

Az autonóm városi személyközlekedés hatásai

Földes Dávid, Dr. Csiszár Csaba

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
(e-mail: foldes.david@mail.bme.hu, csiszar.csaba@mail.bme.hu)*

Absztrakt: Az autonóm személygépjárművek fejlesztése rendkívül felgyorsult; a technológia érettsége közelíti a piaci bevezethetőséghez. Az autonóm egyéni és közösségi használatú járművek megjelenése alapjaiban változtatja meg a városi közlekedést, ezért az átalakulás várható hatásainak vizsgálata különösen időszerű. Rendszerszemléletben dolgoztuk ki az autonóm személyközlekedés működési modelljét. Azonosítottuk a mobilitási szolgáltatásokban bekövetkező változásokat, feltárva az új és a változó közlekedési módokat. Különös hangsúlyt fektettünk az utazói elvárások, szokások és viselkedés vizsgálatára. Feltártuk és elemeztük az autonóm személyközlekedés, mint rendszer, külső-belső kapcsolatrendszerét. Megállapítottuk a hatások mértékét és összefüggéseit. Az eredmények a jövő közlekedésének további részletes elemzéséhez, modellezéséhez szolgálnak alapul.

1. BEVEZETÉS

A közlekedés biztosítja a térben elkülönült tevékenységek helyszínei közötti kapcsolatokat; és nagymértékben befolyásolja az emberek életminőségét. A térbeli távolságok leküzdéséhez területet „használok el”. A cél, hogy ez a terület minél kisebb legyen, illetve, hogy mérsékeljük a településrészek közötti elválasztó hatást.

A városokban eltérő dinamikával fejlődik:

- a technológia,
- a társadalom és
- a fizikai keretek, az épített környezet (tér szerkezet, épületek).

A technológiai fejlődés a leggyorsabb ütemű. Számottevő a járműtechnológia, az infokommunikációs technológia és az energetika fejlődése külön-külön is és egymással kölcsönhatásban is. A technológiai fejlődés sok esetben választ ad a társadalmi és az épített környezettel összefüggő kihívásokra. A közlekedésben az innovációt elsősorban a járműfejlesztések és a változó utazói igények indukálják.

A legfontosabb társadalmi kihívások, amelyek kihatnak a mobilitásra is, a következők:

- hatékony időfelhasználásra való törekvés,
- változó életvitel,
- öregedő társadalom,
- térben és időben átrendeződő tevékenységek (pl.: otthoni munka),
- megosztáson alapuló társadalom (sharing objects) (pl.: autó megosztás, lakás megosztás),
- egészség- és környezettudatos életmód,
- élhető városok (pl.: kevesebb motorizált forgalom),

- terület felhasználás, területfoglalás javítása (pl.: több sávú utak, parkoló területek helyfoglaló hatásának mérséklése).

A legjelentősebb technológiai újítások a következők:

- adatgyűjtési technológiák (pl.: humán szenzorok) és újfajta adatforrások (pl.: közösségi média),
- kommunikációs technológiák (pl.: 3G/4G/5G, NFC, WiFi, IoT - internet of things), jármű kommunikációs technológiák – V2V, V2I, V2N, V2G,
- nyomkövetési technológiák (pl.: cella információk),
- adatelemzési módszerek (pl.: Big Data, adatbányászat)
- az emberi döntést, a kognitív képességeket, és az érzékszerveket helyettesítő technológiák (pl.: gépi látás),
- korszerű energia menedzsment rendszerek és eljárások, melyek nagy arányban fenntartható, környezetbarát energia-forrásokra épülnek.

Az újszerű, megosztáson alapuló városi közlekedési módok (pl. car-sharing, ride-sharing, ride-sourcing) az erőforrásokkal (pl. terület, energia, idő) való hatékonyabb gazdálkodást célozzák az új folyamatszervezési és működtetési eljárásokkal. A hatékonyságnövelés fontos elemei a járművek növekvő napi futásideje és futásteljesítménye.

Car-sharing: közösségi tulajdonban lévő közúti járművek (általában személygépkocsik) időben megosztott közös használata, amellyel a járművek napon belüli kihasználása növekszik. A car-sharing megoldásokat Barth és Shaheen (2016) csoportosította és rendszerezte típus, lefedett terület, napi ingázáshoz igénybevehetőség és jármű kialakítás szerint.

Két markáns szolgáltatás típus létezik a használati időtartam szerint: 1. néhány órára elvihető járművek, fix vagy nem fix állomásokkal, 2. hosszabb időtartamra (általában 1 nap) elvihető járművekkel működő ún. „station car” rendszerek nagyobb forgalomvonzó létesítményeknél (vasútállomás, repülőtér, campus) kialakított állomásokkal.

Ride-sharing: közös utazást biztosító közlekedési mód. A járművezetője utazásához útitársakat keres, akik szintén azonos útvonalon kívánnak közlekedni. Különbség a telekocsi szolgáltatással szemben, hogy városi környezetben, rövidebb távolságon valósítják meg, amely sokkal dinamikusabb információkezelést igényel. A hatékonyabb igény-kapacitás összerendezés érdekében az ún. meeting-point (találkozási pont) rendszert és annak hasznosságát elemezték (Stiglic et al., 2015). A meeting-point rendszer, hasonlóan a közforgalmú közlekedési megállókhöz, gyűjtő- és elosztópontokkal működik. Az utas felvétel és leadás ezen „megállóban” történik, így csökkentve a felesleges kitérőket. Hátránya, hogy az utasnak a kiinduló ponttól a megállóig vagy a megállótól a rendeltetési helyig gyalogolnia szükséges.

Ride-sourcing (fuvarközvetítő): IT alapokon működő városi közlekedési szolgáltatás, ahol a fuvarfeladat összerendelése automatikusan, általában mobil telefonos applikáción keresztül történik. A sofőr jövedelemszerzési céllal végzi a feladatát, általában saját járművel. A szolgáltatás a hagyományos taxi módhoz áll a legközelebb, jellemzője a teljes IT támogatás és a dinamikus, az igények és kapacitások aktuális mértékétől függő díjszabás. Egyes szolgáltatások csak az IT támogatást használják fuvarjaik szervezésekor (pl.: TaxiFy), míg mások a dinamikus árképzést is (pl.: UBER). A ride-sourcing szolgáltatás használói köre, mind korban, mind személyes tulajdonságokban, mind az eltűrt várakozási időben eltér a taxit használóképtől (Rayle et al., 2016). A ride-sourcingot a fiatal, magas iskolai végzettséggel rendelkező, okos telefonnal rendelkező és rövid várakozási időt igénylő utasok veszik igénybe. A ride-sourcing utazásoknak legalább fele a hagyományos közforgalmú közlekedési móddal végrehajtott utazást helyettesíti.

Az újszerű közlekedési módok mellett a hagyományos közforgalmú közlekedés személyesebbé tételét (időben és/vagy térben rugalmasság) teszik lehetővé a DRT (Demand-Responsive Transport), azaz a rugalmas, igényvezérelt közlekedési rendszerek, amelyek az alacsony lakossűrűségű területek közforgalmú kiszolgálását is hatékonyan oldják meg. Egyes területeken a DRT a taxi helyettesítője. Számos esetben a DRT vetélytársa az egyéni gépjárműves közlekedésnek, hiszen utóbbi versenyképessége (térben és időben) a parkolóhely keresési művelet hosszától és eredményétől is nagymértékben függ (Wang et al., 2015). A legtöbb ilyen jellegű szolgáltatásnál a kisebb befogadóképességű járművek terjedtek el, amelyeknél a kisebb igények esetén is jó kapacitáskihasználás érhető el (Davison et al., 2014).

Ezen újszerű közlekedési módok jelenleg járművezetővel, manuálisan működnek. Azonban a személyközlekedésben gyorsan terjednek az automata és az autonóm megoldások.

Automata járművek: olyan számítógép által irányított járművek, amelyek világosan leírt szabályrendszert követnek lépésről, lépésre, a beprogramozás szerint. Többnyire különálló pályán, más forgalomtól elzártan közlekednek.

Autonóm járművek: olyan számítógép által irányított járművek, amelyek felhasználják kognitív és tanulási képességeiket; a különböző forrásokból begyűjtött adatok alapján önálló döntéseket hoznak korábban még nem ismert helyzetekben is. Általában más forgalmi rétegekkel (pl. gyalogosok, kerékpárosok) közös pályán haladnak, vagy velük konfliktusba kerülhetnek.

Az automata megoldások nem újszerűek a közlekedésben. Londonban 1967 óta működik automata metró üzem. Élenjáró az automatizálásban a légiközlekedés (pl.: robotpilóta). A metró- és a légiközlekedésben alkalmazott analógiák átültethetők a közúti közlekedés területére is. A járműirányítás mellett a közlekedésszervezésben és lebonyolításban (pl. utaskiszolgálás) is alkalmazhatók automata rendszerek. Az autonóm járművek legjelentősebb társadalmi hatásai a következők: biztonságosabb közlekedés (kevesebb baleset), utazási idő csökkenés, energia hatékonyság növekedés, parkolási és területhasználati előnyök (Fagnant és Kockelman, 2015)

A kutatásunk során kidolgoztuk az autonóm személyközlekedés működési modelljét (2. fejezet). Feltártuk az autonóm járművek hatására bekövetkező változásokat a mobilitási formákban, illetve szokásokban (3. fejezet). A 4. fejezetben azonosítottuk és elemeztük az autonóm személyközlekedés kapcsolatrendszerét és hatásait. A cikket összeggzéssel, tanulságokkal és a további kutatás-fejlesztési terveink összefoglalásával zárjuk.

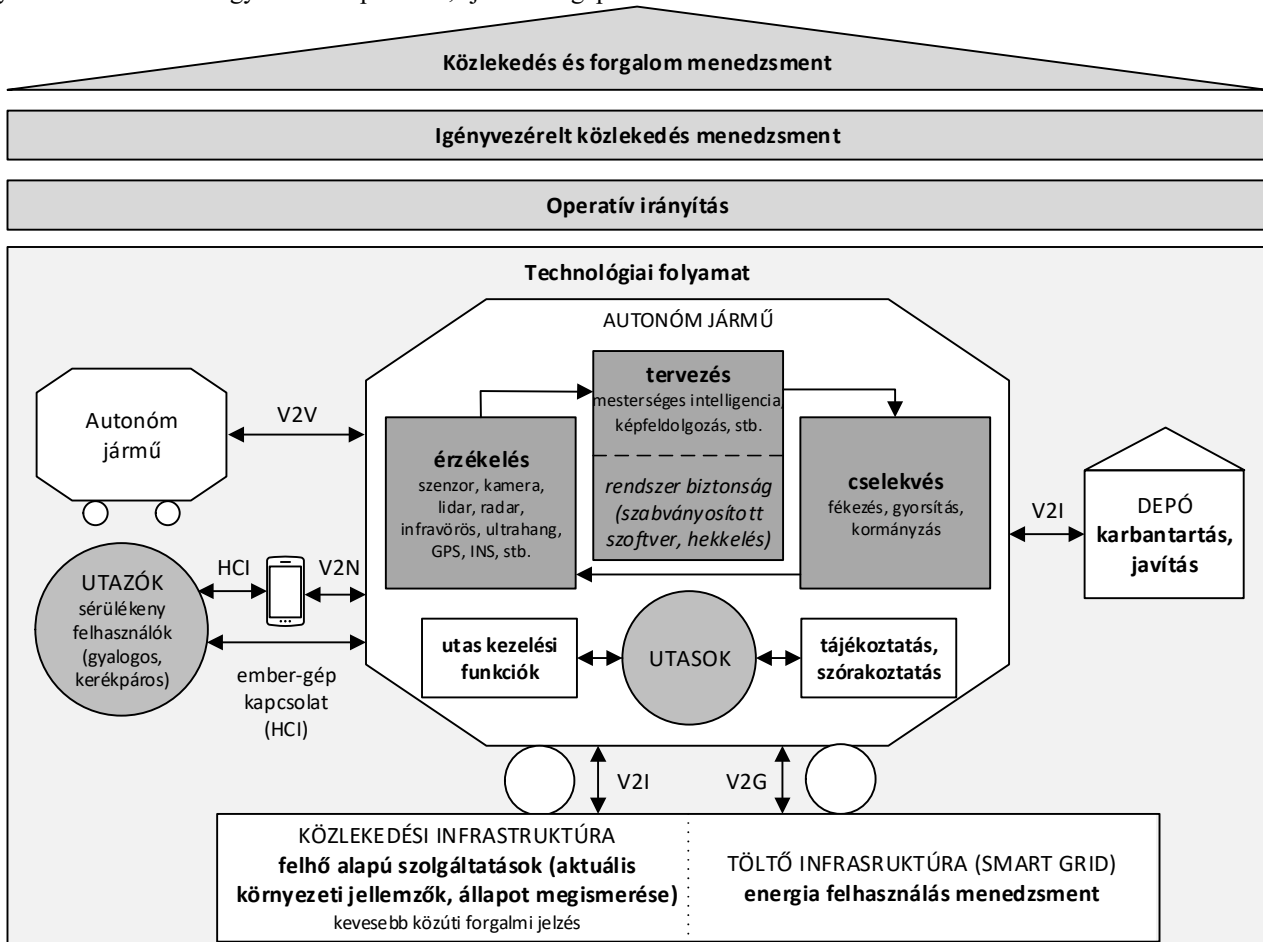
2. AZ AUTONÓM SZEMÉLYKÖZLEKEDÉS MŰKÖDÉSI MODELLJE

Az autonóm közlekedés újszerű jármű technológiát, infrastruktúrát, rendszertervezési módszert, működtetési eljárásokat és irányítási rendszert igényel. Rendszerszemléletű megközelítésben dolgoztuk ki az autonóm személyközlekedés működési modelljét (1. ábra).

A működés szintjei top-down megközelítést alkalmazva:

- közlekedés és forgalommenedzsment (a teljes városi mobilitás szervezése, működtetése),
- igényvezérelt közlekedés menedzsment (az igényvezérelt közlekedési módok folyamatainak szervezése),
- operatív irányítás,
- technológiai folyamat (autonóm járművek, infrastruktúra, utazók, környezet együttműködése, kölcsönhatásai).

Az emberi jelenlét továbbra is fontos marad, azonban támogatással. túlnyomórészt csak felügyelő szerepkörben; jelentős gépi



Jelmagyarázat: NAGYBETŰ = komponens; félkövér kisbetű = folyamat

1. ábra: Autonóm személyközlekedés működési modellje

A korábban a sofőr, vagy a kísérszemélyzet által végzett feladatokat az autonóm jármű „átveszi”. A járművek egy szabályozási folyamatban folyamatosan érzékelik a környezetüket, rövid időtartamra előre megtervezik a működésüket és ez alapján cselekszenek. A környezet (pl.: útviszonyok, más közlekedők – járművek, gyalogosok, stb., aktuális pozíciói, sebességei) érzékelése fejlett berendezések meglétét igényli (szenzorok, lidar, GPS, stb.). A járművek az érzékelőkből gyűjtött adatokat feldolgozzák és döntéseket hoznak. A feldolgozó szoftverek fejlesztésénél különösen fontos a biztonság, mind a belső fejlesztési hibákkal szembeni védekezés, mind a külső irányból érkező támadásokkal (hekkelés) szembeni védekezés. A cselekvések végrehajtása a tervezés során meghozott döntések alapján automatikusan történik.

A járművek folyamatosan kommunikálnak a közlekedésben résztvevőkkel: járművekkel (V2V), a közlekedési infrastruktúrával (V2I), a töltő infrastruktúrával (V2G), az irányító központtal, a járművön tartózkodó utasokkal (fedélzeti eszközökön keresztül), valamint más utazókkal

(V2N). Egyrészt információkat gyűjt ezekről az összetevőkről, másrészt célzott információkat (üzeneteket) küld nekik.

A jelenlegi autonóm járműfejlesztések elsősorban a személygépjárművekre és a kis befogadóképességű buszokra, ún. „kapszulákra” (pod) koncentrálnak (Néhány eredmény azonban már a nagy befogadóképességű autóbuszok és az áruszállító járművek területén is megfigyelhető.). A személygépjárműveknél az „intelligenciát” minden esetben a járművekben helyezik el, ami jelentősen megnöveli a járművek árát. A közösségi közlekedésben, a „kapszulák” és a nagyobb befogadóképességű közúti járművek jelenleg többnyire elzárt, a többi közlekedőtől szeparált útvonalon közlekednek, így nem teljesen autonómok. Ezeknél a megoldásoknál általában az „intelligenciát” az infrastruktúrába építik. Alapvető kutatás-fejlesztési kérdés, hogy milyen arányban kerüljön elhelyezésre az intelligencia a járművekben és az infrastruktúrában. Ennek következménye a jármű-infrastruktúra közötti kommunikáció (V2I) intenzitása. Az autonóm járművek terjedésével a közúti

jelzések (táblák, útburkolati jelek) és a jelzőlámpás forgalomirányítás jelentősége csökken, azonban a gyalogosok, és a kerékpárosok miatt teljesen nem tűnnek el. A jövő közlekedési eszközei várhatóan alternatív (többnyire elektromos) meghajtásúak lesznek, így a töltő infrastruktúrával történő kommunikáció, illetve az automata energiavételezés szerepe megnő. A smart grid (okos hálózat) technológia alkalmazásával az energia felhasználók és források közötti, időben is változó intenzitáskülönbségek mérsékelhetők, így a működés hatékonysága fokozható. A dinamikusan változó díjak az igények és a kapacitások összerendezésének fontos eszköze.

3. MOBILITÁS, MINT SZOLGÁLTATÁS

A jövő közlekedésében, az autonóm járművek hatására a mobilitási formák megváltoznak. Feltártuk a legjelentősebb alapfolyamati átalakulásokat: a közlekedési módok változását, valamint az ezek hatására megváltozó utazási és utazói jellemzőket.

3.1 Átalakuló mobilitási formák

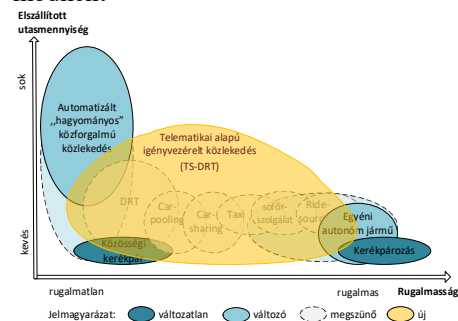
A jövő városi közlekedésének főbb tulajdonságai a következők:

- kisebb méretű, elektromos (esetleg egyéb alternatív) meghajtású járművek,
- a motorizált közlekedési módokat autonóm járművekkel szolgálják ki – a sofőr szerepét a gép veszi át,
- az egyéni gépjármű tulajdonlás és használat visszaszorul; a tulajdonlás alapú gondolkodást felváltja a szolgáltatás orientált gondolkodás - „mobility as a service” (MaaS) koncepció,
- a legtöbb közlekedési mód egyesül egy integrált, telematika alapú, igényvezérelt, megosztott közlekedési móddá (TS-DRT: Telematics-based Shared Demand Responsible Transportation),
- az éles határok az infrastruktúra elemek között elmosódnak (épületekbe behajtó járművek – pl.: bevásárlóközpontoknál).

A MaaS koncepció a teljes helyváltoztatási lánc kényelmes és felhasználó orientált megszervezését jelenti úgy, hogy az utazó egyáltalán nem, vagy csak a helyváltoztatása bizonyos szakaszában használja az egyéni gépjárművet. A koncepció magában foglalja az integrált tarifa- és díjbeszedési rendszert, a funkciók teljes integrációját ICT eszközökkel, valamint a különböző mobilitási csomagok kínálatát. Az utazó célja, hogy minél kedvezőbben jusson el a rendeltetési helyére (tetszőleges közlekedési móddal, azok esetleges kombinálásával, tetszőleges útvonalon). A mobilitási szolgáltatások, azaz a MaaS koncepciók értékeléséhez, különösképpen az ICT megoldások integrációs szintjének meghatározásához (Kamargianni et al. 2016) dolgoztak ki módszert. A szolgáltatások általános jellemzője, hogy a felhasználó mobilitási csomagokat tud vásárolni. Az eddigi

külön álló közlekedési módok használati jogosultságának megvásárlása helyett, meg tudja határozni, hogy milyen mobilitás szolgáltatás típusokat (pl.: közforgalmú közlekedés, bike-sharing, stb.) és milyen mértékben kíván igénybe venni egy adott időszakban. Ez a megoldás a mobilszolgáltatók által kínált szolgáltatáscsomagokhoz hasonlatos. A szolgáltatási koncepciók fejlődésének további szintje, amikor az elszámolás utólag történik, a tényleges használat függvényében. Ekkor a felhasználó csak a jogokat vásárolja meg adott mód használatához, a tényleges utazási jellemzők (pl. távolságok) megadása nélkül. A szakirodalom az integrált, telematikai alapú, autonóm járművekkel megvalósult igényvezérelt rendszerekre eltérő elnevezéseket használ. Winter és társai (Winter et al., 2016) az ADRTS (Automated Demand Responsive Transport System) mozaikszót használják az olyan szolgáltatásokra, amelyek kis befogadóképességű autonóm járművekkel, igényvezérelt, ráhordó szolgáltatást valósítanak meg fix útvonal és menetrend nélkül, jól körülhatárolt területen (pl. egyetemi campus). Kidolgoztak egy módszert, amellyel meghatározható a minimális és optimális járműszám, annak érdekében hogy a szolgáltatás üzemeltetési költsége és az utazás költsége is minimális legyen.

A közlekedési módok jövőbeli változását a 2. ábrán foglaltuk össze az elszállítható utasmennyiségek és a rugalmasság függvényében. A kerékpározás és a közösségi kerékpározás aránya, valamint a közlekedési rendszerben elfoglalt szerepe nem változik számottevően. A motorizált közúti közlekedési módok alapját autonóm járművek képezik. A hagyományos közforgalmú járművek csupán a nagy forgalmú vonalakon maradnak meg, azaz a gerincvonalak szerepe változatlan marad. Az ott közlekedő járművek egy része jelenleg is automatizált (kötőpályás, elsősorban metró üzem). A jövőben az autonóm járművek várhatóan megjelennek a többi kötőpályás, majd később az autóbusz vonalakon is. Az egyéni járművek aránya csökken; csak olyan utazók fogják használni, akik sokat utaznak és tevékenységükhöz feltétlenül szükséges a saját jármű. Várhatóan elterjednek a különleges felhasználású és kialakítású járművek (pl.: fekvőhelyé alakítható ülés). A többi közlekedési mód (jelenlegi közforgalmú közlekedési módok, DRT, car-sharing, taxi, carpooling, ridesourcing, sofőrszolgálat, stb.) egyesül egy új módként (TS-DRT).



2. ábra: Átalakuló közlekedési módok [forrás: (Földes és Csiszár, 2016) alapján]

Az új módban egyesülnek a meglévő módok tulajdonságai.

TS-DRT jellemzői:

- köztulajdonban, vagy profitorientált szolgáltató társaság tulajdonában lévő autonóm járműpark,
- kis befogadóképességű (maximum 15 utas) szállításra alkalmas, magas komfortfokozatú „kapszulák”,
- fix útvonalhoz, menetrendhez nem kötött,
- előzetes helyfoglalás szükséges,
- új utazói csoportok bevonása (pl.: mozgásukban korlátozottak),
- a járművek csoportokba rendeződve is közlekedhetnek hatékonyabbá téve a közlekedést.

A TS-DRT szolgáltatás típusai:

- főként gerincvonalakra ráhordó funkciójú, nagyobb befogadóképességű kapszulák (mai DRT szolgáltatáshoz hasonló),
- háztól-házig közvetlen eljutást biztosító, kisebb befogadóképességű kapszulák (mai ride-sourcing szolgáltatáshoz hasonló); igénybe vételük drágább, a díjszabás a kereslet-kínálat függvényében dinamikusan változik.

A TS-DRT szolgáltatás keretében közlekedő járművek napon belüli futásteljesítménye, valamint - az igények dinamikus összerendezésének köszönhetően - férőhely kihasználása magas. Alapvető kérdés, hogy milyen arányban biztosítható a jövőben a közvetlen utazás lehetősége (TS-DRT-vel, egyéni autonóm járművel), vagy inkább a „hagyományosabb” közlekedési módokra való ráhordó szolgáltatások kerülnek előtérbe. Ezek a kérdések az infrastruktúra kapacitások, az irányítási mód jellemzőinek, stb. figyelembe vételével, elsősorban forgalmi modellezéssel válaszolhatók meg.

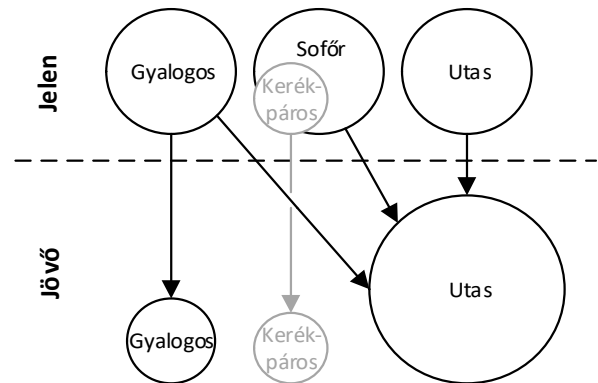
A teljesen autonóm, a közúton más járművek és egyéb résztvevők között közlekedő kapszulákon kívül, az automatizált kötőtpályán futó kapszulák elterjedése is várható (pl.: repülőtereken). Ezen járművek „horizontális felvonóként” működnek, azaz több állomáson (emeleten) megállnak, az aktuális igényektől függően. Pályájuk lehet egy vonalú, de elágazó is.

3.2 Átalakuló mobilitási szokások

Az autonóm járművek alkalmazásával az utazói viselkedés és a mobilitási szokások is nagymértékben megváltoznak. Olyan, járművezetési képességgel nem rendelkező személyek számára is elérhetővé válik az egyéni mobilitás, akik eddig többnyire csak segítséggel tudták igénybe venni a hagyományos közlekedési módokat. Ezek a csoportok: mozgásukban korlátozottak, idősek, gyermekek, sérültek, stb.

A jövő közlekedésében az utazók típusai (gyalogos, utas, sofőr) közötti megoszlás megváltozik. A 3. ábrán szemléltettük az utazó típusok arányaiban bekövetkező

változásokat. A körök mérete a megoszlást reprezentálja. Az autonóm járművek hatására a sofőr, mint típus teljesen eltűnik, az eddig sofőrként jelen lévő utazók utassá alakulnak át. A gyalogosok aránya csökken, mivel az új integrált mód, illetve az egyéni tulajdonban lévő autonóm járművek jobb térbeli lefedettség/elérhetőséget biztosítanak. A kerékpárosok, mint különleges sofőrök, aránya nagyságrendileg változatlan marad, kismértékben növekedhet is, köszönhetően a pedelec (elektromos rásegítésű) kerékpárok terjedésének.



3. ábra: Átalakuló utazói csoport arányok [forrás: (Földes és Csiszár, 2016)]

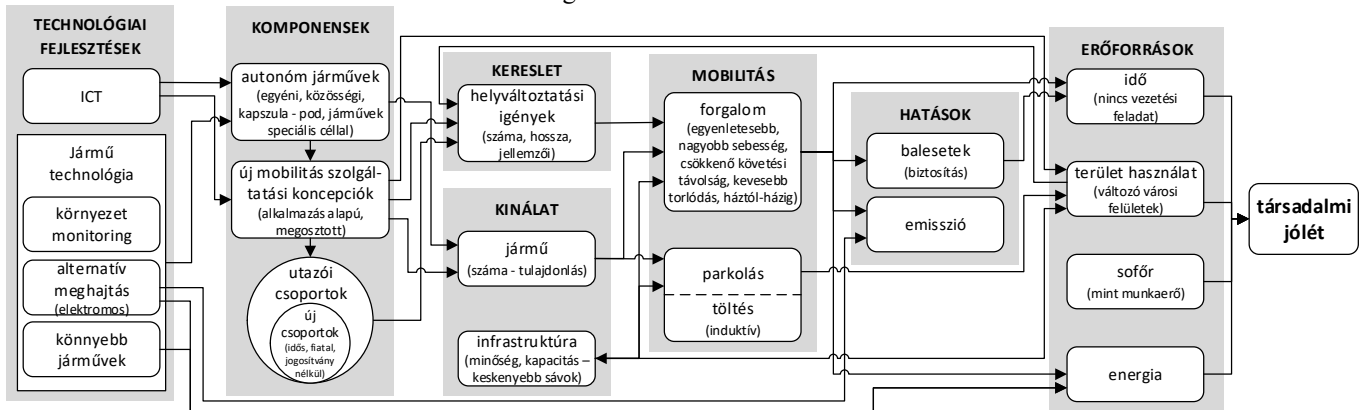
A sofőri feladatok eltűnésével jelentős idő „többlet” keletkezik az utazóknál menet közben. Lehetőség adódik a helyváltoztatási folyamatot hasznos tevékenységgel eltölteni. Kutatások bizonyították, hogy a közösségi közlekedést választók körében az egyik legnagyobb pozitívumnak az számít, hogy utazásuk során egyéb tevékenységet is végezhetnek (pl.: evés/ivás, elektronikus eszközök használata) (Andreson et al., 2016). Ez az előny az autonóm járművek elterjedésével az egyéni járművek esetén is elérhetővé válik. Feltárt preferencia alapú módváltási modell segítségével vizsgálták a tevékenységek hatékonyságát különböző utazási formáknál, ideértve az autonóm járműveket is. Kimutatták, hogy a „hasznos” tevékenységek (pl.: olvasás, írás elektronikus eszközön, laptop használat) jelentős mértékben befolyásolják az utazás teljes egyéni hasznosságát, vagy annak megítélését (Malokin et al., 2015).

Az integrált mobilitási szolgáltatás lényegi eleme a térbeli, időbeli rendelkezésre állás mellett a kényelmi/minőségi paraméter is. A szolgáltatóknak célja az utasok „szórakoztatása”, valamint az egyéb kiegészítő tevékenységek végzéséhez szükséges feltételek biztosítása is (pl.: WiFi, töltési lehetőség, stb.).

4. AZ AUTONÓM SZEMÉLYKÖZLEKEDÉS HATÁSAI

Az autonóm közlekedés alapjaiban változtatja meg a közlekedési és információkezelési folyamatokat, az utazói szokásokat, illetve hatással van a környezetre is. Feltártuk az autonóm személyközlekedés, mint rendszer, külső-

belsőkapcsolatrendszerét, annak érdekében, hogy a komplex kölcsönhatások a továbbiakban részleteikben is vizsgálhatóvá váljanak (4. ábra).



4. ábra: Az autonóm személyközlekedés kapcsolatrendszere

A közlekedés átalakulását a technológiai fejlesztések indukálják. Egyrészt az infokommunikációs technológiák (ICT), másrészt a jármű technológiák: környezet monitoring – folyamatos érzékelés és feldolgozás, alternatív meghajtás (elsősorban elektromos), valamint a kompozit anyagok használatával elérhető könnyebb járművek. Mivel a balesetek száma jelentősen lecsökken, ezért a teljesen autonóm rendszerben (amikor egyáltalán nincsenek vezetővel működő járművek) a járművek tömege csökkenthető a biztonsági elemek/megoldások elhagyásával is.

Új mobilitás szolgáltatási koncepciók jelennek meg. A kínálat alapú (fix útvonal, meghirdetett menetrend) közösségi közlekedést felváltja a kereslet alapú, mobil/internetes alkalmazáson keresztül igénybe vehető, megosztási elvekre épülő, autonóm járművekkel megvalósuló szolgáltatás. A járművek automatizálása mellett az utaskezelési műveletek nagyfokú automatizálása, illetve egyes funkciók autonómmá fejlesztése is megtörténik. A járművezető feladatait nagyrészt gépek veszik át. Különösen fontos a biztonságkritikus utaskezelési funkciók megbízható gépesítése (pl.: utasrosszullét, tüzeset kezelése). Az emberi jelenlét folyamatos felügyelő szerepkörben, illetve beavatkozási elemként továbbra is jelentős marad.

A kereslet jellemzői (pl.: volumen, távolság, egyéb jellemzők) az új utazói csoportok és az új mobilitási lehetőségek hatására jelentősen megváltoznak, amely kihat a forgalmi paraméterekre is. A fejlett technológiáknak, számítógépes irányításnak köszönhetően lehetővé válik a járművek követési távolságának csökkentése, illetve a nagyobb sebességgel történő (biztonságos) utazás. A forgalom lefolyása egyenletessé válik, a felesleges lassítások és megállások száma csökken, így az energiaszükséglet is mérséklődik. Az utazási idők pontosabban számíthatók/előre becsülhetők.

Az igények megváltozásával és az utazási idő hatékonyabb előltéti lehetőségével várhatóan növekednek majd az utazási távolságok, nagyobb távolságról is megvalósulnak napi

ingázások. Ez a forgalomnagyság és a futásteljesítmény növekedéséhez, valamint a településszerkezet átalakulásához vezet. A kiterjedt lakófunkciójú területek, kis laksűrűséggel válnak jellemzővé. Az új utazói csoportok hatására növekszik az utazási igények száma, azonban a kisebb követési távolságok és a pontosabb távtartás miatt a jelenlegi infrastruktúra kapacitások elegendőek lesznek. Hatékony folyamatszervezéssel és -irányítással az úthálózat forgalmi terhelése csökkenthető (pl.: MaaS koncepció, ráhordó szolgáltatások). Mivel a megosztott járművek napi futásideje növekszik, ugyanakkora igényhez kevesebb jármű is elegendő. Csökken a jármű tulajdonlás mértéke is, egyre nagyobb arányban közösségi tulajdonú járműveket használnak.

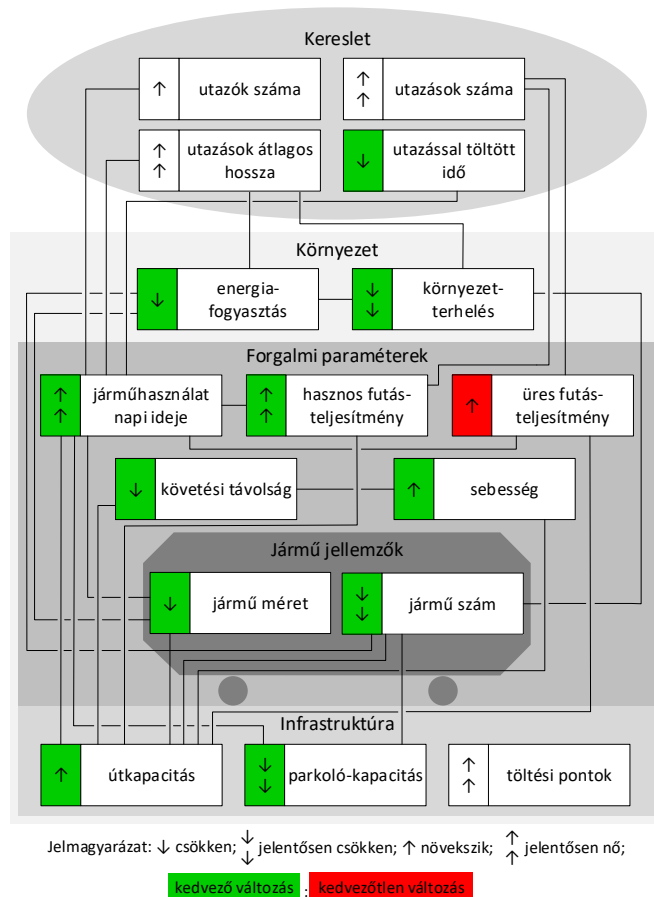
Mivel kevesebb jármű lesz és azok több időt töltenek forgalomban, ezért kevesebb parkolóhely, illetve garázs is elegendő. Az egyéni autonóm járművek utasok „kiszállítása” után a városon kívül, vagy éjjel egy-egy haladó forgalmi sávon parkolnak. Ez ugyan megnövelheti az üres futások számát, azonban jelentősen csökkenthető a felszíni, városi parkolóhelyek száma. A kisméretű autonóm járművek behajthatnak az épületekbe (pl. bevásárlás esetén), így közelebb hozva a felhasználóknak a rendeltetési pontjukat. Az alternatív meghajtási módok miatt a töltő infrastruktúra szerepe is átalakul. A járművek energiával való feltöltése nem csupán a töltőállomásokon lesz lehetséges (pl.: otthoni töltés, induktív töltő technológiák). A meglévő üzemanyag-töltő állomások megszűnnek, vagy jelentősen átalakulnak (pl. ún. komplex szervíz pontokká).

Az autonóm közlekedés hatására a közúti közlekedés biztonságosabbá válik, ezzel megváltoztatva a biztosítási rendszert; összességében csökkentve a biztosítótársaságok jelentőségét. Új típusú biztosítások jelennek meg (pl.: mobilitási szolgáltatás nem teljesülése esetén kártérítés). Az alternatív meghajtó energiák arányának növekedése, valamint a forgalmi folyamatok egyenletesebbé válása a közlekedés által kibocsátott károsanyag mérséklődését eredményezi.

Az erőforrások felhasználása kedvezőbbé válik. Az utazók számára a helyváltoztatással töltött idő többféle módon kihasználható, ugyanis nincs vezetési feladat. A kiváltott sofőrök foglalkoztatása kihívásokat okozhat a közlekedési rendszeren belül, illetve azon kívül is. Az energiaszükséglet hatékonysága az alternatív meghajtásoknak, a smart technológiáknak (visszatáplálás) köszönhetően és a kisebb tömegű járművek hatására javul.

A járművek az épületek tartozékainak tekinthetők (pl. hasonlóan a lifthez), amelyek a helyhez kötött tevékenységeket összekapcsolják és így térbeli kiterjesztést valósítanak meg. A smart home és a smart mobility rendszerek integrálódásával magasabb életminőség érhető el. Összességében az autonóm közlekedés a társadalmi jólét fokozását eredményezi.

Elemzéssel feltártuk az autonóm személyközlekedési rendszer jellemző paramétereit, és az 5. ábrán szemléltettük a jelenlegi rendszerhez képesti változásokat, valamint a tényezők közötti összefüggéseket. Megállapítottuk a változás mértékét illetve, hogy mely hatások kedvezőek vagy kedvezőtlenek. Az eredmények a jövő közlekedési rendszerének és a forgalmi folyamatoknak a modellezéséhez használhatók fel.



5. ábra: Az autonóm személyközlekedési rendszer jellemzői

A jövő közlekedésének tervezésénél, a járművek gyártásánál és a helyváltoztatás lebonyolításánál a legmarkánsabb változások a következők:

- az utazási igények mértéke (utazások száma, távolsága és ideje) megnő, azonban
- a járműszám és a járművek mérete jelentősen csökken köszönhetően az új mobilitási formáknak, így
- a jelenlegi infrastruktúra bővítés nélkül is képes lesz a helyváltoztatási igényeket kiszolgálni. (Az úthálózat áteresztőképessége növekszik a követési távolság csökkenésével és a sebesség növekedésével. A szükséges parkolókapacitás csökken, míg a töltési pontok száma növekszik.)

5. KONKLÚZIÓ

A kutatás során az autonóm városi közlekedés rendszer- és folyamatszémleletű elemzését végeztük el a várható hatások feltárása érdekében. Azonosítottuk a legfontosabb hatásokat a mobilitási szolgáltatások, az utazói szokások és a kereslet területén; meghatároztuk a forgalmi folyamatokban bekövetkező változásokat, valamint a környezetre és energiaszükségletre gyakorolt hatásokat.

Megállapítások:

- a helyváltoztatási szokások átalakulnak,
- az utazási távolságok megnőnek,
- a járművek kialakítása (pl. utastér) megváltozik,
- a mobilitás több utazó számára válik elérhetővé,
- a szükséges infrastruktúra kapacitása elegendő, illetve mérsékelhető,
- a forgalmi paraméterek javulnak.

A kutatás során az autonóm személyközlekedés elemei és hatásai közötti kapcsolatok feltárása és modellezése komplex szemléletmódot igényelt. A munkát nehezítette, hogy a téma újszerűsége miatt kevés, tudományos igényességű irodalmi forrás áll rendelkezésre. Ez azonban a kutatási eredmények értékét növeli.

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

- modellezzük a TS-DRT mód két jellemző típusának alapfolyamatait és információkezelési folyamatait,
- számszerűsítjük az autonóm személyközlekedés hatásait,
- feltárjuk az utaskezelési és karbantartási műveletek automatizálási lehetőségeit és következményeit,
- automatizálási szinteket határozzunk meg; elsősorban a nagy kapacitású közforgalmú közlekedés folyamataihoz.

IRODALOMJEGYZÉK

- Anderson, J.M., Kalra, N., Stanley, K.D., Soransen, P., Samaras, C. és Oluwatola, O.A. (2016) *Autonomous Vehicle Technology, A Guide for Policymakers*, RAND Corporation, Santa Monica, Calif, ISBN: 978-0-8330-8398-2
- Barth, M., Shaheen, S.A. (2016) Shared-Use Vehicle Systems - Framework for Classifying Carsharing, Station Cars, and Combined Approaches. *Transportation Research Record*, **Vol. 1791**. pp. 105-112. DOI: 10.3141/1791-16
- Davison, L., Enoch, M., Ryley, T., Quddus, C., Wang, A. (2014) A survey of Demand Responsive Transport in Great Britain. *Transport Policy*, **Vol. 31**, pp. 47-54. DOI: 10.1016/j.tranpol.2013.11.004
- Fagnant, D.J., Kockelman, K. (2015) Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **Vol. 77**. pp. 167-181. DOI: 10.1016/j.tra.2015.04.003
- Földes, D. és Csiszár, Cs. (2016) Conception of Future Integrated Smart Mobility. In: *Smart Cities Symposium Prague 2016* DOI: 10.1109/SCSP.2016.7501022
- Kamargianni, M., Li, W., Matyas, M., Schäfer, A. (2016) A critical review of new mobility services for urban transport. *Transportation Research Procedia*, **Vol. 14**, pp. 3294-3303. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.277
- Malokin, A., Circella, G., Mokhtarian, P. (2015) How Do Activities Conducted while Commuting Influence Mode Choice? Testing Public Transportation Advantage and Autonomous Vehicle Scenarios. In: *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*
- Rayle, D., Dai, N., Chan, R., Cervero, R., Shaheen, S. (2016) Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco. *Transport Policy*, **Vol. 45**, pp. 168-178. DOI:10.1016/j.tranpol.2015.10.004
- Stiglic, M., Agatz, N., Savelsbergh, M., Gradisar, M. (2015) The benefits of meeting points in ride-sharing systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, **Vol. 82**. pp. 36-53. DOI: 10.1016/j.trb.2015.07.025
- Wang, C., Ouddus, M., Enoch, T., Ryley, T., Davison L. (2015) Exploring the propensity to travel by demand responsive transport in the rural area of Lincolnshire in England. *Studies on Transport Policy*, **Vol. 3 No. 2**, pp. 129-136. DOI:10.1016/j.cstp.2014.12.006
- Winter, K., Cats, O., Correia, G., van Arem, B. (2016) Designing an Automated Demand-Responsive Transport System: Fleet Size and Performance Analysis for the Case of a Campus-Train Station Service. In *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*.