

# Autonóm járműveket is alkalmazó városi személyközlekedési rendszer modellje

Dr. Csiszár Csaba – Földes Dávid

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME),  
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar (KJK),  
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék (KUKG)  
telefon: 70/336 0612, 20/570 4667  
e-mail: csiszar.csaba@mail.bme.hu, foldes.david@mail.bme.hu

**Kivonat:** A folyamatosan fejlődő jármű- és információs technológiák átalakítják a jelenlegi közlekedési rendszert. A közlekedési módok és eszközök közötti határok a megosztáson alapuló közlekedési módok megjelenésével elmosódnak, ami az autonóm járművek megjelenésével tovább fokozódik. A jövőben a járműves mozgások egy integrált, megosztott, smart mobilitási szolgáltatás formájában vehetők igénybe, ahol az automatizálás következtében az utaskezelési funkciók és az utaskiszolgáló személyzet feladatai is megváltoznak. Feltártuk a mobilitási szolgáltatásokban bekövetkező változásokat, azonosítva az újszerű és jövőben elterjedő, megváltozó mobilitási formákat, valamint definiálva az autonóm személyközlekedéssel összefüggő alapvető fogalmakat. Kidolgoztuk az autonóm járműveket is alkalmazó városi személyközlekedési rendszer modelljét, figyelembe véve a járművek fokozatos megjelenéséből adódó dinamizmust is. Azonosítottuk az utaskezelési funkciókat, valamint azok fejlesztési lehetőségeit; majd meghatároztuk a változás mértékét kifejező automatizálási potenciált az egyes funkciókra. Meghatároztuk a kiszolgáló személyzet tevékenységében bekövetkező változásokat, különös tekintettel az eddigi járművezetői feladatokra. A kidolgozott eredmények a jövő közlekedési rendszerének tervezési, szervezési és üzemeltetési módszereinek kidolgozásához nyújtanak tudományos bázist.

*Kulcsszavak: automatizálás, autonóm közlekedés, integrált mobilitás menedzsment, utaskezelési funkciók*

## Bevezetés

A közúti járművek közül elsősorban az autonóm személyautók és kisbuszok területén figyelhető meg jelentős fejlődés. A nagy kapacitású autonóm autóbuszok és villamosok tekintetében a fejlesztések még nagyon korai szakaszban vannak. Mivel az autonóm járművek az intelligens technológiákon alapulnak, ezért a járműgyártók mellett az IT cégek számára is jelentős az innovációs potenciál. Szingapúrban és Pittsburghben 2016 második felében teszt fázisban elindultak az autonóm járművekkel megvalósuló taxi szolgáltatások.

A jövő közlekedési rendszerében az egyéni járműtulajdonlás mértéke csökken, a megosztás elvén alapuló, személyre szabott mobilitási szolgáltatások terjednek el. A járműirányítás mellett további funkciókat is automatizálnak. Utazói oldalról a leglátványosabb változás az utas kezelési funkciók megváltozása. Az autonóm közlekedés teljesen más folyamatokat igényel utazói és üzemeltetői oldalról is. A mobilitás lényegesen tudatosabbá, tervezettebbé válik. Az utazó okos készülékének (okostelefon) jelentősége felértékelődik az utazás előkészítése és lebonyolítása közben is.

A cikk felépítése a következő: az 1. fejezetben definiáltuk az új közlekedési eszközöket és összefoglaltuk az autonóm közlekedéssel összefüggő legfontosabb alapfogalmakat. Irodalomkutatást végeztünk; a nemzetközi eredményeket a 2. fejezetben tekintettük át. A 3. fejezetben összefoglaltuk a jövő mobilitási formáinak jellemzőit. A 4. fejezetben modelleztük a jövő közlekedési rendszerét, különös hangsúlyt fektetve a mobilitás menedzsment központra és a funkciók megváltozására. Az 5. fejezetben kidolgoztunk és alkalmaztunk egy elemző módszert az utaskezelési funkciók automatizálásának vizsgálatára. Végezetül a kutatás során levont következtetéseket és a továbbfejlesztés irányait foglaltuk össze.

## 1. Alapfogalmak

Definiáltuk a legfontosabb alapfogalmakat:

- automata rendszer: előre programozott, egyértelműen leírt, szigorú szabályrendszert követő, algoritmusok szerint működtetett rendszerek.
- autonóm rendszer: önálló döntéshozatalra képes, kognitív és öntanuló képességeiket használó rendszerek. A működés során fellépő valamennyi szituáció esetében a beprogramozott válaszok helyett a gépek érzékelik az egyes eseményeket, azokat megértik és megfelelő választ adnak rá.
- autonóm közösségi közlekedés: a járművekben, az infrastruktúrában és az utazóknál autonóm technológiákat alkalmazunk a működés hatékonyságának és a szolgáltatás minőségének fokozása érdekében. A legtöbb rendszerelem szenzorokkal és kamerákkal, valamint a V2X kommunikációt lehetővé tevő kommunikációs csatornával felszerelt. A berendezések vagy utánozzák az emberi cselekedeteket (pl.: érzékelés, tanulás), vagy az emberi cselekedetektől független, új folyamatokat hajtanak végre (pl.: helymeghatározás). A működés hatékonysága szenzortechnológia alkalmazásával fokozható; így az emberi érzékelésnél pontosabb adatok gyűjthetők. A személyzet (diszpécser, járművezető, működést felügyelő személyek) számos esetben kiváltható, helyettesítő gépekkel. Két markáns mobilitási szolgáltatás típus különböztethető meg: fix, nagy kapacitású fővonalakon (általában kötöttpályás közlekedési eszköz), meghirdetett menetrenddel nyújtott szolgáltatás; valamint kiskapacitású, rugalmas, igényvezérelt ráhordó vagy közvetlen eljutást biztosító szolgáltatás. Ez utóbbi alacsony, vagy térben szétszóró igények esetében hatékony. A járművek közösségi tulajdonban vannak. Az utaskezelési funkciók a legtöbb esetben közvetlen emberi beavatkozás nélkül valósulnak meg.
- Utaskezelési funkciók (szolgáltatások): az utasok alap- és információkezelési folyamataihoz köthető utazás előtti, közbeni és utáni funkciók; normál üzemeltetési körülmények között és vészhelyzet esetén. A funkciókhoz automata (pl.: jegyértékesítés elektronikus eszközön), vagy autonóm (pl.: növelt értékű, személyre szabott tájékoztatás az utazót felismerve és szokásait megtanulva) megoldások társulnak. Automata esetben előre programozott utasítások alapján, míg autonóm esetben a gépi kognitív képességek használatával az aktuális helyzetre adott reakciók alapján működnek a funkciók. Egy szolgáltatás általában több funkcióra is kiterjed.

Jelenleg működő közforgalmú automata és autonóm közlekedési eszközök:

- people mover: automata, többnyire rövid pályán üzemelő kötöttpályás közlekedési eszköz. A járművek kapacitása és az elszállított utasmennyiség lényegesen kisebb, mint a fővonalakon. Üzemeltetése általában speciális célú (pl.: repülőtér terminálok között, turisztikai célpont közelében).
- automata metró: nagy kapacitású, jelentős fővonalakon működő, részben (pl.: gyorsítás, ajtó nyitás/zárás), vagy teljesen automata funkciókkal ellátott kötöttpályás közlekedési eszköz. A pálya az egyéb forgalomtól teljesen elkülönített.
- PRT – Personal Rapid Transit: elkülönített pályán automata üzemben, vagy az egyéb forgalommal közös pályán haladva autonóm üzemben működő nagyon kis kapacitású (2-6 fő) járművek; ún. kapszulák (idegenszóval „pod”-ok). Igényvezérelt szolgáltatást nyújtanak kijelölt megállókkal, vagy kijelölt megállók nélkül. A szolgáltatás lehet közvetlen vagy ráhordó jellegű. Általában kényelmes, exkluzív (pl.: csak ülőhelyek) eljutást biztosítanak az utazó számára; és így az egyéni gépjárműves utazás előnyeit csak kismértékben kell feladni.
- GRT – Group Rapid Transit: elkülönített pályán automata üzemben, vagy az egyéb forgalommal közös pályán haladva autonóm üzemben működő kis kapacitású (7-12 fő) járművek. Igényvezérelt módban vagy kötött menetrend alapján üzemelnek. Általában fix megállóhelyeken állnak meg és fix útvonalon haladnak. A PRT-vel szemben kevésbé kényelmes szolgáltatást kínálnak (pl.: álló utazás is megengedett).
- autonóm autóbusz/villamos: nagy kapacitású autonóm közforgalmú járművek a közúti forgalomban. Általában nem, vagy csak részben elkülönített pályát használnak.

## 2. Helyzetfeltárás – Irodalomkutatás

A már működő, vagy teszt fázisban lévő pod-ok PRT vagy GRT szolgáltatást nyújtanak. Az autonóm PRT szolgáltatással kapcsolatos reakciókat kérdőív segítségével vizsgálták: az utasok részéről inkább

pozitív, míg adminisztratív és szabályhozói oldalról inkább negatív fogadtatást tapasztaltak [1]. Számos egyéb kutatásban is kérdőíves felmérés formájában ismerték meg a jelenlegi és potenciális felhasználók véleményét, elvárásait. Az automatizált közlekedési szolgáltatást általában nem tartják kedvezőbbnek a hagyományos autóbuszos szolgáltatással szemben, ha az utazási idő és a fizetendő díj megegyezik. Az olyan autonóm közúti szolgáltatásokat jobban elfogadják, amelyek egy nagyobb intézmény elzárt, viszonylag lehatárolt területén működik (pl.: egyetemi campus) [2]. Az autonóm járművek használati hajlandósága összefügg a felhasználóknak az újszerű technológiák felé való nyitottságával [3]. Az utazók fontosnak ítélik, hogy az autonóm járművek egy fenntarthatóbb közlekedést valósítsanak meg. Ezért magasabb a fizetési hajlandóság az egységnyi utazási idő csökkentésekor [4]. Magas jövedelemmel rendelkező, a technológia iránt érdeklődő férfiak szívesebben használják az autonóm közlekedési szolgáltatásokat [5].

A mobilitási szolgáltatások jellemzői közül az utazási költség, az utazási és várakozási idő meghatározó tényezők a megosztáson alapuló ride-sharing szolgáltatások esetében. (Ennél a megoldásnál az egy irányba haladó utasok egy járművet közösen használnak). Ezen jellemzők a hasonló elven működő autonóm szolgáltatások esetében is fontosak. A jelenlegi car-sharing felhasználók is nagyobb hajlandóságot mutatnak a megosztáson alapú autonóm közlekedés használatára. Azok, akik az egyéni járműüket cserélik autonóm szolgáltatásra továbbra is ragaszkodnak az egyéni járműhasználatához, azaz az utazásuk során nem kívánnak idegenekkel együtt utazni [6]. Az autonóm közlekedési szolgáltatások esetén különös jelentősége van az okos telefonoknak, amelyek a jármű, vagyis a szolgáltatás és az utazó közötti kapcsolatot teszik lehetővé. A rendelés, fizetés, hozzáférési jogosultság ellenőrzése, a reklamáció, információkérés, stb. mind-mind az okos telefon telepített applikációin keresztül valósul meg.

Az autonóm közlekedés forgalmi, környezeti, gazdasági, társadalmi, stb. hatásaival számos tudományos kutatás foglalkozik. A legfőbb társadalmi hatások: biztonságosabb közlekedés (kevesebb baleset), utazási idő csökkenés, személyre szabottabb mobilitási szolgáltatások, energia hatékonyság növelés és kedvezőbb térgazdálkodás (rövidebb parkolási idők, kevesebb jármű) [7]. Mivel a fejlesztések többségénél az autonóm járművek megújuló energiával (általában elektromos meghajtás) működnek, ezért a közúti közlekedés környezetre gyakorolt káros hatásai tovább mérsékelhetők.

Az ilyen járművek széleskörű elterjedéséhez azonban számos problémás területen hatékony megoldások szükségesek. A technológiai nehézségek jelentősen ronthatják a V2V kommunikáció hatékonyságát (torzult vagy elveszett üzenetek, zaj, titkosítás elleni támadások, kommunikációs egység meghibásodása, stb.) [8]. Az autonóm rendszerek teljesítményének és biztonságának fokozásához nélkülözhetetlen a megbízható adatcsere. A kiberterrorizmus elleni védelem lényegesen több redundanciát igényel, mint a jelenlegi rendszerek esetében. A legveszélyesebb támadástípusok: GNSS rendszer elleni támadások, hamis üzenetek küldése [9], [10].

A forgalmi modellezés során a forgalmi folyamatok dinamikája előre jelezhető, amennyiben csak autonóm járműveket használunk. Az átmeneti időszakban, heterogén forgalom esetén (hagyományos és autonóm járművek egyaránt közlekednek) a forgalom modellezése és irányítása komplex megoldást igényel, mivel a kiszámítható (autonóm járművek) és sztochasztikus viselkedésű járművek (sofőrrel működő hagyományos járművek) egyidejűleg lesznek jelen [11]. Az átmeneti időszakban, a vegyes forgalom esetén a járművezetők pszichológiai és fizikai állapotának vizsgálata, valamint a viselkedés előrejelzése különösen fontos [12].

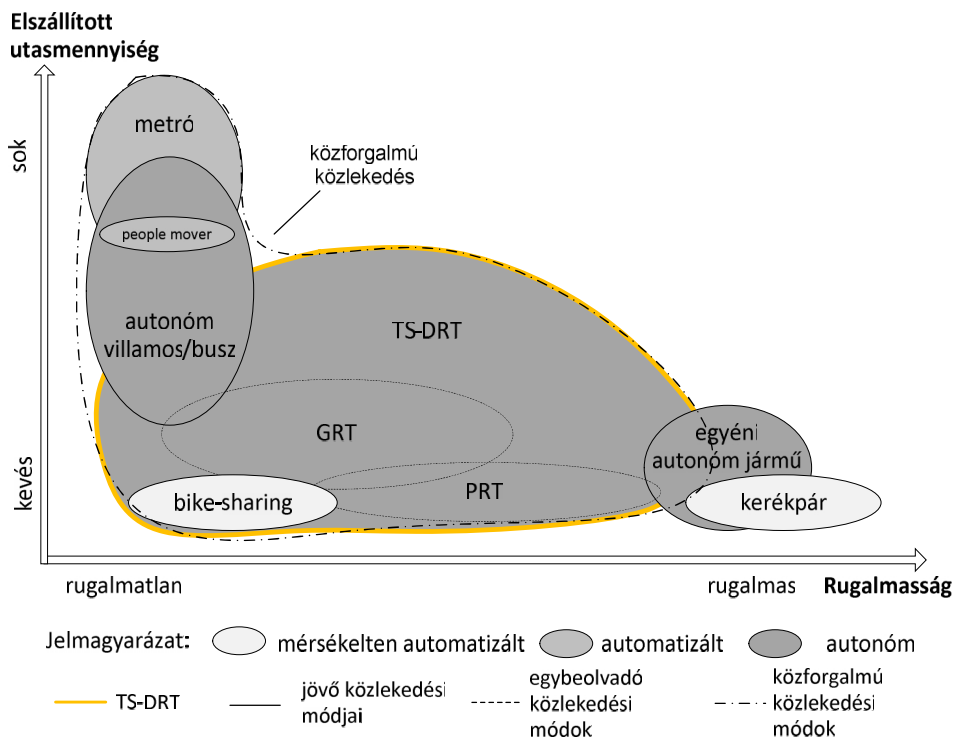
### 3. A jövő mobilitási formái

A hagyományos közforgalmú közlekedési eszközök (metró, vasút, villamos, autóbusz) megmaradnak a nagy utasforgalmú vonalakon. Az egyéni gépjárműveket, mint a legrugalmasabb formát, csak speciális utazási motivációk esetében használják majd. A kerékpározás és a közösségi kerékpározás szerepe jelentős marad; azonban az ún. pedelec, elektromos rásegítést alkalmazó kerékpárok is elterjednek. Az összes többi mód (jelenlegi kis kapacitású közforgalmú közlekedés, igényvezérelt közösségi közlekedés (DRT), car-sharing, taxi, sofőrszolgálat, ride-sharing, ride-sourcing) összeolvad egy új közlekedési móddá, melynek elnevezése telematika alapú, megosztott, igényvezérelt közlekedés (TS-DRT: Telematics-based Shared Demand Responsible Transportation) [13], [14]. Az új mód egyesíti a meglévő közlekedési módok tulajdonságait. Így a sérült emberek, valamint a jogosítvánnyal nem rendelkezők számára is rendelkezésre áll a személyre szabott mobilitás.

A jövőben a PRT és a GRT szolgáltatások rugalmasabbá válnak időben és térben is. A TS-DRT magában foglalja ezen szolgáltatásokat is. Az új mód hatékonyan kezeli az utolsó kilométer problémáját, ráhordó/elhordó szolgáltatást nyújt, támogatja a multimodális közlekedést magasabb személyre szabottság és komfort mellett. Ezáltal az egyéni gépjármű tulajdonlás mértéke csökkenthető. A szolgáltatás fejlett információs technológiát igényel (pl.: helyfoglalás, jegykezelés, jogosultság ellenőrzése). Jellemző TS-DRT formák:

- nagy kapacitású viszonylatra ráhordó/elhordó,
- közvetlen, háztól-házig.

A járművek mérete az igények mértékétől függ (1-15 utas/jármű). Stratégiai cél, hogy a ráhordó/elhordó típusú TS-DRT szolgáltatás használatának ösztönzésével (pl.: dinamikus tarifarendszer) csökkenthető legyen a szükséges járműállomány. Az 1. ábrán a jövő közlekedési módjait mutatjuk be az elszállított utasmennyiség és a rugalmasság függvényében. Szemléltettük az automatizálási lehetőségeket, valamint feltüntettük a TS-DRT szolgáltatásba beolvadó PRT és GRT megoldásokat is.



1. ábra: A jövő személyközlekedési módjai

Először várhatóan a kis kapacitású, részben külön pályán közlekedő közlekedési eszközök válnak autonómmá, majd a nagyobb kapacitású villamosok és a külön pályán haladó (pl.: BRT – Bus Rapid Transit) autóbuszok. Az autonóm közlekedési szolgáltatások legfontosabb tulajdonságai:

- fejlett forgalomirányító központ, amely a fuvarfeladatok szervezését (üzemirányítást) is ellátja,
- új szervezési és üzleti modell,
- okos megállók/állomások (smart stop/station), ahol a közlekedéssel összefüggő és a közlekedéstől független szolgáltatások is elérhetők fejlett infokommunikációs technológiával. A megállókban az utazók számát követve az operatív tervezés is hatékonyabbá válik.

#### 4. A jövő városi személyközlekedési rendszerének modellje

A városokban a különböző közlekedési módok üzemirányítása és a forgalomirányítás (ideértve a parkolásszabályozást is) gyakran más-más központból történik decentralizált módon. A mobilitási formák összemosisodása következtében a jövő városi közlekedése centralizált irányítást igényel, ahol az ún. integrált mobilitási központból szervezhetőek és irányíthatók a folyamatok. Ehhez kapcsolódóan egyre jelentősebbé válik a folyamatok valós idejű modellezése és előrejelzése.

Azonosítottuk a közlekedés szervezés és üzemeltetés során szükséges funkciókat. Mivel a vizsgálatok során utasorientált megközelítést alkalmaztunk, ezért az utaskezelési funkciókat részletesebben is bemutatjuk.

- Folyamattervezési és szervezési funkciók:
  - A1: kereslet elemzés és tervezés,
  - A2: közlekedési hálózat és viszonylat tervezés,
  - A3: előzetes és operatív működés tervezés (járművezénylés, energiavételezés tervezése),
  - A4: tarifa tervezés, dinamikus árszabályozás,
  - A5: karbantartás tervezés.
- Utaskezelési funkciók (1. táblázat).
- Forgalmirányítási funkciók:
  - C1: jármű irányítás,
  - C2: flotta irányítás,
  - C3: forgalmirányítás (jelzőlámpa vezérlés).

Az utaskezelési funkciókat az 1. táblázatban foglaltuk össze. A funkciók jelentős része az autonóm közlekedés megjelenésével továbbra is megmarad, azonban a működésükben az emberi-gépi tevékenységek aránya megváltozik. A táblázatban azt is feltüntettük, hogy adott funkció megvalósításában mely gépi és humán információkezelő összetevők vesznek részt a jövőben. Szinte valamennyi funkció az utazó okos eszközén, vagy a telepített kijelzőkön, interaktív eszközökön realizálódik.

1. táblázat: Utaskezelési funkciók

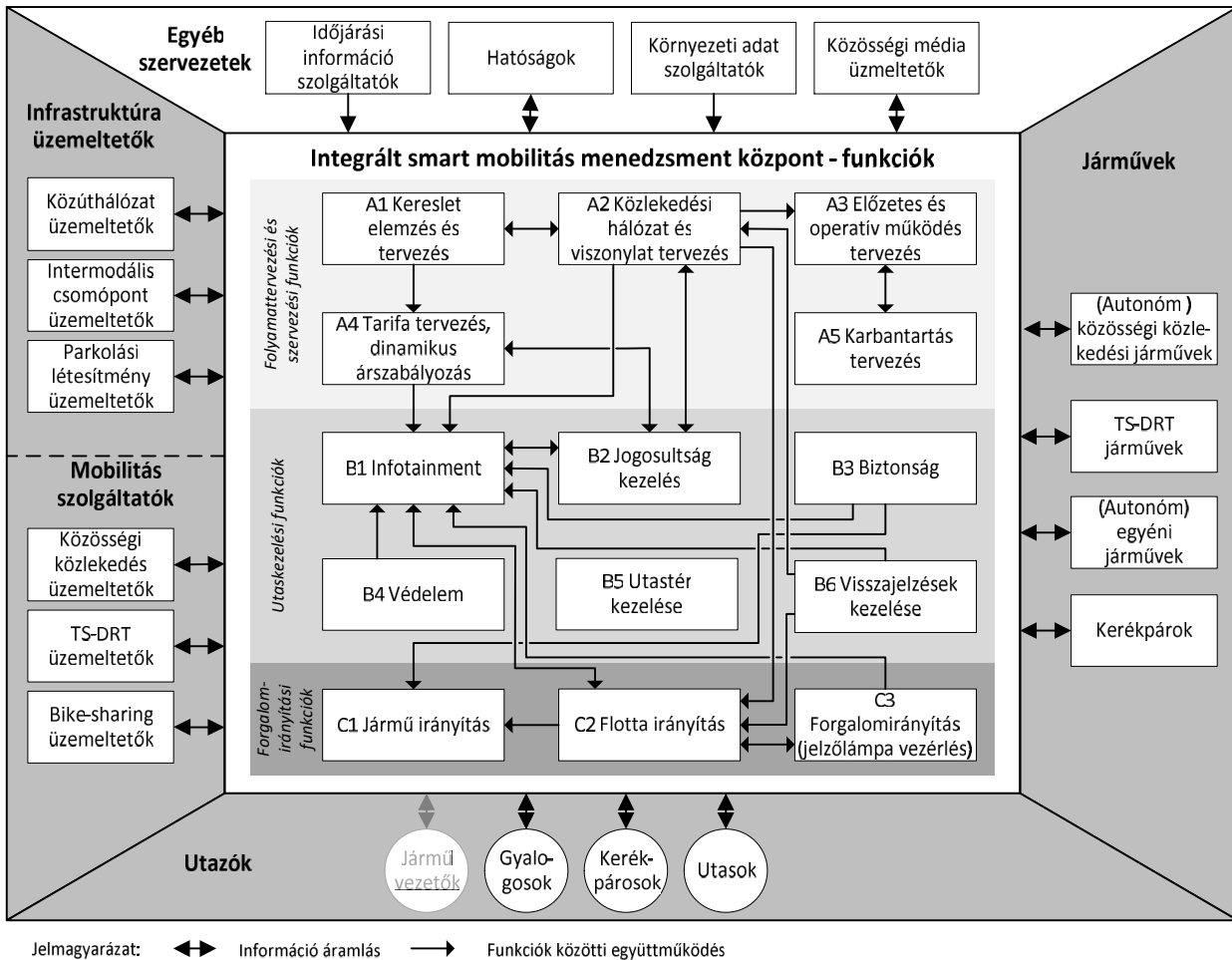
jel	funkció-csoport	jel	funkció	jármű	központ	személyzet
B <sub>1</sub>	infotainment	B <sub>11</sub>	tájékoztatás általános utazási feltételekről és kiegészítő szolgáltatásokról		x	
		B <sub>12</sub>	tájékoztatás jelenlegi forgalmi helyzetről		x	
		B <sub>13</sub>	személyre szabott utazástervezés és navigáció		x	
		B <sub>14</sub>	tevékenységi lánc tervezés		x	
		B <sub>15</sub>	információ szolgáltatás telepített eszközökön (megállóknban)		x	
		B <sub>16</sub>	információ szolgáltatás fedélzeti eszközökön	x	x	
		B <sub>17</sub>	reklamálás/információ kérés fedélzeten		x	
		B <sub>18</sub>	jármű-utas kommunikáció	x		
		B <sub>19</sub>	szórakoztatás	x	x	
B <sub>2</sub>	jogosultság kezelés	B <sub>21</sub>	helyfoglalás		x	
		B <sub>22</sub>	jogosultság vásárlás		x	
		B <sub>23</sub>	fizetés		x	
		B <sub>24</sub>	jogosultság érvényesítés (jegykezelés)	x		
		B <sub>25</sub>	jogosultság ellenőrzés			x
B <sub>3</sub>	biztonság	B <sub>31</sub>	baleset elkerülése jármű-utas között	x		
		B <sub>32</sub>	fel- és leszállás kezelése (figyelmeztetés, ajtó nyitás/zárás)	x		
		B <sub>33</sub>	váratlan események kezelése – utasrosszullét	x	x	x
		B <sub>34</sub>	váratlan események kezelése – technikai hiba (pl.: jármű hiba, evakuáció)	x	x	x
B <sub>4</sub>	védelem	B <sub>41</sub>	tulajdon- és életvédelem	x	x	x
		B <sub>42</sub>	vészhívás		x	x
B <sub>5</sub>	utastér kezelése	B <sub>51</sub>	utazási körülmények (komfort) biztosítása (pl. fűtés, világítás)	x		
B <sub>6</sub>	visszajelzések kezelése	B <sub>61</sub>	utaspanasz kezelése		x	
		B <sub>62</sub>	talált tárgyak kezelése		x	x
		B <sub>63</sub>	adatgyűjtés az utazótól (crowdsourcing)		x	
		B <sub>64</sub>	adatgyűjtés a járműtől, infrastruktúrától		x	

Modelleztük az integrált mobilitási menedzsment központ funkcióit és azok összefüggéseit, valamint a külső kapcsolatokat (2. ábra). A központ adatokat gyűjt az infrastruktúra üzemeltetőktől, a mobilitás szolgáltató és egyéb szervezetektől. Intenzív az információs kapcsolat a járművekkel és az utazókkal. Az adatgyűjtés gyakorisága/ciklusideje függ attól, hogy milyen típusú funkcióhoz szükséges:

- biztonság kritikus: a gyűjtési gyakoriság nagy és a késleltetési idő rendkívül kicsi; nagy megbízhatóságú adatok szükségesek (pl.: autonóm járművek irányítása),
- nem biztonság kritikus: hosszabb késleltetési idő is megengedett (pl.: időjárás adatok).

Az utazótól származó adatok gyűjtése történhet

- aktív módon (pl.: az utazó szándékosan küld adatot),
- passzív módon (pl.: mozgás követése - szenzorok, kamerák, okostelefon helyzetadatai alapján).



2. ábra: Az integrált smart mobilitás menedzsment központ funkcióinak összefüggései

A közösségi közlekedési módok (TS-DRT, metró, villamos) modal split aránya megnő. Ezen járművekről a közlekedési központ folyamatos forgalmi és egyéb adatokat kap és irányítja mozgásukat. Az egyéni autonóm járművek központtal történő folyamatos kapcsolattartása szintén elengedhetetlen; ezen járművek útvonaltervezése a központnál rendelkezésre álló adatok alapján történik.

A TS-DRT szolgáltatás esetében a járművek több szolgáltató tulajdonában is lehetnek, azonban ideális esetben a szolgáltatás szervezéséért egy szervezet, az integrált mobilitási központ a felelős. A szolgáltatóknak is rendelkezniük kell saját üzemirányító központtal, azonban a feladatkörük a jelenlegihez képest csökken; a járművek karbantartására és javítására korlátozódik. Integrált központ esetében a járművek mozgásának irányítása mellett a központ feladata a fuvarok tervezése, az igények kezelése és az utastájékoztató is. A legjelentősebb újdonság, hogy az előzetes helyfoglalások alapján az igények és azok tulajdonságai előre és pontosan ismertek valamennyi utazásnál, így a kereslet és a kapacitások összerendelési hatékonysága fokozható. Az automatikus adatgyűjtés következtében a menedzsment gyorsabban tud reagálni a körülmények változására (pl.: utazói viselkedés, forgalom összetétel).

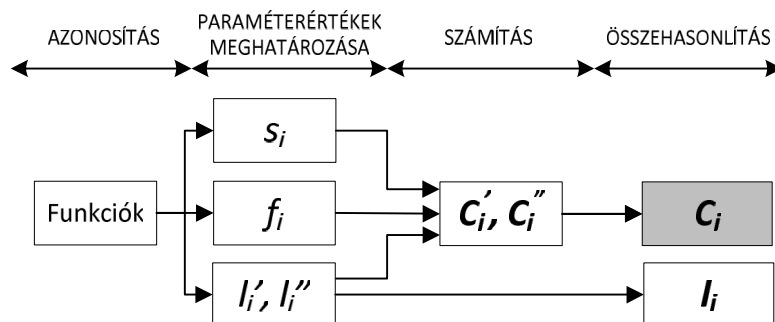
A központ az adatfeldolgozásnál fejlett módszereket alkalmaz (pl.: mesterséges intelligencia – fuzzy logika, neurális hálók) és következtetéseket is le tud vonni. Az optimális irányítás kognitív folyamatokkal érhető el. A központ megtanulja, hogyan kezelje az egyes forgalmi szituációkat a forgalomlefolrás teljes hálózati optimalizálásának érdekében. A begyűjtött utazói adatok elemzésével a közlekedési kereslet elemezhető és az igények tervezhetők ( $A_1$ ). A közlekedési hálózat- és viszonylatok ( $A_2$ ) tervezése tapasztalatot és részletes helyismeretet is igényel. Gépi automatizálása csak abban az esetben lehetséges, ha az emberi gondolkodás teljes mértékben helyettesíthető gépekkel. A működéstervezés ( $A_3$ ) egy részről egyszerűbbé válik (pl.: járművezető munkaidő előírásaival nem kell foglalkozni), másrészt bonyolultabbá (pl.: járművek napközbeni, telephelyen kívüli töltése). Összetett, dinamikus tarifa rendszer ( $A_4$ ) vezethető be a historikus, a valós idejű és az előrejelzett adatok felhasználásával, valamint fejlett számítási módszerek alkalmazásával. Az intelligens jármű folyamatosan továbbít adatot aktuális állapotáról; így a karbantartás tervezés ( $A_5$ ) hatékonysága növelhető. A karbantartás tervezés a szolgáltatónál történik, azonban az integrált központnak is szüksége van a tervezési adatokra az üzemirányításhoz.

Alapkérdés, hogy az intelligencia nagy része a járművekben vagy infrastruktúrában kerüljön elhelyezésre. A gyártók jelenlegi fejlesztéseikkor az intelligencia járműben történő elhelyezését preferálják. Az egyirányba, zárt pályán haladó közösségi közlekedési módoknál az intelligencia infrastruktúrába helyezése azonban hatékonyabb megoldás lehet. Amennyiben ez utóbbi terjed el, a központ szerepe az egyes járművek irányításában jelentősen megnő ( $C_1$ ). A mobilitás menedzsment központ feladata a flottairányítás. Autonóm járművek esetén ez a járművek folyamatos távoli felügyeletét, és a szükséges beavatkozó egységek irányítását is jelenti ( $C_2$ ). A járműpark teljesen autonómmá válása esetén a fizikai, útmenti berendezések száma csökkenthető (pl.: jelzőlámpák), mivel az utasítások (pl.: tilos jelzés) közvetlenül is továbbíthatók a járművek elektronikájának. A hálózaton a globális optimum eléréséhez a sebesség és követési távolság szabályozása is a funkció része, ami a fejlett forgalomirányító algoritmusokkal és a forgalmi szituációkra adott megfelelő válasszal érhető el ( $C_3$ ).

Az átmeneti időszakban, amikor az autonóm és hagyományos járművek vegyesen közlekednek, az integrált központ feladata még jelentősebb. Ekkor a járművezetők tájékoztatása kiemelten fontos (pl.: vezetési tanácsok nyújtása) annak érdekében, hogy a forgalomlefolrás zavartalan legyen.

## 5. Utaskezelési funkciók automatizálása

Célunk volt az utaskezelési funkciókban rejlő automatizálási lehetőségek megállapítása. Ennek érdekében a funkciókat folyamat és rendszerorientált megközelítésben vizsgáltuk. Kvantitatív módszert dolgoztunk ki a jövőbeli fejlesztések összehasonlításának és a fontossági sorrendjének meghatározásának érdekében. A módszer számítási lépéseit a 2. ábrán foglaltuk össze. A számítás legfontosabb eredménye a jövőbeli és a jelenlegi értékek különbségéből számított ún. automatizálási potenciál ( $C_i$  – computerization, ahol  $i$  a funkció indexe), amely kifejezi a funkciók automatizálásának jelentőségét. Minél nagyobb az érték, annál nagyobb a fejlesztési potenciál az adott funkció esetében, illetve annál nagyobb a lehetséges változtatás mértéke. A módszerrel számított részeredményekből is levonhatók következtetések. A jelenlegi és jövőbeli automatizálási szint közötti különbségek kifejezik a fejlesztés lehetséges mértékét ( $l_i$ ) az adott funkciónál.



**Jelmagyarázat:** 'jelenlegi helyzet, " jövőbeli helyzet

paraméterek:  $s_i$ : biztonság kritikus jelleg,  $f_i$ : frekvencia,  $l_i, l_i''$ : automatizálási szint,

részeredmények:  $C_i', C_i''$ : automatizálási indikátor

eredmények:  $C_i$ : automatizálási potenciál,  $l_i$ : automatizálási szint változás

3. ábra: Számítási módszer

A számításhoz szükséges paraméterek és azok értékei:

- biztonság kritikus jelleg ( $s_i$ ): adott funkció mennyire jelentős a biztonság kritikus helyzetek/körülmények kezelésekor (2. táblázat). A jelenlegi és jövőbeli értékek megegyeznek.

2. táblázat:  $s_i$  paraméter értékei

érték	biztonság kritikus jelleg	leírás
1	nincs	nem biztonság kritikus
2	közepes	kismértékben veszélyeztetheti az emberéletet, biztonságot
3	nagy	jelentősen veszélyeztetheti az emberéletet, biztonságot

- frekvencia ( $f_i$ ): a funkció használatának/igénybe vételének átlagos száma egy-egy utazás során (3. táblázat). A jelenlegi és jövőbeli értékek megegyeznek.

3. táblázat:  $f_i$  paraméter értékei

érték	frekvencia	leírás
1	nagyon ritkán	biztonság kritikus helyzetekben
2	ritkán	néhány utazásnál
3	időnként	több utazásnál
4	gyakran	minden utazásnál néhány alkalommal
5	nagyon gyakran	minden utazásnál számos alkalommal

- automatizálási szint ( $l_i$ ): milyen mértékben automatizált a funkció, azaz mennyire lehetséges az emberi szerepkör és jelenlét kiváltása, helyettesítése gépekkel. A paraméter értékek meghatározásakor bizonyos sajátos üzemeltetési és felhasználási szempontokat nem vettünk figyelembe. A jelenlegi ( $l_i'$ ) és jövőbeli ( $l_i''$ ) helyzetre egyaránt meghatároztuk az értékeket.

4. táblázat:  $l_i$  paraméter értékei

érték	automatizálási szint	leírás
1	alacsony	nincs gép
2	inkább alacsony	kismértékű gépi támogatás
3	közepes	jelentős gépi támogatás
4	inkább magas	az emberi beavatkozás csak biztonság kritikus helyzetekben szükséges
5	magas	emberi beavatkozás szükségtelen (csak távfelügyeleti szerep)

$C_i'$  és  $C_i''$  automatizálási indikátor számítása (1): A biztonság kritikus jelleg paraméter jelentős befolyásoló hatását hatványösszefüggés formájában fejeztük ki. Az indikátor számítási módja a jelenlegi ( $C_i'$ ) és a jövőbeli ( $C_i''$ ) helyzetre megegyezik.  $C_i$  értékkészlete a megadott paraméter értékekkel számolva:  $C_i \in [0..625]$ .

$$C_i' = f_i \cdot l_i'^{S_i} \quad (1)$$

Összehasonlító mutatók: a fejlesztés jelentősége ( $C_i$ ) az automatizálási indikátor (2), míg a fejlesztés mértéke ( $l_i$ ) az automatizálási paraméter (3) jelenlegi és jövőbeli értékeinek különbségéből adódik. Az  $l_i$  értékek közötti különbség a funkciók fejlesztési elemzéseinél használható. A  $C_i$  komplex mutató a fejlesztéseknél, a szoftver és hardver specifikációk készítésénél használható.

$$C_i = C_i'' - C_i' \quad (2)$$

$$l_i = l_i'' - l_i' \quad (3)$$

A funkciók legfontosabb tulajdonságait az 5. táblázatban foglaltuk össze. Az alaptulajdonságokat leképező paraméterértékek meghatározásához ( $f_i$ ,  $l_i$ ,  $s_i$ ) szakirodalmi forrásokat és tapasztalati értékeket használtunk. Magas automatizálási szint változással ( $l_i \geq 2$ ) rendelkező funkciókat piros szám, jelentős automatizálási potenciállal ( $C_i \geq 100$ ) rendelkező funkciókat szürke háttér és félkövér szám jelöli. Az utóbbi funkciók biztonság kritikusak és nagy az automatizálási szint változásuk. Amennyiben  $l_i$  és  $C_i$  is magas értékűek, a funkciók fejlesztése speciális figyelmet igényel. Például a következő esetekben:  $B_{18}$ : jármű-utas kommunikáció,  $B_{24}$ : jogosultság érvényesítés (jegykezelés),  $B_{31}$ : baleset elkerülése jármű-utas között,  $B_{33}$ : váratlan események kezelése.



5. táblázat: Funkciók tulajdonságait leképező paraméterértékek

	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>	B <sub>16</sub>	B <sub>17</sub>	B <sub>18</sub>	B <sub>19</sub>	B <sub>21</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>23</sub>	B <sub>24</sub>	B <sub>25</sub>	B <sub>31</sub>	B <sub>32</sub>	B <sub>33</sub>	B <sub>34</sub>	B <sub>41</sub>	B <sub>42</sub>	B <sub>51</sub>	B <sub>61</sub>	B <sub>62</sub>	B <sub>63</sub>	B <sub>64</sub>
f <sub>i</sub>	4	5	4	4	5	5	2	5	4	4	4	4	5	3	5	5	2	1	5	2	5	2	2	5	5
l <sub>i</sub> '	3	3	3	3	3	3	1	1	3	3	2	2	2	1	3	4	1	1	2	2	2	1	1	4	4
l <sub>i</sub> ''	4	5	4	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	3	5	5	4	4	4	3	5	3	3	5	5
s <sub>i</sub>	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	1	1	2	3
C <sub>i</sub> '	12	15	12	12	15	15	2	5	12	36	32	32	40	3	135	320	2	2	40	16	20	2	2	80	80
C <sub>i</sub> ''	16	25	16	16	25	25	8	625	16	100	256	256	625	27	625	625	128	128	320	54	125	6	6	125	125
I <sub>i</sub>	1	2	1	1	2	2	3	4	1	2	2	2	3	2	2	1	3	3	2	1	3	2	2	1	1
C <sub>i</sub>	4	10	4	4	10	10	6	620	4	64	224	224	585	24	490	305	126	126	280	38	105	4	4	45	45

Jelmagyarázat: *magas automatizálási szint változás, jelentős automatizálási potenciál*

A tájékoztatás (B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub>) egyre inkább helyfüggővé és személyre szabottá válik. A helyadat számos információt befolyásol: időjárás, forgalomnagyság, reklám, kupon akciók, parkolódíj, stb. [15]. Mivel ezek a funkciók már jelenleg is magasan automatizáltak, így a jövőbeli változás csak kismértékű lesz  $l_{11}=1$ ,  $l_{12}=2$ . Az utazások (B<sub>13</sub>) és a tevékenységi láncok (B<sub>14</sub>) tervezése kiemelten fontos funkcióvá válnak, mivel a jövő közlekedése egyre inkább előre tervezett és személyre szabottabb lesz [16]. A személyes preferenciák megadása első alkalommal több időt vehet igénybe, azonban a későbbiekben az utazástervező funkció kognitív és folyamatos tanulási képességének köszönhetően kevesebb idő is elegendő lesz. A telepített eszközökön történő információ szolgáltatás (B<sub>15</sub>) nagyobb mértékben automatizált lesz  $l_{15}=2$ ; a közlekedésre vonatkozó, és a kiegészítő információk (pl.: időjárás, turisztika) közlése esetén is. A jármű aktuális pozíciója, útvonala, a következő megálló, és egyéb helyfüggő információk automatikus és interaktív módon is elérhetők a jármű fedélzeti kijelzőin (B<sub>16</sub>). Utazás közben a személyzet jelenlétének hiányában nem lehetséges a direkt emberi kommunikáció. A reklamálas/információ kérés (B<sub>17</sub>) telekommunikációs eszközökön keresztül mesterséges intelligenciát használó számítógéppel, vagy személyzet közreműködésével történik (pl. írásban, élőszóban)  $l_{17}=3$ . A legjelentősebb változás a jármű-utas kommunikáció esetében (B<sub>18</sub>) figyelhető meg. Az emberi reakciók, mimika, szemmozgás, gesztikuláció jelenleg jelentős szerepet játszanak a forgalmi szituációk kezelésénél. A jövőben az autonóm járműnek az emberi szándékokat hibázás nélkül kell felismernie  $l_{18}=3$ ,  $C_{18}''=625$ . Ezen kommunikáció túlnyomó része azonban elektronikus eszközökön keresztül történik. A jármű észleli a közlekedés résztvevőit azok helyadatai alapján (pl.: utazók okostelefon helyadatait követve), és figyelmezteti őket veszély esetén. Az utazás közbeni szórakoztatás (B<sub>19</sub>) (pl.: interaktív szórakoztató elektronika, teleföntöltési lehetőség) alapvető fontosságú funkcióvá válik. Ugyanis a vezetési műveletek teljes kiváltásának köszönhetően más tevékenységgel tölti az utazó az idejét. Mivel egyre inkább előre tervezetté válik a mobilitás, a helyfoglalás (B<sub>21</sub>) jelentős funkcióvá válik; ami az utazók részéről nagyobb tudatosságot igényel. A fizetés, jogosultság vásárlás és érvényesítés funkciók (B<sub>22</sub>, B<sub>23</sub>, B<sub>24</sub>) kevesebb közvetlen emberi műveletet igényelnek a jövőben. A jegykezelés egyszerűbbé (érintésmentes leolvasás) vagy teljesen automatikussá válik (pl.: felhasználó helyszín adatai alapján)  $l_{24}=3$ , azonban a jogosultság szűrőpróba szerű ellenőrzése (B<sub>25</sub>) humán ellenőrök (fejlett gépi támogatással) továbbra is igényel  $l_{25}=2$ .

A biztonság kritikus szituációk térfigyelőkamerás felügyelettel (képfelismerő szoftverekkel, vagy emberi távfelügyelettel) és fejlett szenzor technológiával előzhető meg. A jármű-utas közötti baleset elkerülése (B<sub>31</sub>) a legkritikusabb fejlesztési feladat az autonóm járművek esetében  $l_{31}=2$ ,  $C_{31}=490$ . A fel- és leszállás kezelése (B<sub>32</sub>) automatává válik, bár ez már jelenleg is jellemző  $l_{25}=1$ . A váratlan, biztonságkritikus események kezelése (B<sub>33</sub>, B<sub>34</sub>) automatikus gépi érzékelést  $l_{33}=l_{34}=3$ , szigorú szabályokat, gondosan kidolgozott cselekvési terveket és gyors emberi beavatkozó egységeket igényel. A biztonságérzet statikus segélyhívók telepítésével és automatikus képi feldolgozó kamerarendszerekkel fokozható (B<sub>41</sub>, B<sub>42</sub>). Az utastér kezelése (B<sub>51</sub>), a megfelelő komfort biztosítása teljesen automatikussá válik; a szabályozást a jármű végzi (pl.: fűtésszabályozás). A szennyeződések, rongálások automatikus érzékelése (képfelismerés) mellett az utasok bejelentései is nagyobb jelentőséget kapnak. Ezen funkció esetében a központ koordinációt végez, fogadja az észrevételeket, szervezi a takarítást. A takarítási folyamatok csupán kismértékben változnak, a személyzet szerepvállalása megmarad. Az utazás utáni panaszkezelésnél (B<sub>61</sub>) a személyes kontaktus a jövőben sem szüntethető meg teljesen  $l_{61}=2$ . A talált tárgyak (B<sub>62</sub>) esetében az utasok szerepe nő a tárgyak leadásánál, bejelentésénél. Az utazótól történő adatgyűjtés (B<sub>63</sub>) magasan automatizálttá válik az utazó hozzájárulása esetén. Adatbiztosításért cserében

értéknövelt információs szolgáltatások adhatók. A járművekről és infrastruktúráról az adatgyűjtés (B<sub>64</sub>) automatikussá válik.

Az autonóm közlekedés hatására a kiszolgáló személyzet szerepe is átalakul. Bár az utaskezelési funkciók egy részét gépek veszik át, egyes funkciók esetében az emberi személyzet nélkülözhetetlen marad. Azonosítottuk a jövőben alkalmazandó személyzet típusokat és feltártuk, hogy az eddigi vezető által végzett utaskezelési funkciókat a számítógépek vagy más személyzettípusok veszik-e át (6. táblázat).

6. táblázat: Járművezető feladatainak/funkciónak átvétele

kinek	B <sub>12</sub>	B <sub>17</sub>	B <sub>18</sub>	B <sub>23</sub>	B <sub>24</sub>	B <sub>25</sub>	B <sub>31</sub>	B <sub>32</sub>	B <sub>33</sub>	B <sub>34</sub>	B <sub>41</sub>	B <sub>42</sub>	B <sub>51</sub>
számítógép	X		X	X	X	X		X					X
diszpécser	X						X		X	X		X	
működésfelügyelő		X							X	X			
vevőszolgálat		X											
biztonsági szolgálat											X	X	
mentő csapat									X	X		X	

Bizonyos speciális utazói csoportoknál (pl.: mozgássérültek, idősek, korszerű technológiát nehezen kezelő személyek) és helyzetekben (pl.: nem helyi utazó egy ismeretlen városban) a személyes kapcsolat továbbra is fontos marad. Ezen esetekben egyes funkcióknál a személyzet alkalmazása a leghatékonyabb (B<sub>17</sub>, B<sub>22</sub>, B<sub>23</sub>, B<sub>61</sub>, B<sub>62</sub>). A váratlan események kezelésénél (B<sub>23</sub>, B<sub>24</sub>) is elengedhetetlen az emberi beavatkozás, azonban ezen helyzetek felismerését az automata gépi rendszerek megbízhatóbbá teszik. Az autonóm funkciókat minden esetben ember felügyeli. Az alkalmazottak számának csökkentése és munkájuk hatékonyságának növelése (pl.: kevesebb hibás döntés, gyorsabb döntéshozatal) fejlett gépi támogatással érhető el.

A jövő közlekedésének személyzet típusai:

- diszpécser: munkájukat már ma is fejlett infokommunikációs megoldások támogatják. Egyes döntési folyamatok a jövőben sem helyettesíthetők géppel. A jövőben egyre inkább jelentőssé válik a felügyelői szerepkörük.
- működésfelügyelő: személyzet alkalmazása utasforgalmi létesítményekben a biztonsági fenntartása és tájékoztatás tekintetében továbbra is fontos marad. A feladataik bővülnek korábbi járművezetői feladatokkal (pl.: jármű tisztaság ellenőrzése).
- vevőszolgálat: szerepük fontos marad az emberi kapcsolatok igénye miatt.
- biztonsági szolgálat: a fejlett képfeldolgozó rendszerek sem képesek minden kritikus szituációt felismerni, így az utasok védelmében a személyzet alkalmazása (pl. gyors reagálású biztonsági személyzet) különösen fontos (pl.: elhagyott csomagok ellenőrzése).
- mentő csapatok: biztonság kritikus szituációkban a gyors reagálású csapatok (pl. egészségügyi mentő egységek) bevonása elengedhetetlen (pl.: evakuáció).

## Konklúzió

Az autonóm járművek fejlesztése a közforgalmú közlekedési eszközök területén is megkezdődött. Az új mobilitási módok a közlekedés szervezésének és irányításának átalakulásával valósulnak meg. A kutatás főbb eredményei:

- a jövő városi közlekedési módjainak azonosítása, elemzése,
- az integrált mobilitás menedzselő központ modellezése,
- az utaskezelési funkciók automatizálási lehetőségeinek értékelése új módszer alapján.

A jövő mobilitása tudatosabb tervezést, az igények előzetes bejelentését igényli az utazó részéről. A működés integrált központtal valósítható meg hatékonyan, ami a forgalomirányítás mellett, az igények kezelését, az utasok tájékoztatását és a kapacitások tervezését is ellátja. Az utaskezelési funkciók nagy része automatikussá válik, személyzetre csak speciális helyzetekben lesz szükséges. A személyzet feladatköre jellemzően a gépi rendszerek felügyeletére terjed majd ki. A kidolgozott értékelő módszerünk által meghatározható, hogy mely funkciók automatizálásában rejlik még jelentős lehetőség.

A kutatás során nehézséget jelentett az automatizáltsági szintek funkciók szerinti megállapítása, mivel a tématerület újdonsága miatt az elérhető tudományos kutatások és eredmények mérsékeltlen állnak

rendelkezésre. A tématerületben rejlő kutatási potenciál jelentős, ezért a kutatást több irányban is folytatjuk:

- a TS-DRT szolgáltatás tervezési módszerének kidolgozása,
- a TS-DRT szolgáltatás működési és információkezelési modelljeinek kidolgozása (pl.: kereslet-kínálat valós idejű összerendelése).

## Irodalomjegyzék

- [1] D. Christie - A. Koymans - T. Chanard - J.-M. Lasgouttes - V. Kaufmann: Pioneering Driverless Electric Vehicles in Europe: The City Automated Transport System (CATS), *Transportation Research Procedia*, 13: 30–39, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.004
- [2] A. Alessandrini - R. Alfonsi - P. D. Site - D. Stam: Users' Preferences towards Automated Road Public Transport: Results from European Surveys, *Transportation Research Procedia*, 3: 139–144, 2014. DOI: 10.1016/j.trpro.2014.10.099
- [3] W. Payre - J. Cestac - P. Delhomme: Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability, *Transportation Research Part F*, 27: 252–263, 2014. DOI: 10.1016/j.trf.2014.04.009
- [4] M. D. Yap - G. Correia - B. van Arem: Preferences of travellers for using automated vehicles as last mile public transport of multimodal train trips, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94: 1–16, 2016. DOI: 10.1016/j.tra.2016.09.003
- [5] P. Bansal - K. M. Kockelman - A. Singh: 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
- [6] R. Krueger - T. H. Rashidi - J. M. Rose: Preferences for shared autonomous vehicles, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 69: 343–355, 2016. DOI: 10.1016/j.trc.2016.06.015
- [7] D. J. Fagnant - K. Kockelman: 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
- [8] P. Gora - I. Rüb: Traffic Models for Self-driving Connected Cars, *Transportation Research Procedia*, 14: 2207–2216, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.236
- [9] J. Petit - S. E. Shladover: Potential Cyberattacks on Automated Vehicles, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2) 546–556, 2015. DOI: 10.1109/TITS.2014.2342271
- [10] K. Koscher - A. Czeskis - F. Roesner - S. Patel - T. Kohno: Experimental Security Analysis of a Modern Automobile. In 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy, 447–462. 2010. DOI: 10.1109/SP.2010.34
- [11] T. Tettamanti - I. Varga - Zs. Szalay: Impacts of Autonomous Cars from a Traffic Engineering Perspective, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 44(4) 244–250, 2016. DOI: 10.3311/PPtr.9464
- [12] J. Zhang - X. Wang - C. Yu - Z. Liu - H. Wang: Development of a Prediction Method for Driver's Propensity, *Procedia Engineering*, 137: 161–170, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.246
- [13] D. Földes – Cs. Csiszár: Conception of Future Integrated Smart Mobility. In Smart Cities Symposium (SCSP 2016), 26-27 May 2016. Prague, Czech Republic, DOI: 10.1109/SCSP.2016.7501022
- [14] Földes D. – Csiszár Cs.: Az autonóm városi személyközlekedés hatásai, Innováció és Fenntartható Felsőfokú Közlekedés Konferencia (IFFK 2016), 2016. augusztus 29-31. Budapest, Magyarország, ISBN:978-963-88875-3-5
- [15] J. Rao – T. Giuli: Evaluating vehicular ad hoc networks for group applications. In IEEE PerCom 594–599, 2011. DOI: 10.1109/PERCOMW.2011.5766959
- [16] D. Esztergár-Kiss – Cs. Csiszár: Multicriteria Analysis of Hungarian Journey Planners, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 44(2): 97–104, 2016. DOI: 10.3311/PPtr.8570