

TARGONCÁS ANYAGMOZGATÁS FEJLESZTÉSI MÓDSZERE A 4. IPARI FORRADALOMBAN

Vachter Dorina

logisztikai mérnök hallgató, Miskolci Egyetem

Logisztikai Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: vachter.dorina@gmail.com

Skapinyecz Róbert

egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem

Logisztikai Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: altskapi@uni-miskolc.hu

Tamás Péter

intézetvezető egyetemi docens, dékánhelyettes, Miskolci Egyetem

Logisztikai Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: tamas.peter@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A 4. ipari forradalom az ipar minden területén, így az anyagmozgató rendszerek esetében is új lehetőségeket teremt a hatékonyság növelésére, valamint a rendelkezésre álló kapacitások magasabb szinten történő kiaknázására. Ennek megfelelően a publikációban egy olyan módszer kerül bemutatásra, amely lehetővé teszi a logisztikában széleskörűen használt targoncás anyagmozgató rendszerek Ipar 4.0 eszközök segítségével történő továbbfejlesztését, a költséghatékonyság szem előtt tartása mellett. Véleményünk szerint ez a módszer az ipar rendkívül széles területén alkalmazható lehet, mivel a targoncás anyagmozgatási megoldások gyakorlatilag minden iparágban jelen vannak, a viszonylag alacsony beruházási költség pedig a legtöbb ipari szereplő számára meghatározó szempontként jelentkezik.

Kulcsszavak: targoncás anyagmozgatás, ipar 4.0, digitalizáció, fejlesztési módszer

Abstract

The 4th Industrial Revolution creates new opportunities for efficiency gains in all areas of industry, including material handling systems, and for better utilization of available capacities. Accordingly, this publication discloses a method that enables the development of the widely applied forklift-based material handling systems using industry 4.0 tools, while still being cost effective. We believe that this method can be used in a very wide range of industries, as forklift-based material handling solutions are present in virtually every industry and the relatively low investment cost is a determining factor for most industrial players.

Keywords: forklift-based material handling, industry 4.0, digitization, development method

1. Bevezetés

A dinamikusan változó vásárlói igények kielégítése érdekében a termelési és szolgáltatási tevékenységet végző vállalatok Ipar 4.0 képességeinek fejlesztése elengedhetetlenül fontos hatékonyságuk növelése és kapacitásuk bővítése érdekében nem csupán a technológia, hanem az azt kiszolgáló logisztika tekintetében is. A negyedik ipari forradalom az információs és kommunikációs technológiák valamint az automatizálás egyre szorosabb összefonódását, illetve ezen keresztül a termékek, szolgáltatások, gyártási módszerek és üzleti modellek alapvető megváltozását elhozó időszak összefoglaló neve, amikor a szenzorok, gépek, munkadarabok és az IT rendszerek a teljes értéklánc mentén összekapcsolódnak [1].

Az üzemem belüli anyagmozgató rendszerek jelentőségét úgy tudjuk meghatározni, ha elemezzük azok értékteremtő láncban betöltött szerepét. Ez nem egyszerű feladat, mivel az értékteremtő lánc egyes elemeihez (megmunkáló helyek, szerelőcellák) a munkadarabokat el kell juttatni és a megmunkálási vagy szerelési pozícióba be kell helyezni azokat, de ezen üzemem belüli anyagmozgatási és anyagkezelési folyamatok által hozzáadott értéket nem mindig egyértelmű meghatározni (nem beszélve arról, hogy a termelés hatékonyságát az értékteremtési lánc egyéb tényezői is befolyásolhatják [2]). Ennek megfelelően két tendencia jellemzi az üzemem belüli logisztikai folyamatok fejlesztését [3]:

- az egyik megközelítés szerint úgy kell a technológiai folyamatokat kialakítani és a technológiai berendezéseket telepíteni, hogy az azok közötti anyagmozgatási és anyagkezelési feladatok végrehajtásának hatékonyságát növelni kell a logisztikai eszközök beruházási és működtetési költségének minimalizálása céljából. Ezen megközelítés lényege, hogy a félkész munkadarabok minél kevesebbet mozogjanak a termelési folyamatban.
- a másik megközelítés szerint nem a logisztikai folyamatokat kell redukálni, hanem az értékteremtő főfolyamatok arányát kell szervezéssel olyan mértékben megnövelni, hogy a nem értékteremtő folyamatok arányát csökkentjük.

Mindkét megközelítés szerint az anyagmozgató rendszerek fejlesztése során kulcsszerepe van a megfelelő irányítási rendszer kialakításának.

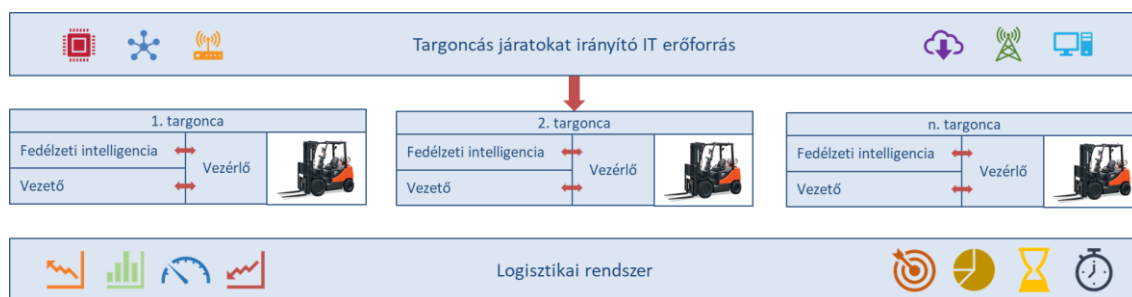
Az üzemem belüli anyagmozgatási feladatok megoldására a termelővállalatok sok esetben targoncákat alkalmaznak, melyek rakodási és szállítási feladatok végrehajtására is alkalmasak. A targoncás anyagmozgatási feladatok a szakirodalomban széles körben kerülnek bemutatásra [4]. Ezek közül a legfontosabb, főként az üzemem belüli anyagmozgatási és anyagkezelési feladatok irányítási feladatainak szempontjából gyakorlati jelentőséggel bíró változatok a következők:

- kapacitáskorlátos útvonaltervezés: ezen targoncás járattervezési modell esetében az irányítási stratégiák alapvető korlátja a rendelkezésre álló járművek szállítási kapacitása. Gyakran ezen modellcsoportba sorolják azon járattervezési és –irányítási feladatokat is, melyek esetében nem csupán a szállítási kapacitás, hanem a szállítási feladathoz kapcsolódó rakodási kapacitás is korlátos.
- egy- és többcentrumos járattervezés: ezen modellek mind az üzemem belüli, mind az üzemem kívüli szállítási és anyagmozgatási feladatok esetében nagy gyakorlati jelentőséggel bírnak [5-6]. Amennyiben a járműveknek a szállítási feladat elvégzése után nem kell visszatérniük a központba, akkor nyitott egy- vagy többcentrumos járatokról beszélünk [7].
- időablakos targoncás járatok esetében a szállítási feladatok kiszolgálására egy időablak áll rendelkezésre és az optimális járatokat ezen időablakok betartásával kell megtervezni. A járatok tervezésekor az időablakok betartása lehet szigorú korlát (hard time window) vagy

megengedő korlát (soft time window). Első esetben az időablakokon kívüli teljesítés nem megengedett, míg második esetben büntetőköltséget eredményez [8-9].

- elektromos, autonóm targoncás járatok útvonaltervezése: a negyedik ipari forradalom az üzemben belüli anyagmozgatást is gyökeresen átalakítja azáltal, hogy egyre több elektromos és autonóm eszköz jelenik meg. Ennek egyik leginkább ismert példája a KUKA Robotics mátrix gyártási koncepciója, amelyben a rugalmas gyártó- és szerelőcellák közötti anyagmozgatási és anyagkezelési feladatokat mobil platformok végzik. Elektromos járművek esetében fontos feladat a járatok optimális kialakításakor az újratöltések ütemezése, járatokba és kiszolgálási feladatokba illesztése [10-11].
- bizonytalan üzemi körülmények között működő járatok tervezése esetében a működési környezet bizonytalanságait, sztochasztikus paramétereit kell valószínűségi változók [12] és/vagy fuzzy paraméterek segítségével megadni [13].
- ezen fentiekben felsorolt jellegzetes targoncás járatok mellett számos olyan speciális modell is megtalálható a szakirodalomban, mely az üzemben belüli és üzemben kívüli anyagkezelési és anyagmozgatási feladatok egy-egy speciális területét fedi le: crossdocking járatok [14], szelektív járatok [15], romlandó árut szállító járművek járatai [16], többszintes járatok [17].

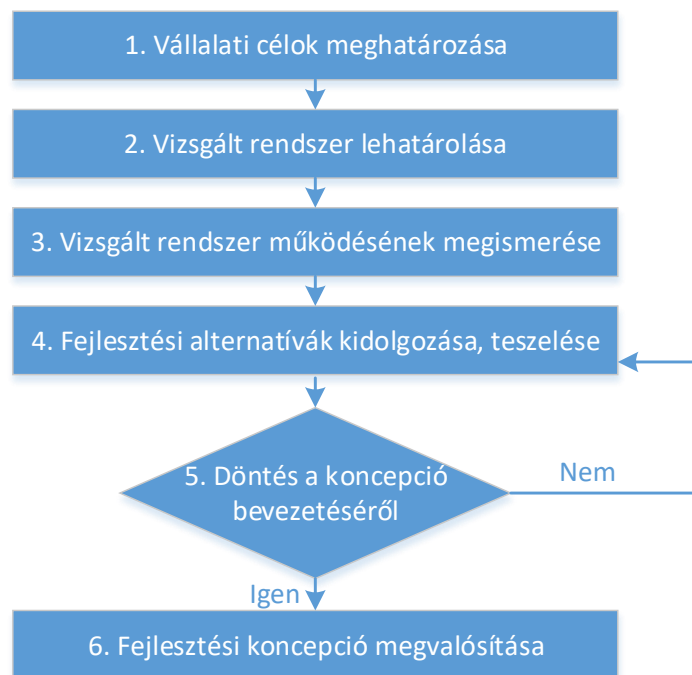
A targoncás anyagmozgatás számítógépes irányítása beruházás igényes, de nem igényli minden esetben új targoncák beszerzését, hanem bizonyos változtatásokkal a meglévő targoncák pótlólagos automatizálásával megoldható a probléma, például smart eszközök telepítésével (a targoncás anyagmozgatás számítógépes irányításának általános elvét a következő oldalon található 1. ábra mutatja). Ebből is látszik, hogy a vevői igények diverzifikálódása, valamint az új ipar 4.0 technológiák megjelenése új lehetőségeket teremt a targoncás anyagmozgatási rendszerek korszerűsítésére, fejlesztésére, melynek megvalósítására való törekvés a vállalatok versenyképességét befolyásoló tényezővé vált, hasonlóan ahhoz, ahogy ez az utóbbi időben szintén látható volt a lean filozófia elterjedésének esetében is [18]. Ebből kifolyólag a publikációban a targoncás anyagmozgatási rendszerek egy olyan fejlesztési folyamata kerül ismertetésre, amely egyrészt összhangban áll az Ipar 4.0 szemléletével, másrészt költséghatékony módon teszi lehetővé a meglévő targoncás anyagmozgató rendszer hatékonysági szempontból történő továbbfejlesztését és korszerűsítését.



1. ábra. Targoncás anyagmozgatás számítógépes irányításának általános modellje

2. Targoncás anyagmozgatási rendszerek fejlesztési módszere

A bemutatásra kerülő módszer 6 lépésből áll, amelyek a 2. ábra szerinti módon követik egymást, részletes ismertetésükre pedig az alábbiakban kerül sor:



2. ábra. Targoncás anyagmozgatási rendszerek fejlesztési módszere.

1. Lépés - Vállalati célok meghatározása: A targoncás anyagmozgatási rendszerek fejlesztése tekintetében a fejlesztendő logisztikai rendszer adottságai, a rendelkezésre álló pénzügyi lehetőségek, valamint a vevői elvárások alapján a vállalat menedzsmentje meghatározza a fejlesztéssel kapcsolatos elvárásokat, melyek a következők lehetnek:

- anyagmozgatási feladatok időben történő elvégzése,
- emberi- és gépi erőforrások számának redukálása,
- meghibásodások csökkenése,
- fajlagos anyagmozgatási úthossz csökkenése (egy egységtrakományra jutó megtett távolság),
- üzemeltetési költség csökkentése.

Ezen célok számszerűsített formában kell, hogy megjelenjenek (pl. anyagmozgató gépek száma tekintetében min. 10 %-os csökkenés az elvárás).

2. lépés - Vizsgált rendszer lehatárolása: A vállalati célok alapján anyag- és információáramlási tekintetben is le kell határolni a vizsgálandó targoncás anyagmozgatási rendszert, vagyis meg kell határozni, hogy mely:

- informatikai rendszermodulok,
 - alkalmazások,
 - anyagáramlási részrendszerek,
- kerüljenek felülvizsgálatra a fejlesztési célok elérése érdekében.

3. lépés - A vizsgált rendszer működésének megismerése: Standardok alapján működő, digitalizált logisztikai részrendszerek esetén ez egy könnyen teljesíthető fázis. Ezzel ellentétben számos vállalatnál a vizsgált folyamatok széttagoltak, eltérő vezetővel rendelkeznek, illetve ad-hoc döntések alapján működnek, ilyenkor a rendszer megismerésének időráfordítása akár a többszöröse is lehet. Ebben a szakaszban a rendszer működésének megértésén túl, fel kell tárnunk a működés alapvető problémáit, hiányosságait is a vállalati célkitűzések figyelembevételével (pl. adott gyártósornál késedelmes kiszolgálás, rossz adatrögzítés, stb.). A működési problémák meghatározásánál döntő többségében adatbázisokban rögzített adatokra támaszkodhatunk (pl. Key Performance Indicators –KPIs), ugyanakkor kevésbé digitalizált rendszerek esetén adatgyűjtést kell végeznünk (pl. kérdőíves felmérés, adatgyűjtő lapok, adatgyűjtő eszközök alkalmazása, stb.).

A fázis végére dokumentált módon meg kell ismerni a vizsgált folyamatot és meg kell határozni annak hiányosságait, problémáit.

4. lépés - Fejlesztési alternatívák kidolgozása, tesztelése: A vállalati célok és a feltárt problémák alapján meg kell határozni a lehetséges fejlesztési alternatívákat, melyek a következőket kell, hogy tartalmazzák:

- A vizuális menedzsment megvalósítási módját: A standardoktól való eltérést láthatóvá tevő (pl. közlekedési folyosók, fel- és leadóhelyek, jelölése, elvégzendő feladatok megjelenítése, stb.) eszközöket és azok alkalmazási módját ismerteti.
- Az anyagmozgatási stratégiát: Szabad targoncák és az elvégzendő feladatok összerendelési módjának, valamint a járatvezetés algoritmusának meghatározását mutatja be.
- Anyagmozgató gépek fejlesztési tervét: Meglévő eszközök tekintetében alkalmazandó intelligens megoldásokat (pl. szenzorok, fedélzeti egység) és/vagy az újonnan beszerzendő targoncák beszerzési tervét tartalmazza.
- Információs rendszer fejlesztési tervét: Meglévő informatikai rendszer tekintetében alkalmazandó korrekciókat (pl. adatbeviteli mezők aktiválása, stb.) és/vagy új modulok, alkalmazások beszerzési tervét tartalmazza.
- Megvalósítandó rendszer működési koncepcióját: Az anyag- és információáramlást integráltan kezelve ismerteti a rendszer működésének folyamatát.

A fejlesztési döntések meghozatala előtt számos esetben szükséges a kidolgozott koncepció megvalósíthatóságának vizsgálata, valamint a döntéshez szükséges KPI (Key Performance Indicator) mutatók meghatározása. Kisebb változtatások esetén sokszor elegendőnek bizonyul a módosított folyamatok pontos leírása, illetve a KPI mutatókra vonatkozó hatáselemzés. Ugyanakkor a folyamatok növekvő komplexitása miatt ezen a területen is egyre inkább előtérbe kerül a szimulációs modellezés technikájának alkalmazása.

5. Lépés - Döntés a koncepció bevezetéséről: A kidolgozott alternatívákhoz kapcsolódó logisztikai folyamatok, valamint meghatározott KPI mutatók alapján a vállalati célok figyelembe vételével sokszor egyértelmű döntés hozható, ugyanakkor több különböző szempont együttes alkalmazása esetén döntési módszer alkalmazás válik szükségessé.

6. Lépés - Fejlesztési koncepció megvalósítása: A fejlesztési koncepció megvalósítására többféle lehetőség létezik, melyek a következők:

1. rendelkezésre álló gyakorlati megoldások leszállítására, beüzemelésére beszállító keresése,
2. meghatározott funkciójú rendszerelemek kifejlesztésére, beüzemelésére beszállító keresése,
3. meghatározott funkciójú rendszerelemek kifejlesztésére, valamint a rendelkezésre álló gyakorlati megoldások leszállítására, beüzemelésére beszállító keresése.

Azt, hogy melyik megoldás kerül kiválasztásra, az alapvetően az aktuális technológiai színvonal, illetve a vállalat pénzügyi lehetőségeinek függvénye.

3. Esettanulmány

Az előző részben bemutatott fejlesztési módszert felhasználva sor került egy konkrét targoncás anyagmozgatási rendszer hatékonysági oldalról történő fejlesztésére is. A rendszer egy multinacionális gépgyártó vállalat egyik európai gyáregységében üzemel és a kiinduláskor a következő alapjellelmezőkkel rendelkezett:

- 32 saját tulajdonú, általános felhasználású, homlokivillás emelőtargonca, amelyek közül 22 gáz, 10 pedig elektromos meghajtású,
- 36000 m² alapterületű üzemi terület, amely 5 különálló üzemsarnokot és egy központi raktárat foglal magában,
- összesen 62 gyártósor, amelyek az 5 üzemsarnoknak megfelelő különálló blokkokban kerültek telepítésre,
- az üzemépületek között fedetlen, betonburkolatú közlekedési utak,
- az informatikai eszközök használatának viszonylag alacsony szintje (például a targoncavezetők a munkavégzés közben felmerülő további feladataikról nagyrészt élőszóban vagy a saját mobiltelefonjaik használatán keresztül kaptak tájékoztatást).

A továbbiakban a bemutatott módszer lépéseit követve fog bemutatásra kerülni a vázolt rendszeren végrehajtott fejlesztés:

1. Lépés - Vállalati célok meghatározása: A fejlesztés elindításával a vállalat elsődleges célja a targoncás anyagmozgatási feladatok időben történő elvégzésének nagyobb mértékű garntálása volt, mivel egyre többször jelentkeztek problémaként az ezen feladatok csúszására visszavezethető idővesztések. Emellett másodlagos célként jelentkezett az emberi- és gépi erőforrások számának redukálása, amennyiben a fejlesztés eredményeként ez is lehetővé válik.

2. lépés - Vizsgált rendszer lehatárolása: A vizsgált rendszer lehatárolása során a fentebb már ismerttetett alapjellelmezők megismerésén túl megtörtént az üzemi terület anyagmozgatási szempontból történő felosztása. Ez a gyakorlatban azt jelentette, hogy 17 ügynevezett „anyagmozgatási szektor” került meghatározásra, minden egyes szektorhoz pedig jellemzően 1 vagy 2 targonca került hozzárendelésre. Ez azért volt lényeges, mert a későbbiekben ez a felosztás nagyban megkönnyítette az egyes targoncák munkavégzésének pontos megismerését.

3. lépés - A vizsgált rendszer működésének megismerése: A vizsgált rendszer működésének megismerésénél a fő nehézséget az jelentette, hogy amint az már korábban is említésre került, a targoncák irányítása nagyrészt szóbeli kommunikációra alapult (akár élőszóban, akkor mobiltelefon se-

gítségével). Ebből kifolyólag nem álltak rendelkezésre olyan hisztorikus adatok, amelyek egy digitalizált megoldás esetében a legtöbb esetben a rendszerhez tartozó adatbázisból közvetlenül leszűrhetők. Továbbá a fejlesztés indulásakor a rendszer standardizáltságának foka is viszonylag alacsony volt, azaz gyakoriak voltak az egyedi problémákból fakadó egyedi feladatutasítások és eljárások is.

Az előbbiekből kifolyólag a rendszer megismeréséhez kiindulásként nagyfokú manuális adatgyűjtésre volt szükség, amely kiegészült az operátorok és a közvetlen felettesek interjúztatásával is. A manuális adatgyűjtéshez és az interjúkhoz a következő típusú adatlapok kerültek felhasználásra:

- az egyes targoncák napi anyagmozgatási munkáját félórás bontásban feltüntető adatlapok,
- a targoncás anyagmozgatást igénylők által jelzett problémákat, valamint az általuk tett fejlesztési javaslatokat rögzítő kérdőívek,
- a targoncás anyagmozgatást végzők által jelzett problémákat, valamint az általuk tett fejlesztési javaslatokat rögzítő kérdőívek.

Az előbbi adatlapok és kérdőívek szolgáltatták a felmérés során a legfontosabb alap adatokat, azonban a rendszer megismeréséhez ezen kívül szükség volt még a költségoldal felmérésére is. Ennek végeredményeként megállapításra került, hogy a targoncapark fenntartásának éves költsége nagyjából 1,5 millió euróra tehető, amelynek majdnem 75%-át a személyi költségek (a targoncavezetők bére) adja.

Mindezek mellett szükség volt még a targoncavezérlés működési elvének a kiinduló állapotban történő felmérésére is. Ezt az utóbbi feladatot valamelyest egyszerűsítette az a tény, hogy a kiinduláskor a vállalat nem alkalmazott semmilyen fejlett targoncairányító rendszert, ehelyett a feladat kiosztás a korábbiakban említetteknek megfelelően szóbeli alapon történt. Ez eleve kizárta azt, hogy bármilyen nemű algoritmust használjanak az ütemezésre, így a feladatok kiszámítása és ütemezése lényegében teljesen sztochasztikus módon zajlott a feladatok felmerülési sorrendje, valamint az éppen szabad targoncák rendelkezésre állásának függvényében.

4. Lépés - Fejlesztési alternatívák kidolgozása, tesztelése: A targoncás anyagmozgató rendszer felülvizsgálatából egyértelműen kiderült, hogy a decentralizált irányítási stratégiáról a centralizáltra való áttérés eredményeként csökkenthető az alkalmazott targoncák száma. Ennek megvalósításához a konkrét esetben alapvetően egy fejlesztési alternatíva került kialakításra, amely opcionálisan bővíthető további elemekkel.

A kialakított fejlesztési koncepció a centralizált működési stratégia megvalósításához természetesen szükségessé tette egy informatikai rendszer kiépítése, mellyel szemben az elvégzett elemzés eredményeként ugyanakkor speciális követelmények kerültek megfogalmazásra. A megfogalmazott követelmények a következők:

- Anyagmozgatást végzők vonatkozásában olyan fedélzeti egység biztosítása, amely lehetővé kell tegye az elvégzendő feladat szóban történő egyeztetését (pl. mikrofon, kihangosító), továbbá a feladat kezdés, a rendelkezésre állás, a szünet, valamint a meghibásodás jelzését.
- Anyagmozgatást igénylők vonatkozásában olyan kommunikációs alkalmazás készítése, amely lehetővé kell tegye egy előre definiált szabályrendszer alapján a targoncák automatikus hívását az elvégzendő feladat megbeszélése érdekében.
- Webes alkalmazás készítése az anyagmozgatást végző targoncák adatainak kezelésére, amely lehetővé teszi a targoncák aktuális állapotának megtekintését (munkavégzés, rendelkezésre állás, szünet, meghibásodás).

Az előbbi képességek megvalósításához természetesen szükségessé vált egy egyedi hardver megoldás kialakítása is, amelynek döntő részét a targoncákra szerelhető beágyazott rendszerek, illetve az ezekhez kapcsolódó interfészek képezték. Emellett opcionális lehetőségként került megfogalmazásra egy targoncás helymeghatározó rendszer kialakítása is a ténylegesen megtett útvonaladatok rögzítése, monitorozása céljából.

5. Lépés - Döntés a koncepció bevezetéséről: A 3. lépésben végzett vizsgálat eredményei egyértelműen kimutatták, hogy a 4. lépésben vázolt rendszer bevezetésével egyértelműen nőhet a targoncás anyagmozgató rendszer működési hatékonysága, elsősorban a hatékonyabb kommunikációnak, ebből kifolyólag pedig az üresjáratok csökkentésének köszönhetően. Emellett más alternatíva nem kínálkozott az egyedi felhasználói igények kielégítésére, ezért a helyzet áttekintése után a vállalat a felvázolt koncepció megvalósítása mellett döntött.

6. Lépés - Fejlesztési koncepció megvalósítása: A fejlesztés megvalósítása rövid időn belül hozta a várt eredményeket, mivel a hatékonyabb kommunikáció révén csaknem teljesen eltűntek a holtidőszakok, ezáltal pedig egy csaknem 20%-os növekedést eredményezett a rendszer által adott idő alatt elvégezhető anyagmozgató munkamennyiségben. Ezt a növekményt a vállalat elsősorban a korábban jellemző csúszások és késések kiküszöbölésére használta fel, ami által gyakorlatilag megszűntek az anyagmozgató hiányosságaira visszavezethető idővesztések. Az új megoldás bevezetése egyúttal lecsökkentette a munkaerő időszakos csökkenéséből (például betegszabadság okán) származó kockázatokat is.

4. Összefoglalás

A publikációban bemutatott fejlesztési módszer rendkívül széleskörűen alkalmazható, mivel a targoncás anyagmozgató rendszereket minden más anyagmozgató géprendszer közül gyakrabban alkalmazzák mind a termelő, mind pedig a szolgáltató vállalatok logisztikai rendszereiben. Emellett a különböző vállalatok által használt targoncák életkora is rendkívül változó lehet, ami szintén növeli a szükségességét egy olyan megoldás alkalmazásának, amely a rugalmasan alkalmazható smart technológiák révén a legváltozatosabb gépparkok esetében is implementálható.

A módszerrel együtt bemutatott esettanulmány is alátámasztotta, hogy az ilyen jellegű fejlesztések viszonylag kis költségráfordítás mellett is jelentős hatékonyság növekedést képesek garantálni. A szerzők ezért a jövőben a módszert szeretnék kiterjeszteni a targoncás anyagmozgató rendszerek mellett más típusú logisztikai rendszerekre is, tekintettel a jól látható ipari igényekre, valamint az ilyen típusú fejlesztési módszerek egyre növekvő tudományos jelentőségére.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Nagy M. Industry 4.0 (in Hungarian). Piac & Profit. Forrás: https://piacesprofit.hu/kkv_cegblog/ipar-4-0-az-uj-szabvany/ (Letöltve: 24/06/2019)
- [2] Bányai, Á.: Optimisation of intermediate storage network of JIT purchasing. ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE, 2011. pp. 35-40., ISSN 1789-2198
- [3] Reinhart, G. Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Hanser Verlag, 2017. <https://doi.org/10.3139/9783446449893>
- [4] Kovács, L., Agárdi, A., Debreceni, B. Efficiency Analysis of the Vertex Clustering in Solving the Traveling Salesman Problem. *Annales Mathematicae et Informaticae* 2018, 48(1): 33-42.
- [5] Nagy, G., Salhi, S. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European Journal of Operational Research* 2005, 162(1):126-141. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2002.11.003>
- [6] Crevier, B., Cordeau, J. F., Laporte, G. The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research* 2007, 176(2):756-773. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.08.015>
- [7] Li, F., Golden, B., Wasil, E. The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. *Computers and Operations Research* 2007, 34(10):2918-2930. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.11.018>
- [8] Solomon, M. M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research* 1987, 35(2):254-265. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- [9] Figliozzi, M. A. An iterative route construction and improvement algorithm for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2010, 18(5):668-679. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.08.005>
- [10] Schneider, M., Stenger, A., Goeke, D. The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science* 2014, 48(4):500-520. <https://doi.org/10.1287/trsc.2013.0490>
- [11] Bruglieri, M., Pezzella, F., Pisacane, O., & Suraci, S.: A variable neighborhood search branching for the electric vehicle routing problem with time windows. *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 2015, 47:221-228. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2014.11.029>
- [12] Bertsimas, D. J.: A vehicle routing problem with stochastic demand. *Operations Research* 1992, 40(3):574-585. <https://doi.org/10.1287/opre.40.3.574>
- [13] Cao, E., Lai, M.: The open vehicle routing problem with fuzzy demands. *Expert Systems with Applications* 2010, 37(3):2405-2411. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.021>
- [14] Wen, M., Larsen, J., Clausen, J., Cordeau, J. F., Laporte, G.: Vehicle routing with cross-docking. *Journal of the Operational Research Society* 2009, 60(12):1708-1718. <https://doi.org/10.1057/jors.2008.108>
- [15] Aras, N., Aksent, D., Tekin, M. T.: Selective multi-depot vehicle routing problem with pricing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2011, 19(5):866-884. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.08.003>
- [16] Chen, H. K., Hsueh, C. F., Chang, M. S.: Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products. *Computers and Operations Research* 2009, 36(7):2311-2319. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.09.010>

- [17] Perboli, G., Tadei, R., Vigo, D.: The two-echelon capacitated vehicle routing problem: models and math-based heuristics. *Transportation Science* 2011, 45(3):364-380. <https://doi.org/10.1287/trsc.1110.0368>
- [18] Mácsay V., Bányai T. (2017) Toyota production system in milkrun based in-plant supply. *Journal of Production Engineering* 9:(1) pp. 141-146. <https://doi.org/10.24867/JPE-2017-01-141>