



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA**

Vegyipari vállalatok problémáinak optimalizálása vegyes- egészértékű programozással

Tézisfüzet

**Szerző: Czuczai Barbara
Témavezető: Dr. Lelkes Zoltán**

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

2009

1. Bevezetés

Értekezésemben vegyipari termelővállalatok optimalizálási problémáival foglalkozom. Az ilyen optimalizálási problémákat gyakran közelítik meg a matematikai programozás eszközeivel, azonban bizonyos esetekben, amikor a feladat túl komplex és a mérete túl nagy, a matematikai programozás használata önmagában nem vezet eredményre.

Doktori munkám során céлом az volt, hogy igazoljam, megfelelő módszerek alkalmazásával a matematikai programozás gyakorlati optimalizálási problémák esetében is hatékony eszköz lehet. Ehhez mindenkor szükséges figyelembe venni a megoldandó probléma speciális tulajdonságait, és azok szem előtt tartása mellett, azokat kihasználva kell kidolgozni alkalmas megoldási stratégiát. Ezért olyan folyamattervezési problémákkal foglalkoztam, ahol a megoldhatóság hagyományos eszközökkel nehézségekbe ütközik. Ezekben az esetekben két problématerületen háromféleképpen próbáltam a megoldhatóságot javítani: 1) a megoldó algoritmus módosításával, 2) új, egyszerűsített szuperstruktúra kifejlesztésével, 3) dekompozíciós stratégia alkalmazásával.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Desztilláló rendszerek optimális tervezése

Az iparban annak érdekében, hogy egy szétválasztandó folyadékelegy komponenseit tisztán tudják kinyerni, többfokozatú, vagy másképpen frakcionált desztillációt alkalmaznak. A rektifikáló rendszerek nagy anyagmennyiségeket dolgoznak fel, nagy beruházási és energiaigényük van. Ésszerű tervezésükkel komoly költségeket lehet megtakarítani, így a folyamatoptimalizálásnak gazdasági okokból igen nagy jelentősége van ezen a területen. Az operációkutatás fejlődésével az megkezdődtek az optimális tervezésre irányuló kísérletek, amelynek során adott minőségű szétválasztáshoz határozzák meg az optimális oszlopkonfigurációt és refluxarányt.

Mivel az optimális struktúra kiválasztásakor döntenünk kell a tényérok számáról, amely csak egész értéket vehet fel, így a modellezés során egészértékű változókat kell használnunk. A fázisegyensúly és a komponensmérlegek modellezése pedig nemlineáris egyenletek használatát igényli. E kettő eredményeképpen a desztilláló oszlopok szigorú modellezéséhez egy MINLP modell megoldására van szükség.

Farkas egy új, az eddigiektől eltérő desztilláló oszlop szuperstruktúrát és MINLP reprezentációt alkotott.¹ Az új modell már a szuperstruktúra szintjén kizárja a strukturális redundancia lehetőségét, amellyel nagyban csökkenti az ebből eredő esetleges numerikus problémákat. Az új

¹ Farkas, T. (2006) Chemical Process Synthesis Using Mixed Integer Nonlinear Programming, PhD Thesis, Budapest University of Technology and Economics

szuperstruktúra egy binárisan minimális reprezentáció megalkotásának szem előtt tartásával lett felépítve.

A problémák matematikai megfogalmazása mellett a kutatások során hangsúlyt fektettek a megoldási algoritmusok hatékonyságának javítására is. Az eredetileg Duran és Grossmann által kidolgozott Outer Approximation (OA) algoritmust², és annak logikai alapú változatát, ld. Bergamini és tsai.³, különböző kutatócsoportok több alkalommal módosították. E módosítások fő célja az volt, hogy biztosítsák a globális optimum megtalálását. Így Bergamini és tsai.⁴ szakaszonként végezték a konkáv vagy bilineáris korlátok lineáris becslését. Az MILP mesterproblémák megoldását nem folytatták feltétlenül az optimális megoldás megtalálásáig, csak addig, amíg az eddig regisztrálnál jobb megoldást sikerült kapni.

A terület itt ismertett fejlődése ellenére számos lehetőség maradt még új modellek és algoritmusok kifejlesztésére. Általánosan megfigyelhető, hogy az erős nemlinearitás miatt a szolver gyakran ütközik nehézségekbe az NLP feladatok megoldása során. Bizonyos számú nemlineáris egyenlet esetén az egyenletrendszer megoldása már lehetetlenné válik az NLP szolver számára anélkül, hogy megfelelő kezdeti értéket nyújtanánk a változók számára, ezzel csökkentve a kezdeti ellentmondásosságot. Munkám során célul tűztem ki olyan módosított Outer Approximation algoritmus kidolgozását, hogy az mérnöki előismereteink alapján minden iterációban kezdeti értéket számít minden változó számára, felhasználva a megelőző MILP probléma által nyújtott bináris vektor által kódolt struktúrát.

2.2. Folyamatütemezés

A folyamatütemezési problémákat általában a következő feltételrendszerrel definiáljuk: Adottak 1) termékmegrendelések, amelyeket adott mennyiségben és adott határidőre kell teljesíteni. Adottak 2) nyersanyagok, adott érkező mennyiségekkel és érkezési idővel. Adottak 3) feladatok, azaz önálló tevékenységek, amelyek nyersanyagokat, vagy köztitermékeket fogyasztanak, és végtermékeket, vagy köztitermékeket termelnek. Adottak 4) eme feladatok műveleti idejei, konverziói és egyéb adatai, amelyeket a gyártási receptúra specifikál – egy gyártási receptúra egy feladat jellemzőit adja meg. Adott a 5) folyamatreceptúra, amely a teljes technológiai folyamat adatait tartalmazza, így az egyes feladatok közötti kapcsolatokat. Adott az 6) üzemspecifikáció, amely a rendelkezésre álló gyártó és tároló egységek jellemzőit, és a közöttük

² Duran, M. A.; Grossmann, I. E. (1986) An outer-approximation algorithm for a class of mixed integer nonlinear programs. *Mathematical Programming*, 1986, 36, 307-339.

³ Bergamini, M. L.; Aguirre, P.; Grossmann, I. E. (2005) Logic based outer approximation for global optimization of synthesis of process networks. *Computers and Chemical Engineering*, 2005, 29, 1914-1933.

⁴ Bergamini, M. L.; Grossmann, I. E.; Scenna, N.; Aguirre, P. (2008) An improved piecewise outer-approximation algorithm for the global optimization of MINLP models involving concave and bilinear terms. *Computers and Chemical Engineering*, 2008, 32, 477-493.

megengedett kapcsolódásokat tartalmazza. Adott egy 7) részletes technológiai korlárendszer, amelyet a fenti adatok határoznak meg, mint pl. kapacitáskorlátok, tárolási korlátok, stb. A cél vagy egy olyan megoldást találni, amely kielégít minden korlátot, vagy egy olyat, amely mindemellett még egy bizonyos alakú célfüggvény (gyártási idő, profit) optimális szélsőértékét is eredményezi.

Az elmúlt másfél évtizedben a vegyipari folyamatok ütemezésének kutatása egyre nagyobb jelentőségre tett szert. A kutatások elsősorban a matematikai programozás alkalmazására irányulnak. Számos MILP modellt dolgoztak ki a témával foglalkozó kutatók, közöttük diszkrét időreprezentációt alkalmazók⁵, illetve általános⁶ és készülék-specifikus⁷ folytonos időreprezentációt használók egyaránt találhatók.

Az élelmiszeriparban gyakran találkozunk folytonos műveletekkel, amelyek egész időtartama alatt a készülékeknek folyamatosan kapcsolódnuk kell egymáshoz. Szintén gyakran előforduló korlát, hogy egy folytonos készülék egyszerre egy időben csak egyetlen másik készülékhez kapcsolódhat. Ez olyan ütemezési problémát eredményez, amelyben bonyolult relációk léteznek a műveletek kezdeti és befejezési ideje között. Az irodalomban található MILP modellek alkalmatlanok az ilyen feladatok kezelésére, ezért célul tűztem ki olyan modell kidolgozását, amely közvetlenül kezeli a műveletek közötti kapcsolatokat, és az összefüggéseket a műveletek kezdete és befejezése között. A megoldhatóság érdekében a szuperstruktúrát oly módon módosítottam, hogy azzal a probléma kombinatorikai komplexitása csökkenthető.

Ipari méretű ütemezési problémák esetében a diszkrét változók száma és a korlátok jellege gyakran olyan kombinatorikai nehézségeket okoz, hogy nem csak az optimális, de még megvalósítható megoldás találása is megoldhatatlan egzakt eszközök alkalmazásával. Egy létező sörripari probléma kapcsán ilyen nehézségekbe ütköztünk. Ilyen esetekben a kutatók gyakran fordulnak különböző dekompozíciós stratégiákhoz.

Három jellemző alapján lehet dekomponálni ütemezési problémákat: idő, készülékek és feladatok/erőforrások alapján. A leginkább elterjedt megoldás az idő szerinti felbontás több alproblémára. Ennek során előre meghatározott ütemezési horizonttal rendelkező, egymást átfedés nélkül követő alproblémákat hoznak létre, amelyekhez egy összevont modell által szolgáltatott megoldás alapján rendelnek legyártandó mennyiségeket. Az első iterációban a legkorábbi alproblémát megoldják, felhasználva az összevont modell által szolgáltatott megoldást, mint

⁵ Kondili, E.; Pantelides, C. C.; Sargent, R. W. H. (1993) A general algorithm for short-term scheduling of batch operations – 1. MILP formulation. *Computers and Chemical Engineering*. 1993, 17, 211-227.

⁶ Maravelias, C. T.; Grossmann, I. E. (2003) New General Continuous-Time State-Task Network Formulation for Short-Term Scheduling of Multipurpose Batch Plants. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2003, 42, 3056-3074.

⁷ Shaik, M. A.; Floudas, C. A. (2007) Improved Unit-Specific Event-Based Continuous-Time Model for Short-Term Scheduling of Continuous Processes: Rigorous Treatment of Storage Requirements. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2007, 46, 1764-1779.

peremfeltételt (általában az optimális megoldást keresik), a kapott megoldást fixálják, majd továbblépnek a következő alproblémára. Ezt addig folytatják, amíg az utolsó alproblémát is meg nem oldják. Ilyen, és ennek továbbfejlesztett változatait használó algoritmust többen alkalmaztak az irodalomban.^{8,9}

Ezen idő-dekompozíciós algoritmusok egyik közös hibája, hogy a legyártandó termékmennyiségeknek a megoldandó alproblémákhoz rendelését végző összevont modell az üzem kapacitását általában túlbecsüli, ezáltal megoldhatatlanságot okoz a műveletek sorrendjét és méretét meghatározó ütemezési fázisban. Különösen igaz ez akkor, amikor szoros határidejű megrendeléseket kell teljesíteni, ahol az üzemnek teljes kapacitással szükséges működnie. Bár a nagyméretű ütemezési feladatok megoldására a dekompozíciós algoritmusok gyakran alkalmas eszközt nyújtanak, szükséges, hogy új elveken alapuló továbbfejlesztett módszerekkel feszes határidejű ütemezési problémák is megoldhatók legyenek.

A söripari probléma megoldása érdekében célul tűztem ki egy olyan új dekompozíciós eljárás kidolgozását, amelyben az eredeti problémát olyan kisebb feladatokra bontjuk, melyben az elvégezhető műveletek száma korlátozott. Ezáltal kisebb méretű problémákhoz jutunk, melyre rövid idő alatt található jó megoldás.

3. Alkalmazott számítási módszerek

A rektifikáló rendszerek optimalizálására kidolgozott módosított Outer Approximation algoritmust AIMMS 3.7 modellfejlesztő környezetben implementáltam. Az AIMMS tartalmaz egy C++ alapú GMP függvénykönyvtárat¹⁰, amelynek segítségével az eredeti algoritmus könnyen felépíthető és tetszőlegesen módosítható olyan módon, hogy az adott problémára szabható legyen. Munkám során ezt a GMP függvénykönyvtárat használtam.

A speciális ütemezési problémák optimalizálására kidolgozott új MILP modellt, és arra épülő Rolling Operation algoritmust szintén AIMMS 3.7 modellfejlesztő környezetben építettem fel. Az MILP problémák megoldására CPLEX 10.0 szolvvert alkalmaztam.

⁸ Bassett, M. H.; Pekny, J. F.; Reklaitis, G. V. (1996) Decomposition techniques for the solution of large-scale scheduling problems. *AIChE Journal*. 1996, 42, 3373-3387.

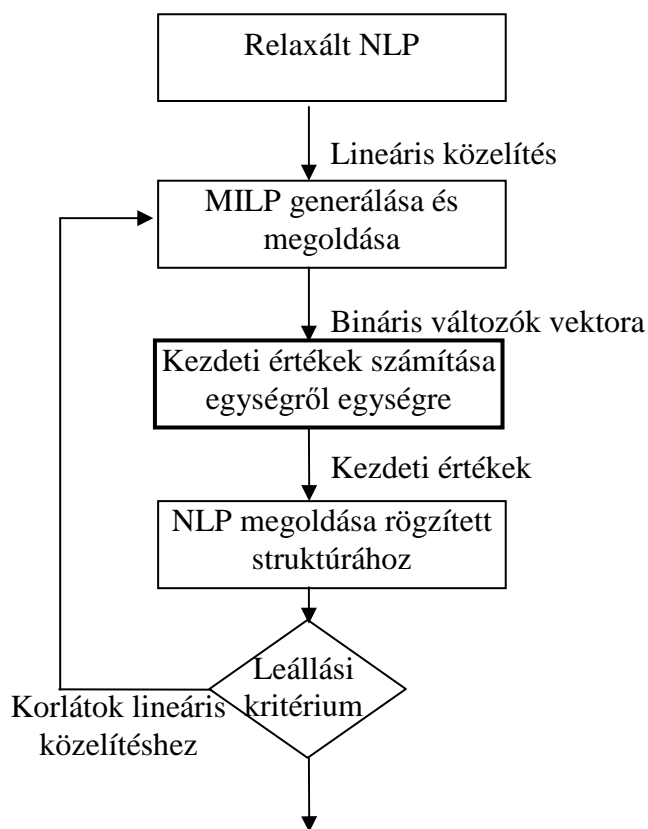
⁹ Wu, D.; Ierapetritou, M. G. (2003) Decomposition approaches for the efficient solution of short-term scheduling problems. *Computers and Chemical Engineering*. 2003, 27, 1261-1276.

¹⁰ Bisschop, J.; Roelofs, M. (2007) AIMMS. The Language Reference. Paragon Decision Technology, Haarlem, The Netherlands.

4. Eredmények

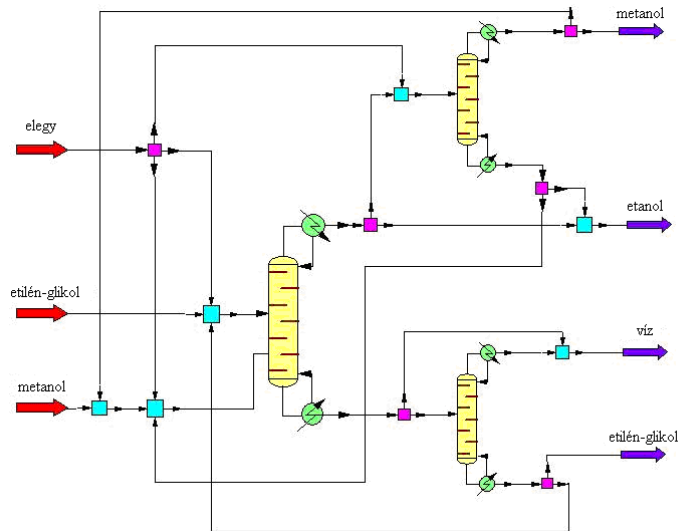
4.1. Módosított OA algoritmus extraktív desztillációs rendszerek optimalizálására

A módosított Outer Approximation algoritmus sémája az 1. ábrán látható. Az új algoritmust egy összetett extraktív desztillációs problémán teszteltem. Ebben célunk egy metanol-etanol-víz háromkomponensű elegy tiszta komponensekre történő szétválasztása extraktív desztilláció alkalmazásával. Erre három lehetőségünk van: 1) használhatunk nehéz oldószert, például etilén-glikolt a betáp fölött bevezetve; 2) használhatunk könnyű oldószert, például metanolt a betáp alatt bevezetve; vagy 3) használhatjuk mindkét előző megoldást egyszerre. A struktúra-változatokat egyesítve kapjuk a szuperstruktúrát, amely a 2. ábrán látható.



1. ábra A módosított Outer Approximation algoritmus

Az módosított megoldó algoritmussal elvégzett iterációk száma 10, az ehhez szükséges megoldási idő 3917 CPU másodperc, azaz valamivel több, mint 1 óra. Az egyes NLP alfeladatok 10-30 másodpercet vettek igénybe, köszönhetően a jó kezdőértékeknek. A kezdőértékek számítása 1-3 másodpercig tartott minden iterációban. Mivel nem az összes nemlineáris egyenletet használjuk fel a lineáris közelítéshez az MILP mesterfeladatokban, ezek célfüggvényének értéke jóval alacsonyabb, és a megoldási idő kevésbé meredeken növekszik, amely mintegy 75 %-kal alacsonyabb összes megoldási időt eredményez, ahogy az az 1. táblázatban látható.



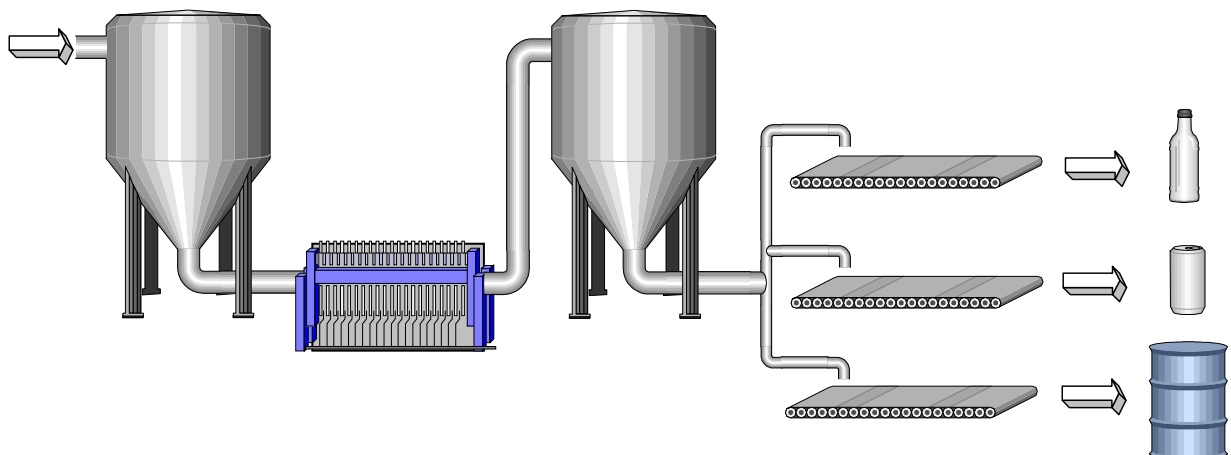
2. ábra A tesztprobléma szuperstruktúrája

1. táblázat Futási eredmények a módosított Outer Approximation algoritmussal

	Célfüggvény	Megoldási idő [CPU sec]
Eredeti	185.12	15270
Módosított	183.96	3917

4.2. Új MILP modell és dekompozíciós algoritmus összetett ütemezési problémák megoldására

A speciális kapcsolódási korlátokat tartalmazó ütemezési problémák megoldására kidolgozott MILP modellt egy létező söripari példán teszteltem.



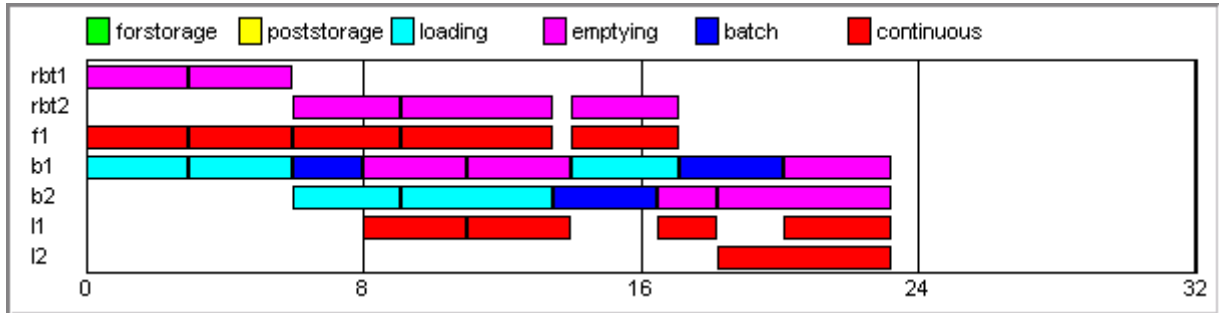
3. ábra A példafolyamat technológiai sémája

A példafolyamat technológiai sémája a 3. ábrán látható. A példa összesen hét készüléket és két terméket tartalmazott.

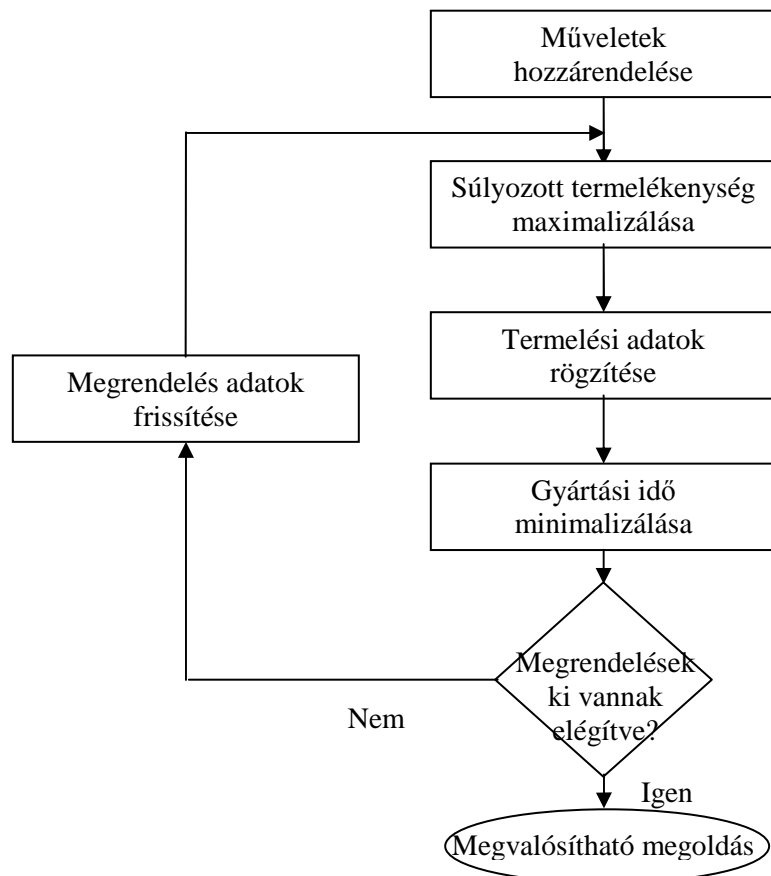
2. táblázat Az új modellel kapott megoldás adatai

Új modell		
műveletek száma	célfüggvény	CPU sec
6-1-4	28.600	2.95
3-2-1	25.000	1.75
3-2-2	23.250	4.74

Az általam kidolgozott új modellel kapott célfüggvény értékét és a szükséges megoldási időt a 2. táblázatban közöltem. A megoldásként kapott ütemterv a 4. ábrán látható.



4. ábra A megoldásként kapott ütemterv

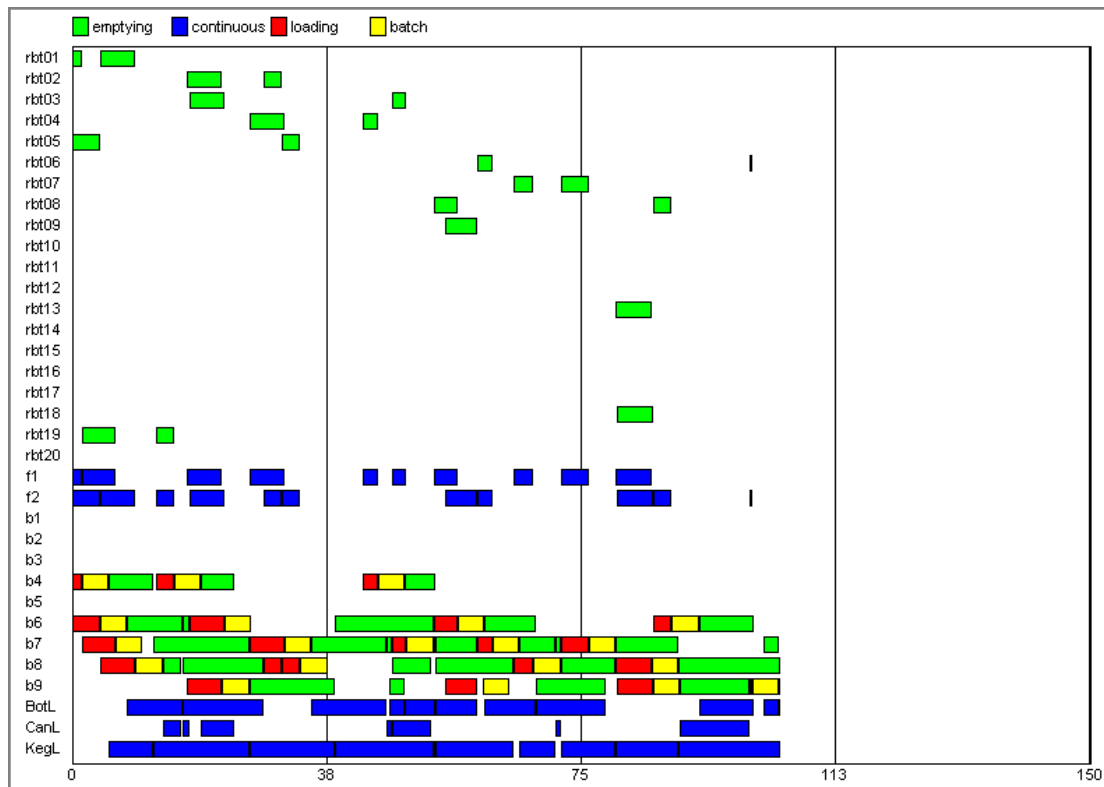


5. ábra A Rolling Operation algoritmus sémája

Az új modellt alkalmaztam egy nagyméretű ipari példára is, mely 34 készüléket és 24 megrendelést tartalmazott. Azonban ilyen méretek mellett a probléma hagyományos eszközökkel már

megoldhatatlan. Ezért a feladatra alkalmaztam az általam kidolgozott Rolling Operation algoritmust. Az algoritmus sémája az 5. ábrán látható.

Az eredeti problémát a műveletek száma szerint alproblémákra osztottam, és azokat iteratív módon egymás után oldottam meg, majd az alproblémák megoldásaiból felépítettem az eredeti probléma megoldását. A megoldás összesen 195 másodpercet vett igénybe, a nagyméretű ipari példára kapott ütemterv a 6. ábrán látható.



6. ábra A nagyméretű ipari példára kapott megoldás ütemterve

5. Tézisek

I. Tézis. Az eredeti Outer Approximation algoritmust a rektifikáló rendszerek optimalizálására alkalmasabb formára módosítottam.

a. Az új algoritmus az MILP mesterprobléma által nyújtott bináris változó vektor felhasználásával minden iterációban tényérről-tényérra megfelelő kezdőértéket számít minden folytonos változó számára. A jó kezdőértékek elégségesen alacsony értékre csökkentik a kezdeti ellentmondásosságot, így az NLP szolver képes megvalósítható megoldást találni.

b. A módosított Outer Approximation algoritmus az MILP mesterprobléma generálásakor nem használja fel a lineáris közelítéshez a fázisegyensúly számítására szolgáló egyenleteket. Elhagyásuk azért lehetséges, mert az NLP alprobléma által nyújtott megoldás komponensmérlegéből az összetételek már következnek. A lineáris közelítéskor ezen nemkonvex

korlátok kiküszöbölése megszünteti az esélyét annak, hogy a keresési térből megvalósítható megoldásokat vágjunk ki. A felhasznált nemlineáris korlátok számának csökkentése javítja a talált megoldás minőségét, és töredékére csökkenti a szükséges számítási időt. [1, 6, 8]

II. Tézis. Megállapítottam, hogy a hagyományos irodalmi modellek alkalmatlanok az élelmiszeriparban gyakran előforduló, tárolási időkorlátokat, folyamatos feladatokat és készülékek közötti speciális kapcsolódási korlátokat tartalmazó ütemezési problémák kezelésére. Ezért egy új, a problémához jobban alkalmazkodó szuperstruktúrát és MILP modellt dolgoztam ki. Az új modell az irodalmi modellektől eltérően közvetlenül kezeli a műveletek közötti kapcsolatokat. A megoldhatóság érdekében a szuperstruktúrát olyan módon szűkítettem, hogy ne zárjunk ki potenciális optimális megoldásokat. Az ilyen módon a bináris változók számában kifejezhető csökkentett méretű probléma az új modellel már könnyen megoldható. Az új MILP modell az irodalmi ütemezési problémák esetében alulteljesít az irodalmi modellekhez képest, növekvő komplexitású feladatok esetében azonban előtérbe kerülnek egyértelmű előnyei. A kezelendő élelmiszeripari feladat esetében a szükséges megoldási idő több nagyságrenddel alacsonyabb a legjobban teljesítő irodalmi modellénél is. [2, 4, 7]

III. Tézis. Egy valós méretű söripari probléma megoldása érdekében új dekompozíciós stratégiát fejlesztettem ki. Az általam kidolgozott új szuperstruktúra speciális szerkezetét kihasználva az eredeti problémát a műveletek száma szerint kisebb alproblémákra daraboltam. Ezek az alproblémák csökkentett méretüknek köszönhetően könnyebben megoldhatók. Az algoritmus minden iterációban először a legyártott termékmennyiséget maximalizálja, majd az ehhez szükséges gyártási időt minimalizálja. Az alproblémákból felépítve a kezelendő söripari probléma megoldása néhány perces számítási időt igényelt.

A gyártott termékmennyiséget maximalizáló és a gyártási időt minimalizáló probléma között a műveletek méretének rögzítése esetén rövidebb megoldási idő alatt gyengébb megoldást kaphatunk. Ezzel szemben, ha a két lépés között csak a teljesítendő megrendelések mennyiségét rögzítjük, azaz nagyobb lehetőség van a megoldás-struktúra átrendezésére a gyártási időt minimalizáló lépésben, hosszabb számítási idő alatt jobb, rövidebb gyártási időt adó megoldást kaphatunk. Az algoritmus megbízhatóan működik egyre szűkülő határidők mellett is. Egy lokális keresési metódussal a talált megoldás tovább javítható. [3, 5]

6. Alkalmazások

A módosított Outer Approximation algoritmust alkalmaztuk nagyméretű, komplex extraktív desztillációs problémák megoldására. A mintegy egy órára lerövidített megoldási idő lehetővé tette, hogy sok, egymástól csak a költségfaktorok értékében különböző optimalizálási feladatot oldjunk

meg elfogadható idő alatt. Így lehetőség nyílt arra, hogy a költségfaktoroknak az optimális struktúrára gyakorolt hatását vizsgálhassuk. A kapott eredményeket közleményben közöltük. [10]

A speciális tulajdonságokkal rendelkező ütemezési problémák kezelésére általam kidolgozott MILP modellnek és Rolling Operation algoritmusnak valós ipari ütemezési problémák megoldásában való alkalmazhatósága továbbra is intenzív és gyümölcsöző kutatás tárgya. Az algoritmus elvét sikerrel alkalmazzuk más élelmiszeripari feladatokra is.

7. Publikációk

A tézisekhez kapcsolódó folyóiratcikkek:

1. Farkas Tivadar, **Czuczai Barbara**, Rév Endre, Lelkes Zoltán: New MINLP Model and Modified Outer Approximation algorithm for distillation column synthesis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **2008**, *47*, 3088-3103. (IF(2008): 1,895; I: 1)
2. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Rév Endre, Lelkes Zoltán: New MILP model for solving scheduling problems with special characteristics, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **2009**, *48*, 5321-5335. (IF(2008): 1,895)
3. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Rolling Operation Algorithm for Solving Complex Scheduling Problems, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **2009**, *48*, 3898-3908. (IF(2008): 1,895)

A tézisekhez kapcsolódó konferencia absztraktok:

4. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Lelkes Zoltán, Rév Endre: Speciális ütemezési feladatok osztályba sorolása és megoldása. Veszprém, 2007. április 25-27.
5. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Lelkes Zoltán, Rév Endre: Rolling Operation dekompozíciós stratégia alkalmazása ipari ütemezési problémák megoldására. Veszprém, 2008. április 22-24.
6. Farkas Tivadar, **Czuczai Barbara**, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Modified Outer Approximation Algorithm to Optimize Complex Distillation Structure. Veszprém, 2008. december 15-18.
7. **Czuczai Barbara**: Speciális jellemzőkkel bíró ütemezési problémák osztályba sorolása és megoldási lehetőségeiknek vizsgálata. BME-VBK Doktoráns konferencia, 2007. február 9.
8. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Modified outer approximation algorithm for optimizing complex distillation processes. ESCAPE-18, Lyon, 2008. június 1-4.

Egyéb folyóiratcikkek:

9. Abdulfatah M. Emhamed, **Czuczai Barbara**, Horváth László, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Optimization of Desalination Location Problem Using MILP. *AICHE Journal*, **2007**, *53*, 2367-2383.
10. Abdulfatah M. Emhamed, **Czuczai Barbara**, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Analysis of Extractive Distillation with Mathematical Programming. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **2008**, *47*, 9983-9995.

Egyéb konferenciaelőadások és poszterek, ahol a jelölt szerzőként szerepel:

11. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Rév Endre, Fonyó Zsolt, Lelkes Zoltán: Desztillációs kolonna R-gráf alapú szuperstruktúrája és MINLP modellje. Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, 2005. április 26.
 12. **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Rév Endre, Fonyó Zsolt, Lelkes Zoltán: Desztillációs kolonna R-gráf alapú szuperstruktúrája és MINLP modellje. Alkalmazott Informatika Konferencia, Kaposvár, 2005. május 27.
 13. Abdulfatah M. Emhamed, **Czuczai Barbara**, Horváth László, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Desalination location model using mixed-integer linear programming. CHISA-17, Prága, 2006. augusztus 27-31.
 14. Abdulfatah M. Emhamed, **Czuczai Barbara**, Horváth László, Rév Endre, Lelkes Zoltán: An Improved Desalination Location Model Using Mixed-Integer Linear Programming. Sebha, Líbia, 2006. november 14-16.
 15. Farkas Tivadar, Rév Endre, **Czuczai Barbara**, Fonyó Zsolt, Lelkes Zoltán: R-graph-based distillation column superstructure and MINLP model. ESCAPE-15, Barcelona, 2005. május 29-június 1. Computer Aided Chemical Engineering, Volume 20, Part 1, 2005, 889-894.
 16. Abdulfatah M. Emhamed, **Czuczai Barbara**, Farkas Tivadar, Rév Endre, Lelkes Zoltán: Studying extractive distillation processes using optimization. Lyon, 2008. június 1-4.
-