

## GYÁRTÓSORI ANYAGELLÁTÁS HATÉKONYSÁGNÖVELÉSE MODELLTERVEZÉssel ÉS SZIMULÁCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

**Godó Tamás**

MSc hallgató, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [goditamas@gmail.com](mailto:goditamas@gmail.com)

**Veres Péter**

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail:

**Tóth Norbert**

tudományos munkatárs, Bay Zoltán Nonprofit Kft.  
3519 Miskolc, e-mail: [norbert.toth@bayzoltan.hu](mailto:norbert.toth@bayzoltan.hu)

### **Absztrakt**

*A szimulációs technikák már évtizedek óta rendelkezésünkre állnak és folyamatosan fejlődnek. Az Ipar 4.0 és Logisztika 4.0 elvein belül is nagy szerepet kapnak az újabb szimulációs technikák, amelyek nem csak a valóságot képezik le minél hűebben, hanem már közvetlen valós idejű kapcsolattal rendelkeznek egy rendszer döntésképeségének javítása érdekében. Ahhoz, hogy ezeket az elveket felhasználjuk a valóságban szükségünk van egy általánosított modellre, amely alapján egy gyártórendszer leképezhető. Jelen műben egy ilyen modell alapján mutatjuk be egy létező gyár belső logisztikai rendszerének a szimulációs vizsgálatát, amely elsősorban dolgozók feladatonkénti szétosztását és járműpark felülvizsgálatára koncentrál.*

**Kulcsszavak:** szimuláció, digitális ikerpár, Plant Simulation, járat tervezés

### **Abstract**

*Simulation techniques have been available for decades and are constantly evolving. Within the principles of Industry 4.0 and Logistics 4.0, newer simulation techniques play an important role, not only depicting reality as closely as possible, but already having a direct real-time connection to improve the decision-making of a system. To apply these principles in reality, we need a generalized model from which a manufacturing system can be mapped. In the present work, we made a simulation study based on our model of the internal logistics system of an existing factory, which focuses primarily on the distribution of employees by task and the review of the vehicle fleet.*

**Keywords:** simulation, digital twin, Plant Simulation, route planning

### **1. Bevezetés**

Napjainkban a vevői igények gyors és pontos kielégítése minden vállalat fő célja. Ezek az igények, egyre gyorsabban változnak, így ezt a változást a gyártóknak is minél jobban le kell követni, figyelve arra, hogy a termékek minősége ne változzon, és a profit se csökkenjen. Éppen ezért, a gyártó cégek előszeretettel alkalmazzák az Ipar 4.0 „új” technológiáit, amik segítenek javítani a termelékenységüket és megmutatják a rendszerhibákat [1,2].

Az új technológiák alkalmazásával a logisztika területén is paradigma-változás következett be. Napjainkban a gyártás és a logisztika tevékenységei még szorosabban összefüggenek, csak együtt kezelhetők. A vevői elégedettség fenntartásához és fokozásához a gyártóvállalatoknak egyre rugalmasabbnak kell lennie és egyre gyorsabban kell reagálniuk. Ez a rugalmasság és reagáló képesség azonban csak akkor fokozható, ha kiszolgáló tevékenységek, mint például a logisztika is ugyanolyan rugalmas, mint maga a termelés. A logisztika rugalmasságát a digitalizáció adja, amellyel elérhető, hogy az adatok és információk gyors, akár másodperceken belül továbbítási idejét teszi lehetővé [3].

Sok nagy cégnél már működik az adatgyűjtés, adatelemzés és ezen elemzések alapján hoznak döntéseket, amelyek mindig is utólagosan, gyakran pedig már későn születnek. Nem lenne jobb, ha a döntéseket már akkor meg tudnánk hozni, mielőtt még az alapjukat adó adatok a valóságban megszületnek? Ennek a kérdésnek a megválaszolására nyújt a szimuláció. A logisztika esetében jelenleg kétfajta szimulációról beszélünk [4]:

- *Tervezést, kivitelezést vagy gyártást megelőző szimuláció:* amely egy vállalat életében nagy döntések (permanens) előtt készülnek és a tervezettel hónapokig vagy évekig üzemel a vállalat.
- *Digitális ikerpár:* gyártásközi folyamatos szimuláció gyors döntésekre, amelyek percekkel vagy másodpercekkel egy esemény bekövetkezés előtt vagy után készítenek döntéseket.

A mai fejlődő vállalatok szinte már mindent tudnak a gyártósoraikról, raktáraikról, beszállítóikról vevőikről és úgy általában a folyamataikról. Ha ezeket az adatokat megfelelő módon implementálják bizonyos szoftverekbe, máris megkaphatják a vállalatuk digitális ikertestvérét, ami ugyanúgy fog működni, mint a valós vállalat. Ha pedig a jövőbeli adatokat is meg tudják határozni, akkor a rendszerük jövőbeli működéséről is képet kaphatnak, ezek alapján pedig már idő előtt meghozhatnak olyan döntéseket, amiknek majd csak a jövőben fogják érezni a pozitív hatásait.

A cikkben egy ilyen fejlődő vállalat tervezett anyagellátási rendszerét fogom ismertetni és a Plant Simulation szoftver segítségével modellezem is azt, majd a modell segítségével meghatározom a tervezett rendszer főbb mutatószámait és javaslatot teszek bizonyos változó paraméterek értékeire.

## 2. Irodalomkutatás

A szimuláció nem új technológia. Több mint száz éve tekintetnek rá külön tudományágként, azonban csak az elmúlt 40-50 évben létezik a számítógépes vagy szoftveres szimuláció. Előtte fizikai modelleket alkottak, amelyek hasonló tulajdonsággal rendelkeztek, vagy prototípusokat készítettek és különböző környezetbe helyezték őket, hogy megvizsgálják a viselkedésüket [5]. Az egyik legjobb példa erre egy járműnek a szélsőséges vizsgálatát kicsinyített modellen, amelyet a mai napig használnak, de inkább már csak az eredmény ellenőrzésére, mert a formatervezést és a test alakjának finomítását legtöbbször áramlástechnikai szimulációs szoftverek segítségével végzik el [6]. A logisztika területén sajnos nagyon nehéz és elsősorban költséges olyan fizikai modell készíteni, amely képes lenne szimulálni egy teljes gyár működését, ezért ameddig a szoftveres szimulációk meg nem jelentek, nem voltak képesek teljes rendszert lefedő szimulációt készíteni [4], azonban léteztek kiértékelési formák, amelyeket Jack P.C. Kleijnen a következő típusokba sorol be [7]:

- táblázatkezelő szimuláció,
- rendszerdinamika,
- diszkrét esemény szimuláció és
- üzleti játékok.

Azt, hogy ezek közül melyet használjuk egy szituációra csak kérdések sorozata után lehet meghatározni, amelyek figyelembe veszik többek között a vállalat nagyságát, felépítését, logisztikai területeit és

a vezető ambícióit, mint általános kérdések, de felmerülnek validálással és ellenőrzéssel, érzékenységgel, optimalizálással és robusztussági elemzésekkel kapcsolatos speciális kérdések is.

A továbbiakban a szoftveres modellezés és szimulációt fogjuk tovább tagolni, amelyet jelenleg a hétköznapi nyelvben csak egyszerűen szimulációnak hívunk. A szimuláció területén jelenleg két hasonló technológia is létezik, amelyek felépítésre nagyban hasonlítanak egymásra, viszont céljukat tekintve jelentősen különböznek.

**Tervezést, kivitelezést vagy gyártást megelőző szimuláció:** Amikor szimulációs technikáról beszélünk a logisztika területén erre a fajtára fog elsődlegesen gondolni. Ennek a szimulációnak a célja a felülvizsgálás és kiértékelés. A szimulációnak valós rendszerek és folyamatok adják az alapját, ezeket kell úgy leképezni a virtuális térben, hogy működésük megegyezzen a valós rendszer működésével. Akkor szokták elvégezni, ha új rendszer telepítenek vagy már meglévő rendszert szeretnének módosítani. Ilyenkor általában több verziót készítenek tervek és ötletek alapján, amelyet különböző paraméterek és kritériumok alapján összevetnek és kiválasztják az ideális módosítást. Nagyon oda kell figyelni a tervezést megelőző paraméterek meghatározására és adatgyűjtésre, ugyanis, ha nem reprezentatív adatokkal dolgozik a szimuláció, akkor a későbbiekben a gyártásban komoly gondok léphetnek fel.

**Digitális ikerpár:** A digitális iker a valós világ tükörképe, amely a fizikai rendszerek és folyamatok modellezésére előrejelzésre és optimalizálására szolgál. A digitális iker és az intelligens algoritmusok segítségével a cégek meg tudják valósítani az adat vezérelt működés-megfigyelést és optimalizálást, ezáltal innovatív termékeket és szolgáltatásokat fejleszhetnek [8]. A technológiát a repülés világában használták először, manapság a szimuláció következő generációjának tekintik [9]. Más megközelítésben a fizikai és virtuális terek közti konvergencia elérését szolgálja. A szimulációval ellentétben a digitális iker nem a „Mi lenne, ha...?” típusú kérdésekre ad választ, hanem előrejelzésre, diagnosztikára és vezérlésre használják [10]. A kiber-fizikai rendszerek magukba foglalják a digitális ikerpárt és annak fizikai megvalósulását. A technológia célja az lenne, hogy a gyártás minden szinten intelligenssé váljon, kezdve a fizikai eszközöktől egészen a termelési hálózatokig, képességet szerezve az önálló tanuláshoz. A 4. ipari forradalom egyik vívmányának is tartják ezt a technikát, pedig a koncepciója bőven a szoftveres szimuláció előttre nyúlik vissza. Elég csak a vasúti forgalomirányító elektromos táblákra gondolni [11]. Az újdonságát azonban nem a koncepció adja, hanem a felhasználási módja, amellyel teljesen automatikus gyártó és szolgáltató rendszereket is ki lehet építeni és megoldható a segítségével a szinte tökéletes nyomkövetés és mozdulatközi (valós idejű) optimalizáció. Ez a legfőbb különbség a tervezést, kivitelezést vagy gyártást megelőző szimulációhoz képest, ugyanis míg ott előre kell az adatokat lekérdezni és feldolgozni, jelen esetben a digitális iker folyamatosan a rendszertől kapja az adatokat.

A két új technológia fejlődésével a gyártó vállalatok jelentősen növelni tudják hatékonyságukat és termelékenységüket - ezáltal piaci előnyre tehetnek szert - így előszeretettel alkalmazzák ezeket a modelleket. [12]

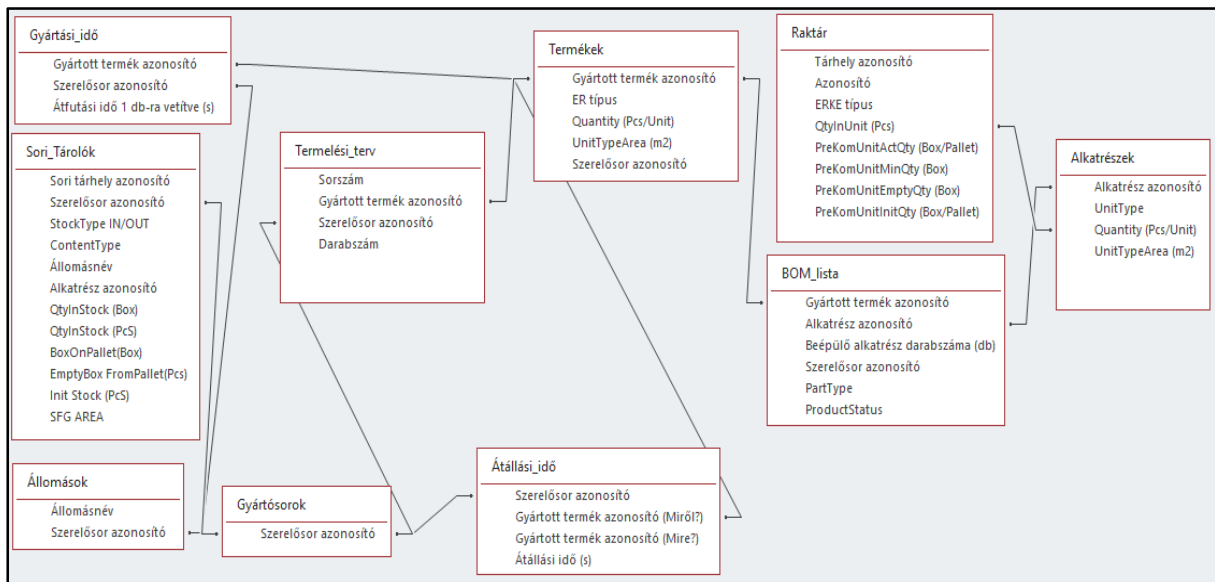
### 3. Modellbemutató

A modell építésének célja az volt, hogy meghatározzuk a jövőbeli rendszer kulcsfontosságú teljesítménymutatóit, illetve, hogy javaslatot adjunk a változtatható paraméterek értékeire.

#### 3.1. Modellben használt adatok bemutatása

A szimulációs modell építése előtt elsődleges feladat volt azoknak a bemenő statikus rendszerparamétereknek a meghatározása, ami alapján a rendszer működik. A bemenő paraméterek meghatározása a célparaméterek figyelembevételével, a modellezési szoftverkörnyezet adatszükségletén alapul.

Az anyagáramlási rendszer megfelelő absztrakciós szintű leképezéséhez az alábbi adatigénylő lapokat hoztam létre, amelyekkel a bemenő adatok strukturáltan, rendszerbe foglalva kezelhetők.



1. ábra. Bemenő adatok relációs modellje

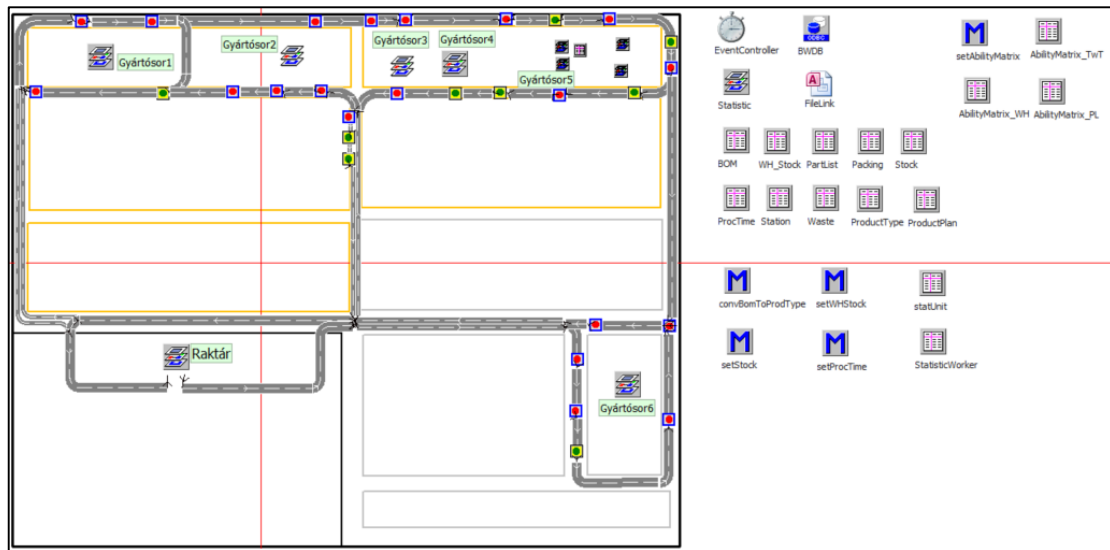
A relációs modellben meghatározott adatok mellett szükséges a tervezett csarnok és azon belül a modellezendő objektumok elhelyezkedése, vagy más néven a csarnok layoutja. Ezen adatok segítségével a modellezés a megfelelő absztrakciós szinten elvégezhető, ezáltal az rendszerből kapott eredmények alkalmasak a jövőbeli rendszer jellemzésére.

A kapott adatok mennyisége alapján a bemenő paramétereket nem volt szükséges külön adatbázis rendszerbe exportálni, azok mennyisége és kapcsolati rendszere kezelhető volt a modellen belül is. További előnye a modellben való leképezésnek, hogy a szimuláció indítása során, az adatokat jóval gyorsabb belső táblákból behívni, mint egy külső rendszerből való lekérdezést elvégezni.

A modellezés kezdeteként létrehoztam az 1. ábrán szereplő adattáblák modellbeli megfelelőit (2. ábra), így a továbbiakban a bemeneti adatokat már a modellen belülről el lehet érni.

### 3.2. Az elkészült modell bemutatása

A rendszer modelljét a Plant Simulation szoftver 14-es verziójával készítettem. Első lépésként a kapott layout-ot háttérként illesztettem be a fő Frame-re, majd ennek a háttérnek a segítségével felépítettem a rendszer úthálózatát a milkrun járat megállóival együtt. A layout és az utak figyelembevételével lettek behelyezve a modellezett gyártósorok. Minden gyártósor külön frame-re került, elősegítve az egyszerűbb kezelést.



2. ábra. A kész modell fő Frame-je

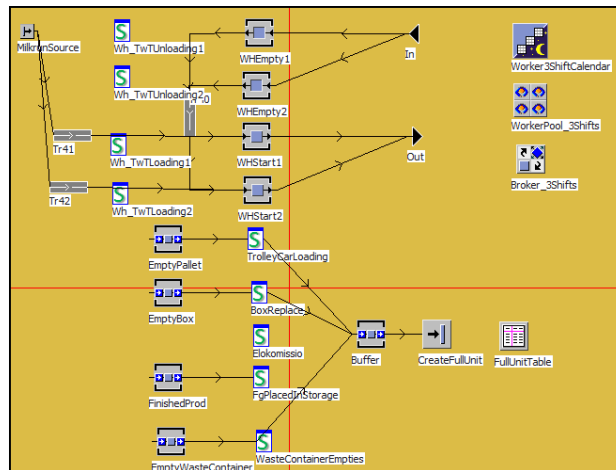
A 2. ábrán látható módon a fő felületen a gyártósorok és az utak mellé lett beillesztve a raktár objektum is. Hasonlóan a gyártósorokhoz a raktár is külön framen lett modellezve.

A modell kezdőképernyőjén kaptak helyet azok a táblázatok és metódusok, amelyeket a modell indítása előtt ki kell tölteni, illetve le kell futtatni.

### 3.2.1. Rendszerelemek modellezése

- Gyártósorok modellezése: A gyártósorok modellezése során figyelembe vettem, hogy nem szükséges a sorok pontos munkahely vagy gép alapú leképezése, mivel a gyártásnak csak az alkatrész-fogyás, illetve a késztermék elkészülés ütemét kell diktálnia. A gyártósor az alábbi folyamatokat látja el:
  - Gyártási folyamat: A *Process* objektum valósítja meg a tényleges gyártást, itt annyi időt tölt a termék, amennyi idő alatt a valóságban legyártódik. Ha a legyártott késztermékek darabszáma eléri a csomagolási egységben meghatározott mennyiséget, a *moveProduct* metódus alapján egy egységnyi késztermék generálódik.
  - Alkatrész felhasználás: A gyártás a termék típusának megfelelően, a *BOM* lista alapján, a szükséges alapanyagot használja fel, ami a sori készlet csökkenését idézi elő. Amikor a sori tárolóban valamelyik dobozban vagy raklapon tárolt alkatrész mennyisége az alkatrészfogyás következtében eléri a 0-t, akkor az az egység kiürül. Az üres egységek kezelése emberi tevékenységet indukál.
- Egységgrakományok modellezése: A rendszerben mozgó alapanyagok nagy mennyisége miatt nem lett lekezelve minden darab egyesével, hanem minden alkatrész tárolóegységének tulajdonsága tartalmazza az adott tárolóban lévő anyag információit és mennyiségét.
- Milkrun járat modellezése: A milkrun járat modellezésére a Plant Simulation beépített objektumát használtam. A *transporter* MU tudja azokat a feladatokat, amiket az általam vizsgált rendszerben mozgó vontató végez. A milkrun járat előre meghatározott utat jár be, a megfelelő helyeken anyagot tud felvenni, vagy lerakodni.

- **Állomások modellezése:** Az állomásokat a gyártósorokhoz hasonlóan külön frame-n készítettem el. Ennek oka, hogy sok ugyanolyan állomás van és így elég csak a kész Station objektumot behelyezni a fő frame-be. Az állomások a fő ablak útjaihoz interface objektumokkal kapcsolódnak, ezek biztosítják az átjárást a különböző rétegek között.
  - **Alkatrészrakodási folyamat:** Az alkatrészrakodási folyamat az út beépített szenzoránál történik a szenzor kontroll alkalmazásával. A milkrun járat a szenzornál megáll és megnézi mit kell leraknia, illetve felvennie az adott állomáson. A lepakolás és a felpakolás humán erőforrást igényel, így ezt a szolgáltatást is külön modelleztem.
- **Raktár modellezése:** A gyártósorok modellezésénél látható, hogy nem volt szükséges a gyártási folyamat tökéletes leképezése. A milkrun járat esetében azonban már fontos volt a minél pontosabb modellezés, mert a jármű statisztikai adatai a feladat legfontosabb kérdéseire adnak választ. A raktár a másik olyan objektum, aminek a leképezését olyan szinten kell megoldani, hogy a feltett kérdésekre választ lehessen adni. Ennek érdekében a modellben az alábbi módon készítettem el az objektumot:



3. ábra. Raktár objektum felépítése

A raktár objektum különösen fontos a statisztikai mutatók meghatározása szempontjából, így a raktári folyamatok pontos leképezése elengedhetetlen. A leképzett folyamatok az alábbiak:

- **Vontató indítás:** A szimuláció indításakor a raktári *MilkrunSource* objektum legenerálja az előzetesen beállított vontató darabszámot és felparaméterezi azokat a megfelelő tulajdonságokkal. A forrás belépési kontrollja rendeli hozzá a célállomások listáját a vontatóhoz. Miután az összes paraméterét megkapja, egy *Track*-en keresztül a megfelelő *WH\_Start* objektumba halad. Innen indul tovább a következő állomáshoz.
- **Vontató lepakolás:** A milkrun járat a *destinationlist* alapján bejárja az állomásokat, ahonnan készterméket, üres egységakomány-képző eszközöket, vagy hulladékos konténert hoz vissza a raktárba. A raktárban a *WH\_Empty* objektumra érkezik be a vontató. A lepakolás a sori rakodási tevékenységekhez hasonlóan itt is emberi segítséget igényel, ezért erre a célra külön emberi szolgáltatást hoztam létre.
- **Vontató felpakolás:** A lepakolást követően a vontató a következő állomása a *WH\_Start* objektum érkezik. Mivel a felpakolási feladat is emberi munkavégzést igényel, így ide is egy szolgáltatás lett behelyezve.

- Raktáron belüli folyamatok: A lepakolási fázisban az egységek rögtön szortírozásra is kerülnek, attól függően, hogy milyen műveletet kell elvégezni rajtuk. Ezek a műveletek a következők:
  - Üres egységek cseréje: Az üres ERKE-k a raktárban kétféle formában jelenhetnek meg. Vagy üres raklap érkezik, vagy pedig üres doboz. Mindkét tárolási formát külön szolgáltatás kezel le. A két szolgáltatásban az üres egységeket a raktárból teli egységekre cserélik.
  - Előkommissiózás: A dobozos termékek a beszállítótól nem előre dobozolva érkeznek, hanem raklapon ömlesztve. Az ömlesztett alapanyagokat, a dolgozóknak kell kikommissiózni olyan mennyiségben, hogy az a termelésbe beszállítható legyen. A kommissiózást a teli dobozok fogyása indukálja. Ha egy előre meghatározott szint alá esik a dobozok száma, akkor a dolgozóknak kommissiózni kell. A folyamat alapját a raktári készlet (*WH\_Stock*) tábla adja.
  - Késztermék betárolás: A raktári dolgozók végzik a késztermékek betárolását is. A szimulációban az alábbi szolgáltatással modelleztem a betárolási műveletet:

### 3.2.2. Emberek modellezése

A dolgozók modellezése a *Plant Simulation* szoftverben jól kezelhető. Megvan a saját objektum könyvtára, amivel a különböző emberi munkavégzést megvalósító folyamatokat modellezni lehet.

Az egyik legfontosabb objektum a *WorkerPool*. Itt lehet beállítani, hogy hány ember, milyen műszakokban és milyen képességekkel dolgozzon a modellben. A vizsgált rendszerben sok ember és sokféle képességgel szerepel, ezért külön táblázatokat készítettem az emberek képességeinek összeállításához. Az embereket 3 csoportra osztottam: sori dolgozók, milkrun járat vezetők és raktári dolgozók. A raktári dolgozóhoz kapcsoltam a raktárban működő villástargoncát is. A csoportokhoz elkészítettem a már korábban ismertetett képességmátrixokat, ennek előnye, hogy gyorsan és egyszerűen lehet az adatokat változtatni, így egyszerűen futtatható a szimuláció új paraméterek megadásával. A 3 mátrix összesítve kerül be a *WorkerPool* objektumba.

Az erőforrások és feladatok összerendelését a *Broker* objektum végzi, figyelembe véve, azt, hogy az adott dolgozó el is tudja végezni a feladatot.

Az erőforrások műszakrendjének beállítását itt is a *ShiftCalendar* objektum irányítja.

A feladat szempontjából fontos volt, hogy minden embert külön azonosítani lehessen, ezért a modellbeli dolgozók egyedi nevet kaptak, amivel a későbbi statisztikai táblákban azonosítani lehet őket.

A munkahelyek kijelölésére a *Workplace* objektumot használtam, ahol megadtam, hogy az adott feladatot milyen képességekkel bíró dolgozó végezheti. Ahol több dolgozó is végezheti ugyanazt a folyamatot párhuzamosan, ott annyi *station*-t és munkaállomást alakítottam ki, ahány dolgozó maximálisan ott lehet egy időben.

A kezdeti modellváltozatban minden sornak egyedileg dedikált dolgozói voltak, akik csak az adott sorhoz tartozó egységeket kezelték. A dolgozók három nagyobb csoportba sorolhatók: sori anyagmozgatást segítő, raktári tevékenységeket végző, illetve kiszállítást végző dolgozó. A modellezett feladatok előre meghatározott képességmátrix alapján tudják elvégezni a megadott pontokon.

## 4. Eredményadatok struktúrájának bemutatása

A szimuláció futtatása során a rendszer már önmagában is sok adatot gyűjt, de ezen felül a modellben további adatgyűjtő pontok kerültek beépítésre, amelyek az emberi munkavégzés minél pontosabb kiértékelését teszik lehetővé. A statisztikai adatokat, azok mennyisége miatt egyszerűbb volt adatbázis rendszerbe exportálni (erre az ODBC kapcsolat adott lehetőséget) és a megfelelő lekérdezéseket, rendezéseket, összerendeléseket ott elvégezni. A kapott eredménytáblák innen egyszerűen visszakaphatók és a *Plant Simulation* vizuális megjelenítője, segíti a kapott eredmények feldolgozását.

- *gyártási adatokra vonatkozó mutatószámok:* A gyártásra vonatkozó mutatószámok azért fontosak, mert ezzel tudjuk ellenőrizni, hogy a sorok megfelelően generálják az alkatrészfogyasztást, ami indukálja a kiszállítást és a sori dolgozói feladatokat. Ennek mérésére a gyártott darabszám, illetve a sorkihihasználtság szolgál. Amennyiben a modell által legyártott késztermék darabszám megegyezik a tervezettel, úgy az alkatrészfogyasztást valószínűleg tekinthetjük. A sorkihihasználtság a gyártósorok időbeli leterheltségét mutatja, ami szintén lehet összehasonlítási alap.
- *készletekre vonatkozó mutatószámok:* A kapott készletdiagramok jellemzik az anyagkiszolgálási rendszer hatékonyságát. Amennyiben a diagramokon negatív készlet szint jelenik meg, az anyaghiányt jelent, ami azt jelenti, hogy a milkrun járat nem képes a sor megfelelő színvonalú ellátására. A készletre vonatkozó eredmények másik felhasználási lehetősége, a sori tárolók optimális méretének meghatározása. A készletek minimum és maximum szintjéből következtethető, hogy milyen mennyiségű készletet érdemes a sor mellett felhalmozni.
- *vontatóra vonatkozó mutatószámok:* Az anyagellátást végző vontatótargonca jellemzésére a rakodó terület kihasználtsága alkalmazható. Ebből megállapítható, hogy az adott járatot mennyire terheli le a hozzárendelt sorok ellátása. A mutatószám meghatározásához a megállóknál mért pillanatnyi kihasználtsági adatokat lehet felhasználni. A vontató átlagos kihasználtságát raklapon esetre az alábbi képlet alapján lehet kiszámítani:

$$U = \frac{A \cdot 0,25 + B \cdot 0,5 + C \cdot 0,75 + D \cdot 1}{A + B + C + D} * 100 \quad (1)$$

ahol:

- *U - milkrun járat kihasználtsága adott egységre vonatkoztatva [%]*
- *A - azon esetek száma, ahol 1 raklap van a vontatón [db]*
- *B - azon esetek száma, ahol 2 raklap van a vontatón [db]*
- *C - azon esetek száma, ahol 3 raklap van a vontatón [db]*
- *D - azon esetek száma, ahol 4 raklap van a vontatón [db]*

Dobozos esetekre vonatkoztatva a képlet felépítése hasonló, a 0,25, 0,5, 0,75, 1 számok változnak, az aktuális csoportra vonatkoztatott kihasználtsági arányra.

- *emberekre vonatkozó mutatószámok:* Az emberi munkavégzésre vonatkozóan a modell statisztikát készít a dolgozók által végzett tevékenységek megoszlásáról. Vizsgálja, hogy a munkaidejükben milyen szolgáltatásokban vettek részt, ezek egymáshoz viszonyított arányát, illetve, hogy az idejük hány százaléka szabad kapacitás. A kapott eredmények a dolgozók számának csökkentésének, illetve növelésének, vagy a feladatok átadásának alapját adhatják.
- *anyagmozgásra vonatkozó mutatószámok:* Az anyagmozgatási mutatószámok a dolgozói létszám változtatásának hatását tudja kimutatni. Amennyiben mozgatott egységek száma nem változik egy létszámcsökkentés során, úgy kevesebb dolgozó is képes ellátni ugyanazokat a feladatokat.

## 5. Esetek összehasonlítása

A modellezett rendszerre vonatkozó eredménymutatók elsősorban a termelési rendszer leterheltségétől függenek. A szimulációs vizsgálat során egy korábbi, már megvalósult termelési terv adatait használtam fel és az erre vonatkozó eredmények felhasználásával javaslatot adtam a rendszer hatékonyságának növelésére.



### 5.1. Vontató darabszámokra és utakra vonatkozó vizsgálatok

Az üzemben mozgó anyagkiszolgálást végző vontatótargoncák számának és útjának meghatározása is a feladatok között szerepelt. Az 1. modellváltozatban a legegyszerűbb esetet tétéleztem fel, minden sort ugyanaz a milkrun járat lát el. A modell futtatása során hamar eldőlt, hogy ez a változat nem kivitelezhető, mert sok esetben készlethiány alakult ki, ami sorálláshoz vezetett. Ennek eredményeképp a járatok számát megemeltem, így 2 vontató végezte a kiszállítást. A kétvontatós esetet további két modellváltozatra bontottam annak függvényében, hogy mely vontató mely sorokat látja el.

Felhasználva, hogy a régi gyáregységben hogyan mozgott a milkrun a 2. modellváltozatban az egyik vontató (V2) a régi sorokat, a másik (V1) az új sorokat látta el.

A második változat eredményeit felhasználva a 3. változatban a sorok területi elhelyezkedését figyelembe véve a terület felső részén elhelyezkedő sorokat látja el az egyik vontató, a másik pedig az alsó 6. sor ellátásában vesz részt. A szimuláció milkrunokra vonatkozó eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Milkrun járat változatok összehasonlítása

Vontatószám	1. modellváltozat	2. modellváltozat		3. modellváltozat	
	1 db	2 db		2 db	
		V1	V2	V1	V2
<b>Kihasználtság (raklap)</b>	81,41%	48,01%	43,12%	34,18%	47,33%
<b>Kihasználtság (doboz)</b>	55,6%	25,27%	32,71%	14,77%	42,79%
<b>Köridő(k)</b>	22,12 perc	11,88 perc	12,24 perc	6,98 perc	13,03 perc
<b>Időben el nem szállított egységek</b>	80257 db	232 db		289 db	
<b>Okozott-e készlethiányt?</b>	Igen	Nem		Nem	

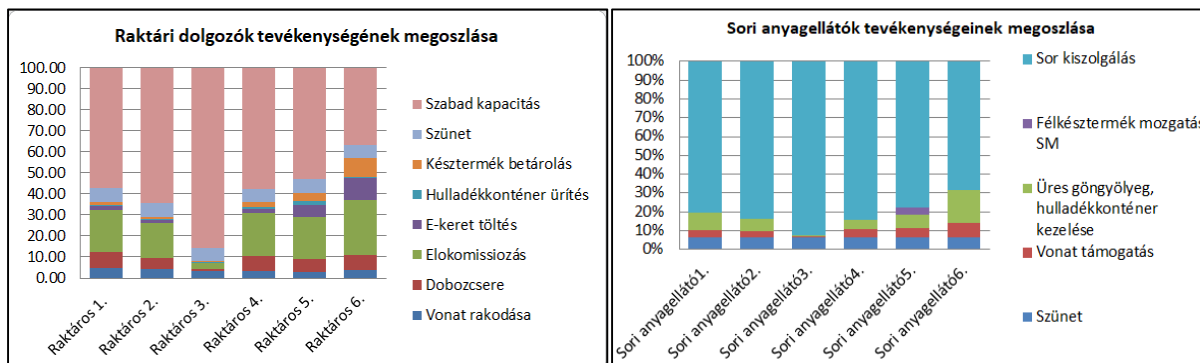
Az 1. táblázat alapján megállapítható, hogy az 1. változatban szereplő vontató még a **több mint 80%-os** kihasználtság (raklap) sem tudja ellátni az összes gyártósort, úgy, hogy ne okozzon készlethiányt, ezzel sormegállást. A 2. és 3. modellváltozat közel azonos eredményeket hozott, a kihasználtsági adatok áttolódtak a 2. vontatóra, de ez nem okozott készlethiányt a soroknál. Továbbá ebben a változatban az 1. vontató körideje majdnem 5 perccel lecsökkent, ami azt jelenti, hogy rövidebb köröket tett meg, többször, így egyenletesebb lett a sorkiszolgálás. Nem elhanyagolható, hogy a 3. változatban fel szabadult kapacitásokat a jövőbeli új sorok ellátására is fel lehet használni.

Mindezeket összevetve a három verzió közül a **3. modellváltozatot javasolom** megvalósításra, tehát a rendszerben két vontató végzi a sorkiszolgálást, az egyik az 1., 2., 3., 4., és 5. gyártósorokat látja el, a másik a 6. sort.

### 5.2. Emberekre vonatkozó változatok összehasonlítása

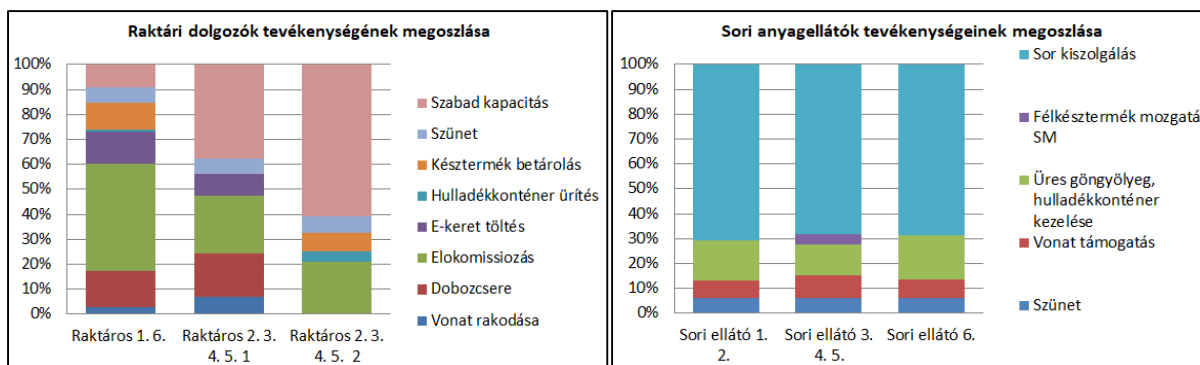
Az emberi munkavégzés az anyagellátó rendszer szerves részét képezi. és annak hatékonyságát nagyban befolyásolja. Az 1., 2., és 3. modellváltozat esetében az emberi munkavégzés ellátási rendszerre gyakorolt

hatásának kiküszöbölésére a humán erőforrások számát úgy határoztam meg, hogy azok kapacitása maximális felül lett méretezve. Minden sor külön dolgozót kapott a raktári feladatokra, illetve sori logisztikai tevékenységek elvégzésére. Ennek (A modellváltozat) az eredményei a következő ábrán láthatóak.



4. ábra. Dolgozók tevékenység-megoszlása (A modellváltozat)

A 4. ábrán látható adatok elemzése során arra a megállapításra jutottam, hogy a hatékonyság növelése érdekében bizonyos tevékenységeket át lehet adni más dolgozóknak, így erőforrást lehet felszabadítani. A raktári dolgozók esetében az eddigi műszakonkénti 6 ember helyett elegendő 3 embernek a raktárban dolgozni, míg a soroknál szintén 6 ember helyett 3 dolgozó is el tud látni ugyanennyi munkát. A modellben el a változatot B-vel jelöltem, ennek az esetnek az eredményei az 5. ábrán láthatóak.



5. ábra. Dolgozók tevékenység-megoszlása (B modellváltozat)

Az változatokat táblázatos formában hasonlítottam össze:

2. táblázat. Dolgozókra vonatkozó modellváltozatok összehasonlítása

	A. modellváltozat	B. modellváltozat
Sori dolgozók száma	6 ember/ műszak	3 ember / műszak
Raktári dolgozók száma	6 ember / műszak	3 ember/ műszak
Vonatvezetők száma	2 ember / műszak	2 ember / műszak
Össz dolgozólétszáma	35 ember	20 ember
Raktári feladatok ellátása	megfelelő	megfelelő

Az eredményeket látva egyértelmű, hogy a **B modellváltozatot** javaslom.

## 6. Összefoglalás

Jelen munka a Godó Tamás által készített „Gyártósori anyagellátás hatékonyságnövelése modell tervezéssel és szimuláció alkalmazásával” című TDK dolgozat kivonata [1]. A munkában bemutattuk a szimulációk fajtáit és ismertettük a jelentőségüket, amely a különböző szintű döntéshozatalokban jelentősen növelhetik egy rendszer hatékonyságát és a vállalat versenyképességét. Létrehoztunk egy olyan általános modellt, amely alapján egy gyártórendszer szimulációját képesek lehetünk elkészíteni és a különböző változtatásokat könnyedén összevetni. A modellt felhasználva képesek voltunk egy létező vállalat két problémájára konkrét megoldást találni. Az egyik problémánál a milkrun járatokban futó vontatók számának és útvonalának a meghatározása történt, amelynél a kihasználtság növelése, a köridők csökkentése és a késedelem miatti készlethiány csökkentése voltak az elsődlegesen szempontok. A másik a probléma a raktári dolgozók munkájának és feladatkörének az optimalítása volt, ahol a szabad kapacitások egyenlő elosztása és az effektívebb munkavégzés volt a cél. Mindkét problémára találtunk olyan megoldást, amely jobb, mint a jelenlegi.

## 7. 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] Godó, T.: *Gyártósori anyagellátás hatékonyságnövelése modell tervezéssel és szimuláció alkalmazásával*, TDK dolgozat, 2020
- [2] Hardai, I., Illés, B., Bányainé, T. Á.: *Áttekintés az Ipar 4.0 nyújtotta lehetőségekről*, *Gépgyártás* 2019, 58(1-2):45-52.
- [3] Yasanur, K.: *Sustainability impact of digitization in logistics*, *Procedia Manufacturing* 2018, 21:782-789. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.184>
- [4] García-García, J. A., Enríquez, J. G., Ruiz, M., Arévalo, C., Jiménez-Ramírez, A.: *Software process simulation modeling: Systematic literature review*, *Computer Standards & Interfaces* 2020, 70:103425. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103425>
- [5] Stribersky, A., Rulka, W., Netter, H., Haigermoser, A.: *Modeling and simulation of advanced rail vehicles*, *IFAC Proceedings Volumes* 1997, 30(8):473-478. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)43866-3](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)43866-3)
- [6] Abdul Ghania, S. A. A., Aroussia, A., Riceb, E.: *Simulation of road vehicle natural environment in a climatic wind tunnel*, *Simulation Practice and Theory* 2001, 8(6-7):359-375. [https://doi.org/10.1016/S0928-4869\(00\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0928-4869(00)00028-8)
- [7] Jack P.C. Kleijnen: *Supply chain simulation tools and techniques: a survey*, *International Journal of Simulation and Process Modelling* 2005, 1(1-2):1. <https://doi.org/10.1504/IJSPM.2005.007116>
- [8] Sass, H., Bányai, T.: *A digitális iker logisztikai alkalmazásának lehetőségei a negyedik ipari forradalom keretében*, *Multidiszciplináris tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye* 2020, 10(2):43-47. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2020.2.7>

- [9] Mandolla, C., Petruzzelli, A. M., Percoco, G., Urbinatib, A.: *Building a digital twin for additive manufacturing through the exploitation of blockchain: A case analysis of the aircraft industry*, Computers in Industry 2019, 109:134-152.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.011>
- [10] Ait-Alla, A., Kreutz, M., Rippel, D., Lütjen, M., Freitag, M.: *Simulation-based analysis of the interaction of a physical and a digital twin in a cyber-physical production system*, IFAC-PapersOnLine 2019, 52(13):1331-1336. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.383>
- [11] Dever, J.: *TDC 2000 digital instrumentation system*, IFAC Proceedings Volumes 1978, 11(1):2193-2200. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)66204-9](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)66204-9)
- [12] Tamás, P.: *Simulation investigational method for determining the performance characteristics of logistics systems*, Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah 2020, 92:188-196.  
<https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.92.20>