

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
Műszaki Menedzsment gazdálkodástudományi Doktori Iskola

A rugalmas gyártórendszerek egyes aggregált termelés tervezési és költségelemzési problémáinak vizsgálata

Ph.D. értekezés tézisei

Írta:
Juhász Viktor

Tudományos témavezető:
Dr. Koltai Tamás
egyetemi tanár

Budapest, 2006.

Tartalomjegyzék

1. A kutatási feladat tudományos előzményei és célkitűzései	3
2. A kutatás módszere	5
3. Az új tudományos eredmények összefoglalása	6
4. Az eredmények hasznosítása, további kutatási terület.....	12
5. Felhasznált irodalom	13
6. A témához kapcsolódó saját publikációk jegyzéke.....	13
7. Az új tudományos eredmények összefoglalása angol nyelven	15

1. A kutatási feladat tudományos előzményei és célkitűzései

A rugalmas gyártórendszerek többcélú NC illetve CNC gépek csoportja, melyek automatikus anyagtovábbító rendszerrel vannak összekötve. A rugalmas gyártórendszerek irányításának bonyolultsága, többek között, a többcélú gépek által elvégezhető műveletek nagy számából ered. A rugalmas gyártórendszerben lévő CNC gépek többféle műveletet képesek elvégezni újraszámozás, sorozatindítás és rendszerleállítás nélkül. A gyártórendszerben az egyes munkadarabok megmunkálása többféle gépek igénybevételével, többféle alternatív útvonalon is lehetővé válik. A műveletvégző képesség komplexitása miatt a rugalmas gyártórendszerek termelés-szervezése speciális módszereket igényel. Másfelől viszont ami a rendszer komplexitását okozza, a gyártórendszer előnyének forrása. A gyártórendszerben többféle termék gyártása folyhat egyidőben, valamint váratlan gépleállások esetén az alternatív megmunkálási útvonalak lehetővé teszik a folyamatos gyártást.

Theo Williamson 1967-ben egy olyan gyártórendszert vázolt fel, amelyben az egyes megmunkálógépek között automatikus anyagkezelő rendszer segítségével mozognak a munkadarabok. Munkájában (1967) különféle gyártórendszerekkel hasonlította össze a rugalmas gyártórendszert és megmutatta, hogy sikeres gyártási mód mind a termelékenység, mind pedig a rugalmasság terén.

Brown et al. az 1984-es, klasszikusnak számító cikkükben a gyártás különféle rugalmasságtípusai közötti kapcsolatrendszerrel azonosították. A nyolc különféle rugalmasságot a rugalmas gyártórendszerek alapvető előnyeiként jellemezték. Nahmias (1997) a rugalmas gyártórendszerek előnyeit már menedzsment szempontból vizsgálta. A rugalmasság mellett az alacsony gyártásközi készlet, a jobb kapacitáskihasználást, valamint a csökkentett átfutási időt emelte ki.

A rugalmas gyártórendszerek termelés-szervezési problémaköreit Stecke az elsők között azonosította (1983, 1986). Öt különböző problémakört definiált és ezen problémakörök felől közelítette meg a rugalmas gyártórendszerek konfigurálását. Az azonosított problémakör a munkadarab kiválasztási probléma, a gépcsoportosítási probléma, a gyártási arány meghatározása, az erőforrás-allokáció problematikája valamint a töltési (loading) probléma. Suri és Whitney (1984) Stecke öt problémaköre mellé a rugalmas gyártórendszerek ütemezés problémakörét társította.

A rugalmas gyártórendszerek termelés-tervezési és -szervezési feladatainak megoldására sorállási, matematikai programozási és szimulációs modelleket, valamint különféle heurisztikákat használnak. A rugalmas gyártórendszerekre felállított legtöbb kapacitáselemzési modell a gépek kapacitását elemzi a gépekhez rendelt gyártási feladatok tükrében (pl. Wilhelm és Hyung-Myung, 1985). Az ún. művelettípusokon alapuló kapacitáselemzéssel Koltai, Farkas és Stecke (2000) a rugalmas gyártórendszerek ütemezésfüggetlen elemzését tette lehetővé. Az eljárás segítségével a gépek kapacitásainak elemzése helyett az elvégzendő művelettípusok kapacitásigényeit vizsgálták. Mivel az elemzés független attól, hogy az egyes alkatrészek melyik alternatív útvonalon készülnek, a termelés aggregált szintű tervezése a részletesebb termelési ütemterv meghatározása nélkül válik lehetővé. Kutatásaim során ennek a kapacitáselemzési modellnek a fejlesztését valamint további alkalmazási lehetőségének vizsgálatát tűztem ki célul.

A rugalmas gyártórendszerek nagy értékű gépeket tartalmaznak. Az ebben a rendszerben megvalósított gyártás költségeinek pontos kiszámítása a rendszer komplexitása miatt olyan szofisztikált költségkalkulációs eljárást kíván meg, mint a tevékenység alapú költség-számítás. Dhava 1989-es munkájában még a hagyományos, pótlékoló kalkulációt alkalmazta ezekre a rendszerekre. Takakuwa (1997) a rugalmas gyártórendszerben szimulált gyártás költségeit a tevékenység alapú költség-számítás segítségével határozta meg. Koltai et al. 2000-ben

megmutatta, miként kell a rugalmas gyártórendszerek kapcsán felmerült költségeket különféle tevékenységek alapján a termékekhez rendelni.

A művelettípusokon alapuló kapacitáselemzés lehetővé teszi a rugalmas gyártórendszerek útvonalfüggetlen kapacitáselemzését, viszont a modell jellegéből adódóan nagyméretű feladatokat kell megoldani. Kutatásaim során céлом e kapacitáselemzési modell javítása az alábbi három területen:

- A kapacitáselemzési modell algoritmizálhatóságának növelése céljából a gépkapacitáskorlátok vizsgálata és a lehetséges matematikai kifejezési módok azonosítása.
- A modell méretének csökkentése a redundáns művelettípus-halmazok azonosításával.
- További céloom az elv egyéb alkalmazhatóságának feltárása. A gépfelszerszámozás meghatározása mellett az ideális kapacitás túlhasználat illetve kihasználatlanság meghatározása.

A rugalmas gyártórendszerekben gyártott termékek gyártási költségeit eddig a tevékenység alapú költség számítással a legyártási útvonaltól függően határozták meg. Céloom kifejleszteni egy költségkalkulációs eljárást, amellyel ütemezésfüggetlen termékköltség számítható. Az így kiszámított termékköltség a teljes gyártórendszer képességéről adhat költséginformációt, függetlenül a tényleges vagy tervezett legyártási útvonaltól.

2. A kutatás módszere

Az értekezés célkitűzése alapján a kutatásaim két jól elkülöníthető irányra bonthatók (a rugalmas gyártórendszerek kapacitáselemzési modelljének vizsgálata valamint a rugalmas gyártórendszerek költségelemzésére). Ámbár a két terület élesen elkülöníthető, mindkét területen az azonosított problémák jellegét a rugalmas gyártórendszerek egyazon tulajdonságára tudtam visszavezetni, emiatt hasonló matematikai eszközzel oldottam meg azokat.

Időrendileg az első fázist a terület szakirodalmi tanulmányozása, a témához kapcsolódó fogalmak rendezése alkotta. Az irodalomkutatás során a szakirodalmi folyóiratok mellett igénybe vettem az internetes szakirodalmi adatbázisokat is, amely segítségével a szakterület jelentős mennyiségű publikációja vált elérhetővé. A kutatási terület megismerése után körülhatároltam a szűkebb kutatási területet. Ezután a szűkebb kutatási terület szakirodalmi anyagát tártam fel.

Miután a rugalmas gyártórendszerek művelettípusokon alapuló kapacitáselemzését részletesen megismertem, feltártam azt a néhány területet, ahol javítási lehetőséget véltem felfedezni. A kapacitáselemzési modell egyszerűsítése során, a redundáns halmazok kiválasztásánál mátrixelemzést, bináris mátrixok particionálását alkalmaztam. Az ideális kapacitás felül- illetve alulhasználat meghatározásánál modellalkotást alkalmaztam. A szerszámkorlát fejlesztése után matematikai programozási feladatot írtam fel. A modellek elemzésére számítógépes matematikai megoldó szoftvert alkalmaztam. A számítások eredményei, és az elméleti jellegű megállapítások tesztelésére a gyakorlati környezetet hűen reprezentáló szimulációt alkalmaztam. A kapacitáselemzési modellt egy szerszámgyár üzemegységét mintázó szimuláción teszteltem, melyhez egy speciális, gyártásszimulációs szoftvert alkalmaztam.

A rugalmas gyártórendszer kapacitáselemzésénél, többek között az elvégzendő műveletek és a gépek képességei közötti kapcsolatrendszerből ered a rendszer bonyolultsága. A rugalmas gyártórendszerek költségszámításakor, többek között, a gépek költségeit az elvégzett (elvégzendő) műveletnek megfelelően kell a termékek gyártási költségei meghatározásánál figyelembe venni. A modern költségszámítási eljárások áttanulmányozása után a rugalmas gyártórendszerek költségtervezésekor alkalmazandó lehetőségeket tártam fel. Mivel mind a kapacitáselemzésnél, mind pedig a költségallokációnál a műveletek és a gépek közötti kapcsolatrendszer okozta a problémát, a két eltérő diszciplína találkozási pontját véltem felfedezni. A kapacitáselemzés egyszerűsítésénél alkalmazott mátrixelemzési módszert alkalmazni tudtam a költségkalkulációnál is. A gépek összevonásánál feltárt probléma megoldására szakirodalmi kutatást végeztem. A költségkalkulációtól eltérő diszciplínában, a termelésmenedzsment területén találtam egy hasonló probléma megoldására egy módszert, melynek analógiájára kifejlesztettem egy eljárást. A kifejlesztett költségkalkulációs eljárást egy rugalmas gyártórendszer modelljén igazoltam.

A kutatásaim folyamán elért eredmények számos nemzetközi és hazai konferencián, valamint szakmai körökben kerültek megvitatásra. Ámbár két eltérő diszciplínán folytattam a kutatásaimat, de mivel azonosítani tudtam a két terület hasonló elemeit, alkalmazni tudtam az egyik terület eszközét a másik terület problémakörén. Így nem csak az azonosított problémakörök hasonló elemei, de a megoldásukra használt eszközök egy része is kapcsolatot teremtett a két terület között.

3. Az új tudományos eredmények összefoglalása

1. Tézis

A művelettípusokon alapuló kapacitáselemzéssel útvonalfüggetlen kapacitáselemzés végezhető a rugalmas gyártórendszeren. Koltai et al. (2000a) megmutatta, hogy az eljárás folyamán a gépek kapacitásainak elemzése helyett az elvégzendő művelettípusok kapacitásigényeit kell vizsgálni. A művelettípusok kombinációira felső és alsó kapacitáskorlátokat kell meghatározni és az elvégzendő gyártási feladatokból kalkulált művelettípus-követelmények kapacitásigényeit ezekkel a kapacitáskorlátokkal kell összevetni. A kapacitáselemzési modellben szereplő kapacitáskorlátok kifejezésére két eltérő matematikai kifejezőmódot dolgoztam ki.

A művelettípusokon alapuló kapacitáselemzési modellek alsó és felső kapacitáskorlátjai kifejezhetők géphalmazokkal és művelettípushalmazok-halmazával egyaránt. A géphalmazokkal történő kifejezés a kapacitáskorlátok definícióinak művelettípus-halmazonkénti adaptálása. A művelettípushalmazok-halmazai a művelettípusok elemkiválasztásából erednek, így teljesen függetlenek a gépek felszerszámozásától.

Az S_k művelettípus-halmaz felső kapacitáskorlátja a gépek halmazával kifejezve:

$$u_k = \sum_{m \in M_k^n} c_m, \quad k = 1, \dots, K$$

valamint az S_k művelettípus-halmaz alsó kapacitáskorlátja a gépek halmazával kifejezve:

$$l_k = \sum_{m \in M_k^l} c_m, \quad k = 1, \dots, K,$$

ahol

$$m \in M_k' \mid (x_{mk'} = 1) \wedge (S_k \subset S_{k'})$$

$$m \in M_k^n \mid (x_{mk'} = 1) \wedge (S_k \cap S_{k'} \neq \emptyset).$$

A kapacitáskorlátok a művelettípushalmazok-halmazával kifejezve:

$$u_k = \sum_{\{k' \mid S_{k'} \in S_k^n\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot y_{k'm}, \quad k = 1, \dots, K$$

valamint:

$$l_k = \sum_{\{k' \mid S_{k'} \in S_k^l\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot y_{k'm}, \quad k = 1, \dots, K.$$

Jelölések:

CU	= kapacitásegység. [perc]	M_k''	= azon gépeknek a halmaza, amelyek az S_k művelettípus-halmaz művelettípusaiból legalább egyet el képesek végezni.
u_k	= S_k művelettípus-halmaz felső kapacitáskorlátja. [CU]	y_{km}	= bináris változó, értéke 1, ha m gép S_k műveleteihez van felszerszámozva, máskülönben az értéke 0.
l_k	= S_k művelettípus-halmaz alsó kapacitáskorlátja. [CU]	S_k'	= azon művelettípus-halmazok halmaza, amelyek kizárólag az S_k művelettípus-halmaz elemeit tartalmazzák.
c_m	= m gép kapacitása. [CU]	S_k''	= az összes olyan művelettípus-halmaz halmaza, amelyik tartalmaz elemet az S_k halmazból.
K	= művelettípus-halmazok száma. [db]		
M_k'	= azon gépeknek a halmaza, amelyek kizárólag az S_k művelettípus-halmaz művelettípusait képesek elvégezni.		

A két különböző képpen kifejezett kapacitáskorlát ugyanazt jelöli, használatukkal ugyanarra az eredményre lehet jutni. A művelettípushalmaz-halmazok használata bonyolultabb, viszont gép-független és éppen emiatt szerszám kiosztás-független. Ennek akkor van jelentősége, amikor olyan modellt építünk fel, amelynél a szerszám kiosztás döntési változó. A gép-halmazokon alapuló kapacitáskorlát-kifejezések esetén a halmaz szerkezete döntési változótól függő, emiatt ebben az esetben a modell felépítése és megoldása bonyolulttá válik, a korlátozó feltételek száma jelentősen megnövekszik. Míg az előbbi kifejezőmódot a gépfelszerszámozás meghatározására érdemes alkalmazni, addig az utóbbit a kapacitáselemzésnél.

2. Tézis

A művelettípus alapú kapacitáselemzés alkalmazásakor a rugalmas gyártórendszer gépei és az elvégzendő művelettípusok kapcsolatrendszere miatt az összes művelettípus-halmaz kombinációt vizsgálni kell. A kapcsolatrendszer felépítésétől függően, bizonyos művelettípus-halmazok redundánsak lehetnek. Kidolgoztam egy eljárást, mellyel kiválaszthatók ezek a redundáns halmazok.

Amennyiben egy művelettípus-halmaz művelettípusai és a gépek közötti kapcsolatrendszer elkülönülő részekre bontható, akkor a művelettípus-halmaz redundáns halmaz. Ezek a redundáns halmazok nem hordoznak több információt a rendszerről, mint a független részek halmazai és azok részhalmazai, emiatt kihagyhatók mind a kapacitáselemzési modellből, mind pedig a modell érzékenységvizsgálatából.

Az \underline{A}_k bináris mátrix jelölje az S_k művelettípus-halmaz és a rugalmas gyártórendszer gépei közötti kapcsolatrendszert. Amennyiben az S_k művelettípus-halmazra felírt \underline{A}_k bináris mátrix elemei független diagonálblokkokra bonthatók, akkor az S_k művelettípus-halmaz redundáns. Az \underline{A}_k bináris mátrix elemei akkor csoportosíthatók független diagonálblokkokba, amennyiben teljesül a következő matematikai feltétel:

$$S_k, k \mid ot_i \in (S_k \cap D_n) \wedge ot_j \in (S_k \cap D_v)$$

$$\text{ahol: } \begin{matrix} n \neq v & n, v \in 1, \dots, m \\ i \neq j & i, j \in 1, \dots, H \end{matrix}$$

Jelölések:

S_k = művelettípus-halmaz.

D_l = \underline{A}_{S_k} mátrix elemeiből felépülő független diagonálblokk.

\underline{A}_{S_k} = a gépek és az S_k művelettípus-halmaz műveleteinek kapcsolatát reprezentáló bináris mátrix.

ot_h = h művelettípus.

m = független diagonálblokkok száma. [db]

H = művelettípusok száma. [db]

A redundáns művelettípus-halmazok kiválasztásával egyrészt a kapacitáselemzési modell kapacitáskorlátjainak száma csökkenthető jelentősen, ezáltal nagyobb modell válik megoldhatóvá, másrészt pedig a modellen végzett művelettípus- illetve gépkapacitás-érzékenységvizsgálat egyszerűsíthető le, ezáltal átláthatóbbá válnak a döntéshez szükséges információk.

3. Tézis

A művelettípusok elemzése a gépek ideális felszerszámozásának meghatározására is felhasználható. Ekkor egy adott gyártási igényhez a felhasználható szerszámkészlet korlátja mellett a menedzsmentprioritásnak leginkább megfelelő gépfelszerszámozás határozható meg.

A modell szerszámkorlát-feltétele az igénybe vehető szerszámok számát korlátozza felülről. Az o_j művelethez felhasználásra kerülő szerszámok száma a megmunkálási igény mennyiségétől, a szerszámok élettartalmától és a gépek számától függ. A p_j műveleti igény teljesítéséhez

$\left\lceil \frac{p_j}{TT_j} \right\rceil$ darab TT_j élettartalmú szerszámot kell felhasználni. Mivel több gép,

akár egyidőben is végezheti az o_j műveletet, emiatt minden ilyen géphez kell egy szerszámot rendelni. Mivel az időszak alatt a gépek felszerszámozása nem változhat meg, az o_j művelet elvégezni képes gépek számát a szerszámok élettartalmából számított szerszámmennyiségen felül kell számításba venni.

A vizsgált időtartam tervezésekor az o_j művelethez felhasználásra kerülő szerszámok száma az alábbi kifejezéssel korlátozható:

$$\sum_{\{k|ot_h \in S_k \wedge o_j \in ot_h\}} \sum_{m=1}^M [c_m] \cdot x_{km} - 1 + \left\lceil \frac{p_j}{TT_j} \right\rceil \leq n_j, j = 1, \dots, J.$$

Jelölések:

CU	= kapacitásegység. [perc]	n_j	= o_j művelethez rendelkezésre álló szerszámmennyiség. [db]
c_m	= m gép kapacitása. [CU]	J	= műveletek száma. [db]
o_j	= j művelet.	x_{km}	= bináris változó, értéke 1, ha m gép S_k műveleteihez van felszerszámozva, máskülönben az értéke 0, döntési változó.
ot_h	= h művelettípus.		
S_k	= művelettípus-halmaz.		
p_j	= j művelet összes gyártási igénye. [perc]		
TT_j	= o_j művelet szerszámának várható élettartalma. [perc/db]		

A művelettípusok elemzésével egy adott termelési igényhez meghatározható a menedzsment prioritásának megfelelő szerszám kiosztás mellett a szükséges túlóra és kapacitáskihasználatlanság mértéke is. Az ideális kapacitás felül- illetve alulhasználat, valamint a gépek felszerszámozásának meghatározására az alábbi modellt állítottam fel:

$$\text{MIN}[\gamma \cdot \alpha + (1 - \gamma) \cdot \beta]$$

feltéve, ha

$$\sum_{k=1}^K x_{km} \leq 1, m = 1, \dots, M$$

$$(1 + \beta) \cdot \sum_{\{k|S_k \in S_k^i\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot x_{k'm} \geq ps_k, k = 1, \dots, K$$

$$(1 - \alpha) \cdot \sum_{\{k|S_k \in S_k^r\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot x_{k'm} \leq ps_k, k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{\{k|ot_h \in S_k \wedge o_j \in ot_h\}} \sum_{m=1}^M [c_m] \cdot x_{km} - 1 + \left\lceil \frac{p_j}{TT_j} \right\rceil \leq n_j, j = 1, \dots, J.$$

Jelölések:

x_{km}	= bináris változó, értéke 1, ha m gép S_k műveleteihez van felszerszámozva, máskülönben az értéke 0, döntési változó.	γ	= kapacitás alulhasználat súlyszáma, célfüggvény-együttható.
		CU	= kapacitásegység. [perc]

c_m	= m gép kapacitása. [CU]	S_k	= művelettípus-halmaz.
α	= megengedhető mértékű kapacitás alulhasználat, döntési változó.	p_j	= j művelet összes gyártási igénye. [perc]
β	= megengedhető mértékű kapacitás túlhasználat, döntési változó.	TT_j	= o_j művelet szerszámának várható élettartalma. [perc/db]
ps_k	= S_k művelettípus-halmaz kapacitáskövetelménye. [CU]	n_j	= o_j művelethez rendelkezésre álló szerszámmennyiség. [db]
o_j	= j művelet.	M	= gépek száma. [db]
ot_h	= h művelettípus.	K	= művelettípus-halmazok száma. [db]
		J	= műveletek száma. [db]

4. Tézis

A rugalmas gyártórendszerben gyártandó termékek többféle útvonalon gyárthatók, ezért a kiszámolt termékköltségek a leggyártási útvonaltól függenek, illetve a becsült termékköltséghez nagyfokú bizonytalanság párosul. E probléma kezelésére kidolgoztam egy költségallokációs eljárást.

Az olyan rendszereknél, ahol

- az egyes tevékenységeket több erőforrás is el tudja végezni,
- a tevékenység-erőforrás allokáció a tervezés folyamán többször módosulhat, valamint
- a tevékenységet az erőforrások hasonló műveleti idő alatt képesek elvégezni,

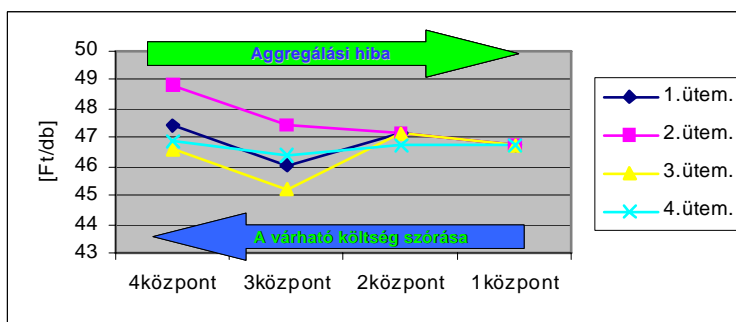
a tevékenységhez rendelt költségek számításakor az erőforrásokat, szemben a korábbi, elkülönült alapokat javasolom nézetekkel, közös költségközpontba javasolom aggregálni, amely meghatározásához egy eljárást dolgoztam ki.

Az aggregált költségközpontokat a tevékenység-erőforrás kapcsolatrendszer alapján kell meghatározni. Ha az \underline{A} bináris mátrix az erőforrások tevékenységvégző képességét reprezentálja, akkor a mátrix elemeinek particionálhatóságát kell elemezni. Ha az \underline{A} mátrix elemei független diagonálblokkokba csoportosíthatók, akkor a független diagonálblokkok erőforrásait egyetlen költségközpontba javasolom csoportosítani. A tevékenységek költségeit az aggregált költségalapokra meghatározott költségrátákkal kell kiszámítani.

Amennyiben az elvégzendő tevékenységek között vannak olyan tevékenységek, amelyeket kizárólag egy erőforrás képes elvégezni, akkor ennek a tevékenységnek a költségét, az erőforrásokat egyéni költségközpontoknak tekintve, az erőforrásokra felállított egyéni költségrátával kell számolni.

Az erőforrások aggregálásával az aggregálási hibát vállalom fel a kiszámolt költségek stabilizálása érdekében. Az aggregálási hiba megnövekszik, a tevékenységköltség szórása pedig lecsökken. (Az értekezés 4.3.2. fejezetéből vett, 1. ábra szemlélteti az összefüggést.) Az egyértelmű költségkapcsolatokkal rendelkező tevékenységek elkülönítésével az aggregálási hiba növekedése nélkül csökkentem a szórás. Ezzel a módszerrel kihasználom a tevékenység-erőforrás kapcsolatrendszerben rejlő lehetőséget a szórás csökkentésére.

Amennyiben az egyértelmű költségkapcsolatokkal rendelkező tevékenységeket erőforrásonkénti költségrátával, majd pedig ezután a többi tevékenység költségét az aggregált költségközpontok rátáival számolom ki, akkor az egyértelmű költségkapcsolatokkal rendelkező tevékenységek költségei a bizonytalanság növekedése nélkül lesznek pontosabbak, a többi tevékenység költségének pontossága, pedig várhatóan nem romlik.



1. ábra. Az aggregálási hiba és a várható költség szórása (az értekezés 4.3.2. fejezetéből)

Az aggregált költségalapokkal számolt tevékenység- és termékköltségek érzéketlenek lesznek a tevékenység-erőforrás allokáció megváltozásaira, így lehetővé válik az ütemezésfüggetlen termékköltség-számítás.

5. Tézis

A rugalmas erőforrás-felhasználású rendszerek gyártási költségeinek tervezéséhez az erőforrások aggregálásán alapuló költség-számítás alkalmazásakor, a tevékenység-erőforrás kapcsolatrendszer reprezentáló bináris mátrix független diagonálblokkokra bontását kell vizsgálni. Kidolgoztam egy eljárást, mellyel a mátrix megfelelő blokkosítása határozható meg. Amennyiben nem teljesül a diagonálblokkok függetlensége, akkor a blokkosítás hatékonyságát mérő mutatómmal eldönthető, hogy több kisebb, vagy egy nagyobb blokkot alkalmazzunk.

A rugalmas gyártórendszerek gyártási költségeinek tervezéséhez az erőforrások aggregálásán alapuló költség-számítás alkalmazásakor a megfelelő blokkosítás meghatározásához az erőforrások szétszandó költségeit és a tevékenységek műveleti idejeit egyaránt figyelembe vevő mutatószámot kell használni. A blokkokon belüli használatot mérő η_1 segédmutató a következő:

$$\eta_1 = \frac{\sum_{r=1}^h \sum_{i=M_{r-1}+1}^{M_r} \sum_{j=N_{r-1}+1}^{N_r} t_{ij} \cdot \frac{C'_j}{Cap'_j}}{\sum_{l=1}^R C'_l \cdot \sum_{p=1}^h (M_p - M_{p-1}) \cdot (N_p - N_{p-1})}$$

A blokkokon kívüli használat mértékét az η_2 segédmutató méri:

$$\eta_2 = \frac{\sum_{r=1}^h \sum_{i=1, \dots, M_{r-1}; M_r+1, \dots, T} \sum_{j=1, \dots, N_{r-1}; N_r+1, \dots, R} t_{ij} \cdot \frac{C'_j}{Cap'_j}}{\sum_{l=1}^R C'_l \cdot \left(T \cdot R - \sum_{p=1}^h (M_p - M_{p-1}) \cdot (N_p - N_{p-1}) \right)}$$

Ekkor a blokkosítás hatékonyságát mérő mutatószám (η):

$$\eta = \eta_1 - \eta_2$$

Jelölések:

η	= blokkosítás hatékonysága.	C'_j	= j gép szétosztandó költsége az egyértelmű tevékenységek költségeinek levonása után. [Ft]
η_1	= blokkon belül elhelyezkedő 1-es elemek aránya.	Cap'_j	= j gép kapacitása az egyértelmű tevékenységek műveleti idejeinek levonása után. [perc]
η_2	= blokkon kívül elhelyezkedő 1-es elemek aránya.	t_{ij}	= i tevékenység műveleti ideje a j gépen. [perc]
h	= diagonálblokkok száma. [db]	R	= gépek száma. [db]
M_r	= r -edik blokk utolsó elemének abszcissza értéke. ($M_0 = 0$)	T	= tevékenységek száma. [db]
N_r	= r -edik blokk utolsó elemének ordináta értéke. ($N_0 = 0$)		

A költségközpontok erőforrásainak meghatározásakor azt a blokkosítást érdemes felhasználni, amelyiknél a kiszámolt η mutató nagyobb értéket vesz fel.

4. Az eredmények hasznosítása, további kutatási terület

Napjainkban egyre inkább megfigyelhető, hogy a növekvő termékválaszték, valamint a termékek életciklusának rövidülése a termékek változatosságának növekedését eredményezi a sorozatban gyártott termékek esetén is. Ennek hatása a gépgyártás területén is jelentkezik. A bővülő termékválaszték, a termékek változatosságának növekedése a közepes sorozatnagyságú gyártás iránti igény növekedését eredményezi. Ennek, valamint az automatikus megmunkáló rendszerek erőteljes elterjedésének hatására a rugalmas gyártórendszerek felhasználási köre egyre inkább növekszik.

A rugalmas gyártórendszerek átgondoltabb szervezése kívánatos mind a nagy értékű gyártórendszer minél jobb kapacitáskihasználása céljából, mind pedig a gyártórendszer rugalmasságában rejlő lehetőségek minél jobb kiaknázása céljából. A művelettípusokon alapuló kapacitáselemzéssel útvonalfüggetlen kapacitáselemzés végezhető. Az útvonalfüggetlen tervezés lehetővé teszi, hogy bizonyos termelésmenedzsment döntések a részletes termelésütemezés nélküli is meghozatók legyenek, időt takarítva a gyorsabb döntésekkel.

A disszertációmban javasolt megállapítások a művelettípusokon alapuló kapacitáselemzés használatát könnyítik, átláthatóságát növelik, ezáltal segítve elő a módszer alkalmazhatóságát. Mind a kapacitáselemzés, mind annak érzékenységvizsgálatakor nagyobb modell válik elemezhetővé.

A globalizáció eredményeként a piacok nyitottá váltak, a vállalatok versenye éleződött. A költségek csökkentése a vállalatok versenyképességének egyre jelentősebb tényezőjévé vált. Az olyan nagy értékű gyártórendszerben, mint a rugalmas gyártórendszer, alapvető feladat a gyártási költségek pontos és releváns számítása mind az utólagos önköltségszámításnál, mind pedig a költségek tervezése területén. A rugalmas gyártórendszerek gyártási költségének tervezése javítható a disszertációmban javasolt költségkalkulációs eljárással. Alkalmazásával a gyártórendszer rugalmasságából adódó változékonyság válik kezelhetővé a költségek tervezésekor.

A bemutatott költségkalkulációs eljárás egyes pontjainak továbbfejlesztése a jövőbeli kutatások feladata. A disszertációmban ismertetett csoportosítás hatékonyságát mérő mutató alkalmazásakor két különböző csoportosítás vethető össze és dönthető el, hogy melyiket érdemes alkalmazni a költségallokáció folyamán. További kutatási lehetőségnek mutatkozik egy olyan mátrixelem csoportosítási algoritmus kidolgozása, amely figyelembe veszi a csoportosítás hatékonyságát mérő mutató szempontrendszerét. Az algoritmus a mátrix elemeit oly módon csoportosítja, hogy a gépek költségeit valamint az egyes tevékenységek relatív műveleti idejeit is figyelembe veszi, ezáltal az algoritmus eredményeként már egy optimális csoportosítást kapunk.

5. A tézisfűzetben felhasznált irodalom

- Brown, J., Dubois, D., Rathmil, K., Sethi, S., Stecke, K. (1984) **Type of flexibility and classification of flexible manufacturing systems.** WP 367. Graduate School of Business Administration. University of Michigan.
- Chandrasekharan, M.P., Rajagopalan, R. (1986) **An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing.** International Journal of Production Research, Vol.24., pp.451-464.
- Dhave, D.G. (1989) **Product Costing in Flexible Manufacturing Systems.** Journal of Management Accounting Research, Vol.1, pp.66-88.
- Koltai T., Farkas, A., and Stecke, E. (2000a) **An aggregate capacity analysis model for a flexible manufacturing environment.** Japan-USA Symposium on Flexible Automation 2000, Ann Arbor, MI, USA, July 23-29.
- Koltai T., Lozano, S., Guerrero, F., Onieva, L. (2000b) **A Flexible Costing System for Flexible manufacturing Systems Using Activity Based Costing.** International Journal of Production Research, pp.1615-1630.
- Koltai T., Stecke, K., Juhász V. (2004) **Planning of Flexibility of Flexible Manufacturing Systems.** Japan-USA Symposium on Flexible Automation 2004, Denver, Colorado, USA, pp.1-8.
- Nahmias, S. (1997) **Production and Operations Analysis.** 3. edition. Irwin. Chicago.
- Stecke, K.E. (1983) **Formulation and Solution of Nonlinear Integer Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems.** Management Science, Vol.29, No.3, pp.273-288.
- Stecke, K.E. (1986) **A Hierarchical Approach to Solving machine Grouping and Loading Problems of Flexible Manufacturing Systems.** European Journal of Operation Research, Vol.24, pp.369-378.
- Suri, R., Whitney, C.K. (1984) **Decision Support Requirements in Flexible Manufacturing.** Journal of Manufacturing Systems, Vol.3, pp.61-69.
- Takakuwa, S. (1997) **The Use of Simulation in Activity-Based Costing for Flexible manufacturing Systems.** Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. Eds.: Andradottir, S, Healy, K.J., Withers, D.H. and Nelson, B.L., pp.793-800.
- Wilhelm, W.E., Hyung-Myung Shin (1985) **Effectiveness of Alternate Operations in a Flexible Manufacturing System.** International Journal of Production Research, Vol. 23, pp. 65-79.
- Williamson, D.T.N. (1967) **System 24 – A New Concept of Manufacture.** Proceedings of the Eighth International Machine Tool and Design Conference. Pergamon Press. pp.327-376.

6. A témához kapcsolódó saját publikációk jegyzéke

Magyarországon megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

1. Sebestyén Z., Juhász V., „The Impact of Cost of Unused Capacity on Production Planning of Flexible Manufacturing Systems”, *Periodica Polytechnica*, Vol. 11, No. 2, pp. 185-200, 2003. L

Nemzetközi konferenciakiadványban megjelent idegen nyelvű előadás

2. Juhász V., Koltai T., „Measuring the Efficiency of Overhead Cost Pooling”, *MicroCAD 2005 International Scientific Conference*, Miskolc, 2005., pp. 135-140.
3. Koltai T., Juhász V., Stecke, K., „Planning of Flexibility of Flexible Manufacturing Systems”, *Japan-USA Symposium on Flexible Automation 2004*, Denver, Colorado, USA, 2004. július 19-21., pp. 1-8. L
4. Koltai T., Juhász V., Stecke, K. E., „A New Formulation of Capacity Constraints in the Production Planning of Flexible Manufacturing Systems”, *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Toronto, Canada, 2004 július 12-14., pp. 775-782. L

5. Sebestyén Z., Koltai T., Juhász V., „Operations Management Decisions in FMSs Based on the Cost of Unused Capacity”, *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Toronto, Canada, 2004. július 12-14., pp. 832-839. L
6. Juhász V., Koltai T., „Some Practical Issues of the Capacity Analysis of Flexible Manufacturing Systems”, *MicroCAD 2004 International Scientific Conference*, Miskolc, 2004. március 18-19. , pp. 91-96.
7. Juhász V., „A Possible Cost Allocation Model for Flexible Manufacturing Systems”, *3rd International Conference for Young Researchers*, Gödöllő, 2004. szeptember 28-29., pp. 287-294. L
8. Juhász V., „Examination of the Relationship Between Aggregate Production Planning and Production Scheduling in FMSs”, *4th International Conference of PhD Students*, Miskolc, 2003, pp. 77-82.
9. Koltai T., Juhász V., „Some practical issues of the capacity analysis of FMS based on the concept of operation types”, *MicroCAD 2003 International Scientific Conference*, Miskolc, 2003. március 6-7., pp. 84-89.
10. Koltai T., Sebestyén Z., Juhász V., „Production scheduling of a part manufacturing process based on the concept of operation types”, *MicroCAD 2001 International Scientific Conference. Management Section*, Miskolc, 2001. március 1-2., pp. 99.-104.

Magyar nyelvű folyóiratcikk

11. Juhász V., „Rugalmas erőforrások költségallokációja aggregált költségalapokkal”, *Műhelytanulmányok*, 3 évf., 61-70 o., 2004. L

Magyar nyelvű konferenciaelőadás

12. Juhász V., „A rugalmas gyártórendszerek művelettípuson alapuló kapacitáselemzésének egyszerűsítése”, *Pro Scientia Aranyermesek VI. Konferenciája*, Miskolc, 2003. november 28-30., 77-83 o., (www.psat.hu) E

Nem publikációértékű munkák

Tudományos Diákköri Konferencia

13. Juhász V., „Egy aggregált kapacitáselemzési módszer rugalmas gyártórendszerekre”, *Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Közgazdaságtan Szekció, Szeged, I.díj, 2001. valamint Tudományos Diákköri Konferencia, Menedzsment Szekció, Budapesti Műszaki és gazdaságtudományi Egyetem, Gazdaság és Társadalomtudományi Kar, Budapest, I.díj, 2000.*
14. Juhász V., „Rugalmas gyártórendszerek termelésprogramozásának vizsgálata különböző menedzsmentprioritások esetén”, *Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Közgazdaságtan Szekció, Gyöngyös, I.díj, 2003. valamint Tudományos Diákköri Konferencia, Menedzsment Szekció, Budapesti Műszaki és gazdaságtudományi Egyetem, Gazdaság és Társadalomtudományi Kar, Budapest, I.díj, 2001.*

Csak szóban elhangzott előadás

15. Koltai T., Juhász V., „Computational problems of the operation type based aggregation in flexible manufacturing systems”, *Veszprém Optimization Conference: Advanced Algorithms (VOCAL)*, Veszprém, Hungary, 2004. december 13-15.

7. Az új tudományos eredmények összefoglalása angol nyelven (Theses)

Thesis 1

Route-independent capacity analysis can be carried out on flexible manufacturing systems by capacity analysis based on operation types. Koltai et al. (2000a) pointed out that instead of analysing the capacity of machines during the procedure, the required capacity of the operation types have to be studied. Upper and lower bounds of capacity should be defined for the combination of the operation types and the required capacity of the operation type requirements calculated from the manufacturing functions have to be compared with these bounds. For the expression of bounds in the capacity analysis model I worked out two different mathematical expressions.

The upper and lower bounds of capacity analysis models based on operation types can be expressed by machine-sets as well as sets of operation type sets. Expression by machine-sets is an operation-type-set adaptation of the capacity bound definitions. The sets of operation type sets result from the unit selection of operation types thus are completely independent from the tooling of the machines.

The upper bound of the S_k operation type set expressed by the machine set is:

$$u_k = \sum_{m \in M'_k} c_m, \quad k = 1, \dots, K$$

and the lower bound of the S_k operation type set expressed by the machine set is:

$$l_k = \sum_{m \in M''_k} c_m, \quad k = 1, \dots, K,$$

provided

$$m \in M'_k \mid (x_{mk'} = 1) \wedge (S_k \subset S_{k'})$$

$$m \in M''_k \mid (x_{mk'} = 1) \wedge (S_k \cap S_{k'} \neq \emptyset).$$

The bounds expressed by the sets of operation type sets is:

$$u_k = \sum_{\{k' \mid S_{k'} \in S''_k\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot y_{k'm}, \quad k = 1, \dots, K$$

and:

$$l_k = \sum_{\{k' \mid S_{k'} \in S'_k\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot y_{k'm}, \quad k = 1, \dots, K.$$

Where:

CU = capacity unit. [min]

u_k = upper capacity bound of operation type k .
[CU]

l_k = lower capacity bound of operation type k .
[CU]

c_m = capacity of machine m . [CU]

K = number of operation type sets. [pcs]

M'_k = sets of machines that can perform only operation types of operation type set k .

M''_k = sets of machines that can perform any operation type of operation type set k .

y_{km} = binary variable, whose value is equal to 1, if operation type set k is assigned to machine m , otherwise 0.

S'_k = sets of operation type sets that contains only elements of operation type set k .

S''_k = sets of all operation type sets that contains any element of operation type set k .

The two differently expressed bounds mean the same; the same result can be reached with them. The use of sets of operation type sets is more complicated. However, it is independent from machines, consequently independent from tooling. This is important when we build a model where the tooling is a decision variable. In case of bound expressions based

on machine sets the structure of the set depends on the decision variable, as a result of which the structure and solution of the model becomes complicated and the number of constraints increases remarkably. The former mode is advised to use for the determination of machine tooling, whereas the latter one for capacity analysis.

Thesis 2

When applying the capacity analysis based on operation types, all the operation type set combinations should be studied due to the machines of the flexible manufacturing system and the relation network of the operation types to be carried out. Depending on the structure of the relation network, certain operation type sets can be redundant. I worked out a method by which these redundant sets can be selected.

Providing the relation between the operation types of the operation type set and the machines can be broken down into distinct parts, the operation type set is a redundant set. These redundant sets do not carry more information on the system, than those of the independent parts and their partial sets; therefore can be omitted both from the capacity analysis model and the sensitivity examination of the model.

The binary matrix \underline{A}_k should stand for the relation network between the S_k operation type set and the machines of the flexible manufacturing system. Providing the units of the binary matrix \underline{A}_k for the S_k operation type set can be broken down to independent diagonal blocks, the S_k operation type set is redundant. The units of the binary matrix \underline{A}_k can be arranged into independent diagonal blocks if the following mathematical condition is realised:

$$S_k, k \mid ot_i \in (S_k \cap D_n) \wedge ot_j \in (S_k \cap D_v)$$

$$\text{provided: } \begin{matrix} n \neq v & n, v \in 1, \dots, m \\ i \neq j & i, j \in 1, \dots, H \end{matrix}$$

Where:

- S_k = operation type set k .
- D_l = independent diagonal blocs built from elements of \underline{A}_{S_k} matrix.
- \underline{A}_{S_k} = binary matrix that represents the relation between the machines and operation types of operation type set k .
- ot_h = operation type h .
- m = number of independent diagonal blocks. [pcs]
- H = number of operation type sets. [pcs]

Filtering out the redundant operation type sets, on the one hand, significantly reduces the number of bounds of the capacity analysis model, thus allowing a bigger model to be solved, on the other hand, simplifies the operation type- and machine capacity sensitivity analysis of the model, making the necessary information clearer.

Thesis 3

The analysis of operation types can be used for the determination of the ideal machine tooling, too. With it not only the bound of the available tooling for a given manufacturing demand can be determined, but also the machine tooling most suitable for the management priority.

The tooling condition of the model is an upper limit to the number of the possible tooling. The number of tools used for the o_j operation depends on the degree of the machining demands, the life span of the tools and the number of the machines. To accomplish the p_j

operation demand $\left\lceil \frac{p_j}{TT_j} \right\rceil$ pieces of TT_j life span tools should be used. As several machines

can simultaneously do the o_j operation, to every such machine a tool should be assigned. Since the tooling of the machines during this time cannot change, the number of machines capable of carrying out the o_j operation should be allowed for in addition to the quantity of tools calculated from the life span of the tools.

When planning the studied duration, the number of tools used for the o_j operation can be restricted with the following expression:

$$\sum_{\{k|ot_h \in S_k \wedge o_j \in ot_h\}} \sum_{m=1}^M [c_m] \cdot x_{km} - 1 + \left\lceil \frac{p_j}{TT_j} \right\rceil \leq n_j, j = 1, \dots, J.$$

Where:

CU	= capacity unit. [min]	TT_j	= expected life-time of tool of o_j operation. [min/pcs]
c_m	= capacity of machine m . [CU]	n_j	= number of available tools for o_j operation. [pcs]
o_j	= operation j .	J	= number of operations. [pcs]
ot_h	= operation type h .	x_{km}	= binary decision variable, whose value is equal to 1, if operation type set k is assigned to machine m , otherwise 0.
S_k	= operation type set k .		
p_j	= total production demand of operation j . [min]		

With the analysis of operation types, apart from the tooling suitable for the management priority, the degree of overtime and capacity under utilization can also be defined for a given production demand. I made the following model for defining the ideal capacity over- and under-utilization and the tooling of the machines:

$$\text{MIN}[\gamma \cdot \alpha + (1 - \gamma) \cdot \beta]$$

provided

$$\sum_{k=1}^K x_{km} \leq 1, m = 1, \dots, M$$

$$(1 + \beta) \cdot \sum_{\{k|S_k \in S_k^o\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot x_{k'm} \geq ps_k, k = 1, \dots, K$$

$$(1 - \alpha) \cdot \sum_{\{k|S_k \in S_k^u\}} \sum_{m=1}^M c_m \cdot x_{k'm} \leq ps_k, k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{\{k|ot_h \in S_k \wedge o_j \in ot_h\}} \sum_{m=1}^M [c_m] \cdot x_{km} - 1 + \left\lceil \frac{p_j}{TT_j} \right\rceil \leq n_j, j = 1, \dots, J.$$

Where:

x_{km}	= binary decision variable, whose value is equal to 1, if operation type set k is assigned to machine m , otherwise 0.	β	= acceptable rate of capacity over utilization, decision variable.
γ	= weight of capacity under utilization.	ps_k	= capacity demand of k operation type set. [CU]
CU	= capacity unit. [min]	o_j	= operation j .
c_m	= capacity of machine m . [CU]	ot_h	= operation type h .
α	= acceptable rate of capacity under utilization, decision variable.	S_k	= operation type set k .

p_j	= total production demand of operation j . [min]	M	= number of machines. [pcs]
TT_j	= expected life-time of tool of o_j operation. [min/pcs]	K	= number of operation type stes. [pcs]
n_j	= number of available tools for o_j operation. [pcs]	J	= number of operations. [pcs]

Thesis 4

Products to be manufactured in flexible manufacturing systems can be manufactured in various routes, therefore the calculated product costs depends on the manufacturing route and also a gross uncertainty couples with the estimated product costs. To eliminate this problem I developed a cost allocation procedure.

In systems where

- activities can be performed by more than one resource,
- the activity-resource allocation can change during the planning phase, and
- the activity can be performed by the resources in similar length of operation time,

when calculating the costs assigned to the activity, I suggest aggregating the resources into a common cost centre as opposed to the former approach, which suggested separated pools. I elaborated a procedure to define it.

The aggregated cost centres should be determined according to the activity-resource relation network. Provided binary matrix \underline{A} represents the facility of the resources to perform activity, then the partition properties of the matrix units should be studied. If the units of matrix \underline{A} can be broken down to independent diagonal blocks, I suggest arranging the resources of the independent diagonal blocks into single cost centres. The costs of the activities have to be calculated by specific cost rates determined for cost-pools.

If some of the activities can only be done exclusively by one resource, then I suggest - taking the resources as particular cost centres - calculating the cost of this activity by a particular cost-rate set up for the resources.

By aggregating the resources, I take on the aggregation error for the sake of stabilizing costs. The aggregation error increases, while the deviation of the activity cost decreases. I separate the activities with explicit cost relations and without raising the aggregation error I can decrease deviation. With this method I can make use of the possibility in the activity-resource relation network to reduce deviation.

If I calculate the activities with explicit cost relations with a per resource cost-rate, then the costs of the other activities with the rates of the aggregated cost-centres, then the costs of activities with explicit cost relations will be more accurate without any rising uncertainty, and the accuracy of the other activities are not expected to deteriorate.

The activity- and product-costs calculated with aggregated cost-pools will be insensitive to the changes of the activity-resource allocation, allowing a scheduling-independent product-cost calculation.

Thesis 5

For planning the manufacturing costs of flexible-resource systems when applying the cost-calculation based on the aggregation of resources, the breaking down of binary matrix, which represents the activity-resource relation network, into independent diagonal blocks should be studied. I developed a method to define the suitable blocking of the matrix. Provided the independence of the diagonal blocks does not hold, my blocking-efficiency index makes it possible to decide whether to apply several smaller or one bigger block.

Planning the manufacturing costs of flexible manufacturing systems when applying cost-calculation based on the aggregation of resources for determining the suitable blocking, we should use an index that takes both the distribution costs of the resources and the operation times of the activities into consideration. The η_1 second index, which measures the utilization inside the block, is the following:

$$\eta_1 = \frac{\sum_{r=1}^h \sum_{i=M_{r-1}+1}^{M_r} \sum_{j=N_{r-1}+1}^{N_r} t_{ij} \cdot \frac{C'_j}{Cap'_j}}{\frac{\sum_{l=1}^R C'_l}{R} \cdot \sum_{p=1}^h (M_p - M_{p-1}) \cdot (N_p - N_{p-1})}$$

The degree of the utilization outside the blocks is measured by η_2 second index:

$$\eta_2 = \frac{\sum_{r=1}^h \sum_{i=1, \dots, M_{r-1}; M_r+1, \dots, T} \sum_{j=1, \dots, N_{r-1}; N_r+1, \dots, R} t_{ij} \cdot \frac{C'_j}{Cap'_j}}{\frac{\sum_{l=1}^R C'_l}{R} \cdot \left(T \cdot R - \sum_{p=1}^h (M_p - M_{p-1}) \cdot (N_p - N_{p-1}) \right)}$$

Then the index (η) measuring the efficiency of blocking is:

$$\eta = \eta_1 - \eta_2$$

Where:

η	= efficiency of blocking.	C'_j	= cost of j machine after reducing the value with the cost of activities with explicit relation. [HUF]
η_1	= rate of one-elements inside the blocks.	Cap'_j	= capacity of j machine after reducing the value with the operation times of activities with explicit relation. [min]
η_2	= rate of one-elements outside the blocks.	t_{ij}	= operation time of i activity on j machine. [min]
h	= number of diagonal blocks. [pcs]	R	= number of machines. [pcs]
M_r	= abscissa value of last element of r block. ($M_0 = 0$)	T	= number of activities. [pcs]
N_r	= ordinate value of last element of r block. ($N_0 = 0$)		

While determining the resources of cost-centres, it is advised to use the blocking where the calculated index is bigger.