

## Alkalmasak-e a forgalomcsillapított utcáink az önvezető járművek közlekedésére?

### Are our streets with traffic calming fit for self-driving vehicles?

SZÜCS Gergely<sup>1</sup>, Dr. KOREN Csaba<sup>2</sup>, Dr. MACSINKA Klára<sup>3</sup>

<sup>1</sup> okl. infrastruktúra-építő mérnök, PhD hallgató, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1, e-mail: szgergely.ybl@gmail.com

<sup>2</sup> okl. építőmérnök, professzor emeritus, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1, e-mail: koren@sze.hu

<sup>3</sup>okl. építőmérnök, egyetemi docens, Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, 1146 Budapest, Thököly út 74., e-mail: macsinka.klara@ybl.szie.hu

#### ABSTRACT

*Self-driving cars started to appear in relatively simple traffic situations (e.g. on motorways), but they are more and more expected to come in complicated urban settings. In residential streets several technical elements are used for speed reduction. The goal of the research is to identify proper design of traffic calming equipment in order to be easily recognizable by self-driving (and traditional) cars and for better traffic safety at these locations.*

#### KIVONAT

*Az önvezető járművek kezdetben egyszerű forgalmi helyzetekben jelentek meg (pl. autópályákon), de egyre inkább számolni kell velük bonyolultabb városi környezetben is. Városi lakóutcákban sokszor használunk különböző sebességcsökkentő műszaki elemeket. A kutatás célja azt meghatározni, hogy miként alakítsuk ki a forgalomcsillapítás eszközeit annak érdekében, hogy az önvezető (és a hagyományos) járművek könnyen felismerhessék azokat és biztonságosan közlekedhessenek.*

**Kulcsszavak:** forgalomcsillapítás, önvezető jármű, úttervezés, biztonság, kísérlet

#### 1. BEVEZETÉS

A forgalomcsillapítás az elmúlt 10-15 évben a közlekedéstervezés egyre fontosabb kérdésévé vált. Városi lakóutcáinkban egyre gyakoribbak a különböző sebességcsökkentő műszaki elemek (sávellhúzások, szűkítések, forgalomcsillapító bordák, pódium-szerű gyalogátkelőhelyek stb.). Ezek az intézkedések a korlátozásokkal kapcsolatos szokásos fenntartások ellenére egyre elfogadottabbá válnak, tekintettel a forgalombiztonság javulására és a városi életkörülmények javulására.

Az önvezető (autonóm) járművek már jelen vannak útjainkon és számuk egyre növekszik. Kezdetben egyszerű, könnyen áttekinthető forgalmi helyzetekben jelentek meg (pl. autópályákon), de egyre inkább számolni kell velük bonyolultabb városi környezetben is. A jelzőlámpás vagy körforgalmú csomópontok, az autóbuzsmegállóhelyek, a gyalogátkelőhelyek, vagy éppen a forgalomcsillapító intézkedések jelentik a bonyolult környezet egyes elemeit.

A kutatás célja azt megvizsgálni, hogy az emberek szokásaira és tudására tervezett infrastruktúra az önvezető járművek számára megfelelően értelmezhető és biztonságosan használható-e? A jármű- és szoftverfejlesztők, ha találkoznak egy helyzettel, amit az autonóm jármű még nem tud kezelni, akkor az

ember észlelési és tanulási folyamatát igyekeznek utánozni, még több szenzort, és okosabb szoftvereket alkalmazni. De az úttal foglalkozó mérnökök sok esetben nem tudják azt, hogy az emberek hogyan viselkednek egy-egy adott útkialakítás esetén, hiszen például a forgalomcsillapító elemek használatára nincs egységes gyakorlat, számtalan sok egyéni megoldás létezik.

A kutatás ezért azt irányozza elő, hogy járművezetők és kísérleti önvezető járművek viselkedését elemezze a valóságban tapasztalt és a virtuális valóságban (VR) szimulált forgalomcsillapítási helyzetekben. Az elemzésből meghatározhatók a könnyebben és nehezebben értelmezhető helyzetek, amelyek alapján ajánlásokat lehet tenni a forgalomcsillapító intézkedések egységesebb kialakítására, tervezési útmutató formájában. Ennek alkalmazásával - a címbe feltett kérdésre válaszolva – utcáinkat alkalmasabbá lehetne tenni mind az önvezető, mind a hagyományos járművek biztonságos közlekedésére.

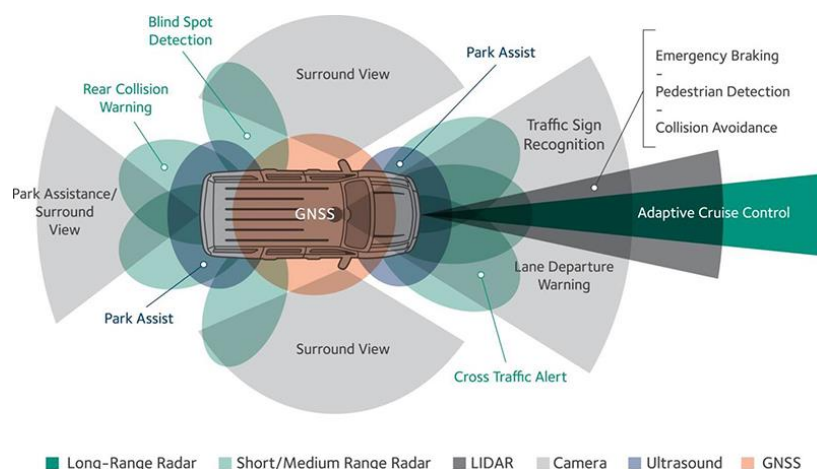
Az autonóm járművek az előző 10-15 évben nagy fejlődésen mentek át. A járműfejlesztők és az informatikusok értékes eredményeket értek el saját területükön, mára sokféle műszerrel és programmal támogatják az önvezető járművek biztonságos közlekedését. Kisebb figyelmet kapott viszont az infrastruktúra. Foglalkoztak ugyan kutatások, fejlesztések a digitális infrastruktúrával, a különféle útmenti jeladókkal, a V2I (jármű és infrastruktúra közötti) kommunikációval, de a fizikai infrastruktúra többnyire kimaradt a vizsgálatokból.

A járművet vezető ember is elsődlegesen az épített infrastruktúra alapján közlekedik, ez befolyásolja leginkább a sebességválasztását és viselkedését. Ezért egyre nagyobb figyelmet kapott az elmúlt 10-15 évben az önmagukat magyarázó utak fogalma. E szemléletmód alapján olyan utakat kell tervezni, hogy azok az átlagos járművezetőnek egyértelmű üzenetet küldjenek, érezze azt, hogy most hogyan kell viselkednie, mire számíthat és a legfontosabb, hogy milyen sebességet válasszon a biztonságos közlekedéshez [1].

Az önmagukat magyarázó utak szemléletét a különböző forgalomcsillapítási eszközök használatában is követnünk kell. A célunk az ilyen megoldások alkalmazásával a járművek sebességének és számának csökkentése egy adott utcában, területen. Szeretnénk elérni, hogy a járművezetőnek egyértelmű legyen, hogy csökkentse a sebességét, készüljön fel egy környezetváltozásra (pl. külterület vs. belterület), amely más szituációkat és veszélyforrásokat hordoz magában.

## 2. ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK

Az önvezető járműveket hat szintre szokás besorolni az automatizálásuk szerint [2]. A 0. szint a hagyományos, ember által vezetett, míg az 5. szintnek a teljesen autonóm módon közlekedő járműveket nevezzük. Az önvezető járművek kaphatnak ugyan adatokat egymástól, egy útmenti adó-egységtől vagy egy központból, de kell, hogy tudjanak működni ilyen külső információk nélkül is. Az autonóm jármű információit különféle szenzorok segítségével szerzi be. A különféle szenzorok különböző hullámhosszokon működnek és más-más tulajdonságaikkal kiegészítik egymást (1. ábra).



1. ábra  
Önvezető autó érzékelői [3]

Az érzékelők főbb típusai a radar, a lidar és a kamera. Mindegyiknek vannak előnyei és hátrányai a használhatóságban, ami a tárgyak felismerését, osztályozását, a távolságbecslést, a látótávolságot, a sávfigyelést és a sötétben vagy az esőben való működést illeti [3]. A különféle érzékelők együtt jelenleg megfelelően tudják azonosítani az akadályok helyzetét és sebességét, az utat, a burkolati jeleket, a jelzőtáblákat és a gyalogos átkelőhelyeket. Korlátozott azonban a képességük az akadályok jellegének (pl. gyalogosok, kerékpárosok) megkülönböztetésére és viselkedésük, mozgásuk előrejelzésére [4].

Az autonóm járművek már jelenleg is biztonságosabban közlekednek, mint egy átlagos emberi sofőr, és ez a fejlesztésekkel egyre jobb és jobb lesz. A mérőműszerek, adatfeldolgozó programok, eszközök sebessége, jól beállított összehangolt rendszer esetén, gyorsabb, mint egy átlagos emberi sofőr reakció ideje. A gyorsabb reagálás, és nagyobb mennyiségű adat figyelése és feldolgozása miatt az önvezető járművek jobban tudnak reagálni egy adott problémára, időjárási és burkolati körülményre.

Az autonóm járművek terjedése úgy látszik, hogy nem fog olyan gyorsan és ugrásszerűen megtörténni, mint ahogy sokan gondolták még 10 éve. Ma már egyre jobban úgy tűnik, hogy az 5. szintű, teljesen önvezető járművek úgy 2040, míg minden napra és mindenhol használható változata 2075 körül jelenhet meg [5].

### 3. A FORGALOMCSILLAPÍTÁS ESZKÖZEI ÉS ÉSZLELÉSÜK

„A forgalomcsillapítás alapvető célja a közúti közlekedés emberre káros hatásainak mérséklése” [6]. Különböző célok határozhatók meg, amelyek a következők:

- szabályos közlekedés kikényszerítés
- figyelemfelhívás
- közúti forgalom lassítása, sebességcsökkentés
- kerékpáros-forgalom előnyben részesítése
- forgalomcsökkentés, átirányítás más útvonalra

A szabályos közlekedés kikényszerítése és a sebességcsökkentés azok a célok, amelyeket érdemes felülvizsgálni az önvezető járművek tekintetében. Ezekben az esetekben általában épített környezettel – szegélyek, sávelhúzások, szűkítések és forgalomcsillapító bordák használatával érjük el a kívánt hatást.

Az autonóm járművek a programozáson alapuló gondolkodásuknak egy a forgalomcsillapításként kihelyezett sebességkorlátozó táblát 100%-ban be fog tartani, amely miatt felmerülhet a kérdés, hogy akkor a jövőben elegendő lesz csak a táblák kihelyezése. De sajnos annak lehetősége, hogy csak önvezető járművek közlekedjenek, a közli jövőben kicsi az esélye, amely miatt a hagyományos, emberek által vezetett járművekre is gondolni, tervezni kell majd.

#### 3.1. Vízzintes elemek

##### 3.1.1. Sávelhúzás

A sávelhúzások elsődleges célja forgalomcsillapítás tekintetében az, hogy a járművezetők ne egy nyílegyenes, nagysebességgel járható utat lássanak maguk előtt. A kötelező kitéréseknek köszönhetően a járművezető alacsonyabb sebességgel fog haladni, mint egyenes úton.

Az 1953-s Firebird II. tanulmányautó már képes volt a burkolati jelek alapján a sávot tartani. Ezt úgy érték el, hogy fém-tartalmú festéket használtak és a jármű mágnesek segítségével ezt figyelte és ez alapján korrigálta az irányát. Természetesen ez e megoldás a festék magas ára, az autó bonyolult és drága előállítás miatt nem terjedt el [7].

A járművekbe elektrotechnikán, informatikán alapuló sávkövetést, sávtartást segítő megoldásokat már a 80-as évek vége óta építenek be és finomítanak a járművekben. Több fajta megoldást, eljárást is kidolgoztak, amelyek mono- és sztereo kamera által készített képeket használnak.

Első körben ezek a fejlesztések, módszerek a gyorsforgalmi utakon való haladásra építkeztek, hol a burkolati jelek állapota megfelelő, jól követhető. A belterületi közlekedésre ezek a módszerek még nem voltak megfelelőek, főleg a hiányos burkolati jelek miatt. A korábbi járművek ilyenkor elvesztették a támpontot, és így nem vezettek tovább, visszaadták az embernek az irányítást. A mai „önvezetésre” képes járművek képesek burkolati jel nélkül, a burkolat széle vagy a szegély és ez alapján meghatározni a szükséges helyzetét és útvonalát.

### 3.1.2. Szűkítés

A lakóutak, kiszolgáló utak egyik legkedveltebb forgalomcsillapítási megoldása, ahol a burkolatot „pontoszerűen” beszűkítjük egy forgalmi sávra. Így két szemben érkező gépjárműnek a KRESZ előírása és az adott szituáció szerint, elsőbbséget kell adniuk egymásnak, amely miatt az egyiknek kis időre várakoznia szükséges. Ezzel elérhető, hogy az utcában csak áthaladó járművek ne tudjanak átrohanni, átszáguldani.

A lakóutcák, kiszolgáló utak esetében nem festünk fel elválasztó vonalat (felező vonalat) a burkolatra, mert annak költségét elhagyjuk és így a járművezetők sebességét csökkenteni lehet.

Az Egyesült Államokban vizsgálták a terelővonal hogyan hat a sebességválasztásunkra. Norman W. Garrick professzor a hallgatóit vonta be a kísérlet, akik erről nem tudtak. Két részre osztotta őket, hol mindkét csoport ugyan azokat az útszakaszokról készített fotókat kapták meg. A két képcsoport között az egyetlen különbség, hogy digitálisan leszedték róluk a burkolati jelet. Ezek alapján kellett a hallgatóknak megadniuk, hogy ők milyen sebességet választanának az adott helyzetekben. Az eredmények azt mutatták, hogy a terelővonal bátrabbá teszi a járművezetőket és így gyorsabban haladnak, mert biztosak benne, hogy elférnek egy szemben érkező autó mellett [8].

A burkolati jel nélküli utcákban az önvezető autók a szenzorok adatai alapján megpróbálják meghatározni a rendelkezésre álló szabad burkolatszélességet. A kiszámolt szélesség alapján dönti el az autonóm jármű, hogy miként viselkedjen, hogyan értelmezze a felületet. Fernandez vizsgálata szerint, ha a burkolat 4,06 és 8,57 m közötti volt, akkor két forgalmi sávsnak tekintette a jármű az utat [9].

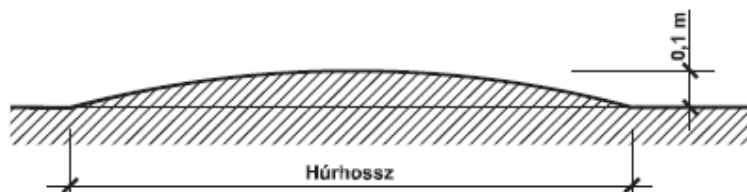
A szűkítésekkel nagyon sokféleképpen találkozhatunk Magyarországon útjain, ugyanis nincsen egy egyértelműen megfogalmazott, kialakítást bemutató hazai szabályozás. A jelenleg hatályos „Közúti forgalom csillapítása (A KTSZ kiegészítése)” című útügyi műszaki előírás alapján a tervező és a hatóság több fajta mérettel és elrendezéssel is értelmezheti a szükséges szűkítés kialakítását.

Ilyen esetekben már sajnos tapasztalhattuk, hogy a két egymással szemben érkező jármű úgy gondolhatja, hogy elférnek egymás mellett és nem lassítanak, amely miatt a szűkítés értelmét veszti vagy a rosszabb veszélyeztetik egymást, akár balesetet is szenvedhetnek.

Az említett Fernandez és társai által végzett vizsgálat szerint egy autonóm jármű a 4,06 m vagy annál szélesebb szabad szélességgel kialakított szűkítést akár két forgalmi sávsnak és tekintheti, amely miatt bele mer hajtani a szemben érkező járművel együtt. A gond az, hogy ha a szemből érkező jármű sofőrje erre nincs felkészülve vagy nem elég rutinos, megijedhet és balesetet szenvedhet.

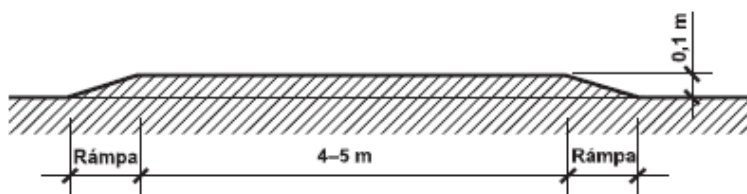
## 3.2. Magassági elemek

A forgalomcsillapítás szót használva legtöbb embernek egyből a forgalomcsillapító bordáknak - azaz a szájhagyományban fekvőrendőröknek – nevezett épített elemekről van szó. A magassági lassító elemeknek rengeteg fajtájával, megoldásával találkozhatunk a vezetés közben, amelyek közül mi is érezzük, hogy vannak jobban és rosszabbul kialakítottak. A magassági elemeket az útügyi műszaki előírás (UME) szerint három kategóriába csoportosítja (2-3-4 ábra).



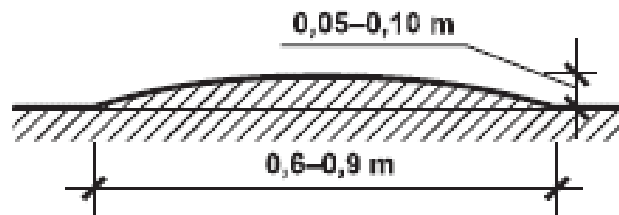
2. ábra

*Menetdinamikai pályaszintemelés [6]*



3. ábra

*Trapéz keresztmetszetű pályaszintemelés [6]*



4. ábra  
Sebességcsökkentő küszöb [6]

A legutolsóval találkozunk a legtöbbször egy járművezető, mert kiépítése a beruházó számára olcsóbb és pontszerűen nagyobb hatást tud vele elérni. A fő probléma velük az, hogy pont abban a sebességtartományban – 20-40 km/h között - fejtik ki a legnagyobb mechanikai hatást a járműre, amelyet alkalmazásával szeretnénk elérni.

Továbbá van egy olyan hatásuk a járművezetőre, hogy a túlzottan nagy lassítási kényszert - a jelzett sebességhez képest is – veszteséggként éli meg, amit a küszöb után le akar dolgozni és intenzív gyorsításba kezd. [10]

Ewing vizsgálata azt bizonyította, hogy egy, a megengedett sebességhez tervezett forgalomcsillapító bordát építünk adott útszakaszon, akkor a sebességtartási morál jobb lesz, mert nem érzik akkora idővesztést és így nem gyorsítanak akkorát, kevésbé lépik át a sebességet [11].

Az autonóm járművek egy 30 km/h sebességkorlátozó tábla esetén a megengedett sebességgel fog csak haladni, de egy rosszul kialakított küszöb még ilyen sebesség mellett is veszélyes lehet rá. Fennáll a lehetősége annak, hogy nem veszi észre, későn reagál rá és így a benne utazóban vagy a járműben sérülés történik, vagy akár kiemelt szegélynek nézi azt és megálljon ellőtte.

Egy 2015-ben bemutatott indiai cikk [12] vizsgálta, hogy az autonóm járművek a környékükön található magassági forgalomcsillapító bordákat és küszöböket hogyan látják. Az egyszerűsítés érdekében 5 fő típusra osztották fel az elemeket és ezek alapján történtek az összehasonlítások. Az általuk használt autonóm jármű csak kamerák és a mobil telefon mozgásérzékelője és GPS-e alapján közlekedett. Arra a következtetésre jutottak, hogy a jármű képes a legtöbb típust legalább 80,0 %-ban érzékelni minden időjárási körülmény között. A legnagyobb nehézséget egy speciális 5 típus adta, amelynél a jármű csak 4,0 % pontosan tudta meghatározni a küszöböt.

Egy spanyol vizsgálat [13] gyalogátkelővel kombinált kiemelt felületek észlelhetőségét vizsgálta. Az általuk használt önvezető járművön kamera, lidar és radar is volt. Az eredményeik szerint a jármű képes volt 100%-ban észlelni az általuk vizsgált forgalomcsillapító bordákat legalább 12,00 m távolságból. A gyalogátkelőket a kiemelt felületeken 94,0% pontossággal ismerte fel az általuk használt jármű, az előbb említett 12,00 m távolságból.

## 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az önvezető járművek részben most is képesek a forgalomcsillapított utcáinkban való közlekedésre, de ehhez olyan megfelelő körülmények, kialakítások kellenek, amelyek alapján egyértelműen tud dönteni.

Láthattuk, hogy a sávelhúzásokat az autonóm járművek már megfelelően tudják észlelni és kezelni, amely egy épített kialakítás esetén hatványozottan igaz.

A szűkítések esetén a jármű megfelelően érzékeli a közlekedésnek szánt csökkentett felületet és azon is marad, de a nem megfelelően kialakított esetekben veszélyhelyzetet, balesetet is okozhat. Szükség van a szűkítések felülvizsgálatára, hogy meghatározzuk milyen kiépített környezet alkalmas arra, hogy egyértelmű üzenetet közvetítsen mind az autonóm jármű és az ember számára is, hogy ezzel növeljük a forgalom biztonságát.

A magassági lassító elemeket bizonyos esetekben az önvezető járművek már most is képesek felismerni és helyesen reagálni rá. De fontos azt felülvizsgálni, hogy mi az a minimális műszaki tartalom, amely mind az autonóm jármű és az ember számára is egyértelmű.

De fontos megemlíteni azt is, hogy önmagukban mindegyik forgalomcsillapítási eszköz hatása kisebb, mind azok komplex, közös használata, ami miatt általában vegyesen érdemes használni azokat [14].

## 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] KOREN, Csaba, IVÁN, Gabriella. 2012: Az út képének hatása a sebességválasztásra külterületi utakon, Magyar Tudomány 173/7, 48-55. Budapest
- [2] SAE 2014: Automotive: Taxonomy and Definitions fo Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, Report J3016\_201401, 16. January 2014.
- [3] SCHOETTLE, Brandon, 2017: Sensor Fusion: A Comparison of Sensing Capabilities of Human Drivers and Highly Automated Vehicles, The University of Michigan Sustainable Worldwide Transportation Report, pp.: 1-42.
- [4] ILAS, Constantin, 2013: Perception in autonomous ground vehicles. International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Doi: 10.1109/ECAI.2013.6636180
- [5] SCHLADOVER, Steven E. 2016: The Truth About „Self-Driving” Cars, Sciectific American.com/magazine/sa, pp.: 53 – 57, June 2016.
- [6] MAÚT, 2017: A közúti forgalom csillapítása (A KTSZ kiegészítése), e-UT 03.02.12 (ÚT 2-1.207), Magyar Út- és Vasúti Társaság
- [7] FLORY, J. K. 2008: American Cars, 1946-1959 Every Model Every Year, McFarland @ Company Inc. Publisher, ISBN 978-0-7864-3229-5.
- [8] GARRICK N. W. 2011: Speeds and street design result UConn and UCD, Highway design class, University Lecture, University of Connecticut
- [9] FERNÁNDEZ, C. et al. 2014: Road curb and lanes detection for autonomous driving on urban scenarios, 2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp.: 1964-1969.
- [10] PETTERSON, H. E. 2013: Bullerremсор. Effektmätningar vid två anläggningar, VTI Report 2013, Linköping, Sweden
- [11] EWING, R. 2001: Impacts of Traffic Calming, Surface Transportation Policy Project, 2001
- [12] DEVAPRIYA, W. et al. 2016: Real Time Speed Bump Detection using Gaussian Filtering and Connected Component Approach. IEEE Sponsored World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (WCFTR'16)
- [13] FERNÁNDEZ, M. et al. 2012: Free Space and Speed Humps Detection Using Lidar and Vision for Urban Autonomous Navigation, 2012 Intelligent Vehicle Symposium, Alcalá de Henares, Spain, pp.: 1-6, 3-7 June 2012
- [14] GALANTE, F. et al. 2010: Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment, Accident Analysis and Prevention, Volume 42, pp.: 1585-1594.