

Az összekapcsolt autonóm járművek mibenlétéről

Beküldve: 2023.04.28.
Elfogadva: 2023.08.18.
Online közzététel: 2023.12.18.



DR. LUKOVICS MIKLÓS habilitált egyetemi docens, PhD, Szegedi Tudományegyetem Gazdaságtudományi Kar, miki@eco.u-szeged.hu

Kivonat: Az autonóm járművekkel kapcsolatos műszaki-természettudományi, valamint társadalomtudományi kutatások száma napjainkban dinamikusan nő, így egyre többet tud a nemzetközi tudományos és gyakorlati közösség az autonóm járművekről. Ezzel párhuzamosan a járműautomatizálásban és a közlekedési infrastruktúrában olyan új technológiák erősödnek meg, amelyek lehetővé teszik azt, hogy az autonóm járművek adatkapcsolatot létesítsenek egymással, a közlekedés egyéb résztvevőivel és az infrastruktúrával. Mindez lehetővé teszi, hogy az autonóm járművek ne csupán „lássák”, hanem „érezékeljék” is a környezetüket, növelve ezzel a városi közlekedés biztonságát, és jelentősen átalakítva a városi közlekedést. Jelen tanulmány célja, hogy körüljárja az összekapcsolt autonóm járművek (Connected and Autonomous Vehicles, CAV) mibenlétét, arról elméleti áttekintést adjon. Célunk, hogy a hazai tudományos és gyakorlati közösség számára olyan „fogalomtárát” hozzunk létre, amely könnyen áttekinthetővé teszi az összekapcsolt önvezető járművek témakörét, megkönnyítve ezzel a városi közlekedési rendszerekbe való illeszthetőségük előkészítését.¹

Kulcsszavak: autonóm járművek, összekapcsolt és autonóm járművek, városi mobilitás

On the Essence of Connected Autonomous Vehicles

Abstract: The number of technical, natural science and social science researches on autonomous vehicles is rapidly increasing, allowing the international scientific and practical community to learn more about autonomous vehicles. At the same time, new technologies are emerging in vehicle automation and transportation infrastructure, which enable autonomous vehicles to establish data connections with each other, other traffic participants, and the infrastructure. This makes it possible for autonomous vehicles not only to „see” but also to „sense” their surroundings, increasing urban traffic safety and significantly transforming urban transportation. The aim of this study is to provide a theoretical overview of the nature of connected and autonomous vehicles (CAV) and to create a „vocabulary” that makes it easy for the Hungaria scientific and practical community to understand the topic of connected autonomous vehicles, facilitating the preparation of their integration into urban transport systems.

Keywords: autonomous vehicles, connected and autonomous vehicles, urban mobility

Bevezetés

Az autonóm járművek képességei és fejlődése folyamatosan az érdeklődés középpontjában áll, mivel azok a jövőbeni közlekedési megoldások egyik legfontosabb forradalmi változását ígérik (Cohen et al., 2020). Az autonóm járművek azonban csak egy része azon új technológiáknak, amelyek gyorsan fejlődnek a közlekedési ágazatban, és számos lehetőséget rejtenek az utazási és szállítási szektor számára, például azt, hogy a közlekedés különböző eszközei adatkapcsolatban álljanak egymással (Jiang, 2022). Ebből adódóan napjainkban az autonóm járművek fogalma mellett egyre gyakrabban találkozhatunk a nemzetközi szakirodalomban az összekapcsolt autonóm járművek (Connected and Autonomous Vehicles, CAV) fogalmával is (Rebalski et al., 2022).

Az autonóm járművek és az összekapcsolt közlekedési infrastruktúra együttesen jelentős változásokat hozhatnak a városi közlekedés területén, és számos lehetőséget kínálnak a hatékonyabb, fenntarthatóbb és biztonságosabb közlekedési megoldások kialakítására (Shepard et al., 2022). Talán éppen erre vezethető vissza, hogy nagyon ritka az olyan technológiai fejlesztés, amely akkora közfigyelmet kap, mint jelenleg az összekapcsolt és automatizált

¹Jelen kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

járművek Chehri és Mouftah (2021). Az adatcsere felhasználható különböző alkalmazások fejlesztésére, amelyek növelhetik a közúti biztonságot, jobban irányíthatják a forgalom áramlását, és további kényelmi szolgáltatásokat nyújthatnak a járművezetőknek.

Az önvezetés és az összekapcsoltság két alapvető jelentőségű tényező, amikor a közlekedési rendszer változásairól beszélünk (Mitteregger et al., 2022). A kettő mégis különbözik, hiszen léteznek olyan önvezető járművek, amelyeknél nem beszélhetünk összekapcsoltságról, és léteznek olyan összekapcsolt járművek is, amelyek nem önvezetők. Egyre hangsúlyosabb azonban a kettő egy lapon való említése, egyre többet használgják a “connected and automated vehicles”, azaz “összekapcsolt autonóm járművek” kifejezést, tehát már nem csak autonóm járművekről beszélünk, hanem olyan autonóm járművekről, amelyek képesek kommunikálni egymással és/vagy a környezetükkel (PSC 2017). Azonban az autonóm járművek és az összekapcsolt közlekedési infrastruktúra bevezetésekor számos kihívás is felmerül, amelyeket figyelembe kell venni az innováció sikeres és fenntartható megvalósítása érdekében.

Mindezek alapján fontos megértenünk azt, hogy miképpen ragadható meg az összekapcsolt autonóm járművek fogalma, így tanulmányunk célja az összekapcsolt autonóm járművek mibenlétének körüljárása. Fontos feltárunk és látnunk az egyes megközelítésekben rejlő logikai különbségeket, és azokat helyesen alkalmazni akkor, amikor a mobilitási kihívásokra adott válaszainkat megtervezzük.

Ennek érdekében tanulmányunkban – egy rövid történelmi visszatekintést követően – elméleti kutatást végzünk, és feltárjuk a nemzetközi szakirodalomban fellelhető fogalmi meghatározások legfontosabb irányait. Kitérünk arra is, hogy a kapcsolódó autonóm járművek számára milyen kommunikációs lehetőségek állnak rendelkezésre (V2V, V2I, V2P, V2X), valamint bemutatjuk ezen járművek funkcionális összetevőit.

Leonardo da Vinci önvezető szekerétől az első önvezető járművekig

Logikusan gondolhatjuk úgy, hogy az autonóm járművek innovációja egyértelműen korunkhoz köthető, azonban már Leonardo da Vinci is élénken gondolkodott a 15. században azon, hogy miképpen haladhatna egy szeker anélkül, hogy azt bármi vontatná vagy tolná. Létre is hozta „önhajtású szekerét”, amely korabeli technikákat alkalmazva, rugós mechanikával működve képes volt előre meghatározott útvonalat, kanyart követni (TWT 2021).

Bimbraw (2015) szerint a mai autonóm járművek felé vezető első fontos lépés a rádióvezérelt autó volt, amelyet Linriccan Wondernek neveztek el. 1925-ben Francis Houdina feltaláló egy távirányítású autót mutatott be Manhattan utcáin, amelyben senki nem ült a vezetőülésben. A rádióvezérlés képes volt beindítani a motort, sebességet váltani, és dudálni. Ez az autó bepillantást adott, milyenek lehetnek majd a jövő autonóm járművei, de gyorsan leállították, amikor a rádióvezérlés kétszer is elveszítette az irányítást az úton, és a Linriccan Wonder ütközött egy másik járművel. Az átalakított formáját a Linriccan Wondernek a „Phantom Auto” néven használták, és 1926 decemberében Achen Motors mutatta be Milwaukee-ben. Kovács (2018) kiemeli, hogy 1940-ben egy amerikai formatervező, Norman Bel Geddes könyvében olyan városokról ír, melyben az autók az úthálózatba épített jelekkel kommunikálnak,

Fontos mérföldköve az autonóm járművek történelmének az 1939-es New York-i világitállítás, ahol a General Motors Futurama projektjében egy képzeletbeli 1960-as jövőképet mutattak be tele önvezető járművekkel. A technológia rádióvezérléssel és az utakon elhelyezett fém elemek elektromágneses jeleinek segítségével tájékozódott a meghatározott vonalakon (Miller 2020).

Kovács (2018) történelmi áttekintésében rámutat arra, hogy 1969-ben egy mesterséges intelligenciával foglalkozó kutató, John McCarthy ír emberi segítség nélkül, kamerák segítségével tájékozódó autóról. Bár ebben az időben ezek az elképzelések még megvalósíthatatlannak számítottak, számos olyan ötlet született, ami talán nem is áll olyan messze a nagyjából száz évvel későbbi valóságtól. A cikk szerint az 1980-as évektől számos fejlesztés indult, ami lehetővé tette az autók önvezetéshez való közeledését. 1995-ben megszületett az egyik valódi előfutára az önvezető járműveknek, egy részlegesen önvezető kisbusz, ami Dean Pomerlau és Todd Jochem munkája volt. A kisbusz Pomerlau már az 1990-es évek elején megfogalmazott elmélete szerint közlekedett, azaz működés közben feldolgozta a képeket, és azok alapján tájékozódott, bár a megállításhoz és a gyorsaság szabályozásához még emberre volt szükség. Pomerlau az önvezető autók rendszerét az emberi idegrendszer működéséhez hasonlította. A 2000-es évektől kezdve az önvezető technológia bizonyos részeit, például a parkolást segítő rendszereket átvette az autóiipar, és folyamatosan tökéletesítette.

Jelentős áttörést talán az először 2004-ben, az Amerikai Védelmi Minisztérium által megszervezett DARPA kihívások jelentettek, amelyeknek célja egy olyan önvezető jármű készítése volt, amely fix akadálypályát teljesíteni

képes. A kihívás célja az volt, hogy a tervezett jármű sikeresen átnavigálja magát egy kegyetlen, 132 mérföldes sivatagos akadálypályán, természetesen katonai felhasználási szándékkal. A kihívásnak 2005-ben lett meg az első nyertese, amelynek díjazása 2 millió dollár volt. Ezt követően olyan nagy momentumra kapott az önvezető technológiák fejlesztése, amelyet Hanky Sjafrie az 1950-es évek úrkutatás helyzetéhez hasonlított könyvében (Sjafrie, 2019).

Ezt követően az események felgyorsultak, és 2023-ban már a világ több száz városában több tucat önvezető járműfejlesztő cég végez utcai teszteket a közúti forgalomban. A világ több nagyvárosában (például Phoenix, San Francisco, Los Angeles, Peking) biztonsági sofőr nélküli robot taxival utazhat bárki, sőt a Waymo és a Cruise cégek már bemutatták a kormánykerék nélküli önvezető autójuk prototípusát.

Kiindulás: az autonóm járművek fogalmi lehatárolása

Az önvezető vagy autonóm járművek fogalma egyre inkább elterjedté és letisztulttá válik, a tudomány és a gyakorlat egyaránt kiemelt jelentőséget tulajdonít a témakörnek. Az önvezető járművek meghatározása során az „önvezető” jelző megértéséből szükséges kiindulni, amelyhez az automatizáció szintjeinek megismerése jelent megfelelő alapot. E szintek kategorizálása szervezettől függően változhat, a legmeghatározóbbak az egyesült államokbeli NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) és SAE (Society of Automotive Engineers), valamint a német BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) csoportosítása. A nemzetközi szakirodalomban a fogalmi lehatárolás a legtöbb esetben a SAE J3016 szabványból indul ki, így kutatásunk során magunk is ezt tekintjük kiinduló pontnak. Az SAE által meghatározott automatizációs szintek a következők (ITF 2015, Lukovics et al., 2018):

- 0. szint: nincs automatizáció, az irányítás folyamatosan a vezető kezében van, még ha a vezetést aktív biztonsági rendszerek segítik is.
- 1. szint: vezetői asszisztens, bizonyos vezetéstámogató rendszerek segítik a jármű mozgását, de az irányításért a vezető a felelős.
- 2. szint: részleges vezetésautomatizálás, a hosszanti vagy oldalirányú vezérlés automatikusan történik bizonyos esetekben, de a vezetőnek folyamatosan felügyelnie kell a járművet.
- 3. szint: feltételes vezetésautomatizálás, a vezetés teljes folyamatát képesek elvégezni a telepített rendszerek, de a vezetőnek folyamatos készenlétben kell lennie.
- 4. szint: magas szintű automatizálás, már nem kell a sofőrnek bármikor készen állnia a közbelépésre, de ha a körülmények indokolják, át kell vennie az irányítást.
- 5. szint: teljes automatizálás, amikor már minden helyzetben önvezető a jármű.

A SAE-tipizáláshoz köti Mitteregger és szerzőtársai (2022: 24) saját definícióját: „Az általánosan „önvezető” vagy „autonóm” járműként ismert jármű megfelel az SAE terminológiájában ajánlott „teljesen automatizált járműnek”(Mitteregger et al., 2022).

A SAE-tipizáláson, illetve a közvetlenül arra épülő fogalmi megközelítések mellett természetesen önálló definíciók is elérhetőek: „Az autonóm jármű olyan gépjármű, amely mesterséges intelligenciát, érzékelőket és a globális helymeghatározó rendszer koordinátáit használja arra, hogy emberi vezető aktív beavatkozása nélkül, önvezetésre legyen képes” (Chehri – Mouftah, 2021: 259).

Ivus és szerzőtársai (2020) azzal egészítik ki mindezt, hogy az autonóm jármű szenzorok, vezérlők és fedélzeti számítógépek, valamint kifinomult szoftverek kombinációját használja, és ezek segítségével képes bizonyos vezetési funkciókat elvégezni az ember helyett.

Az önvezető vagy autonóm jármű fogalmi lehatárolása szempontjából a magyar nyelvű szakirodalomban meghatározó a Csizmadia Zoltán és Rechnitzer János által szerkesztett „Az önvezető járművek világa” című kötet, amelynek fogalomtárában az alábbi definíciók találhatóak (Csizmadia – Rechnitzer, 2021: n.o.):

- „Autonóm jármű (autonomous vehicle): Azokat a járműveket tekintjük valamilyen fokon/szinten autonómnak, amelyeknek bizonyos vezetési, biztonsági vagy kényelmi célokat szolgáló funkciói már automatizáltak, a sofőr közvetlen beavatkozása nélkül is üzemelnek. Az ilyen jellegű technológiák közül néhány már széles körben elterjedt – pl. automatikus sávtartás, sebességtartó automatika (tempomat), parkolási asszisztens – míg mások még inkább csak kísérleti stádiumban működnek (az automatizáltság fokozataihoz lásd SAE szintek). A teljesen automatizált autonóm járműveket önvezető járműveknek nevezzük.
- Önvezető jármű (self-driving vehicle): Az önvezető jármű fogalma alatt az automatizáltság legmagasabb szintjét értjük. Ebben az esetben a vezetéshez kapcsolódó összes feladatot a jármű veszi át, a sofőr

tevékenységére nincs szükség a jármű irányításában, amely a külső környezetet érzékelő szenzorok és az irányítást végző szoftverek kommunikációja alapján történik, tehát emberi beavatkozás nélkül, digitális technológiák segítségével működik (lásd SAE 5. szint). Az autonóm jármű tehát a humán vezetőhöz hasonló áttekintő, környezetelemző és döntéshozó képességekkel rendelkezik. Képes arra, hogy saját döntéseket hozzon, és ezek alapján minden eshetőségre ember által adott utasítás nélkül válaszoljon.”

Az összekapcsolt autonóm járművek definíciós megközelítése

Az összekapcsolt autonóm járművek kifejezés az olyan automatizált járművekre használatos, amelyek képesek egymással és/vagy a környezetükkel kommunikálni (PSC 2017). „A hálózatba kapcsolt és autonóm járművek az Internet-of-Things (IoT) eszközök és a környező fizikai és digitális környezettel való kommunikációra alkalmas hálózati képességek kombinációját jelentik.” (Ivus et al., 2020: 7) „A CAV-ok vezeték nélküli hálózatokat és érzékelőket használnak a releváns forgalmi és egyéb létfontosságú információk megszerzéséhez vezetés közben, az irányítást pedig kifinomult szoftverek végzik” (Ivus et al., 2020: 5). Egy hasonló megközelítés szerint a CAV-ok „olyan járművek, amelyek vezetésautomatizálási rendszerekkel vannak felszerelve, és képesek kommunikálni a közlekedésben részt vevő szereplőkkel” (Lee – Hess 2020, 86.o.). Fontos kiegészítés, hogy cikkben a CAV deklaráltan a hármas, vagy annál magasabb SAE automatizáltsági szintű járművekre vonatkozik.

A CAV-ok képesek lehetnek megváltoztatni a vezetés automatizálásával és az összekapcsolással külön-külön elérhető lehetőségeket (Guanetti et al., 2018).

Rios-Torres és szerzőtársai (2016) alapján a csatlakoztathatóság drámai javulást eredményezhet a környezet iránti tudatosság terén, és ezáltal az autonóm járművek biztonságát is javíthatja, az érzékelő rendszerek korlátai ellenére. Ehhez kapcsolódó megközelítés szerint: „A CAV-ok két különálló komplex koncepció, nevezetesen az összekapcsolhatóság és az autonómia szintézisének tekinthetők, amelyek egyesítése jelentős szinergiákhoz, de potenciálisan katasztrofális sebezhetőségekhez és korábban nem látott fenyegetésekhez, veszélyekhez is vezet”. (Nikitas et al., 2022: 1)

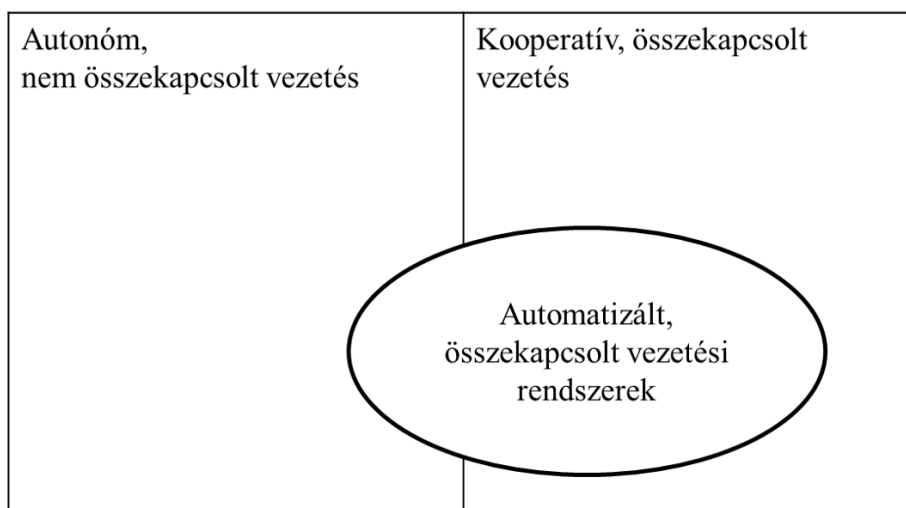
Az összekapcsolt és automatizált járművek rövidebb hézagokat és gyorsabb reakciókat biztosíthatnak a járművek között, miközben a megfelelő célsébségek meghatározásával javíthatják az autópályák kapacitását. E technológiák átfogó célja a biztonság javítása, miközben csökkentik az üzemanyag-fogyasztást, a kibocsátást és a forgalmi torlódásokat.

A CAV-ok lehetséges alkalmazásai például a fokozott tudatossággal megvalósuló valós idejű irányítás és tervezés, a mikroszintű forgalmi információkkal történő útvonaltervezés és a közlekedési jelzésekkel kapcsolatos információkkal történő összehangolt menetrend szerinti közlekedés (Guanetti et al., 2018).

Az összekapcsolódás és az automatizálás a közlekedési rendszer változásának fő mozgatórugói, mégis két alapvetően különböző dologról van szó, amelyek nem feltétlenül kapcsolódnak egymáshoz (Perret et al., 2017: 6). Ennek ellenére egyre nagyobb hangsúlyt kap ezek egyidejűsége és párhuzamos fejlődése: míg a korai kutatások gyakran beszéltek autonóm vezetésről vagy autonóm járművekről, az újabb cikkek egyre gyakrabban használják az „összekapcsolt és automatizált járművek” kifejezést: „Bár az automatizált járműveknek nem feltétlenül kell összekapcsoltnak lenniük, és az összekapcsolt járművek nem igénylik az automatizálást, középtávon várhatóan az összekapcsolhatóság lesz az automatizált járművek egyik fő eszköze” (EC, 2018: 4).

A járművek összekapcsolódásának és az automatizálásnak az egyidejűségét az magyarázza, hogy már jelenleg is a növekvő összekapcsolódást tekintik bizonyos vezetési feladatok előfeltételének. Például az aktuális forgalmi helyzetre, az úttest állapotára és esetleg magára az infrastruktúrára (közlekedési lámpák, fizetőkapuk stb.) vonatkozó adatokra lehet szükség a jármű biztonságos automatizált működésének elősegítéséhez (Ritz, 2018: 184). Továbbá, az automatizált járművek néhány kívánt hatása csak akkor érvényesül, ha összekapcsoltan működnek. Ilyen például az utakon és az úthálózatban a hatékonyság növelése az elosztás eredményeként, a járműforgalom növelése és a biztonság javítása (Kagermann, 2017; Shladover, 2018).

Mitteregger és szerzőtársai (2022) szerint ez azt is jelenti, hogy bár az első automatizált vezetési rendszerek többsége, amelyek csak alacsonyabb szintű automatizált vezetési funkciókat kínálnak, még viszonylag függetlenek és nem, vagy alig vannak összekapcsolva, hosszú távon - amikor az automatizálás magasabb szintjeit elérjük - fontos lesz, hogy az automatizált vezetési rendszerek a lehető legjobban össze legyenek kapcsolva, hogy valóban elérjék a kívánt hatást (1. ábra).



1. ábra Az autonóm, a kooperatív és az automatizált és összekapcsolt vezetési rendszerek

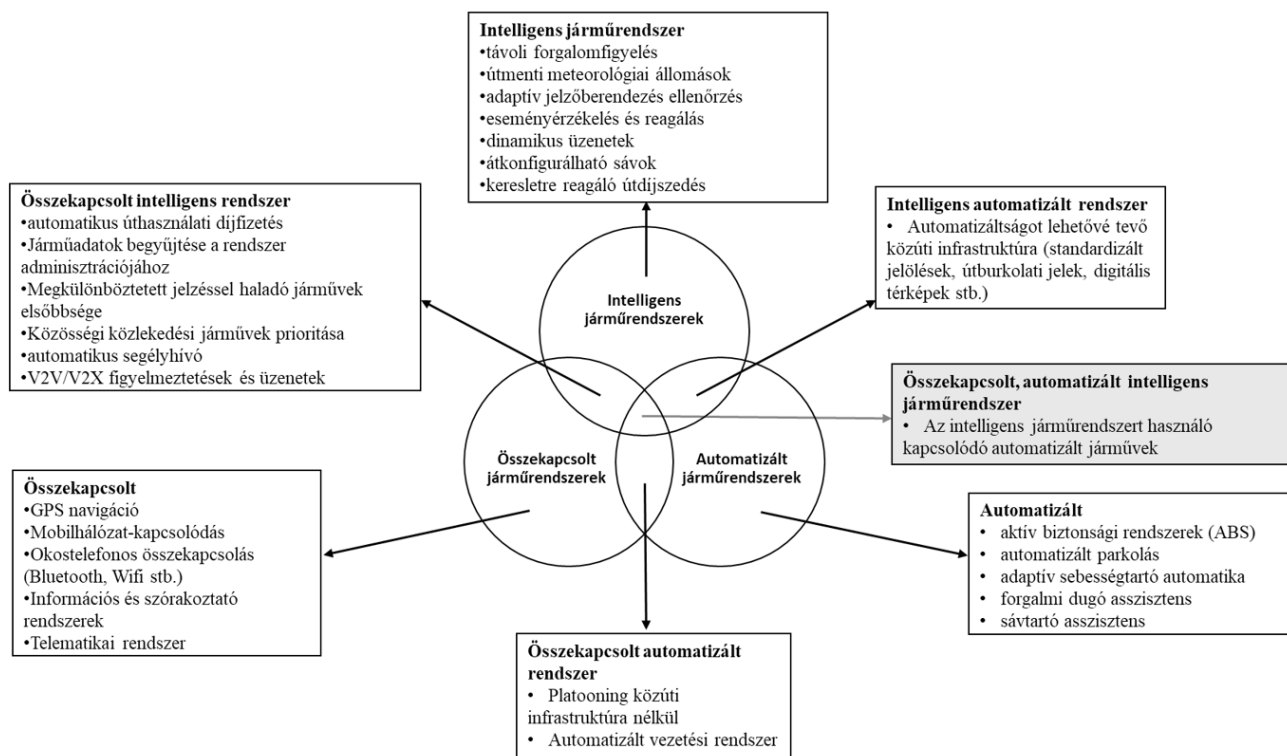
Forrás: Mitteregger et al. (2022) 59. o.

A nemzetközi szakirodalom általában egy egyszerű két dimenziós logika (automatizáció és kapcsolódás) mentén helyezi el a kapcsolódó autonóm járműveket, azonban találkozhatunk olyan megközelítéssel is, ahol a kapcsolódó autonóm járművek fogalmi lehatárolása komplexebb módon, egy három dimenziós strukturában történik. A két dimenziós definíciók által lehatárolt CAV-fogalom ez esetben három rendszer metszéspontjában található: (PSC, 2017):

- Az intelligens közlekedési rendszer egy komplex rendszer, amely magába foglalja az elektronikát, kommunikációt és információfeldolgozást, amelyek önmagukban vagy egymással kombinálva alkalmazva javítják a közlekedési rendszer hatékonyságát vagy biztonságát. A rendszer egészében értelmezendő, minden alkotó elemének a szinergiája fontos. A jármű-jármű (V2V) és a jármű-infrastruktúra (V2I) kommunikációs rendszerek az ITS fontos elemei. A V2V rendszerek a járművek közötti vezeték nélküli kommunikációt írják le, például a biztonsági figyelmeztetések és üzenetek közvetítését. A V2I rendszerek a járművek és az infrastruktúra közötti vezeték nélküli kommunikációt írják le, mint egy olyan rendszer, amely a járművet navigációs célokra összekapcsolja a mobiltornyokkal. Az intelligens járműrendszer például képes felismerni és jelezni, ha a közelben baleset történt.
- Az összekapcsolt járműrendszerek digitális kommunikációt tesznek lehetővé a jármű és a külvilág között. Néhány jármű csak információ fogadására, mások csak információ átadására képesek, illetve van amelyik mindkettőre. Az összekapcsolt járműrendszerek digitális jellegűek és nem tartalmaznak érzékelő alapú (pl. Lidar, radar) vagy analóg rendszereket (pl. AM/FM, VB rádió). Összekapcsolt rendszerről beszélünk például GPS esetében, vagy okostelefonnal, bluetoothon vagy wifin történő összekapcsoláskor.
- Az automatizált járműrendszerek olyan elektronikus rendszerek, amelyek befolyásolják a jármű hosszanti, vagy oldalirányú mozgását. Automatizált rendszer a sávtartó, vagy a parkolóasszisztens, automatizált és összekapcsolt rendszerről pedig például platooning szállítási technológia esetén beszélünk.

Az összekapcsolt önvezető járművek kifejezést számos járműtechnológiára használhatjuk, amelyek a közlekedés javítását célozzák. Ezek a technológiák működhetnek a jármű vagy a közlekedési rendszer szintjén, illetve mindkettőn egyszerre. Számos automatizálási és csatlakoztatási lehetőség létezik, a járművek csatlakoztathatók anélkül, hogy automatizáltak lennének, illetve lehetnek automatizáltak anélkül, hogy képesek lennének egymással kommunikálni (2. ábra). Az összekapcsolt önvezető járműveket gyakran az intelligens közlekedési rendszerekkel (Intelligent Transport System, ITS) azonosítják, pedig ez egy sokkal tágabb, járműrendszereket meghaladó fogalom (PSC 2017).

Az intelligens és automatizált rendszer képes a közúti infrastruktúrák alapján tájékozódni, például képes érzékelni és értelmezni az aszfalton található felfestéseket. Összekapcsolt és intelligens rendszerről beszélünk például abban az esetben, ha járművünk baleset esetén azonnal hívja a mentőket, vagy ha automatikusan elsőbbséget ad a megkülönböztető jelzéssel haladó járműveknek, közösségi közlekedési járműveknek, de ide sorolhatjuk a V2V és V2X kommunikáció során létrejövő figyelmeztetéseket és üzeneteket is. Ezeknek a járműrendszereknek tehát számos különböző kombinációja létezik. Eszerint a megközelítés szerint CAV-ról csak a legkisebb részhalmaz esetében beszélünk, tehát ha intelligens is, automatizált is és összekapcsolt is a járműrendszer, például infrastruktúra alapján tájékozódó önvezető járművek esetén (2. ábra).



2. ábra Fejlett közlekedési technológiák

Forrás: PSC (2017) alapján saját szerkesztés

Figyelemre méltó, hogy az AV és a CAV mozaikszavak mellett további mozaikszavak is feltűnnek a téma szakirodalmának olvasása közben. A CAV rövidítést hajtáslánctól függetlenül használjuk, azaz a vizsgálat szempontjából irreleváns, hogy a jármű robbanómotorral vagy elektromos hajtáslánccal közlekedik. Bizonyos szerzők azonban a jövő mobilitását egyértelműen az önvezetés, a kapcsolódás és az elektromos hajtáslánc kombinációjában látják. A hálózatba kapcsolt és autonóm elektromos járművek (Connected and Autonomous Electric Vehicle, CAEV) alapvetően a hálózatba kapcsolt járművek (Connected Vehicles, CV), az autonóm járművek (Autonomous Vehicles, AV) és az elektromos járművek (Electric Vehicles, EV) kombinációja (Vaidya et al. 2021). Szintén a témakörhöz kapcsolódó kifejezés a kapcsolódó hagyományos jármű (Connected Human-driven Vehicle, CHV), amely arra utal, hogy az összekapcsoltság csak abban az esetben eredményes teljes mértékben biztonságos rendszert, ha a CAV-járművek a hagyományos járművekkel is tudnak kapcsolódni (Niroumand et al., 2020).

Szintén ide tartozik az összekapcsolt automatizált szállítás (connected and automated transport, CAT) és az összekapcsolt és automatizált mobilitás (connected and automated mobility, CAM) is. Ezen technológiák bevezetése várhatóan jelentős hatással lenne a városi fejlődésre, de a kapcsolódó technikai fejlesztések még kísérletezés alatt állnak, illetve ezeken kívül szükség van a társadalmi elfogadás és sok más tényező kialakulására ahhoz, hogy széles körben el tudjon terjedni a technológia (Mitteregger et al., 2020).

Az összekapcsolt autonóm járművek kommunikációja

Khan és szerzőtársai (2022) alapján a CAV-ok kommunikációja többféle lehet:

- „V2V”, vehicle to vehicle: a járművek egymással osztanak meg információkat, ütközés előtt képesek egymásnak figyelmeztetést küldeni, egyéb vészhelyzetekben riasztják egymást
- „V2I” vehicle to infrastructure: a járművek az infrastruktúrával kommunikálnak, valós időben küldenek és fogadnak információt az időjárási viszonyokról, útviszonyokról, forgalmi jelzőlámpákról (pl. zöldhullám), sebességkorlátozásokról és felmerülő útdíjakról
- „V2C” vehicle to cloud: a jármű a felhővel kommunikál
- „V2P” vehicle to pedestrian: a járművek információt kapnak a gyalogosok elhelyezkedéséről és irányváltoztatásairól
- „V2X” vehicle to everything: a jármű a fentiek mindegyikével képes kommunikálni.

- A járművek egymáshoz való kapcsolódási képességét aszerint kategorizálják, hogy mivel jön létre a kapcsolat (1. táblázat). A „vehicle to everything” vagy V2X a járművek teljes kommunikációs képességét írja le: akár egymással (V2V), akár az infrastruktúrával (V2I) vagy a gyalogosok mobil eszközeivel is képesek kommunikálni (V2P) (Shladover, 2018).

1. táblázat Kommunikációtípusok és lehetséges alkalmazásai

Kapcsolat típusa	Magyarázat	Alkalmazás
Jármű-Jármű közötti (V2V)	Járművek egymás közötti kommunikációja	Valós idejű információk a következőkről: - ütközés figyelmeztetés - veszélyjelzések - együttműködő adaptív sebességtartó automatika (CACC) - platooning - csatlakozási garancia a közlekedési mód megváltoztatásakor stb.
Jármű-Infrastruktúra közötti (V2I)	Járművek kommunikációja az út menti infrastruktúrával	Valós idejű információk a következőkről: - időjárás - útviszonyok - közlekedési lámpák (pl. zöld hullám) - változó sebességkorlátozások - útdíjfizetés stb.
Jármű-Gyalogos közötti (V2P)	Járművek kommunikációja az utasokkal és a nem motorizált úthasználókkal	Valós idejű információk a következőkről: - pozíció - sebesség - irány stb.

Forrás: Mitteregger et al. (2022) 62. o.

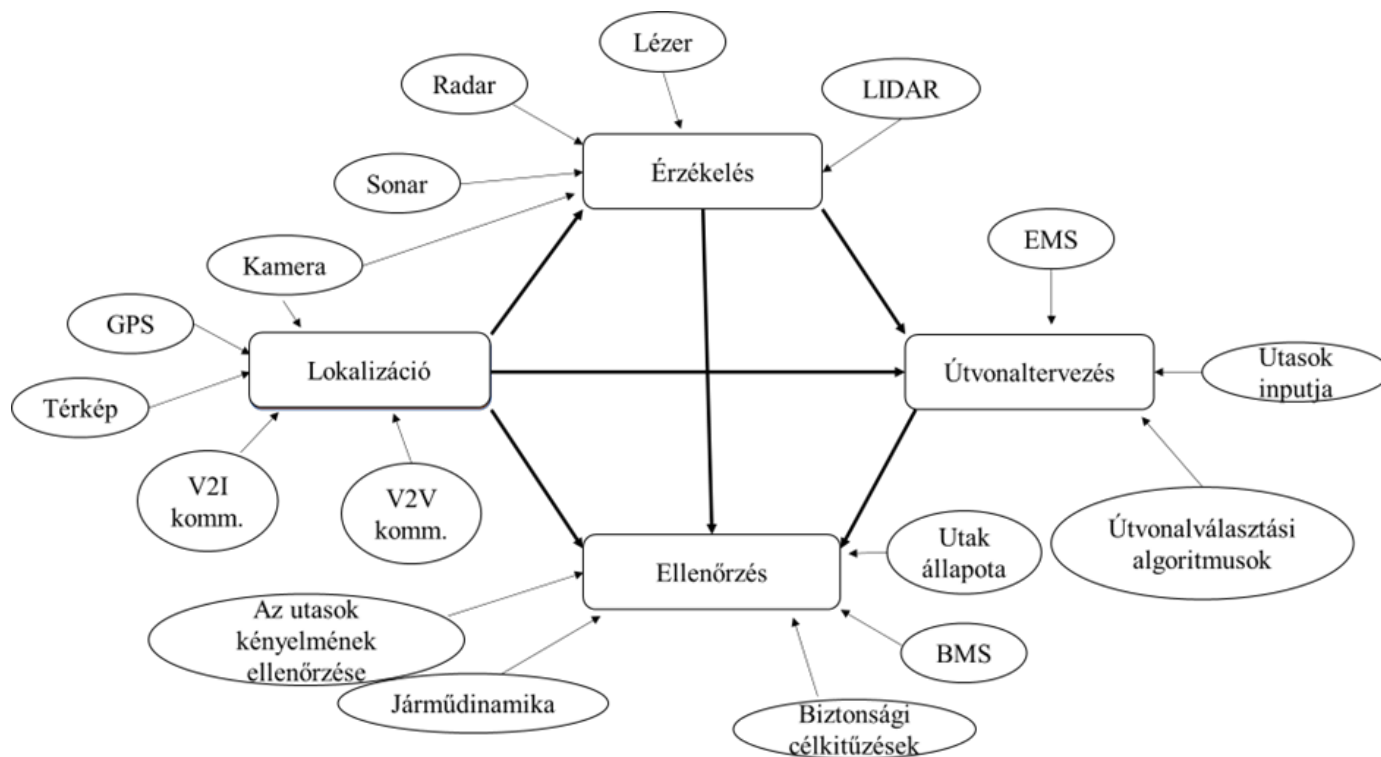
A lehetséges alkalmazások a dinamikus és erősen koncentrált platooningtól, valamint az összekapcsolt ütközés- és veszélyjelzőktől (V2V) az időjárás és útviszonyokra vonatkozó valós idejű információkon át (V2I) a gyalogosokkal közvetlenül vagy a gyalogosok mobil eszközeivel közvetetten állapotukat kommunikáló ingajáratokig terjednek (V2P) (Owens et. al, 2018; Shladover, 2018). Ezen kívül a felhasználóknak lehetőséget kell biztosítani arra, hogy helyzetüknek megfelelően zökkenőmentes legyen a mobilitásuk az indulástól az érkezésig (Boban et. al, 2017). Az 1. táblázat áttekintést nyújt a különböző csatlakozási típusokról és azok lehetséges alkalmazásairól. Ennek előfeltétele a megbízható, stabil, és ami a legfontosabb, rendkívül hatékony és gyors információ- és adatmegosztás a kommunikációs technológiák, érzékelők és hálózati kapcsolatok alapján (Maracke, 2017). Az iparág különbséget tesz a hosszú és rövid késleltetési idők között. Míg az utóbbiak elsősorban az ütközési figyelmeztetésekre, a sebességkorlátozásokra vagy a parkolási és útdíjfizetési elektronikus fizetésekre vonatkoznak, addig az előbbiek főként a hosszú utakon nyújtott infotainment és közlekedési információs szolgáltatásokhoz kapcsolódnak. Ezen adatok megosztására különböző vezeték nélküli kommunikációs technológiák használhatók (Shladover, 2018).

Jelenleg még teljesen bizonytalan, hogy az automatizált vezetési rendszerekkel összefüggésben melyik kommunikációs technológia fog érvényesülni: míg az Európai Bizottság a hibrid kommunikációs technológiák alkalmazásával a kiegészítő kommunikációs kombináció gondolatát követi, az USA-ban a National Highway Traffic Safety Administration az ITS-G5 szabványra vonatkozó jogszabálytervezetben egyetlen (kis hatótávolságú) kommunikációs technológiát részesít előnyben (Sänn et al., 2017). A járművek összeköttetésének növekvő fontossága miatt a biztonság és az adatvédelem követelményei is egyre magasabbak (Lemmer, 2015). Minden csatlakoztatott jármű jelentős mennyiségű, gyakran érzékeny adatot és információt gyűjt a mozgásmintákról, a személyes utazási szokásokról vagy a pénzügyi tranzakciókról, amelyeket nemcsak tárolni, hanem elemezni és biztosítani is kell. Biztonsági szabványok nélkül minél automatizáltabbá válnak a CAV-ok, annál sebezhetőbbek lesznek a külső támadásokkal és a meghibásodásokkal szemben (Seider– Schmitz, 2017). A jármű és a jármű közötti, illetve a jármű és a gyártó szerverei közötti kommunikációt illetően ezért biztosítani kell a hackertámadások elleni megfelelő védelmet és garantálni kell az adatok sértetlenségét. Ezen kívül elengedhetetlen, hogy a rendszereket ne lehessen egyszerűen leállítani szolgáltatásmegtagadó támadásokkal (Ritz, 2018). Végső soron a kapcsolat tárgya – különösen a felhasználói elfogadottság fényében – szorosan kapcsolódik az adatvédelem és a kibertámadások elleni védelem biztosításához (Seider– Schmitz, 2017).

Az összekapcsolt autonóm járművek funkcionális összetevői

Gaber és szerzőtársai (2021) alapján a CAV négy funkcionális összetevőből áll. Minden funkciónak több bemenete van különböző érzékelőkből. A funkcionális algoritmus a kapcsolódó érzékelőktől veszi a bemenetet, elvégzi az érzékelőfűzítést, és több kimenetet biztosít a kapcsolódó funkcionális blokkok számára. A 3. ábra egy CAV működési diagramját mutatja be a kapcsolódó bemenetekkel. A következőkben az egyes szakaszokat fogjuk részletesen bemutatni (Gaber et al., 2021):

1. **Lokalizáció:** a feladat a tényleges helyzet ismerete bármely vezetési állapotban. Ezen funkció elvégzéséhez a CAV a fedélzeti globális helymeghatározó rendszeréből veszi a bemenetet, a telematikai szolgáltatásból (térkép), a jármű-infrastruktúra (V2I) és a jármű-jármű (V2V) kapcsolatból számítja ki az aktuális helyzetét. A 3. ábra egy CAV lokalizációs folyamatát mutatja be. Számos fejlett lokalizációs algoritmus olvasható a szakirodalomban. Ezeket szimultán lokalizációnak és leképezésnek (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) nevezik.
2. **Érzékelés:** a felismerés, az osztályozás és a virtuális 3D-s képalkotás kombinált feladata. Ebben a szakaszban a CAV-ot számos fedélzeti érzékelő, például elosztott kamerák, RADAR, LIDAR, LASER, SONAR stb. segíti. Ezen kívül a lokalizáció kimenete is felhasználásra kerül ebben a szakaszban.
3. **Útvonaltervezési funkció:** három különálló funkcióból áll: küldetéstervezés, viselkedéstervezés és mozgástervezés. Az egyes funkciók tipikus feladata a következőképpen körvonalazódik:
 - A küldetéstervező (vagy útvonaltervező): magas szintű döntés, mint például a felvételi célpontok és az utak kiválasztása a célfeladat elérése érdekében.
 - A viselkedéstervező (vagy döntéshozó): dinamikus ad-hoc döntések, például sávváltás, kereszteződésekbe való behajtás, előzés stb.
 - A mozgástervező (vagy helyi tervezés): ütközésselkerülés, akadályelkerülés, riasztás stb.
4. **Ellenőrzés:** A CAV vezérlési funkciói összetettek. Ebben a szakaszban jelen vannak a lokalizációs, észlelési és útvonaltervezési folyamatból származó bemenetek mellett az útviszonyokat, az utasok és a járművezető viselkedését és kényelmét figyelő érzékelők bemenetei is, járműdinamika, energiagazdálkodási rendszerek stb. Az információ ezen forrásokból lehetővé teszi a pálya generálását és követését, az útvonalkövetést, sebességszabályozást, kooperatív irányítást a szakaszoláshoz stb.



3. ábra A CAV-ok funkcionális összetevői

Forrás: Gaber et al. (2021) alapján saját szerkesztés

Összegzés

Az összekapcsolt autonóm járművek jelentőségének megértése a közlekedési ágazatban alapvető fontosságú. Ha nem tisztázuk pontosan, hogy mit értünk az „összekapcsolt autonóm járművek” kifejezés alatt, akkor nehéz lesz megérteni a technológiai megoldások és a fejlesztések jelentőségét és hatásait. Emellett, ha nem értjük a technológiai alapokat és a lehetséges alkalmazásokat, akkor nehezen tudunk megfelelően felkészülni az összekapcsolt autonóm járművek által felvetett kihívásokra és lehetőségekre. Ezért vállalkoztunk arra, hogy tanulmányunkban körüljárjuk a „connected and autonomous vehicle” fogalmakat, hogy a lehető legteljesebb képet kapjunk ezen technológia mibenlétéről, várható hatásairól és lehetőségeiről a közlekedési ágazatban.

Egy másik fontos aspektusa a fogalmak megértésének, hogy a technológiai megoldások és fejlesztések szabályozása és biztonsági kérdései is fontosak. Az autonóm járművek és azok összekapcsolódása nagy mennyiségű adatot igényel a járművek és az infrastruktúra közötti kommunikációhoz, és ennek adatainak megfelelő kezelése és védelme kritikus jelentőségű a közlekedés biztonsága szempontjából. Emellett szabályozói keretrendszerre van szükség a közlekedési rendszerben történő bevezetéséhez és alkalmazásához.

Az összekapcsolt önvezető járművek fogalmának megértése az innovációs folyamatokban való részvételre is ösztönözhet bennünket, és lehetővé teheti, hogy előrejelzéseket és terveket készítsünk az ágazat jövőjéről. Az összekapcsolt autonóm járművek megjelenése és terjedése a közlekedési ágazatban nagy lehetőségeket tartogat, beleértve az energiahatékonyság növelését, a közlekedési dugók csökkentését, az úthálózat és az infrastruktúra optimalizálását és a közlekedés biztonságának javítását. A technológiai innovációk azonban mindig kérdéseket és kihívásokat is felvetnek, és ezekre a kérdésekre és kihívásokra csak akkor tudunk hatékony válaszokat adni, ha tisztában vagyunk az összekapcsolt önvezető járművek mibenlétével.

Felhasznált irodalom

- Bimraw, Keshav (2015). Autonomous Cars: Past, Present and Future - A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology. In Proceedings of the 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - Volume 1: ICINCO, ISBN 978-989-758-122-9; ISSN 2184-2809, SciTePress, pages 191-198. DOI: 10.5220/0005540501910198
- Boban, Mate et al. (2017): Use Cases, Requirements, and Design Considerations for 5G V2X. Ithaca, NY. <https://arxiv.org/pdf/1712.01754> (utolsó hozzáférés: 2023.02.20)
- Chehri, Abdellah – Mouftah, Hussein T. (2021): Localization for Vehicular Ad Hoc Network and Autonomous Vehicles, Are We Done Yet?, in: Mouftah, Hussein T. – Erol-Kantarci, Melike – Sorour, Sameh (Eds.). (2020). Connected and Autonomous Vehicles in Smart Cities (1st ed.), CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429329401> (utolsó hozzáférés: 2023.02.16)
- Cohen, Tom et al. (2020): A constructive role for social science in the development of automated vehicles. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 6, 100133.
- Csizmadia Zoltán – Rechnitzer János (2021) (szerk.): Az önvezető járművek világa. Társadalmi hatások és kihívások. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- EC (2018): Europe on the Move. Sustainable Mobility for Europe: safe, connected, and clean. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Commission, Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal>. (utolsó hozzáférés: 2023.02.20)
- Gaber, Hossam – Othman, Ahmed M. – Fahad, Abul Hasan (2021): Future of connected autonomous vehicles in smart cities. Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies, pp. 599-611, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816816-5.00027-9> (utolsó hozzáférés: 2023.02.16)
- Guanetti, Jacopo – Kim, Yeojun – Borrelli, Francesco (2018): Control of connected and automated vehicles: state of the art and future challenges. *Annual reviews in control*, 45, 18-40. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.04.011> (utolsó hozzáférés: 2023.02.16)
- ITF (2015): Automated and Autonomous Driving: Regulation under Uncertainty. International Transport Forum Policy Papers, No. 7. OECD Publishing, Párizs. <https://doi.org/10.1787/5j1wzdfk640> (utolsó hozzáférés: 2023.02.19)
- Ivus, Maryna – Kirk, Barrie – Taillon, Peter J. (2020): Advances in connected & autonomous vehicles. Information and Communications Technology Council and CAVCOE, Canada.
- Jiang, Like – Chen, Haibo – Chen, Zhiyang (2022): City readiness for connected and autonomous vehicles: A multi-stakeholder and multi-criteria analysis through analytic hierarchy process. *Transport policy*, 128, 13-24.
- Kagermann, Henning (2017): Die Mobilitätswende: Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch, vernetzt und automatisiert, in: Hildebrandt, Alexandra – Landhäußer, Werner (eds.): CSR und Digitalisierung: der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft, 357-371.
- Kovács Dávid (2018): Az Önvezető autók fejlődése - Konceptiótól az aszfaltig. IGN Hungary, Budapest. Az önvezető autók fejlődése (ign.com) (utolsó hozzáférés: 2023.02.18.)
- Lee, Dasom – Hess, David J. (2020): Regulations for on-road testing of connected and automated vehicles: Assessing the potential for global safety harmonization. *Transportation Research Part A*, 136, 85-98.
- Lemmer, Karsten (2015): Neue autoMobilität: Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft. Acatech, Munich.
- Lukovics Miklós et al. (2018): Az önvezető autók és a felelősségteljes innováció. *Közgazdasági Szemle*, 65(9), 949-974.
- Maracke, Catharina (2017): Autonomes Fahren – ein Einblick in die rechtlichen Rahmenbedingungen. *Wirtschaftsinformatik & Management*, 3/2017, 62-68.
- Miller, James (2020) „Futurama: An Immersive Experience of America's Automotive Future,” *Journal of Motorsport Culture & History*: Vol. 1: Iss. 1, Article 6. Available at: <https://scholars.unh.edu/jmotorsportculturehistory/vol1/iss1/>
- Mitteregger, Mathias et al. (2019): Shared, Automated, Electric: the Fiscal Effects of the “Holy Trinity”. Proceedings of the 24th REAL CORP, International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society, Karlsruhe.
- Mitteregger, Mathias et al. (2022): Avenue 21. Connected and Automated driving: prospects for urban Europe. Springer, Berlin.
- Nikitas, Alexandros – Parkinson, Simon – Vallati, Mauro (2022): The deceitful Connected and Autonomous Vehicle: Defining the concept, contextualising its dimensions and proposing mitigation policies. *Transport Policy*, 122, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.04.011> (utolsó hozzáférés: 2023.02.16.)
- Niroumand, Ramin et al. (2020): Joint optimization of vehicle-group trajectory and signal timing: Introducing the white phase for mixed-autonomy traffic stream. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 116, 102659. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102659>
- Owens, Justin M. et al. (2018): “Reducing Conflict Between Vulnerable Road Users and Automated Vehicles”, in: Meyer, Gereon – Beiker, Sven (eds.): Road Vehicle Automation 4. Lecture Notes in Mobility. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60934-8_7 (utolsó hozzáférés: 2023.02.20.)
- Perret, Fabienne et al. (2017): Einsatz automatisierter Fahrzeuge im Alltag – Denkbare Anwendungen und Effekte in der Schweiz. EBP, Basler Fonds, Zurich.
- PSC (2017): Planning for Connected and Automated Vehicles. Public Sector Consultants and Center for Automotive Research, Lansing, USA.
- Rios-Torres, Jacqueline – Malikopoulos, Andreas A. (2016): A survey on the coordination of connected and automated vehicles at intersections and merging at highway on-ramps. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(5), 1066-1077. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2600504> (utolsó hozzáférés: 2023.02.16.)
- Ritz, Johannes (2018): Mobilitätswende – autonome Autos erobern unsere Straßen. Ressourcenverbrauch, Ökonomie und Sicherheit. Springer, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20953-7-> (utolsó hozzáférés: 2023.02.20.)

- Rebalski, Ella et al. (2022): Too much pressure? Driving and restraining forces and pressures relating to the state of connected and autonomous vehicles in cities. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 13, 100507.
- Sänn, Alexander – Richter, Stefan – Fraunholz, Christian K. (2017): Car-to-X als Basis organisationaler Transformation und neuer Mobilitätsdienstleistungen. *Wirtschaftsinformatik & Management*, 5/2017, 60–71.
- Seider, Christian – Schmitz, Peter (2017): Security-Prognosen 2018: Cyber-Sicherheit für das vernetzte Auto. www.security-insider.de/cyber-sicherheit-fuer-das-vernetzte-auto-a-671961 (utolsó hozzáférés:2023.02.18.)
- Shepard, Erika et al. (2022): Opportunities and Challenges for Deploying Connected and Automated Vehicles to Address Transportation Disparities in Urban Areas. *JL & Mobility*, 1.
- Shladover, Steven E. (2018): Practical Challenges to Deploying Highly Automated Vehicles. Presentation at Drive Sweden. Göteborg.
- Sjafrie, Hanky (2019): *Introduction to self-driving vehicle technology*. Chapman&Hall, London.
- TWT (2021): *History of Autonomous Cars. - The noteworthy evolution of self-driving cars. Tomorrow's World Today*, New York.
- Vaidya, Binod – Mouftah, Hussein T. (2021): Deploying Wireless Charging Systems for Connected and Autonomous Electric Vehicles, in: Mouftah, Hussein T. – Erol-Kantarci, Melike – Sorour, Sameh (Eds.). (2020). *Connected and Autonomous Vehicles in Smart Cities*, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429329401> (utolsó hozzáférés: 2023.02.16.)