

ELE 046509

Szakmai beszámoló (zárójelentés), 2006.

OTKA szakmai beszámoló**Új projekt ütemezési módszerek a termelés-tervezés támogatására****ELE 046509**

Témavezető: Dr. Váncza József

zárójelentés**2006****1. Az elvégzett munka és az elért eredmények rövid ismertetése**

A termeléstervezés és –ütemezés fejlett módszerei jelentős figyelmet kaptak az elmúlt évtizedekben, mind a kutatók, mind az ipar részéről. Az érdeklődés oka az, hogy ezek a technikák a nagyobb termelékenység, jobb kiszolgálási szint, és alacsonyabb termelési költségek ígéretét hordozzák, amennyiben képesek a menedzsment döntéseit támogatni a tervezési hierarchia minden szintjén. A vonzó kilátások ellenére a friss kutatási eredmények vajmi kis része került át a mindennapi gyakorlatba. Bár a mesterséges intelligencia és az operációkutatás területén elért eredmények számos új modellezési és megoldási technika kifejlesztéséhez vezettek, az ipari alkalmazások gyakran többet követelnek: a kutatók részéről gazdagabb modelleket és hatékonyabb algoritmusokat.

Munkákat az motiválta, hogy az általános erőforrás-korlátos projekt ütemezési probléma olyan új modelljeit és megoldási módszereit dolgozzuk ki, melyek megfelelnek a termelés-tervezés és –ütemezés aktuális, ipari gyakorlat által is támasztott követelményeinek. A projekt futamideje alatt eredeti munkatervünknek megfelelően három területen végeztünk kutatómunkát:

1. Új eredményeket értünk el a *változó intenzitású tevékenységekkel* való projekt ütemezés témájában.
2. Nagyméretű korlátozás programozási és *korlátozás-alapú ütemezési* feladatok megoldására dolgoztunk ki olyan általános módszereket, melyek kihasználva a gyakorlati feladatokra jellemző strukturális sajátosságokat jelentősen növelik a megoldó hatékonyságát.
3. Megvalósítottunk egy közös modellen alapuló, ám a részletezettség (ún. aggregátság) eltérő szintjein működő *hierarchikus termeléstervező és –ütemező* rendszert.

A munka utolsó harmadában a fenti eredményeket termelési hálózatokra is kiterjesztettük:

4. Autonóm gyártó és beszállító felek közt működő *kooperatív tervezési modellt* dolgoztunk ki, amely biztosítja a gyártó anyagellátását.

A következő fejezetekben ismertetjük a négy területen elért eredményeinket és azok kapcsolatát. Röviden bemutatjuk azokat az immár gyakorlati alkalmazásokat, melyekhez részben ezen eredmények vezettek. A zárójelentés összefoglalja az eredmények oktatásban és a nemzetközi tudományos közéletben való megjelenését, és végül teljes listát ad a megjelent és közlésre benyújtott tudományos publikációkról.

1.1. Változó intenzitású tevékenységekkel való projektütemezés: új modellek és megoldó eljárások

A kutatás az általános erőforrás-korlátos projekt ütemezési probléma olyan új modelljeinek és megoldó módszereinek a kidolgozására irányult, melyek a termelés-tervezés és –ütemezés gyakorlati feltételei között alkalmazhatók. A projekt ütemezés általunk kidolgozott új modelljében az időt diszkrét időegységekben (például hetekben) mérik. A projektek minden tevékenysége legkorábbi kezdési időponttal, határidővel, és egy maximális intenzitással rendelkeznek, ami azt adja meg, hogy legfeljebb hányad részét lehet elkészíteni egy időegység alatt. A tevékenységeket előzési korlátok kötik össze.

Minden tevékenység megújuló erőforrások egy részhalmazát igényli, ez a mennyiség minden erőforrásra előre adott. A t időegység alatt felhasznált mennyiség arányos a tevékenység (választott) intenzitásával. Az erőforrások kapacitása időegységről időegységre változhat. Az erőforrás korlátok túlléphetők, de ez a célfüggvényben költségként jelenik meg. Minden műveletre meg kell határozni, hogy milyen intenzitással dolgozzanak rajta időegységenként, miközben az erőforráskorlátok megsértésének összköltségét minimalizáljuk.

Hasonló ütemezési problémákat eddig kevesen tárgyaltak a szakirodalomban. Ismert egy oszlopgeneráláson alapuló egzakt, valamint egy az optimális megoldás megtalálását nem garantáló, nemlineáris matematikai modellen alapuló módszer. Saját, új eredményeink a következők:

- A probléma egy új modellezése egy bináris változókat is használó vegyes egészértékű matematikai programmal.
- A feladat megengedett megoldásai által feszített konvex test elemzése, mely a feladat hatékony megoldásához szükséges vágósíkokat adott.
- Egy implementált numerikus algoritmus, amely a fent kitűzött problémát megoldja.

Az általunk kifejlesztett egzakt módszerrel több problémát lehet adott időkorlát mellett megoldani, mint a már ismerttel. Az eredmények a (Kis 2005) cikkben kerültek közlésre. A bemutatott módszer a számítási eredmények alapján felülmúlja a szakirodalomban ismerteket.

Az előbbi alapmodellt terjeszti a (Kis 2006) könyvfejezet. Az új modell megengedi, hogy az egymást követő tevékenységek részben vagy teljesen átlapolódjanak, „etessék” egymást, ami az anyag illetve információ áramlás modellezését teszi lehetővé. A modell leírására egy új matematikai programot adtunk, amelyet vágósíkos algoritmussal oldunk meg. Ennek érdekében új valós egyenlőtlenségeket határoztunk meg, melyek a feladat racionális relaxációjában kapott tört megoldások egy részét kiszűrik. Az új

egyenlőtlenségek (lásd Kis 2004b) részben általánosításai a (Kis 2005)-ben kapottaknak. A matematikai modell tartalmaz egy speciális változó-korlátú folyam modellt, amelyhez tartozó poliéder szerkezetét (Kis 2005b) mutatja be.

Ha a projekt tevékenységeit éppen időre kell elkészíteni, se nem túl korán, se nem túl későn, akkor egy nem reguláris célfüggvényt kapunk, melyben mind a korai, mind a késői befejezés büntetve van. A projektütemezés nem reguláris célfüggvénnyel különösen nehéz feladat. Erre a feladatra adtunk egy a lineáris programozást a korlátozás programozással ötvöző új módszert (Kéri-Kis 2005). A módszer a korlátozás és szétválasztás elvén működik, de az alsó korlát számítását a szülő csúcs optimális megoldását felhasználva végzi el, ezért a korábbi eljárásoknál hatékonyabban működik. Másik lényegi újítás, hogy a célfüggvényből időablakokat határozzunk meg a tevékenységeknek, amely ezután lehetővé teszi a korlátozás programozás használatát az időablakok szűkítésére. Tudomásunk szerint erre a célfüggvényre ez az első korlátozás programozáson alapuló megközelítés. Számítási eredményeink azt mutatják, hogy az új módszer hatékonyabb a korábbiaknál.

1.2. Korlátozás-alapú ütemezés gyakorlati feladatokra jellemző strukturális tulajdonságok kihasználásával

Ütemezési, és egyben projekt ütemezési problémák megoldásának új megközelítését teszi lehetővé a korlátozás programozás módszere. A korlátozás programozásban alkalmazott megoldó módszerek hatékonysága nagyrészt a feladaton a megoldás során elvégzett azon transzformációkon múlik, melyek a feladatnak egy egyenértékű, de könnyebben megoldható reprezentációját állítják elő. Hagyományosan ezek az ún. *ekvivalencia megőrző transzformációk*, amelyek biztosítják, hogy az eredeti és a transzformált feladatnak pontosan ugyanazok a változó lekötések lesznek a megoldásai.

Gyakran azonban a transzformációknak egy szélesebb köre, az ún. *konzisztencia megőrző transzformációk* is alkalmazhatók, melyek azt garantálják, hogy a transzformált feladat pontosan akkor megoldható, ha az eredeti is az volt. Elméleti eredményeink e téren a következők:

- Bevezettük a korlátozás kielégítési feladatok *szabadon kiegészíthető részmegoldásának* (*freely completable partial solution*, FCPS) fogalmát. Egy FCPS a korlátozás programban szereplő változók egy részhalmazának olyan konzisztens lekötése, mely nem korlátozza a fennmaradó változók értékészletét. Igazoltuk, hogy a változók lekötése egy FCPS-beli értékükhöz konzisztencia megőrző transzformáció. Végül, heurisztikus algoritmust adtunk erőforrás-korlátozott projektütemezési feladatok szabadon kiegészíthető részmegoldásainak konstruálására (Kovács-Váncza 2004a; 2004b; Kovács 2005).
- Definiáltuk az erőforrás-korlátozott projektütemezési feladatok *progresszív megoldásait*. Ezek a megoldások a feladatok szokásos korlátozásain túl számos további előzési korlátozást is kielégítenek. Bebizonyítottuk, hogy minden projektütemezési feladatnak van progresszív megoldása. Következésképpen, az ilyen feladatok megoldása során a keresési tér a progresszív megoldásokra szűkíthető (Kovács 2005; Kovács-Váncza 2006).

A fenti módszereket *de facto* standard kereskedelmi korlátozás-alapú ütemező rendszerre építve implementáltuk és a rendszert valós, az iparból származó, nagyméretű tesztfeladatokon verifikáltuk. Valós ütemezési feladatokra éppen az a

struktúra jellemző, hogy tartalmaznak szabadon kiegészíthető részmegoldásokat és szimmetriákat. A tesztek megmutatták, hogy a módszerek alkalmazásával a feladatok megoldása jelentősen felgyorsult, illetve addig nem megoldható feladatok váltak megoldhatóvá.

A fenti eredmények jól illeszkednek abba a mai trendbe, amely a korlátozás-alapú megoldók hatékonyságának növelését célozza a gyakorlatban felmerülő feladatok bizonyos strukturális tulajdonságainak kihasználásával. Más, gyakran alkalmazott konzisztencia megőrző transzformációkhoz képest módszereink előnye, hogy nem igénylik a célzott strukturális tulajdonságok explicit leírását, ezért rejtett struktúra kiaknázására is alkalmasak.

1.3. Hierarchikus termelésstervezés és -ütemezés

A termelésstervezés 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. A kutatás során olyan aggregációs eljárásokat dolgoztunk ki, melyek a termékek szabványos adatbázisokban elérhető szerkezeti (*bill of materials*, *BOM*) és technológiai (*routing*) adataiból, valamint részletes kapacitás adatokból építik fel a termelésstervezési feladat egy olyan modelljét, melynek megoldása igen jó eséllyel, egyes esetekben bizonyíthatóan a legrészletesebb korlátozásokat is tekintetbe vevő gyártási ütemtervvé finomítható (Kovács 2005).

A fent ismertetett eredményeink továbbfejlesztésével és integrálásával létrehoztunk egy olyan *hierarchikus tervező és ütemező rendszert*, melyben a tervezési feladat különböző, egymásra épülő szintjeit úgy lehet megoldani, hogy a magas szintű megoldás az ott érvényes célfüggvény optimalitásán túl a közel-optimális megoldás lehetőségét biztosítja az alsóbb szinten is – ám az alsóbb szintű feladat explicit megoldása nélkül. A két szint kapcsolatának kulcsa a közös adatmodellen alapuló, aggregálási eljárás. A hierarchikus rendszerben

- a termelésstervezés szintjén az 1.1. pontban ismertetett változó intenzitású projekt-alapú modell és megoldó működik, míg
- az ütemezési feladatot korlátozás-alapú módszerekkel, az 1.2. pontban bemutatott konzisztencia megőrző transzformációk alkalmazásával oldjuk meg.

Ezzel a munkával egy gyakorlatban is alkalmazható megoldást javasoltunk a termelésstervezés és ütemezés integrálása. A kétszintű Proterv-II rendszert a projekt fenti eredményeit felhasználva implementáltuk, felépítését és működését egy PhD dolgozatban (Kovács 2005) és cikkekben (Kovács et al. 2005a; Egri et al. 2005) ismertettük.

A projekt ütemező megoldó rendszere az ILOG cég CPLEX 9.1. matematikai programozást támogató programcsomagjait használja, míg a korlátozás-alapú ütemezéshez felhasználtuk az ILOG cég SOLVER és SCHEDULER programcsomagjait.

1.4. Összehangolt tervezés gyártó és beszállító között

Fenti tervezési és ütemezési modelljeink alkalmasak az időbeli és erőforrás korlátozások gazdag leírására, de azon a feltételezésen alapulnak, hogy a tevékenységek elvégzéséhez szükséges anyagok és alkatrészek a megfelelő időablakokban rendelkezésre állnak. A gyakorlatban a gyártás és az anyagellátás jellemzően *önálló*, egymással gyártó-beszállító kapcsolatban álló cégek felelőssége, melyek termelési hálózatot alkotnak. Ezért kutatásunk a termelési hálózatok vizsgálatára, modellezésére és hatékony működtetésükhöz szükséges matematikai és informatikai háttér kidolgozására irányult (Monostori et al. 2005a; 2005b). Áttekintettük és elemeztük az ún. ágens-alapú számítási modellek lehetséges és tényleges alkalmazásait a termelésinformatikában (Monostori et al. 2006). Felmértük, hogy egy termelési hálózat tagjai jellemzően milyen tervezési funkciókat látnak el, és egy önállóságot eleve feltételező, ágens-szemléleten alapuló *szervezeti modellt* dolgoztunk ki a tervezési funkciók összehangolására (Egri-Váncza 2005)

E munka során olyan *kooperatív tervezési mechanizmusok* kerültek kifejlesztésre, melyek részletes tervezési és ütemezési információk cseréje mellett lehetővé teszik autonóm felek között a beszerzési csatornák összehangolt, minimális várható összköltséggel való működtetését (Egri-Váncza 2006a; 2006b; Váncza-Egri 2006; Váncza et al. 2006). A költségekben megjelennek a gyártási, logisztikai és piaci kockázatból adódó esetleges túltermelés költségei. Alapvető követelmények, hogy

- rövidtávon, az ütemezés horizontján a beszállítónak ki kell elégíteni a gyártó igényét, míg
- középtávon, a termelés-tervezés szintjén kell dönteni a szükséges anyagok optimális, minimális költséggel járó gyártási mennyiségeiről.

Az autonóm partnerek aszimmetrikus információval rendelkeznek a várható igény és a különféle költségtényezők tekintetében. Egy új kooperációs mechanizmusnak köszönhetően a felek akkor járnak a legjobban, ha az általuk ismert valós, torzításmentes adatokat osztják meg egymással. Jól meghatározható feltételek mellett tehát az együttműködés önérdékké tehető (Egri-Váncza 2006b; Egri-Váncza 2007).

Az új koordinációs modellt ipari partnerektől kapott adatsorokon, szimulációs kísérletekkel teszteltük, a regisztrált hatékonysági mutatóknál jobb eredménnyel.

2. Az eredmények hasznosítása

A kutatási eredmények hasznosítása érdekében hoztuk létre az 1.3. pontban ismertetett PROTERV-II integrált termelés-tervező és –ütemező rendszert, amit egyebek közt bemutattuk a korlátozás programozás éves világkonferenciáján (Kovács et al. 2005b).

Munkánk során mindvégig fontosnak tartottuk, hogy módszereink valós, műszaki gyakorlat által indukált problémákra adjanak választ. Ezért a kutatómunka mellett több hazai ipari céget kerestünk meg, illetve mutattuk be képviselőiknek aktuálisan működő rendszereinket.

Az ütemezés-elméleti munkák eredményei megalapoztak egy nagyméretű ipar-akadémiai együttműködést, melynek eredményeképpen a GE Hungary Nagykanizsai Lámpagyárában, - mely a maga nemében a világ egyik legnagyobbika - átfogó termelésinformatikai rekonstrukció részeként, 2006 tavaszán bevezetésre került a több mint 100 gyártósor ütemezését végző, az MTA SZTAKI-ban kifejlesztett rendszer. Az ütemezőhöz szorosan kapcsolódik egy, a beszállító láncok átfogó, a teljes értékteremtő

folyamat költségminimalizálását célzó, jelenleg fejlesztés alatt álló megoldás (Monostori et al. 2007). A létrehozott rendszerek nem iparág-specifikusak, várhatóan több hazai vállalatnál is felhasználhatók, akár telepített formában, akár elektronikus szolgáltatásként.

4. Az eredmények megjelenése az oktatásban

Kovács András doktori címet nyert „Új modellek és algoritmusok az integrált termelés-tervezés- és ütemezésben” c. PhD disszertációja alapján (2006. február 23, BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, témavezetők Dobrowiecki Tadeusz és Váncza József).

Egri Péter jelenleg az ELTE Informatikai Doktori Iskola harmadéves PhD hallgatója. Kutatási témája „Kooperatív termelési hálózatok” (témavezető Váncza József).

Kis Tamás és Kovács András a kutatás témájában éves rendszerességgel önálló laboratóriumot tartott a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Mérés és Információtechnológia Tanszékén.

Váncza József a Gépészmérnöki Kar Gépipari Informatikai Tanszékén ismertetett egyes eredményeket a Termelés-tervezés és –irányítás tárgy keretében.

3. Kapcsolódó nemzetközi projektek

A 2004 júniusában indult *Virtual Research Lab for a Knowledge Community in Production*, NMP2-CT-2004-507487, Network of Excellence FP6 EU projekt keretében a csoport tagjainak lehetősége nyílt más európai kutatóközpontokkal való együttműködésre. Az OTKA kutatás konkrét tárgyában a fenti NoE-ben több európai laboratóriummal együtt kezdeményeztük a *Production Management and Scheduling* c. kutatási témát. Ennek első eredménye egy kidolgozás alatt álló FP7-es európai projektjavaslat: *Coordinated Production Planning and Scheduling in Support of the Networked Enterprise*. A tervezett nemzetközi együttműködés keretében célunk a termelés-tervezés és –ütemezés területén elért eddigi eredmények általánosítása és egy olyan modell és megoldó készlet létrehozása, melyből moduláris módon építhetők fel a mind gyakrabban felmerülő ipari problémák megoldó rendszerei.

A projekt futamideje alatt részt vettünk EU FP6 kutatási-fejlesztési projekt (*AC/DC Five-Days Car*) indításában. Az AC/DC projekt célja az európai autógyártók versenyképességének növelése olyan beszállítói hálózat létrehozása és működtetése révén, amely igen rövid, akár 5 napos határidővel képes kielégíteni az aktuális vevőigényeket a személygépkocsik piacán. Az ezzel kapcsolatos feladatok felölelik a termelésinformatika szinte valamennyi kulcsproblémáját: a terméktervezéstől a beszállítói hálózatok szervezéséig. Közelebbről abban a kutatásban veszünk részt, amely célja olyan, kooperáción alapuló hálózati tervezési módszerek és kommunikációs infrastruktúra kidolgozása, melyek alacsony raktárkészletek mellett is biztosítják a hálózat minden rétegében a végtermékgyártóktól elvárt igen magas, közel 100%-os kiszolgálási szintet.

4. Változások

4.1. Személyi változások

A projekt indulásakor még velünk lévő kollégánk, Dr. Márkus András 2005. februárjában elhunyt. Ezután Egri Péter (MTA SZTAKI) csatlakozott a projekt kutatóihoz.

4.2. Tematikus változások

A projekt fő kutatási témája (lásd 1.1, 1.2 és 1.3 pontok) a tervnek megfelelően alakult. A tervhez képest új, perspektivikus téma a kooperatív termelési hálózatok problémája (1.4 pont), aminek a hierarchikus tervezés és ütemezés terén elért eredményeink alapján új megközelítést tudunk javasolni.

4.3. Költségvetési változások

A projekt költségvetése a terveknek megfelelően alakult. Valamelyest túlléptük az utazásra tervezett napidíj keretet, mert – mint az alábbi publikációs lista is mutatja – fontosnak tartottuk, hogy az eredményeket bemutassuk mind az operációkutatás és korlátozás programozás, mind pedig a termelésinformatika jelentős nemzetközi fórumain.

Eredeti költségvetésünk nem tartalmazott gépvásárlási keretet. Mivel a tervezett szoftver eszközöket olcsóbban tudtuk beszerezni, a hatékony futtatás és kísérletezés érdekében vásároltunk gépet.

5. A projekt teljes publikációs listája

Folyóirat publikációk és impakt faktoral rendelkező konferencia kiadványok

Egri P., Váncza, J., (2005) Cooperative Planning in the Supply Network – A Multiagent Organization Model. In: *Multi-Agent Systems and Applications IV* (eds. Pechoucek, M., Petta, P., Varga, L. Zs.), Springer LNAI 3690, 346-356. **0.251**

Egri, P., Kovács, A., Márkus, A., Váncza, J., (2005), Project-Oriented Approach to Production Planning and Scheduling in Make-To-Order Manufacturing. *Production Systems and Information Engineering*, **2:23-37**.

Kis, T., (2005) A Branch-And-Cut Algorithm for Scheduling of Projects with Variable-Intensity Activities. *Mathematical Programming*, **103(3):515-539**. **1.19**

Kovács, A., Váncza, J. (2004a), Completable Partial Solutions in Constraint Programming and Constraint-based Scheduling. In: Wallace, M. (ed.) *Principles and Practice of Constraint Programming, Proc. of CP2004*, Springer LNCS 3258, 2004, pp.: 332-346. **0.515**

Kovács, A., Egri, P., Váncza, J., (2005) Integrált termelésstervezés és ütemezés megrendelésre történő gyártásban, *Gépgyártástechnológia*, **45(1):45-47**, (2005).

Kovács, A., Egri P., Kis, T., Váncza, J., (2005) Proterv-II: An Integrated Production Planning and Scheduling System. In: van Beek, P. (ed.), *Principles and Practice of Constraint Programming, Proc. of CP2005*, Springer LNCS 3709, 880, 2005. **0.513**

Kovács, A., Váncza J., (2006) Progressive Solutions: A Simple but Efficient Dominance Rule for Practical RCPSP. In: Beck, Ch, Smith, B. (eds.) *Proc. of CPAIOR 2006, the 3rd Int. Conf. on Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems*, 139-151, Springer LNCS 3990, 2006. **0,402**

Egri, P., Váncza, J. (2006a) Cooperative Planning by Coordinating The Supply Channel, *Production Systems and Information Engineering*, **4**, 3-19.

Monostori, L., Váncza, J., Kumara, S.R.T., (2006) Agent-Based Systems for Manufacturing, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, **55(2)**, 697-720. **0.891**

Váncza J., Egri, P., (2006) Coordinating Supply Networks in Customized Mass Production – A Contract-Based Approach, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, **55(1)**, 489-492. **0.891**

Könyvfejezet

Monostori, L.; Fornasiero, R.; Váncza, J., (2005) Organizing and Running Real-time, Cooperative Enterprises, in: *Advanced Manufacturing: An ICT and Systems Perspective* (eds. Taisch, M., Thoben, K-D.), IMS, pp. 144-157.

Kis, T., (2006) RCPS with Variable Intensity Activities and Feeding Precedence Constraints, Chapter 5 in: Jozefowska, J., Weglarz, J. (eds.), *Topics in Modern Project Scheduling*, Springer, pp. 105-129.

Disszertáció

Kovács A., (2005) Novel Methods and Algorithms for Integrated Production Planning and Scheduling. PhD értekezés, BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék, Budapest, 2005.

Egyéb konferencia közlemény

Egri P., Váncza J., (2006b) Incentives for Cooperative Planning in Focal Supply Networks, In: *Proc. of the 6th International Workshop on Emergent Synthesis, IWES*, 2006, pp. 17-24.

Egri P., Váncza J., (2006c) A Logistics Framework for Coordinating Supply Chains on Unstable Markets, In: *Proc. of 3rd International CIRP Conference in Digital Enterprise Technology*, Setubal, Portugal, 2006.

Egri P., Váncza J., (2007) A Risk Sharing Coordination Mechanism for Customized Mass Production, *40th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, közzésre benyújtva.

Kéri, A., Kis, T., (2005a) Primal-dual Combined with Constraint Propagation for Solving RCPSPWET, In: *Proceedings of the 2nd Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications*, (eds. Kendall, G., Lei, L., Pinedo, M.), July 18-21, 2005, Stern School of Business, New York University, USA., pp. 748-751.

Kéri, A., Kis, T., (2006) Primal-Dual Combined with Constraint Propagation for Solving RCPSPWET, in Haasis, Kopfer, Schönberger (eds.): *Operation Research Proceedings 2005*, Springer, pp. 685-690, 2006.

Monostori, L., Váncza, J., Márkus, A., Kis, T., Kovács, A., Erdős, G., Kádár, B., Viharos, Zs.J., (2005b) Real-time, Cooperative Enterprises: Management of Changes and Disturbances in Different Levels of Production. *38th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, Florianopolis, 2005.

Monostori, L., Kis, T., Váncza, J., Kádár, B., Erdős, G., (2007) Real-time, Cooperative Enterprises for Customized Mass Production, *3rd Int. Conf. on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*, közzésre benyújtva.

Kovács, A., Váncza, J., (2004b), Completable Partial Solutions in Constraint Programming and Constraint-based Scheduling. In: *Proceedings of the CSCLP04 – Joint Annual Workshop of ERCIM / CoLogNet on Constraint Solving and Constraint Logic Programming*, Lausanne, pp. 244-257, 2004.

Váncza, J., Egri, P., Wiendahl, H-H., (2006) Configurable Logistics Platform to Handle Supply Turbulences – A Case Study in a Focal Supply Network, In: Monostori, L. Ilie-Zudor, E. (eds), *Proc. of the 8th Int. Conf. on Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises (MITIP 2006)*, Sept. 11-12, 2006, Budapest, pp. 281-288, 2006.

Absztrakt

Kis, T., (2004a), Scheduling of Variable Intensity Activities Connected by Feeding Precedence Constraints, *Dagstuhl-Seminar on Scheduling in Computer and Manufacturing Systems*, Dagstuhl, May 31-June 4, 2004.

Kis, T., (2004b), Polyhedral Results on the Single Node Variable Upper-Bound Flow Model with Allowed Configurations, *SIAM Conference on Discrete Mathematics*, Nashville, June 13-16, 2004.