Az önvezető járművek műszaki alapjai és alkalmazási perspektívái: szenzoroktól a civil és katonai mobilitásig

Szikora Péter

szikora.peter@kgk.uni-obuda.hu

Absztrakt:Az önvezető járművek napjaink egyik leginnovatívabb technológiai fejlesztési területét képviselik, amelyek egyszerre formálják át a közlekedést, a logisztikát és a hadviselést. A tanulmány célja az autonóm rendszerek műszaki tartalmának bemutatása, különös tekintettel a fejlődési mérföldkövekre, a kulcstechnológiákra és a vezető iparági szereplők stratégiáira. Részletesen elemezzük a szenzorok – LiDAR, radar, kamerák és ultrahang – szerepét, valamint a szenzorfúzió és a mesterséges intelligencia által vezérelt döntéshozatal jelentőségét. Kitérünk a navigációs és lokalizációs megoldásokra, amelyek elengedhetetlenek a biztonságos közlekedéshez. A civil felhasználás terén a közlekedésbiztonság növelése, a fenntartható városi mobilitás és a logisztikai optimalizáció jelentik a fő irányokat, míg a katonai alkalmazások a logisztikai konvojok, a felderítő rendszerek és az autonóm harcjárművek területén nyitnak új távlatokat. Az elemzés hangsúlyozza, hogy az önvezető technológiák jövőbeli sikerét a műszaki fejlesztések, a szabályozási keretek és a társadalmi bizalom együttes alakulása határozza meg.

Bevezetés

Az önvezető járművek (autonomous vehicles, AVs) napjaink egyik legjelentősebb technológiai fejlődési irányát képviselik, amelyek alapjaiban formálják át a közlekedés és a mobilitás jövőjét. Az elmúlt évtizedekben a gépjárműipar és az információtechnológia egyre szorosabb integrációja vezetett oda, hogy olyan komplex rendszerek jöhettek létre, amelyek képesek a közlekedési környezet folyamatos érzékelésére, az adatok feldolgozására, valamint a döntéshozatal és a járműirányítás autonóm végrehajtására. Az önvezető technológiák mögött álló műszaki háttér multidiszciplináris jellegű: a robotika, a mesterséges intelligencia, a szenzortechnológia, a távérzékelés és a kommunikációs hálózatok egyaránt meghatározó elemei a rendszerek működésének (Thrun, 2010; Anderson et al., 2016). A fejlesztések mozgatórugója több tényezőre vezethető vissza. Egyfelől a közlekedésbiztonság javítása és a közúti balesetek számának csökkentése kiemelt cél, hiszen a közúti közlekedési balesetek jelentős része emberi hibára vezethető vissza (Fagnant & Kockelman, 2015). Másfelől a mobilitási igények növekedése, a

fenntartható közlekedés iránti társadalmi elvárások, valamint a logisztikai hatékonyság fokozása szintén meghatározó tényezők. Ezen túlmenően a technológia nemcsak a civil közlekedésben, hanem katonai és ipari alkalmazásokban is egyre hangsúlyosabb szerepet kap, például autonóm logisztikai konvojok vagy felderítő járművek formájában (Lin, 2016). A jelen tanulmány célja az önvezető járművek műszaki tartalmának és fejlődésének elemzése, különös tekintettel a kulcstechnológiákra, a gyártói szereplők stratégiáira, a szenzorrendszerek működésére, valamint a civil és katonai felhasználási lehetőségekre. Az anyag szerkezetében először a fejlődési mérföldköveket és technológiai szinteket tekinti át, majd a műszaki komponenseket – szenzorokat, navigációs rendszereket és mesterséges intelligenciát – elemzi. Ezt követően a globális gyártói környezet és iparági szereplők kerülnek bemutatásra, végül a civil és katonai alkalmazások nyújtotta lehetőségek és kihívások összegzése zárja a tanulmányt. A bemutatott elemzés célja átfogó képet adni arról, hogy az önvezető járművek miként alakítják a jövő közlekedését, és milyen műszaki, gazdasági és társadalmi kérdések merülnek fel a bevezetésük során.

Fejlődés és technológiai mérföldkövek

Az önvezető járművek fejlődése több évtizedes kutatási és ipari erőfeszítés eredménye, amelyben a robotika, a számítástechnika és a közlekedéstechnika szorosan összekapcsolódott. A kezdeti kísérletek az 1980-as években indultak, amikor a Carnegie Mellon University és a Mercedes-Benz kutatócsoportjai olyan prototípusokat fejlesztettek, amelyek korlátozott mértékben képesek voltak a sávkövetésre és az akadályok elkerülésére (Dickmanns & Zapp, 1987). E korai rendszerek még nagymértékben támaszkodtak a környezet egyszerűsített modelljeire, valamint a képfeldolgozás és a szabályalapú algoritmusok kombinációjára. A fejlődés új lendületet kapott a 2000-es évek elején a **DARPA Grand Challenge** versenyek révén, amelyek célja az volt, hogy ösztönözzék az autonóm járművek terepi alkalmazásainak fejlesztését. Az első, 2004-es versenyen egyik jármű sem tudta teljesíteni a pályát, azonban már ekkor is jelentős előrelépést jelentett a szenzorok, a navigáció és a vezérlési algoritmusok integrációja (Thrun et al., 2006). A 2005-ös és 2007-es versenyek során a résztvevő járművek már képesek voltak több tíz kilométert megtenni komplex környezetben, demonstrálva az autonóm vezetés realitását. A 2010-es évektől kezdődően a fejlődés középpontjába a **SAE által definiált automatizálási szintek** (0–5) kerültek, amelyek egységes keretet biztosítanak a technológia értékelésére. A 2-es szintű rendszerek (részleges automatizálás) már képesek voltak egyszerre irányítani a gyorsítást és a kormányzást, azonban a sofőr felügyelete szükséges maradt. A 3-as szint (feltételes automatizálás) és afelett a jármű bizonyos körülmények között önállóan képes vezetni, míg az 5-ös szint jelenti a teljes autonómiát, emberi beavatkozás nélkül (SAE International, 2021). Az ipari mérföldkövek között kiemelt szerepe van a

Google/Waymo projektnek, amely az egyik első olyan vállalatként mutatta be az önvezető rendszerek valós környezetben való működőképességét, amely már több millió kilométert tett meg közúti körülmények között (Waymo, 2020).

Hasonlóan meghatározó a **Tesla Autopilot** rendszere, amely széles körben elérhetővé tette a 2-es szintű vezetéstámogató funkciókat, bár biztonsági kérdések és jogi viták is kísérik a működését (Favarò et al., 2017). Az **Uber** és más mobilitási szolgáltatók szintén jelentős kísérleteket végeztek a robotaxi-technológiák területén, amelyek ugyanakkor komoly etikai és szabályozási kihívásokat vetettek fel. A fejlődés további kulcsfontosságú eleme a **szabályozási és jogi környezet alakulása**. Míg az Egyesült Államokban és Európában fokozatosan megjelentek a kísérleti engedélyezések és az önvezető tesztek jogi keretei, addig Kína és más ázsiai országok nagyszabású állami programokkal ösztönzik a fejlesztéseket (Liu & Xu, 2021). A szabványosítás, az adatbiztonság és a felelősség kérdései azonban továbbra is nyitott problémák. A jövő fejlődési irányait a **mesterséges intelligencia és a gépi tanulás mélyebb integrációja** határozza meg. Az önvezető rendszerek egyre inkább képesek valós idejű döntések meghozatalára nagyméretű adathalmazok feldolgozása alapján, valamint adaptív módon alkalmazkodnak a közlekedési környezet változásaihoz. A felhőalapú infrastruktúra, az 5G kommunikáció és a „vehicle-to-everything" (V2X) technológiák szintén meghatározó szerepet kapnak a következő évtizedben, mivel lehetővé teszik a járművek közötti együttműködést és a forgalmi rendszerek optimalizálását (Campolo et al., 2017). Az önvezető járművek fejlődése az elmúlt évtizedekben a prototípus szintű kísérletektől eljutott a széles körben tesztelt, részben kereskedelmi forgalomban is elérhető rendszerekig. A technológiai mérföldkövek nemcsak a műszaki képességek fejlődését jelzik, hanem azt is, hogy az autonóm közlekedés egyre közelebb kerül a tömeges bevezetéshez, bár ennek időpontja továbbra is számos technológiai, szabályozási és társadalmi tényezőtől függ.

Az önvezető járművek (autonomous vehicles, AV) fejlesztése az elmúlt években látványos előrelépést tett, mind az akadémiai, mind az ipari környezetben. A fejlődés több kulcsterületet érint: az end-to-end architektúrákat, a környezet érzékelését és reprezentációját, a pályatervezési és döntéshozatali algoritmusokat, valamint a szimulációs és validációs módszereket. Egyre inkább előtérbe kerülnek a foundation modellek és a történeti előrejelzésre épülő rendszerek is. Az alábbi összefoglaló tíz, 2023 és 2025 között megjelent tanulmány alapján nyújt áttekintést a legfontosabb műszaki eredményekről és kihívásokról.

Az end-to-end (E2E) rendszerek célja, hogy a nyers szenzoradatoktól a vezérlési parancsokig egyetlen tanuló architektúrán keresztül vezessék végig az információáramlást. Ez jelentősen csökkenti a moduláris felépítésből fakadó interfészhibák számát, és lehetővé teszi a globális optimalizálást. Lan és Hao (2023) áttekintése bemutatja, hogyan alkalmazzák ezt az ipari szereplők – például a Tesla FSD V12 vagy a Momenta – valamint az akadémiai kutatások. A közös jellemzők között szerepel a Bird's Eye View (BEV) reprezentáció és az occupancy hálózatok használata, amelyek a különféle szenzorokból (kamera, lidar, radar) származó

adatokat egységes térképpé alakítják. A fő kihívás a ritka forgalmi helyzetek kezelése, a számítási igények minimalizálása és a biztonság verifikációja.A CVPR 2025-ben bemutatott kutatás tovább bővítette az end-to-end modellek képességeit azzal, hogy történeti szenzoradatokat is integrált. Ezáltal a rendszer képes nemcsak az aktuális környezetből következtetni, hanem figyelembe venni a múltbeli dinamikát is, ami pontosabb előrejelzéseket és természetesebb pályatervezést eredményez (Bridging Past and Future, 2025).

A környezeti reprezentáció fejlődése kulcsfontosságú az AV biztonságos működése szempontjából. A 2D BEV-modellek hatékonyak, de korlátozottak a vertikális struktúrák kezelésében. A 3D occupancy perception új megközelítést kínál, amely voxelizált térben modellezi a környezetet. Xu és mtsai (2024) részletesen bemutatták, hogyan alkalmazhatók az információfúziós technikák a kamera, lidar és radar adatainak kombinálására. A fejlett architektúrák – például 3D konvolúciós hálók és transzformer-modulok – lehetővé teszik, hogy a rendszer valószínűségi térképet készítsen a környezet foglaltságáról. A kihívások között szerepel a nagy számítási igény, az annotációs költségek és az érzékelők korlátai (pl. rossz fényviszonyok, eltakarás).

A kollaboratív percepció új távlatokat nyitott a környezet érzékelésében. Az olyan technológiák, mint a Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I) és Vehicle-to-Everything (V2X) kommunikáció, lehetővé teszik, hogy a járművek egymással és az infrastruktúrával adatokat cserélve olyan akadályokat is érzékeljenek, amelyeket saját szenzoraik nem látnak. A 2024-es áttekintés kiemeli a nyílt adatkészletek és benchmarkok fontosságát, amelyek elengedhetetlenek az algoritmusok fejlesztéséhez és összehasonlításához (Collaborative Perception Datasets, 2024).

A pályatervezés területén a klasszikus algoritmusok – például Dijkstra és A* – mellett a mintavételezéses (sampling-based) módszerek, mint az RRT és PRM, valamint a gépi tanuláson alapuló megközelítések kaptak nagyobb hangsúlyt. A ScienceDirect 2024-es áttekintése szerint az újabb rendszerek célja, hogy a pályatervezést integrálják a mozgás-előrejelzéssel, így a jármű képes legyen előre számolni más közlekedők viselkedésével (Path Planning Algorithms, 2024). A Waymo 2024-es kihívására készült ModeSeq rendszer a mozgás-előrejelzés multimodális megközelítését mutatja be. Transzformer-alapú architektúrával több lehetséges jövőbeli trajektóriát generál, amelyek diverzitása és pontossága meghaladja a hagyományos RNN-alapú modellekét. Ez a képesség különösen hasznos a zsúfolt városi környezetben, ahol többféle jövőbeli szcenáriót kell figyelembe venni (ModeSeq, 2024). Ezzel szoros összefüggésben a BehaviorGPT modell a forgalmi ágensek viselkedésének szimulációját végzi generatív módszerekkel. Ez lehetővé teszi, hogy valósághű szcenáriókat állítsanak elő, amelyekben az autonóm rendszereket stressztesztelni lehet. A forgalmi szimuláció így nem csupán validációs eszköz, hanem aktív kutatási irány is (BehaviorGPT, 2024).

Az autonóm járművek döntéshozatala két fő irányvonal mentén fejlődik. A szabály- és optimalizációalapú módszerek, mint a Markov Decision Processes vagy a keresési algoritmusok, magyarázhatóak és determinisztikusak, de korlátozottan alkalmazkodnak a dinamikus környezetekhez. Az adatvezérelt módszerek – például az imitációs és megerősítéses tanulás – rugalmasabbak, de nagy mennyiségű adatra és kiterjedt szimulációs környezetre van szükségük. A 2023-as áttekintő cikk kiemeli, hogy a döntéshozatal három szintje – stratégiai, taktikai és operatív – különböző megközelítéseket igényel (Zhang, Li, & Wang, 2023). A 2025-ös részletesebb összefoglaló szerint a jövő a hibrid rendszerekben rejlik, amelyek ötvözik a szabályalapú módszerek átláthatóságát és az adatvezérelt modellek adaptivitását (Hu, Zhang, Li, & Zhao, 2025). A validáció és verifikáció továbbra is központi kérdés: a rendszereket nemcsak átlagos helyzetekben, hanem ritka, biztonságkritikus szcenáriókban is tesztelni kell.

Az autonóm járművek kutatásában a foundation modellek alkalmazása paradigmaváltást ígér. Ezek a nagyméretű, multimodális modellek képesek egységes tudást kialakítani különböző forrásokból, például szenzoradatokból, forgalmi szituációkból és szimulációkból. Az áttekintő tanulmány szerint a foundation modellek erőssége az adaptivitás és a generalizáció, amelyek lehetővé teszik, hogy a rendszerek új környezetekben is robusztusan működjenek (Foundation Models in Autonomous Driving, 2025). A legnagyobb kihívás a számítási erőforrás-igény, az átláthatóság hiánya és a biztonsági ellenőrzés. Jól látható, hogy az önvezető járművek technológiája integrált fejlődési pályán halad. Az end-to-end rendszerek egyszerűsítik az architektúrát, a 3D occupancy perception pontosabb környezeti modelleket kínál, a pályatervezés és a mozgás-előrejelzés integrációja javítja a biztonságot, míg a kollaboratív percepció és a generatív modellek új lehetőségeket nyitnak a validációban. A döntéshozatal terén a hibrid megközelítések és a foundation modellek jelentik a jövőt, amelyek képesek egyensúlyt teremteni a magyarázhatóság, a rugalmasság és a robusztusság között. A következő években a fő kihívások a skálázhatóság, a valós idejű követelmények teljesítése és a biztonsági szabványoknak való megfelelés lesznek.

Műszaki tartalom és kulcstechnológiák

Az önvezető járművek működésének alapját komplex hardver–szoftver architektúrák képezik, amelyek lehetővé teszik a környezet folyamatos érzékelését, az adatok feldolgozását, valamint a valós idejű döntéshozatalt. A rendszer legfontosabb komponensei közé tartoznak a szenzorok, a szenzorfúziót és adatfeldolgozást végző algoritmusok, a navigációs és lokalizációs megoldások, valamint a mesterséges intelligenciára épülő vezérlőrendszerek. Az önvezető járművek érzékelőrendszereinek célja a közlekedési környezet teljes spektrumának lefedése. A legfontosabb szenzortípusok közé tartozik a **LiDAR (Light Detection**

and Ranging), amely lézersugarak segítségével nagy pontosságú, háromdimenziós térképet hoz létre a jármű környezetéről. A LiDAR előnye a nagy felbontás és a megbízható távolságmérés, hátránya ugyanakkor a magas költség és a kedvezőtlen időjárási körülményekkel szembeni érzékenység (Velas et al., 2018). A **radar** technológia a távolság és a sebesség meghatározására szolgál, különösen rossz látási viszonyok között megbízható. Az **ultrahangos szenzorok** rövid hatótávon nyújtanak támogatást, elsősorban parkolási és alacsony sebességű manőverezési helyzetekben. A **kamerák** vizuális információt biztosítanak, amely kulcsfontosságú az objektumfelismeréshez, a közlekedési táblák és jelzőlámpák azonosításához, valamint a sávjelzések detektálásához. A kamerák hátránya, hogy nagy számítási kapacitást igényelnek, és érzékenyek a fényviszonyok változásaira (Janai et al., 2020).

Az önvezető rendszerek nem egyetlen szenzorra támaszkodnak, hanem **szenzorfúziós megközelítést** alkalmaznak, amely egyesíti a különböző szenzorok adatait a redundancia és a megbízhatóság növelése érdekében. A szenzorfúzió lehetővé teszi, hogy a jármű pontosabb és robusztusabb környezeti modellt alkosson, csökkentve az egyes szenzorok gyengeségeiből adódó hibákat (Khaleghi et al., 2013). A feldolgozott adatok alapján a rendszer képes az objektumok detektálására, követésére és a mozgás előrejelzésére, amely elengedhetetlen a biztonságos manőverezéshez. A pontos helymeghatározás az önvezető járművek egyik legnagyobb kihívása. A globális helymeghatározó rendszerek (GPS) önmagukban nem biztosítanak elegendő pontosságot, ezért **HD (high-definition) térképek** és valós idejű lokalizációs algoritmusok (pl. SLAM – simultaneous localization and mapping) kombinációjára van szükség. Az ilyen rendszerek képesek centiméteres pontossággal meghatározni a jármű helyzetét, miközben folyamatosan frissítik a környezet térképét a változó forgalmi és infrastrukturális viszonyokhoz igazodva (Levinson et al., 2007).

Az autonóm vezetési rendszerek központi eleme a **mesterséges intelligencia (AI)** és a **gépi tanulás** alkalmazása. A neurális hálózatok, különösen a konvolúciós neurális hálók (CNN-ek), kiemelt szerepet játszanak a képfeldolgozásban, az objektumfelismerésben és a forgalmi helyzetek értelmezésében (Grigorescu et al., 2020). A döntéshozatali modulok feladata a különböző közlekedési szituációkra adott reakciók megtervezése, amely magában foglalja az útvonaltervezést, az akadályelkerülést és a biztonságos járműirányítást. A valós idejű vezérléshez nagyteljesítményű hardverplatformokra van szükség. Az olyan gyártók, mint az **Nvidia** vagy az **Intel/Mobileye**, speciális chiparchitektúrákat fejlesztettek, amelyek képesek a nagymennyiségű szenzoradat feldolgozására és az AI-algoritmusok valós idejű futtatására. Ez a hardver–szoftver integráció teszi lehetővé az önvezető járművek reakcióképességét és biztonságos működését. Megállapítható, hogy az önvezető járművek technológiai háttere rendkívül komplex, és a különböző szenzorok, algoritmusok és vezérlőrendszerek szoros együttműködésére épül. A fejlődés irányát a mesterséges intelligencia egyre mélyebb integrációja, a szenzorfúziós megoldások fejlesztése, valamint a nagy pontosságú navigációs

rendszerek alkalmazása határozza meg. A műszaki komponensek szinergiája biztosítja, hogy az önvezető járművek képesek legyenek a jövőben biztonságosan és hatékonyan működni a civil és katonai közlekedési rendszerekben egyaránt.

Gyártók és iparági szereplők

Az önvezető járművek fejlesztése globális iparági versenyt eredményezett, amelyben az autógyártók, a technológiai cégek és a startupok egyaránt meghatározó szerepet játszanak. A piac dinamizmusát az jellemzi, hogy a hagyományos járműipari vállalatok folyamatosan bővítik kutatás-fejlesztési tevékenységüket, miközben a technológiai szektor szereplői új megközelítésekkel és innovatív szoftvermegoldásokkal formálják a versenykörnyezetet. A hagyományos autógyártók közül kiemelkedik a **Tesla**, amely Autopilot és Full Self-Driving (FSD) rendszereivel a legszélesebb körben elérhető, kereskedelmi forgalomban kapható részleges önvezetési funkciókat biztosítja (Shladover, 2018). Bár a Tesla rendszere a SAE besorolás szerint 2-es szintű automatizációt képvisel, a folyamatos szoftverfrissítések révén a vállalat igyekszik fokozatosan bővíteni a funkciók körét. Az európai gyártók közül a **Mercedes-Benz** 2021-ben elsőként kapott hivatalos engedélyt Németországban a 3-as szintű önvezető rendszer (Drive Pilot) közúti bevezetésére, amely mérföldkőnek tekinthető a jogi és technológiai elismerés szempontjából (Mercedes-Benz, 2021). A **Volkswagen** és a **BMW** szintén nagyszabású fejlesztési programokat folytat, amelyek középpontjában a közösségi mobilitás és a robotaxi-szolgáltatások állnak. Az amerikai piacon a **General Motors** a Cruise nevű leányvállalatán keresztül fejleszt önvezető járműveket, amelyek már több nagyvárosban tesztüzemben működnek.

A technológiai szektorban a **Waymo** számít a piac egyik legnagyobb innovátorának. A Google-ből kivált cég az elsők között teljesített több millió kilométernyi autonóm tesztutat, és jelenleg is üzemeltet robotaxi-szolgáltatásokat az Egyesült Államokban (Waymo, 2020). A **Baidu Apollo** program Kínában hasonló szerepet tölt be, széleskörű állami támogatással és stratégiai partnerségekkel (Liu & Xu, 2021). Az **Apple** bár hivatalosan kevés információt közöl, évek óta aktívan teszteli önvezető rendszereit, amelyek a vállalat Project Titan néven ismert fejlesztési programjához köthetők. Az **Nvidia** és az **Intel/Mobileye** inkább hardver- és szoftveralapú megoldásokat kínálnak, például nagy teljesítményű AI-processzorokat és vezetéstámogató algoritmusokat, amelyek lehetővé teszik az OEM-gyártók számára az autonóm rendszerek integrálását (Gavrilut et al., 2020). A startupok világszerte meghatározó szerepet töltenek be a technológiai ökoszisztémában. A **Aurora**, a **Zoox** (amelyet az Amazon felvásárolt), valamint a **Nuro** olyan speciális önvezető megoldásokat fejleszt, amelyek kifejezetten a szállítmányozás és a városi logisztika területére koncentrálnak. Ezek a cégek gyakran agilisabbak és kockázatvállalóbbak, mint a nagyvállalatok, így

képesek gyorsabban reagálni az új piaci igényekre. A katonai szektorban is megjelentek az autonóm járművek fejlesztésével foglalkozó szereplők. Az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma (DoD) több projektet finanszíroz, amelyek önvezető logisztikai konvojokat és felderítő járműveket céloznak meg (Defense Science Board, 2016). Az izraeli és európai vállalatok szintén aktívan dolgoznak katonai felhasználásra szánt autonóm járműveken, például pilóta nélküli harcjárműveken. Az iparág fejlődése erősen globalizált, amelyben az amerikai és kínai szereplők dominanciája figyelhető meg, ugyanakkor Európa és Japán is aktív résztvevő. A verseny nem csupán technológiai, hanem gazdasági és geopolitikai jelentőséggel is bír, hiszen az önvezető járművek a jövő mobilitási infrastruktúrájának stratégiai pilléreit jelentik. A piaci előrejelzések szerint az önvezető járművek globális piaca 2030-ra több száz milliárd dolláros értéket érhet el (MarketsandMarkets, 2020). Ez az iparág nemcsak az autógyártásra gyakorol átalakító hatást, hanem a logisztikára, a városi közlekedésre, a biztosítási szektorra és a szabályozási környezetre is.

Lehetőségek és felhasználás (civil és katonai)

Az önvezető járművek fejlesztése nem csupán technológiai innovációt jelent, hanem átfogó társadalmi, gazdasági és biztonsági lehetőségeket is magában hordoz. A civil közlekedésben és a katonai alkalmazásokban egyaránt megjelenő autonóm rendszerek képesek átalakítani a mobilitási struktúrákat, javítani a hatékonyságot és növelni a biztonságot. Ugyanakkor mindkét területen komoly kihívások és kockázatok is felmerülnek, amelyek befolyásolják a technológia széleskörű bevezetését.

Az önvezető járművek egyik legnagyobb ígérete a **közlekedésbiztonság javítása**. A közúti balesetek több mint 90%-a emberi hibára vezethető vissza, így az autonóm rendszerek potenciálisan jelentősen csökkenthetik a halálesetek és sérülések számát (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2017). Az önvezető járművek képesek a szenzorok és algoritmusok által biztosított gyors reakcióidő révén olyan helyzetekben is megfelelő döntést hozni, ahol az emberi vezetők késlekednének vagy hibáznának. A városi közlekedésben az autonóm rendszerek hozzájárulhatnak a **mobilitási szolgáltatások fejlődéséhez**, például a robotaxi-flották és önvezető buszok bevezetésével. Ezek a megoldások csökkenthetik a forgalmi torlódásokat, növelhetik a közlekedési infrastruktúra kihasználtságát és támogathatják a fenntartható városi mobilitási koncepciókat (Litman, 2020). Az önvezető logisztikai járművek a szállítmányozási ágazatban is forradalmi változásokat hozhatnak, mivel optimalizálják az útvonaltervezést, csökkentik a munkaerőigényt és javítják az energiahatékonyságot. Kiemelt jelentőségű a **környezetvédelmi potenciál** is. Az autonóm járművek képesek a közlekedési hálózat egészét optimalizálni, csökkentve az üzemanyag-fogyasztást és a

károsanyag-kibocsátást. Az önvezető rendszerek által vezérelt konvojok például „platooning" technológiával működhetnek, amelyben több jármű szorosan egymás mögött halad, minimalizálva a légellenállást és növelve az energiahatékonyságot (Tsugawa, 2016). A katonai alkalmazások esetében az autonóm járművek fejlesztése stratégiai fontosságú. Az egyik legfontosabb terület a **logisztikai konvojok automatizálása**, amely jelentősen csökkentheti az emberi veszteségeket a veszélyes utánpótlási útvonalakon. Az autonóm konvojok képesek koordináltan, minimális emberi felügyelettel működni, miközben növelik a hadsereg mobilitását és ellátási biztonságát (Gow & Carpenter, 2016). A **felderítő és megfigyelő járművek** szintén fontos szerepet kapnak a modern hadviselésben. Az autonóm rendszerek képesek valós idejű adatgyűjtésre ellenséges környezetben, csökkentve az emberi katonák kockázatát. Emellett a pilóta nélküli harcjárművek és drónok fejlesztése egyre intenzívebb, amelyek harctéri bevetése stratégiai előnyt jelenthet (Singer, 2009).

Ugyanakkor a katonai felhasználás komoly **etikai és jogi dilemmákat** vet fel. Az autonóm fegyverrendszerek alkalmazása – különösen, ha emberi beavatkozás nélkül hoznak döntést – jelentős nemzetközi viták tárgya, hiszen kérdéses, hogy ki vállalja a felelősséget az esetleges károkozásért vagy háborús jogsértésért (Lin, 2016). Mind a civil, mind a katonai felhasználás során kiemelt figyelmet kell fordítani a **kiberbiztonságra**, mivel az önvezető rendszerek hálózati sérülékenysége komoly biztonsági kockázatot jelenthet. Egy sikeres kibertámadás nemcsak anyagi kárt, hanem emberéletek veszélyeztetését is okozhatja (Petit & Shladover, 2015). További kihívást jelentenek a társadalmi elfogadás, a szabályozási keretek és a felelősségi kérdések, amelyek egyaránt meghatározzák a technológia széleskörű elterjedésének ütemét. Az önvezető járművek civil felhasználása hozzájárulhat a közlekedésbiztonság növeléséhez, a mobilitás fenntarthatóságához és a logisztikai folyamatok hatékonyságának fokozásához. A katonai szférában az autonóm rendszerek stratégiai előnyt nyújtanak a logisztika és a felderítés területén, ugyanakkor új etikai és biztonsági dilemmákat is felvetnek. A civil és katonai alkalmazások közös jellemzője, hogy a technológiai előnyök csak akkor érvényesülhetnek, ha a biztonsági, szabályozási és társadalmi kihívásokra megfelelő válaszokat találunk.

Összefoglalás

Az önvezető járművek technológiája az elmúlt évtizedekben a kutatási prototípusok szintjéről a kereskedelmi alkalmazás küszöbéig fejlődött. A tanulmányban áttekintettük a fejlődési mérföldköveket, kezdve a korai kísérletektől és a DARPA versenyektől egészen a modern, nagy volumenben tesztelt robotaxi-szolgáltatásokig. A SAE által meghatározott automatizációs szintek keretet adnak a technológiai fejlettség mérésére, és egyben kijelölik a további kutatási és fejlesztési irányokat (SAE International, 2021). A műszaki tartalom vizsgálata rávilágított arra, hogy az autonóm járművek működésének alapját a különböző érzékelőrendszerek, a szenzorfúzió, a nagy pontosságú lokalizáció, valamint a mesterséges intelligenciára épülő döntéshozatal képezik. Ezek a komponensek

szoros együttműködésben biztosítják, hogy a jármű képes legyen valós időben érzékelni, értelmezni és reagálni a komplex közlekedési környezetben. Az iparági szereplők elemzése megmutatta, hogy a globális versenyben egyaránt jelen vannak a hagyományos autógyártók, a technológiai vállalatok és az agilis startupok. A Tesla, a Mercedes-Benz, a Waymo és más kulcsszereplők különböző stratégiákat alkalmaznak, ugyanakkor mindegyikük célja az önvezető rendszerek biztonságos és kereskedelmi szintű bevezetése. A piac növekedési potenciálja óriási, amely jelentős gazdasági és geopolitikai hatásokkal is jár (MarketsandMarkets, 2020). A civil felhasználási lehetőségek közé tartozik a közlekedésbiztonság növelése, a városi mobilitás optimalizálása, valamint a logisztikai folyamatok hatékonyságának javítása. A katonai alkalmazások szintén komoly potenciált rejtenek, különösen a logisztika és a felderítés területén. Ugyanakkor mindkét szférában kiemelt jelentőségűek a szabályozási, etikai és biztonsági kihívások, amelyek megválaszolása nélkülözhetetlen a széleskörű társadalmi elfogadottsághoz (Lin, 2016). Összességében az önvezető járművek nem csupán technológiai újdonságot jelentenek, hanem a mobilitás, a közlekedésbiztonság, a környezetvédelem és a hadviselés jövőjét is alapjaiban alakítják át. A következő évtizedekben a siker kulcsa a technológiai fejlesztések, a szabályozási keretek és a társadalmi bizalom harmonikus összhangja lesz.

Források

Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2016). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. RAND Corporation.

BehaviorGPT. (2024). Technical report for the 2024 Waymo Open Sim Agents Challenge. Google Cloud Storage.

Bridging Past and Future. (2025). End-to-end autonomous driving with historical prediction and planning. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. CVF Open Access.

Campolo, C., Molinaro, A., Iera, A., & Menichella, F. (2017). 5G network slicing for vehicle-to-everything services. *IEEE Wireless Communications, 24*(6), 38–45. https://doi.org/10.1109/MWC.2017.1700114

Collaborative Perception Datasets in Autonomous Driving. (2024). *arXiv preprint*. arXiv.

Defense Science Board. (2016). *Autonomy*. Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics. https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1002727

Dickmanns, E. D., & Zapp, A. (1987). Autonomous high speed road vehicle guidance by computer vision. *IFAC Proceedings Volumes, 20*(5), 221–226. https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)54968-4

Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation*

Research Part A: Policy and Practice, 77, 167–181. https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003

Favarò, F. M., Nader, N., Eurich, S. O., Tripp, M., & Varadaraju, N. (2017). Examining accident reports involving autonomous vehicles in California. *PLOS ONE, 12*(9), e0184952. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184952

Foundation Models in Autonomous Driving: A Survey. (2025). *arXiv preprint*. arXiv.

Gavrilut, D., Arif, A., & Törngren, M. (2020). A survey on autonomous vehicle development platforms. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (pp. 157–162). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCVE45908.2020.9365975

Gow, J., & Carpenter, T. (2016). Autonomy in military logistics: The case of convoy operations. *Defense & Security Analysis, 32*(4), 290–304. https://doi.org/10.1080/14751798.2016.1238659

Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., & Macesanu, G. (2020). A survey of deep learning techniques for autonomous driving. *Journal of Field Robotics, 37*(3), 362–386. https://doi.org/10.1002/rob.21918

Hu, J., Zhang, X., Li, Y., & Zhao, F. (2025). A survey of decision-making and planning methods for self-driving cars. *Frontiers in Neurorobotics, 19*, 1451923. https://doi.org/10.3389/fnbot.2025.1451923

Janai, J., Güney, F., Behl, A., & Geiger, A. (2020). Computer vision for autonomous vehicles: Problems, datasets and state of the art. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, 12*(1–3), 1–308. https://doi.org/10.1561/0600000079

Khaleghi, B., Khamis, A., Karray, F. O., & Razavi, S. N. (2013). Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. *Information Fusion, 14*(1), 28–44. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2011.08.001

Lan, G., & Hao, Q. (2023). End-to-end planning of autonomous driving in industry and academia: 2022–2023. *arXiv preprint*. arXiv:2401.08658.

Levinson, J., Montemerlo, M., & Thrun, S. (2007). Map-based precision vehicle localization in urban environments. In *Robotics: Science and Systems III* (pp. 121–128). MIT Press.

Lin, P. (2016). Why ethics matters for autonomous cars. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Eds.), *Autonomous driving: Technical, legal and social aspects* (pp. 69–85). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_4

Litman, T. (2020). *Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning*. Victoria Transport Policy Institute. http://www.vtpi.org/avip.pdf

Liu, P., & Xu, Z. (2021). Autonomous vehicle testing and deployment in China: Policies and practices. *Journal of Advanced Transportation, 2021*, 1–12. https://doi.org/10.1155/2021/6639162

MarketsandMarkets. (2020). Autonomous vehicle market by level of automation, component, and region – Global forecast to 2030. MarketsandMarkets Research.

Mercedes-Benz. (2021). Mercedes-Benz is the world's first automobile manufacturer to receive internationally valid system approval for conditionally automated driving (SAE Level 3). Daimler Media. https://media.mercedes-benz.com

ModeSeq. (2024). Technical report for the 2024 Waymo Open Motion Prediction Challenge. Google Cloud Storage.

National Highway Traffic Safety Administration. (2017). *Automated driving systems 2.0: A vision for safety*. U.S. Department of Transportation. https://www.nhtsa.gov/

Path Planning Algorithms in the Autonomous Driving System. (2024). *ScienceDirect*.

Petit, J., & Shladover, S. E. (2015). Potential cyberattacks on automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16*(2), 546–556. https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2342271

SAE International. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (J3016_202104). SAE International. https://doi.org/10.4271/J3016_202104

Shladover, S. E. (2018). Connected and automated vehicle systems: Introduction and overview. *Journal of Intelligent Transportation Systems, 22*(3), 190–200. https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1336053

Singer, P. W. (2009). Wired for war: The robotics revolution and conflict in the 21st century. Penguin Press.

Thrun, S. (2010). Toward robotic cars. *Communications of the ACM, 53*(4), 99–106. https://doi.org/10.1145/1721654.1721679

Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., … & Mahoney, P. (2006). Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge. *Journal of Field Robotics, 23*(9), 661–692. https://doi.org/10.1002/rob.20147

Tsugawa, S. (2016). An overview on driverless truck platoons for energy saving. *Proceedings of the IEEE, 104*(6), 1138–1166. https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2545681

Velas, M., Spanel, M., & Herout, A. (2018). CNN for license plate motion deblurring. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19*(2), 470–479. https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2739225

Waymo. (2020). *On the road to fully self-driving*. Waymo. https://waymo.com/research/

Xu, H., Chen, J., Meng, S., Wang, Y., & Chau, L. P. (2024). A survey on occupancy perception for autonomous driving: The information fusion perspective. *Information Fusion, 114*, 102671. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102671

Zhang, Y., Li, X., & Wang, J. (2023). An overview of decision-making in autonomous vehicles. *ScienceDirect*.