



## Termelési logisztika optimalizálása szimulációval

**Dr. Szűcs Gábor<sup>1</sup>**

*A logisztikai menedzsmentnek sokféle problémával kell szembenéznie. Az alábbi tanulmány ezek közül egy kis szeletet kiválasztva, egy olyan általános megoldási módszert mutat be, amelyet már más területeken hatékonyan alkalmaztak. Ez a problémamegoldó eljárás a számítógépes szimuláción belül egy olyan új metódus, amely mesterséges intelligenciát alkalmazva keresi meg az adott feladatra az optimális megoldást. Gyártási rendszereknél költségminimalizálást, logisztikai optimalizálást lehet végrehajtani a segítségével, és az elvont matematikai modellekkel ellentétben a menedzserek számára egy grafikus, jól érthető, felhasználóbarát megoldási módot kínál.*

---

Tárgyszavak: termelésirányítás; mesterséges intelligencia, szimuláció; kontrolling; költség; optimalizálás.

---

A vállalat nagyságától függően a logisztika súlya változik, növekvő nagyság mellett egyre fontosabb szerepet tölt be, de a nagyobb vállalatoknál a logisztikával kapcsolatban felmerülő problémák is egyre összetettebbek lesznek. Az egyre növekvő verseny miatt a vállalatok csak egy magasabb színvonalú logisztikai szolgáltatással tudnak a többi vetélytárssal lépést tartani, ami fokozott problémamegoldó- és alkalmazkodóképességet követel. A logisztikai problémák tehát nem csak egyszer jelentkeznek a vállalatnál, hanem folyamatosan merülnek fel újabb megoldandó feladatok, és ezek megoldásaként újításokat kell bevezetni a fejlődés érdekében, és egyre komplexebb problémákat kell megoldania a vállalati menedzsmentnek.

### Termelésmenedzsment

A termelésmenedzsment a vállalatirányítási szervezetek közül a logisztikamenedzsmenttel működik a legszorosabban együtt, hogy az áruk ill. szolgáltatások határidejét tartani tudják. [1] Szoros a kapcsolat még az információmenedzsmenttel, a szükséges információk kétirányú rendelkezésre állásához; a minőségmenedzsmenttel, hogy a különböző termékekkel és szolgáltatásokkal elégedettek legyenek a vevők; illetve a költségmenedzsmenttel, hogy a termelés a lehető legolcsóbb legyen. A termelésmenedzsment legfontosabb feladata, hogy a gyártani kívánt termékekhez szükséges anyagok, alkatrészek, részegységek mennyisé-

gi és megrendelési adatait meghatározza, a munkafolyamatok kezdő- és befejező időpontjait megtervezze, adott feltételek mellett. [2, 3] Ezen feltételek közé tartozik a gyártási határidők betartása, a felhasználható anyagok, erőforrások rendelkezésre állása, ill. hiánya, adott raktári kapacitás stb. A menedzsment célja, hogy ezeket a feladatokat rövid átfutási idővel, alacsony raktári készletekkel, nagyfokú rugalmassággal, a legjobb minőségben és a legolcsóbban oldja meg.

### Logisztikai költségek

Logisztikai költségek és teljesítmények méréséhez pontos adatok szükségesek, amelyek a vállalatok többségénél nem állnak teljes mértékben (illetve kellő mélységben) rendelkezésre. Ahhoz, hogy mégis elemezni lehessen a logisztikát (pl. költség-haszon elemzéssel) a következő költségfajtákat kell elkülönítetten gyűjteni és összesíteni:

- *Szállítási költségek.* Ezek a logisztikai összköltség legnagyobb részét jelentik, melyek különböző szempontok (pl. termékek vagy szállítási módok) szerint még tovább bonthatók.
- *Raktározási költségek.* Ezek a tárolással kapcsolatban felmerült költségek, beleértve a raktárban levő rakodó erőforrások fenntartási költségeit, az áru tárolási körülményeit biztosító költségeket stb.
- *Rendelésfeldolgozási és információs költségek.* Ezek tartalmazzák a rendelésbeérkezési, továbbítási, feldolgozási és az ehhez kapcsolódó kezelési és kommunikációs költségeket.
- *Szérianagyság költségei.* Az egyes szériák közötti termelésátállítás kihat a logisztikai folyamatokra is, mely így további költségekkel (átállítás miatti kapacitáskiesés, anyagmozgatás, ill. szállítás) járul hozzá a logisztikai költségekhez.

- *Készletartási költségek.* Ide csak azok a költségek tartoznak, melyek együtt változnak a készletszinttel, mint pl. a készletre vonatkozó biztosítás, adó, elavulás, illetve készlet kockázati költsége lopás vagy más káresemény miatt.

### Termelési logisztika

A több részfolyamatból álló, azaz több fázisú termelési folyamatnál a rendszer tervezéséhez vagy vizsgálatához az egyes résztevékenységeket Gantt- vagy hálódigramban célszerű ábrázolni. A hálómodell segítségével az összetett gyártási folyamatot a részfolyamatok logikai kapcsolataival írhatjuk le oly módon, hogy az egymás után elvégzendő műveleteket sorosan, az egyszerre végezhető tevékenységeket pedig párhuzamosan ábrázoljuk. Így a felmerült kérdések egy részét, mint például az átfutási idő meghatározása, matematikai úton megválaszolhatjuk. A gráfeljárások közül a CPM (Critical Path Method, kritikus út módszere) segítségével minimális vagy maximális értékű utat lehet keresni egy olyan irányított gráfban, ahol az élekhez értékek vannak rendelve. A PERT (Program Evaluation and Review Technique) pedig olyan tervezési problémákban segít, ahol egy gráffal leírható tevékenységsorozatnál a teljes munka elvégzéséhez szükséges minimális időt kell meghatározni. A következőkben nézzünk pár példát arra, hogy milyen termelési rendszerek vannak, ahol a logisztika szerepet játszhat.

A rugalmas gyártórendszerek magukban foglalják a megmunkáló, raktározó, anyagmozgató, minőségellenőrző és a gyártáshoz kapcsolódó segédfolyamatokat. [4] Ezekben a (FMS – Flexible Manufacturing System) rendszerekben a gyártóberendezések különböző munkadarabokon különböző megmunkálási feladatokat tudnak végrehajtani anélkül, hogy a folyamatosság az átállítás miatt

megszakadna. Ezt nagyfokú automatizálással lehet csak elérni, de még fejlettebb rendszert kapunk, ha a számítógépeket is bevonjuk a termelési és logisztikai folyamatokba. A számítógéppel integrált gyártási és logisztikai rendszerek (CIM–CIL) az egyik legkorszerűbb megoldást foglalják magukba, ugyanis itt egy rendszerbe kapcsolódik össze az ellátás, a gyártás és az elosztás, és ebben a komplex rendszerben együtt kezelik az anyagot és az információt. Ezeknél az egyre szofisztikáltabb rendszereknél a logisztika is egyre bonyolultabb.

Az új logisztikai módszerek majdnem mindegyike (van egy-két kivétel is, melyek biológiai példákon alapulnak, mint például a hangyakoloniai társadalmat utánozó logisztikai ötletek [5]) az informatikára épülve használja ki annak előnyeit. [1] Ehhez viszont további számítástechnikai alkalmazás szükséges, melynek segítségével az egyes vállalatok az üzleti tranzakcióikhoz szükséges adatok adatátvitelét tudják szabályozni. [3] A korszerű logisztikai technológiák felhasználják az informatikai tudományágban kifejlesztett új algoritmusokat. Hartmann például genetikai algoritmusokat használ projektek ütemezésére. [6] Lau és Liu Constraint Programming (CP) segítségével oldják meg a valós idejű elosztást egy logisztikai rendszerben. [7] Wilppu cikkében pedig neurális hálózatokról olvashatunk, melyeket felhasználva optimalizálást lehet végezni logisztikai problémák esetében [8], de végeztek már fuzzy optimalizálást is [9], és több helyen alkalmaztak Petri-hálós technikát ütemezési feladatokra egy gyáregységen belül is és logisztikai egységek között is [10]. A logisztikai megoldásoknál az utóbbi évekig hiányzott egy fontos informatikai területet, a szimuláció. A következő rész ennek a lehetőségeit és előnyeit tárgyalja.

## Logisztikai problémák szimulációs megoldása

Egy-egy logisztikai problémát adott feltételek mellett meg lehet oldani, azonban a gyorsan változó körülményekhez nem elég egyszer alkalmazkodni, hanem azt folyamatosan meg kell tenni. Ebben segít a számítógépes szimuláció, mely dinamikus jellegénél fogva tálcán kínálja az alkalmazkodást, így pl. számítógépes szimuláció segítségével végezték a logisztikai analízist Rotterdam kikötőjében, ahol hatalmas mennyiségű áru transzportját kellett megoldani [11].

A szimulációs szoftverek egy része általános problémákra kínál modellezési megoldást szimulációs nyelvek alkalmazásával; másik részük adott részterületekre koncentrál, és az adott felhasználási területen kínál megoldási lehetőségeket. Számos területen alkalmazható a közlekedési rendszerektől elkezdve, a gazdasági modelleken és gyártórendszereken át a környezetszennyezési modellekig; mindegyiknél több olyan szimulációs eszköz is készült, amely az adott területre koncentrál.

### Gyártásszimulációs eszköz

Gyártórendszereknél a sztochasztikus tulajdonságokkal is rendelkező szimuláció lehetővé teszi, hogy a gyártási folyamatok idejét különböző eloszlások alapján modellezzük, és a véletlen események (mint pl. robotok, gépek működésképtelenné válása, sztrájk vagy egyéb előre nem látható esemény) generálása szintén könnyen megvalósítható, melynek segítségével különböző ütemezési és vezérlési feladatok oldhatók meg. A gyártórendszerek körében a sokfajta termék egyidejű gyártására legjobban elterjedtek az FMS rendszerek, melyek olcsón és hatékonyan tudnak termelni. Ebben az alkalmazási körben a szimulációs eszközök sorá-

ban többek között megtaláljuk az angol WITNESS és a holland Taylor termékeket, illetve a továbbiakban részletesebben ismertetésre kerülő ProModelt. A ProModel (PROduction MODELer) egy könnyen használható, személyi számítógépen futtatható diszkrét szimulációs szoftver, amely rendelkezik automatikus modellépítővel, saját nyelvi jegyekkel és beépített szabályokkal, alkalmas mindenféle típusú gyártórendszer modellezésére – a kis gyárüzemektől kezdve a tömeggyártásra alkalmas rugalmas gyártórendszerekig. [12, 1]

A logisztikai vizsgálódáshoz szükséges mobil elemeket, amelyek keresztülhaladnak a rendszeren, a szimulációs szakirodalomban – így a ProModelben is – entitásoknak nevezzük. Az állandó elemek pedig lehetnek

- erőforrások, melyeket az entítások lefoglalhatnak és felszabadíthatnak,
- állomások, ahol különböző műveleteket végeznek az entításokon, vagy
- szállítók, amelyek mozgatják azokat.

A modell felépítése ebben a szimulációs programban a különböző állomások (pl. gép, szállítószalag, raktár) munkatáblán való elhelyezésével kezdődik, majd definiálni kell az entítások folyamatát, azaz az állomások szekvenciáját (routing), ahol meg kell adni, hogy a különböző típusú elemek milyen állomásokon keresztül mozognak, és az egyes állomásokon mennyi időt töltenek. A routingnál használhatók olyan speciális műveletek, amelyek segítségével erőforrás-lefoglalás és különböző kötegelési feladatok oldhatók meg. Lehet bizonyos programutasításokat használni, mint pl. változók, attribútumok értékadása, feltételes elágazás, Pascal szubrutinok hívása. Megadhatjuk azt is, hogy az entítások melyik állomáson, milyen sűrűn, mekkora csoportokban érkezzenek a rendszerbe.

Egy logisztikai rendszer pontos modelljének felépítéséhez elengedhetetlen a szállítók valósághű leírása. Ennek tesz eleget a ProModel a szállítók sebességének, fel- és lerakodási idejének, indulási pontjának, gyorsulásának és lassulásának, kapacitásának definiálásával. Megadhatók a szállítók által használt hálózat pontjai a köztük levő távolságokkal. A váratlan helyzetekre felkészülés jelent igazán logisztikai kihívást, mert a váratlan események új, megoldatlan problémákat generálhatnak. A ProModelben definiálhatók véletlen események (mint pl. a logisztikai rendszer egyes elemeinek meghibásodása), így megadhatók az állomások váratlan meghibásodásainak jellemzői (pl. MTBF: Mean Time Between Failure, MTTR: Mean Time To Repair), a leállás típusa, gyakorisága, első előfordulásának ideje, a tartalék erőforrások száma stb. Az így elkészült modellek különböző módon futtathatók (pl. animációval vagy anélkül). Kötegelt szimulációs módban egymás után több forgatókönyv futtatható, egy forgatókönyvet pedig ugyanolyan paraméterekkel többször is lefuttathatunk. Ez az ismételési lehetőség biztosítja a véletlen elemeket is tartalmazó modell különböző kiértékelési eredményeit.

Nézzünk meg egy-két példát a ProModel logisztikai problémamegoldására, hogyan építhető fel egy gyártórendszer modellje, vagy egy gyártási-elosztási rendszer szimulációs modellje, ahol az adatok strukturális, operációs és szimulációs paramétereiből állnak. [14] Struktúrában a rendszert alkotó statikus objektumok kapcsolati halmazát értjük. Operációs adatok közé tartoznak az áruk ki- és berakodási ideje a raktárból, illetve a raktárba, a raktárak közti szállítási idő, ütemezési adatok (gyakoriság, első előfordulás ideje, csomagmagnagság) stb., tehát a munkafolyamatokhoz tartozó paraméterek. A szimulációs paraméterek pedig azok az adatok, melyek a szimuláció dinamikus futását befolyásolják a feltételek rögzítésével, pl.

milyen hosszan történjen a futtatás, mikor kezdje el gyűjteni a futás során az eredményeket stb.

### Optimalizálás szimulációval

A szimulációs technika ott tud igazán segíteni, ahol a vizsgált rendszer olyan nagy és bonyolult, hogy átláthatatlan modellszerkezetet eredményezne. Ilyen összetett rendszer vizsgálata volt egy nemzetközi EU-projekt (FAMOS-QUACAR EUREKA) feladata. A projektben hat német, valamint két svájci résztvevővel (nagy részük ipari vállalatok voltak) együttműködve kellett magas minőségi követelményeknek megfelelő technológiákat és folyamatokat kidolgozni a gyártáshoz kapcsolódó területek széles skáláján (ütemezéstől kezdve az ellenőrzési technológiáig). A projekten belül a magyar csoport a minőségellenőrzési stratégiák optimalizálását végezte szimuláció segítségével műszaki és gazdasági feltételek egyidejű figyelembevételével. [15]

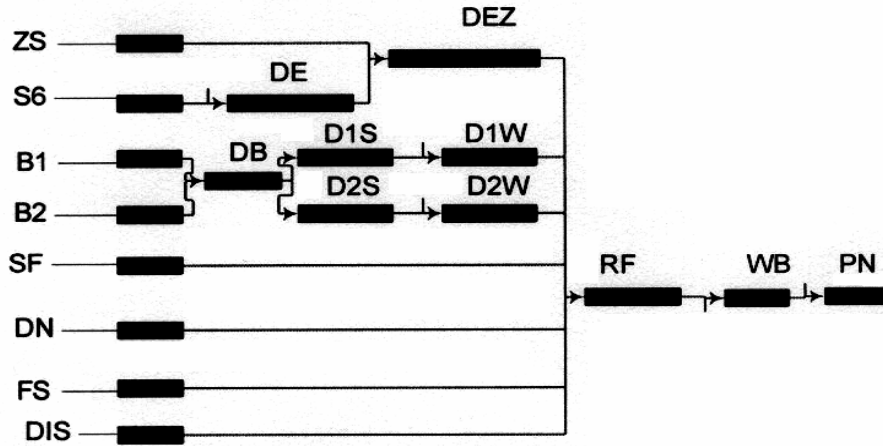
A projekt keretében egy konkrét középkeresletű ipari gyártó és összeszerelő vállalat (a gyárnak Brémában van a gyártóüzeme) gyártási folyamata képezte a szimulációs feladat tárgyát, ahol csőszerelvényeket, armatúrákat és ipari elektronikát készítenek. A rendszeranalízis után a következő lépés a meglévő rendszer szimulációs modelljének felépítése volt, valamint annak verifikálása és validálása, összevetve a valóságos rendszerrel, ami megalapozta a további szimulációs vizsgálatokat. A szigorú minőségi követelményeknek eleget tevő gyártási-összeszerelési folyamatok több gyárüzemben termelés esetén pontos ütemezést igényelnek. Az éles gazdasági versenyben rendkívül fontos szempont, hogy ez lehetőleg elfogadható költségek mellett történjen. A különböző lehetséges logisztikai stratégiák kipróbálásának ma az egyik leghatékonyabb útja a szimulációs vizsgálat.

Ennek költsége ugyanis töredéke annak, mint amikor a logisztikai menedzserek különböző ötleteiket a valóságos rendszeren próbálják ki, és hamarabb megvannak az eredmények is.

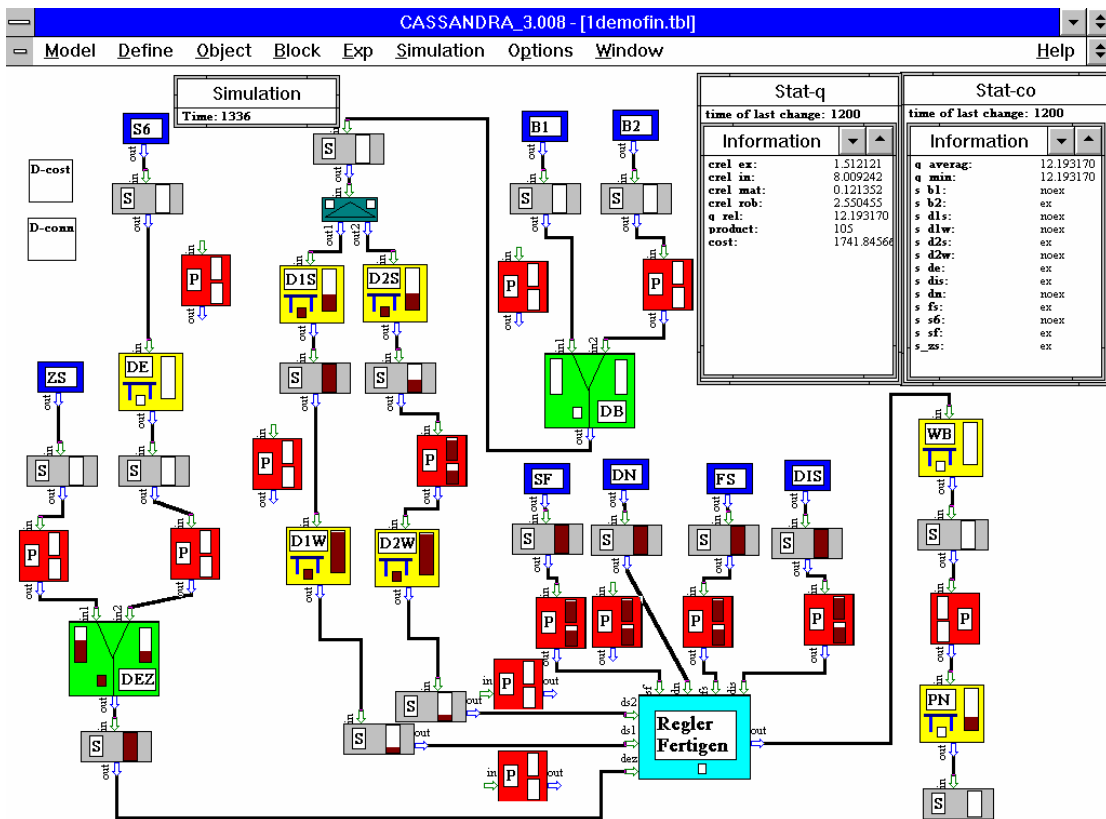
A minőségellenőrzés műszaki-gazdasági optimalizálása a projektben résztvevő GESTRA cég egyik legjellemzőbb termékének alapján történt, melynek Gantt diagrammja az *1. ábrán* látható. Ezt a folyamatot modellezték számítógépes szimulációval a CASSANDRA rendszerrel. [16] A szimulációs vizsgálódásra kiválasztott termék egy hőszabályzó volt, melynek a gyártási folyamata röviden a következő (*2. ábra*). Nyersanyagokat vásárol a vállalat, amelyeket a gyárba szállítás után helyi raktárba, külön lerakódó helyeken tárolnak. A nyersanyagok közül a henger alakú vékony rudakat (ZS: Zylinderstift) eldarabolják és két ilyen darabot hozzáerősítenek (DEZ: Düseneinsatz + Zylinderstift) egy hatszög alakú alaphoz (S6: Sechskant), amely a feldarabolás után (DE Düseneinsatz) már megfelelő nagyságban áll rendelkezésre. Két fajta lemezt (B1, B2: Band) összehegesztenek, két különböző méretben feldarabolják (D1S, D2S: DuoStahlPlatte Stanzen), majd utómunkálatoknak vetik alá (D1W, D2W: DuoStahlPlatte Walzrichten). Ezután történik a fő összeszerelési folyamat (Regler Fertigen) az alkatrészekből, ahol az említetteken kívül szükség van még a következőkre: biztosító rugó (SF: Sicherungsfeder), szeleptű (DN: Düsennadel), vezető darab (FS: Führungsstück), távtartó (DIS: Distanzscheibe). A végső munkafázisban hőkezelik a terméket (WB: Wärmebehandlung) és csomagolják (PN: Packen). A közbenső folyamatok között meg kell oldani a tárolást (S: Store), és bizonyos pontokon minőségellenőrzést kell tartani (P: Prüfung). Itt a legkülönbözőbb minőségellenőrzési stratégiákat lehetett szimulációval kipróbálni, de ezen kívül más paraméterek is változtathatók. A

raktárak (a 2. ábrán S-el jelölt téglalapokkal vannak jelölve) kapacitása a szimuláció során szintén változtatható, és a gyártás folyamán az ütemezés is módosítható. A szimuláció során tehát kü-

lönöző változatokat lehetett megvizsgálni, hogy a szimulációs rendszerben alkalmazott ágens segítségével meghatározzuk az optimális megoldást. [17]



1. ábra Egy termék anyagáramlási folyamatának Gantt-modellje (magyarázat a szövegben)



2. ábra A mesterséges intelligenciával vezérelt szimulációs kísérletsorozatnál optimális konfiguráció keresésének pillanatképe

Szimulációs programok és alkalmazások már nagyon sok területen segítik a szakembereket a szakterületükön felmerült problémák megoldásában. A szimulációval megoldható feladatoknál a modell felépítést követően dinamikus szimulációval történik a hatásmechanizmus működtetése, majd a futtatás végén a kiértékelésnél dől el, hogy kell-e a modellt tovább módosítani, illetve finomítani. Ez egy hosszú iteratív folyamat, ugyanis kezdetben nagyon sokszor kell módosítani a modellt, majd egyre kisebb mértékben kell rajta finomítani, míg a végén a kész modellel befejeződik az eljárás. A logisztikai stratégiák nagy száma miatt a konfigurációk kipróbálása ezzel a hagyományos iteratív szimulációs eljárással rövid időn belül nehezen valósítható meg. Ezért igen nagy segítséget jelent, hogy a szimuláció során a modell működési trajektóriáját intelligens ágensek monitorozzák a CASSANDRA rendszerben, és a modellt a várható optimum irányába módosítják. Ezeknek az optimumkereső ágenseknek a belső felépítése nemzetközi publikációkban megtalálható. [19, 18]

Logisztikai szempontból a magyar résztvevőnek a minőségellenőrző pontok elhelyezését kellett megoldania a projektben, hiszen ezek a gyártási folyamat minden egyes részfolyamatai közé beilleszthetők, továbbá az egész termelés végére is el lehet egyet helyezni. A túl sok ellenőrzőpont megnöveli a gyártási költséget, mivel az alkatrészeket el kell oda juttatni (még ha egy gyáregységben belül is történik ez a mozgás, mindenképpen lefoglal valamilyen erőforrást) és ezen kívül a vizsgálat is pénzbe kerül. A közbenső vizsgálatok nélküli gyártás szintén drága, mert a sok hibás alkatrészt főlegesen munkálják meg a munkagépek és az egész gyártási folyamat végén detektált hibás végtermékek eldobása igen költséges. Az ellenőrzési pontok egy adott kombinációja meghatároz egy logisztikai

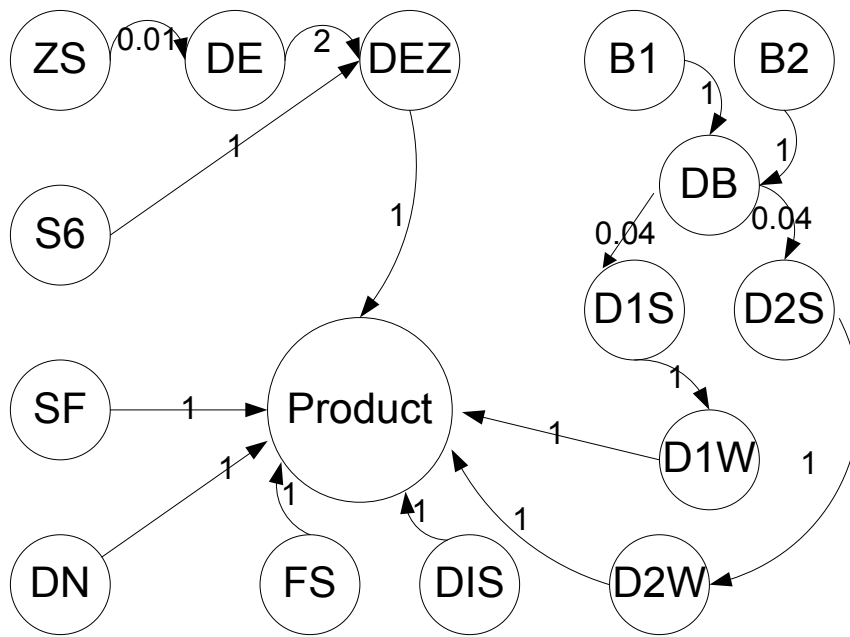
stratégiát, és ehhez a bonyolult gyártási folyamat-hoz rengeteg kombináció létezik. Az 1. ábrának megfelelő CASSANDRA szimulációs eszközrendszerrel felépített modellt a 2. ábra mutatja, amely a mesterséges intelligenciával vezérelt szimulációs kísérletsorozatnál éppen az optimális konfiguráció keresésének pillanatképe látható.

A 2. ábrán nyomon követhetjük a folyamatokat, de nem látható a termelés minden részlete, mint pl. a végtermékhez szükséges anyagigény. A termék anyagigény-kapcsolatait a 3. ábrán láthatjuk, ahol a Gozinto-gráf csomópontjai mutatják az alapanyagokat, alkatrészeket, részegységeket és a végterméket. [1] A köztük levő irányított élek (és a hozzájuk rendelt számok) azt mutatják, hogy az él végpontjához tartozó egységhez mennyi szükséges az él kezdőpontjához csatlakozó részegységből. Ez a gráf átírható közvetlen igénymátrixba, amiből a mennyiségi mátrix meghatározható. A primer igény (mint vektor) és a mennyiségi mátrix szorzataként megkapjuk a szekunder igényt (mint mátrixot, majd abból összesítve a szekunder igény vektort), amely a végtermékhez szükséges alapanyagok mennyiségét tartalmazza.

Visszatérve a legjobb megoldás keresésére, a minőségellenőrző pontok elhelyezésénél két szélsőséges eset különböztethető meg:

- az egyik esetben minden egyes részfolyamat között van közbenső ellenőrzési pont az alkatrészek oda-visszmozgatásával és vizsgálatával,
- a másik esetben sehol sincs minőségellenőrzés, csak a gyártósor legvégén.

Megvizsgálva ezt a két esetet, a jó végtermékekre vonatkoztatott relatív költség mindkettőnél magas.



3. ábra Az egyik legjellemzőbb termék Gozinto-gráfja

A minimális költség a kettő között húzódik meg, amit egy mesterséges intelligenciával (tudásbázissal és következtető eljárással) rendelkező ágens segítségével kerestünk meg oly módon, hogy az ágens a modell struktúráját megváltoztatva új ellenőrzési pontok kijelölésével és régiak megszüntetésével ellenőrzési pontok olyan rendszerét kereste, mely a kisebb költség felé mutat.

Az 1. táblázat mutatja a szimulációval kapott részletes eredményeket összehasonlítva a két szélsőséges esettel. Az értékeken jól látható, hogy a megtalált optimum mindkét alapesetnél olcsóbb megoldást kínál. A közvetlen logisztikai költség (mozgás, szállítás, és itt számolták bele a szériaméret költségét is) kicsit magasabb ugyan az ellenőrzés nélküli esetenél, de a kidobott anyag és felhasznált erőforrások tekintetében oly mértékben megelőzi azt, hogy az összesített költsége kisebb lesz.

A raktározási, rendelésfeldolgozási és információs költségek valamint a készlettartási költségek mind egyik esetben ugyanakkorák voltak, így nem szerepelnek a táblázatban.

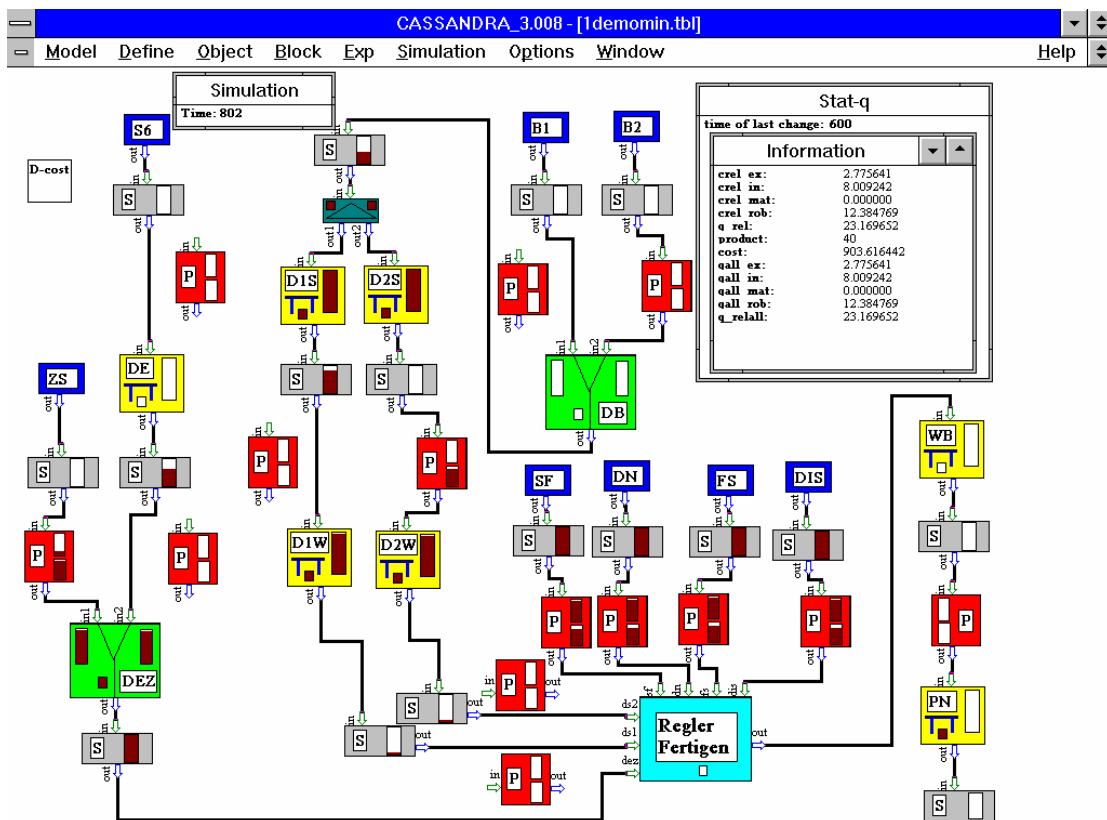
A mesterséges intelligenciával vezérelt szimulációs kísérletsorozat által meghatározott optimális ellenőrzési pont konfigurációja a 4. ábrán látható. A gyártási logisztikai folyamatába bekerülő minőségellenőrző folyamatokat, mint részfázisokat az ábrán azok a P-vel jelölt négyzetek mutatják, melyek össze vannak kötve az azokat megelőző és követő téglalapokkal. Az összeköttetés nélkül, magukban elhelyezkedő P-vel jelölt minőségellenőrző pontok az optimális megoldásnál nem kerülnek be a gyártási folyamatba. A szimulációval megtalált megoldásnál tehát bizonyos részfázisok után nincs, másoknál van minőségellenőrző pont, ezt az optimális konfigurációt írja le a 2. táblázat.



1. táblázat

A szimuláció eredménye és a két szélsőséges eset

Átlagos költség egy termékre	Összes ellenőrzéssel	Ellenőrzés nélkül	Megtalált optimum
Mozgatás, szállítás	2,663	1,302	1,513
Kidobott anyag	0,154	1,061	0,151
Erőforrás	3,231	3,611	3,252
Beépített anyag	8,009	8,009	8,009
Összes	14,057	13,983	12,926



4. ábra A mesterséges intelligenciával vezérelt szimulációs kísérlet sorozattal meghatározott optimális konfiguráció

2. táblázat

Minőségellenőrző pontok az optimális konfigurációban

B1	B2	D1S	D1W	D2S	D2W	DE	DIS	DN	FS	S6	SF	ZS
Nincs	Van	Nincs	Nincs	Van	Nincs	Nincs	Van	Van	Van	Nincs	Van	Van

A szimulációs modell felépítést követően a mesterséges intelligenciát alkalmazó optimalizálás a projektben részt vevő német vállalatnál olyan költségcsökkenést eredményezett, ami szignifikánsan jelezte a módszer eredményességét. Az optimalizálást el lehet végezni akár vegyes, akár változó termékstruktúrák esetében is, és további előny, hogy a modellek felépítése könnyen bővíthető modellelemkönyvtár objektumaiból történik, mely egyrészt további elemekkel bővíthető, másrészt tetszőleges rendszerek építhetők össze belőlük. A feladatot tovább lehet még bonyolítani a minőségellenőrzési pontok optimális térbeli elhelyezkedésének vizsgálatával, vagy egyéb logisztikai optimalizálási feladattal, de már ebből is látszik a metodika használhatósága.

## Összefoglalás

A bemutatott gyakorlati feladat megoldásával és a szimulációs vizsgálatok végzésével a módszertan ismertetése volt a fő cél. Ez a metodika egy olyan általánosítható eljárás, mely mind hazánkban, mind külföldön hasonló jellegű feladatok megoldására alkalmas. A mesterséges intelligenciával vezérelt szimulációs technika alkalmazásával az informatikának egy olyan részterületét lehetett kihasználni, mely hasznos eszköz a logisztikai menedzserek számára. Előnye ugyanis, hogy nem csak egy valós rendszer működését lehet kipróbálni a segítségével, hanem egy elképzelt vagy tervezett rendszerét is, így már az új technológiák bevezetése előtt rá lehet mutatni az új módszer előnyeire, illetve meg lehet találni a hiányosságait. A műszaki-gazdasági optimalizálásnak azért van igen fontos szerepe, mert ezáltal számos stratégiát lehet kipróbálni a vállalat hatékonyságának és gazdaságosságának növelésére a valóságos rendszeren kísérletezéshez képest elemnyészően kis költséggel, az ágensek segítségével.

A szerző ezúton szeretne köszönetet mondani Dr. Jávor Andrásnak, a magyarországi projektpartner vezetőjének a szimulációs kutatások irányításáért és Dr. Peter Albrecht-nek, az EUREKA projekt vezetőjének, hogy lehetőséget adott arra, hogy a nemzetközi projektben közreműködhessen.

## Irodalom

- [1] Prezenszki J.: Logisztika II (Módszerek, eljárások), Logisztikai Fejlesztési Központ, Budapest, 2000.
- [2] Szegeci Z.; Prezenszki J.: Logisztika-menedzsment, Kossuth kiadó, 2003.
- [3] Szegeci Z.: Logisztika menedzsereknek, Kossuth Kiadó, Budapest, 1998.
- [4] Prezenszki J.: Logisztika I (Bevezető fejezetek), Budapesti Műszaki Egyetem, Mérnöktovábbképző Intézet, 1998.
- [5] Sousa, S. R.: Optimization of logistic processes using ant colonies, 2002. ([citeseer.nj.nec.com/silva02optimization.html](http://citeseer.nj.nec.com/silva02optimization.html)).
- [6] Hartmann, S.: A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling. = *Naval Research Logistics*, 45. k. 1998. p. 733–750.
- [7] Lau, H. C., and Liu, Q. Z.: Collaborative model and algorithms for supporting real-time distribution logistics systems, CP99 post-Conference Workshop on Large Scale Combinatorial Optimization and Constraints, 1999, p. 30–44.
- [8] Wilppu, E.: Neural networks and logistics. Turku Centre for Computer Science, TUCS Technical Report No. 311, Turku, Finland, 1999. ápr.
- [9] Silva, S. P.: Fuzzy optimization of logistic processes, IEEE, 2002.
- [10] van der Aalst, W. M. P.; van Hee, K. M.: Business process redesign: A Petri-net-based approach. = *Computers in Industry*, 29. k. 1–2. sz. 1996. p. 15–26.

- [11] Ottjes, J. A.; Veeke, H. P. M.; Duinkerken, M. B.: Simulation studies of robotized multi terminal systems. Proceedings International Congress on Freight Transport Automation and Mutimodality (FTAM), Delft, 2002. máj.
- [12] Harrel, C. R.; Tumay, K.: ProModel tutorial. = Proceedings of the Winter Simulation Conference, eds. Swain, J.; Goldsman, D.; Crain, R.; Wilson, J.; Arlington, V. A. 1992. p. 405–409.
- [13] Benson, D.: Simulation modeling and optimization using ProModel. = Proceedings of the '97 Winter Simulation Conference, eds. Andradóttir, S.; Healy, K. J.; Withers, D. H.; Nelson, B. L., 1997. p. 587–593.
- [14] Szűcs Gábor: ProModel gyártásszimulációs rendszer vizsgálata, BME, Villamosmérnöki Kar, Diplomaterv, 1994.
- [15] Jávor A.; Benkő T.; Szűcs G.; Vigh Á.: Szimulációs modellezés szerelő-gyártó minőségellenőrző rendszerek minőségi követelményeinek biztosítására. A FAMOS-QUACAR EUREKA projekt keretében elért eredmények, valamint további alkalmazási lehetőségek. Tanulmány, 1995.
- [16] Jávor A.: CASSANDRA: Ein Dämon-Gesteuertes Universales Simulationssystem. Symposium Simulationstechnik, Wien, Austria, 25–27 September 1990. (6) p.130–134.
- [17] Szűcs G.; Vigh Á.: Simulation of a quality controlled manufacturing and assembly system. IMACS – SAS'95, June 26–30, 1995, Berlin, Germany, 279–282.
- [18] Jávor A.: AI controlled high level Petri Nets in simulating FMS. Fourth Annual Conference on AI, Simulation, and Planning in High Autonomy Systems, September 20–22, 1993, Tucson, Arizona, 302–308.
- [19] Jávor A.: Demon controlled simulation. = Mathematics and Computers in Simulation, 34. k. 3–4. sz. 1992. p. 283–296.

---

### Kapcsolódó honlapok

*BME GTK Információ- és Tudásmenedzsment Tanszék*  
itm.bme.hu

*EUREKA*  
www.eureka.be

*GESTRA*  
www.gestra.de

---

<sup>1</sup> A szerző egyetemi adjunktus,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Információ- és Tudásmenedzsment Tanszék