

Logisztikai folyamatszimuláció és virtuális valóság: Integrációs lehetőségek és alkalmazási irányok

Logistics Process Simulation and Virtual Reality: Integration Opportunities and Application Directions

Prof. Dr. TAMÁS Péter

Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, Tel.: 06 46 565-111/20-26, E-mail: alttpeti@uni-miskolc.hu

Abstract

The simulation analysis of logistics processes is becoming increasingly significant due to the rapidly changing market environment and the growing complexity of processes. Simulation provides an opportunity for the detailed analysis of logistics systems, performance improvement, optimization, and preliminary testing before implementation, thereby reducing risks and the occurrence of unexpected problems. Complementing this, virtual reality (VR) can effectively support planning, decision-making, and training processes, facilitating faster and more efficient decision-making. The primary aim of this publication is to provide a detailed presentation of simulation modeling and virtual reality (VR) technology, as well as to explore the possibilities of integrating and applying these technologies.

Keywords: logistics, simulation, virtual reality, process development

Kivonat

A logisztikai folyamatok szimulációs vizsgálata a gyorsan változó piaci környezet, valamint a folyamatok növekvő komplexitása miatt egyre nagyobb jelentőséggel bír. A szimuláció lehetőséget biztosít a logisztikai rendszerek részletes elemzésére, teljesítményük javítására, optimalizálására, valamint a megvalósítás előtt történő előzetes tesztelésre, így csökkentve a kockázatokat és a váratlan problémák előfordulását. A virtuális valóság (VR) ezt kiegészítve hatékonyan támogatja a tervezési, döntéshozatali és betanítási folyamatokat, elősegítve a gyorsabb és hatékonyabb döntéshozatalt. A publikáció elsődleges célja a szimulációs modellezés és a virtuális valóság (VR) technológiájának részletes bemutatása, valamint ezen technológiák integrációs és alkalmazási lehetőségeinek feltárása.

Kulcsszavak: logisztika, szimuláció, virtuális valóság, folyamat fejlesztés

1. BEVEZETÉS

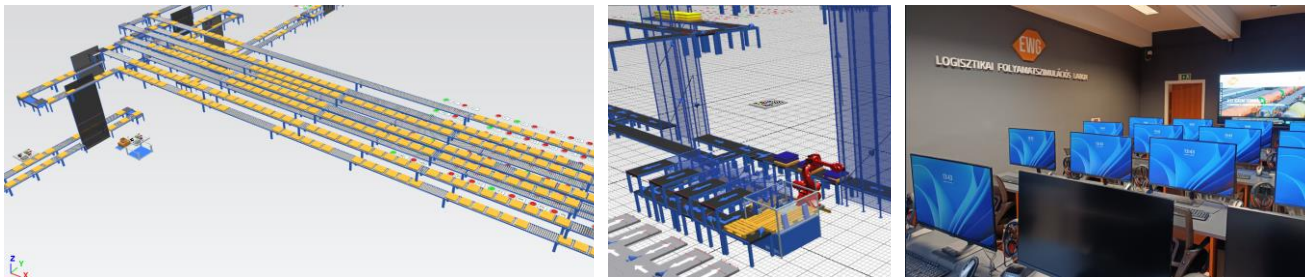
A napjainkban megvalósuló dinamikus technológiai fejlődés új lehetőségeket indukál a logisztikai folyamatfejlesztés területén. Számos ipar 4.0 megoldás logisztikai területen való alkalmazása terjedt el (pl. VR, AR, Digitális iker, stb.), ugyanakkor ezen megoldások integrációs lehetőségeinek feltárása, valamint azok logisztikai területen történő alkalmazása jelentős kihívást tartogat a logisztikával foglalkozó szakemberek számára [1]. Az aktuális és a jövőben megvalósítandó folyamatok magas szintű vizualizációja, interaktív vizsgálata egyre nagyobb szerepet játszik a logisztikai folyamatok fejlesztésében, amely területen a szimulációs modellezés, valamint a VR technológiák alkalmazása kulcskérdés [2-3].

Fontos tisztázni, hogy mit is értünk ezen fogalmak alatt. A logisztikai szimuláció egy olyan módszer, amely alkalmas folyamatok és rendszerek valósághű modellezésére, így értékelhetővé válik azok állapotváltozása [4]. A virtuális valóság (VR) technológia pedig olyan számítógéppel generált interaktív környezet, amely immerszív élményt nyújt a felhasználóknak, lehetővé téve számukra, hogy valósághű szimulált helyzetekben tanuljanak, dolgozzanak vagy szórakozzanak [5]. Ezen technológiák számos módon járulhatnak hozzá egy logisztikai rendszer hatékonyságának növeléséhez [6], így például a dolgozók hatékonyabb betanításával, a jelentkező problémák gyorsabb azonosításával, vizsgált rendszerváltozatok

objektív módon történő értékelési lehetőségének biztosításával. A dolgozatban ismertetésre kerülnek a logisztikai szimuláció és a VR technológiák releváns típusai, valamint a két terület integrációs és alkalmazási lehetőségei egyaránt.

2. SZIMULÁCIÓS MODELLEZÉS ALKALMAZÁSA A LOGISZTIKÁBAN

A szimulációs modellezés logisztika területén történő alkalmazásának lehetőségeit (1. ábra) a digitális iker koncepció egyértelműen leírja, amelynek több fejlettségi szintjét különböztethetjük meg. Beszélhetünk digitális modell, digitális árnyék és digitális iker koncepciókról [7]. A fejlettségi szint attól függ, hogy a fizikai entitás és a digitális modell között a kétirányú kapcsolat milyen módon valósul meg. Kiegészítésként megjegyzendő, hogy a digitális modell esetén a fizikai entitásokon túl vizsgálhatók az azok létrehozására irányuló koncepciók is.



1. ábra. Logisztikai rendszerek szimulációs modellezése [saját szerkesztés]

Digitális iker fejlettségi szintek:

- A digitális modell esetén egy fizikai entitás/kidolgozott jövőbeni koncepció alapján kerül elkészítésre egy szimuláció modell, amelynek vizsgálatát követően tesszük hatékonyabbá a fizikai entitás/kidolgozott jövőbeni koncepció működését.
- A digitális árnyék esetén a szimulációs modell a fizikai objektumból automatikus nyer adatokat, amelyet feldolgozva tesz javaslatot a vizsgált fizikai objektum működésének javítására.
- A digitális iker esetén a fizikai objektum és a szimulációs modell között kétirányú és automatikus a kommunikáció.

A logisztikai szimuláció releváns célkitűzései a következők [4]:

- Tervezési hibák elkerülése: A jövőbeni fejlesztés megvalósítása előtt végzett szimulációs vizsgálat segítségével a tervezési hibák elkerülhetők, vagyis többek között elkerülhetjük a nem megfelelő üzemkialakítást, valamint az anyagmozgató berendezés- és technológiai berendezés megválasztást is.
- Tervezési változatok összehasonlítása: Abban az esetben alkalmazunk szimulációs vizsgálatot, ha egy fejlesztés megvalósítására több alternatívánk (pl. különböző elrendezések, folyamatok, technológia berendezés típusok) áll rendelkezésre, valamint a vállalat szempontrendszerének megfelelő döntés meghozatalához modellezést igénylő KPI mutatók meghatározása szükséges.
- Határteljesítmények és -állapotok meghatározása: A meglévő rendszerek vagy megtervezett beruházások kapacitás igényének, valamint határteljesítményének (pl. műveletközi tárolók, raktárak kapacitásigénye, maximális gyártási kapacitás) meghatározása esetén alkalmazhatjuk a szimulációs modellezés technikáját. Ezen megoldással a fejlesztési fázisok időben és nagy pontossággal definiálhatók.
- Irányítási stratégiaváltozatok összehasonlítása: A logisztikai rendszer ideális működésének elérése érdekében különböző irányítási stratégiaváltozatok (pl. raktári anyagmozgatási stratégiák, gyártósori kiszolgálási stratégiák) definiálhatók, amelyek szimulációs vizsgálatát követő döntési módszer alkalmazásával az ideális alternatíva kiválasztható.
- Működési zavarok és azok elhárításának modellezése: A vizsgált logisztikai rendszerben működési zavarok, leállások, balesetek jelentkezhetnek, amelyek hatékony kezeléséhez szükséges scénáriók kidolgozása jelentős mértékben támogatható a szimulációs modellezés adta lehetőségekkel.
- Logisztikai folyamatok optimalizálása: A vizsgált aktuális vagy a jövőben megvalósítandó rendszer működése szimulációs modellek segítségével optimalizálhatók. Pl. a szimulációs modell által generált szintetikus adatok segítségével optimális termelési tervek, járattervek, elrendezési tervek határozhatók meg.

Összességében elmondható, hogy ezen célok valamennyi logisztikai folyamat esetén a testre szabott digitális modell, -árnyék vagy iker koncepciók alkalmazásával elérhetők. A szimulációs modell megvalósítása történhet saját szoftver fejlesztésével, valamint keretrendszerek alkalmazásával (pl. Plant Simulation, Simul8). Tapasztalat szerint a keretrendszerek alkalmazása prioritást élvez a rövidebb fejlesztési időigény miatt.

3. VIRTUÁLIS VALÓSÁG TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA A LOGISZTIKÁBAN

A virtuális valóságot különböző szempontok alapján csoportosíthatjuk, így például az immerszió, valamint az interaktivitás szintjei alapján is. Az immerszió szintje alapján megkülönböztethetjük a nem immerszív, a félig immerszív, valamint a teljesen immerszív VR típusokat [8]. Az alapvető különbség, hogy a felhasználó mennyire érzi magát fizikailag jelen a virtuális térben.



2. ábra. Virtuális valóság technológiák alkalmazása az oktatásban [9]

Virtuális valóság típusai az immerszió szintje alapján [8]:

- Nem immerszív VR: Abban az esetben, ha egy felhasználó képernyőn keresztül követi és irányítja a virtuális környezetet pl. egy megvalósítandó rugalmas gyártórendszer szimulációs vizsgálati modellje [10].
- Félig immerszív VR: Ebbe a kategóriába sorolhatók azok a rendszerek, amelyek segítségével a felhasználót részlegesen körülöleli a virtuális környezet. Ilyen lehet pl. a „CAVE” rendszerek (Cave Automatic Virtual Environment), ahol falak, a padló és a mennyezet projektorokkal vetített képernyőként működnek, vagy az ívelt képernyők vagy projektorok.
- Immerszív VR: A teljesen immerszív VR-t a fejre szerelhető kijelzők (Head Mounted Display -HMD), például az Oculus Rift vagy a HTC Vive képviselik, amelyek valós idejű mozgáskövetéssel és interaktív lehetőségekkel biztosítanak teljes elmerülést.

Az interaktivitás tekintetében a [11-12] szakirodalmak alapján a következő szinteket különböztethetjük meg:

- Passzív: A felhasználó csupán megfigyelője a történéseknek (pl. VR film, szimuláció nézése).
- Korlátozott: A felhasználó csupán előre meghatározott funkciók kiválasztásával léphet kapcsolatba a környezettel (pl. interaktív bejárás, menüválasztás).
- Aktív: Szabadon mozgathatja a virtuális környezet tárgyait, amelynek hatása van a vizsgálat eredményére (pl. VR tárgymozgatás, interaktív szimuláció).
- Immerszív interaktivitás: Az aktív interakciót kiegészíti a fizikai érzékelés, beleértve a súlyt, textúrát és erő-visszacsatolást, így a felhasználó nemcsak látja és mozgatja a tárgyakat, hanem érzi is őket (pl. haptikus kesztyű, teljes testkövetés).

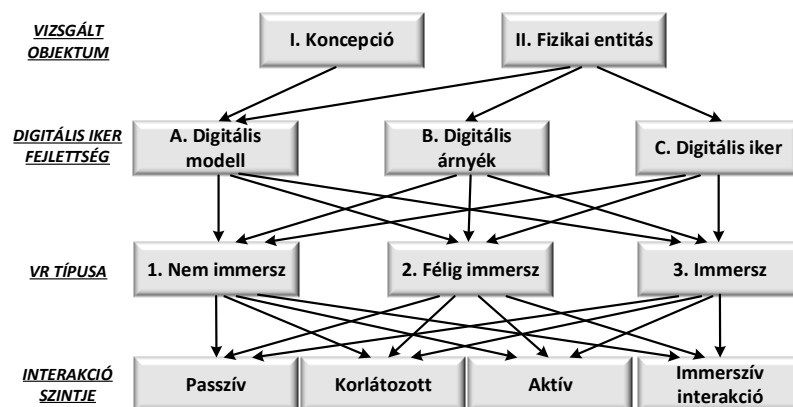
A VR technológia logisztikai területen történő alkalmazásának releváns célkitűzései a következők:

- Oktatás és képzés: A virtuális valóság segítségével bármely logisztikai folyamat oktatása [13], képzése megvalósulhat. Előnye, hogy bizonyos esetekben jelentős mértékben csökkenthető a betanítás költsége és időszükséglete, valamint csökkenthetők a biztonsági kockázatok. Ilyen lehet pl. különböző típusú anyagmozgató gépek kezelésének vagy a komplex logisztikai folyamatok működésének betanítása.
- Tervezési hibák kiküszöbölése: A megtervezett logisztikai rendszerek VR környezetben történő interaktív vizsgálatával a tervezési hibák a megvalósítás előtt feltárhatók, kiküszöbölhetők [14]. Példaként említve egy adott munkakörnyezeti VR technológia segítségével történő ergonómiai vizsgálatát.
- Működési hibák hatékonyabb kezelése: A valós környezet VR technológiával történő vizsgálata lehetővé teszi a működési hibák gyors felismerését, valamint ezáltal a gyorsabb problémamegoldást [15]. Példaként említve, ha a hőmérséklet egy raktárban az adott határértéket meghaladja, akkor ez a VR környezetben jelzésre kerül, így a problémamegoldás kisebb reakcióidővel valósulhat meg.
- Ügyfélélmény javítása: A VR technológia lehetővé teszi, hogy az ügyfél a számára releváns folyamatok tekintetében új élményeket, valamint többletinformációt szerezzen. Ilyen lehet, ha egy ügyfél VR környezetben követheti a szállítmánya útját vagy egy étteremben VR technológia segítségével mesterséges környezet (pl. tengerpart) vagy gasztronómiai információk érhetők el [16].

Összességében elmondható, hogy a VR technológia a logisztikai területen számos előnnyel jár, mivel lehetővé teszi a költséghatékony oktatást, a tervezési hibák előzetes kiküszöbölését, a működési problémák gyors felismerését és az ügyfélélmény új szintre emelését, ezáltal növelve a hatékonyságot és a versenyképességet.

4. LOGISZTIKAI FOLYAMATSZIMULÁCIÓ ÉS A VR INTEGRÁCIÓS LEHETŐSÉGEI

A logisztikai folyamatszimuláció és VR integrációs lehetőségei a korábban már ismertetett négy szempont alternatívái közötti kapcsolat alapján képezhetők (3. ábra). Egy vizsgált jövőbeni logisztikai rendszer koncepciója tekintetében csupán az A. Digitális modell és az ahhoz kapcsolódó VR megoldások integrációja valósulhat meg. Tehát nem hozhatók létre a B. Digitális árnyék és a C. Digitális iker megoldások, valamint az azokhoz tartozó VR megoldások. Egy létező logisztikai rendszer tekintetében, valamennyi digitális iker fejlettségi szint és VR típus közötti kapcsolat értelmezhető.



3. ábra. Szimulációs modellezés és a VR integrációs lehetőségei

Technológiák integrációjával elérhető előnyök:

- Jobb vizualizáció és intuitív megértés: A szimulációs modellek 2D/3D-ben történő interaktív megjelenítésével a vizsgált folyamatok könnyebben megérthetők.
- Hatékonyabb döntéshozatal: A vizsgált szimulációs folyamatok gyors manipulációs lehetőségével a beavatkozás hatásai rövid idő alatt értékelhetők, így a döntéshez szükséges átfutási idő rövidíthető.
- Emberi tényezők figyelembevétele: Egy valós méretarányú szimulációs modellben pl. testmozgáskövetéssel, haptikus visszacsatolással vizsgálhatjuk a dolgozók munkavégzésének hatékonyságát, így a megvalósítás előtt ideális állapotot határozhatunk meg.

- Gyorsabb problémafeltárás és megoldás: A tervezési és működési problémák egy része a hagyományos szimulációkban rejtve maradhat, ugyanakkor a VR alkalmazásával ez hatékonyabbá válhat (pl. anyagmozgatási akadályok, veszélyes területek, stb.).
- Biztonságosabb tesztelési környezet: Veszélyes vagy költségesen kialakítható folyamatok vizsgálhatók biztonságos környezetben.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A logisztikai folyamatok szimulációja és a virtuális valóság (VR) technológiájának integrációja új lehetőségeket teremt a folyamatfejlesztés területén. A szimulációs modellek részletes elemzést és optimalizálást tesznek lehetővé, míg a VR technológia hozzájárul a tervezési hibák csökkentéséhez, a döntéshozatali folyamatok gyorsításához és a munkavállalók hatékonyabb betanításához. Az integrációval elérhető előnyök közé tartozik a jobb vizualizáció, az intuitív megértés, valamint a gyorsabb problémafeltárás és -megoldás. A technológiák együttes alkalmazása különösen előnyös lehet a logisztikai rendszerek tervezésében, mivel lehetőséget biztosít a valós méretarányú szimulációra és a tesztelési folyamatok biztonságos környezetben történő elvégzésére. Összességében elmondható, hogy a logisztikai szimuláció és a VR integrációja jelentősen hozzájárulhat a hatékonyság növeléséhez és a versenyképesség fokozásához.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

This research was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.

Project No. 2023-1.2.4-TÉT-2023-00027 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, and was financed under the 2023-1.2.4-TÉT funding scheme.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Bányai, T., Bányainé Tóth, Á., Illés, B., & Tamás, P. *Ipar 4.0 és logisztika*, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2019.
- [2] Cifone, F. D., Hoberg, K., Holweg, M., & Staudacher, A. P. 'Lean 4.0': How can digital technologies support lean practices? *International Journal of Production Economics*, Elsevier, 2021, 241, 108258.
- [3] Elafri, N., Tappert, J., Rose, B., & Yassine, M. *Lean 4.0: Synergies between Lean Management tools and Industry 4.0 technologies*. IFAC-PapersOnLine, Elsevier, 2022, 55(10), 2060–2066.
- [4] Tamás, P. *Innovative simulation testing methods in logistics*, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet, Miskolc-Egyetemváros, 2021.
- [5] Zhang, C. *The future of education: Applications of virtual reality and the metaverse*. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Learning and Automation, 2024, 197–202. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/114/2024.18288>
- [6] Torkkel, J.-M., Lahtinen, H., Ruohomaa, H., & Salminen, V. *Virtual technologies and digital twins for logistics hub development*. Human Factors, Business Management and Society, 2024, 135, 268–275. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004953>
- [7] Matyi, H., & Tamás, P. *An innovative framework for quality assurance in logistics packaging*. Logistics, 2023, 7(4), Article 82. <https://doi.org/10.3390/logistics7040082>
- [8] Ogrizović, D., Perić Hadžić, A., & Jardas, M. *Fully immersive virtual reality in logistics modelling and simulation education*. Promet – Traffic & Transportation, 2021, 33(6), 799–806. <https://doi.org/10.7307/ptt.v33i6.1>
- [9] Veres, P., Cservénák, Á., Skapinyecz, R., Illés, B., Bányai, T., Akylbek, U., & Tamás, P. *The Role of Augmented and Virtual Reality Technologies in Developing Logistics Processes*. Journal of Engineering Research and Reports, 2020, 13(2), 55–62.
- [10] Molnár, Z., Tamás, P., & Illés, B. *Planning of flexible manufacturing lines with AGV material handling for the entire life cycle*. Acta Logistica: International Scientific Journal About Logistics, 2024, 11.
- [11] Petersen, G. B., Petkakis, G., & Makransky, G. *A study of how immersion and interactivity drive VR learning*. Computers & Education, Elsevier, 2022, 179, 104429. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104429>

- [12] Ismail, A. M. A. *Exploring the Levels of eLearning Interactivity: A Review of Research Literature*. *Journal of Ecohumanism*, 2024, 3(7), 2997–3024. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i7.4693>
- [13] Gołda, G., Kampa, A., & Paprocka, I. *The application of virtual reality systems as a support of digital manufacturing and logistics*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 145, 042017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/145/4/042017>
- [14] Gabajová, G., Krajčovič, M., Rolinčinová, I., Furmannová, B., & Bučková, M. *Digital design of production systems using virtual reality*. *Proceedings of CBU in Economics and Business*, 2020, 1, 49–52. <https://doi.org/10.12955/peb.v1.18>
- [15] Yao, L. J., Li, J., & Han, J. J. *Application of virtual reality technology in intelligent cold chain logistics system*. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 1651, 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1651/1/012030>
- [16] Mısı, S. *Virtual reality and augmented reality in gastronomy businesses*. In O. Yilmaz (Ed.), *New trends and frontiers in social, human and administrative sciences*, All Sciences Academy, 2024, 96–107. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14016408>