

A harmony search algoritmus alkalmazása BOM make-or-buy szempontú optimalizálásához

Absztrakt

A vásárlói igények diverzitása a termékek és szolgáltatások komplexitásának fokozódásához vezetett. Különböző megoldások születtek a termelő- és szolgáltatóvállalatok igényeinek ki-elégítésére, és különböző ellátási stratégiák állnak rendelkezésre a just-in-case megoldástól egészen a just-in-time vagy just-in-sequence megoldásokig. Ezen ellátási stratégiák egyik alapvető kérdése a gyártani vagy vásárolni kérdés helyes megválaszolása.

Jelen munka célja egy olyan harmony search algoritmuson alapuló optimalizálási módszer bemutatása, melynek révén lehetőség van komplex szerelési családfák make-or-buy szempontú optimalizálására. A kidolgozott algoritmus különböző feladatok esetén kerül tesztelésre: TSP, hátizsákprobléma, heurisztikus tesztfüggvények. A kidolgozott modell és módszer alkalmas a gyártó vagy más értékteremtő folyamatokban felmerülő make-or-buy problémák optimalizálására komplex célfüggvények figyelembevételével.²

Kulcsszavak: beszerzés, heurisztika, logisztika, optimalizálás, tesztfüggvény

Bevezetés

Napjainkban a gazdasági élet szereplői számára legfontosabb logisztikai célkitűzésként a logisztikai költségek csökkentése és a megfelelő vevőkiszolgálási szint elérése jelenik meg. A logisztikai költségek csökkentése esetén fontos, hogy nem a logisztikai rendszer, illetve logisztikai folyamat egyes elemeinek a költségeit kívánjuk csökkenteni, hanem a rendszerszemlélet elvét és a rendszer elemei közötti kapcsolatokat is figyelembe véve a rendszer egészére vonatkozóan végezzük el a költségcsökkentést. A vevőkiszolgálási szint növelése elengedhetetlenül fontos logisztikai cél, hiszen csak azok a vállalatok kerülhetnek ki győztesként a piaci versenyből, amelyek a legjobban alkalmazkodnak a vevők igényeihez, ami pedig a logisztikai szolgáltatás

¹ Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet, e-mail: alttamas@uni-miskolc.hu.

² Jelen kutatómunka a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 számú „Járműipari felsőoktatási és kutatási együttműködés” című projekt keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretei között.

színvonalának növelése nélkül megvalósíthatatlan. A költségcsökkentés egyik fontos eszközévé nőtték ki magukat a termelési mélység folyamatos csökkenése révén a make-or-buy³ típusú döntések meghozatalát támogató módszerek. Jelen kutatómunka célja egy olyan heurisztikus módszerre épülő algoritmus vizsgálata és alkalmazása, mely alkalmas BOM-ok make-or-buy alapú optimalizálására egy összetett költségfüggvény figyelembevételével.

Irodalmi áttekintés

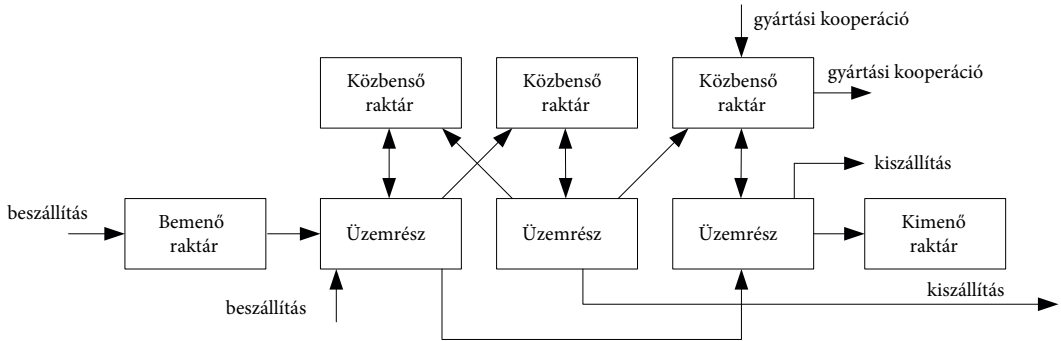
Napjaink gazdaságában egyre nagyobb kihívásokkal kell megküzdeniük az ellátási lánc szereplőinek a beszerzési és elosztási folyamatok optimális kialakítása érdekében (Quintens et al. 2006). A termelés területén hasonló nehézségű kihívásokkal kell szembenézni az erőforrások optimális kihasználásához kapcsolódóan (Fernandez – Kekale 2005). Számos vállalat – különösen az autóipar és a mechatronikai összeszerelő ipar területén – egyre nagyobb erőfeszítéseket tesz annak érdekében, hogy az értékteremtő lánc méretét csökkentse a kihelyezési (*outsourcing*) lehetőségek egyre nagyobb mértékű kihasználása révén (Kinker et al. 2009). Az egy vállalaton belüli értékteremtő lánc a következő egyszerű folyamatokból épülhet fel:

- a beszállítóktól vagy az elosztóraktárakból az alapanyagok az alapanyagraktárba kerülnek beszállításra;
- az anyagok, alkatrészek a gyártási folyamatoknak megfelelően áramolnak üzemről üzemre;
- ha nem folyamatos a termelés, vagyis az egymást követő technológiai folyamatok között megszakításra kerül sor, akkor az elkészült félkész termékek a közbelső raktárakba kerülnek;
- ha a termelés során elkészülnek a késztermékek, akkor azok a készáruraktárakban kerülnek elhelyezésre, ahonnan kiszállításra kerülnek a felhasználóhoz.

Az átfutási idők csökkentése és a készletszintek minimalizálása érdekében elterjedt a JIT elvű beszállítás, illetve a JIT elvű kiszállítás mellett a lánc elemeinek karcsúsítása is, melynek egyik legkézenfekvőbb eszköze a termelési mélység csökkentése. Ennek következtében nem kerül minden belépő anyag fizikailag az alapanyagraktárba, hanem közvetlenül azon gyártósorok bemenő tárolóira viszik, ahol felhasználják, illetve a késztermék közvetlenül kiszállításra kerül azon gyártósorok kimenő tárolóiról, ahol elkészült (Gubán 2013).

3 A gyártani vagy vásárolni típusú döntések alapvető feladata annak az eldöntése, hogy egy szerelési tevékenységet végző vállalat a késztermék előállításához szükséges komponensek melyikét állítsa elő saját maga, és mely komponensek kerüljenek beszerzésre külső beszállítótól.

1. ábra: Üzemen belüli folyamat



Forrás: vö. Gubán (2013)

A szakirodalom számos szót használ a kihelyezés (*outsourcing*) tevékenységeire: reengineering⁴, spin-off⁵, termelési mélység csökkentése, BOM optimalizálása. A termelési mélység egy nagyon jó indikátor a vertikális integrációban részt vevő vállalatok mérésére. A termelési mélység nem más, mint a belső gyártás és az összes előállított termék aránya:

$$d = \frac{p_i \cdot 100}{p_t} . \quad (1)$$

A 0%-os termelési mélység azt jelenti, hogy a vállalat nem rendelkezik saját gyártási vagy szerelési tevékenységgel, azaz a vállalat kereskedelmi tevékenységet folytat. A 100%-os termelési mélység pedig azt, hogy az adott vállalat birtokolja a teljes értékteremtő folyamatot, azaz termékei előállítását során függetlenítheti magát a külső beszállítóktól. Napjainkban a termelési mélység jelentősen csökkent: a német autógyártásban a termelési mélység a 80-as évek végén már 50% alá esett. Az E-class Mercedesek gyártása során 38%-os termelési mélységgel lehet számolni, míg például a Porsche Cayenne gépkocsi esetében ez az arány alig éri el a 10%-ot (a Porsche 911 és a Boxter esetében is csak 20% körül mozog).

A termelési mélység optimalizálása a termelési folyamat környezetében lévő beszerzési folyamatok alapján végezhető el (Mitzkat 1996). A szakirodalomban számos olyan tanulmány található, mely a gazdaság különböző speciális területeit célozza meg. Az egészségügy egy spe-

4 A 'reengineering' kifejezést a szakirodalom gyakran business process reengineering környezetben használja, alapvetően az üzleti (tágabb értelemben termelési) folyamatok újragondolását jelenti a teljesítménymutatók javítása érdekében.

5 A klasszikus spin-off vállalkozások egyetemi vagy kutatóhelyi fejlesztési eredményeket hasznosító cégek.

ciális területet képvisel, hiszen ott nem a termelési mélység, hanem a szolgáltatási mélység optimalizálásáról beszélhetünk (Hermann 2009). A termelési mélységgel és a vertikális integrációval foglalkozó szakirodalmak egy jelentős szegmense fókuszál olyan módszerek és eszközök kifejlesztésére, melyek segítséget nyújtanak a releváns befolyásoló tényezők felismeréséhez és hatásmechanizmusuk feltárásához (Djabarian 2002). Az ezen tanulmányokban megfogalmazott eredmények alapján lehetőség van a vállalatok számára olyan stratégiák kidolgozására, melyek révén a termelési mélység csökkentése és ezáltal a birtokolt értékteremtő lánc értéke csökkenthető.

A make-or-buy döntéshez kapcsolódó első kutatások jó húsz évvel ezelőtt jelentek meg (Ford – Farmer 1986). A make-or-buy döntések hatékonyságát nagymértékben befolyásolja a jól megválasztott menedzsmentstratégia (Hippert 1993), ami azonban gyakran csak tapasztalatokon alapszik. A make-or-buy irodalom jelentős része szorosan kapcsolódik a just-in-time filozófiára épülő termelésirányítási módszerek területéhez (Bányai – Cselényi 2003).

A termelési mélység csökkentését megcélzó koncepcióknak számos változata van, melyek közül kompetencia szempontjából a spin off és az insourcing a nagyobb jelentőségű. Kockázat szempontjából az insourcing és a reengineering kritikus (Wiedmer – Sutter 2013). A spin off és az insourcing nagyobb mértékű know-how-t igényel, mint az outsourcing és a reengineering.

A termelési mélység optimalizálásával foglalkozó irodalmak egy jelentős része a make-or-buy területén, illetve a BOM-optimalizálás vonatkozásában jelöli ki a fő kutatási területet. A BOM modellezésének igen széles irodalmi háttere alakult ki. Az iparvállalatok mint az ellátási lánc részei érdekeltek a BOM optimalizálásában (Hozalski – Bouwer 2001), hiszen ezek révén akár a kockázati tényezők is csökkenthetőek (Wiedmer – Sutter 2013). Ezen kutatások általában párhuzamosan futnak a rendelkezésre állást és a megbízhatóságot megcélzó modellekkel (Takata – Yamanaka 2013). A BOM-optimalizálásnak vannak olyan speciális területei is, ahol a sztochasztikus hatások sokkal jelentősebb mértékben érvényesülnek, mint a termelési folyamatokban. Ez a terület a karbantartás. Számos szakirodalom foglalkozik a BOM optimális kialakításának kérdésével karbantartási rendszerek esetében (Xiong et al. 2003). A BOM modellezése korszerű adatmodelleket igényel az adatok nagy száma miatt (Chung – Fischer 1994).

A make-or-buy döntés

A vállalatok sikeres működésének feltétele, hogy az utóbbi években bekövetkezett jelentős társadalmi, gazdasági és politikai változásokra rugalmasan tudjanak reagálni, másrészt a fő tevékenységi körükre való koncentrálással biztosítaniuk kell piaci pozíciójukat. Mindezek hozzájárulnak ahhoz, hogy a make-or-buy kérdés jelentősége megnövekedett. Ez különösen érvényes a JIT koncepció bevezetését tervező vállalatokra.

A make-or-buy kérdés tisztán költségoldalról való megközelítése ma már nem megfelelő. E kérdés komplexitása szükségessé teszi a vállalat valamennyi területének bevonását, ugyanis csak az egész vállalat felülvizsgálatával lehet minden lényeges tényezőt figyelembe venni. A kérdés megválaszolásakor első lépésként a felső vezetésnek el kell döntenie, mely alkatrészek legyártását végzi el feltétlenül önmaga (make döntés), és melyeket szerzi be (buy döntés). A második lépésben pedig a fennmaradó alkatrészekre vonatkozóan kell a make-or-buy analízist elvégezni.

A make-or-buy analízis során a következő tényezőket célszerű figyelembe venni: készletcsökkenés, átfutásiidő-csökkenés, vállalati imázs, a vállalat piaci függetlensége, a vállalatnál, illetve a potenciális beszállítóknál rendelkezésre álló know-how, meglévő kapacitások (termelőberendezés, szállítóeszköz, személyzet), rendelkezésre álló terület (termelő-, logisztikai terület), rendelkezésre álló tőke, minőségi követelmények teljesíthetősége, felmerülő költségek, a piac igényeire való gyorsabb reagálás.

Ezen tényezők súlyozott figyelembevételével minden egyes alkatrésztől eldönthető, hogy az adott vállalati körülmények között a saját vagy az idegen gyártást célszerűbb-e preferálni.

Az utóbbi évek tendenciája egyértelműen azt mutatja, hogy a make-or-buy analízis során a vállalatok főként a buy döntést választják. Német iparvállalatok körében végzett tanulmány szerint a következő tíz évben a gyártási mélység átlagosan 20%-kal fog csökkenni. A növekvő mértékű buy döntés természetesen újabb követelményeket állít a vállalattal és a logisztikával szemben.

A harmony search algoritmus

A harmony search metaheurisztikus algoritmus a zenei életből vett tökéletesség vagy más néven harmónia megteremtése alapján működik (Geem et al. 2005). A harmonikus zene az optimalizált megoldás vektorának, míg a zenészek az improvizációikkal a lokális és globális keresőrendszereknek felelnek meg. Az algoritmus alapja a zenei harmónia keresése, amit a megszokott gradiens elemek helyett sztochasztikus elemekkel épít fel. A zenés előadások célja, hogy megtalálják a kellemes harmónia által meghatározott esztétikai standardot, ahogy az optimalizálási folyamat célja, hogy megtalálja a célnak leginkább megfelelő globális megoldást. Az algoritmus alapparaméterei a következők: harmónia memória figyelési arány (Harmony Memory Considering Rate, röviden HMCR), hangmagasság-szabályzó arány (Pitch Adjust Rate, röviden PAR). Az esztétikai minőséget a különböző hangszerek hangmagassága és azok aránya határozza meg, ahogy egy eredményt a célfüggvény és változóinak értéke adja meg. A HS algoritmus alapját olyan zenék adják, ahol a zenei előadást a zenész improvizációval kívánja feldobni. Ilyen zenei irányzat például a jazz (Lee – Geem 2005).

A HS algoritmus 5 lépésből áll: (i) az optimalizálási probléma és az algoritmus paramétereinek megadása; (ii) a harmónia memória mátrix generálása; (iii) az új harmóniaváltozat megalkotása (improvizáció); (iv) az új harmónia megfelelésének vizsgálata és esetleges beillesztése a memóriába; (v) az előző két lépés ismétlése a kilépési kritérium teljesüléséig.

Algoritmus validálása tesztfüggvényekkel

A heurisztikus módszerek tesztelésének egyik tudományosan elfogadott módszere különböző teszt-függvények alkalmazása, hiszen ezek optimumpontjainak keresése révén az algoritmusok olyan paraméterei is vizsgálhatóak, mint a konvergenciasebesség. A kidolgozott algoritmus validálásának első lépése annak vizsgálata, hogy a heurisztikus algoritmusok tesztelésére kidolgozott célfüggvények optimumpontját milyen hatékonysággal találja meg az alkalmazott algoritmus.

Az első választott tesztfüggvény Goldstein–Price 1. tesztfüggvénye, mely függvény általában használt értelmezési tartománya minden dimenzióban a $(-1,5; 1,5)$ intervallumba esik, globális optimuma pedig kétdimenziós értelmezés esetén $f(x, y) = 3$ az $(x, y) = (0, -1)$ helyen.

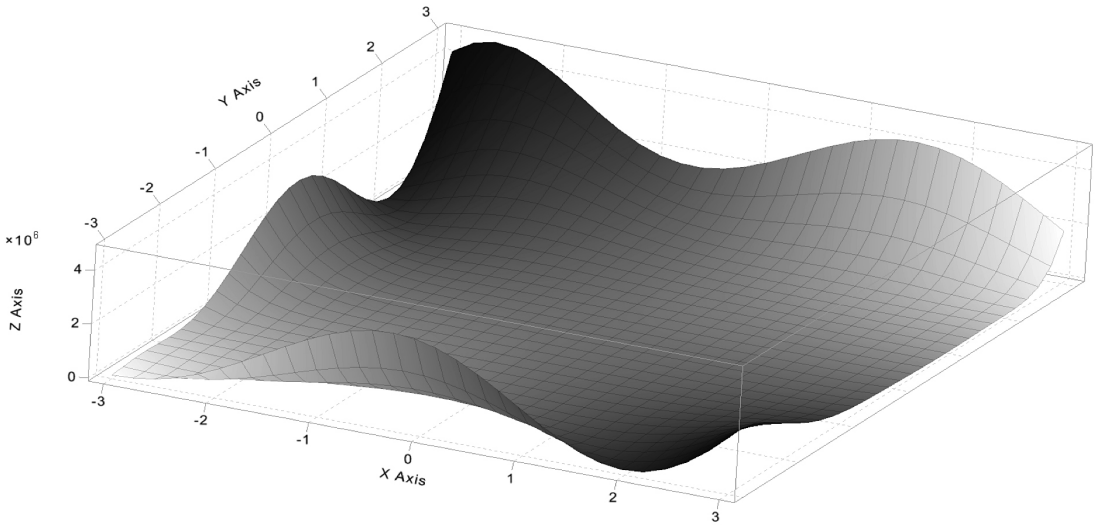
$$f(x, y) = [1 + (x + y + 1)^2 \cdot (19 - 14 \cdot x + 3 \cdot x^2 - 14 \cdot y + 6 \cdot x \cdot y + 3 \cdot y^2)] \cdot [30 + (2 \cdot x - 3 \cdot y)^2 \cdot (18 - 32 \cdot x + 12 \cdot x^2 + 48 \cdot y - 36 \cdot x \cdot y + 27 \cdot y^2)]. \quad (2)$$

1. táblázat: A megtalált optimumpont eltérése a ténylegestől Goldstein–Price 1. függvénye esetében (HMS=10, PAR=0,15)

		HMCR=10%	HMCR=30%	HMCR=50%	HMCR=85%
IT=1000	átlag	0,766019427	0,752623721	1,341570684	4,729335233
	legkisebb	0,010309254	3,13058E-05	7,12209E-05	4,15583E-05
IT=2000	átlag	0,372678254	0,154172272	0,171349166	0,998027054
	legkisebb	0,001002042	3,65567E-06	2,09106E-06	2,60495E-06
IT=5000	átlag	0,039169653	0,000403328	4,09224E-05	2,32640E-05
	legkisebb	1,35653E-05	7,02814E-07	5,75890E-09	3,98078E-07

Forrás: saját számítások alapján

2. ábra: Goldstein Price 1. függvénye



Forrás: saját szerkesztés

A következő vizsgált tesztfüggvény a Rosenbrock-függvény, mely banánfüggvény néven is ismert. Értelmezési tartománya minden dimenzióban általában a $(-2,048; 2,048)$ intervallumba esik, globális optimuma pedig kétdimenziós értelmezés esetén $f(x, y) = 0$ az $(x, y) = (0, 0)$ helyen.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^{n-1} [100 \cdot (x_{i+1} - x_i^2)^2 + (1 - x_i)^2]. \quad (3)$$

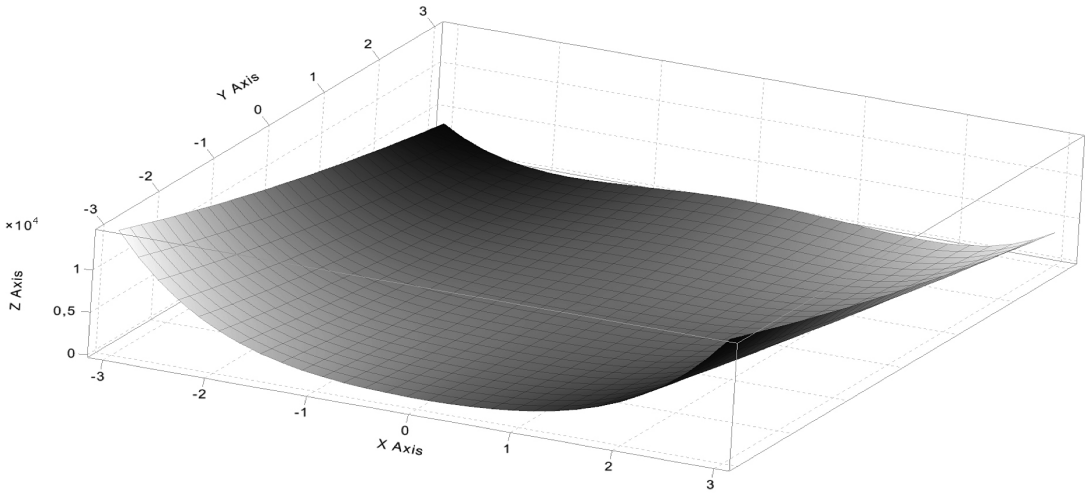
2. táblázat: A megtalált optimumpont eltérése a ténylegestől a Rosenbrock-függvény esetében

(HMS=10, PAR=0,15)

		HMCR=10%	HMCR=30%	HMCR=50%	HMCR=85%
IT=1000	átlag	0,030771426	0,033385405	0,033396954	0,074989881
	legkisebb	0,000380224	0,000365477	0,000346522	0,000374841
IT=2000	átlag	0,014546941	0,013877112	0,014006573	0,048309094
	legkisebb	0,000358971	1,25587E-05	1,77584E-06	2,25816E-05
IT=5000	átlag	0,008263083	0,003073326	0,002529812	0,004487383
	legkisebb	1,46651E-05	1,02545E-05	9,46426E-07	1,91570E-06

Forrás: saját számítások alapján

3. ábra: Rosenbrock függvénye



Forrás: saját szerkesztés

A következő vizsgált tesztfüggvény a six-hump camel back függvény, mely egy olyan globális optimalizálási algoritmusok tesztelésére alkalmas tesztfüggvény, melynek értelmezési tartományán hat lokális minimumhely található, ezek közül kettő globális optimum is egyben. Értelmezési tartománya az $x \in (-3; 3)$ és $y \in (-2; 2)$ téglalapon található, két globális optima pedig $f(x, y) = -1,0316285$ az $(x, y) = (-0,0898; 0,7126)$ és $(x, y) = (0,0898; -0,7126)$ helyen:

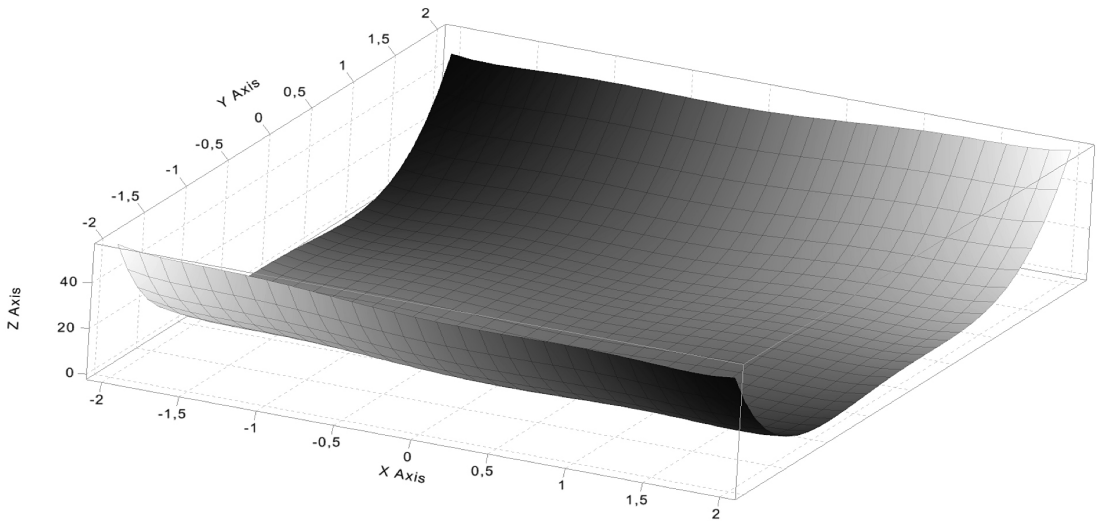
$$f(x, y) = (4 - 2,1 \cdot x^2 + \frac{x^4}{3}) \cdot x^2 + x \cdot y + (-4 + 4 \cdot y^2) \cdot y^2. \quad (4)$$

3. táblázat: A megtalált optimumpont eltérése a ténylegestől a six hump camel back függvény esetében (HMS=10, PAR=0,15)

		HMCR=10%	HMCR=30%	HMCR=50%	HMCR=85%
IT=1000	átlag	0,003258088	0,000742035	0,000444029	0,000212987
	legkisebb	6,38538E-05	2,80709E-06	1,29696E-05	4,29921E-06
IT=2000	átlag	0,000907442	0,000184708	0,000132681	8,290014132
	legkisebb	6,61462E-06	2,67863E-06	1,96610E-06	6,59515E-07
IT=5000	átlag	0,000294936	7,44236E-05	4,45748E-05	1,74862E-05
	legkisebb	4,61027E-06	1,93724E-06	3,42948E-07	1,09759E-07

Forrás: saját számítások alapján

4. ábra: A six-hump camel back függvény



Forrás: saját szerkesztés

A következő vizsgált tesztfüggvény a Matyas-függvény, mely függvény általában használt értelmezési tartománya minden dimenzióban a $(-10; 10)$ intervallumba esik, globális optimuma pedig $f(x, y) = 0$ az $(x, y) = (0; 0)$ helyen:

$$f(x, y) = 0,26 \cdot (x^2 + y^2) - 0,48 \cdot x \cdot y. \quad (5)$$

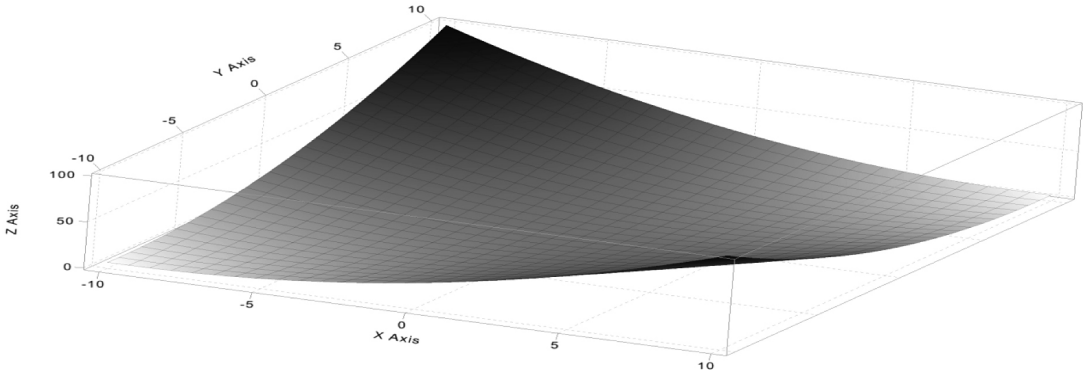
4. táblázat: A megtalált optimumpont eltérése a ténylegestől a Matyas-függvény esetében

(HMS=10, PAR=0,15)

		HMCR=10%	HMCR=30%	HMCR=50%	HMCR=85%
IT=1000	átlag	0,009536327	0,012952810	0,009014015	0,024532139
	legkisebb	2,13749E-05	2,07530E-06	7,88084E-07	4,05291E-08
IT=2000	átlag	0,003385202	0,001422835	0,000654217	0,002518476
	legkisebb	2,03528E-05	2,26439E-07	1,13491E-08	8,12865E-08
IT=5000	átlag	0,000522109	6,93757E-07	4,29895E-07	1,31693E-07
	legkisebb	6,84643E-08	2,32797E-09	8,66782E-09	5,20992E-09

Forrás: saját számítások alapján

5. ábra: Matyas-függvény



Forrás: saját szerkesztés

A következő vizsgált tesztfüggvény Beale függvénye (a következő oldalon), mely függvény általában használt értelmezési tartománya minden dimenzióban a $(-4,5; 4,5)$ intervallumba esik, globális optimuma pedig $f(x, y) = 0$ az $(x, y) = (3; 0,5)$ helyen:

$$f(x, y) = (1,5 - x + x \cdot y)^2 + (2,25 - x + x \cdot y^2)^2 + (2,625 - x + x \cdot y^3)^2. \quad (6)$$

5. táblázat: A megtalált optimumpont eltérése a ténylegestől a Beale-függvény esetében

(HMS=10, PAR=0,15)

		HMCR=10%	HMCR=30%	HMCR=50%	HMCR=85%
IT=1000	átlag	0,048461632	0,029089570	0,031553452	0,104491204
	legkisebb	0,000241526	0,000762733	4,52283E-05	2,03213E-05
IT=2000	átlag	0,016341027	0,009346146	0,009254516	0,006020683
	legkisebb	2,87237E-05	3,21462E-05	2,73103E-06	6,48147E-07
IT=5000	átlag	0,001847013	0,000424600	0,000331401	0,001407214
	legkisebb	4,63738E-06	2,17361E-06	1,09955E-06	1,43129E-07

Forrás: saját számítások alapján

A következő vizsgált tesztfüggvény Rastrigin nagyított függvénye (15. o.), mely tulajdonképpen a De Jong-függvény kiegészítve egy cosinus modulációval, melynek eredményeként számos lokális minimumhely jelenik meg az állapottérben, azaz a függvény multimodális, a lokális minimumhelyek szabályosan helyezkednek el az állapottérben. A nagyított függvény általában

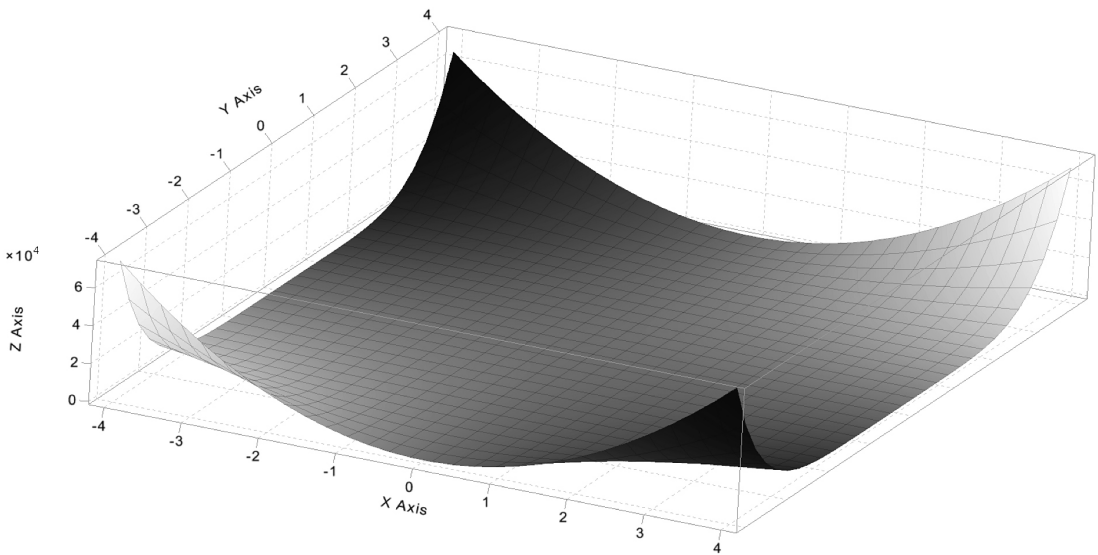
használt értelmezési tartománya minden dimenzióban a $(-1; 1)$ intervallumba esik, globális optimuma pedig kétdimenziós értelmezés esetében $f(x, y) = 0$ az $(x, y) = (0; 0)$ helyen:

$$f(x, y) = 10 \cdot n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x_i)). \quad (7)$$

A Rastrigin-függvény kétdimenziós értelmezés esetében a következő formában írható fel:

$$f(x, y) = 10 \cdot 2 + (x^2 - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x)) + (y^2 - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot y)). \quad (8)$$

6. ábra: A Beale-függvény



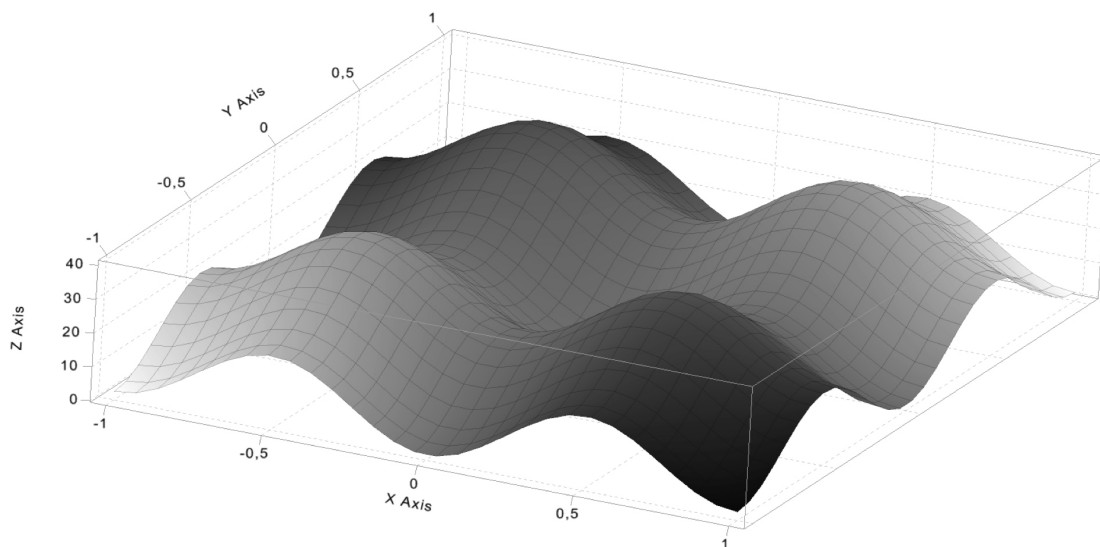
Forrás: saját szerkesztés

6. táblázat: A megtalált optimumpont eltérése a ténylegestől Rastrigin nagyított függvénye esetében (HMS=10, PAR=0,15)

		HMCR=10%	HMCR=30%	HMCR=50%	HMCR=85%
IT=1000	átlag	0,052195222	0,023072037	0,061113984	0,306885521
	legkisebb	0,000665941	0,000981233	0,000661213	0,000501552
IT=2000	átlag	0,024982379	0,007465483	0,041820789	0,174555657
	legkisebb	0,000546821	0,000161939	7,33108E-06	0,000305692
IT=5000	átlag	0,006577505	0,001773875	0,001733388	0,000893349
	legkisebb	0,000482403	4,86819E-05	3,69275E-06	5,61464E-05

Forrás: saját számítások alapján

7. ábra: Rastigin függvénye



Forrás: saját szerkesztés

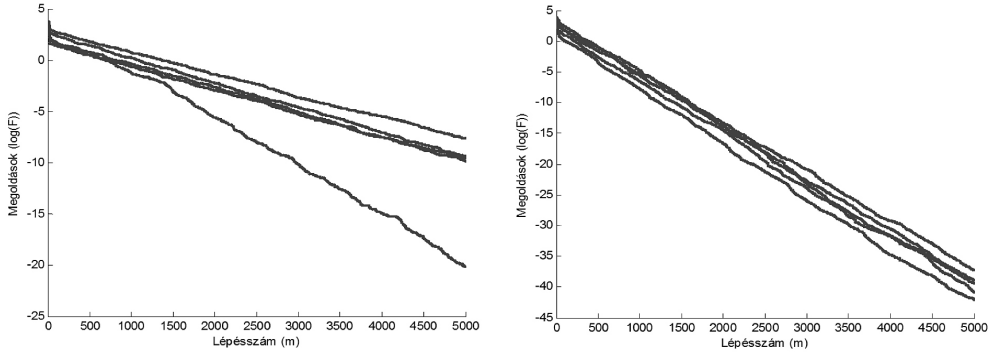
A fentiekben vázolt vizsgálat alapján megállapítható, hogy a harmony search algoritmus a vizsgált testfüggvények esetében 10^{-6} – 10^{-7} pontossággal közelíti meg az ismert optimumhelyet viszonylag alacsony iterációs lépésszám és kisméretű harmónia memória mátrix esetében. Természetesen az algoritmus jóságát, konvergenciasebességét fokozni lehet az algoritmus belső paramétereinek további optimalizálásával, így a PAR és bw optimális megválasztásával, esetlegesen dinamikussá tételével.

A HMCR jó beállítása nagyon fontos, ugyanis ez a paraméter dönti el, hogy egy teljesen új variációt készítsen-e az algoritmus az adott iterációs lépésben (figyelembe véve a megoldási változatok átlagértékét és az éppen aktuális lépésszámot) vagy a meglévő változatokból készít új megoldásokat. Minél nagyobb a HMCR, annál nagyobb az utóbbi esélye. Ez az elv akkor használatos, ha kevés lokális minimumhelye van a függvénynek, és a szakaszoknak kicsi a meredeksége. Ilyenkor az algoritmus nagyon rövid idő alatt képes nagyon pontosan megtalálni a globális optimum helyét. Ha viszont ezek nem érvényesek, nagy lesz az esélye annak, hogy a lokális minimum csapdájába esik az algoritmus, és kis eséllyel vagy igen nagy iterációs lépésben fog a globális optimum közvetlen környezetébe jutni.

A PAR-érték megválasztása szintén nagyon fontos az algoritmus hatékony működése szempontjából, hiszen ezen paraméter értéke dönti el, hogy egy megoldási változat elemeit változatlanul hagyva vagy módosítva készítsen új megoldási változatot az algoritmus. Általában ezt egy kisebb értéknek kell venni, ugyanis ekkor „bw”-vel megváltoztatja az elemeket. Ezt a hatást nevezzük egy változó finomhangolásának. Ha nagy esélyt adnánk az elemek változatlan másolásának, akkor röviddel a futtatás megkezdése után nem tudna pontosabb értékeket adni

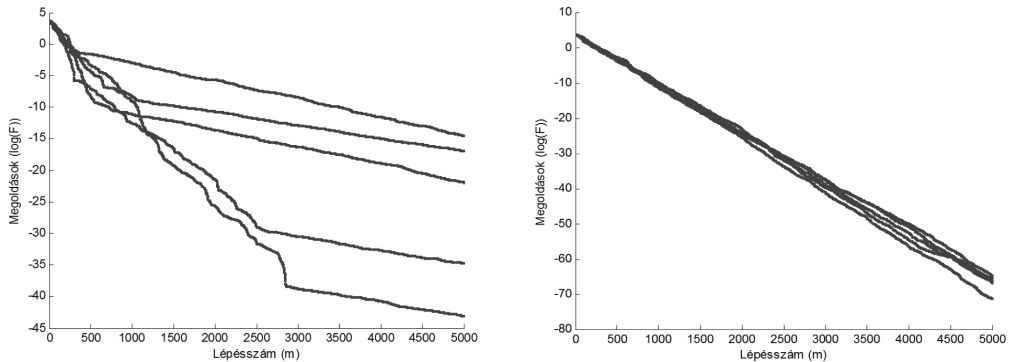
a program, mert csak egy előre meghatározott készletből tudna válogatni. A tesztfüggvényekkel történt vizsgálatok azt mutatják, hogy a PAR értékét 10 és 20% közötti értéken célszerű tartani.

8. ábra: A HMCR paraméter hatása az algoritmusra (HMCR=40% és HMCR=80%)



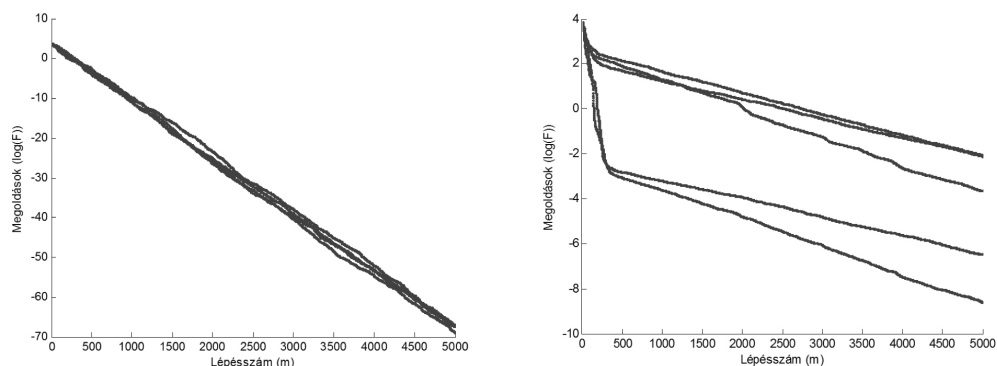
Forrás: saját szerkesztés

9. ábra: A PAR paraméter hatása az algoritmusra (PAR=50% és PAR=15%)



Forrás: saját szerkesztés

A bw a következő olyan paraméter, melynek megválasztása befolyásolja az algoritmus működését, hiszen a finomhangolási fázis központi paraméterének tekinthető. Ha túl nagyra vesszük, akkor túl sok (az eredetinel is rosszabb) megoldási változatot generál a program, amit aztán később egyszerűen elvet. Ha a bw-t túl kicsire vesszük, nagyobb eséllyel lesz jobb az eredmény, mint az eredeti, de nagyon lassan fog az optimális értékhez közelíteni (mivel kis lépésekben halad). A legnagyobb konvergenciasebbséggel bw 0,15 körüli értékek esetében rendelkezett a fenti tesztfüggvényeknél az algoritmus. A 10. ábra a bw paraméter jó és rossz megválasztásának hatására mutat példát.

10. ábra: A bw paraméter hatása az algoritmusra ($bw=15\%$ és $bw=75\%$)

Forrás: saját szerkesztés

Algoritmus validálása hátizsákproblémával

Az algoritmus tesztelése egy egyszerű, 10 elemes hátizsákproblémán keresztül is bemutatásra kerül. A teljes leszámolás biztos módszerét követve 2^n lehetőséget végigpróbálva biztosan eredményre lehet jutni. 10 elem esetében ez 1024 lehetséges megoldás kiszámítása, azonban több száz elemnél már jelentős számításiigénnyel jár és nem kivitelezhető elfogadható időn belül.

7. táblázat: A hátizsák-tesztfeladat alapparaméterei

Elem	Helyigény (H)	Érték (E)	E/H
1	5	42	8,40
2	9	87	9,67
3	6	67	11,17
4	4	29	7,25
5	7	63	9,00
6	5	61	12,20
7	2	30	15,00
8	11	95	8,64
9	8	103	12,88
10	6	55	9,17
Összesen	63	632	

Forrás: saját szerkesztés

Egy egyszerű megoldási módszer, ha az E/H szerint csökkenő sorrendbe rakjuk az értékeket, majd fentről lefelé összeadjuk a helyigényt és az értéket. Ahol a helyigény túllépi a hátizsák férőhelyét, azt már nem helyezük el benne, csak az előtte állókat. A tesztfeladat esetén a helyigény

a 6. elemnél már túllépi a megengedettet, ezért a „hátizsákba” csak az első 5 elem fér. Ezek név szerint a 2, 3, 6, 7, 9-es elemek, melyek összesen 348 értékkel és 30 helyigénnyel rendelkeznek.

8. táblázat: A hátizsák-tesztfeladat egyszerű megoldása

Sorrend	Helyigény (H)	Érték (E)	E/H	Sum(H)	Sum (E)
7	2	30	15,00	2	30
9	8	103	12,88	10	133
6	5	61	12,20	15	194
3	6	67	11,17	21	261
2	9	87	9,67	30	348
10	6	55	9,17	36	403
5	7	63	9,00	43	466
8	11	95	8,64	54	561
1	5	42	8,40	59	603
4	4	29	7,25	63	632
Sum	63	632			

Forrás: saját szerkesztés

Ez az eljárás képes az optimális elhelyezést megadni, de csak abban az esetben, ha felhasználja az összes rendelkezésre álló szabad helyet. Jelenleg azonban a tárgyak csak 30 egységnyi helyet foglalnak el a 34 férőhelyből. Ezáltal előfordulhat, hogy létezik ennél jobb megoldás is. A harmony search algoritmust használva a 9. táblázatban szereplő megoldás adódik, mely optimális.

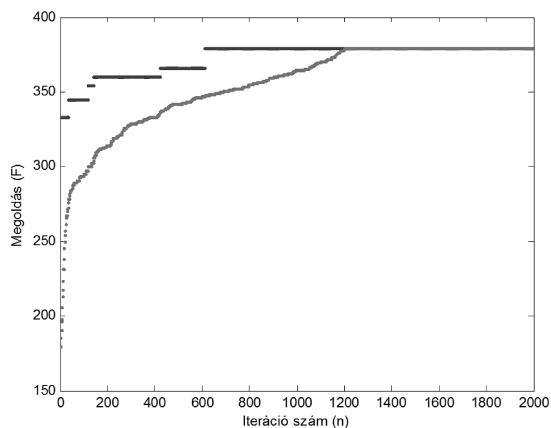
9. táblázat: A hátizsák-tesztfeladat megoldása HS algoritmussal

Sorrend	Helyigény (H)	Érték (E)	E/H	Sum(H)	Sum (E)
7	2	30	15,00	2	30
9	8	103	12,88	10	133
6	5	61	12,20	15	194
3	6	67	11,17	21	261
10	6	55	9,17	27	316
5	7	63	9,00	34	379
8	11	95	8,64	45	474
1	5	42	8,40	50	516
4	4	29	7,25	54	545
2	9	87	9,67	63	632
Sum	63	632			

Forrás: saját szerkesztés

A 11. ábra a hátizsákprobléma megoldásának konvergenciáját szemlélteti. A vízszintes szakaszok a legjobb megoldási változatok célfüggvényértékét mutatják, míg a másik görbe a harmonia memória mátrix összes eleme által reprezentált megoldások átlagos célfüggvényértékét. Látható, hogy már 600-as iterációs számnál megtalálta az optimális megoldást az algoritmus, 1200-nál pedig az összes variáció megerősíti ezt.

11. ábra: A hátizsákprobléma konvergenciája



Forrás: saját szerkesztés

Algoritmus validálása az utazóügynök-problémával

Az algoritmus tesztelése egy egyszerű TSP-n is bemutatásra kerül. A felkeresendő pontok egy körre lettek illesztve, így könnyen belátható, hogy az ideális út jó közelítéssel megegyezik a kör kerületével plusz a centrum és a hozzá legközelebb eső pont távolságával. Minimális eltérés azért tapasztalható, mert a pontok közötti távolságok nem körívek, hanem egyenesek. A városokat egy 50 egységnyi sugarú körre helyeztem, amelyből meghatározható a várható minimális út:

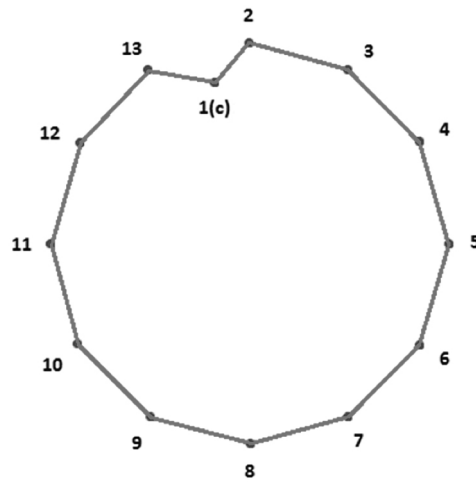
$$L_{min} \approx K + L_{1,2} = 2 \cdot r \cdot \pi + L_{1,2} = 2 \cdot 50 \cdot 3,14 + 5 = 319,16. \quad (9)$$

10. táblázat: Az utazóügynök-feladat adatai

Sorszám	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x	50	50	75	93	100	93	75	50	25	7	0	7	25
y	90	100	93	75	50	25	7	0	7	25	50	75	93

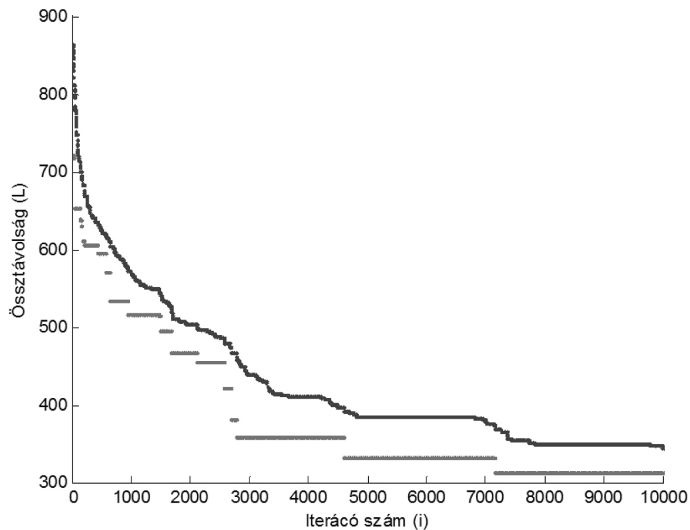
Forrás: saját szerkesztés

12. ábra: Az utazóügynök-feladat megoldása



Forrás: saját szerkesztés

13. ábra: Az utazóügynök-feladat konvergenciája



Forrás: saját szerkesztés

BOM optimalizálása make-or-buy szempontok alapján

A szerelési családfa optimalizálásakor a célfüggvény a saját gyártás költségének és a vásárolt alkatrészek költségének összege (Cselényi – Illés 2004). A saját gyártás költsége a következő alakban írható fel:

$$K_s = n_s \cdot (K_{AA}^x + K_{AG}^x + K_{AL}^x + K_{AT}^x + K_{AB}^x) + K_{SF}, \quad (10)$$

ahol

- K_{AA}^x az alkatrész alapanyagának költsége,
- K_{AG}^x az alkatrész tiszta gyártási költsége,
- K_{AL}^x az alkatrész beszerzéshez és gyártáshoz kapcsolódó logisztikai költsége,
- K_{AT}^x az alkatrész szerelés előtti tárolási költsége,
- K_{AB}^x az alkatrész gyártása esetén a bizonytalanságból származó veszteség,
- n_s a saját gyártás esetén kiszállított mennyiség,
- K_{SF} a saját gyártás esetén szükséges fejlesztés költsége.

A vásárolt alkatrészek költsége a következő alakban adható meg:

$$K_v = n_v \cdot (K_{BV}^x + K_{BT}^x + K_{BB}^x + K_{BL}^x - K_{BN}^x) + K_{VS}, \quad (11)$$

ahol

- K_{BV}^x a kész alkatrész vásárlási költsége,
- K_{BT}^x a beszállított alkatrész tárolási költsége,
- K_{BB}^x a vásárolt alkatrész bizonytalanságából származó veszteség,
- K_{BL}^x a saját kapacitás rosszabb kihasználásából származó veszteség,
- K_{BN}^x a felszabadult saját gyártókapacitás jobb kihasználásából származó nyereség,
- n_v a vásárlás esetén beszállított mennyiség,
- K_{VS} a vásárolt alkatrész beszállítási költsége.

A vásárlás akkor eredményez nyereségnövekedést ($\Delta N > 0$), ha az alábbi összefüggés teljesül:

$$\Delta N = (A_v - A_s) + (K_s - K_v). \quad (12)$$

Az árbevételt a költségeken kívül az alábbi tényezők befolyásolják:

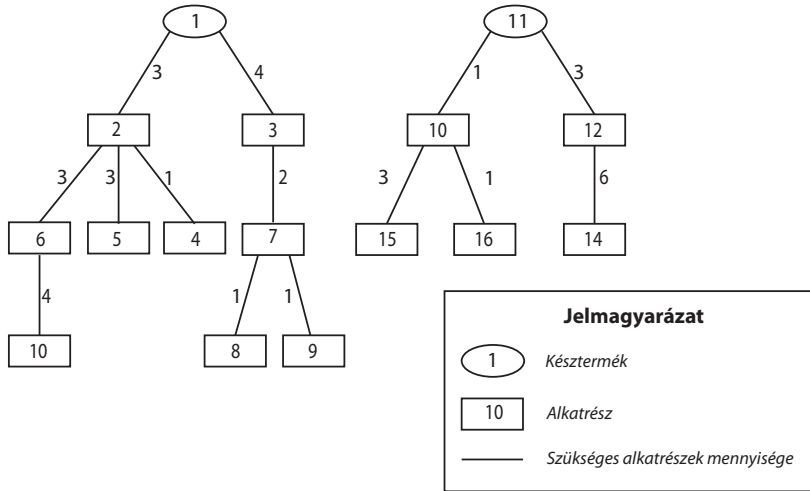
- saját gyártás esetén: $A_s(T_s; M_s; n_s)$
- vásárolt termék esetén: $A_v(T_v; M_v; n_v)$,

ahol:

- $T_s; T_v$: átfutási idők,
- $M_s; M_v$: minőségi jellemzők,
- $n_s; n_v$: sorozatnagyság.

$A_v > A_s$ akkor érhető el, ha $T_s > T_v$ és/vagy $M_s > M_v$ és/vagy $n_s < n_v < n$. Természetesen a költségeken túl napjainkban már sok más egyéb szempontot is figyelembe kell venni a make-or-buy döntés meghozatalakor. Ezen szempontok jól harmonizálnak a logisztikai rendszerek tervezés-kor figyelembe veendő célfüggvényekkel. A kidolgozott algoritmus a 14. ábrán vázolt szerelési családfákon keresztül kerül vizsgálatra.

14. ábra: BOM feladat



Forrás: saját szerkesztés

Az alkatrészek vételi és gyártási költségét a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat: A BOM példafeladat költségvektorai

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gyártási költség (KG)	5000	1400	1100	220	470	250	310	170	140	90	6000	730	520	370	320	250
Vásárlási költség (KV)	100 000	4300	1700	400	800	320	310	370	220	170	100 000	1100	1760	900	750	500

Forrás: saját szerkesztés

A mennyiségsszükséglet nem mindig pontos érték. Ha egyszerű szerelési fával dolgozunk, azaz egy alkatrészt csak egyféle termékbe építünk be, akkor a pontos értéket adja. Ha viszont több termékbe, akkor eltorzítja az eredményt és nem lehet vele tovább számolni. Ilyenkor szét kell bontani a szerelési fát és új alkatrészeknek feltüntetve át kell alakítani egyszerű szerelési fává. Az algoritmus a következő összefüggésekkel kiegészülve keresi az optimális make-or-buy arányt az adott BOM esetében:

$$Cba_n = Cb_n \cdot N_n \cdot (1 - X_n) \cdot X_p, \quad (13)$$

$$Cma_n = Cm_n \cdot N_n \cdot X_n \cdot X_p, \quad (14)$$

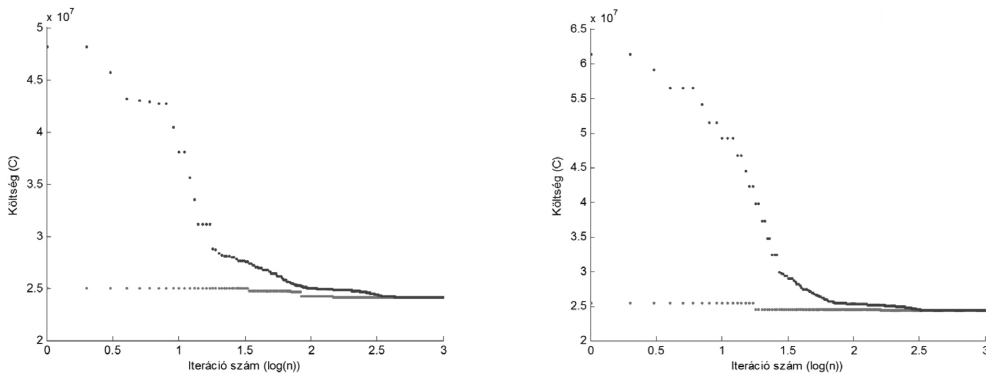
$$C = \sum_{n=1}^m (Cba_n + Cma_n), \quad (15)$$

$$C \rightarrow \min., \quad (16)$$

ahol:

- Cba_n : n-edik alkatrész vételi ára erre a variációra,
- Cma_n : n-edik alkatrész gyártási ára erre a variációra,
- Cb_n : n-edik alkatrész vételi ára,
- Cm_n : n-edik alkatrész gyártási ára,
- N_n : az n-edik alkatrészből szükséges összes darabszám,
- X_n : keresett változó: 0, ha vesszük az alkatrészt, és 1, ha gyártjuk az alkatrészt,
- X_p : előd változó, amely két értéket vehet fel:
 - 0, ha megvettük azt az alkatrészt, amibe ezt beleépítjük,
 - 1, ha gyártottuk azt az alkatrészt, amibe ezt beleépítjük,
- C : teljes költség az aktuális változatnak.

15. ábra: Konvergencia a mennyiségi kedvezmény figyelembevétele nélkül és annak figyelembevételével



Forrás: saját szerkesztés

Két feladattípusra vizsgálva az algoritmust, a következő következtetés vonható le: amennyiben nem vesszük figyelembe a darabszámokat és nem redukáljuk a vásárlási árakat, akkor durván 1%-os eltérés tapasztalható ahhoz a változathoz képest, amikor figyelembe vesszük a darabszámokat és az alapján redukáljuk a vásárlási árat, azaz mennyiségi kedvezményt veszünk figyelembe.

Első esetben a gyártásra ajánlott termékek a következők: 1, 2, 4, 5, 11, 13, 15, 16. A vásárlásra ajánlott termékek a következők: 3, 6, 7, 12. A kimaradt termékek (8, 9, 10, 14) már bele vannak építve a vásárlásra ajánlottakba.

Második esetben a gyártásra ajánlott termékek a következők: 1, 2, 4, 5, 11. A vásárlásra ajánlott termékek a következők: 3, 6, 7, 12, 13. A kimaradt termékek (8, 9, 10, 14, 15, 16) már részei a vásárlásra ajánlottaknak.

Összefoglalás

Az elmúlt évszázadban a termelői piac helyét átvette a szolgáltatói piac, melynek következményei a termelési szektorban főként a mechatronikai összeszerelő iparban és a járműiparban éreztetik hatásukat. Az egyre szélesebb spektrumú vásárlói igények kielégítése céljából egyre komplexebb termékstruktúrák alakultak ki, melyek előállításukhoz komplex ellátási láncokat eredményeztek. Ezen ellátási láncok egyik régi, de még napjainkban is aktuális feladata a make-or-buy kérdés megválaszolása, ami a termelési mélység csökkenésével egyre összetettebb beszállítói háttér kialakítását igényli. Ezen tervezés egyik alapvető lépése annak eldöntése, hogy a szerelési családfa mely elemei kerüljenek beszerzésre és mely elemek gyártását végezze el a termelő vállalat maga. Kisméretű szerelési családfák esetében ezen feladat egyszerű matematikai eszközökkel megoldható, azonban nagyszámú, nagyméretű BOM esetében sok célfüggvény egyidejű figyelembevétele az optimális make-or-buy döntés meghozatalához heurisztikus algoritmus alkalmazásával célszerű.

A make-or-buy szempontú BOM-optimalizálás eszközeül egy a jazz-zenekarok improvizációs technikáját modellező harmony search algoritmus került kiválasztásra és alkalmazásra. A gyakorlati probléma és a modellezés közötti kapcsolatot a különböző hangszerek különböző hangmagasságú hangjaiból összeálló esztétikai minőség és a műszaki problémát leíró célfüggvény és változóhalmaz adja meg. Az elkészített algoritmus alkalmazását megelőzte számos tesztfutás, melyek során a hátizsákprobléma, az utazóügynök-probléma és számos metaheurisztikus tesztfüggvény esetében került vizsgálatra az algoritmus megfelelősége.

Hivatkozások

- Bányai, Á. – Cselényi, J. (2003). Optimierungsmethode zur Planung von JIT-Zulieferersystemen. *Magdeburger Schriften zur Logistik*, 13(1), 17–26.
- Chung, Y. – Fischer, G. W. (1994). A conceptual structure and issues for an object-oriented bill of materials (BOM) data model. *Computers & Industrial Engineering*, 26(2), 321–339.

- Cselényi, J. – Bányai, Á. (1999). Planungskonzeption von JIT-Zulieferersystemen. *Publications of the University of Miskolc. Series C Mechanical Engineering*, 49(1), 9–18.
- Cselényi J. – Illés B. (2004). *Logisztikai rendszerek I.* Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó.
- Djabarian, E. (2002). *Die strategische Gestaltung der Fertigungstiefe – Ein systemorientierter Ansatz am Beispiel der Automobilindustrie.* Berlin: Deutscher Universitätsverlag.
- Fernandez, J. – Kekale, T. (2005). The influence of modularity and industry clockspeed on reverse logistics strategy: Implications for the purchasing function. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 11(4), 193–205.
- Ford, D. – Farmer, D. (1986). Make or buy – a key strategic issue. *Long Range Planning*, 19(5), 54–62.
- Gubán Á. (2014). *Logisztika – felvetések, példák, válaszok.* Budapest: Saldo.
- Hermann, T. (2009). *Fertigungstiefe in der stationären Versorgung.* Bayreuth: P.C.O. Verlag.
- Hippert, E. P. (1993). Global make or buy decisions. *Industrial Marketing Management*, 22(2), 67–77.
- Hozalski, R. M. – Bouwer, E. J. (2001). Non-steady state simulation of BOM removal in drinking water biofilters: Model development. *Water Research*, 35(1), 198–210.
- Kinkel, S. – Lay, J. – Jager, A. (2009). Fertigungstiefe als Stellhebel für die Produktivität. *ATZproduktion*, 2(5–6), 52–57.
- Lee, K. S. – Geem, Z. W. (2005). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194(1), 3902–3933.
- Liu, M. – Lai, J. – Shen, W. (2014). A method for transformation of engineering bill of materials to maintenance bill of materials. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 30(2), 142–149.
- Mitzkat, M. (1996). *Kaufverhaltensorientierte Gestaltung der Fertigungstiefe – Konzeptionelle Grundlagen und empirische Analysen.* Berlin: Deutscher Universitätsverlag.
- Quintens, L. – Pauwels, P. – Matthyssens, P. (2006). Global purchasing: State of the art and research directions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(4), 170–181.
- Takata, S. – Yamanaka, M. (2013). BOM based supply chain risk management. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 62(1), 479–482.
- Wiedmer, H. U. – Sutter, S. (2013). Fertigungstiefe: Vergleiche zwischen Maschinenbau, Elektrotechnik, Städtebau und Informatik – oder ob/wie Services dabei helfen? In Buchs, J. N. – Fischli, S. – Goetz, T. (Hrsg.). 25. *Berner Architekten Treffen.* Bern: Verein Berner Architekten Treffen, 1–34.
- Xiong, M. – Tor, S. B. – Khoo, L. P. – Chen, C. H. (2003). A web-enhanced dynamic BOM-based available-to-promise system. *International Journal of Production Economics*, 84(2), 133–147.