

MISKOLCI EGYETEM DOKTORI (PHD) TÉZISFÜZETEI
HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA



**KITERJESZTETT ÚJSÁGÁRUS MODELL ALKALMAZÁSA
AZ IGÉNY SZERINTI TÖMEGGYÁRTÁS
KÉSZLETGAZDÁLKODÁSI PROBLÉMÁIBAN**

KÉSZÍTETTE:
MILEFF PÉTER
OKLEVELES MÉRNÖK-INFORMATIKUS

AKI DOKTORI (PHD) FOKOZAT ELNYERÉSÉRE PÁLYÁZIK

TUDOMÁNYOS VEZETŐ:
DR. NEHÉZ KÁROLY
PhD

Miskolc, 2007

Bíráló Bizottság tagjai

Elnök: Dr. Illés Béla PhD, dr. habil., egyetemi tanár (ME)

Titkár: Dr. Fegyverneki Sándor PhD, egyetemi docens (ME)

Tagok: Dr. Kádár Botond PhD, tudományos főmunkatárs (MTA SZTAKI)
Dr. Mezgár István CSc, dr. habil., tudományos főmunkatárs (MTA SZTAKI)
Dr. Koltai Tamás CSc, dr. habil., egyetemi tanár (BME)
Dr. Csáki Tibor CSc, egyetemi docens (ME)

Bírálók: Dr. Váncza József CSc, laborvezető-helyettes (MTA SZTAKI)
Dr. Vadász Dénes CSc, egyetemi docens (ME)

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	3
2. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK	4
2.1. AZ OPTIMÁLIS TÉTELNAGYSÁG MODELL ÉS ÁLTALÁNOSÍTÁSAI	5
2.2. AZ (s,S) MODELLEK	5
2.3. A (t,S) ÉS (s,q) MODELLEK	6
2.4. AZ ÚJSÁGÁRUS MODELL	7
3. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSE ÉS MÓDSZEREI	8
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE	11
5. EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA	18
6. TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK	18
7. NEW SCIENTIFIC RESULTS	19
8. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÍTETT SAJÁT PUBLIKÁCIÓK	20
9. A LEGFONTOSABB HIVATKOZOTT FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE	22

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a gazdasági fejlődés minden ország politikájának központi célkitűzése. A gazdaság egyik fő területe az árutermelés, amely a tömeggyártás sikerei következtében a fejlett országokban a magas GDP és a jólét megalapozójává vált. A tömegcikkre iránti piaci igény továbbra is magas, a piacon új igények egész sora jelent meg, a termékek életciklusa rövidebb, jelentősen megnőtt a kereslet az új, divatos formák és speciális csomagolások iránt. A tömeggyártás területén működő cégek termékeiket egyre inkább komponensekből szerelik össze, majd készre csomagolják. A komponenseket és a csomagoló anyagokat nagyobb részben beszállítóik szállítják. A tapasztalatok szerint a tömeggyártás és a beszállítói láncok kapcsolata egyre elválaszthatatlanabb a hatékony és a globális környezetben is sikeres vállalat esetében.

A beszállítói láncok maguk is állandó fejlődésben vannak. Az üzleti környezet változása befolyásolja a cégek és beszállítóik üzleti, műszaki és logisztikai kapcsolatait. A korábbi, alapjában véve egyszerű vásárló – eladó (úgynevezett „hideg”) beszállítói viszony egyre szorosabbá, együttműködőbbé („melegebbé”) vált. Ez azt jelenti, hogy a kooperatív és együttműködő módszerek és tevékenységek váltak az SCM (Supply Chain Management) technikák fejlesztésének egyik fő tárgyaivá. Kiemelkedő szerepet játszik ebben a folyamatban az IT (információs technológia) gyors fejlődése. Az egymástól sok tekintetben független, lokálisan is elkülönülő vállalatok valós idejű, hálózat-szerű együttműködése hatékony számítógépes hálózati informatikai rendszer nélkül nem valósítható meg.

A tömeggyártás teljes termelő- értékesítő láncja meglehetősen hosszú. Ezeknek a több fokozatú információs, döntési és fizikai (termelő és transzportáló) beszállító láncoknak, anyag- és információ-továbbító csatornáknak, ki nem küszöbölhető időbeli késleltetései vannak. A késleltetések és a folyamatok sztochasztikája, a kisebb nagyobb instabilitások, hiányok, feleslegek és többé fel nem használható veszteségek (selejtés és „döggé” vált készletek) forrásává válhatnak. A kialakuló komplex, nagyméretű, kollaboratív beszállítói rendszerek szükségessé teszik az üzleti és a műszaki folyamatok fokozottabb informatikai támogatását.

Az értékesítő, a végtermék gyártó és a beszállító cégek kapcsolata a gyakorlatban nagyon összetett és sokféle. Ez indokolja a modellek szélesebb körének vizsgálatát, további hatékony döntéstámogató és tervező módszerek elemzését. A piaci igények erős ingadozása, – sztochasztikája – a tömeggyártó cégek tevékenységét is jelentősen befolyásolja. A sokszor éles piaci verseny viszonyai között folyamatosan őrizni kell a megszerzett piaci pozíciókat. Ez kiemelt hangsúlyt ad a megrendelések határidőre való teljesítésének. A szállítókésztség iránti magas követelmények indokolják a vegyes, rendelésre és készletre gyártás (Make to stock + Make to order) üzleti politikájának egyidejű megvalósítását. A végtermék iránti piaci követelményeket a végtermék-gyártók közvetítik a beszállítóknak, amelyeknek üzleti politikájában ezeknek a tényezőknek szintén meg kell jelennie.

Ha csak a végszerelő és a beszállító cégek kapcsolatát vizsgáljuk, ezen a területen is elkülöníthetők stratégiai, taktikai és operatív együttműködési szintek. Az értekezés – a fent vázolt komplex problémakörből kiemelve – a kollaboratív beszállítók készletezési politikájának lehetőségeit vizsgálja nem determinisztikus igények esetén. A vizsgálat elsődleges célja olyan beszállítói-készletezési (Inventory Control, IC) politikák kidolgozása, amelyek biztosítják a végtermék gyártó igényeinek megfelelő szállítási teljesítést, megfelelő kiszolgálási szinten (Service Level), a piaci, a hibás tervezési és más eredetű bizonytalanságokat is figyelembe véve. Saját készletszintjét a beszállító gyártásindítással (ún. „belső” rendeléssel) tudja irányítani (növelni), miközben eleget tesz a végszerelő cég (a készletszintet csökkentő) „lehívásainak”. A beszállító készletgazdálkodási (beszállítás menedzselési) feladata az, hogy a rendelkezésére álló információk birtokában meghatározza, milyen készletszinteket tartson és milyen időpontokban mekkora gyártási sorozatokat indítson a készletszint pótlására. Eközben hosszú távon fenn kell tartania a cég imázsát és szerződéseit, középtávon maximalizálnia kell nyereségét, rövid-távon pedig eleget kell tennie a szerződésekből következő operatív kötelezettségeinek.

A kooperatív beszállítói szervezet egésze bonyolult, többszintű, informatika-igényes menedzselést kíván. A beszállító készletgazdálkodási politikája ennek a rendszernek csak egyik, de fontos eleme, amelyet természetesen a végszerelő és a beszállító teljes üzleti-technológiai-logisztikai rendszere befolyásol.

A készletgazdálkodással kapcsolatos döntések végső célja a beszállító vállalatok termelési, pénzügyi, azaz üzleti teljesítményének növelése. A beszállító cégeknek számos esetben a végszerelő kiszolgálása a fő (esetleg egyetlen) tevékenysége. Érthető, hogy a kiszolgálás magas minőségi színvonala és annak megbízhatósága a beszállító cég eredményességének, sikerességének, „imázsának” fő összetevője.

2. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

A készletgazdálkodási problémák hatékony modellezésének és megoldásának igénye a termelői iparvállalatok, üzemek, vállalatok fennállása óta létezik. A tématerület irodalma egyszerre fejlődött a matematika, a logisztika és a számítástechnika tudományokkal. Az első publikációk erről a területről még az 1910-es években jelentek meg. A készletezési (szűkebb értelemben raktár-irányítási) modellek elméleti háttere hamarosan alapvetően két ágra, az analitikus és a játékelméleti megközelítés ágára bomlott [15]. A mesterséges intelligencia módszereket alkalmazó harmadik ág az informatika gyors fejlődése után jelent meg. A kutatások tárgyát kezdetben az egy termékes, egy periódusos modellek képviselték, majd az évek során fokozatosan alakultak ki a többtermékes, többperiódusos determinisztikus, majd később a sztochasztikus modellek. A következőkben a fontosabb eredményeket a kialakult modelleszettek szerint mutatom be.

2.1. AZ OPTIMÁLIS TÉTELNAGYSÁG MODELL ÉS ÁLTALÁNOSÍTÁSAI

A szigorúan determinisztikus input-output feltételrendszerre épülő optimális rendelési tétel nagyság (*Economic Order Quantity*) modell a klasszikusnak nevezhető első készletgazdálkodási modell, amely *F. Harris* 1915-ben megjelent könyvében szerepelt először. Az optimális tétel nagyság értékét megadó képletet másikk felfedezője után *Wilson* formulának is nevezik. Az összefüggést 1916-tól napjainkig a világon széles körben alkalmazták és módosított változatait (*Rajan* [40], *Cheng*, [14]) még ma is használják. Széleskörű felhasználásának nemcsak származtatásának és végeredményének egyszerűsége a magyarázat, hanem az is, hogy a megoldás meglehetősen érzéketlen a kereslet várható nagyságára vonatkozó becslés pontatlanságára.

A klasszikus modell általánosításán, kiterjesztésén sok szerző dolgozott. Az eredmények összefoglalását *Whitin* munkája [55] adta meg különböző működési feltételek elemzésével. A *Whitin*-féle alapmodellt *Arcelus* és *Srinivasan* [1] fejlesztette tovább három különböző típusú profitfüggvénnyel. Lineáris típusú igénygörbe alkalmazásával *Chen* és *Min* [13] a [14]-hez hasonló célfüggvényeket vezettek be.

Bizonytalan igény esetén a tervezetthez képest hiány és felesleges többlet is megjelenhet. A megengedett hiány esetével több kutató (*Churchman*, *Ackoff* és *Arnoff* (1957) [16], *Sasieni*, *Yaspan* és *Fridman* (1959) [42]) munkája foglalkozik. Ezeket a modelleket részletesen összefoglalja *Hadley* és *Whitin* (1963) [25] és *Naddor* 1966-os könyve [36]. Az első dinamikus, determinisztikus tétel nagyság modellt *Wagner-Whitin* 1958-as cikke [54] ismerteti. Az irodalomban a WW modell számos kiegészítésével találkozhatunk. Az algoritmus további javítása *Hadley*, *Whitin* és *Popp* nevéhez fűződik. *Benkő János* [6] tanulmánya a klasszikus *Wagner-Whitin* továbbfejlesztésével, illetve a fejlesztett modell megoldásával foglalkozik.

A klasszikus, „tétel nagyság függő beszerzési ár” modell leggyakoribb eseteit *Hadley* és *Whitin* 1963-ban megjelent könyve [25] tárgyalja részletesen, de jelentek meg hasonló eredmények *Churchman*, *Ackoff* és *Arnoff* (1957) [16], *Sasieni*, *Yaspan* és *Friedman* (1959) [42] szerzőktől is. *S. Mondal* és *M. Maiti* a többtermékes fuzzy EOQ modell megoldására genetikus algoritmust alkalmazott [35]. *S. Panda*, *S. Senapati*, *K. Banerjee* és *M. Basu* ugyanezt a problémát a nemlineáris célprogramozás módszerével oldotta meg [37]. Az IT széleskörű elterjedése óta a bonyolultabb modellek is kezelhetővé váltak, ezért az elmélet és a gyakorlat is a dinamikus, sztochasztikus és több termékes modellek felé irányult.

2.2. AZ (s,S) MODELLEK

Az (s, S) típusú dinamikus készletgazdálkodási politikák legfontosabb tulajdonsága a folyamatos készletellenőrzés. A politikában S jelenti az optimális-, s pedig a kritikus készletmennyiségét. A folyamatos készletfigyelésű modellek elsősorban a nagy tételszámokat, közel egyenletes ütemben gyártó és beszállító cégeknél alkalmazhatók sikerrel, a kiindulási

feltételek szigorú figyelembevételével.

Az (s,S) típusú optimalizálási probléma első pontos megfogalmazása *Arrow, Harris és Marschak* 1951-ben megjelent könyvében [2] szerepel. Az optimalitás tulajdonságait *Dvoretzky, Kiefer és Wolfowitz* vizsgálta az 1952-53-ban megjelent cikkeikben [18]. Ezekkel a modellekkel egy időben vált ismerté *Neumann János* és *Oskar Morgenstern* „*Theory of Games and Economic Behavior*” c. híres könyve [53], amely újabb irányt adott a készletezési problémák megközelítésének.

A dinamikus programozás módszerével *Bellman, Glicksberg* és *Gross* szerzők foglalkoztak [5]. A problémát *Arrow, Karlin* és *Scarf* 1958-as könyve [3] is részletesen tárgyalja. Az optimalitásra vonatkozó első általános jellegű eredményt *Scarf* mutatja be [43]. A probléma végtelen tervezési időhorizontra való kiterjesztésével *Zabel, Iglehart* [29] és *Veinott* [52] foglalkozott. A terület eredményeinek jól rendezett összefoglalása *Hochstädter* könyvében [27] szerepel. A probléma dinamikus programozással való vizsgálatát *Naddor* 1966-os könyve [36] tárgyalja. A közelítő eljárások alkalmazását *Wagner, O’Hagan és Lundh* (1965) és *Girlich* (1971) [24] is vizsgálta. *Fisher* és *Hornstein* publikációjukban [22] az (s, S) készletezési politikák aggregált megvalósítását vizsgálják a játékelmélet módszerével. A klasszikus (s, S) politikára épülő készletezési modellek további általánosítására *Sethi* és *Cheng* [44] tett javaslatot.

2.3. A (t,S) ÉS (s,q) MODELLEK

A (t, S) típusú modellek esetében a készletellenőrzés állandó periódusú, ahol S jelenti az optimális készletezési mennyiséget, és t az újrendelési idő-pontot. A (s, q) modellek esetében a készletutánpótlásról akkor döntünk, amikor a készlet szint valamilyen meghatározott minimális érték (s) alá csökken. Az utánrendelés tétel nagysága (q) rögzített. A (t, S) típusú modellek megoldását tárgyalja *Buchman* és *Koenigsberg* [8], *Hadley* és *Whitin* könyve [25]. A (t, S) modellek általánosítására *Naddor* [36] bevezeti a „készletbank” rendszert. Könyvében a rögzített rendelési szint esetét is vizsgálja. *Prékopa* (1972) modelljében [48] a kereslet időbeli lefutását is figyelembe veszi, valamint általánosítja a modellt arra az esetre, amikor a beérkezés nem egy tételben történik. A dinamikus tétel nagyság-modellt sztochasztikus kereslet mellett *Hadley* és *Whitin* [25] vizsgálja részletesen. A sürgősségi ellátás lehetőségét *Rizsikov* (1969) modellje veszi figyelembe. A sztochasztikus programozás eredményeit felhasználva *Prékopa* ad optimális megoldást több egymást követő irányítási periódus rendelési tétel nagyságára, egy konvex programozási algoritmussal. A megbízhatósági készletmodellek területén *Prékopa* és *Ziermann* ért el kimagasló eredményt két modelljük kidolgozásával [28] [47].

A kereslet várakozási idejét valószínűségi változónak tekinti *Higa, Feyerherm* és *Machado* megjelent publikációja [26], amely megbízhatósági feltételt is figyelembe vesz.

2.4. AZ ÚJSÁGÁRUS MODELL

A sztochasztikus készletgazdálkodás elméletének irodalmában kiemelkedő szerepet kap az úgynevezett klasszikus „újságárus” modell (*Scarf* 1963 [43], *Arrow et al.* [2], *emph-Hadley és Whitin* 1963 [25]). A klasszikus modellről és alkalmazásáról jó áttekintést nyújt *Porteus* [39], *Erlebacher a* [21] és *Foley* [4] munkája. Az egyperiódusos modell egyszerűsége és hatékonysága miatt napjainkban is számos modell alapját képezi. Széles körben használják az ellátási lánc koordinációs problémákban (pl. [30]), de előszeretettel alkalmazzák az Operáció Menedzsment számos más területén is, például a centralizált és decentralizált ellátási láncok készletezési folyamataiban (*Shang és Song* [45], *Cachon* 2003 [9]), kiskereskedelmi árukészlet tervezése (van *Ryzin, Mahajan* 1999 [41]), nemzetközi tevékenységek (*Kouvelis, Gutierrez* 1997 [31]), horizontális versengés a cégek között sztochasztikus igények esetén, (*Lippman, McCardle* 1995 [34]), lead time versengés (*Li* 1992 [33]), erőforrás bevonás és alvállalkozásba adási döntések (*Van Mieghem* 1999 [50]), Markovi típusú részlegesen megfigyelt rendelések (*Bensoussan* 2006 [7]), termék és folyamat újratervezés (*Fisher, Raman* 1996 [23]), korlátozott racionalitás (*Xuanming* 2007 [46]), készáru piac és készletgazdálkodás (*Lee, Whang* 2002 [32]) típusú problémák megoldására; hogy csak a legfontosabbakat említsük. *Petruzzi és Dada* 1999-es publikációjukban [38] az újságárus modell ár alapú kiterjesztéseivel foglalkozik. Az ellátási lánc sokszínű problémáinak megoldásában a legkiemelkedőbb eredmények *G. P. Cachon* nevéhez fűződnek, akinek számos publikációja és könyve [9] [10] [11] [12] kiváló eredményeit tanúsítja.

Az ellátási láncok menedzselése, benne a beszállítói készletgazdálkodás, manapság egyre fontosabb szerepet kap. Számos kiváló publikáció jelent meg a témakörben (pl. partnerek közötti kockázatmegosztás, kooperációs logisztikai platform – *Váncza és Egri* [19] [51]). Az informatika rohamos fejlődésével egyre nagyobb szerephez jutnak a számítógépes ERP, PPS, MES és SCM alkalmazási rendszerek, amelyekben a relációs adatbázis alapú tranzakciókon túlmutató, összetett üzleti modellek, analitikus és heurisztikus megoldások, mesterséges intelligencia és adatbányászati módszerek is helyet kaphatnak. A jelentősen megnőtt számítási teljesítmény (processzorok, memória, hálózatok, osztott feldolgozás) következtében a soktermékes és sokszereplős dinamikus készletgazdálkodási rendszerek is kezelhetővé váltak. Új operációkutatási és AI módszerek (például vegyes, egész-értékű lineáris programozás, korlátozás-programozás, evolúciós algoritmusok, stb.) alkalmazásával a kiterjesztett modellek is megoldhatók. Gyors döntések és „mi lenne ha?” típusú elemzések támogatásában azonban továbbra is nagy szerepe van az analitikus eredményeken és a heurisztikákon alapuló megoldásoknak. Az értekezés ezen a területen szándékszik néhány új eredményt bemutatni.

3. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSE ÉS MÓDSZEREI

Az üzleti szférában egy beszállítói cég számos partnerrel áll kapcsolatban. A partnerek bizonytalansággal terhelt igényeinek maradéktalan kielégítése megköveteli a hatékony, és megbízható készletgazdálkodási modellek alkalmazását, melyek segítségével költség-optimális készletezési politika alakítható ki. A készletgazdálkodás tudományos irodalmában nagyszámú különböző megközelítésű modell áll rendelkezésre a problémák kezelésére. Ugyanakkor a kereskedelmi szoftver-alkalmazások többnyire csak néhány alap-modellt használnak. Kutatási munkám során arra a következtetésre jutottam, hogy a publikált modellek többsége valószínűleg a több periódust tervező algoritmusok, illetve a nagyméretű adatbázis kezelés IT jellegű nehézségei miatt nem jut el a konkrét gyakorlati alkalmazásig. A kiterjesztett modellek megoldására használt meta-heurisztikák és operációkutatási módszerek a feladat kombinatorikus jellege miatt legtöbbször nem szolgáltatnak elég gyors megoldást a döntésekhez.

Az értekezés készítése során olyan új megközelítésű, több tervezési periódus kezelésére alkalmas készletgazdálkodási modell kidolgozását és szoftver implementációját tűztem ki célul, amely bizonytalan piaci környezet mellett is hatékony készletezési politikát támogat elegendően gyors számítási teljesítménnyel.

Fontos követelménynek tekintettem a „rugalmas tömeggyártás” igényeinek megfelelő, több tervezési-gyártási periódus együttes, gyors kezelését, a felhasználó cég – igényei szerinti – jó hangolhatóságot, a bizonytalansággal terhelt esetben is hatékony készletezést, a termékek keresletében jelentkező szezonálitás modellezését és a kapacitás problémák kezelését. A felhalmozott ismeretek és a kidolgozott új eljárások egy általam megvalósított, Web alapú számítógépes készletezési rendszeren tesztelhetők online szimulációk futtatásával. Azt remélem, hogy az értekezésben bemutatott új megközelítés, a kidolgozott modellek és eljárások tovább bővítik az IT eszközökkel támogatott sztochasztikus készletgazdálkodási modellek nagy családját.

Kutatómunkám során a problémafeltevés, irodalomkutatás, megoldási módszerek keresése, megoldások szoftver implementálása, tesztelés, kiértékelés lépésekből álló ciklikusan ismétlődő folyamatot követtem. Az irodalomkutatás során törekedtem a régi és a modern modellek széles körének megismerésére, amelyekből kiemeltem azokat az alapvető funkciókat, amelyeket egy modern készletgazdálkodási rendszernek hatékonyan támogatnia kell. A VITAL projekt tapasztalataira támaszkodva a rugalmas tömeggyártás készletezési problémáit helyeztem a kutatás középpontjába. Az irodalomban található modellek és megközelítések sokfélesége korán rádöbbsentett arra, hogy a különböző készletezési folyamatok valósághű modellezése meglehetősen bonyolult matematikai ismereteket igényel. Az üzleti (piaci) környezet folyamatos változásai, a kooperatív kapcsolati formák igénye tovább növelte megválaszolandó kérdéseket.

Kutatási munkám eredményességéhez a szakirodalom mellett nagymértékben hozzá-

járultak azok a konkrét kutatáshoz kapcsolódó technikai specifikációk, melyek megismerésére a „VITAL” (Valósídejű, kooperatív vállalatok informatikai támogatása, NKTH 2/010/2004) projekt keretében nyílt lehetőség. A projektben az igény szerinti tömeggyártás, a bizonytalan piaci környezetben működő ellátási láncok tervezési és irányítási problémái kapnak hangsúlyt. A kutatási konzorciumban a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetének (MTA-SZTAKI) vezetésével a General Electric (GE) magyarországi leányvállalatai, több hazai beszállító vállalat, továbbá a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) és a Miskolci Egyetem (ME) kutatócsoportjai vesznek részt (Projektvezető: Monostori László). A Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszékén a kutatómunka fő célja a nagyméretű, komplex kutatás-fejlesztési munka részfeladatainak támogatása, valamint megoldási alternatívák feltárása és elemzése volt. A kooperatív beszállítói láncok kutatási-fejlesztési munkáit klaszter vezetőként Váncza József (MTA-SZTAKI), informatikai kutatási vezetőként Farkas Zoltán (GE Hungary) irányította. Az ME kapcsolódó kutatásait Erdélyi Ferenc koordinálta.

Bár számos modell más – más megközelítés útján próbálja a készletezés folyamatát kezelni, a megválaszolendő alapvető problémák közösek. A készletgazdálkodási, vagyis a készletet alakító műszaki-gazdasági (tervezési és irányítási) tevékenység során az első és legfontosabb kérdés az, hogy adott körülmények között, adott időpillanatban, vagy időszakban mennyi az a minimális készlet, amely a termelés és a forgalom zavartalan működéséhez szükséges. A második kérdés rendszerint az, hogy milyen legyen részleteiben a készletváltozás dinamikája, azaz milyen időpontokban kell indítani a készletfeltöltő sorozatok gyártását. Ezek a látszólag egyszerű kérdések a valóságban meglehetősen komplex problémák megoldását igénylik.

Kutatói munkám során, több modellt elemezve, az irodalomban ismert úgynevezett indítási (setup) költséggel bővített „újságárus” problémából indultam ki. Ezt a nem determinisztikus igényrendszeren alapuló modellt egyszerűsége és hatékonysága miatt előszeretettel alkalmazzák az operációkutatás számos területén. A klasszikus modell azonban a „mennyit gyártás” kérdését csak egy periódusra vonatkoztatva tudja megválaszolni. Ezért a modellt az irodalomban – Herbert Scarf javaslata szerint – valamilyen globális kereső eljárás segítségével, algoritmikus formában alkalmazzák, több periódus optimális készletezési politikájának meghatározására. Munkám során – ezt az utat követve – két új kereső eljárást dolgoztam ki.

Első megközelítésben a korlátozás programozás módszereit alkalmazva az összes lehetséges esetet megvizsgáló módszert fejlesztettem ki. Az algoritmus, – bár minden esetben képes az optimális megoldás megtalálására – a korlátozó feltételek száma és jellege következtében rendkívüli számításigényes. A feladat kombinatorikus jellege miatt hosszabb időhorizont esetén nem alkalmazható. További megközelítésként figyelmem az irodalomban ismert globális kereső meta-heurisztikák felé irányult, és választásom a genetikus

algoritmusra esett. A kidolgozott módszer a számítási idő lényeges csökkenését eredményezte, sok termék és hosszabb időhorizont esetén azonban az optimális megoldás elérése így is reménytelen maradt. A kifejlesztett megoldások tapasztalati alapján így arra a következtetésre jutottam, hogy a modell ilyen formában nem tesz eleget a nagyobb méretű valós ipari rendszerek követelményeinek.

További alternatívákat keresve figyelmem ekkor fordult az analitikus megközelítés felé. A klasszikus modell költségtípusaira alapozva kidolgoztam a tetszőleges, véges hosszúságú időhorizont költség típusú célfüggvényét. A függvények analitikus megoldásával egy, a klasszikus modell megoldásához hasonló, eloszlásfüggvény-független eredményre jutottam. A megoldás előrelépést jelent a sztochasztikus készletgazdálkodás irodalmában, mert a tetszőleges hosszúságú, bizonytalansággal terhelt termelési időhorizont optimális gyártási/rendelési mennyiségeit analitikus úton, „zárt alakban” számolja. Az (s, S) politikára vonatkoztatva a kapott megoldás a kritikus raktárkészlet fogalmának bevezetésével válik teljes készletgazdálkodási politikává. Ennek alkalmazása azonban – kollaboratív beszállítói környezetben – további kérdéseket vetett fel.

Egy gyártás indítása általában egyfajta fix (ún. setup) költséggel terhelt. Ez a költségtípus esetenként igen magas is lehet, és megjelenése elengedhetlenné teszi az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok számának pontos meghatározását ahhoz, hogy a tárolásból és a hiány kockázatából fakadó költségek összege minimális legyen. A több periódusos modellre alapozva bevezettem egy fajlagos költségmodellt. A kidolgozott heurisztikus eljárás az optimális megoldást a minimális fajlagos költség számításával éri el. Az elvégzett szimulációk számítási eredményeinek összehasonlítása (értekezés 5.3 fejezet) igazolja a módszer hatékonyságát.

A piaci felmérések jól mutatják, hogy bizonyos termékek keresletében ciklikus ingadozások figyelhetők meg. Sokszor a kereslet akár teljesen meg is szűnhet (pl. elavulás, divatjamúltság, stb.). Az optimális készletezés modellezésénél ilyenkor természetesen nélkülözhetetlen szerepe van az emberi interakcióknak. A tervezés jövőre vonatkozó kockázatai nehezen modellezhetők. A döntéseknek, csupán az igény-előrejelzésekre való alapozása, többé fel nem használható, jelentős költségvonzatú elfekvő készletek („dög”) keletkezését eredményezheti. Ebből kiindulva és a korábbi eredményekre alapozva kidolgoztam a „termékkifutás” figyelembevételének egy lehetséges analitikus matematikai modelljét. A kifutás időben növekvő bizonytalanságát Poisson valószínűségi változóval modellezve a termékkifutás folyamata zárt alakú megoldással, az eloszlásfüggvény típusától függetlenül kifejezhető.

A tapasztalat szerint piaci versenyhelyzetben a cégek a lehető legtöbb megrendelés elfogadására törekednek. A túlvállalás, a gépek kiesése, meghibásodása miatt gyakran szembetalálják magukat a kapacitáshiány problémájával, amikor is a rendelkezésre álló termelői kapacitások nem teszik lehetővé a szükséges mennyiségek legyártását. Ilyen esetekben felmerül a kérdés, hogy a kapacitáshiány figyelembevételével melyik termékből

mennyit kell gyártani ahhoz, hogy a cég költségei (veszteségei) minimálisak maradjanak.

Kutatómunkám során arra törekedtem, hogy a kidolgozott több periódusos újságárus modellt alapul véve olyan módszert javasoljak, amely tetszőleges számú termék esetén rövid idő alatt garantál egy kedvező költségvonatú megoldást a kapacitáskorlát feltételét is figyelembe véve. A heurisztikus módszer kifejlesztésénél a fajlagos költségmodellből indultam ki. Az optimális „együtt-gyártási periódusszám” költség alapú politika esetén a fajlagos költséggörbe minimumát jelenti. A kapacitáskorlát feltételének belépése ezektől a kezdeti optimális megoldásoktól kevesebb mennyiségek gyártását eredményezi. Bármely, az optimumtól való eltérés azonban fajlagos költségnövekedést okoz. A probléma kezelésére olyan, a minimális fajlagos költségváltozások mentén haladó heurisztikus algoritmust fejlesztettem ki, amely figyelembe veszi a kapacitáskorlát feltételét, és minimálisan tartja a megoldás során nyert fajlagos költségnövekedések összegét.

A kidolgozott modellek alapján korszerű szoftverfejlesztői eszközökkel, J2EE fejlesztési környezet alkalmazásával kifejlesztettem egy összetett, a készletgazdálkodási folyamatokat tervező, modellező szoftvert. A platform-független alkalmazás felhasználó vezérelt, online szimulációk elvégzésével támogatja az optimális politika gyors kialakítását. Az elkészült program egyes elemei a Java technológia legújabb módszereit alkalmazzák.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

Az értekezésemben kidolgozott új tudományos eredményeket az alábbiakban foglalom össze.

- 1. tézis: Új, kiterjesztett „újságárus” típusú készletezés-irányítási modell a rugalmas tömeggyártás kooperatív beszállítási feladatainak támogatására.**

Az igény szerinti tömeggyártás fő jellemzője, hogy a végterméket összeszerelő cég a komponenseket tartós és kooperatív beszállítói-készletezési kapcsolat keretei között szerzi be. Az együttműködés gyakori formája a napjainkban közkedvelt VMI (Vendor Managed Inventory) üzleti modell, amely az SCM (Supply Chain Management) modellek számítógépes alkalmazásával valósul meg. A végszerelő részletes információval látja el a beszállítóit a termelési programról, s ezzel egyidejűleg a beszállítók teljes felelősséget vállalnak a végszerelés anyagellátásért. Ebben az esetben minden beszállító ellátási tevékenységének megbízhatósága kiemelt szerepet kap, miközben saját készletpolitikájuknak biztosítani kell a költségek minimalizálást. Végső soron a végszerelő és a beszállító autonóm termelésirányítási tevékenységének együttesen kell biztosítania az integrált folyamatok megfelelő hatékonyságát. Ezek a követelmények szükségessé teszik a klasszikus készletezési modellek továbbfejlesztését, a költségösszetevők finomabb felbontását, a termelésirányítási politika

javítását.

Az igény szerinti tömeggyártás kooperatív beszállítói rendszerének követelményeiből kiindulva kidolgoztam egy új, a gyártás-indítási (setup) költséggel bővített klasszikus „újságárus” feladatra épülő, kiterjesztett költségfüggvényű, több rendelési periódus együttes kezelésére alkalmas, sztochasztikus készletgazdálkodási modellt.

A modellt a következők jellemzik:

- A klasszikus modellt bővítve egy új költségfüggvényben fogalmaztam meg a beszállító költségét tetszőleges, véges hosszúságú gyártási időhorizonton.

$$K_{123\dots n}(q_{123\dots n}) = c_f + c_v(q_{123\dots n} - I) + hE[q_{123\dots n} - D_1]^+ + hE[q_{123\dots n} - D_1 - D_2]^+ + \dots + hE[q_{123\dots n} - D_1 - D_2 - \dots - D_n]^+ + pE[D_1 - q_{123\dots n}]^+ + pE[(D_1 + D_2) - q_{123\dots n}]^+ + \dots + pE[(D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1}) - q_{123\dots n}]^+ + pE\left[D_n + \left[\dots + \left[D_2 + [D_1 - q_{123\dots n}]^-\right]^-\right]^-\right]^+.$$

Az összefüggésben: (1) c_f a gyártásindítás (*setup*) költsége [Ft]. (2) c_v egy komponens legyártásának költsége. [Ft/darab]. (3) p a beszállítói ellátási hiányból eredő büntetés (*penalty cost*) [Ft/darab]. (4) h a komponensenkénti raktározási költség (*holding cost*) [Ft/darab]. (5) D_i valószínűségi változó a végszerelő által az i -edik rendelési periódusban lehívott igénye [darab]. (6) $E[y]$ az y valószínűségi változó várható értéke. (7) $q_{123\dots n}$ a komponens raktározási mennyisége n darab periódus esetén [darab]. (8) I az induló raktárkészlet [darab]. (9) $[a - b]^+ = \max(a - b, 0)$. (10) $[a - b]^- = \min(a - b, 0)$.

- Az új modell segítségével analitikus módszerekkel meghatározható (a) a beszállítói bizonytalansággal terhelt, (b) a végszerelői igényt kielégítő, (c) tetszőleges, véges hosszúságú gyártási időhorizontot figyelembe vevő (d) költség-optimalis készletezési politika zárt alakban.
- A készletpolitikát jellemző raktározási és indítandó gyártási mennyiség számítása a végszerelő gyártási igény valószínűség-eloszlás típusától független.

$$F_{123\dots n}(q_{123\dots n}^*) = \frac{p - c_v - hF_1(q_{123\dots n}^*) - hF_{12}(q_{123\dots n}^*) - \dots - hF_{123\dots n-1}(q_{123\dots n}^*)}{p + h}.$$

A feladat megoldásában $F_{123\dots i}()$ jelenti az i darab rendelési periódus igényösszegeinek együttes eloszlásfüggvényét. $q_{123\dots n}^*$ az optimalis komponens raktározási mennyisége n darab periódus esetén. Az optimalis indítandó gyártási mennyiség így az optimalis raktározási mennyiség és az induló raktárkészlet különbségeként számítható.

- Az új, kiterjesztett készletgazdálkodási modell lehetővé teszi a túl kevés vagy túl sok komponens legyártásával keletkező járulékos beszállítói költségek minimalizálását. A büntető paraméter megfelelő megválasztásával a beszállítói felelősség kockázati szintje is tetszőlegesen állítható.

- Ráműtattam arra, hogy az (s, S) típusú modelleknél ismert kritikus raktárkészlet fogalma (az a készlet szint, amikor a gyártásindítás és a nem indítás költségei megegyeznek) a kiterjesztett modell esetén is bevezethető.
- A modell helyes működésének igazolására megterveztem és megvalósítottam egy Web alapú, J2EE technológiára épülő prototípus készlet-irányítási rendszert.

Az irodalomban megtalálható hasonló modellek többsége algoritmikus módszerekkel és „soft computing” eszközökkel kezeli a problémát. Több termék és hosszú időhorizont esetén azonban az optimum keresés folyamata rendkívül számításigényes lehet. A tézisben ismertetett modell analitikus eljárása miatt alkalmasnak bizonyult hosszabb időhorizont és több komponens együttes kezelésére, ami alternatívákat is elemző, „mi lenne akkor ha” típusú szolgáltatásokat nyújtó számítógépes eszköz létrehozásának alapfeltétele. A modell helyességét matematikai eszközökkel és számítógépes szimulációval ellenőriztem. A szimuláció elvégzéséhez a MAPLE matematikai programcsomagot alkalmaztam.

A tézisben bemutatott modell tulajdonságait az 5.1 fejezet ismerteti. A modellt a $\langle 2 \rangle$, $\langle 5 \rangle$, $\langle 8 \rangle$ és a $\langle 7 \rangle$ publikációkban is részletesen bemutattam.

2. tézis: A beszállító optimális gyártási ciklusainak meghatározása egy fajlagos költségmodell segítségével, figyelembe véve a kooperatív partnerek együttműködésében „kontroll” paraméterként megjelenő, „büntető költség” finom hangolásának igényét.

Az igény szerinti tömeggyártás széles termékkála gyártását teszi lehetővé, jól hangolható, rugalmas gyártórendszerek segítségével. Gyakori gyártásindítás esetén a sorozatos setup költségek, ritkább gyártásindítás esetén viszont a tárolási és forgótöke lekötési költségek növekedése lép fel. A piaci előrejelzésekből származó igényinformációk (forecast) alapján a komponens gyártó beszállító cégek termelésütemezésében fontos az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok helyes megválasztása, amely az irodalomban megjelenő „mikor és mennyit gyártás” problémáját kezeli.

Az első tézis eredményei alapján felismertem, hogy a kiterjesztett újságárus probléma fajlagos költségmodell fogalmának bevezetése kulcsfontosságú az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok optimális darabszámának meghatározásában. Egy heurisztikus módszert dolgoztam ki az optimum meghatározására.

- Igazoltam, hogy az egyszeri gyártásindítással kielégíthető periódusok optimális darabszáma mindig a minimális fajlagos költséggel rendelkező együttgyártási periódusszámmal nyert megoldás lesz.

- A kiterjesztett készletezés-irányítási modell az optimális együttgyártási ciklusok pontos meghatározásával kilép a hagyományos (t, S) periodikus modellek családjából, mert t „ellenőrzési” periódus hossza változó igények és feltételek mellett változni fog.

A partnerek közötti együttműködésben fontos szerepet kap a szerződésekben rögzített együttműködési szint biztosítása. Nem megfelelő kiszolgálási szint nyújtása könnyen a vásárló elvesztését is eredményezheti, ezért a hiány szintjének jó hangolhatósága a készletgazdálkodási modellekben alapvető követelményként jelenik meg.

Rámutattam arra, hogy a kiterjesztett modell büntető költsége a partnerek közötti kooperatív kapcsolati viszonyban „kontroll” paraméterként értelmezhető, és alkalmas eszköz a megfelelő kiszolgálási szint biztosításában. Analitikus összefüggést dolgoztam ki értékének pontos meghatározására a megengedett hiány függvényében.

- A kiterjesztett újságárus modellben szereplő „büntető költség” paraméter értéke a megengedett hiány függvényében analitikus összefüggéssel visszaszámítható.

$$p = -\frac{c_v + hF_1(E(D_{123\dots n}) - v_{123\dots n}) + \dots + hF_{123\dots n}(E(D_{123\dots n}) - v_{123\dots n})}{F_{123\dots n}(E(D_{123\dots n}) - v_{123\dots n}) - 1}.$$

A megoldásban $v_{123\dots n} \geq 0$ a megengedett hiány értéke n darab rendelési periódus esetén [darab].

- Az összefüggés sztochasztikus tulajdonsága miatt a megoldás további két értelmezése áll elő: (1) $v_{123\dots n}$ a rendelési periódusokban bekövetkező hiány átlagos értéke, (2) $v_{123\dots n}$ a rendelési periódusokban bekövetkező hiány maximális értéke.
- Igazoltam, hogy a tervezett kiszolgálási szint a büntető költség értékének, és az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok optimális számának ismerete nélkül is biztosítható úgy, hogy a kapott megoldás minimális fajlagos költséggel bír.

Az irodalomban, a hiányt megengedő periodikus modellek a problémát csak elméleti szempontból vizsgálják. A gyakorlati alkalmazhatóság azonban megköveteli a büntető költség értékének ismeretét, amely a kooperatív beszállítói viszonyban egyfajta „kontroll” paraméter szerepet töltheti be. Az értekezésben kidolgozott analitikus eljárás a megengedhető hiány függvényében lehetőséget nyújt a büntetőköltség paraméter értékének meghatározására.

A tézisben bemutatott módszer tovább finomítja a beszállító oldali készletgazdálkodási politikát. Az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok optimális számának meghatározásával dinamikus készletezést, valamint a gyors döntés lehetőségét nyújtja a

beszállító számára. A módszer helyességét MAPLE matematikai programcsomag segítségével készített szimulációkkal, illetve a probléma Java nyelven implementált korlátozás programozás megközelítésével, illetve genetikus algoritmussal igazoltam.

A tézisben bemutatott modellek tulajdonságait az 5.3 és a 7. fejezet ismerteti. A modellt az ⟨1⟩, ⟨6⟩, ⟨7⟩ és a ⟨8⟩ publikációkban is részletesen bemutattam.

3. tézis: Eljárás a termékkifutás részmodelljének meghatározására a többé újra fel nem használható készletek („dög”) miatt keletkező költségnövekedések ellen.

A piaci felmérések egyértelműen igazolják, hogy a termékek életciklusaiban kereslet-ingadozások figyelhetők meg. Gyakori, hogy az igényekhez igazodó, speciális termékek (pl. szezonális (karácsonyi) csomagolóanyagok) esetében a kereslet akár teljesen megszűnik, és újra fel nem használható készletek („dög”) keletkeznek. A megjelenő felesleges készletek nem csak a komponens gyártó cég számára okoznak költségnövekedést, de jelentős veszteséget jelenthetnek a teljes ellátási lánc (SC) számára is. Napjainkban a problémával szinte minden kereskedő, beszállító cég szembesül, és rendszerint tapasztalatokon alapuló emberi intuíció segítségével próbál ellene védekezni.

Az 1. és 2. tézis eredményeire támaszkodva kidolgoztam egy olyan matematikai modellt, mely a tömeggyártás bizonytalan piaci környezetének hatására jelentkező termékkifutási probléma kezelésére tesz javaslatot.

A modellt az alábbiak jellemzik:

- A 1. tézisben bemutatott kiterjesztett készletezés-irányítási modellt új költségfüggvény taggal egészítettem ki, amely segítségével a termékkifutás kockázati tényezője Poisson típusú eloszlásfüggvényt alkalmazva modellezhető.

$$K_n^1(q_{123\dots n}) = c_f + c_v (q_{123\dots n} - I) + h \sum_{i=1}^n (1 - dR(i, \lambda)) E [q_{123\dots n} - D_i^1]^+ + p \sum_{i=1}^{n-1} (1 - dR(i, \lambda)) E [D_i^1 - q_{123\dots n}]^+ + p(1 - dR(n, \lambda)) E \left[D_n + \left[\dots + \left[D_2 + [D_1 - q_{123\dots n}]^- \right]^- \right]^- \right]^+ + \sum_{i=1}^n (dR(i, \lambda)) E [q_{123\dots n} - D_i^1]^+ .$$

A modellben $K_n^1(q_{123\dots n})$ jelenti a termékkifutással kiegészített költségfüggvényt n darab rendelési periódus esetén. Az eladatlan árunkénti veszteséget d fejezi ki. Az $R(i, \lambda)$ függvény a Poisson eloszlás eloszlásfüggvénye, ahol i a rendelési periódusokat jelölő pozitív egész szám és λ a Poisson eloszlás paramétere. Ahol $dR(i, \lambda)$ tényező kifejezi az adott termék kifutásának időben növekvő kockázati tényezőjét.

- Az analitikus megoldás jól illeszkedik a korábbi eredményekhez: a célfüggvény kiégészítése az első tézisben ismertetett eloszlásfüggvény függetlenséget nem befolyásolja:

$$F_n^1(q_{123\dots n}^*) = \frac{p - c_v - \left(\sum_{i=1}^{n-1} F_i^1(q_{123\dots n}^*) \right) (h + pdR(n, \lambda))}{p + h + dR(n, \lambda)(1 - h - p)} + \\ + \frac{\left(\sum_{i=1}^{n-1} dR(i, \lambda) F_i^1(q_{123\dots n}^*) \right) (h + p - 1) - p \left(\sum_{i=1}^{n-1} dR(i, \lambda) - dR(n, \lambda) \right)}{p + h + dR(n, \lambda)(1 - h - p)}.$$

- Az új részmodell segítségével, a bizonytalanság függvényében egy hatékonyabb beszállítói készletezési politika alakítható ki. A definiált paraméterekkel a politika jól hangolható.

A készletgazdálkodás irodalmában a problémával kapcsolatos megjelent publikációk száma kevés, a közölt megoldási javaslatok leginkább a logisztikus eloszlás (*logistic distribution*) alkalmazásán alapulnak. A modellben alkalmazott megközelítés jól reprezentálja a termékkifutás időben növekvő kockázatát, valamint a bevezetett további segédtevező megfelelő hangolhatóságot biztosít. Az eredmények helyességét a korábbiakhoz hasonlóan a MAPLE matematikai programcsomag segítségével végzett számítógépes szimulációkkal teszteltem.

A modell tulajdonságait az értekezés 5.5 fejezete ismerteti. A modellt az ⟨1⟩, ⟨12⟩ és a ⟨16⟩ publikációkban részletesen bemutattam.

4. tézis: Heurisztikus módszer és megoldási javaslat a beszállítónál jelentkező globális kapacitáskorlát hatásának megoldására a készletezési politikában, több termék és tetszőleges hosszú, véges időhorizont esetén.

A beszállító cégek a vevői (végszerelői) igényeknek megfelelően számos különféle komponenst, félkész-termékeket, csomagoló – vagy más – anyagot gyárthatnak. Dinamikusan és sztochasztikusan változó igények esetén gyakran megjelenik a kapacitáshiány problémája, amikor felmerül a kérdés, hogy véges kapacitások mellett mely termékből milyen mennyiséget kell gyártani, hogy az eredmény minél jobban összhangban legyen a vállalat stratégiai céljaival, érvényes szerződési kötelezettségeivel, taktikai (készletezési) célfüggvényeivel.

A modellbeli kiterjesztések és bővítések eredményeire alapozva kidolgoztam a kiterjesztett újságárus probléma termelői kapacitáskorlát feltételt figyelembe vevő modelljeit. A gyakorlatban leginkább előforduló (n darab termék, tetszőleges hosszú véges időhorizont) esetre

egy több lépésből álló, a termékek kapacitásigényét figyelembe vevő heurisztikus módszert fejlesztettem ki, amely biztosítja a minimális költségű, kiszolgálási szint alapú készletezési politikát.

A modellek jellemzői:

- A periodikus modellek esetén felmerülő kapacitásproblémák megoldása két szemléleti mód alapján fogalmazható meg. A *kiszolgálási szint alapú politika* esetén a vállalat stratégiai céljainak leginkább megfelelő kiszolgálási szint biztosítása a cél. *Költség alapú politika* esetén a minimális költségű készletezési megoldás a legfontosabb cél.
- A kiszolgálási szint alapú politika az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok számának redukálásával nyújt megoldást a kapacitásproblémára.
- Költség alapú politika esetén a ki nem elégített rendelések büntetésének vállalása, vagy az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok számának csökkentése választható alternatívák közül, a kisebb költségű a kedvezőbb megoldás.
- Több termék és több rendelési időszak esetén a *kiszolgálási szint alapú politika* kapacitáskorlátnak is megfelelő optimális megoldása olyan politika, ahol az egyszeri gyártásindítással kielégíthető időszakok redukálásából nyert fajlagos költségváltozások összege minimális. A módszer alapján kidolgozott heurisztikus algoritmus három fő logikai lépéssel modellezhető: (1) Kapacitáskorlát feltétel nélküli optimális megoldások számítása. Kapacitáskorlát feltétel ellenőrzése. (2) Optimum esélyes módosítás kiválasztása. (3) Összevonási kombináció kiválasztása egy lehetséges jobb megoldás érdekében.
- A kidolgozott heurisztikus megoldó algoritmus lehetővé teszi a termékenként értelmezett kapacitásigény kezelését.

A több termék együttes gyártásakor felmerülő globális kapacitásproblémák megoldására leginkább az irodalomban jól ismert ABC analízis elnevezésű módszert alkalmazzák, amely által készített Pareto-diagram alapján következtetések vonhatók le a halmaz elemek fontossági eloszlását illetően. A módszer azonban nem ad mindenre kiterjedő választ a tényleges készletezési mennyiségek meghatározásának problémájára. A tézisben megfogalmazott heurisztikus megoldás a minimális fajlagos költségösszegű megoldáshalmaz gyártási mennyiségeivel alkalmasnak bizonyult tetszőleges termékszám és több időhorizont kapacitáskorlát problémáinak hatékony és gyors megoldására. Az eredmények helyességét a Java nyelven megvalósított alkalmazás segítségével végzett számítógépes szimulációkkal teszteltem.

A modell tulajdonságait az értekezés 6. fejezete ismerteti. A modellt a ⟨9⟩ és a ⟨16⟩ publikációkban részletesen bemutattam

5. EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Az összefoglalt tudományos eredmények a Miskolci Egyetem Alkalmazott Informatikai Tanszékén folytatott kutatásokhoz kapcsolódnak. A kutatómunka eredménye hozzájárul az MTA SZTAKI által vezetett „VITAL” *Valósídejű, kooperatív vállalatok* (NKTH 2/010/2004) kutatási projekthez, amelynek keretében a General Electric (GE) magyarországi leányvállalatai, beszállítói, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) és a Miskolci Egyetem (ME) kutatócsoportjai a kooperatív beszállítói láncok azon tervezési, készletgazdálkodási és logisztikai problémáival foglalkoznak, amely a hálózati kooperáció előfeltétele. Az értekezés a tanszéken végzett kutatómunka során született, és elkészítésének fő célja a nagyméretű, komplex alapkutatási feladat támogatása volt.

Az értekezésben összefoglalt eredmények a kooperatív beszállítói láncban jelentkező valós készletezési problémák kezelésére alkalmazhatók. A nagyrészt analitikus eredményekre alapozott algoritmusok hatékony készletezést tesznek lehetővé a gyors döntések és „mi lenne ha?” típusú elemzések támogatásával. A kifejlesztett alkalmazás a modern informatikai eszközöknek köszönhetően nem igényli a felhasználói számítógépekre való hosszadalmas telepítést, így megkönnyíti az integrációt bármely konkrét, már korábban bevezetett rendszerrel. A szoftver lehetőséget nyújt arra, hogy tetszőleges számú felhasználó egy böngésző program segítségével könnyen kezelhető, interaktív felületen online szimulációkat futtasson egy-időben és párhuzamosan. Az értekezésben bemutatott eredmények új megközelítése bővíti a készletgazdálkodás irodalmát, és lehetővé teszi a felsőfokú oktatásban való felhasználását (pl. ME Alkalmazott Informatikai Tanszéken oktatót „Termelési rendszerek és folyamatok” [49], „Számítógépes termelésirányítás” és a „Számítógépes gyártásirányítás” c. tárgyak oktatásának keretein belül).

6. TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK

Az értekezésben tárgyalt modellek és módszerek a készletgazdálkodás területének csak egy szeletét érintik, különösképpen a beszállítói oldalra koncentrálva. Többször találunk utalást a végtermékgyártó és a beszállító közötti kooperatív, illetve kollaboratív kapcsolati viszonyra, azonban a modellekben ez csak közvetve jelenik meg.

Napjaink modern logisztikai hálózataiban egyre fontosabb szerepet kap a partnerek szorosabb együttműködése egy közös, globális cél érdekében. Ennek oka a vállalatok gazdálkodási területén végbemenő jelentős változások. A termelési tevékenység egészében piacorientált lett, vagyis a termékek előállítását a tényleges piaci igények mozgatják. A termelés területén az egyedi piaci igények miatt a termékváltozatok száma jelentősen megnőtt, a termékek életciklusa és sorozatnagysága lecsökkent. A termelés mélysége csökkent, vagyis a beszállítók szerepe folyamatosan erősödik a termékek piaci versenyképességével való összefüggésben. A szállítások területén általánosabban magas szállítási készséget és

rugalmaságot, megfelelő megbízhatóságot és versenyképes árakat várnak el. Az SCM figyelmének középpontjában a minőség és az idő áll, mint a versenyképesség növelésének eszközei.

Mindezekből kiindulva legfontosabb további kutatási iránynak az együttműködő ellátási láncokban a végtermék gyártó és a beszállítók közötti kapcsolati rendszer mélyebb vizsgálatát tekintem. További cél lehet egy olyan közös modell kidolgozása, amelyben az egyes felek felelőséggel tartoznak döntéseikért, ahol a partnerek közötti „kiszolgáltottság” nem jelenhet meg. A probléma vizsgálatához jó eszközt biztosít a matematikai egyik mellékágának tekinthető, a racionális szereplők stratégiai interakcióinak elemzésével foglalkozó játékelmélet.

Az együttműködés matematikai megfogalmazása mellett szükség van egy komplex informatikai rendszerre is, amely biztosítja a partnerek, mint autonóm ágensek közötti információcserét.

Egy fontos további kutatási lehetőségként szeretném megjelölni a készletgazdálkodási és a termelésütemező rendszerek integrációjának és kapcsolatának mélyebb vizsgálatát. Továbbá egy modern informatikai eszközökkel kifejlesztett olyan ágens alapú rendszer létrehozását kutatási, oktatási céllal, amely egyfajta virtuális logisztikai hálózatként képes szimulálni a teljes ellátási lánc működését.

7. NEW SCIENTIFIC RESULTS

The new scientific results are summarized by the following:

Thesis 1. New, extended „newsvendor” based inventory control model supporting cooperative supplying tasks of the customized mass production.

Proceeding from the requirements of the cooperative supplier system of the customized mass production and based on the classical (setup cost extended „newsvendor”) problem, a new, multi-period stochastic inventory control model has been developed with an extended cost function.

Thesis 2. Determine the optimal number of cycles of the supplier with a per-unit cost model considering the claim of the fine adjustment of the „penalty cost” appearing like a „control” parameter in the cooperation of the partners.

Based on the results of the first thesis, it has been recognized that introducing the concept of the per-unit cost model of the extended newsvendor problem has a crucial im-

portance to determine the optimum number of jointly produced periods, furthermore a heuristic method has been elaborated to determine the optimal solution.

The penalty cost of the extended model can be explained as a „control” parameter in the cooperative relationship among the partners and it is suitable to assure the compliant service level. An analytic formula has been developed to determine the exact value of it in function of the allowed number of back-orders.

Thesis 3. A method to determine the production run-out part-model against the cost increases occurred because of no more reusable stocks.

Based on the results of thesis 1 and 2, a mathematical model has been developed, which presents a suggestion for the production run-out problem, which appears because of the uncertain market environment of the customized mass production.

Thesis 4. A heuristic method and solution suggestion to solve the effect of the global capacity constraints appearing at the supplier inventory policy in case of more products and optional long, finite time horizon.

Based on the results of model extensions and expansions I have elaborated models for the extended newsvendor problem considering a capacity constraint condition. For the case, mostly appearing in practice (n number of products, optional length, finite time horizon), I have elaborated a heuristic method, which considers the capacity requirement of the products, consist of multiple steps and assures the service level based stockpiling policy with minimal cost.

8. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÍTETT SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű folyóiratban közölt publikációk:

- ⟨1⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *An Extended Newsvendor Model for Customized Mass Production*, AMO - Advanced Modelling and Optimization. Romania, Electronic International Journal, Volume 8, Number 2. pp. 169-186.
- ⟨2⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Collaborative Inventory Control Policies in Supply Chains*, Production Systems and Information Engineering, University of Miskolc, Volume 3, pp. 71-83.

- ⟨3⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2005), *Fuzzy Based Load Balancer for JBoss Application Server*, Production Systems and Information Engineering, University of Miskolc, Volume 3, pp. 57-71.
- ⟨4⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2005), *Intelligent Dynamic Load Balancer for JBoss Application Servers*, Alkalmazott Informatika Konferencia, University of Kaposvár, Hungary, Acta Agraria Kaposváriensis (2005) Vol 10 No 1, pp. 195-207.

Magyar nyelvű folyóiratban közölt publikáció:

- ⟨5⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Módosított újságárus probléma alkalmazása az igény szerinti tömeggyártásban*, Miskolci Egyetem - GÉP folyóirat, LVII. évfolyam, Vol. 2006/10, pp. 35-43.

Idegen nyelvű konferencia kiadványban közölt publikációk:

- ⟨6⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Evaluating the proper service level in a cooperative supply chain environment*, MIM-2007, IFAC Workshop on Manufacturing Modelling, Management and Control, Budapest - Hungary, pp. 59-63.
- ⟨7⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *A new heuristic method for inventory control of customized mass production*, MITIP-2006, 8th International Conference on The Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises, Budapest - Hungary, pp. 353-358.
- ⟨8⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, Tóth Tibor, (2006), *A new inventory control method for supply chain management*, UMTIK-2006, 12th International Conference on Machine Design and Production, Istanbul - Turkey, pp. 393-409.
- ⟨9⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2007), *Solving Capacity Constraint Problems in an Extended Multi-Item, Multi-Period Newsvendor Model*, microCAD 2007, 21th International Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary. pp. 135-141.
- ⟨10⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Applying Analytical methods in Inventory Control Problems*, microCAD 2006, 20th International Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary. pp. 217-222.
- ⟨11⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Applying game theory in Inventory Control Problems*, microCAD 2006, 20th International Scientific Conference, University of Miskolc, Hungary. pp. 223-229.
- ⟨12⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Modelling and Solving Inventory Control Problems in Customized Mass Production*, Manufacturing-2006 Hungarian Scientific Conference. In memoriam: Joe Hatvany 80 years after his birth date, Budapest. pp. 141-149.

- ⟨13⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2005), *Adaptive Load Balancing in JBoss Application Servers*, 5th International Conference of PHD Student, University of Miskolc, Hungary. pp. 245-252.
- ⟨14⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2005), *Application Servers in E-Commerce Applications*, microCAD 2005, 19th International Scientific Conference, University of Miskolc Hungary. pp. 327-332.

Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent publikációk:

- ⟨15⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Beszállítói láncok elemzése analitikus, játékelméleti és korlátozás programozás módszerével*, XI. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, Románia, pp. 267-270.
- ⟨16⟩ **Péter Mileff**, Károly Nehéz, (2006), *Az igény szerinti tömeggyártás készletgazdálkodási problémáinak megoldása módosított újságárus modell segítségével*, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc. pp. 145-151.

9. A LEGFONTOSABB HIVATKOZOTT FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- [1] F. J. ARCELUS and G. SRINIVASAN. „Inventory policies under various optimizing criteria and variable markup rates”. *Management Science*, 33:756–762, 1987.
- [2] K. J. ARROW, T. HARRIS, and J. MARSCHAK. „Optimal inventory policy”. *Econometrica*, 19:250–272, 1951.
- [3] K. J. ARROW, S. KARLIN, and H. SCARF. „Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production”. *Stanford University Press*, 1958.
- [4] H. AYHAN, J. DAI, R. D. FOLEY, and J. WU. „Newsvendor Notes”. *ISyE 3232 Stochastic Manufacturing & Service Systems*, pages 67–78, 2004.
- [5] R. BELLMAN, I. GLICKSBERG, and O. GROSS. „On Some Nonlinear Integral Equations Occurring in the Theory of Dynamic Programming”. *PNAS*, 41:227–229, 1955.
- [6] J. BENKŐ. „Periodikus készletfigyelésű modell megoldása dinamikus programozással általános feltételek mellett”. *Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő: MTA Agrártud. Osztálya. Agrár-Műszaki Bizottság*, 26:146–151, 2002.

- [7] A. BENSOUSSAN, M. CAKANYILDIRIM, and S. P. SETHI. „A multiperiod news-vendor problem with partially observed demand”. *Working paper SOM 200550, School of Management, University of Texas at Dallas, TX*, 2005.
- [8] J. BUCHAN and E. KOENIGSBERG. „Scientific Inventory Control”. *Prentice Hall*, 1963.
- [9] G. P. CACHON. „Competitive Supply Chain Inventory Management”. *Quantitative Models for Supply Chain Management (International Series in Operations Research & Management Science, 17)*, Chapter 5, 2003.
- [10] G. P. CACHON. „Supply Chain Coordination with Contracts”. In *de Kok, A. G., Graves, S. C. (eds): Supply Chain Management: Design, Coordination and Cooperation. Handbooks in Op. Res. and Man. Sci*, Elsevier, 11:229–239, 2003.
- [11] G. P. CACHON and M. A. LARIVIERE. „Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations”. *Management Sci*, 51-1:30–44, 2005.
- [12] G. P. CACHON and S. NETESSINE. „Game Theory in Supply Chain Analysis”. *International Series In Operations Research and Management Science*, ISSU 74:13–66, 2003.
- [13] C. K. CHEN and K. J. MIN. „An analysis of optimal inventory and pricing policies under linear demand”. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 11-2:117–129, 1994.
- [14] T. C. E. CHENG. „An eoq model with pricing consideration”. *Computers and Industrial Engineering*, 18-4:529–534, 1990.
- [15] A. CHIKÁN. „Készletezési modellek”. *Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó*, 1983.
- [16] C. CHURCHMAN, R. ACKOFF, and L. Arnoff. „Introduction to Operations Research”. *Wiley, New York*, 1957.
- [17] S. COHEN and J. ROUSSEL. „Strategic Supply Chain Management: The Five Disciplines for Top Performance”. *McGraw-Hill Companies*, 2005.
- [18] A. DVORETZKY, J. KIEFER, and J. WOLFOWITZ. „On the optimal character of the (s, S) policy in inventory theory”. *Econometrica*, 21:586–596, 1953.
- [19] P. EGRI and J. VÁNCZA. „Incentives for Cooperative Planning in Focal Supply Networks”. *Proc. of the 6th International Workshop on Emergent Synthesis*, pages 17–24, 2006.

- [20] S. EMMETT and B. CROCKER. „The Relationship driven supply chain”. *Gower Publishing*, 2006.
- [21] J. S. ERLEBACHER. „Optimal and heuristic solutions for the multi-item newsvendor problem with a single capacity constraint”. *POMS Series in Technology and Operations Management*, 9:25–36, 2000.
- [22] J. D. M. FISHER and A. HORNSTEIN. „(S,s) Inventory policies in general equilibrium”. *Federal Reserve Bank of Chicago. Working Paper*, pages 96–124, 1996.
- [23] M. FISHER and A. RAMAN. „Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales”. *Operations Research*, 44:87–99, 1996.
- [24] H. GIRLICH and A. CHIKÁN. „The Origins of Dynamic Inventory Modelling under Uncertainty”. *International Journal of Production Economics*, 71, Issues 1-3:2–16, 1999.
- [25] G. HADLEY and T. M. WHITIN. „Analysis of Inventory Systems”. *Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey*, 1963.
- [26] I. HIGA, A. FEYERHERM, and A. MACHADO. „Waiting Time in an (s-1,s) Inventory System”. *Operations Research*, 1975.
- [27] D. HOCHSTADTER. „Stochastische Lagergaltungsmodelle”. *Springer Verlag, Berlin*, 1969.
- [28] G. HORVÁTH. „Készletmodellezés egykor és ma”. *EU Working Papers*, 1/2003.
- [29] D. IGLEHART. „Optimality of (s,S) policies in the infinite horizon dynamic inventory problem”. *Management Science*, 9:259–267, 1963.
- [30] C. KOULAMAS. „Technical Note: A Newsvendor Problem with Revenue Sharing and Channel Coordination”. *Decision Sciences*, 37-1:91–100, 2006.
- [31] P. KOUVELIS and G. J. GUTIERREZ. „The Newsvendor Problem in a Global Market: Optimal Centralized and Decentralized Control Policies for a Two-Market Stochastic Inventory System”. *Management Science*, 43-5:571–585, 1997.
- [32] H. LEE and S. WHANG. „The impact of the secondary market on the supply chain”. *Management Science*, 48:719–731, 2002.
- [33] L. LI. „The Role of Inventory in Delivery-Time Competition”. *Management Science*, 38:182–197, 1992.

- [34] S. LIPPMAN and K. MCCARDLE. „The Competitive Newsboy”. *Operations Research*, 45:54–65, 1997.
- [35] S. MONDAL and M. MAITI. „Multi-item fuzzy EOQ models using genetic algorithm”. *Computers and Industrial Engineering*, 44, Issue 1:105–117, 2003.
- [36] E. NADDOR. „Inventory Systems”. *New York: John Wiley*, 1966.
- [37] S. PANDA, S. SENAPATI, K. BANERJEE, and M. BASU. „Determination of EOQ of multi-item inventory problems through nonlinear goal programming”. *Advanced Modeling and Optimization (AMO)*, 7-2:169–176, 2005.
- [38] N. C. PETRUZZI and M. DADA. „Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions”. *Operations Research*, 47-2:183–194, 1999.
- [39] E. L. PORTEUS. „Stochastic Inventory Theory”. In *D. P. Heyman and M. J. Sobel, editors, Handbooks in Operations Research and Management Science*, Elsevier, North Holland, 2:605–652, 1990.
- [40] A. RAJAN, RAKESH, and R. STEINBERG. „Dynamic pricing and ordering decisions by a monopolist”. *Management Science*, 38-2:240–262, 1992.
- [41] G. J. RYZIN and S. MAHAJAN. „On the Relationship Between Inventory Cost and Variety Benefits in Retail Assortments”. *Management Science*, 45:1496–1509, 1999.
- [42] M. SASIENI and A. YASPAN. „Operations Research Methods and Problems”. *Wiley, New York*, 1959.
- [43] H. SCARF. „A Survey of Analytic Techniques in Inventory Theory”. In *Scarf et al, editors, Multistage Inventory Models and Techniques*, 1963.
- [44] S. P. SETHI and F. CHENG. „Optimality of (s, S) Policies in Inventory Models with Markovian Demand”. *Operations Research*, 45-6:931–939, 1997.
- [45] K. H. SHANG, J.-S. SONG, and P. H. ZIPKIN. „Coordination Mechanisms in Decentralized Serial Inventory Systems with Batch Ordering”. *Working Paper, Fuqua School of Business, Duke University*, 2006.
- [46] su XUANMING. „Bounded rationality in newsvendor models”. *Electronic Paper. Social Science Research Network*, 2007.
- [47] J. SZTRIK. „Raktározási és kiszolgálási problémák matematikai modellezése”. *Egyetemi jegyzet, Debreceni Egyetem Informatikai Kar*, 2004.

- [48] I. TÓTH. „Operációkutatás I.: Matematika közgazdászoknak”. *Tankönyvkiadó Bp.*, 2000.
- [49] T. TÓTH. „Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban”. *Miskolci Egyetemi Kiadó*, 1998.
- [50] van J. A. MIEGHEM. „Coordinating Investment, Production and Subcontracting”. *Management Science*, 45-7:954–971, 1999.
- [51] J. VÁNCZA and P. EGRI. „Coordinating Supply Networks in Customized Mass Production - A Contract-Based Approach”. *Annals of the CIRP*, 55-1:489–492, 2006.
- [52] A. VEINOTT. „On the optimality of (s,S) inventory policies: New conditions and a new proof.”. *J. SIAM Appl. Math.*, 14-5:1067–1083, 1966.
- [53] von J. NEUMANN and O. MORGENSTERN. „Theory of Games and Economic Behavior”. *Princeton University Press*, 1944.
- [54] H. M. WAGNER and T. M. WHITIN. „Dynamic Version of the Economic Lot Size Model”. *Management Science*, 5:89–96, 1958.
- [55] T. M. WHITIN. „The Theory of Inventory Management”. *Prentice University Press, Princeton, New Jersey*, 1953.