

# Mobilitási szolgáltatások komplex automatizálási szintjei

A közlekedésben ismert és elfogadott automatizálási szintek elsősorban a járműirányításra fókuszálnak. Ugyanakkor a mobilitási szolgáltatások tervezése és használata is hatékonyabbá, illetve kényelmesebbé tehető az automatizálással. A mobilitási szolgáltatások automatizáltsági jellemzőit komplex módon leíró értékelő módszer a szolgáltatás tervezési, irányítási és utaskezelési funkciók jellemzésére alkalmazható.

DOI 10.24228/KTSZ.2019.4.3

## Dr. Csiszár Csaba<sup>1</sup> – Földes Dávid<sup>1</sup> – Dr. Tettamanti Tamás<sup>2</sup>

egyetemi docens                      tudományos segédmunkatárs                      egyetemi adjunktus  
e-mail: csizar.csaba@mail.bme.hu    foldes.david@mail.bme.hu    tettamanti@mail.bme.hu

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,  
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,  
Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

### 1. BEVEZETÉS

A közlekedési rendszer változását a technológiai fejlesztések mellett társadalmi kihívások is előidéznek (pl.: környezettudatosság, megosztáson alapuló gazdaság) [1], [2]. A technológiai fejlesztések (pl. automatizálás) célja az üzemeltetési hatékonyság fokozása a felhasznált erőforrások (pl. energia, idő, költség) csökkentésével. Bár a technológiai fejlődés sok esetben választ ad bizonyos társadalmi és fenntarthatósági kihívásokra, ugyanakkor gyakran újabb problémákat is felvet, mint például félelem az új technológiától vagy a közlekedési kereslet növekedése [3].

A közlekedésben elsősorban a járművekre, különösen a járműirányításra és kommunikációra fókuszálnak az automatizálási fejlesztések [4]. Ugyanakkor számos utaskezelési, üzemeltetési és karbantartási folyamat is automatizál-

ható [5]. A jelenlegi, széles körben elfogadott automatizálási szintek a járműirányítás jellemzőit írják le. A mobilitási szolgáltatásokat leíró komplex automatizálási szinteket ezidáig még nem határoztak meg. Miközben szükséges az átfogó megközelítés, különösen az automatizált járművekkel kapcsolatos fejlesztési trendek ismeretében.

Munkánk során ezen „kutatói rés” betöltését tűztük ki célul. A városi közúti közforgalmú mobilitási szolgáltatások automatizálási lehetőségeivel foglalkoztunk. Ezen szolgáltatások lefedik egyrészt a nagy kapacitású, gerincvonalakon közlekedő, másrészt a kiskapacitású, megosztott, igényalapú háztól házig terjedő vagy ráhordó megoldásokat.

Kutatásunk fő eredménye a mobilitási szolgáltatások komplex automatizálási szintjét meghatározó módszer, amely szolgáltatáster-

vezési, irányítási és utaskezelési funkciókat értékel. Nem csupán a járművel kapcsolatos folyamatokat, hanem a teljes személyközlekedési rendszert figyelembe vettük. Célunk a technológiai fejlesztések szélesebb alkalmazási környezetbe helyezése. Ezzel fel lehet készülni a jövőbeli kihívásokra. A módszer mobilitási szolgáltatások elemzésére és összehasonlítására, valamint a lehetséges fejlesztési feladatok meghatározásához alkalmazható.

## 2. JELENLEGI HELYZET

A jelenlegi helyzetet a tudományos szakirodalom, valamint a projekt beszámolók és a műszaki leírások alapján tekintettük át.

### 2.1. Szakirodalmi áttekintés

Az automatizált járművekkel, valamint a köréjük épített személyközlekedési rendszerrel és mobilitási szolgáltatásokkal számos irodalom foglalkozik. A publikációk a fő fókuszterületük alapján csoportosíthatók. Egy-egy tudományos mű gyakran több kategóriába is besorolható. Az áttekintett szakirodalmat az 1. ábrán csoportosítottuk.

Az autópárhazban a járműirányítás automatizálásánál 4-5 szintű kategóriába sorolást alkalmaznak a SAE és BASt szintek szerint [6], [7]. Az UITP szervezet által a kötöttpályás közlekedési eszközök automatizálást leíró ún. GoA szintek (Grade of Automation – automatizálási osztály) esetében azonban már más funkciókat is figyelembe vesznek a járműirányítás mellett (pl. ajtók nyitása/zárása) [8]. Az IEC 62290-1:2014 [9] szabvány szintén kötöttpályás járművek számára fogalmazza meg az automatizált irányításra vonatkozó előírásokat.

Az autonóm járművek elterjedését a megoldatlan technológiai (különösen közlekedésbiztonsági), pénzügyi, jogi, valamint etikai kérdések hátráltatják [10]. Ugyanakkor ezen járművek alkalmazásától számos kedvező társadalmi hatást is várnak: biztonságosabb közlekedés, utazásiidő-csökkenés, személyre szabott mobilitási szolgáltatások, energiahatékonyság növekedése és kedvezőbb térgazdálkodás [11].

A leginkább várt hatás a közlekedésbiztonság fokozása, a balesetek számának és a sérülések súlyosságának csökkenése [12], [13]. Egyúttal az új típusú balesetek a felelőségi kérdéseket

1. ábra: Az áttekintett szakirodalom csoportosítása



is megváltoztatják; a felelőség a mobilitási szolgáltatóhoz vagy a rendszer szállítójához kerül [14]. További haszon, hogy az autonóm járművek megosztott használata következtében csökken a szükséges járműszám [15], [16], [17], ezáltal a parkolási igények is csökkennek [18]. Ez a területhasználat átalakulásához is vezet.

Számos tudományos kutatás foglalkozik az utazói elfogadás felméréseivel. Az autonóm járműves szolgáltatások elfogadását elsősorban az érzékelt hasznosság és a használat egyszerűsége befolyásolja [19]. Népszerűsítő kampányokkal lehet fokozni az elfogadást. A használat hajlandósága összefügg a felhasználók személyes jellemzőivel. A szolgáltatás általános paraméterei, mint például a várakozási és az utazási idő továbbra is fontos, a minőséget leíró jellemzők maradnak [20]. Az utasok részéről inkább pozitív, míg az adminisztratív és szabályozói oldalról inkább negatív fogadtatás figyelhető meg [21]. Mindazonáltal a jelenlegi tesztjellegű automatizált kisbuszos szolgáltatások jellemzői általában még nem felelnek meg a felhasználói elvárásoknak; többek között az alacsony utazási sebesség miatt [22].

Az átmeneti időszakban, heterogén forgalom esetén, ahol hagyományos és autonóm járművek egyaránt közlekednek új forgalommodellezési és -irányítási stratégiák szükségesek a trajektóriák, a sebesség és az útvonalak optimalizálásához [23]. A korai szakaszban a forgalmi paraméterek romlása várható, mivel a túl szabálykövető járművek lassítani fogják a haladást [24]. Ugyanakkor a fejlett járműirányítás, V2V kommunikáció és a teljesen autonóm járművek elterjedését követően a forgalomlefolys javulása várható. Az automatizált járműirányítással az eco-driving vezetési stílus is teljeskörűen megvalósítható [25].

Összefoglalóan megállapítható, hogy a tanulmányok jellemzően a járműirányítási és a kommunikációs funkciók általános fejlődésével foglalkoznak. Az autonóm járműves mobilitási szolgáltatásokat illetően az irodalom elsősorban a forgalmi hatásokra és az általános felhasználói elvárásokra összpontosít.

Ebből kifolyólag egyértelműen azonosítható a „kutatási rés” a mobilitási szolgáltatások üzemeltetésének automatizálási lehetőségeire vonatkozóan.

## 2.2. Automatizálás a közlekedésben

A közforgalmú közlekedésben a járműirányítás alapján a járművek két csoportja különböztethető meg:

- automata közforgalmú járművek: előre programozott, egyértelműen leírt algoritmusok szerint működnek, azokat lépésről lépésre követve. A rendszer valamennyi lehetséges szituációra fel van készítve. A járművek külön pályán vagy sávon haladnak. Az UITP szintek alkalmazhatók a járműirányítási funkció pontos leírására.
- autonóm közforgalmú járművek: képesek önálló döntéseket hozni kognitív és öntanuló képességeiket felhasználva. A működés során fellépő valamennyi szituáció esetében a beprogramozott válaszok helyett érzékelik a környezetet, azonosítják az elemeket és a szándékot, feltárják (megértik) az összefüggéseket és arra megfelelő választ adnak. Ennek megfelelően képesek más közlekedőkkel közös pályán haladni. A járművek mozgó, mesterséges intelligenciával felruházott számítógépeknek tekinthetők. A mesterséges intelligencia célja az emberi gondolkodás és problémamegoldó képesség gépi, szoftveres helyettesítése. Az SAE szintek alkalmazhatók a járműirányítási funkció pontos leírására.

A jelenlegi automata közforgalmú járműveknél az intelligencia az infrastruktúrában helyezkedik el, vagyis a jármű az infrastruktúrától érkező parancsokat hajtja végre (pl. automata metró). Ezzel szemben az autonómjármű-fejlesztések az intelligenciát a járműbe helyezik. A járműfejlesztések gazdasági hatékonysága jelentősen fokozható lenne, ha az intelligencia egy része az infrastruktúrába kerülne [26]. Ehhez alapvető a V2X járműkommunikációs technológia fejlesztése és szabványosítása [27]. Bár az egyre önállóbb járművek képesek a forgalmi helyzetekben önálló döntést hozni,

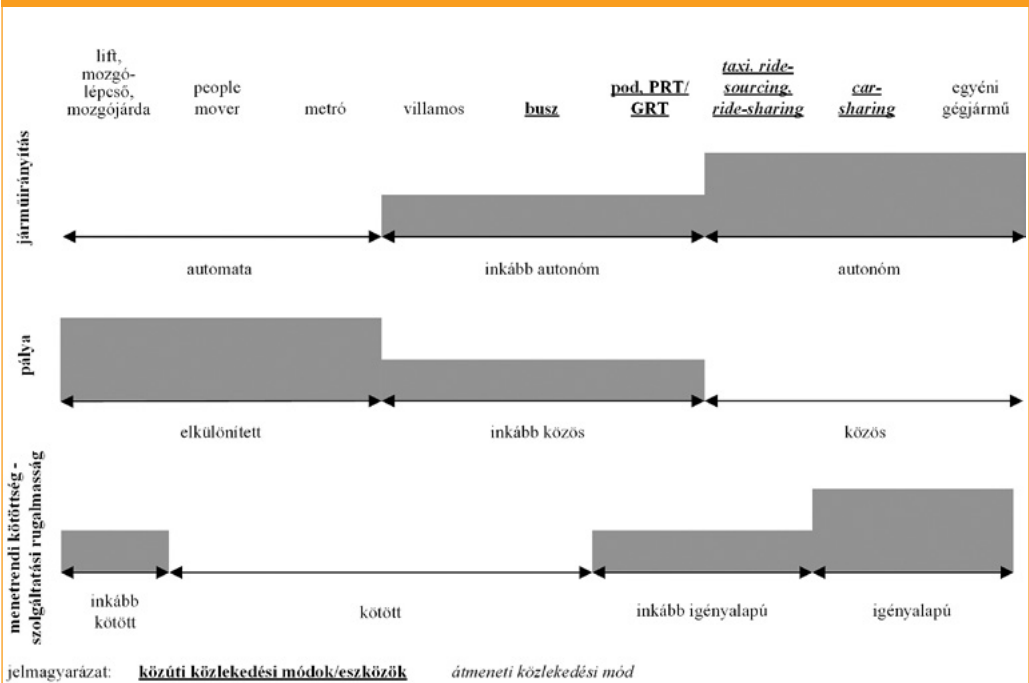
a működésük rendszerszintű koordinációja szükséges [28]. Integrált mobilitás menedzsment központ létesítésével koordinálható a járművek mozgása és a többi központ (pl. üzemeltetők) működése.

A mai PRT és GRT (People -, Group Rapid Transit) szolgáltatások többnyire magasan automatizált járművekkel működnek, illetve tesztfázisban már autonóm járművek is megjelentek. Leginkább személyautókat, illetve kis kapacitású autóbuszokat fejlesztettek, amely utóbbira elterjedt a „pod”, azaz a kapszula elnevezés (pl. WEpod, Citymobil2 projekt). A járműfejlesztések vagy termék- (hagyományos és új járműgyártók) vagy szolgáltatásorientáltak (pl. Waymo, Uber). Utóbbiak esetében az autonómjármű-fejlesztések célja többnyire taxijellegű (ride-sourcing) szolgáltatás üzemeltetése. Ezekén kívül elkezdődött a nagyobb kapacitású autonóm autóbuszok (pl. CityPilot projekt), illetve a villamosok fejlesztése is.

A jelenlegi szolgáltatások többnyire tesztfázisban működnek; több szolgáltatás jelenleg nem is üzemel, mert a tesztelési időszak véget ért, de a bevezetésük nem történt meg. Többségük elkülönített pályán vagy csökkentett forgalmú övezetekben működik, ahol a konfliktusok száma más közlekedőkkel kevesebb. Céljuk a járműirányítási technológia fejlesztésén túl, az utazói reakciók megfigyelése és mérése. Ugyanakkor az utaskezelési funkciók automatizálásával egyelőre csak csekély mértékben foglalkoznak.

Jellemeztük a közlekedési eszközöket a járműirányítás automatizálási szintje, a pálya jellemzője és a szolgáltatás menetrendi kötöttsége alapján (2. ábra). A szürke terület mérete megmutatja, hogy mennyire jellemző a járműirányításnál az autonóm jelleg, pálya esetén az elkülönített pálya, illetve a szolgáltatási rugalmasság (az aktuális igényekhez igazított kapacitás). Például, az autóbuszok járműirányítás szerint többnyire autonómok (lesznek), de

2. ábra: Motorizált városi személyközlekedési eszközök



bizonyos körülmények között, amikor a pálya elkülönített (pl. BRT rendszereknél) az automata jellemző is megfelelő. Dőlt betűvel az ún. átmeneti közlekedési módokat jelöltük, amelyek az egyéni és a hagyományos közforgalmú közlekedés között helyezkednek el, egyesítve azok előnyeit a megosztás elvére építve. Az ábrán félkövér betűvel emeltük ki a közúti közösségi közlekedési módokat/eszközöket. A továbbiakban elsősorban az ezek által nyújtott szolgáltatás változásával foglalkozunk. Megállapítottuk, hogy minél inkább igényalapú egy szolgáltatás, annál inkább jellemző az autonóm járműirányítási jelleg. Továbbá, ha a pálya elkülönített, az autonóm jelleg kevésbé szükséges (pl. automata metró).

A teljes közlekedési rendszer változása várható, előtérbe kerül a mobilitás, mint szolgáltatás (MaaS) megközelítés; az egyéni gépjárművet egyre inkább csupán egy eszköznek tekintik a közlekedők [29]. A MaaS koncepcióban a mobilitási szolgáltatások széles palettája integráltan és személyre szabottan érhető el [30]. A kiskapacitású autonóm járművek megjelenése várhatóan felgyorsítja ezt a folyamatot. A mobilitási paletta átalakul [31]. Új, igényalapú, telematikai bázisú, mobil alkalmazáson előzetes rendeléssel igénybe vehető, megosztott, kis kapacitású közúti autonóm járműves mobilitási szolgáltatások jelennek meg, amik kiváltják a mai ún. átmeneti közlekedési módokat és az egyéni gépjárműhasználat egy részét is [20], [32]. A MaaS koncepcióba jól illeszthetők a megosztott automatizált járművek [33]. Az autonóm járművek integrált irányítása egyszerűsíti a szervezést. A jövő közforgalmú közlekedésében bár a járművek üzemeltetői köre változatos lehet, mégis a mobilitási szolgáltatás szabályozott, amelynek szervezését az integrált mobilitás menedzsment központ végzi. Közforgalmú közlekedésnek minősülnek a kötött útvonalon és menetrend szerint közlekedő, nagy kapacitású automatizált eszközök, a rugalmas, igényalapú autonóm gépjárműves mobilitási szolgáltatások, valamint a közösségi kerékpár rendszerek is.

A mobilitási szolgáltatások hatékonyságának növelése érdekében a járműirányítás melletti funkciók automatizálása is szükséges. A kidolgozott értékelési módszerünk a városi közúti

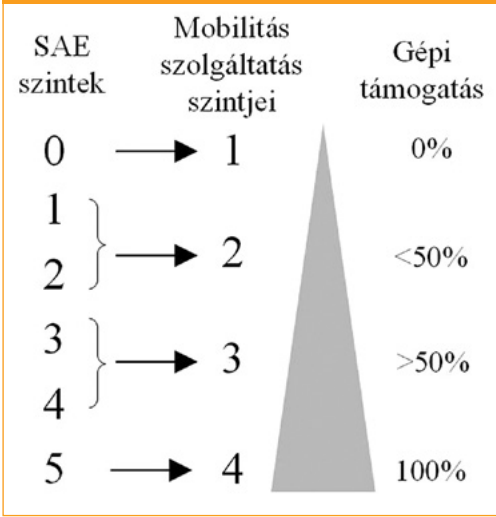
közforgalmú mobilitási szolgáltatások komplex automatizálási szintjének meghatározásához alkalmazható.

### 3. MOBILITÁSI SZOLGÁLTATÁSOK ÉRTÉKELŐ MÓDSZERE – KOMPLEX AUTOMATIZÁLÁSI SZINTEK DEFINIÁLÁSA

Célunk a mobilitási szolgáltatásokat átfogó módon leíró automatizálási szintek meghatározása volt. A járműirányítás mellett más irányítási funkciók, valamint a tervezési és az utaskezelési funkciók automatizálását is figyelembe vettük.

A funkciókat automatizálási szintekkel írtuk le. Négy automatizálási szintet különböztetünk meg. Ennek alapját az adta, hogy az SAE járműirányítási szintek egyértelműen leegyszerűsíthetők négy szintre a gépi támogatás mértéke alapján (3. ábra). A gépi támogatás jelentheti az emberi tevékenységek segítségét vagy teljes helyettesítését. A SAE eredetileg hat szintet definiál az egyáltalán nem automatizált irányítástól, a minden körülmények között autonóm járműirányításig terjedően. A gépi támogatás mértékének megkülönböztetése más döntéstámogató funkció esetében is alkalmaz-

3. ábra: Automatizálási szintek a gépi támogatás mértéke alapján



ható (pl. útvonaltervezés). Továbbá, a négy szintes csoportosítással más tulajdonságok is jellemezhetők (pl. információ időbelisége: statikus, féldinamikus, dinamikus, becslőt).

Egy adott funkcióhoz automatizálási szintet rendeltünk, aminek a jelölése:  $a_{c,f}$  ahol  $c$  a funkció-kategória indexe  $c = 1,2,3$ , míg  $f$  a funkció indexe  $f = 1..F$ . Az automatizálási szintek leírását funkció-kategóriánként a következő táblázatok foglalják össze:

1. szolgáltatástervezés és -szervezés (1. táblázat),
2. irányítás (2. táblázat),
3. utaskezelés (3. táblázat).

A táblázatok sorfejléceiben a funkciók, míg oszlopfejléceiben az automatizálási szintek szerepelnek. A táblázatok cellái az egyes funkciók adott automatizálási szintre vonatkozó jellemzőit írják le. Az automatizálási szintek meghatározását és leírását irodalmi források [34], [35], [36], [37], [38], szabványok, úgy, mint SAE [6] és GoA [8], valamint saját tapasztalatok alapján végeztük el. Bizonyos funkciók esetében nem lehet minden szintet definiálni, mivel a funkció fejlődésében nincs négy fokozat. Ilyen esetekben szinteket vontunk össze. A funkciókhoz tartozó automatizálási szintek

aggregálásával a funkció-kategória automatizálási szint határozható meg. Ez kifejezi az azonos jellegű funkciók együttes automatizáltságát. Ennek meghatározásához súlyozott összeg modellet alkalmaztunk (WSM) (1). A súlyok alkalmazásával az egyes funkciók adott kategórián belüli jelentősége is kifejezhető. Például egy jelenlegi car-sharing szolgáltatásnál az utazó vezet, így az infotainment funkció jelentősége kisebb, mint a jogosultságkezelésé. A súlyok egy-egy szolgáltatástípuson belül megegyeznek, így a mobilitási szolgáltatások összehasonlíthatók egymással. Például különböző car-sharing szolgáltatások értékelésekor ugyanazok a súlyok alkalmazandók. A kidolgozott módszer korlátja, hogy a súlyok beállítása manuálisan, feltételezések alkalmazásával lehetséges.

$$a_c = \sum_{f=1}^F a_{c,f} \cdot w_{c,f} \tag{1}$$

ahol  $a_{c,f}$  a funkció automatizálási szintje  $a_{c,f} \in [1..4]$ ,  $w_{c,f}$  a funkció súlya  $\sum w_{c,f} = 1$ .

A mobilitási szolgáltatás komplex automatizálási szintje a funkció-kategóriák automatizálási szintjének aggregálásával számítható (2). Az általános leírás érdekében ebben a lépésben eltekinttünk a súlyok alkalmazásától; az agg-

1. táblázat: Szolgáltatástervezési és -szervezési funkciók automatizálási szintjei ( $c = 1$ )

$f$	$a_{1,f}$	Automatizálási szint			
		1. szint	2. szint	3. szint	4. szint
1	<b>igény</b> (pl. szolgáltatás-típus, kapacitás)	manuális adatgyűjtés és papíralapú feldolgozás	manuális adatgyűjtés, szoftveresen támogatott feldolgozás	szoftveres adatgyűjtés és feldolgozás	automatikus adatgyűjtés és feldolgozás
2	<b>infrastruktúra</b> (pl. megálló/útvonal, töltő-infrastruktúra)	tradíciók alapján hagyományos módszerek alkalmazása	manuálisan, szoftveres támogatással (pl. statisztikai alkalmazás)	hagyományos emberi tudás szoftveres alkalmazásba integrálva	automatikus folyamat gépi kognitív képességek alkalmazásával
3	<b>járműmozgás</b>	tapasztalatok és megfigyelések alapján	manuálisan, szoftveres támogatással (pl. statisztikai alkalmazás)	szoftveres automatizálásokkal támogatott	automatikus tervezés, nyomon követés, újratervezés
4	<b>tarifarendszer</b> (díjszámítás)	egyszerű tarifarendszer dinamikus változók nélkül	kifinomult tarifarendszer (pl. statisztikai alkalmazások)	szoftveresen támogatott	összetett tarifarendszer, automatikus díjszámítás valós idejű, historikus és becslőt adatok alapján
5	<b>karbantartás</b>	manuális adatgyűjtés és papíralapú feldolgozás	manuális adatgyűjtés, szoftveresen támogatott feldolgozás	szoftveres adatgyűjtés és feldolgozás	automatikus adatgyűjtés és feldolgozás valós idejű, diagnosztikai adatok alapján

## 2. táblázat: Irányítási funkciók automatizálási szintjei (c = 2)

f	a <sub>2f</sub>	Automatizálási szint			
		1. szint	2. szint	3. szint	4. szint
1	<b>jármű-irányítás</b>	járművezető által, esetleg indirekt vezetéstámogatással (pl. figyelmeztető jelzés)	vezetés támogatása (pl. vészfékezés)	a vezetés nagymértékben automatizált (pl. adaptív sebességtartás), a járművezető jelen van és beavatkozhat	a teljes vezetés automatizált, humán szereplők csak a forgalomirányító központban vannak jelen felügyelőként
2	<b>flotta-irányítás</b>	élőszavas rádióon keresztüli kapcsolat a diszpécer és a járművezető között (az irányítás a diszpécer által kezelt navigációs rendszeren alapul)	flottairányító rendszer – navigációs és fedélzeti egység; a járművezető automatikus utasítása (pl. késés-felügyelet)	automatikus flottairányítás, pl. sebességtartó automatika, menetrendi követelményeket figyelembe véve; járművezető felügyeli a folyamatokat	autonóm módon üzemelő dinamikus flottairányítás, humán szereplők csak felügyelőként vesznek részt
3	<b>forgalom-irányítás (jelzések)</b>	fix idejű vagy adaptív jelzésterv előnyben részesítés nélkül, járművezetőt a jelzések szabályozzák	közforgalmú közlekedés előnyben részesítése bizonyos csomópontokban	hálózat-szintű forgalomfüggő irányítás, közforgalmú közlekedés átfogó előnyben részesítése, a járművezetőt a jelzések vagy a sebességtartó automatika szabályozza	autonóm járművekkel kommunikáló, hálózat-szintű irányítás, humán forgalomirányítók felügyelőként vannak jelen

## 3. táblázat: Utaskezelési funkciók automatizálási szintjei (c = 3)

f	a <sub>3f</sub>	Automatizálási szint			
		1. szint	2. szint	3. szint	4. szint
1	<b>info-tainment</b>	humán tájékoztatás, többnyire statikus információ, papíralapú	humán tájékoztatás gépi támogatással; elektronikus eszközök, statikus és dinamikus információ	kevesebb humán interakció, helyalapú, automatikus tájékoztatás; elektronikus, online eszközök, dinamikus információ	automatikus tájékoztatás, személyre szabott dinamikus, előre becsült információ egyéni elektronikus eszközön
2	<b>jogosultság-kezelés</b>	humán interakciók és kézi műveletek; papíralapú díjhozó	gépekkel támogatott humán interakciók és kézi műveletek (pl. jegyautomata)	kevesebb humán interakció és kézi művelet, online megoldások (pl.: e-jegy, online fizetés)	csak kevés humán interakció és kézi művelet, főként automatizált megoldások; dinamikus jellemzők figyelembe vétele
3	<b>biztonság/védelem</b>	emberi jelenlét szükséges, kevés gépi támogatás	emberi jelenlét gépi támogatással (pl. vészjelző)	emberi jelenlét fejlett gépi támogatással (pl. kamerás megfigyelés)	automatikus észlelés és beavatkozás, távfelügyelet
4	<b>utastéri körülmények kezelése</b>	járművezető/személyzet által általános szabályok alapján	járművezető/személyzet által aktuális körülmények szerint	távirányítás valós idejű adatok alapján	automatizált működés a körülmények folyamatos monitorozása vagy utas általi szabályozás

regálás így egy átlagszámítás. Egész számra lefelé kerekítés alkalmazandó; így kifejezhető hogy a szolgáltatás még nem érte el a magasabb automatizálási szintet.

$$a = \left\lfloor \frac{1}{3} \sum_{c=1}^3 a_c \right\rfloor \quad (2)$$

**Összefoglalóan, egy-egy mobilitás szolgáltatás automatizáltsági fejlettsége leírható egyetlen számmal.** A bevezetett komplex automatizálási szintekhez általános leírást készítettünk, követve a SAE és GoA szabványok logikáját és tartalmát, valamint a helyzetfeltárás eredményeit (4. táblázat).

Egy-egy funkció automatizálási szintje az alfunkciók értékelésével pontosítható. Az alfunkciókhoz is rendelhetők automatizálási szintek, melyeknek jelölése:  $a_{c,f,s}$ , ahol  $s$  az alfunkció indexe  $s \in \{1;2;...;S_f\}$ . Ekkor a funkciók automatizálás szintje az alfunkciók automatizálási szintjének súlyozott összegeként számítható (3). Így az alfunkciók fontossága is kifejezhető.

$$a_{c,f} = \sum_{s=1}^S a_{c,f,s} \cdot w_{c,f,s} \quad (3)$$

ahol  $w_{c,f,s}$  az  $s$  alfunkció súlya  $f$  funkción belül ( $\sum_s w_{c,f,s} = 1$ ).

Az automatizálás eredményessége nagy mértékben függ az utazói elfogadástól. Az utasközpontú megközelítés következtében az utaskezelési funkciókat alfunkciókra bontottuk és meghatároztuk az automatizálási szintjeiket (5. táblázat).

#### 4. A MÓDSZER ALKALMAZÁSA

Az alkalmazhatóság bemutatása érdekében különböző közúti mobilitási szolgáltatástípusokat értékeltünk. Az eredmények alapján általános és szolgáltatás specifikus megállapításokat fogalmaztunk meg. Az elemzést az utazó oldaláról végeztük el. A súlyokat mérnöki becsléssel, tapasztalat útján állítottuk be.

A következő városi közforgalmú mobilitási szolgáltatásokat értékeltük:

- telebusz (BKK TeleBusz, Budapest): igényalapú, kis kapacitású autóbuszos szolgáltatás alacsony beépítésű, ritkán lakott területen. Az előzetes rendelés kötelező (pl. telefonon).
- taxi (Főtaxi, Budapest): előzetes rendelés lehetséges telefonon vagy mobil alkalmazáson keresztül; diszpécserok kezelik a rendeléseket szoftveres támogatással.
- ride-sourcing (Uber, San Francisco): autonóm jármű alapú teszt szolgáltatás; a rendelés előzetesen mobil alkalmazáson keresztül történik. A kereslet-kínálat összerendelés automatikus.

4. táblázat: Komplex automatizálási szintek

Szint	Megnevezés	Leírás	Döntéshozó és végrehajtó elem
1	Nincs automatizálás	A funkciókat humán szereplők (utas, sofőr, egyéb személyzet) végzik. Az ember felelős a végrehajtásáért, nincs gépi támogatás.	Ember
2	Gépi támogatás	Az emberi munkavégzés/gondolkodás géppel támogatott, az emberi műveletek mértéke jelentős.	Ember gépi támogatással
3	Részleges automatizálás	A funkciók jelentős részét gép végzi. A személyzet ellenőrzi a folyamatokat.	Inkább a gép, emberi felügyelettel
4	Teljes automatizálás	A funkciókat teljes mértékben gépek végzik. A személyzet csak felügyeli a folyamatokat.	Gép

5. táblázat: Utaskezelési alfunkciók automatizálási szintjei

f	a <sub>3f</sub>	s	a <sub>3fs</sub>	Automatizálási szint			
				1. szint	2. szint	3. szint	4. szint
1	infotainment	1	tájékoztatás általános utazási feltételekről és kiegészítő szolgáltatásokról	papíralapú és személyzet által	papíralapú és géppel támogatott személyzet közreműködésével	internetalapú, személyre szabott, önkezelő (vagy géppel támogatott személyzet közreműködésével)	
		2	tájékoztatás és információ kérés jelenlegi forgalmi helyzetről	papíralapú vagy személyzet (járművezető) közreműködésével; statikus információ	géppel támogatott személyzet közreműködésével, vagy (telepített) elektronikus eszközökön keresztül (emberi válasz), vagy interneten keresztül; statikus információ	online elektronikus eszközön keresztül (gépi válasz); automatikus, helyfüggetlenségű, dinamikus információ	online elektronikus eszközön keresztül; személyre szabott, helyfüggetlenségű, előre becsült információ; gép, mesterséges intelligencia válasz
		3	személyre szabott utazástervezés, tevékenységi lánc tervezés és navigáció	papíralapú információk alapján az utazó által	statikus elektronikus térképek	dinamikus elektronikus térképek személyre szabási beállításokkal	alkalmazáson keresztül, kognitív folyamatok
		4	jármű-utas kommunikáció	járművezető által működtetett vizuális jelek; utas szándékát a járművezető ismeri fel	gép által működtetett vizuális jelek	utazó egyéni készülékén keresztül gép vagy ember által indított adatkommunikáció	utazó egyéni készülékén gépi adatkommunikáció; utas szándékának automatikus felismerése
		5	szórakoztatás	papíralapú	kijelzők statikus információval	kijelzők dinamikus információval	személyre szabott, interaktív
		6	panaszkezelés	személyesen vagy papíralapon	személyesen vagy elektronikusan		elektronikusan, interaktív felületen
		7	talált tárgy kezelése	személyzet által	személyzet által, bejelentés elektronikusan	távfelügyelet	automatikus észlelés
		8	adatgyűjtés az utazótól - crowdsourcing	emberi megfigyelés	gépi eszközökkel támogatott megfigyelés	utazói aktív közreműködés egyéni eszközén keresztül	automatikusan utazó passzív közreműködésével egyéni eszközén keresztül
2	jogosultság kezelés	1	rendelés (helyfoglalás)	hangalapú, papíralapú, manuálisan	személyzet által kezelt adatbázis	önkezelő (internetes felület)	automatikus az utazási terv alapján
		2	fizetés	kézpénz	bankkártya/banki utalás	mobilfizetés	automatikus levonás (regisztráció után)
		3	jogosultság vásárlás	papíralapú, személyzet általi jegyértékesítés	papíralapú/intelligens kártya személyzet általi vagy jegyautomatán keresztüli értékesítés	virtuális, mobil alkalmazás alapú (egységes díjszabás)	automatikus (virtuális) (dinamikus díjszabás)
		4	jogosultság érvényesítés (jegykezelés)	manuális	elektronikus érintéses interfész	elektronikus érintésmentes interfész	automatikus (virtuális)
		5	jogosultság ellenőrzés	személyzet által	személyzet által gépi támogatással		automatikus (virtuális)
3	biztonság/védelem	1	baleset elkerülése jármű-utas között	körültekintő emberek	járművezető gépi támogatással (tanácsok)	gépi beavatkozás egyes esetekben	automatikus minden esetben
		2	fel- és lezárlás kezelése (figyelmeztetés, ajtó nyitás/zárás)	járművezető által működtetett, vagy manuális	félautomata (automata nyitás/zárás), járművezető/utas által működtetett		automatikus
		3	váratlan események kezelése (utasösszüllet, jármű hiba, evakuáció)	személyzet közreműködésével		távfelügyelet, személyzet közreműködésével	automatikus észlelés, távfelügyelet, emberi beavatkozás
		4	tulajdon- és életvédelem	csak a járművezető közreműködésével	kamerával támogatott járművezető közreműködésével	kamerás távfelügyelet	automatikus észlelés, távfelügyelet
		5	vészhívás	nincs	járművezetőnek	központnak	automatikus észlelés
4	utastéri körülmények kezelése	1	utazási komfort beállítása (pl.: fűtés, világítás)	járművezető/személyzet közreműködésével általános szabályok alapján	járművezető/személyzet közreműködésével aktuális körülmények szerint	távirányítás valós idejű adatok alapján	automatizált működés a körülmények folyamatos monitorozása alapján vagy az utas szabályoz

- car-sharing (MOL Limo, Budapest): mobil alkalmazás alapú „free-floating” (bárhol felvehető, otthagyható jármű) elvű autómegosztó szolgáltatás; az autó „bérlete” nem igényel személyzeti jelenlétet.

Az értékelés eredményét a 6. táblázat tartalmazza. A funkciók automatizálási szintjeit világosszürke, míg a kategóriák automatizálási szintjeit közepszürke háttér jelöli. Az utaskezelési funkciók esetében az alfunkciókat is vizsgáltuk. Az alfunkciók és funkciók súlyát szintén feltüntettük a táblázat oszlopaiban.

A TeleBusz szolgáltatásnál minden funkciókategóriánál jelentős az emberi beavatkozás; azaz ez a legkevésbé automatizált szolgáltatás. Egyúttal ez azt is jelenti, hogy jelentős az automatizálási potenciál. Bizonyos utastájékoztatói funkciók fejlettek, köszönhetően annak, hogy a TeleBusz szolgáltatás része a teljes városi közforgalmú közlekedésnek, így a BKK Futár forgalomirányító és utastájékoztató rendszer útvonaltervező és egyéb információ szolgáltatásai is elérhetők.

A Főtaxi jelentősebb funkciói (amelyekhez magasabb súlyokat is rendeltünk) kevésbé automatizáltak, különösen a szolgáltatástervezési és a flottairányítás funkciók. Az emberi közreműködés (diszpécser és sofőr egyaránt) mértéke jelentős.

Az Uber szolgáltatás esetén minden funkciókategória magasan automatizált. Mindazonáltal bizonyos funkciók még rendelkeznek fejlesztési potenciállal (pl.: szórakoztatás alfunkció, biztonság/védelem funkció).

A MOL Limo szolgáltatás utaskezelési funkciói fejlettek, magasan automatizáltak, ugyanakkor az irányítási és a tervezési funkciók még fejlesztethetők.

A közúti forgalomirányítási funkció független a szolgáltatástól, hiszen az „adottságnak” tekinthető a szolgáltatás oldaláról. Bár működik a közforgalmú közlekedési eszközök előnyben részesítő irányítás Budapesten, azonban a TeleBusz szolgáltatás ilyen cso-

mópontokat nem érint. Az autonóm járművek elterjedése várhatóan a forgalomirányítás változását is előidéz; azonban a jelenlegi autonóm járművek - így az Uber is - egyelőre csak a forgalomirányítás jelzéseit követik.

A módszer alkalmazásának eredményeként a következő megállapításokat tettük:

- Az automatizálási szintek egy-egy mobilitási szolgáltatás, nem pedig egy teljes közlekedési mód leírására alkalmazhatók, mivel egy módon belül a szolgáltatások eltérő jellemzőkkel rendelkezhetnek.
- Egy szolgáltatás esetében a funkciókategóriákra többnyire hasonló automatizálási szint jellemző, ugyanis a mobilitási szolgáltatásokat általában átfogóan fejlesztik, nem csak bizonyos funkciókra vagy funkciókategóriákra fókuszáltnak.
- Fejlett mobilitási szolgáltatás esetén (pl. Uber) a szolgáltatás igénybevételéhez szükséges funkciók már jelenleg is fejlettek, magasan automatizáltak.
- Bizonyos funkciók automatizálási szintje erősen függ az üzemeltetési környezettől (pl.: közúti forgalomirányítás).

## 5. A LEGMAGASABB AUTOMATIZÁLÁSI SZINT – JÖVŐBELI KITEKINTÉS

A legmagasabb automatizálási szint egy ideális, elérendő helyzetnek felel meg, amit az önvezető járművek és a teljesen automatizált funkciók jellemeznek. Ezt a jövőbeli helyzetet részletesen is bemutatjuk.

### Szolgáltatástervezési és -szervezési funkciók (c=1)

Az igényadatok gyűjtése és elemzése ( $a_{1,1}$ ) a felhasználók követésén alapul. Ezáltal igényalapú és személyre szabott szolgáltatás nyújtható. Az infrastruktúra-tervezéshez ( $a_{1,2}$ ) továbbra is szükséges a hagyományos területfüggő ismeret és tapasztalat, így ez a funkció csak abban az esetben automatizálható, ha a teljes emberi gondolkodás helyettesíthető gépekkel. A járműmozgás-tervezés ( $a_{1,3}$ ) egyszerűsödik a folyamatos nyomon követés következtében; továbbá a járművezetőre vonatkozó előírások

6. táblázat: Jelenlegi mobilitási szolgáltatások elemzése - példa

c,f,s	alfunkció funkciók funkció-kategóriák	telebusz (BKK TeleBusz)		taxi (Főtaxi)		ride- sourcing (Uber)		car-sharing (MOL Limo)	
		a	w	a	w	a	w	a	w
1,1	igény	3	0,25	2	0,4	4	0,5	3	0,3
1,2	infrastruktúra	2	0,25	2	0,15	3	0,1	2	0,15
1,3	járműmozgás	2	0,25	2	0,15	4	0,1	2	0,25
1,4	tarifarendszer	1	0,05	1	0,2	4	0,2	3	0,1
1,5	karbantartás	2	0,20	3	0,1	3	0,1	3	0,2
1	<b>szolgáltatás tervezés</b>	<b>2,2</b>		<b>1,9</b>		<b>3,8</b>		<b>2,6</b>	
2,1	járműirányítás	2	0,4	2	0,5	4	0,7	2	0,6
2,2	flottairányítás	2	0,3	2	0,25	4	0,2	2	0,3
2,3	forgalomirányítás	3	0,2	3	0,25	3	0,1	3	0,1
2	<b>irányítás</b>	<b>2,3</b>		<b>2,25</b>		<b>3,7</b>		<b>2,1</b>	
3,1,1	tájékoztató általános utazási feltételekről és kiegészítő szolgáltatásokról	4	0,2	4	0,15	4	0,1	4	0,1
3,1,2	tájékoztató és információ kérés jelenlegi forgalmi helyzetről	3	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,15
3,1,3	személyre szabott utazástervezés, tevékenységi lánc tervezés és navigáció	3	0,25	3	0,1	3	0,15	3	0,15
3,1,4	jármű-utas kommunikáció	1	0,1	3	0,2	3	0,1	4	0,25
3,1,5	szórakoztatás	1	0,1	1	0,2	2	0,1	2	0,05
3,1,6	panaszkezelés	3	0,05	3	0,05	4	0,1	4	0,05
3,1,7	talált tárgyak kezelése	1	0,05	1	0,05	3	0,05	1	0,05
3,1,8	adatgyűjtés az utazótól - crowdsourcing	2	0,05	3	0,05	4	0,2	4	0,2
3,1	infotainment	2,6	0,25	2,85	0,35	3,5	0,35	3,6	0,25
3,2,1	rendelés	2	0,25	3	0,2	4	0,35	3	0,3
3,2,2	fizetés	2	0,2	3	0,4	3	0,3	4	0,3
3,2,3	jogosultság vásárlás	2	0,2	3	0,2	3	0,15	4	0,1
3,2,4	jogosultság érvényesítés	1	0,2	1	0,2	4	0,2	3	0,3
3,2,5	jogosultság ellenőrzés	1	0,1	1	0	4	0	4	0
3,2	jogosultságkezelés	1,7	0,25	2,6	0,25	3,55	0,25	3,4	0,4
3,3,1	baleset elkerülése jármű-utas között	2	0,2	2	0,25	4	0,25	2	0,15
3,3,2	fel- és leszállás kezelése	1	0,25	1	0,2	1	0,2	1	0,2
3,3,3	váratlan események kezelése	1	0,2	1	0,15	3	0,25	1	0,3
3,3,4	tulajdon- és életvédelem	2	0,2	1	0,15	3	0,1	1	0,05
3,3,5	vészhívás	2	0,15	2	0,25	3	0,2	1	0,3
3,3	biztonság/védelem	1,55	0,4	1,5	0,25	2,65	0,25	1,15	0,15
3,4,1	utazási komfort beállítása	1	1	2	1	4	1	4	1
3,4	utazási körülmények kezelése	1	0,1	2	0,15	4	0,15	4	0,2
3	<b>utaskezelés</b>	<b>1,8</b>		<b>2,32</b>		<b>3,38</b>		<b>3,23</b>	
	<b>KOMPLEX AUTOMATIZÁLÁSI SZINT</b>	<b>[2.1]=2</b>		<b>[2.16]=2</b>		<b>[3.63]=3</b>		<b>[2.64]=2</b>	

Készült 2018.11.20-i adatok alapján.

is figyelmen kívül hagyhatók. Összetett tarifarendszer és dinamikus árszabályozás vezethető be a historikus, a valós idejű és az előre jelzett adatoknak, valamint a fejlett számítási módszereknek köszönhetően ( $a_{1,4}$ ). Az okos jármű folyamatosan továbbít adatokat az állapotáról, így a karbantartástervezés ( $a_{1,5}$ ) hatékonysága is fokozható.

### Irányítási funkciók ( $c=2$ )

A teljes járműirányítás ( $a_{2,1}$ ) autonóm, a humán szereplők távolról felügyelik a folyamatokat. A járműirányítás automatizálásával az utazói kényelem és biztonság is fokozható (pl. a hirtelen gyorsítás és lassítás elkerülésével). A flottairányítás ( $a_{2,2}$ ) is teljesen autonómmá

válík, a humán diszpécser csak felügyelik a folyamatokat. A hálózati szintű irányítással a menetrendszerűség növelhető; a dinamikus és automatizált flottairányítással [34], valamint megfelelő irányító algoritmus alkalmazásával [39] az ún. „bus bunching” hatások (feltorlódó járművek) is csökkenthetők. A fejlett forgalomirányítást ( $a_{2,3}$ ) modern számítógépes eszközök és folyamatok segítik (pl.: nagy számítási feladatok elvégzéshez speciális szoftverek, matematikai optimalizálás). Ezen rendszerekre jellemző a forgalomfüggő és a közforgalmú közlekedést előnyben részesítő működés [40], így önmagukban is egy autonóm rendszert alkotnak (pl. a jelzőlámpa-vezérlési logika működése forgalomérzékelő szenzorok jelzésén alapul). Az előnyben részesítés továbbjavítható a fedélzeten tartózkodó utasok számának vagy a menetrendtől való eltérés mértékének figyelembevételével [41]. A forgalomirányítás automatizálásának utolsó fejlődési fázisa, amikor már a közlekedési jelzések is eltávolíthatók [42] és az összes mozgó egység (jármű, utazó) megfigyelhető és irányítható (pl.: a jelzőlámpák „bekerülnek” virtuálisan a járműbe).

### Utaskezelési funkciók ( $c=3$ )

Az integrált mobilitásmenedzsment-központ jellemzően automatikusan közli a valós idejű és az előre jelzett információkat az utazónak. Ha a rendszer megtanulja a felhasználó szokásait, akkor személyre szabott információk is automatikusan nyújthatók. A kollektív információs eszközök mellett az utazó okoskészüléke meghatározó jelentőségű a helyfüggő információk közlésekor (pl.: leszállásra figyelmeztető üzenetküldés, várható érkezési idő közlése) ( $a_{3,1,1} - a_{3,1,3}$ ). A személyhez rendelt készülék a jármű-utas közötti adatkommunikáció során is jelentős (pl. jármű azonosítása, biztonság kritikus helyzetekben a jármű közelségéről figyelmeztető jelzés) ( $a_{3,1,4}$ ). Az interaktív, érintőképernyős fedélzeti szórakoztató funkciók jelentősége megnő a hasznos idő eltöltése és az utazási komfort fokozása céljából ( $a_{3,1,5}$ ). A panaszkezelés jellemzően alkalmazáson keresztüli üzenetküldéssel történik, bár a

személyes ügyintézés teljesen nem váltható ki (pl. összetettebb ügyek esetében) ( $a_{3,1,6}$ ). Az elveszett tárgyak kezelésénél ( $a_{3,1,7}$ ) a csomagok detektálása automatikus (pl. kamerákkal), mégis a csomagok kezelése a személyzet beavatkozását igényli. Az utazó értékelheti a teljes mobilitás szolgáltatást visszajelzések küldésével; mindemellett az utazó aktív szerepvállalása nélküli megoldások alkalmazása a jellemző (pl. utazó nyomon követésével) ( $a_{3,1,8}$ ).

Az előzetes rendelés (helyfoglalás) automatikusan elvégezhető az utazástervezés során ( $a_{3,2,1}$ ) a teljes helyváltoztatásra vonatkozóan. Az utazási jogosultságot online, alkalmazáson keresztül lehet megvenni; a díjhordozó vagy virtuális, vagy maga az okostelefon tekinthető annak ( $a_{3,2,2}$ ). A díjfizetés szintén automatikus és készpénzmentes, az előre rögzített bankkártya adatok alapján ( $a_{3,2,3}$ ). Ennek következtében a jogosultság érvényesítése ( $a_{3,2,4}$ ) és ellenőrzése ( $a_{3,2,5}$ ) is virtuális; az utazó nyomon követésének az eredménye.

A biztonsági funkciókkal kapcsolatos felelősség átkerül a járművekhez. A balesetek elkerülése ( $a_{3,3,1}$ ) érdekében fejlett szenzortechonika, gyors feldolgozási és döntéstámogató módszerek, továbbá mesterséges intelligencia és kognitív képességek szükségesek. A V2N (Vehicle to Nomadic device), azaz a jármű és az utazó személyes készüléke (pl. okostelefon) közötti kommunikációs technológia célja, a mozgó objektumok hely- és egyéb adatainak továbbítása a két fél között. A fel- és a leszállás kezelése ( $a_{3,3,2}$ ) kevesebb emberi beavatkozást igényel, amennyiben a fel- és leszállási szándék automatikusan detektálható. Szenzorok alkalmazásával az ajtóvezérlés is biztonságosan megoldható. A váratlan események kezelésénél ( $a_{3,3,3}$ ), valamint az élet- és tulajdonvédelemnél ( $a_{3,3,4}$ ) automatikus gépi érzékelés, távfelügyelet, és gyors reagálás biztonsági személyzet alkalmazása szükséges. A klaszterikus segélyhívások kiválthatók automatikus esemény detektálással ( $a_{3,3,5}$ ). Az utastéri körülmények szabályozása lehet automatikus (főként nagyobb kapacitású járműveknél), vagy utas által vezérelt (kis kapacitású járműveknél) ( $a_{4,1,1}$ ).

A járművezető által végzett utaskezelési funkciókat részben a jármű (számítógép), részben a továbbra is megmaradó személyzettípusok veszik át. Bizonyos helyzetekben (pl. váratlan események kezelésekor) és utascsoportoknál (pl. fogyatékkal élők esetében) a személyzet jelenléte továbbra is szükséges.

## 6. KONKLÚZIÓ

A személyközlekedési rendszerekre és szolgáltatásokra egyre inkább jellemző a fejlett információkezelés és az automatizálás. A kidolgozott értékelő módszerrel városi közúti közforgalmú mobilitási szolgáltatások jellemzői automatizálási szintekkel írhatók le. A módszer a szolgáltatástervezési, a jármű- és forgalomirányítási, valamint az utaskezelési funkciókat együttesen, átfogó módon értékeli. Így a mobilitási szolgáltatások elemezhetőek és összehasonlíthatók az automatizálási fejlettségük alapján.

A módszer alkalmazásával mobilitási szolgáltatásokat értékeltünk. Számos funkcionál jelentős automatizálási potenciált állapítottunk meg (pl.: jogosultság ellenőrzés, fel- és leszállás kezelése). Az automatizált funkciók esetén a személyzet szerepe átalakult, többnyire felügyeleti feladatokat látnak el. A fejlesztéseket integrált szemléletben érdemes végrehajtani, nem csupán funkció-specifikusan. Ehhez összetett rendszertervezési módszerek alkalmazása szükséges.

A kutatást a lehatárolások feloldásával folytatjuk, azaz a funkciók jelentőségét (súlyát) kérdőíves kikérdezéssel határozzuk meg felhasználói és üzemeltetői elvárásokat egyaránt figyelembe véve. További célunk az automatizálás társadalmi-gazdasági hatásainak a feltárása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Gerike, R., Koszowski, C. 2017. Sustainable Urban Transportation. Encyclopedia of Sustainable Technologies, Sustainable Built Environment & Sustainable Manufacturing (szerk. Abraham, M.A.), Elsevier, pp. 403-413. DOI: <http://doi.org/c77g>
- [2] Cass, N., Schwanen, T., Shove, E. 2018. Infrastructures, intersections and societal transformations. *Technological Forecasting and Social Change*, 137:160-167. DOI: <http://doi.org/gft4bz>
- [3] Büscher, M., Coulton, P., Efstathiou, C., Gellersen, H., Hemment, D., Mehmood, R., Sangiorgi, D. 2009. Intelligent mobility systems: some socio-technical challenges and opportunities. International Conference on Communications Infrastructure. Systems and Applications in Europe, pp. 140-152. DOI: <http://doi.org/d2k4v8>
- [4] Szalay, Zs., Nyerges, Á., Hamar, Zs., Hesz, M. 2017. Technical Specification Methodology for an Automotive Proving Ground Dedicated to Connected and Automated Vehicles. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 45(3):68-174. DOI: <http://doi.org/cxk3>
- [5] Chen, T. D., Kockelman, K. M., Hanna, J. P. 2016. Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94:243-254. DOI: <http://doi.org/gcsj5k>
- [6] SAE International. 2018. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, Report No. J3016\_201806 (2018). [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_201806/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/)
- [7] Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., Flemisch, F., Hacker, D., Hesse, T., Huber, W., Lotz, C., Maurer, M., Ruth-Schumaner, S., Schwarz, J., Vogt, W. 2012. Legal consequences of an increase in vehicle automation, Consolidated final report of the project group, Part 1. (Report No. F 1100.5409013.01). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Germany) <http://bast.opus.hbz-nrw.de>

- [8] UITP (Union International des Transport Public) International Association of Public Transport. 2011. Press Kit Metros automation facts, figures and trends. Report <http://www.uitp.org/metro-automation-facts-figures-and-trends>
- [9] IEC, International Electrotechnical Commission, 2014. IEC 62290-1:2014 standard. Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts, Report <https://webstore.iec.ch/publication/6777>
- [10] Milakis, D., Snelder, M., Van Are, B., Van Wee, B., Correia, G. 2017. Development of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 17(1):63-85.
- [11] Fagnant, D. J., Kockelman, K. M. 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 77:167-181. DOI: <http://doi.org/gc4n5r>
- [12] Schoettle, B., Sivak, M. 2015. A preliminary analysis of real-world crashes involving self-driving vehicles, Report No. UMTRI-2015-34 (Ann Arbor, MI: Transportation Research Institute, University of Michigan)
- [13] Waldrop, M. M. 2015. Autonomous vehicles: no drivers required. Nature 518(7537):20-23. DOI: <http://doi.org/gfgq87>
- [14] Pinter, K., Szalay, Z., & Vida, G. (2017). Liability in Autonomous Vehicle Accidents Liability in Autonomous. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 19(4), 30-35.
- [15] Fagnant, D. J., Kockelman, K. M. 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40:1-13. DOI: <http://doi.org/f5wzwd>
- [16] Gruel, W., Stanford, J. M. 2016. Assessing the long-term effects of autonomous vehicles: a speculative approach. Transportation Research Procedia, 13:18-29. DOI: <http://doi.org/gdgzxs>
- [17] ITF International Transport Forum. 2015. Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic, Report. <https://www.itf-oecd.org/urban-mobility-system-upgrade-1>
- [18] Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., Zhang, G. 2015. Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: an agent-based simulation approach. Sustainable Cities and Society, 19:34-45. DOI: <http://doi.org/gdgzws>
- [19] Nordhoff, S., van Are, B., Merat, N., Madigan, R., Ruhrort, L., Knie, A., Happee, R. User Acceptance of Driverless Shuttles Running in an Open and Mixed Traffic Environment. 12th ITS European Congress, Strasbourg.
- [20] Krueger, R., Rashidi, T. H., Rose, J. M. 2016. Preferences for shared autonomous vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 69:343-355. DOI: <http://doi.org/f84c8b>
- [21] Christie, D., Koymans, A., Chanard, T., Lasgouttes, J. M., Kaufmann, V. 2017. Pioneering driverless electric vehicles in Europe: the City Automated Transport System (CATS). Transportation Research Procedia, 13:30-39. DOI: <http://doi.org/gdgzxx>
- [22] Nordhoff, S., de Winter, J., Payre, W., van Are, B., Happee, R. 2018. What Impressions Do Users Have After a Ride in an Automated Shuttle? An Interview Study 2019. 63:252-269 DOI: <http://doi.org/c77h>
- [23] Pereira, A., M., Anany, H., Pribyl, O., Prikryl, J. 2017. Automated Vehicles in Smart Urban Environment: A Review. SCSP2017, Smart City Symposium 2017, Prague. DOI: <http://doi.org/cxk9>
- [24] Davidson, P., Spinoulas, A. 2015. Autonomous Vehicles: What Could This Mean for the Future of Transport? Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference, Brisbane
- [25] Gonder, J., Earleywine, M., Sparks, W. 2012. Analyzing Vehicle Fuel Saving Opportunities through Intelligent Driver Feedback. SAE Int. J. Passeng. Cars - Electron. Electr. Syst., 5(2):450-461. DOI: <http://doi.org/c77j>

- [26] Gerla, M., Lee, E-K., Pau, G., Lee, U. 2014. Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds. 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Seoul. DOI: <http://doi.org/c77k>
- [27] Lotz, F. 2013. System Architectures for Automated Vehicle Guidance Concepts. Automotive systems engineering (szerk. Maurer, M., Winner, H.), Berlin Heidelberg, Germany, Springer
- [28] Zhang, R., Spieser, K., Frazzoli, E., Pavone, M. 2015. Models, algorithms, and evaluation for autonomous mobility-on-demand systems. 2015 American Control Conference (ACC), Chicago. DOI: <http://doi.org/cxk8>
- [29] Lyons, G. 2015. Viewpoint: Transport's digital age transition. The Journal of Transport and Land Use (JTLU), 8(2):1-19. DOI: <http://doi.org/c77m>
- [30] Utriainen, R., Pöllänen, M. 2018. Review on mobility as a service in scientific publications. Research in Transportation Business & Management, 2018. 27(2):15-23. DOI: <http://doi.org/gf3xwb>
- [31] Földes, D., Csiszár, Cs. 2018. Framework for Planning the Mobility Service based on Autonomous Vehicles. Smart Cities Symposium Prague SCSP2018, Prague, Czech Republic. DOI: <http://doi.org/c77p>
- [32] ITF, International Transport Forum. 2017. Shared Mobility Simulations for Helsinki. Paris, France, Report
- [33] Li, Y., Voegelé, T. 2017. Mobility as a Service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required. Journal of Transportation Technologies, 7(2):95-106. DOI: <http://doi.org/c77q>
- [34] Ampountolas, K., Kring, M. 2015. Mitigating bunching with bus-following models and bus-to-bus cooperation. ITSC 2015. IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Las Palmas. DOI: <http://doi.org/c77r>
- [35] Beiker, S. 2016. Implementation of an Automated Mobility-on-Demand System. Autonomous Driving (szerk. Maurer, M., Gerdes, J., Lenz, B., Winner, H.), Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 277-295.
- [36] Grossardt, T., Bailey, K. 2018. Public Participation in Transportation Planning and Design: Theory, Process, and Practice. Transportation Planning and Public Participation, Amsterdam, Elsevier, pp. 1-26. DOI: <http://doi.org/c77s>
- [37] Mulley, C., Clifton, G. T., Balbontin, C., Ma, L. 2017. Information for travelling: Awareness and usage of the various sources of information available to public transport users in NSW. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 101:111-132. DOI: <http://doi.org/gbm4g3>
- [38] Olivková, I. 2017. Comparison and Evaluation of Fare Collection Technologies in the Public Transport. Procedia Engineering, 178:515-525. DOI: <http://doi.org/c77t>
- [39] Varga, I., Tettamanti, T., Kulcsár, B. 2018. Optimally combined headway and timetable reliable public transport system. Transportation Research Part C: Emerging technologies, 92:1-26. DOI: <http://doi.org/gdxfv8>
- [40] Skabardonis, A. 2000. Control strategies for transit priority. Transportation Research Record, 1727:20-26. DOI: <http://doi.org/ckfwk2>
- [41] Polgár, J., Tettamanti, T., Varga, I. 2013. Passenger number dependent traffic control in signalized intersections. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 57(2):201-210. DOI: <http://doi.org/c77v>
- [42] Tettamanti, T., Mohammadi, A., Asadi, H., Varga, I. 2017. A two-level urban traffic control for autonomous vehicles to improve network-wide performance. Transportation Research Procedia, 27:913-920. DOI: <http://doi.org/c77w>



### Complex automation levels for mobility services

The levels of automation that are known and accepted in transport are primarily focused on vehicle control. At the same time, the design and use of mobility services can be made more efficient and more convenient by automation. An evaluation method has been developed for describing the automation features of mobility services in a complex way, to characterize service planning, controlling, and passenger management functions. We have assigned four levels of automation to this feature. The method can be applied to analyze, compare, and highlight development trends in mobility services.



### Komplexe Automatisierungsstufen der Mobilitätsdienste

Die im Verkehr bekannten und akzeptierten Automatisierungsstufen konzentrieren sich in erster Linie auf die Fahrzeugsteuerung. Gleichzeitig können auch die Planung und Nutzung von Mobilitätsdiensten durch die Automatisierung effizienter und komfortabler gestaltet werden. Es wurde eine komplexe Bewertungsmethode zur Beschreibung der Automatisierungsmerkmale von Mobilitätsdiensten entwickelt, um Planungs-, Steuerungs- und Fahrgastmanagementfunktionen zu charakterisieren. Wir haben dieser Funktion vier Automatisierungsstufen zugewiesen. Diese Methode kann für die Analyse und für den Vergleich von Mobilitätsdienstleistungen sowie für die Verdeutlichung der Entwicklungstrends benutzt werden.

