

# Integrált termelés-tervezés és ütemezés megrendelésre történő gyártásban



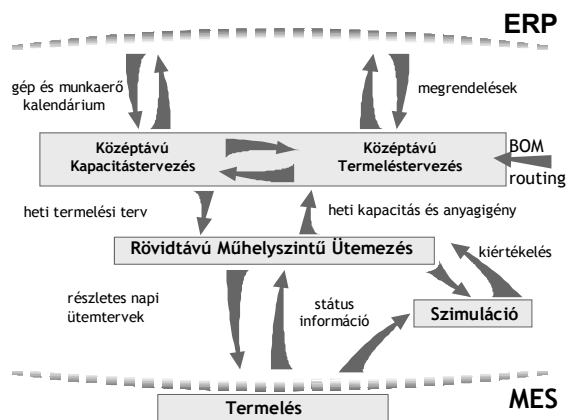
Kovács András<sup>1</sup>, Egri Péter<sup>2</sup>, Dr. Váncza József<sup>3</sup>

## 1 Bevezetés

A termelés-tervezés és ütemezés egyes szintjei különböző időhorizontokon, különböző finomságú erőforrás- és tevékenység-modellek felhasználásával rendelik erőforrásokhoz a termelőegység terhelését. A hierarchia szintjei erősen összefüggenek, hiszen a magasabb szinteknek a határidők betartásán és az erőforrások hatékony kihasználásán túl biztosítaniuk kell azt is, hogy ütemterveik a részletesebb modelleket alkalmazó szinteken is megvalósíthatók legyenek.

termelés- és kapacitás-tervezést, rövidtávon pedig műhelyszintű ütemezést végez (1. ábra). Készítésekor olyan, megrendelésre termelő (make-to-order) üzemet céloztunk, ahol egy-egy megrendelés mindig egy késztermék előállítására irányul, és ahol technológiai alternatívákat nem kell figyelembe venni.

A cikkben röviden áttekintjük a termelés-tervezés és ütemezés két szintjének feladatát, továbbá a rendszerben az ezen feladatok ellátására alkalmazott modelleket és megoldó algoritmusokat.



1. ábra: A Proterv-H rendszer felépítése.

A nemrég zárult Digitális Vállalatok NKFP projekt keretében az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézete, a General Electric Hungary Rt. és a Miskolci Egyetem együttműködésében Proterv-H néven kifejlesztésre került egy kétszintű termelés-tervező és ütemező rendszer prototípusa. A rendszer középtávon

## 2 Termelés-tervezés

A középtávú termelés-tervezés feladata a gyártási tevékenységek ütemezése egy tipikusan 3-6 hónapos időhorizonton úgy, hogy az egyszerre biztosítsa a határidők betartását, az erőforrások minél hatékonyabb kihasználását, a raktári készletek alacsony szinten tartását, és összességében, a termelés alacsony költségét. Napjaink dinamikusan változó piaci körülményei mellett ezeket a kihívásokat egyre kevésbé tudják megválaszolni az ipari gyakorlatban leginkább elterjedt, az átfutási idő becslésén alapuló tervezési eljárások. Ezért világszerte komoly erőfeszítések folynak olyan termelés-tervezési modellek kidolgozására, amelyek képesek a tervezési probléma megrendelés- és kapacitás-orientált részfeladatát együtt kezelni, és jól megalapozott matematikai módszerek alkalmazásával különféle célfüggvények szerinti optimális termelési tervet előállítani.

<sup>1</sup> BME MIT, akovacs@mit.bme.hu

<sup>2</sup> MTA SZTAKI, egri@omega.aialab.sztaki.hu

<sup>3</sup> MTA SZTAKI, vancza@sztaki.hu

Az elkészült rendszerben a termelés-tervezési feladatot egy *erőforrás-korlátozott projekt-ütemezési problémaként* modellezzük [1], és egy hatékony *branch-and-cut* algoritmussal oldjuk meg [2]. A modellben az egyes erőforrásokhoz hetente változó korlát rendelhető mind a belső kapacitásra, mind az olyan, magasabb költséggel igénybe vehető extra kapacitásokra is, mint a túlóra vagy a potenciális alvállalkozók kapacitása. A megrendelések különféle tevékenységekből épülnek fel, melyeket előzési korlátok kapcsolnak össze. Ezek a tevékenységek megmunkálási műveletek egy halmazát fogják össze, és adott erőforrásokon elvégzendő adott munkamennyiség tartozik hozzájuk. A tevékenységek időben változó intenzitással hajthatók végre. A középtávú tervezési szint feladata heti intenzitások rendelése az egyes tevékenységekhez úgy, hogy minden megrendelés a nyersanyagok beérkezésének legkorábbi ideje és a határidő által meghatározott időablakban kerüljön teljesítésre.

Az ilyen megoldások közül a rendszer a minimális extra kapacitásigény és minimális raktárkészlet kritériumok szerinti optimális megoldás megtalálását tűzi ki célul. További szempontok érvényesítésére a tervezési feladat paramétereinek a felhasználói felületen keresztül történő szerkesztésével van lehetőség.

A valós, ipari adatokon végzett futtatások megmutatták, hogy a megközelítés alkalmas több száz megrendelés optimális tervezésére egy 15 vagy 30 hetes időhorizonton, egyhetes időegység mellett, kb. 100 különböző gépi és emberi erőforrás felhasználásával. Az algoritmus *any-time* jellegének köszönhetően – azaz megoldások egyre javuló célfüggvény-értékkel rendelkező sorozatát állítja elő – az első, minden korlátot kielégítő megoldás néhány másodpercen belül megszületik, míg az optimális megoldás megtalálására nagyobb futási idő engedélyezésével van lehetőség.

### 3 A tervezési feladat előállítás

A feladat mérete, és gyakran az egyes adatok bizonytalansága miatt a középtávú tervezési feladat megoldása során szükségszerűen eltekintünk a részletes ütemezési modell bizonyos finomságaitól, sőt, esetenként implicit módon újabb feltételeket is beiktatunk. Ezért az előállított középtávú termelési tervek végrehajthatósága és költsége szempontjából egyaránt meghatározó a

középtávú feladat előállításának módja, az *aggregáció* [3].

Az aggregáció hagyományosan az egyazon megrendeléshez tartozó, azonos erőforráson vagy erőforráscsoporton elvégzendő megmunkálási műveletek egy aggregált tevékenységbe való összevonásával történik. Ez, az emberi szakértők által könnyen átlátható, egyszerű megközelítés azonban gyakran bonyolult időbeli összefüggéseket eredményez a megrendelés különböző tevékenységei között [4]. Az ezen összefüggések leírására alkalmazott általánosított előzési korlátok, intenzitás-görbék, átlapolódási és más hasonló feltételek előállításához szükséges adatok azonban általában nem találhatóak meg a vállalati információs rendszerekben, ezért az ilyen modellek előállítása emberi szakértők bevonását igényli. Ráadásul a megközelítés nem tudja garantálni a végrehajtható termelési terveket. Ezért ezt a használati mód elsősorban egyedi gyártásban lehet célravezető, mikor a tervezés vagy ajánlatkészítés idejében még nem állnak rendelkezésre a termékek részletes technológiai tervei.

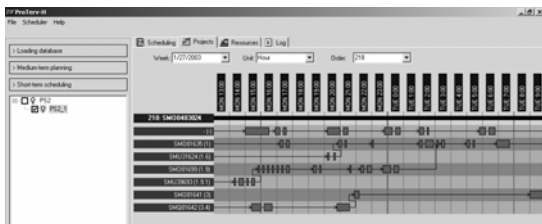
Katalógusból történő gyártás esetén a részletes technológiai tervek (*routing*) és darabjegyzékek (*BOM*) ismerete lehetővé teszi az aggregált tervezési feladat legelőnyösebb modelljének automatizált előállítását. Rendszerünk a technológiai tervekből az *időben egymást követő* megmunkálási műveletek összevonásával automatizáltan állítja elő a középtávú modell granularitásához illeszkedő méretű tevékenységeket [5]. A tevékenységek megválasztásánál a részletes modell szerint is végrehajtható és az egyes megrendelések lehető legkisebb átfutási idejét biztosító aggregált modell elérése a cél. Az aggregáció az előfeldolgozás során, gyors, polinomiális futási idejű fa-particionálási algoritmusokkal végezhető [6].

### 4 Részletes gyártásütemezés

A részletes gyártásütemezés – ún. finomprogramozás – feladata a középtávú termelési terv részletes, végrehajtható ütemtervvé való kifejtése. Ehhez egy rövidebb horizonton meg kell határozni a megmunkálási műveletek egy olyan sorrendjét és erőforrás-hozzárendelését, ami minden technológiai, időbeli és kapacitáskorlátot kielégít. A Proterv-H rendszerben lehetőség van gépek, homogén gépcsoportok és emberi munkaerő véges erőforrásként való felvételére. Az egyes

megmunkálási műveletek végrehajtásuk során ezekből az erőforrásokból igényelhetnek egyet vagy többet. Az alkalmazott modellben átállási és gépek közti szállítási idő figyelembe vételére egyaránt lehetőség van, az erőforrások kapacitása pedig műszakonként változhat. A részletes gyártásütemezési feladat időegysége 0,1 óra, horizontja pedig egy hét, azaz egyezik a termelésütemezési feladat időegységével.

Az ütemezési feladat fenti korlátokat kielégítő megoldásai közül a legkisebb átfutási idővel rendelkezőt keressük. Rendszerünkben e feladat megoldására *korlátozás-alapú* megközelítést alkalmaztunk [7]. Az ütemezési problémát mint egy keresési feladatot fogalmazzuk meg, ahol a keresési fát különféle következtetési eljárások – úgynevezett *propagációs algoritmusok* – nyesik hatékonyan. Eredményképpen a megközelítés alkalmassá válik nagyméretű, valós feladatok optimális vagy közel-optimális megoldásának gyors megtalálására (**2. ábra**).



2. ábra: A rövidtávú ütemező felhasználói felülete.

Az algoritmus a középtávú tervezőhöz hasonlóan *any-time* jellegű, ami alkalmassá teszi rendszerünket mind interaktív használatra, mind a lehető legkisebb költségű ütemtervek előállítására.

A megoldásként kapott ütemtervek különféle véletlen zavarok jelenlétében való viselkedésének részletes elemzését diszkrét szimuláció segítségével kollégáink végezték [8]. Vizsgálataik megmutatták, hogy a középtávú termelési terv nagyszámú váratlan esemény bekövetkezése esetén is teljesíthető marad, azokat az esetleges műveleteket pedig, amelyek a számukra kijelölt héten nem kerülhettek végrehajtásra, a rákövetkező hét ütemterve befogadta a megrendelések határidejének betartása mellett.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Erdélyi Ferencnek, Erdős Gábornak, Kádár Botondnak, Kis Tamásnak, Márkus Andrásnak, Monostori Lászlónak és Pfeiffer Andrásnak a Proterv-H rendszer létrehozásában nyújtott segítségükért. A munkát a Digitális Vállalatok 2/040/2001 NKFP projekt támogatta.

## Irodalom

- [1] Márkus A., Váncza J., Kis T., Kovács A.: Project Scheduling Approach to Production Planning. CIRP Annals - Manufacturing Technology 52(1), pp. 359-362. 2003.
- [2] Kis T.: A Branch-and-Cut Algorithm for Scheduling Projects with Variable-Intensity Activities. Mathematical Programming, in print, 2004.
- [3] Bitran, G.R., Tirupati, D.: Hierarchical Production Planning, In: Graves, S.C., Rinnooy Kan A.H.G., Zipkin, P.H. (eds), Logistics of Production and Inventory, 523-568, North Holland, 1993.
- [4] Hackman, S.T., Leachman, R.C.: An Aggregate Model of Project-Oriented Production. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 19(2) 220-231, 1989.
- [5] Váncza J., Kis T., Kovács A.: Aggregation – The Key to Integrating Production Planning and Scheduling. CIRP Annals - Manufacturing Technology 53(1), pp. 377-380, 2004.
- [6] Kovács A., Kis T.: Partitioning of Trees for Minimizing Height and Cardinality. Information Processing Letters 89/4, pp. 181-185, 2004.
- [7] Baptiste, Ph., Le Pape, C., Nuijten, W.: Constraint-Based Scheduling. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [8] Kádár B., Pfeiffer A., Monostori L.: Discrete Event Simulation for Supporting Production Planning and Scheduling Decisions in Digital Factories. Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, pp. 441-478, 2004.