

KOLTAI Tamás – ROMHÁNYI Gábor – TATAY Viola

OPTIMALIZÁLÁS BIZONYTALAN PARAMÉTEREKEL A TERMELÉS- ÉS SZOLGÁLTATÁSMENEDZSMENTBEN

A termelő- és szolgáltatórendszerek működésének optimalizálása a termelésmentesek egyik gyakori problémája. Többek között az optimális termékszerkezet meghatározása, az optimális rendelési politika alkalmazása, a legkedvezőbb szállítási/logisztikai folyamatok kialakítása, a hulladékkezelés és anyagforgalom optimalizálása ismétlődő jelleggel felmerülő menedzsmentfeladatok. Az optimalizáló modellek alkalmazóinak a legtöbb nehézséget rendszerint az okozza, hogy a számítások elvégzéséhez szükséges adatok (paraméterek) értéke bizonytalan, az adatok rendszerint kiszámíthatatlanul és nem feltétlenül statisztikailag véletlenszerűen változnak. E cikk néhány egyszerű példa segítségével mutatja be a paraméterek bizonytalanságából eredő problémák kezelésének lehetséges módszereit és azok menedzsmentvonatkozásait.

Kulcsszavak: optimalizálás, termelésmentes, szolgáltatómentes, érzékenységvizsgálat

A hétköznapi nyelvben gyakran használjuk az „optimalizálás” kifejezést. Keressük például az optimális szálláshelyet nyaraláskor, az optimális befektetést megtakarított pénzünknek. Néha optimálisnak tarjuk a vízhőmérsékletet a Balatonnál vagy az időjárási viszonyokat egy kiránduláshoz. E szóhasználat arra utal, hogy ami optimális, az a lehető legjobb.

Optimumkeresés a termelés- és szolgáltatómentesben

A hétköznapi életben a kifejezést nem használjuk pontosan. Nem tudjuk ugyanis kiválasztani a világ összes nyaralóhelyéből a számos szempont (ár, távolság, időjárási viszonyok, programlehetőségek stb.) szerinti legjobbat. Ilyenkor valójában nem optimális, hanem kielégítő megoldást keresünk. Az ilyen megoldást kereső döntési mechanizmus figyelembe veszi az optimumkeresés korlátozott lehetőségeit, a korlátozott racionalitást (Simon, 1982). A korlátozott racionalitás tudattalan alkalmazásának köszönhető az elméletileg önmagának ellentmondó „legoptimálisabb” kifejezés szinte mindennapos használata. Ha ugyanis valami optimális, akkor az a legjobb, tehát nincs annál jobb. Ha viszont ez a legjobb nem található meg, akkor a sok jó között van

egy leginkább jó. Ezt a megtalált optimális vagy nem optimális megoldást nevezik (helytelenül) legoptimálisabbnak.

A matematikában az optimum egy célfüggvény szélsőértékét (maximumát vagy minimumát) jelenti. Az optimalizálás ennek a szélsőértékének a meghatározása. A matematikai értelemben vett optimalizálás alkalmazása az üzleti életben valamilyen gazdasági vonatkozású célfüggvény adott feltételek melletti maximumának (például fedezetmaximalizálás) vagy minimumának (például költségminimalizálás) a meghatározása. Az ilyenkor alkalmazott technikák az operációkutatás tárgykörébe tartoznak. Az operációkutatás kialakulása a termelésben végbement specializáció egyik következménye. A középkori iparosoknál és a későbbi manufaktúrákban a munkamegosztás foka még alacsony volt, egy vagy néhány szakember munkáját kellett csak koordinálni a munka elvégzéséhez, a termék előállításához. Az ipar és mezőgazdaság fejlődése azonban a munkamegosztás növekedéséhez, és ezzel együtt egyre nagyobb mértékű koordináció szükségességéhez vezetett. A specializáció növekedése miatt egyre nehezebb feladatot jelentett a rendelkezésre álló erőforrások különböző felhasználási lehetőségei közötti szétosztása. Ezért előtérbe került az erőforráskorlátok szem-

pontjából optimális működés kialakítása. A működés (operation) tudományos vizsgálatával (research) foglalkozó, az 1940-es években kialakult tudományterület, az operációkutatás (operations research) feladata tehát nem más, mint a rendszerek (szervezetek) működésének elemzése és optimális működésük meghatározása.

A korlátozott racionalitás miatt a legtöbb optimalizáló modell csak meghatározott korlátok melletti optimumot jelent. Ez azonban menedzsmentszempontról elfogadható. A termelés- és szolgáltatásmentesben sok olyan részprobléma található, amelyet egy optimalizáló modellel megoldva lokálisan (egy vállalatnál) és globálisan (az ellátási lánc egészére nézve) is a jelenleginél jobb működést kapunk. Egy raktár működésének költsége például jelentősen csökkenthető a készlettartási költségek minimalizálásával; az árbevétel jelentősen növelhető az optimális termelési terv meghatározásával; a vevői elégedettség javítható a vevők várakozási idejének minimalizálásával. Az ezekhez hasonló problémák modellezése és megoldása az operációkutatás jól kialakult módszereivel elvégezhető.

A komplex gyakorlati problémák megoldásához már olyan eszközök állnak rendelkezésre, amelyek segítik a modellalkotást, lehetővé teszik nagyméretű modellek gyors megoldását, és támogatják a döntés-előkészítés folyamatát. Kiseb, néhány száz változóból és korlátból álló modellek egyszerű táblázatkezelő rendszerek segítségével is megoldhatók. A bonyolultabb és nagyobb feladatok a matematikai modellezési nyelvekben egyszerűen programozható optimalizáló szoftverekkel kezelhetők (például Lingo, XA). Az utóbbi időben elterjedőben vannak olyan optimalizáló keretszoftverek is, amelyek a modellfejlesztést, a számítást és az eredmények illusztrálását a menedzserek számára könnyen érthető grafikai felületekkel támogatják (például AIMMS). Az optimalizálási döntések elméletét és gyakorlatát egyesítő modellezésalapú szakkönyvek pedig az eredmények értelmezésében segítenek (lásd például Koltai, 2006; Kovács, 2001; Ragsdale, 2007; Vörös, 1991).

Az optimalizálás gyakorlati alkalmazását a mindennapi döntéshozatalban tehát az elmélet és a gyakorlati eszközök egyaránt jól támogatják. E módszerek alkalmazásának ugyanakkor egyik legnagyobb problémája a rendelkezésre álló adatok pontatlansága.

A pontatlan adatok hatásának vizsgálata

Az alkalmazott optimalizáló modell matematikai tulajdonságaitól, valamint a bizonytalanság okától és jellegetől függ az, hogy egy paraméter pontatlanságának következménye hogyan vizsgálható. A továbbiakban

a paraméterek változását és a változás hatásának felmérését segítő módszereket tekintjük át, és illusztráljuk néhány egyszerű példával.

A paraméterérzékenység analitikus vizsgálata

Az optimalizálási modelleknél gyakran explicit módon meghatározható valamely paraméter változásának a célfüggvényre kifejtett hatása. A paraméter és a célfüggvényérték kapcsolatát leíró képlet vagy algoritmus segítségével egyrészt számszerű eredményt, másrészt a menedzsment számára jól alátámasztott általános összefüggéseket kapunk. Ennek szemléltetésére tekintsünk egy egyszerű termelésmentes példát.

A termelésmentes problémákat gyakran oldják meg lineáris programozással (LP). Egy lineáris programozási probléma általánosan a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned} \text{Max } F &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ \mathbf{Ax} &\leq \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (1)$$

Az általánosan felírt feladatban \mathbf{x} vektor tartalmazza a döntési változókat (például az időszakonként gyártandó mennyiséget), \mathbf{c} vektor jelenti a célfüggvény-együtthatókat (például fajlagos költségeket, fajlagos árakat vagy fajlagos fedezeteket). A \mathbf{b} vektor a korlátozó feltételek jobb oldali paramétereit foglalja magába (például az egyes időszakokban jelentkező igényeket, rendelkezésre álló munkaórákat). Az \mathbf{A} mátrix pedig a döntési változók és a korlátok kapcsolatát kifejező erőforrás-felhasználási együtthatókat tartalmazó együtthatómátrix. A feladat a célfüggvényt maximalizáló, de a korlátokat teljesítő optimális megoldás megtalálása. Egy termelésmentes problémánál például a fedezetet maximalizáló, de a piaci, gyártási és technológiai korlátokat betartó termelési terv meghatározása lehet a feladat. A legtöbb kereskedelmi forgalomban kapható LP szoftver az optimális megoldás mellé automatikusan szolgáltatja a célfüggvény-együtthatók és a jobb oldali paraméterek érzékenységvizsgálati eredményeit (Koltai – Terlaky, 2000; Koltai – Tatay, 2008).

Az 1. táblázat egy termelésmentes probléma jobb oldali paramétereinek érzékenységvizsgálati eredményeit szemlélteti (Koltai, 2006). A feladat: meghatározni a legalacsonyabb költségű termelési tervet hat hónapon keresztül havi bontásban, figyelembe véve a vevői igényeket, az alkalmazottak létszámának változását, valamint a létszám és a termelési mennyiség közötti kapcsolatot leíró termelésmentes összefüggéseket. A hat hónapon keresztül jelentkező piaci igényeket leíró feltételek a következők:

$$P_t - I_t + I_{t-1} = D_t \quad t = 1, K, 6 \quad (2)$$

ahol P_t a t időszakban gyártott mennyiség, I_t a t időszak végén a raktárkészlet, D_t pedig a t időszak igénye. A termelt mennyiség és a raktárkészlet döntési változók, míg az igény egy bizonytalan paraméter, amelynek nagysága csak becsült, ezért változhat a termelési terv végrehajtásakor. E paraméter érzékenységvizsgálati adatait tartalmazza az 1. táblázat.

A termelésstervezési probléma jobboldali paramétereinek érzékenységvizsgálata

Név	Végérték (db)	Árnyékár (e Ft)	Feltétel jobb oldala	Megengedhető növekedés	Megengedhető csökkenés
Igény 1	1280	-24,178	1280	25,882	3520,000
Igény 2	640	-16,178	640	348,421	88,000
Igény 3	900	-8,178	900	348,421	88,000
Igény 4	1200	-0,178	1200	348,421	88,000
Igény 5	2000	5,979	2000	933,333	2520,000
Igény 6	1400	13,979	1400	∞	636,364

Az igény feltételezett értéke januárban 1280 darab (Feltétel jobb oldala), amely az eredményül kapott termelési terv alapján ki is elégíthető (Végérték). Ha azonban az igény valamilyen oknál fogva egységnyivel (egy darabbal) megnő, akkor egy olyan optimális termelési tervet kapunk, amely az eredeti tervnél 24 178 forinttal (Árnyékár) alacsonyabb költségű. Érdemes tehát ösztönözni – akár árkedvezménnyel is – a vevőket, hogy januárban többet rendeljenek. Az igény változása miatti 24 187 forintos fajlagos költségcsökkenés azonban csak 25 882 darabnál kisebb többletrendszerre érvényes (Megengedett növekedés). Ennél nagyobb változásokra már más adat érvényes. Az igény egységnyi csökkenésének hatása fordított előjelű költségváltozást, tehát 24 187 forint költség-növekedést okozna.

A táblázatból az is látható, hogy az első négy hónapban az igény növekedése (a meglévő felesleges kapacitások jobb kihasználása miatt) a termelési terv költségének csökkenéséhez vezet. Ugyanakkor az utolsó két hónapban a kapacitások szűkös rendelkezésre állása miatt az igény növekedése magasabb költségű optimális termelési tervvel elégíthető csak ki. Ekkor további igények megjelenése esetén felár számítása indokolt (májusban például minimum 5979 forint darabonként).

Az ismertetett termelésstervezési példán túl sok más esetben is végezhető analitikus érzékenységvizsgálat. A készletezési döntéseknél például az optimális termelési tétel nagyság érzékenysége a fő paraméterekre exp-

licit módon kifejezhető (Koltai, 2006). Hálótervezésnél a végrehajtási idők változásának hatása a tartalékidők elemzésével analitikusan vizsgálható (Waters, 1996). A sorozatindítási költséget is tartalmazó nemlineáris termelésstervezési modelleknél a költségérzékenység a dinamikus programozás eszközeivel számolható (Hillier – Liberman, 1995). Ütemezési problémáknál az eredmény érzékenysége a készlettartási ráta változására ugyancsak meghatározható (Koltai, 2007).

1. táblázat

A paraméterérzékenység numerikus vizsgálata

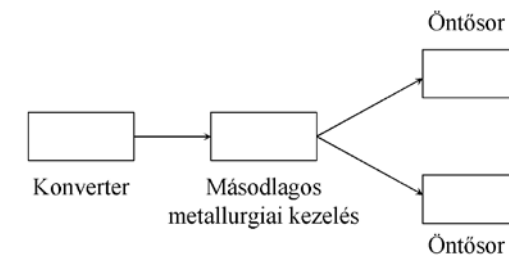
Amikor analitikus összefüggések segítségével nem tudjuk vizsgálni egy bizonytalan paraméter hatását, akkor numerikusan, a paraméter értékét közvetlenül megváltoztatva elemezhetjük az eredményt. Egy paraméter értékét kismértékben megváltoztatva – a paraméter értékét *perturbálva* – újra megoldjuk a vizsgálni kívánt problémát, majd meghatározzuk a változást. Gyakran a perturbált paraméterértékkel nem kell megoldani a feladatot, mert lehetséges a végeredmény változásának vizsgálata speciális módszerekkel, kizárólag a változás követésével. Lássunk erre a következőkben egy termelésütemezési példát.

A numerikus érzékenységvizsgálat végrehajtásának egyik lehetséges módja a szabályozáselemlemben kifejlesztett perturbációelemzés alkalmazása (Ho – Cao, 1991). Ennek lényege, hogy a diszkrét időpontokban történő állapotváltozás alapján működő rendszerekben az események bekövetkezését ábrázoló Gantt-diagram segítségével bizonyos perturbációk hatása az esemény-sorrend-tábla segítségével könnyen követhető.

Az 1. ábra egy acélipari üzem öntési folyamatát szemlélteti. A konverterben felolvasztott, majd az azt követő kemencében végrehajtott másodlagos metallurgiai kezelést követően a folyékony acél az ábrán jelzett két öntőfej valamelyikéhez kerül. Ha a folyékony acél túl korán ér az öntőfejhez, akkor megszilárdul, és öntésre alkalmatlanná válik. Ha viszont túl későn kerül az öntőfejhez, akkor a folyamatos öntés megszakad, és

a készülő öntvény károsodik. A folyamat tevékenységeinek végrehajtási sorrendjét egy optimális ütemezést meghatározó modell szolgáltatja. A metallurgiai kezelés ideje azonban változhat. E változás hatásait fontos előre jelezni és a folyamatot szükség esetén időben át kell ütemezni. Perturbációelemzéssel vizsgáltuk a konverterben eltöltött idő változásának hatását az öntőfejek előtti várakozás idejére, és jeleztük, amikor a változás olyan mértékű, hogy a folyamat átütemezése szükséges (Koltai et al., 1993).

A folyamatos öntősor egyszerűsített folyamatábrája



1. ábra

A perturbációelemzés azért tekinthető numerikus érzékenységvizsgálatnak, mert ugyan nem oldjuk meg újra a teljes feladatot egy paraméter megváltozott értékére, de minden változás esetében végre kell hajtani a számítást. Nincs tehát általános összefüggésünk a változás és a hatás kapcsolatának közvetlen és általános érvényű meghatározására.

A perturbációelemzés mellett sok más technika is alkalmazható numerikus érzékenységvizsgálatnál. Kapacitások változása, meghibásodások előfordulása, valamint a kapacitást befolyásoló karbantartási folyamatok végrehajtási ideje például jól vizsgálható Monte-Carlo, valamint diszkrét szimulációval (lásd például Kövesi, 1991; Kovács, 2008). Az ipari folyamatokban áramló anyag mennyiségének változása egyes rendszerparaméterek változása miatt pedig jól követhető a mátrixalgebrára épülő input-output modellekkel (Frish – Romhányi, 1983).

Fuzzy paraméterek használata

Az ismertetett módszerek mindegyikénél feltételeztünk valamilyen konkrét paraméterértéket. E feltételezett értékkel elvégeztük az optimalizálást, majd megvizsgáltuk a paraméter esetleges változásának következményeit. Gyakran előfordul azonban, hogy egy paraméternél nem tudunk megnyugtató induló értéket választani. Ilyenkor használható a menedzsmentterületen viszonylag újszerűnek számító fuzzy halmazok elmélete (Bellman – Zadeh, 1970; Zimmermann, 1988).

Egy fuzzy halmaz a következőképpen definiálható:

Legyen az $X=\{x\}$ az objektumok (pontok) halmaza, ahol az egyes objektumokat x jelöli. Egy fuzzy halmaz (A) a következő rendezett párok halmaza:

$$A = \{(\underline{x}, \mu_A(\underline{x}))\}, \quad \underline{x} \in X \quad (3)$$

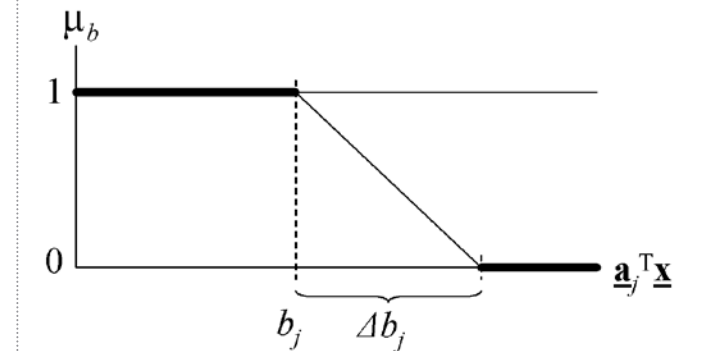
ahol $\mu_A(x)$ az x objektum tagsági függvénye az A halmazban, és $\mu_A: X \rightarrow M$ olyan függvény, amely az x pontok halmazából leképezi az M tagsági teret. Ha a tagsági függvény csak a 0 és 1 értékeket tartalmazza, akkor A egy hagyományos Boole-algebrái halmaz, és a tagsági függvény egy nem-fuzzy halmaz jellemzőjét definiálja.

Tételezzük fel, hogy egy megmunkáló berendezés kapacitását kell meghatározni. Ha ez a kapacitás ismert és pontosan 1400 darab/hó, akkor egy hagyományos, nem-fuzzy halmazzal írjuk le a kapacitást. A tagsági függvény ugyanis csak 0 és 1 értékeket tartalmaz. Egy kapacitásérték vagy tagja a kapacitás lehetséges értékeit tartalmazó halmaznak (tehát 1400), vagy nem (például 1500). Ha viszont a kapacitás lehetséges értékét 1000 és 1500 közé feltételezzük, és a tényleges értéket valamilyen szubjektív megítélést kifejező normált tagsági függvénnyel írjuk le, akkor a tagsági tér 0 és 1 között bármilyen értéket tartalmazhat. A fuzzy halmaz eleme ekkor az 1000 és 1500 közé eső kapacitásértékek bármelyike lehet, de az egyes értékek szubjektív megítélése eltérő.

A 2. ábra lineáris tagsági függvényt feltételezve szemlélteti a kapacitásértékek fuzzy halmazát. Az ábra az (1) LP feladat egy j korlátjának fuzzy értelmezését mutatja. Az ábrán Δb_j jelöli a fuzzy tartományt, amelynek alsó értéke b_j . Példánk szerint: tehát $b_j=1000$ és $\Delta b_j=500$, így a tartomány felső határa 1500. A csökkenő lineáris tagsági függvény azt fejezi ki, hogy kisebb kapacitásérték előfordulásának szubjektív megítélése arányosan magasabb, mint nagyobb kapacitásérték előfordulásáé. 1500 felett a kapacitásérték lehetőségét zéróval jellemezzük, míg 1000 alatt a kapacitásértéket a biztos előfordulást kifejező 1 érték jellemzi.

2. ábra

Fuzzy paraméter lineáris tagsági függvénnyel



Hangsúlyozni kell, hogy a kapacitás a fuzzy értelmezésben *nem* valószínűségi változó. Nem azt feltételezzük, hogy a kapacitás 1000 és 1500 között valamilyen valószínűséggel előfordul. A kapacitás a jelölt tartományban bármilyen értéket biztosan felvehet, de ezekhez az értékekhez valamilyen szubjektív megítélést rendelünk.

A lineáris tagsági függvény használatakor bármely lineáris termelésstervezési modell a jobb oldali paraméterek fuzzy értelmezésekor is lineáris marad, és így könnyen megoldható (Koltai – Tatay, 2009). Nemlineáris tagsági függvény segítségével a számítás ugyan bonyolultabb, de reálisabb menedzsment-megfontolások érvényesíthetők a bizonytalan paraméterekkel kapcsolatban.

A fuzzy halmazok használata a műszaki életben előforduló bizonytalanságoknál már viszonylag régóta elfogadott. Menedzsmentproblémák modellezésére még aránylag kevés, de ugyanakkor meggyőző erejű példa található a szakirodalomban (például Shih, 1999). Termelésstervezési problémáknál a fuzzy kapacitásparaméterek és fuzzy igényparaméterek használata különösen sokat segíthet a paraméterek bizonytalanságából eredő problémák kezelésében (Koltai – Tatay, 2009). Nem kell ugyanis előre egy meghatározott értéket feltételezni, majd később vizsgálni a használt induló érték változásának hatását. Elegendő egy paraméter lehetséges értékeinek a tartományát megadni, majd e tartományhoz egy szubjektív tartalmú tagsági függvényt rendelni.

Összefoglalás

E cikkben összefoglaltuk azokat a technikákat, amelyek segítségével bizonytalan adatok esetén is lehetséges optimalizáló módszerek használata menedzsment-döntések támogatásához.

Gyakran analitikus technikákkal a bizonytalanságból eredő pontatlanság következményei előre felmérhetők és a pontatlanság csökkentésére szánt ráfordítások, valamint a pontatlanság kedvezőtlen következményei összevethetők. A cikkben bemutatott termelésstervezési példához hasonló technikák többek között a termelés-tervezés, termelésütemezés és hálótervezés területén is megtalálhatók.

Analitikus eszközök hiányában gyakran numerikus technikák is alkalmazhatók. A számítástechnika gyors fejlődésének köszönhetően ma már a paraméterek változásának követése és következményeinek meghatározása bonyolult rendszerek esetén is lehetséges. A perturbációelemzés segítségével összetett ütemezési problémák paraméterváltozásra történő érzékenysége még a döntéshozatal számára rendelkezésre álló, gyak-

ran igen rövid idő alatt is meghatározható. A cikkben ezt egy öntödei folyamat segítségével szemléltettük.

Végezetül, ha csak hozzávetőleges információnk van egy paraméter értékének lehetséges tartományáról, akkor a fuzzy paraméterek alkalmazása segíthet az optimalizálásban.

Hangsúlyozni kell, hogyha egy adat bizonytalan, akkor a bizonytalanság miatti információvesztés nem pótolható, legfeljebb annak következménye enyhíthető a paraméterváltozás hatásának minél pontosabb feltérképezésével. Az elmondottak alapján tehát megállapíthatjuk, hogy az adatok pontatlansága és bizonytalansága nem lehet akadály a optimalizáló módszerek alkalmazásának. A bizonytalan adatok segítségével kapott hozzávetőleges eredmény még mindig jobban támogatja a menedzseri döntések meghozatalát, mint a teljes bizonytalanság.

Felhasznált irodalom

- Bellman, R.E. – Zadeh, A.L. (1970): Decision-making in a fuzzy environment; *Management Sciences*, 17(4), 141–164. o.
- Frisch, M. – Romhányi, G. (szerk.) (1983): Anyagforgalmi diagramok alkalmazása az anyagfelhasználás és a hulladékhasznosítás racionalizálására. Országos Környezet-és Természetvédelmi Hivatal, Budapest
- Ho, Y.C. – Cao, X.R. (1991): *Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamic Systems*; Boston: Kluwer Academic Publisher
- Hillier, F.S. – Lieberman, G.J. (1995): *Introduction to Operations Research*; McGraw-Hill, Inc.
- Koltai, T. – Tatay, V. (2009): Application of fuzzy parameters in production planning models, *MicroCAD 2009 International Scientific Conference* (accepted for publication)
- Koltai, T. – Tatay, V. (2008): A Practical Approach to Sensitivity Analysis of Linear Programming under Degeneracy in *Management Decision Making*, 15th International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck, Austria, Pre-Prints Volume III., 223–234. o.
- Koltai, T. (2007): Robustness of a Production Schedule to Inventory Cost Calculations; *International Journal of Production Economics* (accepted for publication, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.12.059)
- Koltai, T. (2006): *Termelésmenedzsment*; Budapest: Typotex Kiadó
- Koltai, T. – Terlaky, T. (2000): The difference between the managerial and mathematical interpretation of sensitivity results in linear programming; *International Journal of Production Economics*, 65, 257–274. o.
- Koltai, T. – Larraneta, J. – Onieva, L. (1993): Examination of the sensitivity of an operation schedule with perturbation analysis; *International Journal of Production Research*, 31(12), 2777–2787. o.

- Kovács Z. (2008): Karbantartási stratégiák Monte-Carlo optimalizálása; *Sigma*, 39(3–4), 185–198. o.
- Kovács Z. (2001): *Termelésmenedzsment. Interaktív bevezetés a termelőrendszerek tervezésébe, szervezésébe, irányításába*. Veszprémi Egyetem Kiadó, Veszprém
- Kövesi J. – Német, I. – Szabó G. Cs. – Valkai S. (1991): *Termelőberendezések megbízhatóság alapú karbantartása*. Budapesti Műszaki Egyetem, Mérnöktovbkképző Intézet, Budapest
- Ragsdale, C.T. (2007): *Managerial Decision Modeling*. Thomson South-Western

- Shih, L-S. (1999): Cement transportation planning via fuzzy linear programming, *International Journal of Production Economics*, 58, 277–287. o.
- Simon, H. A. (1982): *Korlátozott racionalitás*; Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó
- Zimmermann, H. – J. (1983): Using fuzzy sets in operational research; *European Journal of Operational Research*, 13(3), 201–216. o.
- Vörös J. (1991): *Termelés management*. Janus Pannonius Egyetem Kiadó, Pécs
- Waters, D. (1995): *Operations Management*; Addison-Wesley Publishing Company