10.15477/SZE.MMTDI.2013.005

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Tápler Csaba

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar

2012

10.15477/SZE.MMTDI.2013.005

Tápler Csaba

Diverzifikált nagysorozatú termelést támogató termelésszervezési és ellátási modellek továbbfejlesztése

Doktori értekezés

témavezető:
Dr. Hartványi Tamás
Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar,
Logisztikai és Szállítmányozási Tanszék

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése
Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

TARTALOMJEGYZÉK

1 A KUTATÁS BEMUTATÁSA, CÉLKITŰZÉSEI 5

1.1 A KUTATÁSI TÉMA VÁLASZTÁSÁNAK INDOKAI 5

1.2 KUTATÁSI MÓDSZERTAN 6

2 KUTATÁSI TERÜLET ÁTTEKINTÉSE 7

2.1 TERMELÉSI RENDSZEREK SAJÁTOSSÁGAI, TRENDEK 7

2.1.1 Üzemi berendezések alapstruktúrája 7

2.1.2 Gyártási folyamatok tömegszerűsége 9

2.1.3 Igény szerinti tömeggyártás 10

2.1.4 Az igény szerinti tömeggyártás informatikai támogatása 12

2.1.5 Gyors reagálású termelési rendszerek 19

2.2 TERMELÉSI ÉS ANYAGÁRAMLÁSI VEZÉRLÉSI MECHANIZMUSOK 20

2.2.1 Push típusú rendszerek 22

2.2.2 Pull típusú rendszerek 24

2.2.3 Hibrid rendszerek 35

3 TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI PROBLÉMAKÖR 42

3.1 A TERMELÉSKISZOLGÁLÁS ELHELYEZÉSE A LOGISZTIKAI RENDSZERMODELLBEN 42

3.1.1 Megrendeléskezelési folyamat 42

3.1.2 Korszerű raktári, termeléskiszolgálási informatikai rendszer 45

3.1.3 Nyomonkövetési funkciók 46

3.2 TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI RENDSZEREK TRADE-OFF SZITUÁCIÓI 51

3.2.1 Beszállítói csomagolásméret meghatározása 52

3.2.2 Komissiózási tételnagyság vizsgálata 53

3.2.3 Kanban mennyiség és kanban szám 53

3.2.4 Nyomonkövetési beruházások szintjének kiválasztása 54

3.2.5 Szérianagyság 55

3.2.6 Gyártási köteg méret 55

3.2.7 Termelés átfutási idő 56

3.2.8 Gépek kapacitáskihasználása 56

3.2.9 Anyagmozgató gépek 56

4 OPTIMÁLIS TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI KÖTEGMÉRET MEGHATÁROZÁSA 57

4.1 BESZÁLLÍTÓI CSOMAGOLÁSI EGYSÉGEK OPTIMALIZÁLÁSA 58

4.2 OPTIMÁLIS SZÉTCSOMAGOLÁSI DARABSZÁM MEGHATÁROZÁSA 66

4.3 A KÉT KISZOLGÁLÁSI ÚTVONALTÍPUST INTEGRÁLÓ MODELL 79

5 AZ INVERZ ANYAGÁRAMLÁS VIZSGÁLATA 84

6 A MODELL KITERJESZTÉSE TÖBBLÉPCSŐS TERMELÉSI FOLYAMATRA 91

7 A MODELL KITERJESZTÉSE KÜLÖNBÖZŐ VEZÉRLÉSI MECHANIZMUSSAL IRÁNYÍTOTT RENDSZEREKRE ... 95

7.1 A MODELL MÓDOSULÁSA KÜLÖNBÖZŐ KISZOLGÁLÁSI VEZÉRLÉS TÍPUSOK ESETÉN ... 96

7.1.1 Gyártósori készletszint alakulása MRP és kanban vezérlés esetén ... 96

7.1.2 Kiszolgálás előkészítési költségek (utánpótlási idő) alakulása MRP és kanban vezérlés esetén .. 99

7.1.3 Visszavételezési mennyiségek alakulása MRP és kanban vezérlés esetén ... 100

7.2 A MODELL MÓDOSULÁSA KÜLÖNBÖZŐ TERMELÉS VEZÉRLÉS TÍPUSOK ESETÉN ... 101

8 TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI RENDSZEREK INFORMATIKAI FEJLESZTÉSÉNEK MEGTÉRÜLÉSE ... 106

8.1 ANYAGMOZGATÓ ALRENDSZER ... 108

8.2 RAKTÁROZÁS ... 109

8.3 GYÁRTÁSI FOLYAMATOK ... 110

8.4 HUMÁN-ERŐFORRÁS ... 112

8.5 INFORMATIKA ... 113

8.6 KOCKÁZAT ... 114

8.7 MENEDZSMENT RÁFORDÍTÁSOK ... 116

8.8 KÖLTSÉGEK SZÁMÍTÁSA ... 117

9 ÚJ KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE ... 119

1. TÉZIS ... 119

2. TÉZIS ... 119

3. TÉZIS ... 119

4. TÉZIS ... 120

5. TÉZIS ... 120

10 TOVÁBBI KUTATÁSI CÉLOK KIJELÖLÉSE ... 121

11 IRODALOMJEGYZÉK ... 122

12 ÁBRAJEGYZÉK ... 132

13 TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE ... 134

14 MELLÉKLETEK ... 135

14.1 RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE ... 135

14.2 MODELL TESZTADATOK ... 138

14.2.1 1. modellezési lépés ... 138

14.2.2 2. modellezési lépés ... 138

14.3 KÜLÖNBÖZŐ PULL VEZÉLÉSI RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA ... 140

1 A KUTATÁS BEMUTATÁSA, CÉLKITŰZÉSEI

A termelő vállalati szektor számára az utóbbi néhány évtized közül szinte mindegyik egy új irányadó vevőkiszolgálási stratégiát hozott. E stratégiák innovatív taktikai és operatív módszerek kidolgozására ösztökélte a szakembereket, kutatókat. Jelenleg a diverzifikált nagysorozatú termelést támogató rugalmas gyártórendszerek térhódítása zajlik. Számtalan kutatás foglalkozik az ilyen rendszerek termeléstervezési, ütemezési kérdéseivel. Mind üzemi, mind ellátási lánc szinten is kutatják az egyes termelési vezérlési, illetve vevőkiszolgálási stratégiák alkalmazásának hatásait. Aránylag kevés azon kutatások száma, melyek a termeléskiszolgálást mint rendszert vizsgálják, még kevesebb, melyek a termelést és a termeléskiszolgálást integrált rendszerként kezelik.

A célom olyan modellek kidolgozása volt, melyek segítenek feltárni az integrált termelési és termeléskiszolgálási rendszerek összefüggéseit és képesek az operatív tervezési folyamatok támogatására is.

1.1 A KUTATÁSI TÉMA VÁLASZTÁSÁNAK INDOKAI

A termelésütemezési problémák vizsgálatával számtalan kutatás foglalkozik, leginkább összpontosítva a széria átfutási időkre, a termelőeszközök kapacitáskihasználására és az átállási veszteségekre. A piaci verseny miatt végbement és jelenleg is tartó változások az agilis gyártórendszerek létrejöttét eredményezték, amely alatt olyan termelési rendszert értünk, amely rugalmasan képes reagálni a hirtelen változó vevői igényekre. Mind az agilitás, mind a tömegszerűség, az olcsó fajlagos ráfordítások iránti igény a mai gyártórendszerek jellemzőivé váltak, a vállalatok versenyképességének megőrzése érdekében. A gyártórendszerek tulajdonképpen igény szerinti tömeggyártást végeznek. Témaválasztásommal igyekeztem olyan szűk tudományterületet megcélozni, mellyel viszonylag kevés kutatás foglalkozik, ilyen terület a diverzifikált nagysorozatú, rugalmas gyártórendszerek kiszolgálásának problémái. A témaválasztásnál további indok, hogy termeléskiszolgálási problémákkal logisztikai tanácsadói/elemzői munkáim során gyakran foglalkoztam:

6 éve foglalkozom logisztikai rendszerek kontrolling feladataival, tervezésével, tanácsadással. 2006-ban egy multinacionális elektronikai vállalat alkalmazásában egy összeszerelő üzem logisztikai mérnöki feladatait láttam el, ami főleg a raktári és termeléskiszolgálási rendszerek logisztikai - informatikai támogatását jelentette. Ekkor szembesültem a kiszolgálási

folyamatok kritikusságával, a termelési folyamatokkal való szoros kooperáció szükségességével, illetve a rengeteg rendszerparaméterrel, amelyek megfelelő beállításával a kívánt működés elérhető.

2007-2008-ban vállalatirányítási rendszerek konzulensi támogatásával foglalkoztam, mely során a termelési és kiszolgálási folyamatok informatikai hátterére nyertem alaposabb rálátást. E korábbi munkatapasztalataim is mind befolyásolták a szakmai érdeklődési köröm termeléskiszolgálási rendszerek irányába történő eltolódását.

1.2 KUTATÁSI MÓDSZERTAN

A disszertációt a következőek szerint építem fel:

Először a termelési környezet tipizálását, kategorizálását, trendek vizsgálatát végeztem el. A szakirodalom feltérképezése és a gyakorlati tapasztalatok alapján bemutatom a termelési rendszerek jelenleg is zajló, piaci igények és innováció miatti folytonos átalakulás jellemző irányait. Felvázolom a termelési és anyagáramlási vezérlési mechanizmusok alternatíváit, értékelem azok használhatóságát adott környezeti feltételek mellett.

A második részben a termeléskiszolgálás és a termelés szorosan összefonódó kapcsolatrendszerét, összefüggéseit és informatikai támogatását taglalom. Bemutatom a logisztikai trade-off szituációk halmozódását.

A negyedik részben numerikus modellek segítségével vizsgálom többek között a kiszolgálási batch nagyság hatásait az integrált termelési - termeléskiszolgálási rendszer költségekre.

A viszonylag ritkán firtatott visszavételezési folyamatok vizsgálatát is elvégzem a kiterjesztett modell segítségével. Majd folytatom a modell többlépcsős termelési folyamatok és különböző vezérlési mechanizmusok kezelésére való kiterjesztésével.

Végül bemutatok egy beruházás elemzést támogató numerikus modellt.

2 KUTATÁSI TERÜLET ÁTTEKINTÉSE

2.1 TERMELÉSI RENDSZEREK SAJÁTOSSÁGAI, TRENDEK

2.1.1 Üzemi berendezések alapstruktúrája

A termeléskiszolgálási rendszerek kialakításában meghatározó szerepe van az üzem belső térbeli elrendezésének. Az üzemi elrendezés hatással van a kiszolgálási rendszer alábbi jellemzőire [21], [34]:

- Az anyagok (mozgatott egységek) tömege, kiterjedése
- Az anyagok (mozgatott egységek) darabszáma
- A gépek és munkaállomások száma
- Anyagmozgatási távolságok
- Az anyagmozgatás dimenziója (2D, 3D, stb.).

Molnár a belső elrendezés szemléltetésére és tervezésére szolgáló modelleket az alábbi három típusba sorolja [72]:

- Képi modellek
- Analóg modellek
- Formális modellek

Képi modell például a szerkesztett layout. Analóg modell például a „gráfszerű” struktúravázlat. Formális modellezést jelent például, amikor irányorientált vagy nem irányorientált kapcsolati mátrixszal, távolságmátrixszal modellezzük az üzemi kapcsolatokat.
Az elrendezés jellegére lehet következtetni viszonyszámokból is, ilyen pl.: a (1) egyenletben látható kooperációs fok is [72].

$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^{m} k_i}{m} \qquad (1)$$

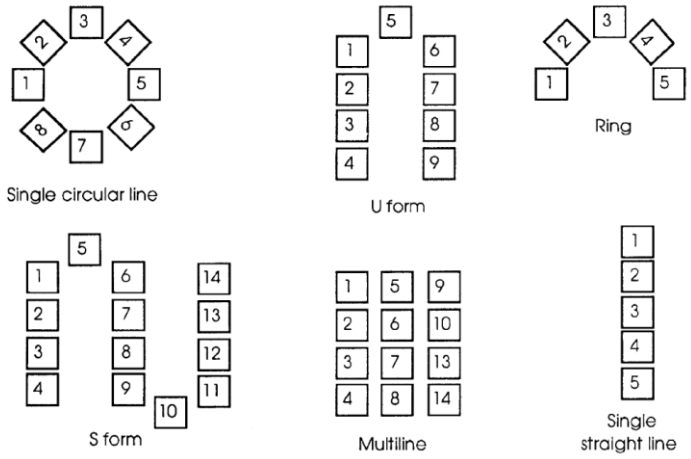
Ahol:

- k_i az i. gép kapcsolatainak számát jelenti
- m a gépek számát jelenti

A termeléskiszolgálási rendszer fizikai kialakításának modellezésekor meg kell határozni, hogy a termelési rendszer milyen fizikai alapstruktúrával rendelkezik. Az elrendezési alaptípusok a következőek:

- Egyedi gépfelállítás
- Soros elrendezés
- Csoportos elrendezés
- Műhelyrendszerű gépfelállítás

Az autóiparban, elektronikai iparban leggyakrabban a vonalas elrendezést alkalmazzák, gyártósorokat, vagy gyártócellákat alakítanak ki. Ezt az elrendezés típust preferálják a lean elvek is az egydarabos áramlás könnyebb megvalósíthatósága miatt. A vonalas elrendezés leggyakoribb típusait az 1. ábra mutatja.



1. ábra: Soros elrendezés leggyakoribb változatai [21]

A fenti elrendezés alaptípusokon túlmenően iparági jellemzők is befolyásolják a layout struktúrát. Az autóiparban, vagy elektronikai összeszerelő üzemek esetében könnyebb kialakítani a termékvonalakat, a lean elveknek megfelelő egydarabos áramlást, emiatt a vonalas/soros elrendezés a legjellemzőbb. Ugyanakkor ki kell hangsúlyozni, hogy az egydarabos áramlás csak látszat, amennyiben a gépek kiegyensúlyozása nincs megoldva, és pufferek alakulnak ki a soros rendszeren belül [69].

A robosztus gépipari technológiák által üzemeltetett berendezések (nehézprések, lézervágók, hőkezelő kemencék) mozgatása, a termelés kiegyensúlyozása, az általuk gyártott termékek egydarabos áramlásának kialakítása nehezebben, illetve magasabb beruházási költség mellett valósítható meg. Jellemzőbb a csoportos vagy műhelyrendszerű gyártás.

2.1.2 Gyártási folyamatok tömegszerűsége

A gyártási folyamatokat az egyszerre - egy kötegben, szériában - feldolgozott, megmunkált, összeszerelt termékek mennyisége szerint az alábbi kategóriákba sorolhatjuk:

- egyedi gyártás
- kis sorozatú gyártás,
- nagy sorozatú gyártás,
- tömeggyártás,
- folyamatos termelés.
- projekt jellegű gyártás

Egyedi gyártásról akkor beszélünk, ha a vevő teljesen egyedi igényeit kell kielégíteni, azaz egy teljesen rá szabott terméket kell elkészíteni. Ekkor a gyártáshoz univerzális megmunkáló gépeket, összeszerelő sort, alapanyagokat használnak. A folyamat automatizálása nem megoldható, illetve az automata megmunkáló gépeket terméktípusonként át kell programozni, mert a megmunkálások más-más gyártási programot igényelnek. A dolgozók kompetenciája is nagyobb hozzáadott értéket képvisel [111].

Kis sorozatú gyártás esetén még univerzális gépekre van szükség, viszont a gyártást nehezebb kiegyenlíteni, a gyártóberendezések magas kihasználtságát elérni. Bizonyos fokú tervezés, szervezés már automatizálható. A jellemzően kis sorozatok alkalmazása nagy termékpaletta meglétére enged következtetni.

Nagy sorozatú gyártásnál az erőforrások magasabb kihasználtsága érhető el. A teljes produktív időhöz képest viszonylag magas arányban ugyanazt a terméket gyártják, kevés az átállás. Kisebb termékpaletta, tervezhetőbb vevői igények esetén hatékonyan alkalmazható. A gyártás jobban automatizálható, a célgépek beruházása megtérülhet, de univerzális gépeket is alkalmaznak.

Tömeggyártásnál a gyártóegységeket egy-egy terméktípus gyártására specializálják. Az automatizált célgépek dominálnak. A folyamattervezés aprólékosabb, nagyobb tervezési ráfordítás is megengedhető, mivel gyorsan megtérül.

A projekt jellegű gyártás alatt egy adott ügyfél számára elkészítendő termék, vagy termék széria legyártását értem. Ez lehet egy, vagy néhány darab egyedi termék, esetleg egy vagy néhány sorozat. A gyártásokat előkészítő műveletek (technológiai tervezés, árajánlatadás, technológia finomítása, beszerzési folyamat, kooperációs termékek megrendelése, kutatás-

fejlesztés, gyártóeszköz beruházás) mind időben, mind költségben lényegesen nagyobb részét teszi ki az összes legyártott termék önköltségének.

2.1.3 Igény szerinti tömeggyártás

A termelési rendszerek változásai leginkább az egyidejű költségcsökkentést és a tökéletes vevőkiszolgálási szint elérését célozzák meg. A termelő vállalatok célja, hogy az önköltségi árat minimális szintre szorítsák, így a versenyképességüket is megtartsák. Ennek érdekében a gyártó- és termeléskiszolgálási rendszereknek át kell alakulniuk úgy, hogy a tömeggyártás előnyei megtartása mellett egyedi igények hatékony (gyors és olcsó) kiszolgálására is képesek legyenek, azaz a cél az egyedi igények tömeggyártása (MC[1]) [99].

A diverzifikált vevői igényekre gyorsan reagáló gyártórendszerek az igény szerinti tömeggyártás (CMP[2] vagy MCM[3]) által megfogalmazott szempontoknak kell megfelelniük [117]. A rendelésre gyártás (MTO[4]), rendelésre összeszerelés (ATO[5]) vagy rendelésre tervezés (ETO[6]) stratégia szerint működő vállalatok úgynevezett gyors reagálású termelési rendszerek kialakítását ösztönzik (QRM[7]) [57], [102]. A gyors reagálású termelési rendszerekre agilis gyártórendszer is nevezik

A piaci verseny a termékportfólió bővítését, sőt az egyedi késztermék konfigurációk rendelésének lehetőségét eredményezte, mely a vevői igények diverzifikálásához vezetett. A vevői igénydiverzifikáció miatt a termelő vállalatok azzal a problémával szembesültek, hogy a nagy gyártási sorozatokat kisebb szériákra kell felszabdalniuk, esetleg egyedi késztermékek sorozatát kell előállítaniuk. A kissorozatú gyártás hátránya, hogy megnövekedik az átállások miatti veszteségidő, csökken a termelékenység és a termeléskiszolgálási rendszer is bonyolultabb feladat elé van állítva. Természetesen mindez a közvetlen költségek növekedését okozza.

---

[1] MC = Mass Customization

[2] CMP = Customized Mass Production

[3] MCM = Mass Customization Manufacturing

[4] MTO = Make To Order

[5] ATO = Assembly To Order

[6] ETO = Engineer To Order

[7] QRM = Quick Response Manufacturing

A testreszabott, egyedi vevői igények, (illetve a kínálat keltette igények) megjelenése a piaci szereplők feltűnésével és a verseny fokozódásával magyarázható [126]. A 21. század elején egy olyan furcsa szituáció alakult ki, hogy a multinacionális óriásvállalatok rákényszerültek arra, hogy egyéni igényeket szolgáljanak ki. A nagy gyártási szériák megbontásával úgy tűnik, hogy a tömegtermelés elveszti előnyeit, mivel:

- az átállások száma nő, ami az alábbiakat eredményezi:
    - Beállítási selejt nő
    - Átállási idő nő
    - Erőforrás kihasználás csökken (nő a bruttó időnorma)
- A diverzifikáció növekedése:
    - automatizálási nehézségeket és
    - készletszint emelkedést okoz

Mindezek az önköltségi ár növekedését eredményezik.

A rugalmasságra való kényszer kihívások elé állítja a termelési logisztikusokat az erőforrás kihasználtság javításában, az ellátási és termelési átfutási idők csökkentésében, WIP[8] és átlagos alapanyag készletszint leszorításában [78]. Qiao et al. szerint: "Az MCM célja, hogy testreszabott termékeket gyorsan gyártsunk és szállítsunk, a költségeket a hagyományos tömeggyártás szintjén tartva" [80].

Az egyedi tömeggyártásban a terméktervezés is fontos szerepet tölt be, hiszen közvetlenül befolyásolja a technológiai és logisztikai igényeket. Ha a diverzifikáció lehetősége már a megmunkálási, összeszerelési technológia elején fellép, az átfutási idők és a félkész termékek készlete törvényszerűen magas lesz.

Az MCM szempontjából a termékeket három csoportba sorolhatjuk [80]:

- Standardizált termékek: A vevők egy adott célra egy adott terméket vagy több, de valamilyen szempontból azonos terméket választhatnak. A standardizálás általában a vevő érdeke, szabványok, direktívák írják elő (pl.: villanyégők, foglalatok, stb.)
- Konfigurálható termékek: Ebben az esetben a vevő ugyanazt a terméket rendelheti meg kisebb-nagyobb változtatásokkal (pl.: járműipar, elektronikai ipar)

[8] WIP = Work in Progress

- Parametrizálható termékek: A vevő megválaszthatja a termék valamely jellemzőjét – pl.: méreteit - igény szerint (pl.: bútorgyártás, cső- és szálanyag gyártás, nyílászárógyártás)

Az MCM-ről a szakemberek, kutatók általában az elektronikai vagy egyéb ipari cella rendszerű összeszerelő üzemekre asszociálnak, a kutatások is legnagyobb számban ilyen jellegű termelési környezetet is feltételeznek. Ugyanakkor a diverzifikáció szinte minden iparágban megjelent.

Az igény szerinti tömeggyártás, mint az óriás termelő vállalatok jelenlegi filozófiája rendkívül szigorú feltételeket támaszt, ami komplex rendszert eredményez. Az MCM hatással van a terméktervezésre, a beszállítási és kiszállítási folyamatokra, a termeléstervezésre, ütemezésre és a raktári folyamatokra. Gupta és Kohli szerint az ilyen rendszerek sikeres működtetése korszerű informatikai rendszerek (ERP) alkalmazását igényli, amelyek támogatják a komplex megrendelés kezelési folyamatot és gyártási folyamatokat [37].

2.1.4 Az igény szerinti tömeggyártás informatikai támogatása

Korunk legnagyobb gyártóvállalatai azzal a problémával szembesülnek, hogy a tömegszerű gyártásra berendezkedett rendszereiknek szinte egyedi igényeket kell kiszolgálniuk. Az egyedi igények miatt a nagyobb gyártási szériákat kisebbekre kell felosztaniuk az egyes technológiai szinteken [30]. Habár a diverzifikált igények a termelési és termeléskiszolgálási folyamatokat jelentős mértékben bonyolítják és drágíthatják, a befogadásuk szükségszerű a megfelelő szintű vevői elégedettség megléte és így a versenyképesség fenntartása érdekében.

Annak érdekében, hogy a vállalati rendszer vevőkiszolgálási színvonala és a hatékony termelési rendszer üzemeltetése közötti bonyolult ellenérdekeltségeket elemezni tudjuk, illetve rájuk megoldási javaslatokat tehessünk, komplex modellekre van szükség.

Gunasekaran és Ngai szerint az egyedi tömeggyártási rendszerek jellemzően olyan ellátási láncok elemei, ahol a rendelésre szerelés a meghatározó (BOSC[9]), ez a működési alaptípus támogatja a vállalatokat a rugalmasságban és a gyors reagálásban [35], [36]. Johansen et al. szerint a sikeres ellátási láncok résztvevőinek magasabb szintű együttműködést kell megvalósítania [53]. Az ellátási láncok elemei közötti kapcsolatot számos szakirodalom vizsgálja (pl.: [7],[26], [91], [119]).

[9] BOSC = Build-to-order supply chain

Az internet alapú technológiák erősödő logisztikai célú kihasználtságának és az objektum orientált Java valamint intelligens mobil technológiák fejlődésének köszönhetően beszélhetünk internet alapú ellátási láncokról (IBSC[10]), melyek lehetővé teszik az egyedi tömeggyártás hatékony megvalósítását [29].

A klasszikus tömeggyártásnál megszokott nagyobb átfutási idők lecsökkenthetőek, és jelentős költségmegtakarítás érhető el, valamint a nehezen számszerűsíthető vevői elégedettség is jelentős mértékben javul [13]. Az e-kereskedelem megjelenése a vállalatok olyan főtevékenységeit is jelentősen befolyásolja, mint a terméktervezés és az erőforrás tervezés.

Swamidass és Kotha szerint a hagyományos termelési technológia és a számítógépes vezérlés fúziója vezetett a fejlett termelési technológia (AMT[11]) kialakulásához [105]. Az AMT az alábbi területeket foglalja magába [58]:

- Információcsere és tervezési technológia (IEPT[12])
- Terméktervezési technológia (PDT[13])
- Nagy szériás automatizálási technológia (HVAT[14])
- Kis szériás rugalmas automatizálási technológia (LVFAT[15])

A számítógép alapú irányítás az alábbi eszköztárat tartalmazza [19], [90]:

- Számítógéppel segített tervezés (CAD[16])
- Számítógéppel segített mérnöki tervezés (CAE[17])
- Számítógéppel segített termelés (CAM[18])
- Rugalmas gyártórendszer (FMS[19])
- Számítógéppel segített folyamattervezés (CAP[20])

---

[10] IBSC = Internet-based supply chain

[11] AMT = Advanced Manufacturing Technology

[12] IEPT = Information Exchange and Planning Technology

[13] PDT=Product Design Technology

[14] HVAT = High-Volume Automation Technology

[15] LVFAT = Low-Volume Flexible Automation Technology

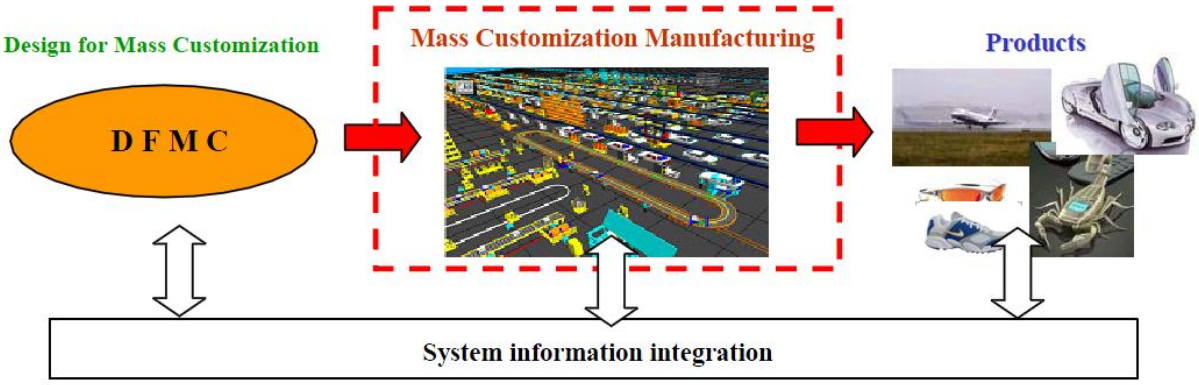
[16] CAD = computer aided design

[17] CAE = computer aided engineering

[18] CAM = computer aided manufacturing

[19] FMS = flexible manufacturing systems

- Termék adatmenedzsment (PDM[21])



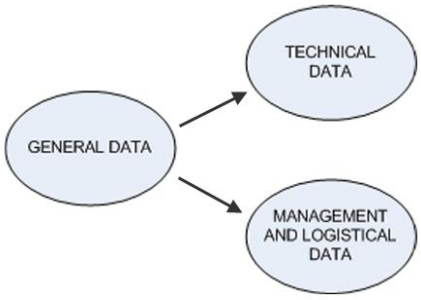
2. ábra: Az egyedi tömeggyártás stratégiai felépítése [79]

Az egyedi tömeggyártási stratégia és az informatika kapcsolatát a 2. ábra szemlélteti, ehhez a stratégiához egy általánosított adatmodellt lehet hozzárendelni.

Mehli-Qaissi et al. szerint a termelési folyamat során az adatokat két fő kategóriába sorolhatjuk [71]. A menedzsment és logisztikai adatok az olyan alapvető adatokat tartalmazzák, mint pl.:

- BOM
- Gyártási útvonal (routing)
- Partner kapcsolatok adatai (beszállító, vevő adatok)

A menedzsment és logisztikai információkon belül megkülönböztethetünk dinamikus információkat és az erőforrás kihasználás aktivitás információkat. Az adatoknak egy típusa a történelmi és eredmény adatok, melyek pl.: a termeléstervezést és az anyagszükséglet tervezést segítik.



3. ábra: Termelési adatok alapkategóriái [71]

[20] CAP = computer-aided process planning

[21] PDM = product data management

Az egyedi tömeggyártás kritikus elemei - mind stratégiai, taktikai és operatív szinten - a folyamatirányítás és a logisztikai menedzsment. A folyamatirányítás a következő információkat használja, kezeli [79]:

- Műszak adatok
- Sortöltési idő
- Átállási idő
- Gyártósor ciklusideje
- Munkaállomás ciklusideje
- Alapanyag – munkaállomás/gyártósor hozzárendelés
- Erőforrás hozzárendelés
- Munkaerő allokációs pozíciók
- Késztermékek
- Anyagmozgató eszköz
- Útvonal információk
- Logisztikai információk
- Folyamat logikák
- Költségadatok

A folyamatirányítás az alábbi termelési információkat használja:

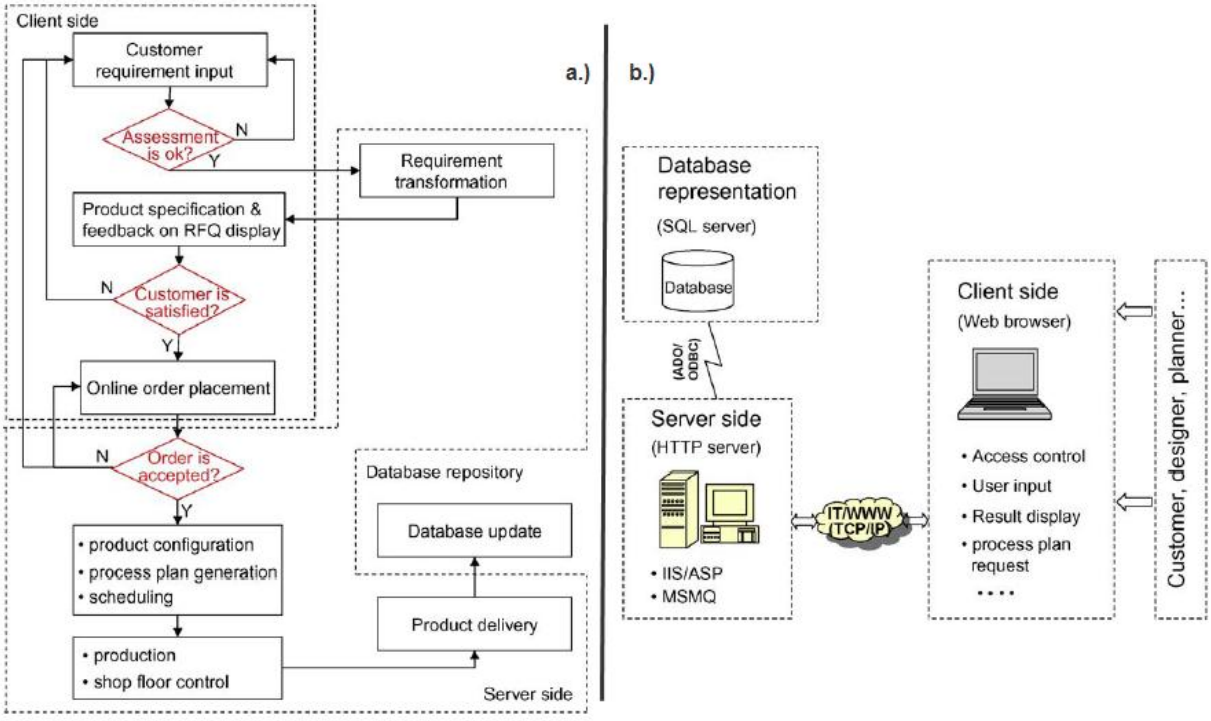
- Szervezeti - struktúra
- Naptárak
- Kompetencia meghatározások
- Műveleti leírások
- Erőforrások (munkaállomások, gépek, alkalmazottak, anyagmozgató gépek, szerszámok, és alkatrész katalógus)
- Layout
- Cikktörzs
- BOM[22]
- Készlet

[22] BOM = Anyagjegyzék

- Folyamat tervek (útvonalak, műveleti sorrendek, and gép-programok), gyártási feladatok (rendelések, kiszedési feladatok, job-ok, és műveletek),
- Szállítói rendelések
- Ütemezés
- Karbantartási igény definíciók
- Átállások

Az egyedi tömeggyártás logisztikai menedzsmentje számos párhuzamos operatív és tervezési feladatot tartalmaz, bonyolultabb, mint a hagyományos tömeggyártás [80]. Az egyedi tömeggyártás olyan ideológiai eszközöket használ, mint az integrált megrendelés kezelési rendszer (IOFS[23]). Forza és Salvador az IOFS-t nélkülözhetetlennek találta a rendelésre konfigurálás (CTO[24]) típusú termelési rendszerek kialakulásához [27].

Az IOFS segítségével a rendelés feldolgozás automatikusan történik, a termékek konfigurált gyártása lehetővé válik és valósidejű adatok nyerhetők ki a rendszerből [127]. Az IOFS logikai folyamatát a 4. ábra mutatja. Az autóipari megrendelés kezelést hasonlóan támogató üzleti modell az integrált jármű konfigurációs rendszer (IVCS[25]) [44].



[23] IOFS = Integrated Order Fulfillment System

[24] CTO = Configure to Order

[25] IVCS = Integrated Vehicle Configuration System

4. ábra: a.) IOFS logikai folyamata b.) IOFS IT rendszerének architektúrája [127]

Sok kutatás foglalkozik a termelési rendszerek paramétereiből származtatott szekunder adatok kezelésével. Wahab és Stoyan a termelési feladatok rugalmasságának hatásait vizsgálták az erőforrások kapacitás kihasználására nézve (gép flexibilitás modellek) [120]. Gou et al. Inverz logisztikai kutatásai is hasznos aspektusokat vetnek fel a termelési folyamatok kapcsán [32].

Az ERP[26] rendszerek támogatják az igény szerinti tömeggyártást, de az implementálás előtt a megfelelő adatmodell kialakítása szükségszerű, melynek megfelelően a testre szabást el kell végezni. Az adatmodellezésre számos módszer létezik, ilyen pl. az egységesített modellező nyelv (UML[27]) [81].

A legtöbb esetben az információs rendszer töredezettsége nem megfelelő megrendelés kezelési folyamatot eredményez [1], ez az állítás az egyedi tömeggyártás esetében nyomatékosan igaz.

Röder és Tibken szerint az ellátási láncon átívelő, megfelelően kialakított termék és folyamat dokumentáció átláthatóbbá teszi az ellátási lánc folyamatait és megkönnyíti a vevői igények becslését, mindez kedvezően hat a készletszintekre [87]. Jiao és Helander a CTO platform megvalósítását és az alap termékfa modell (GPF[28]) kialakítását taglalták, amely támogatja a termék egyedi termékek gyártását [52].

Az ERP rendszereket szofisztikált optimalizáló algoritmusokkal kell összerendelni, a hatékony termelési folyamattervezés és ütemezés érdekében [73]. Újabb támogató eszközt nyújtott az ERP és az üzemirányítási rendszer integrálásával, kooperációjával létrejött termelési végrehajtó rendszer (MES[29]) [98].

Botta-Genoulaz és Millet az ERP termelési és szolgáltatási területeken történő bevezetésével megtörténik a vállalati adatok integrációja [12]. A termelési területen az alapanyagok, késztermékek és azok tulajdonságai köthetők tevékenységekhez. Ugyanakkor például Xue et al. [124] is kihangsúlyozza, hogy az ERP rendszerek bevezetése kockázatokkal jár, számos esetben a munkafolyamatok újratervezése (reengineering) szükséges az implementálás előtt. Tévesen elterjedt vélemény, miszerint a hibás folyamatokat a megfelelő mederbe tereli az új IT rendszer [125].

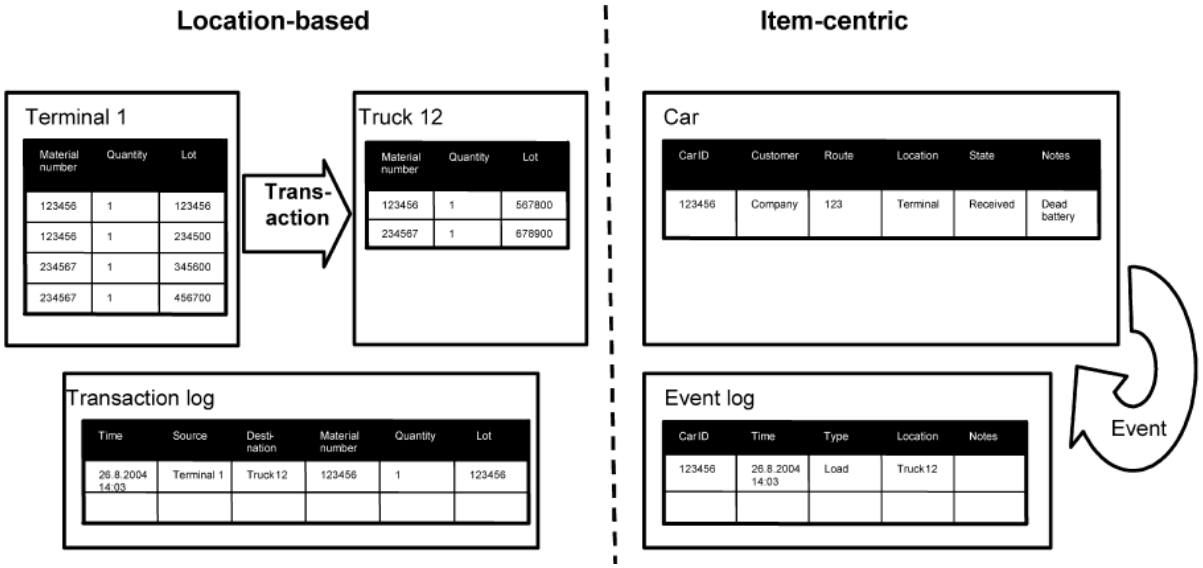
---

[26] ERP = Enterprise Resource Planning

[27] UML = Unified Modeling Language

[28] GPF = Generic Product Family

[29] MES = Manufacturing Execution System



5. ábra: Lokáció és cikk - központú adatmodell összehasonlítása [88]

Az ERP rendszerek általában lokáció alapú adatmodellre épülnek (5. ábra). A készlet lokációk közötti áramlása tranzakciók formájában rögzül illetve egyéb termék és erőforrás adat is kapcsolódik ezekhez a tranzakciókhoz. A cikk központú adatmodell eseményei egyedi termék azonosítókhoz kapcsolódnak. Ez a modell Rönkkö et al. szerint hatékonyabban kezeli a nem várt erőforrás kieséseket [88].

Az úgynevezett mélyfúrások segítségével az ERP rendszer nyers adatai értelmezhetőek; ezen a területen is számos kutatás zajlik pl.: Kusiak és Smith [62].

A tapasztalatok szerint még a kisebb vállalatoknál is szerteágazó a törzsadat állomány. A redundanciát még a legkorszerűbb információs rendszerű vállalatoknál sem sikerül teljesen megszüntetni a végtelenbe tartó fejlesztési költségek miatt. Főleg a párhuzamos funkciójú vállalati információs rendszerek esetén tapasztalható jelentősebb redundancia. Az ERP rendszerek bevezetésekor egy törzsadat konszolidációt kell végezni, a redundanciák és fölösleges funkciók kiszűrésével [129].

Az ERP rendszerek piaca szerteágazó, a néhány a legjelentősebb piaci szereplők közül:

- ABAS
- BAAN
- BPCS
- IFS
- Infor
- Infor:COM
- JD Edwards

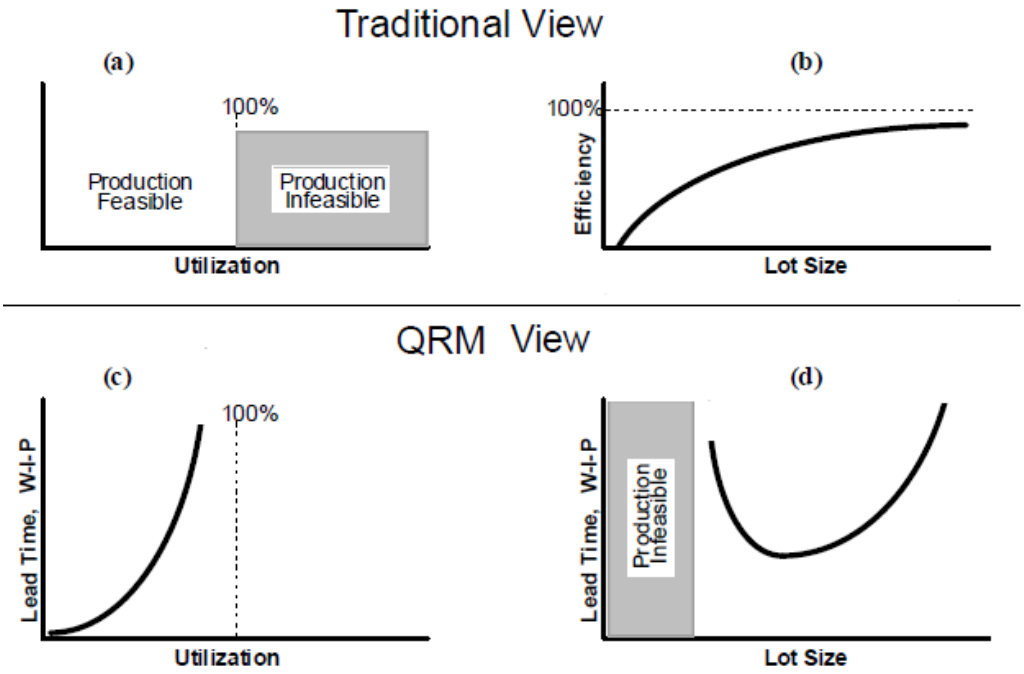
- Libra
- Microsoft (Dynamics AX, Navision)
- Oracle
- SAP (ERP, Business One), stb.

2.1.5 Gyors reagálású termelési rendszerek

A QRM filozófia megfogalmazása, első átfogó tanulmánya Suri nevéhez köthető [102]. A QRM a JIT[30]/kanban vezérlés hátrányainak kiküszöbölését célozta meg, illetve alkalmazkodik a diverzifikált igényekhez, és a vevők által igényelt rövid átfutási időkhöz.
A QRM legfontosabb alapelve, hogy az átfutási idők csökkentését célozza meg, nem a kihasználtsági és hatékonysági mutatókat próbálja elsődlegesen javítani. A felesleges idők lecsökkentését, várakozásokat részben azzal oldja fel, hogy a szűk keresztmetszeteket jóval 100% alatt terheli ki. Ez látszólag a termelési költségek növekedéséhez vezet. Valójában viszont a rendszer globális optimumához közelít, nagyobb mozgásteret biztosít a termeléstervezésnek, drasztikusan lecsökken a WIP szint.

A QRM nem csupán egy termelésirányítási módszer, hanem egy komplett vállalati menedzsment stratégia, csak akkor hozza az elvárt eredményeket, ha a szervezet egészére kiterjesztik. Suri szerint a QRM alkalmazásával 80%-95%-os átfutási idő csökkenés is elérhető [104]!
A termelési folyamatvezérléshez használt eszköze a POLCA, melyet a későbbiekben ismertetek.

[30] JIT = Just in time



6. ábra: A hagyományos és a QRM szemlélet [104]

A 6. ábra szemlélteti a QRM és a hagyományos termelési filozófiák közötti különbséget.

A QRM felismeri, és első számú prioritásként kezeli a gépkihasználtság függvényében romló WIP és átfutási idő mutatókat. A hatékonyságot nem arányosítja a sorozatnagysággal, hanem meghatározza az optimális (vevőnek kellő) szérianagyságot.

2.2 TERMELÉSI ÉS ANYAGÁRAMLÁSI VEZÉRLÉSI MECHANIZMUSOK

Az új termelési filozófiák, stratégiák vezérlési mechanizmusok kidolgozását tette szükségessé. Számos szakirodalom foglalkozik az egyes termelés- és anyagáramlás vezérlési mechanizmusok (PMFC[31]) fejlesztési lehetőségeivel [25]. A vezérlési mechanizmus megválasztását nagymértékben befolyásolja a vállalat vevőkiszolgálási stratégiája.

A vevőkiszolgálási stratégia alapvetően meghatározza, hogy a vállalat ellátási láncát illetve termelési rendszerét mely fő anyag és információáramlási kategóriába sorolhatjuk:

- Push
- Pull
- Vegyes/hibrid

[31] PMFC= Production and Materials Flow Control

Ezen fő kategóriák használata, jelenléte iparágtól, időszaktól, mikro- és makrotérségi sajátosságoktól, szezonalitástól, és vállalati kapcsolatok aktualitásától függ. Ugyanakkor vállalati termelési stratégiák átalakulása világszintű trendeknek megfelelően ment és megy ma is végbe.

Az 1960-as, 70-es években a push rendszer egyeduralkodása volt a jellemző, ekkor főleg a termelékenység, az erőforrások minél jobb kihasználása, az önköltség minimalizálása volt a cél. A vállalatok a termelési költségek leszorítását, az erőforrások mind jobb kihasználását helyezték előtérbe, ehhez a készletre gyártás volt a legmegfelelőbb stratégia. A termelést és a beszerzést az anyagszükséglet tervezés (MRP[32]) segítségével tervezték meg, a beszerzési és termelési átfutási idők, illetve a BOM alapján.

1980-as években terjedt el az MRP II[33]. Ekkor kezdődött a pull rendszerek ugrásszerű népszerűsödése is, a JIT rendszerrel. A JIT rendszer egyik alappillére a kanban vezérlési mechanizmus, mely addigra már bizonyított a japán autóiparban.

Az 1990-es években alakult ki az ellátási lánc szemlélet, illetve terjedtek el az integrált vállalatirányítási rendszerek.

A 2000-es években a vállalati rendszerek optimalizált értékáramlás szempontú megközelítése volt a meghatározó irányzat, illetve a gyors reagálású, agilis gyártórendszerek.

Az ipari fejlődés, illetve a piaci verseny fokozódása a vevőkiszolgálási stratégiák átalakulását is eredményezte. A fent említett termelési módszerek, szemléletek kialakulását is a vevőkiszolgálási stratégia változása ösztönözte. A vevőkiszolgálási stratégiák az alábbiak:

- Készletre gyártás (MTS[34]): standardizált, egységesített termékpaletta, és viszonylag jól előrejelezhető felhasználás esetén alkalmazható sikerrel. Előnye, hogy alacsony a termelés közvetlen költsége, és azonnal a vevő rendelkezésére álló készleteket eredményez (nulla rendelés átfutási idő). Hátránya, hogy nagy a készlettartás költsége, fennáll az „elfekvő" készlet keletkezésének veszélye.
- Rendelésre gyártás (MTO[35]): Szélesebb termékpaletta fenntartását támogatja. Alacsonyabb készletszintet, magas vevőkiszolgálást tesz lehetővé, de az átfutási idő, már megjelenik, mint kockázati tényező. (tisztán pull rendszert jelent).

[32] MRP = Material Requirement Planning

[33] MRP II. = Manufacturing Resource Planning

[34] MTS = Make-to-stock

[35] MTO = Make-to-order

- Rendelésre összeszerelés (ATO[36]): Támogatja a viszonylag széles termékpalettát, gyors átfutási idejű kiszolgálását. A terméktervezés hangsúlyos szerepet kap a termékféleségek közös platformjának kialakításában. A vevői rendelés teljesítését nem alapanyagszintről, hanem részegységszintről indítják.
- Rendelésre konfigurálás (CTO[37]): Nagy, illetve szinte korlátlan termékdiverzifikáció. A vevő konfigurálja a saját egyedi igényeinek megfelelően a készterméket. A gyártás ATO elemeket tartalmazhat.
- Rendelésre tervezés (ETO[38]): Egyedi vevőkiszolgálás, egyedi árajánlatadás, egyedi terméktervezés, egyedi gyártás előkészítés és gyártás jellemzi. A nagy értékű és bonyolultságú, anyagköltségű termékeket kis szériában, vagy egyedileg gyártják le egyedi specifikáció alapján. Már az árajánlat adás is viszonylag erőforrás igényes feladat a technológiai és a beszerzési igények meghatározása miatt.

A különböző vevőkiszolgálási stratégiák különböző anyagáramlás- és termelésvezérlési rendszereket szültek (pl.: CONWIP, POLCA, stb.). Ezen vezérlési rendszerek különböző szituációkban való helytállását, összehasonlítását számos szakirodalom taglalja (pl.: [77]).

Rendkívül népszerű az ilyen elemzések végrehajtása sorbanállási modellek segítségével (pl.: [60], [63]). Számos numerikus modell értékeli és hasonlítja össze az egyes kiszolgálási rendszereket (pl.: [9], [59], [77], [89], [95], stb.).

A termeléskiszolgálási rendszertípusok szimulációs modellezése segítségével különböző igényekre adott válaszok vizsgálhatók [66]. Létezik például egy speciális szimulációs alkalmazás, a KanbanSim [128], mely a kanban rendszerek modellezésére szolgál.

2.2.1 Push típusú rendszerek

A push rendszer „nyomó” rendszert jelent, azaz az előállított félkészterméknek, készterméknek a felhasználása feltételezett keresletet fog kielégíteni, nem konkrét megrendelést. A push rendszerekben nincs limitálva a WIP szint, viszont adott esetben gyorsabb átfutási időt eredményezhet az, hogy a job-oknak nem kell várniuk engedélyező jelre. A push rendszer a gyártási feladatok (job-ok) ütemezését előre elvégzi, megtervezi a rendszer átbocsátását, a rendszer függetlenül termel az előtte megelőző időszak tény termelési

[36] ATO = Assemble-to-order

[37] CTO = Configure-to-order

[38] ETO = Engineer-to-order

adataitól. A WIP szintet az ilyen rendszerekben megfelelő ütemezéssel és folyamatos készlet monitoring révén lehet alacsony szinten tartani. A push nagy előnye a termeléstervezésben rejlik: optimalizált termelésütemezés valósítható meg, felhasználva az optimalizáló algoritmusok tudományos hátterét, és a korszerű informatika háttérrendszereket.
A push rendszert főleg a nagyobb távolságú és/vagy jól előrejelezhető igényszint mellett a legcélszerűbb alkalmazni.

2.2.1.1 MRP

A push rendszereket leginkább az MRP-vel azonosítják, először Orlicky publikálta 1975-ben [75]. Az MRP a gyártási vezér program alapján ütemezi a beszerzéseket és a gyártási feladatokat, felhasználva a termelésátfutási idő és a BOM információkat. Az MRP magas megbízhatóságú előrejelzés mellett jól használható.
A kiszolgálási oldal bizonytalansága is eredményezhet túlzott készletfelhalmozódást vagy készlethiányt. Például: ha a megmunkálási sorrendben egy későbbi gyártási művelet elégtelenségéről a korábbi munkafázisoknak nincs tudomása, ezért változatlanul gyártanak, és a WIP szintje értelmetlenül fokozódik. Az elégtelenül működő gép utáni fázisok viszont az ütemezett időablak kezdetére nem kapnak elég alapanyagot, így készlethiány alakul ki. Természetesen ez más vezérlési mechanizmusnál is előfordul, viszont az MRP-re jellemző a nagy batchekben történő gyártás, és gyártóegységek közti átmozgatás, így a készlethiány sokszor későn derül ki.

2.2.1.2 MRP II.

Az MRP II. a beszerzési és gyártási megrendelések generálásán túl elvégzi a kapacitástervezést is. A gyártási feladatokat a rendelkezésre álló gép és emberi erőforrások figyelembevételével allokálja. Az átfuási időket nem csupán az időnormák és a legyártandó darabszám szorzataként számolja, hanem a többi gyártási feladat okozta terhelést is figyeli, mindezt valamilyen optimalizálási algoritmust felhasználásával. Az optimalizálás célja lehet pl.:

- Job-ok átlagos átfutási idejének minimalizálása
- Job-ok átalgos késének minimalizálása
- Késő job-ok számának minimalizálása
- Gyártási költség minimalizálása

- stb.

2.2.2 Pull típusú rendszerek

A pull rendszerek húzó elve a következő: a felhasználási helyek engedélyező jeleket bocsátanak ki, melyek az anyagáramlás korábbi szakaszaiban lévő kiszolgálókat hatalmazzák fel a kibocsátásra. Pull rendszerekben a WIP szint vezérelve van, az átbocsátás mértéke jobban független a tervezéstől, mint az MRP esetén.

2.2.2.1 A Toyota vagy „hagyományos" Kanban Rendszer

A TPS[39] és a kanban rendszer működéséről Sugimori et al. publikált 1977-ben [94]. A rendszer kidolgozója Taiichi Ohno, a Toyota akkori vezérigazgatója. Rengeteg kutatás történt a kanban rendszerek értékelésével, továbbfejlesztésével kapcsolatban. Pl.: 1995-ös publikációjában Graves et al. az anyagáramlás vezérlési mechanizmusokat tanulmányozta (MFC[40]), kiemelte a kanban rendszert, mint korunk leghatékonyabb módszerét [33]. Számos egyéb kutatás, például Junior és Filho műve is széles áttekintést ad a kanban rendszerek jellemzőiről [54]. Junior és Filho kanban vezérlési rendszerek osztályozását bemutató táblázatát átalakítva (14.3-as melléklet), illetve továbbfejlesztve szemléltetem az egyes kanban vezérlési módszerek sajátosságait. A kanban adaptációkat, továbbfejlesztett verziókat alapvetően két típusba lehet sorolni, az egyik esetben megmaradt a kanban alapvető logikája, a másikban nem.

Az összeszerelő üzemek főtevékenysége a termelés, mely zavartalan kiszolgálásáért a megfelelően kialakított termeléskiszolgálási folyamatok felelnek. Ezen folyamatok is értékteremtőek és költségeik megjelennek a késztermékek önköltségi árában is.

Így a veszteségek kiküszöbölése, a látszólag lényegtelen tényezők, összefüggések vizsgálata, folyamatparaméterek optimális megválasztása jelentős hatással van a piaci versenyképességre.

A TPS alapelve, hogy a veszteségeket kiküszöböljük, és előtérbe helyezzük az értékteremtő tevékenységeket. Az alábbi 8 veszteség típust különböztethetjük meg [69]:

- Túltermelés

[39] TPS = Toyota Production System

[40] MFC= Material Flow Control mechanism

- Várakozási és egyéb veszteségidők
- Felesleges anyagmozgatás
- Túl nagy munkaráfordítás vagy nem megfelelő feldolgozás
- Indokolatlanul nagy készlet felhalmozódása
- Anyagmozgató eszközök felesleges helyváltoztatása, dolgozók felesleges mozgása
- Selejt
- Dolgozók kreativitásának kihasználatlansága

A Toyota módszer egyes elemei mára rengeteg vállalat termelési folyamataiba integrálódtak, ilyen elem, eszköz pl.: a kanban. Ugyanakkor a filozófia tökéletes megvalósításához a termelő üzemek és vállalat összes dolgozójának szemléletváltáson kell átesnie, a technikai megoldások bevezetése önmagában nem vezet a Toyota módszer megvalósulásához [69].

A kanban vezérlési rendszer világszerte talán a legszélesebb körben elterjedt. A kanban rendelések segítségével húzó rendszer valósul meg mind ellátási lánc szinten vagy akár egyetlen termelő egységen, üzemen belül. Húzott termeléskiszolgálási rendszerben az ellátási folyamat a tényleges felhasználás regisztrálásának következtében indul el a készlet felhalmozódás elkerülésének érdekében. Ugyanakkor a Toyota termelési rendszert jól ismerő szakemberek is kihangsúlyozzák, hogy a JIT filozófia nem írhatja felül a termelési berendezések ésszerű, egyenletes kapacitás kihasználását [69]. Az igény felmerülésének ütemében termelni általában nem gazdaságos. Esetenként ugyanis érdemes lehet készletre gyártani, ezáltal nem „rángatjuk” a termelést a vevő hektikus igényei szerint, mely alacsony kapacitáskihasználáshoz, az önköltségi ár megnövekedéséhez vezethet.

Alapvetően egy automatizált utánpótlási folyamatot jelent, mely segítségével szabályozható a gyártásközi készlet szintje, csökkenhetnek az átfutási idők, biztonságosabb kiszolgálási folyamat jön létre.

A termelési rendszerekben kártyák, anyagtároló ládák, vagy digitális jelek adnak információt az anyagfogyásról. A TPS kétkörös kanbant használ, azaz külön kanbant alkalmaz a gyártási igény keletkezésének jelzésére (P-kanban) gyártási igényről, illetve az alapanyag felhasználásra, szállítási igény keletkezésére (T-kanban).

A kanban jel általában az alábbiakat tartalmazza:

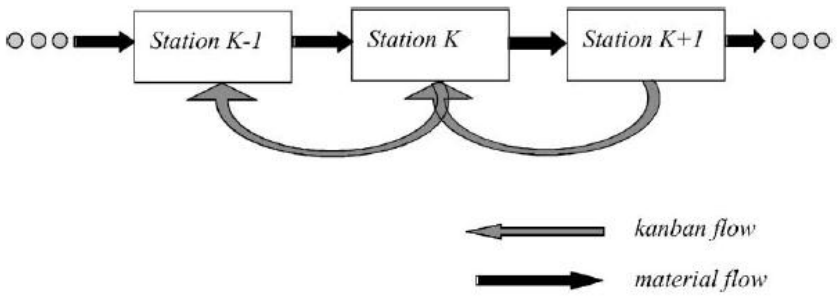
- Cikkszám
- Megnevezés
- Feladóhely/Előállítási hely
- Rendeltetési hely (gyártósor, gyártósori puffer azonosítója)

- Mennyiség

A fenti alapvető adatokon felül egyéb adatok is feltüntethetünk:

- Alapanyag megnevezése
- Beszállító kód, megnevezés
- Alapanyag fényképe, a beazonosítás megkönnyítésének érdekében
- Raktári lokáció, amennyiben fix tárhelyfoglalású raktárról van szó
- Bármely adat vonalkódja

Amint a rendeltetési helyen a készletszint az előre meghatározott érték (kanban mennyiség) alá süllyed, megkezdődik az utánpótlási folyamat, a készleteket a kanban mennyiséggel feltöltik. A kanban filozófiával az átlagos WIP csökkentése, illetve állandó viszonylag alacsony, de biztonságos szinten tartása valósítható meg, mivel a tényleges felhasználás ütemében történik a megrendelés. Bizonyos módszerekkel kalkulálni lehet a kanban mennyiséget, azonban ez nem egyezik meg a gyakorlatban alkalmazottal, mivel a csomagolási egységek mennyisége, mérete és az anyagkezelési előírások, körülmények is befolyásolják. Az ideális kanban mennyiség meghatározásakor egy biztonsági faktorral is számolni kell, a sztochasztikus jelleg miatt a hangzatos „nulla készlet" természetesen nem megvalósítható, amennyiben a gyártósori alapanyaghiányt el szeretnénk kerülni. A kanban vezérlés szerinti anyagáramlás sematikus modelljét az 7. ábra mutatja.



7. ábra: Anyag és információáramlás a húzásos termelési rendszerben [15]

A JIT termelési rendszerek termelési ütemezés szerint gyártanak, amelyet az ERP rendszerek generálnak a vevői igények alapján. A szállítói rendelések és bejövő szállítmányok a termelési ütemezéshez illeszkednek: a megfelelő termék, a megfelelő időben érkezik. Chan szerint a kanban rendszer a legmegfelelőbb eszköz a JIT megvalósításához [15].

Sharma és Agrawal létrehozott egy szimulációs modellt, mely a készlet vezérlés kiválasztását segíti. Az ő eredményeik is azt mutatják, hogy általános esetben, a kanban a legelőnyösebb

vezérlési mód [95]. Kifejlesztettek számos teljesítményértékelési módszert kanban rendszerekre, melyek segítenek az alkalmazott rendszer hatékonyságát mérni [22]. A szimuláció széles körben alkalmazott módszer a kanban vezérlési rendszerek jellemzőinek kutatására (pl.: [23],[40],[68],[70]). Ugyanakkor matematikai modellek is a kanban előnyeit mutatják [123].

A kanban mennyiség jelenti azt az anyagmennyiséget, amelyet egy feladó helynek a kanban ciklusidő alatt továbbítani kell a rendeltetési helyre, ez nagymértékben befolyásolja a gyártási folyamatok készletszintjét. A kanban mennyiség az alábbiak szerint kalkulálható:

$$N_{KanbanQuantity} = U \cdot T_{Replenish} \cdot (1+s) \quad (2)$$

$$T_{Replenish} = T_{Waste} + T_{Waiting} + T_{Process} \quad (3)$$

Ahol:

- $N_{KanbanQuantity}$ a kanban mennyiség
- U az egységnyi idő alatt felhasznált alapanyag
- $T_{Replenish}$ az utánpótlási idő (rendelésátfutási idő)
- $T_{Waiting}$ a várakozási idő
- T_{Waste} a veszteségidő
- $T_{Process}$ a megmunkálási idő
- s az igények sztochasztikus változása miatt alkalmazandó biztonsági faktor, ennek mértékét általában 5-10 % közöttinek veszik fel

A kanban mennyiséget rendszerint fix csomagolási egységek kiadásával, vagy gyártási batchek továbbításával fedezik. Ekkor a kanban számot kell meghatározni, mely a Toyota formula segítségével kalkulálható [15], [18], [48].

$$N_{KanbanNumber} = \left[\frac{N_{KanbanQuantity}}{N_{Unit}} + 0{,}99 \right]_{INT} \quad (4)$$

Ahol:

- $N_{KanbanNumber}$ a kanban szám
- N_{Unit} a csomagolási egység, konténer, doboz, láda, stb. mennyisége

A gyártósor igénye egy sztochasztikus érték, ennek kalkulációjára, becslésére nyújt módszert pl.: He et al. [43]. Többek között Mascolo és Sarker, Diponegoro optimális megoldást adó módszerei is segítik az igénybecslést [70], [93].

Askin és Krishnan egy módszert dolgozott ki a soros pull termelési rendszerek készletezési kontrol pontjainak optimális helyének meghatározásához [6]. Liberopoulos és Koukoumialos kidolgozott egy módszert a gyártósori alapanyag készletszint, a kanban szám és a tervezett kiszolgálási folyamat átfutási ideje közötti trade-off feloldására [67].

Amikor egylépcsős kanban rendszerek optimalizálásával foglalkozunk, a legfőbb paraméterek a gyártósorok kapacitása, kapacitáskihasználása, a rendszerben lévő kiszolgáló csatornák száma, és az alapanyagok rendelési logikája [2].

Habár egyre bonyolultabb kanban termelési rendszerek alakulnak ki, Sarker és Balan is kihangsúlyozza, hogy az alapanyag rendelés, a WIP gyártásközi készletek, a késztermék készletek, a sorozatnagyság meghatározás problematikáját közös modellben kell kezelni, a teljes rendszer költség optimumának megtalálásához [92].

Kanban vezérlés önszabályzó, a gyártósorokon lévő aktuális készlet mennyisége egy adott tartományon belül tartható [4]. Az újrarendelést a felhasználás generálja, így jól beállított kanban mennyiségekkel [15], [122] a készlet felhalmozódás vagy a rendelés elmulasztása miatti készlethiány megszűntethető. Emiatt vált a kanban a TPS egyik alappillérévé [4].

A kanban vezérelt összeszerelő üzemek termelési rendszerében az alábbi anyagkezelési, sortöltési folyamatok figyelhetőek meg.

1. A gyártósori operátor új csomagolási egységet / kanban mennyiséget kezd felhasználni a gyártósori pufferből.
2. Az anyaghoz rendelt kanban kártyát, vagy kanban dobozt egy erre a célra kijelölt tárolóba helyezi, vagy leolvastatja a vonalkódot az adatgyűjtő szkennerrel (E-kanban)
3. A sortöltő operátor összegyűjti a kanban kártyákat / bármilyen más kanban jel továbbítódik az IT rendszer felé
4. A tételeket kiszedik a raktárból
5. A kiszedett tételeket továbbítják a termelésbe
6. A sortöltő a munkaállomás pufferbe tárolja a tételeket
7. Miután egy kanban mennyiség (csomagolási egység/ kanban doboznyi mennyiség) felhasználása megkezdődik, kanban igény generálódik.

A TPS alrendszereként létrejött kanban vezérlési rendszer számos módosulata született meg a különböző speciális termelési körülményekhez való folyamatos adaptációs törekvések nyomán (pl.: [50]). Ezen kanban vezérlési variációk rendkívül alaposan felépített összegzését, osztályozását tartalmazza Junior és Filho 2010-ben publikált tanulmánya [54]. Ebben a tanulmányban az eredeti, a Toyota által kifejlesztett kanban rendszer 32 módosított verzióját

vizsgálták, osztályozták. Az osztályozás eredménye a melléklet 14.3-as pontjában található. Az osztályozás során azt vizsgálták, hogy a módosított kanban vezérlési rendszer:

- mely eredeti kanban jellemzőket tartotta meg,
- mely főbb különbségeket hordozza magában az eredeti kanban rendszerhez képest
- milyen előnyökkel jár a hagyományos kanban vezérléshez képest
- milyen hátrányokkal jár a hagyományos kanban vezérléshez képest
- adaptációját milyen sikerrel tesztelték
- melyik évben publikálták

A hagyományos kanban rendszer jellemzői az alábbiak:

- Kettős kanban rendszer (termelési és anyagmozgatási/szállítási kanban) használata
- Pull rendszerű gyártás
- Decentralizált vezérlés (az egyes termelési folyamatlépcsőknél dolgozó alkalmazottak kezelik a készleteket, utánpótlási folyamatot)
- Limitált WIP szint

A kanban vezérlés egyes módosított verziói az alábbi főbb elemekben térhetnek el az eredeti kanban vezérléstől:

- Változtatható maximális WIP szint
- Kanban rendelés visszavonásának, vagy átadásának lehetősége, a jelzés fizikai reprezentációjának módja, a kettős kanbantól való eltérés
- Az információ gyűjtésének és felhasználásának módja (pl.: készletszint monitoring és rendelésfeladás)
- Funkcionális különbségek
- Anyagok továbbításának logikája

Az egyes előnyök az alábbiak lehetnek:

- Az egyes munkaállomások, az egyes előállítási és felhasználási helyek közötti távolság nagy
- Az információkezelési hibák csökkennek
- A jel továbbításának időszükséglete csökken
- Változó igényszint mellett alkalmazható
- Változó feldolgozási idő esetén is alkalmazható
- Komplex anyagáramlási rendszerekben alkalmazható

- Nagyfokú termékdiverzifikáltság mellett alkalmazható
- Automatizált műveletek esetén alkalmazható
- Olyan gyártórendszer esetén alkalmazható, ahol a gyártóeszközök magas meghibásodási rátával dolgoznak
- Szűk keresztmetszetek hatékony kezeléséhez használható
- Nagyszámú előállítási hely esetén alkalmazható
- Új termék bevezetésekor alkalmazható
- Összeszerelési folyamatok támogatására jól alkalmazható
- A jelek használatát egyszerűsíti
- A kanban ciklusidő (sortöltési ciklusidő, raktári utánpótlási idő) rugalmas változtatását teszi lehetővé
- A munkaállomások egyenletesebb kiterhelését segíti
- Az anyagrendelések megszakításának lehetőségét csökkenti
- Az átlagos készletszintet csökkenti
- Növeli az alapanyag utánpótlási folyamat rugalmasságát

Az egyes rendszer módozatok az alábbi hátrányokat hordozhatják magukban:

- Nő a rendszer bonyolultsága, nehezebb használni
- A dolgozók és a konténerek helyváltoztatási feladatai nőnek
- Lassú reagálás az igény késleltetett információ átvitel miatt
- Az átlagos készletszint emelkedése

2.2.2.2 E-kanban

Az elektronikus kanban (EK[41]) rendszer nevében is benne van, hogy a felhasználás jelzése nem papír alapon, hanem elektronikus úton keletkezik, illetve továbbítódik a feladóhely felé.
Az elektronikus kanban fő előnye a hagyományos kanbannal szemben, hogy az utánpótlási igényt gyorsan, és kisebb hibaszázalékkal lehet regisztrálni és továbbítani a feladóhelyre, segítségével a kanban ciklusidő lecsökkenthető az igény továbbítás időszükségletével. Nincs szükség kártyára, amely „elveszhet”. A szériaváltásoknál nincs szükség a befejezett széria kártyáinak összegyűjtésére, illetve az új kártyák kiadására, a kanban szám figyelésére.

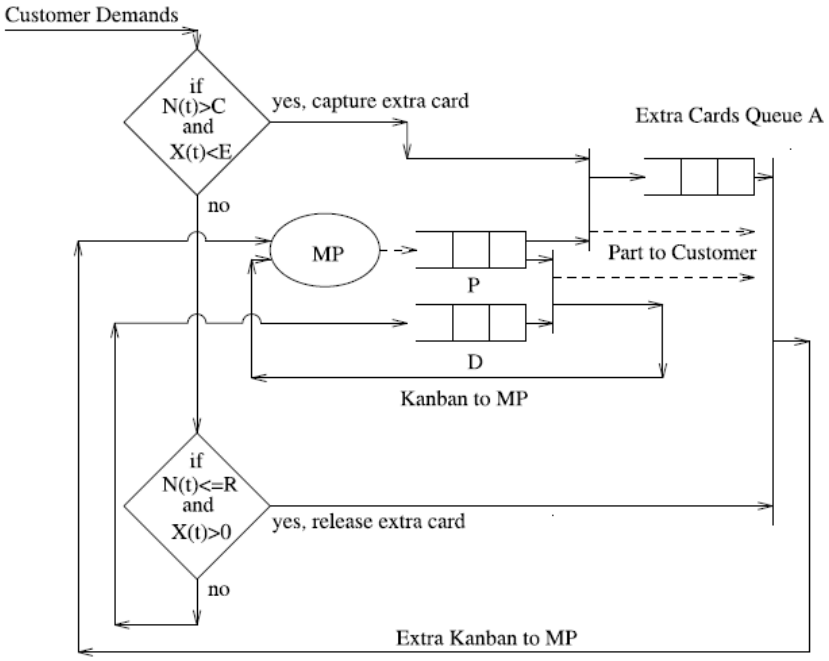
[41] EK = Electronic Kanban

Amennyiben a BOM változik, vagy a gyártás átkerül másik gyártósorra, cellára, esetleg megváltozik a rendeltetési puffer, szükséges a kártyák frissítése (az összes érintett gyártósoron!). Mindez egyrészről erőforrásigényes feladat, másrészről elmulasztása kockázatot jelent a termelés számára.
Hátránya, hogy a kanban egyik fontos tulajdonsága, a vizualitás csorbul, a jól átlátható információs folyamatok helyett kevésbé átlátható vezérlés kap helyet.
Az E-kanban egyéb tekintetben nem tér el a hagyományos kanbantól, inkább technikai, mint elvi különbségeket jelent.

2.2.2.3 Adaptív kanban vezérlés

Az adaptív kanban rendszerek kialakulásához az igények és ellátási folyamatok bizonytalansága, sztochasztikus jellege vezetett. A termelés átlagos WIP szintjének szabályozását a kanban szám módosításával lehet beállítani. A gyakorlatban ez sokszor úgy történik, hogy amikor feltűnően felduzzad a készlet, vagy esetleg alapanyag hiányos állapot lép fel, kanban hozzáadás, vagy kanban elvétel történik.
Számtalan tanulmány foglalkozik a gyakorlati élet számára rendkívül hasznos adaptív kanban témakörével. Rees et al. az aktuális környezet (termelés átfutási idő, igény előrebecslés) statisztikai elemzésével és az eredmények visszacsatolásával módosítja a kanban számot [83]. Ez a statisztikai folyamatvizsgálat törvényszerűen számos pontatlanságot tartalmaz, és időeltolódással módosítja a kanban számot, emiatt a gyors változásokat nem kezeli hatékonyan.
Takashi és Nakamura egy gyorsabb reagálású JIT vezérlést fejlesztett ki, mely a kanban szintet szabályozza vagy ember-számítógép interakció segítségével, vagy fuzzy logikával [106], [107]. Az igényeket exponenciális simítású mozgó átlaggal határozták meg. Azonban ez a módszer kifejlesztése bonyolult, erőforrás- és időigényes, a szimulációt különböző igényszint és puffer méret szcenáriók mellett kell lefuttatni. Hopp és Roof statisztikailag figyeli a rendszer átbocsátóképességét, ettől teszi függővé a CONWIP vezérlésű rendszer WIP szintjét [46]. A módszerük lényege, hogy amint egy bizonyos tartományon kívül esik valamely belső megmunkálóállomás kibocsátási rátája, a vezérlési rendszer automatikusan változtatja a kanban számot. Nincs egyértelmű konszenzus affelől, hogy a statisztikai, vagy szimulációs módszerek a hatékonyabbak. Grupta és Al-Turki kidolgozott egy rendszert, amely ismert igényszint és kapacitásadatok esetén egyértelműen szabályozza a kanban számot . Bár a módszer jobban teljesít a hagyományos kanbannál, hátránya hogy a tervezési időszak

alatt csak egyszer módosítja a kanban számot [38]. Gupta és Al-Turki módszere nyomán Tardif és Maaseidvaag kidolgozott egy gyakorlatban is könnyen alkalmazható módszert az adaptív kanban vezérlésre [114]. Egyéb a témában írt tanulmányok: [97], [108].
Az adaptív vezérlés sematikus modelljét a 8. ábra mutatja.



8. ábra: Az adaptív kanban vezérlő rendszer sematikus ábrája [114]

Ebben a modellben, a kanban kártyák száma az aktuális készletszint és a kanban rendelések függvényében változik. A gyártásindításkor a kanban számon felül extra kanban kártyákat is készenlétbe helyeznek, amelyeket akkor iktatnak be a rendszerbe, amikor igény érkezik és a készletszint egy bizonyos R küszöb alatt van (R: release threshold), és akkor vonnak el kanbant, amikor megrendeléskor a készlet egy bizonyos C érték fölött van (C: capture threshold).
A 8. ábran látható egyéb jelölések a következőek:

- MP: a megmunkálási művelet (manufacturing process)
- P: késztermék puffer
- K: a kanban kártyák száma
- D: bejövő igények puffere
- A: extra kanban kártyák puffere
- E: extra kanban kártyák száma

A rendszerindításnál a P pufferben K mennyiségű késztermék van, az A puffer E számú extra kanban kártyát tartalmaz, D és MP üres. N(t) egyezzen meg a P tartalmának és a D-ben lévő igények különbségével, t időpillanatban. X(t) jelenti a használaton kívüli extra kanban kártyákat, a t időpillanatban.
Az adaptív vezérlés lényege:

- Ha $N(t) \leq R$ és $X(t) > 0$, akkor extra kanban kártya kerül a körfolyamatba
- Ha $N(t) > C$ és $X(t) < E$, akkor egy a rendszerben lévő kanbant elvonják

Ezáltal a készletszintszabályozás a termelési folyamat és a vevői igények változásaira gyors és egyszerű a rendszer reakciója.

Már Tardif és Maaseidvaag is foglalkozott a kanban paraméterek optimalizálásával, amit Shabudabeen genetikus algoritmussal valósított meg [97]. Az optimalizálás célfüggvénye a következő:

$$Z_{K;E;R;C} = I_{K;E;R;C} + WIP_{K;E;R;C} + b \cdot B_{K;E;R;C} \qquad (5)$$

Ahol:

- $Z_{K;E;R;C}$: Kanban számtól, Extra kanban kártyától, Alső és felső jelzőszinttől függő összköltség függvény
- $I_{K;E;R;C}$: Késztermékszint
- $WIP_{K;E;R;C}$: WIP szint
- b: kanban rendelés fajlagos költség és a fajlagos készlettartási költség aránya
- $B_{K;E;R;C}$: Kanban rendelések száma

Az adaptív kanban rendszer egyik változata az auto adaptív kanban rendszer (AAK[42]) [14], amely CAM, illetve CIM technológiákat is felhasználva, figyelembe véve a termelési körülményeket és az igényeket végzi el a kanban szám helyesbítést. Az auto adaptív kanban rendszer egy on-line, decentralizált, automatizált folyamatirányítás, mely a hagyományos kanban elemeket meghagyta. Az adaptív rendszerek tervezését egyéb matematikai modellek is

[42] AAK = Auto-Adaptive kanban

támogatják, melyek többek között genetikus algoritmust, szimulált hűtési algoritmust is felhasználnak. [96], [97].

2.2.2.4 Egyéb pull rendszerek

Számos egyéb pull típusú rendszer jött létre a kanban alternatívájaként [54] , ilyenek:

- Általánosított kanban (GKCS = Generalized kanban Control System)
- CPM kanban (CPMKS = Critical Path Method Kanban System)
- Decentralizált reaktív kanban (DRK = Decentralized Reactive Kanban)
- Dinamikus javítású kanban (DAK = Dynamically Adjusting Kanban)
- Flexibilis kanban rendszer (FKS = Flexible Kanban System)
- Generikus kanban rendszer kanban (GKS = Generic Kanban System)
- Job-shop kanban (JSK = Job-Shop Kanban)
- Független kanban vezérlés (IKCS = Independent Kanban Control System)
- Független, kiterjesztett kanban vezérlés (IEKCS = Independent Extended Kanban Control System)
- Készlet alapú kanban (IBS = Inventory Based System)
- Kiterjesztett kanban rendszer (EKCS = Extended Kanban Control System)
- Konkurens rendelési rendszer (COS = Concurrent Ordering System)
- Módosított kanban rendszer (MKS = Modified Kanban System)
- Módosított konkurens rendelési rendszer (MCOS = Modified Concurrent Ordering System)
- Párhuzamos kanban rendszer (SKCS = Simultaneous Kanban Control System)
- Párhuzamos, kiterjesztett kanban rendszer (SEKCS = Simultaneous Extended Kanban Control System)
- Periodikus pull rendszer (PPS = Periodic Pull System)
- Regeneratív pull renszer (RPCS = Regenerative Pull Control System)
- Újrakonfigurált kanban rendszer (RKS = Reconfigurable Kanban System)
- Virtuális kanban rendszer (VK = Virtual Kanban)
- Vonalkódos kanban rendszer (BCK = Bar-Coding kanban)

Egyéb nem kanban rendszerek

- Minimális blokkolás (MB = Minimal Blocking)

- Push – pull megközelítés (PPA = Push-Pull Approach)
- Látszólagos Pull rendszer (FPCS = Fake Pull Control System)
- Hibrid Push-Pull (HPP = Hybrid Push/Pull)
- MRPSFX = MRP Shop Floor Extension
- CT5 = Customized Type5
- CT10 = Customized Type10
- GMWIP = Gated Max WIP

2.2.3 Hibrid rendszerek

A hibrid rendszerek ötvözik a push és pull típusú rendszerek tulajdonságait. A tisztán pull rendszerek némely esetében magas átfutási idővel kell számolni, míg a push rendszerek magas WIP szintet eredményeznek (ez természetesen az egyedi esetekben, jó szervezéssel, egyéb megoldásokkal kiküszöbölhető). A hibrid rendszerek célja, hogy támogassák az új termelési filozófiákat, ötvözve a push és pull előnyös tulajdonságait.
A leghíresebb három hibrid rendszer a következőekben kerül bemutatásra, de léteznek ezen felül egyéb hibrid rendszerek is, ilyen pl.: az ACLIPS, a WLC[43] [28] CoBaCaBaNa[44] [64].

2.2.3.1 POLCA

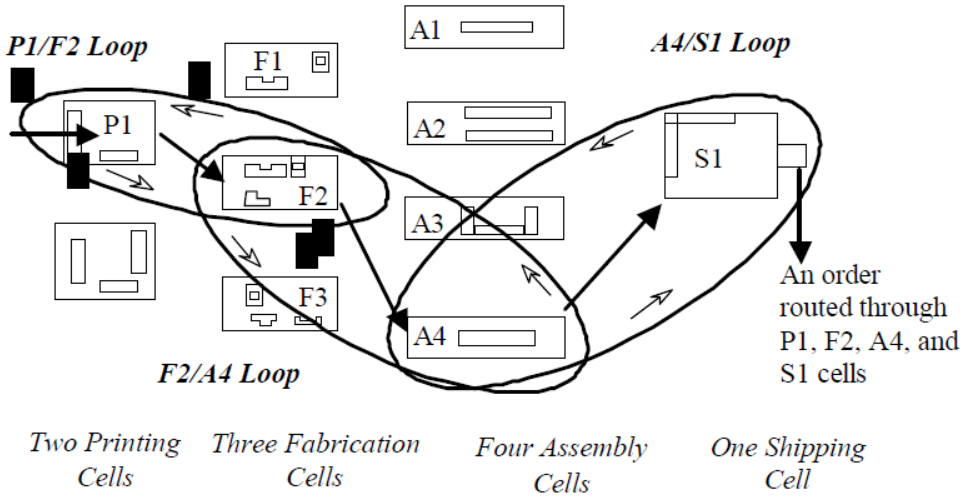
A POLCA[45] [102] egymással átfedésben lévő kártyás cellavezérlő hurkokat jelent, a kanban rendszerek alternatívájaként megjelent anyagáramlás vezérlési mechanizmus. A POLCA nem használható hatékonyan gyártósoron/cellán belüli anyagáramlás vezérlésére, csak cellák közötti anyagáramlás vezérlésre.
A kanban rendszerek nehézkesen alkalmazhatóak több lépcsős, nagy termékdiverzifikációval operáló termelési rendszerek esetén. A POLCA kifejezetten a korábban felvázolt QRM hatékony eszközeként jelent meg, kifejlesztője Suri [102]. A QRM rugalmas gyártócellák kooperációját írja elő, így a következőekben részletezett POLCA rendszer ezek meglétét feltételezi, és szabályozza a gyártásindításukat, a közöttük lévő anyagáramlást.

[43] WLC = Work Load Control

[44] CoBaCaBaNa = Control of Balance by Card Based Navigation

[45] POLCA = Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization

A POLCA egy push/pull vegyes rendszer, mely ötvözi a termeléskiszolgálási feladat szempontjából előnyös MRP és Kanban tulajdonságokat. A POLCA alkalmazásakor egy módosított logikájú MRP futtatással (HL-MRP[46]) jelölik ki a gyártási feladatok kezdetét, azonban ez önmagában nem elég a gyártásindításhoz, szükség van az engedélyező POLCA kártyára is.



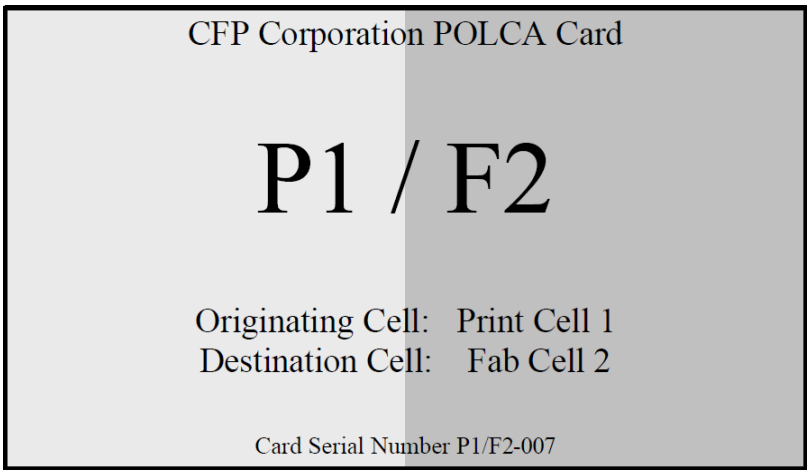
9. ábra: A POLCA vezérlés sematikus ábrája [103]

A POLCA egymással fedésben lévő vezérlési hurkokat használ (9. ábra). A cellák közötti mozgatott egységeket (batcheket) kártyák vezérlik, hasonlóan, mint a kanban kártyás vezérlés esetén. Az adott batch megmunkálásának vezérlését Suri et al. esettanulmányából [103] vett példán ismertetem: A batch-eknek P1-F2-A4-S1 útvonalon kell végighaladnia. A P1-en való megmunkálás kezdetének feltétele a HL-MRP által adott ütemezés és a P1-es cella POLCA kártya tárolójában lévő szabad P1/F2 kártya, mely tulajdonképpen az engedélyező jelet jelenti. A kész munkadarabokat továbbítják F2-re a P1/F2 kártyával együtt, de ott a megmunkálás csak akkor kezdődhet el, ha van a cella POLCA kártya tárolójában szabad F2/A4 POLCA kártya, illetve a HL-MRP ütemezés is engedi. A megmunkálás befejeztével a batchről leválasztják a P1/F2 kártyát és visszaküldik P1 kártya pufferébe. A batch-et F2/A4 kártyástul átmozgatják az A4-es cellára, a megmunkálása akkor kezdődhet A4-en, ha a HL-MRP ütemezés engedi és van szabad A4/S1 kártya az A4 kártya tárolójában. A batch hasonló vezérlési logikával folytatja útját egészen S1-ig.

[46] HL-MRP = High Level Material Requirements Planning

Így a cellák nem foglalkoznak olyan batch-el, amit a következő munkaállomás nem tud fogadni kapacitáshiány miatt. A kártyák tulajdonképpen nem anyagigényt jelentenek, mint a kanban esetében, hanem szabad kapacitást jeleznek.

A POLCA kártyák nem termékspecifikusak, hanem cella kapcsolat specifikusak, azaz arról adnak információt, hogy melyik két cella közötti hurokhoz tartoznak. A kártya tartalmazza a feladó/előállító és a leadó/fogadó cella azonosítóját (10. ábra).



10. ábra: POLCA kártya [103]

A POLCA kártyák számát Suri képletét továbbfejlesztve [102] Riezebos az alábbiak szerint határozta meg [85]:

$$N_{AB} = D_{AB} \cdot CT_{AB}$$

Ahol:

- N_{AB}: az A és B cellák közötti POLCA kártyák száma
- D_{AB}: a vizsgált időszak alatt A és B között áramló jobok száma
- CT_{AB}: a POLCA hurok átlagos ciklusideje (Ami a következőekből tevődik össze: munkaállomások feldolgozási ideje, anyagmozgatási idő, kártya várakozása a kártya pufferben, kártya és anyag együttes várakozása a hurok fogadó munkaállomásán)

$$CTAB = LTA+LTB+\varepsilon \quad (6)$$

Ahol

$$\varepsilon > 0 \quad (7)$$

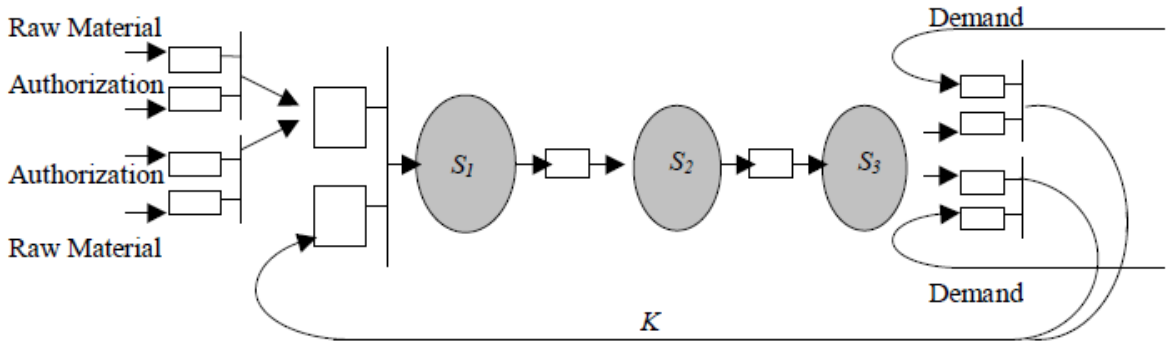
Az ε hibát α biztonsági tényező segítségével számoljuk:

$$\varepsilon \approx \alpha \, (LTA+LTB) \qquad (8)$$

A POLCA vezérlési mechanizmusnak is létezik továbbfejlesztett változatai, ilyen például az E-POLCA, amit Vandaele et al. fejlesztett ki[121].

2.2.3.2 CONWIP

A CONWIP[47] (állandó gyártásközi készlet) a kanban egyik alternatívájaként megjelent pull típusú vezérlési rendszer [74]. Először Spearman et al., publikálta 1990-ben [100]. A CONWIP tulajdonképpen egy hibrid pull/push rendszer. A soros anyagáramlás bizonyos pontjain (pl.: gyártórészleg félkésztermék pufferében) regisztrált felhasználás gyártási igényt generál, de nem a közvetlen előtte lévő megmunkálási ponton, hanem az i-n-dik megmunkáló állomáson. Ennek a munkaállomásnak az ellátása kanban rendszerrel történik, viszont az ott megmunkált/összeszerelt termékek push elvek szerint haladnak végig a gyártási folyamaton. Azaz az igény nem gyűrűzik vissza a gyártási folyamaton, létrehozva a tisztán pull rendszert, pull mechanizmus csak a gyártórészlegek között érvényesül.



11. ábra: CONWIP rendszer sematikus modellje [100]

A 11. ábra szemlélteti a rendszer működését. Látható, hogy az engedélyező jel, jelleggel visszaugrik a soros folyamat elejére, ez az úgynevezett WIP cap[48], mely a cella/gyártósor össz WIP szintjét korlátozza.

[47] CONWIP = CONstant WIP

[48] WIP cap = WIP korlátozó „sapka”

Duenyas et al. [24] vizsgálta determinisztikus feldolgozási idejű CONWIP rendszert, arra az eredményre jutott, hogy a termelés átfutási ideje csökkenthető a kanbanéhoz képest.

2.2.3.3 DBR (OPT)

A DBR a megkötések elméletének (TOC[49]) eszköze, módszere. A lényege, a megfelelő helyekre elhelyezett pufferek (szűk keresztmetszet elé illetve után), illetve a szűk keresztmetszet által meghatározott kibocsátási ütem. Amennyiben több lépcsős technológia van, (pl.: alkatrész fröccsöntés, beültetési műveletek, félkész termék összeszerelés, végösszeszerelés) és a lépcsőkön belül is több munkahely végez megmunkálást, mind a rendszer globális szűk keresztmetszetek, mind a lépcsőkön belüli lokális szűk keresztmetszetek pufferekkel történő ellátásáról gondoskodik. A szűk keresztmetszet fogja a rendszer átbocsátását is meghatározni.

A termelés ütemét leggyakrabban a vevői megrendelésekhez kell igazítani. Ritkább, hogy a termelés ütemét egy belső szűk keresztmetszet határozza meg, de előfordul. Ekkor általában extenzív (produktív időalap növelés, párhuzamos kapacitás bevonása) vagy intenzív (Kaizen[50], egyéb időnorma javítás) kapacitásbővítéssel élnek. Az ütemszerű gyártás (DBR[51]) és az egyszerűsített ütemszerű gyártás (SDBR[52]) mindig a szűk keresztmetszet ütemidejéhez igazodik, amelyet természetesen a vevői igény üteméhez közelítenek.
A kanban esetében egy minőségi hiba a teljes gyártási folyamatot megakasztja. Így a termelés folytonossága és a minőségi hiba kiszűrés ellenérdekekké válik. Ha a teljes folyamat megáll, akkor természetszerűleg a szűk keresztmetszet is blokkolva van, ami a leállási veszteségek szempontjából valós költséget jelent. A nem maximálisan kiterhelt gyártóegység leállítása sok esetben azt eredményezi, hogy a leállások közbeiktatása csökkenti a várakozási időket. A szűk keresztmetszet leállítása nem célszerű még minőségi hiba esetén sem, kivéve, ha a minőségi hiba a szűk keresztmetszeten van, illetve, ha a minőségi hiba a már legyártott

[49] TOC = Theory of constraints

[50] Kaizen = A TPS egyik eleme az állandó folyamat illetve művelet elemzésen, javításon alapuló módszer

[51] DBR = Drum, Buffer, Rope, ütemes húzó termelés

[52] SDBR = Simplified Drum Buffer Rope

termékeket is érintheti, azaz fennáll a veszélye annak, hogy a további termeléssel selejtet állítunk elő.

Példaként veszek egy általánosnak mondható robosztus gépipari technológiát: Nagy termelékenységű technológiával kezdődik a folyamat, pl.: nagy alapterületű lemez alapanyagokat lézervágással darabolják, utána a levágott apróbb alkatrészeket lassabb időnormájú mélyhúzással alakítják. A mélyhúzás után egyéb, kevésbé lassú műveleteket hajtanak végre (fúrás, sorjázás). Minden késztermék hasonló technológiával készül, ezért a termelés kiegyensúlyozatlan. Ha a lézervágó kapacitását nem sikerül külső megbízásokkal kiterhelni, a berendezés minden esetben kihasználatlan lesz. A lézervágás és a mélyhúzás közé érdemes puffert beiktatni. Puffer kell a mélyhúzás után is, bár ez mivel az utána lévő technológiák időnormája kisebb, minimális készletet fognak eredményezni.

A hagyományos kanban szigorú használatával a fúrás zavara esetén a mélyhúzó prés nem kap jelet ezért nem gyárt, vagy a lézervágás zavara esetén alkatrészhiány miatt várakozik.

A DBR alkalmazása megoldja a megrendelés termelésen való „végighúzását” és elkerüli a szűk keresztmetszet blokkolását.

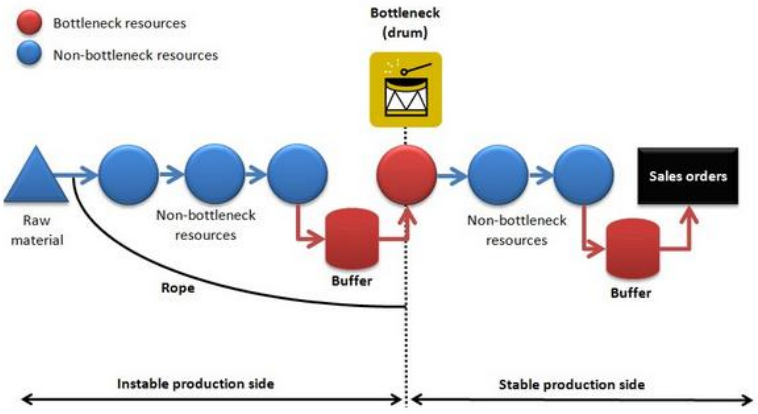
A szűk keresztmetszetekre főleg akkor kell hangsúlyt helyezni, ha azok meghibásodása viszonylag gyakori és/vagy nem kiválthatóak, azaz kritikus esetben jelentős rendelésátfutási időnövekedést tud eredményezni a leállás.

A megkötések teóriáját az 1970-es években dolgozta ki Goldratt és Cox [31] eredetileg OPT[53] néven. A kifejlesztett szoftver is ezt a nevet kapta, míg magát a módszert a későbbiekben a megkötések elmélete néven illették.

A megkötés tulajdonképpen a szűk keresztmetszetre utal, azaz bármire, ami megakadályozza a szervezeti egységet, műveletet, vagy az egész rendszert, hogy a maximalizálja a kibocsátását. Ez lehet a gép-, megmunkáló részleg kapacitás megkötése, de akár emberi motiváció hiány, vagy a piaci megszorítások. Minden vállalati rendszernek van szűk keresztmetszete, máskülönben végtelen nagy kapacitással rendelkezne.

A TOC elmélet lényegét összefoglalja a 12. ábra.

[53] OPT = Optimized Production Technology



12. ábra: A DBR sematikus ábrája [130]

Az ábrából látszik, hogy a megfelelő helyeken elhelyezett pufferek kiegyenlítik az egyenlőtlenségeket, megakadályozzák az átbocsátás csökkenését, illetve a szűk keresztmetszet kapacitása határozza meg a rendszer gyártási ütemét.

A kilenc TOC alapszabály az alábbi:

- Az anyagáramlást kell kiegyenlíteni nem a kapacitásokat.
- A nem szűk keresztmetszetek használatát más rendszerelemek megkötései határozzák meg
- Az erőforrások kihasználása és a teljes foglalkoztatása nem azonos fogalmak
- Egy óra veszteség a szűk keresztmetszeten a rendszer egy órányi veszteségét jelenti
- Egy órányi megtakarítás a nem szűk keresztmetszeti elemen csak látszólagos
- A szűk keresztmetszetek felelősek a rendszer átbocsátóképességéért és a készlet felhalmozódásért
- A szállítási, anyagmozgatási köteg méretek nem feltétlenül kell, hogy megegyezzenek a feldolgozási kötegméretekkel
- A gyártási lotok mérete változtatható kell, hogy legyen nem fix
- Az ütemezést az összes megkötés figyelembevételével kell elvégezni

A módszer lényege, hogy a lokális optimumok helyett a rendszer optimumát keressük.

3 TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI PROBLÉMAKÖR

3.1 A TERMELÉSKISZOLGÁLÁS ELHELYEZÉSE A LOGISZTIKAI RENDSZERMODELLBEN

A termeléskiszolgálás a termelés alapanyag ellátását végző alrendszer. A termeléskiszolgálás operatív feladatainak elhelyezéséhez általánosított vállalati folyamatokat ismertetek.

A vállalat a vevői igényeket részben ismerve, részben előrejelezve, „forecast”-okat készítve valósítja meg az aggregált tervezést, mely viszonylag nagyobb időszakra vetítve tartalmazza az előállítandó termékek tervszámait. Az aggregált tervezést figyelembe véve jön létre a gyártási vezérprogram (MPS[54]), mely egy rövid tervezési horizontot jelent. A gyártási vezérprogram. Ezután történik a vezérprogram megvalósításának operatív tervezése, azaz az erőforrás és gépkapacitás allokációja. A termelés alakulásának

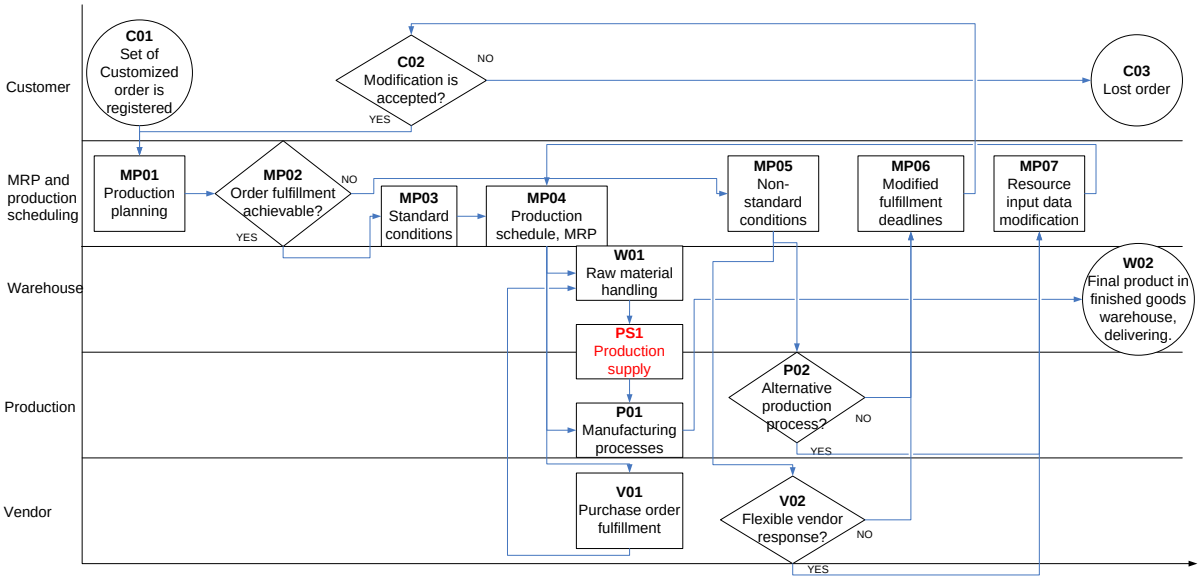
Az operatív megvalósításhoz, vezérléshez, illetve az anyagszükséglet tervezéshez a korábban ismertetett PMFC stratégiák bármelyike használatos. A termeléskiszolgálás az ütemezett (push) vagy vezérlés által indított (pull) termelési feladatokhoz szükséges anyagok rendelkezésre bocsátásáért felel. A kiszolgálási folyamat a termelési igény regisztrálásával indul, tartalmazza a raktári kiszedési feladatokat is.

A vállalat értékteremtő folyamata a megrendeléskezelés. Ennek egy általánosított folyamatát a következőekben ismertetem:

3.1.1 Megrendeléskezelési folyamat

A következőkben egy általános megrendelés-kezelési folyamatot mutatok be, csupán a termelési és termeléskiszolgálási folyamatokra koncentrálva (az egyéb, pl.: főkönyvi, vagy HR folyamatokkal nem foglalkozom). A megrendeléskezelési modellt a 13. ábra mutatja.

[54] MPS = Master Production Schedule



13. ábra: Megrendeléskezelési folyamat egyedi tömeggyártás esetén (Saját szerk.)

Az ábrán látható rövidítésekhez tartozó folyamatelem leírásokat a továbbiakban ismertetem:

C01

Az egyedi igényeket az ERP rendszer fogadja, illetve visszajelzést ad a teljesíthető határidőről. A mai gazdasági körülmények nem engedik meg a vállalatoknak, hogy megrendelést utasítsanak vissza, vagy elfogadhatatlanul hosszú határidővel dolgozzanak. Emiatt a határidőt gyakran felülírja vagy a vevői prioritás, vagy a vállalati filozófia.
Ugyanakkor a határidők flexibilitásával a termelésprogramozás optimumán javítani lehet [21].
A vevő rendeléséhez az alábbi adatok kapcsolódnak:

- BOM: egyedi igények esetén a BOM-ot a vevő állítja össze, vagy kiválasztja egy lehetséges BOM halmazból
- Határidő
- Rendelési mennyiség
- Szállítási feltételek

MP01

A termeléstervezési szakaszban az allokációs feladatokat hajtják végre. A termeléstervezés input adatai:

- Rendelés adatok, határidők
- Erőforrás adatok (kapacitás adatok)

- Készlet (meglévő és rendelt) adatok
- Szállítási határidők
- Átállási költségek és időszükségletek
- BOM-ok
- BOM-hoz kapcsolt technológiai adatok, mint pl.:
    - Erőforrás szükséglet (normaadatok)
    - Gyártási feladatok (Job-ok), műveleti sorrendek
    - Alapanyag beszerzési adatok
    - Szállítási határidő

A termeléstervezés output adatai:

- Jobok, erőforrások, alapanyag készlet allokációja, gyártás időbeliségének meghatározása
- Kalkulált adatok: átfutási idők, késések száma, átlagos hossza, erőforráshiány, -többlet mértéke stb.

Az anyagszükséglet tervezés bemeneti adatai

- Készlet adatok
- BOM
- Termelésütemezés adatai alapján szállítási határidők
- Szállítási átfutási idők
- Alapanyag – beszállító összerendelés

Az anyagszükséglet tervezés kimeneti adatai

- Szállítói rendelések (beszállító, teljesítési határidő, mennyiség)

MP03

Azt feltételezve, hogy a megrendelés teljesítési határidő egy fix peremfeltétel, illetve a termelésütemezés és az anyagszükséglet tervezés alapján megmondható, hogy adott megrendelés teljesíthető-e. Ebben az esetben nincs szükség ellenintézkedésre, mint pl.: extra műszak beszúrására, beszállítóval való egyezkedésre, stb.

MP04

A termelési ütemezés és az anyagszükséglet tervezés adatai alapján megkezdődnek a raktári (**W01**), termeléskiszolgálási (**PS1**), beszállítási (**V01**) és termelési (**P01**) folyamatok. Miután a termelési folyamat megáll, a késztermeket betárolják a készáru raktárba (**W02**). Jelen esetben nem foglalkozom a kiszállítási folyamattal és a reklamációkkal, a megrendelés kezelési folyamatot itt befejezettnek tekintjük.

MP05

Ha az aktuális készlet, erőforrás, és beszállítói rugalmasság körülmények a rendelés teljesítésének csúszását eredményezi, ennek elkerülésére ellenintézkedéseket kell tenni. Ilyen ellenintézkedés pl.:

- Műszak beszúrása a produktív időalapba
- Erőforrás beruházás
- Technológiai változtatás
- Beszállítói átfutási idő csökkentése szállítási mód változtatásával, stb.

A megfelelő ellenintézkedések végrehajtásával megváltoznak a tervezési adatok (**MP07**), és végre kell hajtani a termelés újraütemezését illetve az anyagszükséglet újratervezését (**MP04**). Szállítási átfutási idő, stb.). Amennyiben az ellenintézkedések nem bizonyulnak elegendőnek, azaz lehetetlen a teljesítés, egyezkedni kell a vevővel a teljesítési határidő kitolásáról (**MP06**). Amennyiben a változást a vevő elfogadja, a teljes folyamat újrakezdődik, amennyiben nem, a rendelés elveszik.

3.1.2 Korszerű raktári, termeléskiszolgálási informatikai rendszer

Kijelenthetjük, hogy manapság a legtöbb raktári, termeléskiszolgálási folyamatot valamilyen információs és azonosítási rendszer támogat. A vállalatirányítási rendszerek akár már kisebb vállalkozások számára is elérhetővé váltak, de egy egyszerűbb készletkezelő szoftvert százezer, vagy akár már tízezer forintos nagyságrendű összegért is be lehet szerezni (pl.:[131]). Ilyen rendszerek segítségével az anyagmozgások (készlettranzakciók) könnyen regisztrálhatóak. Az azonosítási folyamatokat felgyorsítja, és a hibaszázalékot csökkentik az automatikus azonosítási technológiák alkalmazása, melyek a vállalatirányítási rendszerekkel, illetve készletkezelő alkalmazásokkal kooperál.

Egyre inkább elterjed a rádiófrekvenciás azonosítási technológia (RFID[55]), de jó használhatósága és ára miatt még mindig a vonalkódos azonosítás a legnépszerűbb. Bár az imént említett technológiák széles körben elérhetővé váltak, mégis számos, jelentős ügymenettel rendelkező vállalat alkalmaz papír alapú, manuális azonosítást, és nem váltja le a jól megszokott táblázatkezelő programban vezetett nyilvántartását, holott ez indokolt lenne és rövid időn belül megtérülne. Ugyanakkor meg kell jegyezni azt is, hogy bizonyos vállalkozás méret alatt és folyamat komplexitás szintig hatékonyan tud működni egy jól felépített manuális azonosítási rendszer és MS Excel táblázatkezelőben vezetett nyilvántartás.

Általában a raktári és üzemi információs rendszerek a legfontosabb informatikai funkciókat szolgálják ki anyagmozgatási folyamatok tekintetében, vagyis készlettranzakciókat regisztrálnak, bizonylatokat állítanak elő be- és kiszállításkor, amennyiben szükséges üzemen belüli mozgatáskor, stb. Ezáltal az egyes költséghelyek, anyagok készletszintje riportolható.

Az anyagmozgáskor egyéb adatok is rögzíthetőek, ilyen például a csomagolási egység azonosítója, vonalkódja, vagy a gyártási lot szám. Ezek rögzítése lehetővé teszi, hogy később ilyen információ is társítható legyen az anyag az készletéhez, tranzakcióihoz.

Az ilyen aprólékosan kidolgozott azonosítási rendszer főleg a gyógyszer-, gép-, autó- és élelmiszeriparban elterjedt.

Jellemző trend, hogy a kontrolling lehetőségének biztosítása érdekében, vagy a szükségszerűnek vélt, megszokott átadás átvételi folyamatok végrehajtása miatt olyan információ kerül rögzítésre és tárolásra, mely által elért előnyök nem állnak egyensúlyban a rögzítés ráfordításaival. Az adat sokszor csak akkor számít hasznos információnak, ha egy azonnali reakciót indít el, azaz közvetlenül felhasználásra kerül a vezérlésben.

3.1.3 Nyomonkövetési funkciók

Az autóiparban minőségügyi követelmény a nyomonkövetési rendszer megléte (DTS[56]) [112]. A nyomonkövetési rendszer segítségével az előállított késztermék és beépülő alkatrészeinek teljes ellátási láncon belüli útja visszakövethető [16].

Használható még számos egyéb megmunkálási, anyagkezelési, szállítási körülmény rögzítésére, visszakeresésére.

[55] RFID = Radio-Frequency Identification

[56] DTS = Defect Traceability System

Egyre több szigorú minőségi előírás követeli meg a vállalatoktól, illetve teszi célszerűvé a nyomonkövetési rendszerek kiépítését. Ilyen rendszer megléte esetén az üzemen belüli és vállalatok, telephelyek közötti anyagmozgások követhetőek, illetve kereshetőek vissza a későbbiekben. Az üzemeknél a beépülő alapanyagok és legyártott késztermékek, raktáraknál a beszállított és kiszállított áruk közötti információs kapcsolatot kell megteremteni.

Mindez manapság elkerülhetetlen tényező a nyomonkövetési szempontból kritikus területeken, mint például a gépipar, élelmiszeripar vagy a gyógyszeripar, ahol a termékhibák súlyos anyagi és/vagy egészségügyi károkat okozhatnak. Nyomonkövetés nélkül nem lehet megfelelő visszahívási akciót végrehajtani elégtelen minőségű termék kiszállítását követően.

A teljes ellátási láncot átfogó nyomonkövetés megvalósításához a szállítás közbeni termék nyomonkövetés és az üzemeken, depókon belüli követés lehetősége szükséges.

A fuvareszköz állandó helyzet-monitoringja nem feltétlenül kell, hogy megvalósuljon a korrekt nyomonkövetéshez, elég, ha az átadás-átvételi pontokon a megfelelő információk rögzülnek. A kidolgozott nyomonkövetési rendszerre jó példa az élelmiszeripar egyes megoldásai. Létezik olyan megoldás, hogy a szállítási csomagolásokhoz rendelt érzékelők regisztrálják a szállítás közbeni hűtőhőmérsékletet, páratartalmat, egyéb paramétereket.

Vállalatoknál végzett nem reprezentatív felmérés alapján kijelenthető, hogy nyomonkövetési rendszert csak abban az esetben építenek ki, ha annak meglétét a vevő vagy törvényi szabályozás írja elő. Ennek fő oka, hogy nem eredményez közvetlenül profitot, sőt sok esetben jelentős beruházási igénye van. A megtérülés analízisnél nehéz számszerűsíteni a minőségi javulást, a kockázatok bekövetkezése esetén foganatosítható jobb ellenintézkedéseket. A nyomonkövetés viszont nem csak a vevők, hanem a vállalat számára is nyújt előnyöket.

A nyomonkövetés segítségével történik például a járművek gyár által kezdeményezett visszahívása. Érthető okok miatt kiemelt biztonsági aspektus a gyógyszeriparban és az élelmiszeriparban [82]. Direktívák és szabályozások (mint pl.: a HACCP) írják elő a nyomonkövetést, annak érdekében, hogy elkerüljük a nem megfelelő minőségű termékek ismeretlen útvonalon történő elosztását, és ennek a súlyos, beláthatatlan következményeit. Ilyen esetben ugyanis a teljes vevőkört értesíteni kell a hibáról, mely súlyos renomévesztést és egyéb költségeket okoz a vállalatnak. Még súlyosabb anyagi károkat okoz az, ha a termék minőségi hibát nem tudjuk gyártási lotokra leszűkíteni és ezáltal lényegesen több terméket kell visszahívni.

A nyomonkövetés megvalósul, amennyiben sikeresen tudunk visszahívásokat indítani kellő mértékben leszűkítve a kiszállításokat. Ezek feltételei és költségvonzata is meghatározható.

A nyomonkövetés jelentősége az ellátási láncok kialakulásakor egyre nagyobb jelentőséggel bír. Minél hosszabb az ellátási lánc annál kritikusabb fontosságú a megfelelő anyagmozgatási folyamatjellemzők rögzítése [65].
Új logisztikai folyamatokat támogató információs rendszer bevezetésekor szempont, hogy friss és a törvényi szabályozásoknak megfelelő megoldást válasszunk. [55], [20], [101].
A nyomonkövetés koncepciója vevői és hatósági igény oldalról nőtte ki magát és beépült a fejlett IT megoldás szállítók termékeibe.
A megoldásoknak az alábbi fő pontoknak, igénynek kell megfelelniük [51]:

- A termelt szériákat gyártási lot azonosítókkal látják el.
- Adatgyűjtési pontokat kell beszúrni az anyagáramlási folyamatok csatlakozásához
- Megfelelő termék azonosítási rendszer kiépítése és kapcsolása a logisztikai folyamatokhoz
- Hatékony, gyors riportolási lehetőség

A nyomonkövetés egy különálló és jelentős területe lett az információ technológia és menedzsment, kooperálva majdnem minden iparággal [11],[39], [84], [115].
Az információs technológia fejlődése és a vevői igények jellemző átalakulása arra készteti a vállalatokat, hogy integrálják a nyomonkövetés feltételeit a logisztikai folyamataikba. Nem csupán a versenypiaci környezet, hanem a hatósági szabályozások is előírják a nyomonkövetési kötelezettségeket, mivel súlyos egészségügyi és anyagi károk keletkezhetnek a megmunkálás, szállítás módja vagy alapanyag minőségi hibája miatt.
A nyomonkövetés megvalósításához a megfelelően felépített lokáció- és termékazonosítás szükséges. Új adatgyűjtési pontok folyamatba illesztésével el kell érni, hogy minden anyagmozgásról készlettranzakció generálódjon az informatikai rendszerben.
Adott termék, alapanyag előélete a hozzá tartozó tranzakciós állomány áttekintésével lehívható. A tranzakciókon az egyes bizonylatok azonosítóit is tárolni kell – mint pl.: bemenő szállítólevél szám, raktárbevételi jegy száma, készrejelentő lap, kimenő szállítólevél szám, stb. – így a beszállított alapanyagok és a beépülésükben érintett késztermékek összekapcsolhatóak, illetve egyéb hatékony mélyfúrások hajthatóak végre az adatállományban.

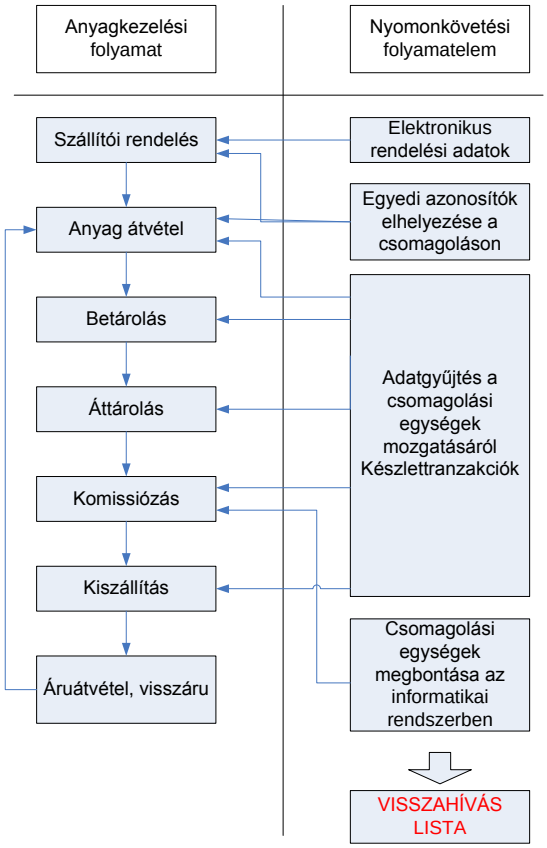
Bár a megvalósítás adott esetben jelentős költségekkel jár, a nyomonkövetés megvalósulásán túl járulékos előnyök is szerezhetőek. Ezek az előnyök az alábbiak:

- Pontosabb készletnyilvántartás
- Készletezési irányelvek könnyebb betarthatósága (pl.: FIFO[57], FEFO[58], stb.)
- Egyéb járulékos információk megjelenítésével a tranzakciókon (operátor azonosító, tranzakció időpontja, komissiólista azonosító, stb.) logisztikai döntéstámogató riportok pontos, gyors futtatása is lehetséges.

A nyomonkövetés nem biztosított, amennyiben az egyes, egymástól külön mozgó csomagolási egységek nincsenek ellátva egyedi azonosítóval. Minden mozgatott egység készlettranzakcióját online módon rögzíteni kell. Készlet lokációkat kell létrehozni, a fizikai tárhelyeket megcímkézni az online tranzakció rögzítés érdekében (tranzakciók honnan-hova adatai). A bizonylatazonosítókat tranzakciókhoz rendelik, mivel egyes adatok, mint pl.: bizonylatot kiállító, kiszedést végző, stb. személy adatai, vagy a partner kódja így kapcsolható a tranzakcióhoz. A raktári anyagkezelési folyamat és nyomonkövetési rendszer közötti alapvető kapcsolatot a 14. ábra szemlélteti.
A fizikai és információs folyamatelemek a folyamat teljes hosszán kapcsolódnak egymáshoz.
Egy ideális raktári nyomonkövetési rendszer esetén a szükséges nyomonkövetési információkat már a beszállító elhelyezi a csomagolási egységen. Az ily módon kialakított informatikai rendszer egyik előnye, hogy valós idejű készletmenedzsmentet tesz lehetővé, és a tranzakciók felfűzésével pontos visszahívások valósíthatóak meg.

[57] FIFO = First In First Out

[58] FEFO = First Expiring First Out



14. ábra: Raktári anyagmozgatási folyamatelemek és a nyomonkövetési rendszerelemek kapcsolata (saját szerk.)

Ha a fejletlen informatikai rendszerrel rendelkező vállalatnál az előzőekben leírt nyomonkövetési rendszert valósítanak meg, akkor a pontosabb, real-time készletnyilvántartás is megvalósul [86]. Könnyen lekérdezhetővé válnak a készletadatok, pl.: adott lotból, mely tárhelyen, mennyi van. Másik releváns előny, hogy a készletezési irányelv betartható. Például a FIFO elvet nehezen lehetne betartatni – csak drága görgős állványok segítségével -, ha a pontos betárolási időpontot nem rögzítjük és használjuk fel a későbbi kitárolások irányításánál. Élelmiszeripari raktárakban amiatt is ajánlott rögzíteni a készletmozgásokat csomagolási egység vagy rakat azonosító szintjén, hogy az adott tárhelyen lévő áruk egyéb tulajdonságait is tudjuk. Ilyen tulajdonság a lejárati dátum, mely segítségével a FEFO készletezési elv betartható a komissiózás során.

Közvetlen profithoz segít olyan riportok futtatása, mely a rövid időn belül lejáró csomagolási egységeket listázza. Az érintett cikkeket akciózva, bolti kiszállításokat előbbre hozva jelentős veszteséget lehet elkerülni.

Másik járulékos előny, hogy egyéb extra funkcionalitást lehet beépíteni az így kialakított rendszerekbe, mint pl.: palettákhoz, rakatokhoz, csomagolási egységekhez minőségi státuszt lehet rendelni, nem megfelelő minőségű egységek mozgását blokkolni lehet, stb. Ilyen blokkolás lehetőségét ki lehet terjeszteni raktárhelyre, raktárra, lot-ra, cikkszámra. A blokkolás mértékét is lehet finomítani, azaz mozgatni nem lehet, vagy csak értékesíteni nem lehet, gyártásba kiadni nem lehet, stb.

Mindazonáltal a nyomonkövetés legfontosabb előnye a kellően leszűkített visszahívások indításának lehetősége [76].

A nyomonkövetés legfontosabb célja, hogy gyors és pontos visszahívásokat tudjunk végrehajtani [3], [10]. Ennek megvalósításához a beszállított, és majd kiszállított termékek – összeszerelő üzem esetén legyártott késztermék – közötti kapcsolatot kell adatbázisban rögzíteni. A tranzakciós adatokban végzett mélyfúrással adott termék elő-, illetve utóélete listázható. Tulajdonképpen a visszahívás egy riport, amely egyrészről lehet vevő oldalról érkező igény illetve beszállítói oldalról érkező igény.

3.2 TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI RENDSZEREK TRADE-OFF SZITUÁCIÓI

A termelés kiszolgálási folyamatok költségszintje számos jellemzőtől függ, ilyen jellemző pl.: a beszállított csomagolási egységek mennyisége, a kanban mennyiség, vagy a komissió listák tételszáma. E tényezők ésszerű megválasztásakor technológiai és egyéb jellemzőket, peremfeltételeket is figyelembe kell venni. A cél: költségminimum elérése azzal a megkötéssel, hogy a folyamat továbbra is egyszerű, átlátható és biztonságos (auditálható) legyen. Matematikai modellek segítségével leírható a termeléskiszolgálás folyamata, amely modell optimalizálásával meghatározható a rendszer globális optimumához tartozó input paraméter konfiguráció.

A termeléskiszolgálási rendszerek üzemeltetése során számos trade-off jellegű szituáció megoldását keressük. Mivel a gyakorlatban egy újonnan létrehozott rendszer általában ésszerűsítések, folyamatos iterációs lépések elvégzése során javul, emiatt e rendszerek ritkán veszik fel az optimális állapotot.

Az erős versenypiaci helyzetben az összeszerelő üzemeknek egyre diverzifikáltabb vevői igényeket kell kiszolgálniuk, egyre rövidebb szállítási határidővel. Ahhoz, hogy a termelési folyamatrendszer és a meglévő vállalati infrastruktúra képes legyen komolyabb

eszközbeszerzés illetve infrastruktúrafejlesztés nélkül megfelelni ezeknek a peremfeltételeknek, a folyamatok, szervezési módszerek fejlesztése szükséges. Az ilyen jellegű fejlesztési lehetőségek vizsgálatának egy módszere a modellezés. Matematikai modellek segítségével absztrahált módon írhatunk le egy problémát. A matematikai modell optimalizálásakor a modell valamely kimeneti változójának (pl.: összköltség) számunkra legkedvezőbb értékét és az ahhoz tartozó bemeneti változó konfigurációt keressük. Ugyanezt az eredményt matematikai modell létrehozása nélkül, „próbálgatással" vagy változatok elemzésével nem mindig tudjuk elérni, illetve nem tudjuk biztosan kijelenteni, hogy az optimális megoldást találtuk meg az adott problémára. Rendelkezésre állnak már korszerű szimulációs eszközök is melyek hatékony megoldást nyújtanak a termeléslogisztikai problémákra [8].

A trade-off jelenséggel (alku) számos folyamatparaméter módosításakor számolni kell. Trade-off szituációról beszélünk, ha egy bemeneti folyamatjellemző változása több, egymás kárára javuló illetve romló kimeneti jellemző értékére van hatással.
Mielőtt egy termék piacra kerül, szerteágazó és alapos egyeztetési, kooperatív műveletek során kell végighaladnia az ellátási lánc teljes hosszán. A termékek gyártási technológiájának tervezése mellett párhuzamosan történik a logisztikai folyamatok tervezése. Új termék bevezetésekor a beszállítók kiválasztása, fejlesztése, a szállítási mód, fuvarozó kiválasztása, az információáramlás megtervezése, és egyéb feltételek megteremtése is feladat. A vállalatközi kapcsolatok ilyen szintű kiépítése során bizonyos logisztikai paraméterek megválasztása alapvető feladatnak, rutin eljárásnak tekinthető [71].

A továbbiakban a termeléskiszolgálási folyamatokat érintő egyes paraméterek által előidézett legfontosabb trade-off szituációk kerülnek felsorolásra. Ezen paraméterek különböző irányban történő változtatása egymással ellentétes célokat szolgál. A paraméter változtatások hatásait matematikai módszerrel modellezni lehet, cél az optimális paraméterértékek megtalálása.

Az alábbiakban felsorolt trade-off jellegű szituációkon felül természetesen számos egyéb létezik, igyekeztem a disszertációban a fontosabbakat számbavenni.

3.2.1 Beszállítói csomagolásméret meghatározása

Az egyedi csomagolástervezés akár 20%-os költségcsökkentést is jelenthet a vállalatok számára. Ezzel párhuzamosan csökken a környezetterhelés, a munkaerőigény, a veszteség, és megnövekedik a termék védelme [132]. Az egyedi csomagolásméret meghatározásakor vizsgálhatjuk a csomagolási mennyiség megválasztásának gazdasági hatását a vevői oldalon.
A gazdaságos rendelési tételnagyság meghatározásának modellje a vállalatok közötti optimális tételnagyság megválasztását segíti [41], míg a beszállítói csomagolásméret a termeléskiszolgálási folyamatokra van hatással.
Mindkét esetben a tételnagyság változtatásával a készlettartási és az anyagmozgatási költségek közötti trade-off megoldása a cél. Ezt a kérdéskört a 4. fejezetben részletesen megvizsgálom.

3.2.2 Komissiózási tételnagyság vizsgálata

A gyártás által megrendelt alapanyagok kiszedési tételként megjelennek a komissió listákban. Nagyobb tételszám esetén a komissiózási teljesítmény megnő, csökken az egy darabra vetített anyagmozgatási költség [49]. Ugyanakkor jelentkezik egy nem kívánt hatás is: a kiszolgálási idő, a sortöltés ciklusideje is megnő. A sortöltési ciklusidő növekedésével a gyártósori készleteket emelni kell, mely következtében nő a készlettartási költség. A nagyobb sortöltési ciklusidő megnövelheti a termeléskiszolgálás reagálási idejét a következő eseményekre:

- váratlan átállás
- a termelés hibásan rendelt alapanyagot emiatt váratlan készlethiány alakult ki.
- selejt alapanyag keletkezése, vagy észlelése a gyártósoron, mely miatt készlethiány alakul ki

Az ilyen váratlan események ellen soron kívüli kiszedések engedélyezésével lehet és szoktak is védekezni.

3.2.3 Kanban mennyiség és kanban szám

A minimális kanban mennyiség a felhasználás mértékétől (gyártósorok igénye, beépülési mennyiség) és az utánpótlás idejétől függ. Célszerűen a tényleges kanban mennyiség a csomagolási mennyiség egész számú többszöröse. A kanban mennyiség emelésekor nő az

adott alapanyag átlagkészlete, ugyanakkor nagyobb utánpótlási időt (sortöltési ciklusidőt) engedhetünk meg [67].
Amennyiben az optimális kanban mennyiség szétcsomagolási művelet útján valósítható meg, az optimalizálásnál ennek költségeit is figyelembe kell venni. Ekkor a beszállítói csomagolási egységeket valamilyen ideiglenes tárolóeszközbe, ládába, tálcára, esetleg másik csomagolóanyagba helyezik, mennyiségüket megbontva.

3.2.4 Nyomonkövetési beruházások szintjének kiválasztása

A nyomonkövetési rendszerek fejlesztése általában olyan igény, melyet törvényi szabályozás ír elő és/vagy a vevő követeli meg. A termelési nyomonkövetési rendszerek az elégtelen minőségű alapanyagok és az azokból összeszerelt késztermékek közötti kapcsolatot teremtik meg. Ehhez a kapcsolathoz még hozzá lehet rendelni az összeszerelési, megmunkálási művelet körülményeit is (gyártósor, megmunkálás technikai adatai, műveletet végző dolgozók, stb.).

A nyomonkövetés pontosságának is vannak szintjei. Alacsonyabb szintű nyomonkövetésről akkor beszélünk, amikor csupán azt tudjuk megmondani, hogy melyik késztermék széria melyik - sarzs szinten beazonosított – alapanyagokból került összeszerelésre. Ekkor nagyobb mennyiségek szükségszerű visszahívásának veszélye áll fenn, főleg, ha nagy sorozatokban gyártjuk a késztermékeket. Amennyiben a termelés egy késztermék szériához több alapanyag sarzsot használt fel, és utólagos alapanyag hibára derült fény, a teljes szériát vissza kell hívni. Amennyiben a késztermékek csomagolási egységeiről, illetve egyedi darabokról pontosan meg lehet állapítani, hogy milyen sarzsú alapanyagokból épült össze, nincs szükség a teljes széria visszahívására.

Még magasabb szintű nyomonkövetésről beszélünk, amennyiben az összeszerelési, megmunkálási művelet egyéb technológiai paraméterei is hozzá vannak rendelve az akár egyedileg, gyártási számmal azonosított késztermékhez. Ekkor a termelési hibák (pl.: hibás gépbeállítás) miatti visszahívásokat nem a teljes késztermék szériára, hanem akár egyedi késztermék darabokra is elvégezhetjük.

Természetesen a magasabb szintű nyomon követésnek akkor van értelme, ha az ellátási lánc következő szereplője is kellő szintű nyomonkövetési rendszerrel rendelkezik.

Nagyobb pontosságú nyomonkövetési rendszer kiépítése költségesebb, ugyanakkor a visszahívások miatti kockázatok kisebbek, ahogy az ebből fakadó veszteségek is. A jelenlegi profit-orientált vállalati légkör megnehezítheti az olyan beruházások létrejöttét, melyek csupán az üzembiztonság növelését, illetve egyéb kockázatok csökkentését irányozzák meg és megtérülésük nem bizonyított adott tervezési horizonton.

A nyomonkövetés szintjének meghatározása tulajdonképpen szintén egy trade-off szituációt jelent, hiszen az emelt szintű nyomonkövetés adott esetben magasabb beruházási költséget és több extra adatkezelési igényt jelent a vállalat számára. Alacsonyabb szintű nyomonkövetési rendszer kiépítése ellenben nagyobb kockázattal jár és visszahívás szükségessége esetén anyagi veszteséget kell a vállalatnak elkönyvelnie.

Egy másik trade-off jellegű döntés az, hogy a nyomonkövetési szempontból elégtelen informatikai rendszer fejlesztését miképp valósítsuk meg.

3.2.5 Szérianagyság

A szérianagyság meghatározását legtöbbször kizárólag termelésszervezési problémának tekintik, ám hatással lehet a termeléskiszolgálásra is [17]. A szérianagyság csökkentésével a termelési átfutási idő lecsökken, ugyanakkor az időnorma növekszik az átállások számának növekedésével, csökken a gépek hatékonysága [63]. A szérianagyság a termelés kiszolgálás jellegére, körülményeire is hatással van. A kisebb szériák kiszolgálása adott esetben nagyobb erőforrás ráfordítást igényelhet. Nő az előkészítési és visszavételezési feladatok száma, adott időszakra vetítve. Fokozottan igaz akkor, amikor a termelés kiszolgálás MRP rendszerben működik, a termelés számára a szériához várhatóan felhasználásra kerülő alkatrész mennyiséget adják ki. Ilyen esetekben a nagyobb szériák nehezebben kalkulálhatóak, a visszavételezett mennyiségek nagyobbak, vagy többször kell pótolni az eredetileg kiadott alkatrészmennyiséget a kalkuláltan felüli selejtarány miatt.

3.2.6 Gyártási köteg méret

A megmunkálási helyek között egyszerre mozgatott anyagok mennyiségét kötegnek nevezzük. A lean egydarabos áramlása (one-piece-flow) esetén ez a mennyiség egy darab. Az egymástól távolabb lévő munkahelyek közötti mozgatást célszerű kötegekben végrehajtani,

ugyanakkor a kötegelt mozgatás számos rejtett és nem rejtett problémát vet fel. A megmunkálási hibák sokszor csak az áramlásban soron következő munkahelyen derül ki, esetleg a legutolsó minőségellenőrző munkahelyen. Egydarabos áramlás esetén ez jóval kevesebb hibás félkészterméket így költséget jelent, mint nagyobb kötegekben való gyártáskor. Az egydarabos áramlás kiegyenlített gyártósorokat, gyártócellákat igényel.

3.2.7 Termelés átfutási idő

Az átfutási idő az adott gyártási feladat első megmunkáló helyén történő első gyártási művelet kezdetétől a készáru raktárba való érkezésig tartó időintervallum. A rendelés átfutási időt a vevői rendelés beérkezésétől a teljesítésig számoljuk. A termelés átfutási idő többek között függ a gyártási sorozatnagyságtól, a gépek kapacitáskihasználásától.

3.2.8 Gépek kapacitáskihasználása

A szűk keresztmetszet(ek), kritikus gépek magas, a gyakorlatban gyakran közel 100%-os kapacitáskihasználása a gyártás nagyfokú rugalmatlanságát okozza. Magas WIP szintet, hosszú várakozó sorokat eredményez, ami miatt megnő a job-ok átfutási ideje [61]. A gépek kapacitáskihasználása, a termelés átfutási idő, és a gyártási sorozatnagyság egy trade-off háromszöget alkot, a modellalkotás során ezt részletesebben is kifejtem.

3.2.9 Anyagmozgató gépek

Anyagmozgató eszközök beruházása miatt a fajlagos anyagmozgatási költségek emelkednek, ugyanakkor a fejletlen vagy elégtelen teljesítőképességű eszközállomány a termelés kiszolgálás zavarát okozhatja. Az anyagmozgató eszközök fejlesztésével az anyagmozgatási költség ugyan nagyobb lesz, de a termelés-kiszolgálás ciklusideje csökken (kanban ciklusidő). Az üzemi anyagmozgatási rendszer beruházással, vagy átszervezéssel történő fejlesztésével az átfutási idők csökkentése is megvalósítható.

Trade-off jellegű az anyagmozgató gépek tervezett kapacitáskihasználása is.

A QRM szemlélet szerint a közel 100%-os kapacitáskihasználás felesleges kockázatokat jelent a vállalat számára, a megnövekedő átfutási idő miatt.

4 OPTIMÁLIS TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI KÖTEGMÉRET MEGHATÁROZÁSA

A trade-off szituációk megoldására matematikai modelleket használunk, melyek megoldásával valamilyen célfüggvény szerinti optimális eredményt kaphatunk.

A lean illetve a TPS elvek szerinti értékteremtő lánc az egydarabos, vagy kis kötegekben történő gyártást preferálja, illetve javasolja [5]. Kihangsúlyozza, hogy a kötegelt feldolgozás a problémák felfedésének késleltetését és a veszteségek megjelenését, felhalmozódását eredményezheti. Ellenben a DBR hívei a kanban rendszer anomáliájának tekintik azt, hogy akár egyetlen dolgozón múljon a teljes értékteremtő lánc leállítása, emiatt a kapacitások rossz kihasználása. Amennyiben valamilyen minőségi probléma, munkahelyblokkolás lép fel, az egész értéktermtő lánc megakad, mivel a tisztán pull rendszerben megszűnik a húzóerő.
A DBR pufferekkel operál, az egydarabos áramlást, illetve a kötegelt feldolgozást egyaránt engedi. Felhalmozódás csak a szűk keresztmetszet előtti és utáni pufferekben lehet. A CONWIP a gyártási folyamat indítását vezérli kanban jellel, a sorkiszolgálás kanban elven működik, de a job-ok termelésen, cellán való áthaladása push elv szerint történik.
Bármilyen vezérlésről is legyen szó, a termelés alapanyag ellátása ritkán valósítható meg költséghatékonyan egydarabos áramlással, általában az alapanyag mozgatása kötegekben történik. Az adott kötegméret – ami kanban kiszolgálás esetén a szállítási kanban mennyiséggel egyezik meg – fizikai előállítása az lehetséges úton történhet:

- Lehetőség van a csomagolási egységek mennyiségét az optimálisra beállítatni a beszállítóval
- Szétcsomagolás közbeiktatásával állítjuk elő a kötegméretet
- Kellően kicsi csomagolási egységek esetén ezek egész számú többszörösével lehet kiszolgálni a gyártósorokat

A következőekben matematikai modelleket ismertetek a termeléskiszolgálási problémák megoldásához.
A fejlett azonosítási és információs rendszerrel rendelkező termelő üzemekben rendelkezésre állnak azonnali és pontos információkkal ellátott historikus adatsorok [4]. Ezen adatsorokat elemezve valószínűségi változókat tudunk hozzárendelni az egyes folyamatparaméterekhez.

A matematikai modellek használhatósága nagyban függ az input adatok pontosságától, rendelkezésre állásától. Ezen adatok előállítása az alábbi módszerekkel állítható elő.

- Célirányos lekérdezések az informatikai rendszerből, statisztikai kiértékelés
- Adatgyűjtés, statisztikai kiértékelés
- Egyéb kontrolling eszközökkel
- Szimulációval [45]
- Táblázatból (pl.: AIM[59] táblázat)
- Becsléssel
- Fuzzy, Neuro-Fuzzy módszerekkel (pl.: [118])
- Egyéb módszerekkel

4.1 BESZÁLLÍTÓI CSOMAGOLÁSI EGYSÉGEK OPTIMALIZÁLÁSA

A termelő vállalat és annak beszállítója közötti kapcsolat erős befolyással lehet a késztermék önköltségi árának alakulására. Számos tényező – mint pl.: a csomagolás típusa, a csomagolási mennyiség, a szállítások üteme – a beszállító rugalmasságától függ. Ugyanakkor a beszállító hozzáállása a partnerek kapcsolatától függ. A következőekben azt vizsgálom meg, hogy abban az esetben, amikor a gyártó vállalatnak lehetősége van a beszállítói csomagolási mennyiségeket meghatározni, mekkora legyen ennek optimális mértéke. Amennyiben ez megvalósítható a beszerzési ár azonos szinten tartásával, a járulékos költségek csökkentésével jelentős megtakarítás érhető el.
Az optimális csomagolási mennyiség meghatározásához az alábbi trade-off szituációt kell feloldani: egyrészről az átcsomagolás extra anyagkezelési költséget jelent. Másrészről viszont a termelés készlettartási költsége csökkenthető.

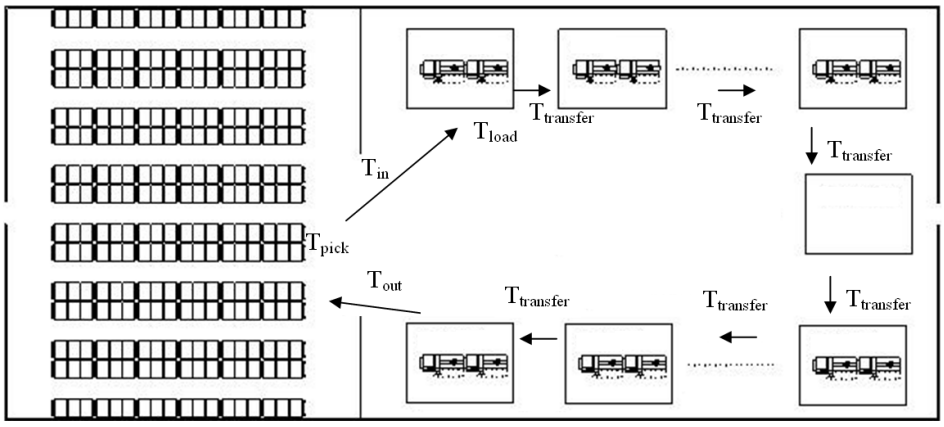
Gyakran használják a szimulációs technikákat a logisztikai trade-offok megoldásának iterációs módszereként. Egyik korábbi kutatásom a szétcsomagolások optimális darabszámának meghatározását vizsgálta szimulációs szoftver segítségével [109]. A szimuláció bemeneti adatainak manuális, „próbálgatásos” változtatásával jobb, ámde

[59] AIM = Anyagmozgatási Időszükséget Meghatározást segítő táblázat

valószínűleg nem optimális eredményt érhetünk el. A szimulációs szoftvercsomagok legtöbbje rendelkezik optimalizáló modullal, ezek használatával még optimális eredményt is el tudunk érni.

Az optimális csomagolási egység mennyiség meghatározásának módszere hasonló problémát feszeget, mint Harris 20. sz. elején publikált EOQ modellje [41]. A gazdaságos rendelési tételnagyság modellje a rendelési költség és a készlettartási költség közötti trade-off optimális megoldását adja.

A következőekben ismertetett modellt a 15. ábraán szemléltetett, tapasztalatok alapján általánosnak mondható termelő üzem sémára szabtam. Az üzemeket két területre osztom: raktárra és termelésre. A termelés által felhasznált anyagokat az alapanyagraktár biztosítja, az utánpótlást a sortöltő operátorok végzik. A modell csak a termeléskiszolgálási folyamatra koncentrál, a gyártósorok közötti anyagáramlás vezérlési logikája jelen esetben érdektelen.
Hagyományos kanban rendszert feltételezve a kártyák (szállítási kanban) jelzik az alapanyag felhasználást és generálják az utánpótlási igényt. A T_{Pick} ideig tartó kiszedés után a kártyán jelzett kanban mennyiség kerül ki a gyártósorra. Az operátor T_{In} idő alatt hagyja el az alapanyagraktárt és ér az első kiszolgálandó gyártósorhoz. A gyártósorok töltése T_{Load} ideig tart. Az alapanyagokat M számú gyártósorhoz kell eljuttatni, a sorok közötti anyagmozgatási idő $T_{Transfer}$. Az utolsó gyártósor és a kiszedési terület közötti út T_{Out} ideig tart. Az operátorok munkabére c_{Wage}.



15. ábra: Termeléskiszolgálási rendszer sematikus ábrája (saját szerk.)

Minden egyes gyártósor T_{Cycle} ciklusidővel N_{BOM} darab alapanyagot használ fel egy késztermékhez. Δt időintervallumban N számú kanban ciklust kell végrehajtani, azaz az

utánpótlási folyamat N-szer ismétlődik. Az átlagos készletszint (I_{Avg}) egyetlen darabbal való emelkedése c_{Hold} extra készlettartási költséget jelent, amely költség felmerülésének oka a tőkelekötés és az üzemi terület helyfoglalása.

A modell azt feltételezni, hogy a beszállítókkal való kooperatív kapcsolat megengedi a csomagolási egységek mennyiségének (q) variálhatóságát. A cél, hogy meghatározzuk a csomagolási egység mennyiségének optimális értékét (q_{Opt}), ahol a teljes alapanyaghoz köthető készlettartási és anyagkezelési költség (C(q)) minimális.

A kanban mennyiség nem lehet kisebb, mint a gyártósor által egy kanban ciklus idő (T) alatt felhasznált alapanyagok darabszáma (q_{Min}). Amennyiben az anyagok fizikai tulajdonságai miatt a minimális kanban mennyiségnél kisebb a csomagolási egység, értelemszerűen több egységre van szükség kiszedéskor.

A fenti leírásnak megfelelően a modellhez a következő folyamatparamétereket használom fel:

Jelölés	Típus	Leírás
α_{Price}	Rendszerjellemző	Készlettartási költség beszerzési árhoz mért aránya– kontrolling eszközök segítségével kalkulálják, elsősorban a tárolás és a tőkelekötés költségéből fakad.
Δt	Választott érték	Vizsgált t_0 és t_1 közötti produktív időalap
Δt^*	Választott érték	Vizsgált t_0 és t_1 közötti naptári időalap
A	Helyettesítő paraméter	
B	Helyettesítő paraméter	
$C_{Handling}(q)$	Kalkulált érték	Teljes anyagkezelési költség, egy alapanyagra vetítve
$C_{Holding}(q)$	Kalkulált érték	Teljes készlettartási költség, egy alapanyagra vetítve
c_{Hold}	Kalkulált érték	Az alapanyag fajlagos készlettartási költsége
c_{Price}	Rendszerjellemző	Alapanyag beszerzési ára
c_{Wage}	Rendszerjellemző	Anyagkezelést végző operátor munkabére
C(q)	Kalkulált érték	Az adott alapanyagra vetített teljes készlettartási és anyagkezelési költség
D	Helyettesítő paraméter	

I_{Avg}	Kalkulált érték	A gyártósorok átlagos készletszintje
N_{Bom}	Rendszerjellemző	A gyártósorokon egy késztermékbe átlagosan beépülő alapanyag mennyiség
$N_{Replenish}$	Kalkulált érték	Szükséges kanban körök száma a vizsgált időintervallumban
$N_{Machine}$	Rendszerjellemző	Gyártósorok száma, ahol a vizsgált alapanyagot felhasználják
$N_{PickItem}$	Rendszerjellemző/ Mért érték	A kiszedési feladatok tételszáma.
q	Optimalizálási paraméter	Beszállítói csomagolási egység mennyisége
q_{Opt}	Kalkulált érték	Optimális csomagolási egység mennyisége
q_{min}	Kalkulált érték	Minimális kanban mennyiség
T_{Cycle}	Mért érték	A gyártósorok átlagos ciklusideje
T_{In}	Mért érték	A kiszedési terület és az első felkeresendő gyártósor közötti anyagmozgatási időszükséglet
T_{Load}	Mért érték	Gyártósori puffer feltöltési műveletének betöltésének (fizikai és logikai áttárolás) időszükséglete
T_{Out}	Mért érték	Utoljára felkeresendő gyártósor és a kiszedési terület közötti anyagmozgatás időszükséglete
T_{Pick}	Mért érték	Egy komissiózási tétel kiszedési időszükséglete a két kiszedési feladat közötti helyváltoztatás időszükségletével együtt
$T_{Replenish}$	Kalkulált érték	Utánpótlási idő (kanban ciklusidő)
$T_{Transfer}$	Mért érték	Gyártósorok közötti anyagmozgatás időszükséglete
T_{Waste}	Mért érték	Egy sortöltési ciklus alatti veszteség és várakozási idők összege

1. Táblázat: A modell paraméterei – 1. modellezési lépes (saját szerk.)

A teljes kanban ciklusidő tartalmazza a kiszedés időszükségletét, a raktár és a termelési terület közötti anyagmozgatás időszükségletét, a gyártósori pufferek feltöltési idejét és a gyártósorok

közötti anyagmozgatási időszükségletet, ezek alapján $N_{Machine}$ számú rendeltetési hely esetén az alábbi összefüggés fogalmazható meg (9).

$$T_{Replenish} = N_{PickItem} \cdot T_{Pick} + T_{In} + T_{Out} + N_{Machine} \cdot T_{Load} + (N_{Machine} - 1) \cdot T_{Transfer} + T_{Waste} \quad (9)$$

Az utánpótlási folyamatot $N_{Replenish}$ alkalommal kell megismételni, ahhoz, hogy a vizsgált időintervallumban igényét kiszolgáljuk. Ezt másképpen a kanban ciklusok számának is nevezhetjük. Az $N_{Replenish}$ értéke függ az intervallum hosszától, a beépülési mennyiségtől, és a gyártósor ciklusidejétől (10).

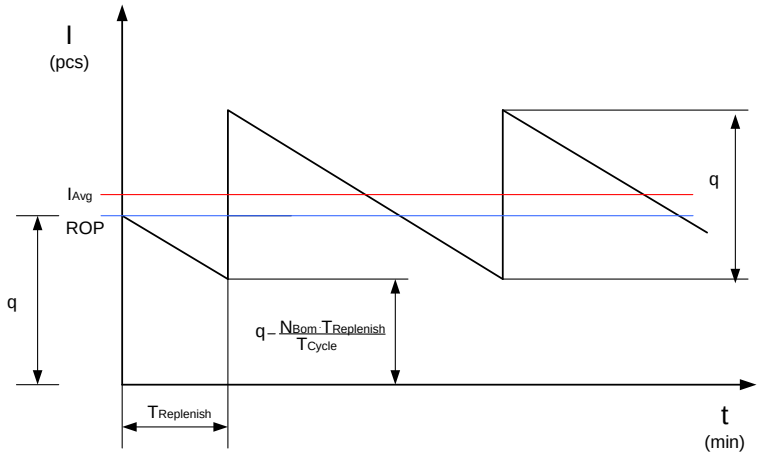
$$N_{Replenish} = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom}}{q \cdot T_{Cycle}} \quad (10)$$

Ha a sortöltési ciklusok száma ismert, a Δt időintervallum alatti összes anyagkezelés időszükséglete kalkulálható. A minimális kanban mennyiség az utánpótlási idő alatti felhasználás mértékével egyezik meg és a (11)-as egyenlet szerint számolható.

$$q_{min} = \frac{N_{Bom} \cdot T_{Replenish}}{T_{cycle}} \quad (11)$$

Az 16. ábran látható az egyes gyártósorokon lévő készlet alakulása. Miután egy kanban mennyiség - amely a vizsgált alapanyagok esetében megegyezik a csomagolási egység mennyiségével - felhasználása elkezdődik, az új kanban leadása megtörténik. Ez jelentheti a kanban kártya, vagy kanban doboz erre a célra kialakított helyre történő kihelyezését. Ez az időpillanat jelenti az újrarendelési pontot (ROP[60]), ekkor a gyártósori készlet megegyezik a csomagolási egység mennyiséggel. Elektronikus kanban rendszer esetén az anyagrendelés átfutási ideje lényegesen lerövidül, hiszen a rendelés feladás és az észlelés közötti idő rövidebb (a rendelés azonnal megjelenik a kiszedést végző operátor terminálján). Ekkor - szervezéstől függően - a $T_{Replenish}$ input paraméter értéke jelentősen lecsökkenhet.

[60] ROP = ReOrder Point



16. ábra: Készletszint alakulása az egyes gyártósorokon (saját szerk.)

Az újrarendelés közvetlenül a csomagolási egység felhasználásának kezdetét követően történik, és a megrendelés átfutási ideje alatt $\frac{N_{Bom} \cdot T_{replenish}}{T_{cycle}}$ mennyiség fogyott, ekkor érkezik a gyártósorra további q mennyiség. Így a gyártósori átlagos készlet az alábbiak szerint alakul (12):

$$I_{avg} = \left(q - \frac{N_{Bom} \cdot T_{replenish}}{T_{cycle}} \right) + \frac{q}{2} = \frac{3}{2} q - \frac{N_{Bom} \cdot T_{replenish}}{T_{cycle}} \qquad (12)$$

Ha az átlagos készletszint, a gyártósorok száma, a darabra vetített készlettartási költség, a vizsgált időszak hossza ismert, felírható a készlettartás költségfüggvénye (13).

$$C_{Holding}(q) = N_{Machine} \cdot c_{Hold} \cdot \left(\frac{3}{2} q - \frac{N_{Bom} \cdot T_{replenish}}{T_{cycle}} \right) \qquad (13)$$

Ahol:

$$c_{Hold} = c_{Price} \cdot \alpha_{Price} \cdot \Delta t^{*} \qquad (14)$$

Az adott időintervallumban szükséges sortöltési ciklus számának, a ciklus teljesítéséhez szükséges produktív időnek, az operátor bérének ismeretében a teljes anyagkezelési költség kalkulálható (15).

$$C_{Handling}(q) = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom} \cdot T_{Replenish} \cdot c_{Wage}}{q \cdot T_{Cycle} \cdot N_{PickItem}} \tag{15}$$

A készlettartási és anyagkezelési költségfüggvények ismeretében egy összköltség függvény írható fel (16):

$$C(q) = \frac{N_{Replenish} \cdot T_{Replenish} \cdot c_{Wage}}{N_{PickItem}} + N_{Machine} \cdot c_{Hold} \cdot I_{avg} \tag{16}$$

A (16)-os egyenletbe (10), (12) és (13)-t behelyettesítve a következőt kapjuk (17):

$$C(q) = A \cdot q + B + \frac{D}{q} \tag{17}$$

Ahol A, B és D paraméterek az alábbi helyettesítéseket jelentik:

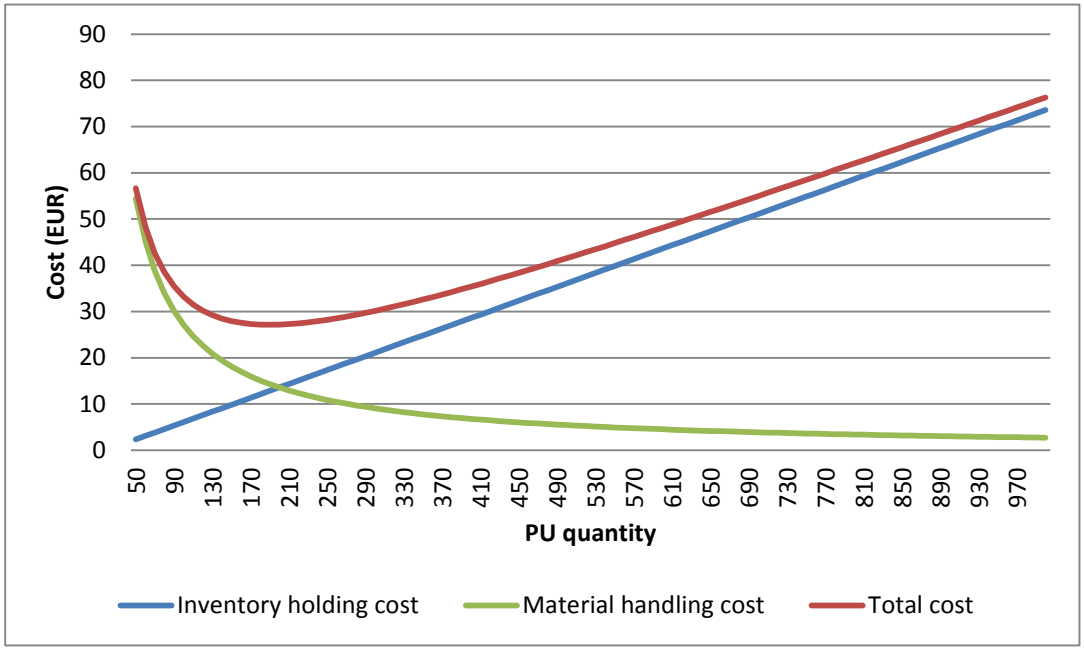
$$A = \frac{3}{2} \cdot N_{Machine} \cdot c_{Price} \cdot \alpha_{Price} \cdot \Delta t \tag{18}$$

$$B = -\frac{N_{Machine} \cdot c_{Price} \cdot \alpha_{Price} \cdot \Delta t \cdot T_{replenish} \cdot N_{Bom}}{T_{cycle}} \tag{19}$$

$$D = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom} \cdot T_{Replenish} \cdot c_{Wage}}{T_{Cycle} \cdot N_{PickItem}} \tag{20}$$

A modellt a 14.2.1-es mellékletben szereplő tesztadatokkal futtattam. Az optimális megoldás az összköltség függvény minimumánál van (17. ábra). Ha jobban megfigyeljük, a függvény karakterisztika nagymértékben hasonlít a gazdaságos rendelési tételnagyság modell (EOQ[61]) költségfüggvény karakterisztikájára.

[61] EOQ = Economic Order Quantity



17. ábra: A teljes logisztikai költség alakulása a csomagolási mennyiség függvényében (saját szerk.)

A cél az összeszerelő üzembe érkező beszállítói csomagolások optimális mennyiségének meghatározása volt, mely az alábbi feltétel esetén teljesül (21).

$$\frac{dC(q)}{d(q)} = 0 \tag{21}$$

Az egyenletből q-t kifejezve (22):

$$\frac{dC(q)}{d(q)} = A - \frac{D}{q^2} = 0 \rightarrow q = \sqrt{\frac{D}{A}} = \sqrt{\frac{2}{3}\frac{\Delta t \cdot N_{Bom} \cdot T_{Replenish} \cdot c_{Wage}}{T_{Cycle} \cdot N_{PickItem} \cdot N_{Machine} \cdot c_{Hold}}} \tag{22}$$

A bemutatott matematikai modellt tesztadatokkal futtatva 241,85 db/csomagolási egység optimális mennyiséget kalkulált. Az optimális csomagolási mennyiségnél 28,24 EUR volt az adott időszakban az egy alapanyagra vetített összes készlettartási és anyagkezelési költség, amely a mennyiség változtatásával többszöröződhet is. Azt tekintve, hogy egy termelő üzemben több ezer alapanyagot kezelnek, jelentős költségmegtakarítás érhető el a csomagolási mennyiségek optimalizálásával. Főleg kisméretű, nagy csomagolási mennyiséggel szállított, relatíve drága, több gyártósoron is beépülő alapanyagok esetén érhető el jelentősebb költségmegtakarítás.

4.2 OPTIMÁLIS SZÉTCSOMAGOLÁSI DARABSZÁM MEGHATÁROZÁSA

Szétcsomagolás akkor történik, amikor az alapanyag csomagolási egységeket megbontják, tartalmukat felosztják bizonyos részekre és tálcákra, dobozokba helyezik. Így a termelés számára nem teljes csomagolási egység mennyiségeket, hanem tört mennyiségeket tudnak kiadni.
Átcsomagolásról akkor beszélünk, amikor a csomagolási egység teljes tartalma átkerül az erre a célra kijelölt ládába, dobozba, tálcára, stb. Az átcsomagolást a technológiai sajátosságok, vagy minőségbiztosítási előírások írják elő. Ilyen eset pl.: amikor automata adagolású gépsor számára speciális adagolótálcára kell helyezni az alapanyagokat, vagy amikor nem kerülhet be a tárolótérre a papír alapú beszállítói csomagolás, ugyanis növekedne a gyártótéri szálló por koncentráció, ami növeli a selejtarányt.

Az összeszerelő üzemek főtevékenysége a termelés, mely zavartalan kiszolgálásáért a megfelelően kialakított termeléskiszolgálási folyamatok felelnek. Ezen folyamatok is értékteremtőek és költségeik megjelennek a késztermékek önköltségi árában is.
Így a veszteségek kiküszöbölése, a látszólag lényegtelen tényezők, összefüggések vizsgálata, folyamatparaméterek optimális megválasztása jelentős hatással van a piaci versenyképességre.
Az át- és szétcsomagolás okai:

- Technológiai okok
- Kis sorozatú gyártás
- Gazdasági okok

Az át- és szétcsomagolás technológiai okai között a leggyakoribb a gyártósorokon, illetve munkaállomásokon fellépő helyhiány szerepel. Másik ok lehet a gyártó berendezések fix technológia szerinti adagolási igénye. Azaz, csak adott számú, esetleg csak adott csomagolási technológiával (speciális adagoló tálcán) kiadott alapanyagot tud fogadni a gyártósor.

Az agilis gyártó rendszer rugalmasan reagál a vevői igényekre, legtöbbször a kis sorozatokban történő gyártás jellemzi. Kis sorozatnagyság esetén megérheti a kiadandó alapanyagok beszállítói csomagolási egységeinek szétcsomagolása. Az így keletkező egységek mennyiségét célszerű úgy megválasztani, hogy a széria befejezését követően a gyártósoron ne maradjon alapanyag, melyet vissza kell mozgatni és könyvelni az alapanyag raktári vagy egyéb költséghelyre, visszavét célokra dedikált lokációkra.

Amennyiben sem a technológia, sem a szérianagyság nem indokolja, a szétcsomagolást gazdasági okok is ösztönözhetik. Az átcsomagolást többnyire a technológiai okok miatt kell alkalmazni, az alább megfogalmazott gazdasági előnyökkel nem jár. A szétcsomagolás gazdasági okainak vizsgálatához az alábbi alapvető kérdéseket kell megválaszolni:

- Mekkorák az ideális beszállítói csomagolási mennyiségek?
- Mikor éri meg az át- illetve szétcsomagolás?
- Amennyiben nem ideális a beszállítói csomagolási mennyiség, és megéri szétcsomagolás, hány részre érdemes átcsomagolni?

A beszállítói csomagolási egységek szétcsomagolása bizonyos esetekben gazdasági előnyökkel járhat [113]. Az olyan esetekben, amikor viszonylag nagy értékű, egyszerre több gyártósoron, viszonylag lassú ütemben beépülő alkatrészek nagy darabszámú csomagolási egységekben érkeznek a beszállítótól, megérheti a csomagolási egységek szétcsomagolása, a gyártósori készlet csökkentése érdekében.
Így az optimális szétcsomagolási mennyiség meghatározásához a következő trade-off szituációt kell feloldani: egyrészről az átcsomagolás extra anyagkezelési költséget jelent, másrészről viszont a termelés készlettartási költsége csökkenthető. A készlettartási költségek alatt nem csupán a felesleges készletben lekötött tőkét értjük, hanem a készlet gyártóterület helyfoglalási költségeit is, mely pl.: elektronikai ipari üzemekben alkalmazott tisztatér technológia esetén kiugróan magas négyzetméterenkénti költséget jelent.

Egy másik eset, amikor érdemes vizsgálni a szétcsomagolás lehetőségét: akár kis értékű, de jellemzően nagyon sok típusba, sok gyártósoron beépülő, és nagyon nagy - tízezres nagyságrendű - darabszámban csomagolt alkatrészek esetében. Ilyen alkatrész például az

elektronikai iparban chip beültetésnél használt lábak[62], vagy bármilyen ágazatban a kötőelemek, csavarok.

Szétcsomagolásra abban az esetben van szükség, ha a beszállítótól érkező csomagolási egység teljes mennyiségének gyártósorra történő kitárolása valamilyen szempontból ésszerűtlen lenne, vagy a költségek megemelkedésével járna. A szétcsomagolás nyilvánvalóan egy extra műveletet jelent az operátorok számára, viszont némely esetekben szükségszerű, vagy jelentős gyártósori készletszint csökkentés érhető el általa. A kanban rendszerű termelés kiszolgálás matematikai modellezésével meghatározható az optimális szétcsomagolási mennyiség.

Meghatározható az optimális beszállítói csomagolási egység mennyisége feltételezve, hogy a beszállító és az összeszerelő üzem között rugalmas, jól kooperáló üzleti kapcsolat van. [110]. Kooperáció alatt azt értem, hogy a beszállító hajlandó a beszállítói csomagolási egység mennyiségének módosítására, az összeszerelő üzem igényei szerint. Ekkor az optimális csomagolási egység mennyiség számítása történhet a készlettartási költség és az anyagkezelési költség figyelembevételével. Ez a kooperatív eset a gyakorlatban viszonylag ritka, gyakoribb, hogy a beszállító fix csomagolási egység mennyiséggel szállít a vevőinek. Ebben az esetben az összeszerelő üzemben két anyagkezelési alternatíva létezik:

1. Az alapanyagokat a bejövő csomagolási egységekben adják ki az alapanyagraktárból a termelés számára.
2. A bejövő csomagolási egységeket megbontják, és tört mennyiséget adnak ki a termelés számára (szétcsomagolás történik)

Az első esetben magasabb készlettartási költség jelentkezhet (nem feltétlenül igaz minden esetben) [109], míg a második esetben a szétcsomagolás az anyagkezelési költségek megemelkedéséhez vezet. A kiszedési művelet Koster et al. szerint a raktári üzemeltetési költségek 55%-át teszik ki [56], [47] és a szétcsomagoló állomások/műveletek beiktatásával ez az anyagkezelési költségek és a raktári fix költségek (beruházási és üzemeltetési költségek) közötti arány tovább fog emelkedni. Meghatározható egy olyan szétcsomagolási darabszám, mely mellett költség optimum érhető el.

[62] Ilyen lábakat gyárt elektronikai összeszerelő üzemek részére pl. a Wire Products, Distel Gmbh, Technoweld, stb.

A vizsgált esetben is a gyakorlatban leginkább elterjedt termeléskiszolgálási rendszert feltételeztem: az összeszerelő üzem gyártósorai kanban vezérléssel vannak ellátva. A beszállítói csomagolási egységeket át- illetve szétcsomagolás után tárolják ki a gyártósorokra. Kanban kártyák, információ van hozzákapcsolva az alapanyag kiszolgálás ideiglenes tárolására, mozgatására szolgáló ládákhoz. A gyártósori operátorok a ládák tartalmának felhasználásának kezdetekor a kanban kártyát leválasztják a ládáról és egy erre a célra kijelölt ládába vagy polcra helyezik.

A sortöltő operátor alapanyagokat továbbít a szétcsomagoló állomásról a gyártósorokra, egyszerre több csomagolási egységet felrakva a kézikocsikra. Így a sortöltés átfutási ideje nagyobb, viszont a konszolidálás miatt a fajlagos anyagmozgatási költség jelentősen alacsonyabb.

A sortöltő operátor figyeli a kanban kártya gyűjtőket, amennyiben kártyát tartalmaznak, az operátor továbbítja a raktári kiszedést végző operátornak. Emiatt a rendelés bizonyos késéssel érkezik meg a raktárba. A hagyományos kanban rendszer újabb változata az elektronikus kanban rendszer, amely esetén a kanban rendelést mobil adatgyűjtő eszköz, vagy a gyártósorra épített fix leolvasó segítségével adják le. Ebben az esetben a rendelés azonnal rendelkezésére áll a kiszedést végző operátor számára.

Ugyanakkor az elektronikus kanban rendszernek - számos előnye ellenére – hátránya, hogy a hagyományos kanban rendszer egyszerű használhatósága némileg bonyolódik és magasabb beruházási és üzemeltetési költségeket is jelent.

Amennyiben szétcsomagolást iktatunk be a folyamatba, a szétcsomagolásban érintett cikkek esetén kétkörös kanban vezérlési rendszert kell kiépíteni, azaz a gyártósori kanban kártyákat a szétcsomagoló állomásokra kell továbbítani, a szétcsomagoló állomás készletét, pedig egy másik kanban kártya segítségével kell feltölteni.

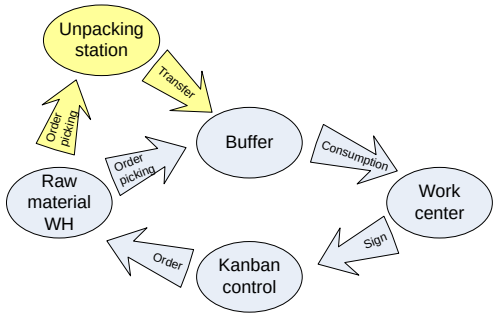
A szétcsomagolás műveletekor az IT rendszer nagyfokú támogatása szükséges lehet, főleg, ha nem akarjuk, hogy a dolgozók rossz döntései veszélyeztessék a folyamatot. A kiszedési operátorok átmozgatják a raktárból kiszedett anyagokat a szétcsomagoló állomásra. A kiszedést kötegelve hajtják végre, azaz nem egyenként, hanem B számú tételt szednek ki a tárhelyről.

A kiszedés így tulajdonképpen egy kétlépcsős, kiszedési rendszer dinamikus anyag előkészítéssel.

Az első körben egy statikus, kézi, ember-a-cikkhez típusú komissiózó rendszert vizsgálunk, ahol az operátoroknak az alábbi feladatokat kell végrehajtaniuk:

- Rendelt mennyiség kiszedése (fizikai mozgatás és adatgyűjtés)
- Anyagmozgatás a szétcsomagoló állomásra (fizikai mozgatás és adatgyűjtés)
- Anyagok áttárolása a szétcsomagoló állomásra (fizikai mozgatás és adatgyűjtés), kanban kártyák átadása a szétcsomagoló operátornak
- Visszatérés a raktárba (helyváltoztatás és következő kiszedési feladat kiválasztása)

A 18. ábra a kanban vezérelt, szétcsomagoló állomással kiegészített termeléskiszolgálási rendszer sematikus modelljét mutatja [109].



18. ábra: Termeléskiszolgálás leegyszerűsített logikai folyamata (saját szerk.)

Fontos kiemelni, hogy a szétcsomagolás alkalmazása nem minden cikk esetében érdemes. Például, ha a minimális kanban mennyiségnél kisebb a csomagolási mennyiség a művelet értelmetlen. Kis értékű, apró, gyors ütemben felhasznált alkatrészek esetében is ritkán jár gazdasági előnnyel a szétcsomagolás.
A szétcsomagolásban érintett és nem érintett cikkek törzsadatainál érdemes ezt az információt felvenni, illetve ezt az információt a termeléskiszolgálás irányításánál felhasználni, a kanban kártyákon feltüntetni. A szétcsomagolásban nem érintett cikkek a szétcsomagoló állomás kihagyásával, egykörös kanban vezérléssel kerülnek ki a termelésbe.

A második kiszedési lépcső a szétcsomagoló állomás és a gyártótér közötti anyag és információáramlási folyamatot jelenti:

- Kanban kártyák átvétele a sortöltő operátortól
- Az állomáson lévő operátor szétcsomagol, vagy egyszerűen kiadja a korábban már szétcsomagolt egységet, a kanban kártyával együtt (fizikai anyagkezelés és adatgyűjtés)

- A sortöltő átmozgatja a gyártósorra az anyagot (fizikai mozgatás és adatgyűjtés)
- A sortöltő betárolja a gyártósorra az anyagot és összegyűjti a kanban kártyákat (fizikai mozgatás és adatgyűjtés)

Az IT rendszer által támogatott kiszedési rendszerben további előírásokat, feltételeket lehet megszabni:

- Ha a kanban rendelés nagyobb, mint az eredeti csomagolási egység mennyisége, nyilvánvalóan nincs szükség szétcsomagolásra, sőt, több csomagolási egységre van szükség a kanban igény kiszolgálásához.
- A szétcsomagolandó cikkek egylépcsős kiszedésének tiltása.
- Addig ne generálódjon kiszedési igény a szétcsomagoló állomásra, amíg elegendő a készlete, amennyiben nem elegendő, és van gyártósori igény az adott cikkre, generálódjon igény.
- Az elektronikus kanban előnye leginkább a sűrű szériaváltások esetén domborodik ki, amikor a kanban kártyák adatai automatikusan töltődnek az újonnan indított szériára vonatkozóan.
- A szériaváltásoknál a gyártósoron beépült mennyiségek és a kitárolt mennyiségek ismeretében a maradékot a gyártósor készletén tartja, és amennyiben érdemes, visszavételezési folyamatra ajánlja fel.

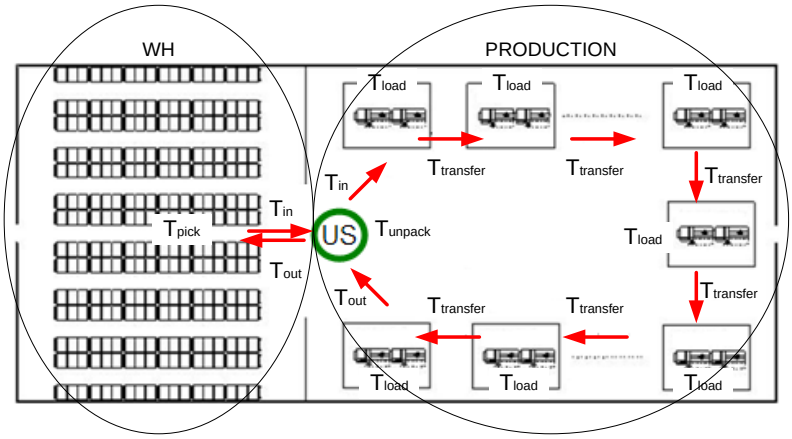
A matematikai modellt összeszerelő üzemben gyűjtött valós adatokkal validáltam, a 2. Táblázat mutatja a modellben lévő új paramétereket.

Jelölés	Típus	Leírás
C(n)	Kalkulált érték	Szétcsomagolás darabszámától függő költség
$C_{Handling}(n)$	Kalkulált érték	Teljes anyagkezelési költség, egy alapanyagra vetítve
$C_{Holding}(n)$	Kalkulált érték	Teljes készlettartási költség, egy alapanyagra vetítve
E	Helyettesítő paraméter	
F	Helyettesítő paraméter	

G	Helyettesítő paraméter	
H	Helyettesítő paraméter	
$I_{Avg}(N)$	Kalkulált érték	Gyártósorok átlagkészlete
$I_{Avg,Unpack}$	Kalkulált érték	Szétcsomagoló átlagkészlete
J	Helyettesítő paraméter	
n	Kalkulált érték	Szétcsomagolás darabszáma, az optimalizálási paraméter,
N_{Load}	Rendszerjellemző/ Mért érték	A sortöltő operátor által egyszerre mozgatott anyagféleségek száma
$N_{Replenish,Production}$	Kalkulált érték	Δt alatti sortöltési ciklusok száma
$N_{Replenish,WH}$	Kalkulált érték	Δt alatti kiszedési ciklusok száma
$T_{In,Production}$	Mért érték	A szétcsomagoló állomás és az első felkeresendő gyártósor közötti anyagmozgatási időszükséglet
$T_{In,WH}$	Mért érték	Az alapanyagraktári tárhely és a szétcsomagoló állomás közötti anyagmozgatási időszükséglet
$T_{Out,Production}$	Mért érték	Az utolsó felkeresendő gyártósor és a szétcsomagoló állomás közötti anyagmozgatási időszükséglet
$T_{Out,WH}$	Mért érték	A szétcsomagoló állomás és az első felkeresendő tárhely közötti anyagmozgatási időszükséglet
$T_{Replenish,Production}$	Kalkulált érték	Teljes gyártótéri anyagkezelési időszükséglet
$T_{Replenish,WH}$	Kalkulált érték	Teljes alapanyagraktári anyagkezelési időszükséglet
T_{Unpack}	Kalkulált érték	Egy csomagolási egység szétcsomagolási időszükséglete
$T_{Unpack,Fix}$	Mért érték	Szétcsomagolási időszükséglet fix összetevője
$T_{Unpack,Var}$	Mért érték	Szétcsomagolási időszükséglet szétcsomagolási darabszámtól függő összetevője
$T_{Waste,Production}$	Mért érték	Veszteségidő a termelési oldalon
$T_{Waste,WH}$	Mért érték	Veszteségidő a raktári oldalon

2. Táblázat: A modell paraméterei – 2. modellezési lépes (saját szerk.)

Meghatározom az egy alapanyaghoz tartozó költségfüggvényt, mely mind az anyagmozgatási és a szétcsomagolási műveletek költségeit tartalmazza, illetve meghatározzuk, ennek e költségfüggvénynek a szélsőértékeit. A költségfüggvény optimalizáló paramétere a szétcsomagolás darabszáma, azaz, az a szám, ahány részre csomagoljuk szét az alapanyagraktári csomagolási egységeket. A 19. ábra mutatja a termeléskiszolgálási rendszer sematikus modelljét.



19. ábra: Termeléskiszolgálási rendszer sematikus modellje (saját szerk.)

Az anyagkezelés folyamatának produktív időszükséglete két részre bontható:

- Raktári anyagkezelési folyamat időszükséglete (23)
- Termelési anyagkezelési folyamat időszükséglete (24)

$$T_{Replenish,WH} = N_{PickItem} \cdot (T_{Pick} + T_{Load}) + T_{In,WH} + T_{Out,WH} + T_{Waste,WH} \qquad (23)$$

$$T_{Replenish,Production} = N_{Load} \cdot T_{Unpack}(n) + T_{In,Production} + N_{Machine} \cdot T_{Load} + (N_{Machine} - 1) \cdot T_{Transfer} + T_{Out,Production} + T_{Waste,Production} \qquad (24)$$

A szétcsomagolási idő egy fix és egy változó részt is tartalmaz. (25). A fix rész az eredeti csomagolási egységgel kapcsolatos adatkezelési műveleteket jellemzi, a változó rész függ attól, hogy hány részre csomagol szét az operátor.

$$T_{Unpack} = T_{Unpack,Fix} + n \cdot T_{Unpack,Var} \qquad (25)$$

A teljes időintervallumra vetített produktív időszükséglet meghatározásához az egy kiszedési ciklus időszükségletét kell megszorozni a kiszedési műveletek számával, illetve a sortöltési ciklus időszükségletét a sortöltési ciklusszámmal. (26).

$$C_{Handling}(n) = c_{Wage}\left(\frac{N_{Replenish,WH}\cdot T_{Replenish,WH}}{N_{PickItem}} + \frac{N_{Replenish,Production}\cdot T_{Replenish,Production}}{N_{Load}}\right) \tag{26}$$

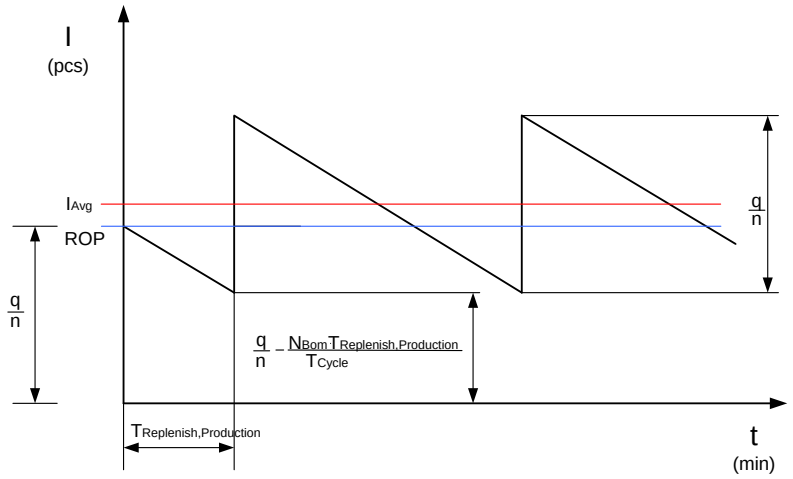
Ahol:

$$N_{Replenish,WH} = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom}}{q \cdot T_{Cycle}} \tag{27}$$

és

$$N_{Replenish,Production} = N_{Replenish,WH}\cdot n = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom}\cdot n}{q \cdot T_{Cycle}} \tag{28}$$

Az egyes gyártósorokon lévő alapanyagkészlet alakulását a 20. ábra szemlélteti.



20. ábra: Gyártósori készlet alakulása szétcsomagolt alapanyag esetén (saját szerk.)

A készletgrafikon alapján a gyártósorok átlagos készletszintje az alábbiak szerint kalkulálható (39).

$$I_{Avg} = \frac{3}{2}\frac{q}{n} - \frac{N_{Bom}\cdot T_{Replenish,Production}}{T_{Cycle}} \tag{29}$$

A teljes készlettartási költséget az alábbi formulával számolhatjuk (30):

$$C_{Holding}(n) = N_{Machine} \cdot c_{Hold} \cdot I_{Avg}(n) \tag{30}$$

A korábbi (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30) egyenletek alapján a (31) szerinti teljes költségfüggvény jellemzi a szétcsomagoló állomással termeléskiszolgálási rendszerünk egy alapanyagját.

$$C(n) = C_{Handling}(n) + C_{Hold}(n) = E \cdot n^2 + F \cdot n + G + \frac{H}{n} \tag{31}$$

Ahol:

$$E = c_{Wage} \cdot N_{Replenish,WH} \cdot T_{Unpack,Var} \tag{32}$$

$$F = \frac{J \cdot c_{Wage} \cdot N_{Replenish,WH}}{N_{Load}} - \frac{N_{Machine} \cdot c_{Hold} \cdot N_{Bom} \cdot N_{Load} \cdot T_{Unpack,Var}}{T_{Cycle}} \tag{33}$$

$$G = \frac{c_{Wage} \cdot N_{Replenish,WH} \cdot T_{Replenish,WH}}{N_{PickItem}} - \frac{N_{Machine} \cdot c_{Hold} \cdot N_{Bom} \cdot J}{T_{Cycle}} \tag{34}$$

$$H = \frac{3}{2} q \cdot N_{Machine} \cdot c_{Hold} \tag{35}$$

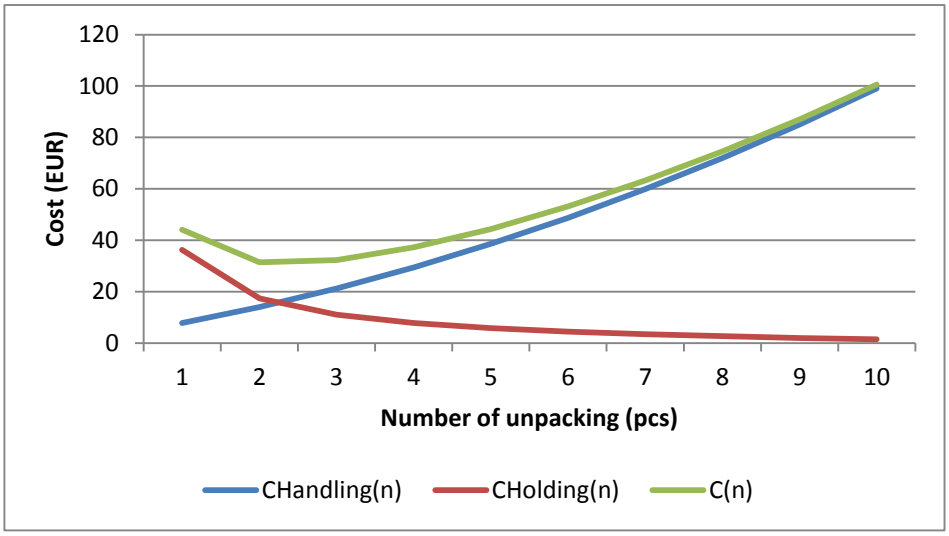
Az optimális megoldást ott kapjuk, ahol a C(n) összköltség függvény minimuma van. A függvény optimum változója a szétcsomagolások száma (n). Az optimális értéket az alábbi egyenlet megoldásával kapjuk:

$$\frac{dC(n)}{dn} = 2 \cdot E \cdot n + F - \frac{H}{n^2} = 0 \tag{36}$$

A harmadfokú egyenlet megoldásával megkapjuk az optimális szétcsomagolási darabszámot. A matematikai modell teszt adatokkal futtatása során 2 darabra való szétcsomagoláskor kaptunk minimális költséget (31,43 EUR). Amennyiben egyetlen darabra csomagolunk szét,

azaz tulajdonképpen átcsomagolunk, az összköltség 44,05 EUR. A legjobb eredményt az eredeti beszállítói csomagolási egység ~200 db-osra való módosításával érhetjük el (28,24).

A 21. ábra szemlélteti az összköltség szintet (készlettartási és anyagmozgatási, szétcsomagolási költség) az adott alkatrész esetében. Jól látható, hogy a szétcsomagolási darabszám körültekintő megválasztásával jelentős költségcsökkentés érhető el[63]. Figyelni kell azonban arra, hogy a szétcsomagolással abban az esetben tudunk csak gazdasági előnyökhöz jutni, ha az érintett alapanyag beszállítási folyamatát ehhez tudjuk illeszteni (pl.: JIT beszállítások megoldhatóak). Egy ellenpélda: microchipek esetében hiába lehet jelentősen csökkenteni a gyártósori készletünket (mivel nagy értékű, nagy darabszámú és több gyártósoron beépülő alapanyagról van szó), a vállalat egészét tekintve a készletértéket nem tudjuk ugyanennyivel csökkenteni. Ennek oka, hogy az oligopol helyzetben lévő microchip gyártók piaci túlkeresletet szolgálnak ki, rugalmatlanul szállítanak a vevőknek, akik emiatt kénytelenek túlkészletezni.



21. ábra: A teljes költség alakulása a szétcsomagolási darabszám függvényében (saját szerk.)

Az ERP rendszerek már számos tudományos eredményt, mint beépített funkciót adaptáltak, mint például a gazdaságos rendelési tételnagyság automatikus kalkulációját is. Az ERP rendszerek historikus adatok alapján kiszámítják a beszerzések átlagos költségét és a

[63] A digramon a beszerzési költségen felüli anyagmozgatási és készlettartási költségek alakulása látszik

készlettartás költségét, ezek alapján ajánlást tesznek a beszerzési tételnagyságra. A csomagolási egységek optimális darabszámának automatikus meghatározása is hasonlóan könnyen alkalmazható funkcióként épülhet be az ERP rendszerekbe.

A szétcsomagolási darabszám növelésével elérünk egy olyan pontot, amikortól a már nem éri meg szétcsomagolás. Ezt a pontot akkor érjük el, amikor a beszállítótól érkező csomagolási egység megbontása nélküli gyártósorra tárolás ugyanakkora költséggel jár, mint ha szétcsomagolnánk.

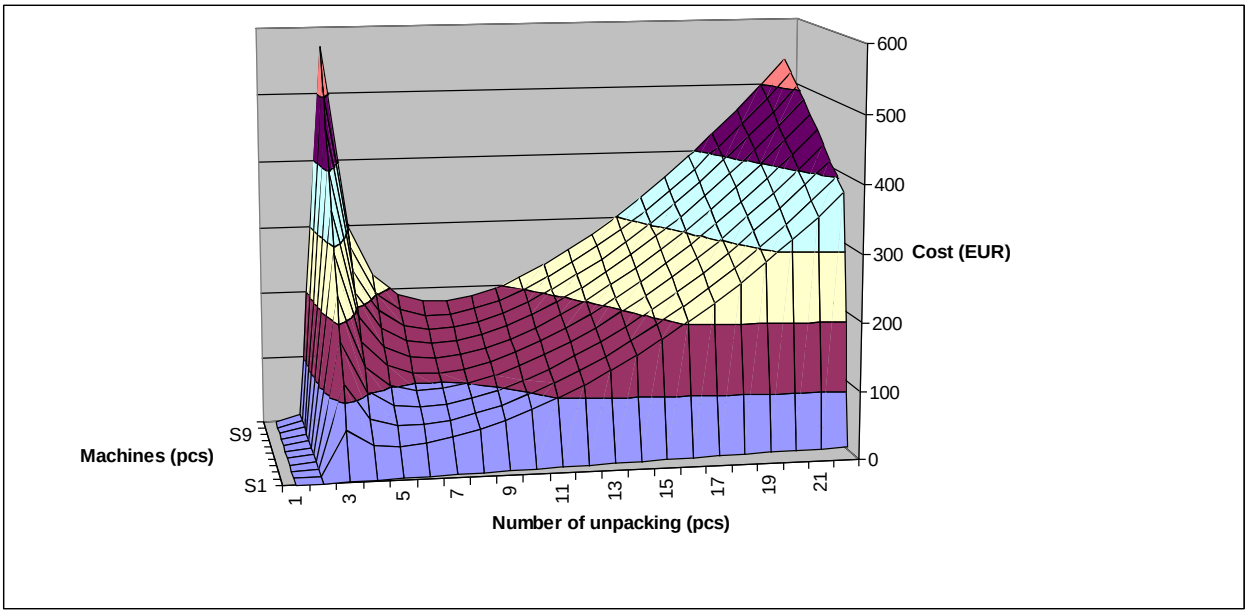
$$C(q) > C(n) \tag{37}$$

Ahol q a beszállítói csomagolási mennyiség pillanatnyi értéke.

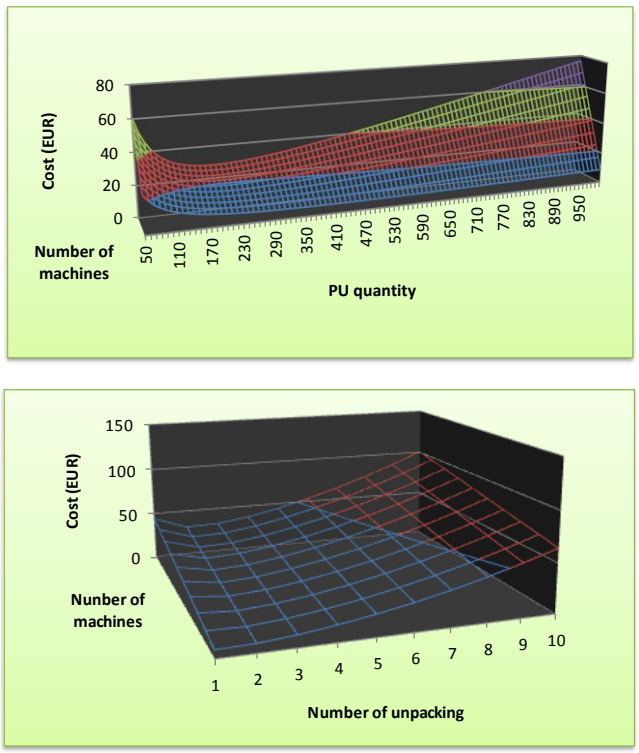
(38) akkor igaz, ha:

$$0 > E \cdot n^2 + F \cdot n + Y + \frac{H}{n} - C(q) \tag{38}$$

Egy másik érdekes kérdés, hogy hogyan változik az optimális szétcsomagolási darabszám, amennyiben növeljük a beépülési helyek számát, például ha az átfutási idő csökkentés érdekében párhuzamos gyártósort állítunk be (22. ábra).

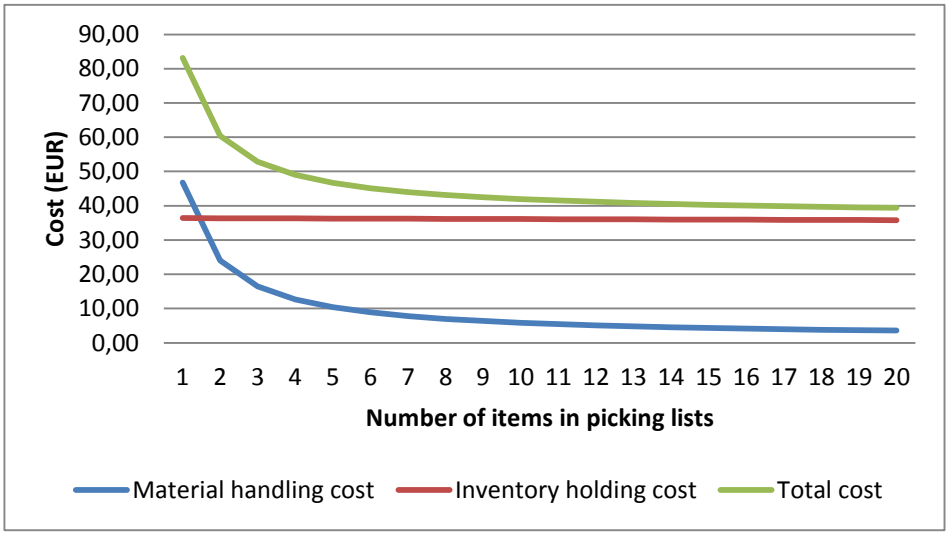


22. ábra: Költségszint az átcsomagolás és a rendeltetési helyek számának függvényében (saját szerk.)



23. ábra: Az összköltség alakulása: a) bejövő csomagolási egység és a b) szétcsomagolás darabszáma illetve a helyek számának változása függvényében (saját szerk.)

Másik változóként értelmezhető adat a komissiólisták tételszáma, azaz, hogy egyszerre hány egységet komissióznak ki és mozgatnak a gyártósorra. Ennek függvényében bár nő az utánpótlási folyamat átfutási ideje, csökken az egy tételre vetülő anyagmozgatási költség. A tesztadatokkal számolva a kiszedési tétel szám függvényében a költségek a 24. ábra szerint alakulnak. A tételszám növelésével a készlettartási költség is csökken, viszont arra vigyázni kell, hogy a minimális kanban mennyiség is egyre nő az utánpótlási idő növekedése miatt.



24. ábra: A költségek a kiszedési lista tételszám függvényében (saját szerk.)

A gyakorlatban a fenti két folyamattípus párhuzamosan működhet egymás mellett, azaz, adott alapanyagok a beszállítói csomagolási egységekben, kötegméretben, míg mások szétcsomagoláson átesve kerülnek a rendeltetési helyükre.

4.3 A KÉT KISZOLGÁLÁSI ÚTVONALTÍPUST INTEGRÁLÓ MODELL

A fenti két modellt célszerű lenne egy modellben integrálni, és az termeléskiszolgálási rendszer egészére kiterjeszteni, azaz a teljes rendszer költségszintjét meghatározni.

A létrehozott modellek az alábbi fő elhanyagolásokat tartalmazzák:

- A felhasználás kezdetét követően a kanban kártya kihelyezése és a sortöltő operátor általi felvétel között jelentős várakozási idő van, ami függ a sortöltő operátor pillanatnyi helyzetétől is.
- A gyártósorok eltérő ciklusidővel dolgoznak. Ugyanazon késztermék különböző gyártási lotjainak ciklusidejei között is jelentős különbségek lehetnek attól függően, hogy melyik gyártósoron történik a gyártás.
- Az alapanyag beépülési darabszámok gyártósoronként, terméktípusonként eltérőek lehetnek
- A beszerzési ár változhat a csomagolási egység mennyiség függvényében.

- Az extra anyagmozgatási időszükséglet nem feltétlenül jelent többlet költséget is. Ennek oka, hogy a kézi anyagmozgatást végző dolgozó nem teljesítménybérben dolgozik, hanem órabérben, és a kapacitáskihasználása a gyakorlatban tapasztaltak alapján biztosan nem közelíti meg a 100%-t. Azaz kisebb szintű extra időráfordítás nem biztos, hogy költségnövekedést is okoz.
- A sztochasztikus folyamat leírása determinisztikus modellel történt

Ezen elhanyagolások az eredmények torzulását okozzák, viszont a modell alkalmazhatóságát jelentősen megkönnyítik. Az integrált modell a fent említett torzításokat részben kiküszöböli.

Az integrált modell pontosításához az alábbi paramétereket vezetjük be:

Jelölés	Típus	Leírás
A_i	Kalkulált érték	Paraméter
$B_{i,j,k}$	Kalkulált érték	Paraméter
$c_{Hold,i}$	Rendszerjellemző	Az i. alapanyag fajlagos készlettartási költsége Δt-re vetítve
$C(q_i)$	Kalkulált érték	Csomagolási egység nagyságától függő költség
$C(n_{i,j,k})$	Kalkulált érték	Szétcsomagolás darabszámától függő költség
DC	Kalkulált érték	Késések költsége (DC[64])
$D_{i,j,k}$	Kalkulált érték	Paraméter
$E_{i,j,k}$	Kalkulált érték	Paraméter
$F_{i,j,k}$	Kalkulált érték	Paraméter
$G_{i,j,k}$	Kalkulált érték	Paraméter
H_i	Kalkulált érték	Paraméter
$i=1,2,\ldots N_{Part}$	Index	Alapanyagféleségek számindexe
$j=1,2,\ldots N_{Machine}$	Index	Gyártósor, rendeltetési hely indexe
$k=1,2,\ldots N_{Product}$	Index	A gyártott termék indexe
$N_{BOM,i,k}$	Rendszerjellemző	Beépülési mennyiség (az i. alapanyagból ennyi épül be a k. termékbe)

[64] DC = Delay Cost

$n_{i,j,k}$	Választott érték	Szétcsomagolás darabszáma, mely alapanyag és gyártási feladat függő
$N_{Job,j,k}$	Választott érték	A j. munkahelyre allokált k. termék gyártási darabszáma a vizsgált időszakon belül.
N_{Part}	Választott érték	Alapanyagféleségek száma
$N_{Product}$	Rendszerjellemző	A gyártási feladatok száma
$N_{Replenish,WH,\ i,j,k}$	Kalkulált érték	A sortöltési ciklusok száma (függ az alapanyagtól, és a gyártási feladattól, azaz, hogy melyik gépen mit gyártanak)
q_i	Választott érték	Bejövő csomagolási egység darabszáma, mely alapanyag függő
$T_{Cycle,j,k}$	Mért érték	A j. gyártósor ciklusideje k. termék gyártása esetén
TSC	Kalkulált érték	A kiszolgálási rendszer költsége (TSC[65])
$X_{Unpack,i}$	Választott érték	Döntési változó, arról, hogy alávetjük-e az i. alapanyagot szétcsomagolásnak, vagy sem
$X_{VendorQuantity,i}$	Választott érték	Döntési változó, arról, hogy a beszállítói csomagolási mennyiség szerint szolgáljuk-e ki a termelést vagy sem

3. Táblázat: A modell paraméterei – 3. modellezési lépes (saját szerk.)

A következőekben a modellt egyetlen alapanyag vizsgálatáról kiterjesztem az összes rendszerben lévő alapanyag vizsgálatára, azaz meghatározom teljes kiszolgálási rendszer összköltségét. Figyelembe veszem, hogy a gépek cikliusideje illetve a beépülési mennyiségek gép és terméktípus függőek.

Az adott kiszolgálási útvonal típusok (szétcsomagolás vagy anélküli útvonal) közötti döntést $X_{VendorQuantity,i}$, illetve $X_{Unpack,i}$ szimbolizálja.

$$TSC_{i,j,k} = X_{VendorQuantity,i} \cdot C(q_i) + X_{Unpack,i} \cdot C(n_{i,j,k}) \qquad i = 1,2,\ldots N_{Part} \qquad (40)$$

[65] TSC = Total production Supply Cost

$$j = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,..., N_{Product}$$

Ahol:

Az $X_{VendorQuantity,i}$ és $X_{Unpack,i}$ értékei a következőek lehetnek:

$$X_{VendorQuantity,i} \begin{cases} 0 \rightarrow \text{Szétcsomagolás} \\ 1 \rightarrow \text{Beszállítói egységek kiadása} \end{cases} \quad (42)$$

$$X_{Unpack,i} \begin{cases} 0 \rightarrow \text{Beszállítói egységek kiadása} \\ 1 \rightarrow \text{Szétcsomagolás} \end{cases} \quad (43)$$

A két döntési változó közül egyszerre csak az egyik veheti fel az 1-es értéket:

$$X_{VendorQuantity,i} + X_{Unpack,i} = 1 \qquad i = 1,2,\ldots, N_{Part} \quad (41)$$

$X_{VendorQuantity,i}$ és $X_{Unpack,i}$ értékével lehet meghatározni azt, hogy az adott termék kanban mennyisége maga a beszállítói csomagolási mennyiség legyen, vagy a kiszolgálási folyamat során állítsák be szétcsomagolással.

A teljes kiszolgálási költséget az alábbiak szerint lehet meghatározni:

$$TSC = \\ = \sum_{i=1}^{N_{Part}} \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} X_{VendorQuantity,i} \left(A_i \cdot q_i + B_{i,j,k} + \frac{D_{i,j,k}}{q_i} \right) + \\ + \sum_{i=1}^{N_{Part}} \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} X_{Unpack,i} \left(E_{i,j,k} \cdot n_{i,j,k}{}^2 + F_{i,j,k} \cdot n_{i,j,k} + G_{i,j,k} + \frac{H}{n_{i,j,k}} \right) \quad (44)$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,..., N_{Product}$$

Ahol:

$$A_i = \frac{3 \cdot N_{Machine} \cdot c_{Hold,i}}{2} \tag{45}$$

$$B_{i,j,k} = -\frac{N_{Machine} \cdot c_{Hold,i} \cdot N_{Bom,i,k} \cdot T_{replenish}}{T_{cycle,j,k}} \tag{46}$$

$$D_{i,j,k} = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom,i,k} \cdot T_{Replenish} \cdot c_{Wage}}{T_{Cycle,j,k} \cdot N_{PickItem}} \tag{47}$$

$$E_{i,j,k} = c_{Wage} \cdot N_{Replenish,WH,i,j,k} \cdot T_{Unpack,Var}; \qquad N_{Replenish,WH,i,j,k} = \frac{\Delta t \cdot N_{Bom,i,k}}{q_i \cdot T_{Cycle,j,k}} \tag{48}$$

$$F_{i,j,k} = \frac{J \cdot c_{Wage} \cdot N_{Replenish,WH,i,j,k}}{N_{Load}} - \frac{N_{Machine} \cdot c_{Hold,i} \cdot N_{Bom,i,k} \cdot N_{Load} \cdot T_{Unpack,Var}}{T_{Cycle,i,k}} \tag{49}$$

$$G_{i,j,k} = \frac{c_{Wage} \cdot N_{Replenish,WH,i,j,k} \cdot T_{Replenish,WH}}{N_{PickItem}} - \frac{N_{Machine} \cdot c_{Hold,i} \cdot N_{Bom,i,k} \cdot J}{T_{Cycle,i,j,k}} \tag{50}$$

$$H_i = \frac{3}{2} q_i \cdot N_{Machine} \cdot c_{Hold,i} \tag{51}$$

5 AZ INVERZ ANYAGÁRAMLÁS VIZSGÁLATA

A következőekben kiterjesztem a modellt az inverz anyagáramlás okozta költségek elemzésére. Csakúgy, mint a szétcsomagolásnál, az inverz anyagáramlás esetében is fontos szerepe van a megszámolhatóság viszonylag szubjektív fogalmának.

Fizikailag minden alapanyag megszámolható a megszámlálhatatlan tulajdonságot gazdaságossági, ésszerűségi döntésekkel rendeljük az alapanyagokhoz (pl.: lassan megszámolható, nagyon olcsó alapanyagok esetén ésszerűtlen a számlálás).

A vállalati készletet egyrészről értékben, másrészről naturálisában kifejezve is nyílván kell tartani. A készlet nyilvántartás alatt a tranzakciók rögzítését és tárolását értjük. A leltári műveletek a készlet mennyiségének és értékének pontosítását szolgálják, az esetleges hibák miatt, vagy egyéb okból keletkezett hiány/többlet korrekcióját. Az alapanyagok, segédanyagok, félkésztermékek naturáliában kifejezett mennyiségét különböző dimenziókban lehet megadni:

- Darabszám
- Tömeg
- Térfogat
- Hossz
- Alapterület
- Stb.

A számlálást az alábbi technikákkal lehet elvégeztetni:

- Automata számláló berendezések
- Manuális, egyesével vagy kötegekben történő számolás
- Mérlegeléssel (Referencia tömeg segítségével)
- Térfogatméréssel (Referencia térfogatmérő edény, vagy egyéb)
- Hosszméréssel (referencia hossz, pl.: méterrúd)
- stb.

A mennyiségi megfelelőség szempontjából a termeléskiszolgálás három alapesete létezik:

- Túl kevés anyag kerül kiadásra,
    - Pontatlan leszámlálás
    - A vártnál nagyobb volt a selejtszázalék

    - Nagyobb / gyorsabb az anyagfelhasználás
- Pont annyit adnak ki, amennyi elég az adott szériához
- Túl sok anyag kerül kiadásra, ennek okai:
    - Pontatlan leszámlálás
    - A vártnál kisebb selejtszázalék
    - Kevesebb késztermék kerül legyártásra a széria korábbi befejezése miatt. A gyakorlati életben a szériákat sokszor megszakítja valamilyen nem várt esemény. Ilyen lehet például:
        - valamely alapanyag minőségi okok miatti zárolása készlethiányt eredményez
        - megmunkálási hiba miatti leállás
        - készlethiány miatti leállás
        - a gyártókapacitás átengedése egy nem beütemezett, magasabb prioritású gyártási feladatnak.
        - vevői igény változása

A pontatlanságot fokozza a nem megszámlálható alkatrészek magasabb aránya. A „megmaradt” alapanyagok esetében, három lehetőség közül lehet választani:

- Az alapanyag a gyártósoron marad
- Az alapanyagot másodlagos felhasználásra küldik (hulladék, selejt, egyéb feldolgozás, stb.)
- Az alapanyagot visszavételezik

A termelésbe kiadott, viszont a szériához fel nem használt anyagok raktárba történő visszakönyvelése számos anyag- és információkezelési feladatot ró a cella-/sortöltő operátorokra, melynek természetesen költségvonzata is van. A visszavételezés egyéb problémákat is felvet, pl.:

- A FIFO készletezési irányelv sérül
- Tévesztések lehetősége megnő (Az adott anyag nem vagy nehezen azonosítható, nagy a tévesztés kockázata és súlyosak a következmények)
- Minőségi hibák keletkezése a több anyagkezelés, mozgatás miatt
- Visszahívások esetén nagyobb visszahívási darabszám (ugyanaz az alapanyag több, egymástól időben távolabb lévő gyártási szériába is beépülhet)

- Hibás mennyiség visszakönyvelése alapanyag készletre (Főleg, ha az adott anyag nem megszámolható)

Azaz, az adott szériához fel nem használt alapanyagok visszavételezése során önköltség és minőségi kockázat növelő műveletek láncolatát kell végrehajtani az újbóli felhasználásig.

Erre egy példa az elektronikai iparból: a viszonylag nagy értékű chipeket úgynevezett wafereken[66] elhelyezve küldik a beszállítók az elektronikai összeszerelő üzemeknek. A microchip világpiacot viszonylag kevés óriásvállalat uralja[67]. A tömbben gyártott chipeket sokszor alvállalkozók szeletelik mm vékonyságú korongokra. Egy ilyen szeletet hívnak wafernek. Egy mikrochip egységára körülbelül 1-2 EUR, és egy waferen akár ezres nagyságrendben is előfordulhatnak, így jelentős érték koncentrálódik egy darab waferen.
Ezek az alkatrészek különleges kezelést igényelnek a minőségügyi követelmények miatt. (ionizált levegő alatti átcsomagolás, speciális védőgázas tárolás, stb.). A speciális anyagkezelés nagyobb költséget is jelent. Emiatt előfordulhat olyan eset, mikor a raktári visszakönyvelés nem éri meg a waferen maradt, fel nem használt chipek alacsony darabszáma miatt; olcsóbb alternatíva a készletről való kikönyvelés (selejtleírás, másodlagos felhasználás, stb.).

A következőekben meghatározom a termelési rendszer visszavételezési folyamatainak költségfüggvényét. Meghatározom azt a darabszámot (egyéb mennyiségi mutatót), amely felett a visszavételezés megtérül.

A visszavételezés során az alábbi folyamatok rónak többletfeladatot a raktári dolgozókra:

- Anyag beazonosítása és megszámlálása ($T_{Count,i}$)
- Anyag azonosítóval történő ellátása ($T_{ID,i}$)
- Anyag visszamozgatása a raktárba, vagy ideiglenes előkészítési tárhelyre ($T_{Reverse,i,j}$)
- Anyag betárolása, anyag kiszedésének többlet költsége (normál kiszolgáláshoz képest mennyivel több idő) ($T_{ReverseWH,i}$)

[66] vékony korong alakú lap, tároló

[67] Microchip piac oligopol helyzetben lévő képviselői: IXYS, Infineon, Semikron, Fairchild, Cree, Rohm, stb.

A mért illetve adatbázisból kinyert történelmi adatok statisztikai elemzésével kaphatjuk a legkorrektebb eredményeket. A következőekben ismertetett modell kiterjesztésben az 4. Táblázatban bemutatott eddig nem használt jelöléseket alkalmazom.

Jelölés	Típus	Leírás
$\alpha_{Lot,j,k}$	Rendszerjellemző	Termelési faktor
$\alpha_{Quality,i}$	Rendszerjellemző	Az i. alapanyag minőségi megfelelőségi aránya
$\sigma_{Lot,j,k}$	Rendszerjellemző	A felhasználás szórása (lehet gyártósor és/vagy terméktípus függő)
$\beta_{Reverse,i,j,k,l}$	Kalkulált érték	Visszavételezési együttható
$c_{Price,i}$	Rendszerjellemző	Az i. alapanyag beszerzési ára
$l=1,2,\ldots N_{Job,j,k}$	Index	Az ütemezett gyártási feladat (job) indexe
$N_{Job,j,k}$	Rendszerjellemző	Gyártási feladatok száma mely a j. gyártósoron a k. késztermékre szól
$N_{LotSize,j,k,l}$	Választott érték	A j. munkahelyre allokált k. termék l. gyártási szériájának nagysága
$N_{Reverse,i,j,k,l}$	Kalkulált érték	Visszavételezett tételek száma
$N_{ReverseItem,i,j,k,l}$	Mért érték	Egyszerre mozgatott tételek száma
$N_{TakenOut,i,j,k,l}$	Rendszerjellemző	Az adott gyártási feladathoz gyártósorra kitárolt alapanyag mennyisége
$N_{Used,i,j,k,l}$	Kalkulált érték	Az i. alapanyag, j.munkahelyen, k.késztermék, l. job-jának gyártása során felhasznált alapanyag mennyiség
$r_{Secondary,i}$	Rendszerjellemző	Az i. alapanyag másodlagos hasznosításának bevétele
$T_{Count,i}$	Mért érték	Az i. alapanyag átagos számlálási időszükséglete (alapanyagfüggő, mert a megszámolhatóság eltérő lehet)
$T_{ID,i}$	Mért érték	Az alapanyag azonosítóval történő ellátása, vagy mennyiség lejavítása
$T_{Reverse,i,j}$	Mért érték	Az egy visszavételezési egységre fordítandó anyagmozgatási időszükséglet (alapanyag és gyártósor függő)
$T_{ReverseWH,i}$	Mért érték	Az egy visszavételezési egység raktári kezelési többlet időszükséglet
TRMC	Kalkulált érték	Inverz anyagáramlás költségei (TRMC[68])
$X_{Reverse,i,j,k,l}$	Kalkulált érték	Döntési változó, arról, hogy visszavételezzük-e az alapanyagot.

4. Táblázat: A modell paraméterei – 4. modellezési lépes (saját szerk.)

[68] TRMC = Total Reverse Material flow Cost

A gyártósorok termékváltásakor összegyűjtik a gyártósoron lévő anyagokat, melyeket be kell azonosítani. A beazonosított anyagot le kell számolni. A beazonosított és megszámlált alapanyagokat új azonosítóval kell ellátni, vagy a meglévő azonosítón kell lejavítani a mennyiséget, a beazonosítás és felcímkézés időszükséglete $T_{ID,i}$. Az egy visszavételezési egységre fordítandó anyagmozgatási időt az anyagmozgatási idő és az egyszerre mozgatott egységek ($N_{Reverse}$) darabszámának hányadosaként kapjuk. Amennyiben ezt a műveletet a sortöltő dolgozó üres futásának hasznosításával el lehet végeztetni, nincs extra időráfordítás. Ezután történik az anyagok visszakönyvelése tárhelyre.

A ténylegesen felhasznált mennyiség a szérianagyság, a beépülési mennyiség és a termelési faktor ($\alpha_{Lot,j,k}$) valamint a zárolási arány ($\alpha_{Quality,i}$) ismeretében kalkulálható. A termelési faktor mutatja meg, hogy várhatóan mekkora a tényleges és a tervezett gyártási darabszám aránya. A zárolási arány azt mutatja meg, hogy a múltban mekkora arányban volt szükség gyártósori zárolásokra/selejtleírásra az adott alapanyag esetében.

$$N_{Used,i,j,k,l} = N_{LotSize,j,k,l} \cdot N_{Bom,i,k} \cdot \alpha_{Lot,j,k} \cdot \alpha_{Quality,i} \quad (52)$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,\ldots., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

A visszavételezendő mennyiség a kiadott és a ténylegesen felhasznált mennyiség különbsége:

$$N_{Reverse,i,j,k,l} = N_{TakenOut,i,j,k,l} - N_{Used,j,k,l} = N_{TakenOut,i,j,k,l} - N_{LotSize,j,k,l} \cdot N_{Bom,i,k} \cdot \alpha_{Lot,j,k} \cdot \alpha_{Quality,i} \quad (53)$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,\ldots., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

A visszavételezett tétel költsége:

$$TRMC_{i,j,k,l} = N_{Reverse,i,j,k,l} \cdot c_{Wage} \cdot \left(T_{ID,i} + T_{Count,i} + \frac{T_{Reverse,i,j}}{N_{ReverseItem,i,j,k,l}} + T_{ReverseWH,i} \right) \quad (54)$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,\ldots, N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

A teljes visszavételezési költség az adott időszakban:

$$TRMC = \sum_{i=1}^{N_{Part}} \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} N_{Reverse,i,j,k,l} \cdot c_{Wage} \cdot \left(T_{ID,i} + T_{Count,i} + \frac{T_{Reverse,i,j}}{N_{ReverseItem,i,j,k,l}} + T_{ReverseWH,i} \right) \tag{55}$$

A FIFO készletezési irányelv felborításával egyéb többletköltségek is keletkezhetnek, ilyen költség például az alapanyag okozta késztermék minőségi probléma esetén indítandó visszahívások nagyobb érintettsége. Ennek számszerűsítése nehezen megvalósítható. A készletkönyvelési tévesztések miatti többletmunka költség kimutatása is hasonlóan nehéz feladat, mint a visszahívások többletköltségének kimutatása. A korábban visszavételezett anyagok újbóli kiszedése darabra vetítve nagyobb kiszedési költséget jelentenek, mivel kevesebb darab van egy csomagolási egységben.
A másodlagos felhasználással kapcsolatban több lehetőség is adódik, erről Hartványi et al. publikált [42].

A visszavételezés akkor térül meg, ha az adott visszavételezési feladat ráfordításának értéke kisebb, mint a visszavételezés költsége:

$$TRMC_{1,j,k,l} < N_{Reverse,i,j,k,l} \left(c_{Price,i} - r_{Secondary,i} \right) \tag{56}$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,\ldots, N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

A visszavételezési feladat ráfordítási értékének és a visszavételezés költségének hányadosát visszavételezési együtthatónak neveztem el:

$$\beta_{Reverse,ij,k,l} = \frac{N_{Reverse,i,j,k,l} \cdot c_{Wage} \cdot \left(T_{ID,i} + T_{Count,i} + \frac{T_{Reverse,i,j}}{N_{ReverseItem,i,j,k,l}} + T_{ReverseWH,i} \right)}{N_{Reverse,i,j,k,l} \left(c_{Price,i} - r_{Secondary,i} \right)} \tag{57}$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,\ldots., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

Amennyiben $\beta_{Reverse,i,j,k,l} < 1$, a visszavételezés megtérül, egyéb esetben a vállalat felesleges kockázatot illetve többletköltséget vállal a visszavételezési művelettel. Bevezetem a visszavételezési döntési változót, mely az alábbi értékeket veszi fel:

$$X_{Reverse,i,j,k,l} \begin{cases} 0 \rightarrow \text{Nincs visszavételezés} \\ 1 \rightarrow \text{Van visszavételezés} \end{cases} \tag{58}$$

Ha $\beta_{Reverse,ij,k,l} < 1$, akkor $X_{Reverse,i,j,k,l}$ javasolt értéke 1, ha $\beta_{Reverse,ij,k,l} > 1$ akkor $X_{Reverse,i,j,k,l}$ javasolt értéke 0.

$$TRMC = \sum_{i=1}^{N_{Part}} \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} \left[\begin{array}{l} X_{Reverse,i,j,k,l} N_{Reverse,i,j,k,l} c_{Wage} \cdot \left(T_{ID,i} + T_{Count,i} + \frac{T_{Reverse,i,j}}{N_{ReverseItem,i,j,k,l}} + T_{ReverseWH,i} \right) + \\ + \left(1 - X_{Reverse,i,j,k,l}\right) \cdot N_{Reverse,i,j,k,l} \left(c_{Price,i} - r_{Secondary,i} \right) \end{array} \right] \tag{59}$$

6 A MODELL KITERJESZTÉSE TÖBBLÉPCSŐS TERMELÉSI FOLYAMATRA

Sok modell a termeléskiszolgálás lokális optimumát keresi, ugyanakkor a kiszolgálási folyamat jellemzői a komplex üzemi megmunkálási, anyagmozgatási, készlettartási költségekre is hatással vannak, a globális optimum elérésének érdekében célszerű ezek együttes vizsgálata. Jelen fejezetben ismertetett modell az alábbi új paramétereket használja (5. Táblázat).

Jelölés	Típus	Leírás
$c_{HoldWIP,j,k}$	Rendszerjellemző	Az j. gyártósoron lévő k. késztermék fajlagos készlettartási költsége Δt-re vetítve
$c_{Machine,j}$	Rendszerjellemző	A j. gép fajlagos költsége
$c_{Delay,j,k,l}$	Rendszerjellemző	Az l. job késése esetén alkalmazott fajlagos késési költség
MC	Kalkulált érték	Megmunkálási/összeszerelési költség (MC[69])
SC	Kalkulált érték	Átállási költségek (SC[70])
TC	Kalkulált érték	A rendszer teljes költsége
TSC	Kalkulált érték	Teljes termeléskiszolgálási költség
$T_{Card,i,j,k}$	Mért érték	Kanban kártya kezelés ideje
$T_{Lead,j,k,l}$	Mért érték	Az l. job átfutási ideje - a j. munkaállomás pufferébe való érkezés és a következő munkaállomás pufferébe való érkezés közötti időintervallum
$T_{Lead,j,k,l}$*	Mért érték	Elvárt átfutási idő
TPC	Kalkulált érték	Termelési költségek (TPC[71])
$T_{Setup,j,l,k}$	Rendszerjellemző, Mért érték	A j. gyártósoron a k. termékről a l. térmékre való átállási időszükséglete.
$T_{Wait,j,k,l}$	Mért érték	Adott széria alatti várakozási idők összege
WIPC	Kalkulált érték	A gyártásközi készletek költsége

5. Táblázat: A modell paraméterei – 5 modellezési lépes (saját szerk.)

A teljes rendszer költség három alrendszer, a kiszolgálási rendszer, a termelés, a visszavételezési folyamatok költségének összegeként írható fel (60).

[69] MC = Manufacturing Cost

[70] SC = Setup cost

[71] TPC = Total Production Cost

$$TC = TSC + TPC + TRMC \tag{60}$$

A teljes termelési költség felírható az értékteremtő gyártási folyamat, az átállási költségek, a gyártásközi készlet tartásának költségei és a késések miatti költségek összegeként:

$$TPC = MC + SC + WIPC + DC \tag{61}$$

Az értékteremtő termelési folyamat költsége a következőek szerint kalkulálható:

$$MC = \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \left(\sum_{k=1}^{N_{Product}} T_{Cycle,j,k} \cdot N_{LotSize,j,k,l} + N_{Job,j,k} \cdot T_{Wait,j,k,l} \right) \cdot c_{Machine,j} \tag{62}$$

Ebben a modellben egyszerűsítésképpen nem veszem figyelembe, hogy az átállási idő függhet attól is, hogy melyik termékről állítják át a gépet. Feltételezem, hogy az adott termék gyártását egyenlő nagyságú szériákra bontják. A befejezett szériához tartozó kanban kártyákat összegyűjtik a gyártósori pufferből, valamint a sortöltő operátoroktól. Az átállási költség ezt a kanban kártya manipulációs eljárást is tartalmazza.

Az átállások költségei az alábbi képlettel kalkulálható.

$$SC = \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} T_{Setup,j,k} \cdot N_{Job,j,k} \cdot c_{Machine,j} + \sum_{i}^{N_{Part}} \sum_{j}^{N_{Machine}} \sum_{k}^{N_{Product}} T_{Card,i,j,k} \cdot c_{Wage} \tag{63}$$

A termelési logisztikai fejlesztések, kutatások egyik fő célja WIP szint csökkentése. Az indokolatlan nagy WIP felesleges tőkelekötést, túlzott gyártótér foglaltságot eredményez. Probléma még, hogy nagy gyártásközi készlet felhalmozódás a minőségi problémák elfedéséhez, nagy átmunkálási (rework) veszteségekhez vezethet, mivel az egyik fő minőségellenőrzési szerepe a soron következő gyártósornak van, viszont az csak időben jelentősen eltolva, nagy mennyiségű legyártott munkadarabot fog megkapni, ezt a tételt a modellben nem jelenítem meg, nehéz számszerűsíthetősége miatt.

A WIP költsége az alábbiak szerint határozható meg:

$$WIPC = \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} \left(N_{LotSize,j,k,l} \cdot T_{Lead,j,k,l} \cdot c_{HoldWIP,j,k} \right) \tag{64}$$

A WIP szintjét nagyban befolyásolja a termelési és anyagáramlási vezérlési mechanizmus típusa, a mozgatott (áramoltatott) félkésztermékek köteg mérete. Köteg méret alatt nem a széria nagyságát értem, hanem azt a mennyiséget, amelyet a megmunkálás után átmozgatnak

a következő megmunkálási helyre. Egydarabos áramlás esetén a batch mérete: 1. Minél kisebb a köteg mérete annál hamarabb kezdődhet a következő megmunkálás a munkadarabon, azaz csökken az átfutási idő, így a WIP szint is. A WIP szint jelen modellben nem tartalmazza a kiszolgálási rendszer költségmodelljébe már bevont gyártósori alapanyag készletet, csupán a műveletek közti és alatti félkészterméket.

A job-ok késése költséget generál. Ez a költség nehezen számszerűsíthető, legegyszerűbb, ha a késés szerződésben rögzített költséget, büntetést jelent, vagy kontrolling eszközökkel kimutathatóak, következtethetőek a késések miatti veszteségek (pl.: kiesett megrendelések, stb.). A késés költségét DC[72]-vel jelöltem, mely függ a tényleges és a megkívánt átfutási idő különbségétől.

$$DC = \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} N_{LotSize,j,k,l} \cdot \left(T_{Lead,j,k,l} - T^{*}_{Lead,j,k,l} \right) \cdot c_{Delay,j,k,l} \tag{65}$$

Az alrendszer függvények ismeretében a teljes költségfüggvény az alábbiak szerint írható fel:

$$\begin{aligned}
TPC = & \\
& \sum_{i}^{N_{Part}} \sum_{j}^{N_{Machine}} \sum_{k}^{N_{Product}} X_{VendorQuantity,i} \left(A_i \cdot q_i + B_{i,j,k} + \frac{D_{i,j,k}}{q_i} \right) + \\
& + \sum_{i}^{N_{Part}} \sum_{j}^{N_{Machine}} \sum_{k}^{N_{Product}} X_{Unpack,i} \left(E_{i,j,k} \cdot n_{i,j,k}{}^{2} + F_{i,j,k} \cdot n_{i,j,k} + G_{i,j,k} + \frac{H}{n_{i,j,k}} \right) + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \left(\sum_{k=1}^{N_{Product}} T_{Cycle,j,k} \cdot N_{LotSize,j,k,l} + N_{Job,j,k} \cdot T_{Wait,j,k,l} \right) \cdot c_{Machine,j} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} T_{Setup,j,k} \cdot N_{Job,j,k} \cdot c_{Machine,j} + \sum_{i}^{N_{Part}} \sum_{j}^{N_{Machine}} \sum_{k}^{N_{Product}} T_{Card,i,j,k} \cdot c_{Wage} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} N_{LotSize,j,k,l} \cdot T_{Lead,j,k,l} \cdot c_{HoldWIP,j,k} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} N_{LotSize,j,k,l} \cdot \left(T_{Lead,j,k,l} - T^{*}_{Lead,j,k,l} \right) \cdot c_{Delay,j,k,l} + \\
& + \sum_{i=1}^{N_{Part}} \sum_{j=1}^{N_{Machine}} \sum_{k=1}^{N_{Product}} \sum_{l=1}^{N_{Job,j,k}} \left[\begin{array}{l} X_{Reverse,i,j,k,l} N_{Reverse,i,j,k,l} c_{Wage} \cdot \left(T_{ID,i} + T_{Count,i} + \frac{T_{Reverse,i,j}}{N_{ReverseItem,i,j,k,l}} + T_{ReverseWH,i} \right) + \\ + \left(1 - X_{Reverse,i,j,k,l} \right) \cdot N_{Reverse,i,j,k,l} \left(c_{Price,i} - r_{Secondary,i} \right) \end{array} \right]
\end{aligned} \tag{66}$$

[72] DC = Delay cost

A fenti összefüggések látszólag bonyolultak, és kezelhetetlen mennyiségű műveletet jelentenek, viszont vállalatirányítási rendszerek segítségével, vagy egyéb adatbáziskezelő eszközökkel, jól felépített lekérdezésekkel azonnali eredményt adnak.

7 A MODELL KITERJESZTÉSE KÜLÖNBÖZŐ VEZÉRLÉSI MECHANIZMUSSAL IRÁNYÍTOTT RENDSZEREKRE

Az eddig ismertetett modellek kanban vezérelt kiszolgálási rendszerrel rendelkező termelési rendszert írnak le. Ennek a termelésvezérlési rendszernek a belső vezérlési mechanizmusát eddig nem vizsgáltam.

A 2.2-es fejezetben szereplő PMFC típusok széles palettájáról viszonylag nehéz kiválasztani az adott termelési rendszer igényeit leghatékonyabban kiszolgáló típust. A leggyakrabban alkalmazott módszer a TPS kanban vezérlése. A termelési és kiszolgálási rendszerek üzemeltetői, tervezői gyakran találkoznak azzal a döntési szituációval, amikor a kanban vezérlés alkalmazásának helyességét kell mérlegelni. A kanban az anyagáramlás vezérlésének nagyon hatékony és divatos alternatívája lett. Ugyanakkor számtalan esetben „vakon”, alaposabb mérlegelés nélkül bíznak meg a kanban rendszer alkalmazásának helyességében.

A termeléskiszolgálási és a termelési folyamatokra különböző vezérlési mechanizmusokat lehet illeszteni, így például a termeléskiszolgálás történhet kanbannal míg a gyártás vezérlés POLCA módszerrel.

A következőekben kiterjesztem a költségmodellt az alábbi vezérlési típus kombinációk alkalmazásának vizsgálatával, külön kezelve a termelés kiszolgálási és a belső vezérlési folyamatokat (6. Táblázat).

VEZÉRLÉS KOMBINÁCIÓ TÍPUSA	KISZOLGÁLÁS VEZÉRLÉS	TERMELÉS VEZÉRLÉS
Tisztán MRP	MRP	MRP
Tisztán kanban	Kanban/E-kanban/Adaptív kanban	Kanban/E-kanban/Adaptív kanban
Kanban - CONWIP	Kanban/E-kanban/Adaptív kanban	CONWIP
MRP - CONWIP	MRP	CONWIP
Kanban -DBR	Kanban/E-kanban/Adaptív kanban	DBR
MRP -DBR	MRP	DBR
Kanban-POLCA	Kanban/E-kanban/Adaptív kanban	POLCA
MRP-POLCA	MRP	POLCA

6. Táblázat: Vezérlési kombinációk (saját szerk.)

A modellezési lépésben használt jelöléseket a 7. Táblázat szemlélteti.

Jelölés	Típus	Leírás
$\alpha_{Lead,m}$	Kalkulált érték	Átfutási idő faktor az m. vezérlési mechanizmus esetén.
$\alpha_{WIP,m}$	Kalkulált érték	WIP faktor az m. vezérlési mechanizmus esetén
$\alpha_{Diversity}$	Kalkulált érték	Diverzifikáltsági tényező
$\alpha_{Lot,j,k,l}$	Mért érték	Gyártási széria mennyiségének tervezettől való eltérésének várható aránya
$\alpha_{Quality,i}$	Mért érték	Adott alapanyag gyártósoron észlelt selejt aránya
$\alpha_{QRF,k}$	Rendszerjellemző	A gyors reagálási faktor (QRF[73])
α_{Demand}	Rendszerjellemző	A rendszer igényszintje (leterheltsége)
$\sigma_{Lot,i,j,k,l}$	Kalkulált érték	A gyártási szériák mennyiségének szórása
$I_{Avg,MRP,i,j,k,l}$	Kalkulált érték	Az alapanyag átlagos gyártósori készlet szintje MRP kiszolgálás esetén
$I_{AvgKanbanij,k,l}$	Kalkulált érték	Az alapanyag átlagos gyártósori készlet szintje kanban kiszolgálás esetén
k	Választott érték	Biztonsági faktor
m	Index	A vezérléstípus indexe
$N_{KanbanNumber,i,j,k,l}$	Választott érték	Kanban szám
$q_{MRP,\ i,j,k,l}$	Kalkulált érték	Adott szériához kiadott mennyiség MRP esetén

7. Táblázat: A modell paraméterei – 6. modellezési lépés (saját szerk.)

7.1 A MODELL MÓDOSULÁSA KÜLÖNBÖZŐ KISZOLGÁLÁSI VEZÉRLÉS TÍPUSOK ESETÉN

A különböző kiszolgálási vezérlési típusok alkalmazása leginkább az alábbi tényezőket érinti:

- Gyártósori alapanyag készlet szint
- Kiszolgálás előkészítési költségek (utánpótlási idő)
- Visszavételezési mennyiségek

7.1.1 Gyártósori készletszint alakulása MRP és kanban vezérlés esetén

A kanban rendszerű termeléskiszolgálás előnyei, hogy a tényleges fogyasztás generálja az alapanyag rendelést, így pull (húzásos) rendszer jön létre. Hátránya, hogy bizonyos alapanyagok, csomagolási egységek esetében indokolatlanul nagy készlet mellett tud működni illetve QRM stratégiát is mérsékelten támogatja. A diverzifikált, agilis gyártás kis szériákat igényel, melyek hagyományos kanban rendszerű kiszolgálása jelentős visszavételezési

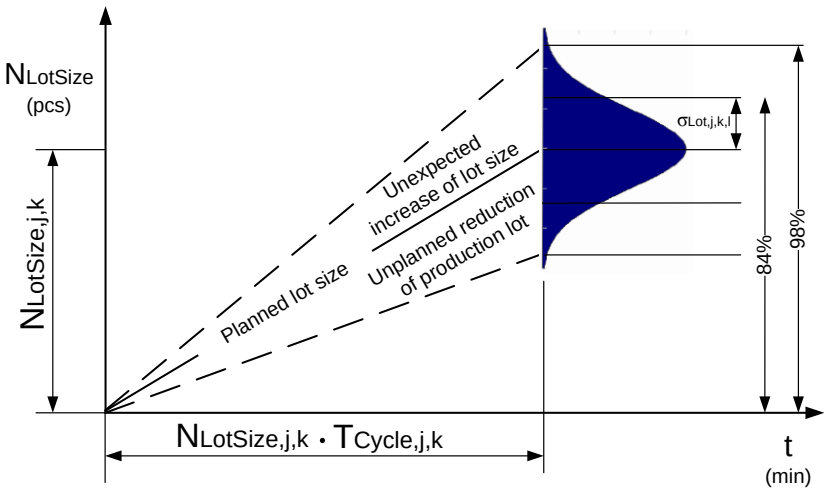
[73] QRF = Quick Response Factor

feladatot generál. Bizonyos termékeknél a fent említett hátrányok oly mértékben jelentkeznek, hogy e termékek kiszolgálását nem érdemes kanban vezérléssel végezni.

A diverzifikált termékpalettájú termelési rendszerek, kis gyártási szériáinak esetében az egyik legelterjedtebb gyakorlat a szériához szükséges alapanyagok előre meghatározott mennyiségének előkészítése, ez tulajdonképpen egy MRP jellegű kiszolgálás. Ekkor a szériaváltásoknál nincs szükség a raktári visszavételezésre. Az egymást követő szériák közös (úgynevezett „common") alapanyagainak esetében célszerű lehet a kanban vezérlés alkalmazása, mivel a visszavételezési művelet gyakorisága ritkább.

Az MRP kiszolgálású alapanyagok esetében viszont, fellép a szériához szükséges kiadási mennyiség megválasztásának problémája. Az olyan kis szériás gyártásoknál, ahol kevés a „common" anyag a kanban alkalmazása nehézkes, célszerűbb a szériához szükséges mennyiség gyártás előtti kiadása. Ebben az esetben a visszavételezési procedúra kikerülhető - legalábbis az elméleti, ideális esetben, amikor:

- pontosan az adott szériához szükséges mennyiség lett kiadva
- pont a szériához szükséges mennyiség került felhasználásra
- a selejtarány pontosan lett kalkulálva



25. ábra: A gyártósori felhasználás mértéke (saját szerk.)

MRP vezérlés szerinti kiszolgálás esetén nem a tényleges felhasználás ütemében, hanem a tervezett mennyiséget adják ki a termelésbe. Ugyanakkor a gyártási ciklusidő sztochasztikus jellege miatt valamint az esetleges jellemző selejtarány, megmunkálás közben kiderülő minőségi hibák miatt több alapanyagot adnak ki. Ennek mértéke a 25. ábra és a (67)-es egyenlet szerint kalkulálható:

$$q_{MRP,i,j,k,l} = \alpha_{Lot,j,k,l} \cdot \alpha_{Quality,i} \cdot N_{LotSize,j,k,l} \cdot T_{Cycle,j,k} \cdot N_{Bom,i,j,k} + k \cdot \sigma_{Lot,i,j,k,l} \sqrt{N_{LotSize,j,k,l} \cdot T_{Cycle,j,k}} \tag{67}$$

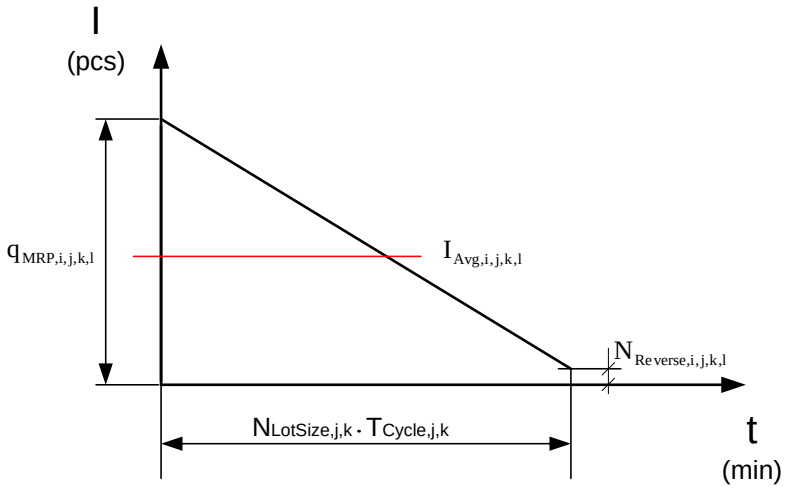
$$i = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$j = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,..., N_{Product}$$

$$l = 1,2,..., N_{Job,j,k}$$

Az MRP kiszolgálás esetén a gyártósori készletszint a kiadott mennyiség és a gyártási jellemzők ismeretében számolhatóak, valamint az alábbiak szerint alakul (26. ábra).



26. ábra: Adott alapanyag gyártósori készletszintjének alakulása MRP vezérelt kiszolgálás esetén (saját szerk.)

A kiadott és a visszavételezési mennyiségek ismeretében számolható az MRP vezérelt gyártósori alapanyagkészlet átlagos szintje (68).

$$I_{Avg,MRP,i,j,k,l} = \frac{q_{MRP,i,j,k,l} - N_{Reverse,i,j,k,l}}{2} + N_{Reverse,i,j,k,l} = \frac{q_{MRP,i,j,k,l} + N_{Reverse,i,j,k,l}}{2} \tag{68}$$

$$i = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$j = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,..., N_{Product}$$

$$l = 1,2,..., N_{Job,j,k}$$

A kanban vezérelt kiszolgálási rendszer gyártósori alapanyag készletszintjének számítására a korábban felírt (12)-es illetve (29)-es összefüggések érvényesek, a megfelelő indexeléssel, és a kanban szám változtatási lehetőségével kiegészítve (69):

$$I_{AvgKanban,i,j,k} = \left(N_{KanbanNumber,i,j,k,l} + \frac{1}{2} \right) q_i - \frac{N_{Bom,i,k} \cdot T_{ReplenishProduction,i,j,k,l}}{T_{Cycle,i,j,k}} \quad (69)$$

$$i = 1,2,\ldots, N_{Machine}$$

$$j = 1,2,\ldots, N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

A kiegészítéseket adaptálva a szétcsomagolást tartalmazó folyamatokra (70):

$$I_{Avg,Kanban,i,j,k} = \left(N_{KanbanNumber,i,j,k,l} + \frac{1}{2} \right) \frac{q_i}{n_{i,j,k}} - \frac{N_{Bom,i,k} \cdot T_{Replenish,Production,i,j,k,l}}{T_{Cycle,i,j,k}} \quad (70)$$

$$i = 1,2,\ldots, N_{Machine}$$

$$j = 1,2,\ldots, N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

Az elektronikus kanban alkalmazása is csökkenti a gyártósori készletszintet, amennyiben a kanban mennyiség kalkulálását ettől tesszük függővé, és nem adott. Ennek oka, hogy az EK csökkenti az utánpótlási idő hosszát, mivel a rendelés észlelése és a kanban jel továbbítása gyorsabb.

Az adaptív kanban rendszerben folyamatosan módosul a kanban kártyák száma ($N_{KanbanNumber,i,j,k,l}$) az (5)-ös összefüggéssel leírt célfüggvénynek megfelelően.

7.1.2 Kiszolgálás előkészítési költségek (utánpótlási idő) alakulása MRP és kanban vezérlés esetén

Az MRP előkészítési költségei hasonlóan számolhatóak, mint a kanban esetén (26), de kisebb különbségekkel (71):

$$C_{Handling\,j,k,l} = \sum_{i=1}^{N_{Part}} c_{Wage}\left(\frac{T_{Replenish,WH,i,j,k,l}}{N_{PickItem}} + \frac{T_{Replenish,Production,i,j,k,,l}}{N_{Load}}\right) \qquad (71)$$

$$j = 1,2,\ldots., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,\ldots, N_{Job,j,k}$$

A fenti (71)-es és a korábbi (26)-os anyagkezelésre vonatkozó összefüggések között a főbb különbség az, hogy MRP esetén az adott lothoz szükséges alapanyagokat egyszerre komissiózzák ki, és egyszerre tárolják a gyártósorra, viszont kanban esetén egy ciklus nem csak egy lot igényeit szolgálja ki.

A hagyományos kanban vezérelt kiszolgálás esetén a kiszolgálás előkészítési költségei a fizikai folyamat (26) költségein túl kanban kártyák előkészítési időszükségletéből áll, melyet a (63)-as, átállási költségekre vonatkozó összefüggés tartalmaz, értékét méréssel vagy tranzakciós adatok elemzésével lehet meghatározni.

Az elektronikus kanban esetében nincs kanban kártya előkészítési költség.

Adaptív kanban alkalmazása folyamatmonitoring szempontjából erőforrásigényes, nehézkesen megvalósítható, emiatt adaptív kanban alatt jelen esetben mindig az Automatikus Adaptív Kanban Rendszert értem. Automatikus adaptív kanban esetén nincs kanban kártya előkészítési költség, és a kanban szám elvétel és hozzáadás automatikusan történik.

7.1.3 Visszavételezési mennyiségek alakulása MRP és kanban vezérlés esetén

A másik tényező, amire a kiszolgálás vezérlés típusa hatással van a visszavételezési mennyiség, és így a visszavételezés költsége. Ahogy azt az (53)-as összefüggésben is szerepelettem, a visszavételezendő mennyiség a kiadott és a ténylegesen felhasznált mennyiség különbsége. A kiadott mennyiség viszont vezérléstípusonként más-más.

Az MRP esetén a kiadott mennyiség előre definiált (72),

$$N_{TakenOut,i,j,k,l} = q_{MRP,i,j,k,l} \qquad (72)$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,\ldots., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,\ldots, N_{Product}$$

$$l = 1,2,..., N_{Job,j,k}$$

míg hagyományos kanban vezérlés esetén függ a csomagolási egység / kanban tároló mennyiségétől, a kanban számtól és a tényleges felhasználástól (73).

$$N_{TakenOut,i,j,k,l} = \left[\frac{N_{LotSize,j,k} \cdot N_{Bom,i,k} \cdot \alpha_{Lot,j,k,l} \cdot \alpha_{Quality,i}}{q_i} + N_{KanbanNumber,i,j,k,l} + 0,99 \right]_{INT} \cdot q_i \quad (73)$$

$$i = 1,2,\ldots N_{Part}$$

$$j = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,..., N_{Product}$$

$$l = 1,2,..., N_{Job,j,k}$$

EK esetén a kiadott mennyiség és a visszavételezési mennyiség ugyanúgy alakul.
AK esetén a gyártási széria végének közeledtével a várható felhasználás csökkenéséről, illetve megszűnéséről jelzés érkezik, így kanban elvétel történik. Az $N_{KanbanNumber,i,j,k,l}$ értéke ennek megfelelően változik.

7.2 A MODELL MÓDOSULÁSA KÜLÖNBÖZŐ TERMELÉS VEZÉRLÉS TÍPUSOK ESETÉN

A különböző kiszolgálási vezérlési típusok alkalmazása leginkább az alábbi tényezőket érinti:

- WIP szint
- Átfutási idő
- Kapacitáskihasználás (Hatékonyság)
- Szűk keresztmetszet kapacitáskihasználása
- Agilitás (Rendszer kapacitás)
- Vezérlési ráfordítások
- Termék diverzifikáció
- Késések

Az egyes vezérlési rendszerek előnyeit, hátrányait a

8. Táblázat szemlélteti. Az adott vezérléstípus paraméterre, rendszer- illetve folyamatjellemzőre gyakorolt hatását a vizsgált 7 vezérléstípus rangsorolásával szemléltetem (1-es a legkedvezőbb) [74] (8. Táblázat).

VEZÉR-LÉS TÍPUSA	PARAMÉTEREKRE GYAKOROLT HATÁS / TÁMOGATÁS						
	Átfutási idő	Kapacitás-kihasználás	A szűk keresztmetszet kapacitás-kihasználása	Agilitás	Vezérlési ráfordítások	Termék diverzifikáció	Késés
MRP	6	1	2	2	5	2	2
Toyota-K	3	4	4	5	3	4	3
EK	2	4	4	5	3	3	3
AAK	2	4	4	5	4	4	3
CONWIP	4	3	3	5	2	4	3
DBR	5	2	1	4	7	4	3
POLCA	1	4	4	1	1	1	1

8. Táblázat: Termelésvezérlési rendszerek (saját szerk.)

Az átfutási idő közvetlen befolyással van a WIP szintjére (64). Az MRP az adott megmunkálási fázist úgy indítja, hogy a következő megmunkálási lépcső kapacitásáról, illetve a gyártott félkésztermék szükségességéről nincs információja. A gyártási feladatokat a MPS alapján végzik, amely tartalékidőket is tartalmaz. Mindezek miatt a rendszer csak magas WIP szint mellett tud stabilan működni. A kanban elsődleges előnye, hogy a WIP limitálva van, ennek szabályozását a kanban mennyiség és a kanban szám beállításával végzik.

A POLCA önmagában nem eredményezi az átfutási idők csökkenését, csupán a magas diverzifikáltság kezelését könnyíti meg. A POLCA alkalmazásakor feltételezem a QRM szemlélet meglétét, ami a 2.1.5-es fejezetben részletezettek szerint nem a kapacitások magas kihasználtságát helyezi előtérbe, hanem az átfutási idő csökkentését priorizálja. A QRM belátja, hogy a flexibilitás, a rövid lead time elérésének érdekében a szűk keresztmetszeti és egyéb magas kihasználtsággal működő kapacitásokat bővíteni kell, ami egyrészről természetesen a gépek fix költségeinek emelkedését eredményezi. Másrészről, viszont több a gyártásallokációs lehetőség, a rövidebb átfutási idő kisebb WIP-et eredményez és megszűnnek a gép blokkoltság miatti várakozások.

[74] Természetesen a rangsor nem minden termelési körülmények között helytálló. Cellaszerű, diverzifikált nagysorozatú termelést feltételezve, az összehasonlító kutatások (pl.: [89], [118]) és tapasztalati eredmények alapján lett felállítva.

Az egyes vezérlés típusok rendszerkimenetre gyakorolt hatásainak összehasonlításával számos kutatás foglalkozik (többek között: [21],[39],[59],[74],[80],[85],[89],[121]). A továbbiakban bemutatott kvantitatív összehasonlító számokat ezekre a kutatásokra alapozom. A tényleges átfutási idő a vezérlés típus, az igényszint, a termékdiverzifikáltság, és a szérianagyság függvénye (74).

$$\alpha_{Lead,k,l,m} = f(m, \alpha_{Demand}, \alpha_{Diversity}, N_{LotSize,j,k,l}) \qquad (74)$$

$$j = 1,2,...., N_{Machine}$$

$$k = 1,2,..., N_{Product}$$

$$l = 1,2,..., N_{Job,j,k}$$

$$m=1..7$$

Az m index értékei az alábbiakat jelenti:

- m=1: MRP
- m=2: Toyota vagy hagyományos kanban
- m=3: Elektronikus kanban
- m=4: Auto-adaptív kanban
- m=5: CONWIP
- m=6: DBR
- m=7: POLCA

Feltételezve egy kiterhelt, diverzifikált, kisszériás gyártást végző termelési rendszert a legrövidebb átfutási idő a POLCA vezérléssel érhető el ($\alpha_{Lead,m}$=1). A kanban különböző változatai is viszonylag rövid átfutási időt eredményeznek ($\alpha_{Lead,m} \approx 1,05-1,1$), az elektronikus kanban felgyorsítja a jeltovábbítást, emiatt az átfutási idő is csökken. A CONWIP esetenként lassabb átfutási időt jelenthet, a cellákon belüli várakozási idők miatt ($\alpha_{Lead,m} \approx 1,1-1,2$). A DBR átfutási idejét a szűk keresztmetszet és a puffer méretezése határozza meg ($\alpha_{Lead,m} \approx 1,05-1,2$). Az MRP az ütemezett műveletek közti várakozások miatt a leglassabb átfutási időt produkálja ($\alpha_{Lead,m} \approx 1,2-1,5$). A fenti számok természetesen termelési rendszer sajátosságoktól és operatív irányítási döntésektől függően jelentősen változhatnak.

A gyártóegységek kapacitáskihasználását gyakorta rontja a szűk keresztmetszet elégtelensége, vagy alapanyaghiány. A rendszer kapacitáskihasználása a gyártóegységek technológiai

súlyozással számolt átlagos kihasználtságát jelenti. Az MRP rendszerekben lehetőség van az ütemezést optimáló algoritmusok segítségével megtervezni, így a legmagasabb kapacitáskihasználás ez által érhető el. A magasabb WIP szint sokszor a magasabb lokális kapacitáskihasználást jelenti. Az alacsony pufferkészlet az anyaghiány miatti gépleállás veszélyét hordázzák magukban. A kapacitáskihasználás ily módon elsősorban a modell (62)-es összefüggésében szereplő a várakozási időkre van hatással (75).

$$T_{Wait,j,k,l}=f(m) \tag{75}$$

A szűk keresztmetszet kapacitáskihasználása tulajdonképpen a rendszer kibocsátásra, így a bevételi oldal alakulására van közvetlen hatással. A szűk keresztmetszet maximális kihasználtságát a DBR támogatja, de hasonló eredményeket az MRP finomításával, a pufferek méretezésével és a takt idők figyelésével is el lehet érni, igaz nagyobb ráfordítással.
Az agilitást (gyors reagálási faktort) a vevői megrendelésre adott válasz gyorsaságától, és a diverzifikáltság mértékétől teszem függővé (76).

$$\alpha_{QRF,k,o}=\alpha_{Diversity}\cdot\left(\frac{T_{Lead,j,k,l}}{T_{Lead,j,k,l}^{*}}\right)_{AVG} \tag{76}$$

A diverzifikáltsági tényezőt az alábbiak szerint kalkulálhatjuk (77):

$$\alpha_{Diversity}=\frac{\sum_{j=1}^{N_{Machine}}\sum_{k=1}^{N_{Product}}N_{Job,j,k}}{N_{Machine}} \tag{77}$$

A termék diverzifikáció folyamatos növekedése megnehezíti a hagyományos vezérlési eljárások alkalmazását. Például a kanban kártyák manuális kezelése nehézkessé, időigényessé válik, és a hibázási lehetőség is megnő (kanban kártyák összekeverése, stb.). Ez részben kiküszöbölhető elektronikus támogatottság növelésével, ám az operatív döntéseket (pl.: szükségszerű átállások) továbbra is ember végzi. A diverzifikáció nehezíti a költségcsökkentés és a gyors reagálás megvalósítását.
Másik fontos kérdés, hogy az adott vezérlés implementáció és üzemeltetés mekkora ráfordítást igényel tervezési és menedzsment oldalról. Ilyen szempontból az MRP igényel legnagyobb ráfordítást, illetve informatikai támogatottságot. Az engedélyező szignálok operatív, könnyen kezelhető információként közvetítése is kihívások elé állíthatja az üzemeltetőt.

A hagyományos kanban kiépítése alacsony diverzifikáltság és ritkán változó BOM-ok mellett viszonylag kevés tervezési ráfordítást igényel. Az elektronikus illetve az adaptív kanban, a CONWIP és a DBR implementálása és üzemeltetése jelentős informatikai szakértelmet, ráfordítást kíván.

A POLCA a dolgozói szemléletkialakítást követően viszonylag alacsony ráfordításokkal kezelhető, az elektronikus változatának üzemeltetése a hagyományos termelésvezérlési informatikai szaktudástól eltérőt igényel.

A késések kulcsteljesítmény mutatóként (KPI[75]) is szolgálnak, többféleképpen is mérhető, illetve optimalizálás célfüggénye is lehet:

- Késések száma
- Késések átlaga
- Leghosszabb késés

A POLCA a QRM eszközeként produkálja a minimális késés elérését, míg sokszor a kanban rendszerek tisztán húzó stratégiája viszonylag jelentős késést eredményez.

[75] KPI = Key Performance Indicator

8 TERMELÉSKISZOLGÁLÁSI RENDSZEREK INFORMATIKAI FEJLESZTÉSÉNEK MEGTÉRÜLÉSE

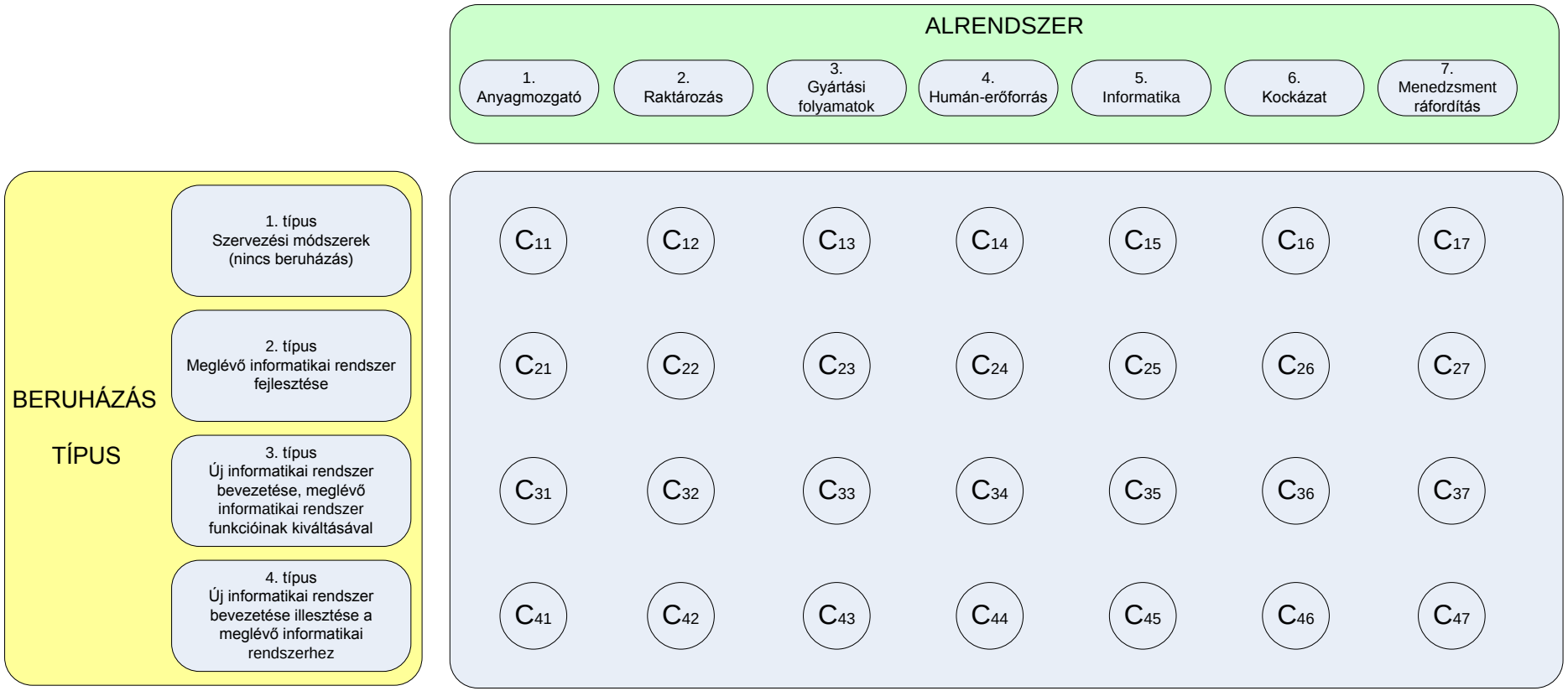
A korábbiakban nem vontam be a modellbe a beruházási költségtételek, megtérülési időhorizontok vizsgálatát, megvalósítási alternatívák kiértékelését, elkerülendő a modell kezelhetetlen szintre való bonyolítását. Emiatt a disszertációm utolsó részében egy beruházási alternatívák kiértékelését megcélzó költségfüggvényt mutatok be, mely a korábbi modellekhez illeszthető.

A termeléskiszolgálási rendszer fejlesztése gyakran jelentős hardver és informatikai rendszerfejlesztés által tud csak megvalósulni. A vállalatokra jelenleg jellemző rövid időhorizontú, profit-orientált légkör ellehetetleníti olyan beruházások létrejöttét, melyek csupán az üzembiztonság növelését, illetve egyéb kockázatok csökkentését irányozzák meg és megtérülésük nem bizonyított adott tervezési horizonton. A termelés kiszolgálási rendszerek fejlesztését viszont gyakran a WIP és az átfutási idő csökkentésén túlmenően a készleteltérések csökkentése, vagy az alapanyag tévesztési kockázatok kiküszöbölése motiválja. Emiatt célszerű olyan költségmodell megalkotása, mely hasonló beruházások során elért számszerűsíthető és nem számszerűsíthető eredményeket összehasonlítja a beruházás értékével. Ilyen modell megkönnyíti a vállalati döntéshozók helyzetét, a döntést alátámasztja. Jelen fejezetben egy olyan költség-modellt mutatok be, amely minden releváns szempontot figyelembe véve használható bármilyen termeléskiszolgálási rendszer fejlesztési koncepció megvalósításának megtérülés analízisére. A modell kidolgozásához első körben alrendszer illetve beruházás típusú szempontrendszert alakítottam ki.

Az egyes alrendszerek definiálásakor tulajdonképpen költségszinteket határoztam meg. Egyértelmű, hogy az alrendszerek költségszintjeinek összege adja a teljes költséget. Optimalizálás során olyan alrendszer konfiguráció kijelölése a cél, amely mellett minimális a költségszint. Természetesen a költségszinteket meghatározásához ki kell jelölni a tervezési horizontot, azaz, hogy adott alrendszer beruházási költségeket mekkora időszakra vetítsük.

Költségszintet határozhatunk meg különböző beruházás típusokhoz és alrendszerekhez (27. ábra). Fontos kiemelnem, hogy informatikai beruházás alatt nem elsősorban a szoftvertermékekre gondolok, hanem minden információt közvetítő rendszerelemre, legyen az szoftver, vezérlő kártya, kézi adatgyűjtő terminál, stb.

10.15477/SZE.MMTDI.2013.005



27. ábra: Költségszintek meghatározása különböző alrendszerekre és beruházás típusokra vonatkoztatva (saját szerk.)

Az anyagáramlás vezérlés fejlesztését kísérő logisztikai információs rendszer fejlesztési koncepció megvalósítása alapvetően az alábbi 4 beruházás típussal lehetséges:

1. típus: Esetenként előfordul, hogy komolyabb beruházás nélkül, csupán szervezési módszerekkel sikerül megvalósítani.
2. típus: Amennyiben kellő rugalmassággal alakítható a meglévő rendszer, érdemes a megvalósításhoz szükséges fejlesztéseket ebben elvégezni
3. típus: Lehetőség van a meglévő informatikai rendszer kicserélésére; amennyiben létezik olyan rendszer, amely maradéktalanul képes ellátni mind a meglévő, mind a fejlesztés célját képező funkciókat.
4. típus: Lehetőség van a meglévő informatikai rendszerrel együttműködő rendszer fejlesztésére; amennyiben az illesztett rendszer jól tud kommunikálni a meglévő rendszerrel és az új funkciókat megfelelően támogatja

Az egyes alrendszerek és az alrendszerek különböző beruházás típusokhoz rendelt költségek alakulása az alábbiakban kerül ismertetésre.

8.1 ANYAGMOZGATÓ ALRENDSZER

1. beruházás típus:

A szervezés jelentős hatással bír az anyagmozgató rendszer egyes elemeinek kihasználtságára, illetve az anyagmozgató gépekkel végzendő feladatok időigényére. Ilyen időigény növekményt okoz például a megnövekedett inverz anyagáramlás miatti többletfeladat.

A költségszint változása az anyagmozgató alrendszer eszközparkjának bővítésével járhat, ugyanakkor olyan eset is előfordulhat, hogy feleslegessé válnak eszközök az ésszerűbb folyamatszervezés miatt, ekkor költségcsökkenésről beszélhetünk.

2., 3., 4. beruházás típus:

Informatikai rendszerfejlesztéssel az anyagmozgató alrendszer gazdaságosabb működtetése elérhető, ugyanakkor speciális esetben a megnövekedett adatrögzítési igény miatt egyes részfolyamatok lassulhatnak. Kijelenthető, hogy az információk pontosabb és azonnali rendelkezésre állásával az anyagmozgató rendszer kihasználtsága nagyban javítható.

Az informatikai rendszermegoldás (hogy a 2. 3. vagy 4. típust választjuk) nem befolyásolják különösebben az anyagmozgató rendszer költségszintjét.

Anyagmozgató rendszer költségeit a rendszerelemek számától függő változó költség és teljesítendő feladatok mennyiségétől függő változó költség teszi ki (78), alakulását a 28. ábra mutatja.

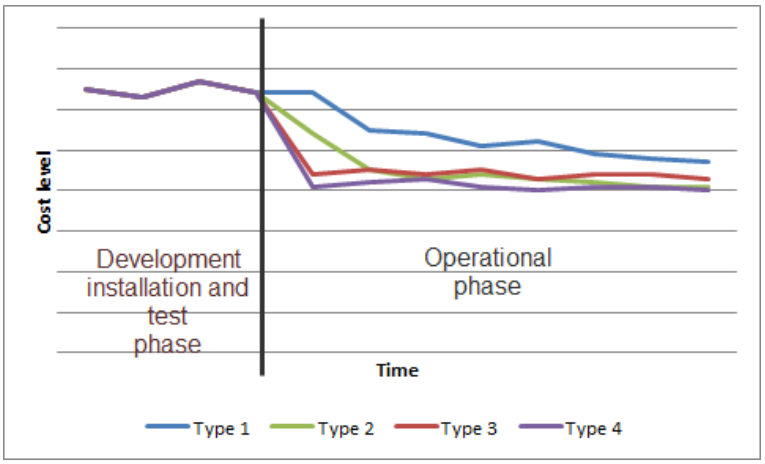
$$C_{i1} = N \cdot \left(c_{i1}^{a} + c_{i1}^{b}\right) + t_p \cdot c_{i1}^{d} \qquad (78)$$

Ahol:

- C_{i1}: anyagmozgató alrendszer költségszintje
- N: anyagmozgató eszközök száma
- c_{i1}^{a}: anyagmozgató eszközök átlagos értéke: meglévő eszköz esetén maradványérték, újonnan beszerzendő eszköz esetén beszerzési érték
- c_{i1}^{b}: anyagmozgató eszközök átlagos karbantartási költsége
- t_p: anyagmozgatási feladatok időigénye
- c_{i1}^{d}: anyagmozgatási feladat elvégzéséhez szükséges fajlagos költség

A beruházási és karbantartási költségeket adott időszakra vonatkoztatjuk.

A beruházási típustól függő anyagmozgatási költség alakulását az alábbi ábra szemlélteti. Az adatok valós vállalati beruházási projekt tervezés eredményei. Az adatokat ipari elemzésekre



28. ábra: Anyagmozgatási költségek alakulása (saját szerk.)

8.2 RAKTÁROZÁS

1. beruházás típus:

Sokszor a vezérlési mechanizmus megváltozása a gyártótéri és raktári tároló rendszerre is hatással van. Szervezési módszerekkel új állványzatok beszerzése, áthelyezése, tárolóterület létesítése válhat szükségessé.

2., 3., 4. beruházás típus:

A szervezési funkciókat támogató raktározási rendszerfejlesztés ezekben a 2., 3., 4. beruházás típusnál elhanyagolható. Ugyanakkor a vezérlési mechanizmus informatikai beruházás típustól független fejlesztési (pl.: kanban szupermarketek) költségeivel kalkulálni kell.

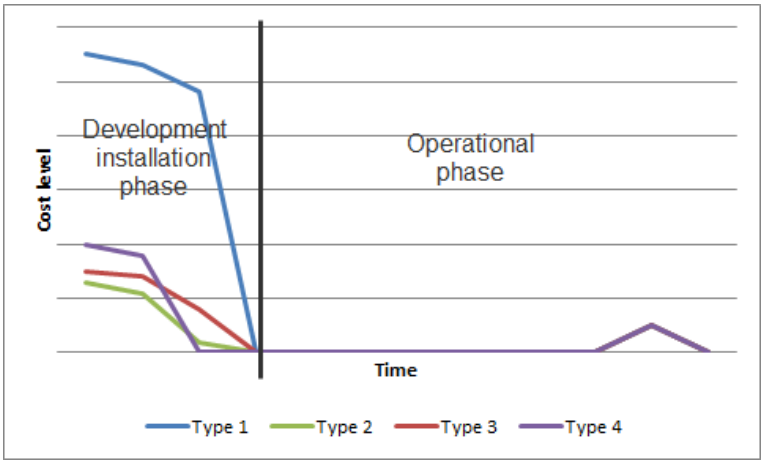
Az egyes változatok költségszintje az alábbi módon kalkulálható, alakulását a 29. ábra mutatja.

$$C_{i2} = R \cdot \left(c_{i2}^{a} + c_{i2}^{b}\right) \qquad (79)$$

Ahol:

- C_{i2}: raktározási alrendszer költségszintje
- R: raktározási hardver elemek darabszáma (állványok száma)
- c_{i2}^{a}: raktározási rendszer hardver elemeinek átlagos értéke: meglévő eszköz esetén maradványérték, újonnan beszerzendő eszköz esetén beszerzési érték
- c_{i2}^{b}: raktározási hardver elemek átlagos karbantartási költsége

A beruházási és karbantartási költségeket adott időszakra vonatkoztatjuk, a költségek alakulását a 29. ábra mutatja.



29. ábra: Raktározási technológiai beruházások (saját szerk.)

8.3 GYÁRTÁSI FOLYAMATOK

1. beruházás típus:

A „kaotikus” gyártási rendszer letisztázása, gyártási utasítások egyértelművé tétele, a folyamatok ésszerűbbé tétele költségekkel jár. Ugyanakkor a termelés üzemeltetés költségszintje feltételezhetően csökken, amennyiben valós ésszerűsítést érünk el a technológia és az üzemi anyagáramlások átszervezésével.

2., 3., 4. beruházás típus:

A célirányos rendszer fejlesztések során általában járulékos előny, hogy a fejlesztett rendszer által a termelés egyéb informatikai támogatást is kap. Ezáltal növelhető a termelékenység, gyorsabban áramlanak információk (átállások, átszerelések, készrejelentés, stb.). A termelési készletekről aktuális információ áll rendelkezésre, termelési alapadatok rögzülnek a keletkezésük helyén és időpontjában. Mindezek segítségével pontosabb normaadatok alapján történhet a gyártástervezés.

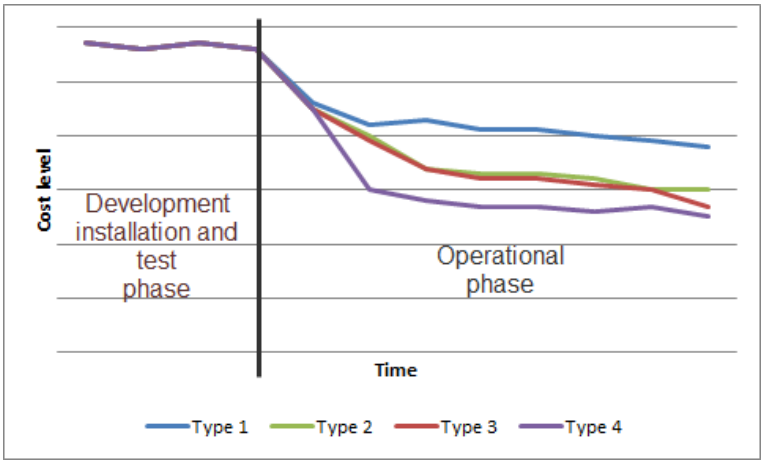
A termelés különböző beruházás típusok megvalósítása esetén, más-más költségszinten tud üzemelni (80), alakulását a 30. ábra mutatja.

$$C_{i3} = c_{i3}^{a} + c_{i3}^{b} + c_{i3}^{d} - p_{i3} \qquad (80)$$

Ahol:

- C_{i3}: termelési alrendszer költségszintje
- c_{i3}^{a}: termelési alrendszer beruházási költsége
- c_{i3}^{b}: termelési alrendszer karbantartási költsége
- c_{i3}^{d}: termelési alrendszer üzemeltetési költsége
- p_{i3}: termelési alrendszer adott beruházás típus esetén elért termelékenység növekedéséből adódó nyeresége

A beruházási, karbantartási és üzemeltetési költségeket adott időszakra vonatkoztatjuk.



30. ábra: Gyártási folyamatok beruházás típus függő költség alakulása (saját szerk.)

8.4 HUMÁN-ERŐFORRÁS

1. beruházás típus:

A humán-erőforrás alrendszer összetétele és költségszintje ennél a beruházás típusnál hasonló szempontok szerint alakul, mint az anyagmozgató alrendszer esetében.

2., 3., 4. beruházás típus:

Amennyiben a jelenlegi informatikai rendszer nem ad támogatást a termelés és raktár dolgozói számára, viszont a vezérlési rendszer működtetése során olyan informatikai funkciók kerülnek lefejlesztésre, melyek ezt a támogatást megadják, a humán-erőforrás kihasználás jelentős mértékben javul. Viszont azzal is számolni kell, hogy bizonyos adatrögzítési folyamatelemek időráfordítást igényelnek. Többletmunka az extra anyagmozgatási műveletek miatt – pl.: kanban kártya kezelés - itt is előfordulhat. Az informatikai és adatrögzítési folyamatok betanítása is időráfordítással jár.

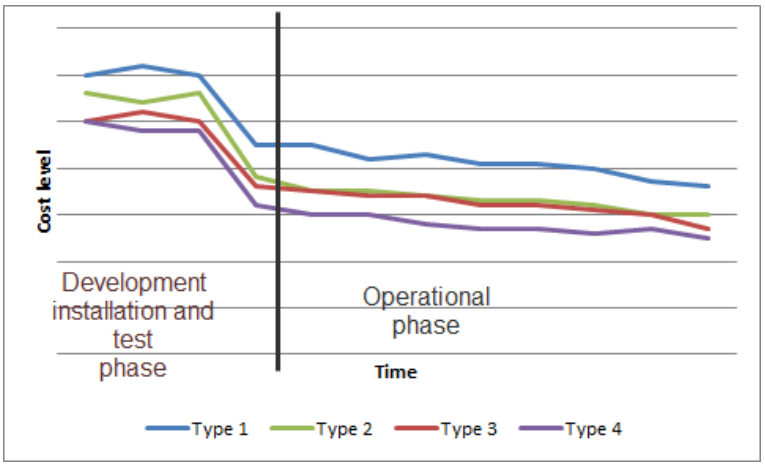
Ugyanakkor a controlling időráfordítás csökken, mivel a készletmonitoring automatizált. Papír alapú adminisztrációra és ebből eredő többlet hibák kijavítására fordított idők csökkennek. A fejlesztésekhez saját erőforrásokat is be kell vonni, bármennyire is próbálja a cég külső céggel elvégeztetni.

Az egyes beruházás típusok költségszintjét a (81)-es egyenlet, alakulását a 31. ábra mutatja:

$$C_{i4} = \sum_{k=1}^{5} H_k \cdot c_k \cdot t_{k,14} \qquad (81)$$

Ahol:

- C_{i4}: humán-erőforrás alrendszer költségszintje
- H_k: dolgozói csoport létszáma (k=1 raktári dolgozók, k=2 termelési operátorok, k=3 adminisztráció, k=4 kontrolling, k=5 fejlesztést támogató feladatok)
- c_k: adott dolgozói csoport fajlagos bére
- $t_{k,14}$: adott dolgozói csoport időráfordítása adott időszakra vetítve



31. ábra: Humán erőforrás költségek beruházás típus függő alakulás (saját szerk.)

8.5 INFORMATIKA

1. beruházás típus:

Legkisebb informatikai rendszerfejlesztési, karbantartási és üzemeltetési költséggel járó beruházás típus. Mivel általában az informatikai rendszerfejlesztés rendkívül költséges, ezért ezen beruházás típus tűnik a legvonzóbbnak a költségvetés szempontjából. Kisebb bonyolultságú és fontosságú munkafolyamatok esetén átszervezés és papír alapú adminisztrációval megvalósítható kockázati szempontból is elfogadható vezérlési rendszer.

2. beruházás típus:

Gyakorta előfordul, hogy a meglévő rendszer fejlesztésével, vagy csupán eddig nem használt funkciók felparaméterezésével sikerül a kívánt vezérlési rendszert megvalósítani. Ebben az esetben a beruházási költség relatíve alacsony. Esetenként mindezt a vállalat saját fejlesztő/alkalmazásgazda szakemberével is képes megoldani.

3. beruházás típus:

Új informatikai rendszer bevezetése a meglévő helyett jelentős fejlesztői munkanapot, szoftver licensz költségeket, hardver beruházásokat jelent.

Amennyiben a meglévő rendszer egyes funkciói, moduljai nem az elvárásoknak megfelelően működnek, a rendszer korszerűtlen, és az új rendszer által szerezhető előnyök jelentősek, a beruházás megtérülése valószínűbb.

4. beruházás típus:

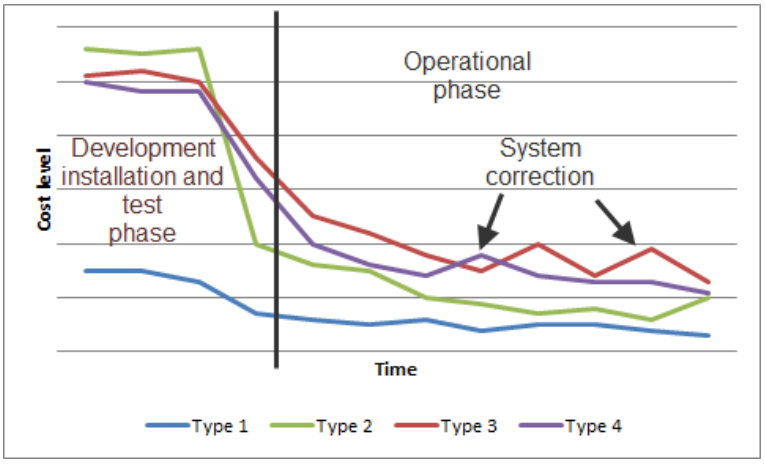
Amennyiben a meglévő rendszer az alap vállalatirányítási funkciókat (pénzügy, bér, stb.) megfelelően látja el, érdemes csak a termeléskiszolgálási funkciókat egy új fejlesztett rendszerrel kiváltani és illeszteni a meglévő rendszerhez. Hardver beszerzést és szoftverfejlesztést igényel.

A 2., 3., 4. típus esetében az azonosítási rendszer fejlesztése is megtörténik (vonalkódos/RFID mobil adatgyűjtő eszközök, lokációk, termékek, operátorok azonosítása, stb.), alakulását a 32. ábra mutatja.

$$C_{i5} = c_{i5}^{lic} + c_{i5}^{hw} + c_{i5}^{sw} \cdot t_p^{sw} + c_{i5}^{a} + c_{i5}^{b} \qquad (82)$$

Ahol:

- C_{i5}: informatika alrendszer költségszintje
- c_{i5}^{lic}: licenszek költsége adott időszakra vetítve
- c_{i5}^{hw}: hardver elemek beruházási költsége adott időszakra vetítve
- c_{i5}^{sw}: szoftverfejlesztés fajlagos költsége (pl.: mérnöknap)
- t_p^{sw}: szoftverfejlesztési feladatok időigénye
- c_{i5}^{a}: informatikai alrendszer karbantartási költsége
- c_{i5}^{b}: informatikai alrendszer üzemeltetési költsége



32. ábra: Informatikai költségek alakulás (saját szerk.)

8.6 KOCKÁZAT

Ez az alrendszer számszerűsíti a nehezen számszerűsíthető költségtényezőket. Jelen modellben kockázati költségként a vezérlési rendszerrel kapcsolatos esetlegesen felmerülő költségeket és azok valószínűségét vesszük figyelembe.

1. beruházás típus:

Nagyobb a kockázat, hogy a menedzsment elhivatottságának csökkenésével, az átszervezett és előírt folyamatok betartásának ellenőrzése enyhül.

2., 3., 4. beruházás típus:

Számtalan példa van arra, hogy a fejlesztés megvalósulása nem váltja be a vevő reményeit: lassulnak az operatív folyamatok, bonyolódik az ügyvitel, rosszul lefejlesztett funkciók károkat okoznak, stb. Ezeknek az elhárítási költségeinek becslése ritkán megvalósítható, a hibák elhárításának ideje jobban (fejlesztő cég vállalt reakcióideje az adott súlyosságú problémákra). A leállások fajlagos költsége szintén kalkulálható controlling módszerekkel.

Alacsony menedzsment elhivatottság és rosszul vezetett projekt esetén fennáll a kockázata annak, hogy a beruházás megvalósulása után újabb fejlesztésre – legrosszabb esetben új rendszer bevezetésére - van szükség. Az elhárítás költsége ekkor a meghiúsult fejlesztés vállalatra eső teljes költsége adott időszakra vetítve. A valószínűsége ERP bevezetésekről készített hazai és nemzetközi statisztikákból becsülhető.

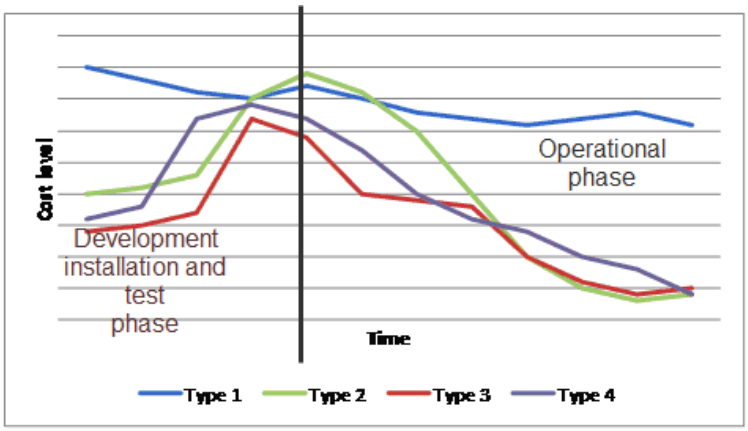
A kockázati költségeket a (83)-as egyenlet, alakulását a 33. ábra mutatja.

$$C_{i6} = A \cdot c_{i6}^{a} + B \cdot t_b \cdot c_{i6}^{b} \qquad (83)$$

Ahol:

- C_{i6}: kockázati alrendszer költségszintje
- A: sikertelen bevezetés valószínűsége
- c_{i6}^{a}: sikertelen bevezetés költsége adott időszakra vetítve
- B: üzemzavar bekövetkezésének valószínűsége
- t_b: elhárítás becsült ideje
- c_{i6}^{b}: üzemszünet miatti költségek

A kockázati költségek alakulását a 33. ábra mutatja.



33. ábra: Kockázati költségek alakulása (saját szerk.)

8.7 MENEDZSMENT RÁFORDÍTÁSOK

Egy rendszer bevezetésénél bármelyik beruházás típusról is van szó, a menedzsment számára a bevezetés mindenképp extra energia és idő ráfordítással jár. Ezek megbecslése az egyik legnehezebb feladat, ugyanakkor semmiképp sem elhanyagolható. A menedzsment gyakorta helyezi előtérbe a főtevékenység során előállított termékkel kapcsolatos üzleti operatív és stratégia folyamatokat.

Menedzsment ráfordítások alrendszer nem a humán-erőforrás alrendszer egyik eleme, mert nem csupán órabér alapú költségeket jelent, hanem nehezen számszerűsíthető energiaráfordítást is. Emiatt az órabér alapján számolt költségeket egy súlyszámmal is érdemes megszorozni.

1. beruházás típus:

Az 1. típusú beruházás esetén rendkívül magas kockázata van, hiszen állandó kontroll nélkül a dolgozók idővel átszervezhetik saját lokális optimális megoldásaik szerint a munkafolyamataikat. Ezáltal csorbulhat a vezérlés.

2., 3., 4.. beruházás típus:

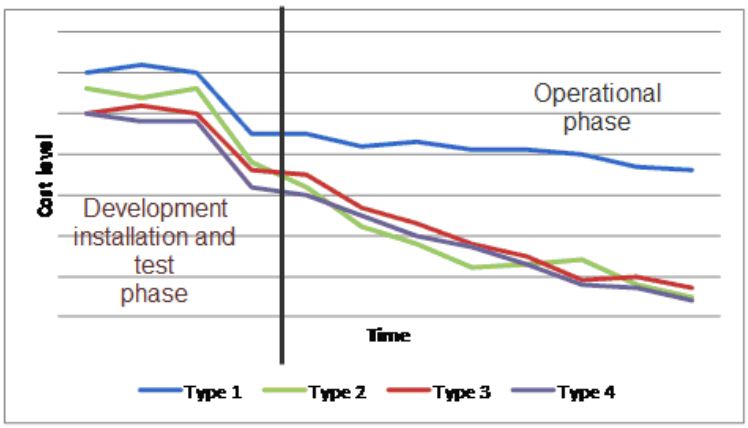
Informatikai fejlesztés esetén a menedzsment ráfordítások jelentősek a bevezetés fázisában, viszont az üzemeltetés során kevesebbet igényel. Állandó konzultáció történik a vállalati menedzsment és a fejlesztést végző cég között az előkészítés, fejlesztés, tesztelés, betanítás során.

A menedzsment költséget az alábbiak szerint kalkulálhatjuk, alakulását a 34. ábra mutatja.

$$C_{i7} = M \cdot t_m . c_{i7} \qquad (84)$$

Ahol:

- C_{i7}: menedzsment ráfordítások alrendszer költségszintje
- M: menedzsment elhivatottság faktor – szorzószám, mely a menedzsment elhivatottságával fordítottan arányos
- t_m: ráfordítások becsült időigénye
- c_{i7}: menedzsment ráfordítás fajlagos költsége



34. ábra: Menedzsment költségek alakulása (saját szerk.)

8.8 KÖLTSÉGEK SZÁMÍTÁSA

Az egyes beruházástípusok költségszintjét a következő képlet szerint kalkulálhatjuk:

$$Ci = \sum_{j=1}^{7} Cij \rightarrow MIN! \qquad (85)$$

Ahol:

- C_{ij} jelenti az egyes alrendszer egyes beruházás típus megvalósításakor

Behelyettesítve a (76) képletbe:

$$Ci = N \cdot \left(c_{i1}^{a} + c_{i1}^{b}\right) + t_p \cdot c_{i1}^{d} + R \cdot \left(c_{i2}^{a} + c_{i2}^{b}\right) + c_{i3}^{a} + c_{i3}^{b} + c_{i3}^{d} - p_{i3} + \sum_{k=1}^{5} H_k \cdot c_k \cdot t_{k,14} +$$
$$+ c_{i5}^{lic} + c_{i5}^{hw} + c_{i5}^{sw} \cdot t_p^{sw} + c_{i5}^{a} + c_{i5}^{b} + A \cdot c_{i6}^{a} + B \cdot t_b \cdot c_{i6}^{b} + M \cdot t_m . c_{i7} \qquad (86)$$

Értelemszerűen a minimális költségszinthez tartozó beruházás típust érdemes választani. A modell költséget rendel olyan tényezőkhöz is, mint például az üzembiztonság foka, így nincs

szükség a változatok további elemzésére, a költségminimumhoz tartozó változat a legkedvezőbb.

9 ÚJ KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE

A kutatásom eredményeit az alábbi 5 tézisben foglalhatom össze:

1. TÉZIS

A termeléslogisztikai folyamatok költségszintjét befolyásolja a csomagolási egység mennyisége / kanban konténer mennyisége. Meghatároztam a többgépes, többtermékes kanbankiszolgálású rendszer kiszolgálási és készlettartási költség szempontból optimális kanban mennyiségét, mely kanban mennyiség szerinti adagolását vagy a beszállító végzi, vagy a vállalat valósítja meg szét- illetve átcsomagolási művelet közbeiktatásával. Létrehoztam egy olyan költségfüggvényt, amely modellezi a kétopciós szétcsomagolási dilemmát, és döntési változótól függően kalkulálja a kiszolgálási költségeket, majd összegzi azokat rendszer szinten.

A kutatás során előtérbe helyeztem azt, hogy a modell gyakorlatban is könnyen alkalmazható legyen.

2. TÉZIS

A termeléskiszolgálási problémákkal foglalkozó kutatások fókusza elkerüli a kiszolgálási sajátosságok miatti fellépő inverz anyagmozgatási jelenségeket, holott ezek jelentős

Kiterjesztettem az 1-es tézisben szereplő költségmodellt az inverz anyagáramlás vizsgálatára.

Az egyes termelés és anyagáramlás vezérlési rendszerek költség illetve WIP csökkentés fókuszú megközelítései jellemzően nem veszik figyelembe az inverz logisztikai folyamatokat, a raktári visszakönyveléseket. Kidolgoztam egy modellt, mely az inverz folyamatokat is integrálja.

Meghatároztam a visszavételezési határszámot: ez azt a darabszámot jelenti, amely felett a visszavételezés megtérül. Egyéb esetben a visszavételezés helyett az alapanyag másodlagos felhasználása csökkenti a rendszer költségeit.

3. TÉZIS

A szakirodalomban fellelhető logisztikai rendszermodellek többnyire külön vizsgálják termelési és a termeléskiszolgálási folyamatokat. Célszerű olyan komplex modell felállítása, mely integrálja a két alrendszert. A kidolgozott modell többlépcsős, többgépes, diverzifikált

integrált termelési és kiszolgálási rendszert képez le, figyelembe veszi a cellák, gyártóegységek közötti WIP szinteket, számszerűsíti az átfutási idő okozta előnyöket/hátrányokat, vizsgálja a kapacitáskihasználás adatokat.

4. TÉZIS

A termelési és termeléskiszolgálási rendszerek vezérlésére számos módszer, alternatíva létezik. A termelési és anyagáramlás vezérlési mechanizmusok (PMFC) befolyással vannak a az olyan folyamatparaméterekre, mint pl.: a WIP szintje, gyártósori alapanyagkészletszint, visszavételezési feladatok aránya, átfutási idő, gépek kapacitáskihasználása. Ilyen tényező még a pufferek alkalmazásának szükségszerűsége. A WIP szint emelkedése nem csupán egy lineáris készlettartási költséget jelent, hanem extra anyagmozgatást is eredményezhet, készletezési irányelvet sérthet, nyomonkövetési kockázatokat emel, növeli az utómunka költségeket, a késleltetett hibaészlelés miatt.
Az általam kidolgozott modell számszerűsíti a fent említett jelentős költségtételeket, segítik a legelőnyösebb vezérlési mód kiválasztását.

5. TÉZIS

A különböző vezérlési mechanizmusok különböző beruházási igényt vonnak maguk után. Meghatároztam a vezérlési mechanizmusok informatikai implementációjának 4 alapesetét, mely alapesetek választása más-más módon alakítja az anyagmozgatási, raktározási, gyártási, HR, informatikai, kockázati és menedzsment költségeit. Kialakítottam egy általános döntés előkészítő, megtérülési modellt.

10 TOVÁBBI KUTATÁSI CÉLOK KIJELÖLÉSE

A további kutatásaim során különböző iparági és termékjelleg függő termelési alaptípusok összehasonlítását tervezem a modell felhasználásával. A vezérlési mechanizmusok hatékonyságára hatással van a gyártási technológia robosztussága. Fontos lenne figyelembe venni a termékek méret tulajdonságát, mely fontos szempont a például a pufferek létrehozásának lehetőségét tekintve. Például a gyakorlatban is tapasztalható, hogy a terjedelmes méretű termékek inverz anyagáramlásának mértéke jelentősen nagyobb, mint a kisebb termékeké. Ez annak tudható be, hogy a gyártótéren lévő terjedelmes termékek jobban akadályozzák a termelési folyamatokat, minimális gyártásközi puffer halmozható fel a termékek félkésztermék raktárba való tárolása nélkül.

A modelleket felhasználva, különböző szcenárióknak megfelelő célfüggvények szerinti optimalizálást tervezek végrehajtani. Az optimalizálást sokparaméteres, bonyolult matematikai modelleken kell elvégezni, emiatt célszerű lehet korszerű eljárások alkalmazása az optimalizálás során (pl.: evolúciós algoritmusok).

A modellparaméterek sztochasztikus, bizonytalan jellegét a jelenlegi modellek elhanyagolják, ezáltal torzult rendszer reprezentációt eredményezve. Emiatt sztochasztikus modellek kidolgozását is kitűztem jövőbeni kutatásaim céljául. A bizonytalanság modellben való megjelenítésére megoldás kehet a paraméterek fuzzy számként való leképezése is.

11 IRODALOMJEGYZÉK

[1] Akkermans, H.A. – Bogerd, P. – Yücesan, E. - van Wassenhove, L. N. : The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study, European Journal of Operational Research 146 (2003) 284–301

[2] Al-Tahat, M. D.; Mukattash, A. M.: Design and analysis of production control scheme for Kanban-based JIT environment, Journal of the Franklin Institute 343 (2006) 521–531

[3] Abbot, H. 1991. Managing product recall: A comprehensive guide to establishing a product recall plan. Pitman, London,

[4] Akkermans, H.A. – Bogerd, P. – Yücesan, E. - van Wassenhove, L. N. : The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study, European Journal of Operational Research 146 (2003) 284–301

[5] Arbós, L.C.: Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance, Int. J. Production Economics 80 (2002) 169–183

[6] Askin, R. G.; Krishnan, S.: Defining Inventory Control Points in Multiproduct, Stochastic Pull Systems, International Journal of Production Economics (2009)

[7] Bajor, P.; Hencz, Cs. I.; Nagy, Z. A.; Németh P.; Tápler Cs.: Ellátási lánc menedzsment, Universitas Győr Nonprofit Kft., 2009

[8] Benkő J.: Kanban-rendszerű gyártás modellezése szimulációval, Magyar Minőség Társaság Lektronikus Kiadványa, 2010

[9] Benton, W.C. – Shin, H.: Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration, European Journal of Operational Research 110 (1998) 411~140

[10] Berman, B. 1999. Planning for the inevitable product recall, Business Horizons 42(2): 69-78.

[11] Beulens, A. J. M.; Broens, D. F.; Folstar, P.; Hofstede, G. J. 2005. Food safety and transparency in food chains and networks, Food Control 16(6): 481-486.

[12] Botta-Genoulaz, V. - Millet, P. A.: An investigation into the use of ERP systems in the service sector, Int. J. Production Economics 99 (2006) 202–221

[13] Bruun, P. – Mefford, R. N.: Lean production and the Internet, Int. J. Production Economics 89 (2004) 247–260

[14] Chaudhury, A.,Whinston,A.B.,1990.Towardsanadaptive kanban system. International Journal of Production Research 28 (3), pp: 437–458.

[15] Chan, F.T.S.: Effect of kanban size on just-in-time manufacturing systems, Journal of Materials Processing Technology 116 (2001)

[16] Cheng, M.J.; Simmons, J.E.L. 1994. Traceability in Manufacturing Systems, International Journal of Operations & Production Management 14(10): 4-16.

[17] Chiu, S. W.; Chia-Kuan Ting, Yuan-Shyi Peter Chiu: Optimal production lot sizing with rework, scrap rate, and service level constraint, Mathematical and Computer Modelling 46 (2007) 535–549

[18] Co, H. C; Sharafali, M.: Overplanning factor in Toyota's formula for computing the number of kanban, IIE Trans, 29 (5) (1997) 409-415

[19] Dean, J.W. Jr., Snell, S.A., 1991. Integrated manufacturing and job design: Moderating Effects of Organizational Inertia, The Academy of Management Journal, Vol. 34, No. 4 (Dec., 1991), pp. 776-804

[20] Dennis, D. R.; Meredith, J. R. 2000. An analysis of process industry production and inventory management systems, Journal of Operations Management 18(6): 683–699.

[21] Devise, O. – Pierreval, H.: Indicators for measuring performances of morphology and material handling systems in Flexible manufacturing systems, Int. J. Production Economics 64 (2000) 209}218

[22] Di Mascolo, M., Frein, Y., and Dallery, Y., 1996, "An Analytical Method for Performance Evaluation of Kanban Controlled Production Systems", Operations Research, 44(1), 50-64.

[23] Donner, R.; Scholz-Reiter B.; Hinrichs, U.: Nonlinear characterization of the performance of production and logistics networks, Journal of Manufacturing Systems, 2009

[24] Duenyas, I. – Hopp, W. J. – Spearman, M. L.: Characterizing the output process of a CONWIP line with deterministic processing and random outages, Management Science, Vol 39, No. 8., pp: 975-988, 1993

[25] Fernandes, N. O. - Carmo-Silva, S.: Generic POLCA - A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing, Int. J. Production Economics 104 (2006) 74–84

[26] Fleischmann, B. – Meyr, H.: Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning Systems, A.G. de Kok and S.C. Graves, Eds., Handbooks in OR & MS, Vol. 11

[27] Forza, C.- Salvador, F.: Managing for variety in the order acquisition and fulfillment process: The contribution of product configuration systems, Int. J. Production Economics 76 (2002) 87–98

[28] Gaalman, G.J.C., Perona, M., 2002, Workload control in job shops, Production planning and control, 565-567.

[29] Ghiassi, M. - Spera, C.: Defining the Internet-based supply chain system for mass customized markets, Computers & Industrial Engineering 45 (2003) 17–41

[30] Gnoni, M.G. - Iavagnilio, R. - Mossa, G. - Mummolo, G. - Di Leva, A.: Production planning of a multi-sitemanufacturing system by hybrid modelling: A case study from the automotive industry, Int. J. Production Economics 85 (2003) 251–262

[31] Goldratt, E. M. – Cox, J.: The Goal: A process of ongoing inprovement, North River Press, Croton-on-Hudon, New York, 1984

[32] Gou, Q. - Liang, L., Huang, Z. – Xu, C.: A joint inventory model for an open-loop reverse supply chain, Int. Journal of Production Economics 116 (2008) 28–42

[33] Graves, R. - Konopka, J. M. - Milne, R. J.: Literature review of material flow control mechanisms, Production Planning and Control 6(5), 395–403, 1995

[34] Grubbström, R.W.: Modelling production opportunities- an historical overview, Int. J. Production Economics 41 (1995) 1-14

[35] Gunasekaran, A. - Ngai, E. W.T.: Modeling and analysis of build-to-order supply chains, European Journal of Operational Research 195 (2009) 319–334

[36] Gunasekaran, A. - Ngai, E.W.T.: Build-to-order supply chain management: a literature review and framework for development, Journal of Operations Management 23 (2005) 423–451

[37] Gupta, S. M. – Kohli, A.: Enterprise resource planning systems and its implications for operations function, Technovation 26 (2006) 687–696

[38] Gupta, S. M. – Al-Turki, Y. A. Y.: An algorithm to dynamically adjust the number of kanbans in stochastic processing times and variable demand environment, Production Planning and Control 8 (2), pp: 133-141, 1997

[39] Hall, R. W.: Comparison of strategies for routing shipments through transportation terminals, Transportation Research Department, General Motors Research Laboratories, Warren (2002)

[40] Hao, Q. ; Shen, W.: Implementing a hybrid simulation model for a Kanban-based material handling system, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 24 (2008) 635–646

[41] Harris, F.W.: How Many Parts To Make At Once, Factory, The Magazine of Management, 10(2), 135-136, 152 (1913).

[42] Hartványi, T.; Tápler, Cs.: Cooperation between economically independent companies that form a business concern Acta Technikca Jaurinensis Series Logistica, Győr, 2008

[43] He, X. F.; Wu, S.; Li, Q. L.: Production variability of production lines, International Journal of Production Economics 107 (2007) 78–87

[44] Helo, P.T. – Xu, Q.L. - Kyllönen, S.J. - Jiao, R.J.: Integrated Vehicle Configuration System - Connecting the domains of mass customization, Computers in Industry 61 (2010) 44–52

[45] Hirkó, B.; Nagy, Z. A.; Tápler, Cs.: Method for Calculating Warehousing Costs Based on Simulation Results, Acta Technikca Jaurinensis Series Logistica, Győr, 2009

[46] Hopp, W. J. – Roof, M. L.: Setting WIP levels with statistical throughput control STC, in CONWIP production lines, International Journal of Production research, 36 (4), pp: 867-882, 1997

[47] Hou; J. L., Wu; N.; Wu, Y. J.: A job assignment model for conveyor-aided picking system, Computers & Industrial Engineering, 2008

[48] Huang, C. C.; Kusiak, A.: Overview of kanban systems, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 9 (10) (1996) 169-189

[49] Hwang, H. S.; Cho; G. S.: A performance evaluation model for order picking warehouse design, Computers & Industrial Engineering 51 (2006) 335–342

[50] Izumi, M., - Takahashi, K., 1993. Concurrent ordering in JIT production system. In: Proceedings of the 2nd China–Japan International Symposium on Industrial Management, Beijing. pp. 51–56.

[51] Jansen-Vullers, M.H.; van Dorp, C.A.; Beulens, A.J.M. 2003. Managing traceability information in manufacture, International Journal of Information Management Vol 23(5):395–413.

[52] Jiao, J.R. – Helander, M.G.: Development of an electronic configure-to-order platform for customized product development, Computers in Industry 57 (2006) 231–244

[53] Johansen, K. – Comstock, M.C. - Winroth, M.: Coordination in collaborative manufacturing mega-networks: A case study, J. Eng. Technol. Manage. 22 (2005) 226–244

[54] Junior, M., L.; Filho, M. G.: Variations of the kanban system: Literature review and classification, International Journal of Production Economics 125 (2010) 13–21

[55] Ketikidis, P.H.; Koh, S.C.L.; Dimitriadis, N.; Gunasekaran, A.; Kehajova, M. 2008. The use of information systems for logistics and supply chain management in South East Europe: Current status and future direction, Omega 36(4): 592–599.

[56] Koster, R.; Le-Duc, T.; Roodbergen, K. J.: Design and control of warehouse order picking: A literature review, European Journal of Operational Research 182 (2007) 481–501

[57] Kotha, S. – Swamidass, P. M.: Strategy, advanced manufacturing technology and performance: empirical evidence from U.S. manufacturing firms, Journal of Operations Management 18 2000. 257–277

[58] Kotha, S.: From Mass Production to Mass Customization: The Case of the National Indust:rial Bicycle Company of Japan, European Management Journal Vol. 14, No. 5, pp. 442-450, 1996

[59] Krishnamurthy, A., Suri, R., and Vernon, M.: "Push Can Perform Better than Pull for Flexible Manufacturing Systems with Multiple Products", Industrial Engineering Research 2000 Conference Proceedings, Institute for Industrial Engineers, Norcross, GA, USA.

[60] Krishnamurthy, A. - Suri,R. – Vernon, M: A New Approach for Analyzing Queuing Models of Material Control Strategies in Manufacturing Systems

[61] Krivács K.; Tápler, Cs.: Gyártásközi készletek optimalizálásának lehetőségei a termelési logisztikában, Logisztikai évkönyv 2009, MLE Budapest, 2009

[62] Kusiak, A. – Smith, M.: Data mining in design of products and production systems, Annual Reviews in Control 31 (2007) 147–156

[63] Lambrecht, M.R. – Chen, S. – Vandaele, N.J.: A lot sizing model with queueing delays: The issue of safety time European Journal of Operational Research 89 (1996) 269-276

[64] Land, M.J., 2006, Cobacabana (Control of Balance by CardBased Navigation): A card based system for job shop control, Pre-prints of the Fourteenth International Working Seminar on Production Economics, February 20-24, 2006, Innsbruck, Austria, vol 3, 165-174.

[65] Lau, H.C.W.; Lee, W.B. 2000. On a responsive supply chain information system, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 30(7/8): 598–610.

[66] Law AM, McComas MG. How to select simulation software for manufacturing applications. Ind Eng 1992;24(7):29–32, 34–5.

[67] Liberopoulos, G., Koukoumialos, S.: Tradeoffs between base stock levels, numbers of kanbans, and planned supply lead times in production/inventory systems with advance

demand information, Int. J. Production Economics, Volume 96, Issue 2, 18, pp: 213-232, 2005

[68] Liberopoulos, G.; Koukoumialos, S.: Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy, International Journal of Production Economics 96 (2005) 213–232

[69] Liker, K. Jeffery: The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, McGraw-Hill, 2004

[70] Mascolo, M. D.: Analysis of a synchronization station for the performance evaluation of a kanban system with a general arrival process of demands, European Journal of Operational Research 89 (1996) 147-163

[71] Mehli-Qaissi, J. – Coulibaly, A. – Mutel, B.: Product Data Model for Production Management and Logistics, Computers & Industrial Engineering 37 (1999) 27-30

[72] Molnár L.: Anyagmozgatási folyamatok tervezése II., Műegyetemi Kiadó, 1998.

[73] Monostori L.- Erdős, G. – Kádár, B. – Kis, T. – Kovács, A. – Pfeiffer, A. – Váncza, J.: Digital enterprise solution for integrated production planning and control Computers in Industry 61 (2010) 112–126

[74] Muckstadt, J.A., and Tayur, S.R., 1995, "A Comparison of Alternative Kanban Control Mechanisms. II. Experiments Results", IIE Transactions, 25, 151-161.

[75] Orlicky, J., 1975. Material Requirements Planning. McGraw-Hill, New York.

[76] Petroff, J. N.; Hill, A. V. H. 1991. A framework for the design of lot-tracing systems for the 1990s., Production and Inventory Management Journal 32(2): 55–61.

[77] Pettersen, J.A.; Segerstedt, A.: Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP, Int. International Journal of Production Economics 118 (2009) 199–207

[78] Pine, B. J. – Davis, S., Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, 1999 Harvard Business School Press, 333 pp., 2003

[79] Qiao, G. - Lu, R. – McLean, C.: Process Control and Logistics Management for Mass Customization Manufacturing, National Institute of Standards and Technology, 2003

[80] Qiao, G. - Lu, R. – McLean, C.: Flexible Manufacturing System for Mass Customization Manufacturing, National Institute of Standards and Technology, 2004

[81] Raffai, M.: Egységesített megoldások az alkalmazásfejlesztésben, Novadat kiadó, (2001) 482p

[82] Rábade, L. A.; Alfaro, J. A. 2006. Buyer–supplier relationship's influence on traceability implementation in the vegetable industry, Journal of Purchasing & Supply Management 12(1):39–50.

[83] Rees, L.P.; Philipoom, P. R.; Taylor, B. W.; Huang, P.Y.:Dynamically adjusting the number of kanbans in a just in time production system using estimated values of leadtime, IIR transactions 19 (2), 199-207, 1987

[84] Regattieri, A.; Gamberi, M.; Manzini, R. 2007. Traceability of food products: General framework and experimental evidence, Journal of Food Engineering 81(2): 347–356.

[85] Riezebos, J.: Polca simulation of a unidirectional flow system,Technical report, 2004

[86] Rizzi, A.; Zamboni, R.: 1999. Efficiency improvement in manual warehouses through ERP systems implementation and redesign of the logistics processes, Logistics Information Management 12(5): 367-377.

[87] Röder, A. – Tibken, B.: A methodology for modeling inter-company supply chains and for evaluating a method of integrated product and process documentation, European Journal of Operational Research 169 (2006) 1010–1029.

[88] Rönkkö, M. – Kärkkäinen, M. – Holmström, J.: Benefits of an item-centric enterprise-data model in logistics services: A case study, Computers in Industry 58 (2007) 814–822

[89] Rotaru, Ana: Comparison between tree pull control systems: Kanban, CONWIP, and base stock, Annals of the Oradea University, Volume X (XX), 2011

[90] Ruddy, M.: (2002): Mass Customization Now Closer Than Ever, Journal of Machine Design, No. 6, pp. 59-61.

[91] Sambharya, R.B. – Kumaraswamy, A. - Banerjee, S.: Information technologies and the future of the multinational enterprise, Journal of International Management 11 (2005) 143– 161

[92] Sarker, B. R.; Chidambaram, V. B: Operations planning for a multi-stage kanban system, European Journal of Operational Research 112 (1999) 284-303

[93] Sarker, B.R.; Diponegoro, A.: Optimal production plans and shipment schedules in a supply-chain system with multiple suppliers and multiple buyers, European Journal of Operational Research 194 (2009) 753–773

[94] Sugimori, Y. – Kusunoki, K. – Cho, F. and Uchikawa, S.: Toyota production system and Kanban system Materialization of just - in- time and respect - for -human system, the 4th International Conference on Production Research, Tokyo, 1977

[95] Sharma, S.; Agrawal, N.: Selection of a pull production control policy under different demand situations for a manufacturing system by AHP-algorithm, Computers & Operations Research 36 (2009) 1622-1632

[96] Shahabudeen, P.; Gopinath, R.; Krishnaiah, K.: Design of bi-criteria kanban system using simulated annealing technique, Computers and Industrial Engineering 41 (2002) 355-370

[97] Shahabudeen, P.; Sivakumar, G. D.: Algorithm for the design of single-stage adaptive kanban system, Computers & Industrial Engineering 54 (2008) 800–820

[98] Simão, J. M. – Stadzisz, P.C. – Morel, P. C.: Manufacturing execution systems for customized production, , Journal of Materials Processing Technology 179 (2006) 268–275

[99] Silveira, G. D.;Borenstein, D.;Fogliatto, F.S.: Mass customization: Literature review and research directions, Int. J. Production Economics 72 (2001) 1-13

[100] Spearman, M.L.,Woodruff, D.L.,and Hopp, W.J., 1989, "CONWIP: A Pull Alternative to Kanban"International Journal of Production Research, 28(5), 879-894.

[101] Sunil, C 2003. Designing the distribution network in a supply chain, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 39(2): 123–140.

[102] Suri, R., 1998, Quick Response Manufacturing: A Company-wide Approach to Lead Time Reduction, Productivity Press, Portland, OR.

[103] Suri, R. – Krishnamurthy, A.: How to Plan and Implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products, Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing, May 2003

[104] Suri, R.: QRM and POLCA: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century, Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing, May 2003

[105] Swamidass, P. M. – Kotha, S.: Explaining manufacturing technology use, firm size and performance using a multidimensional view of technology, Journal of Operations Management 17 1998. 23–37

[106] Takahashi, K. - Nakamura, N.: A reactive ordering human-computer cooperation, Manufacturing Agility and Hybrid Automation, IEA Press, pp 367-370, 1996

[107] Takahashi, K. - Nakamura, N.: Reacting JIT ordering systems to the unstable demand, International Journal of Production Research 37 (10), pp 2293-2313, 1999.

[108] Takahashi, K. - Nakamura, N.: Decentralized reactive Kanban system, European Journal of Operational Research 139 (2002) 262–276

[109] Tápler, Cs., Inventory level reduction by inserting unpacking stations in production supply process, University Politehnica Timisoara, Faculty of Engineering Hunedoara, 2010.

[110] Tápler, Cs.; Csík, Á.: Packaging Unit Quantity Optimization, Acta Technica Jaurinensis Series Logistica, Győr, 2010

[111] Tápler, Cs.: Termeléstervezési optimalizáló módszerek, összehasonlítási eljárások Műszaki és informatikai rendszerek és modellek III, Győr, 2009

[112] Tápler, Cs.; Krivács, K.; Hartványi, T.: Basic requirements of material traceability in warehouses, The 6th International scientific conference of Business and Management, Vilnius, 2010

[113] Tápler, Cs.; Csík, Á.: Calculation of optimal unpacking quantities in production supply systems "1st International Conference on Sustainable Intelligent Manufacturing, Leiria, Portugal 2011

[114] Tardif, V.; Maaseidvaag, L.: An adaptive approach to controlling kanban systems, European Journal of Operational Research 132 (2001) 411-424

[115] Thakur, M.; Mosher, G. A.; Brown, B.; Bennet, G. S.; Shepherd, H. E.; Hurburgh, C. R. 2009. Traceability in the Bulk Grain Supply Chain Engineering & Technology for a Sustainable World, American Society of Agricultural Engineers 16(3): 20-23

[116] Tóth, T.- Erdélyi, F. –Kulcsár, Gy.: Decision supporting of production planning and control by means of key production performance measuring indicators

[117] Tseng, M. M.; Lei, M.; Su, C.: A collaborative control system for Mass Customization Manufacturing, Annals of the ClRP, Vol. 46/ 7/7997

[118] Tugba Efendigil, Semih Önüt, Cengiz Kahraman: A decision support system for demand forecasting with artificial neural networks and neuro-fuzzy models: A comparative analysis, Expert Systems with Applications (2008)

[119] Valckenaers,P; Germain, B. S.; Verstraete, P.; Belle, J. V.; Hadeli, Brussel, H. V.: Intelligent products: Agere versus Essere, Computers in Industry 60 (2009) 217–228

[120] Wahab, M.I.M., - Stoyan, S.J.: A dynamic approach to measure machine and routing flexibilities of manufacturing systems, Int. J. Production Economics, 113 (2008), pp. 895–913

[121] Vandaele, N., Claerhout, D., Nieuwenhuyse, I. v., Cremmery, R., 2004, E-POLCA to control multi-product, multimachine job shops, Working paper University of Antwerp.

[122] Wang, H.P. - Zeng, L. - Jin, S.: Determination of the Number of Kanbans in JIT Systems: A Petri-Net Approach, The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, (1992) 7:51-57

[123] Wang, S.; Sarker, B. R.: Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy, European Journal of Operational Research 172 (2006) 179–200

[124] Xue, Y. – Liang, H. – Boulton, W.R. - Snyder, C. A.: ERP implementation failures in China:Case studies with implications for ERP vendors, Int. J. Production Economics 97 (2005) 279–295

[125] Yang, J.B. – Wu, C.-T. – Tsai, C.-H.: Selection of an ERP system for a construction firm in Taiwan: A case study, Automation in Construction 16 (2007) 787–796

[126] Yao, J.B. - Liu, L.: Optimization analysis of supply chain scheduling in mass customization, Int. J.ProductionEconomics117(2009)197–211

[127] Zhang, L. L. – Lee, C.K.M. - Xu, Q.: Towards product customization: An integrated order fulfillment system, Computers in Industry 61 (2010) 213–222

Online hivatkozások jegyzéke

[128] www.pmcorp.com/kanbanSIM.sh

[129] www.sdn.sap.com/irj/sdn/mdm

[130] www.tocthinkers.com

[131] www.kulcssoft.hu

[132] www.packsize.com

12 ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Soros elrendezés leggyakoribb változatai [21] 8
2. ábra: Az egyedi tömeggyártás stratégiai felépítése [79] 14
3. ábra: Termelési adatok alapkategóriái [71] 14
4. ábra: a.) IOFS logikai folyamata b.) IOFS IT rendszerének architektúrája [127] 17
5. ábra: Lokáció és cikk - központú adatmodell összehasonlítása [88] 18
6. ábra: A hagyományos és a QRM szemlélet [104] 20
7. ábra: Anyag és információáramlás a húzásos termelési rendszerben [15] 26
8. ábra: Az adaptív kanban vezérlő rendszer sematikus ábrája [114] 32
9. ábra: A POLCA vezérlés sematikus ábrája [103] 36
10. ábra: POLCA kártya [103] 37
11. ábra: CONWIP rendszer sematikus modellje [100] 38
12. ábra: A DBR sematikus ábrája [130] 41
13. ábra: Megrendeléskezelési folyamat egyedi tömeggyártás esetén (Saját szerk.) 43
14. ábra: Raktári anyagmozgatási folyamatelemek és a nyomonkövetési rendszerelemek kapcsolata (saját szerk.) 50
15. ábra: Termeléskiszolgálási rendszer sematikus ábrája (saját szerk.) 59
16. ábra: Készletszint alakulása az egyes gyártósorokon (saját szerk.) 63
17. ábra: A teljes logisztikai költség alakulása a csomagolási mennyiség függvényében (saját szerk.) 65
18. ábra: Termeléskiszolgálás leegyszerűsített logikai folyamata (saját szerk.) 70
19. ábra: Termeléskiszolgálási rendszer sematikus modellje (saját szerk.) 73
20. ábra: Gyártósori készlet alakulása szétcsomagolt alapanyag esetén (saját szerk.) 74
21. ábra: A teljes költség alakulása a szétcsomagolási darabszám függvényében (saját szerk.) 76
22. ábra: Költségszint az átcsomagolás és a rendeltetési helyek számának függvényében (saját szerk.) 77
23. ábra: Az összköltség alakulása: a) bejövő csomagolási egység és a b) szétcsomagolás darabszáma illetve a helyek számának változása függvényében (saját szerk.) 78
24. ábra: A költségek a kiszedési lista tételszám függvényében (saját szerk.) 79
25. ábra: A gyártósori felhasználás mértéke (saját szerk.) 97
26. ábra: Adott alapanyag gyártósori készletszintjének alakulása MRP vezérelt kiszolgálás esetén (saját szerk.) 98

27. ábra: Költségszintek meghatározása különböző alrendszerekre és beruházás típusokra vonatkoztatva (saját szerk.) 107
28. ábra: Anyagmozgatási költségek alakulása (saját szerk.) 109
29. ábra: Raktározási technológiai beruházások (saját szerk.) 110
30. ábra: Gyártási folyamatok beruházás típus függő költség alakulása (saját szerk.) 112
31. ábra: Humán erőforrás költségek beruházás típus függő alakulás (saját szerk.) 113
32. ábra: Informatikai költségek alakulás (saját szerk.) 114
33. ábra: Kockázati költségek alakulása (saját szerk.) 116
34. ábra: Menedzsment költségek alakulása (saját szerk.) 117

13 TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. Táblázat: A modell paraméterei – 1. modellezési lépes (saját szerk.) 61
2. Táblázat: A modell paraméterei – 2. modellezési lépes (saját szerk.) 72
3. Táblázat: A modell paraméterei – 3. modellezési lépes (saját szerk.) 81
4. Táblázat: A modell paraméterei – 4. modellezési lépes (saját szerk.) 87
5. Táblázat: A modell paraméterei – 5 modellezési lépes (saját szerk.) 91
6. Táblázat: Vezérlési kombinációk (saját szerk.)..... 95
7. Táblázat: A modell paraméterei – 6. modellezési lépés (saját szerk.) 96
8. Táblázat: Termelésvezérlési rendszerek (saját szerk.) 102

14 MELLÉKLETEK

14.1 RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Rövidítés	Magyarázat - angol	Magyarázat – magyar
AAK	Auto-Adaptive Kanban	Auto adaptív kanban rendszer
AAK	Auto-Adaptive kanban	Auto-Adaptív kanban rendszer
AIM	-	Anyagmozgatási Időszükséget Meghatározás
AK	Adaptive Kanban	Adaptív Kanban
AMT	Advanced Manufacturing Technology	fejlett termelési technológia
ATO	Assembly To Order	Rendelésre összeszerelés
BCK	Bar-Coding kanban	Vonalkódos kanban rendszer
BOM	Bill of materials	Anyagjegyzék
BOSC	Build-to-order supply chain	Rendelésre szerelés ellátási lánca
CAD	Computer aided design	Számítógéppel segített tervezés
CAE	Computer aided engineering	Számítógéppel segített mérnöki tervezés
CAM	Computer aided manufacturing	Számítógéppel segített termelés
CAP	Computer-aided process planning	Számítógéppel segített folyamattervezés
CMP	Customized Mass Production	Igény szerinti tömeggyártás
COS	Concurrent Ordering System	Konkurens rendelési rendszer
CPMKS	CPM Kanban System	CPM kanban
CT10	Customized Type10	CT10- egyéb pull rendszer
CT5	Customized Type5	CT5- egyéb pull rendszer
CTO	Configure to Order	Rendelésre konfigurálás
DAK	Dynamically Adjusting Kanban	Dinamikus javítású kanban
DBR	Drum, Buffer and Rope	Dob, puffer, kötél vezérlési mechanizmus
DC	Delay cost	Késési költség
DRK	Decentralized Reactive Kanban	Decentralizált reaktív kanban
DTS	Defect Traceability System	Hiba nyomonkövetési rendszer
EK	Electronic Kanban	Elektronikus (E-) kanban
EK	Electronic Kanban	Elektronikus Kanban
EKCS	Extended Kanban Control System	Kiterjesztett kanban rendszer
EOQ	Economic Order Quantity	Gazdaságos rendelési tételnagyság
ERP	Enterprise Resource Planning	Vállalati erőforrás tervező rendszer
ETO	Engineer To Order	Rendelésre tervezés
FEFO	First Expiring First Out	Legkorábbi lejáratú megy ki legkorábban
FIFO	First In First Out	Legkorábbi beérkezésű megy ki legkorábban

FKS	Flexible Kanban System	Flexibilis kanban rendszer
FMS	Flexible manufacturing systems	Rugalmas gyártórendszer
FPCS	Fake Pull Control System	Látszólagos Pull rendszer
GKCS	Generalized kanban Control System	Általánosított kanban
GKS	Generic Kanban System	Generikus kanban rendszer kanban
GMWIP	Gated Max WIP	GMWIP- egyéb pull rendszer
GPF	Generic Product Family	Alap termékfa modell
HPP	Hybrid Push/Pull	Hibrid Push-Pull
HVAT	High-Volume Automation Technology	Nagy szériás automatizálási technológia
IBS	Inventory Based System	Készlet alapú kanban
IBSC	Internet-based supply chain	internet alapú ellátási lánc
IEKCS	Independent Extended Kanban Control System	Független, kiterjesztett kanban vezérlés
IEPT	Information Exchange and Planning Technology	Információcsere és tervezési technológia
IKCS	Independent Kanban Control System	Független kanban vezérlés
IOFS	Integrated Order Fulfillment System	integrált megrendelés kezelési rendszer
IVCS	Integrated Vehicle Configuration System	Integrált jármű konfigurációs rendszer
JIT	Just in time	Éppen időben (csak akkor, ha)
JSK	Job-Shop Kanban	Job-shop kanban
LVFAT	Low-Volume Flexible Automation Technology	Kis szériás rugalmas automatizálási technológia
MB	Minimal Blocking	Minimális blokkolás
MC (1)	Mass Customization	Egyedi igények tömeggyártása
MC (2)	Manufacturing Cost	Termelési költség
MCM	Mass Customization Manufacturing	Igény szerinti tömeggyártás
MCOS	Modified Concurrent Ordering System	Módosított konkurens rendelési rendszer
MES	Manufacturing Execution System	Termelési végrehajtó rendszer
MFC	Material Flow Control mechanism	Anyagáramlási vezérlési mechanizmus
MKS	Modified Kanban System	Módosított kanban rendszer
MPS	Master Production Schedule	Gyártási vezérprogram
MRP	Material Requirement Planning	Anyagszükséglet tervezés
MRP II.	Manufacturing Resource Planning	Termelési erőforrás tervezés
MRPSFX	MRP ShopFloorExtension	MRPSFX - egyéb pull rendszer
MTO	Make To Order	Rendelésre gyártás
OPT	Optimized Production Technology	Optimalizált termelési technológia
PDM	Product data management	Termék adatmenedzsment
PDT	Product Design Technology	Terméktervezési technológia
PMFC	Production and Materials Flow Control	Termelés és anyagáramlás vezérlési mechanizmus
POLCA	Paired-cell Overlapping Loops of	Egymással átfedésben lévő kártyás

	Cards with Authorization	cellavezérlő hurkok
PPA	Push-Pull Approach	Push – pull megközelítés
PPS	Periodic Pull System	Periodikus pull rendszer
QRF	Quick Response Factor	Gyors reagálás faktor
QRM	Quick Response Manufacturing	Gyors reagálású gyártás
RFID	Radio-Frequency Identification	Rádiófrekvenciás azonosítás
RKS	Reconfigurable Kanban System	Újrakonfigurált kanban rendszer
RPCS	Regenerative Pull Control System	Regeneratív pull renszer
SC	Setup cost	Átállási költség
SDBR	Simplified Drum Buffer Rope	Egyszerűsített ütemszerű gyártás
SEKCS	Simultaneous Extended Kanban Control System	Párhuzamos, kiterjesztett kanban rendszer
SKCS	Simultaneous Kanban Control System	Párhuzamos kanban rendszer
TCD	Total customer demand	Összes vevői igőny
TOC	Theory of constraints	Megkötések elmélete
TPC	Total Production Cost	Teljes termelési költség
TPS	Toyota Production System	Toyota termelési rendszer
TRMC	Total Reverse Material flow Cost	Összes visszavételezési költség
TSC	Total production Supply Cost	Teljes termeléskiszolgálási költség
UML	Unified Modeling Language	Egységesített modellező nyelv
VK	Virtual Kanban	Virtuális kanban rendszer
WIP	Work in Progress	Gyártásközi készlet

14.2 MODELL TESZTADATOK

14.2.1 1. modellezési lépés

Jelölés	Típus	Tesztadat	ME
α_{Price}	Rendszerjellemző	0,10	%/yr
Δt	Választott érték	10 560,00	min
Δt^*	Választott érték	0,08	yr
A	Helyettesítő paraméter	0,08	EUR
B	Helyettesítő paraméter	-4,15	EUR
$C_{Handling}(q)$	Kalkulált érték	8,77	EUR
$C_{Holding}(q)$	Kalkulált érték	33,35	EUR
c_{Hold}	Kalkulált érték	0,0025	EUR/pcs
c_{Price}	Rendszerjellemző	0,30	EUR/pcs
c_{Wage}	Rendszerjellemző	0,10	EUR/min
C(q)	Kalkulált érték	42,12	EUR
C(q) kontroll	Kalkulált érték	42,12	EUR
D	Helyettesítő paraméter	4 386,46	EUR
I_{Avg}	Kalkulált érték	666,92	pcs
N_{Bom}	Rendszerjellemző	2,00	pcs
$N_{Replenish}$	Kalkulált érték	32,49	pcs
$N_{Machine}$	Rendszerjellemző	20,00	pcs
$N_{PickItem}$	Rendszerjellemző/Mért érték	20,00	pcs
q	Optimalizálási paraméter	500,00	pcs
q_{Opt}	Kalkulált érték	241,84	pcs
q_{min}	Kalkulált érték	83,08	pcs
T_{Cycle}	Mért érték	1,30	min
T_{In}	Mért érték	0,50	min
T_{Load}	Mért érték	0,30	min
T_{Out}	Mért érték	0,50	min
T_{Pick}	Mért érték	2,00	min
$T_{Replenish}$	Kalkulált érték	54,00	min
$T_{Transfer}$	Mért érték	0,30	min
T_{Waste}	Mért érték	1,30	min

14.2.2 2. modellezési lépés

Jelölés	Típus	Tesztadat	ME
C(n)	Kalkulált érték	49,12	EUR
C(n)	Kontroll	49,12	EUR
$C_{Handling}(n)$	Kalkulált érték	12,87	EUR
$C_{Holding}(n)$	Kalkulált érték	36,25	EUR
E	Helyettesítő paraméter	0,49	EUR
F	Helyettesítő paraméter	4,66	EUR
G	Helyettesítő paraméter	6,47	EUR
H	Helyettesítő paraméter	37,50	EUR
$I_{Avg}(N)$	Kalkulált érték	725,08	pcs
J	Helyettesítő paraméter	14,70	min
n	Kalkulált érték	1,00	pcs
N_{Load}	Rendszerjellemző/Mért érték	10,00	pcs
$N_{Replenish,Production}$	Kalkulált érték	32,49	pcs
$N_{Replenish,WH}$	Kalkulált érték	32,49	pcs
$T_{In,Production}$	Mért érték	0,30	min
$T_{In,WH}$	Mért érték	0,20	min
$T_{Out,Production}$	Mért érték	0,30	min
$T_{Out,WH}$	Mért érték	0,20	min
$T_{Replenish,Production}$	Kalkulált érték	16,20	min
T_{Unpack}	Kalkulált érték	0,35	min
$T_{Unpack,Fix}$	Mért érték	0,20	min
$T_{Unpack,Var}$	Mért érték	0,15	min
$T_{Replenish,WH}$	Kalkulált érték	46,80	min
$T_{Waste,Production}$	Mért érték	0,40	min
$T_{Waste,WH}$	Mért érték	0,40	min

14.3 KÜLÖNBÖZŐ PULL VEZÉLÉSI RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

	Módozat rövidítése	EK	SKCS	IKCS	PPS	DAK	RPCS	JSK	MB	GKCS	MKS	AAK	COS	MCOS	GKS	FKS	PPA	DRK	EKCS	SEKCS	IEKCS	AK	RKS	IBS	FPCS	HPP	BCK	CPMKS	MRPSFX	VK	CT5	CT10	GMWIP
Eredeti kanban funkciók	Kettős kanban rendszer (termelési és anyagmozgatási/szállítási kanban) használata				x		x		x		x		x	x		x	x	x					x	x					x			
	Pull rendszerű gyártás	x	x	x		x	x	x		x		x			x	x		x	x	x	x	x	x			x		x					
	Decentralizált vezérlés (az egyes termelési folyamatlépcsőknél dolgozó alkalmazottak kezelik a készleteket, utánpótlási folyamatot)	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							x	x	
	Limitált WIP szint	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x		x		x	x		x	x	x	x	x
Változtatások a hagyományos kanbanhoz képest	Változtatható maximális WIP szint				x	x			x							x		x				x	x	x		x	x	x	x				
	Kanban rendelés visszavonásának, vagy átadásának lehetősége,		x	x						x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x								x	x	x	
	a jelzés fizikai reprezentációjának módja,	x			x							x															x						x
	a kettős kanbantól való eltérés	x	x	x		x	x	x		x	x	x			x				x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
	Az információ gyűjtésének és felhasználásának módja	x			x								x	x		x		x				x					x		x		x	x	x
	Funkcionális különbségek																x								x			x			x	x	x
	Anyagok továbbításának logikája																					x				x					x	x	
Előnyök	Az egyes munkaállomások, az egyes előállítási és felhasználási helyek közötti távolság nagy	x			x																												
	Az információkezelési hibák csökkennek	x																															
	A jel továbbításának időszükséglete csökken	x											x	x				x				x											
	Változó igényszint mellett alkalmazható				x	x		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x			
	Változó feldolgozási idő esetén is alkalmazható				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x								x	x	x	x	

	Komplex anyagáramlási rendszerekben alkalmazható				x		x	x			x	x					x												x		x	x	
	Nagyfokú termékdiverzifikáltság mellett alkalmazható				x		x	x			x	x																			x				
	Automatizált műveletek esetén alkalmazható	x										x																								
	Olyan gyártórendszer esetén alkalmazható, ahol a gyártóeszközök magas meghibásodási rátával dolgoznak								x		x															x							x	x	
	Szűk keresztmetszetek hatékony kezeléséhez használható																									x								x	
	Nagyszámú előállítási hely esetén alkalmazható	x																										x							
	Új termék bevezetésekor alkalmazható	x																																	
	Összeszerelési folyamatok támogatására jól alkalmazható		x	x																x	x							x						
	A jelek használatát egyszerűsíti									x																x									
	A kanban ciklusidő (sortöltési ciklusidő, raktári utánpótlási idő) rugalmas változtatását teszi lehetővé				x																														
	A munkaállomások egyenletesebb kiterhelése										x																								
	Az anyagrendelések megszakításának lehetőségét csökkenti											x	x									x	x											
	Az átlagos készletszintet csökkenti																x				x	x	x		x	x			x				x	
	Növeli az alapanyag utánpótlási folyamat rugalmasságát																									x									
Hátrányok	Nő a rendszer bonyolultsága, nehezebb használni				x	x	x		x	x		x				x	x	x	x	x	x						x		x		x	x		
	A dolgozók és a konténerek helyváltoztatási feladatai nőnek										x																								
	Lassú reagálás az igény késleltetett információ átvitel miatt		x											x					x																
	Az átlagos készletszint emelkedése												x												x										
Elméleti fejlesztés					x	x			x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x		
Gyakorlati fejlesztés		x	x	x			x	x			x														x		x	x						