

Bódis Tamás

Kommissiózási algoritmusok fejlesztése termék
rakatolási szempontok figyelembevételével

PhD tézisfüzet

Témavezető:

Botzheim János, Ph.D.

Egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

1. Bevezetés

A raktárak a globális ellátási láncok integrált részét képezik, általános feladatuk a termelés-ellátási és disztribúciós folyamatok támogatása az alapanyag kitermeléstől, a munkaközi állapotokon át a készáru elkészültéig. A raktárakban különböző rendszerekben termékeket kezelnek és tárolnak, majd a megrendelt egységeket szállításra készítik elő. Mivel a raktárban zajló folyamatok közül a kommissiózás a legköltségesebb és legmunkaerő igényesebb operáció, a legtöbb raktár-logisztikai kutatás és ipari projekt erre a területre koncentrál. A jellemző döntési pontok a kommissiózási folyamatok tervezése és irányítása során a bejárési útvonal, a termékelhelyezés, a rendelések felosztása vagy kötegelése és a zóna rendszerű kommissiózás. A közlekedési idő megközelítően 50%-át teszi ki a kommissiózási időnek, ezért a kommissiózási folyamat fejlesztések elsődleges célja a bejárás optimalizálás [9, 4].

Számos megoldás került már kialakításra a termékelhelyezés (Storage Location Assignment, SLA) és a bejárési útvonal harmonizálására a bejárési útvonal és idő csökkentése érdekében (például, [7, 2]). Azonban annak ellenére, hogy a termékek fizikai paraméterei (dimenziók, tömeg, csomagolás), a termékek rakatképzési tulajdonságai és a rendelések karakterisztikája befolyásolják a stabil rakatok képzése szempontjából fizikailag lehetséges kigyűjtési sorrendet, a kutatások ritkán veszik figyelembe ezeket a szempontokat a termékelhelyezés és a kommissiózási útvonal optimalizálás során. Más szemszögből számos kutató ért el értékes eredményt a rakatképzési (Pallet Loading Problem, PLP) és a ládapakolási (Bin Packing) probléma kapcsán (például, [6, 5, 1, 10, 3]), de az eredmények ritkán kerültek harmonizálásra a termékelhelyezést és a kommissiózási bejárást optimalizáló algoritmusokkal.

A kommissiózási listák megfelelő sorrendezésének fontossága a jól strukturált és stabil rakatok képzése és a termékek sérülésének elkerülése érdekében már megfogalmazásra került [8]. Olyan bejárást optimalizáló algoritmus került kifejlesztésre, ami a termékek rakatképzési tulajdonságait meghatározva figyelembe veszi a termékcsoportok kigyűjtési sorrendjét. Az algoritmus minimalizálja az eltérést a meghatározott sorrendtől és minimalizálja a megtett utat, azonban alkalmanként olyan rugalmasabb és komplexebb sorrendezési szabályok meghatározása lehet fontos, amelyek nem csak a termékek paramétereitől függenek [8].

Ha a termékek elhelyezése támogatja a helyes, kockázatmentes kigyűjtési sorrendet, valószínű a legrövidebb útvonalon kigyűjthetők az igények átrendezés nélkül. Egyébként döntéshozás szükséges: a termékek megfelelő sorrendben történő kigyűjtése és több közlekedés, vagy a rövidebb út választása és átrendezés kigyűjtés során. Helyzettől függően bármelyik megoldás eredményezheti a legrövidebb kigyűjtési időt. A választás a kigyűjtési lista hosszától és tartalmától, illetve a termékek elhelyezésétől függ. Ez szemlélteti a rendelés karakterisztikájának, a kiindulási és célpozíciónak, a rakatátrendezésnek, a bejárési útvonalnak és a termékelhelyezésnek a szerepét a kommissiózás sorrendezési döntésben. A kommissiózók általános célja a kommissiózás átfutási idejének minimalizálása és stabil sérülésmentes rakatok képzése. A kommissiózási rendszerek tervezése során minden döntési tényező szinkronizálása és a fontos szempontok (például rakatképzési tulajdonság) figyelembevétele is szükséges a kommissiózó különböző karakterisztikájú rendelések hatékony kigyűjtésében történő támogatásához [B6].

2. Kutatási cél és motiváció

Logisztikai tanácsadóként, ipari projektek során tapasztaltam, hogy a csomagok rakatképzési tulajdonsága, valamint a rakatképzési lehetőségek és szabályok nagy hatással lehetnek a kommissiózás hatékonyságára. Ahol ezek a szempontok relevánsak és konkrét algoritmusok nem elérhetők, a kommissiózóknak nagy kihívásokkal kell szembenéznük a kommissiózási folyamat menedzselése során. Számátalan szempontot kell fejben tartani és figyelembe venni a legrövidebb kommissiózási átfutási idő megtalálása, a stabil szállítási egységek képzése és a termékek sérülésének elkerülése érdekében. Ezeket a kihívásokat jellemzően bevett gyakorlatokkal (best practice) kezelik az iparban. Ipari tapasztalatok alapján azonban belátható, hogy a kommissiózási bejárési útvonal, a termékelhelyezés és a termékek rakatképzési tulajdonságának figyelembevételel történő rakatképzés szinkronizálása nagy hatással van a kommissiózás átfutási idejére és az üzemeltetési költségekre. Ezek a szempontok még nem kerültek átfogó vizsgálatra és harmonizálásra a kommissiózási kutatások során.

Ipari tapasztalataim és irodalmi áttekintésem alapján az alábbi célokat fogalmaztam meg annak érdekében, hogy ipari szempontból releváns és tudó-

mányosan egyedi kommissiózási megoldásokat fejlesszek a termékek rakatképzési tulajdonságának figyelembevételével.

- Felvetem és definiálom a rakatképzési tulajdonságot figyelembe vevő kommissiózási bejárési útvonal problémát (Order Picking Routing Problem based on Pallet Loading Feature, OPRP-PLF), mint újszerű és komplex problémát. Továbbá bizonyítom a fontosságát és meghatározom a rakatképzési tulajdonságot (Pallet Loading Feature, PLF), amely a termékek tulajdonságaitól, a kommissiózási lista karakterisztikájától és a kommissiózási rendszertől függ.
- Kialakítok egy formalizált, rugalmasan paraméterezhető és ipari szempontból releváns modellt a problémára, melynek felépíthetőnek kell lennie ismert, könnyen mérhető és ritkán változó adatok alapján, ugyanis tapasztalatok alapján precíz termék paraméterek (geometria, tömeg) ritkán elérhetőek.
- Olyan módszert fejlesztek, amellyel meghatározható, mikor szükséges alkalmazni az OPRP-PLF algoritmusokat az adott raktárban.
- Megvizsgálom a probléma komplexitását, annak érdekében, hogy megtaláljam a megfelelő optimalizálási módszert.
- Kifejleszték, értékelek és összehasonlítok algoritmusokat az OPRP-PLF problémára, amelyek támogatják a kommissiózót az időhatékony kigyűjtési sorrend meghatározásában a rendelkezésre álló futtatási időn belül. A megoldásnak biztosítania kell a rugalmasságot, a termékek sérülésének elkerülését, a stabil rakatok képzését és a kommissiózási átfutási idő minimalizálását.
- Megvizsgálom a kommissiózott rakat kommissiózás közbeni átrendezésének hatását a kommissiózási átfutási időre.
- Megvizsgálom a raktári elrendezés, a rakatképzési tulajdonságon alapuló termékelhelyezés és a bejárési útvonal összehangolásának hatását a kommissiózás hatékonyságára. Szemléltetem, hogy rakatképzési tulajdonságok alapján meghatározott termékelhelyezésnek hatása van a kommissiózási átfutási időre. A megfelelő termékelhelyezési algoritmus definiálása

egy lehetséges későbbi kutatási irány, de nem az aktuális disszertáció feladata.

Kutatásom mellett, szeretném az irodalomkutatási tapasztalataimat és a kutatási eredményeimet alkalmazni az egyetemi oktatásban, mint a kommissiózás új kihívásai, szempontjai és megoldásai.

3. Disszertáció struktúrája és alkalmazott módszerek

Disszertációm két fő fejezetre osztható, irodalmi áttekintésre és saját eredményekre. Az irodalmi áttekintés fő fejezet foglalja össze a tudomány aktuális állását a kommissiózási és az optimalizálási területen. A kommissiózási irodalomkutatás fő területei a bejárás, a termékelhelyezés, a layout, a zóna rendszerű kommissiózás és a kommissiózási lista generálás, melyek kapcsolódnak a kutatásomhoz. Az optimalizációról szóló irodalomkutatásom összefoglalja a releváns optimalizálási terminológiákat és módszereket. A saját eredmények című fő fejezet összefoglalja a kutatási eredményeimet az alábbi struktúrában:

Először is a 3.1. fejezetben definiálom a OPRP-PLF problémát, bemutatom a befolyásoló tényezőit és hangsúlyozom ipari alkalmazásának relevanciáját. Ismertetem a rakatképzési szabályokat matematikai formulákkal leképező modelletem. Ez a fejezet írja le az OPRP-PLF algoritmusok adott raktárra történő alkalmazásának szükségességét meghatározó módszeremet. Megoldásom a rakatképzési szabályok és a raktári folyamatok természetének elemzésével képes rámutatni, hogy milyen esetekben szükséges az OPRP-PLF algoritmusok implementálása.

A 3.2. fejezetben matematikai módszerekkel vizsgálom az OPRP-PLF iparban releváns aleteinek komplexitását. Minden esetre meghatározom a lehetséges kommissiózási sorrend variációk számának meghatározásához szükséges képletet, melyek viselkedését vizsgálom különböző hosszúságú és tartalmú listák esetén. A komplexitás vizsgálat célja a szükséges optimalizálási módszer megfogalmazása.

A 3.3. fejezetben ismertetem a saját fejlesztésű OPRP-PLF algoritmusok részleteit. Bemutatom a célfüggvényemet és egyszerű példákon keresztül ana-

litikus vizsgálattal szemléltetem az optimalizálás szükségességét. Lehetséges Bakteriális Memetikus Algoritmus (BMA) operátor és szimulált lehűtés algoritmus alternatívákat mutatok be. Pseudo kódokkal és ábrákkal teszem a megoldásokat érthetővé és reprodukálhatóvá. Az említett operátorok kombinációi képezik a lehetséges algoritmus megoldásokat, melyeket a következő fejezetben értékelek és hasonlítok össze.

A 3.4. fejezetben értékelem az előzetesen meghatározott lehetséges algoritmusokat. Az algoritmusokat a bemutatott problémára kialakított saját fejlesztésű számítógépes szimulációs környezetben vizsgálom. A különböző megoldásokat különböző hosszúságú és tartalmú kommissiózási listákon a saját célfüggvényemmel értékelem. A fejezet célja a releváns operátorok meghatározása és a későbbi alkalmazásokhoz javasolt algoritmus kiválasztása.

A 3.5. fejezetben a raktári layout tulajdonságainak, a termékelhelyezésnek és a rakat kommissiózás közbeni átrendezésének a kommissiózási átfutási időre gyakorolt hatását vizsgálom. Meghatározom a felsorolt rendszertulajdonságok iparban releváns alternatíváit, melyeket az előzetesen meghatározott OPRP-PLF algoritmusokkal különböző karakterisztikájú kommissiózási listákon értékelek a szimulációs környezetben. A rendszerkonfiguráció alternatívák objektív értékelése alapján raktár-logisztikai szempontú következtetéseket vonok le.

A disszertáció zárásaként összefoglalom a kutatásom eredményeit és összegyűjtöm a kutatás lehetséges további irányait.

4. Rakatképzési tulajdonságot figyelembe vevő kommissiózási bejárési útvonal probléma

Habár a kommissiózási bejárás és a rakatképzési probléma fontos és gyakran vizsgált kutatási területek, irodalomkutatásom rávilágít harmonizálásuk hiányára. Az újszerű rakatképzési tulajdonságot figyelembe vevő kommissiózási bejárési útvonal probléma (Order Picking Routing Problem based on Pallet Loading Feature (OPRP-PLF)) specifikálása mellett további eredményeket értem el a modellezése és relevanciájának vizsgálata kapcsán. A raktárak esetében gyakorta hiányoznak a pontos és naprakész termék paraméterek (méret, tömeg, rakatképzési paraméter stb.) és a megalapozottan meghatározott ra-

katképzési feltételek.

Tézis 1. *Hangsúlyoztam, hogy kapcsolat és potenciális szinergia van a komissiózási bejárési probléma és a műszaki szempontok között, mint például csomagolás és termékvédelem. A komissiózási bejárás és rakatképzési probléma harmonizálása szükséges lehet a komissiózó stabil szállítási egységek képzésében és termék sérülések elkerülésében történő támogatásához komissiózás és szállítás során. Meghatároztam a rakatképzési tulajdonságot és a rakatképzési tulajdonságot figyelembe vevő komissiózási bejárési útvonal problémát (OPRP-PLF). A rakatképzési tulajdonságot (PLF) a logisztikai rendszer tulajdonságaként határoztam meg, amely nem csak a termékek tulajdonságaitól, hanem a komissiózási lista karakterisztikájától és magától a komissiózási rendszertől is függ.*

Tézis 1/a. *Meghatároztam egy módszert a kigyűjtési sorok csoportosítására és a rakatképzési szabályok formalizálására, könnyen mérhető és ritkán változó információk alapján. A kigyűjtési csoportok logikai kigyűjtési lehetőségeinek formalizálására meghatároztam a rakatképzési döntési mátrixot (Pallet Loading Feature based Decision Matrix, PLFDM).*

Tézis 1/b. *Mivel az OPRP-PLF nem releváns minden raktárban, ezért különböző raktárakban is alkalmazható módszert fejlesztettem ki a OPRP-PLF algoritmusok bevezetési jelentőségének meghatározására. A rakatképzési döntési mátrix elemzésével meghatároztam a rakatképzési tényezőt (Pallet Loading Rate, PLR) és kiemeltem a komissiózási folyamatok megfigyelésének fontosságát.*

A tézishez kapcsolódó publikációim: [B6], [B1], [B5].

5. Az OPRP-PLF komplexitása

Mivel a komissiózás bejárési algoritmusok nem veszik figyelembe a rakatképzést, ezért szükséges lenne algoritmusokat fejleszteni az OPRP-PLF-re. Újszerű problémákra történő algoritmusok fejlesztését releváns ipari esetekre végzett komplexitás vizsgálattal érdemes kezdeni, annak érdekében, hogy definiálható legyen a megfelelő és a szükséges optimalizálási módszer.

Tézis 2. *Vizsgálatom hangsúlyozta, hogy meta-heurisztika alkalmazása nem szükséges az OPRP-PLF-re, amikor rakatképzési csoport szerint elkülönített zónák kialakíthatók. Ugyanakkor bizonyítottam, hogy meta-heurisztikán alapuló optimalizálási módszer alkalmazása szükséges a következő esetekben, a lehetséges kigyűjtési sorrend kombinációk számának legalább exponenciális növekedése és a rendelkezésre álló rövid futási idő miatt, amikor rakatképzési csoport szerint elkülönített zónák nem alakíthatók ki.*

- *Egy egységgrakomány kommissiózása a rendelés felosztása nélkül, amikor az egységgrakomány átrendezés nem megengedett kommissiózás közben.*
- *A rendelés számos egységgrakományra kerül felosztásra és az egységgrakomány átrendezés nem megengedett kommissiózás közben.*
- *Az egységgrakomány átrendezés megengedett egy egységgrakomány kommissiózása közben.*

Mivel a napi operáció során a kommissiózónak idővesztés nélkül kell megkapnia az optimalizált kommissiózási listát, ezért az algoritmus futási ideje kritikus szempont. Ennek alapján kijelentettem, hogy az evolúciós optimalizálás egy megfelelő meta-heurisztikus módszer lehet a problémára.

A tézishez kapcsolódó publikációim: [B2], [B5].

6. Algoritmusok az OPRP-PLF-re

Mivel az algoritmus futási idő kritikus szempont a legalább exponenciális komplexitású OPRP-PLF esetén, ezért a BMA-t javasoltam a megfogalmazott problémára, ami számos kombinatorikus optimalizálási problémára sikeresen került alkalmazásra gyors konvergálása miatt.

Tézis 3. *Míg a kommissiózási bejárás optimalizálás célfüggvényei általában a közlekedési és a kigyűjtési időt veszik figyelembe, specifikáltam egy célfüggvényt az OPRP-PLF átfutási idejének minimalizálására, amely ezen tényezők mellett az átrendezési időt is figyelembe veszi.*

Analitikus vizsgálat alapján igazoltam az algoritmus fejlesztés szükségességét, rámutatva, hogy a legrövidebb út eredményezhet több átrendezést és magasabb

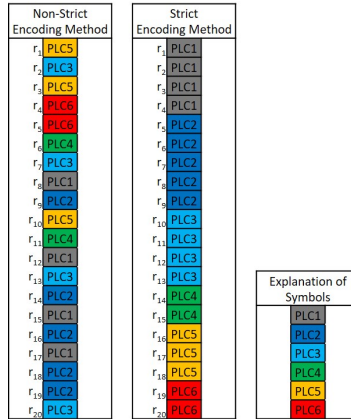
átfutási időt a rakatképzési tulajdonság miatt. Ezáltal a kommissiózó algorit-mussal történő támogatása szükséges komplex OPRP-PLF esetén.

Bakteriális Memetikus Algoritmus (BMA) és populációalapú Szimulált Lehűtés (Simulated Annealing, SA) algoritmusokat fejlesztettem két eset összehasonlí-tása érdekében, amikor az egységgrakomány átrendezés tiltott (szigorú, Strict) és amikor megengedett (laza, Non-strict). Kombináltam a bakteriális mutá-ció és a lokális kereső operátorokat SA algorit-mussal annak érdekében, hogy növeljem az optimalizálás hatékonyságát a rövid optimalizációs időn belül.

A tézishez kapcsolódó publikációim: [B5], [B4].

Az 1. ábra szemlélteti a meghatározott bekódolási módszereket a két esetre, amikor az egységgrakomány átrendezés tiltott (szigorú, Strict) és amikor megengedett (laza, Non-strict). Az 1. és a 2. tábla azonos kommissiózási lista alapján megmutatja, hogy a rövidebb közlekedési idő (T_T) több átrendezést (T_R) és magasabb átfutási időt eredményezhet.

1. ábra. Laza (Non-strict) és szigorú (Strict) bekódolási módszerek



1. táblázat. Analitikus vizsgálat az átrendezés megengedésével.

Record	Position	POPC	T_P	r_{r_i}	T_R	S_{r_{i-1}, r_i}	T_T	LeadTime
3	Position 3	B	00:10	0	00:00	10	00:06	
1	Position 2	C	00:10	1	00:15	30	00:19	
2	Position 1	A	00:10	2	00:30	50	00:31	
	Start-End					100	01:02	
Sum			00:30		00:45	190	01:58	03:13

2. táblázat. Analitikus vizsgálat az átrendezés **tiltásával**.

Record	Position	POPC	T_P	r_{r_i}	T_R	S_{r_{i-1}, r_i}	T_T	LeadTime
2	Position 1	A	00:10	0	00:00	100	01:02	
3	Position 3	B	00:10	0	00:00	20	00:13	
1	Position 2	C	00:10	0	00:00	30	00:19	
	Start-End					80	00:50	
Sum			00:30		00:00	230	02:24	02:54

7. Algoritmusok értékelése különböző komplexitású kommissiózási listák alapján

Számos lehetséges algoritmus értékelése gyakorta szükséges újszerű probléma esetén a megfelelő koncepció megtalálása érdekében. Meghatároztam lehetséges BMA megoldásokat az OPRP-PLF-re az előzetesen definiált BMA operátorok reális kombinációi alapján. Implementáltam, értékeltem és összehasonlítottam BMA és SA algoritmusokat azonos alapokon számítógépes szimuláció segítségével. Vizsgáltam az algoritmusok viselkedését különböző hosszúságú kommissiózási listák esetén.

Tézis 4. *Az eredmények alapján bizonyítottam, hogy a BMA alapú megoldások hatékonyabbak az OPRP-PLF-re, mint a SA algoritmusok. Arra a következtetésre jutottam, hogy a legtöbb esetben a szigorú inicializálású, laza bakteriális mutációval és SA algoritmussal kombinált „Best Development” lokális kereső operátorral ellátott algoritmus lehet a hatékony választás.*

Tézis 4/a. *Igazoltam, hogy amikor az egységakomány átrendezési idő kevesebb, mint az átrendezéssel megtakarított közlekedési idő, akkor az egységakomány kommissiózás közbeni átrendezésének megengedése rövidebb kommissiózási átfutási időt eredményezhet. Habár a laza operátorok hasznosak az egységakomány átrendezés megengedéséhez, a szigorú kezdeti populáció segít az egyedek gyors javításában.*

Tézis 4/b. *Bizonyítottam, hogy a „Best Development” lokális kereső operátor, leginkább a SA-val kombinált „Best Development” lokális kereső operátor teljesít stabilan és hatékonyan rövid és hosszú listák esetén egyaránt.*

Tézis 4/c. *Rávilágítottam a SA, BMA operátorokban történő alkalmazásának működőképességére, ugyanis a SA-val kombinált bakteriális mutáció és loká-*

lis kereső algoritmusok versenyképesek a hagyományos operátorokkal szemben. Megfogalmaztam, hogy leginkább a SA-val kombinált lokális kereső operátorok adtak jobb eredményeket a hagyományos lokális kereső operátor alternatívákkal szemben.

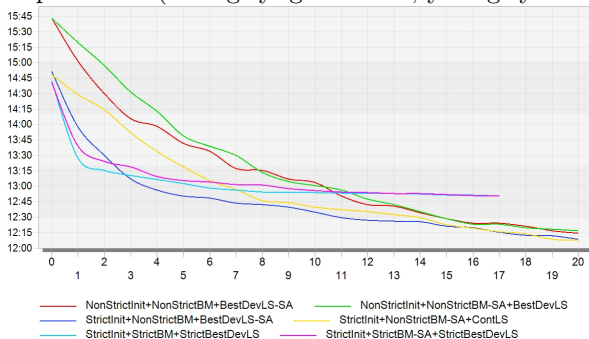
A tézishez kapcsolódó publikációm: [B4].

A 2. ábra megmutatja, hogy az átrendezés (piros, magasabbról induló algoritmus) eredményezhet alacsonyabb átfutási időt. A 3. ábra laza (non-strict) operátorok szükségesek az átrendezés megengedéséhez és az alacsonyabb átfutási idő eléréséhez, de a szigorú (Strict) kezdeti populáció segíti a gyors javulást. A kezdetben magasabban induló algoritmusok (piros és zöld) laza (non-strict) inicializálást alkalmaztak.

2. ábra. Az SA algoritmusok eredményei 20 soros kommissiózási listára (x-tengely: iterációk, y-tengely: célfüggvény)



3. ábra. A 20 soros kommissiózási listán legjobban teljesítő inicializáló és bakteriális mutáció operátorok (x-tengely: generációk, y-tengely: célfüggvény)



8. A raktári layout és a SLA hatása az OPRP-PLF-re

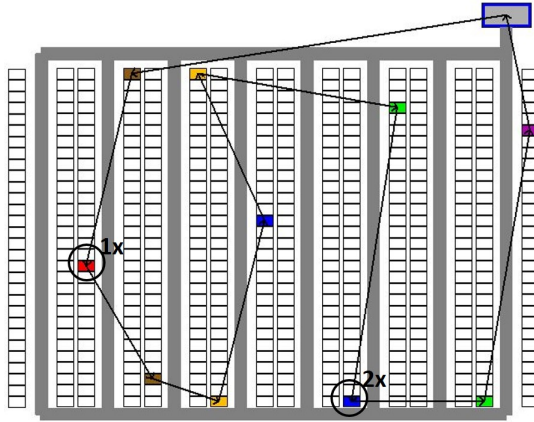
Mivel számos faktor befolyásolja a raktári operációkat, ezért azok harmonizálása szükséges a hatékony raktári folyamatok érdekében. Ennek alapján megvizsgáltam raktári layout paraméterek, az átvételi és kiadási terület pozícionálás, a termékelhelyezés (SLA) és az egységgrakomány átrendezés hatását a kommissiózási átfutási időre.

Tézis 5. *Bizonyítottam, hogy amikor a rakatképzési tulajdonság releváns, a rakatképzési tulajdonság alapján meghatározott SLA rövidebb átfutási időt eredményez. Szimulációs eredményeim szintén bizonyították, hogy a rendelések karakterisztikája és az átvételi és kiadási terület pozícionálása miatt, az egységgrakomány átrendezés megengedése kommissiózás közben szükséges az átfutási idő minimalizálása érdekében, még rakatképzési tulajdonság alapján meghatározott SLA esetén is. Igazoltam, hogy az átvételi és kiadási terület pozícionálása hatással van a közlekedési és átrendezési időre OPRP-PLF esetén, nem úgy, mint klasszikus bejárési problémák (pl. TSP) esetén.*

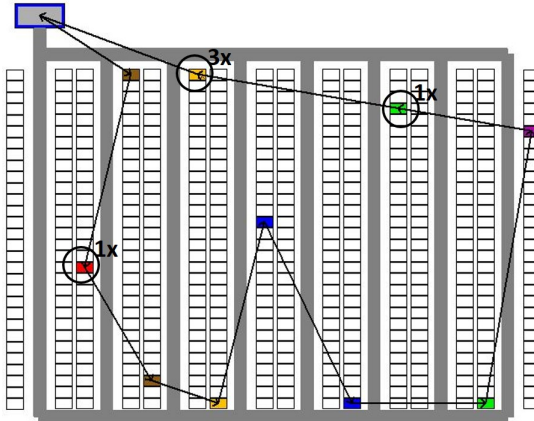
A tézishez kapcsolódó publikációm: [B3].

A 4. és az 5. ábra illusztrálja az átrendezés szükségességét és az átvételi és kiadási terület pozíciójának hatását azonos kommissiózási lista és rakatképzési tulajdonságon alapuló SLA esetén.

4. ábra. Kommissiózási sorrend laza (Non-strict) kommissiózás, rakatképzési tulajdonságon alapuló SLA és jobb oldali átvételi és kiadási terület esetén



5. ábra. Kommissiózási sorrend laza (Non-strict) kommissiózás, rakatképzési tulajdonságon alapuló SLA és bal oldali átvételi és kiadási terület esetén



9. Összegzés és további kutatási irányok

Kutatásomban megfogalmaztam és formalizáltam az OPRP-PLF problémát, mint a kommissiózási bejárési probléma új alproblémáját, melyre hatékony algoritmusokat fejlesztettem. A rendelkezésre álló időablakon belül történő valósághű kigyűjtési sorrend meghatározásával, így a kommissiózók támoga-

tásával a fejlesztett megoldások szignifikáns javulást tudnak eredményezni a rendszerben. . A megfogalmazott megoldások ott fontosak, ahol csomagolások változatossága, a rendelt mennyiségek és a kommissiózási rendszer maga kombinatorikusan komplex problémává teszik a stabil rakatok képzését. A definiált BMA integrálható bármely raktár-irányítási rendszerbe (WMS), mint bejárési algoritmus. Külső, kapcsolt optimalizálási modulként is működőképes, amely kommissiózási listával interface-n keresztül kerül meghívásra, majd visszaküldi az optimalizált listát. A BMA hatékonysága és előnyei mellett szofisztikált struktúrája és komplex paraméterezése miatt tapasztalt BMA szakértő szükséges az implementáláshoz.

A kutatás folytatásaként szeretném a megfogalmazott speciális termék és rendelési paraméterek alapján meghatározott csoportokat beépíteni az algoritmusokba, hogy még valóságghűbben tudjam modellezni a rendszer karakterisztikáját. A kibővített modell figyelembe veszi az előzetesen kiszedett egységek sorrendjét is a következő termék viselkedésének meghatározásához. Disszertációmban felhívtam a figyelmet a rakatképzési tulajdonság alapján meghatározott SLA fontosságára, ez azonban előzetesen, logikus, manuális és statikus módszerrel került meghatározásra. Célom olyan SLA algoritmusokat fejleszteni, amelyek az aktuális rendelések karakterisztikája és a pozíciók foglaltsága alapján frissítik az SLA-t. Ez segítséget nyújthat a betárolás és a kommissiózási pozíció készletének utántöltése során az aktuálisan releváns pozíció meghatározásában. Habár bizonyítottam, hogy a rakatátrendezés megengedésével csökkenthető a kommissiózási idő, a későbbiekben fontos lehet minimalizálni az átrendezések számát sérülékeny termékek esetén. Várhatóan valamilyen fuzzy módszer alkalmazása lehet célravezető. Kutatásomban egy egységgrakomány kigyűjtésére koncentráltam, viszont az algoritmus kiegészítése a rendeléseknek a rakatképzési tulajdonság figyelembevételével történő kigyűjtési listákra (rakatokra) bontásával még komplexebb és az iparban még hasznosabb megoldás lenne. A kiterjesztett algoritmus célja a komplett rendelés kigyűjtési idejének minimalizálása lehetne.

Hivatkozások

- [1] E. E. Bischoff. Three-dimensional packing of items with limited load bearing strength. *European Journal of Operational Research*, 168(3):952–966, 2006.
- [2] F. T. Chan and H. Chan. Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38:2686–2700, 2011.
- [3] Y. P. Cui, C. Yaodong, and T. Tianbing. Sequential heuristic for the two-dimensional bin-packing problem. *European Journal of Operational Research*, 240(1):43–53, 2015.
- [4] R. De Koster, T. Le-Duc, and K. J. Roodbergen. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182:481–501, 2007.
- [5] H. C. W. Lau, T. M. Chan, W. T. Tsui, G. T. S. Ho, and K. L. Choy. An AI approach for optimizing multi-pallet loading operations. *Expert Systems with Applications*, 36(3):4296–4312, 2009.
- [6] G. H. A. Martins and R. F. Dell. Solving the pallet loading problem. *European Journal of Operational Research*, 184(2):429–440, 2008.
- [7] K. Moeller. Increasing warehouse order picking performance by sequence optimization. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20:177–185, 2011.
- [8] B. Molnár and Gy. Lipovszki. Multi-objective routing and scheduling of order pickers in a warehouse. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 6(5):22–33, 2005.
- [9] A Rushton, P. Croucher, and P. Baker. *The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain*. Kogan Page Limited, Great Britain, London, 2011.
- [10] R. Saraiva. A layer-building algorithm for the three-dimensional multiple bin packing problem: a case study in an automotive company. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3):490–495, 2015.

Publikációk

- [B1] T. Bódis and J. Botzheim. Modelling order picking sequencing variations of pallet setup clusters. In *Proc. of The International Conference on Logistics and Sustainable Transport 2015*, pages 86–94, Celje, Slovenia, June 2015.
- [B2] T. Bódis and J. Botzheim. A simple case of pallet setup features based order picking routing optimization. *Acta Technica Jaurinensis*, 9(3):204–215, 2016.
- [B3] T. Bódis and J. Botzheim. Stacking property based storage location assignment for minimising order picking lead time. In *3rd Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic*, pages 1–6, Darmstadt, Germany, 2017.
- [B4] T. Bódis and J. Botzheim. Bacterial Memetic Algorithms For Order Picking Routing Problem With Loading Constraints. *Expert Systems with Applications*, 105:196–220, 2018.
- [B5] T. Bódis, J. Botzheim, and P. Földesi. Necessity and Complexity of Order Picking Routing Optimisation based on Pallet Loading Features. *Acta Univ. Sapientiae, Informatica*, 9(2):162–194, 2017.
- [B6] T. Bódis, K. Udvardy, and J. Botzheim. Interactive training and modeling environment for considering pallet setup features in storage location assignment of order picking zone. In *Proceedings of the Mechatronics-2014-Tokyo*, pages 64–69, 2014.