

Az autonóm járművek és a biztonságos közúti infrastruktúra

Az önvezető járművek fejlesztésével és állományuk növekedésével összefüggésben egyre inkább felvetődik az új járművek és az azokat kiszolgáló infrastruktúra viszonya. Ezért különösen fontos, hogy napjaink egyik jelentős és a közlekedést közvetlenül érintő kérdésével a tudomány minél intenzívebben foglalkozzon.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.3.1>

Dr. Borsos Attila – Dr. Koren Csaba

Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék
e-mail: borosa@sze.hu, koren@sze.hu

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években az önvezető (autonóm) járművek fejlesztése jelentős előrehaladást ért el. Az útjainkon közlekedő járművek egy része már rendelkezik bizonyos autonóm funkciókkal. Keveset lehet azonban hallani az autonóm járművek és a közúti infrastruktúra viszonyáról, vagyis arról, hogy támasztanak-e különös igényeket az autonóm járművek a hagyományos infrastruktúrával szemben, és hogy kell-e útjainkon valamiféle beavatkozásokat tervezni az autonóm járművek zavartalan és biztonságos közlekedése érdekében. Ezen témakörök vizsgálata során tekintettel kell lenni arra, hogy

- az autonóm járművek fejlettségi szintje csak fokozatosan növekszik, és
- a hagyományos és az autonóm járművek jó ideig együtt közlekednek útjainkon.

Az autonóm járművek fejlesztésével kapcsolatban többféle kutatási irány létezik.

Az egyik irány szerint a járműveknek kell minél okosabbnak lenniük, hogy önállóan közlekedni tudjanak mindenféle szituációban. Ezen

a területen nagyon sok előrelépés történt, a járművek szenzorai, a beléjük épített mesterséges intelligencia képességei sokat fejlődtek. Itt a korlátot megítélésünk szerint az jelenti, hogy a tanítás jól definiálható környezetre korlátozódik, olyan helyszínekre, amelyeknek vannak határaik, vannak a mozgásnak játékszabályai (van út, annak van széle, van forgalmi sáv, annak van iránya stb.). Továbbá alkalmassá lehet tenni járműveket nem jól definiált útra (pl. földúton) vagy természetes terepen történő navigálásra is, vannak ezt célzó katonai alkalmazások.

A fejlesztés másik iránya a digitális infrastruktúrát jelenti. Ebbe beleértjük a digitális térképeket, az ezekre támaszkodó navigációs rendszereket, a járműveken belüli vagy kívüli tájékoztató rendszereket, az infrastruktúra-jármű (I2V) és a jármű-jármű (V2V) kommunikációt. Ezen a területen is óriási előrehaladás történt az elmúlt évtizedben. Ennek az iránynak a képviselői azt mondják, hogy az okos utak elterjedése és a nagy felbontású (HD) digitális térképek alkalmazása a megoldás kulcsa. Itt a korlátok megítélésünk szerint egyrészt térbeliek (sikerül-e és mikorra minden

utat okossá tenni), másrészt időbeliek (sikerül-e valós időben rögzíteni pl. minden csőtörés miatti útlezárást stb.) és ha igen, akkor ez milyen erőforrásokat igényel.

A fent említett korlátok arra mutatnak rá, hogy harmadik irányként a hagyományos fizikai infrastruktúrának is helye van az autonóm járművekkel kapcsolatos gondolkodásban. Eddig kevés olyan irányú kutatás látott napvilágot, hogy a jelenlegi közúti infrastruktúra mennyiben alkalmas az autonóm járművek közlekedésére, hogy lehet-e, kell-e az infrastruktúra bizonyos jellemzőit változtatni annak érdekében, hogy a várhatóan még hosszú ideig együtt élő hagyományos és autonóm járművek közlekedése minél zavartalanabb legyen.

Az utóbbi időben néhány kutató elkezdett foglalkozni ezzel a témával. Farah (TU Delft) egy Budapesten tartott előadásában és írott publikációjában is [1] foglalkozott a digitális és a fizikai infrastruktúra jelenlegi helyzetével. Munkatársaival megállapították, hogy a digitális infrastruktúrával számos kutatás foglalkozik, viszont a fizikai infrastruktúrát tekintve hiány mutatkozik. Ezt figyelembe véve Hollandiában ötletbörzét tartottak különböző tudományok képviselőivel és összeállítottak egy témalistát a jövőben javasolt kutatási irányokkal.

A magyar viszonyokat Egyházy „térképezte föl”, javasolva a gyorsan fejlődő IT megoldások és a sok tapasztalatot magukba foglaló hagyományos úttervezési előírások integrációját [2]. Még nem túl sok, de vannak már publikált példák az autonóm járművek és a hagyományos infrastruktúra konfliktusaira [3].

Tanszékünkön 2019 óta egy kutatási témacsoport művelése folyik, amelyben az autonóm járművek és a közúti (fizikai) infrastruktúra kapcsolatával foglalkozunk. A munka egy tématerkép felállításával kezdődött. Ebben öt témacsoportot definiáltunk: úttervezés, érzékelés, pályaszerkezet, védtelen közlekedők és egyéb témák. A témacsoportokon belül több témát azonosítottunk, ezek közül ismertünk néhányat.

2. ÚTTERVEZÉS

Az úttervezésben alkalmazott számos elv és paraméter (pl. a vízszintes és függőleges ívek sugara, az oldalesés, a látótávolságok) járműdinamikai megfontolásokon és/vagy emberi képességeken (pl. reakcióidő) alapulnak. Az autonóm járművek tulajdonságai viszont eltérőek a fentiektől. Ebben a fejezetben ezeknek az eltéréseknek a lehetséges következményeivel foglalkozunk.

2.1. Vonalvezetés

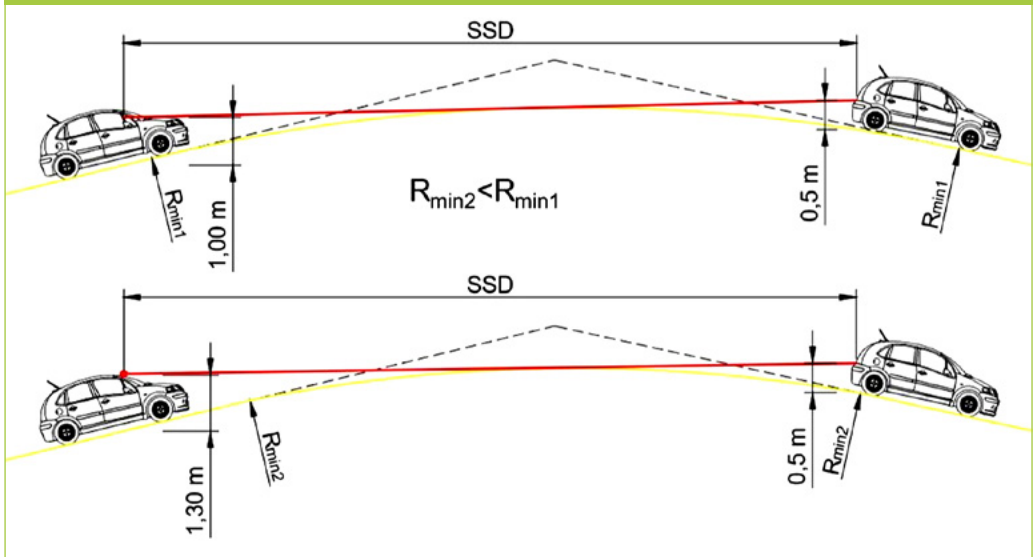
A jelenlegi úttervezési paramétereket meghatározó tényezők a járművek fizikai tulajdonságai, a járműdinamika, a vízvezetés, a forgalomnagyság, a járművezetők fizikai és idegi képességei, a komfort és a biztonság. Az autonóm járművek elterjedésével ezen tényezők némelyike változik, egyesek jobban, mások kevésbé. A jövő járművei más követelményeket állíthatnak az utakkal szemben [4].

A várható legjelentősebb változás, hogy az emberi szemet helyettesítő szenzorok nem szemmagaságban helyezkednek el (a járművön belül vagy azon kívül), továbbá az emberi szem és a szenzorok pontossága között is vannak különbségek. Ha a szenzorok magasabban vannak, mint eddig a járművezető szeme volt, adott vízszintes és magassági vonalvezetés esetén a jármű messzebbre lát el (*1. ábra*). Az autonóm jármű kisebb reakcióidejéből adódóan az „ő” megállási látótávolsága is csökken. Ebből azonban nem következik azonnal, hogy elegendő kisebb vízszintes és magassági ívsugarakat alkalmazni, hiszen a hagyományos és az autonóm járművek még jó ideig együtt közlekednek. Az viszont kutatás tárgyát képezheti, hogy a jövőben esetleg bevezetendő, csak autonóm járművek számára fenntartott utakon/forgalmi sávokon milyen geometriához milyen megengedett sebesség tartozzon.

2.2. Csomópontok

Az úthálózatnak ezeken a különösen veszélyes pontjain mind az emberi járművezetőknek, mind az autonóm járműveknek jóval több in-

1. ábra: A magasabbra helyezett érzékelő kisebb sugarú domború ív esetén is kellő távolságra elláthat



formációt kell gyűjteniük a környezetükből, mint folyópályán. Ebben a helyzetben is különbözőek a hagyományos és az autonóm járművek tulajdonságai.

2.2.1. Láthatóság a csomópontokban

A jelzőtáblával szabályozott csomópontokban a láthatósági követelmény abból adódik, hogy az alárendelt irányból érkező jármű vezetőjének a főirányban érkező járművek között bizonyos minimális időre van szüksége ahhoz, hogy biztonságosan tudjon keresztezni (becsatlakozni). Ebből az időből és a főirányban közeledő jármű sebességéből kiszámítható, hogy milyen messzire kell ellátnia az alárendelt irányból érkező jármű vezetőjének.

Az autonóm járműnek itt is előnye a gyorsabb reakcióideje, ennél fogva kisebb a számára szabadon tartandó látómező. A szenzorok viszont ebben a helyzetben nem feltétlenül nyújtanak jobb eredményt az emberi szemnél. Mint azt eddigi kutatásaink mutatják, a szenzorok jobbak a távolság becslésében, viszont az emberi szem szögfelbontása jobb a jelenleg alkalmazott szenzorokénál. A bizonyos

esetben kritikusnak tekinthető 200 m körüli távolságból pl. az emberi szem meg tudja különböztetni a közeledő jármű két fényszóróját, míg a szenzor csak egy pontot lát. Előnye van viszont az autonóm járműnek a ferde szögű csomópontokban, mivel itt a járművezetőnek bizonyos esetekben kényelmetlenül nagy szögben kell elfordítania fejét, ami észlelési problémákat okozhat, míg a szenzor látómezeje akár 360 fokok is lehet. Ebben a témában részletesebben lásd: [5].

2.2.2. Körforgalmak kapacitása

Ismeretes, hogy a körforgalmú csomópontok kapacitását a geometriai jellemzőkön kívül a gyalogosok és kerékpárosok jelenléte is befolyásolja. A városi körforgalmak kapacitákszámítása országoként változó, egyes helyeken figyelembe veszik a gyalogosokat és kerékpárosokat, máshol nem. A konfliktus-helyzetek is különbözőek, létrejöhetnek ilyenek a bejáratnál és a kijáratnál is, utóbbi esetben visszaduzzasztást okozva a körforgalomban. Az egyes országok gyakorlata azért is különbözik egymástól, mert a gyalogosok és kerékpárosok, valamint a gépjárművezetők közötti elsőbbség-érvényesítési és udva-

riassági viszonyok országonként – de még egy országon belül is - jelentős különbségeket mutatnak.

Külföldön már készültek olyan publikációk, amelyek az autonóm járművek hatását vizsgálták a körforgalmak forgalomlefordulási és biztonsági jellemzőire [6]. Kevésbé foglalkoztak viszont azzal, hogy a fentebb leírt konfliktusok hogyan változnak az autonóm járművek megjelenésével és ez hogyan befolyásolja a kapacitást.

A jelenlegi hazai műszaki előírás foglalkozik ugyan a gyalogosok kapacitáscsökkentő hatásával, de több ponton hiányosan. Ennek a kutatási témának a célja tehát 1) korszerűsíteni a körforgalmak kapacitászámítási módszerét az összes úthasználó figyelembevételével és 2) szimulációval megvizsgálni azt, hogy az autonóm járművek különböző elterjedési arányuk esetén hogyan befolyásolják ezeket az eredményeket.

2.2.3. Változások a jelzőlámpás csomópontok kialakításában

A jelzőlámpás csomópontok geometriai kialakítása és kapacitászámítása (pl. a stopvonalak és a jelzőfejek elhelyezése, vagy a követési időközök) a járművezetők képességeit veszik figyelembe. Az autonóm járművek terjedésével a fejlettebb érzékelési és kommunikációs módszerek következtében ezen paraméterek változhatnak [7]. Ennek lehetséges következményei a kisebb csomóponti mag, a stopvonalak áthelyezése, a forgalmi sávok számának változása, rövidebb követési időközök, növekvő kapacitás, jobb szolgáltatási színvonal (több zöldidő) a gyalogosoknak és kerékpárosoknak, V2I kommunikáció stb. A kutatás ezen részének célja a lehetséges változások azonosítása az autonóm járművek különböző elterjedése esetére. Nem foglalkozunk viszont az irányítás kérdéseivel, azt mások részletesen tárgyalják [8].

2.3. Keresztmetszet

A keresztmetszet az egyes útkategóriák fontos jellemzője. Jelentős hatása van a kapacitásra és

a kialakuló sebességre is. A kapacitást lényegében a forgalmi sávok száma határozza meg.

2.3.1. A forgalmi sávok szélességének felülvizsgálata

A forgalmi sávok jelenlegi szélességét a járművek szélessége, sebessége és a járművezetők sávtartó-képessége határozták meg. Az autonóm járművek – ideértve a sávtartó asszisztenssel felszerelt még nem autonóm járműveket is – sokkal pontosabban képesek követni a sáv tengelyét, ezért a jövőben a forgalmi sáv szélességének megállapításánál a járműméret lesz a meghatározó. A sáv szélességet azonban egészen addig nem lehet csökkenteni, ameddig hagyományos járművek is forgalomban vannak. A teljes útpálya szélesség csökkentése azonban kérdéses, mert az autonóm járművekkel a közlekedési igény várhatóan nő (gyerekek és idősek, mozgásukban korlátozott személyek stb.) [9]. E témában azt a célt tűztük ki, hogy meghatározzuk azokat az utakat vagy autonóm jármű forgalom nagyságokat, ahol az út csökkentett sáv szélességgel is működtethető.

2.3.2. A szolgáltatási szintek felülvizsgálata

Az autonóm járművek egymáshoz közelebb képesek haladni (kisebb követési távolsággal, nagyobb sűrűséggel), sebességeloszlásuk homogénebb. Ennek eredményeképpen nagy forgalomban kevesebbszer alakulnak ki lökés hullámok és torlódások, csökken az idővesztés, ami a szolgáltatási szint fontos tényezője.

Az idővesztések meghatározása jelenleg ritkán vagy csak indirekt módon, a forgalom nagyság alapján, becsléssel történik. A jövőben a fejlett V2I kommunikáció eredményeképpen az autonóm járművek mozgásáról nagy mennyiségben lesznek elérhető, jó minőségű adatok. Ezeket az adatokat a forgalmi elemzésekhez jól lehet majd használni.

A járművek helyigényének és mozgási jellemzőinek változása megváltoztatja a jelenleg használt egységjárműsorozókat és a fundamentális diagramokat. Ezek új kutatási feladatokat jelentenek.

2.4. Útszakaszok

Ebben a fejezetben az útszakaszokkal kapcsolatos néhány téma-kezdeményt ismertetünk.

2.4.1. Váltakozó irányú forgalmi sávok

A váltakozó irányú forgalmi sávok lehetővé teszik az út keresztmetszetének jobb kihasználását. Ez különösen elővárosi szakaszokon lehet érdekes, ahol nagyarányú az ingázó forgalom. Az ilyen sávok kijelölésénél több tényezőt kell figyelembe venni: a csomópontok elhelyezkedését, a közöttük lévő távolságot, a megengedett csomóponti forduló mozgásokat, az összehangolást, a forgalomnagyságokat, valamint az irányok és váltásuk jelzését. Ezen tényezők némelyike változhat a jövőben: a jelzés egyszerűbb lehet az I2V kommunikációval, több sávot lehet megfordítani stb. Itt a kutatási kérdés az, hogy az autonóm járművek megjelenésével milyen feltételek szükségesek a váltakozó irányú forgalmi sávok szélesebb körű alkalmazásához?

2.4.2. Sebességprofilok és ajánlott sebességek

A sebesség alapvető jelentőségű a forgalom-biztonságban [10]. Az út tervezési sebessége, a táblával jelölt megengedett legnagyobb sebesség, a valóságos sebesség és a járműdinamikailag megfelelő sebesség sok esetben nem azonos. Hogyan biztosítsuk azt, hogy az autonóm jármű a biztonságos sebességgel haladjon? A biztonságos sebességet általában nem jelzik az utakon sebességkorlátozó táblákkal, továbbá a szenzorok által közvetített kép sem ad elég információt. A kutatás azzal foglalkozik, hogy az út paramétereire alapján milyen ajánlást lehet adni az autonóm jármű számára a biztonságos sebességről. A legfontosabb figyelembeveendő paraméterek: vízszintes és magassági vonalvezetés, oldalesés viszonyok, szabad látótávolság, burkolatfelületi jellemzők, időjárási viszonyok. A többi jármű jelenléte nyilván mindezt még befolyásolja.

2.4.3. Előzésre alkalmas szakaszok

Úttervezési előírásaink szerint a 2x1 sávok utak hosszának bizonyos hányadán meg kell

lennie az előzési látótávolságnak. Ennek a kritériumnak a meglévő utak nem mindig felelnek meg. Az előzésre alkalmas szakaszok a szolgáltatási színvonalat emelik, de ugyanakkor veszélyforrást is jelentenek. Az előzési igények a járművek kívánt sebességének inhomogén eloszlásából fakadnak. Az autonóm járművek megjelenésével a sebességek várhatóan homogénebbek lesznek, ezért az előzési igény csökken, de nem szűnik meg. Több lesz az oszlopban haladó jármű, ezek megelőzése a nagyobb előzési úthossz miatt kockázatosabb. Külön vizsgálatot igényel az oszlopban haladó autonóm, ill. összekapcsolt járművek közé történő visszatérés az előzés befejezésekor. Honnan tudjuk, hogy ilyen oszlopot előzünk hagyományos járművel? Beengednek-e az autonóm / összekapcsolt járművek maguk közé a visszatéréskor? Fentiek alapján az előzésre alkalmas szakaszok, ill. előzési tilalmak újra-definiálására lesz szükség. A kutatás ennek kritériumait kívánja vizsgálni.

3. ÉRZÉKELÉS, ÉSZLELÉS

Az autonóm járművek jórészt szenzorok segítségével gyűjtik az információkat, amiket aztán döntéseikhez felhasználnak. A szenzorok képességei eltérnek az emberi szemétől. Ennek jelentősége más és más lehet az érzékelendő objektumoktól függően.

3.1. Jelzőtáblák és útburkolati jelek

Elterjedésük időszakában és a hagyományos járművekkel való együttélés során az autonóm járműveknek szükségük van a jelzőtáblák és útburkolati jelek megbízható felismerésére és megértésére. A jelzésrendszernek egyértelműnek és egységesnek kell lennie. Ezeket az elveket a Bécsi Közlekedési Egyezmény már 1968-ban deklarálta [11], de a gyakorlatban számos példát találunk az egyes országok közötti eltérésekre. A „Közúti Infrastruktúra Biztonsági Kezeléséről” szóló irányelvet módosító 2019/1936 sz. EU irányelv [12] pedig új elemként hangsúlyozza, hogy „egységes előírásokat kell megállapítani az útburkolati jelek és közúti jelzések járművezetők és automatizált vezetéstámogató rendszerek általi tényleges olvashatóságának és észlelhetőségének támogatása céljából.”

A jelzőtábla-felismerő rendszert manapság már számos gyártó kínálja a közepes kategóriájú járműveiben. Egyes kutatások egyre jobb eredményekről, akár 99%-os megbízhatóságról számolnak be [13]. Nem esik azonban szó a bonyolult, esetleg egymásnak ellentmondó információkat tartalmazó, vagy nem szabványos jelzések kezeléséről.

Egy friss EU-projekt a jelzőtáblák és a burkolati jelek minőségével és az autonóm járművek általi észlelhetőségével foglalkozott [14]. A burkolati jelek szerepe annyiban is fontos, hogy a sávtartást segítő rendszerekhez ezek adják az alapvető információt. Megállapították, hogy a burkolati jelek minőségén kívül a szélességüknek is jelentős szerepük van a biztonságos felismerésben. Ezért az eddigieknél szélesebb, 150 mm-es burkolati jelekre tettek javaslatot. Hasonló törekvések vannak az Egyesült Államokban is [15]. A jelzőtáblák észlelhetőségével magyar kutatás is foglalkozik [16].

3.1.1. Külön információ veszélyes helyeken

A burkolati jelek tekintetében azt érdemes vizsgálni, hogy a folyamatosan figyelt jelekhez képest milyen többlet-információval lehet az autonóm járművek közlekedését segíteni. A vonal szaggatása, a végződés kialakítása

többlet-információt adhat. Ezt az információt valamilyen, a burkolatba helyezett jeladókkal is lehet közvetíteni pl. a sáv megszűnéséről, a tilosba való behajtás elkerüléséről.

Érdeemes foglalkozni az autonóm járművek számára kifejlesztendő speciális jelzőtáblákkal, amelyeken a szokásos tartalom mellett pl. QR-kóddal is át lehet adni az információkat.

3.1.2. Észlelhetőség rossz időjárási viszonyok között

A rossz időjárási viszonyok (intenzív eső, havazás, havas-jeges útburkolat, köd) nehezítik vagy lehetetlenné teszik a jelzőtáblák vagy a burkolati jelek érzékelését. A kutatás arra irányul, hogy ezek az események milyen jellemzőikkel jelentenek konkrét látáshatósági problémákat, és ilyen esetekben jelezni tudjunk az autonóm járműveknek.

3.2. Közúton folyó munkák

Az ideiglenes útelkorlátozások kialakításának nagy változatossága következtében ezek felismerése és a követendő magatartás meghatározása a járművezető számára bonyolult feladat, így feltételezhetően az autonóm jármű számára is az (2. ábra). A kutatás célja a járműveze-

2. ábra: Összetett útelkorlátozás



tők és az autonóm járművek számára közvetítendő információk azonosítása. További cél azon helyzetek és pontok azonosítása, amikor az autonóm jármű még képes az önálló navigálásra, majd, ahol az elrendezés bonyolultsága azt igényli, hogy a járművezető bizonyos ponton átvegye, illetve a kritikus szakasz végén visszaadja az irányítást.

Az eddigi kutatások azt mutatták, hogy a terelőkúpok sűrű sora, a nagyméretű táblák és a villogó fények hatékonyan tájékoztatják a vezetőt a terelésben követendő útvonalról. Ezen a helyeken különösen kerülendők a sok szöveget vagy ellentmondásos információkat tartalmazó táblák.

A további kutatás itt konkrét helyszíneken felvett fényképek és videók elemzését tűzi ki célul. Kísérleti személyek értékelik a különböző kialakításokat, képfelismerő szoftverrel is vizsgáljuk azokat, majd kiválasztjuk a jó és rossz megoldásokat.

3.3. Forgalmcsillapító eszközök

A forgalmcsillapítás az elmúlt 10-15 évben a közlekedéstervezés egyre fontosabb kérdésévé vált. Városi lakóutcáinkban egyre gyakoribbak a különböző sebességsökkentő műszaki elemek (sávelhúzások, szűkítések, forgalmcsillapító bordák, pódium-szerű gyalogátkelőhelyek stb.). Ezek az intézkedések a korlátozásokkal kapcsolatos szokásos fenntartások ellenére egyre elfogadottabbá válnak.

Az úttal foglalkozó mérnökök sok esetben nem tudják azt, hogy az emberek hogyan viselkednek egy-egy adott útkialakítás esetén, hiszen például a forgalmcsillapító elemek használatára nincs egységes gyakorlat, számtalan sok egyéni megoldás létezik (3. ábra). A kutatás ezért azt irányozza elő, hogy járművezetők és kísérleti autonóm járművek viselkedését elemezze a valóságban tapasztalt és a virtuális valóságban (VR) szimulált forgalmcsillapítási helyzetekben. Az elemzésből meghatározható a könnyebben és nehezebben értelmezhető helyzetek, amelyek alapján ajánlásokat lehet tenni a forgalmcsillapító intézkedések egységesebb kialakítására, tervezési útmutató formájában [17].

3. ábra: Szelektív forgalmcsillapító eszköz



3.4. Az útpálya szélei

Lakott területen belül az útpálya szélét általában nem folytonos burkolati jel adja, hanem kiemelt, ferde vagy süllyesztett szegély. Gyakran alkalmazunk eltérő anyagú (pl. térkő) vagy színű burkolatot a különböző úthasználók szétválasztására. Ezeket a járművezetők általában jól felismerik, de az autonóm járművek számára nehézséget okozhatnak. Külön vizsgálatot igényelnek a közös használatú útfelületek (pl. lakó-pihenő övezetben), ahol nincsenek egyértelmű elhatárolások a különböző résztvevők között. A kutatás itt az autonóm járművek számára elérhető információk azonosításával foglalkozik, majd a szóban forgó burkolatfelületek, útszélek kialakítására tesz javaslatot, amelyek az autonóm járművek számára is értelmezhetőek.

A kutatás a járművezetők viselkedésének videóelemzésen alapul. Megfigyelhetőek lesznek a szegélyektől és akadályoktól tartott távolságok, a különböző felületek használata. Ezek alapján javaslatokat lehet tenni egyrészt az autonóm járművek által követendő viselkedésre, másrészt az útszélek és egyes használatú burkolatok követendő és kerülendő kialakítására.

4. PÁLYASZERKEZET-MÉRETEZÉS

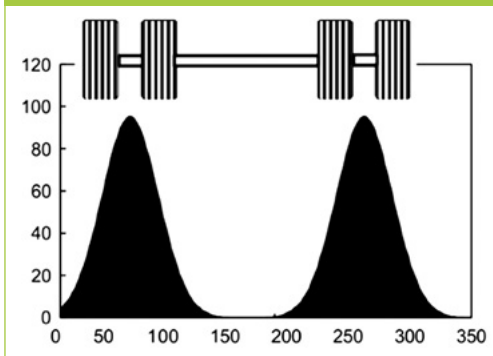
Az autonóm járművek – elsősorban munkaerő-kiváltásii okokból – a pályaszerkezetet legjobban igénybevevő tehergépkocsik között is megjelennek. Au útpályaszerkezet igénybevétele szempontjából két hatást érdemes vizs-

gálni. Egyrészt a kerékkerhelések oldalirányú „vándorlását”, másrészt az összekapcsolt járművek sűrűn egymás után, szabályos időközönként áthaladó tengelyei hatását.

4.1. A tengelyek oldalirányú vándorlása

A tehergépjárművek mozgás közbeni oldalirányú sávon belüli vándorlása az egyik olyan alapvető és meghatározó változó, amelynek hatása van a pályaszerkezetre. A hagyományos tehergépjárművekről ismert tény, hogy ezen járművek sávon belüli vándorlása normál eloszlás szerinti (4. ábra). Azonban az autonóm járművek képesek a sávban, egy adott pozícióban haladni, amihez kisebb sáv szélesség is elegendő lehet. Ugyanakkor ennek a hatásnak köszönhetően úgynevezett csatornázott terhelés keletkezik, ami felgyorsítja a pályaszerkezetben a nyomvályúk kialakulását és a pályaszerkezet anyagi kifáradását [18], [19].

4. ábra: Nehéz járművek oldalirányú helyzetének gyakorisága



A kutatás során vizsgáljuk a különféle sáv-tartási viselkedések hatását. Az első vizsgált sáv-tartási módszer a „zero wandering”, tehát amikor a teherautók vasútszerűen, egy nyomvonalon közlekednek. Ezt a módot kezdetben különböző járműgyártók terveztek és alkalmazták a szomszédos járművek biztonságos távolságának megtartásának céljából. A második típus az egyenes vándorlási mód, amiben az autonóm járműveket úgy programozzák, hogy a sáv teljes, felhasznál-

ható szélességét vegye igénybe annak érdekében, hogy csökkentsék a pályaszerkezetre jutó terhek koncentrációját. A harmadik vizsgált típus a normál eloszlásszerű, ami a jelenlegi ember által irányított járművekre jellemző.

4.2. A vonat-hatás

Az autonóm tehergépkocsik pályaszerkezetre gyakorolt másik lehetséges hatása a sebességből és a járművek közötti követési távolságból adódik. A járművek sebessége befolyásolja a kerék és az útfelület érintkezésének időtartamát. A terhelés frekvenciája jelentősen befolyásolja azt, hogy rugalmas vagy maradó alakváltozás keletkezik. Az összekapcsolt járművek sűrűn egymás után, szabályos időközönként áthaladó tengelyei sajátos fárasztási igénybevételnek teszik ki az útpályaszerkezetet. Ebből adódóan fennáll az a lehetőség, hogy a tehergépkocsik sebességének és követési távolságának szabályozásával befolyásolni tudjuk a pályaszerkezet fáradási folyamatát.

A kutatás során a külföldi eredményeket a gyakori hazai teherkombinációk, pályaszerkezet-típusok és klimatikus viszonyok figyelembevételével, helyszíni mérésekkel „honosítjuk” [20].

4.3. A burkolatba helyezett szenzorok

Jelenlegi pályaszerkezet-méretezési eljárásaink bemenő paraméterei nagyrészt becslésen alapulnak. A burkolatban elhelyezett érzékelőkkel valós adatok állnának rendelkezésre a pályaszerkezet igénybevételére, a fáradási folyamat lefolyására vonatkozóan. Itt a következő két kérdés merül fel [21].

- Milyen paramétereket rögzítsenek a szenzorok a pályaszerkezet viselkedésére vonatkozóan?
- Milyen tulajdonságokkal rendelkezzenek a szenzorok, hol, milyen sűrűn helyezkedjenek el, hogy feladatukat ellássák, de a pályaszerkezet tulajdonságait ne rontsák?

4.4. Vízköd-képződés

Vizsgálatok kimutatták (pl. [22]), hogy a kerék-pályafelület érintkezésénél keletkező vízködnek az autonóm járművek szempontjából is jelentősége van. A vízköd ugyanis ahhoz hasonlóan, ahogy az emberi látást is zavarja, akadályozhatja az autonóm járművek érzékelőinek működését is. Ez a téma is vizsgálat tárgyát képezheti a sebesség, az abroncs típus és a burkolattípus függvényében

5. A VÉDTELEN ÚTHASZNÁLÓK SZEMPONTJAI

Az autonóm járművek fejlesztésében sokat foglalkoztak a gyalogosok és kerékpárosok észlelésével. Bár sok előrelépés történt, de vannak még hiányosságok, pl. a rossz időjárási viszonyok közötti érzékelés [23].

A gyalogosok és kerékpárosok viselkedése alapvető fontosságú az autonóm járművekkel való találkozásukkor. Vizsgálatok szerint (pl. [24], [25]) a gyalogosok és kerékpárosok szeretik azt, ha kapnak valamilyen jelzést a járműből, hogy észrevették-e őket és mi az autó szándéka (5. ábra). Ezek a jelzések a humán gépjárművezetőknél sem egyértelműek, az autonóm járműveknél pedig még nem alakultak ki. További kérdés, hogy a gyalogosok és kerékpárosok hogyan reagálnak az autonóm járművekre, változnak-e a gépjárművekkel kapcsolatos elvárásaik.

5.1. Kommunikáció a gyalogosok és az autonóm járművek között

Léteznek vizsgálatok a gyalogosok és a gépjárművezetők közötti kommunikációs eszközökre vonatkozóan. Többen megállapították, hogy az úton átkelni kívánó gyalogos és a közeledő gépjárművezető között a szemkontaktus fontos eszköz [26]. Vajon milyen új kommunikációs igények jelennek meg a gyalogos és az autonóm jármű között?

Ebben a kutatásban azt vizsgáljuk, hogyan viselkedik az átkelni kívánó gyalogos, ha a közeledő gépjármű vezetője nem jelzi elsőbbségadási szándékát, vagy ha az autonóm (vagy annak álcázott) jármű pl. egy LED panelen tájékoztatja a gyalogost autonóm üzemmódról és elsőbbségadási szándékáról. Különböző LED információk, fény- és hangjelzések hatását vizsgáljuk a gyalogosok viselkedésére vonatkozóan. Vajon működnek-e ezek a kommunikációs eszközök, megértik-e a gyalogosok az autonóm jármű szándékát? Ezek a kutatási kérdések ebben a fejezetben.

5.2. Kommunikáció a kerékpárosok és az autonóm járművek között

A kerékpárosok a gyalogosokhoz hasonlóan kommunikálnak a gépjárművezetőikkel. A szemkontaktusnak, kézjeleknek, más nemverbális eszközöknek itt is fontos szerepük van. Különbség viszont, hogy a kerékpárosok sokkal nagyobb sebességgel közlekednek, mint a gyalogosok, még lakott területen belül is. Továbbá az elsőbbségi szabályok sem olyan egyszerűek a kerékpáros keresztezéseknél, mint a gyalogosoknál: egyes esetekben a kerékpárosnak van elsőbbsége, máskor a gépjárműnek. Ez bizonytalanságot okoz a közlekedőkben.

5. ábra: Honnan tudom, hogy átgenged-e az önvezető jármű?



Ebben a kutatásban az előző fejezetben említett LED-panelt és hangjelzést fogjuk vizsgálni, mint a kerékpáros és az autonóm jármű közötti kommunikáció eszközeit.

5.3. A gyalogosok magatartás-adaptációjának hatása az út kapacitására

Az autonóm járművek bevezetésének legfőbb indoka a biztonság növelése. Ebből kifolyólag úgy vannak/lesznek programozva/tanítva, hogy a gyalogosokat védjék, azoknak minden esetben elsőbbséget adjanak. Ennek a helyzetnek az lehet a következménye, hogy a gyalogosok – tudván kivételezett helyzetüket – megváltoztatják eddigi óvatos magatartásukat és bátrabban lépnek a közeledő autó elé, vagy tetszőleges helyen átkelnek az úton. Ennek következtében az autonóm járművek hátrányt szenvednek, az út kapacitása csökken [27].

Az altéma kutatási kérdései a következők. Mennyivel csökken az egyes úttípusok kapacitása a gyalogosok magatartás-változásának hatására [28]? Lehet-e a gyalogos mozgásokat a kijelölt gyalogátkelőhelyekre korlátozni? Milyen eszközök képzelhetők el ennek a problémának a kezelésére?

6. EGYÉB TÉMÁK

Ebben e fejezetben néhány további téma-ötletet fogalmazunk meg.

6.1. Dinamikus útadatok és útmenti egységek

Az útmenti kommunikációs egységek jelentik a jármű – infrastruktúra (V2I-I2V) kapcsolat egyik oldalát. Ezek az egységek részletes tájékoztatást adnak az útkörnyezetről, beleértve a valós idejű tájékoztatást olyan eseményekről, mint pl. a közelben lévő megkülönböztetett jelzését használó jármű, baleseti helyszín, csomóponti tájékoztatás, torlódási sor végéhez közeledés, lassú járműre figyelmeztetés [29].

Az infrastruktúra oldaláról az a feladat, hogy meghatározzuk az útmenti egységek elhelyezési szempontjait és a továbbítandó információk típusát. Itt a dinamikus adatok

nélkülözhetetlenek, például az úton folyó munkák, burkolatállapot, időjárási viszonyok.

6.2. Forgalmi konfliktus elemzés az autonóm járművek adatainak felhasználásával

Ez a témarész kifejezetten biztonságközpontú. Abból indul ki, hogy a konfliktusok gyakrabban fordulnak elő, mint a balesetek és ezért hatékonyan lehet azokat használni az elemzésben [30]. A majdnem-balesetek elemzése az utóbbi időben nagy lendületet kapott, különösen a képfeldolgozó és trajektória-elemző módszerek fejlődésének eredményeképpen. Az utóbbi években számos helyettesítő biztonsági mérőszámot definiáltak a forgalombiztonság minősítésére [31]. Ezek a mérőszámok az ütközés „közelségét” jellemzik időben vagy térben. A kutatásban az adott helyszínen, valós forgalomban közlekedő járművek adatait kívánjuk használni [32]. Ezeket elemezve kifejleszthetők a hagyományos és autonóm járművek közötti konfliktusok speciális mérőszámai.

6.3. Az autonóm járművek településszerkezeti hatásai

Településeink közterületeinek jelentős részét parkoló járművek foglalják el. A parkolóhelyekre kényelmi szempontokból többnyire az utazások kiindulási, ill. végpontjainál koncentráltan van igény. Az autonóm járművek megjelenésével a parkolóhely és a célpont távolabb is eshet egymástól, hiszen utasát a célpontnál kiteve az autonóm jármű önállóan elmehet a távolabbi parkolóhelyig és ott várakozhat, amíg utasa nem hívja. Ezt a folyamatot a megosztott járművek elterjedése további érdekek alapján módosíthatja. Mindenesetre érdemes lehet megvizsgálni, hogy az autonóm és megosztott járművek elterjedésének különböző fázisaiban csökken-e a parkolási igény, és/vagy az igény kielégítése áthelyeztető-e olyan helyszínekre, amelyek olcsóbbak, kevésbé kihasználtak [33].

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk az autonóm járművek közlekedését az út oldaláról vizsgáló kutatási témacsomagot ismerteti, ú.m.: úttervezés, érzékelés, pályá-

szerkezet, védtelen közlekedők, egyéb témák. Egyes témák művelése folyamatban van, mások ezután kezdődnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Tématerületi Kiválósági Program TUDFO/51757/2019/ITM azonosítószámú pályázata „Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása a Széchenyi István Egyetemen” projektjének támogatásával készült.

A munkában a szerzőkön kívül részt vevő kollégák: Horváth Zsolt, Magyarai Zsófia, Dr. Makó Emese, Dr. Miletics Dániel, Mohammad Fahad, Nagy Richárd, Dr. Szakonyi Petra, Szücs Gergely.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Farah, H., Erkens, S., Alkim, T., van Arem, B. (2018). Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Directions. in: G. Meyer and S. Beiker (eds.), Road Vehicle Automation 4, Lecture Notes in Mobility. Springer International Publishing AG, DOI: <https://doi.org/f9vk>
- [2] Eghházy Z. (2019). Az „okos út” és az autonóm járművek alkalmazásához szükséges közúti infrastruktúra környezet kialakítása. MSC diplomamunka. Széchenyi István Egyetem
- [3] Lengyel, H.; Tettamanti, T.; Szalay, Zs. (2020) Conflicts of Automated Driving With Conventional Traffic Infrastructure. IEEE ACCESS 8 pp. 163280-163297., 18 p. DOI: <https://doi.org/gjr2v9>
- [4] Khaska K., Miletics D. (2020). Do human driver-based road design parameters fulfil or overfulfil autonomous vehicles' requirements? In: Horváth, B.; Horváth, G. (szerk.) Proc. X. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, Győr, 2020. október 29-30.
- [5] Magyarai, Zs., Koren, Cs. (2019). Visibility requirements at intersections: A comparison of capabilities of human drivers and autonomous vehicles. Pollack Periodica, 14(3):63–74, DOI: <https://doi.org/f9vm>
- [6] Deluka Tibljaš, A., Giuffrè, T., Surdonja, S., Trubia, S. (2018). Introduction of Autonomous Vehicles: Roundabouts Design and Safety Performance Evaluation. Sustainability, 10, 1060. DOI: <https://doi.org/gdsd54>
- [7] Sohrweide T. (2018). Driverless Vehicles Set to Change the Way We Design Our Roadways, <http://www.sehinc.com/news/future-what-do-driverless-cars-mean-road-design>
- [8] Tettamanti T., Varga I. (2019). Az autonóm járművek forgalmi hatásai: a jármű- és forgalomirányítás kihívásai. Közlekedéstudományi Szemle 1. sz. pp. 35-41. DOI: <https://doi.org/f9vq>
- [9] Snyder R. (2018). Street design implications of autonomous vehicles, Public Square a CNU journal, <https://www.cnu.org/publicsquare/2018/03/12/street-design-implications-autonomous-vehicles>
- [10] Mocsári, T. (2012). A sebesség hatása a forgalombiztonságra. doktori disszertáció, Széchenyi István Egyetem
- [11] United Nations Economic Commission for Europe (1968), Vienna Convention on Road Signs and Signals, United Nations Publication, ISBN: 978-92-1-116973-7
- [12] European Commission (2019). Directive (EU) 2019/1936 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2019 amending Directive 2008/96/EC on road infrastructure safety management, Official Journal of the European Union L 305/1
- [13] Aziz, S., Mohamed, E. A., Youssef, F. (2018). Traffic Sign Recognition Based on Multi-feature Fusion and ELM Classifier, Procedia Computer Science 127, pp. 146–153 DOI: <https://doi.org/f9vr>
- [14] EuroRAP (2020). Saving Lives Assessing and Improving TEN-T Road Network Safety. D7.1: Quality of horizontal and vertical signs. <http://seafire.irap.org/f/04e11831ff664d88a7c5/>
- [15] National Committee on Traffic Devices (2019), “NCUTCD Proposal for Pavement Marking Standards for Automated Driving Systems,” Available: <https://ncutcd.org/wpcontent/uploads/Sponsor%20Comments/2019B/Attach04.19B-MKG-02.LineWidthforCAV.pdf>.
- [16] Lengyel; H., Szalay, Zs. (2018). Classification of Traffic Signal System Anomalies for Environment Tests of Autonomous Vehicles. PRODUCTION ENGINEERING ARCHIVES 19: 19. pp. 43-47. DOI:

- <https://doi.org/f9vs>
- [17] Koren, Cs.; Szűcs, G. (2020). Forgalmocsillapító eszközök: kihívások az autonóm járművek számára In: Péter, Tamás (szerk.) XIV. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia, Budapest, Magyar Mérnökakadémia, Paper 23.
- [18] Noorvand, H., Karnati, G., and Underwood, B. S. (2017). Autonomous vehicles: Assessment of the implications of truck positioning on flexible pavement performance and design, *Transp. Res. Rec.*, vol. 2640, no. January, pp. 21–28, DOI: <https://doi.org/f9vt>
- [19] Chen, F., Song, M., Ma, X., and Zhu, X. (2019). Assess the impacts of different autonomous trucks' lateral control modes on asphalt pavement performance, *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 103, no. March, pp. 17–29, 2019, DOI: <https://doi.org/f9vv>
- [20] Nagy R., Fahad M. (2020). Autonóm járművek sávtartásának hatása a pályaszerkezet méretezésre – irodalomkutatás. XXIV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia – ÉPKO pp. 117-121
- [21] Yang, S. (2014). Health monitoring of pavement systems using smart sensing technologies, Iowa State University, Graduate Theses and Dissertations. Paper 14247
- [22] Kabanovs, A., Garmory, A., Passmore, M., and Gaylard, A. (2018) Investigation into the dynamics of wheel spray released from a rotating tyre of a simplified vehicle model, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 184, no. November 2018, pp. 228–246, DOI: <https://doi.org/gjbtw2>
- [23] Vissers, L., Kint, S., Schagen, I., Hagenzieker, M. (2016). Safe interaction between cyclists, pedestrians and automated vehicles, The Hague, SWOV Institute for Road Safety Research, The Netherlands
- [24] Lagström, T., Malmstem Lundgren, V. (2015). Autonomous vehicles' interaction with pedestrians. An investigation of pedestrian-driver communication and development of a vehicle external interface. MSc Thesis. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden
- [25] Lundgren V.M. et al. (2017). Will There Be New Communication Needs When Introducing Automated Vehicles to the Urban Context? In: Stanton N., Landry S., Di Bucchianico G., Vallicelli A. (eds) *Advances in Human Aspects of Transportation. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 484. Springer, Cham DOI: <https://doi.org/gbvww6>
- [26] Salman S., Miletics D. (2020). Analysis of driver-pedestrian interactions at pedestrian crossings, In: Horváth, B.; Horváth, G. (szerk.) *Proc. X. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia*, Győr, 2020. október 29-30.
- [27] Botello, B., Buehler, R., Hankey, S., Mondschein, A., Jiang, Z. (2019). Planning for walking and cycling in an autonomous-vehicle future. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volume 1, 100012 DOI: <https://doi.org/gg68rw>
- [28] Phetoudom, S., Makó E. (2020). Pedestrian's behavioural adaptation to AVs and its effect on road capacity. In: Iványi, Péter (szerk.) *Abstract book for the 16th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium*. Pécs, Pollack Press, Paper: 78.
- [29] Commsignia (2020). Commsignia introduces new dual-radio roadside unit, Accessed February 10, 2020, <https://www.commsignia.com/news/commsignia-introduces-new-dual-radio-roadside-unit/>
- [30] Borsos A.; Farah, H.; Laureshyn, A.; Hagenzieker, M. (2020). Are collision and crossing course surrogate safety indicators transferable? A probability based approach using extreme value theory. *Accident analysis and prevention*, Paper: 105517 DOI: <https://doi.org/gjddz2>
- [31] Mahmud, S. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., and Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 2017. 41:153–163 DOI: <https://doi.org/gf9kms>
- [32] Kizawi, A., Borsos, A. (2020). Conflict analysis of vehicle-pedestrian interactions In: Iványi, Péter (szerk.) *Abstract book for the 16th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium*. Pécs, Pollack Press, Paper: 80
- [33] Gaál, B., Horváth, B. (2019): Autonomous cars and urban land use - city shaping force? In: Horváth, G.; Gaál, B.; Horváth, B. (szerk.) *Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia*, Győr.



Autonomous vehicles and safe road infrastructure

The development of automated vehicles showed a rapid pace in the recent past, however less attention has been paid to the implications of vehicle automation on safe infrastructure design. A research initiative addressing this gap entitled "Autonomous vehicles and safe road infrastructure" was launched in 2019. Five topic areas have been formed as follows: 1) Road design (certain design aspects of intersections, cross-section and road sections); 2) Detection and perception (road work zones, traffic calming devices, road edges, road markings, and traffic signs); 3) Pavement design (implications of AVs on pavement design); 4) Vulnerable road users (communication and behavioral adaptation); 5) Miscellaneous topics (e.g. conflict analysis). As a result of several brainstorming sessions involving researchers, road operators, vehicle engineers and IT scientists these broad areas have been broken down into specific research tasks. This paper gives an introduction of these research topics.



Autonome Fahrzeuge und sichere Straßeninfrastruktur

Die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge hat in der jüngsten Vergangenheit ein schnelles Tempo gezeigt, jedoch wurde den Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung auf die Sichere Infrastrukturplanung weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Eine Forschungsinitiative, die diese Lücke begeht, mit dem Titel "Autonome Fahrzeuge und sichere Straßeninfrastruktur" wurde 2019 ins Leben gerufen. Die Themenbereiche wurden wie folgt gestaltet: 1) Straßengestaltung (Knotenpunkten, Querschnitten und Straßenabschnitten); 2) Erkennung und Wahrnehmung (Straßenarbeitszonen, Verkehrsberuhigungseinrichtungen, Straßenränder, Straßenmarkierungen und Verkehrszeichen); 3) Fahrbahnbemessung (Auswirkungen von AVs auf die Fahrbahngestaltung); 4) Gefährdete Verkehrsteilnehmer (Kommunikation und Verhaltensanpassung); 5) Verschiedene Themen (z.B. Konfliktanalyse). Als Ergebnis mehrerer Brainstorming-Sitzungen, an denen Forscher, Straßenbetreiber, Fahrzeugingenieure und IT-Wissenschaftler beteiligt waren, wurden diese weite Bereiche in spezifische Forschungsaufgaben unterteilt. In diesem Beitrag werden diese Forschungsthemen vorgearbeitet.

