

Tevékenységi láncok optimalizálásának szimulációs eredményei

Esztergár-Kiss Domokos*, Rózsa Zoltán, Tettamanti Tamás

* *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar (KJK)
Tel: +36-1-461-1029, email: esztergar@kku.bme.hu*

A napi tevékenységi láncok szervezése során optimalizáló algoritmusok használatával csökkenthető az utazásra fordított idő értéke. Az optimalizálás az egyes tevékenységek sorrendjének, időpontjának és helyszínének megváltoztatásával érhető el. A kidolgozott modellben az egyes tevékenységek prioritizálásával, azaz térbeli és időbeli flexibilitásának meghatározásával értünk el utazási idő csökkenést. Az algoritmus a TSP (Traveing Salesman Problem) módszer továbbfejlesztett változatát a TSP-TW (Time Window) használja, mely szubjektív paraméterek alapján adja meg a tevékenységek helyszíneinek optimális bejárasi sorrendjét. A szimulációk során személygépjárművel és közösségi közlekedés használatával vizsgáltuk az elérhető utazási idő nyereséget. A futtatások eredményeként 10-15%-os utazási idő csökkenést értünk a teljes napi tevékenységi láncot tekintve.

1. BEVEZETÉS

A napi tevékenységi láncok vizsgálatával több cikkben (Hine et al., 2012; Timmermans et al., 2003; Miller and Roda, 2003) és könyvben (Timmermans, 2005) is foglalkoznak. Ez egyrészt fontos az utasok optimális napi időbeosztása miatt, másrészt az egyéni optimális utazások hozzájárulnak a közlekedés egészének javításához akár a torlódások vagy üzemanyag-fogyasztás csökkenése szempontjából (Zöldy and Török, 2015). A tevékenységi láncok esetében ismétlődések és rutinok fedezhetőek fel (pl. munkahelyre járás), melyek függenek a felhasználók demográfiai helyzetétől (Kerr et al., 2007), a tevékenységek helyszíneinek térbeli elhelyezkedéstől (Buliung et al., 2008) és a felhasználók személyes jellemzőitől (Kang and Scot, 2010; Artenze, 2013). Több felmérés készült az átlagos utazási távolság és idő meghatározására (Kamruzzaman et al., 2011), illetve általánosan tevékenységi láncok tervezésére vonatkozóan (Nijland et al., 2012; Doherty, 2005). A tevékenységi láncok szervezésének térbeli és időbeli lehetőségeivel (Doherty, 2006), dinamikus tervezésével (Rooda and Miller, 2005; Nijland, 2009; Marki, 2011), illetve a lehetséges konfliktusok feloldásával (Auld, 2008) kapcsolatban is számos publikáció készült. Továbbá Európai Unió kutatási programok is foglalkoztak a kérdéskörrel, mint az i-Tour projekt, melyben adaptív, személyre szabott multimodális útvonaltervezést valósítottak meg (Nuzzolo and Comi, 2014).

A tevékenységi láncok tervezése során az egyes tevékenységek megfelelő sorrendbe állítására a TSP (Traveling Salesman Problem) nyújt megoldást (Reinelt, 1994; Appelgate et al., 2007), aminek egy változatát VRP (Vehicle Route Problem)-ként is ismeri a szakirodalom (Toth and Vigo, 2002; Golden et al., 2008).

A TSP probléma megoldását közel 50 éve fedezték fel, és azóta számos változata került implementálásra. Az alapprobléma az, hogy adottak igénypontok, amelyeknek valamilyen szempont szerint meg kell adni a bejárasi sorrendjét. Ez a szempont egy ellenállást jelent, ami lehet utazási távolság, idő, költség, átszállások száma, és ezek kombinációjaként képzett érték.

Alapvetően a TSP logisztikai rendszerekben használatos, mi azonban egy személyközlekedési alkalmazás létrehozását tűztük ki célul. Esetünkben az egyes igénypontoknál további megkötést is kell tenni, hiszen a boltok, illetve közintézmények nyitvatartási idejét is figyelembe kell venni. Éppen ezért a TSP-TW (TSP Time Window) változatát használva alkottuk meg az optimalizáló algoritmusunkat. A TSP-TW módszerrel és annak algoritmikus megoldási lehetőségeivel több cikk foglalkozik (Baldacci et al., 2011; Koskosidis et al., 1992; Dumas et al., 1995; Savelsberg, 1992; Kolen et al., 1987; Ghiani et al., 2011; Dash et al., 2012). A módszert térben és időben mozgatható igénypontokkal bővítenénk ki (flexibilis megoldások), és azt vizsgáljuk, hogy ezzel milyen előnyökhöz juthatunk az alap megoldáshoz képest.

2. A MÓDSZER LEÍRÁSA

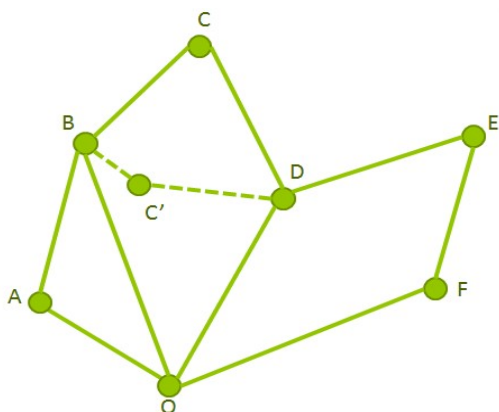
A tevékenységi láncok képzésénél feltételezzük, hogy az utas tudja, hogy mit szeretne aznap csinálni, a modell célja, hogy a már meglévő adatok alapján állítson fel egy bejárasi sorrendet. A jelenleg elérhető TSP módszerek, melyeket hagyományos TSP-nek nevezünk el, abból indulnak ki, hogy ismertek az igénypontok és az köztük fennálló ellenállás értékek. A szabály alapján minden igénypontot egyszer érint, és a legkisebb ellenállás szerint teszi sorrendbe az igénypontokat.

Flexibilisnek értelmezzük azt a TSP módszert, amely esetében az utazó szubjektív igényei szerint az igénypontok tetszőlegesen kiválthatók ugyanolyan funkciót ellátó szolgáltatással. A rugalmas TSP-vel olyan esetekben is található megoldás, amikor a hagyományos TSP-vel nem.

A prediktív TSP alapgondolata onnan származik, hogy a már feltárt szolgáltatások halmazából következtetünk a további feltárandó szolgáltatások körére. Így nem csupán a körút bejárásai sorrendre tudunk javaslatot tenni, hanem az utazó látens igényeire is hatni tudunk.

A módszer kidolgozása során a flexibilis TSP-t valósítottuk meg és a tevékenységeket 4 különböző prioritási címkével láttuk el. Az 1-es prioritási címkéjű tevékenységek (fix) esetében a tevékenység helyszíne és időpontja nem változtatható. A 2-es prioritási címke (térben flexibilis) esetében időben fix, de térben flexibilis tevékenységek valósulhatnak meg, azaz adott típusú tevékenység tetszőleges helyszínen végezhető el. A 3-as prioritási címke (időben flexibilis) azt jelenti, hogy a nap folyamán bármikor elvégezhető az adott tevékenység, viszont ennek helye meg van határozva. A 4-es prioritási címke a teljesen flexibilis tevékenységeket jelöli, ekkor az adott tevékenység a korlátozó feltételektől függően akár el is tolató egy másik napra, azaz elvégzése nem kötelező.

Térbeli flexibilitás esetén az eredetileg kiválasztott (C) igénypontokhoz képest a módszer alapján kidolgozott algoritmus egy alternatív igénypontot (C') keres, mely legközelebb van a többi fix tevékenység helyszínéhez (1. ábra). Az optimalizált tevékenységi lánc helyszíneinek bejárása kevesebb utazási idővel végezhető.



1. ábra: Módszer sematikus ábrája flexibilis igényponttal

Az igénypontok esetében a valós időablakokat (TR) a nyitvatartási idők (TW) határozzák meg, amelyekből levontuk az processzási időt (TP), mivel úgy kell odaérni az adott igényponthoz (TT), hogy a tervezett tevékenységeket el is lehessen végezni (pl. vásárlás).

$$TR = TW - TP \quad (1)$$

A következő feltételeknek teljesülniük kell a modell esetében:

- minden nyitvatartási idő (TW) legalább olyan hosszú, mint a processzási idő (TP),

$$TW \geq TP \quad (2)$$

- egy igénypont akkor érhető el, ha a valós időablak (TR) és az utas által igényelt időablak (TD) legalább a processzási időtartamban (TP) megegyezik,

- minden (már mozgató) igénypont elérhető az eljutási idő (TT) alatt,

$$TT \geq TR_n - TR_m \quad (3)$$

- a teljes eljutási idő (T) az eljutási idők (TT), a processzási idők (TP) és az esetleges várakozási idők (Twait) összege.

$$T = \sum(TT + \sum TP) + \sum T_{wait} \quad (4)$$

3. OPTIMALIZÁLÓ ALGORITMUS

A napi tevékenységi láncok optimalizálásának folyamatát a 2. ábra szemlélteti. Elsőként az adatbevitelem kerestül a tevékenységek részletei kerülnek megadásra (pl. POI típus, kezdési idő, befejezési idő, prioritási címke, koordináták). Minden tevékenység rendelkezik egy prioritási címkével: a térben és időben rögzített pontok 1-es, míg a rugalmas tevékenységek 2-es, 3-as, ill. 4-es címkéket kaphatnak. A módszer során két különböző utazási mód használata lehetséges: autó és közösségi közlekedés. A lehetséges tevékenységi láncok kiszámításához a TSP-TW alap algoritmusát implementáltuk.

3.1 Prioritások kezelése

A 2-es prioritási címkéjű tevékenységek (térben flexibilis) esetében az algoritmus alternatív igénypontokat keres az Overpass API (Application Programming Interface) segítségével. Az Overpass API egy olyan alkalmazás-programozási interfész, amely lehetővé teszi a tevékenységek lehetséges helyszíni adatainak (pl. POI típus, nyitvatartási idők) lekérést adott területen belül. Amennyiben meghatározott távolságban elérhető alternatív igénypont, az Overpass API leszűri az igénypont adatait.

A 3-as prioritási címkéjű tevékenységek (időben flexibilis) esetében csak a kezdési és befejezési idő változik, mely a teljes napot felöleli.

A 4-es prioritási címkéjű tevékenységek (teljesen flexibilis) esetében amennyiben a korlátozó feltételek nem teljesülnek semmilyen módon, akkor az adott tevékenység kikerül a tevékenységek listájából, és az optimalizálás a maradék tevékenységekre történik meg.

3.2 Közlekedési módok számolása

Az autós közlekedési mód esetében egy utazási idő mátrix kerül kiszámításra a Google API (olyan alkalmazás-programozási interfész, amely lehetővé teszi a Google-szolgáltatásokkal – a mi esetünkben a Google-térképpel – való direkt kapcsolatot) felhasználásával, mely két tetszőleges pont (esetünkben a tevékenységek helyszínei)

között ad vissza eljutási idő adatokat. A számítás során az összes tevékenység közötti utazásra, illetve minden lehetséges tevékenységi láncra lekérjük az adatokat.

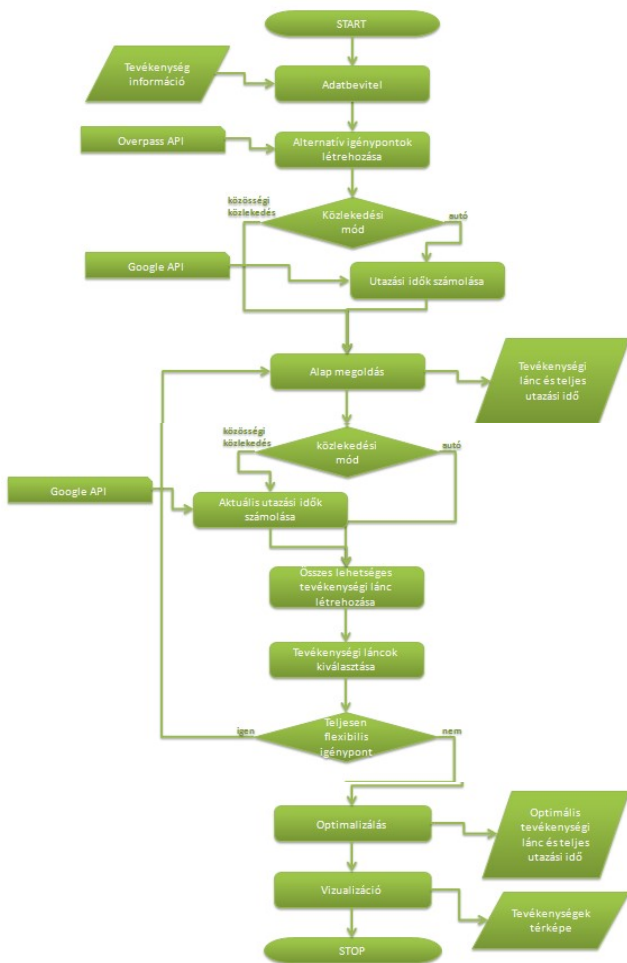
A közösségi közlekedési mód esetében az utazási idő mátrix helyett az aktuális utazási időket vesszük figyelembe a Google API segítségével.

3.3 Megoldások bemutatása

Az algoritmus egy alap megoldást (tevékenységi láncot) generál, ahol azt feltételezzük, hogy minden tevékenység fix. Ez az alap megoldás tartalmazza a tevékenységek helyszínait és a teljes utazási időt, mely referenciaként szolgál a további összehasonlításokhoz.

Az algoritmus az optimális megoldást is megadja, mely már figyelembe veszi a felhasználó által beállított prioritásokat. Ekkor tehát a flexibilis tevékenységeket tartalmazó lánc kiszámítása történik meg minden lehetséges alternatívát figyelembe véve. A lehetséges optimális megoldások generálása során csak azok a tevékenységi láncok kerülnek kiválasztásra, amelyek megfelelnek a megadott korlátozó feltételeknek. Az összes lehetséges tevékenységi lánc kiszámítása után az algoritmus kiválasztja azt, amelyik esetben a legkevesebb a teljes utazási idő.

A módszer eredményként az optimális napi tevékenységi láncot Google-térképen is vizualizáljuk.



2. ábra: Optimalizáló algoritmus lépései

5. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

A szimulációt valós közlekedési hálózaton véletlenszerűen kiválasztott tevékenységekkel végeztük el. A szimulációs keretrendszer Matlabban környezetben valósítottuk meg. Az alábbiakban ismertetett példa tevékenységi lánc 5 tevékenységből áll. A számítás nagy komplexitása és időigénye miatt ennél sokkal több tevékenység és flexibilitás nehezen valósítható meg a jelenlegi módszerrel. A Google API által biztosított napi 2500-as lekérési limit további gyakorlati korlátozást jelent az algoritmus számára. Ennek következtében a bemutatott példa 1 darab térben flexibilis (2-es prioritási címkéjű) tevékenységet (posta) tartalmaz.

5.1 Bemelő adatok

A napi tevékenységi lánc bemeneti adatait az 1. táblázat tartalmazza. Az optimalizáló algoritmus futtatásához a következő adatok szükségesek: tevékenység típusa, tevékenység időtartama (TP), prioritási címke (1, 2, 3, 4), a nyitási, zárási időpontok az egyes tevékenységekre vonatkozóan (ez határozza meg a nyitvatartási időket, TR), a legkorábbi időpont a tevékenység elkezdésére és a legkésőbbi időpont a befejezésére (ez a két időpont jelöli ki a felhasználó időablakát, TD).

1. táblázat Példa napi tevékenységi lánc bemenő adatai

tevékenység típusa	tevékenység időtartama	prioritási címke	nyitási idő	zárási idő	legkorábbi kezdési idő	legkésőbbi befejezési idő
munkahely	540 perc	1	08:00:00	17:00:00	08:00:00	20:00:00
fodrász	45 perc	1	10:00:00	21:00:00	17:00:00	21:00:00
posta	15 perc	2	08:00:00	18:00:00	17:00:00	21:00:00
pub	120 perc	1	12:00:00	23:00:00	18:00:00	22:00:00

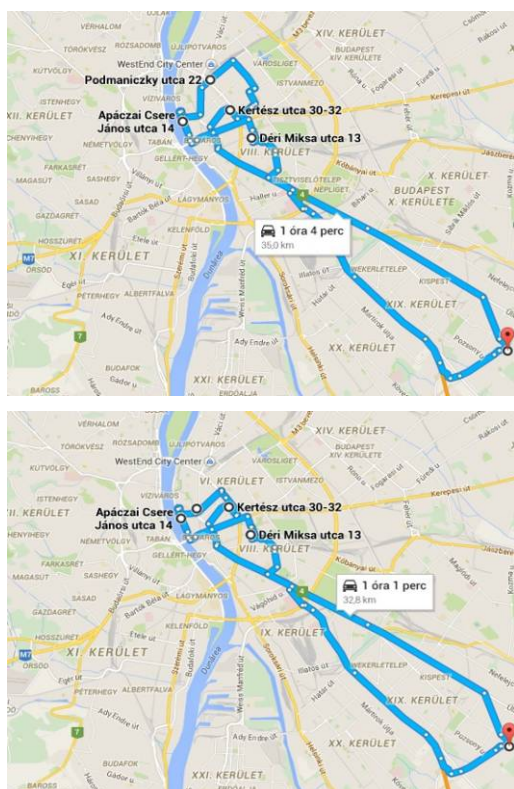
5.2 Szimuláció autós közlekedéssel

Személygépkocsival történő utazás esetén a tevékenységek típusait, illetve azok kezdésének és befejezésének időpontjait foglalja össze a 2. táblázat a bemutatott tevékenységi lánc példára.

2. táblázat Példa napi tevékenységi lánc fix és flexibilis tevékenységekkel (autó)

tevékenység típusa	alap megoldás (fix tevékenységek)		optimális megoldás (flexibilis tevékenységek)	
	Kezdési idő	Befejezési idő	Kezdési idő	Befejezési idő
1. munkahely	07:58:00	17:00:00	07:58:00	17:00:00
2. posta	17:16:00	17:31:00	17:12:00	17:27:00
3. fodrász	17:44:00	18:29:00	17:35:00	18:20:00
4. pub	18:42:00	20:42:00	18:33:00	20:33:00
5. otthon	21:08:00		20:59:00	
Teljes utazási idő	1 óra 38 perc		1 óra 29 perc	

Az alap megoldás (fix tevékenységekkel számolva) hosszabb utazási időt eredményezett, mivel eredetileg a felhasználó egy távolabb lévő, általa ismert postát (Mammut) választott, ezzel szemben az optimális megoldás esetében (flexibilis tevékenységekkel számolva) egy olyan alternatív igénypontot talált az algoritmus, amely közelebb esik a tevékenységi lánc többi eleméhez (3. ábra). Így ugyanazt a szolgáltatást (posta) kevesebb utazási idővel tudta elérni az utas. Az optimalizálás eredményeképpen 9 perc és kb. 9 % teljes utazási idő csökkenés valósult meg.



3. ábra: Példa napi tevékenységi lánc vizualizációja fix és flexibilis tevékenységekkel (autó)

5.3 Szimuláció közösségi közlekedéssel

A közösségi közlekedés esetében a tevékenységek típusai, a tevékenységek kezdő és befejező időpontjai, valamint a tevékenységek helyszínei között javasolt közösségi közlekedési járatok vannak összefoglalva a 3. táblázatban.

3. táblázat Példa napi tevékenységi lánc fix és flexibilis tevékenységekkel (közösségi közlekedés)

tevékenység típusa	alap megoldás (fix tevékenységek)			optimális megoldás (flexibilis tevékenységek)		
	Kezdési idő	Befejezési idő	Közösségi közlekedési járat száma	Kezdési idő	Befejezési idő	Közösségi közlekedési járat száma
1. munkahely	07:51:00	17:00:00	194, 99	07:51:00	17:00:00	194, 99
2. posta	17:22:00	17:37:00	6	17:14:00	17:29:00	105
3. fodrász	18:03:00	18:48:00	16	17:39:00	18:24:00	M1
4. pub	19:08:00	21:08:00	2, M2	18:47:00	20:47:00	2, M4
5. otthon	22:03:00		99, 194	21:40:00		99, 194
Teljes utazási idő	3 óra 13 perc			2 óra 50 perc		

A tevékenységek helyszínei ugyanazok, mint a korábbi esetben, csak a tevékenységek közötti eljutási mód (közösségi közlekedés) módosult. Ebben az esetben az optimalizálása során elért különbség még szignifikánsabb, melynek értéke 23 perc, azaz kb. 12 %-os teljes utazási idő csökkenést ért el a módszer segítségével ezen a példán.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A napi tevékenységi láncok optimális megszervezése egy összetett feladat, amely hatékonyan a TSP-TW módszer alkalmazásával oldható meg. A cikkben a módszer egy kiterjesztését ismertettük, amely képes térben és/vagy időben flexibilis tevékenységek kezelésére. A tevékenységek prioritizálásával a felhasználó személyre szabott módon meg tudja adni, hogy mely tevékenységi fixek és melyek flexibilisek. A fix tevékenységeket mindenképpen adott helyen és időben kell elvégezni, azaz a tevékenységi láncba iktatni. Az alacsonyabb prioritási címkével megjelölt (flexibilis) tevékenységek esetében pedig alternatív igénypontok keresésével közelebbi, illetve időben jobban illeszkedő tevékenységi helyszínek találhatóak. A kidolgozott módszer lényegében flexibilis tevékenységek segítségével és a megadott korlátozó feltételek figyelembe vétele mellett keres optimális megoldást a teljes utazási idő minimalizálása érdekében.

HIVATKOZÁSOK

- Applegate D.L., Bixby R.E., Chvátal V., Cook W.J. (2007) *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press, ISBN: 9780691129938
- Arentze T.A (2013) *Adaptive Personalized Travel Information Systems: A Bayesian Method to Learn Users' Personal Preferences in Multimodal Transport Networks*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.14, Issue 4 , pp. 1957 – 1966.
- Auld J., Mohammadian A.K., Sean T., Doherty S.T. (2008) *Analysis of Activity Conflict Resolution Strategies*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue 2054, pp. 10-19.
- Baldacci R., Mingozzi A., Roberti R. (2011) *New State-Space Relaxations for Solving the Traveling Salesman Problem with Time Windows*, INFORMS Journal on Computing, Vol. 24, Issue 3, pp. 356-371.
- Brown, F., M.G. Harris and A.N. Other (1994). Name of paper. In: *Name of book in italics or underlined* (Name(s) of editor(s). (Ed)), page numbers. Publisher, Place of publication.
- Buliung R.N., Roorda M.J., Rimmel T.K. (2008) *Exploring spatial variety in patterns of activity-travel behaviour: initial results from the Toronto travel-activity panel survey (TTAPS)*, Transportation, Vol.35, Issue 6, pp. 697–722.
- Dash S., Gülnük O., Lodi A., Tramontani A. (2012) *A Time Bucket Formulation for the Traveling Salesman Problem with Time Windows*, INFORMS Journal on Computing, Vol. 24, Issue 1, pp. 132-147.

- Doherty S.T. (2005) *How far in advance are activities planned? Measurement challenges and analysis*, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue 1926, pp. 40-49.
- Doherty S.T. (2006) *Should we abandon activity type analysis? Redefining activities by their salient attributes*, Transportation, Vol.33, Issue 6, pp. 517-536.
- Dumas Y., Desrosiers J., Gelinás E., Somolón M.M. (1995) *An Optimal Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows*, Operations Research, Vol. 43, Issue 2, pp. 367-371.
- Ghiani G., Manni E., Thomas B.W. (2011) *A Comparison of Anticipatory Algorithms for the Dynamic and Stochastic Traveling Salesman Problem*, Transportation Science, Vol. 46, Issue 3, pp. 374-387.
- Golden B.L., Raghavan S., Wasil E.A. (2008) *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Springer, ISBN: 978-0-387-77778-8, pp. 389-417.
- Hine J., Kamruzzaman Md., Blair N. (2012) *Weekly activity-travel behaviour in rural Northern Ireland: differences by context and socio-demographic*, Transportation, January 2012, Volume 39, Issue 1, pp. 175-195.
- Kamruzzaman M., Hine J., Gunay B., Blair N. (2011) *Using GIS to visualise and evaluate student travel behaviour*, Journal of Transport Geography, Vol.19, Issue 1, pp. 13-32.
- Kang H., Scot D.M. (2010) *Exploring day-to-day variability in time use for household members*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.44, Issue 8, pp. 609-619.
- Kerr J., Frank L., Sallis J.F., Chapman J. (2007) *Urban form correlates of pedestrian in youth: differences by gender, race-ethnicity and household attributes*, Transportation Research Part D, Vol.12, Issue 3, pp. 177-182.
- Kolen A.W.J., Rinnón Kan A.H.G., Trienekens H.W.J.M. (1987) *Vehicle Routing with Time Windows*, Operations Research, Vol. 35, Issue 2, pp. 266-273.
- Koskosidis Y.A., Powell W.B., Somolón M.M. (1992) *An Optimization-Based Heuristic for Vehicle Routing and Scheduling with Soft Time Window Constraints*, Transportation Science, Vol. 26, Issue 2, pp. 69-85.
- Marki F., Charypar D., Axhausen K.W. (2011) *Continuous activity planning for a continuous traffic simulation*, In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue 2230, pp. 29-37.
- Miller E.J., Roorda M.J. (2003) *Prototype Model of Household Activity-Travel Scheduling*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue 1831, pp. 114-121.
- Nijland E.W.L., Arentze T.A., Borgers A.W.J., Timmermans H.J.P. (2009) *Individuals' activity - travel rescheduling behaviour: experiment and model-based analysis*, Environment and Planning A, Vol.41, Issue 6, pp. 1511 - 1522.
- Nijland L., Arentze T., Timmermans H. (2012) *Incorporating planned activities and events in a dynamic multi-day activity agenda generator*, Transportation, Vol.39, Issue 4, pp. 791-806.
- Nuzzolo A., Comi A. (2014) *Advanced Public Transport Systems and ITS: New Tools for Operations Control and Traveler Advising*, IEEE Proceedings of the 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 8-11. October 2014, pp. 2549-2555.
- Reinelt G. (1994) *The traveling salesman: computational solutions for TSP applications*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, ISBN:3-540-58334-3
- Roorda M.J., Miller E.J. (2005) *Strategies for Resolving Activity Scheduling Conflicts: An Empirical Analysis - Progress in Activity-Based Analysis*, Elsevier, Oxford, ISBN: 0080445810, pp. 203-222.
- Savelsberg M.W.P. (1992) *The Vehicle Routing Problem with Time Windows: Minimizing Route Duration*, INFORMS Journal on Computing, Vol. 4, Issue 2, pp. 146-154.
- Smith, S.E. (1991). *Name of book in italics or underlined*, page or chapter numbers if relevant. Publisher, Place of publication.
- Timmermans H., van der Waerden P., Alves M., Polak J., Ellis S., Harvey A.S., Kurose S., Zandee R.(2003) *Spatial context and the complexity of daily travel patterns: an international comparison*, Journal of Transport Geography, Vol.11, Issue 1, pp. 37-46.
- Timmermans, H. (2005) *Progress in activity-based analysis*, Elsevier Science Ltd, ISBN: 9780080445816
- Toth P., Vigo D. (2002) *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, ISBN: 978-0-898715-79-8, pp. 157-186.
- Zöldy M., Török Á. (2015) *Road Transport Liquid Fuel Today and Tomorrow: Literature Overview*, Period. Polytech. Transp. Eng., Vol. 43, No. 4, pp. 172-176., DOI: 10.3311/PPtr.8095