

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**HEURISZTIKUS MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA
LOGISZTIKAI RENDSZEREK TERVEZÉSÉBEN ÉS
IRÁNYÍTÁSÁBAN**

PhD értekezés tézisei

Készítette:

Veres Péter

okleveles logisztikai mérnök

Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola
Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika tématerülete

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Szigeti Jenő

a matematikai tudományok doktora

Témavezető:

Dr. Bányai Tamás

egyetemi docens

Társ-témavezető:

Prof. Dr. habil. Illés Béla

egyetemi tanár

Miskolc, 2020

A BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG TAGJAI

Elnök:

Prof. Dr. Radeleczki Sándor, Miskolci Egyetem, egyetemi tanár

Titkár és tag:

Dr. Telek Péter, Miskolci Egyetem, egyetemi docens

Tagok:

Prof. Dr. Kovács László, Miskolci Egyetem, egyetemi tanár
Dr. Hartványi Tamás, Széchenyi István Egyetem, egyetemi docens
Dr. Bíró István, Szegedi Tudományegyetem, dékán, egyetemi docens

Pótelnök:

Prof. Dr. Szigeti Jenő, Miskolci Egyetem, egyetemi tanár

Póttagok:

Dr. habil Gál József, Szegedi Tudományegyetem, egyetemi docens
Dr. habil Kovács Szilveszter, Miskolci Egyetem, egyetemi docens

Hivatalos bírálók:

Prof. Dr. Véha Antal, Szegedi Tudományegyetem, egyetemi tanár
Dr. Gubán Miklós, Budapesti Gazdasági Egyetem, dékán, főiskolai tanár

Pótbíró:

Dr. Hartványi Tamás, Széchenyi István Egyetem, egyetemi docens

Tartalomjegyzék

| | |
|--|----|
| 1. BEVEZETÉS | 1 |
| 1.1. A kitűzött kutatási célok | 2 |
| 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS..... | 3 |
| 2.1. Logisztikai igények és feladatok a szakirodalomban | 4 |
| 2.2. Nagyméretű logisztikai hálózatok szakirodalma | 4 |
| 2.3. Heurisztikus módszerek a szakirodalomban..... | 5 |
| 2.4. Általános optimalizálási feladatok megjelenése a logisztikában..... | 8 |
| 2.5. Heurisztikus módszerek bemutatása..... | 8 |
| 3. KUTATÁSI EREDMÉNYEK | 10 |
| 3.1. Összefoglalás | 10 |
| 3.2. Az értekezés tézisei | 12 |
| 3.3. Summary..... | 15 |
| 3.4. Summary of theses..... | 17 |
| 4. FELHASZNÁLT IRODALOM..... | 18 |
| 4.1. Feldolgozott irodalom..... | 18 |
| 4.2. Saját irodalom..... | 21 |

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a vásárlói igények jelentős átalakuláson mennek keresztül. A termékek minőségével szembeni elvárások fokozódása, a termékek életciklusának egyre nagyobb mértékű rövidülése, a termékek és az azokhoz kapcsolódó szolgáltatások folyamatos rendelkezésre állására vonatkozó igények növekedése jelentős kihívások elé állítja a vállalatokat. Ezen kihívások mind technológiai, mind logisztikai vonatkozásokkal bírnak, hiszen egyre egyedibbé váló termékeket kell a tömeggyártást megközelítő hatékonysággal előállítani, a vevőkhöz eljuttatni, illetve biztosítani kell a termék használatához kapcsolódó szolgáltatásokat. A vásárlói igények ilyen értelemben vett átalakulása párhuzamosan jelent meg a szociális viselkedés módosulásával, valamint a kapcsolattartási (kommunikációs) formák fejlődésével. A vállalatok abban az esetben tudják ebben a megváltozott, dinamikusabbá vált piaci környezetben versenypozíciójukat megőrizni és erősíteni, amennyiben időben felismerve „az idő szavát” felkészülnek ezen új vásárlói igények kielégítésére. Ezen felkészülés két fontos területen kell, hogy megvalósuljon. Egyrészt olyan új, dinamikus üzleti modelleket kell bevezetniük, amelyek megteremtik a lehetőségét a horizontális és vertikális együttműködésnek a beszerzést, termelést, értékesítést és inverz folyamatokat magába foglaló komplex ellátási láncok minden területén. Másrészt a dinamikus változó vásárlói igények kielégítése érdekében az értékteremtő lánc szereplőinek mind termelési, mind szolgáltatási oldalon fejleszteniük kell az Ipar 4.0 képességeiket hatékonyságuk növelése és kapacitásuk bővítése érdekében. A negyedik ipari forradalom az információs és kommunikációs technológiák, valamint az automatizálás egyre szorosabb összefonódását, illetve ezen keresztül a termékek, szolgáltatások, gyártási módszerek és üzleti modellek alapvető megváltozását elhozó időszak összefoglaló neve, amelyben a szenzorok, gépek, munkadarabok és az IT rendszerek a teljes értéklánc mentén összekapcsolódnak [K1]. Ezen digitalizáció-alapú összekapcsolódás eredményei az úgynevezett kiber-fizikai rendszerek, melyek mind a termelési, mind az ahhoz kapcsolódó logisztikai folyamatokban megjelennek.

Mivel a diverzifikált vásárlói igények egyre több fajta, egyre komplexebb termék piacon való megjelenését követelik meg, ezért egyre komplexebb, földrajzilag egyre kiterjedtebb, ugyanakkor egyre szorosabb, időben és megbízhatóságban egyre szigorúbb kihívásoknak megfelelő ellátási láncokat, beszállítói és értékesítési hálózatokat kell kialakítani. Ezen komplex ellátási láncok a digitalizáció elterjedéséből adódóan egyre nagyobb mennyiségű információt bocsátanak rendelkezésre, melyekből egyre pontosabb döntések meghozatalára van lehetőség mind a tervezés, mind a végrehajtás szintjén. A sok adat, a sok döntési változó és a dinamikus tervezési és üzemeltetési környezet olyan korszerű, hatékony tervezési és döntéstámogatási módszerek kidolgozását igényli, melyek révén megbízható, költséghatékony rendszerek alakíthatóak ki és működtethetőek, akár valós időben is.

Jelenleg olyan világban élünk, ahol nem elég egyszerre egy problémát megoldanunk, hanem arra is gondolnunk kell, hogy azokkal milyen más hatásokat, változásokat és esetleg új problémákat nyitunk meg. Erre való a komplex tervezés és a komplex rendszerek kutatása, amelyek egy kis szegmensére ebben a dolgotatban megoldásokat lelhetünk.

1.1. A kitűzött kutatási célok

A hálózatszerűen működő nagy kiterjedésű, komplex ellátási láncok nem csupán az elméleti kutatások tárgyát képezik, hanem a gyakorlatban is egyre inkább előtérbe kerülnek, hiszen a digitalizáció hatására olyan termelési, logisztikai és komplex kiber-fizikai rendszerek iránt jelenik meg a gyakorlati igény, melyek a gyakorlatban is alkalmazhatóak. Ezen komplex rendszerek megjelenése, illetve az irántuk való vállalati igény fokozódása indukálta jelen értekezés kutatási témáját, mely a következő célok megvalósítását tűzi ki maga elé:

- Vállalaton belüli és vállalaton kívüli nagyméretű logisztikai hálózatok leírása és kezelését segítő modellek megalkotása.
- Ezen hálózatokban keletkező logisztikai feladatok megoldására olyan új módszerek, modellek és alkalmazások kidolgozása, melyek révén azok működésének hatékonysága javítható.

A dolgozatomban az előbb meghatározott célok eléréséhez először a strukturált irodalomkutatás (SLR) módszerét használtam, melyet az irodalomkutatás fejezetben ki is fejtek. A modellalkotáshoz minden esetben egy általánosan leírt sablont használok, melyek alapján a feladat-specifikus modellek megalkothatók. Ezen modellekből hármat mutatok be, melyek a következők: belső milkrun útvonal és raktártervezés, külső raktár pozíciójának meghatározása hozzárendeléssel és installációs költségekkel, automatikus járatmódosítás lehetőségei.

A dolgozatban a korábban említett irodalomkutatás után a logisztikai alapeladatokról és azok egyszerű megoldási módszereiről esik szó. Leírom ezen egyszerű módszerek előnyeit és hátrányait, alkalmazhatóságuk határait. Ezek után a heurisztikus algoritmusok általános bemutatása következik, majd azon speciális algoritmusoké, amelyekkel a kutatásaim során dolgoztam és amelyekben olyan változtatásokat eszközöltem, melyek révén azok teljesítménye akár pontosság, akár szükséges futási idő vonatkozásában fokozható. Részletesen ismertetem ezen fejlesztések hatását tesztfeladatokkal és érzékenységvizsgálattal. Mivel a logisztikához kapcsolódó optimalizálási feladatok jelentős részében a heurisztikus módszerekkel történő megoldás során permutációs reprezentációt szükséges alkalmazni (különösen járattervezési feladatok esetében), ezért szükséges volt egy olyan metrika kidolgozása, mely segítségével bizonyítottan lehetséges különböző hosszúságú számsorozatok összehasonlítása, az általuk reprezentált megoldások közötti távolság meghatározása. Erre azért volt szükség, mert azon logisztikai feladatoknál, ahol az eredményt egy sorrend (permutáció) írja le, szükséges definiálni a két sorrend közötti cseretávolságot és erre vonatkozóan nem találtam a szakirodalomban ilyen alkalmas módszert. A dolgozat utolsó részében a nagyméretű logisztikai hálózatok leírására és modellezésére készült egy általános modell-leírás, mely tartalmazza azokat az elveket és alapösszefüggéseket, melyeket minden részproblémánál vagy speciális feladatnál használhatunk. Ez a rész tartalmaz három olyan egyedi modellt is, amelyeket speciális logisztikai feladatokra tudunk használni. Ezekben a modelleken is tesztelve vannak a fentebb említett heurisztikus módszerek eredeti és általam továbbfejlesztett példányai is. Záró részként megtalálható még a dolgozatban az egyik általam továbbfejlesztett algoritmusom ipari felhasználásának lehetősége, illetve jövőbeni kutatási terveim ezen a területen.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az utóbbi évtizedben mind fizikailag, mind digitálisan összement az ismert világ. A globális szállítási hálózat kiépítésével, a kapitalizált szállítási vállalatok és az országok kereskedelemre való egyre jobban nyitásával és a szabad internet megjelenésével olyan mérvű áruforgalom indult meg, amelyet a XX. században el se tudtak képzelni. Ezt a hatalmas mennyiségű fizikai árut és információt kezelni csak megfelelő eszközökkel lehet, és mivel az igények és a mennyiségek napról napra nőnek, a szállítási határidők rövidülnek és a költségeket pedig a lehető legalacsonyabban szeretnénk tartani, a rendszer, amely ezeket kezeli, folyamatos fejlesztésre szorul. A hálózat, amely összeköti a csomópontokat, legyen az egy gyáron belül vagy kívül; raktárak, gyártóegységek, kereskedők és felhasználók között, olyan méretűvé nőtt, hogy a benne létrejött problémákat egzakt módon szinte lehetetlen megoldani. Az ilyen jellegű feladatokat NP-hard problémaként kezeljük. Minden olyan probléma vagy feladat, amelyet véges sok lépésből meg tudunk oldani (vagy egy Turing-gép) azt polinomiális problémának nevezzük [K1]. Azok a problémák, amelyekről a továbbiakban is szó lesz, nem oldhatók meg véges sok lépésből, így az NP, azon belül is az NP-hard kategóriába sorolhatók. Ezeket a problémákat már a 1960-70-es években is próbálták számítógép segítségével megoldani, amikor a számítási kapacitása egy akkori szuperszámítógépnek meg se közelítette a mai átlagos számítógépekét, ezért okos megoldásokra volt szükség. Ezek voltak a heurisztikus algoritmusok, olyan módszerek, amelyeket általában egy természeti jelenség ihletett és elvárható időn belül képesek voltak egy az optimális megoldáshoz közeli eredményt szolgáltatni. A belső és külső logisztikai rendszerek, ellátási láncok nem tudnának a mai szinten létezni az informatikai háttér és nagyteljesítményű számítások nélkül, amelyekkel képesek vagyunk valós időben útvonalat tervezni, módosítani és kirajzolni; aktuális raktárkészletet lekérdezni és analizálni pár gombnyomással vagy automatikusan működő eszközöket használni. A kutatómunkámban olyan módszereket fogok bemutatni, melyek képesek megoldani ezeknek a logisztikai feladatoknak a kezelését és irányítását.

Jelen fejezet elsődleges célja bemutatni kutatási témakörömet és megismertetni azokat a szakirodalmi forrásokat és az azokban ismertetett kutatási eredményeket, amelyek megalapozták eddig elért eredményeimet. Ebben már a kutatási fázis elejétől nagy segítségemre voltak olyan nagy repozitóriumok, mint a Scopus és a ScienceDirect. Az irodalomkutatást a szisztematikus irodalomkutatásnak (SLR) nevezett technikával végeztem, amelyben először kulcsszavakat kell meghatározni, amelyek lefedik a kutatómunkám kérdéskörét [11]. Erre megfelelőnek bizonyult a doktori képzésem elején kiírt kutatási témám címe: *igényvezérelt virtuális logisztikai hálózatok tervezési módszereinek fejlesztése*. Szakirodalmat találni erre a kimondott területre szinte lehetetlen, ha egészen szeretnénk kezelni, viszont, ha szétbontjuk altémákra, akkor kiszűrhetjük azokat a kulcsszavakat, amelyek alapján már jóval átfogóbb képet kaphatunk a téma jelenlegi tudományos állásáról. Ebből kifolyólag három altéma-területet határoztam meg:

1. Vevő, gyártás- és szolgáltatóipari logisztikai igények és feladatok.
2. Nagyméretű logisztikai hálózatok.
3. Heurisztikus módszerek.

2.1. Logisztikai igények és feladatok a szakirodalomban

A vevők, gyártó- és szolgáltatóipari igények és feladatok jelentik az igényvezérelt logisztikai feladatokat és megoldásokat. Ebbe a témába még beletartozhat a virtuális kifejezés is, mivel ezek a kapcsolatok nem mindig fizikai kapcsolatok és/vagy csak átmenetileg állnak fenn. A következő kulcsszavakat használhatjuk az irodalomtárakban kereséskor: *demand-driven, virtual, modern logistic tasks*. Végeredményként 105 műből válogattam ki a legfontosabbakat.

Ebben a kulcsszó-gyűjteményben megtalálhatunk általánosan használt szavakat, mint az eladások vagy a logisztika, de olyan területeket is mutatnak, melyeket később nagy részben használni fogok, mint az optimalizálás, az ellátási láncok vagy a heurisztikus algoritmusok. Mindezek úgy jelentek meg, hogy nem volt rá utaló szó a keresési szavak között.

Az ellátási lánc menedzsment az egyik leggyakrabban előforduló téma az irodalmak közül, melyekben a fizikai problémák mellett számításba veszi a szoftveres problémákat, melyekre már heurisztikus megoldásokat is alkalmaznak [I2]. Emellett rengeteg mű foglalkozik az ellátási láncok egyes tulajdonságaival, mint például az egyik legnehezebben értelmezhető és számszerűsíthető sajátossággal, egy rendszer rugalmasságával [I3].

A jelenlegi elvek és technológiák, mint az Ipar 4.0, megkövetelik a magas fokú automatizáltságot és kommunikációt az eszközök között. Az RFID technológia elterjedése elsősorban az azonosítás-technikában is ennek köszönheti a népszerűséget. [I4] egy esettanulmányt mutat be, ahol magas fokú kommunikációt alkottak meg RFID technológia segítségével.

A programozás jelentőségét és a vállalat szoftveres irányítását és ellenőrzését ma már senki nem kérdőjelezi meg. Az Ipar 4.0 elvek a vállalati döntések szempontjából azt jelentik, hogy a szoftver nem csak segítséget ad a döntésekben, hanem betanítás után saját maga képes döntést hozni emberi közreműködés nélkül [I5]. Ehhez az elveket át kell ültetnünk szoftveres környezetbe [I6][I7].

Egy vállalat piaci és pénzügyi helyzetét mindig is a termékei vagy szolgáltatásai iránti kereslet határozza meg. Ezek az igények és a hozzá kötődő döntések képesek olyan elemeket generálni, melyeket egy vállalat magában nem képes kielégíteni. Ilyenkor kooperálnia kell más vállalatokkal különböző szektorokból, hogy ne veszítsen piacot. Ez a verseny az e-commerce és e-business világában hatványozottan igaz [I8]. A nagyvállalatok ellátási láncain belüli modern kooperációiról is számos szakirodalmi forrásban lehet olvasni [I9].

A modularizáció egy nagyon hatékony és költségkímélő eszköznek számít szinte minden területen, legyen az termék, szolgáltatás vagy szellemi tulajdon, mint egy szoftver. Ezt a szemléletmódot be lehet vezetni anyagáramlás szimulálására, akár újragyártás területén is [I10].

2.2. Nagyméretű logisztikai hálózatok szakirodalma

A következő kutatási altéma a nagyméretű logisztikai hálózatok, amely megfelel a témakiírásban szereplő virtuális logisztikai hálózatoknak. Erre a témára a következő kulcsszavakat használtam a repozitóriumokban való keresés során: *multiconnected*,

connected, big, logistic network, problem, company, complex. A Scopus adatbázisában a különböző szókapcsolatokból végül 238 darabra sikerült szűkíteni a keresést.

A heurisztikával szereplő főbb találatok egyike egy részecske raj alapú optimalizáló algoritmus, amelyet járat tervezési feladatokra használtak fel inhomogén járműparknál időablakokat figyelembe véve [I12]. A munkában a szerzők a PSO algoritmust keresztezték lokális kereséssel, amellyel nagyon gyorsan pontos járat terveket állítottak elő.

Egy másik nagy probléma, amelyre több publikációt is találtam, a vállalatok közötti kapcsolatok kiépítésre vonatkozott, azon belül is a partnerek/beszállítók kiválasztására, amelyhez különböző egyszerű módszereket és heurisztikákat használtak [I13] a környezetvédelmet figyelembevételével [I14].

Ebben a keresési fázisban is sokat találkoztam az Ipar 4.0 és a vele kapcsolatos témákkal. Ami nagyon érdekes volt számomra, hogy ezekben a témákban rengeteg magyar alkotás született [I11]. A [I15] publikációt több magyar egyetem gazdasági jellegű kutatói írták, amelynek témája az Ipar 4.0 hatása a vállalati stratégia alkotásra. A szlovákiai Zilina Egyetemen olyan eszközök alapjait alkották meg és fejlesztettek ki, amely funkcionalitásában és ergonómiailag is követi az Ipar 4.0 elveit [I16].

A nagy összekapcsolt logisztikai hálózatokat csak akkor lehet fenntartani, ha létezik fizikai és virtuális kapcsolat is azok entitásai között. A HUB-ok hálózatának kialakításával foglalkozik az [I17] publikáció, amelyek légi és közúton szállítanak árukat. Az ilyen HUB-ok általuk leírt legnagyobb problémái a leszállásnál és átrakásnál jelentkeznek. A következő irodalom a szállítójárművek okosításáról szól, amely az egyik alapkövetelménye az Ipar 4.0-nak. A szerzők olyan eszközöket és a hozzájuk kapcsolódó szoftveres megoldásokat mutatnak be, amelyek felhőalapú kommunikációra képesek, ezáltal sokkal könnyebbé tehetnék a járműfigyelést és növelhetnék a rendszer átláthatóságát [I18]. A következő publikáció a szenzor-technikáról szól, melyet egységgrakomány képző eszközökbe és konténerekbe szerelnek be, az áru jobb monitorozása érdekében, hogy egy okos eszközt kapjanak [I19].

2.3. Heurisztikus módszerek a szakirodalomban

A harmadik részt és annak irodalomkutatását csak az előző kettő befejezése és kiértékelése után tudtam elkezdeni, mivel ekkor bizonyosodtam meg arról, hogy a megfelelő kutatási irányt választottam ki. Mind a logisztikai igények és feladatok és a nagyméretű logisztikai hálózatok témakörben való keresésből kiderült, hogy az optimalizálás szinte mindegyik keresett szakirodalomban szerepelt és a döntéshozatal is nagy számban megjelent. A szakirodalmak több, mint 20%-a pedig heurisztika és mesterséges intelligencia felhasználásáról is tanúskodik. A kereséseket és eredményeit felhasználva eldöntöttem, hogy a heurisztikus optimalizálás és heurisztikus algoritmusok felhasználása a logisztikában lesz a fő kutatási irányvonalam és ezen belül folytattam a tudományos rés keresését. Újabb irodalomkutatást végeztem azokon a területeken, ahol heurisztikus módszereket alkalmaztak a fentiekben felsorolt problémák, feladatok és modellek megoldására.

Érdemes kiemelni, hogy a szűkített találati lista 10%-a társadalomtudományok közé sorolt műveket tartalmaz, amelyek például a heurisztikus algoritmusokkal támogatott zöld technológiák hatásait vizsgálják emberekre [I20] vagy a társadalmi tényezők hatásvizsgálatát tárgyalják [I21] a városi közlekedésben és az ellátási láncokban.

A vizsgálatot és kiértékelést követően elkezdtem szűkíteni a keresést azokra a módszerekre és algoritmusokra, amelyeket használtam vagy használni fogok a jövőben. Először a természet-alapú heurisztikus algoritmusok keltették fel az érdeklődésemet. Három fontos pont alapján választottam ki azokat a metaheurisztikus algoritmusokat, amelyeket a későbbiekben alapos irodalomkutatás után bemutatok és használok a kutatásaimhoz:

- széles körben elterjedt: Genetikus algoritmus
- megbízható és pontos: Genetikus algoritmus/Harmony search algoritmus
- új ígéretes algoritmusok: Firefly és Black-hole algoritmusok

A potenciális algoritmusok alapos átválogatása után, amelynél figyelembe vettem a fent említett indokokon kívül az algoritmus értelmezhetőségét, programozhatóságát és módosíthatóságát, erre a négy algoritmusra esett a választás. Ezen algoritmusokat alapos irodalomkutatás és módszerismeret elsajátítása után használok fel és a két ígéretes algoritmus esetében át is alakítom azokat kutatásaimhoz.

Időrendi sorrendben a Harmony Search algoritmus volt az első, amelyet teszteltem logisztikai problémákra. Elsősorban Make or Buy döntéshozatalt elősegítő [S1] és hátizsák problémát megoldó [S2] egyszerű szoftverek motorjaként szolgált számomra, és ez szolgáltatta az alapot a szerelőhálózat járatervének és készletszintjének optimalizálását tárgyaló publikációmhoz [S3]. Azért választottam ezt az algoritmust kezdésnek, mert könnyű volt megérteni, kezelni és rendkívüli a módosíthatósága, egész-, és valósértékű programozásra is alkalmas. Az 596 publikációból mindössze 13 szólt erről a módszerről. Az egyik legjelentősebb publikáció ebben a témában [I22] mű, amely bemutatja a Harmony Search algoritmus problémamegoldó képességét egészértékű programozáson keresztül egy járattervezési és járműpark szabályozási feladat példáján. A Harmony Search algoritmus e nélkül a cikk nélkül talán nem is létezne [I23]. Ez az algoritmus alkalmas mind az egész-, mind a részértékű keresésekre és elsősorban optimális helymeghatározásra használják, mint raktárak és gyáregységek telepítése [I24]. Azonban magas fokú alakíthatósága miatt, rendkívül alkalmas más területeken való optimalizálásra vagy optimumkeresési eljárások kiegészítésére.

A raj alapú optimumkeresés nagyon elterjedt és a genetikus algoritmus után szintén egy ilyen módszer áll az alkalmazások számát tekintve. A neve Rézecske-raj alapú keresés és egy könnyen tanítható általánosított optimalizációs eljárás. Erről az algoritmusról többet az alábbi kiadványban lehet megtudni [I25]. A *swarm* szóra rákeresve 141 publikációt találtam, amelyben megemlítették, tehát egy olyan területről beszélünk, amely nagyban befolyásolja a kutatásaimat. Ezt bővebben kifejtem egy összefoglaló jellegű publikációmban, ahol a Harmony Search, Ant Colony és Firefly algoritmussal elért eredményeimet foglalom össze egy másik perspektívából [S4].

Következőnek a Firefly algoritmusra kerestem rá, amelyből ezekkel a keresési feltételekkel csak 5 darabot talált a Scopus. Azonban ezek között két jelentős kiadvány is szerepel. Az első publikációban egy módosított Firefly algoritmusról számolnak be, amely képes meghatározni bizonyos feltételek mellett egymással anyagáramlási kapcsolatban álló és meghatározott kapacitással rendelkező épületek telepítését [I26]. Az algoritmus rajalapú intelligenciára épít azáltal, hogy matematikailag írja fel a szentjánosbogarak párzási szokásait [I27]. A másik egy review cikk, amely nagyon jó kiindulási alapot ad az algoritmus alapjairól és módosíthatóságáról, ahol a matematikából ismert káosz teóriát próbálják meg szimulálni

[I28]. Személy szerint a szentjánosbogarak mozgását járattervezési, készletfigyelési, készlet előrejelzési és járműpark méretezési feladatokra használtam [S5].

A Firefly algoritmussal együtt megismertem az Ant Colony algoritmust is, mivel mindkettő rovarok mozgásának matematikai leírásával keletkezett és vannak hasonlóságok. Az algoritmus alapjai 1992-ben *Marco Dorigo* PhD munkájaként [I29][I30] születtek meg és azóta folyamatosan fejlesztik, aminek az okán ma az egyik legismertebb raj alapú algoritmus [I31] és rengeteg helyen használják. A járattervezésben felmerülő problémákat szinte egy az egyben át lehet ültetni a hangyák élelemhez történő útvonalkereséséhez. A robotirányításban, készletfigyelésben és ütemezésben is nagy szerepet kapnak a raj alapú algoritmusok [I32]. A matematikában főként gráfelméleti területeket érintő problémák megoldására használják [I33].

A Black Hole algoritmus a többihez képest nagyon fiatalnak számít. 2013-ben ismertette *Hatamlou A.* és a természet alapú algoritmusokon belül a populáció alapúakhoz tartozik [I34]. Sajnos a keresési feltételeknek egyetlen dokumentum sem felelt meg és köszönhetően a fiatal kora és az ismertségének hiánya miatt az egész Scopus adatbázisban mindössze 46 dokumentumot töltöttek fel, amelynek köze van a módszerhez, pedig egy könnyen használható gyors és ötletes algoritmusról beszélünk. Az adatfeldolgozás és csoportosítás területén több publikáció is megjelent az algoritmusról vagy más módszerekkel való összehasonlításáról. A következő cikkben a Kakukk keresési módszerrel von párhuzamot a szerző [I35]. Vannak egyes szerzők, akik a Black hole algoritmust a Particle Swarm algoritmus egy változatának tartják, amelybe bele lett építve egy tehetetlenségi tömeg [I36]. Született néhány olyan publikáció is, amely magas gyakorlati értéket tartogat és az elektromos hálózat kiépítését veszi figyelembe kapacitászámításokkal [I37]. Egy másik dokumentum a zöld elektromos energiaellátás optimalizálásának lehetőségét tárgyalja ezen algoritmussal [I38]. Én logisztikai feladatok megoldására használtam az algoritmust, mint amilyen a kétszintű milkrun ellátási rendszer és közbenső buffer-raktárok telepítése gyáron belül [S4], valamint a hasonló elven működő inverz ellátási rendszer, amely inkább az újrahasznosító üzemek és közbenső állomások telepítésére fektet hangsúlyt [S7].

A genetikus algoritmus a legismertebb és legelterjedtebb módszer az összes közül, nem csoda, hogy az 596-ból 357 publikációban tesznek róla említést. Egy olyan heurisztikus algoritmusról beszélünk, amelyet a 80-as évek végén kezdtek el intenzíven használni [I39]. A másik dokumentum szintén az alap genetikus algoritmust vizsgálja a modern genetikus algoritmusokkal szemben, amelyben a konvergencia, a pontosság, az idő és a számítási kapacitás is összehasonlításra kerül [I40]. Mint már korábban említettem, az evolúciós algoritmus régóta létezik és nem egy fajtája van. Egy 2011-es tanulmány a MEGA5-t, az 5. generációjú Molekuláris Evolúciós Genetikus Analízis optimalizáló szoftvert mutatja be [I41]. A genetikus algoritmusnak van még egy nagyon fontos szerepe a tudományos életben. Amikor egy új heurisztikus algoritmus megjelenik elsődlegesen ehhez szokták mérni a tulajdonságait és használhatóságát, ugyanis úgy kezelik a legtöbben, mint egy standardot. Ebben a cikkben két széles körben használt módszert, a genetikus algoritmust és a részecske-raj alapú optimalizálást hasonlítja össze a szerző [I42].

Az eddig bemutatott művekben is látható a tényleges felhasználói irány, miszerint heurisztikát csak akkor alkalmaznak, ha tényleg szükséges. A heurisztikák alkalmazásának elsődleges oka a nagy számítási igényű feladatok megoldásainak keresése viszonylag rövid

idő alatt egy megfelelő, de nem feltétlen tökéletes megoldással. Egyéb okai lehetnek a hiányzó vagy helytelen adatok, vagy a túl sok paraméter súlyozása, amelyek esetében nem egyértelműen definiálható az eredményre gyakorolt hatás [I12]. Feladatokon belül is lehetnek olyan részproblémák, amelyeket egyik vagy másik módszercsoport jobban tud megoldani. Ilyenkor kombinált algoritmusokat alkalmazunk [I26]. Az iparban is a legtöbb algoritmust is ezzel a módszerrel készítik el, ugyanis, ha a részfeladatokra, a megfelelő módszert alkalmazzuk, akkor könnyebben képesek vagyunk párhuzamosítani is feladatokat, növelhetjük a számítási teljesítményt és a konvergencia sebességet, ezzel együtt pedig csökken a számítható szükséges idő [S17].

2.4. Általános optimalizálási feladatok megjelenése a logisztikában

Egy komplex logisztikai rendszer megtervezése és működésének optimalizálása nagyon komoly és számításigényes feladat. Nem elég, hogy minden bevezetett új objektummal, információval vagy adattal, amivel pontosítani vagy realiztikusabbá akarjuk tenni a kalkulációnkat, a legtöbb esetben folyamatosan növeljük a lehetséges megoldások számát (a legtöbb esetben exponenciálisan), de még csak nem is biztos, hogy jobb eredményt kapunk. Ezért nagyon fontos figyelembe venni, hogy mit és hogyan használunk föl, milyen hibalehetőségekkel és mekkora eséllyel vegyünk figyelembe [I5].

A számítógép elterjedése előtti időkben is létezett logisztikai optimalizálás. Azokban az időkben az emberek a józan ész, rengeteg egyszerűsítés, becslés és általános matematikai szabályok alapján képesek voltak a korukhoz képest jól működő rendszereket létrehozni és működtetni. A legtöbb ilyen módszer problémaspecifikus volt, ami azt jelenti, hogy sok feltételnek kell teljesülnie ahhoz, hogy használható legyen. Legjobb példák erre a gyakorlati képletek vagy gépspecifikus ábrák, melyekről információt olvashatunk le.

Ahogy egyre terjedt a számítástechnika és a különböző gyártás- és szállítás-támogatási módszerek és elvek, úgy az egyszerű problémák is könnyebben modellezhetővé és megoldhatóvá váltak. Azonban új komplexebb problémák jelentek meg és a régről ismert problémákat is új szemszögből kezdtük vizsgálni. A mai világban sokkal kisebb hibahatárokkal dolgozunk, amelyek eléréséhez nagy számítási teljesítmény és modern problémamegoldási koncepciók kellenek. A legtöbb logisztikai probléma, amellyel találkozunk az iparban egyszerű alapproblémák, mint a járat tervezés, kapacitásmenedzsment, gyártási mélység stb..., kombinációjaként áll fenn, azonban ezeket az NP-hard típusú problémákat, normál matematikai eszközökkel nem tudjuk megoldani. Egy jó és elterjedt megközelítés a heurisztikus algoritmusok alkalmazása ilyenkor [I5] [S4].

2.5. Heurisztikus módszerek bemutatása

A heurisztika rátalálást jelent, amikor a megoldást véletlenül, nem logikai következtetések útján vagy egy nem bizonyított módszerrel kapjuk meg. A heurisztikus módszerek már évezredek óta használatosak emberek számára, csak nem mindig vettük észre őket. Az emberi problémamegoldó folyamatok kutatásában forradalmian új szemléletet képviselt Allen Newell és a Nobel-díjas Herbert A. Simon „Általános Problémamegoldó

Modell"-je, melyet az 1970-es években alkottak meg [K2]. A könyvben szó esik olyan, az emberekbe születésükkor „beépített” és életük során folyamatosan fejlesztett képességekről és funkciókról, melyek heurisztikus úton működnek és legtöbbször a tapasztalaton alapulnak. Ilyen alapvető módszereink: a becslés, a józan ész, az intuíció vagy a körvonalazás.

Mérnöki tudományokban heurisztikus módszereknek nevezzük azokat a módszereket, melyek úgy képesek megoldást nyújtani egy problémára, hogy nem tudjuk teljesen logikusan megmagyarázni a működésüket, tehát nem vezethetők le tényleges matematikai és fizikai axiómákból. Ezek a megoldások csak bizonyos feltételek mellett használhatók fel; még úgy is, ha a kitalálójuk vagy továbbadójuk nem figyelmeztet rájuk [K3].

Heurisztikus módszerek és megoldások közé tartoznak a gyakorlati és tapasztalati képletek, melyek arra hivatottak, hogy egyszerűbbé tegyék valamilyen fizikai tényező kiszámítását. Olyan esetekben alkalmazzák őket, amikor a logikusan is levezethető képletben olyan paraméterek szerepelnek, melyeket nem, vagy csak nagyon nehezen lehetne meghatározni. A legtöbb esetben olyan paraméterekre kell gondolni, amelyek csak akkor derülnek ki, ha már a folyamat, melyhez a képlet kellett, már véget ért. Ilyenkor ezeket a paramétereket becsléssel, állandók meghatározásával, vagy tapasztalat alapján határozzák meg.

A metaheurisztika egy magasabb szintű heurisztikus eljárás, amely generál, keres vagy kiválaszt egy heurisztikus módszert az optimalizálási problémára azért, hogy effektíven jó megoldás készülhessen. A metaheurisztikákat csak az informatikai tudományokban használják effektíven. Ezek a módszerek általában összefognak és irányítanak más módszereket, hogy minél gyorsabban és minél kevesebb energia és számítási igény felhasználásával jó megoldást produkáljanak. Magukba olvaszthatnak szinte minden keresési módszert, egy egyszerű lokális kereséstől kezdve a tanuláson alapuló mesterséges intelligenciáig. A metaheurisztikák sokkal inkább irányítási stratégiák, mintsem különálló módszerek [K4]. Ezeken felül fontos tulajdonságuk, hogy kevésbé érzékenyek hiányos vagy téves információra más algoritmusokkal szemben.

A metaheurisztikus módszerek általában egy vagy több célfüggvény alapján keresik a megfelelő optimumot. Ha a célfüggvényt és a paramétereit meg tudjuk határozni és be tudjuk vinni programozható környezetbe, akkor bármilyen problémára képesek megoldást találni, racionális időn belül. A paramétereit és azok értékeit, értéktartományát és feltételeit beállításoktól függően képesek ezek a módszerek nagyon rugalmasan, szigorúan vagy robusztusan kezelni.

A kutatómunkámban és a disszertációmban is heurisztikus algoritmusokkal foglalkozok, amelyeket elsősorban logisztikai feladatokra vagy logisztikai elvek megvalósítására használok fel. Több különböző algoritmust megvizsgáltam és néhányat módosítottam is a jobb eredmény elérésének érdekében. A 2. és 3. tézisemet szintén ezek alapján alkottam meg.

3. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

3.1. Összefoglalás

Kutatómunkám kitűzött célja olyan módszerek és megoldások keresése volt logisztikai feladatok megoldására, amelyre hagyományos analitikus módszerek nem adnak jó eredményt vagy nem alkalmasak a kezelésükre. Dolgozatomban több módszert és több esettanulmányt is készítettem, amely ezek megértésére, tesztelésére és felhasználására szolgál ipari és azon belül logisztikai feladatoknál.

Munkám első részében egy strukturált szakirodalmi feldolgozás keretében megismertem és ismertettem a múltbeli és jelenlegi vállalati trendeket, mint a globalizáció, digitalizáció, vevői igény és minőségnövekedés, és Ipar 4.0. Ezek és egyéb kisebb elvek együttesen határozzák meg a világ jelenlegi fejlettségét és igényét. Ezeket az igényeket csak akkor tudjuk effektíven kielégíteni, ha van egy jól működő hálózatunk, amelynek kiépítése és irányítása nagy feladat emberek számára, ezért amiben csak lehet szoftveres segítséget igényelnek. Egy nagy- vagy multinacionális vállalat a mai világban nem képes komplex vállalatirányítási rendszer nélkül effektíven működni és döntéseket hozni. Ezeknek az összekapcsolt rendszereknek és adatbankoknak a hálózatában normál matematikai eszközökkel szinte lehetetlen bármit is csinálni, magasabb rangú algoritmusok működnek alattuk, melyek magukba integrálnak egyszerű matematikai, gyakorlati és heurisztikus eszközöket. A heurisztikus eszközök nem csak a feladatok megoldásában, hanem a teljes rendszer irányításában is részt vesznek. Azonban vannak olyan vállalatirányítási és logisztikai területek, ahol a heurisztikák alkalmazása nagyon gyerekcipőben jár. Ezeknek a területeknek a felderítésére szolgált az irodalomkutatás fázisa, amelyből a kutatási cél is meg lett határozva.

A bevezető és irodalomkutatási rész után a heurisztikák ismertetése következett. Bemutatásra kerültek azok előnyei és hátrányai, amelyekhez példa is készült. Ezek után leszűkítettem a heurisztikákat az általam választott kutatási területre: a természet és populáció alapú metaheurisztikus algoritmusokra. Négy algoritmusfajtát mutatok be részletesen:

- a *Genetikus algoritmust*, mint összehasonlítási alapot,
- a *Harmony Search algoritmust*, mint előzetes kutatási témát és hasonlítási alapot,
- a *Firefly algoritmust*, mint a kutatási időszak elején használt és fejlesztett alapot,
- és a *Black hole algoritmust*, mint az utóbbi idők fő kutatási és fejlesztési alapját.

Ezekkel az algoritmusokkal dolgoztam a kutatási idő nagy részében és mutattam be olyan változataikat, amelyek képesek voltak megoldani nem nekik szánt feladatot, vagy amelyek különböző kiegészítésekkel gyorsabbak és pontosabbak lettek, mint eredeti verzióik. A 2. és 3. tézis ezeket foglalja magába.

Emellett bemutatásra került egy matematikailag bizonyított szekvenciák cseretávolságának meghatározására készített módszer, amely képes különböző mennyiségű és felépítésű elemekből álló szekvenciát kiértékelni és a távolságukat meghatározni. Erre a módszerre járatervezeknél volt nagy szükségem és az 1. tézis foglalja magába a jelentőségét.

A dolgozat második nagy részében bemutatásra kerülnek tesztfeladatok és ipari gyakorlatból vett vagy ipari alkalmazhatóságú esettanulmányok. A tesztfeladatoknak és az esettanulmányoknak is az elsődleges szerepe a különböző algoritmusok teljesítményeinek egymáshoz mérése volt. Kifejlesztettem egy moduláris algoritmustesztelő alkalmazást, amelyben az algoritmusok és a feladatok úgy vannak elkészítve, hogy bármikor cserélhetők legyenek.

Az esettanulmányok a tesztelés mellett alkalmasak valós ipari körülmények szimulálására is. Olyan modelleket alkottam, amelyek képesek leírni vállalaton belüli vagy kívüli logisztikai feladatokat és megoldani azokat heurisztikák segítségével. A három esettanulmány közül az első a járattervezési feladatok komplexitását és módosítását mutatja be. A modell és az elkészült alkalmazás segítségével lehetséges automatikusan feladatokat kiadni, útvonalakat tervezni és már éppen szállítás közben lévő járatokat módosítani, hogy akár új szállítási feladatot is elvégezessen az adott járat.

A második esettanulmány az elosztási rendszer integrált tervezése nevet kapta, ahol gyűjtő- és elosztóraktárak helyeinek és hozzájuk rendelt beszállítóknak a mennyiségét kell meghatározni, a szállítási, beruházási, üresjáratú és adminisztrációs költségek figyelembevételével. Ezt az esettanulmányt és modellt ipari munkák felhasználásával készítettem, ahol a raktárak számának és méretének meghatározása volt az elsődleges cél, emellett a modell segítségével járműflotta és személyzet is méretezhető.

A harmadik esettanulmány a belső logisztikai járattervezés modelljét mutatja be, amelynek egy és kétszintű milkrun rendszerű elosztás az alapja. A szakirodalomban fellelhető kétszintű milkrun rendszer modelljét fejlesztettem tovább. A rendszeren belül, szintén költség alapon határozzuk meg a szállítási utakat, tárolók és szupermarketek helyeit és méreteit. A modell ötletét a Robert Bosch Kft. egyik szerelőcsarnokában látottak alapján készítettem el. A 4. tézis foglalja magába az általános modellt és a belőle lezármaztatott feladatspecifikus megoldásokat az esettanulmányokra.

A Logisztikai Intézet 2019-ben egy olyan járattervezési K+F feladat elvégzésére tett ajánlatot, melyben jól alkalmazhatók az általam kifejlesztett heurisztikus megoldások. Általam kifejlesztett algoritmusokat használnak számos komplex vállalati feladat megoldása során, például nagyméretű üzemben belüli milkrun alapú ellátási folyamat optimalizálására, vagy komplex kommissiózási feladatok idő- és energiahatékony megoldására.

Összefoglalásként a kutatómunkámban bemutattam olyan feladatokat, amelyekre az egyik, ha nem az egyetlen megoldás heurisztikák alkalmazása. Elkészítettem ezekhez alkalmazásokat és olyan heurisztikus módszereket, amelyek képesek a jelenlegi módszerekkel felvenni a versenyt és több esetben meghaladni azt gyorsaságban és pontosságban.

3.2. Az értekezés tézisei

I. TÉZIS: Kidolgoztam egy új, szekvenciák közötti távolságok mérésére alkalmas módszert, bizonyítottam annak alkalmasságát különböző hosszúságú és felépítésű szekvenciák közötti távolságok mérésére vonatkozóan az egyezőség, a szimmetria és a távolság nem-negativitás szempontjából. A kidolgozott módszer alkalmas különböző járat tervezési feladatokban az egyes megoldásváltozatokat reprezentáló permutációs egyedek közötti távolságok meghatározására.

A tézissel a dolgozat 4.2. fejezete foglalkozik. A tézis állítását alátámasztó saját publikációk és előadások: [S5] [S8] [S9] [S10]

Egyes járat tervezési feladatokban, mint a dolgozatomban szereplő integrált járat tervezési feladat, és egyéb permutációkkal foglalkozó problémákban lehet találni számsorozatok vagy szekvenciákat. A járat tervezési feladatokban egy számsorozat számai a felvételi/leadási pontoknak, a teljes számsorozat pedig az útvonalnak tekinthető. Olyan esetekben, amikor egy algoritmus által generált két megoldási útvonalnak sem a hossza, sem az őket felépítő elemek nem egyeznek meg, az általános matematika révén nem lehetséges a két megoldás parametrikus távolságának a meghatározására, pedig nagyon sok heurisztikus algoritmus ezen távolság felhasználásával határozza meg a következő optimalizáló lépést. Ezen probléma leküzdésére kidolgoztam és bizonyítottam egy olyan módszert, amely képes két számsorozat megoldását összevetni és alkalmazni matematikai és szoftveres környezetben. A módszer neve Elempárkereső távolságmérés (SPS, sequential pair search) és a működése a következő: A két számsorozatban végig nézzük az összes elempárt (éleket) és összeszámoljuk mennyi azonosat találunk. A legnagyobb elemszámú szekvencia elemszámából kivonjuk az előbb megkapott értéket, majd az egészből kivonunk egyet.

II. TÉZIS: Kidolgoztam egy olyan új paramétergenerálási módszert a hagyományos black hole heurisztikára, melynek révén annak konvergenciasebessége – különösen a keresési fázis elején – szignifikáns mértékben javítható. Kifejlesztettem a black hole heurisztikák egy olyan változatát, mely alkalmas szekvencia-problémák, például járat tervezési feladatok megoldására.

A tézissel a dolgozat 5.1. fejezete foglalkozik. A tézis állítását alátámasztó saját publikációk és előadások: [S3] [S6] [S7]

A black hole algoritmus egy természet inspirálta, raj alapú és memóriával rendelkező metaheurisztikus algoritmus. A kutatásaim során sokszor felhasználtam különböző logisztikai feladatok elvégzésére, amelyből néhányat a dolgozatban be is mutattam. Ez idő alatt végrehajtottam rajta két szignifikáns módosítást, amely javította a konvergenciasebességet és új funkcióval látta el az algoritmust. Megalkottam a black hole algoritmus szekvenciás paramétereit is feldolgozó változatát, amely a járat tervezés egyik legfontosabb eleme. Az algoritmus az eredeti leírás alapján, nem volt képes erre. A kiegészítő módszer teljes mértékben működőképes, azonban a teszteredmények alapján a Genetikus algoritmus minden helyzetben jobban teljesített. A második módosítás, amelyet a gyakorlati képletekkel és komplex feladatokkal való munkám során figyeltem meg, hogy vannak paraméterek, amelyek

szeretnek határértékeket felvenni, minél több a paraméter, annál nagyobb ennek a bekövetkezési esélye. Ez alapján kidolgoztam egy módszert a black hole algoritmusra, amelynél az új random generált egyedek paramétereinek közül legalább egyet határértékre teszünk, ezáltal növeljük a módszer robusztusságát és a kezdeti konvergenciasebesség is javul.

III. TÉZIS: Bevezettem a randomizált életciklus és az elhalálozási ráta fogalmát új egyedek generálására a Firefly algoritmus robusztusságnak növelése érdekében. Emellett bevezettem a legfényesebb memória alkalmazását Firefly algoritmusok hatékonyságának növelése céljából. Az elvégzett benchmark tesztek igazolták, hogy az általam kifejlesztett bővítmények révén az eredeti Firefly algoritmus hatékonysága növelhető.

A tézissel a dolgozat 5.2. fejezete foglalkozik. A tézis állítását alátámasztó saját publikációk és előadások: [S5] [S9] [S10] [S11]

A Firefly algoritmus egy természet által inspirált metaheurisztikus algoritmus, amelyet a szentjánosbogarak viselkedésének megfigyelése alapján alkottak meg. Különleges tulajdonsága, hogy memória nélkül optimalizál. Ennél az algoritmusnál nincs jól elkülönített lokális optimumpont elkerülő mechanizmus, így sokkal nagyobb eséllyel talál nem-optimális megoldást, amelyből nehezen szabadul. Ez a probléma könnyen kiküszöbölhető két általam meghatározott módszerrel is, amely követi a természetes természetét az algoritmusnak: Az első módszernél bevezetünk egy randomizált életciklust, ahol meghatározzuk, hogy mennyi lehet egy egyed élettartama, ezután elhalálozik és helyet ad egy teljesen random új egyednek. A második módszernél bevezetünk egy elhalálozási rátát, amely annyit tesz, hogy a legrosszabb N db egyedünk, amelyik nem talált párt és törlődik, majd a helyére új külső egyedek keletkeznek randomizálással. Mindkét módszernél fontos az új egyed generálásával a robusztusság növelése azonban, ez elhalálozási ráta figyelembe veszi a saját megoldás jóságát a többi megoldáshoz képest, így egy irányított módszerről beszélünk, amelynek nagyobb a számítási igénye. Ezek mellett, bár a módszer képes memória nélkül is dolgozni, mégis kiegészítettem egy legjobb megoldáskövető mechanizmussal, melynek a neve a legfényesebb memória. Az algoritmus leírásában szerepel, hogy a legfényesebb egyed követi az összes többi egyed, azonban a legfényesebb egyed is mozog az iterációk között és ez a mozgás random irányba történik. Bevezettem egy olyan apró módosítást, miszerint a bogarak megjegyzik a mindenkor legfényesebb helyzetet és azt a pontot követik, mely a legfényesebb bogár és a legfényesebb helyzet közötti szakaszon a fényességgel egyenes arányban oszlik meg. Igazoltam a három módosítás konvergenciára gyakorolt együttes hatását, mely segít elkerülni az algoritmus lokális optimumpontra ragadását.

IV. TÉZIS: Megalkottam egy olyan általános keretrendszert, mely alkalmas speciális logisztikai modellek leszámaztatására. Ezen keretrendszer alapján megalkottam az integrált járattervezés, az elosztás és a milkrun anyagellátás egy-egy speciális modelljét. Ezen modellek által definiált NP-nehez optimalizálási feladatok megoldására megoldásokat kerestem és egyedi módon átalakítottam. A problémák megoldására egyedi alkalmazásokat készítettem, melyekkel a kidolgozott modellek és módszerek

hatékonyságát validáltam. Mindegyik probléma megoldható volt lágyszámítási módszerekkel.

A tézissel a dolgozat 7. fejezete foglalkozik. A tézis állítását alátámasztó saját publikációk és előadások: [S3] [S4] [S5] [S6] [S7] [S8] [S9] [S10] [S11] [S14] [S15] [S17] [S18]

A kutatási ciklusom elején megalkottam azt az elvet, hogy egy általános logisztikai modellt felhasználva fogom a későbbi feladatspecifikus modelljeimet elkészíteni. Ezen modell legfőbb elve, hogy a végeredmény vagy a célfüggvényérték, ha lehet valamilyen költséget vagy profitot reprezentáljon. A dolgozatban három logisztikai feladatspecifikus modellt és megoldását mutatom be. Az integrált járattervezési feladat alatt egy olyan automatikus árurendelési és járműkezelési mechanizmust ismertetek, amely a már mozgásban lévő járatokhoz próbál meg újonnan beérkezett szállítási feladatot csatolni profit reményében. Az elosztási rendszer integrált tervezésénél különböző beszállítók klaszterezése és gyűjtőraktárak telepítése és gyűjtőjáratok indításának lehetőségeit vizsgálom egy előre definiált időintervallumra és költségeket határozok meg, különböző megoldásváltozatokra. A milkrun elosztási rendszer tervezésénél a kétszintű milkrun rendszer kivitelezésének és indításának a lehetőségeit vizsgálom elsősorban kapacitás és körjárat építés figyelembevételével. Mindhárom feladat emellett szoftveresen leprogramozásra került és az eredeti, illetve módosított heurisztikus algoritmusok ezeken szintén tesztelésre kerültek, mint ipari környezet szimulálása.

3.3. Summary

The goal of my research was to find such methods and solutions for solving logistical problems, for which traditional analytical methods couldn't provide satisfactory results or wouldn't be suitable for handling the task. In my paper I created several methods and case-studies, which can help understand, test and use these methods for industrial, more specifically logistical tasks.

In the first part of my work, while processing structured academic literature I reviewed and presented the past and present company trends, like the globalization, digitisation, increase in buyer demand and quality, and Industry 4.0. These and other smaller principles together determine the present advancements and demands of the world. These demands can only be effectively satisfied, if we have a network that works well, and to build and control it, which is an enormous task, people have resorted to the assistance of software. A big or multinational company in this day and age couldn't operate and make decisions efficiently without a complex enterprise management system. In the network of these connected systems and databanks it is almost impossible to do anything with normal mathematical tools, they are based on more complex algorithms, which can incorporate simple mathematical, practical and heuristical tools. These heuristical tools are not just there to solve tasks, they participate in controlling the whole system as well. There are some enterprise management systems and logistical fields where the use of these heuristics is not widespread yet. To explore these topics literature research was used, from which the research goal has also been determined.

The review of heuristics followed the intro and the literature research chapters. Its advantages and disadvantages have been demonstrated through examples. After that I narrowed the heuristics down to one, I have chosen: the nature and population-based metaheuristic algorithms. I will present four types of algorithms in detail:

- the *Genetic algorithm*, as a frame of reference,
- the *Harmony Search algorithm*, as a previous research subject and reference,
- the *Firefly algorithm*, used and developed at the beginning of the research period,
- and the *Black hole algorithm*, as a base recently used in research and development.

During my research I mainly worked with these algorithms, and presented such versions of these, which were able to solve problems not meant for them, or with modifications were become faster and more precise, than their original versions. The 2nd and 3rd thesis includes these topics.

In addition, a method for determining the swap distance of the mathematically proven sequences has also been presented, which can evaluate and determine the distances of sequences that consists of elements of different quantity and structure. This method was really necessary for route planning, the 1st thesis covers its importance.

In the second main part of the study, test exercises and case studies of industrial practices has been presented. The main goal of these test exercises and case studies was to compare the performance of the different algorithms. I developed a modular algorithm testing application, in which the algorithms and tasks can be switched out at any time.

The case studies besides testing can be used for simulating real industrial conditions as well. I created such models, which can demonstrate the inside and outside logistic tasks of a company, and solve them with the help of heuristics. From the three case studies the first presents the complexity and modifications of the route planning tasks. With the help of the model and the finished application automatic assignments can be given, it is possible to plan or even modify routes during delivery, so a new delivery task can be executed.

The second case study got the title of "Integrated planning of distributed systems", which describes that the location of the collector and distributor warehouses and the quantity of their assigned subcontractors has to be determined based on the transportation, investment,

unladen and administration costs. I created this case study and model based on industrial works, where the number and the size of the warehouses can be determined easily, the vehicle fleet and the number of personnel is also scalable.

The third case study demonstrates the model of the inner logistic route planning, which is based on the one and two level milkrun system. I improved upon the two level milkrun system model which can be found in the academic literature. This system also determines the delivery routes and the locations of warehouses and supermarkets based on the cost. The idea of the model is based on what I saw in one of the erecting shops of Robert Bosch Ltd. The general modell and the above mentioned three modells and solutions of industrial problems are involved in the 4th thesis.

In 2019 the Logistics Institution proposed a route planning R&D task, in which the heuristic solutions developed by me can be used efficiently. Algorithms that were developed by me are being used for solving several complex company problems, like optimizing the milkrun based supply process in a large plant, or solving complex commissioning tasks time and energy efficiently.

In summary, in my research I introduced such problems for which a solution, if not the only solution would be the use of heuristics. I created applications and such heuristic methods, that can compete with already existing methods, or even exceed them in speed and accuracy.

3.4. Summary of theses

I. THESIS: I worked out a new method for measuring distances between sequences, and proved its fitness for measuring distances between sequences of different length and build in aspect of equality, symmetry, and distance non-negativity. The finished method can determine the distances between the solution variations that are represented by the permutations in different route planning tasks.

The thesis is explained in chapter 4.2. My publications and presentations that support the thesis: [S5] [S8] [S9] [S10]

II. THESIS: I worked out a new method for generating parameters for the conventional black hole heuristic, which enables that its convergency speed - especially in the beginning of the search phase - can be improved significantly. I developed such version of the black hole heuristics, which is suitable for solving sequencing problems, such as route planning.

The thesis is explained in chapter 5.1. My publications and presentations that support the thesis: [S3] [S6] [S7]

III. THESIS: I introduced the concept of randomized lifecycle and death rate for generating new specimens to make the Firefly algorithm more robust. Furthermore, I introduced the usage of brightest memory for improving the efficiency of the Firefly algorithm. The results of the benchmark tests proved that the extensions can improve the effectiveness of the original Firefly algorithm.

The thesis is explained in chapter 5.2. My publications and presentations that support the thesis: [S5] [S9] [S10] [S11]

IV. THESIS: I created a general framework, which is capable of deriving special logistic models. Based on this framework, I created a special model for integrated route planning, distribution and milkrun material supply. For solving the NP-hard optimization tasks defined by these models I was looking for solutions and modified them in an unique way. I created individual applications for solving these tasks that I used for the validation of the effectiveness of the finished models and methods. Every problem was solvable using soft calculation methods.

The thesis is explained in chapter 7. My publications and presentations that support the thesis: [S3] [S4] [S5] [S6] [S7] [S8] [S9] [S10] [S11] [S14] [S15] [S17] [S18]

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

4.1. Feldolgozott irodalom

- [I1] Cronin, P.; Ryan, F.; Coughlan, M. Undertaking a literature review: A step-by-step approach. *British Journal of Nursing*. 2008, Volume:17, pp. 38–43.
- [I2] Fung, R.Y.K.;Chen, T.: A multiagent supply chain planning and coordination architecture, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 25, Issue 7-8, April 2005, pp. 811-819.
- [I3] Tiwari, A.K. Tiwari, A., Samuel, C.: Supply chain flexibility: A comprehensive review, *Management Research Review*, Volume 38, Issue 7, 20 July 2015, pp. 767-792.
- [I4] Fosso Wamba, S.: Achieving supply chain integration using RFID technology: The case of emerging intelligent B-to-B e-commerce processes in a living laboratory, *Business Process Management Journal*, Volume 18, Issue 1, February 2012, pp. 58-81.
- [I5] Bányai T., Bányai, Á., Illés, B., Tamás, P.: *Ipar 4.0 és logisztika*, Miskolc, 2019, 1. kiadás, ISBN: 978-963-358-182-7.
- [I6] Galasso, F., Merce, C., Grabot, B.: Decision support framework for supply chain planning with flexible demand, *International Journal of Production Research*, Volume 47, Issue 2, January 2009, pp. 455-478.
- [I7] Lima, R.M.; Sousa, R.M.; Martins, P.J.: Distributed production planning and control agent-based system, *International Journal of Production Research*, Volume 44, Issue 18-19, 15 September 2006, pp. 3693-3709.
- [I8] Makatsoris, H.C., Chang, Y.S.: Design of a demand-driven collaborative supply-chain planning and fulfilment system for distributed enterprises, *Production Planning and Control*, Volume 15, Issue 3, April 2004, pp. 256-269.
- [I9] Singh, H., Garg, R.K., Sachdeva, A.: Supply chain collaboration: A state-of-the-art literature review, *Uncertain Supply Chain Management*, Volume 6, Issue 2, 2018, pp. 149-180.
- [I10] Gaspari, L. [et.al.]: Modularization in material flow simulation for managing production releases in remanufacturing, *Journal of Remanufacturing*, Volume 7, Issue 2-3, 1 December 2017, pp. 139-157.
- [I11] Bányai, T.; Bányai, A.: Modelling of just-in-sequence supply of manufacturing processes, *MATEC Web of Conferences*, Volume 112, Innovative Manufacturing Engineering and Energy International Conference, IManE and E, Iasi, 3 July 2017; Article number: 0602521.

- [I12] Belmecheri, F. [et. al.]: Particle swarm optimization algorithm for a vehicle routing problem with heterogeneous fleet, mixed backhauls, and time windows, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Volume 24, Issue 4, August 2013, pp. 775-789.
- [I13] Jharkharia, S., Shankar, R.: Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach, *Omega*, Volume 35, Issue 3, June 2007, pp. 274-289.
- [I14] Liou, J.J.H., Tamošaitiene, J., Zavadskas, E.K., Tzeng, G.-H.: New hybrid COPRAS-G MADM Model for improving and selecting suppliers in green supply chain management, *International Journal of Production Research*, Volume 54, Issue 1, 2 January 2016, pp. 114-134.
- [I15] Nagy, J. (és társai): The role and impact of industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain-the case of hungary, *Sustainability*, Volume 10, Issue 10, Switzerland, 29 September 2018, Article number 3491.
- [I16] Gašová, M., Gašo, M., Štefánik, A.: Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept, *Procedia Engineering* Volume 192, 2017, 12th International Scientific Conference Of Young Scientists On Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM 2017; High Tatras Grand Hotel Bellevue; Slovakia; 31 May 2017- 2 June 2017; Code 136438, pp. 219-224.
- [I17] Kuby, M.J., Gray, R.G.: The hub network design problem with stopovers and feeders: The case of Federal Express, *Transportation Research Part A*, Volume 27, Issue 1, January 1993, pp. 1-12.
- [I18] Romer, M. [et.al.]: The internet of load carriers design of a cloud-based service system for smart and connected load carriers, *ICETE 2018 - Proceedings of the 15th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications*, Volume 1, 2018, 15th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications, ICETE 2018; Porto; Portugal; 26 July 2018-28 July 2018; Code 150360, pp. 166-173.
- [I19] Lang, W. [et. al.]: The "intelligent container" - A cognitive sensor network for transport management, *IEEE Sensors Journal*, Volume 11, Issue 3, 2011, Article number 5582153, pp. 688-698.
- [I20] Elhedhli S., Merrick R. :Green supply chain network design to reduce carbon emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 17, Issue 5, July 2012, pp. 370-379.
- [I21] Figliozzi M.A.: The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO2 emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 19, Issue 5, August 2011, pp. 766-778.
- [I22] Hosseini S.D., Shirazi M.A., Ghomi S.M.T.F.: Harmony search optimization algorithm for a novel transportation problem in a consolidation network *Engineering Optimization* Volume 46, Issue 11, 2 November 2014, pp. 1538-1552.

- [I23] Geem Z.W., Kim J.H., Loganathan G.V.: A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, Volume 76, Issue 2, February 2001, pp. 60-68.
- [I24] Omran M.G.H, Mahdavi M.: Global-best harmony search, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 198, Issue 2, 1 May 2008, pp. 643-656.
- [I25] Eberhart R., Kennedy J.: Particle swarm optimization, *IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings*, Volume 4, 1995, , *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks.*; 27 November 1995, pp. 1942-1948.
- [I26] Rahmani A., Mirhassani S.A.: A hybrid Firefly-Genetic Algorithm for the capacitated facility location problem, *Information Sciences*, Volume 283, 1 November 2014, pp. 70-78.
- [I27] Yang X.S.: Firefly algorithms for multimodal optimization, *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 5792 LNCS, 2009, 5th Symposium on Stochastic Algorithms, Foundations and Applications, SAGA, 2009; pp. 169-178.
- [I28] Fister I., Jr.a Perc, M., Kamal S.M., Fister I. : A review of chaos-based firefly algorithms: Perspectives and research challenges, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 252, 1 February 2015, pp. 155-165.
- [I29] Dorigo M., Gambardella L.M.: Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Volume 1, Issue 1, 1997, pp. 53-66.
- [I30] Dorigo M., Di Caro G., Gambardella, L.M.: Ant algorithms for discrete optimization, *Artificial Life*, Volume 5, Issue 2, 1999, pp. 137-172.
- [I31] Wu Z., Choy K.L., Chan H.K., Lee, C.K.M., Zhang, S.: Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 37, 1 January 2015, pp. 154-169.
- [I32] Ting C.J., Chen C.H.: A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem, *International Journal of Production Economics*, Volume 141, Issue 1, January 2013, pp. 34-44.
- [I33] Costa D., Hertz A. : Ants can colour graphs, *Journal of the Operational Research Society*, Volume 48, Issue 3, March 1997, pp. 295-305.
- [I34] Hatamlou A.: Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering, *Information Sciences*, Volume 222, 10 February 2013, pp. 175-184.
- [I35] Ricardo S., Broderick C., Rodrigo O.: Solving the non-unicost set covering problem by using cuckoo search and black hole optimization, *Natural Computing* 16(2), 2017.
- [I36] Piotrowski A.P., Napiorkowski J.J., Rowinski P.M.: How novel is the "novel" black hole optimization approach?, *Information Sciences*, Volume 267, 20 May 2014, pp. 191-200.

- [I37] Hasan Z., El-Hawary M.E. Optimal power flow by black hole optimization algorithm, Proceedings - 2014 Electrical Power and Energy Conference, EPEC 201427 February 2014, , pp. 134-141.
- [I38] Azizipanah-Abarghooee R., Niknam T., Malekpour M., Bavafa F., Kaji M.: Optimal power flow based TU/CHP/PV/WPP coordination in view of wind speed, solar irradiance and load correlations, Energy Conversion and Management, Volume 96, 15 May 2015, pp. 131-145.
- [I39] Grefenstette J.J.: Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Volume 16, Issue 1, JANUARY/FEBRUARY 1986, pp. 122-128.
- [I40] Konak A., Coit D.W., Smith A.E. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial, Reliability Engineering and System Safety, Volume 91, Issue 9, September 2006, pp. 992-1007.
- [I41] Tamura K., Peterson D., Peterson N., Stecher G., Nei M., Kumar S.: MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods, Molecular Biology and Evolution, Volume 28, Issue 10, October 2011, pp. 2731-2739.
- [I42] Eberhart R.C., Shi Y.: Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization, Lecture Notes in Computer Science, Volume 1447, 1998, Pages 611-616, 7th Annual Conference on Evolutionary Programming, EP 1998; San Diego; United States; 25 March 1998.
- [K1] Demetrovics J., Katona Gy.: Az algoritmusok bonyolultsága, Letöltve: 2019.12.10.
<http://www.termesztvilaga.hu/kulonsz/k002/algoritmus.html>
- [K2] Newell, A., Simon, H.A.: Human problem solving, 1972, Kiadó: sci.brooklyn.
- [K3] Pearl, J.: Heuristics: intelligent search strategies for computer problem solving, 1984, Kiadó: OSTI.
- [K4] Dreo, J.P. Aumasson, W. Tfaili, P. Siarry: Adaptive Learning Search, a new tool to help comprehending metaheuristics, International Journal on Artificial Intelligence Tools, Vol. 16, No. 3. - 1 June 2007.

4.2. Saját irodalom

- [S1] Veres P., Bányai T., Illés B.: Make-or-Buy optimisation with Harmony Search Algorithm, ASCONIKK 2014: Extended Abstracts: II. Future Internet Services. 2014.12.14-2014.12.17. Veszprém: University of Pannonia, 2014. pp. 59-66.
- [S2] Bányai T., Veres P.: Optimisation of knapsack problem with matlab, based on harmony search algorithm, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE 7:(1), 2013, pp. 13-20.

- [S3] Bányai T., Veres P., Illés B.: Heuristic Supply Chain Optimization of Networked Maintenance Companies, *PROCEDIA ENGINEERING* 100, 25th DAAAM, 2014. Bécs, Ausztria: 2014.11.26 -2014.11.29., pp. 46-55.
- [S4] Veres P., Bányai T., Illés B.: Optimization of in-plant production supply with black hole algorithm, 9th International Congress on Precision Machining, Key Engineering Materials, Görögország, Athén, 2017.09.06-2017.09.09.
- [S5] Veres P., Bányai T., Illés B.: Route planning among non-predefined objects; 9th International Doctoral Students Workshop on Logistics. 104 p.;2016.06.22 Magdeburg: Otto von Guericke University Magdeburg, 2016. pp. 65-70.
- [S6] Veres, P.: Heurisztikus algoritmusok alkalmazása a logisztikában, *Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban*, 2019, Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2019, pp. 440-443.
- [S7] Veres P., Bányai T., Illés B.: Optimization of Inverse Supply with Black Hole Algorithm, 10th International Doctoral Students Workshop on Logistics, Németország, Magdeburg Otto von Guericke University, 2017.06.20.
- [S8] Veres P., Illés B, Bányai T.: Software development for performance validation of heuristic algorithms, 10th International Conference of Mechanical Engineering COMEC 2019: 5th Symposium of Quality Management & Logistics, 2019, pp. 9-17.
- [S9] Veres P., Bányai T., Illés B.: Automatikus járatmódosítás megoldása intelligens szállítási rendszerekben, *Doktoranduszok Fóruma 2016*, Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország: Miskolci Egyetem, 2017, pp. 106-111.
- [S10] Veres P., Bányai T., Illés B.: Járat tervezés előre nem definiált objektumok között, *Alkalmazott Tudományok III. Fóruma: Konferenciakötet*, Budapest, Magyarország: Budapesti Gazdasági Egyetem, 2016, pp. 880-890.
- [S11] Veres P, Bányai T, Illés B: Optimisation problems of networking manufacturing processes, 21st Innovative Manufacturing Engineering and Energy International Conference, IManE and E, EDP Sciences, 2017, Paper: 06026.
- [S12] Veres P.: Harmony Search algoritmus alkalmazása anyagáramlási feladatok tervezésénél (előadás: Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet, 2014.10.07.).
- [S13] Bányai, T.; Veres, P.: Optimisation of production depth, *ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE*, Volume 7: No.2, 2013, pp. 85-94.
- [S14] Veres, P.; Illés, B.: Algoritmusok összehasonlító elemzése moduláris alkalmazással logisztikai problémákon, XXVII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia OGÉT 2019, Nagyvárad, Románia: Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, 2019, pp. 617-620.
- [S15] Veres, P.; Bányai, T.; Illés, B.: Hálózatszerűen működő ellátási lánc modelljének és alkalmazásának továbbfejlesztése, *Doktoranduszok Fóruma 2015: Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa*, Miskolc, Magyarország: Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kar, 2016, pp. 23-28.

-
- [S16] Veres, P.; Illés, B.; Bányai, T.: Integrated Assignment and Facility Location Approach Based on Black Hole Optimization, ACADEMIC JOURNAL OF MANUFACTURING ENGINEERING 17: No.2, 2019, pp. 66-71.
- [S17] P., Veres; B., Illés; C., Landschützer: Supply Chain Optimization in Automotive Industry: A Comparative Analysis of Evolutionary and Swarming Heuristics, LECTURE NOTES IN MECHANICAL ENGINEERING, 2018, pp. 666-676.
- [S18] Veres, P.: Létesítmény telepítési és hozzárendelési feladat megoldása Blackhole optimalással, GÉPGYÁRTÁS 57: 1-2, 2018, pp. 79-83.

Köszönetnyilvánítás

Az értekezésben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.