

Ellátási-láncok modellezése szimulációval

PROF. DR. BENKŐ JÁNOS

SZIE, Gödöllő Műszaki Menedzsment Intézet

Modellezési szempontból egy ellátási-lánc a termeléstől az értékesítésig terjedő hálózatnak tekinthető. Elméletileg e hálózat is csomópontokból és élekből áll, amelyet szimulációs terminológiával élve az entitások áramlása köt össze. A csomópontok képviselik a szállítókat, gyártókat, elosztó-központokat, nagy- és kiskereskedőket, illetve ezek termékeit tároló létesítményeket. A csomópontokat összekapcsoló élek az utak, amelyeken árucikkeket szállítanak különféle módon (közúton, vasúton, légifolyosókon, stb.). A tanulmány azt mutatja be, hogy miként lehet ezeket az analitikusan nehezen kezelhető hálózati struktúrákat szimulációval modellezni.

Bevezetés

Elméletileg közelítve, az ellátási láncok lépcsősen rendezett hálózati struktúrák, előre, visszafelé és mindkét irányban áramló összetevőkkel. A nyersanyagok, alkatrészek, termékek, stb. általában a főáram irányában mozognak, a pénzmozgások ellentétes irányúak, és végül az információk mindkét irányban áramlanak. Ennek ellenére, az ellátási-láncokban az entitásáramlások iránya nincs szigorúan előírva, mert például a hibás termékek visszafelé mozoghatnak javításra, vagy előfordulhat, hogy az átutalt pénzt valamilyen oknál fogva vissza kell fizetni. Az alapvető ellátási-lánc lépcsők a következők: (1) Az ellátási lépcső nyersanyagokkal vagy alkatrészekkel látja el a gyártást. (2) A termelési lépcső a nyersanyagokat és az alkatrészeket késztermékké alakítja át. (3) Az elosztási lépcső az elosztási hálózatból áll: raktárak, az elosztó központok, szállítási létesítmények, amelyek késztermékeket mozgatnak a kereskedőkhöz. (4) A kereskedelmi lépcső értékesíti a termékeket a végfelhasználóknak.

Az ellátási-láncok fontossága abból a tényből ered, hogy a gazdasági tevékenységek jelentős szeletét fedik le. A vállalatok annak érdekében, hogy javítsák a helyzetüket, versenyelőnyt szerezzenek, vagy éppen életben maradjanak, érdekeltek az ellátási-láncok hatékony működésében, ami a vevői elvárásokkal is találkozik.

2. Az ellátásilánc-menedzsment a modellezés szemszögéből

Az ellátásilánc-menedzsment (SCM: supply chain management) küldetése, hogy a gyártott és elosztott termék a megfelelő mennyiségekben, a megfelelő helyen és a megfelelő időben álljanak rendelkezésre, alacsony költségű és magas szintű vevőszolgálat mellett. Lényegében, az SCM a küldetését úgy teljesíti, hogy egyensúlyt keres rendszerköltségek és a vevői elégedettség között. Az SCM ennek érdekében a következő ellátási-lánc elemek költséghatékony integrációjával és koordinációjával foglalkozik: (1) Az ellátási-lánc csomópontjai által reprezentált szállítók, gyárak, raktárak, és boltok. (2) A csomópontokat összekapcsoló szállítási hálózat. (3) Az informatika-infrastruktúra, amely lehetővé teszi az adatcserét az ellátási-lánc csomópontjai között, támogatja az ellátási-lánc tervezését és a napi operációk lebonyolítását. (4) A módszerek és algoritmusok anyagáramok és a készletmenedzsment irányításához.

Gyakorlatban a komplex ellátási-láncok széles tartományt ölelnek fel az egyszerű ellátási-láncoktól, ahol mindegyik lépcső egyetlen csomópont, a bonyolultakig, ahol mindegyik lépcső önmaga is egy több csomópontból és élből álló összetett hálózat.

SCM sok kérdéssel, kihívással és nehéz döntésekkel néz szembe. Például kérdés, hogy az ellátási-lánc döntési rendszere központosított (egyetlen döntéshozó felel az egész hálózatért, aki minden elérhető információt felhasználhat), vagy osztott (több decentralizált döntéshozó, akik helyi információkat használnak, a helyi hálózatot érintő döntésekhez) legyen? Döntéshozók-

nak megengedjük-e, hogy információikat megosszák egymással (átláthatóság)? Hogyan csökkenthető a rendelési tétel nagyság változékonysága? Amíg ezek a kérdések vállalatorientált kérdések, addig az ellátási-láncokban ügyfélorientált kérdések is előfordulnak, például a vevői elégedettség, amely a hiány gyakoriságával összefüggő probléma. Például, ha a vevői igény a rendelkezésre álló készletből nem teljesen elégíthető ki, akkor a hiányt utánrendeléssel lehet pótolni, vagy az eladás elveszik. Mindkét esetben a készlet tartási költség növekedését kell szembeállítani a nem teljesen kielégített vevői igény okozta veszteséggel.

A felvetett kérdéseket tanulmányozva, a modellezőnek jellemzően a következő pénzügyi mutatókkal összefüggő kulcsfontosságú kimeneti mutatókra kell koncentrálnia: (1) A vevőszolgálat színvonala (kielégített vevőigények aránya, vagy kiszolgálási arányként). (2) Az átlagos készlet szint és az utánrendelés szintje. (3) Az elveszett eladások aránya és mennyisége.

A jó működés érdekében, az ellátási-láncok irányításához ún. készletezési mechanizmusokat alkalmazunk, amelyekkel a készletek pótlására szolgáló újrendeléseket szabályozzuk. Maximális készletszintnek nevezzük azt a szintet, amelyet alulról érünk el, vagy lépünk át, és minimális készletszintnek nevezzük azt, amelyet felülről érünk el, vagy lépünk át. A készletet figyelés lehet folyamatos vagy periodikus, és a rendeléseket akkor kezdeményezzük, amikor a készletszint a minimális szintre (újrendelési pontra) vagy az alá esik. Az iparban a következő tipikus készletezési politikákat használják: (1) (s, S) **készletezési politika**: A készletezés célszintje a maximális készlet (S) , és az újrendelési szintje az újrendelési pont (s) . A készletfeltöltést (az újrendelést) azonnal felfüggesztjük, mielőtt a készletszint eléri vagy átlépi a célszintet. A felfüggesztés addig tart, amíg a készlet az újrendelési pontig vagy az alá csökken. Ekkor a készletfeltöltés folytatódik. (2) **Rendelés S -ig készletezési politika**: Ez az (s, S) készletezési politika speciális esete, ahol $s = S \geq 1$. Más szóval a feltöltést folytatódik, mielőtt a készletszint eléri a célszintet (S) , vagy az alá csökken. (3) (s, Q) **készletezési politika**: Q a rendelési tétel nagyság és s az újrendelési pont. Amikor a készletszint az újrendelési pontra (s) , vagy az alá csökken, akkor újrendeléssel a készletszintet Q mennyiséggel növeljük.

Közismert az **utánpótlási idő** és az utánpótlási idő alatt keletkező igény fogalma, ami jellemzően véletlenszerű, és ami miatt hiány keletkezhet. Annak érdekében, hogy csillapítsuk a bizonytalan utánpótlási idő alatti igény hatását és fenntartsuk a megfelelő vevőszolgálati színvonalat **biztonsági készletet** képezünk. A hazai szakirodalomban kevésbé ismert fogalom a **készletpozíció**, amelynek definíciója: a pillanatnyi készletszint plusz a megrendelt készlet, mínusz az utánrendelés. Rendelési döntések jellemzően a készletpozíción alapulnak és nem a készletszinteken.

A továbbiakban a hangsúlyt az ellátási-láncok lépcsői közötti készletmenedzsmentre és anyagáramlásra helyezzük. Az alapelveket egy egylépcsős, egytermékes és sztohasztikus modellen mutatjuk be, amelyeket felhasználva bonyolultabb, többtermékes és többlépcsős modelleket is létrehozhatunk.

3. Egytermékes termelési és készletezési rendszer modellje

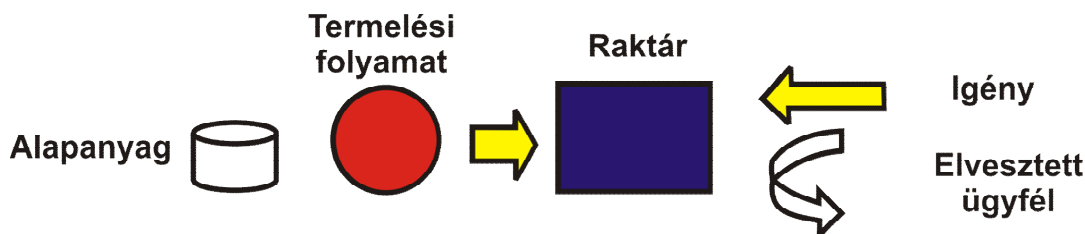
Tekintsünk egy termelési/készletezési rendszert, amely egyetlen terméket előállító termelőüzemből és egy raktárból áll (1. ábra).

A modellben a termelési folyamat (csomagolás) három fázisra bontható: (1) palackok töltése, (2) palackok lezárása, (3) címkék felragasztása a palackokra. Modellezési megfontolásokból a termelési fázisok egyedi kezelése helyett a három fázis műveleti idejét összevonjuk.

A rendszer vázlatos működése az 1. ábrán látható. A termelési folyamat nyersanyag forrása az alapanyag tároló, és termelés eredményeként keletkező késztermékeket (palackokat) a raktár-

ban tárolják. Az ügyfelek (vevők) termékrendeléseikkel (igényeikkel) érkeznek a raktárhoz, és ha egy igény nem teljesen elégíthető ki a raktári készletből, akkor a kielégítetlen igény elveszik.

A rendszer működésével kapcsolatban a következő feltevéseket tesszük: (1) Az alapanyag tárolóban mindig van elegendő nyersanyag (anyag, palack, címke, stb.), ezért a termelési folyamatban nem jelentkezik hiány. (2) A termelés 5 termékegységet tartalmazó tételekben (lotokban) történik, és a tételleket a raktárban helyezik el. Egy tétel (lot) gyártásának a műveleti ideje egyenletes eloszlású, 10 és 20 perc között. (3) A termelési eljárásban véletlenszerű meghibásodások tapasztalhatók, amelyek bármilyen időpontban jelentkezhetnek. A meghibásodások közötti idők exponenciális eloszlásúak 200 perces átlaggal, a javítási időközök normális eloszlásúak 90 perces átlaggal és 45 perces szórással. (4) A raktárban (s, S) készletezési politikát alkalmazunk, az újrendelési pont $s=150$ egység, a célszint $S=500$ egység. (5) Az ügyfelek (vevők) érkezési időközöi egyenletes eloszlásúak 3 és 7 óra között, és az ügyfelek igényei ugyancsak egyenletes eloszlást mutatnak 50 és 100 egység között és egész számú mennyiségek.



1. ábra: Az egytermékes termelési/készletezési rendszer vázlata
(Forrás: saját szerkesztés)

Az ügyfél érkezéskor a készletet ellenőrizzük, és ha elegendő készlet van a raktárban, akkor az igényt azonnal kielégítjük. Különben csak részlegesen, és a kielégítetlen igény elveszik. A nyitókészlet 250, ezért a termelési folyamat a szimuláció kezdetén tétlen.

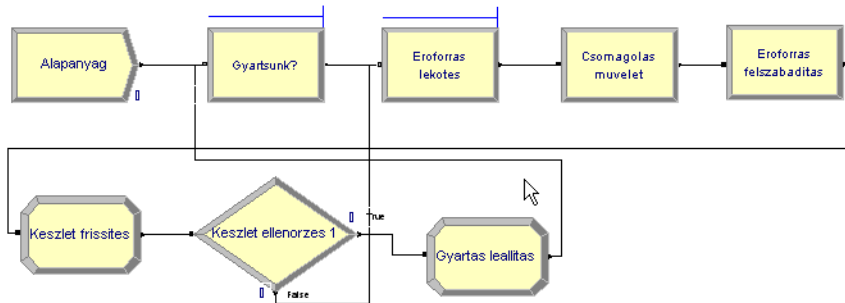
A modellezés eredményeként, következő kimenő paramétereket szeretnénk megismerni: (1) A termelési folyamat kihasználtsága. (2) A termelőeszköz (palackozó) javítási idejének valószínűsége. (3) Az átlagos készletszint a raktárban. (4) A nem teljes mértékben kielégített ügyfelek aránya. (5) A nem teljes mértékben kielégített ügyfelekre vonatkoztatott átlagos elvesztett igény.

A probléma leírását és tanulmányozását követően építettük fel a 2. ábrán látható egytermékes termelési/elosztási rendszer **Arena** modelljét.

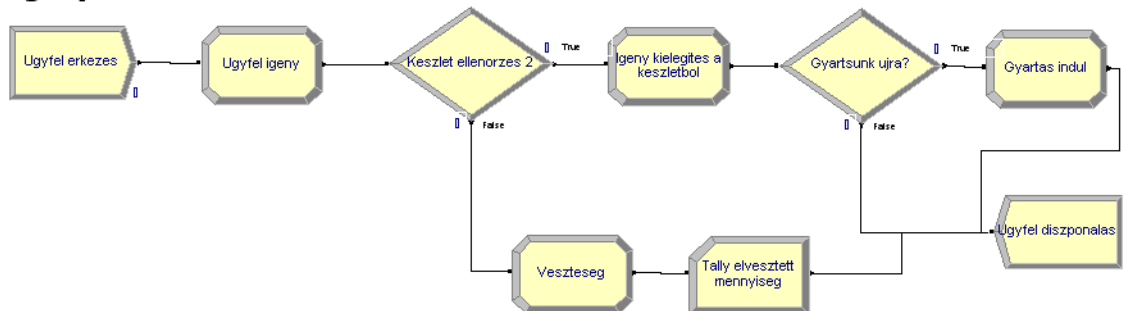
A modell két szegmensből áll: (1) **Utánpótlás menedzsment szegmens** a termékegység entitásokat követi nyomon. Az entitás definíciókat táblázatnézetében a **Basic Process** panelen elérhető **Entity** adatmodulban vizsgálhatjuk és szerkeszthetjük. A modellben csomagolási folyamatot **Seize**, **Delay** és **Release** modulok realizálják, amelyben a **Seize** modulban a nyersanyag egységek az erőforrásra („*Csomagoló*”) várakoznak, amikor az erőforrás felszabadul a **Delay** modulban elkezdődik a csomagolás. A csomagolás után, amelynek a tétel nagysága (batch mérete) δ , a **Release** modulban felszabadítjuk az erőforrást. A „*Készlet frissítés*” nevű **Assign** modulban a pillanatnyi készletet a tétel nagysággal (δ ttel) növeljük, majd a „*Készlet ellenőrzés 1*” nevű **Decide** modulban döntünk a gyártás (csomagolás) folytatásáról vagy leállításáról a készletszint nagyságától függően. Ha a készlet nagyobb vagy egyenlő, mint a célszint ($S=500$ egység), akkor a gyártást leállítjuk, különben a gyártás folytatódik. A gyártás leállítása addig tart, amíg a készletszint el nem éri az újrendelési pontot ($s=150$). A vezérléshez a *Gyartas* nevű, 0 és 1 értékű döntési változót használjuk, amelynek az értékét a

„Gyartás leállítás” nevű **Assign** modulban változtatjuk meg. A változó értékét a „Gyartunk?” nevű **Hold** modulban vizsgáljuk, ha a változó értéke 0, akkor a gyártás áll, és akkor indul újra, amikor az értéke 1-re változik. A modellben azt feltételezzük, hogy a nyersanyag korlátlan mennyiségben mindig rendelkezésre áll. (2) **Igéymenedzsment szegmens** generálja az ügyfeleket és az igényeiket, valamint változtatja a készletszintet az igények kielégítését követően. A „Gyartunk újra?” nevű **Decide** modulban ellenőrizzük a készletszintet, és ha a készletszint az újrendelési pontig ($s=150$), vagy az alá csökken, akkor a gyártást újraindítjuk. A ki nem elégített részigényeket, és a részben kielégített ügyfelek számát is nyomon követjük.

Utánpótlás menedzsment



Igéymenedzsment



2. ábra.: Az egytermékes termelési/készletezési rendszer **Arena** modellje
(Forrás: saját szerkesztés)

Az input és output adatok mindkét szegmensben vegyesen fordulnak elő. Logikailag a szegmensek input/output-modulokból állnak (változók, erőforrások, statisztika, stb.), beállítják az inputváltozók kezdeti értékeit, statisztikát számolnak, és összefoglaló jelentéseket hoznak létre.

4. A szimuláció kimenete

A 3. ábra szemlélteti az egytermékes termelési/készletezési modell működését jellemző 1.000.000 perc (alig kevesebb, mint két év) hosszúságú szimuláció futásának eredményeit.

A *Tally* szekcióban megjelenő *Elvesztett mennyiség Per Ugyfel* kifejezés szerint a veszteséget szenvedett ügyfelekre vonatkoztatott átlagos veszteség (ki nem elégített mennyiség) 26 termékegység. A Half Width oszlopban látható érték (1,23023) a 95%-os konfidencia intervallum fele.

A *Time Persistent* szekcióban látható *Pillanatnyi keszlet* változó Maximum oszlopából (504,77 egység) az olvasható ki, hogy a pillanatnyi készletszint esetenként meghaladja a célszintet ($S=500$). Ez azonban csak ritkán fordul elő, mivel a *Gyartas* változó (ugyancsak a *Time Persistent* szekcióban) az idő 99,72%-ban egyenlő 1-gyel, vagyis a termelés működik. A

készlet szint az idő jelentős hányadában alacsony volt, az átlagos készlet 105,89 egység alacsonyabb, mint az újrendelési pont ($s=150$ egység).

12:07:10 **User Specified** július 13, 2010

Egytermékes készletezés Replications: 1

Replication 1 Start Time: 0,00 Stop Time: 1 000 000,00 Time Units: Minutes

Tally

Expression	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Elvesztett mennyiség Per Ugyfel	25.8155	1,23023	0.02391793	88.9450

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Gyartás aktív	0.9972	(Insufficient)	0	1.0000
Pillanatnyi készlet	105.89	15,43815	0	504.77

Output

Output	Value
Átlagos igény	75.0329
Veszteség arány	0.2230

12:05:15 **Frequencies** július 13, 2010

Egytermékes készletezés Replications: 1

Replication 1 Start Time: 0,00 Stop Time: 1 000 000,00 Time Units: Minutes

Folyamat állapot	Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent
BUSY	3,320	207.69	68.95	68,95
FAILED	3,324	92.7096	30.82	30,82
IDLE	10	229.72	0.23	0,23

3. ábra: Az egytermékes termelési/készletezési modell szimulációjának eredményei
(Forrás: saját szerkesztés)

Az *Output* típusú *Veszteség* arány statisztika szerint azoknak az ügyfeleknek az aránya, akik csak részben lettek kielégítve, vagy egyáltalán nem 22,4%.

Végül, a *Frequencies* szekció mutatja a termelési folyamat (BUSY, FAILED és IDLE) állapotainak a valószínűségeit. Ezek rendre, 68,95% (az erőforrás kihasználtság), 30,82% (az állásidő valószínűsége) és 0,23% (a tételen állapot valószínűsége). Vegyük észre, hogy az átlagos működési idő és az átlagos állásidő nagyon közel áll az elméleti értékhez (ebben az esetben az állásidő valószínűsége egyenlő az állásidő várhatóértékével, ami azonos a várt ciklus hosszával).

A bemutatott modell birtokában megvizsgálhatjuk, hogy az input paraméterek változtatásával miként javítható a vevőkiszolgálás színvonala. A kérdés, hogyan módosítsuk a rendszert ahhoz, hogy a veszteség valószínűségét elfogadható szintre csökkentsük. Erre elvileg két lehetőségünk is van. Az egyik az újrendelési szint növelése, ami várhatóan az átlagos készlet szint növekedését eredményezi, a másik pedig a termelés biztonságának a javítása az állásidő csökkentésével. E vizsgálat eredményeit terjedelmi korlátok miatt nem részletezzük, csupán megjegyezzük, hogy a javasolt módszerek segítségével a veszteség (a nem teljes mértékben kielégített ügyfelek hányada) jelentősen csökkenthető.

Summary

From modelling viewpoint a supply-chain system is a network, which extents from the production to the vendors. Theoretically, this network also consists of nodes and arcs, that is mediated by the flow of entities. The nodes represent the suppliers, manufacturers, distribution centres and retailers, concerning their inventory facilities for storing their products. The arcs connecting the nodes are the roads, on which commodities are delivered on a various manner, like on a public road, railroad, air corridors, etc. The study presents it, how it is possible to model these network structures (which can be handled difficultly analytically) with simulation.

IRODALOM

1. Arena Professional Reference Guide, Rockwell Software Inc., 2000.
2. Benkő J. (2009): Kanban-rendszerű anyagellátás modellezése Arena szimulátorral. Gépgyártás, XLIX. évfolyam, 2009. 4. szám.
3. Kelton, W. D., Sadowski R. P., Sturrock, D. T.(2004): Simulation with Arena., Mc Graw Hill Higher Education, ISBN 0-07-285694-7.

Publikálva:

Logisztikai Évkönyv 2011, Magyar Logisztikai Egyesület, 2011., 13-18 p.