

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés
tézisfüzete



Városi buszközlekedés üzemi tervezésének szintézis alapú megoldása

Nagy Albert

Témavezető: Dr. habil Tick József

Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola

Budapest, 2021. november 02.

1 A kutatás előzményei

A BKV tevékenységéhez kapcsolódóan már közel két évtizedre visszamenőleg rendelkezésre álló információ elérte azt a méretet és komplexitást, amely megnehezíti a jelenlegi módszerekkel történő vállalati innovációt. A meglévő forrásokból levont következtetések sok esetben nem, vagy csak kis hatékonysággal támogatják az üzleti területek vezetőinek a munkáját.

A dolgozatomban az európai szinten is figyelemre méltó BKV adatbázisra támaszkodva a korábban megkezdett, az üzemeltetés közben keletkező adatok vizsgálatával olyan döntésmegalapozó/döntés-támogató funkciókat, módszertant dolgoztam ki, amely a felső- és operatív vezetés számára is értéket jelenthet.

A városi buszközlekedést vizsgálva megállapítottam, hogy a gyakorlati menetrend megvalósítás területén komoly kihívást jelent az erőforrások leghatékonyabb felhasználása. Már néhány százezer fős városok esetén is nehezen kezelhető, összetett feladattal állunk szemben, amely tovább bonyolódhat, ha a jogszabályokat, munkaügyi szabályokat, az érdekképviseleti és egyéni igényeket is figyelembe vesszük. A kutatásom során arra is figyelemmel kellett lenni, hogy a buszközlekedési szolgáltatók elvárása sok esetben nem csak az optimális megoldás megtalálása, hanem egy viszonylag rövid idő alatt kiszámítható és megvalósítható módszer alkalmazása legyen.

Tanulmányoztam az informatikai rendszerekből származó adatokat és adatbányászati eszközök segítségével megvizsgáltam, hogy a működési hatékonyságot hogyan befolyásolja a járművezetők munkaideje és a járművek műszaki állapota. Bár megállapítottam, hogy a járműállomány műszaki állapota hatással van a működési hatékonyságra, azonban ennek további vizsgálata túlmutatott a kutatási irányaimon. A vizsgálatom középpontjába a járművezetők munkaidejének kihasználtságára irányuló célzott optimalizációs eljárások kidolgozását és bevezetését helyeztem.

A kutatásom során egy szakirodalomban megtalálható klasszikus matematikai modell adaptálásának lehetőségeit vizsgáltam, nevezetesen egy kombinált jármű- és személyzet ütemezés optimalizáló módszert, kiegészítve olyan feltételekkel, amelyek jobban megfelelnek a valós elvárásoknak. Az eredményeket két meghatározott példán keresztül összevettem a jelenleg alkalmazott gyakorlattal. A mintára alapozott számítások kimutatták a módszer alkalmazhatóságát az erőforrás gazdálkodás hatékonyságának növelésére. Rámutattam arra is, hogy a vizsgált hagyományos matematikai modell által generált magas változószám miatt egy Budapest nagyságrendű városra történő gyakorlati alkalmazása számítási kapacitás problémákat vet fel.

Ezért a további kutatási munka során felderítettem a folyamathálózat szintézis területén kidolgozott és bevált módszerek alkalmazhatóságát, és adaptáltam a városi buszközlekedési feladatosztályra. A kutatásom szempontjából prioritást kapott a tetszőleges indítási idejű menetrendnek megfelelő konkrét buszközlekedési ütemezések meghatározása is. A javasolt szintézis megközelítés alkalmazásával az erőforrások felhasználása hatékonyabb, mivel az optimalizálás újszerű megközelítésének köszönhetően nem igényel óriási kapacitás szükségletet a számítási infrastruktúrán. Az általános buszközlekedési feladatot a szakirodalomban megismert módszerekhez képest lényegesen kisebb méretű modellel oldottam meg.

A bemutatott modellezési módszerek és eljárások, melyek a közösségi buszközlekedés valós problémáinak megoldását támogatják, a gyakorlatban évi több tízmillió forintos megtakarítást tesznek lehetővé.

2 Célkitűzések

Az értekezésem általános célja a közlekedésmenedzsment azon eszközrendszerének elemzése és fejlesztése, amely a rendelkezésre álló erőforrások hatékonyabb, gazdaságosabb használatát, valamint az általuk biztosított szolgáltatások színvonalának emelését támogatják. Egyrészt alapvetően fontos a városi buszközlekedést érintő főbb kihívások és abban rejlő optimalizációs lehetőségek azonosítása, másrészt a gyakorlatban felmerülő problémák megoldását segítő olyan vizsgálatok és módszerek kidolgozása, amelyek hasznos eszközül szolgálhatnak a döntéstámogatásban és a gyakorlati üzemeltetésben.

A kutatás célkitűzései a következőkben foglalhatók össze:

- Egy olyan újfajta eszközkészlet kidolgozása, amely által a közlekedési szolgáltatók számára gazdasági előny biztosítható.
- A BKV-nál rendelkezésre álló adatvagyon elemzéseiből levont következtetésekből a közösségi buszközlekedés üzemi menetrend-megvalósítás területén célzott optimalizációs lehetőségek feltárása, mellyel az üzemeltetés hatékonysága növelésével a költségek csökkenthetők.
- A céloom a közösségi buszközlekedésre egy olyan menetrendütemezési modell előállítását, amely alkalmas a különböző erőforrások hatékonyabb felhasználására, a rendelkezésre álló erőforrások mennyiségi és minőségi figyelembevételére, a munkaügyi- és egyéb korlátozási feltételek kezelésére.
- A céloom a valós folyamatokat az eddigieknél jobban modellezni képes rendszer kidolgozása, amely hosszútávon a gyakorlati használatba is bevezethető.

3 Vizsgálati módszerek

A vizsgálatom középpontjába a városi buszközlekedési operatív tervezési optimalizálási feladatai kerültek, mert a közösségi közlekedési szolgáltató vállalatoknak főként az operatív tervezés terén van befolyásuk. Ezen belül olyan rövid távú tervezési folyamatokat jártam körül, amelyeknek a célja a hatékonyság javítása és az üzemeltetési költségek minimalizálása. Ezért több olyan optimalizálási probléma is bemutatásra kerül, ami a közösségi buszközlekedés társasági járműveihez és járművezetőihez kapcsolódik. A témaköröket nem csak elméleti oldalról, hanem a valós alkalmazhatóság szempontjából is vizsgáltam, és a gazdasági hatások számbavételén túl elsősorban a gyakorlati megoldásokra fókuszáltam.

Dolgozatom módszertana alapvetően deduktív, de kiegészül induktív kutatási elemekkel is, hiszen a forrásokat, dokumentumokat és eddigi tapasztalatokat elemezve, illetve összefüggéseket keresve törekedtem újszerű törvényszerűségek megfogalmazására.

Az üzemi tervezési folyamatok támogatása az erőforrások optimális felhasználásának érdekében minden közösségi közlekedési szolgáltató célja és feladata. Ennek szellemében a gyakorlati kutatásomat három logikai részre bontottam:

- Elsőként a kutatásom során a valóságban megtapasztalható összefüggéseket tártam fel a közvetlen adatgyűjtés és adatelemzés módszerével. Big data alapú megközelítéssel feltérképeztem a menetrendi eltéréseket, a járműtípusokat, és a munkaidő kihasználtságot, melyek hatásainak felderítése során a vizsgálatba vont tényezők közötti kapcsolat azonosításához korreláció-,

regresszió-, és trendelemzést használtam. Feltételezésem szerint a rendszerben rejlő tartalékok feltárásával a menetrend megvalósítás gyorsabban, több változat elemzésével, algoritmikusan elvégezhető, és a humán erőforrások kihasználtságát javító célzott optimalizációs eljárások kidolgozhatók és bevezethetők. Vizsgálatomban meghatároztam az optimalizálás célját és feltártam azokat a tényezőket, amelyeket figyelembe kell venni egy döntéstámogató modell megalkotásánál.

- A kutatásom második részében az ütemezési feladatok eddigieknél hatékonyabb megoldását határoztam meg. A feladat klasszikus szakirodalmi modell alapján történő megoldására egy kombinált jármű- és személyzet-ütemezés optimalizáló modellt használtam, amelyet a kutatási céloknak megfelelően adaptáltam. A probléma matematikai modellezése lineáris programozással történt, melyekhez többek között halmaz-felosztási módszerek is alkalmazásra kerültek. A BKV-ból származó példákon keresztül összehasonlító elemzést végeztem a jelenlegi kézzel készített, és az algoritmikusan automatizált módon elkészített menetrendek eseteit feldolgozva. Két valós viszonylaton keresztül megvizsgáltam a főbb menetrendi paramétereket; mint az átlagos és összes szolgálat hosszát, összes tartózkodási időt, beleértve a menetrendkészítés idejét is.
- Az eredmények részben adtak választ a kérdéseimre, ezért a harmadik részben az erőforrások hatékonyabb felhasználása érdekében a folyamathálózat-szintézis területén kidolgozott és bevált módszerek felé fordultam. A metodológia alapját jelentő strukturális megközelítésből fakadó előnyök megfelelő kihasználása által közvetlenül várható gyakorlati eredmények optimálisabb megoldáshoz vezetnek a matematikai modell változószámainak jelentős számú csökkentésének köszönhetően. A klasszikus PNS módszertant adaptáltam a városi buszközlekedési feladatosztályra. Felírásra került a strukturálisan lehetséges megoldásokra alkalmazott matematikai programozási modell. Az ütemes menetrend típusokra megadtam egy általánosan érvényes P-gráfot. A tetszőleges indítási idejű menetrendek modellezésére megadtam a maximális struktúrához tartozó matematikai programozási modellt. Az általam bevezetett módszer alkalmazásával egy Budapest méretű város menetrendjének megvalósítása kezelhető időn belül megoldható.

A dolgozat felépítése a következő:

Az **első** fejezetben áttekintettem az irányelveket, szabályozásokat, rendeleteket, amelyek jelenleg a legfontosabb keretek a városi közösségi buszközlekedés területén a város- és ágazati vezetők számára. A tervezés, működtetés és ellenőrzés szempontjából feltártam a városi közlekedés feladatait. Meghatároztam a dolgozat célkitűzéseit, kutatási kérdéseit és vizsgálati módszereit.

A **második** fejezetben elvégeztem a járműütemezési problémák és a P-gráf módszertan szakirodalmi áttekintését, mivel a feladatok megoldása nagyban függ attól, hogy rendelkezésre áll-e megfelelő eszközzel az optimális megoldás szisztematikus és hatékony megtalálásához.

A **harmadik** fejezetben a menetrendtervezés részletes tárgyalását végeztem el, melynek során kifejtettem a menetrendkészítés folyamatát, annak részeként a vezénylési feladatokat, a járművezető ütemezési, beosztási és hozzárendelési problémát is áttekintettem. Azonosítottam a hatékonyság mérésére szolgáló mutatószámokat. Konkrét példákon keresztül bemutattam a jelenlegi menetrend megvalósítási gyakorlatot.

A **negyedik** fejezetben Big data alapú megközelítéssel megvizsgáltam az adathalmazok rejtett és komplex összefüggéseit, és az ebből kinyerhető információt. Felderítettem, hogy automatizációval és algoritmikus módszerek alkalmazásával a kutatás középpontjában lévő városi buszközlekedés paraméterei és hatékonysági mutatói mérhetők és javíthatók.

Az **ötödik** fejezetben egy klasszikus algoritmikus módszer adaptációját használtam a menetrend megvalósítási feladatokra. Az alkalmazott megoldás alapja egy, a szakirodalomban publikált kombinált jármű- és személyzet-ütemezés optimalizáló modell. Gyakorlati példákon keresztül a kidolgozott módszer számítási eredményeit összevetettem a harmadik fejezetben tárgyalt, kézzel készített menetrendekkel, és levontam a következtetéseket.

A **hatodik** fejezetben a klasszikus folyamathálózat szintézis módszertant adaptáltam a városi buszközlekedési feladatosztályra. Tanulmányoztam az ütemes menetrend típusok és a tetszőleges járatindítású menetrend típusok P-gráf módszertanra alapozott magvalósítását. Kidolgoztam az adekvát matematikai programozási modellt.

A **hetedik** fejezetben összefoglaltam az elvégzett munkát. Megállapítottam, hogy az optimalizálás újszerű megközelítésének gyakorlati alkalmazásával hatékonyabb erőforrás-gazdálkodás érhető el.

A **nyolcadik** fejezetben a menetrend megvalósítási feladat P-gráf alapú modellezésének eddigi elméleti eredményei alapján felvázoltam a továbbfejlesztési lehetőségeket.

4 Új tudományos eredmények

Az értekezés új tudományos eredményeinek tézisszerű összefoglalása:

1. tézis

Kialakítottam a BKV informatikai rendszeréhez releváns olyan információs technológiai modellt, amely képes összekapcsolni az adott üzleti rendszereket, és azokból valós időben naprakész adatokat szolgáltat.

Igazoltam, hogy az üzemi menetrend hatékonyabb megvalósítása, annak algoritmikus támogatása nem valósítható meg a Big data jellegű megközelítés nélkül a forrásrendszerekből származó nagy adatmennyiség és a komplexitás miatt.

Big data alapú módszerrel elemeztem a BKV-nál rendelkezésre álló adatokat, melynek eredményeképpen rámutattam a buszközlekedés üzemi menetrend-megvalósítás területén az egzakt optimalizáltság hiányára.

Meghatároztam, hogy a jármű oldali hatékonyságjavítási törekvések jelen kutatás szempontjából nem reálisak, ugyanakkor a munkaidő jobb szervezésével jelentős hatékonyságnövekedést lehet elérni.

Vizsgálatokkal kimutattam, hogy a munkaidő hatékonyabb kihasználása révén az üzemi tervezés tovább javítható.

Ezen belül:

- Azonosítottam a BKV-nál rendelkezésre álló adatvagyonból a vizsgálatba bevont forrás rendszereket, az érintett adatok halmazát, szükséges eszköztárat és megvizsgáltam a kapcsolódásaikat.
- Az elemzési célok elérése érdekében meghatároztam a forrás rendszerek adatköreit, amely alapján az adekvát adatmodell felépíthető.
- Elkészítettem a BKV forgalmi alaprendszerének tevékenység szintű adataira, valamint a forgalmi összesítő adataira vonatkozó megfelelő részletezettségű adatmodellt.
- Az adatmodell felhasználásával a vizsgálatom szempontjából releváns elemzéseket elvégeztem.
- Felderítettem a menetrendi eltérések függőségeit.
- A Big data analízis során felderítettem az adatok mögött húzódó összefüggéseket.
- Megterveztem a BI lekérdező eszköz segítségével előállított eredmények vizualizációját.
- Kutatásaim révén összefüggést találtam a munkaidőn belüli tartózkodási idő kihasználatlanságára és megállapítottam a működési hatékonyságra vonatkozó eljárások beavatkozási pontjait.

2. tézis

A Huisman és munkatársai által kidolgozott és publikált, klasszikus VCSP modellt kiterjesztettem az üzemanyag fogyasztás és a parkolási korlátozások kezelésére, szem előtt tartva az integrált megközelítést és a gyakorlati alkalmazhatóságot, nevezetesen a BKV specifikus elvárásokat és adottságokat.

Bevezettem egy úgynevezett járatösszevonási eljárást, amely a feladat méretének a csökkenését eredményezte.

Esettanulmányban meghatároztam a szolgálati számokat és megállapítottam, hogy a menetrend költségelemei, a járműüzemóra, az összes munkaóra mindegyike csökkent. A módszernek köszönhetően az eddigi gyakorlati működéshez képest több mint 10% csökkentést sikerült elérni a tartózkodási idő tekintetében, és ezzel együtt sikerült hatékonyabbá tenni a járművek üzemidejét is.

Igazoltam, hogy a módszer alkalmas a hatékony erőforrás-gazdálkodás tervezésére a rendelkezésre álló mennyiségi és minőségi paraméterek figyelembevételével.

- A gyakorlati menetrend megvalósítás folyamatainak ismeretében kidolgoztam ennek az elméleti módszernek az alkalmazásba vételének lépéseit.
- Meghatároztam a kombinált jármű- és személyzet ütemezés optimalizáló modell legfontosabb elemeit, a modellt leíró gráf jellemzőit, amelyen a matematikai programozási modell alapul.
- Definiáltam az eljárás főbb lépéseit.
- Meghatároztam az előfeltételeket, bemenő paramétereket, kiemelt figyelemmel a tartózkodási időre, illetve a munkaügyi szabályokra.
- Felépítettem a matematikai programozási modellt, ami a Huisman által részletesen leírt VCSP modell adaptált változata.
- Az algoritmust kiterjesztettem egyrészt az üzemanyag fogyasztás, másrészt a parkolási korlátozások kezelésére.
- A feladat méretének a csökkentése érdekében járatösszevonási technikát dolgoztam ki.
- Elvégeztem a matematikai modell formális leírását.
- A BKV gyakorlatában előforduló példák közül konkrét eseteken keresztül bemutattam a számítási eredményeket.

3. tézis

A klasszikus PNS módszertant adaptáltam a városi buszközlekedési feladatosztályra, megadtam az anyagáramok és műveleti egységek adekvát értelmezését, valamint a lehetséges megoldás-struktúra fogalmát értelmeztem a feladatosztályra. Az adekvát értelmezéshez egy további új tulajdonságot vezettem be. Az ütemes menetrend típusokra meghatároztam az adekvát maximális struktúra szerkezeti jellemzőit, melyek alapján egy konkrét menetrend megvalósítási feladat maximális struktúráját lehet generálni.

- A városi buszközlekedés menetrend-megvalósítási feladatosztályt azonosítottam a PNS módszertan keretein belül
- Megállapítottam, hogy a strukturális vizsgálatoknak alapvető szerepe van a megoldás során.
- Megadtam a maximális struktúrához tartozó MILP matematikai programozási modellt.
- Megadtam az alapvető jellemzők függvényében a MILP méreteinek felső korlátjait, ami mutatja, hogy a modell milyen nagyságrendben reálisan megoldható.
- Megállapítottam, hogy azáltal, hogy ezen módszer alkalmazása során a strukturálisan lehetséges megoldásokra kerül felírásra az alkalmazott matematikai programozási modell, ezért a memória, számítási kapacitás és idő, mint különböző erőforrások felhasználása hatékonyabb, mint a klasszikus megoldási módszerek alkalmazása során.

4. tézis

A városi buszközlekedés esetén a tetszőleges járatindítású menetrend típusok P-gráf módszertanra alapozott magvalósítását tanulmányoztam és a következő eredményeket értem el:

- Megadtam az említett feladatosztályhoz az adekvát maximális struktúrát.

- Meghatároztam annak szerkezeti jellemzőit, melyek alapján egy konkrét menetrend-megvalósítási feladat maximális struktúráját generálni lehet.
- Megadtam az alapvető jellemzők függvényében a maximális struktúra (P-gráf) méretét, a csúcsok és az élek darabszámát típusonként.
- Megadtam a maximális struktúrához tartozó MILP matematikai programozási modellt.
- Megadtam az alapvető jellemzők függvényében a MILP méretét, külön a korlátozási feltételek darabszámát, valamint a változók darabszámát bináris, egész és valós típusonként.

5 Az eredmények hasznosítási lehetősége

A kutatásom során kialakítottam egy olyan menetrend megvalósítási módszert, amely alkalmas a rendelkezésre álló erőforrások hatékonyabb felhasználására, figyelembe veszi azok mennyiségi és minőségi paramétereit. Kimutattam, hogy a munkaidő optimális kihasználása révén az üzemi tervezés hatékonyabbá tehető.

Az általam javasolt munkaidő-optimalizálási módszer jobban megfelel a gyakorlati alkalmazásoknak, mint a szakirodalomban található elméleti megoldások.

Két valós példán keresztül megvizsgáltam a főbb menetrendi mutatószámokat, úgymint a szolgálatok idejét, a tartózkodási időt, a jármű üzemórát és a menetrendkészítés idejét. Ezekkel igazoltam a kutatási eredményeket. A számítási eredmények alapján a mutatók mindegyike csökkent az eljárás alkalmazásával. A módszernek köszönhetően több mint tíz százalék csökkenést sikerült elérni a tartózkodási időben, és ezzel együtt sikerült hatékonyabbá tenni a járművek üzemórát is, ami igazolta, hogy a módszer alkalmas a hatékony erőforrás-gazdálkodás megvalósítására. A járművezetők tartózkodási idejéből a nem vezetéssel és nem pihenéssel töltött idő tekintetében társasági szinten akár évi több tízmillió forintos nagyságrendű megtakarítás prognosztizálható.

Egy átlagos budapesti járatszám mellett a P-gráf módszeren alapuló modell becsült változószáma mintegy ötödére csökkent, ezáltal kisebb kapacitás szükségletet igényel a számítási infrastruktúrán. Míg a szakirodalomban megismert módszerek esetében a feladat megoldására egyetlen nagyméretű matematikai modell került felírásra, addig a P-gráf módszer alkalmazásával lehetőségünk van több lépésben, több kisebb méretű matematikai modell megoldásán keresztül eljutni az optimális megoldáshoz, továbbá lehetőség van másodlagos optimalizálási szempontokat is figyelembe venni.

Az eszközrendszer bevezetése konkrét gazdasági előnyt jelent a közlekedési szolgáltató számára.

A menetrend megvalósítási feladat P-gráf alapú modellezésének eddigi elméleti eredményei alapján folytatni tervezem a kutatást.

A további vizsgálatok arra irányulnak, hogy egy ipari méretű alkalmazás során a kidolgozott modell a szükséges és elvárt szempontokkal kiegészítve valós ütemezési feladatokat oldjon meg. További specifikus feltételeket tervezek beépíteni a modellbe, amelyek valós alkalmazási környezetből származnak.

A céloom egy olyan termékszintű szoftver előállítására, amely képes támogatni egy Budapest méretű városban a buszközlekedés valós idejű, napi szintű menetrend megvalósítási feladatait. Távlati céloom a modell kiterjesztése a közösségi közlekedésben előforduló más járműtípusokra is.

6 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

Lektorált nemzetközi folyóiratcikkek

1. [Nagy, Albert ; Ercsey, Zsolt ; Tick, Jozsef ; Kovacs, Zoltan](#)
[Bus Transport Process Network Synthesis](#)
ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 16 : 7 pp. 25-43. , 19 p. (2019)
[DOI WoS Scopus](#)
Folyóiratcikk/Szakcikk (Folyóiratcikk)/Tudományos [30830749]
2. [Békési, József ; Nagy, Albert](#)
[Combined Vehicle and Driver Scheduling with Fuel Consumption and Parking Constraints: a Case Study](#)
ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 17 : 7 pp. 45-65. , 21 p. (2020)
[DOI WoS Egyéb URL](#)
Folyóiratcikk/Szakcikk (Folyóiratcikk)/Tudományos [31649321]
3. [Zsolt, Ercsey ; Albert, Nagy ; József, Tick ; Kovacs, Zoltan](#)
[Bus Transport Process Networks with Arbitrary Launching Times](#)
ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 2021 pp. 1-17. , 17 p. (2021)
Folyóiratcikk/Szakcikk (Folyóiratcikk)/Tudományos [31921669]

Lektorált nemzetközi konferencia kiadványokban megjelent cikkek

1. [Albert, Nagy ; József, Tick](#)
[Improving Transport Management with Big Data Analytics](#)
In: Szakál, A (szerk.) [2016 IEEE 14TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTELLIGENT SYSTEMS AND INFORMATICS \(SISY\)](#)
New York (NY), Amerikai Egyesült Államok : IEEE (2016) 278 p. pp. 199-203. , 5 p.
Könyvrészlet/Konferenciaközlemény (Könyvrészlet)/Tudományos [3167624]
2. [Albert, Nagy ; József, Tick](#)
[Review of Predictive Analytics Vendors for Transport Management Systems](#)
In: Szakál, Anikó (szerk.) [2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics \(SISY\) : 15th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics](#)
New York (NY), Amerikai Egyesült Államok : IEEE, (2017) pp. 225-230. , 6 p.
[DOI IEEE Xplore WoS](#)
Könyvrészlet/Konferenciaközlemény (Könyvrészlet)/Tudományos [3295022]
3. [Albert, Nagy ; József, Tick](#)
[Modeling of operative planning solution for transport management systems](#)
In: Szakál, Anikó (szerk.) [Proceedings of 22nd IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems 2018 \(INES 2018\)](#)
Budapest, Magyarország : IEEE Hungary Section (2018) 441 p. pp. 401-406. , 6 p.
Könyvrészlet/Konferenciaközlemény (Könyvrészlet)/Tudományos [3412084]
4. [Albert, Nagy ; József, Tick](#)
[Tasks of operative planning for transport management systems](#)
In: Szakál, Anikó (szerk.) [2019 IEEE 17TH WORLD SYMPOSIUM ON APPLIED MACHINE INTELLIGENCE AND INFORMATICS \(SAMI 2019\)](#)
Herlany, Szlovákia : IEEE (2019) pp. 199-204. , 5 p.

Könyvrészlet/Konferenciaközlemény (Könyvrészlet)/Tudományos [30430073]

5. [Albert, Nagy ; József, Tick](#)
[Modeling of bus transport operative planning tasks](#)
In: Szakál, A (szerk.) [IEEE 18th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics \(SAMI 2020\)](#)
Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok : IEEE (2020) pp. 89-94. , 6 p.
[DOI Egyéb URL](#)
Könyvrészlet/Konferenciaközlemény (Könyvrészlet)/Tudományos [31183610]

7. Irodalmi hivatkozások listája

- [1] Dr. Fülöp Gábor, Dr. Horváth Balázs, Dr. László György, Dr. Prileszky István és Szabó Lajos, Közforgalmú Közlekedés I-II., Széchenyi István Egyetem: közlekedésmérnök szak, Jegyzetek.
- [2] Az Európai Közösségek Bizottsága, A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának, A városi mobilitás cselekvési terve, Brüsszel, 2009.09.30. com (2009) 490.
- [3] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics. Lekérdezés: 2020. május. <https://population.un.org/wup/Download/>.
- [4] Zöld Könyv, A városi mobilitás új kultúrája felé, Brüsszel, 2007.09.25., COM (2007) 551.
- [5] G. B. Dantzig és J. H. Ramser, The truck dispatching problem. *Management Science*, 6:80-91, 1959.
- [6] Clarke G. és Wright J. R., Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581., 1964.
- [7] D. L. Applegate, R. E. Bixby, V. Chvátal és W. J. Cook, *The Traveling Salesman Problem : A Computational Study*, Seattle: ThriftBooks, 2007.
- [8] P. Toth és D. Vigo, An overview of vehicle routing problems. *The Vehicle Routing Problem*, Society of Industrial and Applied Mathematics, 2002.
- [9] Barany Mate, *Modeling Vehicle Routing Problems as Process-Network Synthesis Problems, Industrial Applications of the P-Graph Framework*, PhD dissertation, University of Pannonia, 2015.
- [10] M. Frits, *Algoritmusok és informatikai rendszerek kidolgozása ipari folyamatok ütemezésének és kapacitás elosztásának együttes optimalizálására*, doktori értekezés, 2020.
- [11] L. Bodin, B. Golden, A. Assad és M. Ball, Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art, *Computers and Operations Research*, 10, 63-211, 1983.
- [12] N. Kliewer, T. Mellouli és L. Suhl, A time-space network based exact optimization model for multi-depot bus scheduling, *European Journal of Operational Research*, 175, 1616-1627, 2006.
- [13] A. Löbel, *Optimal Vehicle Scheduling in Public Transit*, PhD. thesis, Technische Univesitaet at Berlin, 1997.
- [14] C. Ribeiro és F. Soumis, A Column Generation Approach to the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem, *Operations Research*, 41-52, 1994.
- [15] A. Hadjar, O. Marcotte és F. Soumis, *A Branch-and-Cut Algorithm for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem*, Montreal: Les Cahiers du Gerad, 2001.
- [16] B. Dávid és M. Krész, Application Oriented Variable Fixing Methods for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem, *Acta Cybernetica*, 21(1), 53-73, 2013.
- [17] J. L. Saha, An algorithm for bus scheduling problems, *Operational Research Quarterly*, 21(4), 463-474, 1972.

- [18] A. Bertossi, P. Carraresi és G. Gallo, On Some Matching Problems Arising in Vehicle Scheduling Models, *Networks*, 17, 271-281, 1987.
- [19] J. Békési, B. Dávid és M. Krész, Integrated Vehicle Scheduling and Vehicle Assignment, *Acta Cybernetica*, 23, 783-800, 2018.
- [20] J. Adler és P. Mirchandani, The vehicle scheduling problem for fleets with alternative-fuel vehicles, *Transportation Science*, 51, 441-456, 2016.
- [21] J. Li, Transit bus scheduling with limited energy, *Transportation Science*, 521-539, 2013.
- [22] J. Li, Battery-electric transit bus developments and operations: A review, *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(3), 157-169, 2016.
- [23] J.-Q. Li és K. Head, Sustainability provisions in the bus-scheduling problem, *Transportation Research Part D.*, 49, 50-60, 2009.
- [24] A. Rabl, „Environmental benefits of natural gas for buses, *Transportation Research Part D.*, 7, 391-405,” 2002.
- [25] B. Dávid és M. Krész, Multi-depot bus schedule assignment with parking and maintenance constraints for intercity transportation over a planning period, *Transportation Letters*, 12(1), 66-75, 2020.
- [26] B. Dávid és M. Krész, The dynamic vehicle rescheduling problem, *Central European Journal of Operations Research*, 25(4), 809-830, 2017.
- [27] A. Haghani és Y. Shafahi, „Bus maintenance systems and maintenance scheduling: model formulations and solution, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(5), 453-482,” 2002.
- [28] R. Kwan, A. Kwan és A. Wren, Evolutionary Driver Scheduling with Relief Chains, *Evolutionary Computation*, 9, 445-460, 2001.
- [29] J. Li, A Self-Adjusting Algorithm for Driver Scheduling, *Journal of Heuristics*, 351-367, 2005.
- [30] A. Wren, S. Fores, A. Kwan, R. Kwan, M. Parker és L. Proll, A flexible system for scheduling drivers, *Journal of Scheduling*, 6(5), 437-455, 2003.
- [31] M. Garey és D. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, San Fransisco: Freeman, 1979.
- [32] A. Tóth és M. Krész, A flexible framework for driver scheduling, In *Proceedings of the 11th International Symposium on Operational Research, Slovenia.*, 2011.
- [33] A. Tóth és M. Krész, An efficient solution approach for real-world scheduling problems in urban bus transportation, *Central European Journal of Operations Research*, 21, 75-94, 2013.
- [34] O. Ibarra-Rojas, R. Giesen és Y. Rios-Solis, An integrated approach for timetabling and vehicle scheduling problems to analyze the trade-off between level of service and operating costs of transit networks, *Transportation Research Part B*, 70, 35-46, 2014.

- [35] K. Haase és C. Friberg, An exact branch and cut algorithm for the vehicle and crew scheduling problem, In *Computer-Aided Transit Scheduling*, Berlin: Springer, 1999.
- [36] M. Desrochers és F. Soumis, A column generation approach to the urban transit crew scheduling problem, *Transportation Science*, 23(1), 1-13, 1989.
- [37] A. Gaffi és M. Nonato, An integrated approach to the extra-urban crew and vehicle scheduling problem, In *Computer-Aided Transit Scheduling*, (ed. N.H.M. Wilson), Berlin: Springer, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.
- [38] D. Huisman, R. Freling és A. Wagelmans, Multiple-depot integrated vehicle and crew scheduling, *Transportation Science*, 39, 491-502, 2005.
- [39] D. Huisman, Thesis - Integrated and Dynamic Vehicle and Crew Scheduling, 2004.
- [40] R. Freling, D. Huisman és A. Wagelmans, Models and algorithms for integration of vehicle and crew scheduling, *Journal of Scheduling*, 6, 63-85, 2003.
- [41] K. Haase, G. Desaulniers és J. Desrosiers, Simultaneous vehicle and crew scheduling in urban mass transit systems, *Transportation Science*, 35(3), 286-303, 2001.
- [42] M. Mesquita és A. Paias, Set partitioning/covering-based approaches for the integrated vehicle and crew scheduling problem, *Computers and Operations Research*, 35, 1562-1575, 2008.
- [43] M. Horváth és T. Kis, Computing strong lower and upper bounds for the integrated multiple-depot vehicle and crew scheduling problem with branch-and-price, *Central European Journal of Operations Research*, 27, 39-67, 2019.
- [44] I. Steinzen, V. Gintner, L. Suhl és Kliewer, A Time-Space Network Approach for the Integrated Vehicle- and Crew-Scheduling Problem with Multiple Depots, *Transportation Science*, 4(3), 367-382, 2010.
- [45] F. Friedler, K. Tarjan, Y. Huang és L. Fan, Graph-theoretic approach to process synthesis: axioms and theorems, *Chemical Engineering Science*, 47(8): 1973-1988, 1992.
- [46] F. Friedler, K. Tarjan, Y. Huang és L. Fan., *Combinatorial Algorithms for Process Synthesis*, *Computers Chemical Engineering*, 16, 313-320, 1992.
- [47] Z. Kovacs, Z. Ercsey, F. Friedler és L. Fan., Exact super-structure for the synthesis of separation-networks with multiple feed-streams and sharp separators, *Computers and Chemical Engineering*, 1007-1010, 1999.
- [48] Z. Kovacs, Z. Ercsey, F. Friedler és L. Fan., Separation-network synthesis: global optimum through rigorous super-structure, *Computers and Chemical Engineering*, 24:(8) pp.1881-1900, 2000.
- [49] B. Bertok, R. Adonyi és F. Friedler, Optimal Design of Supply Chains by the P-Graph Framework, *Computer-Aided Chemical Engineering*, 25:pp 1445-1450, 2009.
- [50] M. Barany, B. Bertók, Z. Kovacs, F. Friedler és L. Fan., Solving vehicle assignment problems by process-network synthesis to minimize cost and environmental impact of transportation, 2011.

- [51] J. Garcia-Ojeda, B. Bertok és F. Friedler, Planning evacuation routes with the P-graph framework, *Chemical Engineering Transactions*, 29, 1531-1536, 2012.
- [52] H. Lam, J. Klemes, P. Varbanov és Z. Kravanja, P-graph synthesis of open-structure biomass networks, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52, 172-180, 2012.
- [53] J. Tick, P-Graph-based Workflow Modelling, *Acta Polytechnica Hungarica*, 4:1 pp. 75-88, 2007.
- [54] J. Tick, C. Imreh és Z. Kovács, Business Process Modeling and the Robust PNS Problem, *Acta Polytechnica Hungarica*, Volume 10, Issue Number 6, 193-204, 2013.
- [55] D. Almási, I. Cs. K. T és J. Tick, Heuristic Algorithms for the Robust PNS Problem, *Acta Polytechnica Hungarica*, 11:4 pp. 169-181, 2014.
- [56] J. García-Ojeda, B. Bertok, F. Friedler, A. Argoti és L. Fan, A preliminary study of the application of the P- graph methodology for organization-based multiagent system designs: Assessment, *Acta Polytechnica Hungarica*, 12:2 pp. 103-122, 2015.
- [57] I. Heckl, L. Halász, A. Szlama, H. Cabezas és F. Friedler, Process synthesis involving multi-period operations by the P-graphframework, *Computers and Chemical Engineering*, 83 pp. 157-164, 2015.
- [58] M. Atkins, Walmsley, T.G., Ong, B.H.Y., Walmsley, M.R.W., Neale és J.R., Application of P-graph techniques for efficient use of wood processing residues in biorefineries, *Chemical Engineering Transactions*, 52, 499-504, 2016.
- [59] N. Vincze, Z. Ercsey, T. Kovács , J. Tick és Z. Kovács, Process network solution of extended CPM problems with alternatives, *Acta Polytechnica Hungarica*, 13:3 pp. 101-117, 2016.
- [60] Ercsey Zsolt, Process network solution of a clothing manufacturer's problem, *Pollack Periodica*, 12:(1) pp. 59-67, 2017.
- [61] Benjamin, M.F.D., C. Cayamanda, R. Tan és L. Razon, P-graph approach to criticality analysis in integrated bioenergy systems, *Clean Techn Environ Policy*, 19: 1841-1854, 2017.
- [62] Aviso, K.B., J.-Y. Lee, J. Dulatre, V. Madria, J. Okusa és R. Tan, A P-graph model for multi-period optimization of sustainable energy systems, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 161, pp. 1338-1351, 2017.
- [63] Z. Kovacs, Z. Ercsey, F. Friedler és L. Fan, Redundancy in a separation-network, *Hungarian journal of industry and chemistry*, 26:3 pp. 213-219, 1998.
- [64] A. Bartos és B. Bertok, Production line balancing by P-graphs, 2019.
- [65] B. Bertók és A. Bartos , Renewable energy storage and distribution scheduling for microgrids by exploiting recent developments in process network synthesis, *Journal of Cleaner Production*, Volume 244., 118520, January 2020.
- [66] E. Sanmarti, L. Puigjaner , T. Holczinger és F. Friedler, Combinatorial framework for effective scheduling of multipurpose batch plants, *Aiche Journal*, 48:11 pp. 2557-2570, 2002.
- [67] Z. Sule, B. Bertok, F. Friedler és L. Fan, Optimal design of supply chains by P-graph framework under uncertainties, *Chem Eng* 25: 453-458, 2011.

- [68] H. Cabezas, A. Argoti, F. Friedler, P. Mizsey és J. Pimentel, Design and Engineering of Sustainable Process Systems and Supply Chains by the P-Graph Framework, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Vol. 37. No. 2., 624-636, 2018.
- [69] R. Tan, K. Aviso és D. Foo, P-graph and Monte Carlo simulation Approach to planning carbon management networks, *Computers & Chemical Engineering*, 106, 872-882, 2017.
- [70] É. König és B. Bertók, Process graph approach for two-stage decision making: Transportation contracts, *Computers and Chemical Engineering*, 121, 1-11, 2019.
- [71] Y. Fan, J. Klemeš, T. Walmsley és B. Bertók, Implementing Circular Economy in municipal solid waste treatment system using P-graph, *Science of the Total Environment*, 701, 134652, 2020.
- [72] R. Tan és K. Aviso, An extended P-graph approach to process network synthesis for multi-period operations, *Comput Chem Eng*, 85:40, 2016.
- [73] M. Meilton, Selecting and implementing a computer aided scheduling system for a large bus company, *Algorithms: Combinatorial Analysis*. In *Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- [74] G. Desaulniers és M. Hickman, Public transit, *Handbooks in operations research and management science*, Vol.14. Chapter 2, Elsevier B.V., 2007.
- [75] A. Ceder, *Public Transit Planning and Operation: Theory Modeling and Practice*, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2007.
- [76] Tan, P.-N., Steinbach, M., Kumar és V., *Adatbányászat (Alapvetés)*, Budapest: Taramix Kft., 2012.
- [77] Chu és Wesley W., *Data Mining and Knowledge Discovery for Big data Methodologies, Challenge and Opportunities*, Springer, 2014.
- [78] Mayer-Schönberger, V., Cukier és K., *Big Data (Forradalmi módszer, amely megváltoztatja munkánkat, gondolkodásunkat és egész életünket)*, Budapest: HVG Kiadó Zrt., 2014.
- [79] Bógel György, *A BIG DATA ökoszisztémája*, Budapest: Typotex Kiadó, 2016.
- [80] Yu, S. and Guo és S., *Big Data Concepts, Theories, and Applications*, Springer, 2016.
- [81] A. Gandomi és M. Haider, Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics, *International Journal of Information Management*, 137-144, 2015.
- [82] Z. Blázsik és B. Imreh, A Note on Connection between PNS and Set Covering Problems, *Acta Cybernetica*, 309-312, 1996.
- [83] J. Fülöp, B. Imreh és F. Friedler, On the reformulation of some classes of PNS problems as set covering problems, *Acta Cybernetica*, 329-337, 1998.
- [84] B. Imreh, J. Fülöp és Friedler F., A note on the equivalence of the set covering and Process Network Synthesis problems, *Acta Cybernetica*, 497-501, 2000.