

MNB-BME Együttműködés
2020/2021
Digitalizáció, mesterséges intelligencia és
adatkorsszak Műhely



Telekocsi sávok lehetséges használatának elemzése szimuláció segítségével – budapesti esettanulmány

Készítették:

Dr. Vida Rolland

Dr. Fehér Gábor

[Okosváros és elektromobilitás alműhely]

Budapest, 2021

Telekocsi sávok lehetséges használatának elemzése szimuláció segítségével – budapesti esettanulmány¹

Absztrakt

A nagyvárosok körüli agglomerációkban élők jelentős gépjárműforgalmat generálnak azzal, hogy napi szinten ingáznak az otthonuk és a munkahelyük között. A telekocsizás elterjedése nagyban segítene csökkenteni ezt a forgalmat és a vele járó környezetszennyezést, ám ehhez olyan ösztönző mechanizmusok kellene, melyek konkrét, kézzel fogható előnyöket nyújtanak a sofőröknek és utasaiknak. A dedikált telekocsi sávok kialakítása ilyen ösztönző lehet, hiszen ezek segítségével jóval gyorsabb bejutást lehet biztosítani a városba. E tanulmányban áttekintjük a telekocsi sávok történetét, azok előnyeit és hátrányait, bemutatunk néhány nemzetközi példát, majd áttekintjük a budapesti helyzetet. A tanulmány második felében pedig bemutatunk egy szimulátort, melyet azzal a céllal készítettünk, hogy segítségével elemezni lehessen a telekocsi sávok bevezetésének hatékonyságát, és a különböző paraméterek finomhangolásának hatásait.

¹ Ez a tanulmány a Magyar Nemzeti Bank és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem között létrejött Együttműködés keretében és finanszírozásával készült a Digitalizáció, mesterséges intelligencia és adatkorszak műhelyben.

This study was financed in the cooperation of the National Bank of Hungary and Budapest University of Technology and Economics under the Digital Research Project

Tartalomjegyzék

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ	4
1. BEVEZETÉS	6
2. A TELEKOCSI SÁVOK ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI	7
2.1 TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS.....	7
2.2 A TELEKOCSIZÁS ÉS A HOV SÁVOK ELŐNYEI.....	9
2.3 A HOV SÁVOK HÁTRÁNYAI.....	10
3. TELEKOCSI SÁVOK BUDAPESTEN	14
3.1 SZAKÉRTŐI VÉLEMÉNYEK	14
3.2 BUSZSÁVOK AZ M1-M7 BEVEZETŐN	15
4. A HOV SZIMULÁTOR	20
4.1 EGY PÉLDA SZIMULÁCIÓ LEHETSÉGES EREDMÉNYEI	23
5. ÖSSZEGZÉS	26
6. IRODALOMJEGYZÉK.....	28
7. A SZERZŐKRŐL	30

Vezetői összefoglaló

Kulcsszavak: *okosváros, telekocsi, HOV, dedikált sávok, szimulátor*

Az okosvárosok egyik alapvető jellemzője, hogy érzékelési és infokommunikációs technológiák segítségével próbálják előbb megfigyelni és megérteni, majd optimalizálni, hatékonyabbá tenni a város működését befolyásoló különböző rendszereket, folyamatokat. Az egyik legkomolyabb gátja azonban a városok széleskörű „okosításának” az, hogy e technológiák telepítése és hosszú távú működtetése jelentős anyagi erőforrásokat igényel, a technológiák ráadásul rendkívüli gyorsasággal fejlődnek és ezáltal a telepített megoldások nagyon hamar el is avulnak, mindemellett azonban a konkrét előnyök sok esetben nehezen mérhetőek és forintosíthatóak. Ha például szenzorokkal szerelnék fel Budapest összes parkolóhelyét az nyilvánvalóan csökkentené a parkolóhelyet kereső autók számát, ezáltal pedig a város forgalmát és a légszennyezést. De hogy mindez milyen anyagi előnyökkel járna a kieső munkaidő csökkenése, a városon belüli gyorsabb áruszállítás, vagy a légúti megbetegedésekhez köthető egészségügyi kiadások tekintetében az viszonylag nehezen becsülhető.

Ezért tapasztalhatjuk azt, hogy legtöbb esetben kisméretű pilot projekteket indítanak el a városok (pl. 100 db szenzorokkal felszerelt okos parkolóhely kiépítése), de a teljes város lefedésére a megfelelő technológiával nincs anyagi fedezetük. A pénzintézetek pedig nem szívesen hiteleznek olyan fejlesztéseket, melyek anyagi megtérülése nehezen mérhető. Ebben az alprojektben ezért a célunk az volt, hogy bemutassuk, hogyan lehet egy adott okosváros fejlesztés előnyeit konkrétan mérni, egy dedikált szimulátor segítségével.

A kiválasztott terület a telekocsizás volt. A nagyvárosok körüli agglomerációkban élők jelentős gépjárműforgalmat generálnak ugyanis azzal, hogy napi szinten ingáznak az otthonuk és a munkahelyük, vagy az oktatási intézményük között. A telekocsizás elterjedése nagyban segítene csökkenteni ezt a forgalmat és a vele járó környezetszennyezést, ám ehhez olyan ösztönző mechanizmusok kellenek, melyek konkrét, kézzel fogható előnyöket nyújtanak a sofőröknek és utasaiknak. A dedikált telekocsi (vagy elterjedt angol kifejezéssel HOV – High Occupancy Vehicles) sávok kialakítása ilyen ösztönző lehet, hiszen ezek segítségével jóval gyorsabb bejutást lehet biztosítani a városba.

E tanulmányban áttekintjük a telekocsi sávok történetét, azok előnyeit és hátrányait, bemutatunk néhány nemzetközi példát, majd áttekintjük a budapesti helyzetet. Általánosságban elmondható, hogy a HOV sávok sokkal nagyobb mértékben terjedtek el az USA-ban és Ázsiában, mint Európában, Magyarországon pedig eddig nem is alakítottak ki ilyen dedikált sávokat. Lehetőség pedig lenne rá,

Budapesten például az M1-M7 autópályák közös bevezető szakaszán, egy HOV sáv kialakításánál viszont számos paramétert szükséges figyelembe venni és finomhangolni a hatékony működés érdekében, ehhez pedig részletes szimulációs elemzés és hatástanulmányok lennének szükségesek. Ilyen elemzések tudomásunk szerint Budapesten nem készültek, és a mi célunk se az volt, hogy egy konkrét útszakaszon elemezzük egy telekocsi sáv kialakításának lehetőségét, hiszen ez egy olyan komplex feladat lenne, mely messze túlmutat a projekt céljain és lehetőségein. Készítettünk viszont egy olyan szimulátort, mely szemléltetni tudja, melyek a legfontosabb paraméterek melyeket érdemes figyelembe venni egy ilyen későbbi részletes elemzés esetén.

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a világ minden pontján küzdenek a nagyvárosok azzal a kérdéssel, hogy nagy tömegek kénytelenek ingázni napi szinten az agglomerációban levő otthonaik és a városban levő munkahelyük vagy oktatási intézményük között. A városokon belüli forgalom csökkentésére az ideális megoldás nyilvánvalóan a tömegközlekedési eszközök minél szélesebb körben történő használata. Mindemellett azonban a tömegközlekedési infrastruktúra, és azon belül főleg a kötött pályás megoldások (metró, villamos, magasvasút, stb.) kiépítése rendkívül költséges lehet. Emiatt általában eme infrastruktúra csak a nagyváros határáig terjed, hiszen nem lenne költséghatékony kiterjeszteni azt a gyéribben lakott agglomerációba.

Sok nagyváros ezért azt a megoldást választja, hogy nagy kapacitású Park & Ride (P+R) parkolókat építenek ki a városi metró-, villamos- vagy buszvonalak végállomásainak közelében, ahol az ingázók otthagynak autóikat egész napra (akár ingyenesen, akár egy szimbolikus parkolási napdíj ellenében), és átszállhatnak a tömegközlekedési eszközökre, melyek segítségével eljuthatnak a belvárosi célállomásaikra. A következő kérdés viszont az, hogyan tudják az agglomerációban levő otthonaikkól az ingázók elérni ezeket a P+R parkolókat a város szélén, a reggeli csúcsforgalomban például.

A nyilvánvaló válasz erre az, hogy a saját személyautóikat használják ezen az úgynevezett **first mile** útszakaszon. Ennek viszont az lesz a következménye, hogy szükségtelenül sok autóval indulnak útnak, és elkerülhetetlen lesz a forgalmi dugók kialakulása már a városok bevezető útszakaszain. Különböző tanulmányok azt mutatják, hogy a járművek átlagos utasszáma (**AVO – Average Vehicle Occupancy**) folyamatosan csökkent az utóbbi években, párhuzamosan az egy főre jutó személyautók számának növekedésével, főleg a fejlett országokban. Európában vagy az Egyesült Államokban az AVO érték 1,5 – 1,6 körül mozog, de a reggeli vagy délutáni csúcsforgalmi időszakokban ingázó járművek esetén ez 1,1 – 1,2-re csökken. Mindez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a csúcsidőben ingázó járművek 85-90%-a **SOV (Single Occupancy Vehicle)**, azaz csak a sofőr tartózkodik bennük. Az AVO érték valamivel magasabb a fejlődő országokban, de ez nem a környezettudatosabb viselkedésnek tulajdonítható, hanem sokkal inkább annak, hogy alacsonyabb az egy főre jutó autók száma.

Mindemellett, a közösségi autómegosztó (**car sharing**) szolgáltatások elterjedésével és a napjainkban egyre inkább célkeresztbe kerülő önvezető autók megjelenésével egyre több szó esik az úgynevezett ZOV (Zero Occupancy Vehicle) járművekről, melyek teljesen üresen közlekednek majd a városokban, vagy azért mert egy ügyfelet indulnak felvenni az otthonából, vagy mert egy fuvar végeztével olyan területekre igyekeznek majd proaktív módon, ahol várhatóan nagyobb lesz a felhasználói igény. És bár az önvezető járműveknek kétségtelenül sok előnye van, az AVO értékek további csökkenése egy olyan

mellékhatása lehet az önvezető technológiák elterjedésének, melynek katasztrofális következményei lehetnek a forgalmi dugókat, az energiapazarlást vagy a környezetszennyezést illetően, még az elektromos autózásra történő fokozatos áttérés esetén is. Egyre nagyobb tehát a nyomás kormányokon, önkormányzatokon, és a közlekedési hatóságokon, hogy a járművekben levő utasok számát figyelembe vevő szabályozási- és ösztönző rendszereket alakítsanak ki, a nagyvárosok közlekedési problémáinak enyhítésére.

A dedikált telekocsi sávok (**HOV, High Occupancy Vehicles**) használata, melyek segítségével jelentősen csökkenthető egy utazás időtartama, egy olyan ösztönző mechanizmus, melyet sok nagyváros már évtizedekkel ezelőtt bevezetett. Mindemellett azonban a telekocsi sávok működtetési paramétereinek beállítása és finomhangolása egy meglehetősen nehéz és komplex feladat, ahogy azt kifejtjük a tanulmány következő fejezetében. Ha ezek a paraméterek nem megfelelőek, az akár nagyobb mértékű forgalmi dugókhoz és nagyobb környezetszennyezéshez is vezethet, mint a telekocsi sávok nélküli működés. Meg kell ugyanis jegyeznünk, hogy a világ számos városában a kialakított telekocsi sávokat egy hosszabb-rövidebb periódus után visszaalakították hagyományos közlekedési sávokká, mivel nem váltották be a lakosság és a helyi önkormányzatok hozzájuk fűzött reményeit. Ez viszont nem jelenti azt, hogy az alapelv önmagában hibás. Sokkal inkább arra mutat rá, hogy egy ilyen megoldás bevezetése komplex hatástanulmányokat és részletes szimulációs elemzéseket igényel, annak érdekében, hogy a hatékony működéshez szükséges paraméter beállításokat megfelelően finomhangolhassuk.

A célunk tehát egy olyan szimulációs szoftver elkészítése volt, melyben szabadon állíthatóak ezek a modell paraméterek (pl. hány utastól jogosult egy jármű a telekocsi sáv használatára, a nap melyik szakaszában, mely útszakaszon, milyen feltételek mellett). Ennek a szimulációs eszköznek a segítségével pedig a telekocsi sávok hatékonyságának elemzését céloztuk meg, egy a Budapestre befutó legnagyobb forgalmú útszakaszra, az M1-M7 autópályák bevezető szakaszára vonatkozó esettanulmány keretében.

2. A telekocsi sávok előnyei és hátrányai

2.1 Történelmi áttekintés

Telekocsi (HOV) sávokat először az Egyesült Államokban vezettek be a '70-es évek elején, az első ilyen sáv pedig a fővárost, Washington DC-t kötötte össze a körgyűrűjével. Eredetileg 1969-ben egy dedikált buszsávot vezettek be, melyet 1973-ban nyitottak meg a legalább 4 utast szállító telekocsik számára. Az a megoldás, hogy egy dedikált buszsávot nyitnak meg a telekocsik számára egy olyan stratégia melyre a későbbiekben még visszatérünk.

A '80-as években a telekocsi sávok száma folyamatosan növekedett az Egyesült Államokban, de ez a növekedés viszonylag lassú volt. A '90-es évek elején azonban számos olyan rendelet és törvénymódosítás született (Clean Air Act - 1990, Intermodal Surface Transportation Efficiency Act - 1991) melyek nyíltan támogatták a telekocsi sávok építését, és dedikált anyagi forrásokat biztosítottak. Napjainkban több száz telekocsi sávot működtetnek az Egyesült Államokban, több ezer kilométer hosszú útszakaszon.



1. ábra: Telekocsi sáv az Interstate 15 autópályán Seattle mellett, Washington államban. A sáv feletti táblán látható, hogy az adott sávot csak buszok, vagy olyan járművek használhatják, melyekben legalább két személy tartózkodik. A telekocsi sáv láthatóan jóval üresebb, mint a mellette levő hagyományos sávok.

Forrás: SounderBruce - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62796088>

Az utóbbi években több kínai városban (Shanghai, Chengdu, Shenzen) is alakítottak ki HOV sávokat, de Indonéziában és más ázsiai országokban is láttunk erre példát. Európában azonban a HOV sávok nem terjedtek el hasonló ütemben. Ennek oka egyfelől az, hogy fejlettebb a tömegközlekedési infrastruktúra. Másfelől Európában a nagyvárosokba vezető autópálya szakaszok általában nem olyan szélesek, hogy egyszerűen elkülöníthető legyen rajtuk egy dedikált sáv, telekocsiknak vagy más járműveknek (buszok, elektromos autók, stb.) melyek prioritást élvezhetnének. Ennek ellenére van azért néhány európai példa is melyet érdemes megemlíteni, mint a telekocsi sávok Leedsben vagy Bristolban az Egyesült Királyságban, az ausztriai Linzben, vagy több norvég városban (Trondheim,

Kristiansand, Oslo). Hollandiában egy Amszterdam melletti autópálya szakaszon alakítottak ki egy HOV sávot 1993-ban, de egy évvel később meg kellett szüntetni egy bírósági döntés miatt.

2.2 A telekocsizás és a HOV sávok előnyei

A telekocsi sávok előnye hogy jóval gyorsabb haladási sebességet tesznek lehetővé, hiszen csak olyan járművek használhatják ezeket, melyek megfelelnek a minimális utasszámról vonatkozó feltételeknek. Ez tehát egy ösztönző mechanizmus mely azt a célt szolgálja, hogy minél többen utazzanak együtt a családtagjaikkal, szomszédjaikkal, munkatársaikkal, egyszerre ugyanazzal az autóval. Ezáltal csökkenhet az autók száma az utakon, és ennek megfelelően alacsonyabb lesz a környezetszennyezés, kevesebb lesz a forgalmi dugó, és csökkenthető a felesleges üzemanyag-használat.

A **telekocsizás** különben nem egy új találmány, hiszen az alapelve gyakorlatilag ugyanaz, mint az évtizedek óta ismert autóstoppolásnak: egy autós, aki rendelkezik még szabad helyekkel a járműben, felvesz egy utast, aki ugyanabba az irányba szeretne utazni. Az utóbbi évek nagy változása viszont, hogy mióta megjelentek az okostelefonok, sokkal egyszerűbbé vált az úgynevezett **matchmaking**, azaz a sofőrök és az utasok összerendelése. Az okostelefon GPS moduljának köszönhetően ugyanis tudjuk, merre járnak a sofőrök, hol várakoznak az utasok, és számos olyan mobilalkalmazás elérhető, mely kiszámolja, hogy az aktuális forgalmi viszonyok alapján melyik utast melyik sofőr kellene felvegye ahhoz, hogy ez minél kisebb kitérőt és késlekedést generáljon, és az utas leggyorsabban juthasson el a célállomásához. Nem kell tehát többet az út szélén állni táblával a kezünkben, és reménykedni, hogy valamelyik sofőrnek megesik a szíve rajtunk. Elég csak telepíteni a telefonunkra a megfelelő mobilalkalmazást. Ráadásul az alkalmazáson keresztül leellenőrizhető úgy az utasok, mint a sofőrök „múltja”, megbízhatósága, a korábbi utazások után összegyűjtött értékelések alapján. Ez jelentősen növelheti a bizalmat mindkét oldalról, ami egy rendkívül fontos szolgáltatás, hiszen a bizalom hiánya az egyik legnagyobb visszatartó erő a telekocsizás során.

Telekocsizás tehát létezett már évtizedekkel ezelőtt is, még ha nem is volt annyira hatékony és egyszerű, mint napjainkban, az okostelefonok korában. A 2. ábrán például egy olyan plakát látható, melynek segítségével az amerikai kormányzat hívja fel arra a lakosság figyelmét 1943-ban, tehát a II. világháború alatt, hogy ha valaki egyedül utazik az autójában, azzal gyakorlatilag az ellenséget, azaz Hitlert segíti. Ha viszont belép egy „*car-sharing*” klubba, és telekocsizik, akkor azzal üzemanyagot spórol az amerikai hadsereg számára, és ezáltal a hazáját segíti. Érdekesképpen érdemes megjegyezni, hogy a „*car sharing*” kifejezés alatt ma már egy másik fajta szolgáltatást értünk, amikor különböző felhasználók ugyanazt a járművet használják időben eltolva egymástól. Ez egyfajta autóbérlés tehát, csak jóval rövidebb időszakokra, mint a hagyományos autóbérlés esetén. A telekocsizásra ezzel szemben ma a „*car pooling*” vagy a „*ride sharing*” kifejezést használjuk.



2. ábra: Amerikai kormánypropaganda plakát 1943-ból, a telekocsizás népszerűsítése céljából.

Forrás: "When You Ride ALONE You Ride with Hitler!" Government Printing Office for the Office of Price Administration, NARA Still Picture Branch (NWDNS-188-PP-42). <https://energyhistory.yale.edu/library-item/when-you-ride-alone-you-ride-hitler-us-government-propaganda-poster-1943>

Az ilyen magasztos célok, mint a hadsereg segítése háború alatt, vagy a környezetszennyezés csökkentése napjainkban, kétségtelenül ösztönzőleg hathatnak a lakosság egy jelentős részére. Hátrányuk azonban, hogy nehéz látni a közvetlen, azonnali eredményét a választásunknak. Attól, mert egy nap elvisszük a szomszédunkat munkába a saját személygépkocsinkkal, nem fogjuk megnyerni a háborút, és nem oldódik meg a globális felmelegedés problémája. Sokan ezért hajlamosak azt mondani, hogy a telekocsizás csak egy „értelmetlen” kényelmetlenség, egymaguk úgysem tudják megváltani a világot. Mindemellert tehát kellene olyan ösztönző mechanizmusok is, melyek hatását a lakosok azonnal, és közvetlenül érzékelik. A HOV sávok egy ilyen megoldást jelentenek. Ha telekocsizok, használhatom ezt a dedikált sávot, melynek segítségével sokkal hamarabb beérek aznap a munkahelyemre. Bár ez egy kevésbé magasztos cél, mint a globális felmelegedés csökkentése, a végeredményt illetően nagyon hatásos.

2.3 A HOV sávok hátrányai

A fent említett előnyök mellett azonban a HOV sávok bevezetésének kétségtelenül vannak hátrányai és lehetséges veszélyei is. Az egyik leggyakoribb és legkomolyabb kritika az, hogy ha ezek a sávok nem kellően kihasználtak, akkor csak növelik a forgalmi dugókat és ezáltal a környezetszennyezést, hiszen az autósokat eggyel kevesebb sávba szorítják be. Erre az lehet a megoldás, ha nem a meglévő sávokból választjuk le az egyiket HOV célokra, hanem új sávot alakítunk ki, akár az útpálya szélesítésével (ami azonban rendkívül költséges lehet), akár a biztonsági sáv átalakításával. Ez utóbbi megoldásra később még visszatérünk majd.

A telekocsi sávok alacsony kihasználtságából származó hátrányokat lehet úgy tompítani persze, hogy egyfelől csak korlátozott időszakokra, általában a reggeli és délutáni csúcsforgalmi periódusra korlátozzuk a sávok exkluzív használatát. Ezen időintervallumokon kívül viszont bárki használhatja azokat, akkor is, ha csak a sofőr tartózkodik az autóban. Ennél komplexebb, de sokkal hatékonyabb lehetne az a megoldás, ha a több utassal közlekedő telekocsik mindig előnyben részesülnének a dedikált sáv használatát illetően, amikor szükségük van erre, de a sávok nem lennének exkluzív használatban még a csúcsidőszakokban sem. Bárki használhatná tehát a HOV sávokat, de ha egy telekocsi közeledne, azt el kellene engedni. A telekocsik prioritást élveznének tehát a HOV sávok használatában, kicsit hasonló módon, mint ahogy ma a mentők, tűzoltók, vagy rendőrök.

A konkrét megvalósítás viszont nyilván nem lehetne ugyanaz, hiszen ha minden telekocsi a városban megkülönböztető fény- és hangjelzéssel jelezné a többiek számára a közeledtét, az elviselhetetlen fény- és hangszennyezést okozna. A technológia viszont ma már ebben is tud támogatni, hiszen az új generációs okos járművek egyfelől rengeteg szenzorral rendelkeznek, melyek segítségével meg tudják állapítani, hány utast szállítanak éppen, másfelől pedig kommunikálni is tudnak egymással, így megkülönböztető fény- és hangjelzések helyett rádiós üzenetküldéssel tudják jelezni az előttük levő járműveknek, hogy szabad utat szeretnének kapni a HOV sávban. Ekkor csak az érintett járművek sofőrjei kapnának valamilyen jelzést a műszerfalukra például, de ez nem szennyezné a környezetet, az utcai járókelők ebből semmit nem érzékelnének. A technológiai támogatás tehát ma már elérhető, egy ilyen rendszer bevezetése azonban nyilvánvalóan várni fog még magára. Többek között azért is, mert hosszú időbe telik még ameddig a régi, ilyenfajta technológiai felszereltséggel és intelligenciával nem rendelkező járművek eltűnnek az utakról. Amíg viszont csak a járművek egy kis százaléka képes egy ilyen szolgáltatás támogatására, addig ez nem tud majd hatékonyan működni. A jövő közlekedési hálózatain viszont egyértelműen előnyben kell majd részesíteni a több utast szállító járműveket, a technológia pedig biztosítani tudja majd ezt a célt.

Egy másik gyakori kritika a nehézkes ellenőrzés miatt éri a HOV sávokat. Rendőrökkel nyilván lehet ellenőrizni a sávok használatának jogosultságát, de ehhez jelentős személyi állomány kell, és jelentősen lassíthatja is a forgalmat a rendőri intézkedés. Ezt elkerülendő vezették be sok helyen a kamerás ellenőrzést, ami azonban általában csak az „*anyósülésre*” korlátozódott, hiszen az látható csak egyszerűen egy kamera számára. Az autósok viszont hamar feltalálták az ellenszert, és felfújható babákat vagy kivágott élethű kartonfigurákat tettek maguk mellé az ülésre. A „leleményes” vállalkozások pedig kifejezetten erre a célra gyártottak babákat, melyeket a HOV sávok trükkös használatának ígéretével reklámoztak, lásd 3. ábra.



3. ábra: Felfújható baba, CarPool Kenny, a HOV sávok ellenőrzésének kijátszására.

Forrás: <https://www.buygaggifts.com/product/Carpool-Kenny-p647334053.html>

A rendőrség következő lépése erre a hőkamerák bevezetése volt sok helyen, melyeket már nem tudnak „átverni” a felfújható babák. De a mai technológia, mint ahogy már említettük, lehetővé teszi azt, hogy a HOV sávok használatának jogosultságát sokkal precízebben ellenőrizhessük, hiszen egyfelől a mai autók már rengeteg szenzorral rendelkeznek melyek meg tudják állapítani, hányan ülnek aktuálisan a járműben, másfelől pedig az autók kommunikálni is tudnak a közlekedési infrastruktúra intelligens elemeivel, így el tudják küldeni a HOV sávok ellenőrzésére hivatott útszéli egységeknek (**RSU, Road Side Unit**) az aktuális foglaltságukat.

A HOV sávok sikerességében vagy éppen sikertelenségében fontos tényező tehát annak biztosítása, hogy csak a jogosult járművek használják a dedikált HOV sávokat. Ebben pedig nagy szerepet játszhat a jogosulatlan használatért kiszabható büntetések mértéke. Az amerikai Nashville-ben például, ahol több mint 130 mérföldnyi hosszúságú HOV sávot üzemeltetnek, melyből 108 mérföld a városba igyekvő napi közel 130.000 ingázót szolgál ki, a HOV sávok gyakorlatilag hatástalanok, hiszen olyan nagy rajtuk a forgalom, hogy nem nyújtanak lényegi időmegtakarítást (Rennick, 2018). Mindez azonban nem a sok telekocsinak tulajdonítható, hanem sokkal inkább annak, hogy a sávot használó autósok 95%-a jogosulatlan felhasználó. Ám Tennessee államban egy 1993-ban elfogadott törvény alapján a kiszabható maximális büntetés ezért csak 50 dollár, ami egy túlzottan alacsony összeg ahhoz, hogy visszatartó erővel bírjon. Kalifornia államban viszont a büntetés akár 300 dollár is lehet, így ott a jogosulatlan felhasználók jóval kevesebben vannak. Észak Virginiában az első büntetés összege 125 dollár, ha viszont másodjára büntetik meg ugyanazt az autóst, a büntetés már 250 dollár lesz, a harmadik vétségnél már 500, a negyediknél pedig 1000 dollár.

Egy érdekes negatív mellékhatása a HOV sávok bevezetésének az úgynevezett „telekocsi zsokéknak” a megjelenése volt, főként Indonéziában, de néhány más ázsiai országban is. A telekocsi zsokék olyan személyek, akik pénzért hajlandóak beülni egy sofőr mellé, csak azért, hogy az adott autó használhassa

a telekocsi sávokat, de nincsen egyáltalán dolguk a város azon részén, ahova utasként elviszik. Miután elhagyják a telekocsi sávot, kiszállnak az autóból, és egy újabb autóba ülnek át.

Ez a jelenség leginkább Jakartában, Indonézia fővárosában terjedt el, ahol 2003-ban vezettek be HOV3 sávokat, azaz legalább 3 ember kellett az autóban tartózkodjon a telekocsi sáv használatához. Jakarta a világ egyik legrosszabb közlekedéssel rendelkező városa, ahol a forgalmi dugók éves szinten több mint 3 milliárd dolláros veszteséget okoznak a gazdaságnak a hivatalos becslések szerint. A HOV sávok bevezetése ezt a helyzetet szeretne javítani. Röviddel a bevezetés után viszont megjelentek a már említett *telekocsi zsokék*, akik általában 1-2 dolláros fizetség fejében hajlandóak voltak beülni bárki autójába, aki a telekocsi sávot akarta használni. Sok anya a csecsemőjével, vagy kiskorú gyermekével közösen folytatta ezt a tevékenységet (lásd 4. ábra), hiszen a HOV szabályozás szempontjából a gyerekek is teljes értékű személynek számítottak. De sok szülő kivette gyermekeit az iskolából, és azok éveken keresztül egész nap csak telekocsiztak, viszonylag jó keresetet biztosítva a családnak. Akár napi 10-15 dollárt is meg lehetett így keresni, ami az ottani fizetésekhez (havi bruttó 600 dolláros medián bér) képest nem volt elhanyagolható. Sokan pedig az ország szegényebb régióiból csak azért költöztek fel a fővárosba, mert ez egy jó kereseti lehetőségnek kínálkozott.



4. ábra: Telekocsi zsoké édesanya gyermekével Jakartában. Kezével jelzi a sofőröknek, hogy ketten beülnének az autóba, a HOV3 sáv használatához. Fotó: Achmad Ibrahim/AP.

Forrás: <https://www.theguardian.com/world/2016/apr/04/end-of-the-road-jakarta-passengers-for-hire-targeted-by-carpooling-crackdown>

Persze mindez egyfelől illegális volt, hiszen gyakorlatilag feketemunka zajlott, a megkeresett pénz után nyilvánvalóan nem fizettek adót. Másfelől így nem a ténylegesen utazni vágyó emberek csoportosultak kevesebb járműbe, hanem a rendszer kijátszásával nagyrészt olyan emberek utaztak az autókban, akik pénzért tették ezt, és különben nem utaztak volna. Így az autó száma nem igazán csökkent az utakon, és a dugók sem enyhültek. Sőt, az ország gazdasági helyzetének javulásával egyre többen vásároltak autót, az úthálózati infrastruktúra viszont nem követte le ezt a folyamatot, így a közlekedési helyzet tovább romlott, a HOV sávok mellett is. Ennek fényében 2016. áprilisában Jakarta eltörölte a HOV3 szabályozását, és néhány hónappal később bevezetett egy új rendszert, melynek értelmében páros napokon a páros rendszámmal rendelkező járművek használhatták a dedikált sávot, a páratlan napokon pedig a páratlan rendszámúak.

3. Telekocsi sávok Budapesten

Budapesten, az európai városok többségéhez hasonlóan, egyelőre nem vezettek be telekocsi sávokat. Mindemellett azonban Budapest körül is egyre nagyobb agglomerációs körzet alakult ki az utóbbi évtizedekben, ahonnan napi szinten 200-250.000 jármű ingázik be a fővárosba. Ennek a forgalomnak jelentős része az M1-M7 autópályák közös bevezető szakaszán keresztül történik, ahol egy három sávos autópálya egészül ki hosszabb-rövidebb szakaszokon egy negyedik sávval, illetve szinte folyamatosan egy biztonsági sávval. Gyakorlatilag ez a legnagyobb forgalmú, és egyben a legszélesebb autópálya szakasz mely összeköti az agglomerációt a várossal. Ésszerűnek tűnik tehát a felvetés, hogy ha valahol ki lehetne próbálni Budapesten egy HOV sáv létesítését, akkor az mindenképp az M1-M7 autópályák közös szakasza.

3.1 Szakértői vélemények

Első körben igyekeztünk tehát utánajárni annak, hogy foglalkozott-e egy ilyen dedikált telekocsi sáv létrehozásának ötletével korábban a főváros vezetése, vagy a közlekedési infrastruktúrát fenntartó és üzemeltető különböző cégek vagy szervezetek. Elsőként a **Budapest Fejlesztési Központ Nonprofit Zrt. (BFK)** jelezte, hogy *„a BFK fejlesztéseinek és gondolkodásának célja az, hogy az emberek ne gépkocsival ékezzenek Budapestre, hanem inkább elővárosi vasúttal; ehhez lehetőleg egy adott település vasútállomásán tegyék le a járművüket egy P+R parkolóba (vagy inkább kerékpárral induljanak el), de legkésőbb a városhatár közelében szálljanak át egy tömegközlekedési eszközre. Ennek megfelelően a BFK nem készített szimulációs elemzést arra vonatkozólag, hogy milyen esetleges hatása lenne egy HOV sáv kialakításának Budapesten az M1-M7 bevezető szakaszán, részben az ellenérdekeltségük okán.”*

Az M1-M7 autópályák közös bevezető szakaszát részben a **Budapest Közút Zrt.**, részben a **Magyar Közút Nonprofit Zrt.** kezeli. A határvonal a főváros és Pest megye határán húzódik, az Egér-úti lehajtó közelében. A Budapest Közút megkeresésünkre jelezte, hogy HOV sávok kialakítása ezen az autópálya szakaszon az „Önkormányzat aktuális stratégiai céljaival, illetve szándékaival nincs összhangban”. A Magyar Közút viszont arról tájékoztatott bennünket, hogy *„az M1-M7 autópályák bevezető szakaszán, a 4-es metró végállomásához tervezett csomópont miatt, felvetődött a HOV sáv létesítésének is az ötlete, de komolyabb hatásvizsgálat, döntéselőkészítő anyag nem született”*. Mindemellett azonban a Magyar Közút képviselője elképzelhetőnek tartotta azt a megoldást, hogy a leálló sávon kialakított buszsávba (melyről később még részletesen beszélünk) beengedjük a legalább 3 utassal rendelkező telekocsikat is, hiszen ennek nem lennének komolyabb beruházási költségei. Meglátásuk szerint azonban ebben az esetben nagyobb figyelmet kellene majd fordítani a jogosult használat ellenőrzésére.

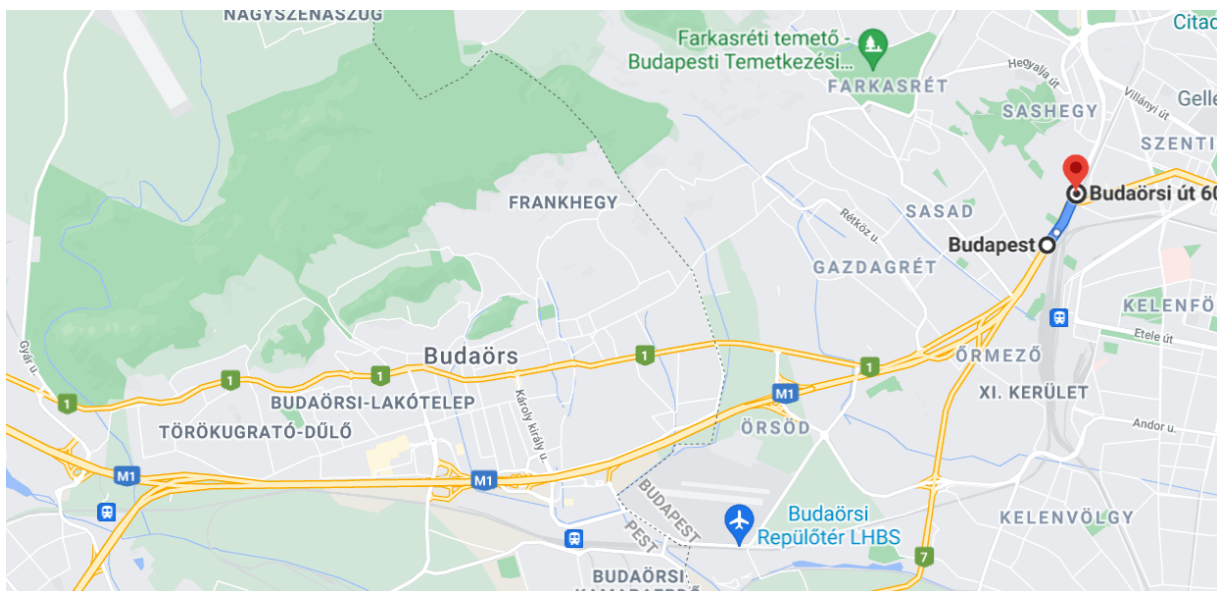
Mindemellett egyeztettünk a BME Közlekedésmérnöki Karának egyik kutatójával is, aki a telekocsi rendszerek szakértője. Neki sem volt tudomása korábbi budapesti elemzésekről és hatástanulmányokról a HOV sávok bevezetését illetően. Megerősítette viszont azt, hogy *„egy ilyen megoldás bevezetése előtt mindenképp szükség van részletes forgalmi modellezésre és szimulációkra. Ez sajnos nem történt meg az M1-M7 bevezetőn első alkalommal kialakított buszsáv esetén (melyre szintén visszatérünk majd), és a körúti kerékpársávok kijelölésénél sem. A HOV sávok ma már a jelenlegi IT háttér mellett sokkal finomabb szabályozást is lehetővé tesznek. Lehetőség van a HOV sávot kombinálni busz sávval, és beengedni oda akár elektromos járművek, akár kisárúszállítókat, akár más járműkategóriákat melyeket előnyben szeretnénk részesíteni. A témában tehát óriási a potenciál, de egy ilyen megoldás bevezetésének a gazdasági, környezeti, és társadalmi hatásait is érdemes vizsgálni, az teszi teljessé a döntéstámogatást. A legnagyobb kérdés az, hogy kiknél milyen előnyök-hátrányok jelentkeznek, és hogyan lehet az egyéni és a társadalmi hasznosságot összhangba hozni”*.

3.2 Buszsávok az M1-M7 bevezetőn

Mint ahogy azt a tanulmány elején említettük, az első HOV sávot Washington körgyűrűje és az amerikai főváros között úgy alakították ki, hogy kezdetben buszsávként üzemelt, majd 5 évvel később engedték be oda a legalább 4 utassal rendelkező telekocsikat is. A dedikált buszsávok kialakítása az európai városok többségében is bevett szokássá vált az utóbbi években, ezzel biztosítva a buszoknak is gyorsabb haladási lehetőséget, és kiszámíthatóbb, megbízhatóbb, tervezhetőbb szolgáltatást, a kötött-pályás tömegközlekedési eszközökhöz (pl. villamos vagy metró) hasonlóan. Mindez viszont javarészt úgy történhetett csak, hogy a meglévő néhány forgalmi sávból leválasztottak egyet a buszok számára, ezáltal pedig a személyautók lehetőségei csökkentek. Mindez természetesen gondot okozott, lassította az autós forgalmat, a forgalmi dugók is gyakoribbá váltak. Egy belvárosi szakaszon azonban általában lehet találni alternatív útvonalakat, a sofőrök megtanulják egy idő után, hogyan lehet elkerülni, a

buszsávval „terhelt” útvonalról lekanyarodva, ezeket a dugókat. Olyan mobiltelefonos alkalmazások, mint pl. a Waze segítenek is ebben. Mindez azonban sokkal nehezebb egy a városba vezető autópálya szakaszon, ahol általában nincs lehetőség alternatív útvonalakon haladni. Ebből kifolyólag ezeken az autópálya szakaszokon jóval ritkábbak a kialakított buszsávok.

Budapesten az M1-M7 autópálya bevezető szakaszán az első próbálkozás egy buszsáv kialakítására még 2005-ben történt, a Városi és Elővárosi Közlekedési Egyesület (VEKE) javaslatára (VEKE, 2005). A kiszemelt útszakasz kb. 500 méter hosszú volt csak, a Budaörsi út befelé jövő oldalán, a Nagyszőlős utcai felüljárótól a BAH csomópontig (5. ábra). Ezen a szakaszon, miután a Rákóczi- és Petőfi-híd felé tartó két forgalmi sáv leválik, összesen két sáv marad a BAH csomópont és az Erzsébet-híd felé közlekedők számára, és ebből a két sávból javasoltak az egyiket buszsávvá alakítani. A javaslat nyílt célja az volt, hogy az agglomerációból érkező autókat kiszorítsák a városból, és inkább a tömegközlekedési eszközök, a buszok használatára tereljék át.



5. ábra: A tiszavirág életű, 500 méter hosszúságú buszsávot a késsel jelölt útszakaszon alakították ki 2011-ben.

Forrás: Saját képernyőkép, a Google Map alkalmazás használatával

A javaslatot még 2008-ban elfogadta a Fővárosi Közgyűlés, de évekig nem került megvalósításra, részben egy zajvédő fal kialakításának igénye, részben más okok miatt. Végül 2011. május 30-án alakították ki a buszsávot ezen a szakaszon (Index, 2011), de a személyautók számára egy sávossra szűkített útszakaszon elképesztő, több kilométeres dugók alakultak ki, a járművek a budaörsi hipermarketekig torlódtak fel. A lakossági felháborodás rendkívüli volt, ezért **csupán négy nap után** a főpolgármester elrendelte a buszsáv felfüggesztését.



6. ábra: Forgalmi dugó a Nagyszőlős utcai felüljárón, a dedikált buszsáv kialakítása után

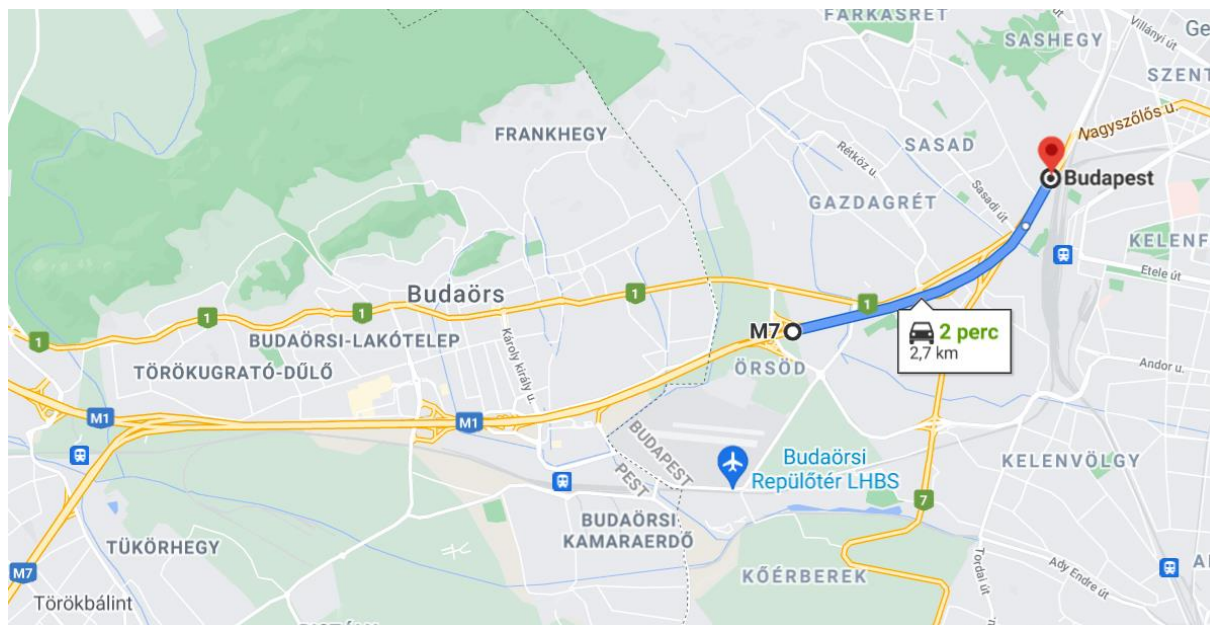
Forrás: <https://index.hu/belfold/budapest/2011/06/02/megadta-magat-tarlos-torolte-a-buszsavot/>

Ezek után került csak sor arra, hogy a Budapesti Közlekedési Központ (BKK) megrendelésére számítógépes szimulációkkal vizsgálják meg az adott útszakaszon a buszsáv kialakításának lehetséges forgalmi hatásait. A szimulációk eredményeit sajnos nem tették publikusan közzé, de az elemzés végeredménye az volt, hogy a szakemberek nem javasolták végül a buszsáv újbóli megnyitását azon a szakaszon (Infostart, 2012).

Érdekes azonban megjegyezni, hogy Tarlós István főpolgármester, a 2011. június 2-án tartott sajtótájékoztatóján, melyen bejelentette a buszsáv ideiglenes felfüggesztését, azt is megemlítette, hogy kezdeményezni fogja majd a KRESZ módosítását oly módon, hogy az lehetővé tegye a legalább három személyt szállító autók számára is a buszsáv használatát azon a szakaszon (Origo, 2011). Ez volt az az egyetlen alkalom, amikor tudomásunk szerint felmerült egy telekocsi sáv használatának lehetősége Budapesten. A bejelentésre felfigyelt a sajtó, azokban a napokban megszólaltattak néhány szakértőt a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (NFM), a Közlekedéstudományi Intézet (KTI), a Levegő Munkacsoport és a VEKE részéről, de újságírói érdeklődésre a Fővárosi Önkormányzat kommunikációs

igazgatósága megerősítette, hogy a telekocsi sáv lehetséges létesítésének bejelentését nem előzték meg hatástanulmányok.

A 2011-es sikertelen buszsáv kialakítás után 2014-ben aztán mégis megnyitottak egy buszsávot az M1-M7 autópályák bevezető szakaszán, de más módon. Egyfelől egy jóval hosszabb, kb. 2,7 km-es szakasról van szó, az Egér-úti lehajtótól kiindulva a belváros felé, ahogy az alábbi ábrán is látható.



7. ábra: 2014-ben kialakított buszsáv az M1-M7 autópályák közös bevezető szakaszán.

Forrás: Saját képernyőkép, a Google Map alkalmazás használatával

Másfelől itt nem a meglévő forgalmi sávok egyikét választották le kizárólag a buszok (és az elsőbbséget élvező járművek – mentők, tűzoltók, rendőrség) számára, hanem az autópálya biztonsági sávjába engedték be a buszokat, bizonyos feltételek mellett. A biztonsági sávon haladó buszok megengedett maximális sebessége például csak 40 km/h (Lásd 8. ábra). Ezzel a megoldással viszont a személyautók által használható sávok megmaradtak, így nem alakultak ki további forgalmi dugók, a megszokott forgalmi helyzethez képest. És a telekocsi sávok kialakítására vonatkozó elképzelésünk lényege pont ez, hogy a biztonsági sávba engedhetnénk be a buszok mellé a telekocsikat is, melyek 2, 3, vagy annál több utast szállítanak. Akár csak a jelenleg kialakított 2,7 km hosszú útszakaszon, akár a teljes M1-M7 közös bevezető szakaszon, mely kb. 8 km hosszú. Mindezt pedig úgy tehetnénk meg, hogy ezzel nem befolyásolnánk a hagyományos sávok forgalmát. Ahogy azt már a tanulmány elején említettük, ez a megoldás a Magyar Közút általunk megkérdezett szakértője szerint is életképes és hasznos lehetne.



8. ábra: Dedikált buszsáv az M1-M7 autópálya közös bevezető szakaszán, a 7. kilométerszelvény magasságában. A három általánosan használható forgalmi sáv mellett a buszsávot a biztonsági sávban alakították ki. Az útpálya mellett kihelyezett közlekedési táblán azt mutatja, hogy a biztonsági sáv használata csak a BKV és a Volán buszai számára engedélyezett, a megengedett maximális sebesség pedig 40 km/h.

Forrás: Saját képernyőkép, a Google Streetview alkalmazás használatával

Természetesen figyelni kell azonban arra, hogy ha túlságosan sok telekocsi használja majd ezt a dedikált sávot, akkor az a buszok haladását lassíthatja, ami nem kívánatos. Nagyon fontos tehát a részletes szimulációs elemzés, a hatástanulmányok, és a HOV sáv paramétereinek precíz finomhangolása, ahogy azt már korábban is említettük. Másfelől, figyelembe kell venni azt is, hogy a mostani 2,7 km-es buszsávként használt szakaszon nincsenek kihajtók jobb oldalon a pályáról. Ha viszont a teljes, 8 km hosszú közös szakaszt nézzük az M1-M7 autópályáknak, ott több kihajtó és felhajtó is van a különböző bevásárlóközpontok, hipermarketek felé, melyek megszakítják a folytonos biztonsági sávot. Ez nyilvánvalóan megnehezítené a HOV sáv kialakítását, de az útpályák bizonyos mértékű átrendezésével kezelhető lehetne akár ez a megoldás is.

Az autópályák biztonsági sávjainak használata buszok által, különösen nagyvárosok bevezető autópálya szakaszain és csúcsforgalmi időszakokban, nem egy újdonság különben. Ilyen rendszert sok országban üzemeltetnek, és számos elemzés, tanulmány is készült már ennek a megoldásnak az előnyeiről és lehetséges veszélyeiről (Martin, 2006) (Waller, 2009) (EasyWay, 2012). Egy néhány évvel ezelőtt megjelent izraeli pilot projekt (Gitelman, 2016) például Tel-Aviv egyik 12 km hosszú bevezető autópálya szakaszán vizsgálta a biztonsági sáv buszok általi használatát. A projekt megfigyelései alapján megállapították, hogy a buszok jóval gyorsabb áthaladási ideje mellett a biztonsági kockázatok nem nőttek, sem a biztonsági sávban esetlegesen veszteglő meghibásodott járművek miatt, melyeket a

buszok könnyen kikerültek átlépve a hagyományos sávba, sem pedig a hagyományos sávok és a buszsáv forgalmának sebességbeli különbsége okán. Mindemellett azonban feltűnő volt, hogy milyen sok személyautó használta jogosulatlanul ezt a sávot a bedugult szakaszok megkerülésére. Megállapították tehát, hogy a használat jogosultságának ellenőrzése, például kamerák által, nagyon fontos részeleme egy ilyen megoldásnak.

Összességében megállapítható tehát, hogy az M1-M7 autópályák közös, Budapestre bevezető szakaszának biztonsági sávjában kialakítható egy buszsávval kombinált telekocsi sáv, melynek számos előnye lehet a főváros és az agglomeráció közlekedését, illetve a környezetszennyezést illetően is. A konkrét bevezetéshez azonban részletes szimulációs elemzés és hatásvizsgálatok szükségesek.

4. A HOV szimulátor

A munkánk egyik célja tehát az volt, hogy összeállítsunk egy olyan szimulátort, amelynek segítségével elemezni lehet a HOV sávok kialakításának, és a különböző HOV paraméterek finomhangolásának következményeit. Ezt a szimulátort, vagy ennek továbbfejlesztett, kibővített változatát fel lehet aztán majd használni akár az M1-M7 közös budapesti bevezető szakaszának konkrét elemzésére, olyan bemeneti paraméterekkel melyek hűen tükrözik az ottani jellemző forgalmi viszonyokat és az úthálózat sajátosságait. Ez a lépés azonban túlmutat a jelen tanulmány és szimuláció fejlesztés keretein. Mindemellett azonban a szimulátor működését olyan bemeneti adatokkal mutatjuk majd be a következőkben, melyek valamennyire hasonlítanak az M1-M7 bevezető forgalmi térképére és viszonyaira.

A HOV sáv szimulálására a MATsim (MATsim, 2021) nevű szimulátort használtuk. A MATsim egy ügynök alapú szimulátor, amely képes akár egy teljes város forgalmának szimulálására is. Előnye, hogy nyílt fejlesztésű és így szabadon hozzáférhető, használatával kapcsolatban nincsenek korlátozások. A szoftver lehetővé teszi különböző közlekedés módok használatát, amit mi úgy használtunk ki, hogy készítettünk egy egyszemélyesen foglalt járművet (**car**), illetve egy többszemélyesen foglalt járművet (**hov**). A két jármű mód a nevéen kívül nem különbözött egymástól. A forgalmi sávok kialakításánál viszont létrehoztunk olyan sávot, amely kizárólag a hov járműveket engedi be, így a két mód mégis lényegesen különbözött. A MATsim használatánál előre meg kell adni, hogy a járművezetők honnan hova közlekednek, és mennyi időt töltenek egy adott helyen. A szimulátor képes optimalizálni a járművek közlekedését, de most a mi esetünkben erre nem volt szükség.

Mivel az M1-M7 közös bevezetője körülbelül 8 km hosszú, ezért a szimulátorban szemléltetésképpen most mi is egy hasonló hosszúságú útszakaszt terveztünk használni bemenetként. A HOV sávok hatékonyságát illetően azonban, mint minden más típusú sáv esetén is, nagyon sok múlik azon, hogy

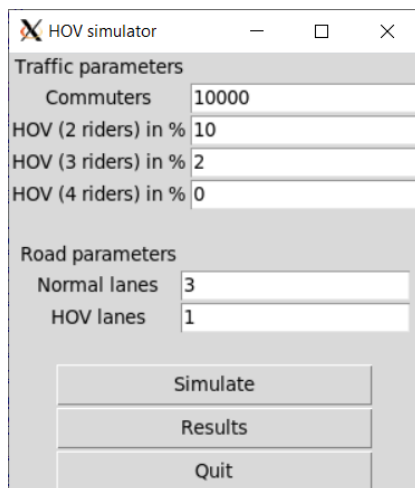
hol alakulnak ki a szűk keresztmetszetek, azaz hol keletkezik a dugó. Ha csak egy 8 kilométeres HOV szakaszt szimuláltuk volna, akkor könnyen arra a hamis eredményre jutottunk volna, hogy a HOV sávban jól halad a forgalom, mert kevés autó van, míg a nem HOV sávban a forgalom a megszokott lassú, dugós forgalom. E helyett azonban egy olyan szituációt szimuláltunk, ahol a HOV sávot egy normál szakasz előzi meg, illetve a HOV sáv megszűnésével is egy normál szakaszra kerül vissza a forgalom. A realitásokból adódóan ez jellemzi jól a környezetet. Konkrétan tehát a szimulált útszakasz 10 km hosszú, melyből a középső 8 kilométeren HOV sáv is ki van alakítva a normál sávok mellett. De természetesen más úthálózat is szimulálható, egy konfigurációs fájl átszerkesztésével. A jelenlegi szimulátorban a HOV sávok száma egy állítható paraméter.

Mindemellet a MATsim esetében több más szimulációs paraméter is állítható, hogy még tökéletesebb, valóság közelebb legyen a szimuláció. A futtatás során az egyszerűbb, sor alapú szimulációt választottuk. Itt a járművek, mint egy csőbe, belépnek az adott útszakaszra, majd egy idő után elhagyják azt és egy újabb útszakaszra lépnek. Az útszakaszok végén torlódások alakulnak ki, ami miatt aztán a járművek már nem tudják egyből folytatni útjukat. A MATsim fizikai modellek segítségével képes a torlódást már a bemenetre is szimulálni, azonban a mi esetünkben ez a fajta megközelítés kevésbé volt realisztikus, így ezt nem alkalmaztuk. Arra a problémára azonban rávilágított, hogy a HOV sávra történő belépést gondosan kell kialakítani, hogy az egyéb forgalom azt ne zavarja. Extra megoldásként, a futtatás során a járművek számára az előzés megengedett volt, ezt a többsávos útnál tudták kihasználni.

Az útszakaszok áteresztő képességét úgy állítottuk be, hogy az a sávok számának függvényében tükrözze a beállított átlagos forgalmat. Ez a paraméter is megváltoztatható természetesen, azonban ez nincs kivezetve a grafikus felületre, mivel egy útszakasz áteresztőképességét inkább adottságként kell kezelni. Az autók száma azonban változtatható a bemenetről. A szimuláció során a megadott autó szám alapján a rendszer utazásokat szimulál a reggel 7:00 és 9:00 óra közötti tartományban egyenletesen. Itt az egyenletes eloszlás sajnos kevésbé jól közelíti a valóságot, mint egy normális, azaz Gauss-eloszlás, ahol a forgalom sűrűsége felfut a reggeli csúcsforgalom kezdetén, és lecseng néhány órával később. Az egyszerűség kedvéért azonban mégis az egyenletes eloszlás mellett döntöttünk, hiszen ahogy már említettük, most csak a szimulátor tulajdonságainak és működésének bemutatása volt a cél, és nem egy konkrét és valós forgalmi helyzet elemzése. Mindazonáltal az eredményeket így is jól be lehet mutatni.

A szimulátor mérte az egyes autók átjutását a már említett 10 kilométeres szakaszon, amelyből a középső 8 kilométeren volt kialakítva a HOV sáv. A HOV előnyeit és hátrányait a két járműtípus közötti időkülönbségek mutatják.

A szimulátor kezelőfelületét a 9. ábra szemlélteti. Látható, hogy ezen a kezelőfelületen állítható az autók száma, a hagyományos és HOV sávok száma, illetve a HOV autók százalékos aránya a teljes forgalomban. Azt is be lehet állítani ezen a felületen, hogy mekkora az aránya azoknak az autóknak, melyekben 2, 3, vagy 4 utas utazik, hiszen ez is egy olyan paraméter amit figyelembe vehet a HOV szabályozás egy adott útszakaszon.



The screenshot shows a window titled "HOV simulator" with standard Windows window controls (minimize, maximize, close). The interface is divided into two main sections: "Traffic parameters" and "Road parameters".

Traffic parameters:

Commuters	10000
HOV (2 riders) in %	10
HOV (3 riders) in %	2
HOV (4 riders) in %	0

Road parameters:

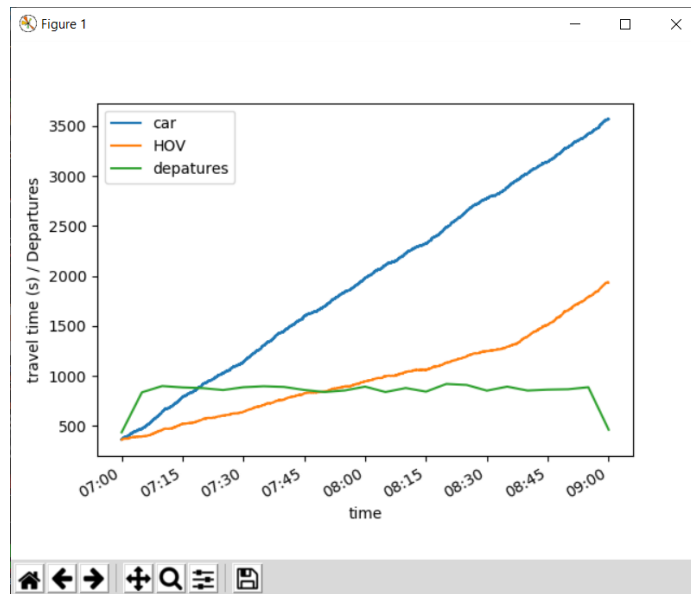
Normal lanes	3
HOV lanes	1

At the bottom of the window, there are three buttons: "Simulate", "Results", and "Quit".

9. ábra: A szimulátor kezelőfelülete, képernyőkép

Forrás: saját képernyőkép

A szimulátornak nincsen olyan grafikus kimenete, ami a szimulált forgalmat mutatná. Bár nagyon szemléletesek azok a szimulációk, amelyek az autókat is ábrázolják egy térképen, azonban erre a jelen esetben nem volt szükség, hiszen egy egyszerű útszakasról van szó, ahol a járművek kanyarodások és lámpák nélkül közlekednek. A szimulátor segítségével meg tudunk jeleníteni viszont egy olyan grafikont (lásd 10. ábra), amelyen kék színnel ábrázolva van a normál sávot használó autók ájtutási ideje, narancssárga színnel a HOV sávot használó autók ájtutási ideje, illetve zöld színnel az elindult autók száma 5 perces intervallumokban.



10. ábra: A szimulátor egy kimenetének ábrázolása, képernyőkép

Forrás: saját ábra

A fenti csak egy példa grafikon, az eredmények részletes magyarázatát és elemzését bizonyos konkrét bemeneti paraméterekre a következő alfejezetben mutatjuk be.

4.1 Egy példa szimuláció lehetséges eredményei

Bár mint említettük, célunk csak egy HOV szimulátor elkészítése volt, annak használatát és lehetséges kimeneti eredményeit mégis konkrét bemeneti paraméterek esetén lehet igazán jól szemléltetni. Ezt fogjuk bemutatni ebben az alfejezetben.

A korábban már említett 10 km-es útszakaszra, melynek közepén egy 8 km-es részen egy további HOV sávot alakítottak ki a meglévő 3 hagyományos sáv mellé, először megvizsgáltuk, hogy mi történik akkor, ha az alacsony forgalom miatt nem alakulnak ki dugók. Ebben az esetben 10000 autót indítottunk el véletlenszerűen, de egyenletesen eloszlással, a szimulált két órás időtartományban. Ez nagyságrendileg megfelel különben az M1-M7 autópályák átlagos napi forgalmának, hiszen a Magyar Közút által közzétett forgalmi adatok alapján (Magyar Közút, 2020) az Egér-úti lehajtónál (7+940-es kilométerszelvény) napi átlagban 2017-ban kb. 119.000, 2018-ban kb. 123.000, 2019-ben pedig kb. 128.000 jármű haladt át. Ezt a növekedési trendet figyelembe véve, de nem elfeledve a vírushelyzet okozta lehetséges visszaesést is, elmondhatjuk azt, hogy 2021-ben kb. 134.000 járműre becsülhető az ott áthaladó átlagos napi forgalom. Ha ezt felezzük egyformán a két irányra, akkor a Budapest felé tartó forgalom kb. napi 67.000 jármű, amihez képest reális, ha csúcsidőn kívül óránkénti 5000 járművel számolunk.

Ahogy a 11. ábra mutatja, ebben az esetben a forgalom nem torlódik, az autók a forgalomtól függetlenül nagyjából ugyanannyi idő alatt teljesítik a távot, a normál (két vonal) és HOV sávban is (narancssárga vonal). Az ábráról leolvasható így, hogy a 10 kilométeres útszakaszt az autók kb. 360 másodperc, azaz 6 perc alatt teljesítik. A zöld vonal azt mutatja, hogy 5 perces időablakokban hány új autót indít el a szimulátor. Itt természetesen egy konkrét szimulációs futtatásról van szó, és nem folyamatos csúszóablakokat ábrázolunk, hanem véletlenszerűen kiválasztott időpillanatokban, de egyenletes eloszlással történik az autók indítása, így az egymást követő 5 perces ablakok között viszonylag nagy ugrások láthatóak. Vannak tehát olyan 5 perces intervallumok, amikor alig több mint 300 autót indít el a szimulátor (pl. 8:35 és 8:40 között), és olyan 5 perces ablakok is, amikor 400 autónál is többet (7:25 és 7:30 között). Ez viszont nem befolyásolja a végeredményt, hiszen jóval kevesebb autóval számoltunk mint az útszakasz áteresztőképessége.



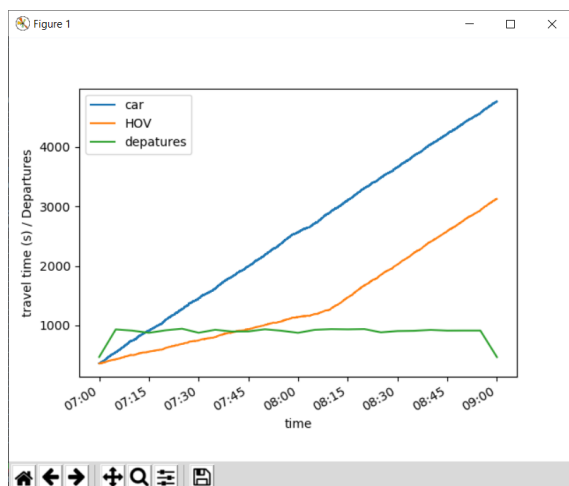
11. ábra: Torlódásmentes szimuláció

Forrás: saját képernyőkép

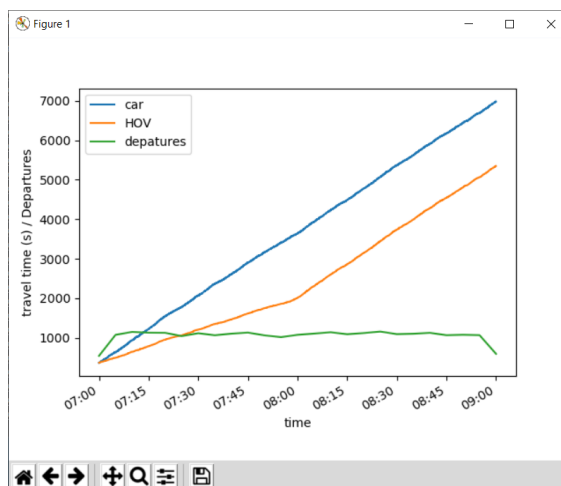
A következő vizsgálat azonban már egy problémásabb helyzetet szimulál, amikor az autók száma meghaladja azt a mennyiséget, amit az út el tudna vezetni. Itt 25.000 illetve 30.000 autó indítottunk útnak reggel 7 és 9 óra között. A Magyar Közút forgalomszámlálási adataiból kiderül, hogy az M1-M7-es autópályán csúcsforgalomban óránként kb. 11-12.000 jármű halad át, azok nagyobb része pedig ugyanabba az irányba halad (reggel Budapest felé, délután az agglomeráció felé). Ennek tükrében a két órás intervallumra számolt 25.000 vagy 30.000 jármű megfeleltethető, sőt túl is mutat a valódi csúcsforgalmi adatokon ezen az útszakaszon. De ahogy már említettük, a célunk nem az M1-M7 valós forgalmának a szimulálása volt, ezért a használt bemeneti adatok csak tájékoztató jellegűek.

Ahogy a 12. ábra és 13. ábra mutatják, ebben az esetben az autók folyamatosan torlódnak, ezért a menetidő folyamatosan nő. Ha ez a valóságban is így lenne, akkor a legkésőbb indult autós utóbbi esetben közel 2 órát állna dugóban. A valóságban azonban a forgalom lecseng egy idő után, a felgyűlt kocsisor apadni kezd, a dugók időtartama pedig csökken majd.

Jól megfigyelhető azonban az ábrákon az, hogy a normál sávot és a HOV sávot használó autók között egy kezdetben egyre jobban nyíló utazási időkülönbség mutatkozik. Ez a HOV sáv hatása, ennyit nyernek azok az autók, amelyek ezt a külön sávot használják. Ugyanakkor azt is látni kell, hogy ők sem a korábban mért 6 perc alatt teljesítik a távolságot. Ennek két oka is van. Egyrészt, a teljes szakasznak csupán a négyötöde HOV sáv, a maradék két kilométeren ugyanúgy torlódnak ők is, mint a többi autós. Mindemellett ráadásul túl nagy forgalom esetén a HOV sáv végpontján is torlódás alakulhat ki, hiszen ott a telekocsiknak is be kell sorolniuk a bedugult hagyományos sávokba. Jól mutatja ezt, hogy a HOV utazási idő az autók számának függvényében nem egy lineárisan növekvő görbe lett, hanem egy ponton megtörik, és onnan már párhuzamos a normál autók utazási idejének görbéjével.



12. ábra: 25.000 autó szimulált indulása

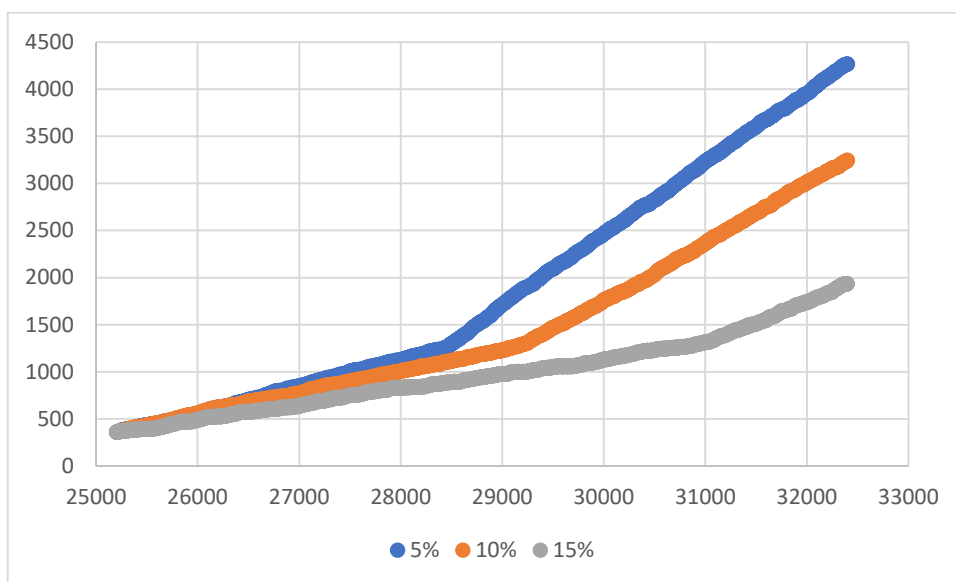


13. ábra: 30.000 autó szimulált indulása

Az ábrákon az is látszik, hogy a zöld görbe jóval kisimultabb, mint az előző ábrán, mely a torlódásmentes helyzetet mutatja. Ez csak annak tulajdonítható, hogy itt több autót kell véletlenszerűen, de egy egyenletes eloszlást követve elindítani ugyanabban a 2 órás időintervallumban. Ennek megfelelően az előzőleg látott 3-400 autó helyett itt inkább 1000 autó indul útnak minden 5 perces periódusban, a véletlenszerűségből adódó apróbb változások pedig nem lesznek annyira kiugróak és látványosak, mint korábban.

Megvizsgáltuk még végül azt is, milyen hatással van a HOV járművek száma azok utazási idejére. A 14. ábrán három eset látható. Mindhárom esetben 25.000 autó indulását szimuláltuk, azonban a HOV járművek százalékos aránya változott. Amikor a HOV járművek csupán az 5%-t tették ki a teljes

forgalomnak (kék görbe), akkor a HOV menetidő nagyobb, mint a másik két esetben. Ez talán elsőre meglepőnek tűnik, de annak tudható be, hogy a HOV járművek számának növekedésével a normál járművek száma csökken, egyenletesebben oszlik majd el a forgalom esetünkben a 3+1 sávban, így általánosságban mindenki gyorsabban tud majd haladni, nem csak a telekocsik. Mindemellett azonban a telekocsik továbbra is gyorsabbak lesznek az SOV járműveknél. És ez pont az a hatás amit el szeretnénk érni a HOV sávok bevezetésével.



14. ábra: HOV utazási idők alakulása a HOV forgalom függvényében

Ismételten jelezzük végül, hogy a bemutatott grafikonokon szereplő görbéket csak példaként mutattuk be, hogy láthassuk, mire képes a szimulátor. Ahhoz, hogy a görbéket ténylegesen, részletekbe menően elemezzük valós bemeneti adatok szükségesek a szimulátor számára, beleértve egy nagyobb városrész digitális úthálózati térképét is. Egy ilyen elemzés viszont túlmutatott a jelenlegi céljainkon.

5. Összegzés

E tanulmányban bemutattuk a telekocsi (HOV) sávok kialakításának lehetséges előnyeit és hátrányait, ismertettünk röviden néhány nemzetközi példát, és áttekintettük ilyen dedikált sávok (buszok és telekocsik számára) bevezetésének lehetőségeit az agglomerációból Budapestre vezető autópálya szakaszokon. A tanulmány második felében pedig bemutattuk az általunk készített szimulátort, melynek segítségével elemezni lehet a HOV sávok paramétereinek finomhangolásából származó lehetséges hatékonysági előnyöket. A célunk e munka során nem egy adott útszakasz HOV sávvá

alakításának a részletes elemzése volt, hanem annak bemutatása, hogy miért érdemes és miként lehetséges egy szimulátor segítségével megbecsülni egy okosváros fejlesztés konkrét, mérhető, forintosítható előnyeit.

6. Irodalomjegyzék

EasyWay, 2012. "Traffic Management Services Hard Shoulder Running. Deployment Guideline". TMS-DG04, EasyWay Trans-European project co-financed by the European Commission.

Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J. M., Pereira, S. R., Khattak, A. J., & Coelho, M. C. "Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city?", Transportation Research Part A: Policy and Practice, 63, 93-106, 2014.

Gitelman, V., Hakkert, S., Zilberstein, R., Grof, T., 2016. "Bus operations on hard shoulders during congested morning hours – a pilot evaluation in Israel", Transportation Research Procedia 14 (2016) 1144 – 1153.

Index (2011), "Tarlós egyelőre törölte a buszsávot", 2011. június 2. Megtekintve: 2021. július 21. https://index.hu/belfold/budapest/2011/06/02/megadta_magat_tarlos_torolte_a_buszsavot/

Infostart (2012), " Nem helyezi újra forgalomba a Budaörsi úti buszsávot a főváros", Infostart, 2012. március 1. Megtekintve: 2021. július 21. <https://infostart.hu/belfold/2012/03/01/nem-lesz-buszsav-a-budaorsi-uton-484930>

International Energy Agency (2019), "Energy Efficiency 2019", November 2019.

Lencsés, Cs. (2011), "Jobb levegőt, de több csalót is hozhat Tarlós buszsávós ötlete", Origo, 2011. június 10. Megtekintve: 2021. július 21. <https://www.origo.hu/auto/20110609-megnyitna-a-buszsavot-tarlos-a-harom-embert-szallito-autosoknak.html>

Magyar Közút, (2020), "AZ ORSZÁGOS KÖZUTAK 2019. ÉVRE VONATKOZÓ KERESZTMETSZETI FORGALMA", 2020. június. Megtekintve: 2021. július 21: <https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/#>

Martin, P.C., 2006. "Bus Use of Shoulders. A Synthesis of Transit Practice". TCRP Synthesis 64, Transit Cooperative Research Program, Transportation Research Board, Washington DC.

MATsim, 2021. "Multi-Agent Transport Simulation". Megtekintve: 2021. július 21. <https://www.matsim.org/>

Mateos, M., Aparicio, A., Monzon, A., "Modelling HOV lanes contribution to sustainable mobility", in Proceedings of the European Transport Conference 2004, Strasbourg, France

Menendez, Monica; Daganzo, Carlos F. "Effects of HOV lanes on freeway bottlenecks", Transportation Research Part B: Methodological, 2007, 41.8: 809-822.

Rennick, L. (2018). "Transit U: Why HOV Lanes Don't Mean Much in Nashville", Williamson Source, 2018. április 10. Megtekintve: 2021.07.21. <https://williamsonsource.com/transit-u-hov-lanes-dont-mean-much-nashville/>

S. Schijns, P. Eng, "High Occupancy Vehicle Lanes – Worldwide Lessons For European Practitioners", WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 89, 2016.

The Guardian (2016). "End of the road: Jakarta's 'passengers for hire' targeted by carpooling crackdown", 2016. április 4. Megtekintve: 2021. július 21. <https://www.theguardian.com/world/2016/apr/04/end-of-the-road-jakartas-passengers-for-hire-targeted-by-carpooling-crackdown>

VEKE (2005), " Buszsáv létesítésének igénye az M1-M7 bevezetőn", Városi és Elővárosi Közlekedési Egyesület, 2005. június 28. Megtekintve: 2021. július 21. <http://veke.hu/2005/06/buszsav-letesitesenek-igenye-az-m1-m7-bevezeton/>

Waller, S.T., Ng, M., Ferguson, E., Nezamuddin, N., Sun, D., 2009. "Speed Harmonization and Peak-period Shoulder Use to Manage Urban Freeway Congestion". Report FHWA/TX-10/0-5913-1, Center for Transportation Research, Texas A&M University-Kingsville, Kingsville, Texas.

Weyland, C. M., Buck, H. S., Vortisch, P., & Zeidler, V. "Analysis of the Effects of an HOV Lane on a German Freeway-A Simulation Study with PTV Vissim", Transportation Research Board 98th Annual Meeting, Washington DC, USA, January 2019.

7. A szerzőkről



Dr. Vida Rolland

Egyetemi docens, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék, BME

Dr. Vida Rolland PhD-fokozatát a párizsi Université Pierre et Marie Curie egyetemen szerezte 2003-ban. Kutatási területei közé tartoznak a szenzorhálózatok, a járműhálózatok, a tárgyak internete és ezek alkalmazásai az okos városokban. Az BME-n futó Okos város villamosmérnöki mellékspecializáció felelőse. Tagja az IEEE Communications Society Conferences Council-nak, IEEE Smart Cities Steering Committee-nek, éveken át vezetőségi tagja volt az IEEE Sensors Council-nak, társelnöke volt az IEEE Sensors 2019 és IEEE Sensors 2020 nemzetközi konferenciák tudományos programbizottságának, és szintén társelnöke volt az IEEE International Smart Cities Conference 2020 nemzetközi tudományos konferenciának. Az IEEE Sensors Letters tudományos folyóirat szerkesztője, és a BME-n működő Nagysebességű Hálózatok Kutatólaboratóriumának (HSN Lab) vezetője.



Dr. Fehér Gábor

Egyetemi docens, tanszékvezető-helyettes

Távközlési és Médiainformatikai Tanszék, BME

Dr. Fehér Gábor PhD fokozatát a BME-n 2004-ben szerezte. Kutatási területei közé tartozik a Tárgyak Internete, szenzorhálózatok kommunikációs technológiái, illetve a hálózat- és információbiztonság. Tagja a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Oktatási Bizottságának és a Mérnökinformatikus-képzés Szakbizottságának.