



Kota László

TERMELÉSI MÉLYSÉG OPTIMALIZÁLÁSA ANT COLONY ALGORITMUS ALKALMAZÁSÁVAL

BEVEZETÉS

Napjainkban a termelési mélység optimális kialakítása, menedzselése a termelés mélységének megválasztása az egyes termékeknek a termelővállalatok logisztikai és a termelési menedzsmentjének kiemelten fontos stratégiai döntései közé tartozik. Az egyes beépülő, alkatrészeknél a „make or buy” döntés, a profilidegen termékek gyártásának, szerelésének kiszervezése, valamint az egyes beszállítóktól megrendelt alkatrészek, félkész termékek költségei nagymértékben befolyásolják a termék árát. Persze nemcsak maga a nyersanyag ára fontos, hiszen a késztermék árában a logisztikai költségek hányada általában igen magas, ami szintén összefügg a beszállítók kiválasztásával, illetve legtöbb esetben összefügg a rendelt mennyiséggel is. Valamint, mindezek mellett a zártláncú gazdaság és ezzel együtt az újrahasznosítás megnövekedett jelentősége is hozzájárul a „make or buy” kérdés stratégiai szerepéhez, nemcsak az összeszerelés, hanem a szétszerelés területén is. [1]

A PROBLÉMA

A kutatás célja egy olyan innovatív, a mindennapi gyakorlatban is jól alkalmazható modell kifejlesztése, amely az elsősorban az összeszereléssel foglalkozó vállalatoknál használt többszintű darabjegyzék (Bill Of Material) optimális kialakítására alkalmas. A BOM kialakításánál a menedzsment szintjén elsődlegesen a költség szerinti optimalizálás a legfontosabb. A minimális költségre törekvés problémájának vizsgálatakor merül fel, hogy mely terméket gazdaságosabb gyártani vagy vásárolni, amely egy vállalat stratégiai döntései között elsődleges. Illetve az alkatrész vagy beépülő termék vásárlása esetén mely beszállítót optimális választani, amely szintén a beszerzés stratégiai és/vagy taktikai döntései közé tartozik. Hiszen a beszállítók kiválasztásánál a vásárolt termék árát nagymértékben befolyásolják a kapcsolódó logisztikai költségek, esetlegesen nagymennyiségű beszerzés esetén kedvezményes egyénileg megállapított termékár, vagy a már megkötött keretszerződésekben foglalt paraméterek is. Illetve befolyásoló, költségként mérhető tényezők a termék minőségével kapcsolatos költségek. Még meg nem kötött keretszerződések esetén a kifejlesztett modell alkalmas az ajánlatok közül a legmegfelelőbb kiválasztására is. A kutatás eredményeképpen a kifejlesztett modell a gyakorlatban megvalósult és implementálásra került. Az implementáció egyes részei a cikkben röviden bemutatásra kerülnek.

A MODELL

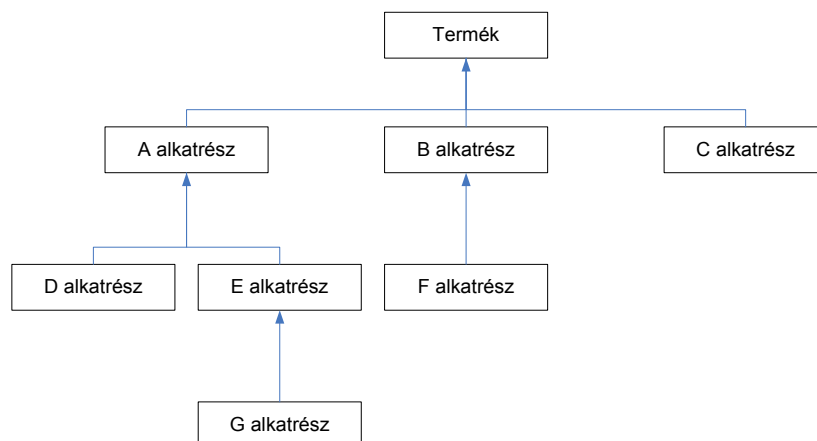
A modell bemenő paraméterei:

- a többszintű darabjegyzék (1. ábra),
- a beszállítók listája (2. ábra),
- a beszállítók ajánlatai (2. ábra).

A többszintű darabjegyzék egy fa struktúra, amelyben a faágak az egyes komponensek, amelyek a kapcsolódó komponensekbe épülnek be.

Ezek lehetnek:

- nyersanyagok,
- segédanyagok
- alkatrészek,
- félkész vagy
- késztermékek

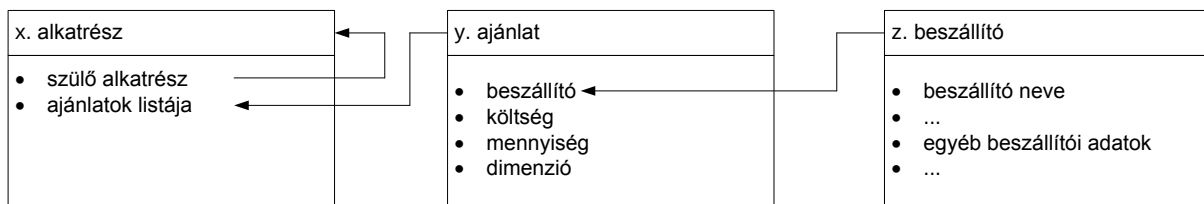


1. ábra. A többszintű darabjegyzék

A BOM fa modelljében az egyes komponensekhez a következő paramétereket rendeljük:

- Szülő komponens: Az a komponens, amibe az adott alkatrész vagy anyag beépül.
- Beszállító: annak a beszállítónak a neve ahonnan a megadott alkatrészt rendeljük. Az alkatrész lehet saját gyártású ilyenkor a beszállító lokális.
- Költség: az adott termék teljes költsége. Itt a termék ára mellett figyelembe kell venni az egy termékre jutó logisztikai költségeket is, mint szállítás, raktározás.
- Mennyiség: Az adott komponensből hány darab épül be a fában felette elhelyezkedő termékbe.
- Dimenzió: ez egy az optimalizálásban nem használt paraméter, a beépülő termék mennyiségének dimenziója. A paraméter szükségességét a modell gyakorlati alkalmazása indokolta.

Az optimalizáló algoritmus vizsgálatához egy olyan egyszerűsített adatmodellt alkalmazunk, ami már a fa struktúra megvalósítására, a különböző beszállítói ajánlatok kezelésére, mivel a probléma vizsgálatához szükséges alapvető feltételeket kielégíti. [3, 4]



2. ábra. BOM adatmodell

Ahol komponens listaelem adatmezői:

- A szülő komponens: ez a mező szükséges a fa struktúra felépítéséhez, amennyiben az adott komponensnek nincs szülő komponense akkor az alkatrész már nem épül be semmilyen más termékbe, tehát késztermék.
- Ajánlatok lista: tartalmazza az adott alkatrésze vonatkozó beszállítói ajánlatokat.

Az ajánlat listaelem adatmezői:

- beszállító: referencia a beszállító adatbázisra,
- költség: az egységnyi alkatrész költsége,
- mennyiség: beépülő darabszám,
- dimenzió.

A beszállító listaelem adatmezői:

- beszállító neve,
- egyéb beszállítói adatok.

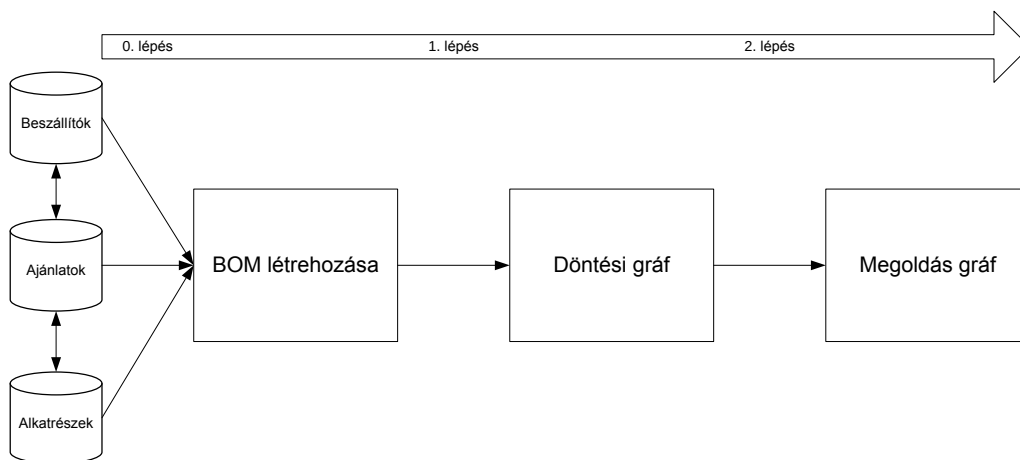
AZ ANT COLONY OPTIMALIZÁLÁSI MÓDSZER

Az optimalizálás folyamán alkalmazott eljárás az Ant Colony optimalizáló algoritmuson alapul, amelyet Marco Dorigo fejlesztett ki és a hangyák szociális viselkedésének modellezésén alapuló metaheurisztikus módszer. Az Ant Colony optimalizáló eljárás a biológiai folyamatok által inspirált egyik nagy területhez a raj intelligencia csoporthoz tartozik. Az algoritmus egyik legelső felhasználása volt a legrövidebb út keresése a hangyák élelemgyűjtő viselkedése alapján. Az itt ismertetett optimáló eljárás során is ennek a módszernek a felhasználásával végezzük el az optimumkeresést. A módszer alapja hogy a hangyák a valós világban, kezdetben véletlenszerűen keresik az élelemforrást. Ha élelmet találnak, visszatérnek a bolyba és közben feromonnal jelölik meg az utat. Ha más hangyák megtalálják ezt a feromonjelet akkor nagyobb valószínűséggel választják ezt az utat a véletlenszerű vándorlás helyett. Viszont a feromon párologása miatt idővel az útvonal „vonzereje” csökken. Tehát annak a valószínűsége, hogy a hangyák a megjelölt utat választják. Minél hosszabb az út a feromonok annál tovább párolognak, mivel a hangyáknak több időbe kerül az út bejárása. A rövidebb utakon a feromon mennyisége magasabb lesz mivel ezek gyorsan bejárhatók így a hangyák a feromont gyorsabban pótolják, minthogy elpárologna. A feromon párologás segíti elő, hogy az algoritmus leragadjon egy lokális optimumnál. Mikor a hangyák egy rövid utat találnak az élelemforráshoz a pozitív visszacsatolás miatt igen nagy valószínűséggel fogják azt az utat választani. Az Ant Colony

eljárás igen sok kombinatorikus optimalizációs probléma megoldására alkalmas és ezek köre az új kutatásokkal egyre szélesedik. Ilyenek például a kvadratikus hozzárendelés, utazó ügynök probléma, vagy járművek valós idejű irányítása. Az Ant Colony algoritmus előnye például a szimulált hűtés és a genetikussal szemben hogy az állapotgráf az optimalizálás folyamán dinamikusan változhat, az Ant Colony algoritmus valós időben képes alkalmazkodni a változáshoz. [2]

AZ OPTIMALIZÁLÁS

Az optimalizálási eljárás két fő lépésre tagolható, a gyakorlati megvalósítás szükségessé teszi egy nulladik lépés beiktatását is, a bemenő adatstruktúra előállításához.



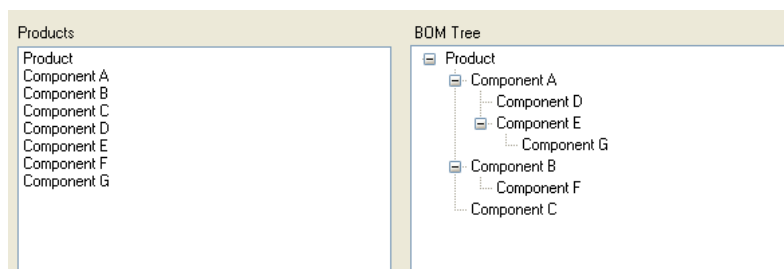
3. ábra. Az optimalizálási eljárás egyszerűsített menete

Ahol:

- 0. lépés a BOM fa struktúra létrehozása
- 1. lépés az ajánlatok döntési gráfjának előállítás a BOM fából
- 2. lépés az optimalizálás végrehajtása

Az optimalizálási folyamat

A 2. ábrán látható adatmodellnek megfelelően az optimalizálni kívánt termékadatokról létrehozuk a BOM fa struktúráját. Mivel a fában minden node tartalmazza a szülő objektum hivatkozását, a fa struktúra rekurzívan bejárható.

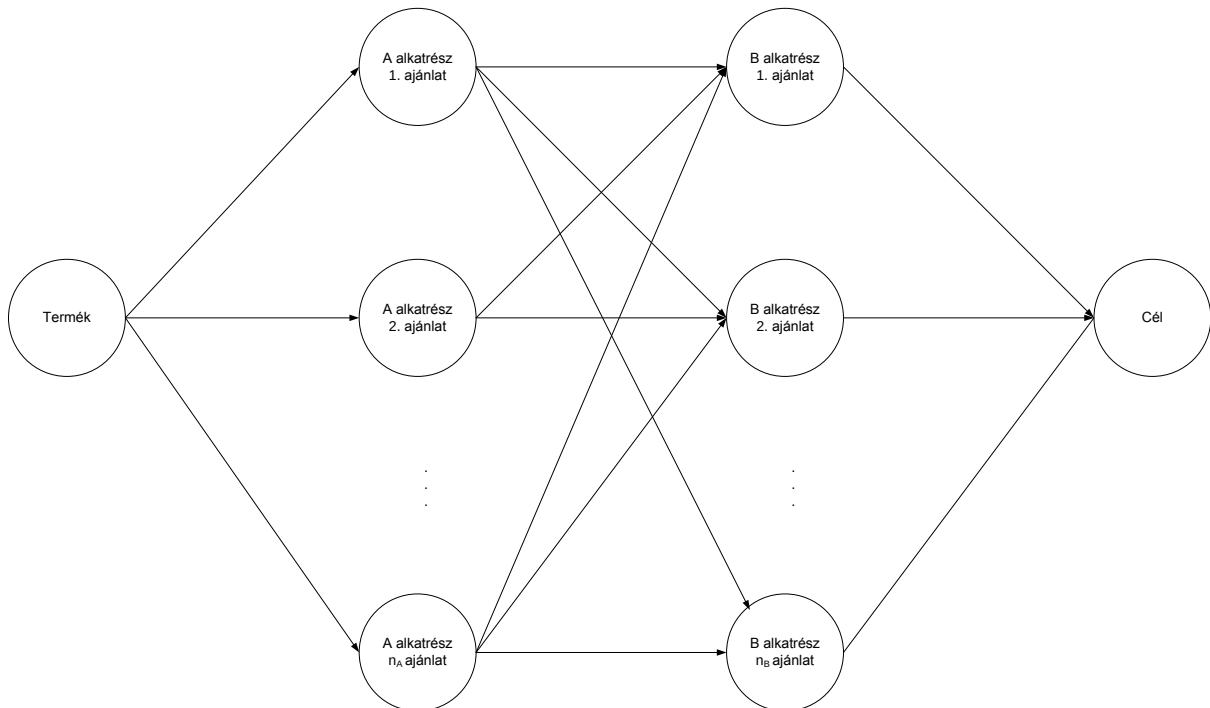


4. ábra. Alkatrészjegyzék és BOM struktúra

A döntési gráf

Az optimalizáló algoritmus alkalmazásához szükséges döntési gráfot a BOM fa struktúra és a beszállítói ajánlatok listája felhasználásával készítjük el.

A BOM fa gyökérnodejától kiindulva, az egyes komponensekhez tartozó beszállítói ajánlatokból építjük fel a döntési fát.



5. ábra. A döntési gráf struktúrája

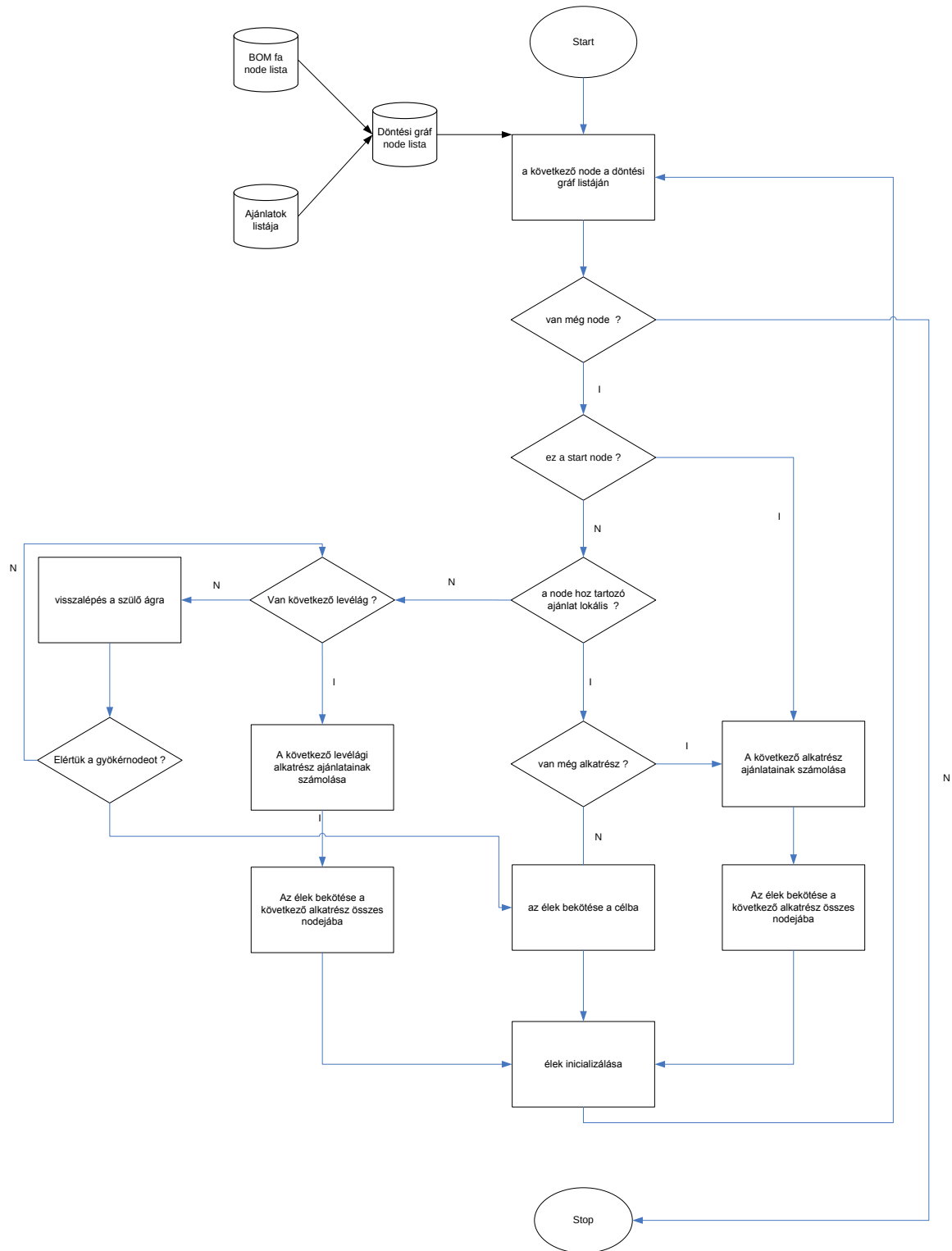
A döntési gráf előállításának szabályai:

- A döntési gráfot a BOM fa struktúrájából építjük fel minden komponenst figyelembe véve.
- Első lépésben elállítjuk a döntési gráf nodejainak listáját ahol egy komponens beszállítói ajánlatából képeztük a döntési gráf egy önálló nodeját.
- Ha a beszállítói ajánlat lokális, tehát a cég maga gyártja a terméket, a döntési ág a következő komponens beszállítói ajánlataival folytatódik.
- Ha a beszállítói ajánlat nem lokális, tehát az adott komponenst vásároljuk, nem gyártjuk akkor azon a döntési ágon az adott komponensbe beépülő összes terméket kihagyjuk. Ekkor a döntési ág a BOM fa következő levélágán folytatódik. Hiszem ekkor a vásárolt termékbe beépülő összes komponenst annak gyártója menedzseli, nekünk nem kell az egyes beépülő komponensek költség igényével foglalkozni.
- Amennyiben nincs következő levélág vagy komponens a döntési ágat a döntési gráf célnodejába kell bekötni.
- A döntési gráf éleinek költségértéke értéke a beépülő termék termék költségével megegyezik

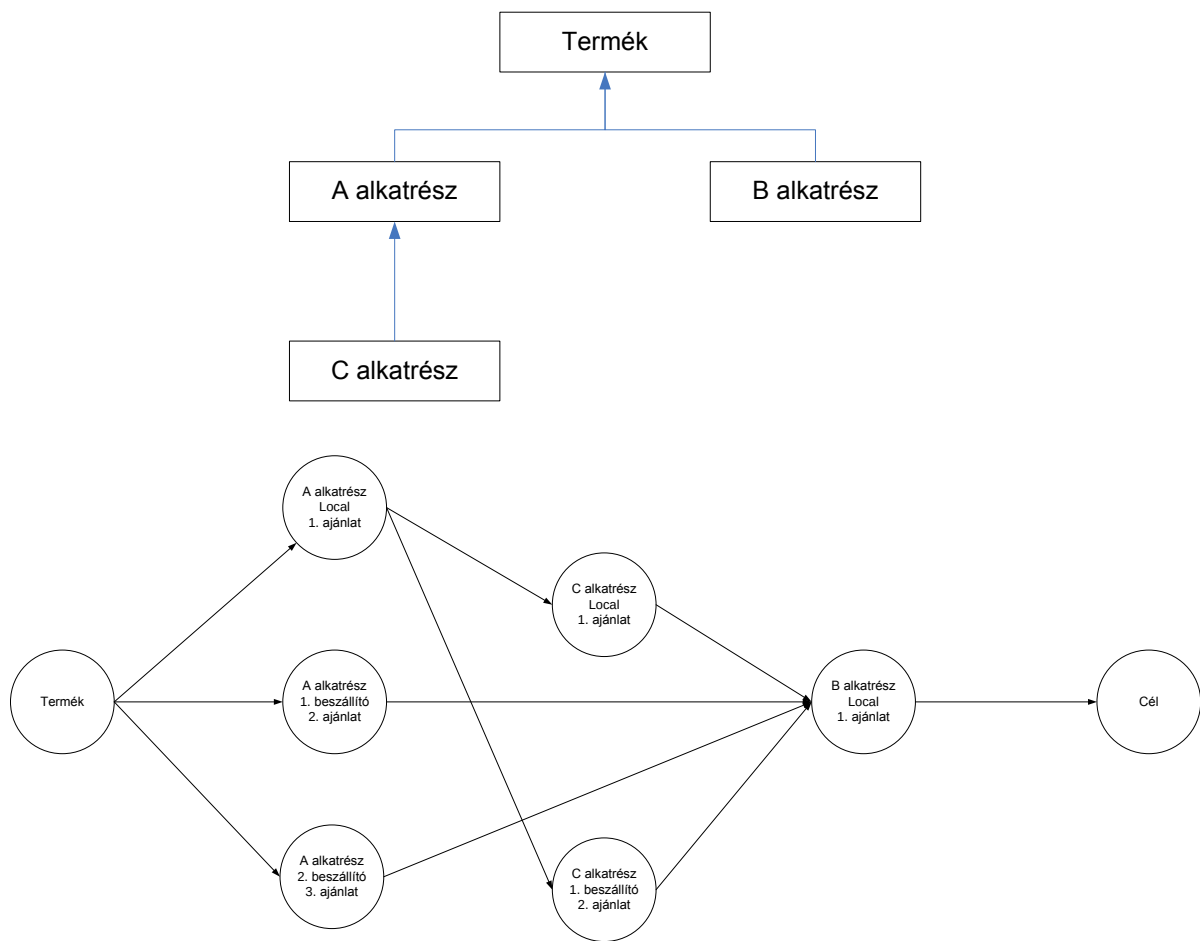
$$c_{xy} = c_{0y} \cdot q_y \quad (1)$$

Ahol:

- c_{xy} : az x-edik és az y-adik nodeot összekötő él költsége
- c_{0y} : az y-adik beépülő alkatrész egységköltsége
- q_y : az y-adik beépülő alkatrész darabszáma



6. ábra. Döntési gráf előállításának algoritmus



7. ábra. Egy egyszerű három komponensből álló BoM döntési gráfja

ANT COLONY

A probléma célfüggvénye:

$$C_p = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot x_i) \Rightarrow \min \quad (2)$$

Ahol:

- C_p : a p termék költsége
- c_i : az i-edik komponens költsége
- $x_i \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$
 - $x_i = 0$ ha az i-edik komponens nem épül be a termékbe
 - $x_i = 1$ ha az i-edik komponens beépül a termékbe

Az Ant Colony optimaláló módszer lépései:

- Kezdeti paraméterek beállítása, inicializálás

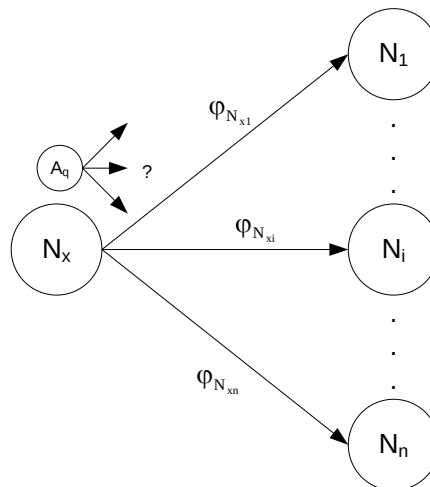
- Iterációs lépések:
 - Hangyák következő lépésének kiszámítása
 - Feromon aktualizálása

A kezdeti paraméterek beállításakor megadjuk:

- Iterációk maximális száma ($I_{\max}$)
- A hangyák száma (q)
- A minimális feromon szint a gráf élein ($\varphi_{\min}$)
- Feromon párolgási állandó (ρ)
- útválasztási kitevő (α); ennek értékét számos kísérlet elvégzésével határozták meg, az $\alpha = 2$ adódott optimálisnak [2]

Útvonalválasztási algoritmus

A hangyák az egyes nodeokban döntési helyzetbe kerülnek, kivéve, ha az adott nodeból csak egy út vezet tovább ilyenkor 100% ban ezt az utat választják. Az egy adott nodeba lépés valószínűsége egyenesen arányos a nodeba futó élen található feromon mennyiségével. Tehát minél több a feromon az adott élen, annál vonzóbb lesz a hangyák számára és annál nagyobb valószínűséggel választják ezt az utat.



8. ábra. Útvonalválasztás

$$p_{N_{xy}}^q = \frac{(\varphi_{N_{xy}})^\alpha}{\sum_{i=1}^n (\varphi_{N_{xi}})^\alpha} \quad (3)$$

Ahol:

- $p_{N_{xy}}^q$: az y-adik node felkeresésének valószínűsége az x. nodeból, a q-adik hangyanál
- $\varphi_{N_{xy}}$: az x-edik és y-adik nodeot összekötő élen lévő feromon mennyisége

- α : útválasztási együttható
- n : az x-edik nodeból kiinduló élek száma
- A_q : a q-adik hangya

Ha egy hangya eléri a célnodeot a startnodeba visszaindulva a bejárt útvonalon feromont rak le, amely fordítottan arányos az általa megtett úttal. A hangyák által befutott mindenkori minimális út költségét tároljuk ($\text{Min}(C)$) mivel a modellben a lerakott feromon mennyisége a költséggel fordítottan arányos.

A lerakott feromon mennyisége a

$$\varphi_{N_{xy}}^q = \varphi_{N_{xy}} + \frac{2}{\sum_{i=1}^n c_i - \text{Min}(C) + 1} \quad (4)$$

összefüggéssel számítható.

Ahol:

- $\varphi_{N_{xy}}$: az x-edik és y-adik nodeot összekötő élre kerülő feromon mennyisége a q-adik hangyánál
- n : a hangya által bejárt élek száma
- c_i : az i-edik nodeba eljutás költsége
- $\text{Min}(C_p)$: a mindenkori minimális költség

Esetünkben az alkalmazott gráf jellege olyan hogy hurok nem képződhet így az útvonal visszakövetési és feromonrakási folyamat során nincs szükség a hurkok eltávolítására a bejárt útvonalból.

Feromon párolgás

A feromon párolgási folyamat gyakorlatban a felejtés egy formája. Lehetővé teszi, hogy a hangyák a keresési térben új területeket is felfedezzenek. Megakadályozza, hogy az algoritmus egy lokális optimumnál leragadjon.

A feromon párolgás megvalósítására többféle eljárás is létezik, jelen esetben az

$$\text{a } \varphi_{N_{xy}} > \varphi_{\min} \text{ akkor } \varphi_{N_{xy}} = \varphi_{N_{xy}} \cdot (1 - \rho) \quad (5)$$

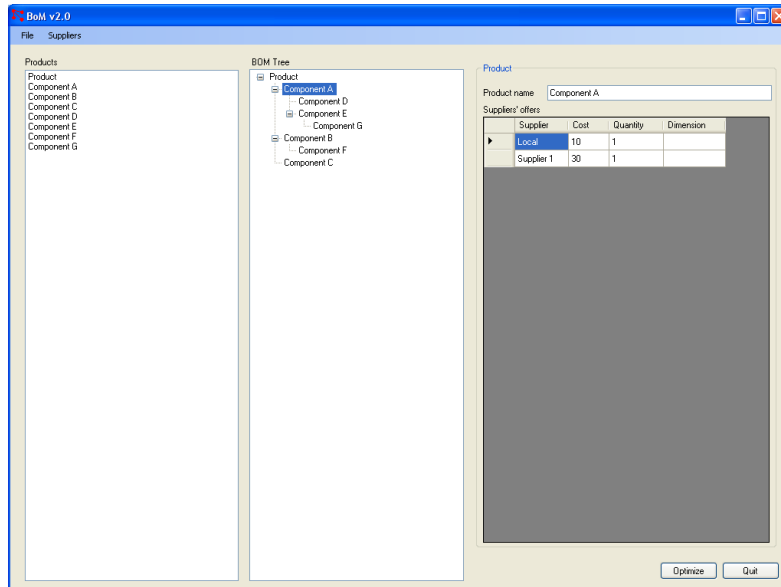
összefüggés került alkalmazásra.

Ahol:

- : az x-edik és y-adik nodeot összekötő élre kerülő feromon mennyisége
- ρ : feromon párolgási állandó

AZ ALKALMAZÁS

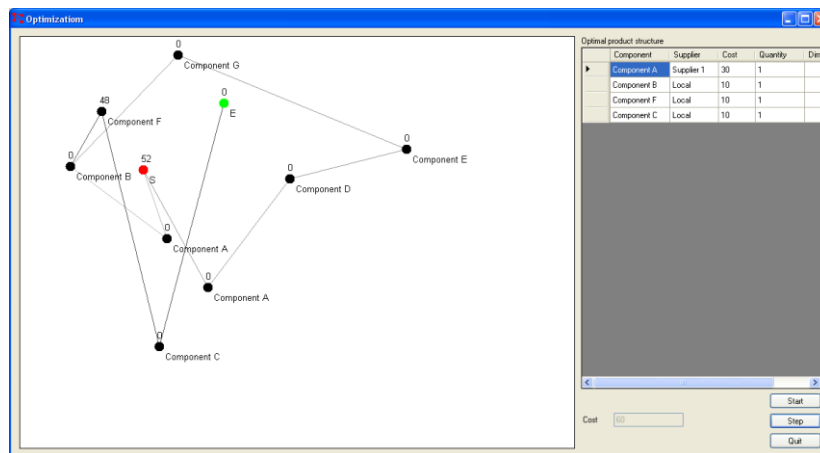
A cikkben ismertetett modell alapján készült egy alkalmazás is a probléma vizsgálatára és a paraméterek meghatározására. Az alkalmazás segítségével a felhasználó képes a megadott komponenslistából a BOM fa struktúra felépítésére, majd elvégezheti a BOM optimalizását a megadott beszállítói ajánlatoknak megfelelően.



9. ábra. Az alkalmazás

Az alkalmazásban a számos elvégzett kísérlet futtatás alapján a következő paraméterek kerültek beállításra:

- $I_{\max} = 1000$
- $q = 50$
- $\varphi_{\min} = 1$
- $\rho = 0,1$
- $\alpha = 2$



10. ábra. Az optimalizálás folyamata

Az optimalás folyamán lehetséges a folyamat nyomonkövetése a léptetés segítségével. Ilyenkor egy gombnyomásra az Ant Colony módszer egy iterációja fut le. A dialógus ablakban pedig nyomon követhető az optimalás állapota.

Láthatók:

- Az egyes komponensek beszállítói ajánlataihoz rendelt nodeok.
- A hangyák által bejárt élek.
- A hangyák száma az egyes nodeokon.
- A bejárt élek vonala a feromon mennyiségével egyenes arányban sötétedik vagy világosodik,
- így nyomon követhető a párolgás, illetve ezzel megfigyelhetjük, hogy az algoritmus hogyan kerül el a szuboptimális megoldásokat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás-fejlesztési munkát a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal Pázmány Péter Programja támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Tamás BÁNYAI: Recycling and networking. in: Acta Politechnica. Journal of Advanced Engineering. Vol.44. No. 2/2004. ISSN 1210-2709. pp.90-96.
- [2] M. DORIGO & T. STÜTZLE, 2004. Ant Colony Optimization, MIT Press. ISBN 0-262-04219-3
- [3] Ji GUOLI, Gong DAXINA, Freddie TSUI: Analysis and implementation of the BOM of a tree-type structure in MRPII. 2003 Elsevier Science B.V.
- [4] Ji GUOLI, Gong DAXINA, Freddie TSUI: A Tree Structure Storage Model of BOM, Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2002, Vol. 11, No. 1, pp. 55260