

# Autonóm járművek közúti közlekedésének biztonsága

Az autonóm járművek (AV-k) hatása egyre jelentősebbé válik életünk számos területén, különösen a közúti közlekedésben. Az AV-k képesek egyidejűleg csökkenteni a baleseteket, a forgalmat, valamint a károsanyag-kibocsátást. Széles körű elterjedésükhöz és a balesetmentes közlekedés megvalósításához még számos fejlesztésre van szükség. Ezen okból kifolyólag fontos az AV-k biztonságával és megbízhatóságával foglalkozni.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.3.5>

---

## Szűcs Herman

fejlesztőmérnök  
Audi Hungaria Zrt.  
e-mail: szucsherman@outlook.hu

---

### 1. BEVEZETÉS

Az autonóm járművek (AV-k) fontos szerepet játszanak a közlekedésbiztonságban és a balesetek csökkentésében, továbbá kritikus társadalmi és környezeti kérdések megoldásában. Az autonóm járművek [1] definíciója szerint olyan járművek, amelyek képesek emberi beavatkozás nélkül az úti célba eljutni. Ehhez különböző technológiák beépítése szükséges a járművekbe (pl. kamera, radar, lidar). Az autonóm technológia iránti növekvő igény miatt már számos vállalat foglalkozik az AV-k fejlesztésével, mint például az Apple, az Audi, a BMW, a General Motors, a Google, a Mercedes, a Nissan, a Tesla, a Toyota és a Volvo is. Az AV-k fejlesztésének jelenlegi kihívásai közé sorolható többek között a jármű környezetének pontos érzékelése, megbízható GPS és kommunikációs rendszerek fejlesztése, az akadályok, ill. tárgyak kikerülése, a sávtartás és a kibertámadások elleni megfelelő védelem [1-5].

Az autonóm járművek, ill. autonóm közlekedés három jelentős területen gyakorolhat hatást életünkre: ú.m. gazdasági, társadalmi, valamint környezeti területeken. Gazdasági szempontból megemlítendő, hogy az autonóm járművek a közúti balesetek számát jelentősen csökkenthetik – [1] szerint akár 90%-kal – azáltal, hogy az emberi tényező hatását kiküszöbölik. Ennek következtében a gazdasági károk jelentősen enyhülnek. Egyik társadalmi hatás, hogy AV-k segítségével kiküszöbölhetőek olyan balesetek, amelyek az ember hibás döntése, rossz ítéletképpessége vagy az emberi mulasztás miatt (pl. ittas vezetés) következnek be. Környezetvédelmi szempontból is jelentős a hatás, hiszen csökkenthető a tüzelőanyag-fogyasztás, ezáltal a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>)-, valamint a károsanyag-kibocsátás. Ezáltal az AV-k hozzájárulnak a jövőbeli klímacélok eléréséhez [1, 3-6].

[4] és [5] kiemelte az autonóm járművek mobilitásnövelő szerepét a vezetni nem tudó

(pl. fiatalok) és vezetésre nem képes emberek (pl. vakok, mozgás-korlátozottak) körében, ezáltal javítva a függetlenségüket. A taxik és egyéb megosztott személyszállító szolgáltatások (pl. Uber) területén is jelentős hatást fog gyakorolni az autonóm közlekedés. Önvezető tehergépjárműveket fejleszt a Volvo, ill. a Mercedes, amelyek a logisztikát erősen átalakítják. Az autonóm járművek hátránya, hogy a jármű költsége jelentősen megnő, a sofőrök munkájukat elvesztik és munkanélkülivé válnak. Ezek mellett a járműgyártók felelőssége növekszik [1, 3-6].

Mindezeket egybevetve az AV-k fontos céljának tekinthető a balesetek, a forgalom (torlódások) és az emisszió együttes csökkentése [5]. szerint a jelentős fejlesztések ellenére a teljesen autonóm járművek még mindig nem állnak készen széles körű alkalmazásra, amelynek elsősorban biztonsági aggályai vannak. Ezért kiemelten fontos az AV-k biztonságával és baleseteivel foglalkozni [1, 4-6].

## 2. AUTONÓM JÁRMŰVEK POTENCIÁLIS BIZTONSÁGI ELŐNYEI

A járműipar egyik közlekedésbiztonsági víziója a "Vision Zero", amelynek célja a balesetmentes közlekedés megvalósítása. A balesetmentesség jövőképevel számos járműgyártó aktívan foglalkozik, mint a BMW, a Daimler és a Volkswagen csoport. Az [5] szerint a balesetek 94%-át emberi tévedés, mulasztás okozza, ezért a "Vision Zero" teljesen automatizált járművekkel megvalósítható, azonban figyelembe kell venni a várható műszaki meghibásodások kockázatát is [5, 7].

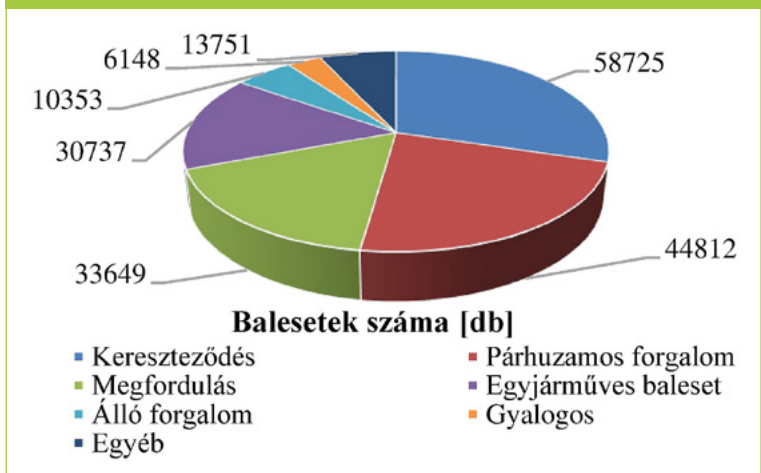
Németországban 2010-ben összesen 198 175 darab személyi sérüléssel járó, személygép-

járművet érintő közúti baleset történt. Ezen balesetek típusának megoszlása látható az 1. ábrán, az okokat pedig a 2. ábra mutatja be.

A közúti balesetek 29,6%-a (58 725 db) kereszteződésben történt, míg 22,6%-a (44 812 db) párhuzamos közlekedés során. 17%-a (33 649 db) megforduláskor, 15,5%-a (30 737 db) egyjárműves baleset, 5,2% (10 353 db) álló forgalomban történt, 3,1% (6148 db) gyalogos baleset. Az ábráról jól kivethető, hogy az összes baleset közül a kereszteződésben, a párhuzamos közlekedésben történt és a megforduláskor történt balesetek relatív gyakorinak számítanak. Az automatizálás fokozódásával ezen nagyszámú közúti balesetek száma becslés szerint 2050-ig 50%-kal csökkenthető, 2070-re pedig teljesen megszüntethető [7].

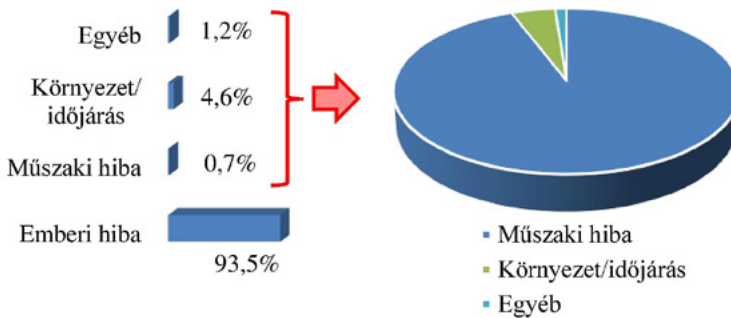
A 2. ábra a 2010-es Németországi közúti balesetek okainak statisztikai eloszlását mutatja (GIDAS baleseti adatbázis), továbbá a várható jövőbeli megoszlást automatizált járművekre. Az adatok szerint a balesetek 93,5%-át emberi tévedés okozza. A teljesen autonóm vezetés esetében az emberi hiba kizárt, azonban feltételezhető, hogy a jövőben a műszaki meghibásodás kategóriája az új technikai kockázatok következtében arányosan megnő [7].

1. ábra: Németországi közúti balesetek típusai 2010-ben [7] alapján





2. ábra: A balesetek okai és várható megoszlása a jövőben autonóm járműveknél [7] alapján



### 3. AZ AUTONÓM JÁRMŰVEK BALESETI BIZTONSÁGA

Az AV biztonságát az AV architektúra, a szoftver és a hardver együttesen határozza meg. Az AV-k biztonsága és balesetei az AV-k által elkövetett hibákhoz köthetők, ezért ezek vizsgálata szintén fontos. Ezeket a hibákat az architektúra szerint a következőképpen lehet csoportosítani [5]:

- észlelési hiba: a környezet érzékelése során keletkezik (szenzor, érzékelő hiba),
- döntési hiba: a feldolgozott (észlelésből érkező) adatokból hozott téves vagy hibás döntés,
- beavatkozási hiba: a működtetőegységek, aktuátorok meghibásodása.

Ezen hibák kezelése és megoldása jelentősen eltér, ezért az AV-k technikai fejlesztése során külön figyelmet kell rájuk fordítani.

Az AV-k által okozott közúti balesetek elemzésél a kutatók [4, 5, 8] elsősorban az Egyesült Államok Kalifornia államának adatbázisát (California Department of Motor Vehicles) használták fel, ahol az adatok nyilván-

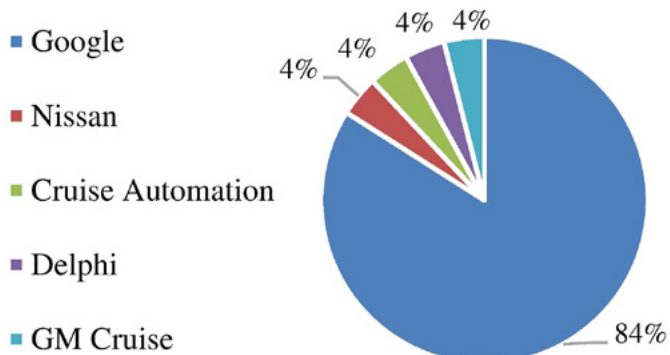
osan elérhetők. A [8] kutatásban Kalifornia adatbázisának 2014 és 2017 közötti adatait elemezték az autonóm járművek baleseteire vonatkozóan. Az [5] hasonló kutatásában 2014 és 2018 közötti tényleges AV baleseteket vizsgált, amihez szintén Kalifornia adatbázisát használta. Ezen időszak alatt összesen 128 baleset történt AV-val. A [4] kutatásban az

autonóm járművek és a hagyományos járművek biztonságát hasonlította össze, amelyben a közlekedési balesetek sajátosságait vizsgálta. A kutatásban Kalifornia államban 2015 és 2017 között bekövetkezett baleseteket vizsgált. A hároméves időszak alatt történt összesen 300 balesetet elemezte, amiből 53 AV-val, 247 hagyományos járművel történt. Fontos kiemelni, hogy AV-val halálos kimenetelű baleset nem történt, továbbá két AV közötti baleset sem történt. Ezek kedvező adatok az AV-k biztonságát tekintve [4, 5, 8].

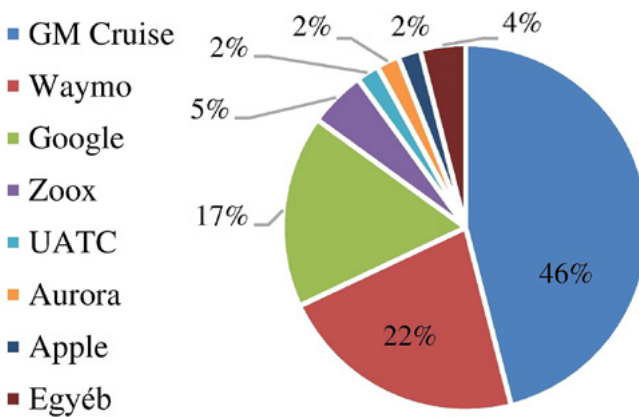
#### 3.1. Autonóm járművek balesetei gyártók szerint

A vizsgált időszak alatt (2014 és 2017 között) összesen 30 különböző AV gyártó rendelkezett

3. ábra: Az autonóm járművek baleseteinek megoszlása a gyártók szerint 2014-2017 között [8]



4. ábra: Az autonóm járművek baleseteinek megoszlása a gyártók szerint 2014-2018 között [5]



közúton történő tesztelési engedéllyel, ezek közül csupán öt gyártót számolt be közlekedési balesetről (3. ábra), ahol látható, hogy az AV baleseteinek 84%-áért a Google járművei felelősek. Emellett azonban fontos kiemelni, hogy a járműflotta és a futásteljesítmény lényegesen nagyobb a többi gyártóhoz képest: a Google 60 db, a GM Cruise 25 db, a Nissan 5 db, a Delphi pedig 2 db járművet tesztelt. [5] szintén vizsgálta az AV baleseti jelentéseket gyártók szerint 2014-2018 közötti időszakban (4. ábra). A 128 balesetet statisztikailag elemezve a legtöbb balesetet a GM Cruise (46%) járművei okozták, ezt követi a Waymo (22%), a Google (17%) és a Zoxx (5%). Látható, hogy mindössze egy év alatt a baleseti statisztika jelentősen átrendeződött, valamint számos gyártót kezdett el AV-kat tesztelni [5, 8].

### 3.2. A balesetek típusa autonóm járművek esetében

Számos korábbi kutatásból kitűnik, hogy az AV-vel történő közlekedési balesetek gyakrabban fordulnak elő, mint a hagyományos járművek esetében, azonban az AV-k jelenleg még erősen a fejlesztési fázisban vannak, így ezen összehasonlítások nem praktikusak vagy indokoltak. Ezzel szemben a [4] kutatásban nem a baleseti gyakoriságot vizsgálták, hanem a balesetek típusait (5. ábra), ú.m. a manővereket és a balesetek során előforduló

azon hibákat, amelyek a baleseteket okozták (16. ábra). A balesetek során előforduló manőverek között szignifikáns különbségeket nem tapasztaltak a kutatók. Ezért ezekre a következőkben részletesen nem térek ki. Az ütközések típusát tekintve (5. ábra) a hagyományos járművek-nél és az AV-k esetében is a leggyakoribbak a ráfutásos balesetek, ami az AV-k esetében ez kiemelkedően magas (64,2%). Az oldalüt-

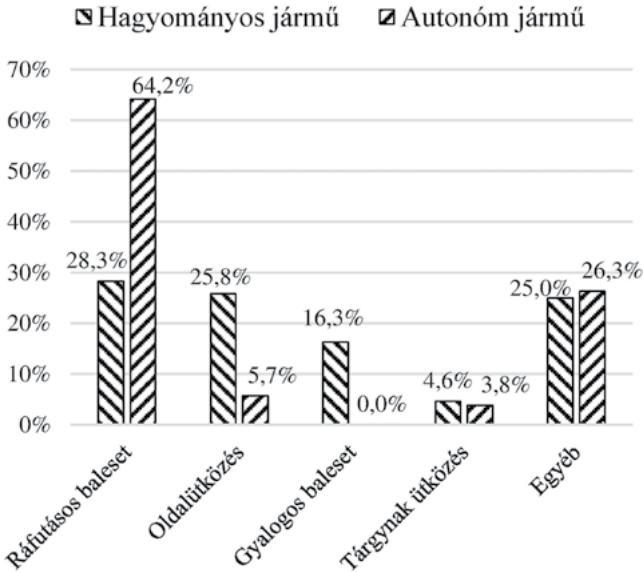
közések előfordulása jóval alacsonyabb AV-k esetében (5,7%), mint hagyományos járműveknél (25,8%). A gyalogos balesetek AV-knál egyáltalán nem fordultak elő. A tárgyának ütközések gyakorisága egy kicsit kisebb az AV-knál (3,8%), mint a hagyományos járműveknél (4,6%) [4].

### 3.3. Autonóm járművek baleseteinek dinamikája

A [8] kutatásában szintén vizsgálta az AV balesetek dinamikáját azáltal, hogy az érintett baleseteket vizuálisan rekonstruálta a járművek helyzetének feltüntetésével (6-13. ábra). A vizuális rekonstrukció nagyban hozzájárul a baleset okainak feltárásához, megértéséhez. Hasonló megállapítást tett, mint a [4], miszerint a balesetek többsége ráfutásos baleset. Megállapította, hogy a ráfutásos baleseteknél jellemzően az AV-ba hátulról egy másik jármű ütközik (6-13. ábra). A ráfutásos baleset fordított körülmények között, amikor egy hagyományos jármű fékez és mögötte haladó AV ütközik bele, az automatikus fékezés miatt gyakorlatilag lehetetlen. A [8] kiemeli, hogy frontális ütközés nem történt. Az eredmények azt sugallják, hogy az AV technológia képes hatékonyan megakadályozni az összes többi baleset tipológiát, kivéve a ráfutásos baleseteket. Ez egy fontos megállapítás, amivel a gyártóknak a későbbiekben min-



5. ábra: A közlekedési balesetek megoszlása az ütközés típusa szerint [4] alapján



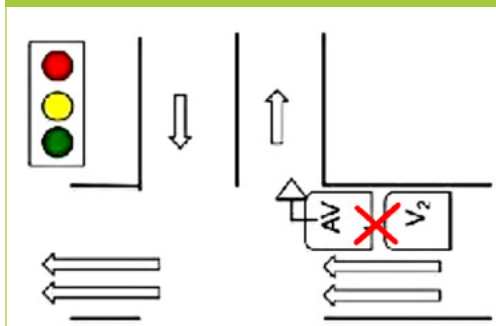
A 7. ábrán szereplő balesetknél az AV-ba szintén egy hagyományos jármű ütközik. Ezen baleseteket vélhetően szintén az eltérő vezetési stílus, eltérő dinamikai viselkedés okozhatta.

A 8. ábrán szereplő balesetknél az AV elsőbbséget adott a gyalogosnak, amire feltehetően a hagyományos jármű sofőrje nem számított. A szerző szerint ezen balesetek azért történtek, mert a hagyományos jármű vezetői nem akarták megadni a gyalogosnak az elsőbbséget vagy nem

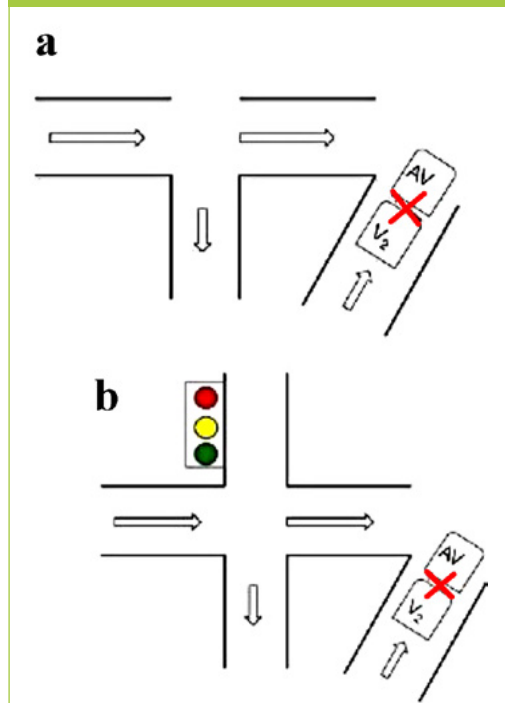
denképpen foglalkozniuk kell és a járművek fejlesztésénél ezen problémákra megoldást kell találni [4, 8].

Az 6-13. ábrákon a AV-k baleseteinek szemléltetésére néhány valós baleset ábrázolása látható. A 6. ábrán szereplő baleset során az AV egy jelzőlámpával ellátott kereszteződésben várakozik, miközben egy jármű hátulról beleütközik. A szerző véleménye szerint a járművek eltérő dinamikai viselkedése (gyorsulása) okozhatta a balesetet.

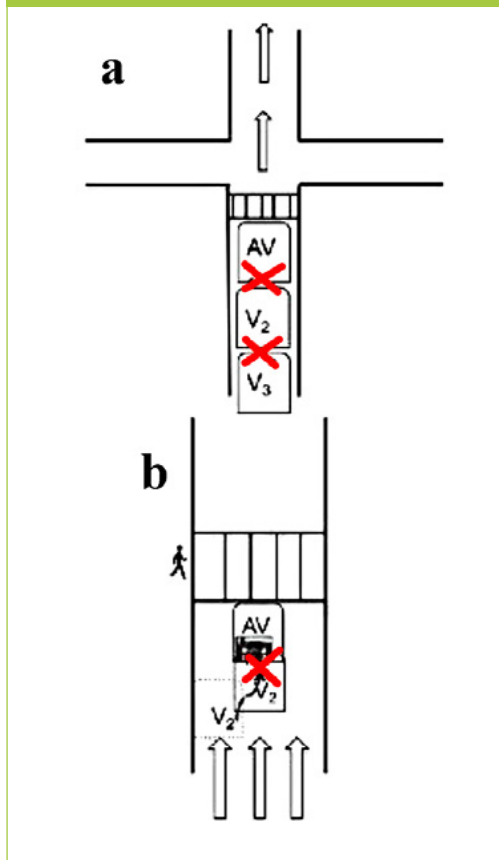
6. ábra: Baleset dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján



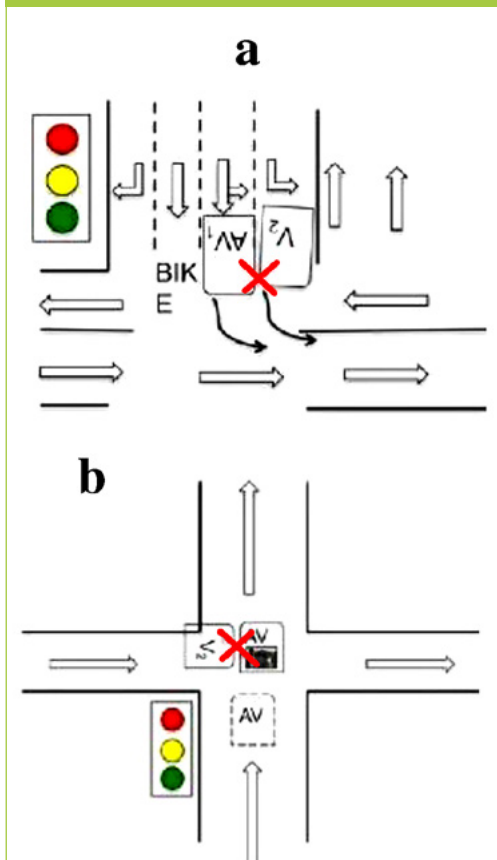
7. ábra: Balesetek dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján



8. ábra: Balesetek dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján



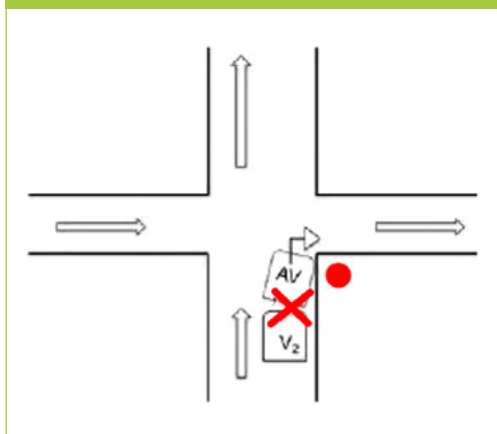
9. ábra: Balesetek dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján



vették észre a gyalogost és ezért nem lassítottak. A „b” baleset esetében az AV kézi vezérlésű üzemmódban volt.

A 9. ábra „a” jelzésű balesete során során egy hagyományos jármű és egy AV oldalütközése látható. A balesetnél a járművek egymás mellett kanyarodtak egy közlekedési lámpával ellátott kereszteződésben. A 9. ábra „b” jelzésű balesetnél szintén egy közlekedési lámpával ellátott kereszteződésben történt balesetet láthatunk. Az AV egyenesen haladt, miközben oldalról egy jármű beleütközött. Mivel a 9. ábrán szereplő balesetek esetében a lámpa jelzését nem ismerjük, ezért nem lehet egyértelműen megmondani, hogy az AV vagy a hagyományos jármű sofőrje hibázott. A „b” baleset esetében az AV kézi vezérlésű üzemmódban volt.

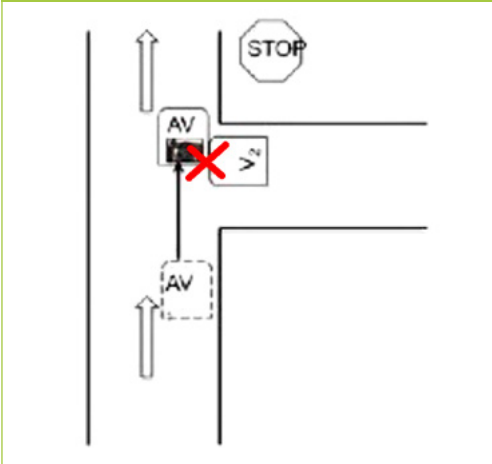
10. ábra: Baleset dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján



A 10. ábrán szereplő baleset során szintén egy közlekedési lámpával ellátott kereszteződés látható, amelynél a lámpa jelzése piros. A baleset során az AV-ba hátulról egy másik jármű ütközik. Ez esetben egyértelműen a hagyományos jármű sofőrje hibázott és felelős a baleséért.

A 11. ábrán szereplő balesetnél az AV egyenesen halad, miközben egy jármű az oldalába ütközik. A hagyományos jármű vezetőjének ez esetben a STOP táblánál meg kellett volna várnia, míg elhalad az AV. Itt szintén a hagyományos jármű sofőrje vonható felelősségre. Az AV kézi vezérlésű üzemmódban volt.

11. ábra: Baleset dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján

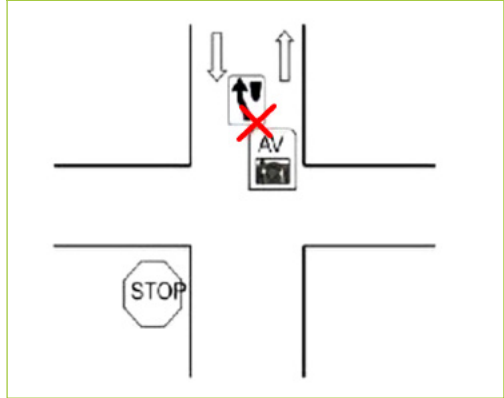


A 12. ábrán szereplő baleset esetében az AV felhajtott a járdaszigetre. A balesetben másik jármű nem vett részt. Fontos megjegyezni, hogy a jármű kézi vezérlésű üzemmódban volt kapcsolva a baleset időpontjában, így a jármű sofőrjének figyelmetlensége okozhatta a balesetet.

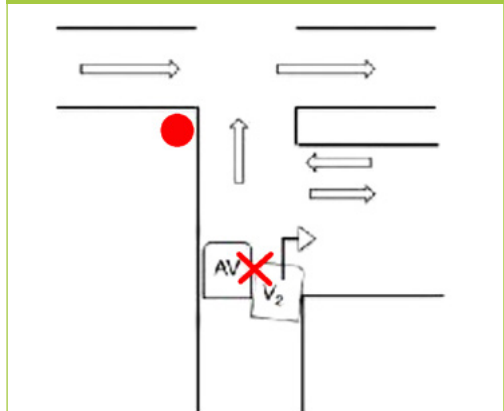
A 13. ábrán szereplő balesetnél az AV egyenesen haladt, miközben egy másik jármű jobbra kanyarodott.

A balesetek nagy részénél látható, hogy az okozó a hagyományos jármű vezetője. Emiatt az AV-k esetében a mesterséges intelligencia különösen fontos, hogy az eltérő közlekedé-

12. ábra: Baleset dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján



13. ábra: Baleset dinamikájának rekonstrukciója (részlet) [8] alapján

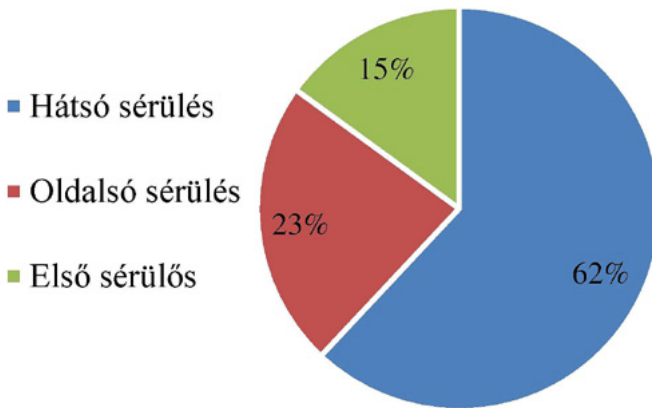


si magatartásmintákat, vezetési stílusokat és járműdinamikai sajátosságokat ezen vezetési stílust és dinamikát képesek legyenek tanulni és beépíteni a döntéshozásukba. Ezen felül az ábrázolt balesetknél az is jól kivehető, hogy a balesetek jellemzően kereszteződésekben vagy azok közelében történtek. Ezen tény jól szemlélteti, hogy az AV-k dinamikus viselkedése még erősen fejlesztésre szorul.

### 3.4. Autonóm járművek balesetei során keletkező sérülések

A balesetek elemzésénél érdemes megvizsgálni a baleset során keletkezett sérülések jár-

14. ábra: Az autonóm járművek közúti balesete során keletkezett károsodások helyzete [8]



valamilyen mértékben kereszteződéshez köthető, hiszen a kanyarodás, a STOP tábla, ill. a közlekedési lámpa is kereszteződéseknel fordul elő. Ez fontos észrevétel, hiszen az adatokat így megvizsgálva az AV balesetek 91%-a köthető kereszteződésekhez. A kereszteződések és közvetlen környezetük tehát az AV balesetek szempontjából nagyon kritikusnak tekinthetők.

művön való elhelyezkedését is. A 14. ábra az autonóm járművek közúti balesete során keletkezett károsodások helyzetének statisztikai megoszlását szemlélteti. Az AV-k többnyire (62%) hátsó sérülést szenvednek a balesetek során. Oldalsó ütközés ritkán történik (23%), míg a járművek eleje nagyon ritkán károsodik (15%). Ezen adatokból jól kivehető a ráfutásos balesetek gyakorisága [8].

### 3.5. Autonóm járművek balesetei hely szerint

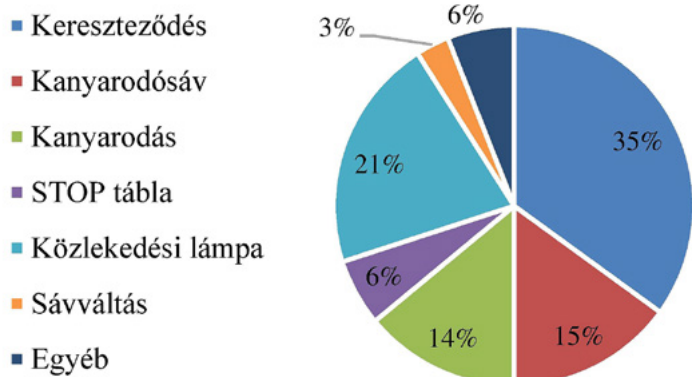
A [8] kutatásban a baleseteket a hely szerint (15. ábra) is megvizsgálták. Az esetek 35%-ában a baleset kereszteződésben történt. Ezen felül gyakori még a közlekedési lámpánál történt baleset (21%), továbbá a kanyarodás során (15%), ill. kanyarodásában (14%) történt baleset. A STOP táblánál és a sávváltáskor előforduló balesetek ritkán (6%) fordultak elő AV-k esetében [8].

A 15. ábra alapján megállapítható, hogy a balesetek nagy része

### 3.6. Autonóm járművek baleseteinek okai

A balesetek során elforduló hibákat, okokat (16. ábra) elemezve megállapítható, hogy az AV balesetek kiváltó okainál a sebesség nem megfelelő megválasztása (43,5%) és a követési távolság nem megfelelő megválasztása (26,1%) volt kiemelkedően magas a hagyományos járművekhez képest. Ennek oka abban keresendő, hogy az AV-k és a hagyományos járművek vezetési stílusa jelentősen eltér. Az AV-k finoman gyorsulnak és lassulnak, míg egyes járművezetők agresszívabb vezetési stílusúak, és

15. ábra: Az autonóm járművek közúti baleseteinek lokációja [8] alapján



nincsenek hozzászokva az AV-k eltérő dinamikus viselkedéséhez. Ezen eltérő dinamikai viselkedés korábban (6-13. ábra) valós példákön, baleseteken már szemléltetésre került. A [4] a jelenségre megoldásként azt javasolja, hogy a jármű hátulján táblával jelezzék, hogy a jármű AV, ezzel felhívva a figyelmet a vezetők számára, hogy legyenek óvatosabbak. Ilyen módon csökkenthető lenne az AV-k és a hagyományos járművek közötti balesetek száma. Várhatóan az AV-k terjedésével és a közutakon történő széles körű megjelenésükkel a hagyományos járművek sofőrjei hozzászoknak az eltérő dinamikához és körültekintőbbek lesznek az AV-kkal szemben [4].

A 16. ábra adatait vizsgálva egy érdekes megállapítás, hogy több AV baleset történt (15,2%) közlekedési jelzés vagy tábla megsértése miatt, mint hagyományos járműveknél (12,6%). Ezen tény jól mutatja, hogy a gépi érzékelés és látás még komoly fejlesztést igényel. Az AV-k ritkábban (6,5%) okoztak balesetet nem biztonságos sávváltással, mint a hagyományos járművek (8,8%). Figyelemre méltó, hogy AV egyáltalán nem okozott balesetet jogosulatlan úthasználattal vagy a gyalogos elsőbbségének megsértésével.

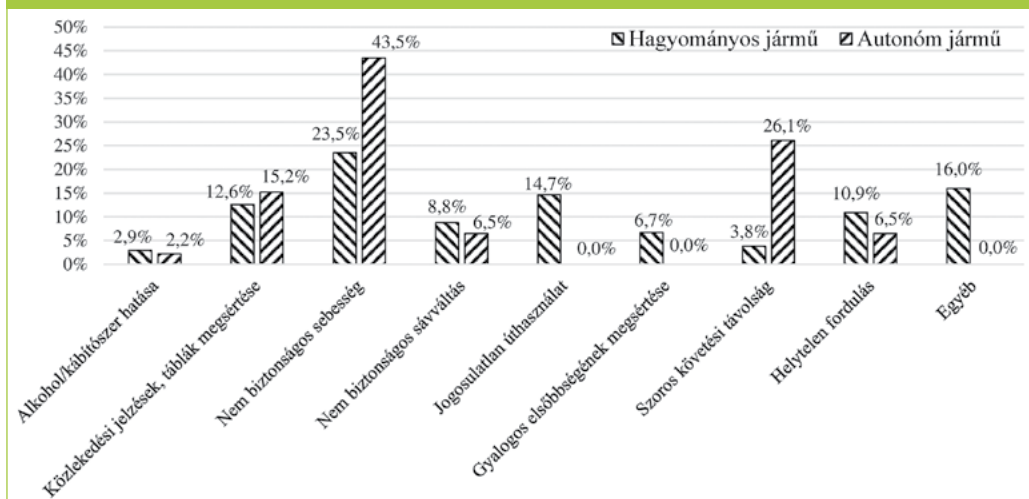
Az [5] által vizsgált balesetek 36,7%-a hagyományos kézi vezérlésű üzemben, 63,3%-a au-

tonóm üzemben történt. Ez különösen fontos megállapítás, hiszen a jövőben célszerű a baleseteket ez alapján is megvizsgálni, hogy autonóm és kézi vezérlésű üzemben mely baleset tipológiák fordulnak elő. A balesetek mindössze 6,3%-át okozta maga az AV, míg 93,7%-át másik fél, beleértve a gyalogosokat, kerékpárosokat és hagyományos járműveket is. Ezen baleseteket passzív baleseteknek tekintik a szakirodalom. Az [5] szerint a passzív balesetek elkerülése kritikus kérdés az AV-k közlekedési biztonsága szempontjából. A jövőben drasztikusan csökkenthető lenne az AV balesetek száma. Az [5] kutatásában nyomatékította, hogy az AV-vel kapcsolatos balesetek többségét nem az AV, hanem egy másik jármű, kerékpáros ill. gyalogos okozta. Ezért elengedhetetlen, hogy az AV-k képesek legyenek hatékonyan felismerni a mások által előidézett veszélyeket, előre jelezni a veszélyes viselkedést és hatékonyan beavatkozni, megelőzni a balesetet. Ezek nélkül az AV balesetek számát nem lehet majd kellőképpen redukálni [5].

#### 4. FEJLESZTÉSI KIHÍVÁSOK ÉS LEHETŐSÉGEK

Az autonóm járművek fejlesztésének még számos megoldandó problémája és kihívása van, amivel a gyártóknak még foglalkozni kell. Ilyen többek között a jármű dinamikai viselke-

16. ábra: A közlekedési balesetek megoszlása a járművezetők hibái szerint [4] alapján



désének optimalizálása, a kibertámadásoknak a veszélye vagy a gépi érzékelés, látás. Ezen fejlesztésekhez elengedhetetlenek olyan valós vezetési körülmények közötti tesztek, amelyek során a járműről, a balesetekről, a forgalomról és az időjárásról is gyűjthetők adatok. Ezen adatok segítségével a jármű viselkedése, reakciója optimalizálható. Az AV-k egyik legnagyobb lehetősége a tüzelőanyagfogyasztás, a CO<sub>2</sub>-kibocsátás és az emisszió-csökkentés, amelyek segítségével a jövőbeli klímacélok teljesíthetők. Ezen potenciális fejlesztési irány várhatóan komoly figyelmet kap az egyre szigorodó károsanyag-kibocsátási előírások miatt [6, 7, 9, 10].

A kutatók az autonóm járművek dinamikai viselkedésének optimalizálásához különböző modelleket dolgoznak ki, hogy a kritikus helyzeteket vizsgálhassák. Ezen modellek együttes célja, hogy a baleseteket hatékonyan megelőzhessék. A korábbi balesetek adatainak felhasználása az algoritmusokban különösen fontos a járműviselkedés numerikus optimalizálásához. Ezen módszerek segítenek a balesetek elkerülésében (pl. egy sávtartás segítségével) vagy a balesetek okozta károk enyhítésében (pl. a sebesség csökkentésével). Ezen okból kifolyólag az autonóm járművek baleseti adatbázisának kiépítése és fenntartása különösen fontos szerepet játszik a dinamikai viselkedésük optimalizálásában [9].

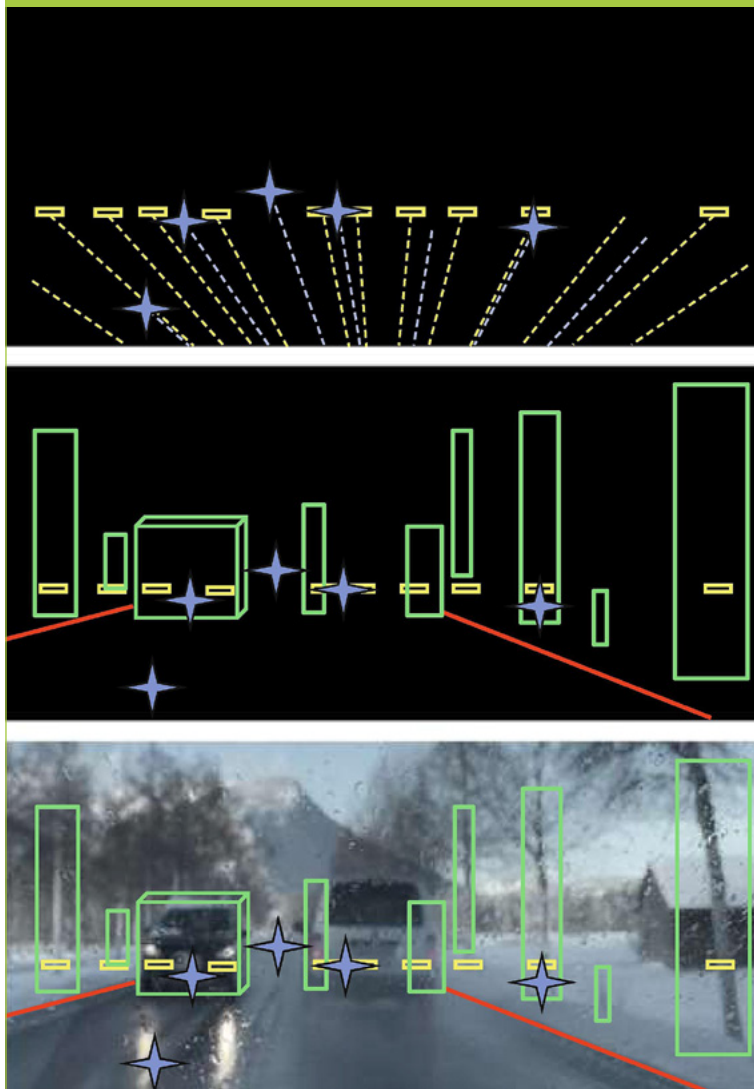
Az összekapcsolt és autonóm járművek biztonságánál és megbízhatóságánál egyaránt elengedhetetlen a kiberbiztonsággal foglalkozni. Ennek oka, hogy a hackerek az AV-kra magas biztonsági kockázatot jelentenek. Mind a gépi érzékelés, mind a különböző számítógépes hálózatok nélkülözhetetlenek az autonóm járművek hatékony működéséhez a kibertámadásokkal szemben. Ezekből kifolyólag különösen fontos a számítástechnikai biztonsági kérdésekkel is foglalkozni és a sebezhető pontokat feltárni. Többek között ilyen biztonsági rés a GPS rendszer, a képfelismerés és a fényérzékelés. A GPS rendszer feltörésével a hackerek rossz irányt állíthatnak be a járműveknek vagy a jármű útvonalát irányíthatják, befolyásolhatják. A közlekedési táblák leolvasásánál vagy egy graffiti rongálásánál a

jármű rendszere egyaránt félrevezethető. Jelenleg még az autonóm járművek kiszolgáltatottak a kibertámadásokkal és hackerekkel szemben [10].

A járművek információgyűjtésre különböző érzékelőket használnak, amelyek elsősorban a radarok, a lidarok, az infravörös és az ultrahangos érzékelők, valamint a különböző kamerák. A 17. ábra egyszerűsítve és színekkel ellátva mutatja be az egyes érzékelők mérési elveit, és hasonlítja össze az emberi érzékeléssel rossz látási viszonyok mellett. Az ábra felső részén a radar érzékelése kék színű csillaggal, a lidar pedig sárga téglalappal jelölt. A kép középső részén zölddel és pirossal vannak jelölve a kamera érzékelései. Az ábra alsó részén az emberi érzékelés is szemléltetésre került a szenzorok jeleivel együtt, amely így jól szemlélteti az emberi és a gépi érzékelés határait és azok különbségeit. Egy érdekes észlelési hiba is felfedezhető a 17. ábrán. A bal oldali radar észlelése ugyanis egy téves észlelésnek számít, mivel az a fény vizes útról történő visszaverődése vagy tükröződése. Ezen jelenség az emberi szem számára könnyen észlelhető, azonban a gépi látásnak még nehézséget jelent. A példa jól bizonyítja, hogy a fejlesztőknek még számos műszaki kihívással kell szembenéznie az AV-k érzékelésének és a gépi látásnak a fejlesztése során. Ennek ellenére nagy potenciál rejlik a gépi érzékelés fejlesztésében, hiszen az AV rossz látási viszonyoknál sokkal több mindent képes érzékelni, mint egy hagyományos jármű vezetője [7].

A [6] az autonóm járművek tüzelőanyag-fogyasztásának és károsanyag-emisszió csökkentésének lehetőségeit vizsgálták. A vezetési stílus és körülmények, valamint a jármű típusa fontos tényezők az energiafogyasztás optimalizálásában. Az AV eltérő vezetési stílusa csökkenti a tüzelőanyag-fogyasztást, akár 10-20%-kal is. Az AV-k energiafogyasztásukat és emissziójukat képesek csökkenteni azáltal, hogy elkerülik a szükségtelen megállásokat, állandó sebességgel haladnak, a sebességváltót optimális fokozatba kapcsolják, optimális fékezést és gyorsítást alkalmaznak. Ezen optimális vezetési körülményeket egy ha-

17. ábra: A gépi ill. emberi érzékelés határa és összehasonlítása [7]



gyománys jármű vezetője nem képes megoldani, hiszen egy ilyen optimalizálás gyors számításokat igényel. A jármű típusának, azon belül különösen tömegének van jelentős hatása az fogyasztásra és emisszióra, hiszen minél nehezebb a jármű, annál több energiába és emisszióba kerül annak mozgatása. Emiatt kezdtek el foglalkozni a járműgyártók a könnyű alumínium karosszériák alkalmazásával és fejlesztésével [6].

## 5. FELHASZNÁLT FORRÁSOK ÉRTÉKELÉSE

Az elemzéshez tíz cikket értékeltünk, amelyek az autonóm járművek fejlesztésével, kihívásaival és biztonsági kérdéseivel foglalkoznak. A felhasznált források közül öt foglalkozik valós baleseti adatok elemzésével [4, 5, [7-9]. A további négy cikk egyéb biztonsági kérdésekkel [10], az AV-k fejlesztési kihívásaival, trendjeivel [1, 2, 3, 6] foglalkozik. A valós baleseti adatok minden esetben Kalifornia állam adatbázisából származtak. A legtöbb cikk [4, 7, 8] elemezte a balesetek, ill. ütközések típusait. [8] és [5] gyártók szerint is vizsgálták az adatokat. A [4] – szemben a többi szerzővel – kutatásában a baleseti adatokat hagyományos járművek baleseti adataival is összehasonlította, amely miatt cikke különösen értékes. Egy ilyen összehasonlítás viszonyítási alapot biztosít és segít az adatok értelmezésében. A [7] az adato-

kat a baleset helye szerint is vizsgálta. Egyik szerző sem vizsgálta azonban a balesettípusok megoszlását a jármű automatizálás szintje vagy az AV üzemmódja szerint. Ez azért lenne hasznos, mert sok esetben a baleset kézi vezérlésű üzemmódban történt, így nem kapunk teljes képet az autonóm üzemmódban történt balesetek típusait tekintve. A szerző véleménye szerint ilyen jellegű elemzés a jövőben különösen értékes lenne.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

Az autonóm járművek jelentős hatást fognak gyakorolni életünkre számos területen és teljesen átalakítják a közlekedést. Az autonóm járművek biztonsága és a balesetmentes közlekedés („Vision Zero”) megvalósítása aktív kutatási terület napjainkban, amivel számos vállalat foglalkozik (pl. Google, Apple, BMW, Volvo). Jelenleg még az AV technológia számos területen fejlesztést igényel (pl. a gépi érzékelés tökéletesítése vagy a kiberbiztonság), azonban jelentős potenciált jelent a közúti balesetek csökkentésében azáltal, hogy kiküszöböli az emberi hiba lehetőségét. Az AV technológiával továbbá csökkenthetjük a CO<sub>2</sub> és a károsanyag-kibocsátást is.

Az AV-k esetében a leggyakoribb balesetnek a ráfutásos balesetek számítanak, amelyeknél egy hagyományos jármű ütközik hátulról az AV-ba. Ezen balesetek elsődleges oka a jármű eltérő dinamikai viselkedésében keresendő. A hagyományos járművek sofőrjeinek hozzá kell szoknia az AV eltérő vezetési stílusához. A balesetek elkerülésében sokat segíthet egy jelzés/tábla arra vonatkozóan, hogy a jármű egy AV, ezzel figyelmeztetve a járművezetőket az eltérő dinamikai viselkedésre. Figyelemre méltó, hogy gyalogos baleset és két AV közötti baleset nem történt. Az AV balesetek lokációját illetően különösen kritikusak a kereszteződések és azok közvetlen környezete. Mivel a legtöbb AV balesetet nem az AV, hanem egy másik fél okozza, ezért fontos a passzív balesetek elkerülésével is foglalkozni a jövőben. Az AV-nak fel kell ismernie a veszélyes helyzeteket és arra helyesen kell reagálnia.

A balesetek minimalizálásához az AV-k még számos fejlesztést igényelnek. A balesetek megelőzéséhez hozzájárulhat többek között a jármű dinamikai viselkedésének numerikus optimalizálása, amelyben a baleseti adatbázisok adatait felhasználják. Az autonóm járművek nagy lehetőséget jelentenek a tüzelőanyag-fogyasztás, a CO<sub>2</sub>-kibocsátás és emissziócsökkentés területén is. Ezért várhatóan a jövőben még nagyobb figyelmet kap az AV-k fejlesztése.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetem fejezem ki Dr. Koren Csaba professzor emeritusnak segítő tanácsaiért és iránymutatásáért.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Sarkar, S. B., Mohan, B. C. (2019) "Review on Autonomous Vehicle Challenges", In: First International Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Computing, Advances in Intelligent Systems and Computing, Bapi, R., Rao, K., Prasad, M. (Eds.), Springer, Singapore, 815, pp. 593-603. DOI: <https://doi.org/hhtk>
- [2] Törő, O., Bécsi, T., Aradi, Sz. (2015) "Design of Lane Keeping Algorithm of Autonomous Vehicle", Periodica Polytechnica Transportation Engineering 44(1), pp. 60-68. DOI: <https://doi.org/ggfvvq>
- [3] Tettamanti, T., Varga, I., Szalay, Z. (2016) "Impacts of Autonomous Cars from a Traffic Engineering Perspective", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 44(4), pp. 244-250. DOI: <https://doi.org/hhtm>
- [4] Petrovic, D., Mijailovic, R., Pesic, D. (2020) "Traffic Accidents with Autonomous Vehicles: Type of Collisions, Manoeuvres and Errors of Conventional Vehicles' Drivers", Transportation Research Procedia, 45, pp. 161-168. DOI: <https://doi.org/hhtn>
- [5] Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., Zhao, J. (2020) "Safety of Autonomous Vehicles", Journal of Advanced Transportation, 2020. DOI: <https://doi.org/gjk88z>
- [6] Cao, H., Zöldy, M. (2020) "An Investigation of Autonomous Vehicle Roundabout Situation", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 48(3), pp. 236-241. DOI: <https://doi.org/hg4m>
- [7] Winkle, T. (2016) "Safety Benefits of Automated Vehicles: Extended Findings from Accident Research for Development, Validation and Testing", In: Autonomous Driving. Maurer, M., Gerdes, J., Lenz, B., Winner, H. (Eds.), Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 335-364. DOI: <https://doi.org/dqsh>

- [8] Favaro, F. M., Nader, N., Eurich, S. O., Tripp, M., Varadaraju, N. (2017) "Examining accident reports involving autonomous vehicles in California", PLoS ONE 12(9). DOI: <https://doi.org/gbw9sr>
- [9] Olofsson, B., Nielsen, L. (2020) "Using Crash Databases to Predict Effectiveness of New Autonomous Vehicle Maneuvers for Lane-Departure Injury Reduction", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. DOI: <https://doi.org/gjbn8z>
- [10] Khadka, A., Karypidis, P., Lytos, A., Efstathopoulos, G. (2021) "A benchmarking framework for cyber-attacks on autonomous vehicles", Transportation Research Procedia 52, pp. 323–330 DOI: <https://doi.org/hhtp>



### Road safety of autonomous vehicles

Autonomous vehicles (AVs) will have a significant impact on our lives in many areas, such as road transport, passenger transport, and freight transport. AVs have the potential to reduce accidents, traffic, and emissions at the same time. Various developments are still needed for the widespread application and to achieve accident-free transportation. For this reason, it is particularly important to investigate the safety and reliability of AVs. The article analyzes road accident data and potential safety benefits of AVs and compares them with conventional vehicles. It also examines the type, the location, and the causes of accidents, as well as the dynamics of the accident. The article also addresses development opportunities and challenges, such as the risk of cyber-attack or the necessary improvement of machine perception.



### Verkehrssicherheit autonomer Fahrzeuge

Autonome Fahrzeuge (AVs) werden unser Leben in vielen Bereichen wie dem Straßen-, Personen- und Güterverkehr maßgeblich beeinflussen. AVs haben das Potenzial, gleichzeitig Unfälle, Verkehr und Emissionen zu reduzieren. Für die breite Anwendung und um einen unfallfreien Transport zu erreichen, sind noch verschiedene Entwicklungen notwendig. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, die Sicherheit und Zuverlässigkeit von den AVs zu untersuchen. Der Artikel analysiert Verkehrsunfalldaten und potenzielle Sicherheitsvorteile von AVs und vergleicht sie zu konventionellen Fahrzeugen. Außerdem werden Unfallart, Unfallort und Unfallursachen sowie die Unfalldynamik untersucht. Der Artikel geht auch in Entwicklungsmöglichkeiten und Herausforderungen ein, wie das Risiko von Cyber-Angriffen oder die notwendige Verbesserung der maschinellen Wahrnehmung.

