

# Innovatív IT/MI megoldások alkalmazása logisztikai rendszerek és folyamatok hatékonyságának növelésére

Bóna Krisztián\*, Popovics Gergely\*\*,  
Pfeiffer András\*\*

\* BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék,  
ADVERSUM Tanácsadó és Szolgáltató Kft.  
( e-mail: krisztian.bona@adversum.hu )

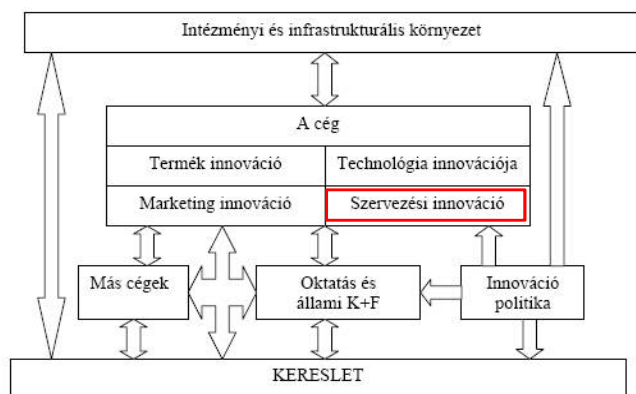
\*\* MTA SZTAKI, Mérnöki és Üzleti Intelligencia Kutatólaboratórium  
( e-mail: andras.pfeiffer@sztaki.hu )

**Kivonat:** A mesterséges intelligencia (MI) megoldások napjaink talán „legfelkapottabb” kutatási területei közé tartoznak. A számítástechnika teljesítőképességének rohamos növekedése teret nyitott számos olyan módszertan gyakorlati adaptálására, amelyek hatékonyságát különböző innovációs projektek igazolták. A tapasztalatok mégis azt mutatják, hogy a megoldások logisztikai célú alkalmazásával szemben komoly szkepticizmus tapasztalható. A cikkünkben ezeknek a kételyeknek az alátámasztására és egyben eloszlatására vállalkozunk.

## 1. AZ INNOVÁCIÓ SZEREPE A LOGISZTIKAI RENDSZEREK FEJLESZTÉSÉBEN

„Az innováció egy ötlet átalakulása vagy piacon bevezetett új, illetve korszerűsített terméké, vagy az iparban és kereskedelemben felhasznált új, illetve továbbfejlesztett műveletté, vagy valamely társadalmi szolgáltatás újfajta megközelítése.” (Frascati, 2002)

Az innováció szerepe az ipari, de leginkább a kereskedelmi és szolgáltató vállalatok körében az utóbbi években meglehetősen átértékelődött. Ez nemcsak az alapvető Frascati Kézikönyv által megadott definíció kibővülését jelenti, hanem annak gyakorlati alkalmazását is. Az OECD kutatások eredményeképpen előálló új koncepció már nemcsak a klasszikus értelemben vett termék és eljárás innovációt tartalmazza, hanem a szervezési (ha úgy tetszik folyamat) és marketing innovációt is a vizsgálatok körébe vonta (lásd 1. ábra) (Pakucs és Papanek, 2006).



1. ábra: Az innovációs rendszer elemei (Pakucs és Papanek, 2006)

A logisztikai rendszerek fejlesztésében tulajdonképpen ez a fajta kibővülés jelentette azt az előrelépést, amelynek segítségével lehetőség nyílt az újszerű logisztikai rendszer- és folyamatszerkezeti, tervezési, és nem utolsósorban üzemeltetési módszertanok gyakorlatban történő implementálására.

A logisztika, mint egy interdiszciplináris alkalmazott tudomány számos kapcsolódó tudományterület eredményeit a gyakorlatban hasznosítja. Az új eredmények gyakorlati felhasználásának azonban a tapasztalatok alapján sok esetben gátat szab az a krónikus erőforrás hiány, amellyel a vállalatok (leginkább a KKV-k) küzdenek. Legtöbbjük bár felismerte az innováció, az innovatív megoldások alkalmazásának jelentőségét, erőforrás hiányában nem tud belevágni komolyabb fejlesztésekbe. Az innovációs források fentebb definiált módon kiterjesztett szélesebb körű felhasználhatósága lehetőséget adhat a vállalatok számára, hogy a rendelkezésükre álló forrásokat logisztikai témájú kutatásokra fordítsák.

Ezek közül tapasztalataink alapján a leggyakoribbak a már meglévő logisztikai rendszerek és folyamatok korszerűsítésével kapcsolatos kutatások, ezen belül is a folyamatautomatizmusok, illetve a logisztikai rendszerek operatív irányításával kapcsolatos témakörök. Egyre gyakoribbak továbbá az új logisztikai rendszerek tervezésének módszertani megközelítéseivel kapcsolatos kutatások is, ezen belül is a rendszertervezést támogató döntési módszertanok fejlesztésének igénye jelentkezik a leggyakrabban. Ezekben az esetekben általában olyan módszertanok kifejlesztése a cél, amellyel támogatni lehet az optimális rendszer-, illetve folyamattervek kialakítását, vagy különböző hosszútávra szóló döntések meghozatalát (pl. telephelyválasztás, ellátási hálózat kialakítás).

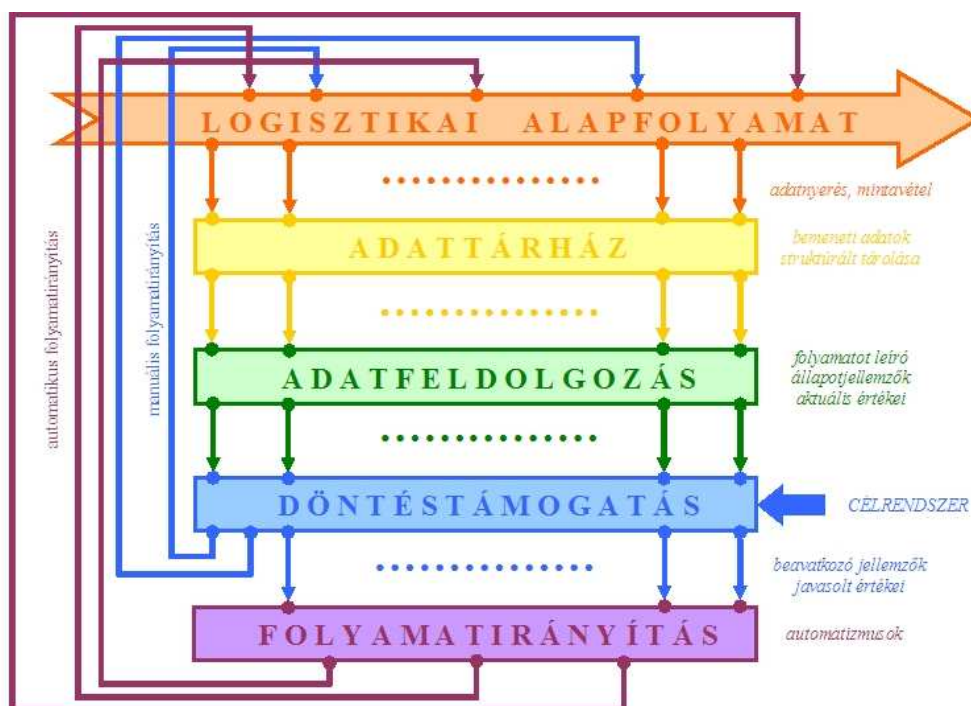
## 2. A LOGISZTIKAI RENDSZER ÉS FOLYAMAT-KONTROLLING SZEREPÉNEK ÁTÉRTÉKELŐDÉSE, ÖSSZEFÜGGÉSE AZ ALKALMAZOTT IT MEGOLDÁSOKKAL

Cikkünkben a logisztikai rendszerek operatív üzemeltetésének optimalizálásával kapcsolatos kutatásokra térünk részletesebben. Ezzel összefüggésben előkerül egy rendkívül lényeges probléma: a rendszer-és folyamat kontrolling kérdése. A klasszikus kontrolling feladatok támogatására már viszonylag régóta léteznek különböző informatikai rendszer megoldások. Ezek leginkább a különféle integrált információs rendszerekben található meg, de léteznek „szigetzerű” rendszerek is. Ezekben az alkalmazásokban a tapasztalatok alapján leginkább a pénzügyi/gazdasági kontrolling részeknek van kiemelt szerepe. Sok esetben tapasztalható, hogy a viszonylag „robotosabb” megközelítést igénylő rendszer- és folyamat kontrolling feladatok nem, vagy csak meglehetősen csekély mértékben támogatottak.

Fontos azonban látni azt, hogy a logisztikai rendszerek operatív üzemeltetése során számos ilyen „robotos” folyamat jellegű problémával találkozhatunk, amelyek hatékony működése a rendszer egészét nézve kulcskérdés, hiszen ezek hatékonysága rendkívül komolyan kihat a klasszikus értelemben vett pénzügyi kontrolling, illetve hatékonyság kérdésekre is. Egy operatív logisztikai rendszer működésének kontrollálása azonban meglehetősen összetett feladat, hiszen a hatékonyság, az optimális működés értelmezése, annak „bemérése” nem éppen triviális, mi több minden esetben egyedi megközelítést igénylő kérdéskör. A rendszer beméréséhez, az adatok korrekt kiértékeléshez, nem is beszélve a szükséges beavatkozásokról összetett informatikai rendszertámogatásra van szükség. Ennek

legfőbb oka a folyamatok összetettségében, a keletkező és feldolgozandó adatok mennyiségében, valamint a logisztikai rendszert gerjesztő igények folyamatos változásában kereshető. Ennek köszönhetően a klasszikus logisztikai folyamat kontrolling feladatokat új megközelítésben célszerű vizsgálni.

Ez az újfajta szemléletmód új feladatokat generál a rendszertervezők, szakértők számára. A cél már nem csupán a folyamatok hatékonyság „kimutatása”. Egyre nagyobb az igény olyan, az operatív logisztikai feladatok optimalizását támogató szabályozó rendszerek kifejlesztésére, amelyek már jóval túlmutatnak a klasszikus kontrolling rendszereken (Bóna, 2007). Ebben az esetben a feladat tehát nem csupán a rendszer működésének hatékonyságát jellemző alapvető mutatószámok, fajlagos paraméterek előállítására. Igen pontosan meg kell határozni, hogy milyen beavatkozási lehetőségek vannak a logisztikai rendszerben, amelyekkel a rendszer működésének hatékonyságát befolyásolni lehet, illetve ezeket parametrizálni szükséges. Fel kell építeni olyan működési modelleket, illetve, ha erre van mód célfüggvény rendszereket, amelyek az előbb definiált fajlagos, illetve beavatkozó paramétereket felhasználva képesek kvázi „leképezni” a rendszer működését, a lehetséges rendszerállapotokat, illetve azok jóságát, még akár meglehetősen bizonytalan környezetben is. Ki kell fejleszteni olyan automata optimumkereső eljárásokat, amelyekkel akár több kritériumot is figyelembe véve keresni lehet a modellt, és/vagy célfüggvény által definiált megoldások, rendszerállapotok között és meglehet határozni a leginkább kedvező állapotot. Mi több bizonyos esetekben olyan megoldást kell nyújtani, amely az előbb definiált optimumkeresés után kvázi automata módon a beavatkozó paraméterek módosításán keresztül irányítani képes a logisztikai rendszert (2. ábra).



2. ábra: A döntéstámogatás és a folyamatirányítás kapcsolata a logisztikai alapfolyamatokkal

Egy ilyen megoldás kifejlesztése bizony meglehetősen komplex feladat. Igen széleskörű logisztikai rendszer ismeret, továbbá a folyamatirányításban, a rendszertechnikában, a számítástudományban és számítástechnikában való igen komoly jártasságot feltételez. Ebből következik, hogy ezeknek a rendszereknek a kifejlesztésében rendkívül komoly szerep jut az innovációnak. A jelenlegi igények azt mutatják, hogy leginkább olyan logisztikai szabályozó rendszerek létrehozására van kereslet, amelyek kvázi félautomata jelleggel egyfajta döntéstámogatást nyújtanak a döntéshozók, folyamatirányítók számára. Ennek talán a legfőbb oka az, hogy meglehetősen nehéz, költséges, és sajnos bizonytalan eredménnyel jár olyan rendszerek kifejlesztése, amely teljesen automata módon működik, nem is beszélve az ebből adódó állandó (valljuk be sokszor jogos) szkepticizmusról.

### 3. A FOLYAMATOS OPTIMUMKERESÉS ÉS AZ ÁLTALA GENERÁLT PROBLÉMÁK IT SZEMPONTBÓL

Napjaink logisztikai rendszerei és folyamatai bizonytalanságokkal terheltek, a rendszerek irányítására, valamint a folyamatos változtatások követésére és kezelésére a hagyományos, intuitív jellegű módszerek nem elég hatékonyak. Az itt felmerülő irányítási problémák nagy részére igaz, hogy a lehetséges megoldások halmaza sokszor kezelhetetlenül nagy. Emiatt az olyan számítási kapacitást igénylő matematikai problémák megoldására, mint pl. a termelésütemezés, szállítástervezés, útvonaltervezés, nélkülözhetetlen a számítástechnikai segítség. A nagy keresési tér miatt a számítógépes támogatással is csak esetenként kaphatunk optimális megoldást. Ilyenkor általában a lineáris kereső módszereket vagy más egzakt matematikai eljárásokat alkalmazzuk. A problémák bonyolultsága miatt, nélkülözhetetlenül vált az olyan matematikai módszerek kidolgozása, amelyek valamilyen elv szerint szűkítik a lehetséges megoldások halmazát, ily módon közelítve a legjobb megoldást. Az ilyen jellegű módszerekre viszont általánosságban igaz, hogy általában nem képesek belátható időn belül optimumot találni, tehát alkalmazásuk akkor vezet célra, ha a gyakorlatban felmerülő konkrét probléma megkötésekkel szűkített megoldásainak halmaza még mindig túl nagy ahhoz, hogy egzakt matematikai módszerrel megoldjuk azt, de elegendően kicsiny egy közel optimális megoldás megtalálására. A lehetséges megoldások halmazának szűkítésére, valamint a keresés gyorsítására további technikák is léteznek, amelyekkel az optimum megközelítéséig nagyobb lépésekben lehet haladni, az optimum közelében pedig már kisebb lépésekben a kellő pontosságban meg lehet találni az optimumot.

A kidolgozott matematikai eljárások akkor válnak igazán használhatóvá, ha egy felhasználóbarát számítógépes környezetbe építjük őket. Számos logisztikai probléma megoldásánál logikus egy szimulációs szoftver (lásd következő fejezet) külön moduljaként használni ezen optimumkeresési módszereket, így az adott gyakorlati probléma megoldására is könnyen alkalmazhatjuk őket. A szimulációs modellt ilyen esetekben alapvetően arra használjuk fel, hogy segítségével kalkuláljuk adott bemeneti paraméter beállítások mellett a rendszermodell működési

hatékonyságát leíró célfüggvényt, vagy célfüggvényeket (*Law és Kelton, 2000*). Ezt a technikát szimulációval támogatott optimumkeresésnek nevezzük. Ezen túlmenően, a szimulációs modellel egyrészt tesztelhetjük eredményeinket, másrészt könnyen és érthetően mutathatjuk be azokat a logisztikai rendszert üzemeltetőknél.

### 4. A FEJLESZTÉSEK ÉS AZ INNOVÁCIÓ HATÁSA A PROBLÉMAKEZELÉS HATÉKONYSÁGÁRA

A logisztika területén felmerülő tervezési és szervezési problémák összetettsége miatt az új megoldások bevezetése sokszor igen nehezen megjósolható hatással lehetnek a rendszer látszólag független elemeire is. Az ilyen hatások vizsgálatára, a rendszer várható, illetve valódi viselkedésének vizsgálatára és elemzésére nyújt segítséget a számítógépes szimuláció. Az ún. szimulációs programcsomagok (pl. PlantSimulation, Arena, AutoMod, Witness, ProModel, Taylor) lehetőséget nyújtanak arra, hogy segítségükkel modellezzük a valós, vagy tervezett logisztikai rendszer működését, majd az elkészített szimulációs modell segítségével vizsgálhatjuk és optimalizálhatjuk a rendszert vagy folyamatot, valamely célrendszer szerint. Azonban, a logisztika területén, az optimalizálás folyamán felmerülő számítási problémák sok esetben ún. NP-hard, azaz nem polinomiális időben megoldható problémák. Ezekre jellemző, hogy a bemenő adatok számával arányosan a megoldásukhoz szükséges idő – azaz a megoldási lépések száma – exponenciálisan nő. Az ilyen problémák lehetséges megoldásainak száma a gyakorlatban általában igen nagy. Ezért hagyományos, lineáris keresési módszerekkel általában nem, vagy csak elfogadhatatlanul hosszú idő alatt oldhatóak meg. Ilyen típusú problémák megoldásához speciális kereső algoritmusokat használunk, melyek a keresési tér szűkítésével közelítik az optimális megoldást. Az ilyen algoritmusok a mesterséges intelligencia (MI) tárgykörét képezik (*Russel és Norving, 2005*).

A napjainkban élő kutatók jelentős része érdeklődik az egyik legújabb tudományterület, a mesterséges intelligencia iránt. Ez valószínűleg azért lehet, mert nagyon általános területektől, mint a tanulás és észlelés egészen a nagyon specifikus feladatokig, mint a gépi sakk, vagy orvosi diagnózis, a legkülönbözőbb részterületeket öleli át. Emiatt a legtöbb kutató munkáját is érinti, vagy érintheti a mesterséges intelligencia tudományának fejlődése.

A MI megoldásokra jellemző, hogy számítási eljárásokkal próbálja utánozni az intelligens viselkedést. A logisztikai problémák megoldásában, a fejlesztések megvalósításában a MI megoldásokat használó kereső algoritmusok nyújtanak nagy segítséget. Az ilyen elven működő kereső algoritmusok igen hatékonyak olyan problémák megoldásában, amelyek struktúráját nehéz matematikailag leírni, viszont a lehetséges megoldások egymással egyértelműen összehasonlíthatók az előre meghatározott optimumnak való megfelelésük alapján. Ezen kívül alkalmasak arra, hogy nagy keresési térben belátható időn belül közel optimális megoldást szolgáltatassanak. A logisztikai problémák többségére – mint pl. útvonaltervezés, termelésütemezés, rakodástervezés stb. – jellemzők az előbb említett tulajdonságok, valamint

esetükben általában elegendő egy közel optimális megoldás megtalálása. Az ilyen típusú kereső algoritmusokra jellemző, hogy a megoldások optimumnak való megfelelése alapján határozzák meg a keresés irányát. Ilyen kereső algoritmusok például:

- hegymászó módszer,
- tabu keresés,
- szimulált hűtés,
- genetikus algoritmus (*Álmos et al., 2002*).

Míndezek mellett számos olyan MI megoldással támogatott fejlesztési, kutatási irány létezik, amely bár közvetett módon, de kihathat a logisztikai rendszerek működésének hatékonyságára. Példának okáért megemlíthetők a napjaink talán egyik legnagyobb kihívását jelentő, a logisztikai rendszerek működését gerjesztő sztochasztikus keresleti tényezők leírására irányuló törekvések. Miért is jelent ez problémát? Általános tapasztalat, hogy az ellátási láncok résztvevői által makroszinten generált igények bizonytalansága a mikrologisztikai rendszereken belül tovagyűrűzik, ezáltal belső rendszer és erőforrás ütemezési problémákat generál, bizonytalanná téve a logisztikai rendszer operatív üzemeltetését és tervezését. Ez a belső bizonytalanság feleslegesen nagy készleteket, erőforrás többleteket eredményez, hiszen a bizonytalanság ellen kvázi egyszerűen így lehet védekezni. Ha tehát ezt a fajta bizonytalanságot valamilyen technikával csökkenteni lehetne, akkor ez nagy előrelépést jelenthetne a felesleges „rendszerterhelések” csökkentésében, ez pedig nagy hatással lehetne a belső folyamatok hatékonyságára. Mi több, ez a fajta belső hatékonyság növekedés (előbb-utóbb) ellátási lánc szinten is visszahathatna, növelve ezzel a makrologisztikai rendszerek hatékonyságát. Hosszú távon tehát véleményünk szerint beindulhatna egy önmagát gerjesztő egyfajta „tökéletesedési” folyamat. Ezen a területen rendkívül nagy jelentősége van az MI módszerek (ezen belül pl. neurális hálózatok) képességeinek kihasználásán alapuló prognosztizálásnak, előrejelzésnek (szakértői rendszerek). A kutatók olyan tanuló algoritmusok kifejlesztésén fáradoznak, amelyek az ellátási láncok résztvevői által generált bizonytalan környezetben is hatékonyak tudnak lenni, növelve ezzel az eddigi hagyományosnak számító matematikai statisztikai módszerek hatékonyságát, vagyis a kereslet-előrejelzési pontosságot. Ezen a területen magyar kutatók már több mintarendszert fejlesztettek ki (*Pitlik, et al, 2000*) pl. mezőgazdasági ellátási láncokban jelentkező igény folyamatok kezelésére.

További lehetőséget nyújtanak a továbblépésre az optimumkeresésben az ún. hibrid rendszerek, amelyekben az újszerű MI módszereket ötvözik a hagyományos (klasszikusnak tekinthető) analitikus módszerekkel, vagy akár több (általában maximum két) MI módszer előnyös tulajdonságait kihasználva készítenek valamiféle hibrid kereső algoritmust (pl. neurális hálózatok és genetikus algoritmusok ötvözése, vagy a fuzzy-neurális rendszerek). Ezeknek a módszereknek a logisztikai rendszerek optimalizálásában való elterjedése azonban úgy tűnik még várat magára.

## 5. KIKERÜLHETŐ-E AZ EMBER SZEREPE A LOGISZTIKAI RENDSZEREKBE JELENTKEZŐ DÖNTÉSEK MEGHOZATALÁBAN?

Az említett kereső eljárások hatékonyságát nagyban növeli, ha a megoldandó probléma definiálásakor valamilyen módon csökkentjük a bemeneti paraméterek számát. Ez általában valamilyen probléma specifikus kritérium felismeréséből adódik, melyet a kereső eljárás viszonylag nehezen „tanulna meg”. A gyakorlott mérnök számára sokszor kézenfekvő kritériumok megfogalmazásával és az algoritmus felé való definiálással jelentősen jobb eredményt kaphatunk ugyanazon keresés végrehajtásával.

Mivel az MI megoldásoknál használt kereső algoritmusok általában nem adnak globális optimumot, azért a kapott megoldások bevezetése előtt érdemes őket ún. finom hangolni, azaz a megoldást tökéletesíteni. Abban az esetben is érdemes ezt a megoldást választani, ha a keresés hatékonyságának növelése érdekében azt csak a fontos paraméterekkel futtatjuk, majd a kapott megoldásokat egyéb, nehezen megfogalmazható, vagy nem olyan jelentős paraméterek szerint rangsoroljuk. Az emberi intelligencia a napjainkban használt MI megoldásokkal szemben alkalmas arra, hogy a majdnem tökéletes megoldásban megtalálja az apró hibákat, így tökéletesítve azt.

Nem szabad továbbá figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy a logisztikai rendszerek optimalizálásában számos olyan gyakran ismétlődő döntési probléma létezik, amelyek esetében nem is célravezető az optimumkeresés során a túlzott tökéletességre való törekvés (pl. sokparaméteres járműdiszpozíció és járatszerkesztés). Ez sokszor olyan mértékben bonyolítaná el az alkalmazandó modellt, amely elriasztaná a felhasználót és/vagy a modell gyakorlati használhatóságát veszélyeztetné, nem is beszélve a fejlesztés idő és költség igényéről. Fontos továbbá, hogy az ilyen esetekben tapasztalható egyfajta szkepticizmus a felhasználók által, amelynek „leküzdése” mind fejlesztői, mind felhasználói oldalról meglehetősen nehéz feladat. Így általában egyszerűbb modellezéssel, és a fentiekben definiált eljárás alkalmazásával sokkal hatékonyabban (gyorsabban és kisebb költséggel) lehet közel jó megoldásokat generálni, amelyek emberi intelligencia alapú tökéletesítésével általában az optimumhoz közeli értéke is megtalálhatóak. Nem véletlen tehát, hogy sokkal nagyobb az igény olyan típusú döntési modellek fejlesztésére, amelyek félautomata, döntéstámogató jelleggel segítik a logisztikai rendszerek optimalizálását. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy nincsen létjogosultsága az automata logisztikai folyamatirányító rendszereknek, de jelen esetben kijelenthető, hogy ezek a megoldások általában csak kvázi egyszerűbben kezelhető, jól lehatárolható problémák esetén, és az irányított rendszerből kinyert valós idejű (real-time) adatok felhasználásával váltak be ez ideig a gyakorlatban (pl. termelés anyagutánpótlásának ütemezését támogató folyamatoptimalizáló automatizmusok). Az ember kvázi „felügyelő” szerepe azonban ezekben az esetekben sem kerülhető ki.

## 6. AZ INTEGRÁLT LOGISZTIKAI IT MEGOLDÁSOK ÉS AZ ÜZLETI INTELLIGENCIA MEGOLDÁSOK SZEREPE A FEJLŐDÉSSEN

Cikkünkben már több olyan lehetőségről tettünk említést, amellyel a logisztikai rendszerek és folyamatok működésének hatékonysága fokozható. Közvetlenül azonban még nem esett szó azokról az információs technológiai megoldásokról, amelyek a fentebb bemutatott lehetőségeket, megoldásokat magukba foglal(hat)ják. Ezeket az alkalmazásokat logisztikai információs technológiai (IT) megoldásoknak nevezzük. Egy vállalat „logisztikája” profiltól függően több részterület, illetve ebből adódóan igen összetett folyamatok, és feladatok összessége lehet. Stratégiai, taktikai és operatív szinten számos olyan döntési, folyamatirányítási problémával találkozhatunk, amelyek gyakorlati megközelítésében a bemutatott szemléletmód igen hasznosnak bizonyulhat. Így a fentiekkel szoros összefüggésben előkerül két újabb fogalom, az üzleti folyamatok (Business Process = BP) és az üzleti intelligencia (Business Intelligence = BI) kérdésköre is. Egy üzleti folyamat olyan összefüggő cselekvések rendezett sorozataként értelmezhető, amelyeket adott üzleti, vagy azzal összefüggésben lévő célok elérése érdekében, irányított módon hajtunk végre.

Alapvetően három típusa létezik: irányító-, alap- és támogató folyamatok. A klasszikus vállalati logisztikai folyamatok leginkább az első két kategóriába sorolhatók be. (Korcsmáros, 2006) szerint amikor egy vállalat az üzletmenet automatizálásán túl döntés-előkészítés céljából is igénybe veszi az informatikát, akkor már üzleti intelligenciáról beszélhetünk. Eszerint tehát minden olyan informatikai megoldás, amely az üzleti folyamatokat legalább döntés-előkészítés szintjén támogatja egyfajta üzleti intelligencia megoldásnak tekinthető. Igen ám, de mi az a szint, amely már tekinthető egyfajta döntés-előkészítésnek? Ebben a megközelítésben alapvetően egy relatíve egyszerű struktúrált adattárház, amely esetleg képes arra, hogy különböző statisztikák automatizált előállítására révén támogassa a vezetői döntéseket, már döntés-előkészítési szintnek tekinthető. Kétségtelen, hogy sok vállalat esetében már ez is nagy eredménynek számít, azonban a tapasztalatok azt mutatják, hogy a gyakorlatban (ezen belül kiemelten a logisztikai folyamatok területén) jelentkező feladatok és a döntési problémák összetettségéből adódóan ennél sokszor jóval többre van szükség. A valóság mégis inkább az, hogy a gyakorlatban alkalmazott logisztikai IT megoldásokba integrált üzleti intelligencia megoldások kvázi „megállnak” egy ennél sokkal alacsonyabb szinten. Feltehető a kérdés, hogy ha igény van, akkor vajon mi lehet ennek az oka. Mind fejlesztői, forgalmazói, mind pedig felhasználói oldalról számos problémát lehetne felsorolni az üzleti kultúrától egészen a forgalmazott IT rendszerek sokszor teljességgel érthetetlen korlátjaiig. Mindazonáltal egyre inkább bebizonyosodni látszik, hogy a logisztikai szabályozó és operatív irányítási rendszerek területén elért eredmények, a módszerek további fejlesztése, terjesztése, gyakorlati implementációja tulajdonképpen olyan kiterjesztési lehetőség, amely újfajta megközelítésbe helyezheti a logisztikai rendszerekben alkalmazott üzleti intelligencia megoldásokat.

A 2005-2007-ig terjedő időszakra az IDC elemző cég végzett egy világ viszonylatra kiterjedő felmérést az üzleti intelligencia megoldások terjedését és piacát vizsgáló. Ennek záró tanulmányában („Worldwide Business Intelligence Tools 2007 Vendor Shares”) többek között megállapítást nyert, hogy az üzleti intelligencia beruházás továbbra is az egyik legjövődélmezőbb vállalati befektetés, valamint a kutatás megállapítása szerint 2007-re az üzleti intelligencia világpiaca 12,1%-al növekedett több, mint 7 milliárd dollár összértékűre. A piac legjelentősebb szereplője az amerikai kontinens, melyet az EMEA térség (Európa, Közel-Kelet, Afrika) követ (www.sap.com, 2008), (www.idc.com, 2008). Mivel az igények egyértelműek, ebből levonható az a következtetés, hogy nagy jövő áll a fentebb bemutatott módszertanok továbbfejlesztése és üzleti intelligencia megoldásokba való integrációja előtt.

## 7. AZ ADAPTIVITÁS SZEREPE A LOGISZTIKAI IT MEGOLDÁSOK HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELESÉSÉN

Ez idáig talán kevésbé hangsúlyoztuk egy rendkívül lényeges kérdést, a folyamatoptimalizálás során alkalmazott rendszer-megoldás alkalmazkodó képességének, vagyis adaptivitásának problémáját. Ez talán manapság az egyik legnehezebben kezelhető, legnagyobb kihívást jelentő terület. A probléma kezelése tekintetében a jövőben igen komoly szerepe lehet a mesterséges intelligencia (MI) megoldásoknak.

De miért is jelent ez akkora problémát a gyakorlatban? Mint már korábban is említésre került, a logisztikai rendszerek hatékony üzemeltetése tekintetében az egyik legnagyobb gondot az állandóan változó környezet, illetve a szintén folyamatosan változó igényeknek való megfelelés jelenti. Ez egy olyan „gerjesztést” ad az irányított rendszernek, amelynek eredménye az állandóan, vagy legalábbis igen gyakran változó optimális rendszerállapot. A „gerjesztő” változások lekezelése sok esetben megoldható olyan módon, hogy a logisztikai rendszer működésének hatékonyságát befolyásoló beavatkozó tényezők, szabályozó paraméterek értékeit aktualizálja az alkalmazott logisztikai szabályozó rendszer. Sokszor az előbb definiált feladat megoldása sem egyszerű, de ennél még nagyobb kihívást jelenthet egy olyan eset, amikor a logisztikai rendszer belső felépítésének újrastrukturálódási, és/vagy a működés szabályrendszerének megváltoztatási igénye merül fel, mert e nélkül nem valósítható meg az optimális működés, vagy csak egy ún. szuboptimum érhető el. Ezek kapcsán már az is egy fontos kérdés lehet, hogy miként lehet egyáltalán kvázi automatizált módon felismerni a fentebb definiált szituációkat. A már korábbi fejezetekben is előrevetített MI megoldások nagy előrelépést jelenthetnek ezen a területen. Számos olyan megoldás létezik, amelyek az előzetes kutatások és kifejlesztett mintarendszerek alapján alkalmasak lehetnek a fenti problémák kezelésére (például a neurális hálózatok alkalmazásán alapuló tanuló-öntanuló rendszerek, amelyek segítségével egyfajta egyszerűsített „emberi” gondolkodásmód képezhető le). Több olyan szabályozástechnikai alkalmazási példa létezik, amelyben a MI módszerek ezen képességeit használták ki komplex

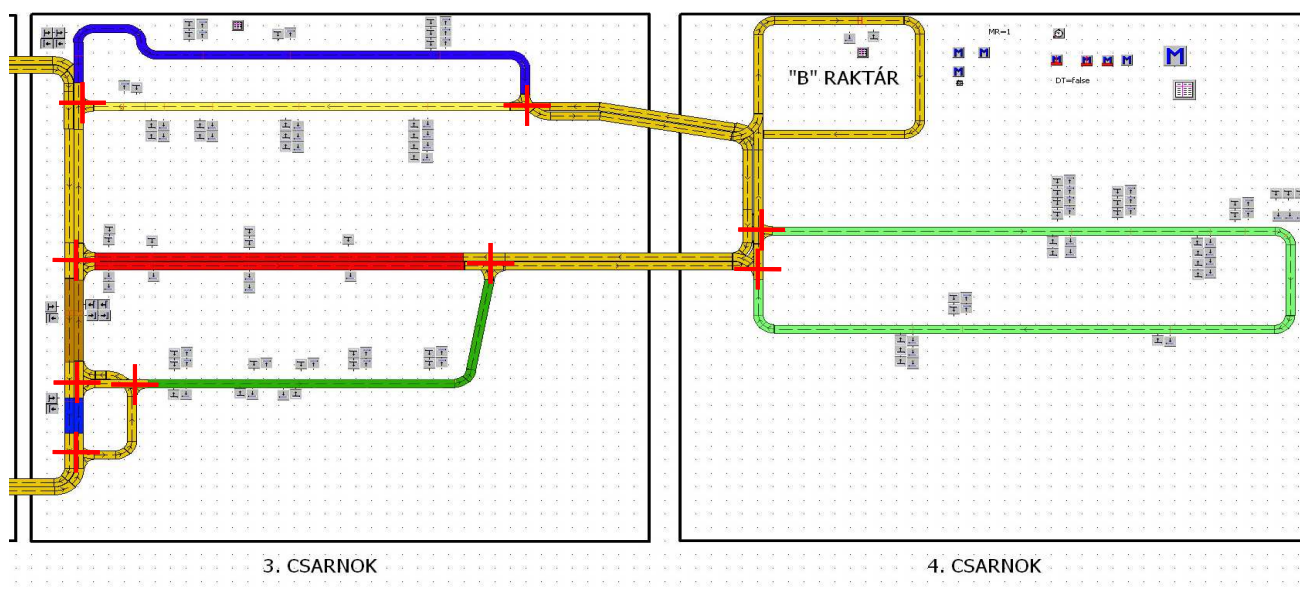
tanulási feladatok megoldásában, de megemlíthető itt akár a már fentebb is említett gazdasági előrejelzések neurális hálózatokon alapuló megközelítése (Pitlik et al., 2000) is, amely az adaptivitás kérdésével szintén szoros összefüggésben van. Ezek a módszerek lehetőséget adhatnak a logisztikai rendszerek irányításában is a módosítási, átstrukturálási kényszerek felismerésére, mi több irányíthatják akár magát az újrastrukturálódási folyamatot is, betaníthatók velük egymástól eltérő szabályrendszerek stb. Azt gondoljuk, kijelenthető, hogy a jelenleg alkalmazott logisztikai IT megoldások még nem alkalmasak az ilyen jellegű adaptivitási problémák hatékony kezelésére. Meglehetősen statikusak és túlságosan „ember függők”, kezelésük sokszor túlságosan nehézkes, és az alkalmazkodási igény felismerését sem támogatják, annak kezelését teljes mértékben az operációra bízzák. Itt lehet tehát egy újabb olyan kitörési irány, amelyben az MI technológiák a logisztikai IT megoldásokba beépülve teret hódíthatnak a logisztikai rendszerek és folyamatok hatékonyságának növelésében.

## 8. KÍSÉRLETI FEJLESZTÉSEK, INNOVÁCIÓK BEMUTATÁSA EGY GYAKORLATI PÉLDÁN KERESZTÜL

A kísérleti fejlesztésekre tekintsünk egy olyan gyakorlati példát, melynél a feladat egy magyarországi autóiipari részegység-gyártó vállalat egy üzemében a belső logisztikai

rendszer optimalizálása volt. Az optimumot ebben az esetben a szállítási feladatok elvégzéséhez szükséges idő minimuma jelentette. Az anyagmozgatást egy vontató targonca végzi. A jármű az üzem területén elhelyezkedő belső raktárakból szállítja az alapanyagot a gyártóegységek bemeneti pontjaihoz, valamint a kimeneti pontokból szállítja vissza a készterméket és a göngyöleget a raktárakba. A gyártóegységek be- és kimeneti pontjai lehetnek ugyanazon pontok. Tehát a megoldandó probléma tulajdonképpen egy olyan szállítási feladat, melyben több raktár (depo) és több állomás szerepel, ezen kívül minden ponton történhet anyag fel- és leadás is. Ez egy ún. VRPPD (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery) probléma.

Az ilyen típusú problémák megoldásához több okból is érdemes szimulációs szoftvert használni. Egyrészt azért, mert az üzem úthálózatának matematikai leírása másképpen igen bonyolult. Mivel az úthálózat tulajdonképpen egy gráf, ezért ezt közvetlenül számadatokkal leírni igen bonyolult. Szimulációs programot használva viszont egy léptékhelyes ábra alapján könnyen definiálhatjuk az úthálózatot, mégpedig úgy, hogy az ábrát a modell háttereként alkalmazva kijelöljük az utak helyét. Az úthálózatot reprezentáló objektumok rendszere így sokkal átláthatóbb, sokkal könnyebben kezelhető, mint számadatok formájában (3. ábra). A feladat optimalizálásához szükséges úthálózatra vonatkozó adatokat pedig szimulációs futtatások során kaphatjuk.



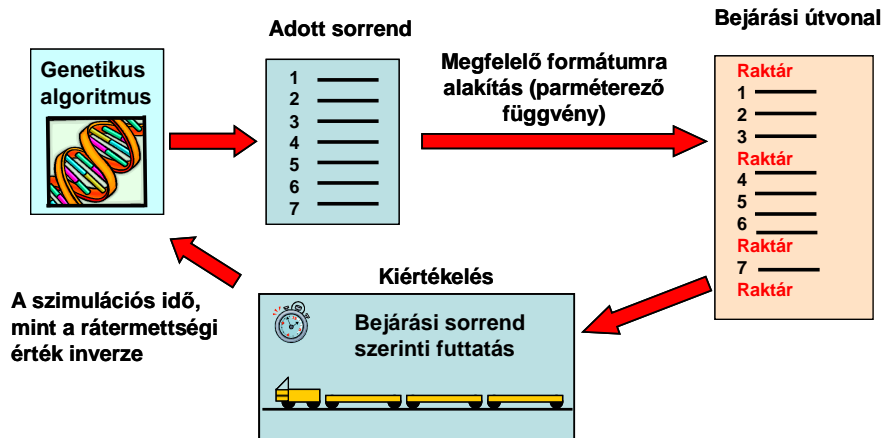
3. ábra: Az üzem anyagellátásra használt útvonalai, le- és feladó pontjai, valamint az alapanyag raktár épület szimulációs reprezentációja PlantSimulation programmal

A szimulációs szoftver használatának másik előnye, hogy alkalmas olyan algoritmusok megírására és futtatására, amelyek a feladat optimalizálásához szolgáltatnak adatokat. Ezen kívül egyes szoftverek rendelkeznek különböző MI megoldásokat használó kereső modullal is. A példaként bemutatott megoldás során a program genetikusan algoritmus modulját használtuk. A modell felépítésének főbb lépései a következők voltak:

- az úthálózatot reprezentáló pályák létrehozása,

- az állomások és raktárak elhelyezése az úthálózaton,
- a számításokat és a szükséges adatbázis műveleteket végző algoritmusok megírása,
- a genetikusan algoritmus modul felparaméterezése.

Az így létrehozott modellel lehetséges az elvégzendő szállítási feladatok adatait automatikusan beolvasni, majd azok elvégzési sorrendjét az elvégzésükhöz szükséges idő szerint optimalizálni (4. ábra).



4. ábra: A genetikus kereső, a paraméterező függvény és a kiértékelés kapcsolata

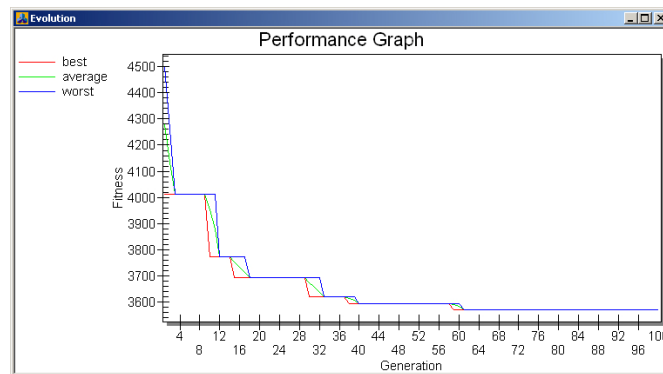
Mivel a megoldandó probléma is NP-hard típusú, ezért a fentebb definiált okokból kifolyólag a keresés hatékonysága érdekében érdemes valamilyen módon csökkenteni a lehetséges megoldások számát. Mivel a megoldások száma a bemeneti paraméterek számától erősen függ, ezért a keresési tér jelentős szűkülése várható azok csökkentésével. A bemeneti paraméterek számát pedig úgy csökkenthetjük, hogy megpróbálunk meghatározni olyan állomás halmazokat, amelyek kiszolgálását érdemes együtt elvégezni. A kiszolgálást végző vontató targoncára jellemző az, hogy egyes útszakaszon nem képes megfordulni a vagonok miatt, ezért kialakulnak olyan állomás csoportok, amik csak egymás érintésével érhetőek el. Ezen állomásokat érdemes együtt kiszolgálni. Az ilyen csoportokat klasztereknek nevezzük. A klasztereket matematikailag úgy a legkönnyebb meghatározni, ha kijelöljük azokat az elágazásokat az úthálózaton, amelyeknél dönthet a vontató jármű vezetője, hogy melyik irányba megy tovább. Az ilyen pontokat döntési pontoknak neveztük el. Két ilyen döntési pont által közrezárt útszakaszon – gráffal történő reprezentáció esetén élen – elhelyezkedő le-, illetve feladópontok egy klaszterbe tartoznak. A szimulációs szoftver lehetőséget nyújt arra, hogy általa létrehozzunk egy olyan „pálya feltérképező” járművet, amely automatikusan megtalálja és rögzíti a klaszterek adatait. Ez azért nagyon fontos, mert a pálya szerkezetének, vagy az állomások helyének, esetleg számának változása esetén is gyorsan elvégezhető a csoportosítás.

Így a feladat egy kétlépcsős optimalizálás, aminek első lépcsőjében az így kialakult állomás csoportokhoz tartozó szállítási feladatok optimális sorrendjének meghatározása a cél. Az optimalizálást egy genetikus algoritmust használó kereső segítségével valósítottuk meg, melyet minden klaszterre elvégeztünk. Ezen eljárással jelentősen csökkentettük az eredeti probléma keresési terét.

A második lépcsőben lényegében a csoportba nem sorolható állomásokhoz tartozó szállítási feladatok elvégzési sorrendjének optimális meghatározása a cél. Ebben az esetben is genetikus kereső algoritmust használtunk.

Mindkét lépcsőben úgy jártunk el, hogy szállítási feladatok elvégzésének egy adott sorrendje jelentett egy egyedet, amelynek rátermettsége a végrehajtásához szükséges idővel

fordítottan arányos volt. Ezt az adatot pedig minden esetben úgy kaptuk, hogy a létrehozott modellben az adott sorrendben a valóságnak megfelelően végrehajtottuk a szállítási feladatokat és a feladat végeztével meghatároztuk a szimulációs időt. Tehát a szimulációs futtatás itt tulajdonképpen az egyedek kiértékelésére használt fekete doboz, amely bemenetén egy feladat sorrend van, kimenetén pedig a szimulációs idő. Nagy előnye a számítógépes szimulációnak, hogy minden adat (pl.: a rakodási idők, a jármű gyorsulása, lassulása stb.) beállítható, így a kapott adatok igen pontosan tükrözik a valóságot. A rátermettségi értékek alakulását mutatja a generációk függvényében az 5. ábra.



5. ábra: A rátermettségi értékek alakulása a generációk függvényében

Mivel a keresés nem talál biztosan globális optimumot, ezért a függvény alakjából következtethetünk arra, hogy a talált megoldás közel optimális. A kidolgozott eljárás hatékonyságának értékelése végett elvégeztünk néhány tesztfuttatást.

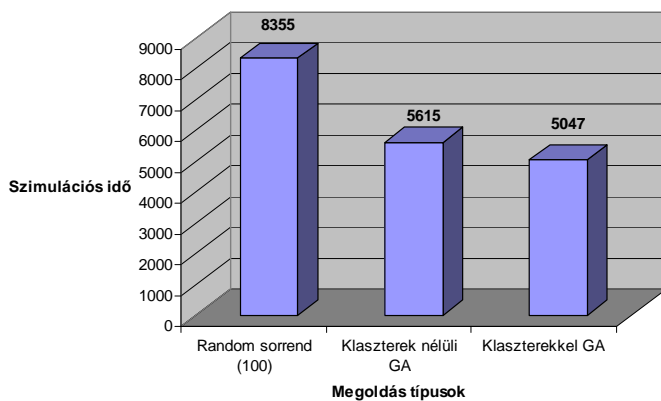
1. Az első esetben teljesen véletlenszerű sorrendben végezte el a feladatokat a szimuláció. Száz futtatásból a teljes feladat megoldásához szükséges átlagos idő 8355 másodperc lett (6. ábra).
2. A második kísérletben úgy futtattuk a genetikus algoritmus alapú keresést, hogy ne vegye figyelembe a klasztereket. Ebben a megoldásban nincs szűkítve a keresési tér, ami miatt sokkal nagyobb futási idő kell egy

közel optimális megoldás megtalálásához, esetünkben 8 perc után állítottuk le a keresést. Az így talált legjobb megoldáshoz tartozó idő 5615 másodperc lett (6. ábra).

3. Az általunk kidolgozott eljárás segítségével a keresés első lépcsője, azaz a klaszterenkénti keresés körülbelül 10-20 másodpercig tartott a beállításoktól függően. A keresés második lépcsője pedig körülbelül 2-3 percig, de görbe jellegéből látszik, hogy már közel optimális megoldást talált. Az összes feladat elvégzéséhez ebben az esetben csak 5047 másodpercre volt szükség (6. ábra).

Az általunk kifejlesztett szimulációs modell és a hozzá tartozó számítási és adatkezelési eljárások napi szinten történő alkalmazása az üzem számára akkor lenne előnyös, ha a jelenleg fennálló peremfeltételek nem, vagy csak ritkán változnának. Ha mégis alapvetően változna a probléma feltételrendszere, akkor annak bevezetését valószínűleg hosszú tervezési és átállási időszak előzné meg, így lehetőség lenne az alkalmazás új körülményekhez való átprogramozására. Az üzem számára történő tényleges felhasználáshoz szükség lenne magára a szoftverre és az azt kezelő személyzet képzésére. A szoftver interneten keresztül történő alkalmazása is lehetséges, így magát a számítási folyamatot végrehajtó szoftver csak egy háttérben futó alkalmazássá válna. Ebben az esetben gondoskodni kellene az adatok biztonságos áramlásáról.

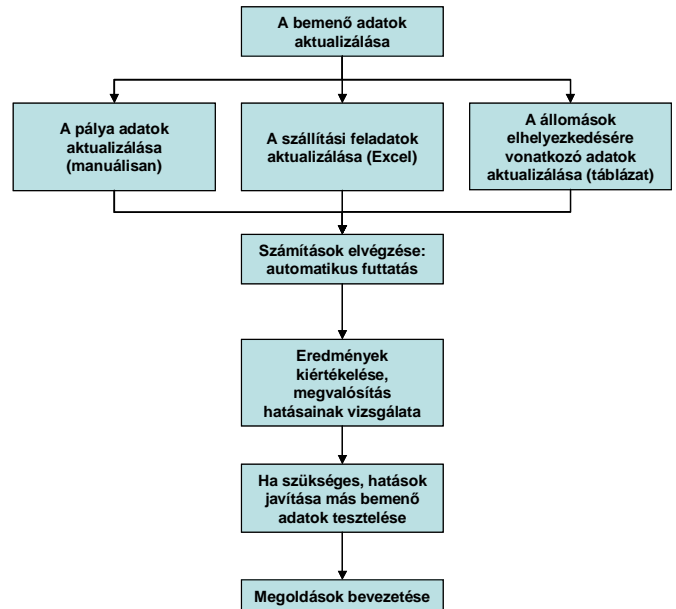
Abban az esetben, ha az üzem a szoftver megvásárlása mellett döntene és befektetne a kezelőszemélyzet oktatásába, a belső logisztikai rendszer üzemeltetésének hatékonyságát érezhetően javíthatná a program. A fejlesztés során ügyeltünk arra, hogy a bemenő adatok könnyen változtathatók legyenek. Mivel egy ilyen üzem területén nem történik gyakran változás a közlekedő utak szerkezetében és ha igen, akkor is csak kisebb, ezért a változtatásokat a programot kezelő személyzet könnyen beépítheti a már meglévő modellbe.



6. ábra: A szimulációval végzett futtatások eredmények alakulása (összes időszükséglet)

A szállítási feladatokat egy könnyen kezelhető Excel táblázat tartalmazza, melyet a program automatikusan olvas be. Ezután minden számítási lépés is könnyen automatizálható, hiszen az adatokra vonatkozó minden kivételt képes kezelni a program, tehát az adatok jellegétől független a feladat megoldhatósága. A program bevezetésének és napi szinten

történő üzemeltetésének lépéseit mutatja a 7. ábra. Az esettanulmányban bemutatott eljárás (MI és szimulációs eszközök kombinálása) előnye, hogy használatával nemcsak közel optimális szállítási köröket határozhatunk meg igen rövid idő alatt, hanem a rendszer minden eleméről kaphatunk statisztikai adatokat a megvalósítandó útvonal meghatározása után. Vizsgálhatjuk a járművek, utak, raktárak, állomások különböző mutatóit. Kísérletezhetünk a megvalósítandó változtatások előtt, biztonságosan vizsgálhatjuk azok hatásait.



7. ábra: A program bevezetésének és napi szinten való üzemeltetésének tervezett lépései

## ÖSSZEZÉS

Tapasztalataink alapján egyre inkább beigazolódni látszik, hogy az innovációs kutatások a jövőben meghatározó szerepet játszhatnak a logisztikai rendszerek fejlesztésében. Az újszerű módszerek ilyen módon történő implementálása, tesztelése lehet tulajdonképpen az egyetlen út, hogy a gyakorlat megismerhesse, mi több használhassa és a „saját bőrén” is megtapasztalhassa az azokban rejlő megtakarítási lehetőségeket. Számos elméleti módszer, eljárás kiváló gyakorlatban történő elterjedéséhez és elfogadottságához még sok pilot projektnek és példaértékű alkalmazásnak kell születnie. Ezért gondoljuk azt, hogy az innovációs kutatások jelenthetik azt a „hidat”, amely átjárást biztosíthat az elmélet és a gyakorlat között.

Ennek alátámasztására a cikk egy konkrét gyakorlati probléma megoldásán keresztül ismerteti a MI sikeres alkalmazhatóságát a logisztika egy adott részterületére, azonban ez a probléma általánosítható a logisztika egyéb területein felmerülő problémák jelentős részére. A bemutatott esetben egy üzem belső anyagszállítási rendszerének optimalizálása volt a feladat, de ugyanezen eljárás alkalmas minden olyan probléma megoldására, ahol központi raktárból kerülnek kiszolgálásra igénypontok és ezen igénypontokból a raktár felé is történik anyagáramlás. Például egy országos



hálózattal rendelkező vállalat központi raktárból történő anyagkiszállításának optimalizálására is alkalmas a módszer. A feladat megoldása közben olyan MI eszközöket is alkalmazó eljárásokat fejlesztettünk ki, melyek automatikusan, a bemeneti adatok jellegétől függetlenül működnek, tehát a kifejlesztett program egyszerűen automatizálható.

#### IRODALOM

- Álmos A., Győri S., Horváth G., V. Kóczy A.: Genetikus algoritmusok, Typotex Kiadó, Budapest, 2002. (11-53. old.)
- Bóna K.: Készletezési rendszerek és folyamatok korszerű optimalizálási módszerei, eljárásai, BME, PhD értekezés, Budapest, 2007.
- Frascati Kézikönyv, Javaslat a kutatás és kísérleti fejlesztés felméréseinek egységes gyakorlatára, OECD, 2002. (A Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal által 2004-ben lefordítva)
- Korcsmáros I.: Üzleti intelligencia: már nem titkos tan, Controlling Portál, 2006. [www.controllingportal.hu/?doc=tk\\_t&t=16&d=510](http://www.controllingportal.hu/?doc=tk_t&t=16&d=510)
- Law, A. M., Kelton, W. David: Simulation Modelling and Analysis. McGraw-Hill International Editions, 2000.
- Pakucs J., Papanek G. (szerk.): Innováció menedzsment kézikönyv, Magyar Innovációs Szövetség, Budapest, 2006.
- Pfeiffer A.: Szimulációval segített optimumkeresés automata raktár tervezésénél. Diplomamunka, 2002.
- Pitlik L., Pásztor M., Popovics A., Bunkóczi L.: Mesterséges intelligencia alapú prognosztikai modulok adaptálása az EU/SPEL-Hungary rendszerhez az alapadatbázisok konzisztenciájának egyidejű ellenőrzésével, (2. részjelentés az OTKA F030664 sz. pályázathoz), 2000.
- Russell, S., Norving, P.: Mesterséges Intelligencia, Panem, 2005.
- [www.sap.com/hungary/company/press/press.epx?pressid=9836](http://www.sap.com/hungary/company/press/press.epx?pressid=9836), 2008
- [www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=212921](http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=212921), 2008