



Nem publikáció értékű munkák

- [BK16.] Bóna K., Tarnai J., Molnár L., Kovács P., Tokodi J., Molnár B. (2004), Logisztikai rendszerek. 5.2 fejezet: p77-84., egyetemi kézirat, BME.
- [BK17.] Bóna K., Duma L., Kovács P., Tokod J., Molnár B. (2004), A disztribúciós logisztikai rendszerek támogatására szolgáló informatikai, raktározási, és belső anyagmozgatási, illetve kontrolling technológiai fejlesztésére és kutatására irányuló innovációs alkalmazott kutatás. Adversum Kft-Miskolci Egyetem.
- [BK18.] Bóna K. (2005), A készletgazdálkodás és önköltség számítás előnyös módszerei. Cégvezetők Klubjának Konferenciája – Hotel Hélia, Budapest.

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI KAR

**KÉSZLETEZÉSI RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK
KORSZERŰ OPTIMALIZÁLÁSI MÓDSZEREI, ELJÁRÁSAI**

CÍMŰ Ph.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Bóna Krisztián
okleveles közlekedésmérnök

Témavezető:
Dr. Molnár László PhD.
ny. egyetemi docens

Budapest
2007

Az értekezés megtekinthető a BME Közlekedésüzemi Tanszék weblapján (www.kku.bme.hu) a „Hirdetmények” link alatt, továbbá nyomtatott formában a Tanszék titkárságán.

és rendszerek hatékonyságának növelésében, MLBKT 14. Logisztikai Kongresszus, Balatonalmádi, Hotel Ramada, november 15-17.

Magyar nyelvű lektorált folyóirat cikkek

- [BK8.] Bóna K., Molnár L. (2002), Darabárus raktárak áruforgalmi jellemzőinek meghatározása szimulációval (I. rész p. 22.), (II. rész p. 16-22.), (III. rész p. 42-45.), (IV. rész p. 28-29.), TRANSPACK, 2002. 3-6.sz.
- [BK9.] Bóna K. (2002), Darabárus raktárak készletezési jellemzőinek meghatározása szimulációs eljárás segítségével. p. 10-12., LOGISZTIKAI HÍRADÓ, 2002. 4. sz.
- [BK10.] Bóna K., Kiss N. (2004), A készlet-szimulációval támogatott számítógépes tárolótér tervezés alapvető kérdései (I. rész p. 14-17.), (II. rész p. 8-13.), A+CS, 2004. május-június, július-augusztus.
- [BK11.] Bóna K. (2004), Adaptív dinamikus készletszabályzó rendszerek tervezése. p. 29-43., BME OMIKK LOGISZTIKA, 2004. május-június.
- [BK12.] Bóna K., Fodor J. (2006), Az itál-nagykereskedelemben alkalmazott információs rendszerek készletgazdálkodási modelljének kialakítási problémái. p. 13-32., BME OMIKK LOGISZTIKA, 2006. március-április.

Nyomtatott jegyzet

- [BK13.] Bóna K. (2005), Bevezetés a logisztikai folyamatok és rendszerek elméletébe. KIT Kiadó és Nyomda, Budapest.

Elektronikus jegyzet

- [BK14.] Bóna K., Kiss N. (2004), Targoncás kiszolgálású darabárus itálipari nagykereskedelmi elosztóraktár tervezése. Elektronikus egyetemi jegyzet, Budapest. Kereshető: http://www.kku.bme.hu/frame_h.html: Oktatás/Tananyagok/Logisztikai rendszerek tervezése 3. (password: hall_pwd).
- [BK15.] Bóna K. (2005), Készletezési folyamatok és rendszerek, készletezés-elmélet. Elektronikus egyetemi jegyzet, Budapest. Kereshető: http://www.kku.bme.hu/frame_h.html: Oktatás/Tananyagok/Logisztikai rendszerek tervezése 3. (password: hall_pwd).

5. A SZERZŐNEK AZ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓI

Könyvrész

[BK1.] Bóna K., Duma L., Kovács P., Molnár B., Székely Zs., Tokodi J. (2004), Logisztikai folyamatok és vállalati életképesség. 2. fejezet: p. 14-26., 6. fejezet: p. 94-105., ADECOM Rt., Magyarország.

Magyarországon megjelent idegen nyelvű lektorált folyóirat cikk

[BK2.] Bóna K. (2005), Optimization of Inventory Control Systems with Genetic Algorithms. p. 89-102., Periodica Polytechnica Transportation Engineering, BME.

Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű előadások

[BK3.] Bóna K., Molnár B. (2004), Simulation and Optimization of Logistic Systems with Genetic Algorithms. p. 251-257., Proceedings of the Eurolog 2004, Budapest, ELA, June 10-12.

[BK4.] Bóna K. (2004), Simulation Supported Optimization of Inventory Control Processes by Application of Genetic Algorithms. p. 131-136., Proceedings of the 16th European Simulation Symposium, Budapest, SCS Press, October 17-20.

Szerkesztett könyvben cikk

[BK5.] Bóna K. (2003), A raktári készletek csökkentésének lehetőségei, a készletgazdálkodási folyamatok optimalizálhatóságának vizsgálata. p. 21-29., LOGISZTIKAI ÉVKÖNYV.

Magyar nyelvű konferencia-kiadványban megjelent előadások

[BK6.] Bóna K., Molnár L. (2004), Új kutatási irányok a vállalati készletezési folyamatok optimalizálásában. p. 202-212., "30 év Győrben" Jubileumi Tudományos Konferencia, Győr, 2004. november.

[BK7.] Bóna K. (2006), Korszerű optimalizálási módszerek gyakorlati felhasználási lehetőségei a logisztikai folyamatok

1. A KUTATÁSI TÉMA BEMUTATÁSA, A KUTATÁS MÓDSZERTANA, CÉLKITŰZÉSEI ÉS IDŐSZERŰSÉGE

1.1 A probléma áttekintése

A korszerű logisztikai stratégiák kifejlődésének egyik meghatározó motivációs tényezője az egyre növekvő piaci verseny. A gazdasági rendszerekben jelentkező fejlett logisztikai szemléletmódok elterjedésének egyenes következménye lett, hogy a raktárak szerepe az értékalkotási láncban az utóbbi évek során meglehetősen átértékelődött. A készletek és az átfutási idők radikális csökkentése, illetve a rugalmasság, az egyre instabilabb piacokhoz való alkalmazkodó képesség növelése lett az elsődleges szempont. A tapasztalatok alapján ezek miatt az ipari, a kereskedelmi és a szolgáltató szférában egyre nagyobb az igény korszerű, gyakorlatban is jól hasznosítható folyamatirányítási és optimalizálási elvekre. A cél, hogy ezek alkalmazásával a fenti ellentmondásos szempontrendszer kezelhetővé váljon, továbbá a raktározási rendszerekben zajló folyamatok minél jobban ki tudják szolgálni a fent említett korszerű logisztikai stratégiákat, és a megváltozott szerepüknek megfelelően minél hatékonyabban be tudjanak illeszkedni az értékalkotási láncba ([KM17.]). Egyértelműen bebizonyosodott, hogy átalakuló feladataikat a raktári rendszerek csak

megfelelően kialakított technikai-technológiai háttérrendszer segítségével

az ellátási folyamatban áramló különböző anyagok (árak) hosszabb-rövidebb idejű tárolásával, továbbá

megfelelően kialakított informatikai és irányítási háttérrendszer segítségével

az ezekkel az anyagáramlásokkal kapcsolatos információ- és értékáramlások hatékony irányításával és lebonyolításával tudják korszerűen megvalósítani ([KM54.]). Az előbb említett feltételek teljesülése esetén a raktárak, illetve a belőlük képződő raktározási láncok a készletezésen keresztül képesek az értékalkotási láncban zajló folyamatok mennyiségi, időbeli és értékben kifejezhető paramétereinek szabályozására is. A készletszabályozási folyamatnak a korszerű logisztikai filozófiákkal összhangban az alapvető feladata tehát az, hogy a

készletezés a lehető leghatékonyabban járuljon hozzá az értékalkotási lánc gazdaságos működtetéséhez. A szabályozás hatékonyságát elsősorban az ellátó, termelő és elosztó rendszerek gazdasági teljesítőképességén keresztül lehet lemérni. Mivel a vállalati logisztikai rendszerekben a raktározási tevékenység általában olyan szükségszerű logisztikai műveletekből álló folyamatrendszerként van jelen, amely az esetek nagy többségében „költséget termel”, ezért a raktározási folyamat gazdasági teljesítőképességre gyakorolt hatása általában negatív (kivételem lehet ez alól pl. az ún. berraktározás). Alapvető célként fogalmazható meg tehát a készletszabályozó rendszerekben az, hogy a fizikai és a gazdasági kényszertől vezérelt készletezés ellátó, termelő és elosztó rendszerekre gyakorolt negatív hatását a lehető legkisebbre próbáljuk meg lecsökkenteni. A fent leírt alapvető célkitűzés különböző részcélokban konkretizálódhat. A célrendszer pontos megfogalmazása azonban sok esetben problémába ütközik, mert ezeknek a részcéloknak a halmaza sokszor egymásnak ellentmondó törekvések metszeteként jön létre ([KM16.], [KM49.]). További nehézség, hogy a pontosan (pl. szövegesen) megfogalmazott célrendszert parametrizálni is kell, valamint ezeknek a paramétereknek a felhasználásával olyan célfüggvényeket kell felírni, amelyek megfelelően leképezik a (sokszor sztochasztikus tulajdonsággal rendelkező) rendszer viselkedését a paraméterek változásának függvényében. A következő probléma, hogy az így létrehozott függvények alakját sokszor csak „sejteni”, vagy még azt sem lehet, ezért az optimumkeresés is komoly nehézségekbe ütközhet. A feladatot tovább bonyolíthatja az is, hogy egy készletezési rendszer tekintetében sok esetben több ezer árucikk folyamatainak optimalizálását kell elvégezni, amely sokszor több egymástól eltérő célrendszer szerinti optimumkeresést is jelenthet ([KM11.], [KM69.]). A tapasztalatok egyértelműen azt mutatják, hogy az előbb megfogalmazott problémák megoldása nélkül a készletszabályozási folyamat gyakorlatilag kezelhetlenné válik, vagyis a feladat megoldásához csak és kizárólag a tapasztalat, és a rutin nyújthat segítséget.

A fentebb megfogalmazott szabályozási problémák napjainkig a vállalati logisztikai rendszerekben az esetek nagy többségében csupán lokálisan jelentkeztek, azonban a globalizációs trendek fokozódásával a problémák egyre „globálisabbá” nőttek ki magukat. Ennek a fő oka a tapasztalatok szerint az, hogy az eddigi lokális rendszerek (pl. a relatíve egyszerű felépítésű termelő vállalatok) nagyméretű globális rendszerekké nőttek ki

alapjában véve letisztultak, de a szoftveres megvalósítás tekintetében mindenképpen professzionálisabb megközelítést igényel, mint a jelenleg általam VBA-ban kifejlesztett kísérleti eszköz. Mivel a készletezési rendszerek és folyamatok meglehetősen iparág és ezen belül is probléma specifikusak, fontos megjegyezni, hogy az általam fejlesztett rendelésütemezési logika és kísérleti eszköz a kereskedelmi raktárak, ezen belül is az itálikipar tulajdonságaira lett specializálva. Lényeges továbbfejlesztési lehetőség tehát a más típusú kereskedelmi tevékenység, valamint a termelés területén való alkalmazhatóságnak a tesztelése is további kísérleti algoritmusok, logikák és az ezeket megvalósító kísérleti eszközök kifejlesztésével. Rendkívül lényegesnek tartom továbbá, hogy az optimumkeresés elméletében elért egyéb kutatási eredmények gyakorlati alkalmazását is érdemes lehet megvizsgálni és modell szinten implementálni. A teljesség igénye nélkül ilyen lehetőség akár: a többkritériumos pareto optimalizálási módszerek, a fuzzy logika, a multipopulációs genetikus algoritmusok alkalmazása a szabályzó paraméterek optimális beállítási értékének meghatározásában, a neurális rendszerek felhasználása az osztályozó algoritmusok megvalósításában, vagy a lokális keresés segítségével, illetve ezek tetszőleges kombinált eljárásainak további vizsgálata is. További fejlesztési irányként értelmezhető, hogy a kutatás során felépített szabályozási koncepció a napjainkban egyre inkább előtérbe kerülő ellátási lánc szintű problémák tekintetében is ideális megoldást nyújthat, hiszen a folyamatmodell és az optimalizáló rendszer egy adott vállalat teljes ellátási láncára kiterjedő szabályozó rendszerré terjeszthető ki, ami további lehetőségeket nyithat a gyakorlati kutatásoknak.

A téziszűzetben közölt hivatkozási számok alapján a hivatkozott publikációk visszakereshetők a doktori értekezés végén található publikációk jegyzékéből.

optimumkeresési probléma megoldására fejlesztenek ki. A nemcsak kizárólag a készletezési folyamatok területén jelentkező, hanem az általános értelemben vett egyéb vállalati logisztikai optimumkeresési feladatokat (pl. a járatszerkesztést, a komissiózást) vizsgálva az eredmények egyre inkább azt sejtetik, hogy nem létezik, és vélhetően még hosszú ideig nem is fog létezni olyan informatikai megoldás, amely egy adott vállalatnál jelentkező minden típusú logisztikai probléma optimalizált kezelésére hatékonyan megoldásokat fog tudni nyújtani. A vállalatok viszont már felismerték, hogy hatékony logisztikai folyamatoptimalizálás nélkül nem létezhet a vállalatirányítás. Ennek eredménye, hogy egyre nagyobb lehetőségek nyílhatnak az olyan típusú céleszközök, célalkalmazások előtt, amelyek külső integráció révén – interfészek segítségével kapcsolódva a szabványos vállalati információs rendszerekhez – ezt a hiányzó tudás pótolni tudják. Gyakorlati tapasztalataim azt mutatják, hogy mindenfajta olyan típusú logika, vagy algoritmus, amely ezeknek az igényeknek a kielégítésére bizonyítottan hatékonyan alkalmazható, jó eséllyel piacképes szoftverre fejleszhető. Az optimum számítási módszerekkel támogatott újszerű felfogásokon alapuló eljárásokat felhasználó cél alkalmazások, különös tekintettel a szimulációval támogatott optimumkeresés előtt a logisztikai rendszerek tervezése és üzemeltetése tekintetében mindenképpen nagy jövő áll. Vajon ez-e a jó irány, vagy sokkal hatékonyabb lenne ezeket az alkalmazásokat és a bennük rejlő tudást közvetlenül beleintegrálni a „nagy méretű” alkalmazásokba? Erre a kérdésre a jövőben minél hamarabb meg kell találni a választ, hiszen gyakorlatban jelentkező igények egyre nagyobbak. Egy biztos: a jövő mindenképpen a szabványos integrált vállalatirányítási rendszereké, mivel a külső alkalmazások hatékony kapcsolódását (vagyis az optimumkereséshez szükséges adatok kiolvasását, valamint az optimalás során keletkező adatsoportok visszaírását) csak az ilyen típusú rendszerekkel lehet megbízhatóan megvalósítani, valamint a továbbfejlesztés tekintetében is csak ezek a rendszerek szolgáltathatnak garantáltan hatékony megoldásokat.

Véleményem szerint az általam kifejlesztett készletszabályozási mintarendszer koncepció szintű rendszerterve is egy a fentiekhez hasonló módon értelmezhető célspecifikus, jelenleg külső integráció segítségével egy szabványos vállalatirányítási rendszerhez kapcsolódni képes alkalmazássá fejleszhető. Az elvi alapok a vizsgált iparágra vonatkozóan

magukat, vagy egy hasonló nagyméretű globális rendszer részeivé váltak. A folyamat eredménye az lett, hogy már nem csupán a lokális szigetrendszereken belüli optimumok elérése, hanem a globális értékalkotási hálózatra vonatkoztatott optimumok keresése lett a cél. Ennek oka elsősorban az, hogy a kutatások egyértelműen bebizonyították, hogy a sokszor lokálisan optimum-közeli állapotban működő vállalati rendszerek a teljes értékalkotási rendszer szempontjából közel sem működnek az optimum állapotban. Szükség van tehát a célfüggvények olyan irányú kiterjesztésére is, amelyek segítségével már globális ellátási hálózatok folyamatai is vizsgálhatók és optimalizálhatók ([KM69.], [KM71.]). A készletezési problémák kezelése az értékalkotási rendszerekben azonban a tapasztalatok szerint jelenleg ott tart, hogy sok esetben még a lokális rendszereken belüli készletoptimalizálás sem megoldott feladat.

A fent bemutatott meglehetősen összetett gyakorlati problémák fontosságát és megoldási nehézségeit az is alátámasztja, hogy több tudományterület (így a gazdaságtudományok, az operációkutatás, a műszaki tudományok) szakemberei is mélyrehatóan foglalkoztak a fenti kérdésekkel ([KM17.], [KM21.], [KM22.], [KM54.]). A kutatások során bebizonyosodott, hogy a raktári rendszerek bonyolultságából adódóan a problémák úgy kezelhetők a legegyszerűbben, ha a készletezési folyamatot rendszer-szemléletmódban modellezzük, matematikai és statisztikai módszerek segítségével a részfolyamatokat megvizsgáljuk, matematikai módszerekkel (pl. többváltozós egyenletekkel) leírjuk, a részfolyamat-modellek logikai összekapcsolásának segítségével célfüggvényeket írunk fel és ezeknek a megoldásával „állítjuk be” a rendszer működését meghatározó szabályozó paramétereket. A készletezési rendszerek, és folyamatok ilyen jellegű kezelését *készletmodellezésnek* nevezi a szakirodalom ([KM16.], [KM51.]). Napjainkig több száz készletmodellt hoztak létre a gyakorlatban jelentkező különböző készletezési problémák kezelésére ([KM16.]). Ezek leírása többnyire rendelkezésre állnak, hatékonyságuk azonban (a relatíve egyszerűbb modelleket kivéve) sok esetben nem egyértelműen bizonyított. A készletezési rendszerek működésének matematikai és statisztikai modellezésén túl meglehetősen komoly kihívást jelent a kifejlesztett matematikai folyamatmodellek gyakorlati implementálása is. A tapasztalatok azonban sajnos azt mutatják, hogy ezen a téren komoly lemaradások vannak a kutatásokhoz képest, hiszen a készletezési

rendszerekben zajló sztochasztikus folyamatok működésének matematikai modellezéséhez meglehetősen bonyolult matematikai apparátusra van szükség. Napjaink számítástechnikai színvonalán természetesen nem is lehet kérdés, hogy valamilyen számítástechnikai támogatással célszerű nekifogni az optimumkeresési feladatnak, azonban hamar rádöbbenhetünk arra, hogy az általunk ideálisnak tekintett modellek matematikai apparátusának bonyolultságát szemlélve ez sem lesz minden esetben kielégítően rövid idő alatt megoldható feladat.

Mi tehát a megoldás? Hogyan lehetne „hidat építeni” a sokszor száraz és bonyolult matematikával teletűzdelt szakkönyvek és a gyakorlat közét? Hogyan lehetne az eddiginél hatékonyabban a vállalati gyakorlatban felhasználni a készletezési modellek területén eddig elért kutatási eredményeket? Hogyan definiálható egy olyan ideálisnak tekinthető modellezési módszer, amellyel kielégítő pontossággal lehet a tényleges folyamatokat és összefüggéseket leírni? Milyen optimumkereső eljárásokkal lehetne hatékonyan a folyamatokat leíró célfüggvények szélsőértékét megkeresni? Hogyan lehetne az optimum számítási folyamatot gyorsítani?

Összefoglalva: milyen eljárások lehetnek a jövőben sikeresek a készletezési rendszerek és folyamatok működésének optimalása területén?

A készletezési rendszerek és folyamatok sokszínűsége nehéz feladat elé állítja a szakembereket. Sokak szerint azonban létezhet egy olyan megközelítés a készletszabályozásnak, amelynek lényege a műszaki, gazdasági és egyéb alkalmazott tudományok területén az idáig elért tudományos eredményeket gyakorlatorientáltan és integráltan alkalmazó szakterület specifikus optimalizáló modellrendszerek és az ezeket gyakorlatban felhasználó készletszabályozó rendszerek kifejlesztése ([KM51.], [KM54.], [KM69.]).

1.2 A kutatás módszertana és a fő kutatási célkitűzések

A fent bemutatott problémák tudományos és gyakorlati alapokon nyugvó vizsgálatával több, mint négy éve foglalkozom. A kutatásaim első kiemelt célterülete a készletezési rendszerek és folyamatok működtetésével kapcsolatos tudományos eredmények minél szélesebb körű megismerése, valamint ezek gyakorlatban történő alkalmazásának vizsgálata volt. A fentiekben bemutatott problémákkal összhangban,

vizsgált esetekben) a felkeresési pontosság és gyorsaság egyaránt nagymértékben javult.

A tesztfuttatások során továbbá az igazolódott, hogy a rendelésütemezési probléma *első hierarchiaszintjén* definiált EOQP sztochasztikus optimum számítási feladat esetében a valós vektoros számbázisú kombinált *FPGA*, a *második hierarchiaszintjén* definiált DISP determinisztikus optimum számítási feladat esetében pedig a bitsoros ábrázolásmódú kombinált *BGA* optimumkereső algoritmus bizonyult egyértelműen hatékonyabbnak. Megállapítható továbbá, hogy az egyes optimumkereső algoritmusok futási ideje és felkeresési pontossága nagymértékben függ a probléma bonyolultságától (pl. hány SKU-t kell egyszerre megrendelni), az inicializálás során beállított kiinduló paraméterektől (pl. bitsoros ábrázolásmód esetén a kromoszóma hossza, mutációs valószínűség), a szimulációs futtatások időigényétől (ez a legmarkánsabb tényező), továbbá az alkalmazott számítástechnikai eszközrendszer teljesítőképességétől. A vizsgálatokból egyértelműen levonható az a következtetés, hogy a kifejlesztett kísérleti eszköz adta lehetőségek felhasználásával a *szimulációval támogatott optimum számítás* a vizsgált készletezési, rendelésütemezési probléma megoldására *hatékonyan alkalmazható*. (értekezés 7.8 alfejezet)

4. A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA, FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a jelenleg alkalmazott vállalati információs rendszerek a gyakorlatban kevésbé támogatják hatékonyan a készletezési folyamatok és rendszerek optimalizálását. Sokkal inkább alkalmazhatók a napra- és percrekész folyamat monitoring megvalósítására, mintsem különböző döntési modellek és üzleti intelligencia logikák implementálására. Bár a különféle informatikai megoldások tárháza a viszonylag olcsóbb eszközöktől kezdve egészen a nagyon drága szabványos integrált vállalatirányítási rendszerekig kétségkívül nagy, igazán jól működő, a napi gyakorlatban is jól alkalmazható integrált megoldásokkal a kutatásaim során nem találok. Részmegoldások ugyan léteznek, de az ilyen jellegű feladatok átfogó és komplex kezelését sokkal inkább a feladatorientált, célspecifikus operatív irányítási rendszerek tudják megvalósítani, amelyeket a tapasztalataim alapján minden esetben egy adott

különböző típusú algoritmusok fejlesztése során definiáltam az egyedek problémáspecifikus *kódolási technikáit*, a *fitness számításnak* és a *szelekciónak* a módszerét, valamint megállapítottam a különböző *rekombinációs operátorok* közül a problémák szempontjából célszerűen alkalmazandó megoldásokat, végül felépítettem az egyszerű algoritmusok (BGA és FPGA) vázát. Az optimum felkeresési megbízhatóság és a konvergencia gyorsaságának fokozása érdekében kifejlesztettem *két problémáspecifikus lokális kereső algoritmust*, amelyek a vizsgált egyedek által meghatározott keresési pontokban további vizsgálatokat hajtanak végre, ezzel gyorsítják az iterációs folyamatot, és megakadályozzák a genetikus sodródásból adódó problémákat. Az egyszerű genetikus algoritmusok működési logikáját ezzel a két problémáspecifikus lokális kereső módszerrel, valamint az elitizmus technikájával kombináltam. A kifejlesztett kombinált algoritmusok az egyedek rátermettségének vizsgálatkor a szimulátorban kódolt *szimulációs rendszermodell többszöri futtatása* által generált eredményeket használják fel a célfüggvény aktuális értékének, illetve a fitness értékének a kalkulálására. (értekezés 7.2...7.7 *alfejezetek*)

(b.) *VBA fejlesztőkörnyezetben kifejlesztettem a kísérleti jelleggel vizsgált (4.(a.) altézisben ismertetett) kombinált genetikus algoritmusok tulajdonságainak tesztelésére alkalmas optimumkereső kísérleti eszközt.*

A 4.(a.) altézisben bemutatott kísérleti jelleggel kialakított optimum számítási folyamatra a tapasztalatok alapján *specifikáltam* a 1.(b.) altézisben ismertetett készletszabályozó rendszer *optimalizáló* részrendszerét. A már korábban (lásd 2.(b.) altézis) bemutatott, VBA fejlesztőkörnyezetben kifejlesztett kísérleti eszköz másik része tehát az *optimalizátor*, amelyben a 4.(a) altézisben kifejtett kombinált genetikus algoritmusok kerültek implementálásra. A fejlesztés célja a két egymástól eltérő számbázisú elven működő genetikus algoritmus fentebb definiált problémák megoldására való gyakorlati alkalmazhatóságának tesztelése volt. A tesztelések során mindkét algoritmus tekintetében bebizonyítottam, hogy amennyiben a hatékonyság fokozó eljárásokat nem alkalmazunk sok esetben nem, vagy csak nagyon hosszú idő után képesek az optimum pont felkutatására. Megállapítottam, hogy a megbízhatóság és a konvergencia gyorsaságának fokozása érdekében az alapvető algoritmusok működési logikáját *lokális kereséssel, valamint az elitizmus tulajdonságával célszerű kombinálni*, amelynek hatására (a

ezzel párhuzamosan folyamatos kutatásokat végeztem a modellezés-elmélet, a rendszer-szimuláció, továbbá az optimumkeresési eljárások gyakorlati alkalmazásának területein.

Fentieknek megfelelően a kutatás fő célkitűzéseit a következőkben definiáltam:

- 1.) a készletezési rendszerek és folyamatok működtetésével kapcsolatos tudományos eredmények minél szélesebb körű megismerése, valamint ezek gyakorlatban történő alkalmazásának vizsgálata,
- 2.) korszerű, a készletezési rendszerek és folyamatok működtetése szempontjából hatékonyan felhasználható modellezési, szimulációs és optimum számítási eljárások felkutatása,
- 3.) a készletezési rendszereket és folyamatokat kiszolgáló információs háttérrendszerek vizsgálata,
- 4.) egy adaptív, dinamikus készletszabályozó rendszer koncepciószintű rendszertervének kidolgozása, különös tekintettel a felkutatott modellezési, szimulációs és optimum számítási eljárások minél hatékonyabb integrálására, ezen belül
 - a.) egy hatékonyan alkalmazható modellezési technika kifejlesztése,
 - b.) egy célspecifikus szimulációs rendszer (szimulátor) kifejlesztése, továbbá
 - c.) egy célspecifikus, a szimulátorral együttműködő optimalizáló háttérrendszer kifejlesztése.

Kutatás módszertani szempontból rendkívül lényeges volt, hogy a rendelkezésre álló meglehetősen *széles szakirodalmi palettát* igyekeztem minél részletesebben megismerni (több mint 170 kapcsolódó szakirodalmi forrást tekintettem át). A fentiekben bemutatott két kutatási vezérfonal a megszerzett ismeretek gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálatában egyesült, ezért kiválasztottam egy olyan, hosszú évek óta komoly problémákkal küzdő szakterületet, amelyben a kidolgozott elméleteim, módszereim és eljárásaim gyakorlati alkalmazhatóságát, valamint hatékonyságát vizsgálni lehetett. Mindezek miatt a további, szűkebb értelemben vett kutatásaim a kereskedelmi szférára, ezen belül is az italiparhoz kapcsolódó, az ital-nagykereskedelemben jelentkező készletezési problémák vizsgálatára koncentráltak. A vizsgálataim *primer adatainak* begyűjtése során az alábbi módszereket alkalmaztam:

- célorientált interjúk készítése a vizsgált cégek szakterületi vezetőivel;
- feleletválasztásos kérdőíves vizsgálatok;
- az alkalmazott vállalati információs rendszerekből származó, előre definiált tranzakciós adatok begyűjtése;
- (ahol rendelkezésre állt, ott) a folyamatszabályozásban alkalmazott folyamatleírások begyűjtése.

A *szekunder adatok* felvétele során folyamat-megfigyeléses, esetenként méréses vizsgálatokat végeztem.

A primer és szekunder bemeneti adatok felvétele után *részletes folyamat-és adatelemzéses vizsgálatokat* végeztem, majd ezek eredményeiből igyekeztem a legfontosabb következtetéseket levonni. A további vizsgálataim és fejlesztéseim az ilyen módon megszerzett tapasztalatokon alapultak, továbbá a kifejlesztett módszerek és eljárások sok esetben bemeneti adatként használták fel az így kapott számszerű eredményeket, illetve több esetben összehasonlítási alapként is szolgáltak.

1.3 A kutatási téma időszerűsége

Az integrált vállalatirányítási információs rendszerek (ERP-k), valamint a raktári rendszerek fizikai folyamatainak optimálását támogató raktár-irányítási rendszerek (WMS-ek) témakörében végzett kutatásaim egyértelműen igazolták azt a tényt, hogy egyre nagyobb igény van a vállalati készletezési rendszerek és folyamatok operatív irányítását, optimálását támogató háttérrendszerek további fejlesztésére. A további fejlesztések időszerűsége a következőkben foglalható össze:

- 1.) A különböző értékalkotási láncok által kiszolgált *piacok instabilitása fokozódik*, mivel a vevők (végfelhasználók) igényeinek mennyiségi és időbeli változékonysága a láncon belül tovagyűrűzik, ezáltal a résztvevő vállalatok készletezését gerjesztő keresleti és utánpótlási folyamatokban ez az instabilitás felerősödve jelentkezik.
- 2.) Bebizonyosodott, hogy az 1.) pontban bemutatott okok miatt egyre kisebb hatékonysággal prognosztizálható, előrejelezhető keresleti folyamatok ellen hatékonyan *védekezni* úgy, hogy a megrendelések átfutási ideje döntően ne növekedjen, csak egy jól felépített, *optimalizált készletezési rendszerrel lehet*.

meghatározására, ezért létrehoztam egy olyan a legkisebb négyzetek módszerére (LSM) épülő, derivált független, direkt szimplex algoritmuson (DSA) alapuló ún. *LSM-DSA eljárást*, amellyel a paraméterbecslést gyorsítani és relatíve egyszerűsíteni lehet. Az eljárás tesztelésére VBA fejlesztőkörnyezetben kifejlesztettem egy olyan felületet, amelyben az LSM-DSA paraméterbecslést egy χ^2 -próba validálja. A tesztelési eredmények alapján elmondható, hogy mind a keresleti, mind az utánpótlási folyamatok esetében az LSM-DSA algoritmus széles spektrumban képes volt hatékonyan felkutatni a Weibull-eloszlás optimális illesztéshez szükséges paramétereket. (értekezés 5. fejezet)

4.) Kísérleti úton igazoltam, hogy a korszerű, optimumkeresési hatékonyságot fokozó eljárásokkal kombinált genetikusan algoritmusok az ital-nagykereskedelmi készletezési rendszerek és folyamatok komplex, sokváltozós és sokszor meglehetősen bizonytalan célrendszerében jelentkező optimum számítási feladatok végrehajtására hatékonyan alkalmazhatók. ([BK2], [BK3], [BK4], [BK6], [BK7], [BK17])

Megállapítottam, hogy a 2.(a.) altézisben ismertetett rendelésütemezési modell első (EOQP), valamint második (DISP) hierarchiaszintjén definiált beavatkozó paraméterek *optimális értékeinek kalkulálása nem triviális* optimum számítási feladatként értelmezendő. Az EOQP esetében egy sztochasztikus, a DISP esetében pedig egy determinisztikus optimum számítási feladatot kell megoldani. Mivel a 2.(b.) altézisben ismertetett szimulátor önmagában kísérletezésre és célfüggvény kalkulációra jól használható, de optimumkeresésre nem alkalmas, ezért a beavatkozó paraméterek optimális beállítási értékeinek felkutatása érdekében az alábbi fejlesztéseket hajtottam végre.

(a.) *Lokális kereséssel, valamint az elitizmus technikájával kombinált, a bitsoros számábrázolás (BGA), valamint a valós vektoros számábrázolás (FPGA) elvén alapuló genetikusan optimumkereső algoritmust fejlesztettem ki a gazdaságos rendelési tétel nagyság probléma (EOQP), valamint a diszpozíciós probléma (DISP) megoldására.*

A genetikusan algoritmusokat alkalmassá tettem mindkét vizsgált modellezési szint optimum számítási feladatainak megoldására. A

hatékonysága tesztelhető legyen. A szimulátor a 2.(a.) altézisben ismertetett ital-nagykereskedelmi készletezési probléma kezelésére kifejlesztett optimális rendelési téteknagyság (EOQP), valamint diszpozíciós (DISP) problémák hierarchikusan egymásra épülő, kétszintű készletezési rendszermodelljét tartalmazza. A szimulátor segítségével tetszőleges számú kísérletet lehet végrehajtani. Lehetőség nyílik a modellezett rendszer működési jellemzőinek (az állapotváltozók várható értékeinek, egyéb statisztikai paramétereinek) meghatározására, a rendelésütemezési stratégia beavatkozó paramétereinek, illetve az egyéb befolyásoló paraméternek akár egészen extrém beállításai mellett is. Ezáltal nagy hatékonysággal vizsgálható a készletezési rendszer érzékenysége különböző modellezett szituációk esetén. (értekezés 6. fejezet)

3.) Derivált független paraméter kereső eljárást fejlesztettem ki a Weibull-eloszlás alak és skála paramétereinek becslésére, a készletmodellezésben jelentkező keresleti és utánpótlási folyamatok Weibull statisztikával való modellezési lehetőségeinek megteremtése érdekében. ([BK12], [BK17])

A kísérleti jelleggel vizsgált ital-nagykereskedelmi készletezési gyakorlat megismerése céljából *megfigyeléseket, méréseket és elemzéseket* végeztem a készletezési, rendelésütemezési modellek kialakítása során alapvető fontosságú keresleti és utánpótlási folyamatok statisztikai stabilitásának vizsgálata és értékelése érdekében. Az eredményekből arra a következtetésre jutottam, hogy a szimulációs modell és algoritmus kialakítása a keresleti és az utánpótlási folyamatok statisztikai alapokon nyugvó matematikai modellezésével oldható csak meg. Az illeszkedésvizsgálatok során 5%-os szignifikancia szinten a Weibull-eloszlás egyértelmű dominanciáját lehetett kimutatni. Beigazolódott tehát, hogy a vizsgált ágazatban hibás feltételezés a keresleti és az utánpótlási folyamatok modellezése során gyakran használt közelítő normális eloszlás alkalmazása, mivel az esetek nagy részében erős bal oldali aszimmetria volt tapasztalható. A továbbiakban a *Weibull statisztika teljeskörű alkalmazásának lehetőségét* vizsgáltam, és megállapítottam, hogy erre hatékony (skála és alak) paraméterbecslés mellett van reális esély. Kitértem az ismert paraméterbecslő eljárásokat, és arra a következtetésre jutottam, hogy ezek meglehetősen bonyolult, jellemzően a derivált függvényekből kiinduló rekurzív numerikus eljárásokat alkalmaznak a skála és alak paraméterek

3.) Előbb felsorolt okokból kifolyólag a készletezési rendszerben zajló *folyamatokat* előre meghatározott célrendszer szerint *szabályozni kell*, továbbá ennek alapvető követelménye, hogy az alkalmazott szabályozási logikát tartalmazó szabályozó rendszer minden esetben legyen a valószínűsíthető instabilitásához mérten

adaptív, azaz

alkalmazkodjon a készletezési rendszereket és folyamatokat gerjesztő keresleti és utánpótlási folyamatok valószínűsíthető instabilitásához, vagyis ebből kifolyólag

dinamikus, azaz

a készletezési rendszereket működtető szabályozó paramétereket bizonyos jól definiált időközönként kontrolling szemléletmódban folyamatosan bírálja felül, és ha indokolt, akkor a céloknak megfelelően módosítsa.

4.) A jelenleg a gyakorlatban *működő rendszerek* általánosan *nem használják ki a* számítástudományban, a *modellezési*, a *szimulációs* és az *optimumkeresési* eljárások területén idáig elért *kutatási eredményeket*.

5.) A kutatási tapasztalatok azt mutatják, hogy jelenleg *a gyakorlatban működő*, az előbb bemutatott folyamatokat támogató informatikai *rendszerek és megoldások...*

- a.) sok esetben csak „elnevezésükben” optimalizáló rendszerek,
- b.) nem tartalmaznak hatékony, korszerű elveken alapuló, folyamat-specifikus döntési modelleket,
- c.) egyáltalán nem, vagy csak kis mértékben automatizálhatók,
- d.) több lényeges a készletezési rendszerek és folyamatok hatékonyságát befolyásoló szabályozó paraméter beállítását a készletgazdálkodó intuícióira bízzák,
- e.) sokkal inkább vezérlő, mint szabályozó rendszerek,
- f.) nem eléggé dinamikusak, ezáltal adaptivitásuk is meglehetősen csekély.

Az előbb felsorolt *öt lényegi ok* vezérelte azt a kutatást, amelynek célja az volt, hogy kifejlesszem egy – a készletezési rendszerek és folyamatok szabályozásában hatékonyan alkalmazható – *adaptív, dinamikus készletszabályozó rendszer* egy a kutatási tapasztalatok alapján megfelelően – vagyis a fentebb is megfogalmazott elvárásokhoz

illeszkedően – kialakított koncepciószintű rendszertervét, továbbá egy vállalati példán keresztül vizsgáljam az abban definiált módszertan gyakorlati alkalmazhatóságát.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Ez előzőekben definiált célok elérése érdekében célul tűztem ki a kutatási témával kapcsolatos tudományos szakterületek eredményeinek, valamint azok gyakorlatban történő alkalmazásának vizsgálatát. A kutatásom súlyponti területeinek megfelelően, vizsgálódásaim középpontjában az alábbiakban összefoglalt *szakterület csoportok* álltak.

2.1 A vállalati információs rendszerek

A kutatókat már kb. a 70-es évek eleje, közepe óta foglalkoztatja az, hogy a számítástechnika adta lehetőségeket miként lehet felhasználni a stratégiai és az operatív vállalati folyamatok támogatásában [IR3.], [IR9.], [IR16.], [IR17.], [IR28.]. A vállalati információs rendszerek alapjai a pénzügyi rendszerek voltak, így az első áttörések ezen a szakterületen voltak tapasztalhatók [IR10.], [IR26.], [IR27.], ezért a készletezés viszonylag hamar a fókuszba került. A fejlesztők hamar felismerték, hogy a vállalati anyag és információáramlási folyamatokat leképző adatkezelési logika felépítése rendkívül bonyolult feladat [IR7.]. A vállalati folyamatok és rendszerek komplexitásából adódóan rendkívül lényeges kérdés az adatokkal kapcsolatos kockázatkezelési logika kialakításának a kérdése is [IR4.]. A pénzügyi rendszerekben elért áttörésre támaszkodva egyre másra jelentek meg a különböző eleinte még kevésbé, de a későbbiekben már egyre jobban integrált vállalati információs rendszerek és alkalmazások, amelyeknek a csúcspontjai az ERP-k lettek [IR20.], [IR21.], [IR26.], [IR27.]. A következő nagy áttörést a stratégiai és az operatív szinteken jelentkező döntési problémák támogatása jelentette [IR1.], [IR13.]. Hamar bebizonyosodott, hogy a döntéstámogatás sajnos nem minden esetben jelent folyamat-optimalizálást is egyben [IR19.]. Magyarországon több informatikai vállalat is foglalkozik különböző ERP-k forgalmazásával [IR11.], [IR12.]. A megfelelő ERP kiválasztása azonban komplex feladat [IR2.], [IR25.], [IR15.]. A világban végbemenő gazdasági változások, a globalizáció, az új technikák, technológiák stb. újabb és újabb kihívások

preferálható készletezési, rendelésütemezési stratégiát, valamint létrehoztam az ilyen módon racionalizált folyamatot modellezni képes *kétszintű, hierarchikus folyamatmodellt és optimum számítási logikát*.

A modell *első hierarchia szintje* az ún. EOQP modellezési szint. Ennek célja egy adott beszállítótól egyszerre (azaz egy adott időpontban) rendelendő SKU-k tapasztalati készletforgási sebességein, valamint a készlettartási, és a készlethiány költségek egymáshoz viszonyított arányából képzett készletkiesési rátán alapuló olyan matematikai – logikai algoritmus formalizálása, amellyel a rendelésütemezési stratégia hatékonyságát meghatározó állapotváltozók szimulációs technika alkalmazásával vizsgálhatók. A modell *második hierarchia szintje* az ún. DISP modellezési szint, amelynek szükségessége azzal igazolható, hogy a beszállítók a megrendelési tranzakciók bonifikálása érdekében előre specifikált logisztikai feltételrendszert alakítanak ki, amelyet a beszerzőnek a megrendelés végső összeállításakor (diszponálásakor) célszerű betartani. Ennek érdekében ezen a szinten egy olyan modellt hoztam létre, amellyel kimutatható a beszállító által megadott logisztikai feltételrendszerhez igazodó végleges diszpozíciós terv hatékonysága. A folyamatmodell két szintje közötti kapcsolódás úgy valósul meg, hogy az első szinten kalkulált rendelési tételek nagyságok a második szint bemeneteként értelmezhetők, amely során a mennyiségek korrigálása révén lehet eljutni a végleges diszpozíciós tervhez. (értekezés 4. fejezet)

(b.) *VBA fejlesztőkörnyezetben kifejlesztettem a kísérleti jelleggel vizsgált készletezési folyamat racionalizált (2.(a.) altézisben ismertetett) rendelésütemezési stratégiája működési jellemzőinek meghatározására és elemzésére alkalmas szimulációs kísérleti eszközt.*

A 2.(a.) altézisben bemutatott kísérleti jelleggel vizsgált folyamatra a tapasztalatok alapján *specifikáltam* a 1.(b.) altézisben ismertetett készletszabályozó rendszer *folyamatmodellező* és *szimulációs* részrendszerét. A létrehozott szimulátor egy összetett (a későbbi 4. tézisben is bemutatásra kerülő) kísérleti eszköz része. A szimulátor feladata a kísérleti eszközben – az adaptív rendszerek működését modellezve – az optimum számítás során az optimalizátor működtetéséhez szükséges adatok előállítását, a kísérletezés során pedig annak a lehetőségnek a biztosítása, hogy a modellezett készletezési rendszer racionalizált rendelésütemezési stratégiájának működési

2.) Kísérleti úton igazoltam, hogy az 1. tézisben bemutatott kibővített módszertan az ital-nagykereskedelmi készletezési rendszerek és folyamatok modellezésében, működési jellemzőinek meghatározásában és elemzésében nagy hatékonysággal alkalmazható. ([BK2.], [BK3.], [BK4.], [BK6.], [BK8.], [BK9.], [BK12.], [BK17.])

Az adaptív, dinamikus készletszabályozó rendszerben definiált (lásd 1.(b.) altézis), szimulációval támogatott optimum számításra alapuló *elvi koncepció gyakorlati megvalósíthatóságának tesztelése céljából* az ital-nagykereskedelemben jelentkező készletezési problémákat vizsgáltam. Kutatásaim során *tíz egymástól független nagykereskedő* készletezési alapfolyamatait, gyakorlati rendelésütemezési logikáját és alkalmazott vállalati információs rendszerét vizsgáltam megfigyeléses folyamatanalitikai technikával, az alkalmazott vállalati információs rendszerek funkcionális vizsgálatával, valamint az azokból kinyerhető adatok részletes statisztikai elemzésével. Megállapítottam, hogy a készletezési folyamatok szabályozásában alkalmazott rendelésütemezési szokások meglehetősen sokfélék (akár beszállítónként is eltérők) lehetnek. Ezek a logikák általában csupán megszokásokon, gyakorlati tapasztalatokon alapuló elvek, amelyekkel bár valóban lehet a rendeléseket ütemezni, de közvetlenül nem alkalmasak a folyamatok optimalizálására, mivel nem klasszikus értelemben vett stratégiák, így nem teljesülnek az alapvető folyamatoptimalizálási alapelvek sem. Vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy az alkalmazott „eljárások” a készletezési folyamat hatékonysági vizsgálatok alapján bizonyíthatóan nem adnak optimális megoldást. Fenti megállapításokat szem előtt tartva *kísérletet tettem* az 1. tézisben ismertetett modellezési módszertant felhasználva az alkalmazott módszerek számának csökkentésére a korrekt rendelésütemezési stratégia kialakítására és a folyamat optimalizálása érdekében a megszokásokon alapuló logikák racionalizálására.

(a.) *Egy kísérleti jelleggel vizsgált, ital-nagykereskedelemben jelentkező készletezési probléma rendelésütemezési folyamatainak racionalizálására és hatékonyságának vizsgálatára alkalmas kétszintű, hierarchikus folyamatmodellt és optimum számítási logikát fejlesztettem ki.*

További vizsgálataim során a *söripari beszállítókra* fókuszáltam, és elemzéseim eredményeire támaszkodva kialakítottam a leginkább

elé állítják az alkalmazott információs rendszereket is. Ezekkel a kérdésekkel részletesen foglalkoznak az [IR22.], [IR23.], [IR24.], [IR8.], [IR5.] publikációk. További vizsgálataim során elsősorban az [IR6.], [IR14.], [IR18.] publikációkban bemutatott ERP-kel találkoztam, de előfordult számos kisebb ERP, továbbá számos ERP-nek nem feltétlenül nevezhető egyedi fejlesztésű vállalati információs rendszer is.

2.2 A készletezési modellek

Az első klasszikus készletgazdálkodási modellt 1915-ben HARRIS [KM36.] publikálta, amely az „*optimális rendelési tételemnagyság (EOQ) modellje*” néven vált ismertté. Ennek a modellnek napjainkig több továbbfejlesztett változatát és variációját is publikálták (pl. [KM11.], [KM16.], [KM70.]). Nagy áttörést jelentett 1951-ben FORD [KM29.] publikációja, amelyben a paretoi elvek készletezési rendszerekre és folyamatokra gyakorolt hatását, és az *ABC-analízist* publikálta. Az EOQ modellekhez hasonló ún. *folyamatos készletfigyelésű* modellek mellett egy másik nagy kutatási terület az ún. *periodikus készletfigyelésű* modellek csoportja, amelyben szintén számos készletezési modellt publikáltak. A szakterületen kiemelkedő eredményeket értek el magyar kutatók is, így többek között BENKŐ [KM7.], CHIKÁN [KM16.], CSATH [KM20.], [KM21.], [KM22.]. Az egyik, a gyakorlat számára releváns, a klasszikus min-max stratégiához kapcsolódó modellezési kérdéskör, az ún. [s;S] modellek problémaköre, amelyről BASHYAM, FU [KM5.], FU, HEALY [KM30.], valamint KLAFEHN [KM43.] publikációiban olvashatunk. A készletmodellezési témakörrel összefüggésben egy másik irányt képviselnek a klasszikus *átlagköltség alapú* optimalizáló modellrendszerek ([KM8.], [KM9.]), valamint a *JIT¹ filozófia* logisztikai költséghatékonyságának elemző, optimalizáló modelljei ([KM6.], [KM48.]). A számítástechnika rohamos fejlődésének egyik eredménye a *szimulációs technikák* megjelenése volt, amelyekkel több eddig megoldhatatlan készletezési modell és probléma újszerű megközelítésére nyílt lehetőség. Erre mutatnak be példákat többek között a 70-es, 80-as évekből BYRKETT [KM13.], HADDOCK, BENGU [KM34.], SHOWERS [KM60.] publikációi. A készletezési problémák, és az ezek megoldására irányuló modellezési törekvések középpontjába a 90-es évek közepétől

¹ JIT = Just In Time („éppen időben elvű”)

egyre inkább a *vállalati ellátási (más néven értékalkotási) láncok* kerültek. ANGERHOFER, ANGELIDES [KM2.] a dinamikus rendszermodellelés elvét alkalmazza a láncokban jelentkező stratégiai készletezési döntések támogatására. A láncok működésére jellemző ún. *ostorcsapás effektussal*, a kapcsolódó *kereslet előrejelzési problémák* kihatásával, valamint a láncok *taktikai szintű tervezésével* foglalkoznak CHEN, DREZNER, RYAN, SIMCHI-LEVI [KM14.], [KM15.] és SIMCHI-LEVI, SIMCHI-LEVI, WATSON [KM63.] publikációi. A témakörrel kapcsolatban számos további érdekes kérdés merül fel így a *szervezeti integráció* [KM53.], a *virtuális vállalatok* [KM55.], az *információ megosztás* jelentősége [KM64.], valamint a megvalósult *példaértékű modellek* [KM66.]. A szimulációs technikák alkalmazásának eredményeként az értékalkotási láncok stratégiai és taktikai tervezésében több *szimulációs modellt és szoftvert* is kifejlesztettek. Az egyik ilyen szoftver az IBM szimulátora [KM4.], [KM46.]. A modellrendszerek testkalkulációi között olyan multinacionális vállalatok is megtalálhatók, mint a NOKIA ([KM38.]), valamint a NIKE virtuális vállalati rendszere ([KM3.]). A készletezési rendszerek és folyamatok optimalizálásának legújabb megközelítései az *MRP² rendszerek* ([KM1.], [KM70.], [KM75.]), valamint az ún. „*lágymódszerek* (pl. *fuzzy*) alkalmazásához köthetők ([KM26.], [KM47.]), amelyekhez minden esetben számítógép által támogatott modellező rendszereket és algoritmusokat alkalmaznak.

2.3 A statisztikai módszerek és eljárások

Vizsgálódásaim során szükségképpen három nagy kérdéskörrel kapcsolatban végeztem irodalomkutatást. A *leíró statisztika* vizsgálati módszereinek területén ([ST10.], [ST15.], [ST17.]), a jövőbeli keresleti igények becslése kapcsán az *idősor elemzési analitikák* területén ([ST4.], [ST5.], [ST9.], [ST16.], [ST18.]), valamint a keresleti és az utánpótlási folyamatokat jellemző eloszlások és azok paramétereinek becslése kapcsán a *becsléses hipotézis vizsgálatok* területén ([ST15.]). Kutatásaim során a vizsgálataimat (különböző vállalati információs rendszerekből származó nagy mintákon) az ún. khi-négyzet próba segítségével hajtottam végre és azt tapasztaltam, hogy a készletezési folyamatokban leggyakrabban előforduló alapvető empirikus eloszlástípusok rendkívül jól modellezhetők a más tudományágakban (pl. minőségbiztosítás

² MRP = Material Requirements Planning (anyagszükséglet tervezés)

viselkedésének, valamint főbb működési paramétereinek, állapotváltozóinak vizsgálata érdekében. A *másik* feltárt alapvető probléma a döntési modelleket leképző formalizmusok felhasználásával működtethető olyan *optimumkereső háttérrendszerek hiánya*, amelyekkel sokszor akár egy bizonytalan összefüggés rendszer esetében is hatékonyan meghatározhatók a döntési modellek előre definiált szabályozó paramétereinek aktuális beállítási értékei. Fentiek miatt a készletszabályozásban alkalmazható korszerű döntési modellek alapvető összetevőit a *folyamatmodellel* és az *optimum-kereső algoritmussal* bővítettem ki. Ezt a módszertant alkalmazva lehetőség nyílhat olyan célspecifikus korszerű készletszabályozó rendszerek kifejlesztésére, amellyel növelhető a vállalati készletezési rendszerek adaptivitása, ezáltal fokozódhat működési hatékonysága. (értekezés 3.1 alfejezet)

(b.) *Létrehoztam az adaptív, dinamikus készletszabályozás általánosan értelmezett, az 1.(a.) altézisben megfogalmazott elveken alapuló modelljének koncepció szintű rendszertervét.*

Az 1.(a.) altézisben definiált elvek felhasználásával, valamint a gyakorlati tapasztalatok ismeretében *első lépésben* definiáltam azokat az alapfeltételeket, amelyekkel a készletezési folyamatok adaptív, dinamikus szabályozása megvalósítható, majd kialakítottam egy általánosan értelmezett szabályozó rendszer belső elvi felépítésének koncepció szintű modelljét. Definiáltam a szabályozó rendszer alapvető részrendszereit és információs alrendszerét, valamint az ezek közötti funkcionális kapcsolatokat, továbbá a szabályozási folyamat működési elvét. *Második lépésben* specifikáltam a szabályozó rendszer működtetéséhez szükséges, illetve a működtetés során keletkező azon adatcsoportokat, amelyek kezelését a belső információs alrendszer látja el. Definiáltam azt a kapcsolódási felületet, amelyen keresztül a szabályozó rendszer szabványos integrált vállalatirányítási információs rendszerekhez való illesztése megvalósítható, továbbá kialakítottam az adatcsere logikáját is. Ezt követően definiáltam az egyes (adatkonverziós, folyamatmodellező, szimulációs és optimalizáló) részrendszerek szükséges funkcionálisát, majd részleteztem azok belső felépítését, különös tekintettel azokra a szabályozó rendszerbe *integrált üzleti intelligencia módszertani megoldásokra*, amelyek a készletszabályozásban új megközelítésnek számító folyamatmodellező, szimulációs és optimalizáló részrendszerekben kerültek elhelyezésre. (értekezés 3.2 alfejezet)

3. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

A doktori értekezésemben kidolgozott új tudományos eredményeket az alábbi tézisekben foglalom össze:

- 1.) **Megállapítottam, hogy a szakirodalomban rendelkezésre álló dokumentált, készletezési, rendelésütemezési folyamatok optimalására kifejlesztett, matematikai alapokon nyugvó modellek gyakorlati alkalmazásának hiánya a vállalati készletezési folyamatok korszerű, szabályozó rendszerként való értelmezésének módszertani problémáira vezethető vissza.** ([BK1.], [BK5.], [BK11.], [BK15.], [BK17.])

Intenzív kutatásokat végeztem a készletezési rendszerek és folyamatok működtetésével kapcsolatos tudományos eredmények minél szélesebb körű megismerése, valamint ezek vállalati gyakorlatban történő alkalmazásának vizsgálata érdekében. Megállapítottam, hogy bár a rendelkezésre álló dokumentált készletezési modellek tárháza rendkívül nagy, ennek ellenére a gyakorlati alkalmazások terén igen komoly lemaradások vannak. Az ipari, kereskedelmi és szolgáltató szférában végzett vizsgálataim azt támasztották alá, hogy a készletezési folyamatok szabályozó rendszerként való értelmezése (így az ilyen módon megvalósított készletszabályozás is) sajnos sok esetben a vállalati gyakorlatban csak elviekben létezik. Általában hiányoznak az olyan vállalat- és folyamatspecifikus, készletszabályozó rendszerbe integrált módon működő korszerű és megbízható döntési modellek amelyek lehetővé teszik a készletezési rendszerek előre meghatározott szempontok szerinti optimalizálását. Az előbb leírt hiányosságokkal összhangban tehát:

- (a.) *Kibővítettem a készletszabályozás rendszerszemléletű értelmezésének módszertanát, megalapozva ezzel a valós készletezési rendszerek működésének korszerű, döntési modellek által támogatott folyamatorientált modellezését és optimalizálását.*

Megállapítottam, hogy a hatékonyan alkalmazható döntési modellek kialakításának egyik fő gátló tényezője a *folyamatorientált alkalmazott modellezési módszertan hiánya*, amelynek segítségével az amúgy logikailag általában jól modellezhető készletezési, rendelésütemezési problémák formalizálhatóvá válnak. Az ilyen módon kialakítható formalizmusok olyan matematikai-logikai modellek, amelyeken tetszőleges számú kísérletet lehet végezni a valós készletezési rendszer

[ST16.], és kémiai technológia [ST3.] is alkalmazott *Weibull eloszlás* segítségével (WEIBULL [ST19.]). A Weibull eloszlás két (skála és alak) paraméterének becslése azonban nem triviális feladat. A létező módszerek és eljárások közül a leggyakrabban alkalmazottak a *grafikus* és *táblázatos* módszerek, valamint az *analitikus* módszerek közül a *legkisebb négyzetek* módszere, a *maximum likelihood* módszer és a *momentumok* módszere, továbbá ezek különféle kombinációi. Az egyes eljárások alkalmazási kérdéseivel foglalkozott többek között AL-FAWAZAN [ST1.], GUPTA, R. D., KUNDU [ST7.], GURVICH, DIBENEDETTO, PEGORETTI [ST8.], KOVÁCS [ST13.], [ST14.] és WU [ST21.] is. A kutatók általános véleménye szerint a legpontosabb becslést a momentumok módszere, a leggyorsabbat (és egyben legegyszerűbben előállíthatót) pedig a legkisebb négyzetek módszere szolgáltatja. Számos további kutatás és szakcikk foglalkozik a paraméterek becslésének, pontosságának kérdésével és az alkalmazott módszerek hatékonyságának további fokozásával.

2.4 A modellezési technikák, a szimuláció és az optimumkeresési módszerek

A korábbi kutatások során bebizonyosodott, hogy csak a modellezés, a szimuláció és a korszerű optimalizálási technikák segítségével lehet tartós sikereket elérni a vállalati döntés-előkészítésben ([MO4.], [MO21.], [MO25.], [MO36.]), így a logisztikai rendszerek területén is. A bonyolult vállalati rendszerek modellezésével kapcsolatos általános rendszertechnikai kutatások eredményeit, valamint a gyakorlati alkalmazhatóság lehetőségeit és korlátait vizsgálja JÁNDY [MO21.], POGÁNY [MO36.]. A szimuláció jelentőségét a modellezésben hamar felismerték, mivel igen bonyolult rendszerek esetében egy jól felépített rendszermodellen számtalan kísérletet lehet szimuláció segítségével végrehajtani, így napjainkban e két fogalom már nem is különíthető el élesen egymástól. A szimuláció BRATLEY, FOX, és SCHRAGE definíciója szerint „*egy rendszer modelljének a megfelelő bemenetekkel (input) történő ellátása, működtetése (driving) és a kimenetek (output) megfigyelése*” ([MO7.]). INGALLS [MO20.] cikkében SHANNON-ra hivatkozva egy más megközelítést definiál, amelyben már szerepet kap a modell tervezésének és építésének fázisa is. Mindezek mellett a 90-es évek vége felé közeledve AXELROD azt írja, hogy „*ahhoz, hogy a szimulációs módszerek magas szintű alkalmazása elterjedjen a*

társadalomtudományok területén, el kell fogadtatni, hogy az induktív és a deduktív módszerekkel szemben a tudomány művelésének harmadik útja a szimulációs kísérletezés” ([MO1.]). KELTON [MO23.] cikkében eljárásokat olvashatunk a szimulációs kísérletek tervezése, valamint az eredmények szakszerű statisztikai analitikai módszertan szerinti elemzése témakörében. Az egyik legterjedelmesebb összefoglaló, rendszerző mű CHUNG [MO8.] könyve, amelyben a modellezés és a szimuláció lépéseinek részletes tárgyalása mellett a szerző rendkívül nagy hangsúlyt fektet a modellek verifikálásának és validálásának kérdéseire. A szimulációs alkalmazások jövőjéről BANKS és CHAIR [MO3.] cikkében olvashatunk, amelyben egyértelműen kirajzolódott négy rendkívül fontos dolog:

- a különböző iparági szoftverekhez (CAD³, ERP, WMS) való egyre szorosabb integráció,
- a szabályozástechnikai alkalmazásokhoz való szoros kapcsolódás,
- a virtuális valóság megteremtésében való egyre szorosabb közreműködés, valamint
- a szimulációs programozási nyelvek és alkalmazások fejlődése, „felhasználóbaráttá tétele”.

Fentiekén kívül még számos a modellezéssel és a szimulációval foglalkozó speciális problémákat bemutató publikációkat tekintettem át, így az [MO26.], [MO28.], [MO32.], [MO35.], [MO36.] és [MO41.] publikációkat is. Az *optimumkeresés*, az *optimalizálási módszerek* tudományos eszköztára meglehetősen széles és napjainkban egyre nagyobb ütemben fejlődik, mivel a gyakorlat is egyre inkább kezdi felismerni a folyamatok optimalálásának jelentőségét. Az ún. differenciális és variációs számításokat a XVIII. században alkották meg olyan nagy személyiségek, mint NEWTON, EULER, LAGRANGE és BERNOULLI. A különféle módszerek, eljárások ugrásszerű fejlődése az operációkutatás tudományágának megjelenésével indult meg. A fentebb értelmezett feladatok sok esetben ún. *többszemponútú döntési problémákra* vezethetők vissza, amelyek matematikai kezelésével RAPCSÁK [MO38.] foglalkozik. A *nemlineáris optimalizálás* mind elméleti érdekességénél fogva, mind a gyakorlati alkalmazásokat tekintve az optimalizálás elmélet rendkívül gyorsan fejlődő ága ([MO37.]). Egy másik, a készletezés-elmélet szempontjából különösen fontos szakterület a *sztochasztikus*

programozás, amely a véletlen jelenlétében való döntéshozattal foglalkozik ([MO11.], [MO17.]). Az alkalmazható ún. direkt keresési stratégiák közül a *simplex módszer* szintén egy egyedül megközelítése az optimumkeresésnek ([MO12.], [MO27.], [MO45.]). Egy bár régebb óta ismert (HOLLAND, 1975), de mégis technológiailag még mindig újszerűnek tekinthető megközelítés a kutatásom egyik központi témájának számító *genetikus algoritmusok* alkalmazása az optimumkeresésben. GOLDBERG szerint „a genetikus algoritmus egy olyan kereső algoritmus, amelynek alapja a természetes szelekció, és a természetes géntechnológiák, eredménye pedig egy olyan hatékony módszer, amely az emberi keresési stratégia újító hajlamait tartalmazza. A genetikus algoritmusokat megalapozó hasonlat a természetes evolúció hasonlata. Az evolúció során az egyes fajok feladata az, hogy minél jobban alkalmazkodjanak egy bonyolult, ráadásul állandóan változó környezethez. A tapasztalat, melyet az egyes fajok az alkalmazkodás során szereznek, beépülnek a kromoszómákba, és azok tovább öröklődnek” ([MO15.]). Napjainkig számos összefoglaló, rendszerző mű (így [MO19.], [MO24.], [MO30.], [MO46.]) jelent meg, amelyek különféle megközelítésben tárgyalják a genetikus algoritmusok elméletével, valamint gyakorlati implementációjával kapcsolatos kérdéseket. A genetikus algoritmusok gyakorlati alkalmazóinak száma egyre növekszik, ezért napjainkig egyre több alkalmazás-specifikus továbbfejlesztett, javított, az algoritmus hátrányos tulajdonságait kiküszöbölő, elméleti háttérét korszerűsítő megoldást publikáltak (pl. [MO2.], [MO44.]). Az alkalmazások egy igen jelentős része a szabályozástechnika témaköréhez kapcsolódik (pl. [MO22.], [MO41.]), de olyan speciális területek is előfordulnak, mint pl. a játékelmélet ([MO6.]). A szimulációs technikák és az optimalizálási módszerek összekapcsolásának fontossága elsősorban olyan problémák esetében jelentkezik, amelyeknél a célfüggvény egzakt formában (zárt alakban) történő meghatározása és felírása nem, vagy csak rendkívül nehezen valósítható meg. Ezzel a témakörrel a *szimuláció-optimalizáció* területe foglalkozik, amely egy újabb kutatási iránynak számít az ebben az alfejezetben bemutatott szakterületen ([MO35.]).

³ CAD = Computer Aided Design (számítógéppel támogatott tervezés)