

Utastforgalmi vizsgálatok a helyközi autóbusz-közlekedésben

A 2016-2017-ben végrehajtott országos célforgalmi adatfelvétel a közforgalmú közlekedési utazások vizsgálatát immár elektronikusan előállított adatokra alapozta, amelyet „hagyományos” felmérési módszerek egészítettek ki. A szerzők az autóbusz-közlekedés utastforgalmának feltárását szolgáló költséghatékony adatfelvételi és -feldolgozási eljárásokat ismertetik.

DOI 10.24228/KTSZ.2017.5.2

Munkácsy András – Vass Lajos

e-mail: munkacsy.andras@kti.hu

1. BEVEZETÉS

A közszolgáltatásként végzett személyszállítás forgalmi vizsgálatai, az adatfelvételen alapuló helyzetkép és a társadalmi-gazdasági folyamatokra épülő előrebecslés a közlekedési stratégiaalkotás, a szolgáltatás- és menetrendtervezés nélkülözhetetlen megalapozója. Időről időre szükség van az utastforgalmi adatállomány aktualizálására és a változások nyomon követésére, hogy észszerű gyakorisággal „naprakész” információ álljon rendelkezésre a személyszállításról, legyen szó akár konkrét áramlatairól, akár a közlekedési munkamegosztásbeli szerepéről.

Jelen cikkben a helyközi autóbusz-közlekedés utastainak települések közötti célforgalmát becslő adatfelvételi és -feldolgozási eljárásokat tekintjük át, a vasúti személyszállítással külön cikk foglalkozik. Részletesebben a vonali célforgalom becslésének és az átszállások számításának módszerét ismertetjük, majd röviden bemutatjuk a végeredményeket. Előrebocsátjuk, hogy bár a helyközi járatok közötti átszállások országos léptékben csak az utastások töredékénél figyelhetők meg (a legutóbbi, 2007-2008-ban végrehajtott országos felmérésben kb. 3% volt az átszállások aránya a helyközi autóbuszjáratokon), egyes települések (megálló) vagy autóbuszvonalak (-járatok) esetében az arányuk

jelentősnek tekinthető, így az ezzel kapcsolatos ismeretek feltárása – a 2007-2008-as vizsgálathoz hasonlóan – a munka része volt.

2. ELŐZMÉNYEK

A célforgalmi vizsgálat évtizedek óta témája a tervezéssel, modellezéssel kapcsolatos közlekedési kutatásoknak. A probléma kezdetektől fogva ugyanaz: hogyan lehet a lehető legkevesebb ráfordítással megbízható utastforgalmi mátrixokat előállítani, amelyek a (hálózat-, menetrend-, szolgáltatás-, stb.) tervezés alapját képezhetik. Kezdetben, különösen az 1980–1990-es években a kevés, eltérő tartalmú vagy kevésbé megbízható adatokra épülő felmérést vizsgálták (ld. L. G. Willumsen, E. Cascetta, S. Nguyen, H. Yang munkássága). A kilencvenes évek végétől egyre inkább az automatizált adatgyűjtés (pl. [1–2]), majd – ezzel szoros összefüggésben – az egyre terjedő elektronikus jegyrendszerek adatállománya került a kutatások középpontjába (pl. [3–7]).

A legújabb hazai kutatások közül kiemelhetők a Széchenyi István Egyetem műhelyében a személyszállítás forgalmi mátrixai kapcsán készült tanulmányok [8–10]. Ezekben a célforgalmi mátrixok becslésének új iteratív módszerét teljes körű keresztmetszeti utasszámlálásra és mintavételes célforgalmi kikérdezésre alapoz-

zák. Ezek a dolgozatok rövid felsorolást közölnek a statikus (maximum entrópia módszer, legkisebb négyzetek módszere, Bayes-módszer, illetve ezek továbbgondolása) és a dinamikus becslési lehetőségekről. A legújabb kutatások [11–12] az e-ticketing rendszerek adatai (big data) elemzésével vizsgálják az utasmozgásokat a városi tömegközlekedésben. A budapesti egysegű forgalmi modell készítéséről – felépítéséről, kínálati és igénymodelljéről, a forgalmi előrebecslésről – átfogó képet ad Berki Zsolt és munkatársai [13] cikke.

A Közlekedéstudományi Intézet közlekedésszervezéssel foglalkozó egysége évtizedek óta a helyközi és helyi autóbusz-közlekedés (és tágabb értelemben a közforgalmú közlekedés) utasforgalmi vizsgálatainak műhelye. A primer adatfelvételen alapuló szolgáltatásfejlesztési és menetrend-optimalizálási javaslatokat ismertető tanulmányok (pl. [14]) mellett a vonatkozó módszertani kérdésekkel is több cikk foglalkozott ([15–18]).

3. ADATFELVÉTELEK

A helyközi autóbusz-közlekedési utazások 2007–2008-ban elvégzett országos célforgalmi vizsgálata a hálózat valamennyi járatára kiterjedő teljes körű keresztmetszeti utasszámlálással és mintavételes célforgalmi kikérdezéssel történt; mindkét adatfelvételt járművön utazó számláló- és kérdezőbiztosok végezték. Ilyen adatfelvételre a 2016-2017-ben lebonyolított projektben nem nyílt lehetőség, és az informatikai fejlesztések nyomán a kijelölt cél elérésére nem is volt szükség. A számlálóbiztosok által végzett utasszámlálás helyébe a gépkocsivezetők által készített bővített jegystatisztika lépett¹, a kikérdezések pedig alapvetően az átszállások feltárására irányultak, így főként átszállócsomópontokban (elsősorban autóbusz-állomásokon) zajlottak. Az adatfelvétel közlekedési központként egy őszi vagy tavaszi iskolai tanítási napon történt. A lebonyolítást elősegítette, hogy a Közlekedéstudományi Intézet egy térségi léptékű projektben² már

alkalmazta a mintavételes célforgalmi kikérdezéssel kiegészített bővített jegystatisztikát a célforgalmi mátrix készítéséhez.

3.1. Teljes körű bővített jegystatisztika

A módszer alkalmazásának alapja, hogy a helyközi autóbuszokon alkalmazott jegykiadó készülékek többsége a szokásos jegykiadás mellett további utazási jogosultság tényének a rögzítésére is alkalmas. Az adatfelvételt e módszer esetében a gépkocsivezető végzi, aki a szokásos jegykiadás mellett a bérlettel vagy díjmentesen utazó utasoktól az utazási igazolvány ellenőrzése vagy a jogosultság megállapítása után az úti céljukat is megkérdezi, és az információt számlálójegyként rögzíti a jegykiadó gépen. A számlálójegy-kiadás e projektben – az alább részletezett kivételekkel – az autóbusszal közszolgáltatásként végzett helyközi személyszállítás valamennyi járatán, teljes üzemidőben zajlott.

3.2. Utasszámlálás

Azokon az autóbuszjáratokon, amelyeken az utasforgalom vagy más ok nem tette lehetővé a bővített jegystatisztika készítését (pl. az utasforgalom volumene miatt nem volt kivitelezhető indokolatlan menetrend-elverődés nélkül vagy nem elsőajtó felszállási rendszert alkalmaznak) keresztmetszeti utasszámlálást kellett végezni. Az utazó számlálóbiztosok minden megállóban feljegyezték a járatra fel- és leszálló utasok számát.

3.3. Célforgalmi kikérdezés

A helyközi autóbusz-közlekedésben alkalmazott vonali menetjegykiadás miatt az átszállással járó utazások elemei külön utazásként jelennek meg (szemben pl. a vasúttal), ezért a jegystatisztika önmagában nem alkalmas a pontos célforgalmi mátrix felállítására. E probléma feloldására olyan módszert kellett alkalmazni az adatfelvétel során, amely lehetővé teszi a jegykiadó készülékekkel rögzí-

¹ Megjegyezzük, hogy egy autóbusz-társaság 2007-2008-ban is ezzel az eljárással szolgáltatott adatot a célforgalmi vizsgálathoz.

² A Balaton kötőpályás körüljárási és megközelítési fejlesztése keretében elvégezni szükséges munkák meghatározása, megvalósíthatósági tanulmány készítése. Kutatási jelentés. Témafelelős: Albert Gábor. KTI, 2011–2012

tett adatállomány pontosítását, az átszállások megállapítását.

Mindezek alapján a gépkocsivezetők által végzett adatrögzítés napján mintavételes célforgalmi kikérdezés zajlott 94 átszállócsomópontban szerte az országban (a 2007-2008-as adatfelvétel eredményei alapján kiválasztott autóbusz-állomásokon, valamint a közlekedési központok javaslatára néhány további helyszínen), elsősorban a járatra várakozó utasok körében, helyszínenként 12 óra időtartamban. Néhány jellemző rá- és elhordó autóbuszjáraton és a kapcsolódó vonatokon is zajlott kikérdezés.

4. CÉLFORGALMI VIZSGÁLATOK

4.1. Az adatállományok előkészítése

Az alapadatokat (vonalszám, járatszám, utazási igazolvány típusa, fel- és leszállás helye, autóbusz-rendszáma) a gépkocsivezetők rögzítették³, majd a közlekedési központok és a közszolgáltatásban érintett más vállalatok informatikai munkatársai a bevételek elszámolásához rendszeresített eljárás során megjelenítették azokat az információk rendszerükben. Ezután az adatállományt a szoftver lehetőségeivel összhangban a feldolgozáshoz szükséges struktúrában továbbították⁴. A teljes körű bővített jegystatisztika ellenőrzése a KTI országos menetrendi adatbázisa (a vonalak és a járatok menetrendi adatai, a megálló adatai stb.) felhasználásával történt. Ez alapján megállapítható, ha valamely járaton nem volt számlálójegy-kiadás vagy valamely járatról egyáltalán nem érkezett adat. A hibajegyzék alapján a közlekedési központ helyesbítette az adatszolgáltatást: hiányos jegystatisztika esetén (mivel ezek száma elenyésző volt) pótfelmérést rendelt el, a vonali adatok alapján arányosítással pótolta a hiányzó adatokat, vagy korrigálta a hibát (pl. téves vonal-/járatszám, amely elütés miatt került az adatbázisba; nem a megjelölt vonalhoz/járatához tartozó megál-

lók és települések; stb.). Egyéb esetben a közlekedési központ közölte a járat adatszolgáltatás elmaradásának okát, pl. nem volt utas a járaton, rezsijárat, megszünt járat stb.

Az ellenőrzés a szokásos menetrendben nem szereplő járatokra is felhívta a figyelmet, amelynek indokát a jelzésünk alapján a szolgáltató tisztázta, pl. részviszonylaton közlekedő másodrészt, ideiglenes menetrend alapján közlekedő járat. Ezek a vizsgálatok vetették fel a csatolt járat (az autóbusz által teljesített következő járatra is érvényes) jegykiadás lehetőségét, ha a szolgáltató korábbi tájékoztatásában ez nem szerepelt.

Az utaskikérdezésből származó adatok tisztítása is a menetrendi adatbázissal összevetve történt. Az alábbi fő hibaforrások emelhetők ki:

- az utas válasza félreértésre adott okot (pl. a településrész neve vagy a település közhasználatú beceneve megegyezik egy létező településsel: pl. Szilvás, község Baranya megyében, illetve Komló városrésze),
- a kikérdező hibázott (pl. a kiinduló és céltelepülést helyesen vette fel, de az átszállás tényét nem rögzítette),
- az adatrögzítő hibázott (pl. hibás településnevet rögzített: pl. Mánfa helyett Márfa, mindkettő község Baranya megyében),
- a menetrend – a célforgalmi mátrix szempontjából – félrevezető (pl. a települési bejáratú útnál lévő megálló nem ahhoz a településhez tartozik, amelyet a nevében visel, pl. a Bányászati elágazás autóbusz-megállóhely Barbacshoz, Bányászszóvati megállóhely Dörhöz tartozik; mindhárom említett település község Győr-Moson-Sopron megyében).

4.2. A vonali célforgalom becslése

A „nyers” – átszállásokat nem tartalmazó – célforgalmi mátrixok előállításának alapja a közlekedési központok által készített teljes

³ Eseti jelleggel, pl. a jegykiadó készülék hibája esetén a gépkocsivezető kézi adatfelvételt is végezhetett. A néhány járatot üzemeltető szolgáltatóknál előfordult, hogy a jegystatisztikát saját személyzettel végrehajtott utasszámlálásra és -kikérdezésre alapozták.

⁴ Egy szolgáltató esetében egyes jegykiadó gépek és/vagy a támogató szoftver nem volt alkalmas a szokásos jegykiadás mellett számlálójegyek rögzítésére, és ebben az esetben a projekt korlátai miatt nem volt lehetőség a teljes körű utasszámlálásra sem. Ezért a közlekedési központ a jegystatisztika és a korábbi saját felmérési eredményei alapján számította az utasforgalmat az egyes relációkban, amelyet a KTI által meghatározott struktúrában továbbított.

körü bővített jegystatisztika. Ebből a fenti ellenőrzések és kiegészítések után – elvben – pusztán adatbázis-kezelési eszközökkel felépíthetők a regionális OD-mátrixok. Azonban egy közlekedési központ csúcsidőszaki járatainak egy részén, kb. 600 járaton előre tervezetten nem volt számlálójegy-kiadás. Ezt a járaton végzett utasszámlálás helyettesítette, amely viszont önmagában csak a keresztmetszeti utasterhelés megállapítására alkalmas, ezekből az adatokból a célforgalmi információk megszerzéséhez további számítások szükségesek. Ehhez a KTI által hasonló adatfelvételekhez kidolgozott *konverzió* módszerét alkalmaztuk, részletesen ld. [16].

A konverzió során a keresztmetszeti számlálás adataiból (a megállóban megfigyelt mozgásokból: a fel- és leszállások számából) a vonalon szóba jöhető utazási relációk közötti utazásokat, tehát az ún. vonali célforgalmat becsüljük a megálló közötti átmeneti valószínűségek alapján. Lényege, hogy mivel a keresztmetszeti számlálásból az utazási eseményt csak részben ismerjük (nem tudjuk, hogy hol szálltak fel, akik leszállnak, és fordítva), az utazásokat valószínűségi alapon becsüljük meg egy valószínűségi változó várható értékének becsléséhez hasonlóan. Feltételezve, hogy valamely megállóban felszálló utas leszállása véletlen esemény – hacsak a keresztmetszeti értékekből a leszállók felszállási helye egyértelműen nem következik –, a módszer a leszállások szimulációjával (Monte Carlo-módszerrel) véletlenszerűen addig szállít le utast egy járat esetében, ameddig a keresztmetszeti számlálásból adódóan szükséges. Értelemszerűen minél nagyobb célforgalmi mintából számoljuk az átmeneti valószínűségeket, annál nagyobb az eredmény statisztikai megbízhatósága.

A módszer a keresztmetszeti számlálásokhoz minden járaton mintavételes célforgalmi felmérést feltételez, ám ez esetben erre nem volt lehetőség. Ezért az átmeneti valószínűségeket 1) a fő átszállócsomópontokban egyidejűleg zajló utaskikérdezésekből; 2) a bővített jegystatisztikából; 3) a vizsgált járat utasmozgásaiból; 4) a legutóbbi, 2007-2008-ban készített országos célforgalmi felmérés adataiból számoltuk. Elsősorban az aktuális felmérési adatokat vettük figyelembe, a korábbi adatok csak a hiányzó való-

szerűségek pótlására szolgáltak. Mivel valamely konkrét járatra az utaskikérdezésből származó minta általában kicsi, a járatra vonatkozó átmeneti valószínűségeket a vonal hasonlóan közlekedő járataira összevont mintán alapján számoltuk. És mivel valamely járatra nem lehet minden esetben más járatok relációit *megállói* szinten megfeleltetni, az átmeneti valószínűségeket *települési* szinten számoltuk, majd ezt alakítottuk vissza a konkrét járat megállói szintű átmeneti valószínűségévé.

Az átalakításokra a valószínűségszámítás szabályait használtuk fel, és esetenként bizonyos feltevésekkel éltünk. Az alábbiakban csak a megállói szintű átmeneti valószínűségek számítását vezetjük le a *települési* értékekből (a *megállói* szintű valószínűség települési szintűvé alakítása is hasonlóan történik). A következő jelöléseket alkalmazzuk: az $\{A \mid B\}$ esemény azt jelenti, hogy az utas A-ban száll fel és B-ben száll le, ennek valószínűsége pedig $P(A \mid B)$. A $\{B \mid A\}$ alatt azt a feltételes eseményt értjük, hogy ha az utas A-ban szállt fel, akkor B-ben száll le, és ennek valószínűsége $P(B \mid A)$.

A települési szintű átmeneti valószínűségekre – amelyeket a fenti négy forrás valamelyikéből származó adatokból számítottunk egy-egy járatra – az (1) összefüggés áll fenn. Az összegzésnek nincs akadálya, hiszen a leszállás a különböző megállóban egymást kizáró események:

$$P(T_F \mid T_L) = \sum_j P(T_F \mid L_j) \quad (1)$$

ahol $P(T_F \mid T_L)$ az átmeneti valószínűség, T_F a felszálló település, T_L a leszálló település, L_j a T_L település j -dik megállója.

Feltesszük, hogy ugyanazon település megállóiban a leszállás valószínűsége megegyezik a leszállók arányával, vagyis:

$$P(T_F \mid L_j) = \frac{l_j}{\sum_j l_j} \times P(T_F \mid T_L) \quad (2)$$

ahol l_j az L_j -ben leszálló utasok száma a keresztmetszeti számlálásból.

Mivel valamely L_j -ben leszálló utas esetében a felszállás a T_F különböző megállóiban szintén egymást kizáró események, valamint a feltételes valószínűség tétele értelmében felírható a (3) egyenlet.

$$P(T_F | L_j) = \sum_i P(F_i | L_j) = \sum_i P(L_j | F_i) \times P(F_i) \quad (3)$$

ahol F_i a T_F település i -edik megállója.

Feltéve, hogy egy település bármelyik megállójából ugyanolyan aránnyal szállnak le egy másik település valamely megállójában⁵, a $P(L_j | F_i)$ valószínűséget kiemelve a szumma alól, az egyenlőséget átrendezve a (4) egyenlet adódik.

$$P(L_j | F_i) = \frac{P(T_F | L_j)}{\sum_i P(F_i)} = \frac{U}{\sum_{i'} f_{i'}} \times \frac{l_j}{\sum_{j'} l_{j'}} \times P(T_F | T_i) \quad (4)$$

ahol U az összes utas száma a járaton, f_i az F_i -ben felszállók száma a keresztmetszeti számolásból.

A második egyenlőségénél felhasználtuk a (2) egyenletet, továbbá azt, hogy $\sum_i f_i$ aránya U -hoz viszonyítva annak a valószínűsége, hogy az utas a T_F településen száll fel.

A $P(L_j | F_i)$ a keresett megálló szintű átmeneti valószínűség valamely felszállóhelyre vonatkoztatva. Ez tehát az egyenlet jobb oldalán álló kifejezés értelmében a keresztmetszeti adatokból, valamint a valamely járat utasaira vonatkozó, már megállapított települési szintű átmeneti valószínűségekből számítható. Ezek ismeretében elvégezhető a leszállások szimulációja, azaz az utasok vonali, (vagyis az átszállásokat még figyelmen kívül hagyó) települések közötti célforgalmának becslése.

4.3. Az átszállások számítása

A közvetlen utazási mátrixokban az átszállások nem jelennek meg: az átszálló utas utazásának egyes elemei önálló utazásokként szerepelnek benne. A valóságot jobban tükröző célforgalmi eredmények előállításához az

átszállásokról (relációiról, volumenéről) is ismeretekkel kell rendelkezünk, amelyet jelen kutatás során mintavételes adatfelvételtől végzett becslés tett lehetővé. A mintavétel – kifejezetten az összetett utazások feltárása érdekében – elsősorban az átszállócsomópontokban (különösen autóbusz-állomásokon), valamint egyes autóbuszjáratokon történt. A számításokat csak kételemű utazásokra végeztük, mert a többelemű (egynél több átszállással járó) helyközi utazások aránya elenyésző (0,05% az autóbusz-hálózaton kikérdezett mintegy 67 ezer fő körében) és esetlegesnek tekinthetők (ötből négy ilyen utazás nem napi gyakoriságú helyváltoztatás és háromból kettő nem hivatásforgalmi célú), így a jellemző munkanapi utazások meghatározásában a szerepük elhanyagolható.

Az autóbusz-állomási minta az egész országot lefedi, és előzetesen az adatfelvétel elfogadható színvonalúnak bizonyult. A becslés során a *kikérdezési mintára* támaszkodtunk, és törekedtünk az önkényes, különösen a matematikai statisztika keretein kívül eső feltevések elkerülésére. A kikérdezési mintát is ennek szellemében ellenőriztük és javítottuk. A megbízhatóságot erősíti, hogy a kétséges (nem egyértelmű vagy nem valósnak tűnő) kikérdezéseket elvettük, ugyanakkor az egyértelműen azonosítható hibákat korrigáltuk, és a javított mintaelemeket a további számításnál figyelembe vettük. Ez különösen azokban az esetekben hangsúlyos, amelyekben az eredeti minta közvetlen utazást tartalmazott (az átszálló utas az utazásának csak kiinduló és célállomását közölte, vagy a kérdezőbiztos csak ezeket rögzítette), de a menetrend alapján egyértelműen átszállás volt azonosítható.

A számítás alapját a mintán kívül a *járatpárok* azonosítása képezi (a járatpár jelentése ez esetben: két autóbuszjárat, amelyről az utas átszállása során le-, majd amelyre felszáll). Ezek ténylegesen megvalósuló átszállásokat szolgálnak ki, esetükben az utazás és egyes elemei tehát egyértelműen azonosíthatók. A járat azonosítá-

⁵ Ez megkérdőjelezhető feltételezés, hiszen valamely település különböző megállóiban felszálló utasok közül egy másik település adott megállójában leszállók aránya általában nem azonos. Mivel a települési szintű utasforgalmat keressük, és a megálló szintű mozgásokra csak a konverzióhoz van szükség, a feltevésekből adódó átmeneti pontatlanság a végeredményt nem befolyásolja.

sához szükség volt a feljegyzett (legalább hozzávetőleges) indulási időre, ennek hiányában a kikérdezés időpontjára, valamint a leszállás településére; a menetrend alapján az első időben megfelelő járatot választottuk ki. Az átszállással érintett másik járat meghatározása – az átszállás helyének megállapítása után – hasonlóképpen történt, feltételezve, hogy az utas az átszállás során legfeljebb 60 percig várakozik.

Az alapsokaságot, – amelyre valamely járatpárnál a mintát értelmezni lehet – kétféleképp határoztuk meg: 1) a járat kikérdezés esetén a kikérdezett járat utasainak a száma; 2) megállóhelyi kikérdezés esetén az induló járatra felszállók száma (tehát csak azok a kikérdezések kerülhettek a számításba, amelyeknél a felszálló utast kérdezték meg, kivéve, ha az utas átszáll és valamely induló járat hozzárendelhető az utazásához).

Figyelembe kellett venni, hogy mind a megállóhelyi, mind a járat kikérdezésben kevés a helyközi járatok közti átszállást magában foglaló utazás, a kis minta pedig nem tartalmazza az összes megvalósuló relációt. Ebből következően a valósnál kevesebb átszállás becslése volt várható, a valósnál kevesebb településpár között. A kikérdezésből adódó átszállási arány általános alkalmazása felnagyítaná a fenti problémák hatását (pl. ha valamely relációra nincs minta, az átszállások száma biztosan nulla lenne), ezért a becslési módszer megválasztásával a hibák kiküszöbölésére és a hibaarány mérséklésére törekedtünk.

Az átszállások alapsokaságon belüli arányának számítása a KTI-ben korábban kidolgozott módszerek [17–18] alapján történt. Ennek lényege, hogy a becslt átszállási arány meg egyezik az átszállási arányok (a 0–1 intervallum bizonyos számú diszkrét választott értékei) súlyozott átlagával, amelyet a mintában megvalósult átszállásoknak az átszállási arány választott értékei mellett számolt valószínűségével súlyozva számítottunk. Jelen esetben az alkalmazott mintavételi modell egyszerű mintavétel, amelynél a valószínűségi változó, azaz az átszállás gyakorisága hipergeometrikus eloszlást követ. A mintavételi alapsokaság a megállóhelyi kikérdezésnél az induló járatra

felszállók száma, a járat kikérdezés esetén a járat megállóközi menetidejével súlyozott átlagos utasszáma. Az alapsokaságot a bővített jegystatisztikából és a keresztmetszeti utasszámlálásból lehetett számolni.

Minden olyan relációra becslés készült, amelynek legalább egyik eleme, vagyis a fel- vagy a leszálló-megállóhely szerepel a mintában. Az eljárás során további esetekre is becslést végeztünk. Egyfelől, ha a megkérdezett utas által közölt átszállás nem volt egyértelműen megfeleltethető valamely valós járatpárnak, azaz csak az egyik járat volt ismert, úgy jártunk el, mintha járatpárról lenne szó, de a szóba jöhető relációknál csak a mintaelem járatához hozzá nem rendelt települése lett figyelembe véve. Olyan település esetében is becsltünk átszállást, amely a kikérdezett mintában nem, de a kikérdezett mintában szereplő valamely járat menetrendjében szerepelt. Ez esetben az átszállást a felmérésben érintett autóbussz-állomásnak az átszállás helyére irányuló forgalmához viszonyítva becsltük. Ha egyáltalán nem volt lehetőség járat azonosítására (tehát a járatpár egyik eleme sem volt meghatározható), csak a kikérdezésben érintett mintaelemet vettük figyelembe az adott relációra, és az átszállásokra becslt érték a kikérdezés helyére megállapított egy átszálló-mintaelemre eső átszállások átlagos száma lett.

Másfelől a felmérésbe vont átszállócsomópontok esetében az összes átszállás számításánál azokat a járatokat is figyelembe vettük, amelyekre nem történt mintavétel. Ezekre az eredmény az adott kikérdezési helyről induló járatok becslt átszállási arányából adódik, amelyekhez nem rendeltünk relációkat.

Az állomány rekordjaiban szereplő átszállásoknak az adott sokasághoz viszonyított arányát járatpárookra számítottuk, a mintavétel során az átszállásokat magukban foglaló mintaelemek hipergeometrikus eloszlását feltételezve. Az átszállások számításához szükséges eloszlásfüggvényt az (5) egyenlet írja le:

$$H(k; N, M, n) = \binom{M}{k} \frac{\binom{N-M}{n-k}}{\binom{N}{n}} \quad (5)$$

ahol:

k – az átszállások száma a mintában,

n – a minta nagysága,

N – a sokaság nagysága, azaz járatikikérdezésnél a járatra számolt átlagos utasszám, megállóhelyi felmérésnél a felmért induló járatra felszállók száma,

M – az átszállások száma (a becslés tárgya), járatikikérdezésnél $M=p \times N$, megállóhelyi kikérdezésnél $M=p \times U$, ahol U a viszonyításhoz figyelembe vett utasszám (a céltelepülésre utazók száma, ha a kikérdezés egyben az átszállás helye is; az átszállóhelyen leszállók száma, ha a kikérdezés az első járatra felszállás előtt történt), illetve p az átszállási arány.

A p becslése (\hat{p}) egy súlyozott átlag:

$$\hat{p}^{T_0 T_D} = \sum_i p_i \times H(k_0^{T_0 T_D}; N, M_i, n) \quad (6)$$

ahol a becslés T_0 (az első járat valamely települése) és T_D (a második járat valamely települése) közötti érték, $k_0^{T_0 T_D}$ a mintában kapott átszállások száma T_0 és T_D települések között, p_i az átszállási arányra figyelembe vett érték (a 0–1 intervallum diszkrét értékei) és M_i a fenti M érték $p=p_i$ mellett.

Minden ($T_0' T_D'$) relációra történt számítás, amelynél vagy T_0' , vagy T_D' , vagy mindkettő szerepel az átszállást tartalmazó mintaelemek között. Ha mindkettő szerepel e mintaelemek között, akkor $k_0 > 0$, egyébként $k_0 = 0$.

E becslést felhasználva megállapítható az átszállások száma az egyes relációkban.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÖSSZEGZŐ GONDOLATOK

Az ismertetett adatfelvételi és -feldolgozási eljárások révén elkészültek a helyközi autóbusz-közlekedés utasforgalmi mátrixai. A szolgáltatók a jegykiadó készülékekkel rögzített adatok alapján, azok tisztítása, pontosítása és kiegészítése után összegezték, majd továbbították a megközelítőleg 1 millió 130 ezer utazásra vonatkozó információt. A számlálóbiztosok további mintegy 34 ezer utas fel- és leszállását jegyezték fel. Esetükben a

célforgalmi mátrix előállításához és országosan az átszállások számításához az autóbusz-állomásokon és -járatokon megkérdezett körülbelül 67 ezer utas utazásának a jellemzőit használtuk fel. S bár közöttük a helyközi utazásuk során átszállók aránya 7,9%, és egyes helyszíneken az ott közlekedő járatok összes utasának arányában ez a szám eléri akár a 12%-ot is (lévén a kikérdezések átszálló-csomópontokban zajlottak), az egyes közlekedési központok szintjén az átszállás becsült aránya az összes utazásban 1–5%. A projekt részeként elkészült a vonatok és autóbuszjáratok együttes utasforgalmát tükröző országos közforgalmú közlekedési mátrix is, amelyhez a módközi átszállásokat a fent részletezett eljárást követve számítottuk.

Az alkalmazott adatfelvételi módszerek a szolgáltatók, a számlálást és kikérdezést végzők, valamint a feldolgozásért felelős személyek és szervezetek hatékony együttműködését feltételezik. Éppen ezért a felmérésekre két lépésben került sor: először kísérleti jelleggel egy közlekedési központra koncentrálni, majd ennek tapasztalatai alapján a (fennmaradó) teljes országos hálózatra. Minthogy a közreműködő autóbusz-közlekedési szolgáltatók különböző jegykiadó készülékeken rögzített és eltérő informatikai rendszerben feldolgozott adatállományai heterogének maradtak, valamint az utaskikérdezések rögzített állományaiban is számos kétséges mintaelem szerepelt, az adatok ellenőrzése és javítása a korábbi tapasztalatok alapján kidolgozott számítógépes programok alkalmazása ellenére is időigényes folyamat volt. Többek között az elektronikus jegyrendszer bevezetése, az automatizált utasszámlálási technológiák alkalmazása vagy a számítógéppel (táblagéppel, okostelefonnal stb.) támogatott környezetben végzett utaskikérdezés jelentős előrelépést jelenthetne. Ezáltal csökkennének vagy megszűnnének a gépkocsivezetőkre háruló többletfeladatok, valamint gyorsabbá és egyszerűbbé válna az adatok felvétele és rögzítése.

Az adatfeldolgozás fenti módszerei közül a konverzió alkalmasnak bizonyult a bővített jegystatisztikát csak a hálózat egy részén kiegészítő vonali (járat) célforgalmi becslések elvégzésére. Korlátot jelenthet azonban, ha csak néhány járaton van számlálás, mert ez esetben az átmeneti valószínűségeket nehéz kellő megbízhatósággal meghatározni. Az átszállás számításánál használt eljárás fontos eleme a járat-

párra számítás. Mivel az utasforgalmi vizsgálatok adatfelvételei eltérőek lehetnek – a teljes forgalmat felölölő felméréstől a csak részterületre vagy néhány vonalra (járatra) kiterjedő felvételig –, a járatpár alkalmazása jelentősen csökkentheti az esetleges ad hoc eljárásokat kísérő feltevések szükségességét, hiszen a valós átszállásokat modellezi. Az átszálló-csomópontokban végzett kikérdezés az átszállásokat az országos átlagnál nagyobb arányban tárta fel, amely lehetővé tette, hogy – az ismertett megfontolásokkal – a fél nem tárt relációkban is meg lehessen határozni az átszállásokat, vagy valamely relációban pontosítani lehessen a kikérdezési mintából következő átszállások számát.

Összességében megállapítható, hogy bár a végeredmény megbízhatósága bizonyos szempontból elmarad a 2007-2008-ban lebonyolított vizsgálat során tapasztaltaktól (pl. a bővített jegystatisztikában vélhetőleg a valósnál valamivel kevesebb utas szerepel), más szempontból az eljárás sokkal pontosabb (pl. a vonali célforgalom megállapítása immár nagyrészt nem becslésen, hanem tényadatokon alapul), ráadásul a módszereknek a korábbinál korszerűbb és takarékosabb kombinációjáról van szó. Ez különösen az adatfelvételekre igaz, amelyeket országosan mindössze hét munkanap alatt (közlekedési központként egy nap alatt) le lehetett bonyolítani, és amelyek szervezési és költségigénye töredéke volt a tíz évvel korábbinak. A projekt hasznos eredményei közé sorolható, hogy azok a szolgáltatók is tapasztalatot szereztek a teljes körű bővített jegystatisztika készítésében, amelyek az eljárást korábban nem alkalmazták, és így a későbbiekben is használni tudják majd az utasaik célforgalmának feltárására és más utasforgalommal kapcsolatos kérdések tisztázására.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nanne Van der Zijpp (1997): Dynamic OD-Matrix Estimation from Traffic Counts and Automated Vehicle Identification Data. *Transportation Research Record* 1607: 1–18. DOI: <https://doi.org/10.3141/1607-13>
- [2] Alex Cui (2006): Bus passenger origin-destination matrix estimation using automated data collection systems. Massachusetts Institute of Technology. <http://hdl.handle.net/1721.1/37970> (utolsó látogatás: 2017. augusztus 14.)
- [3] Azalden Alser, Behrang Assemi, Mahmoud Mesbah, Luis Ferreira (2016). Validating and improving public transport origin–destination estimation algorithm using smart card fare data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 68: 490–506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.05.004>
- [4] Janine Farzin (2008): Constructing an automated bus origin-destination matrix using farecard and global positioning system data in Sao Paulo, Brazil. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2072: 30–37. DOI: <https://doi.org/10.3141/2072-04>
- [5] Marcela A. Munizaga és Carolina Palma (2012): Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 24: 9–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.01.007>
- [6] Martin Trépanier, Nicolas Tranchant, Robert Chapleau (2007). Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. *Journal of Intelligent Transportation Systems* 11.1: 1–14.
- [7] Wei Wang, John P. Attanucci, Nigel H.M. Wilson (2011): Bus passenger origin-destination estimation and related analyses using automated data collection systems. *Journal of Public Transportation* 14.4: 131–150. DOI: <http://dx.doi.org/10.5038/2375-0901.14.4.7>
- [8] Horváth Balázs (2012): A Simple Method to Forecast Travel Demand in Urban Public Transport. *Acta Polytechnica Hungarica* 9.4: 165–176.
- [9] Horváth Balázs, Horváth Richárd, Gaál Bertalan (2013): Estimation of Passenger Demand in Urban Public Transport. *Acta Technica Jaurinensis* 6.3: 64–73.
- [10] Horváth Balázs, Horváth Richárd, Gaál Bertalan (2014): A new iterative method to estimate origin-destination matrix in urban public transport. *Transport Research Arena (TRA)*, Párizs

- [11] Nagy Viktor és Horváth Balázs (2016): Bigdata a közforgalmú közlekedésben a megállóhelyi utasforgalmak példáján. Közlekedéstudományi Konferencia, Győr: 308–317.
- [12] Nagy Viktor és Horváth Balázs (2017): Hálózati modellek pontosítása utasforgalmi adatok elemzésével. Városi Közlekedés 2017/1: 26–29.
- [13] Berki Zsolt, Monigl János, Kaderják Péter (2016): Budapest és agglomerációjának egységes forgalmi modellje – fókuszban a változó generációk. Közlekedéstudományi Konferencia, Győr: 233–242.
- [14] Keserű Imre és Munkácsy András (2009): Vasúti ráhordó autóbusz-hálózat kialakítása a Budaörsi kistérségben és a Zsámbéki-mendéceben. KTI Évkönyv 2008: 138–144.
- [15] Albert Gábor, Vass Lajos (2009): Országos utas-célforgalmi mátrix kialakításának módszertana. KTI Évkönyv 2008: 29–35.
- [16] Vass Lajos (2001): A helyi és helyközi tömegközlekedési forgalom keresztmetszeti felmérésének konverziója valószínűségi módszerrel. Közlekedéstudományi Szemle 51.1: 8–18.
- [17] Vass Lajos (2013): Másféle megközelítés utazási jellemzők gyakoriságának becslésében a célforgalmi felmérésben. KTI Évkönyv 2011-2012: 197–203.
- [18] Vass Lajos (é. n.): Egyfajta valószínűségi módszer utazási jellemzők becsléséhez utasfelmérésből. Alkalmazott Matematikai Lapok (megjelenés alatt)



Study of passenger traffic in interurban bus transport

Although technical solutions supporting the identification of passengers' travel destinations – especially e-ticketing – are still not common in domestic public transport, the national passenger OD estimation carried out in 2016-2017 could be effectively based on electronically generated data. These were complemented by "traditional" surveys exploring missing data and travel habits, particularly those focusing on transfers. KTI Institute for Transport Sciences has not done these investigations for the first time, but they have never before served as the basis for OD matrices in this combination, especially on a national scale. This article describes the research on passenger traffic in interurban bus transport.



Untersuchungen des Personenverkehrs im Regionalbusverkehr

Obwohl jene technische Lösungen - insbesondere das elektronische Fahrscheinsystem -, die die Identifizierung der Verkehrszielen der Fahrgäste unterstützen, im ÖPNV Ungarns noch immer nicht üblich sind, konnten die in 2016-2017 durchgeführten landesweite Zielverkehrsforschungen nun relevant auf elektronisch erzeugten Dateien basiert werden. Sie wurden durch "traditionelle" Befragungen ergänzt, die die fehlenden Daten und Reisegewohnheiten erforschen, vor allem solche, die sich auf Umstiege konzentrieren. Das Institut für Verkehrswissenschaften hat diese Befragungen nicht zum ersten Mal durchgeführt, doch nicht in dieser Kombination wurden sie nie als Basis für landesweite Zielverkehrsmatrix verwendet. Dieser Artikel verlautet die Untersuchungen, die sich auf den Regionalbusverkehr beziehen.