készáru raktárba kerülnek, majd kiszállításra kerülnek. A folyamat ciklus ideje 5,25 s.



3. ábra. Gyártási folyamatára

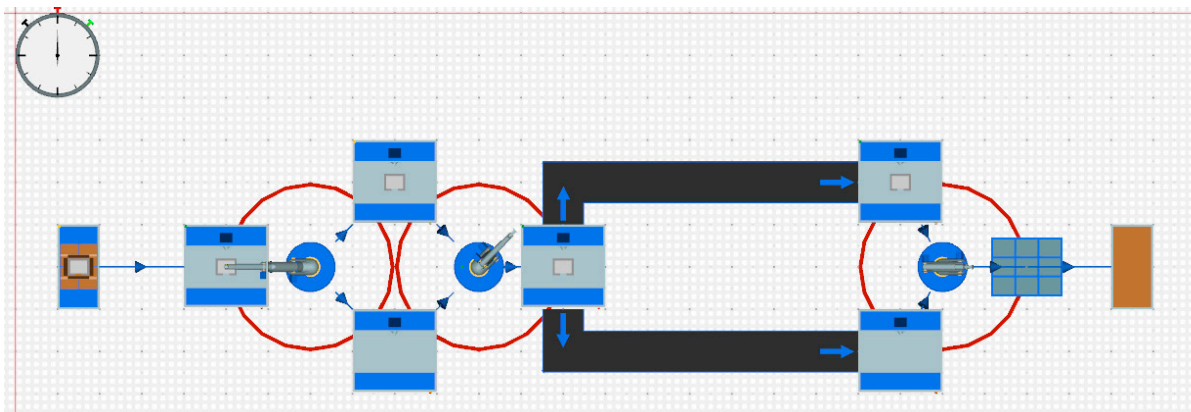
5. FEJLESZTÉSI EREDMÉNYEK

A fejlesztési folyamat három kulcsterületre fókuszált:

- megmunkálás,
- szétválogatás és minőségellenőrzés,
- végellenőrzés és csomagolás.

A rendszer teljes átfutási ideje a kiinduló állapotban 74,78 s volt, míg a bevezetett fejlesztéseknek köszönhetően 47,04 s-ra csökkent. Ez 27,74 s csökkenést, azaz 37,1%-os javulást jelent. Az elméleti kapacitás számítása alapján a kezdeti állapot $3600 / 74,78 \approx 48$ db/óra, míg a fejlesztett folyamat $3600 / 47,04 \approx 76$ db/óra. Ez közel 58%-os kapacitásnövekedést jelent. Az eredmények igazolják, hogy a műveletek csoportosítása, párhuzamosítása és a robotciklusok fejlesztése jelentős hatással van a teljes rendszer teljesítményére.

A 4. ábra a fejlesztett folyamatot ábrázolja.



4. ábra. Tecnomatix Plant Simulation fejlesztett modell

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja egy automatizált gyártósor szimulációs modelljének létrehozása és fejlesztése volt, amely a digitális iker szemléletet követi a fizikai robotrendszerrel integrált megközelítéssel. A Siemens Tecnomatix Plant Simulation környezetben léterhozott diszkrét eseményvezérelt modell hozzájárult a termelési folyamat alapos vizsgálatához, kiváltképpen a ciklusidőkre, az átfutási időre, a kapacitáskihasználtságra és a szűk keresztmetszetek azonosítására.

A fejlesztések elsősorban a megmunkálási műveletek fejlesztésére, az automatikus szétválogatás implementálására, valamint a végellenőrzési és csomagolási folyamatok racionalizálására irányultak. Az eredmények egyértelműen igazolták a szimulációs környezet alkalmazhatóságát a döntéstámogatásban: a rendszer teljes átfutási ideje 74,78 s-ról 47,04 s-ra csökkent, amely 37,1%-os javulást jelent. A kapacitás 48 db/óráról 76 db/óra-ra növekedett, ami közel 58%-os teljesítménynövekedést jelent. A robotciklusok fejlesztése és a műveletek csoportosítása jelentős mértékben hozzájárult a rendszer hatékonyságának növeléséhez.

A kutatás rávilágított arra, hogy a digitális modell nem csupán elemzési eszköz, hanem a fejlesztési lehetőségek előzetes validálásának eredményes platformja is.

Mindent összevetve kijelenthető, hogy a diszkrét eseményvezérelt szimuláció és a robotizált gyártórendszer összekapcsolása lényeges potenciált hordoz mind ipari, mind oktatási és kutatási környezetben. A módszertan alkalmazása mérsékli a bevezetési veszélyeket, elősegíti a rendszertervezést, valamint lehetőséget teremt a termelési folyamatok hatékonyságának mennyiségi minősítésére.

A jövőbeni kutatások irányát jelöli a valós idejű adatkapcsolat implementálása OPC UA alapokon, a rendszer viselkedésének előrejelzése, valamint gépi tanuló algoritmusok bevezetése a digitális iker modellbe.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Tsai, P.-S.; Wu, T.-F.; Chen, J.-Y.; Lee, F.-H. *Drawing system with Dobot Magician manipulator based on image processing*. Machines. MDPI, 2021, 9(12), 302.
- [2] B. Hagen, L. Ricke. *Effectiveness and usability of the Dobot Magician robotic arm*. Scholars Academic Journal, <https://scholars.fhsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1286&context=sacad> (Utolsó letöltés: 2026. 02.26.)
- [3] M. D. Ciulu, L. Stoicu-Tivadar, A. Benis. *Automating processes in laboratories with the support of Dobot Magician*. Applied Medical Informatics, 2021, 43.
- [4] Tugino, M. H. A. Hamman, M. Arsyad, Subardi. *Design and build a prototype assembly system based on Dobot Magician robot*. ReTII – Jurnal Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, 2022, 167-173.
- [5] Tao, F., Zhang, M. *Digital twin shop-floor: A new shop-floor paradigm towards smart manufacturing*. IEEE Access. IEEE, 2017, 5, 20418–20427.
- [6] OPC Foundation. OPC Unified Architecture Specification. <https://opcfoundation.org> (Utolsó letöltés: 2026. 02.26).
- [7] M. D. Ciulu, L. Stoicu-Tivadar, A. Benis. *Automating Processes in Laboratories with the Support of Dobot Magician*. Applied Medical Informatics, 2021, 43, pp. 22.
- [8] A. Kampa. *Modeling and Simulation of a Digital Twin of a Production System for Industry 4.0 with Work-in-Process Synchronization*. Applied Science, 2023, 13(22), 12261.
- [9] F. Mo, H. U. Rehman, J. C. Chaplin, D. Sanderson, S. Ratchev. *Digital twin-based self-learning decision-making framework for industrial robots in manufacturing*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2025, 139, 221-240.