

A Miskolci Egyetem Habilitációs Füzetek
Informatikai Tudományok Tudományági Habilitációs Bizottság



INNOVATÍV SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK A LOGISZTIKÁBAN

Tudományos munkásság áttekintő összefoglalása

Készítette

Dr. Tamás Péter

dékánhelyettes, intézetigazgató egyetemi docens
aki az

Informatikai Tudományok Tudományágban
habilitáció elnyerésére pályázik

Miskolc

2020.

TARTALOM

ELŐSZÓ	3
1. LOGISZTIKAI RENDSZEREK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI.....	5
1.1. Tudományos előzmények, célkitűzések	5
1.2. Működési jellemzők meghatározásának szimulációs vizsgálati módszere	6
1.2.1. Szimulációs vizsgálati folyamat ismertetése	6
1.2.2. Szakaszos gyártórendszerek szimulációs vizsgálati módszere.....	12
1.2.3. Elektronikai termékek tesztelési folyamatának szimulációs vizsgálati módszere	20
1.3. Optimális működési alternatíva kiválasztásának szimulációs vizsgálati módszere.....	23
1.3.1. Gyűjtő- elosztó anyagáramlási rendszerek szimulációs vizsgálati módszere.....	26
1.3.2. Optimális raktári anyagmozgatási stratégia kiválasztásának szimulációs vizsgálati módszere.....	31
1.4. Működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszer	34
1.5. Elért eredmények hasznosulása	38
2. LEAN ESZKÖZÖK HATÉKONYSÁGNÖVELESE SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATI MÓDSZER ALKALMAZÁSÁVAL	39
2.1. Tudományos előzmények, célkitűzések	39
2.2. Értékfolyamat térképezés módszerének hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer felhasználásával.....	40
2.3. Kanban rendszer megvalósításának hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer felhasználásával	46
2.4. SMED módszer hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer felhasználásával ...	52
2.5. Elért eredmények hasznosulása	58
3. KUTATÁSI TERVEK	59
ÖSSZEFOGLALÁS	60
SUMMARY.....	61
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	62
PHD VÉDÉST KÖVETŐ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK.....	63
FELHASZNÁLT IRODALOM	65

ELŐSZÓ

Napjainkban egyértelmű trendként fogalmazható meg a vevői igények diverzifikációja, amelynek hatásaként csupán azon vállalatok tudnak versenyképesek maradni, amelyek alacsony költség és/vagy magas minőségi színvonal mellett képesek a vevők által igényelt sokszor egyedi termékek előállítására. Amennyiben ezt a logisztika nyelvére le szeretnénk fordítani, akkor ez azt jelenti, hogy folyamatosan növekszik a kezelendő terméktípusok száma, így a logisztikai rendszerek komplexitása is [1-3]. A komplex anyagáramlási rendszerek vonatkozásában többféle termékcsalád termékeinek párhuzamos gyártása, logisztikai kezelése valósul meg, melyekhez különböző:

- sokszor egymást keresztező anyagáramlási folyamat,
- technológiai berendezés beállítás,
- termelési terv,
- anyagmozgató gép,
- egységrakományképző eszköz,
- kiszolgáló személyzet tartozhat.

Ebben a piaci környezetben kijelenthető, hogy a vállalatok legfőbb célkitűzése az egyedi gyártás megvalósítása a tömeggyártásra jellemző fajlagos költséggel, termelékenységssel. Ezen célok elérése szinte lehetetlennek tűnik, de számos tényező segíti a megvalósulást. A 4. ipari forradalomként fémjelzett új korszak eredményeként több olyan eszköz (kiberfizikai rendszerek, big data, IoT, stb.) jelent meg, melyek hozzájárulhatnak a fentiekben nevezett célok eléréséhez.

Elmondható, hogy az új intelligens anyagmozgató gépek, technológiai berendezések, szenzorhálózatok kifejlesztése, valamint a szimulációs vizsgálati és folyamatfejlesztési módszerek újragondolása ezen új korszak legfontosabb kihívásai közé tartoznak. Amennyiben a szimulációt szeretnénk megfogalmazni, akkor az egy olyan módszer, amely alkalmas folyamatok és rendszerek valósághű modellezésére, így értékelhetővé válik azok állapotváltozása [1, 4].

A PhD dolgozatom megvédését követő időszakban számos logisztikai területen végeztem kutatási feladatokat, ugyanakkor két olyan terület nevezhető meg, amelyeken jelentősnek mondható oktatási- és kutatási eredményeket is elértem. Ezen területek a szimulációs vizsgálati módszerek kidolgozása, adaptációja különböző logisztikai rendszereknél, valamint a lean folyamatfejlesztés. Az orientálódást ipari kutatási projekteken való részvétel (pl. Audi Hungaria Motor Kft., Linamar Hungary Zrt., Claas Hungária Kft. részére végzett kutatások, stb.), valamint ipari szereplőkkel történő konzultációk indukálták. Az említett területeken új tárgyakat dolgoztam ki, valamint kezdeményeztem egy BSc specializáció és három szakirányú továbbképzési

szak elindítását, melyek kialakításában, későbbi működtetésében vezető szerepet vállaltam. Valószínűsíthető, hogy a folyamatok komplexitásának, valamint a vizsgálatokhoz felhasználható adatok körének és mennyiségének növekedésével az általam kutatott területek szerepe a jövőben is meghatározó lesz.

A PhD fokozat megszerzését követően végzett tevékenység összefoglalását két témakörben tárgyalom, melyek:

- a logisztikai rendszerek szimulációs vizsgálati módszerei,
- a lean eszközök hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálat alkalmazásával.

A logisztikai rendszerek szimulációs vizsgálati módszerei kapcsán a működési jellemzők meghatározásának, az ideális rendszerváltozat kiválasztásának, valamint a rendszerparaméterek optimális meghatározásának szimulációs vizsgálati módszereit ismertetem az általam kutatott logisztikai területek vonatkozásában.

A folyamatfejlesztés területén alkalmazott különböző lean módszerek hatékonyságnövelése napjaink kulcskérdésévé vált, mely különböző módszerekkel (pl. szimuláció, digital twin technológia, stb.) történő integrációval elérhető célkitűzéssé vált. A tézisfüzet második szerkezeti egységében a lean eszközök szimulációs vizsgálati módszerekkel történő integrációja kapcsán elért eredményeim kerülnek bemutatásra.

1. LOGISZTIKAI RENDSZEREK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

1.1. Tudományos előzmények, célkitűzések

A Miskolci Egyetem Logisztikai Intézetében az elmúlt években számos olyan kutatási projekt aktív részese voltam, melyek központi eleme a különféle logisztikai rendszerek szimulációs vizsgálata volt. Ezen projektek közül – a bemutatásra kerülő vizsgálati módszerek szempontjából – a legfontosabbak a következők voltak:

- Audi Hungaria Motor Kft. szerszámgyárának kisszériás alkatrészgyártáshoz kapcsolódó technológiai folyamatok objektumai telepítésének szimulációs módszerrel való innovatív tervezése (Résztevők: Dr. Tamás Péter, Dr. Illés Béla, Tollár Sándor)
- Audi Hungaria Zrt. részére parametrizálható szimulációs vizsgálati modellek kidolgozása anyagáramlási rendszerváltozatok vizsgálatára (Résztevők: Dr. Tamás Péter, Szentesi Szabolcs, Tollár Sándor, Nagy Gábor, Dr. Illés Béla, Dr. Bányai Tamás)
- Raktári kialakítás tervezése a CLAAS Hungaria Kft. részére (Résztevők: Dr. Illés Béla, Dr. Tamás Péter, Skapinyecz Róbert).
- Elektronikai termékek tesztelési folyamatának szimulációs vizsgálata az Electrolux Lehel Kft.-nél (Dr. Tamás Péter, Tollár Sándor, Dr. Illés Béla).
- Karbantartási tevékenység parametizálható modelljének felállítása és innovatív alkalmazási rendszerének kidolgozása a MÁV-TISZAVAS Miskolci Járműjavító Kft. részére (Résztevők: Dr. Illés Béla, Dr. Tamás Péter)

Az egyedi vevői igények kielégítésére való törekvés eredményeként létrejövő növekvő komplexitású folyamatok tervezése, fejlesztése során egyre inkább előtérbe kerül a szimulációs vizsgálatok megvalósítása iránti igény [5-6].

A szimulációs vizsgálatok elvégzésének hatékonysága és időszükséglete a versenyképességet meghatározó kulcstényezővé vált, mivel a helytelenül és/vagy hosszú átfutási idővel elvégzett szimulációs vizsgálatok jelentős veszteséget eredményeznek a vállalatok számára [1].

A feladatok elvégzése során minden esetben a megbízó vállalat egyedi igényeinek megfelelő szimulációs vizsgálatot kellett elvégezni, így a szimulációs vizsgálati modell megtervezése és adaptációja sokszor jelentős szakmai tapasztalatot és időráfordítást igényelt.

A vállalati projektek alapvetően működési jellemzők meghatározására, megfelelő rendszerváltozat kiválasztására, valamint a rendszerparaméterek optimalizálására

irányultak. A működési jellemzők meghatározása során a vizsgált rendszer egy vagy több logisztikai jellemzője kerül meghatározásra tervezési/fejlesztési döntések meghozatala érdekében. A megfelelő rendszerváltozat kiválasztása kapcsán a feltárt logisztikai rendszerváltozatok közül a vizsgálatot igénylő vállalat szempontrendszere alapján a legjobb változat került kiválasztásra. A rendszerparaméterek optimalizálása tekintetében pedig a kijelölt paraméterek optimális meghatározására kerül sor előre definiált feltételek és célfüggvények figyelembevételével.

Gyakorlati tapasztalataim felhasználásával olyan területspecifikus szimulációs vizsgálati módszerek kidolgozását tűztem ki célul, melyek alkalmazásával számos logisztikai terület folyamatainak tervezése, fejlesztése, optimalizálása hatékonyabbá tehető. A célkitűzések kapcsán elért eredmények az 1.2-1.5. fejezetekben kerülnek bemutatásra.

1.2. Működési jellemzők meghatározásának szimulációs vizsgálati módszere

1.2.1. Szimulációs vizsgálati folyamat ismertetése

Egy logisztikai rendszerre vonatkozó tervezési/fejlesztési döntések meghozatala előtt szükséges lehet különböző logisztikai jellemzők nagy pontosságú meghatározása (pl. maximális gyártási kapacitás, betárolási-, kitérési teljesítőképesség, gépkapacitás, stb.), amely jelentős komplexitású logisztikai rendszerek esetén csupán a szimulációs modellezés alkalmazásával valósulhat meg kellő megalapozottsággal.

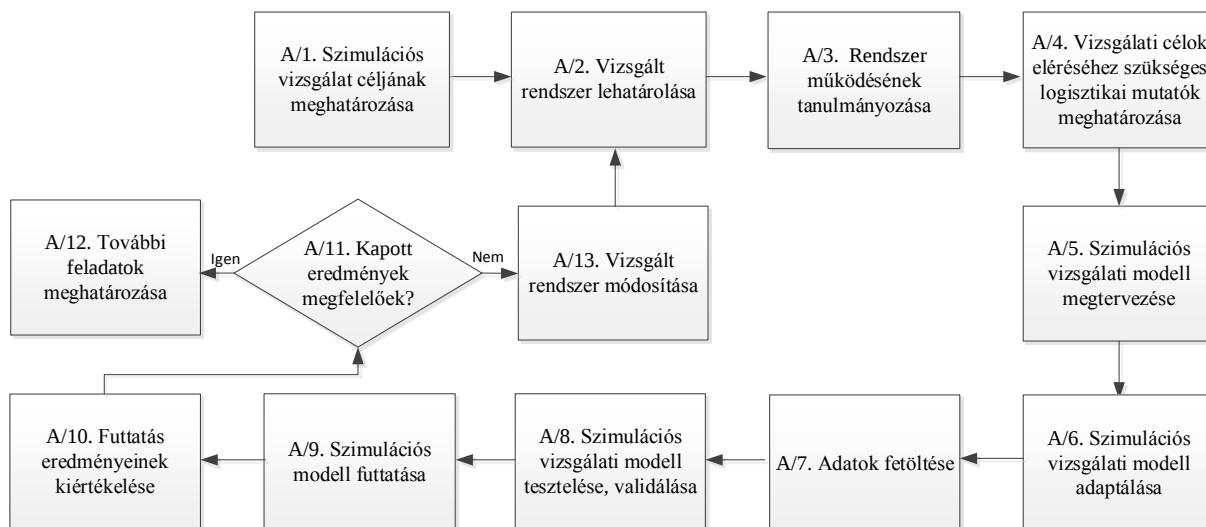
Szimulációs vizsgálati folyamat lépései (1. ábra):

A/1. Szimulációs vizsgálat céljainak meghatározása: A működési jellemzők jelenlegi vagy tervezett rendszer esetén való meghatározásának alapvető célkitűzései a tervezési hibák elkerülése, valamint a fejlesztési irányok meghatározása lehet:

- a tárolási kapacitások kialakítása,
 - az anyagmozgató gépek működtetése,
 - a technológiai berendezések működtetése,
 - az emberi erőforrások menedzselése
- tekintetében.

A tervezési hibák feltárása során azt vizsgáljuk, hogy a vizsgált rendszer mely paramétere nem felel meg az elvárásoknak (pl. tárolási kapacitás, anyagmozgatási teljesítőképesség, stb.). A fejlesztési területek meghatározása alapvetően a vizsgált rendszer értékelésén keresztül történik, melynek feltétele a kijelölt működési jellemzők meghatározása (pl. raktárbővítés, eszközbeszerzés, járattervezés hatékonyságnövelése, stb.).

A/2. Vizsgált rendszer lehatárolása: A vizsgálati célok alapján egyértelműen le kell határolni a vizsgált logisztikai rendszert (pl. egy adott gyártósor, teljes termelési rendszer, raktározási rendszer, stb.).



1. ábra Működési jellemzők meghatározásának szimulációs vizsgálati módszere

A/3. A rendszer működésének tanulmányozása: A vizsgált rendszer lehatárolását követően a szimulációs modellt készítő személynek részleteiben meg kell ismernie a rendszer anyag- és információáramlási folyamatait. Különös figyelmet kell fordítani az egyedi folyamatok működésére.

A/4. Vizsgálati célok eléréséhez szükséges logisztikai mutatók meghatározása: Ebben a lépésben azon működési jellemzőket kell definiálni (pl. maximális készletszint, üresjáratú úthossz, stb.), melyek előállítás utáni kiértékelésével a vizsgálati célok (lásd A/1. lépés) elérhetők.

Fontosabb logisztikai mutatók lehetnek:

- A tárolási kapacitások kialakítása tekintetében:
 - a maximális készletszint, mely megmutatja a vizsgált tárolási rendszer maximális készletszintjét a kijelölt időszak vonatkozásában. Az s. tárolási rendszer maximális készletszintje az (1) összefüggés szerinti módon határozható meg.

$$Q_s^{\text{Max}} = \max_{t \in \Theta^p} \{q_{so} + q_{sbt} - q_{skt}\}, \quad (1)$$

ahol Θ^s a készletmozgáskor rögzített időpontok halmaza, q_{so} az induló készletszintet, a q_{sbt} a t . időpontban betárolt, q_{skt} pedig a kitarolt termékmennyiséget tartalmazza.

- a készletszint relatív gyakorisága, mely megmutatja, hogy egy előre definiált készletszint milyen relatív gyakorisággal fordult elő az adott tárolási rendszer vizsgált időszaka tekintetében. A q készletszint relatív gyakorisága, mely a (2) összefüggés szerinti módon határozható meg.

$$R_s^q = \sum_{t \in \Theta_s^q} T_s^t / T, \quad (2)$$

ahol Θ_s^q azon időszakok azonosítóit tartalmazó halmaz, amikor az s tárolási rendszer készletszintje q volt, T_s^t a t azonosítóhoz tartozó időtartamot, T pedig a vizsgált időszak hosszát tartalmazza.

- Az anyagmozgató gépek működtetése tekintetében:
 - a hasznos járáti úthossz részaránya, mely azt fejezi ki, hogy az anyagmozgató gépek által megtett úthossz hány %-a valósult meg üresjárat nélkül. A m . anyagmozgató gép hasznos járáti úthosszának részaránya a (3) összefüggés szerinti módon határozható meg.

$$R_m^U = \sum_{d \in \Theta_m^U} l_d / \sum_{d \in \Theta_m} l_d, \quad (3)$$

ahol Θ_m az m . anyagmozgató berendezés által megtett útszakaszok azonosítóit, Θ_m^U pedig a hasznos (terhelt) állapotban megtett útszakaszok azonosítóit tartalmazza. A (3) összefüggésben l_d a d . azonosítóval ellátott útszakasz hosszát jelöli.

- az anyagmozgató gépek kapacitás kihasználtsága, mely megmutatja, hogy az anyagmozgató gépek szállítási kapacitásuk hány %-át használták ki a vizsgálati idő alatt. Az m . anyagmozgató gép kapacitás kihasználtsága a következőképpen határozható meg:

$$C_m^U = \sum_{d \in \Theta_m^U} (l_d \cdot c_{m,d}^U) / \sum_{d \in \Theta_m} (l_d \cdot c_{m,d}^{\max}), \quad (4)$$

ahol $c_{m,d}^U$ az m . anyagmozgató berendezés d . útszakaszon szállított termék mennyiségét jelöli, $c_{m,d}^{\max}$ pedig a d . útszakaszon szállítható maximális mennyiséget mutatja.

- az anyagmozgató gépek be-, kitárolási és komissiózási teljesítőképessége, mely megmutatja, hogy az anyagmozgató gépek átlagosan mennyi be- kitárolást, komissiózást hajtottak végre egységnyi idő alatt. A m . anyagmozgató gép be-, kitárolási és komissiózási teljesítőképessége az (5) összefüggés alapján határozható meg.

$$P_m^i = N_m^i / T_m^i \quad (5)$$

ahol $i \in \{SI, SO, CA\}$ három értéket vehet a végzett művelet típusától (betárolás, kitárolás, komissiózás) függően. Az összefüggésben N_m^i az i . művelettípusból az m . anyagmozgató berendezés által végzett anyagmozgatási teljesítményt definiálja, T_m^i pedig ezen anyagmozgatási teljesítmény biztosításához szükséges időszükségletet jelöli.

– A technológiai berendezések működtetése vonatkozásában:

- az értékteremtő tevékenység részaránya adott technológiai berendezésnél, mely megmutatja, hogy az adott technológiai berendezés a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában végez értékteremtő tevékenységet.
- a várakozás részaránya adott technológiai berendezésnél: megmutatja, hogy az adott technológia berendezés a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában várakozik.
- az átállási tevékenység részaránya adott technológiai berendezésnél, mely megmutatja, hogy az adott technológia berendezésnél a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában történik átállási tevékenység.
- a blokkolás részaránya adott technológiai berendezésnél, mely megmutatja, hogy az adott technológia berendezés a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában nem áll rendelkezésre a következő művelet túlterheltsége miatt.
- az elkészült termékek mennyisége, mely megmutatja, hogy az adott technológiai berendezésen a vizsgált időszak alatt mennyi termék került elkészítésre.

Az értékteremtő-, a várakozási-, az átállási-, valamint a blokkolási tevékenység részaránya a (6) összefüggés alapján határozható meg a vizsgált technológiai berendezések vonatkozásában.

$$R_e^j = \sum_{o \in \Theta_e^j} (t_o) / T_e, \quad (6)$$

ahol $j \in \{VA, WT, CO, B\}$ a vizsgált tevékenységtípust, Θ_e^j az e . technológiai berendezés által elvégzett műveletek azonosítóit tartalmazza a j .

tevékenységtípusnál, T_e pedig a vizsgálati idő hosszát jelöli az e . technológiai berendezésnél.

- A humán erőforrások menedzselése tekintetében:
 - az értékteremtő tevékenység részaránya adott humán erőforrásnál, mely megmutatja, hogy a kijelölt erőforrás a rendelkezésre álló idő hány százalékában végez értékteremtő tevékenységet.
 - a várakozás részaránya adott humán erőforrásnál, mely megmutatja, hogy az adott erőforrás a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában várakozik.
 - az átállási tevékenység részaránya adott humán erőforrásnál, mely megmutatja, hogy az adott erőforrás a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában történik átállási tevékenység.
 - a blokkolás részaránya adott humán erőforrásnál, mely megmutatja, hogy az adott erőforrás a rendelkezésre álló idő mennyi százalékában nem áll rendelkezésre a következő művelet túlterheltsége miatt.
 - az elkészült termékek mennyisége, mely megmutatja, hogy az adott emberi erőforrás a vizsgált időszak alatt mennyi terméket készített el.

Az értékteremtő tevékenység-, a várakozási-, az átállási-, valamint a blokkolási tevékenység részaránya a (7) összefüggés alapján határozható meg a vizsgált emberi erőforrások vonatkozásában.

$$R_h^k = \sum_{o \in \Theta_h^k} (t_o) / T_h \quad (7)$$

ahol $k \in \{VA, WT, CO, B\}$ a vizsgált tevékenységtípust jelöli, Θ_h^k az h . emberi erőforrás által elvégzett műveleteket tartalmazza a k . tevékenységtípusnál, T_h pedig a vizsgálati idő hosszát jelöli a h . emberi erőforrásnál.

A fentiekben ismertetett mutatók az esetek többségében kellő segítséget adnak a szükséges döntések meghozatalához, ugyanakkor speciális esetekben más mutatók meghatározására is szükség lehet. A gyakorlatban alkalmazott szimulációs keretrendszerek többsége képes az előre definiált indikátorok értékeinek tetszőleges grafikus megjelenítésére (plotter, gyakoriság függvény, eloszlás függvény, stb.), többletinformációt adva ezzel a hatékonyabb döntéstámogatáshoz.

A/5. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése: A vizsgált logisztikai rendszer lehatárolását, valamint az előállítandó logisztikai mutatók definiálását követően meghatározandók a szimulációs vizsgálati modell anyagáramlási folyamatai, valamint annak működtetéséhez szükséges adatstruktúrák, működési algoritmusok. A szimulációs modell áttekinthetőségének növelése érdekében ebben a fázisban kerül meghatározásra a modell esetleges strukturálásának módja is (pl. a kijelölt részrendszer külön modellezési felületen kerül elhelyezésre).

A gyakorlatban számos szimulációs keretrendszer létezik (pl. Aréna, Simul8, Plant Simulation, stb.), melyek működési koncepciójukat tekintve csupán kismértékben térnek el egymástól. Az elmúlt években készített szimulációs vizsgálatok a Plant Simulation keretrendszer felhasználásával készültek, így a vizsgálati modellek tervezésénél is ezt a keretrendszert alkalmaztam. A keretrendszer fontosabb jellemzői a következők [7]:

- Diszkrét-eseményvezérelt működés: Lehetővé teszi az elkészített modellek gyors futtatását azáltal, hogy mindig a következő lényeges esemény diszkrét időpillanatait vizsgálja a szoftver (pl. megérkezik egy teherautó, elkészül egy termék, stb.).
- Objektum-orientált szemlélet: A keretrendszer előre definiált objektumokat tartalmaz, melyek viselkedése az esetek többségében előre definiált adatbeviteli mezők segítségével beállítható (szükség esetén a SimTalk programnyelv alkalmazható).
- Grafikus megjelenítési lehetőség: Az elkészített modell output adatainak megjelenítésére számos diagram típus és funkció áll rendelkezésre.
- Animációs megjelenítési lehetőség: Szükség esetén az elkészített modell futtatása animáció segítségével szemléltethető.
- Interaktív beavatkozási lehetőség: Lehetőség van az input adatok – akár a program futtatása során – való módosítására.
- Külső adatbázisokhoz csatlakozási lehetőség: A keretrendszer külső adatbázisokhoz való csatlakozása megvalósítható (pl. Oracle, SQL, ODBC, XML, stb.).

A/6. Szimulációs vizsgálati modell adaptálása: Az elkészített tervek alapján egyedi alkalmazás készítésével vagy szimulációs keretrendszer alkalmazásával el kell készíteni a szimulációs vizsgálati modellt. A szimulációs keretrendszerek alkalmazása lehetővé teszi előre definiált objektumok, értékelési, optimalizálási funkciók alkalmazását, amely jelentősen növeli a szükséges vizsgálatok lefolytatásának hatékonyságát.

A/7. Adatok feltöltése: A meghatározott adatstruktúrák kézi adatfelvitellel és/vagy adatkapcsolatok létrehozásával tölthetők fel. Az adatfeltöltés helyszíni mérések során előállított és/vagy információs rendszerek által biztosított adatok felhasználásával történhet.

A/8. Szimulációs vizsgálati modell tesztelése, validálása: Az elkészített és a szükséges adatokkal feltöltött szimulációs modell működését tesztelni, majd validálni kell. Ezen fázis megvalósítása a szimulációs vizsgálatot készítő és a megbízó vállalat képviselőinek szoros együttműködésével kell, hogy megvalósuljon. A szimulációs modell tesztelése során a következő javítandó hibatípusok fordulhatnak elő:

- hibás adatrögzítés,
- nem megfelelő adatkommunikáció,
- nem megfelelő anyagáramlási útvonal,
- programhiba.

A szükséges tesztelések, javítások elvégzését követően a szimulációs vizsgálati modell folyamatainak ellenőrzésével és/vagy a szimulációs vizsgálati modellből és a valóságos rendszerből származó adatok összehasonlításával valósulhat meg a vizsgálati modell validálása.

A/9. Szimulációs modell futtatása: A validálást követően kell, hogy sor kerüljön a szimulációs vizsgálati modell futtatására, valamint a meghatározott logisztikai mutatók előállítására.

A/10. Futtatás eredményeinek kiértékelése: A meghatározott logisztikai mutatók alapján a vizsgálati eredmények kiértékelése kell, hogy megtörténjen, amelynek segítségével:

- a tervezési hibák feltárása,
 - a fejlesztési területek meghatározása,
- is megvalósulhat.

A/11. Kapott eredmények elfogadhatóságának vizsgálata: Abban az esetben, ha a kapott eredmények elfogadhatók, akkor meghatározásra kerülnek a további feladatok, melyek irányulhatnak további vizsgálatok elvégzésére vagy a megvalósításra (A/12. lépés). Amennyiben az elért eredmények alapján nem hozható döntés a vizsgálat célkitűzésével összefüggésben, akkor a meghatározott rendszer módosítására és ismételt szimulációs vizsgálat elkészítésére lehet szükség (A/13. lépés).

1.2.2. Szakaszos gyártórendszerek szimulációs vizsgálati módszere

Egy szakaszos gyártórendszer tervezési hibáinak elkerülése és/vagy folyamatainak hatékony fejlesztése a rendszer komplexitása miatt jelentős kihívást jelent napjaink logisztikai szakemberei számára. Az ilyen típusú rendszereknél egyszerre több termékcsalád termékeinek termelési folyamata valósul meg sokszor termékenként eltérő anyagáramlási folyamattal, technológiai berendezés beállítással, valamint egységirakományképző-eszközzel.

Előfordulhat, hogy egy nem megfelelően előkészített döntés megvalósítása nem éri el a kívánt célt (pl. meghatározott rendszer teljesítőképesség), mely súlyos problémákhoz, akár kielégítetlen vevői igényekhez is vezethet. Továbbá az adott rendszer hosszú átfutási idővel történő vizsgálata versenyhátrányt is okozhat, ezért különösen fontos egy olyan szimulációs vizsgálati modell koncepciójának kidolgozása, melynek alkalmazásával az említett problémák kiküszöbölhetők.

Az 1.2.1. fejezetben ismertetett – a működési jellemzők meghatározására szolgáló – szimulációs vizsgálati módszer hatékony megvalósítása a szakaszos működésű gyártóberendezések vonatkozásában az 5. lépés részletes kidolgozását igényli.

A/5. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése:

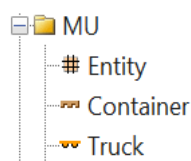
Ezen fázis megvalósítására csupán az A/1-A/4 lépések végrehajtását követően kerülhet sor. A modell elkészítéséhez definiálni kell a vizsgált anyagáramlási rendszert, a működéshez szükséges adatstruktúrákat és algoritmusokat.

Az anyagáramlási rendszer megtervezésénél a következő – általam meghatározott – objektumok/objektumrendszerek alkalmazása javasolt:

- Vizsgált logisztikai rendszer lehatárolására szolgáló objektumok: A modellezendő anyagáramlási rendszer kijelölése a forrás és nyelő objektumok segítségével történik (2.1. ábra).
- Mozgatható egységek: A forrás objektum különféle mozgatható egység (pl. alkatrész (entity), tárolóeszköz (container), szállítójármű (truck) beállított időköz és gyakoriság szerinti generálására, a nyelő objektum pedig az előállított mozgatható egységek (2.2. ábra) – statisztikai adatok rögzítése mellett történő – elnyelésére alkalmas.
- Rendszerelemek összekötésére szolgáló objektum: Az 2.3. ábrán látható objektum segítségével a modellezési felületen elhelyezett elemek anyagáramlási kapcsolata határozható meg.



2.1. ábra Be- és



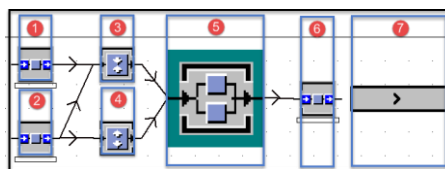
2.2 ábra Mozgatható



2.3 ábra

- Technológiai műveletek modellezésére szolgáló objektumrendszer: Anyagáramlási szempontból egy szakaszos gyártási rendszer technológiai műveleteinek alapvetően négyféle típusa létezik, melyek a(z) következők:
 - Egyszerű művelet: Ezen technológiai munkahely egy munkaciklus alatt egy terméken egy műveletet végez el (pl. csavarhúzás, esztergálás, fúrás, stb.).
 - Párhuzamos művelet: Ezen technológiai munkahely egy munkaciklus alatt több terméken párhuzamosan egy műveletet végez el (pl. hőkezelés, festés, stb.).
 - Összeszerelés művelet: Ezen technológiai munkahely egy munkaciklus alatt több termékből egy terméket készít.
 - Szétszerelés művelet: Ezen technológiai munkahely egy munkaciklus alatt egy termékből több terméket készít.

A technológiai műveletek modellezésének standardizálása érdekében kidolgozott objektumrendszer (3. ábra) segítségével, valamennyi technológiai művelet azonos módon modellezhető, illetve ennek eredményeként vezérlésük megvalósítása is jelentősen egyszerűsíthető. Nagyszámú technológiai művelet modellezésénél az áttekinthetőség növelése érdekében lehetőség van az objektumrendszer „frame”-be (lehetőség van többszintű modellezési struktúra kialakítására) ágyazására, így szükség esetén egy technológiai berendezésnél csupán egy ikont láthatunk.



3. ábra Technológiai műveletek modellezésére szolgáló objektumrendszer

Technológiai műveletek modellezésére szolgáló objektumrendszer építőelemeinek ismertetése:

- 1-2. objektum: Bemeneti tároló, melynek kapacitása szabályozható.
- 3. objektum: Összeszerelési feladatokat modellező objektum.
- 4. objektum: Szétszerelési feladatokat modellező objektum.
- 5. objektum: Párhuzamosan elvégezhető feladatokat modellező objektum.
- 6. objektum: Kimenő tároló, melynek kapacitása 1 termék. A technológiai művelethez rendelt technológiai művelet adattábla adatai alapján a megmunkált termékek direkt (közvetlen átadás) vagy indirekt (egységgrakomány-képzést

követően kerül továbbításra) módon kerülnek továbbításra a következő művelethez.

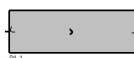
- 7. objektum: Egységrakomány-képző eszköz elhelyezésére szolgáló objektum (a 6. objektumon található termék indirekt továbbítás esetén a 7. objektumon elhelyezésre kerülő egységrakomány-képző eszközbe kerül elhelyezésre).

Az egyes technológiai műveletek elvégzésénél igénybe veendő objektumokat az 1. táblázat szemlélteti. A technológiai műveletek modellezésére szolgáló objektumrendszer működésének vezérlése a művelethez rendelt technológiai művelet adattábla (lásd későbbiekben) alapján valósítható meg.

1. táblázat Művelettípusonként alkalmazott objektumok

Művelettípus	Átadás	1. obj.	2. obj.	3. obj.	4. obj.	5. obj.	6. obj.	7. obj.
Egyszerű művelet	Direkt	X		X		X	X	
	Indirekt	X		X		X	X	X
Párhuzamos művelet	Direkt	X		X		X	X	
	Indirekt	X		X		X	X	X
Összeszerelés művelet	Direkt	X	X	X		X	X	
	Indirekt	X	X	X		X	X	X
Szétszerelés művelet	Direkt		X		X	X	X	
	Indirekt		X		X	X	X	X

- Anyagáramlási útvonal modellezésére szolgáló objektumok: A műveletek közötti anyagáramlási útvonal anyagmozgató gép esetén a 4.1. szállítószalag objektummal, emberi munkavégzés esetén a 4.2. közlekedési útvonal objektummal, közúti közlekedés esetén pedig az 4.3. közúti közlekedési útvonal objektummal modellezhető.



4.1. ábra
Szállítószalag
objektum



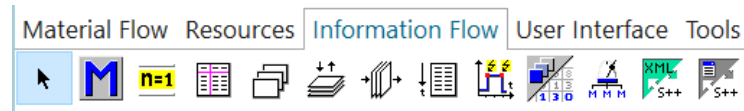
4.2. ábra Humán
közlekedési
útvonal objektum



4.3. ábra Közúti
Közlekedési
útvonal objektum

- Puffer és raktár objektum: A mozgatható egységek műveletközi tárolóba és raktárba történő elhelyezésének modellezése a 7.3. ábrán látható objektumok segítségével történik, melyek kapacitása szabályozható, tartalma lekérdezhető, illetve módosítható programozástechnikai eszközök segítségével.
- Input adatok megadására szolgáló objektumok: A szimulációs vizsgálati modellek működéséhez szükséges adatok rögzítésének számos formája létezik, vagyis

megadhatók a szimulációs keretrendszer előre definiált objektumai (pl. vektorok, táblázatok, stb.), illetve külső adatkapcsolatok segítségével (5. ábra).



5. ábra Input adatok megadásának lehetőségei

- Emberi munkavégzés modellezésére szolgáló objektumok: A szimulációs keretrendszerben az emberi munkaerő modellezésére külön előre definiált objektumrendszer került kialakításra. A 6.1. objektum a munkavégzés helyének kijelölésére, a 6.2. objektum a dolgozók munkavégzésének irányítására, a 6.3. objektum pedig a dolgozók számára egy átmeneti hely (amikor nincs munkavégzés a dolgozók itt tartózkodnak) kijelölésére szolgál.



6.1. ábra
Munkahely

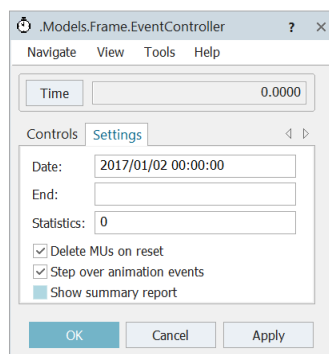


6.2. ábra
Munkairányító

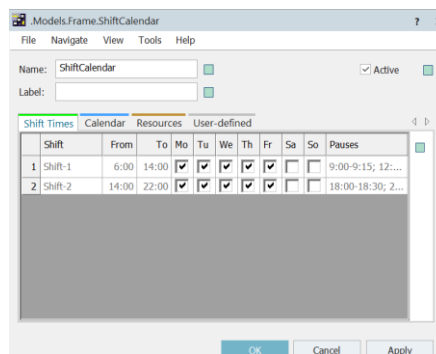


6.3. ábra
Pihenőhely

- Futtatási idő, valamint a műszakbeosztás beállítására szolgáló objektumok: A szimulációs modell futtatási időtartamának beállítása az eseményvezérlő objektum (7.1. ábra), az alkalmazott objektumok műszakbeosztása pedig a műszaknaptár (7.2. ábra) segítségével történik.



7.1. ábra
Eseményvezérlő
objektum



7.2. ábra Műszaknaptár
objektum



7.3 ábra Puffer és
raktár objektum

A szimulációs vizsgálati modell *adatstruktúrai* vonatkozásában a következők létrehozása javasolt:

- Gyártás adattábla (2. táblázat): Ezen táblázat a termékekhez tartozó műveletek fontosabb információit tartalmazza. A táblázat egy sorának 1. adatmezője a késztermék nevét, a 2. adatmezője a kiindulási anyag, illetve részgyártmány nevét (input termék), az 5. adatmezője, pedig az adott műveletben elkészült részgyártmány, vagy késztermék nevét (output termék) tartalmazza. A 3. adatmező megadja az egy termékbe beépülő részegység darabszámát. A 4. adatmező az elvégzendő műveletet azonosítja. A 6. adatmező az adott helyen elkészült egység tárolójának azonosítóját, a 7. adatmező pedig az abban elhelyezhető elemek darabszámát tartalmazza. A 8. adatmező az egy egység gyártásához szükséges ütemidőt, a 9. adatmező pedig a termék gyártásához szükséges – a sorozat megkezdése előtt egyszer elvégzendő – beállítási időt adja meg az adott alkatrészre. Amennyiben a művelet után a termék nem kerül tárolóba, hanem közvetlen továbbítással a következő állomásra megy, úgy a 7. adatmezőbe „direct”, egyébként „indirect” megjelölés kerül.

2. táblázat Gyártás adattábla felépítése

Adatmező neve	Adattípus
1. Késztermék neve	String
2. Input termék neve	String
3. Beépülő alkatrészek száma	Integer
4. Technológiai művelet neve	String
5. Output termék neve	String
6. ERKE neve	String
7. ERKE töltési mennyisége	Integer
8. Technológiai művelet ütemideje	Time
9. Technológiai művelet átállási ideje	Time

- Egységrakomány (ER) adattábla (3. táblázat): A valóságos rendszer modellezéséhez elengedhetetlen az egységrakományokhoz kapcsolódó fontosabb információk rendelkezésre állása. A táblázat első adatmezőjében a gyártás adattábla 2. és 5. adatmezőjében szereplő valamennyi termék kerül felsorolásra. Az adattábla egy sora megmutatja, hogy az adott termék, milyen egységrakományképző eszközbe (továbbiakban: ERKE) helyezhető, mennyi annak a töltési mennyisége, valamint a képzett egységrakomány (továbbiakban: ER) befoglaló méret- és halmazolhatósági adatai hogyan alakulnak. Továbbá a szimulációs program indulásakor figyelembe veendő induló készlet szint adatok is rögzítésre kerülnek az adattábla 7. adatmezőjében.

3. táblázat Egységrakomány adattábla felépítése

Adatmező neve	Adattípus
---------------	-----------

1. Termék neve	String
2. ERKE neve	String
3. ERKE töltési mennyisége	Integer
3. ER szélessége	Integer
4. ER hosszúsága	String
5. ER magassága	String
6. ER halmazolhatósága	String
7. Termék indulókészlete	Integer

- Termelési terv adattábla (4. táblázat): Ezen táblázat egy sora megmutatja, hogy mely termékből (1. adatmező), mennyi darabot (2. adatmező), mely technológiai berendezésen (3. adatmező) és mikor kell legyártani (4-5. adatmező).

4. táblázat Termelési terv adattábla felépítése

Adatmező neve	Adattípus
1. Termék neve	String
2. Termék mennyisége	Integer
3. Technológiai művelet neve	String
4. Dátum	Date
5. Műszak száma	String

- Vezérlés adattábla (5. táblázat): A vezérlés adattábla megmutatja, hogy egy késztermék elkészültéhez, mely alkatrésznek, milyen műveleteken kell keresztül mennie. A vezérlés adattábla a gyártás adattábla adatai alapján kell, hogy elkészítésre kerüljön (1-5. adatmezőjének adatai alapján építhető fel a termékek gyártási folyamata). Szükség esetén lehetőség van a termékek gyártási folyamatának megváltoztatására is a vezérlés adattábla adatainak módosításával. Egy késztermék legyártásának folyamatát a vezérlés adattábla 1. adatmezőjében található – kijelölt terméknevhez tartozó – adatsorok tartalma határozza meg. Amennyiben a termék egy megmunkálási műveleten keresztül megy, akkor annak neve megváltozik, tehát az előző művelet output terméke (3. adatmező) lesz a következő művelet input terméke (2. adatmező). A vezérlés adattábla egy sora megmutatja, hogy egy input terméknek (2. adatmező), mely műveleten (4., ... adatmező) kell keresztül mennie és milyen output termék (3. adatmező) lesz belőle. Abban az esetben, ha egy terméknek valamely műveleten végig kell mennie, akkor a termékhez tartozó adatsor kijelölt művelethez tartozó adatmezőjének értéke „1” kell, hogy legyen. Tulajdonképpen egy láncolt lista épül fel a késztermék vonatkozásában, melynek eredménye a kiválasztott késztermék lesz. A vezérlés adattábla valamennyi gyártandó késztermék anyagáramlási folyamatát tartalmazza. A táblázat kitöltését célszerű metódusok segítségével egyszerűsíteni.

5. táblázat Vezérlés adattábla felépítése

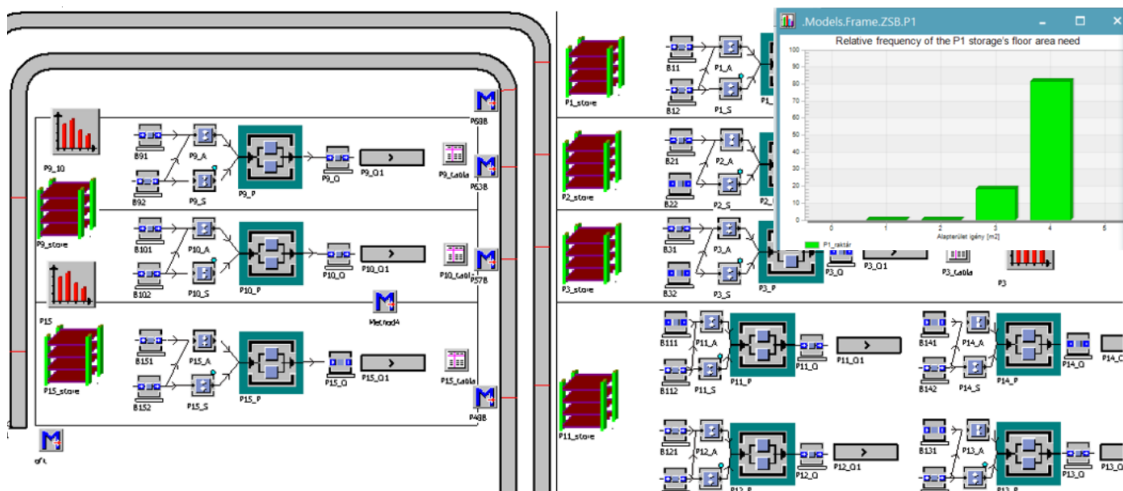
Adatmező neve	Adattípus
1. Késztermék neve	String
2. Input termék neve	String
3. Output termék neve	String
4. Technológiai művelet1	String
5. Technológiai művelet2	String
....	String

- Technológiai műveletek adattábla (6. táblázat): A termelési terv, a vezérlés, valamint a gyártás táblázat adatai alapján kell, hogy kitöltésre kerüljön a technológiai műveletek adattábla. Minden egyes technológiai művelethez tartozik egy ilyen adattábla, amely az elvégzendő feladatokat tartalmazza. Ezen táblázat egy sora megmutatja, hogy mely terméket (2. adatmező), milyen mennyiségben (3. adatmező) honnan (4. adatmező) kell „behívni” az adott technológiai művelethez, valamint hogy az adott műveletnél az elkészült termékeket (5. adatmező) mely ERKE-be (6. adatmező) milyen mennyiségben (7. adatmező) kell elhelyezni. Továbbá a táblázat tartalmazza a termék elkészítésének műveleti (8. adatmező), illetve átállítási idejét (9. adatmező) is. A technológiai művelet adattábla kitöltését nagyobb adatbázisok esetén célszerű módszer segítségével automatizálni.

6. táblázat Technológiai művelet adattábla felépítése

Adatmező neve	Adattípus
1. Késztermék neve	String
2. Input termék neve	String
3. Termék mennyisége	Integer
4. Forrás objektum neve	String
5. Output termék neve	String
6. ERKE neve	String
7. ERKE töltési mennyisége	Integer
8. Technológiai művelet ütemideje	Time
9. Technológiai művelet átállási ideje	Time

A *működési algoritmus* tekintetében a következő javasolt: Első lépésként a mozgatható egységek (termék, egységgrakomány képző eszköz), valamint az indulókészletek létrehozása kell, hogy megvalósuljon az egységgrakomány (ER) adattábla adatai alapján. A gyártási folyamatok vezérlése a technológiai műveletekhez rendelt technológiai művelet adattáblák soronkénti utasításainak végrehajtása alapján kell, hogy történjen. A futtatás során meg kell, hogy valósuljon a kiválasztott indikátorok értékeinek meghatározása is.



8. ábra Vizsgált anyagáramlási rendszer szimulációs modellje [saját szerkesztés]

Az ajánlások szerint megtervezett - műveletközi tárolóterületek méretének meghatározása céljából – megvalósított szimulációs vizsgálati modell képernyőmentése a 8. ábrán látható.

1.2.3. Elektronikai termékek tesztelési folyamatának szimulációs vizsgálati módszere

Az elektronikai termékek gyártásánál trendként fogalmazható meg a JIDOKA koncepció elterjedése, melynek alkalmazásával az esetek többségében elkerülhetővé válik az elkészült termékek – minőségbiztosítási célból való – tesztelési folyamatának kialakítása. Azokban az esetekben, amikor a megfelelő minőségű termék előállításának folyamata nem valósítható meg teljes biztonsággal, akkor – a gyártási folyamatot követően – terméktesztelési folyamat kialakítása válik szükségessé [1, 3].

A tesztelendő termékek mennyiségének ingadozása, az új terméktípusok megjelenése, az elektronikai termékekkel szembeni követelmények változása (pl. energiafogyasztásra-, zajszintre vonatkozó előírások, stb.), valamint a folyamatfejlesztési módszerek alkalmazása szükségessé teszi az aktuális folyamatok módosítását, amelyhez kapcsolódóan elkészített tervek kivitelezését követően számos esetben hibákba ütközhetünk (pl. nem megfelelő tárolási kapacitás, anyagmozgatási teljesítmény, emberi erőforrás kihasználás, stb.).

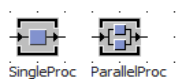
A tesztelési folyamatok átalakítása során előforduló tervezési hibák elkerülése és/vagy folyamatának hatékonyabb fejlesztése érdekében sokszor szimulációs vizsgálati módszer kidolgozása szükséges. Az 1.2. fejezetben ismertetett – a működési jellemzők meghatározására szolgáló – szimulációs vizsgálati módszer hatékony megvalósítása a szakaszos gyártórendszerekhez hasonló módon az 5. lépés részletes kidolgozását igényli.

A/5. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése:

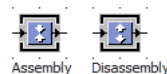
Az A/1-A/4 lépések megvalósítását követően a szimulációs modell létrehozásához meg kell határozni a vizsgált anyagáramlási rendszert, a működéshez szükséges adatstruktúrákat és algoritmust.

Az *anyagáramlási rendszer megtervezésénél* a következő – általam meghatározott – objektumok/objektumrendszerek alkalmazása javasolt: A technológiai műveletek modellezésétől eltekintve, valamennyi rendszerelem az előző fejezetben ismertetett módon modellezhető. A technológiai berendezések eltérő modellezése az egyszerűbb folyamatkialakítással indokolható.

- Technológiai műveletek modellezésére szolgáló objektumok: Ezen objektumok attól függően, hogy egyszerre egy vagy több termék tesztelési feladatainak modellezésére van szükség, lehetnek elemi- és párhuzamos művelet objektumok (9.1. ábra). Amennyiben a tesztelés során szükség van összeszerelési vagy szétszerelési művelet elvégzésére, akkor a 9.2. ábrán látható objektumok használhatók.



9.1. ábra Elemi és párhuzamos művelet objektum



9.2. ábra Összeszerelés és szétszerelés objektum

A szimulációs vizsgálati modell *adatstruktúrái* vonatkozásában a következő adattáblák létrehozása javasolt:

- Tesztelési terv adattábla (7. táblázat): Megmutatja, hogy egy adott gyártósorról, milyen terméktípus, mennyi ütemidővel és termékhiba valószínűséggel érkezik a tesztelési folyamatba. A termékhiba részarányok általában tapasztalati adatok, melyek feltárása a tesztelési folyamatok elemzésével történik.
- Anyagmozgató gépek paramétereit tartalmazó adattábla: A tesztelési folyamatban számos anyagmozgatást végző egység kaphat szerepet a tesztelőegységek közötti anyagmozgatási feladatok ellátásában. Ezen objektumok fontosabb paramétereit foglalja össze a 8. adattábla. Külön megjegyzendő, hogy a műveleti idő azon anyagmozgató berendezéseknél értelmezendő, melyeken tesztelési feladat is ellátásra kerül (pl. görgőspálya megáll egy rövid mérés elvégzése érdekében). A torlasztás maximális mennyiségén az egymás mögött felsorakoztatható termékek számát (pl. görgőspályán), a fordítási időn pedig a fordítóasztal elfordulásának ideje értelmezhető.

7. táblázat Tesztelési terv adattábla

Adatmező	Adattípus
Dátum	Date
Műszak száma	Integer
Gyártósor azonosító	String
Terméktípus	String
Tesztelendő termék mennyisége	Integer
Gyártási ütemidő	Integer
Megfelelő típusú termékek részaránya	Real
1. típusú hiba részaránya	Real
2. típusú hiba részaránya	Real
... típusú hiba részaránya	Real

8. táblázat Anyagmozgató egységek paramétereit tartalmazó adattábla

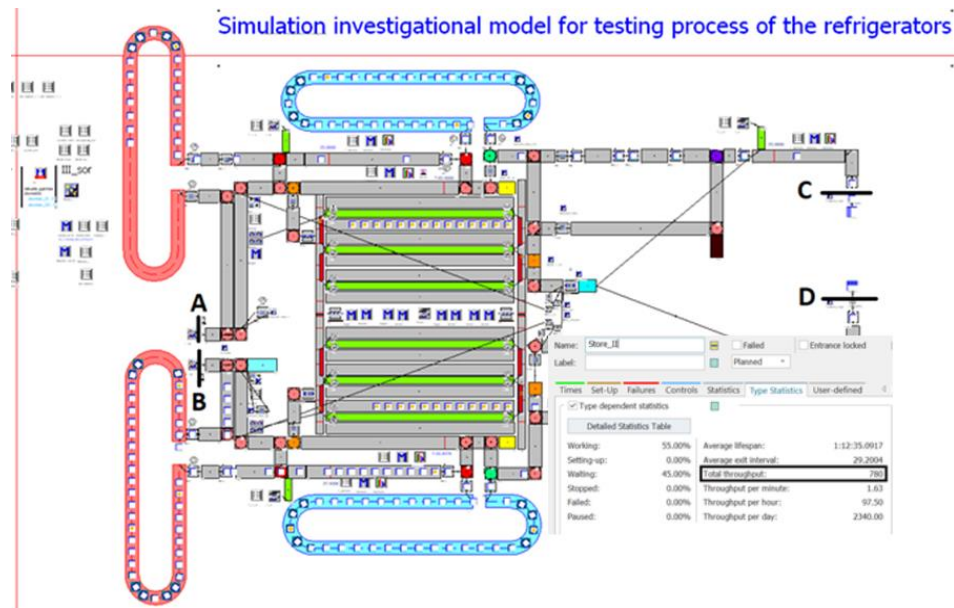
Adatmező	Adattípus
Anyagmozgató gép azonosítója	String
Sebesség	Real
Műveleti idő	Integer
Torlasztás maximális mennyisége	Integer
Fordítási idő	Integer

- Tesztelési művelet elvégzéséhez tartozó adattábla: A tesztelési folyamatban található műveletek paramétereit a 9. táblázat tartalmazza. Megmutatja, hogy adott terméktípus, adott technológiai berendezésen történő vizsgálatához milyen bekapcsolási-, tesztelési-, és kikapcsolási idő társulhat.

9. táblázat Tesztelési művelet elvégzéséhez tartozó adattábla

Adatmező	Adattípus
Terméktípus	String
Technológiai berendezés azonosító	String
Bekapcsolási időtartam	Real
Tesztelési időtartam	Real
Kikapcsolási időtartam	Integer

A *működési algoritmus* tekintetében a következő javasolt: Első lépésként a szimulációs modell alapértékeinek beállítása kell, hogy megvalósuljon az anyagmozgató gépek paramétereit tartalmazó táblázat, valamint a tesztelési műveletek elvégzéséhez tartozó adattáblák értékei alapján.



10. ábra Tesztelési folyamat szimulációs vizsgálati modellje [saját forrás]

Ezt követően a mozgatható egységek (termék, egységalkomány képző eszköz) ütemidő szerinti létrehozása kell, hogy megvalósuljon a tesztelési terv adattábla értékei alapján. A futtatás során meg kell, hogy valósuljon a kiválasztott indikátorok értékeinek meghatározása.

Az ajánlások szerint – egy ipari K+F munka során – megtervezett szimulációs vizsgálati modell képernyőmentése a 10. ábrán látható.

1.3. Optimális működési alternatíva kiválasztásának szimulációs vizsgálati módszere

Egy meglévő logisztikai rendszer folyamatainak fejlesztésekor, vagy egy új rendszer megtervezésekor előfordulhat, hogy több változat közül kell kiválasztanunk a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelőt. Ezen kiválasztás történhet az anyagáramlási (pl. több anyagáramlási rendszer közül a legjobb kiválasztása) és/vagy információáramlási (pl. több anyagmozgatási stratégia közül a legjobb kiválasztása) folyamatokra vonatkozóan is.

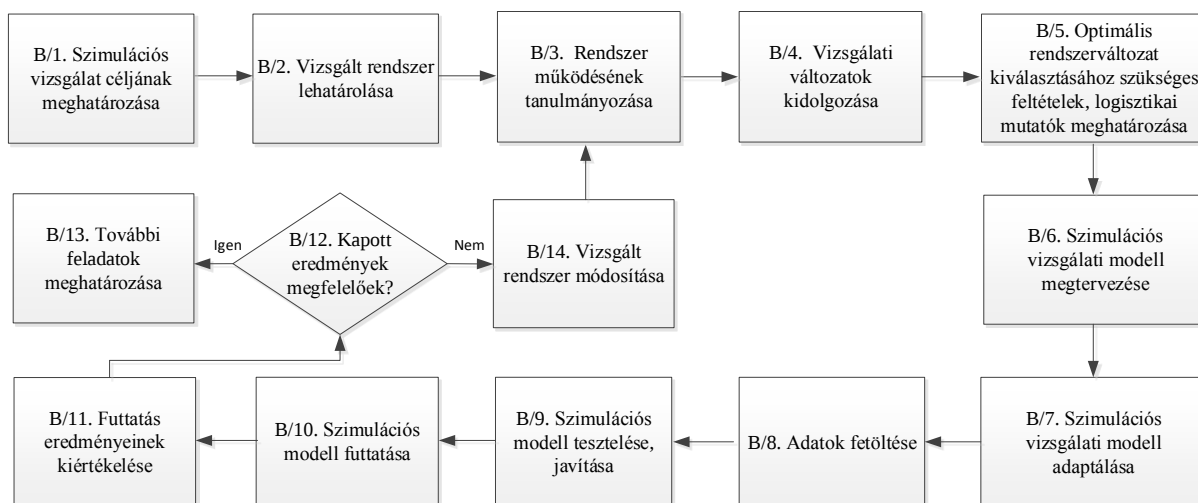
A legjobb változat kiválasztásánál a vállalatok többsége csupán a költség tényezőt veszi figyelembe, ugyanakkor a hatékony döntéshez sokszor elengedhetetlen más tényezők (pl. minőségi jellemzők, hatékonysági mutatók, stb.) figyelembevétele is, így döntési módszerek alkalmazására van szükség.

Az optimális működési alternatíva kiválasztáshoz szükséges logisztikai mutatók előállításához, valamint a döntési módszerek alkalmazásához egyre inkább előtérbe kerül a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazása, mely megvalósításának általam kidolgozott folyamata a következőkben kerül ismertetésre.

Szimulációs vizsgálati folyamat lépései:

B/1. Szimulációs vizsgálat céljainak meghatározása: Az optimális működési alternatíva kiválasztásának alapvető célkitűzése a tervezési hibák elkerülése, valamint az ideális fejlesztési alternatíva kiválasztása a vizsgált logisztikai rendszer tekintetében. Az optimális működési alternatíva kiválasztásának vizsgálatánál a működési jellemzők, valamint az azokhoz tartozó követelmények meghatározásával azonosíthatók a tervezési hibát tartalmazó változatok, melyek az igényelt korrekciók elvégzését követően szükség esetén ismét a vizsgálat tárgyát képezhetik.

B/2. Vizsgált rendszer lehatárolása: A vizsgálati célok szem előtt tartásával le kell határolni a vizsgált rendszert (pl. adott gyártósor, raktározási rendszer, stb.). A lehatárolásánál rögzíteni kell a vizsgált rendszer be- és kimeneti pontjait, valamint a vizsgálandó folyamatokat.



11. ábra Optimális rendszerváltozat kiválasztásának szimulációs vizsgálati módszere

B/3. Rendszer működésének tanulmányozása: A rendszer lehatárolását követően a szimulációs modellt készítő személynek részleteiben meg kell ismernie a vizsgált rendszer anyag- és információáramlási folyamatait. Különös figyelmet kell fordítani az eseti folyamatok azonosítására.

B/4. Vizsgálandó alternatívák kidolgozása: A modellezendő működési rendszerváltozatok folyamatainak leírása valósítandó meg ebben a fázisban. A leírás tekintetében a vizsgálandó működési rendszerváltozatok anyag- és információáramlási folyamatainak, valamint az azokra jellemző specifikumok leírására van szükség.

B/5. Optimális rendszerváltozat kiválasztásához szükséges feltételek, logisztikai mutatók meghatározása:

Az optimális rendszerváltozat kiválasztásának egyik legfontosabb célkitűzése a tervezési hibák és/vagy működésképtelen rendszerváltozatok azonosítása, melyek a működési jellemzőkkel szemben megfogalmazott követelményekkel feltárhatók. A tervezési hibák javítására és/vagy a vizsgálatból való kizárására azon rendszerváltozatok esetén lehet szükség, melyek nem felelnek meg az elvárásoknak. A feltételrendszer kidolgozásához szükséges logisztikai mutatók definiálása kapcsán az A/4. lépésben leírtak jó alapot szolgáltatnak.

Az optimális rendszerváltozat kiválasztása tekintetében ugyanezen mutatók alkalmazásra kerülhetnek, ugyanakkor a vállalat szempontrendszerének megfelelően előtérbe kerülhetnek, különféle gazdasági (pl. működési költség, megtérülés, stb.) és szubjektív (pl. vizsgált változatról kapott összbenyomás 1-10-ig pontozva) mutatók is.

B/6. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése: A B/1-B/5 lépések megvalósítását követően a feltárt vizsgálati alternatívák vonatkozásában meg kell határozni a szimulációs vizsgálati modell anyagáramlási rendszerét, annak működtetéséhez szükséges adatstruktúrákat, működési algoritmusokat, valamint az optimális rendszerváltozat kiválasztására szolgáló döntési módszert is. Szükség esetén ebben a fázisban kell meghatározni a modell strukturálásának módját is. A vizsgálati modellek tervezésénél a működési jellemzők meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszernél már bemutatott Plant Simulation keretrendszert alkalmaztam.

A megfelelő alternatíva kiválasztásához olyan döntési módszert kell alkalmazni, amely képes több logisztikai mutató vállalati érdekek szerinti együttes figyelembevételére. Ennek elérése érdekében minden vizsgálati alternatíva esetén képezni kell a normalizált célfüggvény komponensek súlyozott összegét, ahol a legkedvezőbb értékkel rendelkező alternatíva kiválasztása kell, hogy megtörténjen. A célfüggvény komponensek alapvetően az előre definiált logisztikai mutatók normalizált értékei (pl. úgy transzformáljuk az értékeket, hogy egy adott tartományba pl. 0-1 közé essenek, valamint minden esetben a minimalizálás vagy a maximalizálás legyen a cél). Az egyes komponensek súlyának meghatározására többféle módszer alkalmazható, mint például az érintett szereplők által adott súlyok átlagolása, a páros összehasonlítás módszere vagy a Churchman-Ackoff-féle súlyozási módszer.

B/7. Szimulációs vizsgálati modell adaptálása: A vizsgálandó rendszerváltozatokra vonatkozóan elkészített tervek alapján egyedi alkalmazás készítésével vagy szimulációs keretrendszer alkalmazásával készítendő el a szimulációs vizsgálati modell. A szimulációs keretrendszerek alkalmazásával a vizsgálat lefolytatásának

hatékonysága növelhető, mivel lehetőségünk van előre definiált objektumok, értékelési-, optimalizálási funkciók alkalmazására.

B/8. Adatok feltöltése: A meghatározott adatstruktúrákat kézi adatfelvitellel és/vagy adatkapcsolatok létrehozásával kell feltölteni. Az adatfeltöltés helyszíni mérések során előállított és/vagy információs rendszerek által biztosított adatok felhasználásával történhet.

B/9. Szimulációs modell tesztelése, validálása: Ez a lépés alapvetően megegyezik az A/8. lépésnél leírtakkal.

B/10. Szimulációs modell futtatása: A szimulációs vizsgálati modell validálását követően kerülhet sor a futtatásra, melynek során valamennyi vizsgálati alternatíva vonatkozásában meghatározásra kerülnek az előre definiált logisztikai mutatók, valamint az optimális rendszerváltozat kiválasztására szolgáló célfüggvényértékek.

B/11. Futtatás eredményeinek kiértékelése: A futtatás eredményeként feltárássra kerülnek az esetleges tervezési hibák, valamint meghatározásra kerülhet a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelő rendszerváltozat is.

B/12. Kapott eredmények elfogadhatóságának vizsgálata: Abban az esetben, ha a kapott eredmények elfogadhatók (a vizsgált alternatívák nem tartalmaznak tervezési hibát és/vagy a vizsgálat során nem jött elő olyan korrekciós igény, amely ismételt vizsgálat elvégzését tenné szükségessé), akkor döntés születhet a kiválasztott rendszerváltozat megvalósításáról (B/13. lépés), egyébként ismételt vizsgálat elvégzésére kerülhet sor (B/14. lépés).

1.3.1. Gyűjtő- elosztó anyagáramlási rendszerek szimulációs vizsgálati módszere

A gyűjtő- elosztó anyagáramlási rendszerek kialakítása szakaszos és/vagy folyamatos működésű anyagmozgató berendezések alkalmazásával történhet, melyek átalakítása egyre inkább előtérbe kerül, elsősorban a termékstruktúra, a mozgatandó termékmennyiségek változása, valamint az időszakos folyamatfejlesztések eredményeként. Gyűjtő- elosztó rendszerek kialakítására kerül sor jellemzően egy termelő vállalat beszerzési- és elosztási logisztikai folyamatainál, valamint számos esetben a telephelyen belüli anyagmozgatás területén a gyártósorok anyagellátása, valamint a gyártósorok és a késztermék raktár közötti anyagmozgatás területén. Gyűjtő- elosztó anyagáramlási rendszerek a szolgáltatási logisztika különböző

területein is megvalósulásra kerülnek, mint például a reptéri csomagszállításnál vagy a postai küldemények gyűjtő- elosztó rendszereinél.

A vizsgált rendszer fejlesztése során általában többféle alternatíva kerül kidolgozásra, melyek esetében – a vizsgált rendszer bonyolultsága következtében – szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása válik szükségessé. A megfelelően elvégzett szimulációs vizsgálat alkalmazásával a tervezési hibák kiküszöbölhetők, továbbá a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelő rendszerváltozat kerülhet kiválasztásra. Az elmúlt években elsősorban a folyamatos működésű anyagmozgató gépek alkalmazásával kialakított gyűjtő- elosztó rendszerek működése tekintetében szereztem gyakorlati tapasztalatot, így a következőkben bemutatásra kerülő vizsgálati módszer is az ilyen típusú rendszerekre vonatkozik. A szakaszos működésű anyagmozgató gépek alkalmazásával működtetett gyűjtő- elosztó rendszerek tekintetében az alábbi tervezési folyamat módosítása szükséges.

Az 1.3.1 fejezetben ismertetett – az optimális működési alternatíva meghatározására szolgáló – szimulációs vizsgálati módszer hatékony megvalósítása a gyűjtő- elosztó rendszerek vonatkozásában az 6. lépés részletes kidolgozását igényli.

B/6. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése:

A szimulációs modell elkészítéséhez meg kell határozni a vizsgált anyagáramlási rendszer(ek)e)t, a működéshez szükséges adatstruktúrákat, algoritmusokat, valamint az optimális működési rendszerváltozat kiválasztására szolgáló döntési módszert is.

Az anyagáramlási rendszer(ek) megtervezésénél a következő – általam meghatározott – objektumok/objektumrendszerek alkalmazása javasolt, melyeket a korábbi fejezetekben már részletesen ismertettem.

- Vizsgált logisztikai rendszer lehatárolására szolgáló objektumok (lásd 1.2.2. fejezet)
- Mozgatható egységek (lásd 1.2.2. fejezet)
- Rendszerelemek összekötésére szolgáló objektum (lásd 1.2.2. fejezet)
- Input adatok megadására szolgáló objektumok (lásd 1.2.2. fejezet)
- Technológiai műveletek modellezésére szolgáló objektumrendszer (lásd 1.2.3. fejezet)
- Anyagáramlási útvonal modellezésére szolgáló objektumok (lásd 1.2.2. fejezet)
- Puffer és raktár objektum (lásd 1.2.2. fejezet)
- Emberi munkavégzés modellezésére szolgáló objektumok (lásd 1.2.2. fejezet)

A szimulációs vizsgálati modell *adatstruktúrái* vonatkozásában a következők létrehozása javasolt:

- Rendszer szintű feladási terv adattábla: A vizsgált rendszer feladási pontjaihoz tartozó információkat tartalmazó adattábla. A 10. táblázat egy sora egy adott azonosítóval ellátott egységgrakomány (3. adatmező) termék- (4. adatmező) és egységgrakományképző eszköz információit (5-6. adatmező), feladási helyét és időpontját (1-2. adatmező), valamint annak leadási helyét (7. adatmező) tartalmazza.

10. táblázat Rendszer szintű feladási terv adattábla

Adatmező neve	Adattípus
1. Feladási hely azonosítója	String
2. Feladási időpont	Time
3. ER egyedi azonosítója	String
4. Termék típusa	String
5. ERKE típusa	String
6. ERKE töltési mennyisége	Integer
7. Célállomás azonosítója	String

- Feladási program adattábla: Minden feladási helyhez tartozik egy dedikált feladási program adattábla, mely az adott feladási pozícióhoz tartozó adatokat kell, hogy tartalmazza. Az adattábla felépítése megegyezik a rendszer szintű feladási terv adattábla struktúrájával. Az adatok feltöltése a rendszer szintű feladási terv elnevezésű adattábla adatsorainak – feladási hely azonosító alapján történő – leválogatásával történik.
- Induló készletszint adattábla: Az adattábla az egységgrakományok és egységgrakományképző eszközök indulókészletszint adatait tartalmazza. A tábla egy sora megmutatja, hogy egy adott pályaszakasz (1. adatmező) a szimulációs program indításakor, milyen típusú (2-3. adatmező) és mennyiségű (6. adatmező) egységgrakományt és/vagy egységgrakományképző (4-5.; 7. adatmező) eszközt kell, hogy tartalmazzon. Továbbá az adattáblában rögzíteni kell a termék leadási hely azonosítóját is (8. adatmező).

11. táblázat Induló készletszint adattábla

Adatmező neve	Adattípus
1. Pálya azonosítója	String
2. ER egyedi azonosítója	String
3. Termék típusa	String
4. ERKE típusa	String
5. ERKE töltési mennyisége	Integer
6. ER mennyisége	Integer
7. ERKE mennyisége	Integer
8. Célállomás azonosítója	String

- Anyagmozgató egységek működési jellemzőit tartalmazó táblázat: Ezen adattábla az egyes pályaszakaszokra jellemző működési információkat tartalmazza. A táblázat egy sora az adott pályaszakaszhoz tartozó egyedi azonosítót (1. adatmező), működési sebességet (2. adatmező), torlasztandó egységgrakomány darabszámot (3. adatmező), valamint a közöttük megvalósítandó távolságot (4. adatmező) tartalmazza. Azokban az esetekben, amikor egy adott pályaszakasz foglalt, ugyanakkor a torlasztandó termékmennyiség egy meghatározott ideig (5. adatmező) nem áll rendelkezésre, úgy a pályán lévő mennyiség „elengedésre” kerül.

12. táblázat Anyagmozgató egységek működési jellemzőit tartalmazó adattábla

Adatmező neve	Adattípus
1. Pálya azonosítója	String
2. Sebesség	Real
3. Torlasztás mennyisége	Integer
4. ER-ok közötti távolság	Real
5. Elengedési idő	Time

- Anyagáramlási csomópontok működési jellemzőit tartalmazó adattábla: Ezen adattábla az anyagáramlási csomópontok működésének megvalósításához szükséges adatokat tartalmazza. Az adattábla egy sora megmutatja, hogy egy egységgrakomány (2. adatmező) adott csomópont (1. adatmező) esetén mely irányba továbbítandó (3-4 adatmező), valamint azt, hogy a csomópontba több irányból beérkező egységgrakomány vonatkozásában milyen prioritással (5. adatmező) történjen a termékek fogadása. Az anyagáramlási irány megfelelő kijelöléséhez a csomópontba érkező egységgrakománynak tartalmaznia kell a célállomás azonosítóját, valamint a csomópontba tartozó pályaszakasz kilépési stratégiája tekintetében a különböző célállomásokhoz tartozó anyagáramlási irányok beállítása is szükséges. Az egységgrakományok csomópontba való beengedése a működési stratégia értéke alapján kell, hogy történjen (pl. 0 érték esetén ciklikus, 1-nél az 1-es, 2-nél a 2-es azonosítóval ellátott anyagáramlási irány élvez prioritást).

13. táblázat Anyagáramlási csomópontok működési jellemzőit tartalmazó adattábla

Adatmező neve	Adattípus
1. Csomópont azonosítója	String
2. ER azonosítója	String
3. Célállomás azonosítója	String
4. Anyagáramlási irány	String
5. Működési stratégia	String

A *működési algoritmus* tekintetében a következő javasolt: Első lépésként az anyagmozgató egységek, valamint az anyagáramlási csomópontok működési jellemzőinek – szimulációs modellben történő - beállítása kell, hogy megvalósuljon az adattáblák értékei alapján. Következő lépésként az indulókészletszintek létrehozása kell, hogy megtörténjen az induló készletszint adattábla adatai alapján. A rendszer szintű feladási terv adattábla értékei alapján a feladási program adattáblák kitöltésére van szükség, majd az azokban rögzített adatok alapján elindul a mozgatható egységek feladása és anyagáramlása. A csomópontok működése az anyagáramlási jellemzők működési jellemzőit tartalmazó adattábla értékei alapján kell megvalósítani. A futtatás során az optimális működési rendszerváltozat kiválasztására szolgáló - döntési módszer alkalmazásához szükséges - indikátorok értékeinek előállítása szükséges. Ezt a folyamatot minden működési alternatíva vonatkozásában meg kell ismételni, melyet követően a következőkben bemutatásra kerülő döntési módszer alkalmazásával a legjobb működési alternatíva kiválasztásra kerülhet.

Az optimális működési rendszerváltozat kiválasztására szolgáló döntési módszer javasolt módszere a következő:

A vizsgált rendszerváltozatok tekintetében meghatározott logisztikai mutatók egyes típusainál a legmagasabb érték (pl. termelékenység, kitárolási teljesítőképesség, stb.), más típusoknál viszont a legkisebb érték (pl. működési költség, alapterület igény, stb.) elérésére törekszünk az optimális működési rendszerváltozat kiválasztása során. Annak érdekében, hogy a minimalizálandó és a maximalizálandó logisztikai mutatók értékét egy célfüggvényben tudjuk szerepeltetni, képezni kell azok normalizált célfüggvénykomponenseit.

– Minimalizálandó célfüggvény komponensek előállításának lépései:

1. A minimalizálandó logisztikai mutatók mutatónkénti középértékeinek meghatározása.
2. A logisztikai mutatók mutatónkénti minimum értéke és a középérték, valamint a maximum értéke és a középérték közötti részének 5-5 egyenlő osztásközű intervallumra való osztása.
3. A vizsgált változatok logisztikai mutatóinak 1-10 közötti értékre történő transzformálása az előző lépésben meghatározott intervallumok felhasználásával.

– Maximalizálandó célfüggvény komponensek előállításának:

1. A maximalizálandó logisztikai mutatók mutatónkénti középértékeinek meghatározása.
2. A logisztikai mutatók mutatónkénti minimum értéke és a középérték, valamint a maximum értéke és a középérték közötti részének 5-5 egyenlő osztásközű intervallumra való osztása.

3. A vizsgált változatok logisztikai mutatóinak 1-10 közötti értékre történő transzformálása az előző lépésben meghatározott intervallumok felhasználásával.
4. A minimalizálandó célfüggvény komponenssé történő átalakítás érdekében az előző lépésben meghatározott 1-10 közötti értékek 11-ből történő kivonása.

A normalizálás eredményeként valamennyi logisztikai mutató értéke 1-10 közé való transzformálása megvalósításra kerül, valamint minden tényező tekintetében a legkisebb értékhez tartozó alternatíva kiválasztása válik célkitűzéssé.

Az optimális működési rendszerváltozat kiválasztására szolgáló célfüggvény: A (8) összefüggés alapján képezzük a normalizált célfüggvénykomponensek súlyozott összegét valamennyi működési rendszerváltozat vonatkozásában, majd kiválasztjuk a legkisebb értékkel rendelkező változatot. A súlyozás vonatkozásában többféle módszer alkalmazható, így például az érintett szereplők által adott súlyok átlagolása, a páros összehasonlítás módszere vagy a Churchman-Ackoff-féle súlyozási módszer.

$$X = \min_i \left\{ \sum_{j=1}^p \delta_j * Y_{ij} \right\} \quad 0 \leq \delta_j \leq 1 \quad \sum_{j=1}^p \delta_j = 1, \quad (8)$$

ahol i a vizsgált változat, j a célfüggvény komponens azonosítója, δ_j pedig a j . célfüggvény komponens súlya.

1.3.2. Optimális raktári anyagmozgatási stratégia kiválasztásának szimulációs vizsgálati módszere

A vevőorientált negyedik ipari forradalom hatásaként jellemzően a vállalatok által kezelendő termékféleségek számának növekedése, a rendelési mennyiségek, valamint a termék életciklusok csökkenése tapasztalható. Ez a folyamat hatással van a raktározási anyagáramlási folyamatok kialakítására és működtetésére is. A vállalatok a raktári anyagmozgatási folyamataikat jellemzően a beruházási időszakban határozzák meg melyek felülvizsgálatára nem vagy csak hosszabb időszakonként kerül sor. Egy alapanyagraktár vonatkozásában a dinamikus változó környezet hatásaként a felülvizsgálat gyakorisága és módja jelentős hatással van a raktározási rendszer üzemeltetési költségére, a be- ki és áttárolási teljesítőképességre, valamint a késedelmes munkavégzés alakulására. Megállapítható, hogy a gyakorlatban jelentős igény van egy olyan szimulációs vizsgálati módszer kialakítására melynek segítségével a vizsgált raktározási rendszer tekintetében az optimális raktári anyagmozgatási stratégia meghatározhatóvá válik.

A következőkben bemutatásra kerülő vizsgálati módszer társtémavezetésem alapján Dobos Péter PhD hallgató által került kidolgozásra.

Az 1.3.1. fejezetben bemutatott – az optimális működési rendszerváltozat meghatározására szolgáló – szimulációs vizsgálati módszer hatékony alkalmazásához a B/4 és B/6 lépések részletes bemutatására kerül sor.

B/4. Vizsgálandó alternatívák kidolgozása: A vizsgált raktározási rendszer vonatkozásában a gyakorlatban alkalmazott be- ki- és áttárolási stratégiák különböző variációinak vizsgálata válhat szükségessé. Ebben a lépésben ki kell választani a be- ki- és áttárolási stratégiákból a vállalat számára releváns típusokat, valamint azok vizsgálandó variációit.

– Betárolási stratégiák ismertetése [8-10]:

- Véletlenszerű betárolási stratégia: A betárolandó anyagok az üres tárhelyeken, véletlenszerű módon kerülnek elhelyezésre.
- Legközelebbi nyitott tárhelyre történő betárolás: A termékek elhelyezése a legközelebbi üres tárhelyre történik.
- Fix tárhelyes betárolás: A betárolandó alapanyagok terméktípusonként meghatározott fix tárhelyre kerülnek elhelyezésre. A folyamatosan változó környezet esetén a modell csupán nagy veszteségekkel alkalmazható.
- Osztályozás szerinti betárolás: A tárolt alapanyagokat egy kiválasztott szempont alapján csoportokba, ABC kategóriákba sorolják és csoportonként határozzák meg számukra a lehetséges tárolási zónákat. A csoportok képzése történhet: népszerűség-, forgalom-, térfogat szerint.

– Kitárolási stratégiák ismertetése [8-10]:

- FIFO (First In First Out): Terméktípusonként az első beérkezett termék elsőnek kerül kitárolásra.
- LIFO (Last In First Out): Terméktípusonként a legkésőbb beérkezett termék elsőnek kerül kitárolásra.
- FEFO (First Expired First Out): Terméktípusonként az a termék kerül ki a raktárból először, amelyiknek lejáratí ideje a legrövidebb.
- LOFO (Low First Out): Terméktípusonként az a termék kerül ki először a raktárból, amelyiket a legalacsonyabb áron szerezték be.
- HIFO (High First Out): Terméktípusonként az a termék kerül ki először a raktárból, amelyiknek a beszerzési ára a legmagasabb volt.

– Áttárolási stratégiák ismertetése [8-10]:

- Nincs áttárolás: Az alapanyagok a raktárban töltött várakozási idő alatt nem kerülnek átmozgatásra egyik tárhelyről a másikra.

- Van áttárolás: Dinamikus raktári környezetben lehetőség van az anyagok tárhelyek közötti mozgatására a tárolás ideje alatt. Az átmozgatás célja, hogy az anyagok közelebb kerüljenek a kitárolási ponthoz ezzel csökkentve az anyagmozgatási útvonalak hosszát (lehetőséget biztosít a csúcsidőszakok anyagmozgatási feladatainak részleges átvételére).

B/6. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése: A B/1-B/5 lépések megvalósítását követően a feltárt vizsgálati alternatívák vonatkozásában meg kell határozni a szimulációs vizsgálati modell anyagáramlási rendszerét, annak működtetéséhez szükséges adatstruktúrákat, működési algoritmusokat, valamint az optimális rendszerváltozat kiválasztására szolgáló döntési módszert.

Az vizsgált *anyagáramlási rendszer megtervezésénél* az 1.2.2. fejezetben használt objektumok alkalmazása javasolt.

A szimulációs vizsgálati modell *adatstruktúrái* vonatkozásában a létrehozandó adatbázisok típusai és azok tervezett tartalma kerül bemutatásra.

- Tárolási rendszer adatbázis elemei:
 - raktározási rendszer méretadatai (befoglaló méretek, tárolási rekeszek mérete, közlekedési folyosók mérete, stb.),
 - tárhelyek foglaltsága, üres tárhelyek,
 - a tárhelyen lévő anyagok típusa,
 - a raktári tárhelyek a ki- és betárolási pontoktól való távolsága.
- Anyagmozgatási rendszer adatbázis elemei:
 - anyagmozgató gépek száma,
 - anyagmozgató gépek pozíciója a szimuláció indításakor,
 - anyagmozgató gépek üzemanyag töltöttsége a szimuláció indításakor,
 - anyagmozgató gépek, gyorsulása, üzemi sebessége,
 - anyagmozgató berendezések üzemanyag felhasználása, felöltése,
 - anyagmozgató berendezések karbantartása,
 - anyagmozgató berendezések szállítási kapacitása,
 - anyagmozgató gépek anyagfelvételi- és leadási ideje,
 - anyagmozgatási útvonalak,
 - anyagmozgató berendezések alkalmazási útvonalának korlátozása.
- Termék adatbázis elemei:
 - induló készletek tárolási pozíciói terméktípusonként,
 - terméktípusok elhelyezési lehetőségei,
 - alkatrészek beépülési mátrixa,

- egységrakományok befoglaló mérete, töltési mennyisége terméktípusonként.
- Anyagmozgatási feladat adatbázis elemei:
 - betárolási feladatok keletkezési időpontja, teljesítési időablaka terméktípusonként,
 - kitárolási feladatok keletkezési időpontja, teljesítési időablaka terméktípusonként.

A *működési algoritmus* tekintetében a következő javasolt: Első lépésként a létrehozásra kerülő vizsgálati modell paramétereinek inicializálása kell, hogy megtörténjen az első vizsgált változathoz tartozó értékek alapján. A hozzájuk tartozó paraméterbeállításokkal létrehozásra kerülnek az induló készletek, valamint az anyagmozgatást végző eszközök. A raktári anyagmozgatási feladatok elvégzése a vizsgált raktári anyagmozgatási stratégia alapján kell megvalósítani. A futtatás során az optimális működési alternatíva kiválasztására szolgáló - döntési módszer alkalmazásához szükséges - indikátorok értékeinek előállítása is meg kell, hogy valósuljon.

Ezen folyamatot valamennyi kiválasztott raktári anyagmozgatási stratégia vonatkozásában szükséges megismételni, melyet követően az 1.3.1. fejezetben bemutatott döntési módszer alkalmazásával a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelő változatot kell kiválasztani.

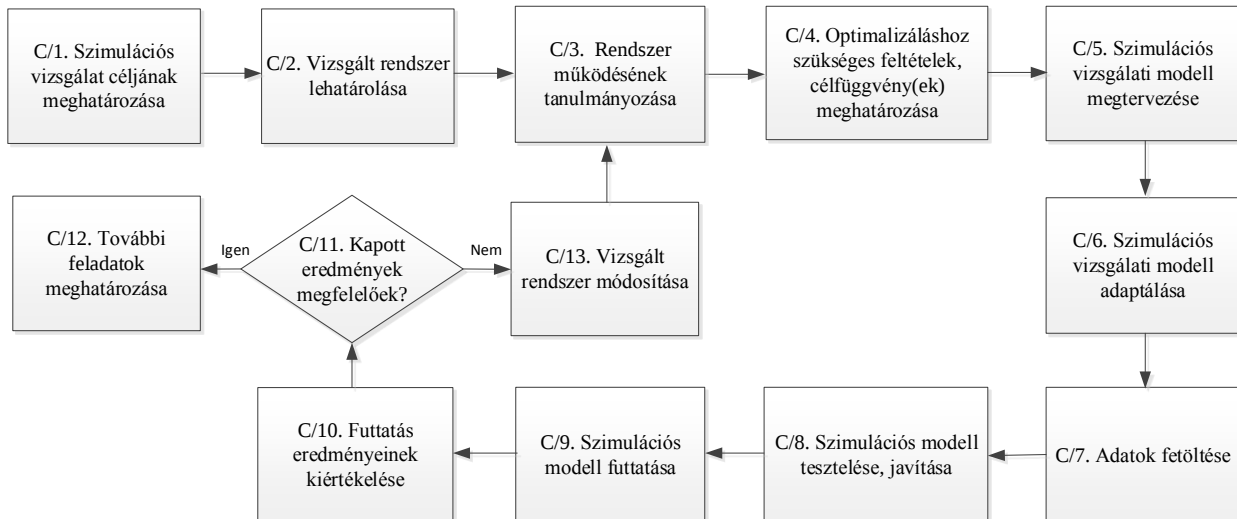
1.4. Működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszer

Az aktuális vagy a jövőben kialakítandó logisztikai rendszerek vonatkozásában előfordulhat, hogy a hatékonyabb működéshez több paraméter optimális meghatározása szükséges. Ilyen optimalizálási feladat előfordulhat többek között a termelésütemezési, készletezési-, járattervezési-, telepítés elrendezési területeken. Az egyszerűbb logisztikai folyamatokat tartalmazó – egzakt matematikai összefüggésekkel leírható – rendszerek esetén az optimalizálás megvalósítása nem igényli a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazását. A folyamatok növekvő komplexitásának eredményeként azonban egyre gyakrabban kell, hogy felhasználásra kerüljön a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazása. A fejezet a működési jellemzők optimalizálására szolgáló szimulációs vizsgálati módszer megvalósításának lépéseit, valamint az adott területen elért eredményeket tartalmazza.

Szimulációs vizsgálati folyamat lépései:

C/1. Szimulációs vizsgálat céljainak meghatározása: A működési jellemzők optimalizálásának a következő célkitűzései lehetnek:

- Jelenlegi rendszer működésének optimalizálása: Ennek során egy valós rendszer kiválasztott paramétereinek optimális megválasztása (pl. termelési terv-, készletezési mechanizmusok-, járattervek optimalizálása, stb.) történik.



12. ábra Működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszer [saját szerkesztés]

- Fejlesztési koncepció optimalizálása: A jelenlegi rendszer továbbfejlesztési terve alapján létrehozandó rendszer paramétereinek optimalizálása (pl. beszerzendő anyagmozgató gépek működési jellemzőinek optimalizálása, stb.) valósul meg.
- Jövőben megvalósítandó rendszer működésének optimalizálása: A későbbiekben létrehozandó logisztikai rendszer kiválasztott paramétereinek optimalizálása (pl. technológiai berendezések optimális telepítési helyének meghatározása, stb.) történik.

C/2. Vizsgált rendszer lehatárolása: Az optimalizálási célok szem előtt tartásával le kell határolni a vizsgált rendszert, valamint meg kell határozni annak be- és kimeneti pontjait, továbbá rögzíteni kell vizsgálandó folyamatait.

C/3. Rendszer működésének tanulmányozása: A vizsgált rendszer lehatárolását követően a szimulációs modellt készítő személynek részleteiben meg kell ismernie a vizsgált rendszer anyag- és információáramlási folyamatait. Különös figyelmet kell fordítani az eseti folyamatok megismerésére.

C/4. Optimalizáláshoz szükséges feltételek, célfüggvény(ek) meghatározása: A vizsgált logisztikai rendszer tekintetében meg kell határozni a kijelölt optimalizálási feladat elvégzéséhez szükséges feltételeket (pl. tárolási kapacitás, kitárolási

teljesítőképeség, stb.), melyek meghatározásához az A/4. lépésben leírtak jó alapot szolgáltatnak. Ezen túlmenően meg kell határozni az optimalizálandó paramétereket, valamint az optimalizálás célfüggvényét is.

C/5. Szimulációs vizsgálati modell megtervezése: A C/1-C/4 lépések megvalósítását követően meg kell határozni a szimulációs vizsgálati modell anyagáramlási rendszerét, annak működtetéséhez szükséges adatstruktúrákat, valamint a kiválasztott paraméterek meghatározását végző optimalizáló algoritmus(oka)t. Szükség esetén ebben a fázisban kell definiálni a modell strukturálásának módját is. A kiválasztott paraméterek optimalizálása tekintetében a Plant Simulation keretrendszer „professional” verziója beépített genetikus algoritmussal rendelkezik, ugyanakkor szükség esetén attól eltérő megoldás is fejleszthető.

A C/6-C/9 lépések megvalósításának irányelvei megfelelnek az előző vizsgálati módszernél leírtakkal.

C/10. Futtatás eredményeinek kiértékelése: A futtatás eredményeként meghatározásra kerülnek a vizsgálati feltételeknek és célfüggvénynek leginkább megfelelő paraméterek optimális értékei.

C/11. Kapott eredmények elfogadhatóságának vizsgálata: Abban az esetben, ha a kapott eredmények elfogadhatók, akkor döntés születhet a meghatározott paraméterek szerint működő rendszer megvalósításáról (C/12. lépés), egyébként ismételt vizsgálatok elvégzésére kerülhet sor (C/13. lépés).

A működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszerek kutatása tekintetében az

- elektronikus piactérrel integrált kiszervezés vizsgálati rendszer működési koncepciójának meghatározása, valamint a
- bizományosan értékesítő érendkiegészítőket gyártó vállalatok ellátási láncának optimális kialakítása, működtetése

területén láttam el kutatási feladatokat és/vagy társtémavezetői tevékenységet.

Az elektronikus piactérrel integrált kiszervezés vizsgálati rendszer működési koncepciójának meghatározásához kapcsolódó kutatás a 2012-ben megvédett PhD értekezésem folytatásaként értelmezhető. Értekezésemben egy olyan elektronikus piactérrel integrált kiszervezés vizsgálati rendszer koncepcióját mutattam be, mely a késztermék raktározási tevékenységek kiszervezési vizsgálatának hatékonyságnövelését célozta. Az elektronikus piacterek fontos jellemzője az eladó és

a vevő közötti tranzakció elősegítése, vagyis ebben az esetben a kiszervezési vizsgálatot igénylő és a logisztikai szolgáltatást nyújtó vállalatok közötti tranzakció elősegítése optimalizálási algoritmusok alkalmazásán keresztül.

A logisztikai szolgáltatások kiszervezése számos előnnyel (pl. szolgáltatási színvonal növekedése, logisztikai szolgáltatások alacsonyabb költségen való biztosítása, főtevékenységre való fókuszálás, stb. [11-12]) és kockázattal (pl. üzleti információk eltulajdonítása, szolgáltató csődje, stb. [13-14]) járhat, mely előnyök realizálása érdekében kerül egyre inkább előtérbe a logisztikai szolgáltatások kiszervezési lehetőségének vizsgálata. Véleményem szerint ezt a folyamatot tovább erősíti majd, hogy a kiszervezési piacon elérhető logisztikai szolgáltatók meghatározó többsége versenyképessége megőrzése érdekében előnyben részesíti és/vagy fogja részesíteni az új korszerű technológiák (pl. Big Data koncepció, kiberfizikai rendszerek, stb.) alkalmazását, melyek segítségével fajlagos költségeik csökkentése és/vagy a nyújtott szolgáltatásuk színvonalának növelése hosszútávon is megvalósulhat. A kiszervezési terület tekintetében elsősorban a KPMG Tanácsadó Kft. számos hazai- és nemzetközi tanulmányt készített, melyek alapján megállapítható, hogy a vizsgált vállalatok többsége a szállítási- és raktározási feladataik logisztikai szolgáltatók részére történő átadását preferálta, ugyanakkor több esetben megjelent egyéb szolgáltatások (pl. termelésen belüli anyagmozgatás) harmadik fél részére történő átadása is.

A korábban már kidolgozott kiszervezés vizsgálati folyamat általánosításával meghatároztam – egy a logisztikai tevékenységek kiszervezési vizsgálatára alkalmas - elektronikus piactérrel integrált kiszervezés vizsgálati folyamat lépéseit. Ennek a folyamatnak egy súlyponti lépése a kiszervezési döntés meghozatala, mely során egy – a működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló – szimulációs vizsgálati szoftver meghatározza a kijelölt feladatok elvégzésére alkalmas logisztikai szolgáltatókat. A kutatási tevékenység soron következő lépése ezen vizsgálati módszer részletes kidolgozása, adaptációja lesz.

A bizományosan értékesítő étrendkiegészítőket gyártó vállalatok ellátási láncának optimális kialakításának, működtetésének kutatása tekintetében már több éve társtudományos témavezetői feladatokat látok el. A legtöbb vállalat versenyképességét, így az étrendkiegészítőket gyártó vállalatok versenyképességét jelentős mértékben befolyásolja az ellátási láncuk kialakításának és működtetésének módja.

Általánosságban elmondható, hogy egy hatékonyabb ellátási láncsal működő vállalat versenytársaihoz képest alacsonyabb fajlagos logisztikai költséggel és/vagy magasabb szolgáltatási színvonallal tudja termékeit eljuttatni a fogyasztóhoz. Az elérhető előnyök realizálása érdekében az ellátási láncok működésének optimalizálása napjaink egyik legfontosabb kutatási területe. Annak ellenére, hogy az ellátási láncok

optimális kialakítása jelentős előnyökkel jár, vannak olyan specifikus területek, melyek tudományos szempontból történő vizsgálata háttérbe szorult.

Ezen területek egyike a bizományosan értékesítő érendkiegészítőket gyártó vállalatok ellátási láncának optimális kialakítása, működtetése. Bizományos értékesítésről akkor beszélünk, ha a termelő vállalat nem közvetlenül a vevők részére értékesít, hanem a termékeit bizományi szerződés alapján átadja egy másik félnek (a bizományosnak), és a vevők részére már ő értékesít. Jogi nyelven a bizományi szerződés alapján az egyik szerződő fél ellenérték fejében köteles a másik szerződő fél javára, de a saját nevében szerződést kötni harmadik személlyel. Eddigi kutatási tevékenység során feltárássra kerültek ezen területhez tartozó ellátási láncok típusai, valamint különböző esettanulmányokon keresztül definiáltuk azok folyamatfejlesztési eszközeit is.

A további kutatások meghatározó részét fogja képezni a vizsgált ellátási lánc típusok tekintetében a működési jellemzők (pl. készletezési mechanizmusokhoz, termelésütemezéshez kapcsolódó paraméterek, stb.) optimális meghatározása, melynek megvalósításához szimulációs vizsgálati módszer részletekbe menő kidolgozása és adaptálása válik majd szükségessé.

1.5. Elért eredmények hasznosulása

A logisztikai rendszerek szimulációs vizsgálatával foglalkozó szakirodalom áttekintése, valamint az iparvállalatok részére végzett kutatások során jelentős szakmai tapasztalatot szereztem a különböző típusú szimulációs vizsgálati módszerek kidolgozása, adaptálása területén. A vállalatok részére végzett kutatások (Audi Hungaria Zrt., CLAAS Hungaria Kft., stb.) eredményei közvetlen módon a fejlesztési döntések meghozatalában játszottak szerepet, közvetetten pedig hatással voltak az oktatás és a kutatás területén végzett tevékenységemre.

A Logisztikai Intézetben létrejött szimulációs labor kialakításában meghatározó szerepet vállaltam a koncepció kialakítása és a beszerzések koordinálása tekintetében. Felismerve a terület jelentőségét több a logisztikai rendszerek szimulációs vizsgálatával foglalkozó tárgy indítását kezdeményeztem, melyek a következők voltak:

- logisztikai folyamatok szimulációja (GEALT102-B),
- szimuláció az anyagáramlásban és a logisztikában (GEALT422),
- logisztikai rendszerek szimulációja (GEALT061B).

A tárgyak előadás és gyakorlati anyagának összeállításában jelentős szerepet vállaltam, valamint részt vettem a Szimuláció a logisztikában, valamint Simulation methods in logistics című segédletek megírásában, melyek e-learning-es adaptációja is megvalósult. Ezen túlmenően új szakirányú továbbképzési szak alapítását kezdeményeztem Logisztikai szimulációs szakmérnök szakirányú továbbképzési szak néven, mely kezdeményezés az Oktatási Hivatal részéről támogatásra került, indítása 2021. februárban várható.

Jelenleg egy PhD hallgató témavezetője, valamint három PhD hallgató társtémavezetője vagyok, akik doktori értekezésében a szimulációs vizsgálatok meghatározó szerepet kapnak, így iránymutatásaim jelentős mértékben hozzájárulhatnak dolgozatuk elkészítéséhez.

Kutatási eredményeim számos konferencia és folyóiratcikkben – többnyire társszerzőkkel közösen – publikáltam, melyek közül kiemelendők az Applied Sciences-Basel és a Sustainability IF-os folyóiratokba publikált cikkek.

2. LEAN ESZKÖZÖK HATÉKONYSÁGNÖVELÉSE SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATI MÓDSZER ALKALMAZÁSÁVAL

2.1. Tudományos előzmények, célkitűzések

A vevői igények növekvő diverzifikálódása miatt a jövőben csupán azok a vállalatok lesznek képesek megtartani/növelni versenyképességüket, amelyek alkalmassá válnak az egyedi vevői igények alacsony fajlagos költség és magas szintű szolgáltatási színvonal mellett való kielégítésére.

Trendként fogalmazható meg a gyártandó termékféleségek számának, valamint az előállításukhoz kapcsolódó logisztikai folyamatok komplexitásának növekedése. Ez a változó környezet napjaink logisztikai folyamatainak fejlesztésével foglalkozó

szakemberei elé új kihívásokat állít. A folyamatfejlesztés területének leggyakrabban alkalmazott irányzata a lean filozófia, melynek szellemében 3 MU-t különböztethetünk meg, vagyis a Muri-t (túlterhelés), a Mura-t (egyenetlenség) és a Muda-t (veszteség). A Muri és a Mura minden esetben Mudát eredményez, ezért beszél a gyakorlati szakemberek többsége a veszteségek kiküszöböléséről [15].

A lean 8 veszteségtípust különböztet meg, melyek a túltermelés, felesleges készlet, - anyagmozgatás, - mozdulatok, - várakozás, -műveletek, hibák/selejteket, ki nem használt képességek [15]. A filozófia különböző eszközök segítségével törekszik ezen veszteségek minimalizálására. Taichi Ohno szavaival élve a legfontosabb cél a megrendelés és a pénzbeérkezés közötti idő lecsökkentése a veszteségek kiküszöbölésével [15].

A lean filozófia eszköz és szabályrendszere alapvetően egyszerűbb logisztikai folyamatok fejlesztésére lett kialakítva, így a folyamatok komplexitásának növekedésével szükségessé vált azok újragondolása.

A lean eszközök alkalmazásánál sokszor többféle alternatíva közül kell kiválasztani a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelőt (pl. az átállási folyamat-, húzó elv-, műveletközi tárolók-, kialakítása, stb.). Egyszerű folyamatok esetén a különböző alternatívák működési jellemzői könnyen meghatározhatók, így a megfelelő alternatíva nagy biztonsággal kiválasztható. Komplex anyagáramlási rendszerek vonatkozásában többféle termékcsalád termékeinek párhuzamos gyártása valósul meg, melyek anyagáramlási folyamatai rendszerint keresztezik egymást, így a különböző alternatívák működési jellemzői nehezen határozhatók meg. Ezekben az esetekben a megbízható – fejlesztési döntést támogató – adatok előállításához szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása válhat szükségessé.

Az előbbieken ismertetett okok miatt, valamint a vállalatok (Linamar Hungary ZRt., SBS Kft., CLAAS Hungaria Kft., stb.) részére végzett kutatási feladatok ellátása során szerzett tapasztalataim alapján kutatási tevékenységem a lean eszközök szimulációs vizsgálati módszerekkel történő integrációs lehetőségeinek kutatására fókuszáltam.

A különféle lean eszközök alkalmazásakor eltérő mértékű átalakulást tapasztalhatunk az anyag- és információáramlási folyamatoknál, így az esetleges hibás döntésekből származó veszteségek is különbözőek. Tapasztalat szerint minél nagyobb az átalakulás mértéke, annál nagyobb a tervezési hiba kockázata, így az értékfolyamat térképezés módszerét (VSM), a SMED-et (Single Minute Exchange of Die), valamint a kanban rendszert vizsgáltam a szimulációs vizsgálati lehetőségek tekintetében.

2.2. Értékfolyamat térképezés módszerének hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer felhasználásával

A logisztikai folyamatok fejlesztése valamennyi termelő- és logisztikai szolgáltató vállalat számára kulcstényezővé vált. Azon vállalatok, amelyek nem képesek vállalati kultúrájukat, alkalmazott eszközeiket a folyamatfejlesztés szolgálatába állítani rövid időn belül elvesztik versenyképességüket. A lean filozófia egyik legfontosabb eszköze az értékfolyamat térképezés módszere, amely a Toyota anyag- és információáramlási diagramjának felhasználásával jött létre. A módszert először Mike Rother & John Shook publikálta 1999-ben a „Tanulj meg látni” c. műben [16]. A módszer alapvető célja a veszteségek kiküszöbölése és ezáltal az anyag- és információáramlási folyamatok fejlesztése. Ezen célkitűzés mellett a módszernek számos előnyös tulajdonsága létezik, melyek a következők [16]:

- áttekinthetővé teszi a logisztikai folyamatokat,
- elősegíti a vizsgált folyamatok megértését,
- segít a veszteségek azonosításában,
- segít a fejlesztési lépések meghatározásában.

Az értékfolyamat térképezés módszere egy olyan papír és ceruza alapú eszköz, amelynek feladata egy termékcsalád aktuális logisztikai folyamatainak feltárása, ábrázolása, majd néhány kérdés feltevését követően a jövőállapot meghatározása és megvalósítása. A feladat elvégzéséhez szükséges szimbólumkészlet, valamint a megvalósítás lépései egyértelműen meghatározottak.

A gyakorlatban található logisztikai rendszerek többségében olyan összetett folyamatok találhatók, ahol egyidejűleg több termékcsalád gyártási folyamatai valósulnak meg, melyek többnyire keresztezik egymást, vagyis ezen folyamatok hatással vannak egymásra. Véleményem szerint az ilyen típusú komplex rendszereknél az esetek többségében nagyobb folyamatfejlesztési hatékonyság érhető el a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásával, mivel lehetőségünk van egy kijelölt részrendszer vonatkozásában valamennyi termékcsalád logisztikai folyamatainak egyidejűleg történő vizsgálatára.

Az értékfolyamat térképezés módszerének két típusát különböztethetjük meg. A statikus értékfolyamat [22] térképezés módszerét, amelynél egyidejűleg csupán egy termékcsalád folyamatai vizsgálhatók, valamint a dinamikus értékfolyamat térképezés módszerét [6], ahol lehetőségünk van egyidejűleg több termékcsalád folyamatainak vizsgálatára a létrehozott értékfolyamat térképek dinamikus átalakítási lehetősége mellett. A statikus értékfolyamat térképezés módszerénél elegendő csupán egy papírt és egy ceruzát használni, a dinamikus értékfolyamat térképezés módszerénél azonban a szimulációs modellezés technikájának alkalmazása szükséges.

A gyakorlatban eddig csupán néhány specifikus területen került alkalmazásra a dinamikus értékfolyamat térképezés módszere, így tudomásom szerint nincs olyan általános vizsgálati eljárás, amely bármely komplex logisztikai rendszer esetén

alkalmazható lenne. Ennek a gyakorlati igénynek a pótlására a dinamikus értékfolyamat térképezés módszere vonatkozásában egy olyan általános vizsgálati folyamat kidolgozását tűztem ki célul, mely valamennyi vizsgált logisztikai rendszer tekintetében alkalmazható. A fejezetben a statikus értékfolyamat térképezés módszerének rövid áttekintését követően ismertetem az általam kidolgozott vizsgálati módszert, majd a legfontosabb szempontok alapján összehasonlítom a statikus és a dinamikus értékfolyamat térképezés módszerét.

Statikus értékfolyamat térképezés módszerének lépései (13. ábra) [16]:

1. Vizsgált termékcsalád kiválasztása, értékfolyamat menedzser kijelölése: Egy termékcsalád meghatározására a gyakorlat rendszerint kétféle szabályt alkalmaz, vagyis:

- azon terméktípusok tartoznak egy termékcsaládba, melyek anyagáramlási folyamatai teljes mértékben megegyeznek (ugyanazon a raktárakon, technológiai berendezéseken, műveletközi tárolókon mennek keresztül),
- egy ökölszabály szerint azon termékek tartoznak egy termékcsaládba, melyek műveleteinek legalább 80%-a megegyezik, valamint az elvégzett műveletek időtartama nem tér el egymástól több mint 30%-ban.

Általában azokban az esetekben, amikor a vállalat által gyártott termékféleségek száma csekély az előbbi, egyébként pedig az utóbbi szabályt alkalmazzuk. A statikus értékfolyamat térképezés módszerénél egyidejűleg egy termékcsalád vizsgálata valósulhat meg, ezért fontos a termékcsaládok meghatározása, valamint a vizsgálandó termékcsalád kiválasztása.

A vállalatok többségénél általában nincs olyan központi személy, aki a termékcsaládokhoz tartozó teljes folyamatot átlátja és fejleszti, általában minden területnek (pl. raktározás, termelés, kiszállítás, stb.) külön vezetője van. Ez azzal jár, hogy a vállalatok a teljes folyamat vizsgálata és fejlesztése helyett sokszor csak részterületekkel foglalkoznak, ezért számos – a rendszerhatárokon található - veszteségforrás marad feltáratlan.

Egy termékcsaládhoz tartozó logisztikai folyamat egységben való kezelése érdekében szükségessé vált az értékfolyamat menedzseri pozíció létrehozása. E személy feladata a folyamatfejlesztés menedzselése egy vagy több termékcsalád vonatkozásában az értékfolyamat térképezés módszere, valamint más lean eszközök alkalmazásával.

2. Statikus jelenállapot térkép elkészítése: A vizsgált termékcsalád kiválasztását követően az értékfolyamat térképet készítő személynek meg kell ismernie a termékcsaládhoz tartozó anyag- és információáramlási folyamatot, majd egy előre definiált szimbólum és szabályrendszer segítségével el kell készítenie annak

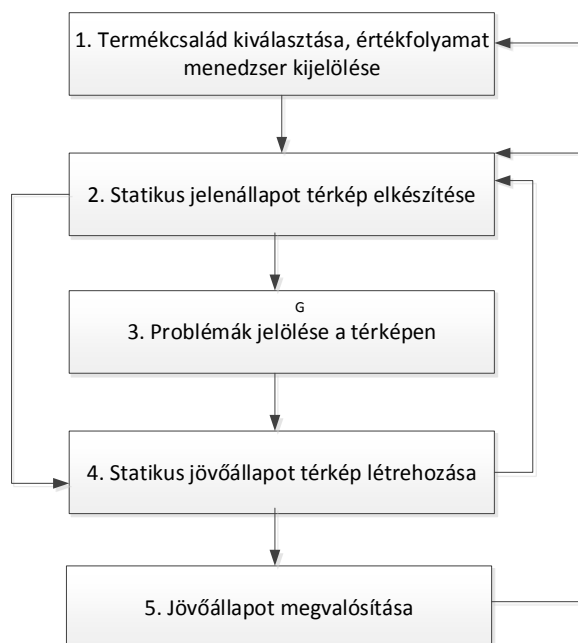
jelenállapot térképét. A térkép a vizsgált folyamatot átláthatóvá teszi, így meghatározhatók annak legfőbb veszteségei.

3. Problémák jelölése a statikus jelenállapot térképen: A jövőállapotra vonatkozóan megfogalmazott ajánlások (pl. egydarabos folyamatos áramlás, húzóelv létrehozása, egy ponton történő ütemezés, stb.) alapján meg kell határozni, majd jelölni kell a kiküszöbölendő problémákat. A problémák feltárásában néhány olyan kérdés feltevése is segíthet, mint pl. Hogyan biztosítható a folyamatos áramlás?, Mi okozza a készleteket?, stb.

4. Statikus jövőállapot térkép létrehozása: Ebben a fázisban történik a feltárt problémák kiküszöbölésével a jövőállapot térkép elkészítése, mely a megvalósítandó célállapotot kell, hogy tartalmazza.

5. Jövőállapot megvalósítása: A jövőállapot térképen jelölni kell az értékfolyamat hurkokat (egy ütemadó hurok, valamint a kiegészítő hurkok), majd hurkonként a hozzájuk tartozó logisztikai folyamat tekintetében definiálni kell az elvégzendő feladatok listáját (megvalósítási terv). A megvalósítási terv birtokában el kell készíteni az éves értékfolyamat tervet, mely leírja, hogy mely tevékenységet milyen ütemezésben kell megvalósítani, ki a megvalósítás felelőse, milyen célállapot mutatók tartoznak a megvalósításhoz és a feladat elvégzésének ellenőrzése milyen formában történik. Számos vállalat ezen terv birtokában dönt fejlesztéseiről, végzi el azok megvalósítását, illetve a kivitelezési folyamat ellenőrzését.

A módszer lépései között a kapcsolat nem minden esetben egyirányú, előfordulhat visszacsatolás is, pl. ha a jövőállapot térkép elkészítésekor olyan információra van szükségünk, melyet a jelenállapot térkép nem tartalmaz. Ebben az esetben a jelenállapot térképet módosítani kell, vagy ha a jövőállapot térkép megvalósításra kerül, akkor ismét az 1. vagy a 2. lépés következik, ezzel ciklikusan ismétlődik a folyamat.



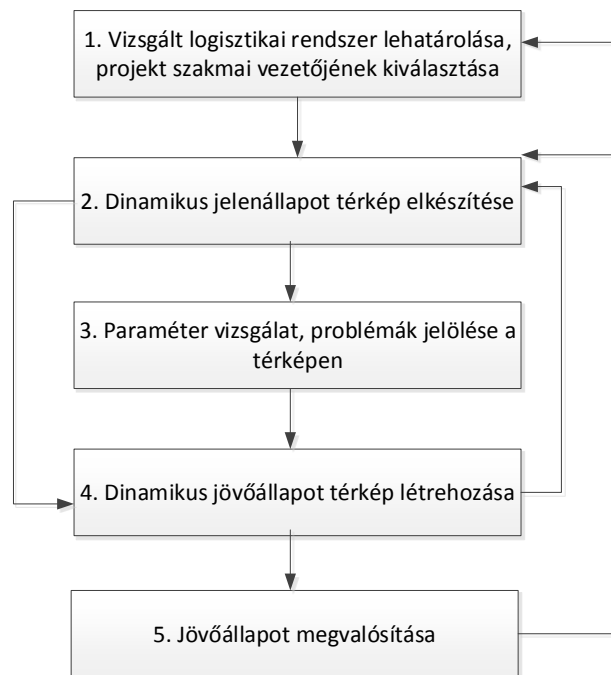
13. ábra Statikus értékfolyamat térképezés módszerének lépései [saját szerkesztés]

A dinamikus értékfolyamat térképezés módszere a statikus értékfolyamat térképezés módszerén alapul, ugyanakkor alkalmazásával kihasználjuk a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásában rejlő lehetőségeket.

Dinamikus értékfolyamat térképezés módszerének lépései (14. ábra):

1. Vizsgált logisztikai rendszer lehatárolása, projekt szakmai felelősenek kiválasztása: Ebben a lépésben a vizsgálati célokkal összhangban le kell határolni a vizsgált rendszert, majd meg kell határozni az abban előforduló és vizsgálandó termékcsaládokat. A termékcsaládok képzésének módja megegyezik a statikus értékfolyamat térképezés módszerénél leírtakkal. Ezt követően képezni kell egy összerendelési mátrixot, mely tartalmazza, hogy a vizsgált termékcsaládok mely értékfolyamat menedzserhez tartoznak. Továbbá az értékfolyamat menedzserek közül vagy szükség esetén magasabb vezetői szintről ki kell választani a fejlesztési projekt szakmai felelősét.

2. Jelenállapot dinamikus értékfolyamat térképének elkészítése: A jelenállapot térkép elkészítése speciális ismereteket igényel, mivel egy szimulációs alkalmazás elkészítésére kell, hogy sor kerüljön. Ebből adódóan ki kell választani egy olyan a szimulációs vizsgálatok elvégzésére alkalmas személyt (a feladat méretétől függően lehet több személy is), aki megismeri a lehatárolt rendszer folyamatait, valamint a projekt szakmai felelősenek útmutatásai alapján kialakítja a vizsgálati modellt. Ebben a lépésben a működési jellemzők meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszer A/3-A/8. lépéseit célszerű alkalmazni (lásd 1.2.1. fejezet).



14. ábra Dinamikus értékfolyamat térképezés módszerének lépései [saját szerkesztés]

3. Paraméter vizsgálat, problémák jelölése a térképen: A dinamikus jelenállapot térkép segítségével lehetővé válik a különböző input adatok működési jellemzőkre való hatásainak vizsgálata (pl. átállási idő csökkentésének hatása a műveletközi készletre, ciklusidő változtatásának hatása a teljesítőképességre, stb.). Egy a projekt szakmai vezetője által igényelt – szükség esetén az érintett értékfolyamat menedzserekkel egyeztetett – szisztematikus vizsgálati sorozattal definiálhatók a vizsgált részrendszer megoldandó problémái, melyek grafikus módon a térképen is jelölésre kerülnek.

4. Dinamikus jövőállapot térkép létrehozása: A feltárt problémák megoldásához szükség lehet további szimulációs vizsgálatok elvégzésére, melynél az optimális rendszerváltozat kiválasztására és/vagy a működési jellemzők optimális meghatározására kidolgozott szimulációs vizsgálati módszerek vonatkozó lépéseinek alkalmazása ajánlott. A feltárt problémák megoldását követően el kell készíteni az elvárt jövőbeni állapotot tartalmazó dinamikus jövőállapot térképet.

5. Jövőállapot megvalósítása: A statikus értékfolyamat térképezés módszeréhez hasonlóan ennél a módszernél is meg kell határozni az értékfolyamat hurkokat és a hurkokhoz tartozó cselekvési listát. Ezt követi az éves értékfolyamat terv elkészítése, valamint annak ellenőrzött keretek közötti megvalósítása. A statikus értékfolyamat térképezés módszerétől eltérően a részrendszer folyamatai kapcsán meghatározott fejlesztéseket az értékfolyamat menedzserek közreműködésével a projekt szakmai felelőse koordinálja, ellenőrzi.

A statikus és dinamikus értékfolyamat térképezés módszerének különböző féle szempontok alapján történő összehasonlítását a 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat [saját szerkesztés]

Szempontok	Statikus értékfolyamat térképezés	Dinamikus értékfolyamat térképezés
Vizsgálat tárgya	egy kiválasztott termékcsalád logisztikai folyamata	lehatárolt részrendszer logisztikai folyamatai
Vizsgált folyamat(ok) komplexitása	alacsony	magas
Értékfolyamat térképek elkészítésénél alkalmazott eszközök	papír, ceruza	szimulációs keretrendszer
Hatásvizsgálatok megvalósítása	nem vagy csak korlátozott mértékben lehetséges	lehetséges
Véletlenszerűségek figyelembevétele a vizsgálatoknál	nem vagy csak korlátozott mértékben lehetséges	lehetséges

Véleményem szerint a folyamatok komplexitásának növekedésével a statikus értékfolyamat térképezés módszerének szerepe nem fog jelentősen csökkenni, mivel a folyamatok termékcsaládonként való fejlesztése továbbra is fontos lesz, ugyanakkor a komplexebb vizsgálatok tekintetében egyre több esetben fog előtérbe kerülni a dinamikus értékfolyamat térképezés módszere.

2.3. Kanban rendszer megvalósításának hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer felhasználásával

A lean transzformáció hatékony megvalósítása érdekében 5 lépést kell végrehajtani, melyek a következők [15]:

- érték meghatározása,
- értékfolyamat feltérképezése,
- folyamatos áramlás létrehozása,
- húzó elv létrehozása,
- tökéletesítés.

Tapasztalat szerint a lépéssorozat eredményeként jelentős mértékben csökken a folyamatok vesztesége, ugyanakkor vannak olyan rendszerek, amelyeknél nem minden lépés hajtható végre teljes mértékben (pl. a hőkezelésnél nem hozható létre folyamatos anyagáramlás a költségtényezők miatt). Ezen esetekben költség-haszon elemzések

elvégzése mellett törekedni kell a lépések tekintetében megfogalmazott célok elérésére.

A lean filozófia alkalmazásának egyik súlyponti kérdése a húzó elv megvalósítása, vagyis a nyomó elven működő folyamatok húzóvá történő átalakítása. A nyomó és a húzó elvű termelésirányítási elv alapvetően abban különbözik egymástól, hogy a nyomó elv a vevői igények prognózisán alapszik a húzó elv pedig a ténylegesen felmerült vevői igények kielégítésén [3]. Ennek következménye, hogy a nyomó elvnél sok esetben túltermelés és/vagy készlethiány keletkezik, addig a húzó elvnél nem áll fenn ilyen probléma. Ez hétköznapi példára lefordítva azt jelenti, hogy egy gépjármű tankolásánál nyomóelv szerint a várható futásteljesítménye alapján becsüljük meg a tankolandó mennyiséget, a húzóelv esetén pedig akkor tankolunk, ha elértünk egy meghatározott üzemanyag mennyiséget. Egyértelműen belátható, hogy a húzóelv nagyobb biztonságot ad. Ugyanez a megállapítás áll fenn a termelési és szolgáltatási folyamatoknál egyaránt.

A húzóelv alapján működő termelési rendszereknél a legfontosabb célkitűzés a termelési átfutási idő rendelési átfutási idő alá történő csökkentése (lehetővé válik a kvázi „készletmentes” termelési folyamat, mivel a termelési folyamat akár az igény beérkezésekor elkezdődhet, minimális mennyiségű készlet tárolása mellett), mely a rendszerben lévő kanban kártyák számának csökkentésével és az ezáltal megjelenő problémák megoldásával érhető el. A nyomó és a húzó elvű termelésirányítási rendszer közötti alapvető különbségeket az 15. táblázat szemlélteti.

15. táblázat Termelésirányítási filozófiák összehasonlítása [Forrás: Saját szerkesztés]

Szemponatok	Nyomó elvű termelésirányítási filozófia	Húzó elvű termelésirányítási filozófia
Termelés ütemezése	vevői igények prognosztizálása alapján	ténylegesen felmerülő vevői igények alapján
Termelési átfutási idő	hosszabb	rövidebb
Műveletközi készlet	nagyobb	kisebb
Törekvés a veszteségek kiküszöbölésére	ritka	rendszeres
Munkavégzés komplexitása	egyszerűbb	komplexebb
Termelékenység	alacsonyabb	magasabb
Termeléshez szükséges alapterület igény	nagyobb	kisebb
Termelési sorozatnagyság	nagyobb	kisebb

A kanban rendszer kialakítása egy jól szabályozott folyamat, ugyanakkor annak komplexitása miatt a tervezési hibák előfordulásának kockázata jelentős. Ezen

kockázatok kiküszöbölése érdekében célként tűztem ki a transzformációs folyamat szimulációs vizsgálati lehetőségeinek feltárását, valamint ezen lehetőségek kapcsán a vizsgálati folyamatok típusainak meghatározását.

Kanban rendszer kialakításának folyamata:

A logisztikai folyamatok nyomó rendszerről húzó rendszerre való átalakításának alapvetően kétféle változata létezik. Az egyik esetben a kijelölt teljes folyamat átalakítása „egyszerre” történik meg (15. ábra A változat), másik esetben viszont a folyamat átalakítása részfolyamatonként történik, így tapasztalatokat szerezhetünk, melyek felhasználásra kerülnek a következő részfolyamat kialakításánál (15. ábra B változat). Az átalakítási folyamat releváns lépései a következők:

1. Előfeltételek teljesítése [17]: A húzó elvű rendszer bevezetésének számos előfeltétele van, melyek közül a legfontosabbak:

- a vizuális menedzsment,
- a javaslattételi rendszer,
- az 5S,
- a standardizálás,
- a folyamatos vagy ahhoz közeli anyagáramlás,
- a fejlesztést ösztönző vállalati kultúra
- a rendelkezésre álló gyártási kapacitás összessége nagyobb kell, hogy legyen, mint a vevői igények összessége,
- a felmerülő gyártástechnológiai hibák okozta kiesés pótlására kell, hogy legyen tartalék gyártási kapacitás.

2. Csoport létrehozása: Ebben a lépésben, a kanban rendszer bevezetésének megtervezését, koordinálását végző csoportot kell létrehozni, úgy hogy a bevezetésben érintett valamennyi terület képviseltesse magát, illetve a csoportban legyen legalább egy olyan személy, akinek tapasztalata van a kanban rendszerek kialakításával kapcsolatban.

3. Ütemterv elkészítése: A bevezetési folyamat főbb mérföldköveinek és azok határidejének meghatározása.

4. Oktatás [17]: A bevezetést végző csoport minden tagját oktatásban kell részesíteni a húzó elvű rendszerek kialakításával, működtetésével kapcsolatban.

5. Jelen állapot ábrázolása, elemzése, értékelése: Az átalakítandó folyamat jelen állapotának feltérképezését célszerű az értékfolyamat térképezés módszerével megvalósítani [17]. A módszer lehetőséget biztosít a jelenlegi állapot megismerésére, objektív értékelésére.

6. Jövőállapot megtervezése: A jövőállapot megtervezése alapvetően egy jövőállapot térkép elkészítését [17] jelenti, amely általában több lehetséges változat értékelését követően kerül kiválasztásra. A térkép meghatározza a rendszer működésének

alapelveit, vagyis, hogy hol és milyen típusú eszköz elhelyezésére van szükség, illetve, hogy hogyan történjen az anyag- és információáramlás.

7. Rendszer bevezetésének megtervezése [3]: A rendszer bevezetésének megtervezése alapvetően egy olyan táblázat elkészítését jelenti, ahol megadjuk az elvégzendő feladatokat, a teljesítés időszakát (Gantt diagramm), a feladat teljesítésével elérendő teljesítmény mutatókat, valamint a feladat elvégzésében érintett személyeket (RASIC chart). A bevezetés ütemezése történhet rövid idő alatt a teljes folyamat vonatkozásában (15. ábra A változata), illetve több lépésben értékfolyamat hurkonként [16], a részfolyamatok kialakítása során szerzett tapasztalatok felhasználásával (15. ábra B változata).

8. Rendszer működési szabályainak meghatározása [16]: Meg kell határozni a rendszerben dolgozó személyek pontos munkautasításait különböző körülmények között (pl. változó vevői igények mellett készletszint szabályozását, folyamatfejlesztés módját, stb.).

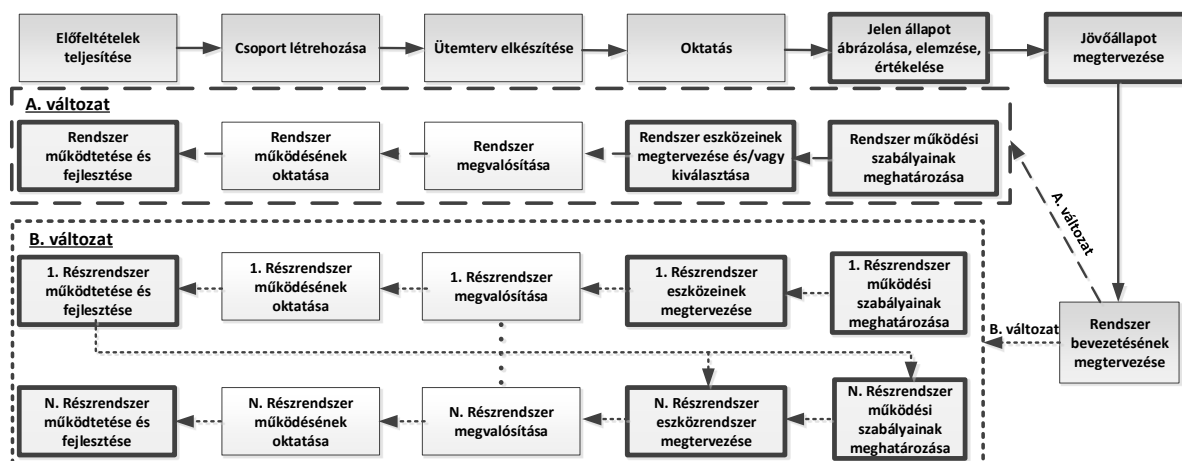
9. Rendszer eszközeinek megtervezése és/vagy kiválasztása: Ebben a fázisban meg kell tervezni és/vagy ki kell választani a standard és speciális kanban kártya típusokat (pl. termelési kanban, anyagfelvevő kanban, pool kanban, express kanban, stb.), a heijunka táblát, a supermarketeket és/vagy FIFO csatornákat, a kanban tároló helyeket, valamint szükség esetén az anyagmozgató gépeket. Meg kell határozni a kanban kártyák rendelési mennyiségét is, valamint törekedni kell a különböző kanban kártyák összehangolására. Ez azt jelenti, hogy ha egy „A” termék beépülési gyakorisága 1 db/termék és egy „B” termék beépülési gyakorisága 2 db/termék, valamint mind a két termék egy termékbe kerül beépítésre, akkor egy kanban körben „A” termékből pl. 100 db, „B” termékből pedig 200 db kerüljön egy kanban körben rendelésre. A kanban kártyák rendelési darabszámát az anyagellátást biztosító milk-run kör idejével is össze kell hangolni.

10. Rendszer megvalósítása: A 7. lépésben meghatározott tervnek megfelelően meg kell valósítani a kanban rendszert.

11. Rendszer működésének oktatása [17]: A rendszer üzemeltetésében részt vevő dolgozók részére meg kell tanítani és be kell gyakoroltatni a kidolgozott húzó rendszer működtetésével kapcsolatos munkautasításokat.

12. Rendszer működtetése és fejlesztése: A rendszer megvalósítását és a dolgozók képzetését követően el kell indítani a kanban rendszert, mely a kezdetekben számos problémával járhat. A kanban rendszer alkalmazása során a folyamatos fejlesztésre kell törekedni, mely tapasztalatainak felhasználásával, a B változat (15. ábra) esetén, hatékonyabb részfolyamat bevezetés valósulhat meg.

Az átalakítási folyamat átfutási ideje rövidíthető a 8-10. lépések teljes vagy részleges párhuzamosításával.



15. ábra Nyomó rendszerről húzó rendszerre való átállás folyamata [Saját szerkesztés]

A húzó elvet gyakran kombinálják egy „leveling”-el, amely a vevői igények előre meghatározott időhorizontra tervezett simított gyártását jelenti. A „gyártási mintákat” általában 1-2 hetes időhorizontra készítik el. A mintán belül a gyártatandó termékcsoportok ciklikus ismétlődése valósul meg. Gyakran a termékeket alcsoportokba sorolják, pl. az „A” alcsoport termékei minden nap gyártásba kerülnek, melyek alapvetően az azonos technológia folyamatba sorolható termékek, a „B” alcsoport termékei minden második vagy harmadik nap kerülnek gyártásba, elemei a hasonló technológia műveleteket igénylő termékek, a „C” alcsoport termékei pedig az egzotikus termékek. Ennek segítségével további hatékonyságnövelést lehet elérni az átállási idő csökkentésére, a késztermék készlet szintjére, valamint az anyagellátási folyamatoknál.

Kanban rendszer kialakításának hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer alkalmazásával:

Az átalakítási folyamat lépései alapvetően megegyeznek az előbbiekben leírtakkal, ugyanakkor vannak olyan lépések, melyeknél a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásával a tervezési hibák előfordulásának kockázata minimalizálható. A 15. ábrán ezen lépések kerültek kiemelésre (vastag körvonal), melyek szimulációs vizsgálati lehetőségei és módszerei a következőkben kerülnek ismertetésre.

- Jelen állapot ábrázolása, elemzése, értékelése: A jelenlegi állapot működési jellemzői a vizsgált folyamatok összetettsége esetén többnyire nem határozhatók meg kellő pontossággal, így az aktuális folyamatok értékelése nem végezhető el kellő bizonyossággal, mely a későbbiekben az ideálistól eltérő jövő állapot meghatározáshoz vezethet. Szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazása az értékeléshez szükséges valamennyi működési jellemző nagyobb megbízhatósággal való meghatározását eredményezheti.

- Jövőállapot megtervezése: A megvalósítandó jövőállapot meghatározásakor előfordulhat, hogy egyes működési jellemzőket nagy pontossággal kell meghatároznunk és/vagy több alternatíva közül kell kiválasztanunk a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelőt. Előfordulhat továbbá, hogy bizonyos rendszerparamétereket optimalizálnunk kell, mely feladatok ellátása sokszor nem végezhető el kellő megbízhatósággal, szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása válik szükségessé.
- Rendszer működési szabályainak meghatározása: Az emberi és a gépi munkavégzés szabályrendszerének (pl. induló készletszintek, gyártási minták meghatározása, kanban kártyák számának változtatási módja eltérő vevői igény esetén, kanban kártyák kezelésének módja, stb.) meghatározása során előfordulhat, hogy több alternatíva közül kell választanunk és/vagy bizonyos paramétereket optimalizálnunk kell, ezért a tervezési hiba csökkentése érdekében a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazása válhat szükségessé.

16. táblázat Szimulációs vizsgálatok alkalmazási lehetőségei [Saját szerkesztés]

Kanban rendszer kialakításának lépései	Szimulációs vizsgálati módszer típusa		
	Működési jellemzők meghatározására alkalmazható	Optimális működési alternatíva kiválasztására szolgáló	Működési jellemzők optimalizálására alkalmazható
Jelen állapot ábrázolása, elemzése, értékelése	igen	nem	nem
Jövőállapot megtervezése	igen	igen	igen
Rendszer működési szabályainak meghatározása	igen	igen	nem
Rendszer eszközeinek megtervezése és/vagy kiválasztása	igen	igen	igen
Rendszer működtetése és fejlesztése	igen	igen	igen

- Rendszer eszközeinek megtervezése és/vagy kiválasztása: A kialakítandó kanban rendszer különféle eszközeinek (pl. kanban tárolóhely, raktározási rendszer, anyagmozgató gépek, stb.) meghatározásánál szükség van az eszközök típusának és számának meghatározására, mely komplex rendszereknél nem vagy csak nehezen határozható meg egzakt matematikai módszerekkel, így szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása válhat szükségessé.
- Rendszer működtetése és fejlesztése: A kialakított rendszer folyamatos fejlesztése elengedhetetlen a versenyképesség megtartása/növelése érdekében. A több értékfolyamatot érintő folyamatfejlesztési döntéseket érdemes nagyobb

körültekintéssel szimulációs modellezés alkalmazásával meghozni, mivel egy rossz döntés akár jelentős veszteségeket is okozhat (pl. a szükségesnél kisebb teljesítőképességű technológiai berendezés beszerzése, stb.).

Az 16. táblázat megmutatja, hogy az átalakítási folyamat egyes lépéseinél, mely szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása növelheti az átalakítási folyamat hatékonyságát.

2.4. SMED módszer hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszer felhasználásával

A lean filozófia egyik meghatározó módszere a SMED (Single Minute Exchange of Die - egyszámjegyű perc alatti átállítás), melynek alkalmazásával a vizsgált folyamatok átállási ideje jelentős mértékben csökkenthető. A módszer alkalmazásával több területen jelentős előnyöket realizálhatunk, melyek közül a legfontosabbak a következők [18]:

- Műveletközi készletek csökkenése: Az átállási idő csökkenésének hatására csökken a sorozatnagyság és az utánpótlási idő, mely a tárolt termékek mennyiségének csökkenését eredményezi.
- Tőke költség csökkenése: A kisebb műveletközi készlet hatására kevesebb pénzeszköz áll félkész-, illetve késztermékben, mely alacsonyabb tőke költséget eredményez.
- Kisebb alapterület igény: Az alacsonyabb készlet szint hatására ugyanazon termékmennyiség kisebb területen előállítható.
- Gyártási rugalmasság növekedése: A kisebb átállási idő miatt több átállásra van lehetőség, ezért növekszik a gyártható termékféleségek száma.
- Gyártható termékmennyiség növekedése: Az átállási idő csökkenésének eredményeként növelhető a gyártható termékek mennyisége.
- Minőségi hibák számának redukálása: A kisebb átállási idő miatt csökkenhetnek a gyártási sorozatnagyságok, emiatt a termékhibák kevesebb terméket érintenek.
- Beruházási költségek csökkenése: A kisebb területigény, valamint a hatékonyabb gyártás miatt kevesebb beruházásra van szükség.

A SMED módszer alkalmazásának algoritmusai egyértelműen meghatározottak, ugyanakkor azokban az esetekben, amikor a folyamatok komplex átalakítására kerül sor a tervezési hibák előfordulásának kockázata jelentős, mely kedvezőtlen esetben kihatásra van a vállalat versenyképességére. A tervezésből adódó kockázat kiküszöbölése érdekében célként tűztam ki a módszer szimulációs vizsgálati lehetőségeinek feltárását, valamint ezen lehetőségek kapcsán a vizsgálati folyamatok meghatározását.

Átállási idő értelmezése, átállási idő csökkentési lehetőségek ismertetése:

A teljes átállási folyamat három komponensből áll (16. ábra), vagyis átállási előkészületből, –utómunkálatból, valamint az átállási folyamatból. Az előkészületi és az utólagos feladatok azon tevékenységek, melyek a gép(ek)/gyártósor működése közben kerülnek elvégzésre. Az átállási folyamat a gép(ek)/gyártósor állásakor valósul meg. Egy másik megközelítés szerint a gép(ek)/gyártósor(ok) leállása alatt végzett átállási folyamatot belső-, a működés közben végzett átállási tevékenységeket pedig külső átállási folyamatnak nevezzük [18]. Átállási idő alatt azt az időtartalmat értjük, amely egy adott terméktípus utolsó termékének legyártásától a következő terméktípus első jó termékének legyártásáig tart (néhány technológia esetében az első néhány termék mindig rossz minőségű). Amennyiben teljesen pontosak szeretnénk lenni, akkor ebből az időtartamból ki kell vonnunk az egy termék legyártásának ciklusidejét [19].

Az átállási idő csökkentésére számos technika került kidolgozásra, melyek közül a leggyakrabban használtak a következők [19]:

- Terméktípusok közötti átállási figyelembe vétele: A hasonló terméktípusok közötti átállási idő általában jóval kisebb, mint az eltérő típusú termékek közötti átállási idő (hasonló szerszámok, alkatrészek, beállítások, stb.). A módszer lényege olyan gyártási tervek kialakítása, melyeknél a hasonló típusú termékek egymást követő gyártása előnyt élvez. Hátrányként említhető, hogy ez a típusú tervezés kötöttséget jelent a termelés számára, amely fokozza annak rugalmatlanságát.

	Gyártás	Leállás	Gyártás
		Teljes átállási folyamat	
	Előkészület	Átállási folyamat	Utómunkálat
	Külső átállási folyamat	Belső átállási folyamat	Külső átállási folyamat

16. ábra Teljes átállási folyamat komponensei [Saját szerkesztés]

- Többlet munkaerő alkalmazása: Többlet munkaerő alkalmazásával az átállási folyamat egyes lépései párhuzamosíthatók, így az átállási idő csökkenthető. Hátrányként említhető, hogy a többlet munkaerő alkalmazása jelentős többletköltséget okozhat a vállalat számára.
- Kiemelt emberek végzik az átállást: Az átállási műveletek végzésében szakképzett, jelentős tapasztalattal rendelkező személyek vesznek részt, amely növeli az átállási folyamat hatékonyságát. Az ilyen típusú munkaerő alkalmazása az átállási folyamat számára többletköltséget jelenthet, valamint az egyéb fontos területeken a szakképzett munkaerő hiányát eredményezheti.

- SMED módszer alkalmazása: A módszer megkülönböztet belső- (csak a termelés állásakor elvégezhető) és külső (termelés közben elvégezhető) átállási műveleteket, melyek átrendezésre, majd fejlesztésre kerülnek.

A fenti technikákat összehasonlítva egyértelműen belátható, hogy a SMED alkalmazása biztosítja a leghatékonyabb megoldást, mivel lépései a vizsgált folyamat folyamatos fejlesztését helyezik előtérbe. A módszer lépéseinek végrehajtása előtt létre kell hozni egy átállás-fejlesztő csapatot, amely a kiválasztott munkaterület(ek)en [19]:

- Gondoskodik az ott dolgozók képzéséről, annak érdekében, hogy megértsék az átállási idő csökkentésének jelentőségét és támogatóként segítsék a fejlesztést.
- Alkalmazza a SMED módszert.
- Megvizsgálja a már bevezetett fejlesztések más területeken való adaptációs lehetőségeit.
- Nyílt átállásokat szervez a megvalósított fejlesztések ismertetése, terjesztése céljából.

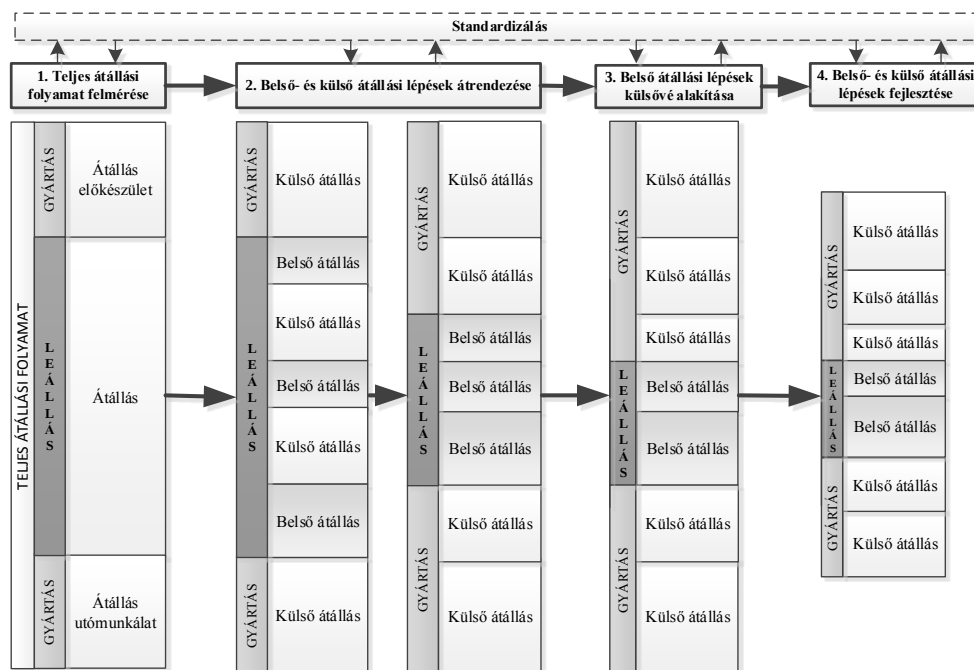
A SMED lényegében egy 4 lépésből álló folyamat, melynek valamennyi lépését előnyös lehet a standardizálással kiegészíteni (17. ábra), mivel minden egyes lépés hatására változhat az átállás végrehajtásának módja. A standardizálás a standardok létrehozásának, kommunikációjának, követésének és fejlesztésének gyakorlata [15].

A SMED alkalmazásának lépései [19-21]:

1. lépés Teljes átállási folyamat lemerése: A lépés célja információgyűjtés a későbbi fejlesztések megvalósításához. A teljes átállási folyamat számos műveletből áll, melyek között párhuzamosan végrehajtott műveletek is szerepelhetnek. Az átállási folyamat jelenlegi állapotát egy átállás felmérő lapon kell rögzíteni, melyhez videofelvétel elkészítésére is sor kerülhet. Az átállás felmérő lap a végzett átállási tevékenységeket, azok átfutási idejét, valamint szükség esetén egy megjegyzés rovatot tartalmaz (pl. párhuzamosan végzett tevékenységek jelölése). Többnyire egy időegyes alkalmazásra is sor kerülhet a lépések egymásutániségének, illetve párhuzamosságának szemléltetésére. Ezen adatlap elkészítését követően meghatározásra kerül a teljes átállási folyamat előkészületi-, átállási- és utómunkálati részfolyamatának átfutási ideje, ezzel a későbbiekben össze lehet hasonlítani a kiinduló állapotot a későbbi fejlesztések eredményeivel.

2. lépés Belső- és külső átállási lépések átrendezése: Az előző lépésben meghatározott tevékenységeket csoportosítani kell abból a szempontból, hogy megvalósíthatók –e a termelési tevékenység alatt (külső átállási művelet) vagy feltétlenül leállás szükséges elvégzésükhöz (belső átállási művelet). Az átrendezést elősegíti az ellenőrző listák készítése (célja az átálláshoz szükséges alkatrészek, szerszámok, beállítások ellenőrzése), a működőképesség ellenőrzése (alkatrészek, szerszámok átállás előtti

ellenőrzése annak érdekében, hogy az átállást követően problémamentes üzem valósuljon meg), valamint az alkatrészek, szerszámok optimalizált szállítása (a gyártás elkezdése előtt a következő termékhez, a gyártás megkezdése után az előző termékhez tartozó alkatrészeket, szerszámokat kell mozgatni).



17. ábra SMED módszer lépései [saját szerkesztés]

3. lépés Belső átállási lépések külsővé alakítása: Meg kell vizsgálni, hogy a belső átállási műveletek közül melyek alakíthatók át technológiai fejlesztéssel. Ilyen jellegű átalakítások lehetnek például: a működési kondíciók előkészítése (pl. előmelegítés, előpozicionálás, stb.), az alapvető funkciók standardizálása (pl. alkatrész befogás, szerszámok standardizálása, stb.), valamint a közbenső elemek használata (pl. egy közbenső tartóelemen a következő megmunkálandó termék pozicionálható, így a tartóelem áthelyezésével a megmunkálás rövid idő alatt megkezdhető).

4. lépés Belső- és külső átállási lépések fejlesztése: Ezen lépés során elsősorban kaizen tevékenységeket valósítunk meg mind a belső- mind pedig a külső átállási műveletek tekintetében. Lényegében a kaizen úgy értelmezhető, mint apró fejlesztési lépcsőkből álló végtelen folyamat, mely elsősorban a dolgozók kreativitásának kihasználásával valósítja meg a folyamatos fejlesztést. A fejlesztések célja a termelékenység növelése a műveletek átfutási idejének csökkentésén keresztül. A kaizen során 4 alapelv alkalmazásának lehetőségét kell vizsgálni [19], melyek a következők:

- Rövidítés: Mozdulat tárgyának közelebb való elhelyezése és/vagy egy felesleges művelet kihagyása.
- Összekapcsolás: Két vagy több művelet párhuzamos végzése és/vagy több szerszámból egy elkészítése.

- Átrendezés: Objektumok átrendezése a hatékonyabb munkavégzés érdekében.
- Egyszerűsítés: Eszközön vagy módszeren egyszerűsítés oly módon, hogy az megfeleljen a követelményeknek (pl. szárnyas anyás rögzítés, rugós rögzítő, stb.).

SMED módszer hatékonyságnövelése szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásával:

A SMED módszer lépései megegyeznek a fentiekben leírtakkal, ugyanakkor előfordulhatnak olyan esetek, amikor ezen lépések vonatkozásában a szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásával hatékonyabb folyamatfejlesztés realizálható. A következőkben ezen lehetőségek kerülnek ismertetésre a SMED különböző fázisai tekintetében.

1. Teljes átállási folyamat felmérése: Azon átállási folyamatoknál, ahol az értékeléshez szükséges működési jellemzők nem határozhatók meg kellő bizonyossággal a folyamatok összetettsége okán szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása válhat szükségessé. A szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásával elkerülhetővé válik téves következtetések levonása, így növelhető a folyamatfejlesztés hatékonysága.

2. Belső- és külső átállási lépések átrendezése: Az aktuális folyamat értékelését követően az esetek többségében számos alternatíva képezhető a belső- és külső átállási lépések átrendezésére (különböző anyagellátási mód, műveleti sorrend, stb.). Az egyes alternatívák eltérő készletszinttel, alapterület igényel, emberi és gépi erőforrás kihasználtsággal, átfutási idővel, várható termékminőséggel, stb. párosulnak, ezért a megfelelő változat kiválasztása többféle szempontot figyelembe vevő döntést igényel. Az ilyen típusú döntésekben rejlő bizonytalanságok minimalizálása érdekében szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása lehet szükséges.

3. Belső átállási lépések külsővé alakítása: Ebben a fázisban alapvetően technológiai fejlesztések és/vagy nagy értékű beruházások valósulnak meg (pl. előmelegítés, előpozicionálás megvalósítása új technológiai berendezésekkel), melyek szintén eltérő működési jellemzőkkel (pl. átfutási idő, készletszint, sorozatnagyság, költség, stb.) párosulhatnak. A megfelelő átalakítási lépés megválasztásánál előfordulhat, hogy egyes működési jellemzőket nagy pontossággal kell meghatároznunk és/vagy több alternatíva közül kell kiválasztanunk a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelőt és/vagy bizonyos rendszerparamétereket optimalizálnunk kell. Ezen feladatok kellő megbízhatósággal történő ellátása sokszor szimulációs vizsgálati módszer alkalmazását teszi szükségessé.

4. Belső és külső átállási lépések fejlesztése: A kialakított rendszer folyamatos fejlesztése elengedhetetlen a versenyképesség megtartása/növelése érdekében. Az átállási lépések fejlesztése során előfordulhat, hogy egy fejlesztési javaslat (pl. járattervező algoritmus módosítása, rögzítési mód változtatása, stb.) vizsgált folyamatra való hatásait még a megvalósítás előtt szeretnénk nagy pontossággal

meghatározni és/vagy több alternatíva közül kell kiválasztanunk a vállalat szempontrendszerének leginkább megfelelő és/vagy bizonyos rendszerparamétereket optimalizálnunk kell. Ebben az esetben az előző fázishoz hasonlóan szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása válhat szükséges. A 17. táblázat megmutatja, hogy a SMED egyes lépéseinél, mely szimulációs vizsgálati módszer alkalmazása növelheti a folyamatfejlesztés hatékonyságát.

17. táblázat Szimulációs vizsgálati lehetőségek [saját szerkesztés]

SMED lépései	Szimulációs vizsgálati módszer típusa		
	Működési jellemzők meghatározására alkalmazható	Optimális működési alternatíva kiválasztására szolgáló	Működési jellemzők optimalizálására alkalmazható
Teljes átállási folyamat felmérése	igen	nem	nem
Belső- és külső átállási lépések átrendezése	igen	igen	nem
Belső átállási lépések külsővé alakítása	igen	igen	igen
Belső és külső átállási lépések fejlesztése	igen	igen	igen

2.5. Elért eredmények hasznosulása

A logisztikai folyamatok fejlesztésével foglalkozó szakirodalom feltárása, valamint a vállalatok részére végzett kutatások tapasztalatainak felhasználásával meghatároztam a folyamatok átalakítása szempontjából releváns lean eszközök, vagyis az értékfolyamat térképezés, a SMED, valamint a kanban rendszerek szimulációs vizsgálati lehetőségeit, illetve azok megvalósításának módszereit.

A lean folyamatfejlesztés tekintetében szakirány, illetve szakok indításának kezdeményezője voltam, melyek a következők:

- lean folyamatfejlesztő szakmérnök szakirányú továbbképzési szak,
- lean folyamatfejlesztő specialista szakirányú továbbképzési szak,
- logisztikai mérnöki alapszakon belül lean folyamatmérnök specializáció.

Több tárgy oktatását vezettem be, melyek tananyagának összeállításában vezető szerepet vállaltam, ezek a következők:

- Lean alapismeretek (GEALT100-B)
- Lean logistics (GEALT062B-A)
- Lean eszközök és módszerek (GEALT313LFS)
- Lean 4.0 (GEALT171M)

Kutatási eredményeim egy felsőoktatási tankönyvben, több folyóiratcikkben és konferenciatickkben többnyire társszerzőkkel közösen publikáltam.

3. KUTATÁSI TERVEK

Az optimális működési alternatíva kiválasztására, valamint a működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszerek területén - PhD hallgatók közreműködésével - további kutatásokat tervezek megvalósítani, melyek fókuszba az ellátási láncok optimális kialakítására, valamint az ideális anyagmozgatási stratégiák megválasztására irányul.

A szimulációs vizsgálati módszerek kialakítása során szerzett tapasztalataimat elsősorban olyan problémák megoldása során szereztem, melyek tekintetében nem volt szükség valós idejű adatok felhasználására. A digitalizáció térnyerése következtében egyre több adat áll rendelkezésre, melyek megfelelő kezelésével a vizsgált logisztikai folyamatok hatékonysága növelhető. Előtérbe kerülnek olyan új technológiák (pl. Digital Twin, Big Data, stb.), melyek alkalmazásával lehetővé válik folyamataink hatékonyabb fejlesztése, a jövőbeni események nagyobb valószínűséggel történő előrejelzése. Véleményem szerint a Digital Twin és a Big Data koncepció alkalmazása számos új kutatási lehetőséget teremt a logisztikai folyamatok fejlesztése területén [23-25], így az elmúlt években megkezdett kutatásaim ebben az irányban tervezem folytatni.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tézisfüzetben ismertetett kutatási eredmények alapvetően ipari kutatási feladatok megoldásával kerültek megalapozásra. A vállalati problémák megoldása során olyan tapasztalatra tehettem szert a szimulációs vizsgálati módszerek kidolgozása és a lean folyamatfejlesztés területén, melyek új tárgyak bevezetésére, egy új specializáció, több új szak elindítására, valamint felsőoktatási tankönyvek és tudományos publikációk elkészítésére inspiráltak. A PhD fokozatszerzést (2012) követően végzett kutatási tevékenységem során elért fontosabb eredményeket a következőkben foglalom össze.

1. A logisztikai rendszerek működési jellemzőinek meghatározására szolgáló szimulációs vizsgálati módszerek tekintetében kidolgoztam [P1-P5]:

- a szakaszos gyártórendszerek területspecifikus szimulációs vizsgálati módszerét.
- az elektronikai termékek tesztelési folyamatának területspecifikus szimulációs vizsgálati módszerét.

2. Az optimális működési alternatíva kiválasztására szolgáló szimulációs vizsgálati módszerek tekintetében [P6-P9]:

- meghatároztam a gyűjtő- elosztó anyagáramlási rendszerek területspecifikus szimulációs vizsgálati módszerét.
- társtémavezetésemmel kidolgozásra került az optimális raktári anyagmozgatási stratégia kiválasztásának területspecifikus szimulációs vizsgálati módszere.

3. Feltártam a működési jellemzők optimális meghatározására szolgáló jellegzetes szimulációs vizsgálati folyamatot, valamint meghatároztam a logisztikai tevékenységek kiszervezéséhez kapcsolódó optimalizálási lehetőségeket [P10].

4. A lean eszközök szimulációs vizsgálati módszerrel történő hatékonyságnövelése terén feltártam [P11-P20]:

- az értékfolyamat térképezés módszerének (VSM),
- a kanban rendszer kialakításának és működtetésének,
- a Single Minute Exchange of Die (SMED) módszer szimulációs vizsgálati lehetőségeit, valamint azok megvalósításának módszereit.

Az elért eredmények jelentőségét növeli, hogy a kidolgozott szimulációs vizsgálati módszerek alkalmazásával számos logisztikai terület folyamatainak tervezése, fejlesztése, optimalizálása hatékonyabbá tehető, mely a vállalatok versenyképességét befolyásoló kulcstényező.

SUMMARY

The research results described in the thesis booklet were mainly based on solving industrial research tasks. In solving corporate problems, I gained experience in the development of simulation testing methods and lean process development, which inspired the introduction of new subjects, the launch of a new specialization, several new majors, and the production of higher education textbooks and scientific publications. The most important results of my research activities after obtaining my PhD degree (2012) are summarized below.

1. In relation to the application of simulation test methods for determining the operational characteristics of logistics systems, I developed the following [P1-P5]:

- an area-specific simulation test method for intermittent production systems.
- an area-specific simulation test method for the testing process of electronic products.

2. Regarding the simulation test methods for selecting the optimal operating alternative [P6-P9]:

- I determined the area-specific simulation test method of the collection-distribution material flow systems.
- An area-specific simulation test method for the selection of the optimal warehouse material handling strategy was developed with my co-supervision.

3. I explored the typical simulation testing process for the optimal determination of operational characteristics, as well as the optimization possibilities related to the outsourcing of logistics activities [P10].

4. In the field of increasing the efficiency of lean tools with the simulation test method, I explored the simulation testing options and the methods of implementation for the [P11-P20]:

- value process mapping method (VSM),
- for the design and operation of the kanban system,
- and for the Single Minute Exchange of Die (SMED) method.

The significance of the achieved results is increased by the fact that by applying the developed simulation testing methods, the planning, development and optimization of processes in many logistics areas can be made more efficient, which is a key factor in influencing the competitiveness of companies.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tézisfüzet a PhD értekezés benyújtását követő időszakban (2012) végzett tevékenységem foglalja össze, mely a megfelelő hozzáállás és kutatási szemlélet nélkül nem készülhetett volna el. Ezen készségek elsajátításában Dr. Cselényi József és Dr. Illés Béla professzor uraknak nagy szerepe volt, ezért köszönettel tartozom.

Ezen túlmenően köszönöm Dr. Illés Béla professzor úrnak a szakmai iránymutatást, valamint vezetése során nyújtott kutatási és egyéb szakmai fejlődési lehetőséget. Köszönöm a Logisztikai Intézet kollektívájának a szakmai és erkölcsi támogatást.

Külön köszönettel tartozom Dr. Kundrák János, Tollár Sándor, Dr. Bányainé Dr. Tóth Ágota, Dr. Bányai Tamás, Dobos Péter és Dr. Skapinyecz Róbert kollégáknak az építő jellegű javaslatokért. Köszönettel tartozom továbbá családomnak, hogy bízattak és mellettem álltak munkám elkészítésében.

Tudományos munkám Dr. Cselényi József irányításával kezdtem, ezért ezt a munkát emlékére ajánlom.

PHD VÉDÉST KÖVETŐ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK

- [P1] Decision Support Simulation Method for Process Improvement of Intermittent Production Systems, *APPLIED SCIENCES-BASEL* 7:(9). 2017, pp. 1-16, ISSN: 2076-3417, (Q2), (IF: 1,689)
- [P2] Simulation investigational method for determining the performance characteristics of logistics systems, *REZANIE I INSTRUMENTY V TEKHNOLOGICHESKIH SISTEMAH* 92, pp. 188-196., 2020
- [P3] Simulation examination of logistics systems in the automotive industry, *JOURNAL OF PRODUCTION ENGINEERING* 18: (2), 2015., pp. 69-72., ISSN: 1821-4932, társszerző: Illés B.
- [P4] Simulation of a flexible manufacturing system, *ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE* 6, 2012, pp. 25-32., ISSN: 1789-2198, társszerző: Illés B., Tollár S.
- [P5] Decision Support Simulation Method for Process Improvement of Electronic Product Testing Systems, *SUSTAINABILITY* 12: (7), pp. 1-16, 2020, társszerzők: Tollár, S., Illés, B., Bányai, T., Bányai, Á., Skapinyecz, R. (Q2), (IF: 2,576)
- [P6] Simulation investigational method for collection and distribution systems, *JOURNAL OF PRODUCTION ENGINEERING* 23: (1), pp. 79-82., 2020.
- [P7] Selection Method for Warehouse Material Handling Strategy Supported by Optimized Running of Demand-driven Storage System, *TRANSPORT AND LOGISTICS: INTERNATIONAL JOURNAL* 20: (48), pp. 24-33, 2020, társszerzők: Dobos, P., Illés, B.
- [P8] Application of churchman-ackoff weighting method for procurement of consignment seller dietary supplements manufacturing companies, *ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING* 16: (1), 2018, pp. 33-37., ISSN: 1583-7904, társszerzők: Szentesi Sz., Illés B., (Q2)
- [P9] Conception for selection of adequate warehouse material handling strategy, *ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE* 9: (1), 2015, pp. 53-60., ISSN: 1789-2198 , társszerzők: Illés B., Dobos P.
- [P10] Innovative business model for realization of sustainable supply chain at the outsourcing examination of logistics services, *SUSTAINABILITY* 10(1), 2018, pp. 1-16., ISSN: 2070-1050, (Q2), (IF: 2.075)
- [P11] Application possibilities of the Big Data concept in Industry 4.0, *IOP CONF. SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, 2018., pp. 1-5., ISSN: 1757-8981, társszerzők: Dobos, P., Illés B., Balogh R.
- [P12] Novel trends in improvement of warehouse management systems for manufacturing companies, *ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING* 15:(3), 2017, pp. 23-28., ISSN: 1583-7904, társszerző: Illés B., (Q3)
- [P13] New Challenges for Quality Assurance of Manufacturing Processes in Industry 4.0 *SOLID STATE PHENOMENA* 261, 2017, pp. 481-486. ISSN: 1662-9779, társszerzők: Illés B., Dobos P., Skapinyecz R., (Q3)
- [P14] Examining the Integration Possibilities for Lean Tools and Simulation Modeling, *SOLID STATE PHENOMENA* 261, 2017, pp. 516-522., ISSN: 1662-9779, társszerző: Illés B., (Q3)

- [P/15] Application of a simulation investigational method for efficiency improvement of SMED method, *ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING* 15:(2), 2017, pp. 23-30., ISSN: 1583-7904, (Q3)
- [P/16] Examining the possibilities for efficiency improvement of SMED method using simulation modelling, *MANUFACTURING TECHNOLOGY* 17:(4), 2017, pp. 120-126., ISSN: 1213-2489, (Q2)
- [P/17] Lean eszközök hatékonyságnövelése szimulációs modellezés felhasználásával, *LOGISZTIKA - INFORMATIKA – MENEDZSMENT* 2:(1), 2017., pp. 61-70.
- [P/18] Application of value stream mapping at flexible manufacturing systems, *KEY ENGINEERING MATERIALS* 686, 2016., pp. 168-173., ISSN: 1662-9795, (Q3)
- [P/19] Application of simulation modeling for formation of pull-principled production control system, *JOURNAL OF PRODUCTION ENGINEERING* 19: (1), 2016., pp. 99-102., ISSN: 1821-4932
- [P/20] Process improvement trends for manufacturing systems in industry 4.0, *ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING* 14: (4), 2016., pp. 119-125., ISSN: 1583-7904, társszerző: Illés B., (Q3)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Cselényi, J., Illés, B.: *ANYAGÁRAMLÁSI RENDSZEREK TERVEZÉSE ÉS IRÁNYÍTÁSA I.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, ISBN: 9636616728, 2005.
- [2] Cselényi, J., Illés, B.: *LOGISZTIKAI RENDSZEREK I.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2004.
- [3] Illés, B., Glistau, E., Machado, N. I. C.: *LOGISZTIKA ÉS MINŐSÉG-MENEDZSMENT*, Miskolc, Magyarország, ISBN: 9789-63877-3807, 2007.
- [4] Benkő, J.: Rugalmas gyártási rendszerek modellezése szimulációval, *LOGISZTIKAI TRENDKÉK ÉS LEGJOBB GYAKORLATOK*, II. évfolyam 2. szám, pp. 20-28. oldal, (ISSN: 2416-0555), 2016.
- [5] Tako, A. A., Robinson, S.: The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context, *DECISION SUPPORT SYSTEMS*, Volume 52, Issue 4, March 2012, pp. 802-815.
- [6] Solding, P., Gullander, P.: Concepts for simulation based value stream mapping, *PROCEEDINGS OF THE 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE*, pp. 2231-2237.
- [7] <http://graphit.hu/tecnomatix/gyartasilogisztikai-folyamat-szimulacio-optimalizacio/plant-simulation/> (letöltés: 2020.01.25)
- [8] Manzini, R.: *Warehouse in the Global Supply Chain*, Springer 2012, pp. 31-51, 2012.
- [9] F. Guerriero, F., Musmanno, R., Pisacane, O., Rende, F.: A mathematical model for Multi-Levels Products Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints, *APPLIED MATHEMATICAL MODELLING* 37, pp. 4395-4398, 2013.
- [10] Chen, L., Langevin, A., Riopel, D.: The storage location assignment and interleaving problem in an automated storage/retrieval system with shared storage, *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH* 45 (4), pp. 991-1011, 2010.
- [11] He, W., Liang, L., Wang, K.: Economic and Environmental Implications of Quality Choice under Remanufacturing Outsourcing, *Sustainability* 12 (3), pp. 1-18, 2020.
- [12] Tsai, W.: Outsourcing or capacity expansions, Applications of activity-based costing model on joint products decision, *COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH* 34, pp. 3666-3681., 2007.
- [13] Nyári, K., Laurent, C.: Logistics outsourcing in the retail – outsourcing or insourcing, Hungarian Logistics Association, *LOGISTIC ANNUAL BOOK*, 2005.
- [14] Tompkins, J. A., Smith, J. D.: *The Warehouse Management Handbook*, ISBN: 0-9658659-1-6, pp 63-88.
- [15] Womack, J. P., Jones, D. T.: *Lean thinking*, Simon & Schuster Inc., 2008.
- [16] Rother, M., Shook, M., J.: *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, 2003.
- [17] Kosztolányi, J., Schwahofer, G.: *Kanban*, KAIZENPRO Oktató és Tanácsadó Kft., ISBN: 9789-63896-2065, 2012.
- [18] Shingo, S.: *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Productivity Press,

1985.

- [19] Schwahofer, G., Kosztolányi, J.: Gyors átállás, KaizenPro Oktató és Tanácsadó Kft., ISBN 978-963-89620-7-2, 2012.
- [20] Ulutas, B.: An application of SMED Methodology, *INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICAL, AEROSPACE, INDUSTRIAL, MECHATRONIC AND MANUFACTURING ENGINEERING*, Vol:5, No:7, 2011.
- [21] Péczeli, Gy., Péczeli, Cs., Péczeli Gy.: LEAN3 – Termelékenységfejlesztés egységes rendszerben, ISBN 978-963-08-3163-5, 2011.
- [22] Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., Yang, K.: Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process, *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, Volume 160, February 2015, Pages 202-212
- [23] Mayer, V., Cukier, S. K.: Big Data, A revolution that will transform how we live, work, and think, ISBN 978-0-544-00269-2
- [24] Uhlemann, T. H.; Lehmann, C.; Steinhilper, R. The Digital Twin: Realizing the cyber-physical production system for Industry 4.0., *PROCEDIA CIRP*, Vol. 61, pp. 335-340, 2017.
- [25] Ashton, K. That 'Internet of Things' Thing, in the real world things matter more than ideas, *RFID JOURNAL*, 2009.