

SZENTMIKLÓSI Miklós

# VÁLLALATI TERVEZÉS ÉS SOROZATNAGYSÁG

A dolgozat arra vállalkozik, hogy megpróbálja rendszerezni a sorozatnagyságról szóló hatalmas irodalmat. Mivel kötegelési döntések a termelésben és az elosztásban mindenütt születnek, ez azt jelenti, hogy ezeket a döntéseket széleskörűen változó körülmények között, különböző, többdimenziós célok alapján hozzák. A dolgozat célja a sorozatnagyság-meghatározási döntések és modellek szükségességének bizonyítása és fejlődésének bemutatása.\*

Hagyományosan a termék ára és minősége határozza meg alapvetően a vállalatok versenypozícióját. Napjainkban, amint azt a japán vállalatok sikerei igazolják, az idő, a pontos szállítás és a vevők változó igényeire történő gyors reagálás képessége jelent dinamikus versenyelőnyt (Stalk, 1988; Stalk – Hout, 1990; Stalk – Webber, 1993). A vállalatok versenyerejének kulcsa a termék hozzáférhetősége és megbízhatósága lett. Ezért fontos cél a raktározási és termelési származtatási idő csökkentése. A hozzáférhetőség és megbízhatóság a vállalat alapvető folyamatának eredménye. Ez a folyamat azokból a rendszerekből és tevékenységekből áll, amelyek értéket adnak a vevők számára készült termékekhez és szolgáltatásokhoz. Sok vállalatnál az anyagok és termékek áramlása az alapvető folyamat, következésképpen a javak áramlásának termelékeny és hatékony irányítása nagy hangsúlyt kapott.

A gyártási rendszerek egyik lehetséges osztályozása a gyártás típusa szerint folyamatos, illetve ismétlődő termelést különböztet meg. A folyamatos vagy tömeggyártás során raktárra termelnek nagy mennyiségben, standard termékeket. Az ismétlődő vagy váltakozó gyártást másképp sorozatgyártásnak vagy kötegelt termelésnek nevezzük, ami akkor fordul elő, ha

a termelési folyamat igényli a kötegelt termelést (például sütés a kemencében), vagy ha kereslet nem elegendően nagy a folyamatos gyártáshoz.

A kötegelés az azonos időben szállításra vagy feldolgozásra kerülő tételek összegyűjtése. A kötegelést az irodalomban sorozatnagyság meghatározásnak is nevezik. Ez időben ütemezett termelést indukál, amely általában nincs szinkronban a tényleges fogyasztás vagy kereslet ütemezésével. Így a kötegelés rendszert cikluskészletet vagy újrendelést eredményez (amit negatív készletnek is nevezünk), vagy végleg elvész a ki nem elégített kereslet. Sok termék veszi igénybe ugyanazokat a gépeket, ami időnként szükségessé teszi a gépek átállítását egyik termék termeléséről a másikra. Ez költségeket okoz, a kötegelés gazdaságossági okokból mégis előnyös lehet. Nagyobb mennyiség előállítása kevesebb sorozatindítást és ehhez kapcsolódó gépbeállítást vagy átállítást igényel. Gazdasági haszon származhat az átállítások számának csökkentéséből a termelési és egyéb erőforrások hatékonyabb kihasználása révén.

A készlettartás vagy új sorozat indítása (átállítások) közötti választás lehetősége, figyelembe véve a költség- és kiszolgálás-hatékonyt, alapvető jelentőségű a sorozatnagyság meghatározásban. A sorozatnagyság probléma és annak modellezése nem új keletű, valószínűleg a legismertebb ezen a területen az EOQ (Gazdaságos Rendelési Mennyiség, azaz a gaz-

\* A tanulmány a Sipos Béla által vezetett OTKA T 034101 kutatás keretében készült.

daságos sorozatnagyság) modellje, melyet eredetileg Harris (1913) mutatott be. Az EOQ-modell a készletezés és az új sorozatok indítása következtében szükséges gépátállítások közötti választás lehetőségével foglalkozik. A kis mennyiségű termelés kevesebb készletelési költséggel jár (például tárolási költségek, a készlettartás kamatköltségei stb.), ugyanakkor több átállításra van szükség, ami az erőforrások kevésbé hatékony felhasználását eredményezi. Az EOQ-modellek a sorozatindítási költségeket fix beállítási költségekként kezelik. Azokat a modelleket, amelyek a készletezés és a sorozatindítások közötti választás lehetőségével foglalkoznak, kötegelési vagy sorozatnagyság meghatározási modelleknek nevezzük. Annak ellenére, hogy az EOQ-modelleket megalapozó feltevések eléggé korlátozó jellegűek (konstans kereslet ráta, sorozatnagyságtól független és konstans termelési származtatási idő, konstans költségtényezők), rendkívül nagy hatása van az irodalomra. A gyakorlatban biztosan ez a legszélesebb körben alkalmazott termelésstervezési modell. Az EOQ-modell bevezetése óta rengeteg modellt fejlesztettek ki, melyek témája szintén a sorozatindítás és a készletezés közötti választás, miközben lazították az EOQ-modell néhány feltevését.

Sorozatnagyság meghatározásával kapcsolatos döntéseket, tudatosan vagy anélkül, mindenütt hoznak a vállalati szervezetben, melyek összetett módon erősen befolyásolják a szervezet kulcsterületeinek teljesítményét az anyag és információ áramlásában és tárolásában. Nem meglepő tehát, hogy hatalmas irodalma van a sorozatnagyság kutatásának. Így egy tanulmány korlátozott keretei között lehetetlen kimerítő áttekintést adni a témakörrel.

A kötegelési modellek általános áttekintését adja Tinarelli (1983), De Bodt – Gelders – Van Wassenhove (1984), Bahl – Ritzman – Gupta (1987), Hackman – Leachman (1989), Salomon (1991), Goyal – Deshmukh (1992) Potts – Van Wassenhove (1992) és Kuik – Salomon – Van Wassenhove (1994). A sorozatnagyság meghatározási modellek speciális területét foglalják össze a következők: a kötegelési modelleket dinamikus kereslet mellett De Bodt – Gelders – Van Wassenhove (1984), a sztochasztikus modelleket Porteus (1990), illetve a korlátozott kapacitású modelleket Bahl – Ritzman – Gupta (1987) és Salomon (1991).

Tanulmányunk szerkezete a következő. A második pontban osztályozzuk a sorozatnagyság meghatározási döntéseket és tevékenységeket a hozzájuk kapcsolódó döntési szint és a döntési horizont alapján. A harmadik részben a sorozatnagyság modellek alkotóelemeit tárgyaljuk, majd különleges szerepük miatt, a kapacitáskorlát hatását elemezzük. A negyedik pontban a keres-

let és a kapacitás alapján csoportosítjuk a modelleket. A kötegelési modellekkel kapcsolatos gyakran hallható kritikai megjegyzéseket ismertetjük az ötödik részben. Végül a hatodik pontban összefoglaljuk következtetéseinket és véleményünket a sorozatnagyság kutatás távlatairól.

### A kötegelési döntések kapcsolódása a vállalati döntési szintekhez

Az alapvető javak áramlásának folyamatát az input-átalakítás-output alrendszerekből álló hálózat tartja fenn, melyek együtt alkotják a vállalat teljes áruáramlási rendszerét.

A termelésstervezésben hozott döntéseket, sok kutató eljárását követve, három szintre oszthatjuk. Stratégiai tervezés, taktikai tervezés és operatív tervezés (Hax – Candea, 1984; Silver – Peterson, 1985; Kuik et al, 1994).

#### Stratégiai tervezés

A stratégiai tervezés során meghatározzuk a vállalat küldetését, átfogó céljait, és kiválasztjuk a célok eléréséhez szükséges erőforrásokat. A stratégiai döntések rendszerint hosszú távú beruházásokat igényelnek, melyek döntően befolyásolják a vállalat jövőjét, időhorizontjuk több mint két év. A főbb feladatok: a technológia kiválasztása, a termékfejlesztés és a megfelelő kapacitások létrehozása az anyag-, termék- és információáramlás lebonyolítására. A stratégiai terv tartalmazza a döntést a tervezési és irányítási koncepció típusáról, a rendszer tevékenységeinek elrendezéséről. Az ezen a szinten hozott döntések korlátokat jelölnek ki a taktikai és az operatív tervezésre és irányításra: ezek határozzák meg a tevékenység tervezésének és irányításának bizonyos paramétereit és lehetőségeit.

A stratégiai terv szintjén meghatározott paraméterek egyike a termelés mennyiségi egysége, azaz a legkisebb mennyiség egy gyártási művelet folyamán. Ez a termékegység lehet például a tartály, a kemence mérete, a futószalag szállítókosójának vagy a konténernek a nagysága. A taktikai tervezés szintjén meghatározott kötegelési (sorozat) méretek rendszerint egész számú többszörösei a termelés mennyiségi egységének. Ha stabilak a környezeti feltételek, az e szinten meghatározott termeléspolitikai paraméterek lehetnek továbbá: a termelési ciklus hossza, a tervezési horizont és a ciklus gyakorisága tételenként. Ezeket a mennyiségeket, elvileg, a termelési-elosztási rendszer fizikai jellemzői közvetlenül nem determinálják, és ezért, ismét elvileg, gyakrabban változtathatók. Az

ilyen típusú döntési modellekben rendszerint stationárius, sőt konstans feltételeket alkalmaznak, lásd például Elmaghraby (1978), Vergin – Lee (1978), Zipkin (1986) és Roundy (1986). Legújabb példák a kötegeléssel foglalkozó tanulmányok közül a stratégiai terv területéről: Zipkin (1991) és Golhar – Sarker (1992).

#### *Taktikai tervezés*

Taktikai tervezés szintjén az erőforrások hatékony és termelékeny felhasználásáról döntünk. Ez az aggregált tervezés szintje, ahol a tételeket termékcsaládokba vonjuk össze termelési vagy marketingjellegzetességük alapján.

Az aggregált termelés tervezés képezi a tevékenységtervezés kiindulópontját. Az aggregált tervezés, többek között, a munkaerő szintekkel, túlórával és az alvállalkozási szerződések kötésével foglalkozik. Az igényeket olyan aggregált mutatókkal méri, mint például a termelési munkaóra, időhorizontja egy-két év. Az aggregált tervezést tárgyalja, pl. Hax – Candea (1984), Silver – Peterson (1985). A tanulási hatást is magában foglalja Kroll – Kumar (1989). Az aggregált termelés tervezési folyamatának áttekintését adja Nam – Logendran (1992).

#### *Operatív tervezés*

A legrövidebb időhorizontra vonatkozó döntéseket az operatív terv szintjén hozzák. Ezek a döntések részletes információkat igényelnek. A legfontosabb feladatok az operatív tervezés és tevékenységirányítás területén: a munkák sorrendjének és ütemezésének (kezdési és befejezési idejének) meghatározása.

A tevékenységprogramozás és a tevékenységirányítás együtt azokra a döntési szintekre vonatkoznak, ahol a termelési mennyiségeket és ütemezéseket határozzák meg gördülő tervhorizontot tekintve, az aggregált termelési terv és a keresletre vonatkozó részletesebb információ alapján. A termelés programozásának időhorizontja rövidebb, mint az aggregált termelési tervé, rendszerint három-hat hónap. A rendelkezésre álló kapacitásokat, mint a munkaerőszintek vagy a rendelkezésre álló gépidő, gyakran fixnek tekintik az időszak folyamán. A termelés programozásakor a műveleteket ütemezzük, a tervezett termelési mennyiségeket nagyobb időegységekben határozzuk meg (pl. nap vagy hét).

A gyártási erőforrás-tervezés (MRP) az ilyen termelés programozási rendszer klasszikus példája. Már az ötvenes évektől kezdve nagy figyelem irányult az MRP-hez hasonló rendszerekre (Afentakis – Gavish – Karmarkar, 1984; Billington et al, 1986; Afentakis –

Gavish, 1986). Ezek a tanulmányok a többszintű rendszerekkel foglalkoznak, azaz olyan alapvető folyamatokkal, amelyeket sok, anyagáramlással összekapcsolt input-átalakítás-output rendszerekből álló alrendszerekből állnak. Természetesen az egyszintű rendszer elemzését is folytatták. Az egytermékes, korlátlan kapacitású rendszer klasszikus példája Wagner – Whitin (1958). A legutóbbi években sok tanulmányt szenteltek a Wagner – Whitin rendszer kibővítésének vizsgálatára, beleértve a több tételt és a korlátozott kapacitásokat, lásd: Dixon – Silver (1981), Maes – Van Wassenhove (1986), Zangwill (1987) és Jain – Silver (1994).

A tevékenységirányítás finomítja és kibővíti a tevékenységprogramozást olyan munkairányítási döntésekkel (Hill, 1991), mint terhelés (a munkák kiosztása a gépekre), sorba rendezés (a munkák elkészítési idejének meghatározása) és ütemezés (a munkák kezdési és befejezési idejének meghatározása). A tevékenységirányítás révén a termelési egységek vagy osztályok bizonyos mérlegelési lehetőséget kapnak a kívánt terhelések, sorba rendezések, ütemezések megállapítására.

A programozott rendelések igényeket váltanak ki a komponensek rendelkezéseire, a tervezett szükségletek kielégítése érdekében. Így a tevékenységprogramozás a komponens termelésének tevékenységirányításához vezet. Zárt ciklusú rendszerben a tevékenységirányításban felmerült kapacitásproblémákat vissza-csatolhatjuk a tevékenységprogramozás funkcióhoz a tevékenységek újraprogramozása érdekében, hogy a kapacitás túlterhelését elkerüljük. Így kétségtelül erős kölcsönhatás van a termelés programozása és a tevékenység irányítása között, lásd pl. Dobson – Karmarkar – Rummel (1987, 1992), Monma – Potts (1989), Potts – Van Wassenhove (1992) és Dillenberg et al. (1994). Az átlapoló műveletek részletes ütemezése sorozat-megosztással optimális időfelhasználást tesz lehetővé (Glass – Gupta – Potts, 1994). Ha a sorozatindítási időt is tekintetbe vesszük, az ütemezési feladat nagyon nehéz (Monma – Potts, 1989).

A folyamattervezés és -irányítás két módon kapcsolódhat az adott folyamat tevékenységeihez (Kuik et al, 1994):

- közvetlen (hands-on vagy on-line) tervezés és irányítás,
- közvetett (hands-off azaz off-line) tervezés és irányítás révén.

Közvetlen (on-line) tervezés és irányítás esetén a folyamat „utasításokat” kap a végrehajtás során, annak befejezése előtt. Ezzel ellentétben közvetett (off-line) tervezéskor a kikötéseket a folyamat indítását megelőzően tesszük meg, és nem avatkozunk be a

folyamat befejezéséig. A tevékenységtervezés és -irányítás a közvetlen tervezéshez kapcsolható, a stratégiai tervezés a közvetett tervezéshez.

Minden döntési szinten fontos eszköz a sorozatnagyság meghatározása, melynek révén a menedzsment befolyásolni tudja a feldolgozási folyamatot, a biztonsági és cikluskészlet, valamint a származtatási idő, illetve az átfutási idő alakulását. Ezek hatást gyakorolnak a működési költségekre, a termékínáltra, ezáltal a működés profitabilitására.

### A sorozatnagyság meghatározási modellek alkotóelemei

Az irodalomban a termelésstervezési modellek széles körű változatait találjuk. A modellek megkülönböztetése az alapjukat képező feltevések szerint történhet (Salomon, 1991; Kuik – Salomon – Van Wassenhove, 1994). Megkülönböztethetünk normatív, illetve leíró modelleket.

Általában modellezésekor háromféle korlátot kell figyelembe vennünk:

- anyagáramlási és anyag-átalakítási korlátokat,
- az anyag és a termék rendelkezésre állásának korlátait,
- kapacitáskorlátokat.

Ezekben belül a sorozatnagyság meghatározási döntések célja a teljesítmény -mutatók optimális értékének elérése. A korlátok és egyéb alkotóelemek modellezését tekintjük át részletesebben a következőkben. (Gavish – Johnson, 1990; Tielemans, 1996).

A modell paraméterei egzogen mennyiségek, melyek állandóak maradnak a modell működése során. Ezzel ellentétben, az endogen változókat a modell végrehajtása során határozzuk meg, értékük a modell outputja. Először el kell döntenünk, mely mennyiség lesznek paraméterek és melyek a változók. Ha egy mennyiséget paraméternek tekintünk, ez azokat a feltételeket tükrözi, melyeket stacionáriusnak vagy előre meghatározottnak tartunk a döntési eljárás folyamán. A választás, vajon egy mennyiséget paraméternek vagy változónak tekintünk-e, a döntési szinttől függ. Például a kapacitás, melyet a tevékenységirányítás szintjén konstansnak tekintünk, változónak tekinthető a stratégiai tervezésben.

#### Tervezési horizont és időskála

A tervezési horizont azon időintervallum, amely alapján megfogalmazzuk a feltevéseket a keresletről, a termelésről, és mérjük a teljesítményt. A tervezési horizont lehet véges vagy végtelen. A végtelen tervezési horizont rendszerint stacionárius keres-

lettel, a véges tervezési horizont dinamikus kereslettel jár.

Az időskála lehet folyamatos, vagy feloszthatjuk diszkrét tervezési periódusokra. Az utóbbi esetben az egész számot az időintervallum indexének tekinthetjük. Diszkrét időskála esetén a valós világ folytonos időben történő eseményeit és döntéseit át kell alakítani a diszkrét időskálának megfelelően.

Kis időegységek alkalmazásakor olyan modellt alkothatunk, melyben legfeljebb egy tétel állítható elő tervezési periódusonként, így a gépbeállítások átvihetők egyik időszakról a következőre. Másrészt nagyobb időegységek használata olyan modellhez vezet, melyben több tételt termelünk tervezési periódusonként, és ezért a beállításokat nem könnyű átvinni egyik periódusról a következőre, ha egy tétel gyártása két egymást követő periódusban történik.

#### Kereslet

A keresletet majdnem mindig egzogen mennyiségnek tekintjük, azaz a modell inputját képezi, lehet determinisztikus vagy sztochasztikus. Ha az igény időben változó, dinamikus keresletről beszélünk. A determinisztikus állandó keresletet konstansnak nevezzük, aminek sztochasztikus megfelelője a stacionárius kereslet idősor.

A stacionárius vagy konstans típus jellegzetesen a folytonos időhorizonthoz kapcsolódik. A második szemléletmód esetén a keresletet az idő függvényében periódusról periódusra határozzuk meg.

#### Kiszolgálási politika

A kiszolgálási politika határozza meg, hogy megengedjük-e a hiány előfordulását a modellben. Ezt az anyag és a termék rendelkezésre állását kifejező korlátokkal határozhatjuk meg. A 100%-os kiszolgálási politika azt jelenti, hogy a tervezési horizont folyamán az összes keresletet időben kielégíti a termelési-elosztási rendszer. Így nem keletkezik negatív készlet egyik tételből sem. Ha a keresletet sztochasztikus paraméterként modellezzük, nagyon költséges lehet a kiszolgálási politikát 100% közelébe állítani. Ezért gyakran feltöltési aránnyal fejezzük ki, vagy a hiány előfordulásának évente megengedett maximális számával. Ha az igényt nem elégítjük ki kellő időben, meg kell határozni, hogy ezt a keresletet milyen mértékben rendelhetjük újra, és később szállítjuk, vagy veszteségnek tekintjük.

#### Erőforrás-korlátok

Ha az erőforrások kapacitáskorlátai nem megszorító, vagy költségként modellezzük azokat a célfügg-

vényben, a modellt korlátlan kapacitásúnak mondjuk. Ha a modell a kapacitáskorlátokat explicit módon tartalmazza, korlátozott kapacitásúnak nevezzük. Ha a kapacitáskorlát fennáll, azt a modell egzogén vagy endogén tényezőjének tekinthetjük: azaz az erőforrások rendelkezésre álló mennyisége vagy adott, vagy meghatározandó (például, ha a túlóra lehetőségét beépítjük). A rendszer kapacitását általában a stratégiai tervezés vagy az aggregált tervezési szinten hozott döntések határozzák meg. Mivel a sorozatnagyság elemzésével gyakran a tevékenységprogramozás és -irányítás foglalkozik, a kötegelési modellek a rendelkezésre álló kapacitásokat rendszerint paramétereknek tekintik, nem döntési változóknak.

A kapacitás módosítása révén a rendszer viselkedése és teljesítménye megváltoztatható, ezért később bővebben és részletesebben tárgyaljuk azokat a módokat, ahogyan a modellek a kapacitást kezelik.

#### Származtatási idő

A vállalat célja mindig működésének nyereségesége és versenyelőnyök szerzése. Ennek érdekében a marketing igyekszik kielégíteni a vevők igényeit és kívánságait mindinkább testre szabott termékekkel. Az utóbbi évtizedben, különösen a japán vállalatok sikerei nyomán, nagy hangsúlyt kapott az idő, mint verseny-tényező (Stalk, 1988; Stalk – Hout, 1990). A termelési vonal szélesítése az egyedi igényeknek megfelelő termékek gyártása céljából – ugyanannak a termelési rendszernek és termelési politikának fenntartásával – szükségyszerűen magas készlethez vezetne, ami költségekkel jár. A készletek csökkentésének módja a rendelkezésre termelési politikája. A verseny megváltozott: az ár és minőségi verseny mellett előtérbe került a testre szabott termékek versenye a szállítási időben. A csökkentő termékéletciklus is a származtatási idő rövidítését követeli.

A rövid származtatási idő lehetővé teszi a gyors reagálást a vevők dinamikusan változó igényeire, csökkenheti a szükséges biztonsági készlet nagyságát. Lehetővé teszi a gyorsabb piacra lépést a termék-innovációkkal, és ezáltal kezdetben nagyobb piacrészesedéshez juthat a vállalat. A pénzáram ciklus hossza rövidül, ha csökken az erőforrásra fordított kiadások és a bevételek beáramlása közötti idő (Tielemans, 1996). A sorozatnagyság meghatározási modellekben lehetnek egzogén vagy endogén származtatási idők (Kuik – Tielemans, 1996).

Egzogén származtatási idők keletkezhetnek az átalakítási folyamat következtében: például a festék száradása bizonyos fix időtartam alatt, vagy külső tényezők következtében, mint például a vásárlási idő miatt.

Sok statisztikai készletezési modell, mint például az (s, Q) és (s, S), lásd pl. Silver – Peterson (1985), fix, egzogén származtatási időket tételez fel. Az MRP-rendszerek modelljeiben is gyakran alkalmaznak egzogén származtatási időket. Másrészt az endogén származtatási idők a műveletek ütemezésének, és így a kötegelési döntéseknek a következményei.

A gyakorlatban azonban, és ennek következtében sok modellben, a származtatási idők az egzogén és endogén elemek keverékei.

#### A termelési szerkezet

Az input-átalakítás-output alrendszerek két alapvető módon lépnek kölcsönhatásba. Az egyik kölcsönhatás a korlátozott kapacitású erőforrások közös felhasználása. A másik fő kölcsönhatási mód a munkáramlásból származik: az egyik input-output-átalakítási rendszer anyagi eredménye a másik rendszer inputjaként szolgál.

A munkáramlási kölcsönhatásokat matematikailag az anyagáramlási és -átalakítási korlátok reprezentálják. Ezek a korlátok határozzák meg azokat az állomásokat, melyeken keresztül az input anyagokat output anyagokká alakítják át, és azt, hogy mennyi anyagra és termékre van szükség (gyártási készletként).

A munkáramlási összefüggéseket gyártási hálódiagrammal ábrázolhatjuk. Ebben az irányított hálózatban az input-átalakítás-output rendszerek a csomópontok. Az input-output összefüggések a folyamatterveknek megfelelően határozzák meg a háló összekötő vonalait.

A termelési szerkezetet egyszintűnek nevezzük, ha az anyagokat kívülről szállítják a modellbe, azaz az áruáramlási hálózat csak különálló csomópontokat tartalmaz. (A csomópontok kölcsönhatásban lehetnek a korlátozott kapacitás következtében, azaz több input-átalakítás-output rendszer használhatja ugyanazt az erőforrást (gépet). Ezt a helyzetet modellezi többek között az egyszintű, többtermékes korlátozott kapacitású sorozatnagyság modell: a CLSP.

Az olyan struktúrák, melyekben legalább egy csomópont pár input-output vonallal össze van kapcsolva, többszintű termelési szerkezetek. Ezeket tovább csoportosíthatjuk a hálózat típusa alapján:

- a) a soros struktúra olyan összekapcsolt hálózat, melyben minden csomópontoz legfeljebb egy bemenő és egy kimenő vonal tartozik,
- b) az összeszerelő struktúra olyan hálózat, ahol minden csomópontnak legfeljebb egy kimenete van, és
- c) fajlegű a gyártási szerkezet, ha minden csomópontoz legfeljebb egy bemenő vonal tartozik.

Ha egy adott termelési szerkezet egyik fenti kategóriába sem illik bele, általános struktúrának nevezük. Ha a gyártási tételek javíthatók, a termelési szerkezetben ciklusok lehetnek: azaz a tételek visszatérhetnek a felhasználás után.

### Célfüggvény

A modellek célja általában az időegységre jutó költségek minimalizálása. A költségek között szerepelhetnek a készletezés (kamat, adó, tárolási, biztosítási) költségei, a hiány előfordulásának költségei. Némely modellben figyelembe veszik a munkaerőhöz kapcsolt költségeket (törvényes munkaidő, túlóra, felvétel, elbocsátás költségvonzata). A gépek beállításainak, átállításainak költségei a kötegelési modellek alapvető elemei.

A különböző sorozatnagyság meghatározási modellek a tevékenységeket és teljesítményeket lényegesen eltérő módon alakítják át költségekké. Valójában a költségeket a tevékenységhez és a teljesítményekhez rendelő módszerek párhuzamosak azokkal a módokkal, ahogyan a kapacitás felhasználása összekapcsolódik a tevékenység- és teljesítményszintekkel.

Így a költségfüggvény lineáris reagálást modellez a) a kapacitás-felhasználás, vagy a termelés üteme, illetve készletpozíció, és/vagy b) a beállítások/átállítások gyakorisága között.

Bizonyos sorozatnagyság meghatározási modellekben a fizikai teljesítményeket nem alakítják át pénzületi értékekké, hanem közvetlen célként határozzák meg. A költségek helyett a feldolgozási, származtatási időt tekintik a teljesítménymérés eszközének, és a sorbanállási elméletet alkalmazzák sztochasztikus termelési modellekben (Karmarkar, 1987; Tielemans, 1996).

Fizikai mutatókat alkalmaznak a maximális elkészítési időt, a maximális késést, a teljes elkészítési időt vagy a teljes késedelmet minimalizáló célfüggvények (Monma – Potts, 1989; Potts – Van Wassenhove, 1992).

### A korlátozott kapacitás hatása

Modellszerkesztési szempontból nincs alapvető különbség a korláttípusok között. A kapacitáskorlátok modellezésekor azonban néhány alapvetően eltérő választás szükséges. Növekvő tevékenység szint, elegendő rendelkezésre álló anyag mellett növeli az input-átalakítás-output rendszer kibocsátási rátáját addig, amíg a rendszer bizonyos része nem telítődik, azaz kapacitáskorlátba ütközik.

A kapacitáskínálatot rendszerint az idő függvényében modellezzük, meghatározva az időegység alatt rendelkezésre álló erőforrás-egységeket. A kapacitásigény modellezése összetettebb feladat. Először el kell dönteni, hogyan fordítjuk le az átalakítási tevékeny-

séget kapacitás (erőforrás) fogyasztássá időegységként, annak érdekében, hogy meghatározzuk az erőforrással ellátható tevékenységeket. A kapacitásigényt a következő két elv szerint modellezzük:

- a kapacitásigényt a tevékenység szint lineáris függvényének tekintjük,
- a kapacitásigény a tételenként szükséges gépbeállítások/átállítások számának lineáris függvénye.

A modell szerkesztése sokkal nehezebb, ha elemzési és tervezési célból akarjuk futtatni a modellt. A beállításból/átállításból származó kapacitásfogyasztást tartalmazó modelleket nehéz megoldani. Következésképpen az ilyen modellezésének két hátránya lehet:

- a) A modell viselkedését majdnem olyan nehéz megérteni, mint a rendszer viselkedését önmagában, az eredmények szilárdságának, megbízhatóságának értékelése nem könnyű.
- b) Hosszú idő szükséges a modell megoldásához; a modell viselkedésének összehasonlítása változó körülmények (keresletsémák, kiszolgálási követelmények) között nagyon időigényes, és ez csökkenti a modell gyakorlati hasznosíthatóságát a döntéshozatali folyamatokban.

A fenti nehézségek elkerülésére két lehetőség adódik:

Az első lehetőség, hogy nem keressük a modell egzakt megoldását. Ehelyett „intelligens hüvelykujj szabályt”, úgynevezett heurisztikát fejlesztenek ki, amely remélhetőleg a modell jó, de nem szükségszerűen optimális megoldását adja.

A másik fő módszer a modell megváltoztatása: igyekeznek követni a rendszer kapacitáskorlátokra reagáló viselkedését. A gépbeállítás/átállítási döntésekből származó kapacitásfogyasztás modellezése helyett büntető költséget adnak a célfüggvényhez, azaz a gépbeállítás költségeit építik be a beállítási idők helyett.

A sorozatnagyság döntések erősen módosítják a műveletek gyakoriságát és ütemezését, miközben az utóbbit gyakran rosszul alakítják át kapacitásfogyasztássá és erőforrás-felhasználássá, beállítási költségekkel helyettesítve a beállítási időket. Így a módszer érvényessége kérdéses, különösen, ha a rendszer erősen leterhelt és a beállítási idők nem elhanyagolhatók. A gépbeállítás költséget alkalmazó közelítésmód kritikáját lásd például Karmarkar (1987) és Karmarkar – Kekre – Kekre (1992) tanulmányában.

### A kötegelési modellek csoportosítása a kereslet és a kapacitás alapján

A korlátozott vagy korlátlan kapacitás képezi a sorozatnagyság meghatározási modellek osztályozásának egyik szempontját. A másik a kereslet modelle-

zésének módja: a modellek feloszthatók a jövőbeni kereslet feltételezett ismertsége szerint. Mint már említettük, a keresletet stacionárius sztochasztikus (sőt konstans) paraméterként modellezik, vagy dinamikus (időtől függő, de ismert) paraméterként. E két dimenzió szerinti tipologizálást mutatjuk be az 1. táblázatban (Kuik – Salomon – Van Wassenhove, 1994). A kötegelési modellek részletesebb csoportosítását megtalálhatjuk az említett tanulmány függelékében.

1. táblázat

## A kötegelési modellek osztályozása

Kereslet	Kapacitás	
	Végtelen	Véges
Stacionárius (és konstans)	EOQ SIC	ELSP Sorban állás/Kötegelés
Dinamikus	(többszintű) WW	(többszintű)-CLSP DLSP Kötegelés/Ütemezés

A 2. táblázatban irodalmi példákat sorolunk fel az egyes modell típusokra.

## Irodalmi példák a különböző modell típusokra

Modelltípus	Irodalmi példa
EOQ: Gazdaságos Rendelési Mennyiség modellje	Harris (1913), Hax – Candea (1984), Silver – Peterson (1985) Erlenkotter (1989)
SIC: Statisztikai Készletezés	Hadley – Whitin (1963), Silver – Peterson (1985)
ELSP: Gazdaságos Sorozat Ütemezési Probléma	Elmaghraby (1978), Hsu (1983), Anderson (1990), Dobson (1987), Zipkin (1991)
Sorban állás/ Kötegelés: Sorban állási elméleten alapuló modellek	Karmarkar (1987), Jönsen – Silver (1985), Lee – Zipkin (1992)
(többszintű)- WW: Többszintű Wagner – Whitin típusú modellek	Afentakis – Gavish (1986), Vörös – Chand (1992), Chand – Sethi (1990), Vörös (1995)
(többszintű)- CLSP Többszintű Kapacitáskorlátos Kötegelési Probléma	Dixon – Silver (1981), Billington – McClain – Thomas (1986), Maes – McClain – Van Wassenhove (1991), Kuik – Salomon – Van Hoesel – Van Wassenhove (1993)
DLSP: Diszkrét Kötegelési és Ütemezési Probléma	Fleischmann (1990) Salomon – Kuik – Kroon – Van Wassenhove (1991) Van Hoesel – Kolen (1994)
Kötegelés/Ütemezés:	Potts – Van Wassenhove (1992), Dauzere–Peres – Lassere (1994)

A táblázatokban azokat a modelleket, melyekben a származtatási idő nem függ a műveletek ütemezésétől, végtelen kapacitású modelleknek tekintjük. Természetesen a származtatási idők gyakran jeleznek véges kapacitást egy adott folyamatnál. Mégis itt az a lényeg, hogy a modell viselkedése a származtatási időket illetően független a tevékenységi szinttől, azaz független a hozott döntésektől. Konkrétan, egzogénnek tekintjük a kapacitást a döntéshozatal színhelyéhez képest.

Másrészt a véges kapacitású modellek a kapacitást aktívnak tekintik, legyen az adott vagy meghatározandó, a döntéshozatal helyszínén: ily módon ezekben a származtatási időket mindig endogénnek tekintjük.

A sorban állási elméleten alapuló, a dinamikus (sztochasztikus) programozási és a vegyes egészértékű-lineáris programozási modellek a legkiemelkedőbbek a sorozatnagyság meghatározás modellezésének területén.

A kötegelési elemzés, amely felhasználja a sztochasztikus sorban állási elméleten alapuló modelleket, rendszerint stacionáriusnak tekinti a rendszer működésének körülményeit: jóllehet a tényleges feltételek adott időpontokban eltérhetnek, a feltételek statisztikailag időben változatlanok. Csak a statisztikai információkat (például átlag, variancia) tételezzük fel ismertnek. Így csak (konstans) statisztikai információkat használhatunk fel a döntéshozatalban. Az elemzés a kötegek stacionárius ütemezését és nagyságát szolgáltatja legjobb megoldásként. Ezért a sorban állási modellek legelőször a stratégiai tervezési szinthez kapcsolódnak, ahol a kötegelési döntéseket (például az

2. táblázat

egység mérete) a közvetett (offline) tervezés és irányítás alapján hozzák.

A sorban állási modellek korlátozott kapacitású modellek. A feldolgozási (kiszolgálási) idők végessége korlátozza a modell kibocsátási rátáját. A korlátozott kapacitás hatásai különösen megmutatkoznak, ha a rendszer kihasználtsága megközelíti a 100%-ot: a gyártási készlet erősen emelkedik, amint a kihasználás megközelíti a 100%-ot, és ennek megfelelően erősen emelkedik a kibocsátás egységére jutó költség.

A determinisztikus modellek lehetnek korlátozott vagy korlátlan kapacitású modellek. A korlátlan kapacitású modellekben gyakran szerepel – ellentétben a sorban

állási modellekkel – a skálahozadék-hatás, amikor is a kibocsátás egységére jutó költség csökken a kibocsátás (kereslet) mennyiségének függvényében. Mivel a vegyes egészértékű-lineáris modellek determinisztikusak, a kapacitás vagy a kereslet paraméter értékeinek ismeretén alapulnak. Ezek a modellek olyan helyzetekben alkalmasak, amikor a rendszer állapota és követelményei numerikus értékek beállításával meghatározhatók. A determinisztikus modelleket a sorozat-

nagyság elemzés mindhárom szintjén alkalmazták: a stratégiai tervezés, a tevékenységtervezés és a tevékenységirányítás területén is.

### Kritikai észrevételek a kötegeléssel kapcsolatban

A sorozatnagyság-kutatások bírálata az utóbbi években a felerősödött. A változó technológiai feltevételek, a verseny erősödése és jellegének megváltozása kikényszerítik a menedzsment problémáinak megoldására szolgáló kötegelési elemzés célszerűségének alapos vizsgálatát.

Mivel mind több terméket a fogyasztók egyéni igényei szerint testre szabnak, megnőtt a végtermékek változatossága. Ennek megfelelően jelentősen nőtt a jellegtelen termékek kínálatának kockázata. Az alacsony készletszintek és rövid származtatási idők előtérbe kerülése új célokat teremtett a vezetés számára, a termelés tervezésében és irányításában vö. Stalk (1988), Stalk – Hout (1990), Stalk – Webber (1993).

Ezenfelül a termelési és információs technológia fejlődése befolyásolta az átalakítási folyamatok és azok koordinációjának alapját képező közgazdaságtudományt. Sok vállalat sikerrel növelte rugalmasságát, ami több átállítást tesz lehetővé. Más vállalatok új vezetési, irányítási módszereket alkalmaztak, mint például a Just-In-Time, melynél a hangsúly a készlet és a sorozatgyártás okainak kiküszöbölésén van. Azok a vállalatok, melyek megfelelően elsajátították az új vezetési módszereket és az új technológiákra épülő eszközök alkalmazását, csökkenteni tudták készleteiket, miközben kiküszöbölték ennek negatív következményeit, például a költségek növekedését, a termelékenység csökkenését a gépbeállítások számának emelkedése mellett. A sikertényezők egyike a kötegelés alkalmazásának kritikai újraértékelése.

A tapasztalat alapján, hogy alacsony készletszint és rövid termelési átfutás érhető el az összköltség növekedése nélkül, néhány elméleti és gyakorlati kutató úgy gondolja, hogy a készlet/sorozatindítás közötti választás vitatható, lásd pl. St. John (1984), Woolsey (1988) és Weiss (1990), és a sorozatnagyság elemzése elvesztette relevanciáját. Amint az eddig elmondottakból kitűnik, nem értünk egyet ezzel a nézettel.

Az alábbiakban részletesebben foglalkozunk a sorozatnagyság-kutatással kapcsolatos néhány bírálattal.

#### *Rugalmas termelési folyamatok*

Egyes kritikusok szerint annyira rugalmas termelési folyamatokat kell tervezni, hogy a gyártási sorozatok legyenek egyenlők a vevők által igényelt

mennyiségekkel, és a termelés ütemezése olyan, hogy a készletek majdnem zérók.

Ez a kritika nem mondja meg, hogyan kezeljük a készlet/sorozatindítás közötti választást, hanem azt állítja, felesleges ezzel foglalkozni. A technológiai fejlődés gyorsulása, amire korábban már utaltunk, néhány lehetőséget teremtett az ilyen eliminációra. A felismerés lényege az, hogy a vállalat sikerének kulcsa a rugalmasság.

A sorozatnagyság-kutatás nem vitatja ennek ésszerűségét. Igyekszik kihasználni a rugalmasság előnyeit, arra serkentve a vállalatokat, hogy a költség – kiszolgálás határán dolgozzanak (például minimális költséggel működjenek meghatározott kiszolgálási szinten). A rugalmasság révén, a költség – kiszolgálás határ elmozdul. Érthető módon a modellek alapjának változása módosítja a modellek szerkesztésének és alkalmazásának jellegét.

Ha igaz is az állítás, hogy a gépbeállítások kis kapacitást vagy időt igényelnek a technológiai fejlődés következtében, a gyakori átállítások még mindig negatívan befolyásolhatják a kibocsátás minőségét és lassíthatják a feldolgozást. Ezért olyan modellekre van szükség, melyek megfogalmazzák a sorozatnagyság és a minőség közötti összefüggést. A lényeg az, jóllehet a költség – kiszolgálás határ elmozdul, a fejlődés nem törli el a határt önmagában.

Következésképpen, amikor stratégiai vagy taktikai, illetve operatív döntéseket kell hoznunk, a sorozatindítás/készlet közötti választás lehetősége nyilvánvalóan fennmarad.

Bizonyos termelési folyamatokban (pl. festékgyártás) túl költséges, sőt technikailag megvalósíthatatlan Just-In-Time megállapodásokat kötni a szállítókkal, illetve idővesztés nélkül átállítható gyártóvonat tervezni. Ilyen körülmények között a kötegelés továbbra is fontos kérdés marad.

Előfordulhat, hogy a vevő kereslete időben nagyon hullámzik, ugyanakkor a rendelkezésre álló kapacitás csak kis időbeli változtatást tesz lehetővé (pl. korlátozott túlóra vagy/és alvállalkozói kapacitás miatt). Így a kereslet bizonyos időszakokban túllépheti a termelési kapacitást. A pontos szállítás érdekében az ilyen periódusok keresletét a korábbi időszakok termeléséből kell kielégíteni, ez ismét kötegelési és készletezési döntéseket igényel.

#### *Kölcsönhatások a folyamat elemei között*

Ahhoz, hogy bármelyik modell használható legyen, mindig szükség van a valóság bizonyos absztrakciójára. Például néhány klasszikus sorozatnagyság modellben (a Gazdaságos Rendelési Mennyiséghez kapcsoló-



dó modellek, a Wagner – Whitin típusú modellek) a termelési mennyiségeket a fix és változó termelési költségek és a készletezési költségek közötti választás alapján határozzák meg, adott kiszolgálási politika mellett, azaz a kapacitást nem veszik figyelembe. Bizonyos termelési környezetben ez adekvát és releváns modell. Más körülmények között a modell esetleg egyáltalán nem használható.

A sorozatnagyság meghatározásának bonyolult problémája, hogy a kötegelési stratégia a teljes stratégia, és a vezetési folyamat része. Az új kötegelési közelítésmódokat gyakran követik új munka- és menedzsmentfolyamatok. A kötegelési politika áttekintése történhet olyan kutatás részeként, amely az átmenetet vizsgálja az úgynevezett toló (push) tervezésről és stratégiáról a húzó (pull) rendszerre. A JIT-rendszer tekinthetnének kötegelési stratégiának, de több annál. Maga után vonja az új húzó vezetési, minőségellenőrzési rendszer kialakítását, amely befolyásolja a termék/folyamat minőségét és a dolgozó bevonását a döntésekbe.

A legutóbbi sorozatnagyság-kutatást, amely szerint az MRP logika felülmúlja az újrendelési pont logikákat (Axsäter – Rosling, 1994), és az MRP logika jobb az egyéb módszereknél, ha pozitív korreláció van a bruttó igények prognóza és a megvalósult kereslet között (Jacobs – Whybark, 1992), ki kell egészíteni azzal a megfontolással, hogy a sorozatnagyság-meghatározás csak egy része a termelési környezetről alkotott átfogó képnek.

#### *A költség paraméterek érvényessége*

A hagyományos könyvelési módszerek célja alapvetően az eszközök áramlásának rögzítése a vállalatnál. Következésképpen az információkat a költségekről és egyéb inputokról nem a sorozatnagyság-meghatározási döntéseknek megfelelő formában és részletezettséggel mérik. Sok tervezési, irányítási tudomány és a matematikai modellezés is szembekerül ezzel a problémával.

Az optimalizálási folyamat során ezért óvatosnak kell lennünk, amikor megpróbáljuk meghatározni a kötegelési döntések hatását a pénzügyi teljesítményre. Mégis elkezdhetjük a mennyiségi modellezést, tekintet nélkül az inputok formájának és részletezettségének adekvát jellegére. A modellezés folyamán és az eredmények értékelése során kell azzal a kérdéssel foglalkozni, hogy mi az inputok adekvát jellegének és részletezettségének elegendő mértéke. Meg kell állapítanunk a modell eredményének érzékenységét a különböző paraméter-értékekre. Így az inputok korlátozottsága nem gátolja sorozatnagyság-meghatározási tanulmányok végzését. Ellenkezőleg a kötegelési tanulmá-

nyok rámutathatnak a teljesítmény kritikus dimenzióira, ami gondos mérlegelést és mérést igényel. Karmarkar – Rummel (1990) tanulmánya bővebben tárgyalja az összefüggést a sorozatnagyság-meghatározás és a költségek könyvelése között.

#### *A kötegelési modellek bonyolult megoldási módszerei*

Felvetik azt is, hogy a sorozatnagyság-modellek és azok megoldási eljárása túl bonyolult, és nem hatékony a gyakorlati alkalmazásuk.

Az biztosan igaz, hogy a kötegelési problémák megoldására kifejlesztett modellek közül néhány túl bonyolult ahhoz, hogy megértsék azok, akik nem szakértők az optimalizálás területén. De sok esetben a felhasználóknak és a döntéshozóknak nem kell részletesen ismerniük a belső folyamatokat.

Ezért a kérdés nem az, hogyan értik meg a termelés tervezők az alkalmazott modellek és algoritmusok részleteit. A valós kérdés az, hogy a modell kifejezze a kötegelési eljárások hasznosságát és megbízhatóságát a gyakorlati szakemberek számára, kölcsönhatás jöjjön létre a tervezési gyakorlat és a sorozatnagyság-kutatások között.

#### *A kötegelés mai fejlődési irányjai*

A kötegelés az operációkutatási technikákat és elméletet alkalmazza, olyan rendszerek kifejlesztése érdekében, melyek a döntéshozatal támogatják a termelési és elosztási menedzsment területén. A kifejlesztett rendszerek többsége számítógépre alapozott. A kötegelés részt vesz és visszahat az operációkutatás elméletében elért eredményekre, a számítási és telekommunikációs kapacitás fejlődésére, és a tevékenységirányítás fejlődésére. Például az utóbbi évtizedben a vegyes egészértékű-lineáris programozás területén kutatók növekvő erőfeszítéseket tettek olyan poliédrikus feltételrendszerek létrehozására, mint az „érvényes egyenlőtlenségek” vagy vágósíkok, amelyek mellett az LP lazítás optimumhelye azonos a megoldandó feladat optimumhelyével. Ezek az eredmények kibővítették a sorozatnagyság – problémák modelljeit, lásd például – Pochet (1991) és Pochet – Wolsey (1991). Ugyanakkor a klasszikus kötegelési problémákra is folyamatosan nagy figyelmet fordítottak, és meglepő új eredményeket értek el. Például már ismert a klasszikus Wagner – Whitin probléma megoldása lineáris időben (Aggarwal – Park, 1993; Federgruen – Tzur, 1991; Wagelmans – Van Hoesel – Kolen, 1992). Szintén viszonylag könnyen kiszámítható megoldásokat kaptak a többszintű EOQ problémára (Roundy, 1986).

A költségparaméterek becslésének bizonytalanságát küszöbölik ki a fizikai mutatók. A determinisztici-

kus kapacitáskorlátos modellek nem veszik figyelembe, hogy a gyakorlatban, magas kihasználtsági fok mellett, a munka beérkezésének bizonytalansága következtében nagy sorban állási késés keletkezik. Ezt a sorban állási elmélet és az erre épülő sztochasztikus modellek írják le megfelelően, ezen a területen is további fejlődés várható.

A sorozatnagyság-meghatározás mint praktikus elmélet jövőjét alapvetően meghatározza kölcsönhatása annak alkalmazási területén bekövetkező eseményekkel és változásokkal.

Már említettük, hogy erősödik az igény a gyors reagálásra, ezért úgy gondoljuk a hagyományos kötegelési elemzés és modellezés kiegészül a következő témakörökben végzett elemzéssel és modellezéssel:

Nagyobb hangsúlyt fog kapni a fizikai teljesítmény és a gyors reagálási képesség. Az áruáramlási rendszer közvetlen teljesítménye fizikai: az áramlási idők és a készletszintek. A pénzügyi teljesítmény a fizikai teljesítmény következménye. Nagyon nehéz lehet azonban felfedni a kettő közötti időbeli és oksági összefüggést, különösen dinamikus környezetben.

A visszacsatolás és befolyásolhatóság hangsúlyozása felkeltheti az érdeklődést a rendszer stabilitása (megbízhatósága) vagy a rendszer ideiglenes viselkedése (dinamikus körülmények között) és a kötegelés közötti kölcsönhatása iránt.

A változó korlátok alapos elemzése előtérbe kerül. Sok rendszerkorlát és paraméterérték abból a feltevésből származik, hogy a rendszer környezetének bizonyos feltételei állandóak. A környezet gyors változása kényszeríti ki a lehetőségek és az eredmények alaposabb vizsgálatát és összehasonlítását („optimális megoldások”) a korlátokra és a paraméter értékekre tekintettel.

A nem klasszikus tényezők modellezésének fejlődését mutatja a 3. táblázat (Kuik et al, 1994).

3. táblázat

## A kölcsönhatások modellezésének fejlődése

Modell jellegzetesség	Irodalmi példa
Gépbeállítási idő	Dobson (1992)
Származtatási idő, késés, megmunkálás	Lee – Zipkin (1992)
Gépkarbantartás	Groenevelt – Pintelon – Seidman (1992)
Minőség és tanulás	Chand (1989), Kroll – Kumar (1989), Chand – Sethi (1990), Dolinsky – Vollman – Maggard (1990), Porteus (1990)
Termékszerkezet és rugalmasság	Bahl – Taj – Corcoran (1991), Hum – Sarin (1991), De Groote (1994)
Munkaütemezés	Coffman et al, (1990)

Várható, hogy a kötegelési kutatások gyorsan bővülni fognak heurisztikusan elemezhető komplex modellek alkotásával. A „jó” megoldás meghatározását követően a heurisztika fejlesztésének legfontosabb célja szilárdságának és könnyen követhető logikájának (nem számítási részleteinek) a biztosítása, például a döntéstámogatási rendszerben történő felhasználásra, a döntéshozók számára (Afentakis – Gavish, 1986; Cattrysse et al, 1993; Chand – Vörös, 1992; Kuik – Salomon, 1990; Kuik et al, 1993; Vörös – Chand, 1992; Chand – Sethi, 1990; Vörös, 1995).

Sorozatnagyság-kutatások meglehetősen hosszú ideje folynak, de változnak az idők, és ha a feltételek változnak, új közelítésmódokat kell keresni. A kötegelés nem veszítette el a jelentőségét, a sorozatnagyság-kutatás gyorsan alkalmazkodik a változó körülményekhez.

## Felhasznált irodalom

- Afentakis, P. – Gavish, B. (1986): Optimal lotsizing algorithms for complex product structures. *Operations Research* 34/2, pp. 237-249.
- Afentakis, P. – Gavish, B. – Karmarkar, U. S. (1984): Computationally efficient optimal solutions to the lotsizing problem in multistage assembly systems. *Management Science* 30/2, pp. 222-239.
- Aggarwal, A. – Park, J. K. (1993): Improved algorithms for economic lot size problems. *Operations Research* 41/3, pp. 549-571.
- Axsäter S. – Rosling, K. (1994): Multi – level production-inventory control: Material requirements planning or reorder point policies? *European Journal of Operational Research* 75, pp. 405-412.
- Bahl, H. C. – Ritzman, L. P. – Gupta, J. N. D. (1987): Determining lot sizes and resource requirements: A review. *Operations Research* 35/3, pp. 329-345.
- Bahl, H. C. – Taj, S. – Corcoran, W. (1991): A linear programming model formulation for optimal product-mix in material-requirements-planning environments. *International Journal of Production Research* 29/5, pp. 1025-1034.
- Billington, P. J. – McClain, J. O. – Thomas, L. J. (1983): Mathematical programming approaches to capacity-constrained MRP-systems: Review, formulation and problem reduction. *Management Science* 29/10, pp. 1126-1141.
- Billington, P. J. – McClain, J. O. – Thomas, L. J. (1986): Heuristics for multilevel lotsizing with a bottleneck. *Management Science* 32/8, pp. 989-1006.
- Cattrysse, D. – Salomon, M. – Kuik, R. – Van Wassenhove, L. N. (1993): A dual ascent and column generation heuristic for the discrete lotsizing and scheduling problem with setup times. *Management Science*, 39/4, pp. 477-486.
- Chand, S. – Sethi, S. P. (1990): A dynamic lotsizing model with learning in setups. *Operations Research* 38/4, pp. 644-655.
- Chand, S. – Vörös, J. (1992): Setup cost stability region for the dynamic lotsizing problem with backlogging. *European Journal of Operational Research* 58, pp. 68-77.
- De Bodt, M. A. – Gelders, L. F. – Van Wassenhove, L. N. (1984): Lotsizing under dynamic demand conditions: A review. *Engineering Costs and Production Economics* 8, pp. 165-187.
- De Groote, X. (1994): Flexibility and product variety in lotsizing models. *European Journal of Operational Research* 75, pp. 264-274.
- Dillenberger, C. – Escudero, L. F. – Wollensak, A. – Zhang, W. (1994). On practical resource allocation for planning and schedu-

- ling with period overlapping setups. *European Journal of Operational Research* 75, pp. 275-286.
- Dobson, G. – Karmarkar, U. S. – Rummel, J. L. (1987): Batching to minimize flow times on one machine. *Management Science*, 33/6, pp. 784-799.
- Elmaghraby, S. E. (1978): The economic lot-scheduling problem (ELSP): Reviews and extensions. *Management Science* 24, pp. 587-598.
- Federgruen, A. – Groenevelt, H. – Tijms, H. C. (1984): Coordinated replenishment in a multi-item inventory system with compound Poisson demand. *Management Science* 30/3, pp. 344-357.
- Gavish, B. – Johnson, R. E. (1990): A fully polynomial approximation scheme for single-product scheduling in a finite capacity facility. *Operations Research* 38/1, pp. 70-83.
- Glass, C. A. – Gupta, J. N. D. – Potts, C. N. (1994): Lot streaming in three-stage production processes. *European Journal of Operational Research* 75.
- Golhar, D. Y. – Sarker, B. R. (1992): Economic manufacturing quantity in a just-in-time delivery system. *International Journal of Production Research*, 30/5, pp. 961-972.
- Goyal, S. K. – Deshmukh, S. G. (1992): Integrated procurement-production systems: A review. *European Journal of Operational Research* 62, pp. 1-10.
- Hackman, S. T. – Leachman, R. C. (1989): A general framework for modeling production. *Management Science* 35/4, pp. 478-495.
- Hadley, G. – Whitin, T. M. (1963): *Analysis of Inventory Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Harris, F. W. (1913): How many parts to make at once. *Factory, The Magazine of Management*, 10/2, pp. 135-136.
- Hax, A. C. – Candea, D. (1984): *Production and Inventory Management*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Jacobs, R. F. – Whybark, D. C. (1992): A comparison of reorder point and material requirements planning inventory control logic. *Decision Sciences*, 23, pp. 332-342.
- Karmarkar, U. S. (1987): Lot sizes, lead times and in-process inventories. *Management Science* 33/3, pp. 409-418.
- Karmarkar, U. S. – Rummel, J. L. (1990): The basis for costs in batching decisions. *Journal of Manufacturing and Operations Management* 3, pp. 153-176.
- Karmarkar, U. S. – Kekre, S. – Kekre (1992): Multi-item batching heuristics for minimization of queuing delays. *European Journal of Operational Research* 58, pp. 99-111.
- Kroll, E. – Kumar, K. R. (1989): The incorporation of learning in production planning models. *Annals of Operations Research* 17, pp. 291-304.
- Kuik, R. – Salomon, M. (1990): Multi-level lot-sizing problem: Evaluation of a simulated annealing heuristic. *European Journal of Operational Research* 45, pp. 25-37.
- Kuik, R. – Salomon, M. – Van Wassenhove, L. N. – Maes, J. (1993): Linear programming, simulated annealing and tabu search heuristics for lotsizing in bottleneck assembly system. *IIE Transactions* 25/1, pp. 62-72.
- Kuik, R. – Salomon, M. – Van Wassenhove (1994): L. N.: Batching decisions: structure and models. *European Journal of Operational Research* 75, pp. 243-263.
- Kuik, R. – Tielemans, P. F. J. (1996): *Time in system analysis of a single machine multi-item processing center*. Management Report Series 251, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, Netherlands.
- Monma, C. L. – Potts, C. N. (1989): On the complexity of scheduling with batch setup times. *Operations Research* 37/5, pp. 798-804.
- Nam, S. – Logendran, R. (1992): Aggregate production planning: A survey of models and methodologies. *European Journal of Operational Research* 61, pp. 255-272.
- Pochet, Y. (1988): Valid inequalities and separation for capacitated economic lot-sizing. *Operations Research Letters* 7, pp. 109-115.
- Pochet, Y. – Wolsey, L. A. (1991): Solving multi-item lot-sizing problems using strong cutting planes. *Management Science* 37/1, pp. 53-67.
- Porteus, E. L. (1990): Stochastic inventory theory. in: D. P. Heyman – M. J. Sobel (ed.): *Handbooks in OR and MS., Volume 2*, Elsevier, Amsterdam, pp. 605-652.
- Potts, C. N. – Van Wassenhove (1992): Integrating scheduling with batching and lotsizing: A review of algorithms and complexity. *Journal of the Operational Research Society* 43/5, pp. 395-406.
- Ricter, K. – Vörös, J. (1989): On the stability region for the multi-level inventory problem. *European Journal of Operational Research* 41/2, pp. 169-174.
- Roundy, R. (1986): Rounding off to power of two in continuous relaxations of capacitated lot sizing problems. *Management Science* 35/12, pp. 1433-1442.
- Salomon, M. (1991): *Deterministic Lotsizing Models for Production Planning*, Volume 356 of *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Salomon, M. – Kroon, L. G. – Kuik, R. – Van Wassenhove, L. N. (1991): Some extensions of discrete lotsizing and scheduling problem. *Management Science* 37/7, pp. 801-812.
- Salomon, M. – Kuik, R. – Van Wassenhove, L. N. (1993): Statistical search methods for lotsizing problems. *Annals of Operations Research* 41, pp. 453-468.
- Silver, E. A. (1992): Changing the givens in modeling inventory problems: The example of just-in-time systems. *International Journal of Production Economics* 26, pp. 347-351.
- Silver, E. A. – Peterson, R. (1985): *Decision Systems for Inventory Management: and Production Planning*, Wiley, New York.
- Stalk, F. (1988): Time: the next competitive advantage. *Harvard Business Review*, July-August, pp. 41-51.
- Stalk, F. – Hout, T. M. (1990): *Competing against Time-How Time-Based Competition Reshaping the Global Markets?* The Free Press, New York.
- Stalk, F. – Webber, A. M. (1993): Japan's dark side of time. *Harvard Business Review* 71/4, pp. 93-102.
- St. John, R. (1984): The evils of lotsizing in MRP. *Production and Inventory Management Journal*, Fourth Quarter, pp. 75-85.
- Tielemans, Peter F. J. (1996) *Lead Time Performance in Manufacturing Systems*. PhD thesis, Erasmus University Rotterdam.
- Tinarelli, G. U. (1983): Inventory control: Models and problems. *European Journal of Operational Research* 14, pp. 1-12.
- Vergin, R. C. – Lee, T. N. (1978): Scheduling rules for the multiple product single machine system with stochastic demand. *Infor* 16/1, pp. 64-73.
- Vörös, J. – Chand, S. (1992): Improved lot-sizing heuristics for multi-stage inventory models with backlogging. *International Journal of Production Economics* 28, pp. 283-288.
- Vörös, J. (1993): Termelés management. *JPTE Kiadó, Pécs*.
- Vörös, J. (1995): Setup cost stability region for the multi-level dynamic lot-sizing problem. *European Journal of Operational Research* 87, pp. 132-141.
- Wagner, H. M. – Whitin, T. M. (1958): A dynamic version of the economic lot size model. *Management Science* 15, pp. 506-527.
- Wagelmans, A. P. M. – Van Hoesel, C. P. M. – Kolen, A. W. J. (1992): Economic lot-sizing: A  $O(n \log n)$  algorithm that runs in linear time in the Wagner-Whitin case. *Operations Research* 40/Supplement 1, pp. 145-156.
- Weiss, E. N. (1990): Lot sizing is dead: Long live lot sizing. *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter, pp. 76-78.
- Wolsey, G. (1988): A requiem for the EOQ: An editorial. *Production and Inventory Management Journal* Third Quarter pp. 68-72.
- Wolsey, L. A. (1995): Progress with single-item lot sizing. *European Journal of Operational Research* 86, pp. 395-401.
- Zipkin, P. H. (1986): Models for design and control of stochastic multi-item batch production systems. *Operations Research* 34/1, pp. 91-104.