

# Koordináció Termelési Hálózatokban

PhD értekezés tézisei

**Egri Péter**

Témavezető: Váncza József, PhD



Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Informatikai Kar

Informatikai Doktori Iskola  
Az informatika alapjai és módszertana doktori program  
Elnök: Prof. Demetrovics János, akadémikus

Magyar Tudományos Akadémia  
Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

Budapest, 2008



# 1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben az ipari termelés körülményei folyamatos változásokon mentek keresztül. A növekvő vevői elvárásoknak való megfelelés egyre rövidebb átfutási időket, magasabb kiszolgálási szinteket és személyre szabott termékeket igényel. A bizonytalan kereslet hagyományos problémája mellett az újabb paradigmák – mint például az egyedi tömeggyártás, rövidülő termék-élettartamok, elhalasztott termék-differenciálás, kiszervezés – és a terjedőben levő hálózatos termelési rendszerek a hatékonyabb gyártási és logisztikai folyamatok megvalósításához új modelleket és megoldásokat tesznek szükségessé.

Az gyártási folyamatok egyik legfontosabb összetevője mindmáig a raktárkészletek megfelelő tervezése és kezelése [Chik07]. Habár számos, manapság már klasszikusnak számító tétel nagyság-modell létezik a probléma különféle változatainak megoldására, ezek általában néhány olyan előfeltevéssel élnek, amelyek már nem tekinthetők adottnak többé. Két ilyen hagyományos modell szorosan kapcsolódik a disszertációhoz: az egyperiódusos *újságárus* és a többperiódusos *Wagner – Whitin* (ld. pl. [HS96]). Az előbbi a leggyakrabban alkalmazott modell a romlandó és rövid élettartamú termékek optimális gyártási és raktározási mennyiségeinek meghatározására, míg az utóbbi hatékony dinamikus programozási algoritmust nyújt a determinisztikus többperiódusos problémák megoldására.

Azonban a működési hatékonyság növeléséhez nem elég egyetlen vállalatra koncentrálni, hanem a vállalatokon átívelő teljes gyártási folyamatot kell vizsgálni. Ilyen esetekben az elosztott döntések szuboptimális eredményre vezethetnek a beszállítói láncokban a *többszörös árrések* miatt [Tiro88], mint ahogyan a *fogoly-dilemma* lokálisan optimális stratégiái sem képesek a globális optimumot eredményezni. Ezt felismerve, egyre gyakoribb a szorosabb együttműködés és a stratégiai partnerkapcsolatok kiépítése a beszállítói lánc résztvevői között.

Az egyik legelterjedtebb üzleti modell a *szállító által kezelt készlet* (Vendor Managed Inventory – VMI) az ilyen helyzet elkerülésére a döntéseket – és a felelősséget is – egy beszállítói kapcsolat egyik résztvevőjére, a beszállítóra ruházza át [SKS00]. Ezeket a szerződéseket azonban a gyakorlatban általában nem a kölcsönösség igénye, hanem a nagyobb piaci erővel rendelkező vevő fél kényszeríti rá a beszállítóira, akik kénytelenek megfelelni a vevői elvárásoknak. Az úgynevezett *csatorna koordinációs* modellek csak az utóbbi néhány évben, a gyakorlati megvalósításoktól lemaradva kezdték el elméleti szempontból vizsgálni ezeket a helyzeteket [Cach03, LW07, SAG06].

Kutatási célom a beszállítói láncok hatékonyságának növelését elősegítő modellek, algoritmusok és protokollok kifejlesztése volt. Valós termelési hálózatokban felhasználható informatikai infrastruktúrákat és matematikai modelleket kerestem, továbbá olyan algoritmusokat, amelyek a döntéstámogatásra és a döntések hatásainak előrejelzésére is használható. A munkám során végig szem előtt tartottam a megvalósíthatóságot, az alkalmazhatóságot, valamint a matematikai megalapozottságot.

Kutatásom során a hazai és nemzetközi tudományos irodalmat tanulmányoztam, ipari szakemberekkel konzultáltam és nagy mennyiségű, ipari adatbázisból származó adatot elemeztem, hogy a gyakorlatban felmerülő problémákat és az alkalmazott megközelítési módokat megismerjem. Ezek után több alternatívát kipróbálva, új modelleket alkottam, hogy megfelelő kompromisszumot találjak a modellezési pontosság és a megoldási hatékonyság között. Mind a szoftvertervezés, mind a -fejlesztés folyamán lehetőségem nyílt professzionális eszközök használatára.

A kutatás során néha kénytelen voltam visszalépni egy korábbi fázisba és felülbírálni a megelőző döntéseimet, amikor az tesztelésből származó eredmények vagy a visszajelzések ezt szükségessé tették. Mivel bármely modell csak közelítheti a valóságot, ráadásul a szükséges paramétereknek gyakran csak a becslése áll rendelkezésre, ezért érzékenységvizsgálattal igyekeztem a modellek bizonytalan környezetben való viselkedését tanulmányozni. A kutatás során alkalmazott módszerek lehetővé tették, hogy a modellek formálisan bizonyított tulajdonságait nagyméretű, ipari és mesterséges adatokon való szimulációs kísérletekkel empirikus módon is alátámasszam.

## 2. Főbb tudományos eredmények

Kutatásom során két összefüggő témakört vizsgáltam: a centralizált és a decentralizált koordinációt. Az eredményeket négy tézisben foglaltam össze, amelyeket a disszertációm 3. és 4. fejezetében ismertetek.

### 1. tézis: Az újságárus modell fix költséggel és pótlólagos gyártással

Létrehoztam az újságárus modell egy új változatát, amely a hiány elkerülését akár pótlólagos gyártás megengedésével is biztosítja. Ebben az esetben a várható teljes költség a

következő:

$$c_s + c_p \mathbb{E}[\xi] + c_p \mathbb{E}[\max(q - \xi, 0)] + c_s \mathbb{E}[\delta(\xi - q)], \quad (1)$$

ahol  $c_s$  jelöli a fix költséget,  $c_p$  a darabonkénti gyártási költség,  $\xi$  a felmerült igény (valószínűségi változó),  $q$  a gyártási mennyiség (döntési változó) és  $\delta$  egy indikátorfüggvény: pozitív argumentum esetén 1, különben 0.

Mivel ennek a függvénynek a minimumát nem olyan könnyű meghatározni, mint a hagyományos modellben, így javasoltam a modell a kereslet egy speciális eloszlása, az ún. *logisztikus eloszlás* melletti vizsgálatát. Erre az esetre bebizonyítottam, hogyha egy optimális  $q^*$  létezik, azt egyértelműen megadja a következő képlet:

$$q^* = m - b \ln \left( \frac{bc_p}{c_s - bc_p} \right), \quad (2)$$

ahol  $m$  és  $b$  a logisztikai eloszlás két paramétere: a várható érték és a szórás egy konstanssal való szorzata.

Ezt az új modellt a termékek életciklusának végén célszerű használni, amikor a teljes piaci igény kielégítésének feltétele mellett kell a várható költséget minimalizálni. A tézist a disszertációm 3.1. alfejezetében ismertetem, és az eredmények a [5, 6, 8] cikkekben kerültek publikálásra.

## 2. tézis: Optimális gyártás bizonytalan termék-életciklus esetén

Módosítottam a hagyományos kapacitás nélküli egytermékes tételnagyág problémát bizonytalan hosszúságú termék-életciklust feltételezve, ami felhasználhatatlan raktárkészletekhez vezethet. A következő sztochasztikus programot állítottam fel:

$$\sum_{i=1}^n \left( \Pr(\eta > i) \left( c_s \delta(x_i) + h \left( I_{i-1} - \frac{F_i}{2} \right) \right) + \Pr(\eta = i) c_p I_{i-1} \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

f. h.

$$I_0 = x_0 \quad (4)$$

$$I_i = I_{i-1} - F_i + x_i \quad (i \in \{1, \dots, n\}) \quad (5)$$

$$I_{i-1} \geq F_i \quad (i \in \{1, \dots, n\}) \quad (6)$$

$$x_i \geq 0 \quad (i \in \{0, \dots, n\}), \quad (7)$$

ahol  $c_s$  jelöli a fix költséget,  $c_p$  a felhasználhatatlan készlet darabonkénti ára,  $h$  a darabonkénti raktárköltég,  $F_i$  az  $i$ . periódusra vonatkozó keresleti előrejelzés,  $I_i$  az  $i$ . periódus végén lévő raktár,  $x_i$  a gyártási mennyiség az  $i$ . periódusban,  $\eta$  a termék hátralevő élettartama,  $n$  a horizont hossza és  $\delta$  egy indikátorfüggvény: pozitív argumentum esetén 1, különben 0.

Módosítottam Wagner és Whitin eredeti dinamikus programozási megoldását az új feladatnak megfelelően, ezzel egy  $\mathcal{O}(n^3)$  futásidejű algoritmust kaptam. Ezt a modellt gyakorlati felhasználásra megfelelő biztonsági készletek és gördülő horizontú tervezés mellett javasoltam.

Az eredményeket a disszertáció 3.2. alfejezete, valamint a [1, 2, 6, 7] publikációk tartalmazzák.

### 3. tézis: Az újságárus modell koordinálása

Az egyperiódusos tétel nagyság-feladatot olyan elosztott újságárus problémaként modelleztem, ahol a beszállító nem rendelkezik előrejelzéssel a várható keresletről. A VMI üzleti modellhez olyan protokollt fejlesztettem ki, ahol a vevő megosztja az előrejelzését a beszállítóval, majd az igény felmerülése és kiszolgálása után az előrejelzés pontosságától függően kompenzációt fizet a beszállítónak.

A következő fizetségfüggvényt ajánlottam:

$$c_0\xi + \frac{c_1}{b'}(m' - \xi)^2 + c_1\frac{\pi^2}{3}b', \quad (8)$$

ahol  $c_0$  és  $c_1$  árak,  $m'$  és  $b'$  a vevő által közölt paraméterei a logisztikai eloszlásnak,  $\xi$  pedig a felmerült igény. Bebizonyítottam, hogy a várható fizetséget minimalizáló vevő a lehető legjobb előrejelzések megosztására törekszik, így a protokoll végső soron a centralizált eset globális optimumára vezet.

Ezt a tézist a disszertáció 4.1. alfejezetében ismertetem, továbbá a [3, 9] publikációkban.

### 4. tézis: A többperiódusú modell koordinálása

A többperiódusú probléma esetén a gyakorlatban használt gördülő horizontú tervezést vettem alapul, ehhez kerestem olyan kompenzációs protokollt, ami a vevőt az előrejelzések torzítatlan megosztására ösztönzi. Az előrejelzés pontosságának hagyományos mérőszámán kívül egy újfajta mértéket is javasoltam, amelyek közül a gyártás körülményeitől függően

érdemes választani. Mindkét esetre kifejlesztettem a megfelelő kompenzációs sémát, valamint kiterjesztettem a kompenzációt a 2. tézisben vizsgált bizonytalan életciklus esetére is. Bizonyítottam, hogy a javasolt kompenzációs sémák az elosztott modellben is a globálisan optimális megoldást eredményezik.

Az tézist a disszertáció 4.2. alfejezete, valamint a [4, 10] publikációk tartalmazzák.

## Egyéb eredmények

A disszertációm néhány egyéb olyan hozzájárulást is tartalmaz, amelyeket nem fogalmaztam meg tézisként, mert vagy részeredmények, vagy még nincsenek publikálva.

A 3.3.1. alfejezetben egy egyszerű döntési szabályt ismertetek, amely segít kiválasztani a megfelelő modellt az 1. és 2. tézis által leírt, valamint a hagyományos Wagner – Whitin modellek közül. Ezt a szabályt beépítettem egy kísérleti tétel nagyság-tervező és egy szimulációs alkalmazásba, valamint a [6, 8] cikkekben publikáltam.

A 4.3. alfejezetben a 3. és 4. tézis modelljeinek egy játékelméleti általánosítását mutatom be. Ez a megközelítés szintén azon a szemléleten alapul, hogy a VMI-t *szolgáltatásként* kell kezelni, és keretet nyújt ennek vizsgálatához és beárazásához.

Végül az 5.2.2. alfejezetben a szimulációkhoz használatos előrejelzések generálását vizsgálom, pontosabban ezeknek a martingálokra alapuló modelljét. Arra a megállapításra jutottam, hogy ez a modell nem képes kifejezni például a rövid, bizonytalan termék-élettartamot, ezért néhány olyan módosítást mutatok be, amelyet a szimulációknál használtam.

## 3. Az eredmények alkalmazása

A disszertációmban vizsgált problémák a *VITAL – valós idejű, kooperatív vállalatok* NKFP projekt (No. 2/010/2004) ipari résztvevői esetében merültek fel [18, 20]. A vizsgált fokális termelési hálózatot egy összeszerelést végző központi üzem és az azt kiszolgáló külső és belső anyagbeszállítók alkotják. Az eredményeim a projekt keretében egy kísérleti tétel nagyság-tervező alkalmazás, egy információ-megosztó rendszer, valamint számos üzleti folyamatok racionalizálását támogató technikai riport kidolgozása során kerültek felhasználásra.

Az 5. fejezetben röviden áttekintek két alkalmazást, amelyek a kutatásomhoz kapcsolódnak. Az egyik egy komplex információ-megosztó és monitorozó rendszer, amely a pro-

jektben résztvevő központi üzemben került telepítésre [15, 16, 17]. A rendszer a beszerzési folyamat tulajdonságait számos módon méri, többek között a 4. tézisben leírt előrejelzés pontosságára vonatkozó képletek szerint is. A másik alkalmazás egy kísérleti szimulációs környezet a VMI beszerzés vizsgálatára, amely az 1. és 2. tézis algoritmusainak kombinációját, valamint a 4. tézis fizetségfüggvényeit is tartalmazza.

Habár a kutatásom során vizsgált hálózat főleg alacsony technológiájú tömegtermékeket gyárt, hasonló problémák más területeken működő hálózatokban – például autó-, gyógyszer-, high-tech-ipar – is felmerülnek [17]. A termékek nagy változatossága, szigorú szabványok, magas minőségi követelmények és rövid termék-élettartamok manapság mindegyik felsorolt területen jellemzőek. A kutatómunkám folytatásaként az AC/DC: Automotive Chassis Development for 5-Days-Cars (EU FP6 IST 031520) projektben, egy európai autóiipari beszállítói hálózatban ezeket a hasonlóságokat tapasztalhattam.

## Tudományos publikációk

### A négy tézishez kapcsolódó publikációk

#### Idegen nyelvű folyóirat cikkek

- [1] Egri P., Váncza J.: Cooperative Planning by Coordinating the Supply Channel. *Production Systems and Information Engineering*, 4, pp. 3–19, 2006.
- [2] Váncza J., Egri P.: Coordinating Supply Networks in Customized Mass Production – A Contract-Based Approach. *CIRP Annals*, 55(1), pp. 489–492, 2006. (IF **0.989**)
- [3] Egri P., Váncza J.: Cooperative Production Networks – Multiagent Modeling and Planning. *Acta Cybernetica*, 18(2), pp. 223–238, 2007.
- [4] Váncza J., Egri P., Monostori L.: A Coordination Mechanism for Rolling Horizon Planning in Supply Networks. *CIRP Annals*, 57(1), pp. 455–458, 2008. (IF **0.779**)
- [5] Egri P., Váncza J.: Channel Coordination with the Newsvendor Model Using Asymmetric Information. *International Journal of Production Economics*, benyújtva, 2007.
- [6] Egri P., Váncza J.: An Inventory Planning Portfolio for Products with Uncertain Life-Cycle. *International Journal of Production Economics*, benyújtva, 2008.



### **Idegen nyelvű konferencia cikkek**

- [7] Egri P., Váncza J.: A Logistics Framework for Coordinating Supply Chains on Unstable Markets. *Proc. of 3<sup>rd</sup> Conf. on Dig. Ent. Tech.*, Springer, pp. 59–66, 2006.
- [8] Egri P., Váncza J.: Incentives for Cooperative Planning in Focal Supply Networks. *The 6<sup>th</sup> International Workshop on Emergent Synthesis*, pp. 17–24, 2006.
- [9] Egri P., Váncza J.: A Risk Sharing Coordination Mechanism for Customized Mass Production. *CD Proc. of 40<sup>th</sup> CIRP Int. Seminar on Manufacturing Systems*, 2007.
- [10] Egri P., Csáji B. Cs., Kemény Zs., Monostori L., Váncza J.: Komplexität der Bedarfsprognosen und ihrer Wirkungen in kooperativen Logistiknetzwerken. *Proc. of 10. Paderborner Frühjahrstagung*, pp. 455-469, 2008.

### **Egyéb publikációk**

#### **Idegen nyelvű folyóirat cikkek**

- [11] Egri P., Kovács A., Márkus A., Váncza J.: Project-Oriented Approach to Production Planning and Scheduling in Make-To-Order Manufacturing. *Production Systems and Information Engineering*, 2, pp. 23–36, 2004.

#### **Idegen nyelvű konferencia cikkek**

- [12] Egri P., Váncza J.: Cooperative Planning in the Supply Network – A Multiagent Organization Model. *Multi-Agent Systems and Applications IV, Proc. of CEEMAS2005*, Springer LNAI 3690, pp. 346–356, 2005. (IF **0.302**)
- [13] Kovács A., Egri P., Kis T., Váncza J.: Proterv-II: An Integrated Production Planning and Scheduling System. *Principles and Practice of Constraint Programming, Proc. of CP2005*, Springer LNCS 3709, p. 880, 2005. (IF **0.402**)
- [14] Ilie-Zudor E., Kemény Zs., Egri P., Monostori L.: The RFID Technology and Its Current Applications. *Proc. of the 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises*, pp. 29–36, 2006.

- [15] Váncza J., Egri P., Wiendahl, H-H.: Configurable Logistics Platform to Handle Supply Turbulences – A Case Study In A Focal Supply Network. *Proc. of the 8<sup>th</sup> International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises*, pp. 281–288, 2006.
- [16] Váncza J., Egri P., Karnok D.: Planning in Concert: A Logistics Platform for Production Networks. *Proc. of 4<sup>th</sup> Conference on Digital Enterprise Technology*, pp. 461–470, 2007.
- [17] Egri P., Karnok D., Váncza J.: Information Sharing in Cooperative Production Networks. *Proc. of IFAC Workshop on Manufacturing Modelling, Management and Control*, pp. 115–120, 2007.
- [18] Monostori L., Váncza J., Kis T., Erdős G., Karnok D., Egri P.: Real-Time, Cooperative Enterprises for Customized Mass Production: Challenges and Solution Approaches. *Proc. of 17<sup>th</sup> IFAC World Congress*, pp. 13851–13856, 2008.

### Magyar nyelvű folyóirat cikkek

- [19] Kovács A., Egri P., Váncza J.: Integrált termeléstervezés és ütemezés megrendelésre történő gyártásban. *Gépgyártás*, 45(1), pp. 45–47, 2005.
- [20] Monostori L., Váncza J., Kis T., Kádár B., Karnok D., Drótos M., Egri P.: Valós időben együttműködő vállalatok: egy ipari-akadémiai projekt eredményei. *Gépgyártás*, 48(4), pp. 11–15, 2008.

### Egyéb

- [21] Egri P.: NASM programozás Windows alatt. Hallgatók számára. <http://people.inf.elte.hu/is602ep/fordprog.pdf>.

### Összefoglalás

Publikációk száma	18	Impakt faktor	2.472
SCI (db)	4	Idegen hivatkozás	9

## Hivatkozások

- [Cach03] Cachon, G. P.: Supply Chain Coordination with Contracts. In de Kok, A. G., Graves, S. C. (eds): *Supply Chain Management: Design, Coordination and Cooperation. Handbooks in Operations Research and Management Science*, 11, Elsevier, pp. 229–339, 2003.
- [Chik07] Chikán A.: The New Role of Inventories in Business: Real World Changes and Research Consequences. *International Journal of Production Economics*, 108(1-2), pp. 54–62, 2007.
- [HS96] Hopp, W. J., Spearman, M. L.: *Factory Physics – Foundations of Manufacturing Management*. Irwin, 1996.
- [LW07] Li, X., Wang, Q.: Coordination Mechanisms of Supply Chain Systems. (Invited Review) *European Journal of Operational Research*, 179(1), pp. 1–16, 2007.
- [SAG06] Sarmah, S. P., Acharya, D., Goyal, S. K.: Buyer Vendor Coordination Models in Supply Chain Management. (Invited Review) *European Journal of Operational Research*, 175(1), pp. 1–15, 2006.
- [SKS00] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E.: *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Cases*. McGraw–Hill, 2000.
- [Tiro88] Tirole, J.: *The Theory of Industrial Organization*. MIT Press, 1988.