

# AGV flotta irányításának modellezése Siemens Tecnomatix Plant Simulation szoftverben

## AGV fleet management modelling in Siemens Tecnomatix Plant Simulation software

KIS-TAMÁS Levente<sup>1</sup>, NÉMETH István<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

### Abstract

*Automated Guided Vehicles (AGVs) are driverless vehicles that play an increasingly important role in logistics and modern manufacturing processes. The aim of this study is to develop, implement, and evaluate AGV fleet control strategies in Siemens Tecnomatix Plant Simulation software. For this purpose, a test manufacturing system was created within a simulation model, providing an opportunity to work out and analyze various AGV control strategies, as well as optimize the number of vehicles.*

**Keywords:** Automated Guided Vehicle, AGV fleet management, discrete event simulation, production logistics, modelling of manufacturing systems

### Kivonat

*Az AGV-k (Automated Guided Vehicle) vezető nélküli járművek, amelyek egyre fontosabb szerepet töltenek be a logisztikai és a modern gyártási folyamatokban. A dolgozat célja AGV flotta irányítási stratégiáinak kidolgozása, valamint ezek megvalósítása és értékelése Siemens Tecnomatix Plant Simulation szoftverben. A feladathoz egy tesztelő gyártórendszert hoztunk létre egy szimulációs modellben, amely lehetőséget biztosított különböző AGV irányítási stratégiák kidolgozására és elemzésére, valamint az optimális járműszám meghatározására.*

**Kulcsszavak:** vezető nélküli targonca, AGV flotta kezelés, diszkrét esemény szimuláció, gyártási logisztika, gyártórendszerek modellezése

## 1. BEVEZETÉS

Az AGV-k (Automated Guided Vehicle) vezető nélküli járművek, amelyek egyre fontosabb szerepet töltenek be a logisztikai és a modern gyártási folyamatokban. Az AGV rendszerek lehetővé teszik a szállítási feladatok automatizálását, ezáltal növelve az anyagáramlás hatékonyságát és csökkentve a költségeket. A dolgozatban bemutatásra kerülnek különböző kidolgozott AGV flotta irányítási stratégiák, valamint ezek megvalósítása és értékelése Siemens Tecnomatix Plant Simulation szoftverben. A szimulációs szoftver támogatja az AGV-k modellezését, viszont komplexebb AGV csoport irányítására nem kínál közvetlen megoldást.

A Plant Simulation egy diszkrét esemény-vezérelt szimulációs szoftver. A gyártásban a gyártórendszerek, az anyagáram és a logisztikai műveletek modellezésére, szimulálására egyik leggyakrabban használt, legelterjedtebb alkalmazás. Használatával javítható a termelés, optimalizálható az erőforrás kihasználtság és így csökkenthetők az üzemeltetési vagy beruházási költségek.

Az AGV-flották irányítására többféle stratégia alkalmazható. Az egyik fő megközelítés a központi vagy az elosztott vezérlés használata. A központi irányításnál egyetlen központi rendszer felügyeli a teljes AGV-flottát, végzi a feladatok hozzárendelését és az útvonalak optimalizálását. Előnye, hogy képes átfogóan figyelembe venni az összes jármű állapotát és az aktuális gyártási igényeket és ezek alapján irányítani az AGV-eket. Hátránya, hogy bonyolultabb, nagyobb teljesítményű központi vezérlőegységet igényel, valamint kevésbé rugalmas és meghibásodás esetén a teljes flotta működése leállhat. [2]

Az elosztott irányítási stratégia ezzel szemben kisebb, önállóan működő csoportokra osztja a gyárat, ahol minden egyes csoport saját irányítórendszerrel rendelkezik. A csoportok közötti koordináció csak szükség esetén valósul meg, a járművek alapból végig a flottához tartozó gyárreszlegen dolgoznak. Az elosztott irányítás egyszerűbb programozási struktúrát igényel, ami csökkentheti a rendszer összetettségét. Emellett előnye, hogy a forgalmi torlódások észlelése és kezelése helyi szinten könnyebbé válik, mivel a csoporton belüli járművek interakciói egyszerűbben kezelhetők. Hátránya, hogy nehezebb a teljes gyártási rendszer globális optimalizálása, mivel a helyi döntések nem feltétlenül veszik figyelembe a gyár teljes területén fellépő igényeket. Emellett kihívást jelent a megfelelő csoportok kialakítása és az ezekhez szükséges erőforrások meghatározása [3][4].

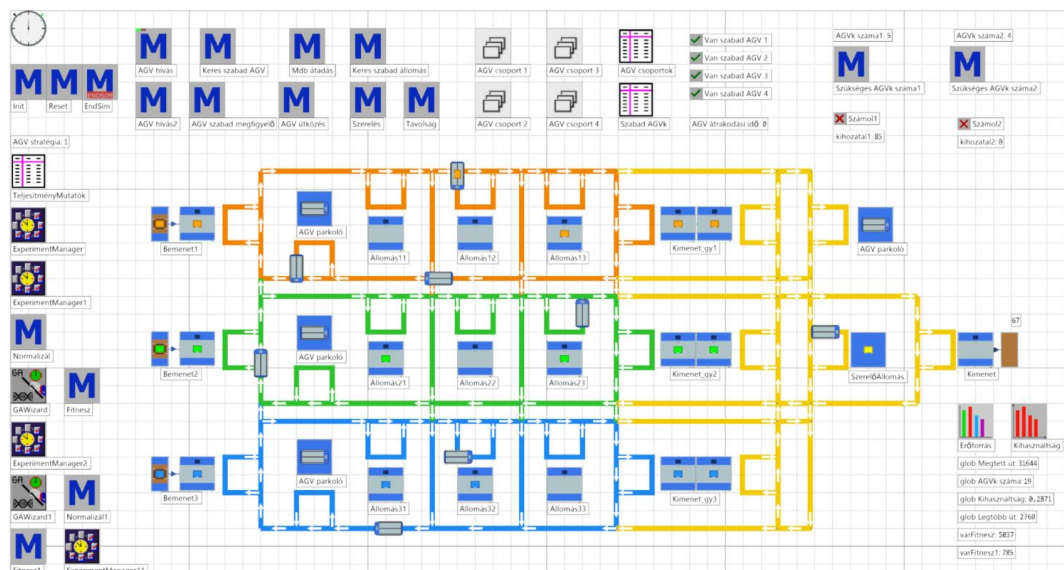
A munkadarabot kísérő irányítás egy olyan stratégia, amelyben minden érkező alapanyaghoz hozzárendelnek egy AGV-t, amely végigkíséri a gyártási folyamat összes lépésén [1]. Ezt a megközelítést gyakran dedikált AGV-k alkalmazásának is nevezik, mivel a járművek egy-egy munkadarabhoz kapcsolódnak a teljes folyamat alatt.

Az AGV-k irányításakor megkülönböztethetünk előrelátó („think-ahead”) és előre nem látó („no think-ahead”) irányításokat [3]. Az előre nem látó irányítás valós időben dolgozik, az AGV az egyes feladatokat a rendszer aktuális állapota szerint kapja meg. Ez a módszer egyszerűbb szabályokat követ, gyorsan reagál a változásokra, viszont a szállítóeszközökre várakozási idő hosszabb lehet. Az előrelátó irányítás ezzel szemben egy, vagy több lépéssel előre megtervezi az AGV-k ütemezését és feladatát, ezzel lehetővé teszi a várakozási idők minimalizálását és a termelékenység növelését. Hátránya, hogy jóval összetettebb vezérlést igényel, nagyobb számítási kapacitással, valamint érzékenyebb a váratlan eseményekre; például egy nem tervezett leállás vagy akadály zavart okozhat, mivel felboríthatja az előre megtervezett optimális útvonalakat és ütemezést.

## 2. TESZTGYÁR

Az AGV flotta irányításának vizsgálatához egy tesztelő gyártórendszer (röviden: tesztgyár) szimulációs modelljét készítettük el Tecnomatix Plant Simulation (2302) szoftverben. A tesztelő gyártórendszer egy gyártási folyamatot modellez, ahol a munkadarabok szállítását az AGV-k végzik. Az üzembe háromfajta alapanyag érkezik három bemenetről. A különböző munkadarabok párhuzamos gyártósorokon, azonos munkafolyamatokon mennek végig. Egy gyártósor három eltérő megmunkálóállomásból áll, melyeken sorban végig kell haladnia az alapanyagnak. A gyártósorok végén elkészülő munkadarabok egy következő állomáson összeszerelésre kerülnek és végül az elkészült terméket az AGV-k a kimenetre szállítják. Az AGV-k sebessége 1 m/s, gyorsulása 1 m/s<sup>2</sup>. Az állomások alapértelmezetten 30 másodperces műveletidővel rendelkeznek. A tesztgyár alapterülete 45 m x 20 m (az 1. ábrán látható rácsháló osztása 1 m x 1 m).

A tesztgyár elrendezése az 1. ábrán látható. A különböző alapanyagok és a gyártósorokat behálózó AGV útvonalak eltérő színekkel vannak modellezve. Például egy zöld színű munkadarab a zöld színű soron megy keresztül. A sárga színű részen a három gyártósoron elkészült gyártmányokat elszállítják a szerelőállomásra, ahonnan később az összeszerelt terméket az AGV-k a kimenetre szállítják.



1. ábra. A tesztgyár

Az AGV-k útjának modellezése a Plant Simulation szoftverben két módon lehetséges: nyomvonalakkal vagy jelölők használatával [5]. A modell az előbbi módszert használja, mivel ebben az esetben egyszerűbb a jármű céljának eléréséhez definiálni a pályát, ezenfelül az ütközéseket is könnyebb figyelembe venni és elkerülni. Az úthálózat egyirányú utakból épül fel, több hurkot is tartalmaz és úgy lett kialakítva, hogy bármelyik helyről bárhova el lehessen jutni. A Plant Simulation beépített útkereső algoritmus megtalálja két pont között a legrövidebb útvonalat. Minden állomás előtt található egy külön leálló útszakasz, ahol a munkadarab átrakodás zajlik az AGV és az állomás között, ezzel a jármű nem tartóztatja fel a forgalmat a főútvonalon.

A szimulációs modell fő bemenő paraméterei a járművek száma az egyes parkolóhelyeken, valamint az irányítási stratégia típusa. A tesztgyárban számos irányítási stratégia került kidolgozásra, mint például központi, elosztott, munkadarabot kísérő és előre-látó stratégiák, valamint ezek kombinációi.

### 3. KÍSÉRLETEK ÉS EREDMÉNYEK

#### 3.1. Teljesítménymutatók

A teljesítménymutatók (KPI-k; Key Performance Indicator) bevezetésével lehetőség nyílik az AGV flotta irányítási stratégiáinak összehasonlítására és a különböző stratégiák hatékonyságának értékelésére. A főbb mutatókat a modell egy táblázatba gyűjti, mely a 2. ábrán látható. A táblázat automatikusan megjelenik a szimuláció végén, mutatva a beállított irányítási stratégiát és a különböző KPI-ket.

Gyártási folyamatok során az egyik legfontosabb teljesítménymutató a kihozatal, ami megegyezik az összes legyártott termékkel. Másik fontos mutató a használt járművek száma. A teljesítmény szempontjából fontos, hogy minél nagyobb kihozatalt érjünk el, lehetőség szerint minél kevesebb AGV alkalmazásával.

|    | 1                                         | 2            |
|----|-------------------------------------------|--------------|
| 0  | Teljesítménymutató                        | Érték        |
| 1  | AGV irányítási stratégia                  | 6            |
| 2  | Kihozatal [db]                            | 56           |
| 3  | AGV-k száma                               | 22           |
| 4  | AGV-k által megtett össz.út [m]           | 46464        |
| 5  | AGV kihasználtság [1]                     | 0.6326       |
| 6  | AGV össz.megtett útidő                    | 35:12.0000   |
| 7  | AGV össz.üres idő [time]                  | 49:18.9364   |
| 8  | AGV össz.szállítási idő [time]            | 10:41.0636   |
| 9  | AGV össz.üres utazási idő [time]          | 24:30.9364   |
| 10 | Állomás agv-re várakozási össz.idő [time] | 5:47:39.6000 |
| 11 | Legtöbb út [m]                            | 2791         |

2. ábra. Teljesítménymutatók

#### 3.2. Irányítási stratégiák összehasonlítása

Az AGV irányítási stratégiák összehasonlítása többféle szempont szerint is lehetséges, többek között ezek vizsgálatára kerültek bevezetésre a különböző KPI-k. Az irányítási stratégiákat a tesztgyár termelési folyamatán teszteltük, az itt gyűjtött információk és teljesítménymutatók alapján lesznek jellemezve az egyes stratégiák.

Központi irányítási stratégia esetén egy parkolóhely van csak használatban az egész üzemben, onnan a gyár bármely pontjára el lehet küldeni az AGV-ket. Nagy előnye, hogy bár több jármű tartozik egy parkolóhoz, mint az elosztott vezérlés esetén, de összességében kevesebb járművel meg lehet valósítani a gyártási folyamatot. Hátránya, hogy az állomásoknak többet kell várakoznia az AGV-re és hogy a járműveknek többet kell utaznia, ezért több lesz az egyes járművek energiafogyasztása.

Elosztott irányítás esetén több szállítóeszköz szükséges a termelés ellátásához, viszont az AGV-k kevesebb utat tesznek meg és hamarabb odaérnek a hívóállomáshoz, mivel mindig csak a saját csoportjukban mozognak és nem kerülnek messze az adott állomástól. Ugyanígy a parkolóra is hamarabb visszaérnek, ahol a valós gyárakban általában töltőre is tudnak kapcsolódni. További előnye, hogy az egész gyártási és szállítási folyamatok könnyebben átláthatóak.

Vannak vegyes központi-elosztott stratégiák is, melyek ötvözik a kettő előnyeit és hátrányait.

A munkadarabot kísérő stratégia esetén a legkisebb az AGV-k által megtett út, mivel nem tér vissza egyfolytában a parkolóhelyre. Emiatt ugyanakkor a töltés lehetősége sincs meg, viszont összességében jóval kevesebb a fogyasztása is. Az eredmények alapján a munkadarabot kísérő stratégia nem használ több AGV-t, valamint a beállított gyártási paraméterek mellett valamivel nagyobb is a kihozatal, azonban ez más gyárelrendezésekre már nem biztos, hogy igaz lenne. Ennek vizsgálatához érdemes lehet a jövőben más fajta tesztgyárat létrehozni.

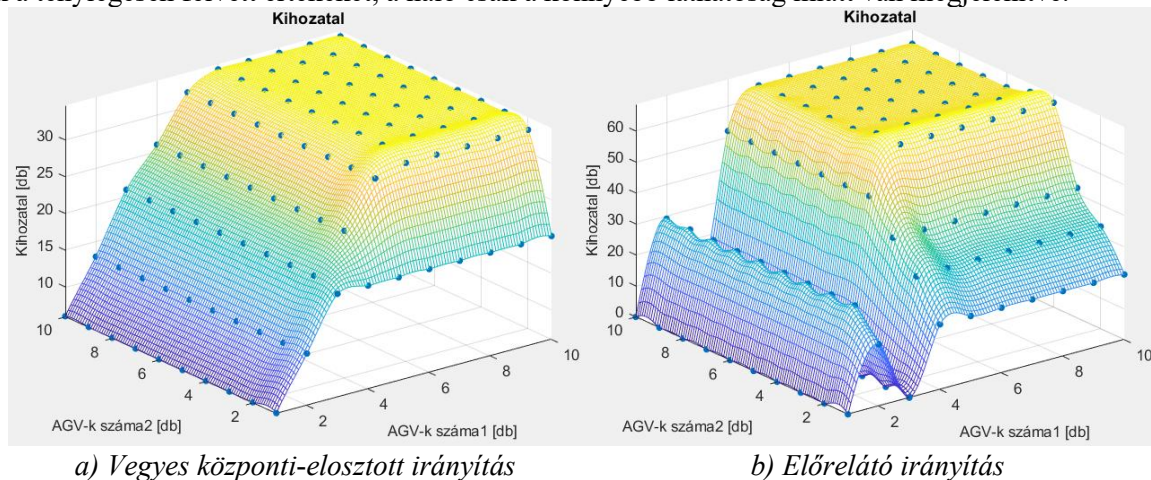
Előrelátó stratégia esetén a legmagasabb a kihozatal, akár kétszerese is lehet, mint a többi stratégia esetén. Az állomások szállítószközre váró ideje minimális és az AGV-k kihasználtsága viszonylag magas. Hátránya, hogy a maximális kihozatal eléréséhez több jármű szükséges, mint más stratégiáknál, valamint sokkal összetettebb és bonyolultabb az irányítás, mint más stratégiák esetén.

### 3.3. AGV-k számának meghatározása

A szimuláció egyik fontos bemenő paramétere az AGV-k száma az egyes parkolóhelyeken. Egy adott folyamathoz szükséges AGV-k számának meghatározását sok tényező befolyásolhatja, függhet többek között a termelékenység maximalizálásától, de számát korlátozhatja az energiahasználat, vagy a ráfordítható költségkeret.

Gyártási folyamatoknál legtöbbször termelékenységet szeretnénk maximalizálni, így az AGV-k számának meghatározásánál fontos szempont, hogy mennyi jármű szükséges a legtöbb kihozatal eléréséhez. A szimulációs modellben ennek meghatározásához kísérleteket végeztünk a Plant Simulation-ben található „ExperimentManager” objektum segítségével. A kísérletek futtatásához definiálni kell a bemeneti és kimeneti változókat. A bemeneti paraméterek a járművek számát megadó változók az egyes AGV parkolóhelyeken, a kimenet pedig a kihozatal. A bemenő változók 1-től 10-ig növekednek, közben minden kombinációra lefut egy szimuláció. A kísérletek végén a Plant Simulation készít egy jelentést, megtalálva azokat a bemeneti kombinációkat, amelyek esetén a legnagyobb a termelés.

A 3. ábrán látható két példa a kihozatal értékének szemléltetésére két irányítási stratégia esetén. A baloldali grafikonon egy vegyes központi-elosztott irányítás eredményei láthatóak, a jobboldalin pedig az előrelátó irányítási stratégia eredményei. Ezeknél a stratégiáknál csak két AGV parkolót használ a rendszer, így ábrázolni lehet 3D-s koordináta rendszerben a kihozatalt a járművek számának függvényében. A pontok jelölik a ténylegesen felvett értékeket, a háló csak a könnyebb láthatóság miatt van megjelenítve.



3. ábra. Kihozatal az AGV-k számának függvényében

Észrevehető, hogy egy adott szám felett már nem nő tovább a kihozatal, a grafikonon egy x-y síkkal párhuzamos felület fogja jelölni, ahol maximális a kihozatal. Megfigyelhető, hogy az előrelátó stratégia esetén a kihozatal sokkal nagyobb, mint a vegyes központi-elosztott stratégia esetén, azonban az AGV-k számának növelésével nem nő végig monoton a kihozatal, található egy lokális minimum, ahol a kimenete 0. Ennek oka egy holtpont bekövetkezése, amikor minden szállítójármű egy állomás előtt vár, viszont nem tudják továbbvinni a munkadarabot, mert a következő állomás nem szabad. Ezeket a holtpontokat a modell jelenleg még nem kezeli.

Látható, hogy bizonyos AGV számok fölött már nem növekszik a kihozatal; ilyenkor folyamatosan marad AGV a parkolóban. További keresési feltétellel lehet szűkíteni a keresést: például a maximális kihozatal, de a minimális számú járművel. Az ideális mennyiség megtalálásához célszerű több kimeneti változót is figyelembe venni és így meghatározni az optimális számú AGV-t. A többcélú optimalizálási

feladathoz be lehet vezetni egy ún. fitness függvényt, ami a különböző kimeneti változók súlyozott összegét adja. A fitness függvény alakja:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot g_i(x) \quad (1)$$

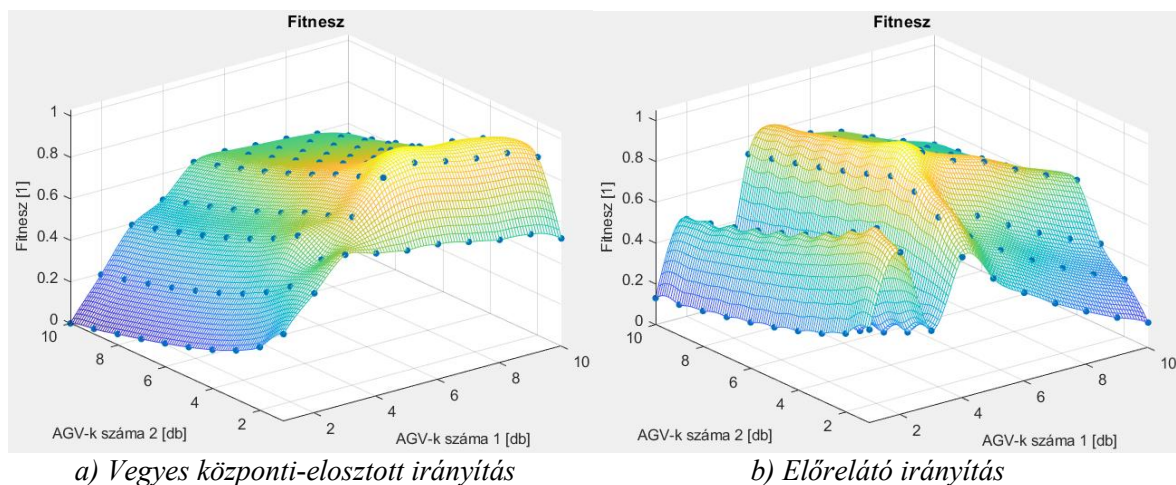
, ahol:  $f$  a fitness fv.,  $w_i$  a súly,  $g_i$  pedig egy-egy cél függvény (például a kihozatal),  $n$  pedig a célfüggvények száma. A függvény  $x$  paramétere pedig az AGV-k száma az egyes parkolóhelyeken. Egyváltozós optimalizálás során az  $i$  változó 1, ilyen eset volt a korábban bemutatott példa a maximális kihozatal eléréséhez szükséges járművek számának meghatározása.

A célfüggvények különböző teljesítménymutatók, mint például a kihozatal, az összes jármű száma, a kihasználtság, vagy a megtett út összesen. A fitness függvény maximumának megtalálásával megkapható az optimális mennyiségű jármű. Mindegyik tag egy beállított előjeles súllyal szerepel: pozitívvval, ha a nagyobb értékek a jók (pl. kihozatal); negatívvval, ha minél kisebb értékek a jók (pl. járművek száma).

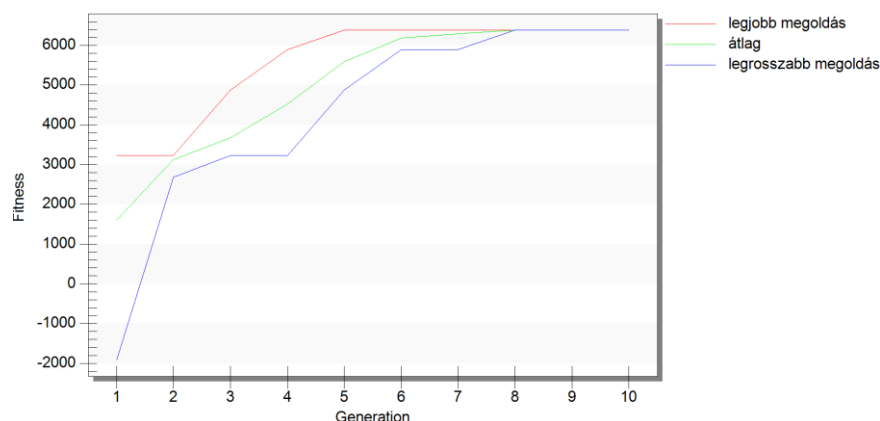
A  $g_i$  függvények alaphelyzetben nem összemérhetőek egymással, mert eltérő dimenziójúak, például lehet méter, idő vagy darab. Emiatt az értékeket először normalizálni kell, például 0 és 1 közé.

A fitness függvényben a súlyok megadása nagy szabadságot adhat, viszont a kimenetel erősen fog függeni tőlük. A súlyok kiválasztásánál a fő szempont a lehető legnagyobb kihozatal elérése a legkevesebb járművel, így ennek a két célfüggvénynek lesz a legnagyobb a súlya abszolútértékben.

A modell számolja a fitness függvény értékét minden futtatásra, így hasonlóan a korábban használt módszerrel, az „ExperimentManager” objektummal, ebben az esetben is megtalálható a függvény maximuma. A kísérletek során megkapjuk a fitness értékeit a bemeneti kombinációk függvényében és a legjobb fitnessértékhez tartozó paraméterek határozzák meg az optimális számú járműveket a parkolóhelyeken. Az alábbi 4. ábrán a korábban (3. ábra) ábrázolt kihozatal függvényekhez tartozó irányítási stratégiák (vegyes központi-elosztott illetve előrelátó) fitness függvényei láthatóak.



4. ábra. Fitness függvény



5. ábra. Genetikusan iterációi

Az optimum megtalálásához a fent bemutatott fitness függvényt használtuk és ennek maximumát kerestük úgy, hogy a Plant Simulation kísérlettervező objektuma az összes lehetséges bemeneti kombinációra

lefuttatott egy-egy szimulációt és kiszámította a fitness függvény értékét. Ez a módszer azonban időigényes tud lenni, ha a bemeneti vektor kombinációinak száma nagyobb. Ilyen esetekre jó megoldás lehet valamilyen optimumkereső algoritmus használata. A Plant Simulation szoftverben található a GAWizard nevű objektum, ami genetikus algoritmussal (GA) való optimalizálást tesz lehetővé.

A genetikus algoritmus 10 generációig fut és a populáció mérete 5. Általánosságban a GA nem feltétlenül találja meg a fitness függvény maximumát, vagyis a tényleges optimumot, azonban a fent megvalósított szimulációs modellben a beállított paraméterek mellett minden esetben sikerült megtalálnia. A legjobb egyed fitness értéke megegyezik a kísérletek során meghatározott optimummal. Az evolúciós folyamat ábrázolásával szemléltethető, hogy milyen gyorsan találja meg az algoritmus az optimumot; ez látható az 5. ábrán. A GA különböző irányítási stratégiáknál eltérő sebességgel érte el a maximális fitness értéket, de 10 generáció alatt a legrosszabb esetben is megtalálta az optimumot a genetikus algoritmus.

## 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a TKP-6-6/PALY-2021 számú projekt támogatta, mely a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat célja egy AGV flotta irányítási stratégiáinak kidolgozása és megvalósítása volt szimulációs környezetben. Ehhez egy tesztgyár modellt hoztunk létre a Plant Simulation szoftverben, amelyben az AGV-k különböző szállítási feladatokat láttak el. A kutatás során kidolgoztunk és szimulációkkal teszteltünk különböző vezérlési stratégiákat, majd teljesítménymutatók segítségével értékeltük azokat.

Az eredmények alapján az előrejelző (think-ahead) irányítási stratégia bizonyult a leghatékonyabbnak, mivel minimalizálta a várakozási időket és maximalizálta a termelési kihatást. Ugyanakkor a különböző stratégiák teljesítménye függhet a gyár elrendezésétől és a termelési követelményektől, ezért további vizsgálatokra van szükség különböző gyártási környezetekben. Egy jövőbeli kutatás során érdemes lehet a módszert valós gyárak szimulációs modelljein is tesztelni, hogy pontosabb eredményeket kapjunk.

Az AGV-k optimális számának meghatározásához először egycélú optimalizálást végeztünk, amely során a kihatást maximalizáltuk. Ezt követően többcélú optimalizálásra tértünk át, ahol további szempontokat, például az útvonalak kihasználtságát is figyelembe vettük. A többcélú optimalizálást először szimulációs kísérletekkel végeztük el, majd genetikus algoritmus (GA) alkalmazásával is kerestük az optimumot. A GA bonyolultabb rendszerekben, nagyobb számú bemenő paraméterkombináció esetén gyorsabban talál megoldást, mint a minden paraméterkombinációt kiértékelő szimulációs kísérletek.

A tanulmányban bemutatott módszer nemcsak az AGV-k számának optimalizálására, hanem további jellemzők optimalizálására is alkalmazható, vagy vizsgálható az egyes optimumok függősége például a gyártórendszer elrendezésétől vagy a munkaállomások ciklusidejeitől. A dolgozat eredményei hozzájárulnak az AGV rendszerek tervezéséhez és irányításához, valamint bemutatják a szimulációs módszerek alkalmazásának előnyeit. A szimuláció segítségével összehasonlíthatók az egyes irányítási stratégiák, növelhető a termelés hatékonysága, és csökkenthetők a költségek. A tanulmány ezzel támogatja a modern gyártási folyamatok, a digitális gyártás és az Ipar4.0 irányelveinek gyakorlati megvalósítását, valamint ezek előnyeinek szemléltetését és kihasználását.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Tuan Le-Anh, M.B.M. De Koster. *A review of design and control of automated guided vehicle systems*. European Journal of Operational Research. Volume 171, Issue 1, 16 May 2006, pp. 1-23
- [2] Ivica Draganjac, Damjan Miklič, Zdenko Kovačič, Goran Vasiljević, Stjepan Bogdan. *Decentralized Control of Multi-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications*, IEEE Transactions on Automation Science and engineering, Vol. 13, No. 4, October 2016, pp. 1433-1447
- [3] Ronald J Mantel, Henri R.A. Landeweerd. *Design and operational control of an AGV system*. International Journal of Production Economics. Volume 41, Issues 1–3, October 1995, pp. 257-266
- [4] Poly Z.H. Sun, Jiapeng You, Siqi Qiu; Edmond Q. Wu, Pengwen Xiong, Aiguo Song. *AGV-Based Vehicle Transportation in Automated Container Terminals: A Survey*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 24, No. 1, January 2023
- [5] Tecnomatix Plant Simulation Help, <https://docs.plm.automation.siemens.com/> (Utolsó letöltés: 2024. 11.10).