



**MŰEGYETEM 1782**

**BME**

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

**Gépészmérnöki Kar**

**Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék**

---

**RUGALMAS GYÁRTÁSI RENDSZEREK  
ÜTEMEZÉSMINŐSŐGÉNEK JAVÍTÁSA  
SZÉRIAFELBONTÁSSAL**

**PhD — doktori disszertáció**

**Készítette:**

***Ezedeen Kodeekha***

**Témavezető:**

***Dr. Somló János egyetemi tanár***

**Budapest  
2009**

## **1. Témaválasztás és kutatási terület**

Napjainkban a modern gyártástechnológia legmagasabb színvonalát a számítógéppel segített gyártás (CIM) képviseli, ami a gyártástechnológiát a számítógéppel segített gyárak (CIF) felé tereli. A CIF teljesen automatizált gyárat jelent (a jövő gyára). A CIF fejlesztéséhez javítani kell a CIM teljesítményét, ami nagymértékben függ a rugalmas gyártási rendszerek (FMS) teljesítményétől.

Az FMS technológia kielégít két kritikus feltételt: a legnagyobb termelékenyséű gyártási idő (HMP) és a hatékony szállítási megbízhatóság (EDR) követelményét. E két cél erősen függ az ütemezés minőségétől. Ily módon a rugalmas gyártási rendszerek megfelelő ütemezése rendkívül fontos.

Az FMS rendszerek ütemezésében a maximális gyártási időnek a gyártási idő globális minimum-értékéhez közeli értékre való leszorítása elvezethet a legnagyobb termelékenyséű gyártási időhöz és a hatékony szállítási megbízhatósághoz. E cél elérésének mikéntje azonban nagyon összetett kérdés. E kutatás megpróbál választ adni erre a kérdésre.

Az olyan ütemezési módszerek, mint pl. az ütemezés prioritásszabályai (SPR) még a legjobb számítógépekkel is általában alacsony termelékenyséű gyártási időket (kihasználtság) és nem hatékony szállítási megbízhatóságot jelentő ütemezést generálnak.

A szakirodalomban vannak olyan vélemények, melyek szerint a széria felbontás sokkal hatékonyabban javítja az ütemezés minőségét, mint a széria felbontást nem alkalmazó kombinatorikai megközelítések. Az FMS ütemezési problémái általában összetett, NP-nehéz kombinatorikai problémák. A széria felbontás csak még összetettebbé teszi a problémát, mert nagyszámú al-batch kialakítására van szükség.

### **1.1 Jelenlegi helyzet**

A gyártásütemezés a műszaki szakirodalom egyik legintenzívebben kutatott témája. Conway R. E. és társai [1], French S. és társai [2] klasszikus művei és több más munka részletesen foglalkozik a problémával. Néhány példa a legújabb szakirodalomból: [3, 4, 5, 6].

A széria felbontás nem annyira népszerű a szakirodalomban, mint a fix batchekkel dolgozó ütemezés általános problematikája. Ebben a témában Szendrovits megpróbálta a problémát a leltárvezérlés szemszögéből megfogalmazni [7]. Dauzere-Peres és Lasserre [8, 9] számítási szempontokat javasolt a job-shop ütemezési problémák széria felbontására. A fenti problémára genetikus algoritmusokat (GA) javasolt F.T.S. Chan, Wong, és P.L.Y. Chan [10]. Számos más munka is foglalkozik a problémával. Behatóan tárgyalják a flow-shop széria felbontást [11].

Perkins és Kumar a hibrid dinamikus módszert (HDA) javasolta 1989-ben [12]. A HDA megvalósítja a széria felbontást és az átfedésses gyártást, ahogy azt Somló [13] javasolta. Az általános elméletet Matveev, Savkin [14] dolgozta ki. A hibrid dinamikus módszer alkalmazásának gyakorlati vonatkozásait publikálták [15 és 16].

A [17] munkában az úgynevezett "Brute Force" módszert (BFM) javasolták, ami azon alapul, hogy az alkatrész típusok összes szériáját egyszerűen ugyanannyi alszéria-ra kell felosztani. A kapott eredmények jóságát szimulációval becsülik meg. Általános megfogalmazásokat tesznek. Elméleti háttérként a szűk keresztmetszeten alapuló ütemezés gondolatát alkalmazzák. A [18, 19, 20] munkában speciális esetekre (job-shop problémák "összetelhető" ütemterveire) optimális széria felbontási szabályrendszereket dolgoztak ki. A [21, 22, 23] munkában az összetelhető ütemezések módszerét kiterjesztették a flow-shop ütemezési problémákra.

### **1.2 A probléma meghatározása**

A széria felbontási stratégiában két folyamat hajtandó végre: széria felbontás és átfedésses gyártás. A felbontási folyamatban új átállítási műveletek jelennek meg az al-batcheknél; az al-batchek száma megnöveli a átállítások számát (idő), következésképpen meghosszabbodik a gyártási idő. Ezzel szemben az átfedésses feldolgozásnál az altételek száma növekszik, az üresjárat idő csökken, következésképpen a gyártási idő csökken. Ezért kompromisszumos optimalizálási probléma áll fenn a széria felbontás következtében keletkező altételek átállítása miatti többletidő és az átfedésses feldolgozással megtakarított idő között. A megválaszolendő kérdés a következő: mennyi al-batch szükséges az optimális cél eléréséhez, és hogyan lehet ezt meghatározni?

### **1.3 Az értekezés felépítése**

Az értekezés a következő nyolc fejezetből áll:

Az 1. fejezet az FMS ütemezési probléma matematikai modelljét határozza meg.

A 2. fejezet a szériafelbontási technikát ismerteti.

A 3. fejezet elemzi a job-shop rendszerek gyártási idejének globális minimumát.

A 4. fejezet az Összetolható ütemezések módszerét (JSA) tárgyalja.

Az 5. fejezet a flow-shop rendszerek minimális globális gyártási idejét, valamint az összetolt ütemezések módszerével (JSA) elért hatékony szállítási megbízhatóságot elemzi.

A 6. fejezet a felbontás és tesztelés módszerét (BTM) tárgyalja.

A 7. fejezet esettanulmányokat tartalmaz a job-shop és flow-shop problematikáról.

A 8. fejezet összefoglalja a következtetéseket és ajánlásokat.

## 2. Az alkalmazott tudományos módszerek és a kutatási eredmények

### 2.1 Job-shop rendszerek gyártási idejének globális minimuma

Disszertációmban az FMS-ütemezés [19 - 22] munkákban bemutatott matematikai modelljét alkalmazom. Ez a modell a következőkből áll: munkaleírás, gépcsoportok, a feldolgozás időadatai, a gyártási időszakok, gyártási rendszerek típusai, gépátállítási idők figyelembevétele, ütemezési kritérium, elérendő célok.

#### • Munkák, gépcsoportok

A jelen kutatásban rugalmas gyártási rendszerek (FMS) ütemezési problémáját vizsgáltam, melyekre a következő kérdés fogalmazható meg: hogyan kell ütemezni a **különböző** gépcsoportok  $M (1, 2, \dots, m-1, m \dots M)$  halmazából álló FMS rendszert, hogy a **különböző**  $n_1, n_2, \dots, n_j$  volumenű **különböző**  $J (1, 2, \dots, j-1, j \dots J)$  munkákat (batch) **különböző** műveletek  $(1, 2, \dots, k, \dots, K)$  sorozatával **különböző** feldolgozási idők alatt feldolgozzák.

#### • A feldolgozás időadatai

Egy alkatrész feldolgozási ideje a következőképpen határozható meg  $\tau_{k,k',m}$  ahol  $k$  és  $k'$  az adott műveletet, valamint az  $m$  gépcsoporton végrehajtandó következő műveletet jelöli. A feldolgozási idő kifejezhető az alábbiak szerint is  $\tau_{j,m,k}$  ahol  $j$  a munka indexét jelöli. A  $k$  egész szám az adott sorozat sorszámát fejezi ki. (Azaz ha a gépcsoport  $M_m$  számú gépből áll, az egy géphez szükséges időt el kell osztani  $M_m$  értékkel). A feldolgozási idő értékeit a számítógéppel segített folyamattervezés (CAPP) folyamattervező alrendszere határozza meg a gyártási adatokkal együtt (optimalizálás). Ebben a kutatásban a legtöbb esethez hasonlóan csak  $\tau_{j,m}$  lesz alkalmazva ( $k$  értéke figyelmen kívül marad), mert a műveletek sorszáma nem játszik szerepet.

Jelen kutatás foglalkozik mindkét típusú FMS ütemezési problémával: flow-hop (FSS) és job-shop (JSS) rendszer. Ezek a rendszerek a végrehajtandó munkák útvonalán (feldolgozási sorrendjén) alapulnak. (A CIM rendszereknél feltételezzük, hogy a feldolgozási sorrendet a CAPP gyártási sorrendet tervező alrendszere határozza meg.). Az FSS rendszereknél az összes munka ugyanazon útvonalon keresi fel a gépcsoportokat, míg a JSS rendszereknél a munkák bármilyen útvonalat bejárhatnak a gépcsoportok között.

#### • Átállítási idők figyelembevétele

Amikor a gépcsoport átáll az egyik tétel feldolgozásáról a másikra, az új folyamat előkészítéséhez átállítási idő szükséges. Ez a gép, az eszközök, berendezések feltételeiben szükséges módosításokkal; a munkadarabok szállítási késedelmeivel stb. kapcsolatos. Az átállítási idő különböző elemekből állhat: módosítási idő, kezelési idő, pihenőidő, szállítási idő, késedelmi idő stb.

Meg kell említeni, hogy a szállítási idő és az átállítási idő nagyon eltérő mennyiségeket jelöl. Mégis időnként egyformán is kezelhetők.

Az FMS rendszereknél a gépátállítási idők általában sokkal rövidebbek, mint a feldolgozási idők; különben nehezen lehetne őket rugalmasnak nevezni.

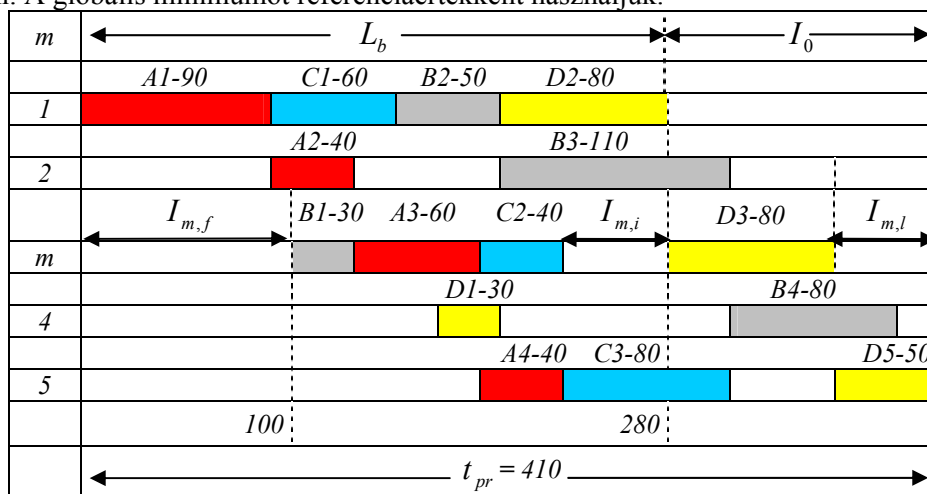
Jelen kutatásban figyelembe vesszük a gépátállítási időket. Az egyszerűség kedvéért a  $j$  munkát feldolgozó  $m$  gépcsoport gépátállítási idejét  $\delta_{j,m}$ -vel jelöljük.

• **Gyártási időszak**

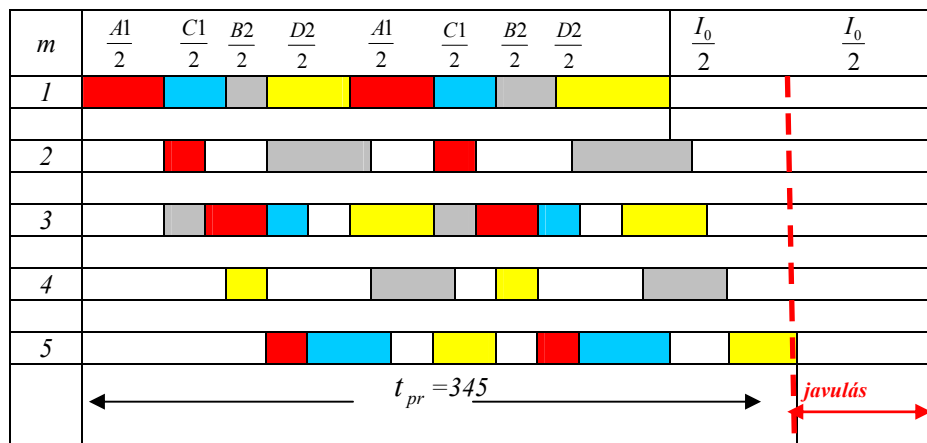
A gyártási időszakot egyformának tekintjük az összes munkánál. Az időszakot a következőképpen jelöljük “ $T_{sch}$ ”, ami lehet a műszak hossza, egy nap vagy egy hét, lehet a közös szállítási idő stb. Ebben a kutatásban időszaknak a közös szállítási időt tekintjük ( $d$ ).  $T_{sch} = d$ . További kutatás témáját képezi az a másik eset, amikor a munkáknak egyedi szállítási idejük van.

• **Ütemezési kritérium**

E kutatásban az ütemtervek jóságának értékelésére az összes munka elvégzéséhez szükséges maximális gyártási (elkészítési) idő értékét használjuk. Ezt gyártási időnek (makespan) nevezzük. Gyakran használják a gyakorlatban, egyszerűen és hatékonyan alkalmazható. A gyártási idő jelölése a szakirodalomban általában  $k_{max}$  (ld.: [1, 2]). Itt a  $t_{pr}$  jelölést használjuk. Természetesen  $t_{pr} = C_{max}$ . Nagyon fontos mennyiség, ami a matematikai modellből a gyártási idő globális minimumaként fejezhető ki. A globális minimumot referenciaértékként használjuk.



1. ábra: JSS Gantt diagram - kiindulási ütemterv



2. ábra: JSS Gantt diagram - szériafelbontásos ütemterv

A matematikai modellből itt csak a következővel foglalkozunk:

Az  $m$  azonosító indexű gépcsoport gyártási ideje

$$t_m = L_m + S_m \quad m=1, 2, 3 \dots M \quad (1)$$

ahol  $L_m$  a bizonyos számú  $J$  munka  $m$  gépcsoporton történő feldolgozásához szükséges terhelési idő.

Az  $m$  gépcsoport terhelési ideje a következőképpen számítható:

$$L_m = \sum_{j=1}^J \tau_{j,m,k} n_j \quad j=1, 2, 3 \dots J \quad (2)$$

$S_m$  jelöli az  $m$  gépcsoporton  $J$  munka elvégzéséhez szükséges összes gépátállítási időt.

$$S_m = \sum_{j=1}^J \delta_{j,m} \quad (3)$$

Az  $L_b$  maximális terhelési érték általában a szűk keresztmetszetet jelentő gépcsoportozathoz tartozik.

$$L_b = \text{Max } L_m \quad (4)$$

Feltételezzük, hogy a szűk keresztmetszetet képviselő gépcsoport rendelkezik a maximális összes gépátállítási idővel a rendszer összes gépcsoportja közül. Ez mindig teljesül, ha

$$S_b = \text{Max } S_m \quad (5)$$

A maximális gyártási idő minimuma, ami a gyártási idő globális minimumát jelenti, a következőképpen számítható:

$$t_g = \text{Max } t_m = \text{Max } (L_m + S_m) \quad (6)$$

Egyértelmű, hogy nem lehet olyan feldolgozási sorrendet felállítani, ami ennél a globális minimumértéknél kevesebbet eredményezne. Ily módon a job-shop rendszer gyártási idejének globális minimuma:

$$t_g = L_b + S_b \quad (7)$$

A kezdeti teljesíthető ütemterv maximális gyártási ideje a következőképpen határozható meg (ld. 1. ábra):

$$t_{pr} = t_g + I_b \quad (8)$$

ahol  $I_b$  a szűk keresztmetszetet jelentő gépcsoport utolsó üresjárat ideje  $I_b = S_{nb} + I_0$  (9)

$S_{nb}$  a nem szűk keresztmetszetű folyamat gépátállítási ideje.

$I_0$  a szűk keresztmetszet utolsó nettó üresjárat ideje gépátállítási idők nélkül,  $\delta=0$ .

A nem nulla gépátállítási idejű modell maximális gyártási ideje:

$$t_{pr} = L_b + S_b + S_{nb} + I_0 \quad (10)$$

A tervezés célja az, hogy a minimális globális gyártási időhöz lehető legközelebb eső minimális értékre szorítsuk le a rendszer gyártási idejének maximumát.

A gyártási idő globális minimumértékével a disszertáció 1. fejezete foglalkozik.

## 2.2 Többletidő koefficiens

Az úgynevezett *többletidő koefficiens*  $C_r$  új mennyiség bevezetését javasoljuk az FMS ütemezési rendszer minőségének mérésére.

$$C_r = \frac{t_{pr}}{t_g} \quad (11)$$

Célként olyan ütemezés felállítását tűzzük ki, amely kielégíti a következő minőségi feltételt:

$$1 \leq C_r \leq C_{\max} \leq \Omega \quad (12)$$

ahol  $C_{\max}$  jelöli a maximális többletidő koefficiens. Értékét a tervezés  $\Omega$  engedélyezési tartományából választjuk. A (12) feltétel szerint és a gyakorlati tapasztalatok alapján a reális ütemezést ( $C_r > 1$ ) a következő három típusba javasoljuk besorolni  $C_{\max}$  jóságparaméterei szerint: ( $C_{\max} = 1, 1, 1, 15, 1, 2$ ):

- Jó minőségű ütemezés, ha  $C_r = 1, 1$
- Közepes minőségű ütemezés, ha  $C_r = 1, 15$
- Gyenge minőségű ütemezés, ha  $C_r = 1, 2$

Látható, hogy ezek az értékek gyakorlati célokra nagyon jól megfelelnek. Ha a (12) feltétel teljesül, a maximális gyártási idő közel van a globális minimumhoz, és ez a rendszerteljesítmény megítélésének jó kritériuma lehet. A megfelelő tervezéshez ellenőrizni kell a (12) feltételt. Ha nem érvényesül, akkor a tervezés sikertelen.

- Ha  $C_r = 1$  (13)

akkor az ütemezést **ideális ütemezésnek** nevezzük. Az ideális ütemezés akkor jön létre, ha a kezdeti teljesíthető ütemterv maximális gyártási ideje egyenlő a gyártási idő globális minimumértékével ( $t_{pr} = t_g$ ), és nincs üresjáratú idő a szűk keresztmetszetet jelentő utolsó gépcsoportnál ( $I_b = I_0 = S_{nb} = 0$ ). Ideális ütemezés esetén nincs szükség szériafelbontásra.

A többletidő koefficienssel a disszertáció 3.4 fejezete foglalkozik.

## 2.3 Összetolható ütemezések módszere (JSA)

### 2.3.1 Összetolható ütemezések módszere job-shop rendszereknél

Az összetolható ütemezések módszere (JSA) olyan új analitikus megközelítés, mely speciálisan megfogalmazott problémáknál használható az altételek optimális számának meghatározására. A JSA alap gondolata a következő: "Teljesíthető tételütemezések létrehozása egy megfelelő ütemezési módszerrel. Ezután összetolhatósági teszttel ellenőrizni kell, hogy a kialakított teljesíthető ütemezés összetolható-e. Ha igen, akkor a teljesíthető ütemezés összetolható ütemezés. Ekkor szériafelbontással az ütemezések teteleit egész számú altételekre kell felosztani. Az altételek optimális számát differenciálással lehet megkapni."

A JSA eljárások 3 fázisból állnak: *felépítési fázis*; melynek során a kezdeti teljesíthető ütemezést kialakítjuk, pl. szimulációs módszerekkel. Ha a teljesíthető ütemezések maximális gyártási ideje nagyon közel esik a gyártási idő globális minimumértékéhez a minőség követelményfeltétel szerint, akkor a tervezés befejezhető. Ha a gyártási idő nem elégíti ki a minőségi követelményeket, akkor a második fázisban kell megkeresni azt az alkalmas ütemezést, aminek a minőségét javítani szeretnénk. A *tesztfázisban* összetolhatósági tesztet végzünk az összetolható ütemtervek meghatározására, hogy eldönthessük, hogy a JSA módszer használható-e vagy sem. Egy ütemezés különösen akkor összetolható, ha **a)** nincs üresjáratú idő a műveletek között és a szűk keresztmetszet előtt,  $I_{bi} = I_{bf} = 0$ .

**b)** Nincs átfedés az összetolás során a nem szűk keresztmetszetű gépcsoportok aktív szakaszain. A JSA módszert a disszertáció 4. fejezete mutatja be.

Ha a kezdeti teljesíthető ütemezés kielégíti a következő alapvető kezdeti összetolhatósági feltételt, akkor az ütemezés összetolható (ld. 1. ábra).

$$I_{mf} + I_{ml} \geq I_0 \quad m = 1, 2, 3 \dots M \quad (14)$$

ahol  $I_{mf}$ ,  $I_{ml}$  jelöli az első és utolsó üresjáratú időt az  $m$  gépcsoport esetében.

A *megoldási fázisban* feltételezzük, hogy az 1. ábrán látható kezdeti ütemterv összetolható ütemterv. Alkalmazhatjuk a JSA módszert, melynek értelmében a teteleket azonos számú altételekre osztjuk, pl. 2 altételre (2. ábra).

A szériafelbontással kapott gyártási idő 2 altétel esetén:  $t_{pr}(2) = L_b + 2 S_b + \frac{I_0}{2} + S_{nb}$  (15)

$N$  altétel esetén a gyártási idő a következőképpen alakul:  $t_{pr}(N) = L_b + S_{nb} + N S_b + \frac{I_0}{N}$  (16)

A többletidő koefficiens:  $C_r(N) = \beta_r + \varepsilon_r + N \theta_r + \frac{\phi_r}{N}$  (17)

ahol  $\beta_r = \frac{L_b}{t_g}$ ,  $\varepsilon_r = \frac{S_{nb}}{t_g}$ ,  $\theta_r = \frac{S_b}{t_g}$ ,  $\phi_r = \frac{I_0}{t_g}$  (18)

$\beta_r$ ,  $\varepsilon_r$ ,  $\theta_r$ ,  $\phi_r$  rendre a következőket jelöli: ún. szűk keresztmetszeti terhelési koefficiens, nem szűk keresztmetszeti folyamat gépátállítási idő koefficiens, gépátállítási relációs koefficiens, keresztmetszeti üresjáratú idő koefficiens. Ezeknek az együtthatóknak a bevezetése igen hasznos, mert segítségével az eredményeket dimenzió nélküli formára lehet hozni.

A  $C_r$  érték minimalizálása érdekében differenciáljuk a (16) vagy (17) egyenlet  $C_r(N)$  w. r. t.  $N$ , mennyiségeit, és nullára hozzuk őket.

$$\frac{\partial t_{pr}}{\partial N} = \frac{\partial C_r}{\partial N} = 0$$

Az altételek optimális számát a következőképpen lehet meghatározni:

$$N^* = \sqrt{\frac{I_0}{S_b}} = \sqrt{\frac{\phi_r}{\theta_r}} \quad (19)$$

Könnyen belátható, hogy az altételek optimális száma csak egész szám lehet.

A valós  $N^*$  egész számú értékei:

$$N_1^* = \text{Int}(N^*) \quad \text{és} \\ N_2^* = \text{Int}(N^*) + 1 \quad (20)$$

A minimális gyártási idő:

$$t_{pr}^* = L_b + S_{nb} + 2\sqrt{S_b I_0} \quad (21)$$

Az optimális többletidő koefficiens:

$$C_r^* = \beta_r + \varepsilon_r + 2\sqrt{\theta_r \phi_r}$$

(22)

Ezeknek az egyenleteknek a segítségével meghatározható a többletidő koefficiens maximális csökkenése, a gépátállítási idő optimális értékei, az altételek mérete, a szűk keresztmetszet kihasználása, a hatékony széria felbontás tartománya, a széria felbontás hatékonysága és az optimális széria felbontási idő (OLST) diagramja.

a) *A maximális többletidő koefficiens csökkenése*  $\Delta C_r^*$

$$\Delta C_r^* = (\sqrt{\phi_r} - \sqrt{\theta_r})^2 \quad (23)$$

A (23) összefüggés megmutatja, hogyan befolyásolja a gépátállítási relációs koefficiens értéke a rendszer teljesítményének javulását. Nagyobb  $\phi_r$  értékek esetén szignifikáns javulás következik be. Ezt a javulást korlátozza a  $\phi_r > \theta_r$  összefüggés. Széria felbontást akkor érdemes alkalmazni, ha

$$\phi_r \gg \theta_r \quad (24)$$

Ha  $\phi_r$  értéke néhány teljesíthető ütemezés esetén alacsony, nincs szükség széria felbontásra.

b) *Az optimális széria felbontás idejének meghatározása*

$$\text{A széria felbontás ideje: } T_{LS} = S_{bLS} + I_{bLS} = N S_b + \frac{I_0}{N} \quad (25)$$

ahol  $S_{bLS}$  jelöli a széria felbontás gépátállítási idejét,  $I_{bLS}$  pedig az átfedési időt.

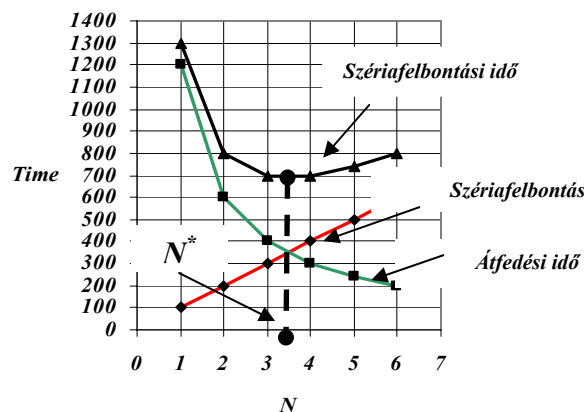
A széria felbontási idő alakulását az optimális széria felbontási idő (OLST) diagramja mutatja a 3. ábrán. Jól látható a 3. ábra alapján, hogy  $T_{LS}^*$  a metszéspontnál következik be, ahol

$$S_{bLS} = I_{bLS}, \quad N^* = \sqrt{\frac{I_0}{S_b}}, \quad S_{bLS}^* = I_{bLS}^* = \sqrt{I_0 S_b} \quad (26)$$

$$\text{Az optimális széria felbontási idő } T_{LS}^* = 2\sqrt{I_0 S_b} \quad (27)$$

$$\text{A széria felbontási koefficiens } \zeta(N) = \frac{T_{LS}(N)}{t_g} = N \theta_r + \frac{\phi_r}{N} \quad (28)$$

$$\text{Az optimális széria felbontási koefficiens } \zeta^* = 2\sqrt{\theta_r \phi_r} \quad (29)$$



3. ábra: optimális széria felbontási idő (OLST) diagram

• **A gépátállítási idő optimális értékeinek meghatározása**

Nagyon fontos annak meghatározása, hogyan befolyásolja a gépátállítási idő értéke az ütemezés minőségét.

A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy leggyakrabban a következő összefüggés érvényesül:  $I_0 \leq 0,5 t_g$ . Ekkor a  $\phi_r = 0,5$  érték használható a becsléseknél.

A (29) összefüggésből 
$$\theta_r = \frac{1}{2} \zeta^{*2} \quad (30)$$

Vizsgáljuk meg a szériefelbontási koefficiens hatását  $\theta_r$  értékére, pl.

$$\theta_r(\zeta = 0.15) = 0.01125, \theta_r(\zeta = 0.1) = 0.005, \theta_r(\zeta = 0.2) = 0.02$$

Így ha a gépátállítási idők összege a gyártási idő globális minimumához képest egy századnál kevesebb, akkor a JSA segítségével kapott folyamatok kedvezőnek tűnnek. A feltételek enyhítésével az átállítások gyorsaságára vonatkozó követelmények szignifikánsan csökkennek. Ennek ellenkezője figyelhető meg a minőségi követelmények szigorításával. Ezért  $\theta_r^*$  optimális értéke a következőképpen határozható meg:

$$\theta_r^* \leq \frac{1}{4} \frac{\zeta^{*2}}{\phi_r} \quad (31)$$

A megfelelő gyártástervezésnél és gyártási rendszer tervezésénél (FMS-tervezés) a (31) feltételt biztosítani kell. A gyakorlatban ellenőrizni kell, hogy teljesül-e ez a feltétel. Ha nem érvényesül, akkor a tervezés sikertelen.

• **A hatékony szériefelbontási tartományt** a következő összefüggés adja meg:

$$I < N < N^{*2} \quad (32)$$

• **Az optimális altétel mérete**  $j$  munka esetén:

$$Z_j^* = n_j \sqrt{\frac{S_b}{I_0}} \quad (33)$$

• **A szállítási altételek optimális számának meghatározása**

A hatékony szállítási megbízhatóságnál a szállítási altételek optimális száma a következő összefüggéssel határozható meg:

$$N_{d1,2}^* = \frac{(d - L_b - S_{nb}) \pm \sqrt{D_b}}{2S_b} \quad (34)$$

ahol  $d$  a közös szállítási dátum,

$$D_b \text{ az ún. szűk keresztmetszeti diszkrimináns, ahol } D_b = (L_b + S_{nb} - d)^2 - 4S_b I_0 \quad (35)$$

A szűk keresztmetszeti diszkriminánsnak a következő három értéke lehet:

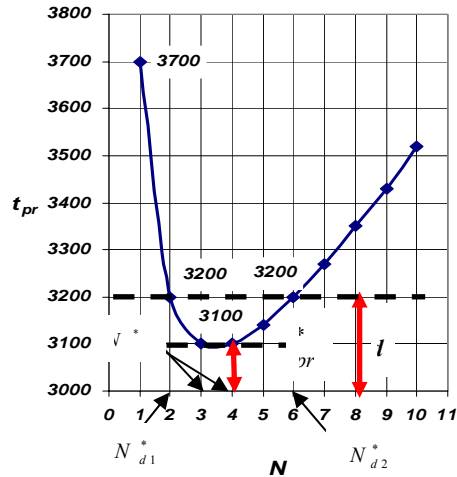
a) **Pozitív szűk keresztmetszeti diszkrimináns:** ha  $D_b > 0 \rightarrow d > t_{pr}^*$ , két optimális érték van  $(N_{d1}^*, N_{d2}^*)$  (4.ábra)

b) **Nulla szűk keresztmetszeti diszkrimináns:** ha  $D_b = 0 \rightarrow d = t_{pr}^*$ , egy optimális érték van  $N_d^*$ .

c) **Negatív szűk keresztmetszeti diszkrimináns:** ha  $D_b < 0 \rightarrow d < t_{pr}^*$ , nincs optimális érték.

A hatékony szállítási megbízhatóság megfogalmazása és elemzése a disszertáció 1.3.4, 5.5 fejezetében olvasható.





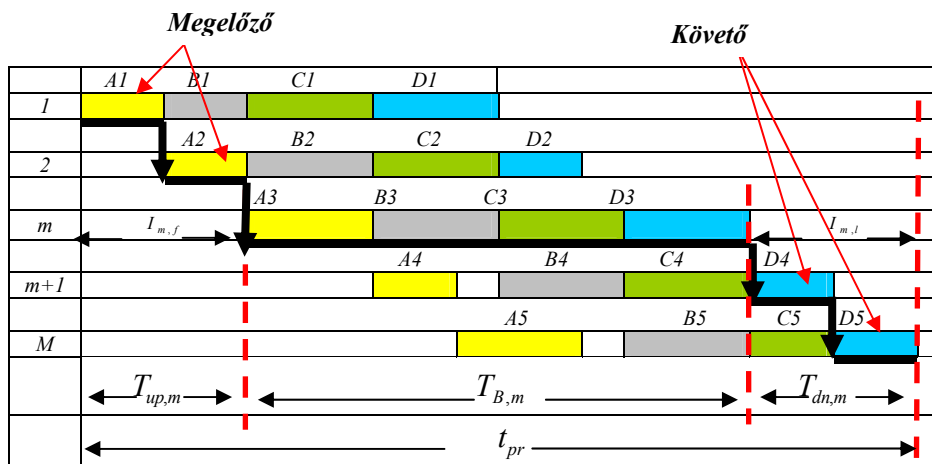
4. ábra: gyártási idő görbe és a szállítási idő

A JSA alapgondolatát és annak folyamatát a disszertáció 4. fejezete mutatja be.

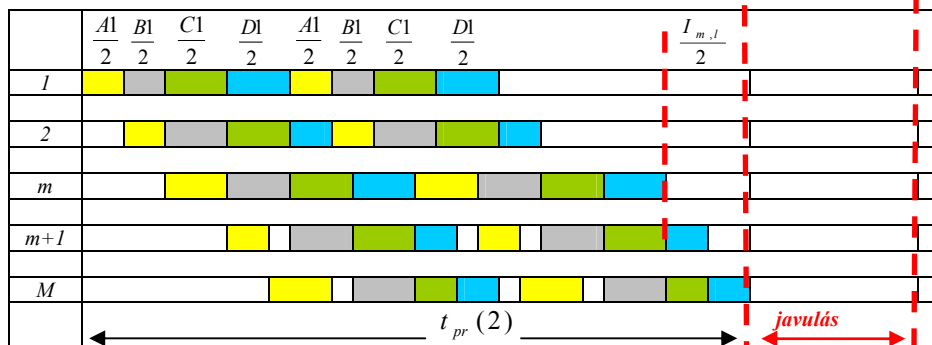
#### 2.4 Flow-shop rendszerek gyártási idejének globális minimuma

A job-shop rendszerek és a flow-shop rendszerek globális minimuma eltérő. A flow shop rendszerekben a gyártási idő globális minimumának meghatározásakor a szűk keresztmetszeti gépcsoport előtti és utáni folyamatokat figyelembe kell venni (5. ábra).

Ahhoz, hogy meghatározhassuk a rendszer gyártási idejének globális minimumát, nemcsak a szűk keresztmetszeti gépcsoport gyártási idejét kell figyelembe venni, hanem a szűk keresztmetszetet megelőző és azt követő gyártási idők minimumértékét is.



5. ábra: FSS Gantt diagram a megelőző, törzs- és követő gyártási időekkel



6. ábra: FSS Gantt diagram - szériafelbontásos ütemterv,  $N=2$

Az  $m$  gépcsoport gyártási ideje (ld. 5. ábra) a következőképpen számítható:

$$t_{m,F} = T_{up,m} + T_{B,m} + T_{dn,m} \quad (36)$$

ahol  $T_{up,m}$ ,  $T_{B,m}$ ,  $T_{dn,m}$  a megelőző, törzs- és követő gyártási időket jelöli.

A gyártási idő globális minimumát a maximális törzs-gyártási időt, valamint a megelőző és követő gyártási idők összegének minimumértékeit összegezve lehet meghatározni. Ez utóbbi a szűk keresztmetszetet jelentő csoporton végzendő munkák összes permutációjának figyelembevételével számítható.

A gyártási idő globális minimumértéke (ld. 5. ábra):

$$t_{g,F} = T_{up,g} + T_{B,g} + T_{dn,g} \quad (37)$$

ahol  $T_{up,g} = \text{Min } T_{up,m}$  a szűk keresztmetszetet megelőző gyártási idő,

$T_{B,g} = \text{Max } T_{B,m}$  a szűk keresztmetszet gyártási ideje,

$T_{dn,g} = \text{Min } T_{dn,m}$  a szűk keresztmetszetet követő gyártási idő.

A nullától eltérő gépátállítási idejű FSS modell maximális gyártási ideje:

$$t_{pr} = t_{g,F} + I_{g,F} \quad (38)$$

ahol  $I_{g,F}$  a gyártás üresjárat idejét jelöli. Ez a teljes gyártási idő nem-termékív időtartamának felel meg.

A gyártási idő

$$t_{pr} = L_b + L_{up,g} + L_{dn,g} + S_b + S_{nb} + I_{g,F} \quad (39)$$

A job-shop rendszerek gyártási idejének globális minimumértékét az 5. fejezet tárgyalja.

## 2.5 Flow-shop rendszerek többletidő koefficiense

A flow-shop rendszerek többletidő koefficiense a következőképpen határozható meg:

$$C_{r,F} = \frac{t_{pr}}{t_{g,F}} \quad (40)$$

$C_{r,F}$  értéke lehet egynél kevesebb a job-shop rendszerekkel szemben.

$C_{r,F}$  értéke alapján a valódi ütemezést 4 típusba sorolhatjuk:

a. Teljesíthető ütemezés, ha  $t_{pr} > t_{g,F} \rightarrow C_{r,F} > 1$

b. Gyenge minőségű ütemezés, ha  $t_{pr} = t_{g,F} \rightarrow C_{r,F} = 1$

c. Közepes minőségű ütemezés, ha  $t_{pr} < t_{g,F} \rightarrow C_{r,F} < 1$

d. Jó minőségű ütemezés, ha  $t_{pr} \ll t_{g,F} \rightarrow C_{r,F} \approx 0$

## 2.6 Összetelhető ütemezési megközelítés flow-shop rendszereknél

Feltételezzük, hogy az 5. ábrán látható flow-shop rendszer kezdeti teljesíthető ütemezése összetelhető ütemezés.

Az 5. ábrából a következőt kapjuk:  $L_{up,g} = I_{g,f}$ ,  $L_{dn,g} = I_{g,l}$  (41)

Feltételezzük, hogy a flow shop rendszer nettó üresjárat ideje  $I_0 = I_{g,f} + I_{g,l} + I_{g,F}$  (42)

A flow shop rendszer gyártási ideje:

$$t_{pr} = L_b + S_b + S_{nb} + I_0 \quad (43)$$

A 6. ábrán az altételek 2 egyenlő altételre vannak osztva.

A szériafelbontással kapott gyártási idő 2 altétel esetén:

$$t_{pr}(2) = L_b + 2S_b + \frac{I_0}{2} + S_{nb} \quad (44)$$

Így a szériafelbontás gyártási ideje:

$$t_{pr}(N) = L_b + S_{nb} + N S_b + \frac{I_0}{N} \quad (45)$$

A (43, 44, 45) összefüggés hasonló a job-shop rendszer (10, 15, 16) összefüggéséhez.

Így a széria felbontásos flow-shop probléma a job-shop problémákhoz hasonlóan kezelhető; az altételek optimális számát meghatározó egyenletek ugyanazok; a gépátállítási idők hatásának meghatározási folyamata szintén ugyanaz.

Általában a JSS széria felbontás problémáinak megoldására használt JSA egyenletek használhatók az FSS problémák megoldására. A különbséget a nettó üresjáratidő ( $I_0$ ) és a nem szűk keresztmetszetű folyamat gépátállítási idejének ( $S_{nb}$ ) meghatározási eljárása jelenti. Ennek oka, hogy a szűk keresztmetszetet jelentő gépcsoportot megelőző és azt követő gyártási idők műveleti jellemzői fontos szerepet játszanak.

## **2.7 Az összetolt ütemezések módszerének rugalmas gyártási rendszerek széria felbontási problémáira való alkalmazásának konklúziói**

Ha a rugalmas gyártási rendszerek ütemezési problémáinak megoldását vizsgáljuk, több megközelítést alkalmazhatunk. Néhány esetben (a probléma adataitól függően) találhatunk néhány (legalább egy) olyan teljesíthető ütemezést, ami nagyon megközelíti a gyártási idő globális minimumértékét. Ha az ütemezés más szempontból is megfelelő, a tervezést be lehet fejezni. Ha a gyártási idő nem teljesíti a minőségi követelményeket, és találhatók összetolható ütemtervek, akkor a fent kifejtettek segítségével megfelelő ütemezéseket lehet meghatározni. A fenti módszer sikeressége a gépátállítási idők értékeitől függ. Természetes, hogy amennyiben a beállítási idő értékei nagyok, akkor a fenti megközelítés nem alkalmazható. Mindig nyitott kérdés az, hogy mi számít nagyoknak és mi kicsinek. Azt találtuk, hogy amikor a gépátállítási idők összege a szűk keresztmetszetű gépcsoporton kevesebb az adott gépcsoport gyártási idejének egy századrésznél, akkor a fenti módszerrel jó eredmények érhetők el. A fenti okfejtés nagy mértékben alátámasztja ezt a megállapítást.

Az "összetolható ütemezések módszere" (JSA) szignifikáns javulást eredményezhet a rugalmas gyártási rendszerek ütemezésének minőségében. A probléma vizsgálata és az eredmények megvalósítása rendkívül egyszerű. Az előbbi fejezetekben az al-batchek optimális számának meghatározására bemutatott eredmények lehetőséget adnak arra, hogy elemezzük a teljesíthető ütemtervek paramétereinek, a gépátállítási idők értékeinek hatását, a széria felbontás stb. hatását. Általában a JSA alkalmazásával megkaphatjuk az al-batchek optimális számát, a minimális gyártási időt, a minimális többletidő koefficiensét, a gyártási idő maximális kihasználását, a munkamenet maximális felgyorsítását, a minimális üresjáratidőt, az altételek optimális méretét, a széria felbontás maximális hatékonyságát, az optimális széria felbontási időt és a szállítás optimális altételeinek számát. Végül, de nem utolsósorban, a JSA módszerrel elérhető a kitűzött cél, nevezetesen a gyártás legmagasabb termelékenysége és a hatékony szállítási megbízhatóság.

## **2.8 A felbontás és tesztelés módszere (Break and Test Method - BTM)**

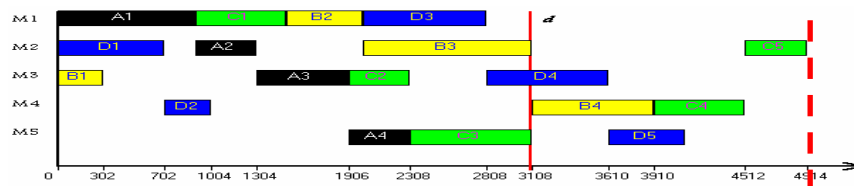
A JSA gyakorlati alkalmazásának alapvető nehézsége abban áll, hogy a kezdeti összetolható ütemezés meghatározása nem könnyű feladat. E nehézség kiküszöbölésére javasoljuk a *felbontás és tesztelés* (BTM) nevű új módszert. A BTM lényegében egy keresésoptimalizációs módszer, mellyel meg lehet keresni a széria felbontási problémák megfelelő megoldását, mellyel elérhető a legnagyobb termelékenységű gyártási idő és a hatékony szállítási megbízhatóság. A BTM egyfajta "brute force" módszer. A BTM során a megfelelő teljesíthető ütemezés tételeit több altételre bontjuk a [17] jelű irodalomban bemutatott számítógépes program segítségével, és minden egyes felbontásnál összehasonlító vizsgálatot végzünk, amíg meg nem találjuk az altételek megfogalmazott célnak megfelelő darabszámát. A BTM során úgy oldjuk meg a problémát, hogy nagy számú megoldást dolgozunk ki, és addig hasonlítjuk össze őket, amíg az alkalmas megoldást meg nem találjuk: sokszori próbálkozás a legjobb megoldásért. A BTM módszer használható mindkét alapvető gyártási rendszer: a flow-shop és job-shop rendszer több gépcsoportot és több munkát tartalmazó problémáira. A BTM módszer ismertetése a disszertáció 6. fejezetében található.

### **2.8.1 BTM job shop rendszereknél**

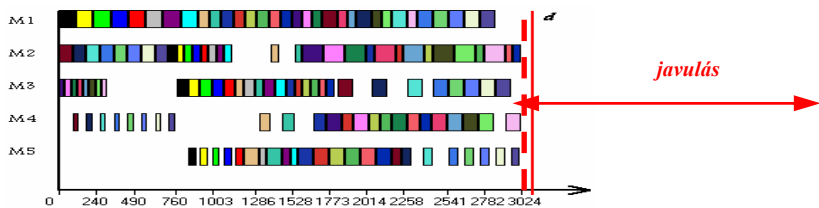
A BTM fázisainak és a számítógépes programnak [17] az alkalmazásával javíthatjuk a job-shop rendszerek termelékenységét, ahogy az a 7. és 8. ábrán látható. A 7. ábra a job-shop rendszer FIFO szabály alkalmazásával meghatározott kezdeti tételütemezésének Gantt diagramját mutatja. A 8. ábrán a FIFO szabály alkalmazásával meghatározott széria felbontási ütemezés Gantt diagramja látható -  $N=8$ . Egyértelműen látható a gyártási idő csökkenése, következésképpen a termelékenység (kihasz-

nálás) javulása. A FIFO és MS szabály esetén a többletidő koefficiens görbéjét a BTM alkalmazásával a 9. ábra mutatja.

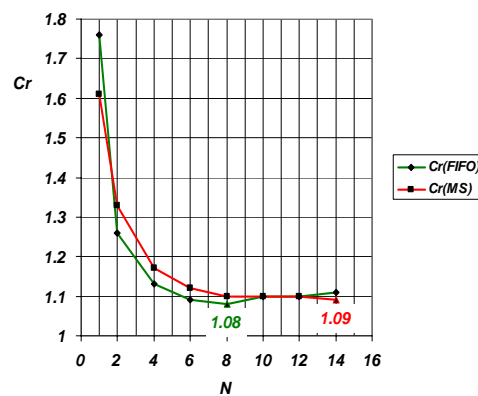
A disszertáció 6.3 fejezete tárgyalja a BTM módszer JSS problémákra való alkalmazását.



7. ábra: JSS Gantt diagram - FIFO kiindulási ütemterv



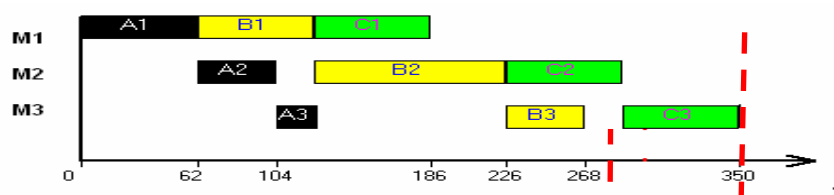
8. ábra: JSS Gantt diagram - FIFO szériafelbontásos ütemterv,  $N = 8$



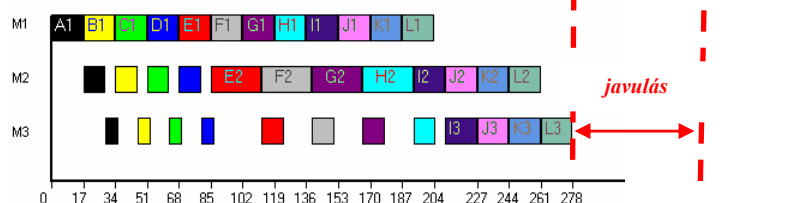
9. ábra: JSS többletidő koefficiens görbék - FIFO és MS

### 2.8.2 BTM flow-shop rendszereknél

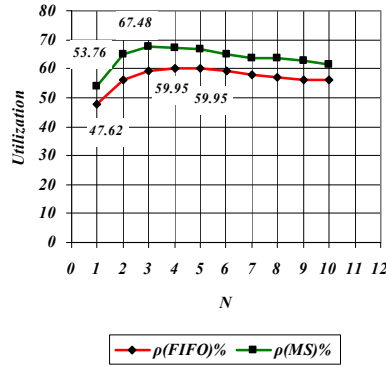
A BTM eljárás segítségével (a job-shop rendszerekhez hasonlóan) javítani lehet a flow-shop rendszerek termelékenységét is. Egy flow-shop rendszer FIFO szabály szerinti kezdeti ütemezésének Gantt diagramja látható a 10. ábrán. A 11. ábra FIFO szerinti szériafelbontásos ütemezés Gantt diagramját mutatja  $N = 4$  esetén.



10. ábra: FSS Gantt diagram - FIFO kiindulási ütemterv



11. ábra: FSS Gantt diagram - FIFO szériafelbontásos ütemterv,  $N = 4$



12. ábra: rendszerkihasználási görbék BTM segítségével - FIFO és MS szabály

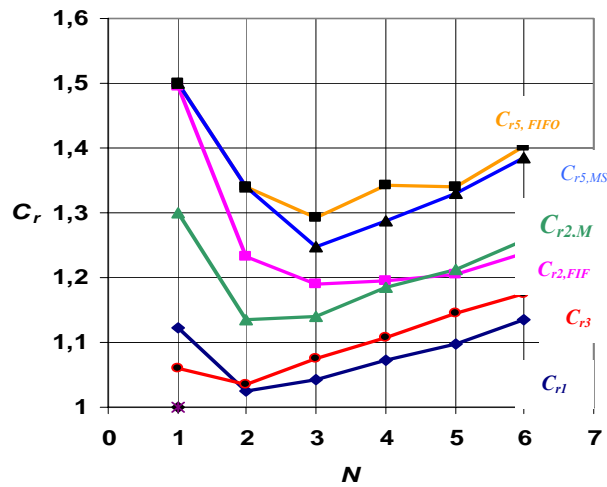
Megfigyelhető a gyártási idő csökkenése, következésképpen a termelékenység (kihasználás) emelkedése. A FIFO és MS szabály szerinti kihasználási görbék flow-shop rendszereknél BTM alkalmazásával a 12. ábrán láthatók.

A disszertáció 6.5 fejezete tárgyalja a BTM módszer FSS problémákra való alkalmazását.

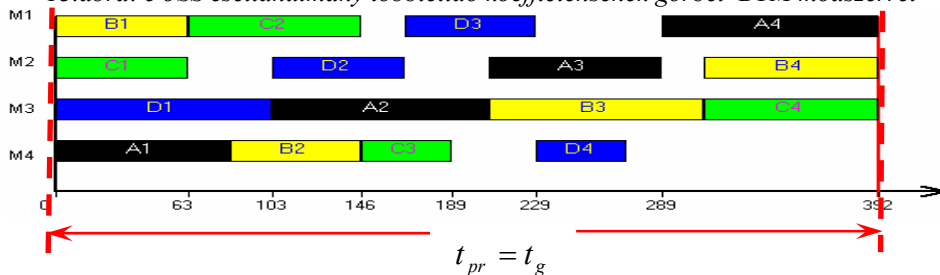
## 2.9 Esettanulmányok

### 2.9.1 JSS esettanulmányok

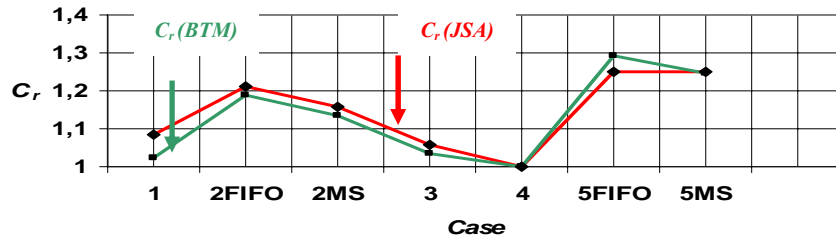
A BTM módszert job-shop rendszerek esettanulmányaiban alkalmaztuk. A termelékenység különböző mértékben (13. ábra) javult egyetlen eset kivételével, ahol a globális minimum egyenlő a gyártási idővel, valamint  $C_r = 1$  (14. ábra). Ebben az esetben a szériafelbontás nem hatékony; nincs szükség JSA és BTM alkalmazására.



13. ábra: 5 JSS esettanulmány többletidő koefficiensének görbéi BTM módszerrel



14. ábra: 4.sz. eset JSS kezdeti ütemtervének Gantt diagramja - FIFO, MS



15.ábra: optimális többletidő együtthatók görbéi JSS esettanulmányokban BTM és JSA módszert alkalmazva. Elvégeztük a BTM és JSA eredmények összehasonlító elemzését. A BTM és JSA módszer alkalmazásával kapott értékek az adott esetekben szinte ugyanazok. A BTM és JSA görbék a 15. ábrán láthatók.

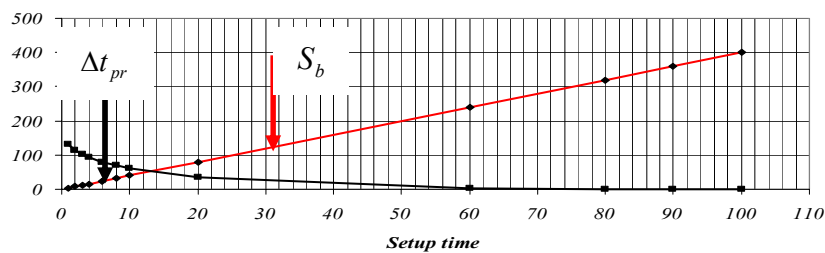
Az eredmények általában kedvezők. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a JSA és BTM hatékony módszer a több gépet/több munkát tartalmazó rugalmas gyártási rendszerek ütemezésében szériafelbontási problémák megoldására job-shop és flow-shop rendszerekben egyaránt.

Az esettanulmányok mérnöki adatbázisait és az összehasonlítások eredményeit a disszertáció 7.2 fejezete tartalmazza.

### 2.9.2 A gépátállítási idők hatása

A termelékenység szériafelbontással történő javítása nagy mértékben függ a gépátállítási idők értékeitől. A gépátállítási idők emelkedésével a javulás mértéke egy bizonyos pontig csökken, ahol nem lehet javulást elérni (ld. 16. ábra).

A gépátállítási idő hatásával a disszertáció 7.4 fejezete foglalkozik.

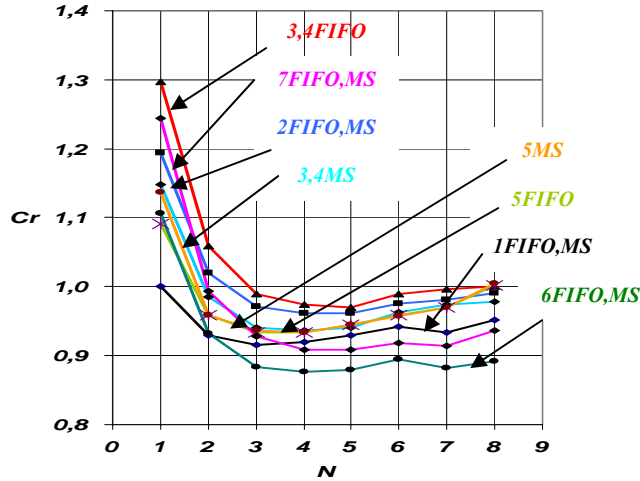


16.ábra: a gépátállítási idő hatása a gyártási időre

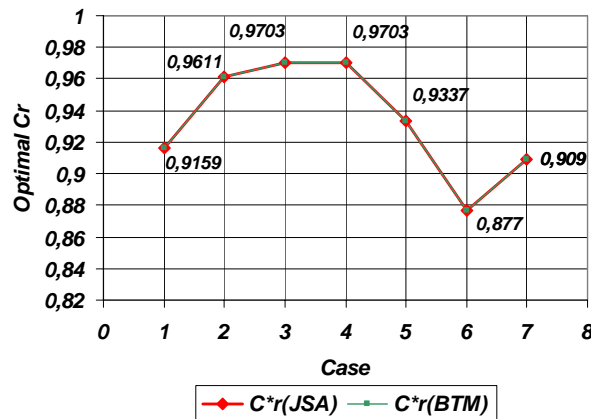
### 2.9.3 FSS esettanulmányok

A BTM módszert flow-shop rendszerek több esettanulmányában alkalmaztuk. A termelékenység különböző mértékben javult (17. ábra). Elvégeztük a BTM és JSA eredmények összehasonlító elemzését. A BTM és JSA módszer alkalmazásával kapott értékek az FSS szériafelbontási problémáinak adott eseteiben megegyeznek. A BTM és JSA görbéi teljesen egybeesnek (18. ábra).

Az esettanulmányok mérnöki adatbázisait és az összehasonlítások eredményeit a disszertáció 7.5 fejezete tartalmazza.



17. ábra: 7 FSS esettanulmány többletidő koeficiensének görbéi a BTM módszerrel



18. ábra: FSS optimális többletidő koeficiens görbéi - BTM és JSA

### 3. Új eredmények (Tézispontok)

A doktori disszertáció új elemei a következő tézispontokban foglalhatók össze:

#### 1. tézis

Új szériaefelbontási stratégiát javasoltam a rugalmas gyártási rendszerek ütemezési problémáinak megoldására job-shop rendszerekben a *gyártási idő globális minimumának referenciaértékként* való használatával és a szűk keresztmetszeti ütemezések módszere alapján. A gyártási idő globális minimumát a szűk keresztmetszetet jelentő gépcsoport gyártásideje határozza meg, ahol maximális a terhelési idő összege és a gépátállítási idők összege (amennyiben ez utóbbit figyelembe vesszük). A cél a hatékony szériaefelbontási stratégiák meghatározása a gyártási idő globális minimális értékének lehető legjobb megközelítésével. Ha létezik legalább egy olyan teljesíthető ütemezés, amelyik megvalósítja a globális minimumot (vagy picivel a fölötti értéket), akkor nem célszerű szériaefelbontást alkalmazni. Egyéb esetben a szériaefelbontás a tétel felbontásnak és az átlapolásos gyártásnak köszönhetően nagyon előnyös, hatékony és kedvező ütemezéseket eredményezhet.

E tézis a (19) pontban lett közzétéve.

#### 2. tézis

Új feltételt javasoltam a job-shop rendszereknél az ütemezések jóságának (minőségének) mérésére a gyártási idő globális minimumértéke, az ún. *többletidő koeficiens* alapján.

A többletidő koeficiens a maximális gyártási időnek és a gyártási rendszer gyártási idejének globális minimumának matematikai arányaként definiáljuk.

Ha a teljesíthető ütemezés többletidő koefficiense 1, akkor az ütemterv ún. *ideális ütemterv*. Ebben az esetben nincs szükség széria felbontásra.

E tézis a (23) pontban lett közzétéve.

### 3. tézis

Új módszert javasoltam a rugalmas gyártási rendszerek ütemezési minőségének javítására job-shop rendszerek esetén, melynek neve *összetolható ütemezések módszere (JSA)*. Ennek célja a több gépcsoportot/több munkát magában foglaló problémákban az altételek optimális számának meghatározása. Az al-batcheket úgy határozzuk meg, hogy a munkákban lévő termékek eredeti számát elosztjuk ugyanazzal a számmal. Felvázoltam a JSA alap gondolatát és eljárásait. A JSA akkor alkalmazható az ütemtervek minőségének javítására, ha a teljesíthető ütemterv összetolható. Ez azt jelenti, hogy a) az ütemezés üresjáratidő nélküli műveleteket tartalmaz a szűk keresztmetszeti gépcsoportra, valamint b) az ütemezéseket egymáshoz mozdítva (összetolva) a műveletek nem fedik át egymást. Az összetolt ütemezések modellként szolgálnak a gyártási idő gépátállítási időket is figyelembe vevő meghatározásához. Ezután optimalizálási eljárással meg lehet határozni az al-batchek optimális számát. Az összefüggések alapján meg lehet kapni a gépátállítási idők hatását. Az összetolhatóság a javasolt *összetolhatósági vizsgálattal ellenőrizhető*. A kutatás során kidolgozott új összefüggések a következők:

$$\text{Az al-batchek optimális száma: } N^* = \sqrt{\frac{I_0}{S_b}} = \sqrt{\frac{\phi_r}{\theta_r}} \quad (1)$$

$$\text{A valós } N^* \text{ egész számú értékei: } N_1^* = \text{Int}(N^*) \text{ és } N_2^* = \text{Int}(N^*) + 1 \quad (2)$$

$$\text{Minimális gyártási idő: } t_{pr}^* = L_b + S_{nb} + 2\sqrt{S_b I_0} \quad (3)$$

$$\text{Optimális többletidő koefficiens: } C_r^* = \beta_r + \varepsilon_r + 2\sqrt{\theta_r \phi_r} \quad (4)$$

Ezekkel az összefüggésekkel meg lehet határozni nagyon fontos mennyiségek optimális értékét, pl. a gépátállítási időt, az al-batchek méretét, a szűk keresztmetszet kihasználását, a hatékony széria felbontás tartományát, a széria felbontás hatékonyságát és az optimális széria felbontási idő diagramját. Ily módon elemezni lehet a gépátállítási idők hatását.

E tézis a (20) pontban lett publikálva.

### 4. tézis

Új széria felbontási stratégiát javasoltam a flow-shop ütemezési problémákra. A flow-shop ütemezési problémák széria felbontása a job-shop problémákhoz hasonlóan kezelhető. A job-shop problémákhoz képest a nagy eltérést a *gyártási idő globális minimumának* meghatározása jelenti. A flow-shop rendszerekben a szűk keresztmetszeti gépcsoportot megelőző és követő műveleteket is figyelembe kell venni.

A *többletidő koefficiens* azonos gondolata használható a flow-shop rendszerekre is. De a lényeg és a paraméterek szignifikánsan eltérnek a job-shop és flow-shop rendszereknél. A flow-shop rendszereknél széria felbontással egynél kisebb lesz a többletidő koefficiens értéke.

Az *összetolt ütemezések módszere (JSA)* egyformán alkalmazható flow-shop problémákra, ha a teljesíthető ütemezések összetolhatók.

E tézis a (21, 22) pontban lett publikálva.

### 5. tézis

E kutatás során javasoltam egy másik módszert is a flow-shop rendszerek és a job-shop rendszerek széria felbontási problémájának megoldására a legnagyobb termelékenységű gyártási idő és a hatékony szállítási megbízhatóság elérése érdekében. Ez a módszer az ún. *felbontás és tesztelés módszere (BTM)*.

Felvázoltam a BTM alap gondolatát és folyamatát. Ez az ütemezési célon és a probléma kiindulási feltételén alapszik. A munkákat szintén azonos számú al-batchre kell felosztani, és a folyamatokat szimulációval lehet meghatározni.

A JSA eljárással összehasonlítva más a BTM alap gondolata, eljárása és tesztelése.



E tézis a (17) pontban lett publikálva.

### ***Irodalom***

1. Conway R.W., W.L. Maxwell, L.W. Miller, 1967. "Theory of Scheduling" Dover Publications, Inc. New York.
2. French S., B.A., M.A., D.Phil., 1982. "Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job-shop" ELLIS HORWOOD Ltd. England.
3. Pinedo M., 2001. "Scheduling Theory, Algorithms, and Systems", 2<sup>nd</sup> Edition, Prentice Hall, New Jersey.
4. T'kindt V., J. Billaut, 2002. "Multicriteria Scheduling, Theory, Models and Algorithms", Springer, New York.
5. Brucker P., 2004. "Scheduling Algorithms" 4<sup>th</sup> Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
6. Pinedo M., 2005. "Planning and Scheduling in Manufacturing and Services" Springer series in Operations Research.
7. Szendrovits A.Z., 1975, "Manufacturing cycle time determination for multi-stage economic production quantity model" Management Science, 22, 3, 298-308.
8. Dauzere-Peres S., J. Bernard Lasserre, 1993 "An Iterative Procedure for Lot Streaming in Job-shop Scheduling" Computer and Industrial Engineering, V. 25, Nos 1-4, pp. 231-234.
9. Dauzere-Peres S., J.-Bernard Lasserre 1997 "Lot Streaming in Job-Shop Scheduling" Operations Research, 4, V. 45, pp. 584-595.
10. Chan F.T.S., T. C. Wong and P.L. Chan, (2004). "Equal Size Lot Streaming to Job shop Scheduling Problem using Genetic Algorithms", proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control, Taiwan.
11. Sarin S. C., P. Jaiprakash, 2007, "Flow Shop Lot Streaming" Springer, Science Business Media, LLC, Virginia, USA.
12. J. R. Perkins and P. R. Kumar, 1989. "Stable, Distributed, Real Time Scheduling of Flexible Manufacturing/ Assembly/ Disassembly Systems" IEEE transaction automatic control, V. 2.
13. J. Somlo, 2001. "Hybrid Dynamical Approach Makes FMS Scheduling More Effective" Periodica Polytechnica Series Mechanical Engineering. V.45, No. 2, pp. 175-200
14. Matveev, A. S., Savkin, A. V., 2000. "Qualitative Theory of Hybrid Dynamical Systems" Birkhauser, pp. 348.
15. J. Somlo, A. V. Savkin, 2006. "Periodic and Transient Switched Server Schedules for FMS" Robotics and Computer-Integrated-Manufacturing, 22, 93-112.
16. J. Somlo, A.V. Savkin, A. Anufriev, T. Koncz, 2004. "Pragmatic Aspects of the Solution of FMS Scheduling Problems Using Hybrid Dynamical Approach" Robotics and Computer-Integrated-Manufacturing 20, 35- 47.

### ***A szerző kapcsolódó publikációi***

17. Kodeekha Ezedeen, 2007 "Brute Force Method for Lot Streaming in FMS Scheduling Problems" Proceedings of 11<sup>th</sup> International Conference INES2007 at June 29 -July 1, pp.:179 – 184 on Intelligent Engineering Systems, , Budapest Hungary.
18. Kodeekha Ezedeen, 2004 "A new method of FMS scheduling using optimization and simulation" Proceedings 16<sup>th</sup> European Simulation Symposium, SCS Press.
19. Janos Somlo and Kodeekha Ezedeen, 2007 "Improving FMS Scheduling by Lot Streaming" Journal of Periodica Polytechnica Series (BUTE), Mechanical Engineering, 51/1, 3-14 Budapest -Hungary.
20. Janos Somlo and Kodeekha Ezedeen, 2007, "Optimal Lot Streaming for a Class of FMS Scheduling Problems-Joinable Schedule Approach-" Proceedings of IFAC International Federation of Automatic Control Symposium CEFIS'07 on October 9-11.Istanbul- Turkey.
21. Janos Somlo and Kodeekha Ezedeen, 2008 "Improvement of FMS Scheduling Efficiency by Optimal Lot Streaming for Flow Shop Problems", Proceedings of 6<sup>th</sup> National Conference ME2008, Faculty of Mechanical Engineering, BME, 29-30 May. Budapest-Hungary.
22. Kodeekha Ezedeen, 2008, "Case Studies for Improving FMS Scheduling by Lot Streaming in Flow-Shop Systems" International Journal of Applied Sciences, Vol. 5, No. 4, pp. 125-143.
23. Janos Somlo and Kodeekha Ezedeen, 2008 "Optimal Lot Streaming for FMS Scheduling of Flow Shop Systems" proceedings of 12<sup>th</sup> International Conference INES2008 Intelligent Engineering Systems, on February 25-29 2008. Miami, USA.