

A modal share változása az autonóm járműves mobilitási szolgáltatások elterjedésének következtében

Dr. Földes Dávid¹ – Dr. Csiszár Csaba²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
telefon: 20/570 4667
e-mail: foldes.david@mail.bme.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
telefon: 70/336 0612
e-mail: csiszar.csaba@mail.bme.hu

Kivonat: Az autonóm járművek megjelenésével várhatóan a városi, közúti mobilitási szolgáltatások is átalakulnak. Igény-alapú, kiskapacitású járművel megvalósított, a jármű és a férőhely megosztást alkalmazó, személyre szabott eljutást kínáló mobilitási szolgáltatások terjednek el, ami a modal-share változását is eredményezheti. A változást eddig különböző jövőképek szimulációjával becsülték, a felhasználók váltási hajlandóságát valószínűségi változóként vették figyelembe. Olyan módszert dolgoztunk ki a városi modal-share változás számításához, amelyben figyelembe vesszük az utazók jelenlegi mobilitási szokásait és váltási hajlandóságát. A változók értékeinek meghatározásához kérdőíves módszert fejlesztettünk. A számítási módszert a budapesti modal-shift becsülésére alkalmaztuk. Az eredmények a jelenlegi egyéni gépjármű használóknál mutatták a legnagyobb, míg a kerékpárosoknál a legkisebb váltási hajlandóságot. Megállapítottuk, hogy a kinyilvánított preferenciák alapján, az egyéni gépjárműhasználat jelentősen csökkenthető igényalapú, megosztott autonóm közúti járműves szolgáltatással. A módszer az autonóm járművek hatásainak kvantitatív meghatározásánál használható.

Kulcsszavak: autonóm járműves mobilitási szolgáltatás, modal-share, modal-shift, váltási hajlandóság

Bevezetés

Az önvezető járművek megjelenése és alkalmazása számos társadalmi hatást indukál. A legfőbb várt hatások: közlekedési rendszer hatékonyságának növekedése, biztonságosabb közlekedés, utazási idő csökkenés, személyre szabott mobilitási szolgáltatás, egyéni közlekedés lehetősége a fogyatékkal élő, a vezetési képességekkel nem rendelkező idős, vagy fiatal utazói réteg számára, energiahatékonyság növekedése és kedvezőbb térgazdálkodás [1], [2]. A hatások kvalitatív vagy kvantitatív módszerekkel becsülhetők. Ez utóbbi esetben például forgalmi modellezést alkalmaznak [3], [4], vagy a felhasználói elvárásokat elemzik [5], [6]. A hatások egy része a járművek jellegéből adódik (pl. követési távolság csökkenés); más részük a mobilitási szolgáltatás tervezésével befolyásolható (pl.: járműkihasználtság növekedés, modal-share alakulása). Utóbbi hatások a felhasználói elvárások ismeretében alakíthatók. Az újszerű autonóm járműves mobilitási szolgáltatások a jelenleg ismert közlekedési módok használatának változását is eredményezik. Hatásukra a *modal-share* (vagy másnéven *modal-split*), vagyis a *közlekedési módok használatának százalékos megoszlása* várhatóan átalakul. A kutatások a modal-share változását többnyire különböző jövőképekhez tartozó változatok képzésével mutatják be [3], [7]. A változatokban általában pesszimista és optimista forgatókönyveket hasonlítanak össze többnyire a forgalomra gyakorolt hatás vizsgálata céljából. A változatok azonban csak becsléseken alapulnak, legtöbbször hiányzik az utazói elvárások és váltási hajlandóság közvetlen felmérése.

A kutatásunk alapkérdése, hogy hogyan becsülhető a modal-share változása utazói szokások és váltási hajlandóság alapján. Ehhez számítási módszert dolgoztunk ki. A módszer bemeneti adatai az utazási szokások jellemzőit és a váltási hajlandóság; aminek gyűjtéséhez kérdőívet készítettünk és meghatároztuk a gyűjtött adatok feldolgozási módszerét. A lehetséges jövőbeli autonóm járműves szolgáltatási formákat szakirodalmi források és korábbi kutatásaink alapján határoztuk meg. A leírásokat megismertettük a

válaszadókkal. A kidolgozott számítási módszer forgalmi modellezéshez és további hatások becsléséhez is használható (pl. területhasználat változása).

A cikk felépítése a következő: az 1. fejezetben áttekintjük a releváns irodalmak eredményeit. A 2. fejezetben összefoglaljuk az autonóm járműves szolgáltatástípusokat. A 3. fejezetben részletezzük a kidolgozott módszert, majd a 4. fejezetben esettanulmányként bemutatjuk a módszer alkalmazását Budapesten. Végezetül a kutatás során levont következtetéseket és a továbbfejlesztés irányait foglaljuk össze.

1. Irodalomkutatás

A modal-share többféle megközelítés szerint számítható (pl. módonkénti utazások száma alapján, módonként elszállított utasok száma alapján, utasonként megtett távolság alapján). Mégis a leginkább kifejező eredményt az utasonként megtett távolság alapú számítás adja [utaskm]. A moda-share alapján számítható a modal-shift, vagyis a módok használatának átalakulása.

Az autonóm járművek hatására bekövetkező modal-share változást vizsgáló tanulmányok is két csoportra bonthatók: forgalomszimulációval becsült adatok alapján, vagy felhasználói elvárások felhasználása. Szakértői interjúk alapján változatokat készítettek a jövő városi közlekedésének összetételéről [3]. Az egyes változatokban 7-60% közé becsülték az önvezető járművek arányát a teljes flottán belül 2050-re. A változatok forgalomra gyakorolt hatásait modellezték. Szintén jövőképeket hasonlítottak össze ágens alapú modellezéssel Brunswick kisvárosban [7]; vél, az utazási idő alakulásának vizsgálata. A változatokban egyéni autonóm járműves használatot és megosztott autonóm járműves használatot is feltételeztek. A megosztott autonóm járműves szolgáltatások kivétel nélkül egyéni gépjárműhasználatot váltanak ki, ugyanakkor a modal-share értéke alacsony (2-3%). A kis értéket a kisvárosi jelleggel és az alacsony jelenlegi közforgalmú közlekedési és magas kerékpározási aránnyal magyarázták. A Szingapúrra készített szimulációban [8] azt feltételezték, hogy a kisforgalmú és a nagykapacitású közforgalmú közlekedési vonalra ráhordó autóbusz vonalakat kiváltja egy megosztott autonóm kisbuszos szolgáltatás. Azonban csak a közforgalmú közlekedési flotta változását vizsgálták, az egyéni gépjárműről történő váltási hajlandóságot nem. A szimuláció eredményeként a hagyományos autóbusz vonalnak csak a 10%-a váltható ki egy ráhordó jellegű, megosztott autonóm járműves szolgáltatással.

A váltási hajlandóságot a várt előnyök is befolyásolják. Az utazási idő tekintetében a felhasználók kevésbé tekintik vonzónak a ride-sharing jellegű, férőhely megosztást alkalmazó autonóm járműves szolgáltatásokat a car-sharing jellegű, a járműhasználatot időben megosztó szolgálásokkal szemben [9]. Hasonlóan a kutatási célkitűzésünkhöz a jelenlegi módokról történő váltást vizsgálta Martinez és Viegas [10] is. Megközelítésükben ugyanakkor mindenkit „átültetnek” az egyéni járműhasználatot helyettesítő taxi és a megosztott taxi jellegű kisbuszos autonóm járműves szolgáltatásokra. Az új szolgáltatások mellett a gyaloglás és a nagykapacitású közforgalmú közlekedés is megmarad. Feltételezések: csak a 300 méter feletti utazások helyettesíthetők, a taxi jellegű szolgáltatást főként az eddig egyéni gépjárművet használó, bérlettel nem rendelkező utazók használnák. A váltási hajlandóságot az utazók konkrét szándékának felmérése helyett utazói csoportokra határozták meg. A jellemző utazói csoportok képzéséhez népszámlálási adatokat és korábbi kutatások eredményeit használták. Kamel és társai az utazók személyes jellemzőinek hatását vizsgálták a megosztott autonóm járműves szolgáltatás használatára vonatkozóan [11]. Csak autonóm járműves car-sharing szolgáltatást feltételeztek; az utazók váltási hajlandóságát nem egyénenként, hanem csoportjellemzők alapján számították (pl. fiatal férfiak váltási hajlandósága nagyobb). A feltételezések alapján tevékenység-alapú multi-ágens modellel szimulálták a párizsi modal-share változását. A megosztott autonóm jármű arányát 3,8-5,3%-ra becsülték, a váltás főként egyéni gépjármű használatról történt, a közforgalmú közlekedés részaránya növekedett a ráhordó funkciójú autonóm járműves szolgáltatás használatának következtében. A megosztott autonóm járműhasználat hajlandóságát kinyilvánított preferencia vizsgálat alapján becsülték München városára [12]. Csak az egyéni gépjárműről történő váltást vizsgálták, miközben a gyaloglás, kerékpározás, közforgalmú közlekedés részarányát állandónak tekintették. Szimulációval vizsgálták különböző megosztott autonóm járműves flották hatását a járműszámra és az utaskilométerre. Megállapították, hogy 10 egyéni gépjárművet 4 megosztott autonóm jármű képes helyettesíteni, míg 5-13% közé becsülték az autonóm járművek modal-share arányát.

Az irodalomkutatás alapján megállapítottuk, hogy a szimulációs vizsgálatok többnyire nem veszik, vagy nem teljeskörűen veszik figyelembe az egyének váltási hajlandóságát. A legtöbb esetben feltételezésekkel

élnék; az utazók megkérdezése helyett csak általános csoportjellemzőket vesznek figyelembe. A publikációk többnyire nem vizsgálják a teljes mobilitási palettát, az egyéni gépjárművekről történő váltást helyezik a vizsgálatuk fókuszába.

2. Mobilitási szolgáltatások átalakulása

A megjelenő autonóm járműves szolgáltatás várhatóan kiváltja az egyéni járműhasználat egy részét, valamint az ún. átmeneti közúti közlekedési módokat. Ezek tulajdonságaikat tekintve az egyéni gépjárműves és a nagy kapacitású, hagyományos közforgalmú közlekedés között helyezkednek el, például: taxi, car-sharing. Az új mobilitási szolgáltatás jellemzői: többnyire igényalapú, telematikai bázisú, mobil alkalmazáson előzetes rendeléssel vehető igénybe, megosztott, kis kapacitású autonóm közúti járművekre épül. Azonosítottuk a szolgáltatástípusokat, megkülönböztetve nagy mértékben rugalmas háztól-házig szolgáltatástípust, valamint kevésbé rugalmas, esetenként kötött útvonallal és menetrenddel rendelkező, nagykapacitású eszközre ráhordó szolgáltatástípust. Befogadóképesség alapján két jellemző járműtípus különböztethető meg: személyautó (max. 4 utas), kisbusz („pod”) (5-15 utas). A szolgáltatástípusok a következők:

1. **taxi:** egyéni háztól-házig szolgáltatás tetszőleges pontok között, a jármű férőhelyeinek megosztása nélkül.
2. **megosztott taxi:** háztól-házig szolgáltatás tetszőleges pontok között, a jármű férőhelyeinek megosztásával, az utasok eltérő be- és kiszállási pontjait érintve.
3. **ráhordó kisbusz:** ráhordó szolgáltatás egy zónán belüli tetszőleges pontról nagy kapacitású eszköz megállóhelyéig az átszállást garantáló részben-kötött menetrenddel. A szolgáltatás ellenirányú, elhordó funkciója szimmetrikus.
4. **kijelölt útvonalú kisbusz:** többnyire ráhordó szolgáltatás kijelölt útvonalon, kijelölt megállók kiszolgálásával, kötött alapmenetrenddel, ugyanakkor nagyobb igény esetén kisebb követési idővel. [13]

Mivel a nagy volumenű igények gazdaságos kielégítése hagyományos, nagy kapacitású közforgalmú eszközökkel (pl.: villamos, metró) lehetséges, szerepük elsősorban a nagy forgalmú gyűjtővonalakon továbbra is jelentős marad a szerepük. Ugyanakkor várhatóan ezen járműveket is automatizálják. Az egyéni gépjárműveket a jövőben csak a legrugalmasabb utazási igények esetén használják. A lágy közlekedési formák, így a gyaloglás, kerékpározás aránya, valamint az újszerű mikromobilitási formák szerepe várhatóan jelentős marad, egyéni és megosztott használattal egyaránt.

A jövő városi közlekedési formái a következők:

- egyéni közlekedés:
 - nem motorizált: gyaloglás, kerékpár,
 - motorizált: egyéni autonóm jármű, motorkerékpár, egyéb mikromobilitási eszköz,
- közforgalmú közlekedés:
 - kis kapacitású:
 - nem motorizált: bike-sharing,
 - motorizált: megosztott autonóm közúti jármű, egyéb megosztott mikromobilitási eszköz,
 - nagy kapacitású: autonóm (pl.: busz, villamos) és magasan automatizált kötött pályás járművek (pl. metró).

3. Módszer: modal-share változás meghatározása

A kidogozott utaskilométer alapú modal-share meghatározási módszer adatforrása egy kinyilvánított preferencia alapú kérdőíves felmérés. A felmérésben a válaszadók váltási hajlandóságát mértük fel. Az összehasonlítás érdekében számoltuk a jelenlegi és a jövőbeli modal-share értékeket is.

3.1 Kérdőíves felmérés

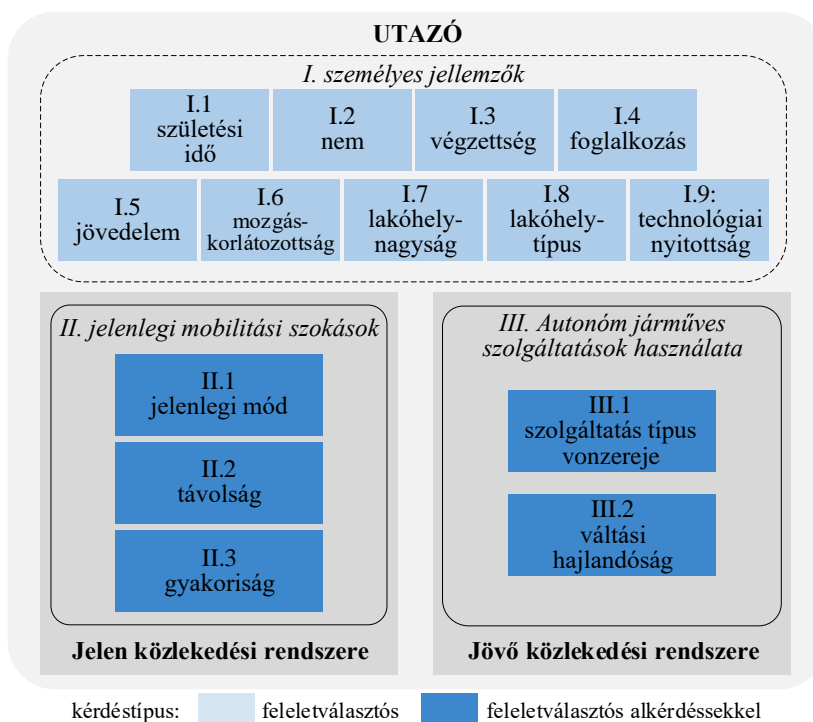
A nem, vagy kevésbé ismert tényekre vonatkozó felméréseknél, elvárások gyűjtésénél a kinyilvánított preferencia felmérése kérdőíves kutatással lehetséges; ekkor a kitöltő egy elképzelt szituációra adott véleményét gyűjtjük. Megtörtént utazásokról történő adatgyűjtés során feltárt preferenciák gyűjtése lehetséges (pl. háztartásfelvétel, helyszíni kikérdezés [14]). A kinyilvánított preferencia felmérés kockázata nagyobb, mivel lehet, hogy a valóságban a válaszadó másként fog vélekedni és viselkedni. Az autonóm járműves mobilitási szolgáltatások újszerűsége és így ismeretlensége miatt, csak kinyilvánított

preferencia vizsgálatra van lehetőség a váltási hajlandóság felmérésénél. Mivel minden válaszadó máshogy értelmezhet egy kérdést, a kérdéseket világosan, renduncia mentesen fogalmaztuk meg [15]. Feleletválasztós kérdéstípust alkalmaztunk [16]; előre definiált válasz lehetőségek közül lehetett egyet, vagy esetleg többet választani.

A kérdőívben a következő kérdéscsoportokat különböztettük meg:

- I. személyes jellemzők: a későbbi szűrésekhez, pontosabb elemzésekhez (pl. lakóhely szerint),
- II. jelenlegi mobilitási szokások: a jelenlegi számított modal-share érték meghatározásához, illetve a modal-shift kiszámításához,
- III. autonóm járműves szolgáltatások használata: a jövőbeli számított modal-share érték meghatározásához.

A kérdőív szerkezetét az 1. ábrán mutatjuk be. Egy kérdést egy doboz jelöl, a kérdéseket csoportokba rendeztük. Egy kérdés egy jellemzőre vonatkozik. Egy jellemző, mint változó, többféle értéket felvehet a válaszlehetőségek szerint. A II és a III. típusnál egy-egy kérdés az utazás motivációjára vonatkozó alkérdéseket is tartalmazhat (az ábrán eltérő színezés mutatja, hogy mely kérdés tartalmaz alkérdést). A következő motivációkat különböztettük meg: munka/tanulás, bevásárlás/ügyintézés, szabadidős tevékenység.



1. ábra: Kérdőív szerkezete

A jelenlegi mobilitási szolgáltatásra vonatkozó kérdéseknél (II) a válaszadó megadja, hogy

- II.1 mely közlekedési módot használja leggyakrabban adott motivációjú utazásához. Jelenlegi közlekedési módok: gyaloglás, kerékpározás, egyéni gépjárműhasználat (sofőrként), egyéni gépjárműhasználat (utasként), közforgalmú közlekedés, kombinált közlekedés (egyéni gépjármű + közforgalmú közlekedés).
- II.2 milyen távolságra utazik jellemzően az adott motivációjú utazásnál. Válaszlehetőségek: <1 km, 1-3 km, 3-5 km, 5-10 km, >10 km.
- II.3 milyen gyakorisággal végzi az adott motivációjú utazást. Válaszlehetőségek: szinten mindennap (5-6 alkalom/hét), hetente többször (3-4 alkalom/hét), hetente néhány alkalommal (1-2 alkalom), havonta néhány alkalommal vagy ritkábban.

Mivel autonóm járműves mobilitási szolgáltatás Magyarországon jelenleg még nincs, ezért a kérdőív részletes leírást tartalmaz az autonóm járműves szolgáltatástípusokról. A használatra vonatkozó kérdéseknél (III) a válaszadó megadja, hogy

- III.1 mely szolgáltatástípust használná a leginkább a jelenleg használt mód helyett adott motivációjú utazásnál, illetve
- III.2 milyen arányban váltaná le a jelenleg használt közlekedési módot a kiválasztott autonóm járműves szolgáltatástípusra adott motivációjú utazásnál. Válaszlehetőségek: soha, minden második alkalommal, minden alkalommal.

A válaszlehetőségek értékkészlete változhat a kérdőív alkalmazási területének jellemzőinek függvényében (pl. III.2 kérdés). Az általunk megadott értékek magyarországi, városi utazásokra jellemzők.

3.2 Számítási módszer

A számítás során használt jelölések:

- k válaszadó indexe $k \in \mathbb{N}$,
- i jelenlegi közlekedési mód indexe $i=1..4$ (1: gyaloglás, 2: kerékpár, 3: egyéni gépjármű, 4: nagy kapacitású közforgalmú közlekedés),
- j autonóm járműves szolgáltatástípus indexe $j=1..4$ (1: taxi, 2: megosztott taxi, 3: ráhordó kisbusz, 4: kijelölt útvonalú kisbusz),
- m utazás motivációja $m=1..3$ (1: munka/tanulás, 2: bevásárlás/ügyintézés, 3: szabadidős).

A felmérésből a következő változók meghatározása szükséges:

- ${}^i_k l^m$ k válaszadó i móddal megtett utazási távolsága m motiváció esetén [km] (II.2. kérdés alapján),
- ${}^i_k f^m$ k válaszadó utazási gyakorisága i móddal m motiváció esetén adott időintervallumon belül [utazások száma/hónap] (II.3. kérdés alapján),
- ${}^i_k a^m_j$ k válaszadó váltási hajlandósága i módról j típusra m motiváció esetén [%] (III.2. kérdés alapján).

A válaszlehetőségekhez számértékeket rendeltünk a következő táblázatok szerint: 1. táblázat: utazási távolság (${}^i_k l^m$), 2. táblázat: utazási gyakoriság (${}^i_k f^m$), 3. táblázat: váltási hajlandóság (${}^i_k a^m_j$). Az utazási távolság változó értékei területenként eltérőek. A táblázatban megadott értékek budapesti utazásokra jellemzőek.

1. táblázat: utazási távolság változó értékei		2. táblázat: utazási gyakoriság változó értékei		3. táblázat: váltási hajlandóság változó értékei	
kategória	${}^i_k l^m$	kategória	${}^i_k f^m$	kategória	${}^i_k a^m_j$
< 1 km	1	minden nap	20	minden alkalommal	1
1-3 km	2	gyakran	15	minden második alkalommal	0,5
3-5 km	4	heti néhányszor	10	soha	0
5-10 km	8	havi néhányszor	5		
>10 km	12				

1. lépés: jelenlegi modal-share

A kérdőív alapján számítottuk a jelenlegi modal-share értéket. ${}^i M$ jelöli az i mód jelenlegi, modal-share értékét (6.1):

$${}^i M = \frac{{}^i L}{\sum_i {}^i L} \quad (6.1)$$

ahol ${}^i L$ az i móddal megtett összes utazási távolság [km] (6.2). Valamennyi válaszadó, és minden motiváció összes utazási távolságát figyelembe vettük.

$${}^i L = \sum_m \sum_k {}^i_k l^m \cdot {}^i_k f^m \quad (6.2)$$

A modal-share érték motivációnként is kiszámolható (${}^i M^m$), ekkor a motiváció szerinti összegzés a (6.2) egyenletben nem szükséges; az egyenlet eredménye ${}^i L^m$, az i móddal megtett összes utazási távolság m motiváció szerint.

2. lépés: jövőbeli modal-share

A jövőbeli moda-share érték számításánál megkülönböztettünk a jelenlegi módokra, illetve az autonóm járműves szolgáltatástípusra vonatkozó számításokat.

${}^i M^*$ jelöli a jövőbeli modal share értékét i módra (6.3), míg M^*_j a jövőbeli modal share értékét j típusra (6.4).

$${}^i M^* = \frac{{}^i L^*}{\sum_i {}^i L^* + \sum_j L^*_j} \quad (6.3)$$

$$M_j^* = \frac{L_j^*}{\sum_i {}^iL^* + \sum_j L_j^*} \quad (6.4)$$

ahol

${}^iL^*$ jelöli az i móddal megtett jövőbeli összes utazási távolságot (6.5). Kifejezi az i mód használatának mértékét a különböző j típusokra váltás után.

$${}^iL^* = {}^iL - \sum_j {}^iL_j^* \quad (6.5)$$

L_j^* jelöli az összes jövőbeli megtett utazási távolságot j típusal (6.6) az összes jelenlegi közlekedési módról történő váltás figyelembevételével.

$$L_j^* = \sum_i {}^iL_j^* \quad (6.6)$$

A jövőbeli összes utazási távolság kiszámításához összegzendő a j típus jövőbeli összes utazási távolsága jelenlegi i mód helyett a válaszadók motivációnkénti váltási hajlandósága alapján, ${}^iL_j^*$ (6.7).

$${}^iL_j^* = \sum_m \sum_k {}^i l_k^m \cdot {}^i f_k^m \cdot {}^i a_{j^m}^m \cdot {}^i c \quad (6.7)$$

ahol ${}^i c$ egy korrekciós tényező. A tényező kifejezi a valós modal-share (${}^i M_{real}$) és a számított modal-share (${}^i M$) arányát (6.8).

$${}^i c = \frac{{}^i M_{real}}{{}^i M} \quad (6.8)$$

Alkalmazása akkor szükséges, ha a kérdőíves felmérés nem reprezentatív a jelenlegi modal-share értékekre vonatkozóan. Az arányszámmal korrigálható az egyes jelenlegi módhasználatok mintán belüli alul vagy felül reprezentáltsága. A valós modal-share értékek hivatalos forrásból szerezhetőek be. Amennyiben motivációként is rendelkezésre állnak a valós modal-share értékek, akkor a számítás pontosítható és az ${}^i c^m$ motivációnkénti korrekciós tényező bevonható a (6.7) egyenletbe a motiváció szerinti összegzésbe.

Amennyiben a jelenlegi i módról a váltás ráhordó kisbuszos ($j=3$) vagy kijelölt útvonalú kisbuszos ($j=4$) típusra történik, akkor a jövőbeli mobilitási lánc kellően hosszú utazásoknál várhatóan egy megosztott autonóm járművet igénybe vevő ráhordó szakaszból és egy nagykapacitású közforgalmú közlekedési eszközzel végrehajtott szakaszból fog állni. A ráhordó szakasz utazási hosszát l_j jelöli. Értéke a vizsgált területen konstansnak tekinthető; a hálózat jellemzőitől függ. Ekkor a nagy kapacitású közforgalmú közlekedési eszközzel megtett távolságot ${}^i l_k^m - l_j$ fejezi ki. Az így keletkezett, nagy kapacitású közforgalmú közlekedésre vonatkozó kiegészítő összes utazási távolság (${}^i L_{j=3,4}^*$) a (6.9) egyenlet alapján számítható. Ez a távolság növeli az i móddal megtett jövőbeli összes utazási távolságot (${}^i L^*$).

$${}^i L_{j=3,4}^* = \sum_m \sum_k ({}^i l_k^m - l_{j=3,4}) \cdot {}^i f_k^m \cdot {}^i a_{j=3,4}^m \cdot {}^i c \quad (6.9)$$

Különböző utazási motivációkra is kiszámolható a modal-share érték, ekkor a (6.2), (6.7) és (6.9) egyenleteknél az m -szerinti összegzés nem szükséges.

A módszer korlátja, hogy csak a megosztott autonóm járműves mobilitási szolgáltatástípusokra váltás hajlandóságát veszi figyelembe, más hatásokat (pl. lágy közlekedési formák népszerűsítése) figyelmen kívül hagy. Egyszerűsítésképp a ráhordó szolgáltatástípusokra ($j=3, 4$) váltás esetén az l_j ráhordó távolságot állandó értéként vesszük figyelembe, függetlenül a hálózat jellegétől. Továbbá, kombinált utazásoknál fele-fele arányban került szétosztásra a távolság az egyéni gépjárműhasználat és a közforgalmú közlekedés között a jelenlegi modal-share meghatározásánál. Ugyanezen kombinált utazásoknál ráhordó funkciójú autonóm járműves szolgáltatástípusra váltásnál csak az állandó l_j távolság került figyelembe vételre, az utazás maradék részénél feltételezzük a nagy kapacitású közlekedési eszköz igénybevételét. Ugyanakkor, a tendenciákra vonatkozóan a módszer korlátai mellett is helytálló következtetések vonhatók le.

4. Esettanulmány: módszer alkalmazása

A módszert a várható budapesti, városhatáron belüli modal-shift meghatározására alkalmaztuk. Országos kérdőíves felmérést végeztünk 2018 februárjában három héten keresztül. Összesen 510 válasz érkezett. Statisztikai mintavételes, vagy véletlenszerű mintás kikérdezés végrehajtására nem volt lehetőségünk. Így az eredmények nem reprezentatívak, mindazonáltal a relatíve nagy mintanagyság lehetővé teszi helyálló következtetések levonását. A személyes jellemzőkre vonatkozó kérdések esetében a lakóhelyre vonatkozó kérdést (I.7) használtuk szűrési feltételként, annak érdekében, hogy a célnak megfelelően, csak a Budapestieket vegyük figyelembe (a válaszadók 3/5-e budapestinek vallotta magát).

Budapesten a Budapesti Közlekedési Központ (BKK) 2012 óta rendszeresen végez modal-share méréseket azonos módszertan szerint. Háztartásfelvétel során minden év májusában 1000-1000 főt kérdeznek ki hétközi és hétvégi utazásairól. A modal-share értékét utazási kilométerek és utazás darabszám szerint is meghatározzák, megkülönböztetve gyalogos, kerékpáros, egyéni gépjárművel és közforgalmú közlekedési eszközzel végrehajtott utazásokat. 2018 óta erős csökkenés mutatkozik a közforgalmú közlekedést választók arányában és növekedés az egyéni gépjárművet használók arányában. Ezen tendenciák azonban nem a valóságot tükrözik, mert az eredmények torzulása visszavezethető a mérés során tapasztalt aktuális körülményekre (pl. szélsőségesen kedvezőtlen időjárás, késői mérési időpont); ilyen esetekben az egyéni gépjárműhasználók felülreprezentáltak.

A legutolsó megbízhatóbb referencia adatforrásnak a 2017-es felmérés tekinthető, ezért a kidolgozott módszer alkalmazásakor ezen adatokat használtuk. Mivel a kérdőíves felmérésünket 2018 elején végeztük, a válaszadók is főként az előző, 2017. évi utazásikra gondoltak, így a 2017-es BKK által mért modal-share adatok alkalmazását ez is alátámasztja. A 2017-ben a BKK által mért modal-share adatok: 11% gyaloglás, 2% kerékpározás, 40% egyéni gépjármű használat, 47% közforgalmú közlekedés.¹

Mivel különböző motivációjú utazásokhoz tartozó modal-share adatok nem álltak rendelkezésre referencia adatként, így a kérdőíves felmérés során kapott munka, bevásárlás és szabadidő motivált utazásokat összesítettük.

1. lépés, jelenlegi modal-share: a 304 budapesti válaszadó adatai alapján számított, jelenlegi módokkal megtett összes utazási távolságokat ((6.2) egyenlet alapján) és a modal-share értékeket ((6.1) egyenlet alapján) a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Jelenlegi számított értékek

i	közlekedési mód	1 gyaloglás	2 kerékpározás	3 egyéni gépjármű	4 közforgalmú közlekedés	Σ
iL [km]	összes utazási távolság	2605	3850	20 205	42 845	118 235
M_i [%]	jelenlegi modal-share	4	5,5	29	61,5	100

2. lépés, jövőbeli modal-share: mivel a kérdőíves felmérés adatai alapján számított modal-share értékek nem egyezik meg a valós modal-share adatokkal, ezért ${}^i c^m$ korrekciós tényezőt alkalmaztunk a (6.8) egyenlet alapján: gyaloglás: 2,93, kerékpározás: 0,36, egyéni gépjármű: 1,38, közforgalmú közlekedés: 0,76.

A (6.5) – (6.7) egyenletek alapján a jelenlegi módokkal és az autonóm járműves szolgáltatástípusokkal megtett jövőbeli távolságok értékeit számoltuk. Ráhordó jellegű autonóm járműves szolgáltatástípusra váltás esetén a közforgalmú közlekedéssel megtett utazási távolságot a (6.9) egyenlet alapján számoltuk. Ez az utazási távolság növekményként hozzáadódik a nagy kapacitású közforgalmú közlekedés jövőbeli modal-share értékéhez. A számítás során $l_{j=3,4} = 2$ értéket vettünk figyelembe, vagyis feltételeztük, hogy 2 km-es ráhordó szakasz átlagosan elegendő tekintve, hogy a budapesti nagy kapacitású közforgalmú közlekedési hálózat sűrű. Az 5. táblázatban összefoglaltuk, hogy a korrekciós tényezővel felszorozott jelenlegi közlekedési módokra jellemző utaskilométerek százalékosan hogyan rendeződnek át. Hány százalékát fogja lefedni az utaskilométereknek a jövőben is az adott mód, az egyes autonóm járműves szolgáltatástípusok, illetve, hogy a ráhordó funkció miatt mekkora lesz a nagy kapacitású közforgalmú

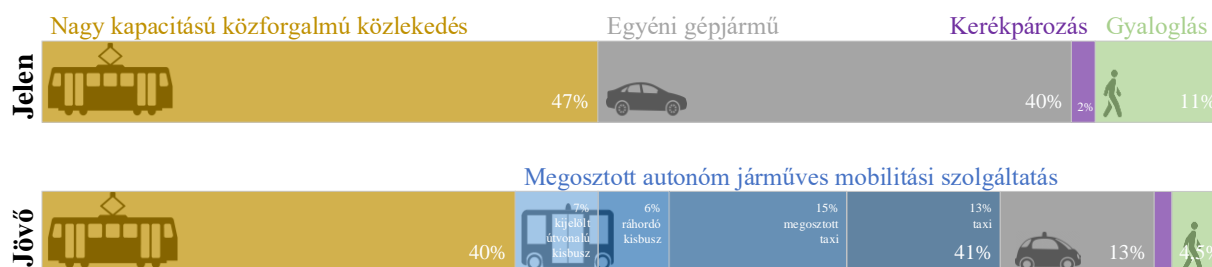
¹ adatok forrása: Budapesti Közlekedési Központ; Budapesti Mobilitási Terv

közlekedéssel lefedett növekmény. (Mivel csak az autonóm járműves szolgáltatástípusra történő váltási hajlandóságot vizsgáltuk, a módok közötti váltást bemutató cellákban nem szerepel érték.)

5. táblázat: Jelenlegi utaskilométer százalékos átrendeződése a váltási hajlandóság alapján [%]

[%]		közlekedési mód (i)				autonóm járműves szolgáltatástípus (j)				i
		gyaloglás	kerékpározás	egyéni gépjármű	közforgalmú közlekedés	taxi	megosztott taxi	ráhordó kisbusz	kijelölt útvonalú kisbusz	
i	közlekedési mód	1	2	3	4	1	2	3	4	4
1	gyaloglás	39	-	-	-	9	19	9	14	10
2	kerékpározás	-	59	-	-	7	6	4	6,5	17,5
3	egyéni gépjármű	-	-	31	-	22	19	4	4,5	19,5
4	közforgalmú közlekedés	-	-	-	43	7	11,5	7	7,5	24

A számított jövőbeli modal-share értéket, a (6.3) és (6.4) egyenletek alapján a 2. ábrán mutatjuk be, feltüntetve a referencia értéként használt, a BKK által mért jelenlegi modal-share értéket.



2. ábra: Átalakuló modal-share
(jelenlegi modal-share adatok forrása, BKK, 2017-es adat)

Az 5. táblázat és a 2. ábra alapján megállapítottuk, hogy a kinyilvánított preferenciák alapján, az egyéni gépjárműhasználat jelentősen csökkenthető igényalapú, megosztott autonóm közúti járműves szolgáltatással főként a taxi és a megosztott taxi szolgáltatástípusokkal; hasonló megállapításra jutott Martinez és Viegas is [10]. A jelenlegi egyéni gépjárműveket használók váltási hajlandósága a legnagyobb, az utaskilométerre vonatkoztatott modal-share értéke a jelenlegi 40%-ról 13%-ra csökken; a jelenlegi egyéni gépjárműves utaskilométer 31%-a marad csak meg.

Számottevő a nagyobb távolságról utazók váltási hajlandósága. Ezt támasztja alá, hogy a nagy kapacitású közforgalmú közlekedés növekménye minden közlekedési mód esetében jelentős. Ugyanakkor a módszer itt az eredményeket kismértékben torzítja. Ráhordó autonóm járműves szolgáltatástípusra váltás esetén ($j=3$ és $j=4$) ugyanis egységesen 2 kilométeres ráhordó szakaszt vettünk figyelembe; feltételeztük, hogy az utazás 2 km feletti részét nagy kapacitású közforgalmú közlekedéssel teszi meg majd az utazó. Ebből adódik az 5. táblázatban, hogy az utaskilométer százalékos aránya kisebb ezen szolgáltatástípusoknál, de a nagy kapacitású közforgalmú közlekedés növekménye jelentős.

A gyaloglásról váltási hajlandóság is jelentős, különösen a hosszabb távú utazásoknál, ezt támasztja alá a nagyobb arányú ráhordó jellegű szolgáltatás választása. A kerékpárosok váltási hajlandósága a legkisebb, ugyanakkor a hosszabb távú utazások ráhordó jellegű autonóm járműves szolgáltatással történő kiváltása kerékpárosoknál is jelentős mértékű, amit a nagy kapacitású közforgalmú közlekedés növekménye támaszt alá.

A jelenleg közforgalmú közlekedést választók esetében is jelentős a váltási hajlandóság, ugyanakkor a hosszabb távú utazásoknál nagy arányban a ráhordó jellegű szolgáltatásokat választották; a nagy kapacitású közforgalmú közlekedés növekménye ebben az esetben a legnagyobb. Várhatóan az autonóm járműves szolgáltatásokkal a kisebb kapacitású jelenlegi autóbusszal viszonylatok válhatnak ki.

Összességében a közforgalmú közlekedés modal-share értéke ugyan csökken, de a ráhordó funkciójú szolgáltatások igénybevételének köszönhetően a mértéke nem jelentős. A kisbuszos ráhordó jellegű autonóm járműves szolgáltatások jellegükben közel állnak a hagyományos közforgalmú közlekedéshez. Ezek részarányát is figyelembe véve a közforgalmú közlekedés aránya jelentősen növekszik. A taxi jellegű szolgáltatások ugyan individuálisabb jellegűek, ugyanakkor a járműszám csökkenéséhez vezethetnek, mivel a járműveket egymás után többen használhatják.

Konklúzió

Az autonóm járműves szolgáltatástípusok bevezetése várhatóan a modal-share átalakulásához vezet. A váltási hajlandóságot személyes és utazási szokásjellemzők befolyásolják. A kutatásunk fő eredménye a modal-share változását meghatározó módszer, ami az utazók jelenlegi mobilitási szokásait és váltási hajlandóságát veszi figyelembe. Kidolgoztuk a kérdőív struktúráját és a gyűjtött adatok feldolgozási módszerét; elvégeztük a felmérést.

A módszer budapesti alkalmazásával megállapítottuk, hogy az egyéni gépjárművet használók között jelentős a váltási hajlandóság. Főként igényalapú taxi és megosztott taxi jellegű autonóm járműves szolgáltatás bevezetésével az egyéni gépjárműhasználat aránya jelentősen csökkenthető a jelenlegi 40%-ról 13%-ra. A legkisebb a váltási hajlandóság a kerékpárt használók, illetve a közforgalmú közlekedést választók körében. Jellemzően hosszabb távú utazásoknál azonban ezen utazók is váltanának autonóm járműves szolgáltatástípusra, ugyanakkor körükben népszerűbbek a kevésbé rugalmas nagy kapacitású közforgalmú közlekedési eszközre ráhordó szolgáltatástípusok.

Mivel egyszerű kérdőívre és általános módszer kidolgozására törekedtünk, ezért egyszerűsítéseket vezetünk be, és a változók értékének becsléséhez kategóriákat alkalmaztunk. A kidolgozott módszer pontosítható a bevezetett egyszerűsítések feloldásával (pl. eltérő hosszúságú ráhordó szakaszok használata területenként), valamint kategória értékek helyett pontos értékek alkalmazásával. Pontosabb eredmények érhetők el reprezentatív kérdőíves felmérés elvégzésével is.

A tématerületben rejlő kutatási potenciál jelentős, így a kutatást számos irányban folytatjuk. Feloldjuk az egyszerűsítéseket, továbbá más hatások becsléséhez is kidolgozunk az utazók elvárásait figyelembe vevő, kvantitatív módszereket (pl. területhasználat változása).

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mesterséges Intelligencia (BME FIKP-MI/FM) tématerületi programja keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] Alessandrini A. - Campagna A. - Site P. D. - Filippi F. - Persia L.: Automated Vehicles and the Rethinking of Mobility and Cities. *Transportation Research Procedia*, 5:145-160, 2015. DOI: 10.1016/j.trpro.2015.01.002
- [2] Fagnant D. J. - Kockelman K.: Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77:167-181, 2015. DOI: 10.1016/j.tra.2015.04.003
- [3] Milakis D. - Snelder M. - van Arem B. - van Wee G.P. – Correia H. A. G.: Development of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 17(1):63-85, 2017. DOI: 10.18757/ejtir.2017.17.1.3180
- [4] Gruel W - Stanford J.M.: Assessing the long-term effects of autonomous vehicles: a speculative approach. *Transportation Research Procedia*, 13:18-29, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.003
- [5] Nordhoff S. - de Winter J. - Madiga R. - Merat N. - van Arem B. - Happee R.: User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg: A questionnaire study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58:843-854, 2017. DOI: 10.1016/j.trf.2018.06.024
- [6] Bansal P. - Kockelman K.M. - Singh A.: Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67:1–14, 2016. DOI: 10.1016/j.trc.2016.01.019

- [7] Cyganski R. – Heinrichs M. – von Schmidt A. – Krajzewicz D.: Simulation of automated transport offers for the city of Brunswick. *Procedia Computer Science*, 130:872-879, 2018. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.083
- [8] Shen Y. – Zhang H. – Zhao J.: Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113:125-136, 2018. DOI: 10.1016/j.tra.2018.04.004
- [9] Kolarova V. – Steck F. – Bahamonde-Birke F. J.: Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 129:155-169, 2019. DOI: 10.1016/j.tra.2019.08.011
- [10] Martinez L. M. –Viegas J. M.: Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: An agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(1):13-27, 2017. DOI: 10.1016/j.ijst.2017.05.005
- [11] Kamel J. – Vosooghi R. – Puchinger J. – Ksontini F. – Sirin G.: Exploring the Impact of User Preferences on Shared Autonomous Vehicle Modal Split: A Multi-Agent Simulation Approach. *Transportation Research Procedia*, 37:115-122, 2019. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.173
- [12] Moreno A. T. – Michalski A. – Llorca C. – Moeckel R.: Shared Autonomous Vehicles Effect on Vehicle-Km Traveled and Average Trip Duration. *Journal of Advanced Transportation*, Article ID 8969353, 2018. DOI: 10.1155/2018/8969353
- [13] Földes D. – Csiszár Cs.: Utazói elvárások az autonóm járműveket alkalmazó mobilitási szolgáltatásoknál. *Közlekedéstudományi Konferencia*, 315-325, március 22-23, Győr, Magyarország, 2018.
- [14] Winkler Á.: A New “On-the-spot” Method to Discover Passenger Preferences in Public Transport. *Transport Research Arena 2010: Greener, Safer and Smarter Road Transport for Europe*, Brussels, Belgium, 2010.
- [15] Hosseininasab, A.: Regularisation and reliability assessment of data in survey analysis. *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*, vol. 7, no. 3, pp. 284-300, 2015. DOI: 10.1504/IJDATS.2015.071368
- [16] Haladyna, T.M.: *Guidelines for Developing MC Items. Developing and Validating Multiple-Choice Test Items*. Routledge Taylor & Francis Group, pp. 97-127, 2011.