

Közúti infrastruktúra konfliktus-helyzete a magasan automatizált járművekkel

A közúti jelzések és a közlekedési infrastruktúra jelentősen befolyásolják a magasan automatizált vagy autonóm járművek viselkedését. Az automatizáltság azonban nem mindig jelent előnyt a jelenlegi közúti infrastruktúra vonatkozásában. Előfordulhat, hogy a magasan automatizált járművek szigorúbban betartják a közlekedési szabályokat, emiatt az önvezető funkciók váratlan beavatkozásokat hajthatnak végre a járművek haladása közben. Azonban ez sok esetben azért is jelenthet gondot, mert maguk a szabályok sem mindig megfelelők.

DOI 10.24228/KTSZ.2021.2.3

Lengyel Henrietta – Tettamanti Tamás – Szalay Zsolt

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépjárműtechnológiai Tanszék - Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék - Gépjárműtechnológiai Tanszék
e-mail: henrietta.lengyel@auto.bme.hu, tettamanti.tamas@kjk.bme.hu, zsoltszalay@auto.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A különféle vezetési segéd vagy más néven vezetési asszisztens („ADAS” – Advanced Driver Assistance System) funkciókkal ellátott járművek gyorsan elterjedtek az elmúlt évtizedben. Mítöbb, az ambiciózus cél az, hogy a következő 20-30 évben teljes mértékben önállóan tudjanak a közúti gépkocsik közlekedni. A magasan automatizált, autonóm járművek és a járművezetést segítő funkciók képesek lehetnek a baleseteket, levegő- és zajszennyezést csökkenteni. A legfrissebb adatok azt mutatják, hogy világszerte több mint 1,3 millió ember hal meg évente közúti balesetek okozta sérülések miatt. Európában ezért fontos célkitűzés volt a közúti halálos esetek számának 50%-os csökkentése 2010-től 2020-ig, illetve a későbbiekben a 0-ra redukálása (azonban ez nem valószínű, hogy teljesülni fog) [1] [2].

Az önvezető járművek jelentős szerepet játszhatnak a balesetek csökkentésében. A gyártók ezeket a gépjárműveket elsősorban az ügyfelek kényelme és biztonsága érdekében fejlesztik. Az autonóm járművek, amelyek növelik az utasok igényeit, új mobilitási szolgáltatásoknak adnak teret a jövőben. Az autonóm szállításon alapuló járműmegosztás (taxi, megosztott személygépjárművek, fix útvonalon mozgó jármű) népszerűvé válik a jövőben. A jövőbeli szállítási, közlekedési rendszer működése valószínűleg meglehetősen összetett lesz, ha a V2V („Vehicle-to-Vehicle” – jármű és jármű közötti), V2X („Vehicle-to-Everything” – jármű és bármi egyéb eszköz közötti) kommunikáció teret nyer [3]. Ugyanakkor néhány kutatás már foglalkozott azzal a kérdéssel is, hogy az autonóm járművek közlekedését a közlekedési táblák, a jelzések és a teljes infrastruktúra milyen mértékben befolyásolja [4].

Egyes kutatók szerint az útszakaszok potenciális infrastrukturális változása az autonóm járművek jövőbeli könnyebb integrálását eredményezheti. Az infrastruktúra fejlesztésének egyik célja lehetne az önvezető járművek számának növekedése. A különféle specifikációjú gyorsító sávok vagy országokként/régióként különböző közlekedési táblák esete tökéletes példája annak, hogy a jövőben az autonóm járművek számának növekedése miatt új szempontokat kell figyelembe venni az úttervezés során (egy ilyen szempont pl. az autonóm járművek besorolásának segítése a gyorsító és lassító sávokba, akár azok teljes áttervezésével [5]). Összefoglalva elmondható, hogy a mikroszkopikus szimulációval történő vizsgálat – mint ahogy a jelen cikkünk is mutatja – hatékonyan képes az önvezető jármű és az infrastruktúra közötti kapcsolatot vizsgálni. Az ilyen vizsgálatok pedig segíthetik, illetve felgyorsíthatják az önvezető járművek elterjedését és elfogadását a közlekedésben [6].

2. AZ AUTOMATIZÁLT VEZETÉS KONFLIKTUSAI

Az asszisztens funkciók fejlesztése a járművekben több célt szolgál, amelyek közül a legfontosabb a környezetre vagy a járművezetőre háruló teher csökkentése és a közúti biztonság fokozása. A járművek automatizáltságának több szintje van, amelyek megmutatják, hogy mennyi feladata van a járművezetőnek és mibe tud beavatkozni az automatika [7].

A teljesen autonóm jövő elérése nem csak a gépjárműgyártók fejlődésétől függ, hanem jelentős változtatásokat igényel a jogszabályokban és az infrastruktúrában. Az ADAS rendszerek már be vannak építve az új járművek nagy részébe; de ezek még mindig a fejlesztési szakaszban vannak. Ez azt jelenti, hogy ezek még nem tökéletesek, hibákat okozhatnak számos közlekedési helyzetben. Az ADAS nevéből adódóan egyértelműen megállapítható, hogy az ezzel a kifejezéssel jelölt rendszereket főleg a járművezetők támogatására használják. Ilyen például a blokkolásgátló fékrendszerek (ABS), a menetstabilizáló (ESC), a kipörgésgátló (ASR), az adaptív sebességtartó automatika (ACC), a sebességsegéd rendszer (SAS) [8].

A mai járműipar egyik jelentős kutatási és fejlesztési témája a járművek automatizálása és különféle asszisztens rendszerek fejlesztése. Ezek újdonsága miatt azonban az ilyen rendszerekre vonatkozó jogszabályok és tesztelési folyamatok kezdetlegesek. Noha vannak olyan szabványok, amelyek bizonyos asszisztens rendszerek tesztfeltételeit tartalmazzák [9], [10], [11]. Ezek azonban sok kritikus forgalmi helyzetet nem fednek le.

Az autonóm, emberi vezető nélküli járművek általában csökkenthetik a balesetek kockázatát. A magasan automatizált járműveknek segíteniük kell az emberi járművezetőket, az autonóm járműveknek pedig teljesen fel kell váltaniuk a vezetőket. A rendszereknek (például közlekedési tábla felismerés, gyalogos felismerés) képeseknek kell lenniük arra, hogy érzékeljék, helyettesítsék a releváns emberi paramétereket, például az észlelést, a láthatóságot és a hallhatóságot [12]. Az automatizált járművek miatt át kell gondolni a jelenlegi szabályokat is, ezért mindenképpen ki kell deríteni, hogy mekkora mértékben kellene megváltoztatni az infrastruktúrát és a közlekedési szabályokat, mielőtt az önvezető járművek megjelennek az utakon.

A cikkben a problémafelvetéshez személyes tapasztalatok kerültek elemzésre. A bizonyításhoz, szimulációk és matematikai módszerek alkalmazása történt [13] [14].

Két szempont alapján választottuk ki a kritikus helyzeteket a szemléltetésre. A fő szempont a magasan automatizált jármű és a közlekedési infrastruktúra konfliktusai. A szcenáriók arra mutatnak rá, hogy a tervezőknek gondolniuk kell az infrastruktúra megváltoztatására a jövőben, mivel a cikkben felsorolt kritikus helyzetek veszélyesek lehetnek a közlekedésben résztvevőkre.

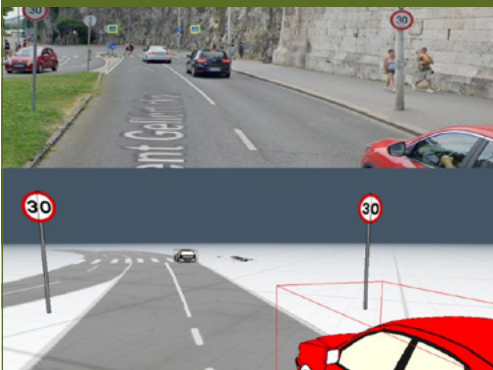
Szintén nehézség, hogy az infrastruktúra a szabályrendszer korszerűsítése mellett jelentős változásokon megy keresztül. Az önvezető járművek jövőbeli elterjedésével egyre inkább felmerül a kérdés, hogy ki felelős egy ilyen járművel bekövetkező baleset esetén. Az au-

tonóm járművekkel kapcsolatos jogi kérdések kritikussá válnak a technológia fejlődésével, a jogalkotók és a járműipari vállalatok is megoldásokat keresnek [15]. Egyes kutatók már elkezdtek kidolgozni döntési modelleket az önvezető járművekkel történt balesetek felelősségének kérdése esetére [16].

3. KRITIKUS SZITUÁCIÓ ELEMZÉSE

A bemutatásra kerülő, vizsgált kritikus helyzet, amely során a sebességsegéd rendszer „SAS” (Speed Assist System) konfliktusba kerül a közlekedési infrastruktúrával.

1. ábra: Kritikus helyzet a valós környezetben és a virtuális környezetben

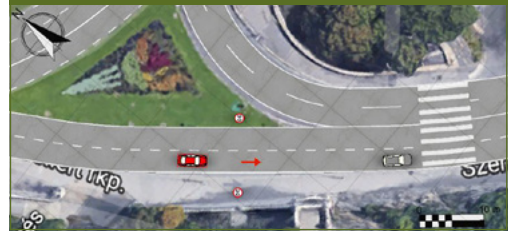


A vizsgált forgalmi helyzet egy valódi útszakaszon alapul – Budapesten az Erzsébet-híd budai hídfőjénél, ami vezetési tapasztalat alapján lett kiválasztva. Az útszakasznál figyelembe vettük az infrastruktúra kialakítását is (1. ábra).

A szakasz egy kétsávos aszfaltút, ahol a forgalom mindkét sávban azonos irányba halad. Az útszakaszon egy kijelölt gyalogosátkelőhely található, de útkereszteződés és közlekedési lámpák nincsenek. Az útszakasz elejére 50 km/h sebességkorlátozás vonatkozik, de a kijelölt gyalogátkelő előtt lévő 35 méteren már 30 km/h-s korlátozás érvényes. Ezenkívül a korlátozott szakaszon egy záróvonal választja el a sávokat. További jellemzők, hogy az elemzett terület előtt egy lámpás kereszte-

ződést követően kanyarból érkeznek a járművek, amely nehezíti a szakasz beláthatóságát (2. ábra).

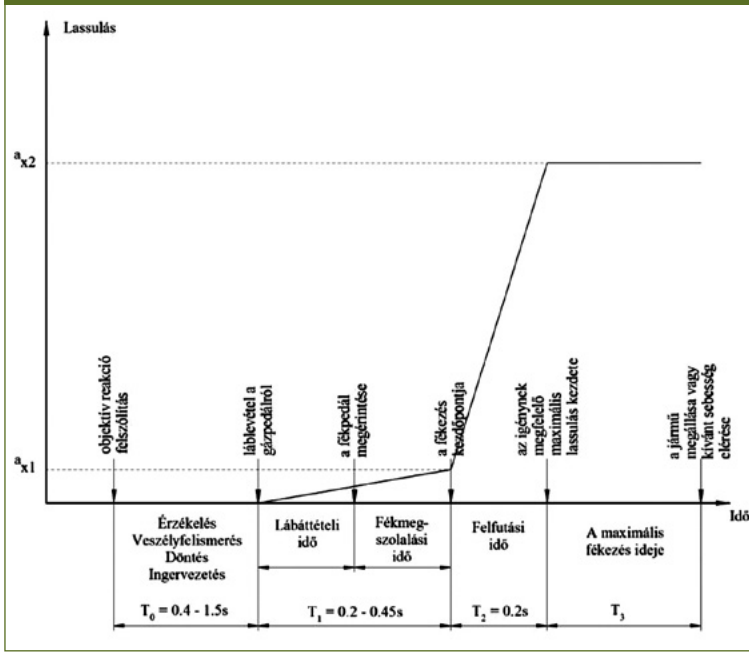
2. ábra: Kritikus helyzet felülnézetben



Ebben az esetben a cél az olyan helyzetek vizsgálata, amelyekben két egymást követő jármű halad az úton, eltérő indulási feltételekkel. Ez egy olyan forgalmi helyzet, amelyben megmutatkoznak az ADAS rendszerek korlátai [19]. A helyzetek leírása során megkülönböztetünk egy elől haladó járművet, illetve egy második, hátul haladó járművet. A helyzetek és a szcenáriók szimulálásakor elvárható, hogy a hely láthatósága és az út minősége kiváló legyen, csakúgy, mint a járművezető vezetési képessége és a járművet irányító különféle asszisztens rendszerek működése. Az elől haladó jármű rendelkezik a "SAS" rendszerrel, a mögötte haladó jármű azonban ember által vezetett gépkocsi és csak a fékezést segítő aktív rendszerekkel rendelkezik (ABS, ESP), amely megakadályozza a kerekek blokkolását. A vizsgált helyzetekben a reakcióidő szignifikáns, mivel az autonóm járműveknek rövidebb reakcióidőre van szükségük, mint az embereknek [20].

Két jármű közötti biztonságos távolságot (követési távolságot) többféleképpen is lehet értelmezni. Abszolút biztos távolságról akkor beszélünk, mikor a követési távot a fékezés igényének megjelenésétől a teljes megállásig megtett útnak vesszük fel. Ez a távolság azonban olyan nagy követési távolságot jelent, amelyet a valós forgalomban nehezen lehetne mindig megvalósítani. A gyakorlatban jellemzően kisebb követési távolságot tartanak a járművezetők, mivel a fékezés igényének felmerülésekor már figyelembe veszik a fékezést kiváltó objekt-

3. ábra: Virtual CRASH szimulációkhoz használt jellemző reakcióidők



egyszerre és annak hatását vizsgáljuk. A kritikus szituációk azok az esetek voltak, amikor olyan objektumokat (gyalogos, jármű, stb.) közelít meg a jármű, amelyeket eredendően mozdulatlanak érzékelt, vagyis valószínűsíthető, hogy a térbeli pozíciójuk nem fog megváltozni. Hasonló eset mikor egy objektum feltételezett útvonala a jármű útvonalát keresztirányban metszi, ami szintén mozdulatlan objektumokhoz hasonlóan a jármű adott pontig történő megállását igényelheti. Ilyenek például a kijelölt gyalogosátkelő és útkeresztvezdők is.

tum (jelen esetben az elől haladó jármű) haladási sebességét és esetleges lassulását.

Feltételezve, hogy a korszerű járművek körülbelül ugyanolyan lassulással képesek lassítani, ez a távolság a forgalomban talán már túl kicsinek minősülne. Így szinte csak az érzékelési idő és a fék működésbe lépésig eltelt idő alatt megtett távolságot vesszük követési távolságnak, amely esetben nem marad érzékelési időtartalom.

Azonban mindenképpen meg kell jegyezni, hogy az automatizált rendszerek válaszideje sokkal kedvezőbb, mint az emberi reakcióidő.

A 3. ábra a jellemző reakcióidőket szemlélteti, amelyek szerint az alkalmazott szimulátort (Virtual CRASH) használtuk.

A kritikus szituáció elemzésére érzékenységvizsgálatot végeztünk, amelynek lényege, hogy az egyes szimulációs futtatásokban mindig csak egy paramétert változtatunk

4. A SZIMULÁCIÓS SZOFTVEREK BEMUTATÁSA

Két szimulációs szoftver segítségével került sor az automatizált vezetési és közlekedési infrastruktúra konfliktusainak bemutatására: PreScan és Virtual CRASH. A PreScan a mérés alapjául szolgált a koncepciók igazolására („proof of concept”), mivel a szoftvert az ADAS funkcióinak tesztelésére tervezték. A Virtual CRASH-t a konfliktushelyzetek részletes elemzésére alkalmaztuk, mert ezt a szoftvert alapvetően balesetkonstrukciókra fejlesztették [21]. A legújabb verziójú Virtual CRASH alkalmas magasan automatizált, autonóm járművek tesztelésére és baleseti vizsgálatára is 2D-s és 3D-s formában.

A Virtual CRASH szoftverben a felhasználók diagramokat rajzolhatnak, 3D modelleket, dokumentációt és környezetet készíthetnek, valamint élethű HD animációkat hozhatnak létre. A Virtual CRASH a Kudlich-Slibar merev test impulzusmodellt használja, és

többpontos érintkező impulzus modellt tartalmaz, amely segítséget nyújtott a méréseinkhez [22].

A Virtual CRASH validált szimulációs szoftver: a benne alkalmazott fizikai modell több tanulmány tárgya volt. A Virtual CRASH teljesítményét összehasonlítottuk olyan szokásos referenciákkal, mint például a RICSAC (Research Input for Computer Simulation of Automobile Collisions) [23] és a JARI (Japan Automobile Research Institute) [24].

Cikkünkben a Virtual CRASH baleset-elemző szoftver EES (Energy Equivalent Speed [km/h]) értékeit használtuk fel, amelyben a jármű sebessége megegyezik a jármű deformációjának előállításához szükséges energiával. Ez a sebességérték kiszámítható a jármű karosszériájának deformációja során elvégzett munkából, és ezt a munkát a deformációs méret alapján lehet becsülni [25].

5. A SZIMULÁCIÓ PARAMÉTEREI

Az asszisztens rendszerek megfelelő értékléséhez elvárható, hogy a fentiekben említett, minden súlyosbító tényező felmerül a mérések során, amelyek a rendszer validálását képezik. A problémafelvetést először a PreScan segítségével elemeztük, amely alátámasztotta az alapfeltételezésünk megfelelőségét. E szerint a nagymértékben automatizált járművek tökéletes szabálykövető viselkedése veszélyes lehet (4. ábra).

4. ábra: Alaphelyzet bemutatása szimulációs környezetben (PreScan-ben) a koncepció igazolásaként („proof of concept”)



Az érzékenységi vizsgálat paraméterei a különböző scenáriókban, az első, nagymértékben automatizált jármű a szabályokat követve:

1. 30 km/h sebességre lassul, és a gyalogos átkelőhelyen gyalogosokra vár. A második jármű 50 km/h sebességgel halad, különböző reakcióidővel és lassulással.
2. 30 km/h sebességre lassul, és a gyalogos átkelőhelyen gyalogosokat vár. A második jármű 55 km/h sebességgel halad, különböző reakcióidővel és lassulással.
3. 30 km/h sebességre lassul, és a gyalogos átkelőhelyen gyalogosokat vár. A második jármű 60 km/h sebességgel halad, különböző reakcióidővel és lassulással.
4. 30 km/h sebességre lassul, és a gyalogos átkelőhelyen gyalogosokat vár. A második jármű 65 km/h sebességgel halad, különböző reakcióidővel és lassulással.
5. 30 km/h sebességre lassul, és a gyalogos átkelőhelyen gyalogosokat vár. A második jármű 70 km/h sebességgel halad, különböző reakcióidővel és lassulással.

Az érzékenységi vizsgálat során egy szimuláción belül mindig csak egy paraméter változik.

Az értékeléshez szükséges adatok:

- Az első jármű tényleges és aktuális sebessége állandó.
- Az első jármű lassulási adatai állandók.
- A második jármű tényleges és aktuális sebessége.
- A második jármű lassulási adatai.
- A második jármű (emberi) vezetőjének reakcióideje.

Kimeneti adatok a mérésekről:

- Első jármű EES értéke.
- Második jármű féktávolsága.
- Második jármű EES értéke.
- Az első és második jármű baleseti adatai.

A mérések megmutatják, hogy a szimulációban minden a várt módon működik. A járművek megfelelő mértékben képesek változtatni a sebességeiken.

Az elvárás a járművekkel szemben, hogy a szimuláció során az első, nagymértékben auto-

matizált jármű a szabályokat követve a megfelelő sávokon belül maradjanak. Az elől haladó jármű követi a meghatározott menetciklust. A második jármű viszont követi az első járművet és az esetvizsgálat során nem akar kikerülő manővert végrehajtani.

6. EREDMÉNYEK

A mérések során 125 db szcenárió keletkezett, amelyekből részeredményeket mutatunk be. Az eredmények és az értékelések egy része táblázatokban és ábrákban található meg. A táblázatokban a veszélyes helyzeteket és baleseteket "X" jelöli. Az üresen hagyott helyek azt jelentik, hogy nem történt baleset.

E forgatókönyv alaphelyzete, hogy az elülső jármű (egy magasan automatizált, szabályokat követő jármű) lelassul a sebességhatárítás miatt. A mögöttes jármű emberi vezetője lendületesen halad (nem lassít le a sebességhatárítás hatására), mivel ez az útszakasz alapvetően megfelelően teljesíthető 50 km/h vagy akár nagyobb sebességgel is. Bemutatjuk, mennyire veszélyes ez a helyzet. Az eredmények megerősítik az állítást. Érzékenységi vizsgálatot végeztünk ennek igazolására, változtatva a reakcióidőket, a lassulási értékeket és a haladási sebességet.

A három lassulási értékre kapott ütközési eredményeket a következő táblázatok mutatják. Az **1. táblázat** azt mutatja, hogy alacsony sebességgel nem történtek balesetek, de 4 m/s² lassulási érték nagyon alacsonynak számít. 55 km/h sebességnél azonban a balesetet csak akkor lehet elkerülni, ha a reakcióidőt lecsökkentjük.

A **2. táblázat** mutatja, hogy nagyobb sebességnél az ütközések csak nagyobb lassulási értékekkel és jó reakcióidőkkel elkerülhetők.

Megállapítható a **3. táblázat** alapján, hogy 60 km/h-t meghaladó sebességnél a lassulási értékek növekedése és a jobb reakcióidő ellenére sem kerülhető el a baleset.

A diagramok az EES értékeket a sebesség függvényében ábrázolják, és öt reakcióidőt

1. táblázat: Érzékenységi vizsgálat eredménye lassulás: 4 m/s²

Lassulási érték: 4 m/s ²		Baleset történt?				
Reakcióidő [s]	0,8		x	x	x	x
	0,7		x	x	x	x
	0,6		x	x	x	x
	0,5			x	x	x
	0,4			x	x	x
		50	55	60	65	70
Jármű sebesség [km/h]						

2. táblázat: Érzékenységi vizsgálat eredménye lassulás: 5 m/s²

Lassulási érték: 5 m/s ²		Baleset történt?				
Reakcióidő [s]	0,8			x	x	x
	0,7			x	x	x
	0,6				x	x
	0,5				x	x
	0,4				x	x
		50	55	60	65	70
Jármű sebesség [km/h]						

3. táblázat: Érzékenységi vizsgálat eredménye lassulás: 6 m/s²

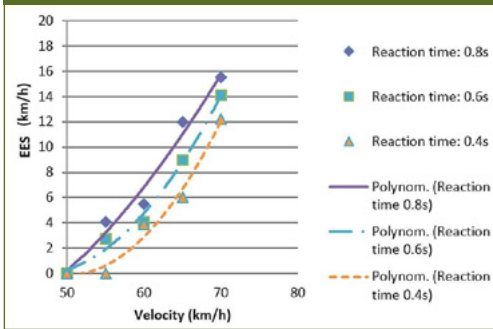
Lassulási érték: 6 m/s ²		Baleset történt?				
Reakcióidő [s]	0,8			x	x	x
	0,7				x	x
	0,6				x	x
	0,5				x	x
	0,4				x	x
		50	55	60	65	70
Jármű sebesség [km/h]						

mutatnak a megfelelő szemléltetés érdekében. Az eredmények az elvártaknak megfelelő tendenciát hoztak.

Az **5. ábra** bemutatja az EES értékeivel a bekövetkezett vagy nem bekövetkezett balesetek szcenáriói reakcióidő és sebesség függvényé-

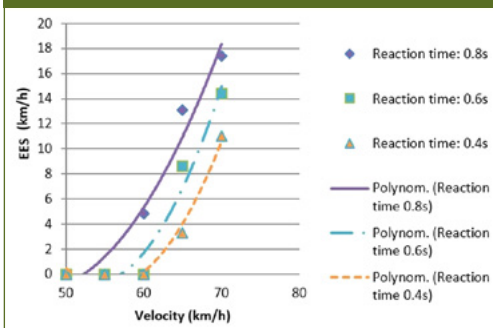
ben. Ha nem történt baleset, az EES értéke 0 km/h; ezt az 50 és 55 km/h sebességnél szemlélteti az ábra, amikor a reakcióidő 0,4 s. A sebesség növekedésével az EES értékek szintén növekednek 4 m/s² lassulás mellett. A diagramból kiolvasható, hogy a reakcióidő romlásával több ütközés történt. A mért pontokhoz polinomot illesztettünk.

5. ábra: Az EES értékek a sebesség, lassulás függvényében: 4 m/s²



5 m/s² lassulási értéken mért eredmények azt mutatják, hogy kevesebb baleset történt. A 6. ábra azt is mutatja, hogy az értékek az elvártaknak megfelelő tendenciát követnek, és három különböző polinom illeszthető a mért adatokhoz.

6. ábra: Az EES értékek a sebesség, lassulás függvényében: 5 m/s²

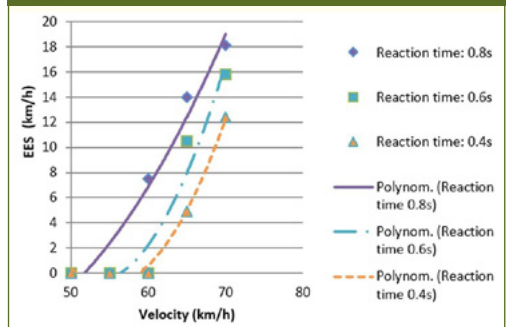


A 7. ábra 6 m/s² lassulási értékeinél a hátul közlekedő jármű biztonságosabban tud megállni az előtte lévő mögött. Nagy sebességnél itt sem kerülhető el az ütközés. Azt is meg kell jegyezni ennél a fékezésnél, hogy egyes

régebbi típusú járművek már nem képesek erre vagy a nagyobb lassítási értékre. Tehát ez a lassulási érték sem garantálja a baleset elkerülését.

A tendencia ezen értékeknél is jól látható, és polinom illeszthető rá. A lassulási értékek növekedése ellenére a nagymértékben automatizált járművek hirtelen fékezése veszélyt jelenthet a többi úthasználóra.

7. ábra: Az EES értékek a sebesség, lassulás függvényében: 6 m/s²



7. ÖSSZEZÉS

A két szimulációs programmal végzett tesztek alapján megállapítható, hogy mindegyik helyzet kritikus volt annak ellenére, hogy 50 km/h sebességgel nem történt ütközés. Sok esetben a hirtelen fékezés balesethez közeli helyzetet eredményez. A hátul haladó vezető hiába állította meg a járművet, közel került az előtte lévő automatizált járműhöz. A vizsgálat tárgyát egyelőre nem képezte egy nem autonóm jármű, amely a hátul haladó mögött közlekedik. Ez újabb konfliktus helyzetet eredményez. A jövőben ezt is szándékunkban áll megvizsgálni. A 30 km/h határérték ellenére a tesztelt útszakasz paraméterei lehetővé teszik az emberi vezetők számára, hogy 50 km/h sebességgel haladjanak.

A mérési adatok elemzését követően arra a következtetésre jutottunk, hogy a magasan automatizált járművek tökéletes szabálykövető viselkedése veszélyt jelenthet, különösen akkor, ha az infrastruktúrát és/vagy közleke-

dési szabályokat nem alakítják át az automatizált járműveknek megfelelően. A táblázatok azt mutatják, hogy a balesetek a sebesség növekedésével nagyobb eséllyel következnek be. Azt is meg kell jegyezni, hogy nagyobb értékű lassulásra egyes régebbi típusú járművek már nem képesek. Ezenkívül még a megfelelő reakcióidő sem garantálja a biztonságot, mivel nem mindenki képes megfelelően reagálni az elől haladó, hirtelen fékező járművekre.

Továbbá az elemzett szimulációk alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az autonóm járműveket nem feltétlenül kell a meglévő infrastruktúrához tervezni. Az infrastruktúrának pedig jelentős változtatásokra van szüksége a közlekedési szabályok felülvizsgálatával együtt. Ez új jelzőtáblák telepítését, más típusú sávok létrehozását vagy esetleg új típusú útszakaszok építését (pl. külön sáv az autonóm járművek számára) jelentheti. A cikkben említett kritikus helyzetekkel és problémával már érdemes lenne most foglalkozni, ha az emberek biztonságosan akarnak autonóm járművekben vagy azok előtt/után utazni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projektet az Európai Unió támogatja, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával. EFOP-3.6.2-16-2017-00002.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. Szele; L. Kisgyörgy, Autonomous Vehicles In Sustainable Cities: More Questions Than Answers, in Sustainable Development and Planning X, WIT Press, 2018 DOI: <https://doi.org/10.2495/SDP180611>
- [2] A. Torok; T. Derenda; M. Zanne; M. Zoldy, Automatization in road transport: a review Production Engineering Archives, Stowarzyszenie Menedzerow Jakosci i Produkcji, 2018, 20, 3-7 DOI: <https://doi.org/10.30657/pea.2018.20.01>
- [3] C. Csiszár; D. Földes, Operational Model and Impacts of Mobility Service Based on Autonomous Vehicles University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, 2018
- [4] H. Prakken, On the problem of making autonomous vehicles conform to traffic law Artificial Intelligence and Law, Springer Netherlands, 2017, 25, 341-363 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10506-017-9210-0>
- [5] C. G.Serna; Y.Ruichek..Classification of Traffic Signs: The European Dataset IEEE Access, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018, 6, 78136-78148 DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884826>
- [6] G. Richter; L. Grohmann; P. Nitsche; G. Lenz, Anticipating Automated Vehicle Presence and the Effects on Interactions with Conventional Traffic and Infrastructure EPiC Series in Computing, 2019, 62, 230-243
- [7] SAE J3016 automated-driving graphic, SAE Standards, 2019
- [8] European Commission, Advanced driver assistance systems, European Commission, Directorate General for Transport, European Commission, 2016
- [9] ISO - ISO 7635:2006 - Road vehicles — Air and air/hydraulic braking systems of motor vehicles, including those with electronic control functions — Test procedures
- [10] ISO - ISO 15622:2018 - Intelligent transport systems — Adaptive cruise control systems — Performance requirements and test procedures
- [11] ISO - ISO 11835:2002 - Road vehicles — Motor vehicles with antilock braking systems (ABS) — Measurement of braking performance
- [12] J. Lukacs, A Fuzzy Approach for In-Car Sound Quality Prediction, Acta Polytechnica Hungarica, 2020
- [13] J.-F. Bonnefon; A. Shariff; I. Rahwan, The social dilemma of autonomous vehicles Science, American Association for the Advancement of Science (AAAS), 2016, 352, 1573-1576 DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaf2654>
- [14] H. Surden; M.-A Williams, Technological opacity predictability and self-driving cars, SSRN Electronic Journal, Elsevier BV, 2016
- [15] J. M. Anderson; N. Kalra, K. D. Stanley, Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers, Rand Corporation, RAND CORP, 2014

- [16] R. Leenes,; F. Lucivero, Laws on Robots, Laws by Robots, Laws in Robots: Regulating Robot Behaviour by Design Law, Innovation and Technology, Informa UK Limited, 2014, 6, 193-220 DOI: <https://doi.org/10.5235/17579961.6.2.194>
- [17] D. Milakis; B. van Arem; B. van Wee, Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research, Journal of Intelligent Transportation Systems, Informa UK Limited, 2017, 21, 324-348 DOI: <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>
- [18] Y. Wei; C. Avci; J. Liu; B. Belezamo; N. Aydin; P. Li; X. Zhou, Dynamic programming-based multi-vehicle longitudinal trajectory optimization with simplified car following models, Transportation Research Part B: Methodological, Elsevier BV, 2017, 106, 102-129 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.10.012>
- [19] G. Meleghe. Neue Methoden in der Unfallrekonstruktion – Virtual Crash. EVU, Volume: 1(1):1–10, 2007
- [20] G. Meleghe, G. Vida, D. Sucha, G. Belobrad, Simulation study of pedestrian impact and throw-distance. Validation of the Virtual Crash program, 2007
- [21] Bob Scurlock. Reconstruction of 60 ° Front-to-Side Staged Collisions with the Virtual CRASH Software Application. Accident Reconstruction Journal, 2017
- [22] Johannes Edelmann, Manfred Plöchl, and Peter Pfeffer, editors. Advanced Vehicle Control. CRC Press, dec 2016
- [23] Karol Sztwiertnia and Guzek Marek. Uncertainty of determining the energy equivalent speed of a vehicle collision by the experimental and analytical method. The Archives of Automotive Engineering, 2017 DOI: <https://doi.org/1014669/AM.VOL76.ART7>



Conflict situation of road infrastructure with highly automated vehicles

Road signs and transport infrastructure significantly influence the behaviour of highly automated or autonomous vehicles. However, automation is not always an advantage in consideration of the current road infrastructure. It can occur that highly automated vehicles are more compliant with traffic rules, causing self-driving functions to perform unexpected interventions while vehicles are moving. However, in many cases this can also be a problem because the rules themselves are not always appropriate. In practice, this means that autonomous functions make it easier for self-driving and non-self-driving vehicles to conflict in certain situations. This paper highlights the potential dangers and uncertainties of highly automated or autonomous vehicles in the context of the current – conventional – transport infrastructure.



Konfliktsituation der Straßeninfrastruktur mit hochautomatisierten Fahrzeugen

Verkehrszeichen und Verkehrsinfrastruktur beeinflussen das Verhalten hochautomatisierter oder autonomer Fahrzeuge erheblich. Angesichts der aktuellen Strasseninfrastruktur bedeutet die Automatisierung jedoch nicht immer einen Vorteil. Hochautomatisierte Fahrzeuge entsprechen möglicherweise besser den Verkehrsregeln, was dazu führen kann, dass selbstfahrende Funktionen unerwartete Eingriffe ausführen, während sich die Fahrzeuge bewegen. In vielen Fällen kann dies jedoch auch ein Problem sein, da die Regeln selbst nicht immer angemessen sind. In der Praxis bedeutet dies, dass selbstfahrende und nicht selbstfahrenden Fahrzeuge wegen den Automomfunktionen in bestimmten Situationen leichter in Konflikt geraten. Die Beschreibung hebt die potenziellen Gefahren und Unsicherheiten hochautomatisierter oder autonomer Fahrzeuge im Kontext der vorhandenen - konventionellen - Verkehrsinfrastruktur hervor.