

# AZ AUTONÓM JÁRMŰVEK TESZTPÁLYÁIVAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK ELEMZÉSE SZAKÉRTŐI FELMÉRÉS ALAPJÁN

Molnár Petra<sup>1</sup>, Duleba Szabolcs<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi hallgató

<sup>2</sup>egyetemi docens



**Molnár Petra**

*Jelenleg a BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karának közlekedésmérnöki MSc szak hallgatója, szállítmányozás szakirányon. BSc diplomáját a BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karán, logisztikai mérnök szakon, logisztikai folyamatok szakirányon végezte. Első publikációja. Jelenlegi kutatási területe: szállítmányozás, logisztika, ellátási láncok, autonóm járművek*



**Duleba Szabolcs**

*Egyetemi docens a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági tanszékén. Több hazai és nemzetközi tanulmány szerzője a logisztika és a közlekedéstudomány területein. MTA Bolyai ösztöndíjas. A Logisztikai Évkönyv főszerkesztője.*

## Absztrakt

Az önvezető autók fejlesztése a közlekedés- és járműmérnöki tudományok fókuszában van az utóbbi években. A fejlesztés egyik meghatározó szakasza a különböző prototípusok és közlekedés-szervezési megoldások tesztelése, az ilyen célból konstruált tesztpályákon. Milyen kritériumoknak kell azonban megfelelni a tesztpályáknak? Milyen elemek nélkülözhetetlenek és melyekre elég kevesebb figyelmet fordítani, esetleg hagyhatóak el egy tesztpálya igen költséges beruházása során? A jelen tanulmány egy tavalyi szakértői felmérés tanulságait foglalja össze és elemzi tovább, egy szélesebb körű szakirodalmi áttekintésre és a felmérés eredményeire támaszkodva.

### Kulcsszavak:

autonóm járművek, többszemponú döntéshozatal, tesztpálya-fejlesztés, Interpretive Structural Modelling (ISM)

## 1. Bevezetés

Egy évvel ezelőtt készült az a kutatási cikk a Logisztikai Évkönyvbe, ami az autonóm tesztpályát befolyásoló tényezőket vizsgálta (Bőr és Simon, 2020). Ennek a célja az volt, hogy kiderítsék, milyen dolgok befolyásolják a tesztpályákat, milyen tényezőket kell figyelembe venni, avagy mik merülnek fel esetleges fejlesztési lehetőségként egy ilyen autonóm tesztpályánál. Először minden nagyobb tényező csoportot sorra vettek a szerzők, amik magukban foglalták a legapróbb lebontásig és részletekig azon befolyásoló faktorokat, melyek hatással vannak egy tesztpálya kialakítására, avagy fejlesztése során. Az említett cikkben a tényezőket a kutatók úgy vizsgálták meg, hogy fontossági sorrendet készítettek és szakértőket vontak be, annak érdekében, hogy AHP módszerrel kivitelezhető legyen ezen faktorok közül kiválasztani a legfontosabbakat. Ezen cikk adta ihlet miatt készült el a jelenlegi kutatás is, mely feltárja az autonóm járművek tesztpálya elemeinek szakirodalmát és esetleges összefüggéseik vizsgálhatóságát.

Jelenleg nagyon sok pénzt fordítanak az autonóm járműfejlesztésre, kiváltképp nagyot lépett előre és fejlődött az elmúlt években a járműipar ezen ága. Sokan azt próbálják előrejelezni, mikor jelentheti ki a mérnöki társadalom azt, hogy egy konkrét évtől kezdve megkezdődik a fokozatos átállása az emberiségnek a hagyományos járművekről az önvezető járművekre. Ezzel szemben pedig még mindig rengeteg kérdés fogalmazódik meg a fejlesztőkben és mérnökökben egyaránt, illetve megannyi akadályba ütköznek, legyen szó technológiáiról vagy éppen etikáiról. A társadalom is kifogásolja még egyes részét ennek a folyamatnak és kevésbé hisznek abban, hogy ők adaptívak lesznek erre, megkérdőjeleznek még sok ezzel kapcsolatos jogi hátteret is.

Jelen kutatásban az előző évi eredményeket felhasználva kutatjuk továbbra is a tényezőket és vizsgáljuk őket egy kiegészítő módszertannal, hogy egy következő szakértői megkérdezés előkészítő fázisa lehessen. Olyan mélységekben vizsgáljuk, hogy megállapíthassuk közöttük a jelenlévő kapcsolatokat, ha vannak. Meggyőződésünk, hogy azon befolyásoló rendszerelemek, melyeket a tavalyi kutatásban feltártak kapcsolatban lehetnek egymással. Ezen kapcsolatok nem csak egy-egy direkt összefüggés lehet két bizonyos faktor között, hanem indirektek, teljesen szerteágazóak, akár több fontos dologra is kiterjedhetnek. Célunk, hogy minden tényezőről megállapíthassuk szakértők bevonásával, hogy milyen másikkal áll és milyen mélységekben kötődnek. Ezzel azt a célt szolgálja kutatásunk, hogy esetlegesen egy újonnan épülő vagy már meglévő önvezető autótak segítőt teszt pályánál a tulajdonosokat segíthesse esetleges kialakítások és fejlesztések terén. Ezzel egy irányt tudunk nekik mutatni, miszerint miket fejlesszenek először vagy mikbe érdemes pénzt fektetni, hogyha már minden tényező adott. Megeshet, hogy lesznek olyan részei a pályának, melyek kis pénzügyi befektetéssel kamatoztathatóbb fejlődést generálnak, azáltal, hogy befolyással vannak sok más részre is. Ezen fejlesztésre sokkal érdemesebb lesz majd a jövőben is pályázati pénzt igényelni és felhasználni, mint azokra a rendszerelemekre, melyek nagy mennyiségű pénzforrást igényelnek és semmilyen más dologra nincsenek hatással. Véleményünk szerint ezen prioritizáló lista mindenkinek hasznos lehet, aki a jövőben ilyen infrastruktúra kiépítésére és/vagy fejlesztésére gondolkodik. Egy olyan összefüggő kapcsolati láncolat lesz elérhető ez által, mely teljesen feltérképezi ezen terület tényezőit.

## 2. Irodalom kutatás

Az autonóm járművekkel kapcsolatos kutatások évtizedekre nyúlnak vissza. (Jeffery *et al.* 2015) Mára viszont már olyan nagymértékben jelentőssé és fontossá váltak, hogy például több amerikai államban törvényeket hoztak és fogadtak el, melyek lehetővé teszik, illetve korlátozzák az AV-k tesztelését. Viszont ennek dacára is egy olyan horribilis kutatási költségekkel járó területről van szó, mely rendkívül sok odafigyelést is igényel. Rengeteg technológia ötvözi egymást, megannyi kamera van egyszerre jelen, melyek a másodperc töredéke alatt pásztázzák körbe a környezetüket és mérik fel az egész területet maguk körül. Nagyteljesítményű gépes hardware-re is szükség van, amelyek ezeket az információkat szintén gyorsan feldolgozzák és értelmezik is és ezen felül döntést hoznak az adott szituáció kezelésére (Guéreau *et al.* 2016). Mindehhez nagy sebességű és elérhetőségű internet kapcsolat szükségeltetik, valamint mindig naprakész, nagymértékben részletezett térképek.

A Freiburgi Egyetem Számítástudományi Tanszékén (Techxplore 2020) Dr. Abhinav Valada, a robotok tanulásának asszisztens professzora és a BrainLinks-BrainTools csapata kifejlesztette a legmodernebb "EfficientPS" mesterséges intelligencia (AI) modellt, amely lehetővé teszi a vizuális képek koherens hatékonyabb és gyorsabb felismerését.

Leginkább a mélytanulást alapul véve, ismert gépi tanulási módszerrel dolgoznak, ahol az emberi agyból inspirált mesterséges ideghálózatok nagy mennyiségű adataiból tanulnak – fejtette ki a freiburgi kutató. Az olyan nyilvános referenciaértékek, mint a városképek, fontos szerepet játszanak ezen technikák fejlődésének mérésében. A projekt weboldalán Valada példákat mutat arra, hogy a csapat hogyan képzett különféle AI modelleket különböző adatkészletekre. Az eredményeket a megfelelő bemeneti képre helyezték, ahol a színek megmutatják, hogy melyik objektumosztályhoz rendelte a modell a pixelt. Például az autók kék színnel vannak jelölve, az emberek vörössel, a fák zölddel, az épületek pedig szürkével. Ezen túlmenően az AI modell minden olyan objektum köré húzza azt a szegélyt is, amelyet külön entitásnak tekint. A freiburgi kutatóknak sikerült megtanulniuk a modellt, hogy Stuttgartból New York Citybe továbbítsák a városi jelenetek tanult információit. Noha az AI modell nem tudta, hogyan nézhet ki egy egyesült államokbeli város, képes volt pontosan felismerni New York City részeit.

A probléma megoldására szolgáló korábbi módszerek többsége nagy modellméretekkel rendelkezik, és számítástechnikai szempontból drágák olyan valós alkalmazásokban, mint például a robotika, amelyek erősen korlátozottak az erőforrásokat illetően, magyarázza Valada: *"EfficientPS nem csak a legkorszerűbb teljesítményt éri el, hanem ez egyben a legszükségesebb és leggyorsabb módszer is. Ez tovább bővíti azokat az alkalmazásokat, amelyekben az EfficientPS használható."*

Az önvezető autók, melyek egyre inkább a radikális innovációk közé sorolhatóak, (Lukovics *et al.* 2018) elterjedésükkel az emberiség mindennapi életének megváltozása mellett nagyban hozzájárulnak, avagy „kierőszakolják” a közlekedés számos jellemzőjének, illetve a városok szerkezetének megváltozását is. Ezen fejlesztések mára már az utolsó tesztfázisaikba értek, ezzel együtt viszont egyre megosztóbbak a vélemények róluk mind szakmai berkeken belül és mind a közvéleményt illetően. Ennek okául a járművek megbízhatóságán túl számos más, még megválaszolatlan (társadalmi, etikai, környezeti és gazdasági) kérdés szolgál. Ezen változásra, mely globális szinten és az élet számos fontos területén gyors ütemű változást idéz elő, óriási figyelem összpontosul. A negyedik ipari forradalom egyik kiemelkedő innovációjaként is tartják számon az önvezető autótak, melyek legfontosabb jellemzője, hogy emberi beavatkozás nélkül is képesek önállóan közlekedni. Nem kötött pályán mozognak, és kulcsfontosságú szerepet tölt be életükben a mesterséges intelligencia. Két dolgot emeltek ki ezen kutatásban, hogy a világ sokkal előrébb tart, mint azt gondolnánk és hogy gyökerestül megváltoztatják életünket az autonóm járművek. Az ipar 4.0 innovációi közé sorolja a digitalizáció trendjét, automatizációt, transzparenciát, mobilitást, modularizációt, hálózati együttműködések és a termékek folyamatok társadalmisítását. Ez virtuális és materiális térben párhuzamosan zajlik, egymást kiegészítve, mesterséges intelligenciára és embereket valamint okos-eszközök összekapcsolására alapoz. Meghatározó technológiai ágazata a Big Data, melyből legfontosabb kiemelni, hogy nevéből is jól kivehetően, nagymennyiségű adatokról van szó mind csere, mind tárolás szinten, melyek folyamatosan kommunikálnak egymással, ezáltal a világ egészét kötik össze.

Előrejelzések szerint az emberiség életében komoly változások következhetnek be, (Lukovics *et al.* 2018) mely még bizonytalan és információhiány miatt szélsőséges véleményeket szül a társadalom tagjaiban. Javaslatokként jelennek meg

konkrét lépések, melyekkel kulcselemek és dimenziók azonosíthatóak. Kiemelten fontos a kutatók és innovátorok napi szintű K+F+I döntései, nem csak stratégiai, hanem nagyobb szinten, de minden apróbb lépés tekintetében is (Furda *et al.* 2011). Legtöbb esetben műszaki és tudományos területen lévő emberek hoznak döntést, akik inkább tényekre alapoznak, így megeshet az, hogy elsiklanak jogi és etikai kérdések felett, akaratlanul is. A transzparencia és lakosság folyamatos tájékoztatása is hangsúlyos. Továbbá figyelembe kell venni minden érdekelt és érintett véleményét és elképzelését, valamint azokat valamilyen szinten megpróbálni beépíteni ebbe a rendszerbe, de legalább is megérteni ezen felmerülő igényeket. A szabályzó környezet kialakításánál vegyük figyelembe az alulról felfelé elvet, de közben gondoljunk a lehetséges többszöri visszacsatolás lehetőségére is.

Az autonóm járművek előnyei közt szerepel a fokozott biztonság, hatékonyabb úthasználat, hasznos emberi produktivitás növekedése és energiatakarékosság. (Jeffery *et al.* 2015) A vezetés átruházása emberről gépre mind technológiailag és társadalmilag is jelentősen diverzáns, tekintve, hogy a szerepek nagymértékben felcserélődnek és a felelőségek is átruháznak. Ezzel szemben viszont megannyi lehetőséget rejtenek (Laurent *et al.* 2016), mint a járműnek az önálló útra küldése, parkolása, tankolása emberi beavatkozások nélkül, valamint olyanoknak a vezetés biztosítása, akik testi adottságbeli hátrányaikból kifolyólag nem vezethetnek. Az AV-k teljesen eltérnek a szokásos üzleti vállalkozásoktól és jelentős gazdasági, energiabiztonsági, politikai és kutatási következményekkel járnak a közlekedésre, energiára és környezetre. Mielőtt még azonban ezen változások megtörténnének és útra gurulnának az első önvezető járművek, számos politikai kérdést le kell határolni és meg kell válaszolni, beleértve a tesztelés és működés jogszerűségét, üzemeltetői tanúsítását, felelősséget, kommunikációs és interfész szabványokat, biztonságot, valamint az adatok (Fagnant, Kockelman 2015) elérhetőségét és felügyeletét.

Kezdenek olyan problémák is felvetődni, melyekkel az előtt nem találkoztunk vagy nem voltunk tanúi. A nyilvános kommunikáció, az ember-gép közötti interakció és a technikai megvalósíthatóság mind egységesen járul hozzá a következő közlekedési forma kialakításához.

2018-ban 52 vállalat szerzett engedélyt autonóm járművek önálló tesztelésére. (Hancock *et al.* 2016) Az önvezető autók fejlődése rohamosan felgyorsult, annak köszönhetően, hogy a nagyvállalatok elkezdtek versenyezni egymás ellen ezen modern technológiában elért erőfölényért. Ennek ellenére voltak, akik megtapasztalhatták az utazást ilyen járművekben, viszont a személyes tapasztalatlanúság megnehezíti a lakosság ítélőképességét a járművekről, ellenben munkaerőt takarítanak meg, és remélhetőleg csökkentik a jövőben bekövetkező balesetek számát. Mindenképp nagyobb ráhatása lesz a társadalomra, minthogy csak egyik pontból a másikba történő utazást egyszerűsítik le. Például nem lesz szükséges autó tulajdonosnak lenni a jövőben, hiszen elég lesz egy egyszerű applikáció egy jármű „rendeléséhez”, ahol nem kell aggódnia a miatt sem, hogy órákba telne a megérkezése, hiszen ez akár néhány perc vagy akár másodperc is lehet. Ezen felül is rengeteg más előnye is lesz ennek a technológiának, mint például a kevesebb parkolóhely keresés vagy egyáltalán parkolóhely szükségessége, hiszen egyik utast a célállomásra elszállítva már a következő felhasználóhoz tud önmagától vezetni a jármű. Ezzel egyetemben a parkoló létesítmény újrahaznosítása (Faraji 2019) válhatna elérhetővé.

A radikális változások egy része, melyet okoznak előreláthatólag, kiszámíthatóak, de többségük még nem előre megjósolható. Legtöbb ember az alapján ítéli meg ezen újításokat, hogy milyen kép alakult ki benne magáról az AV-ről és erről a fogalomról. Hierarchikus összehasonlítások születnek, melyek egymáshoz viszonyítják a vezetői és járműi irányítást. Ezek alapján alkottak úgynevezett autonóm szinteket, melyek elkülönítik a határokat a hagyományos gépjárműből kiindulva elérve a teljesen autonómiáig.

Legszembetűnőbb hatások egyike lehet a munkahelyekre és ingázásokra gyakorolt hatás. Az autonóm járművek teljesen feleslegessé teszik az emberi vezérlést, ebből kifolyólag viszont lehetséges, hogy olyan állásoknál, ahol megkövetelt az emberi jelenlét, vezetésként tekintve (kamionsofőr, taxis), az embereknek más munkalehetőség után kell kutatniuk vagy talán egy felügyelőként kell elhelyezkedniük a jövőben, akik távvezérléssel felügyelik a járműveket egy központból. A szállítási ágazatban radikálisra csökkenthet a foglalkoztatottak száma, nem úgy, mint azon helyeken, amelyekkel pont, hogy munkahelyeket teremt az önvezető autó: például az autonóm járműparkok fenntartása. Tanulmányokban kifejtették, hogy ezen változások társadalmilag eléggé kiterjedtek lehetnek majd, mindamelltt hogy sok ember által vezérelt jármű fog ugyanúgy az utakon cirkálni. Viszont azok, akik járműtulajdonosok szeretnének továbbra is maradni, pénzszerzési lehetőséget kínál nekik ez a helyzet, hiszen azt a járművet nem feltétlen kell 22 órán keresztül egy helyre leparkolni. Pénzt kereshetne az által, hogy azon holt időben más utasokat szállít el különböző desztinációkra. Így felmerül a kérdés, hogy megéri-e a tömegközlekedés fejlesztésébe ölni pénzt, ha ilyen alternatív szállítási opciók fognak megjelenni az utasok előtt. Mobilitást biztosítanak olyanok számára, akik nem tudnak vezetni, mint például gyerekek, idősek vagy fogyatékkal élők. Ezeknél a felmerült eseteknél, viszont továbbra is fenn áll a járműbe való be- és kiszállás mikéntjének a kérdése.

Fejlődés korlátba ütközik az által, hogy a technológiával is lépést tudjanak tartani a szakemberek, de mégis tovább tudják terjeszteni munkájukat. Az újításokkal kapcsolatban felmerülnek kérdések, hogy hosszú- és rövidtávú hatást is gyakorolnak-e. A technológia gyorsan változik, különösen a social-media megjelenésével. Növekedni kezd az igény, az iránt hogy az eredményeket minél jobban megértethessék a közvéleménnyel is. Sajnos az AV-k iránti bizalom hanyatlani látszik, hiszen mai napig számos baleset történik, akár halálos kimenetelű is, amik megdöbják az internetes böngészők kereső szavainak találatait. Nagyobb figyelem hárul az autonóm járművekkel történő balesetekre, mint azokra, amelyeket emberek okoznak egymásnak, ezzel túlhangsúlyozva az AV-k hibáit. Hogy megelőzzék az ilyesfajta baleseteket, gyakorlati megközelítést alkalmaznak.

Tömeges tesztelésnek vetik alá a járműveket, hogy elegendő háttér-ismerettel rendelkezzenek a nyilvános kísérlet kockázatainak és előnyeinek megértéséhez.

Súlyos erkölcsi kérdések is felmerülnek, jellemzően etikai variációkban. Vajon el kell-e rántani a kormányt egy autonóm járműnek és elütnie egy gyalogost, hogyha az alternatív lehetőség nem egy nagyobb számú áldozatot követelő baleset? Meg kellene védenie a tulajdonosát mindenképp felett vagy áldozza fel egy jobb kimenetelért? Hogyan lehetne ezeket az etikai és erkölcsi elveket törvénybe iktatni olyan szoftverek esetén, melyeket több tervező és programozó készít? Gyakori, hogy az ilyen kérdések megoldása jóval meghaladja a programozás szerkezetét a teljes közvélemény elfogadásának elérése érdekében. Tanulmányok bizonyították, hogy még mindig nagy az ellentmondás ilyen kérdésekben. Az emberek a mellett vannak, hogy a jármű áldozza fel az utast egy jobb kimenetel érdekében, viszont senki sem szeretne egy ilyen járműben utazni. Ezek olyan választási lehetőségek, melyeket a mérnökök a tervezés során mérlegelnek és mérlegelniük is kell, viszont ezen kérdésekről még nincs meghatározó nyilvános kommunikáció. Persze a legtöbb embernek még mindig nincs számottevő tapasztalata az AV-k terén. Kockázatelemzések azt mutatják, hogy a tapasztalat és az információ rávezeti az embereket arra, hogy elkezdjék elfogadni az AV-kat, viszont a hajlam nem mindig érvényesül minden helyzetre. Ez az elfogadás a közvéleménytől függ és attól, hogy az emberek hogyan élik meg a technológiának minden formájával való kölcsönhatásaikat.

Kockázatait öt nagy kategóriába sorolja (Lukovics *et al.* 2018), mint technológiai jellegű, vagyis operatív kockázat, ami a lehetséges programhibákat foglalja magában. Baleseti és egészségügyi kockázat, mely az elektromágneses sugárzást jelenti. Aztán a környezeti hatásokon belül az éghajlati kockázat jelenik meg, mint hatékonyságot befolyásoló időjárási tényezők. Iparági kockázatoknál természetesen előkerül a munkaerőpiac, gazdasági, bizalmi és fogyasztói kockázat. Munkahelyek szűnhetnek meg, termékciklusokat tekintve vitatott, hogy megéri-e befektetni ekkora pénzmennyiséget. Ha egy baleset adódik, akkor azáltal a cégek hírnevei is veszélybe kerülhetnek és ugyanezen elmélet alapján a fogyasztói kockázaton belül az számít, hogy hogyan fogják fogadni ezeket a vásárlók. Leghangsúlyosabb az etikai kockázat, hiszen nem lehet tudni, hogy egy-egy szituációban az autó rendszere miként fog reagálni, mit tekint veszélyesnek és milyen kimenetelt tart legjobbnak „nyertesként” kihozni. Kormányzati kockázatoknál említést tesz a digitális és fizikai infrastruktúra kiemelt fontosságára, hiszen ezek megléte elengedhetetlen. Ezzel egyidejűleg viszont átfogó jogi szabályozásra is gondolni kell (European Union 2016) és fel kell készülni, hiszen kérdéses, hogy egy-egy balesetnél ki lesz a jogilag felelős személy. A kormány intézkedései befolyásolják az automatizált járművek hatását a társadalomra. (ITF Roundtable 2016)

Ma már széles körben ismert a Smart City fogalom, (Caragliu *et al.* 2009) míg azelőtt a Google sem hozott rá egzakt definíciót. Leginkább az ICT infrastruktúrára fókuszál, rengeteg kutatással és oktatással az élen a témával kapcsolatban. Az Európai Unió is masszív támogatását mutatja a stratégiák iránt. Ezen kívül természetesen nemzetközi szinten is jelen vannak más országok is a témában, akik az ICT vezérelt fejlesztésekkel foglalkoznak. Az ICT infrastruktúra minősége és elérhetősége még nem egyenlő egy okos és intelligens város fogalmával. Másik szempont szerint az ember és annak oktatása kiemelkedő szerepet játszik a városi fejlődésben. Például a leggyorsabb városi növekedés azon városokban volt fellelhető, ahol magas számú iskolázott munkaerő volt jelen. Ez könnyen magyarázható azzal a ténnyel is, hogy a vállalkozók is közrejátszanak, hiszen ők azok a társadalmi faktori szereplők, akik befektetnek ezen innovációs fejlődési projektekbe (WEF/McKinsey 2018).

A smart city legáltalánosabb jellemzői között szerepel a hálózati infrastruktúra használata a gazdasági és politikai hatékonyság fejlesztésének érdekében és így elérhetőbbé téve a társadalmi, kulturális és városi fejlesztéseket, ami magában foglalja az üzleti szolgáltatásokat, lakhatást, szabadidős és életmódbeli tevékenységeket és ICT-eket (mobil és vezeték nélküli telefon, műholdas TV, számítógépes hálózatok, e-kereskedelelem, internet-szolgáltatások). Továbbá a lakosság elérése és még inkább integrációja a közösségi közlekedésbe. Megjelenik még egy pontként a „soft infrastructure” fogalma (tudásháló, önkéntes szervezetek, bűnözésmentes környezet). Minél inkább arra törekednek, hogy a kreativitást is beintegrálják a fejlesztések közé, mégpedig kreatív emberek munkája nyomán. Bár ez nem kulcseleme a sikernek, de nagyban meghatározzák ezen városok sikerét a fejlődés útján. Idesorolható még a társadalmi és relációs tőke megjelenése is. Ezen városok lakói olyan emberek lesznek, akik elsajátították a tanulást, alkalmazkodást és innovációt. Használniuk kell a technológiát annak érdekében, hogy előnyükre válhasson. Végül meg kell említeni a társadalmi és környezeti fenntarthatóságot, mint a smart city-k egyik legfontosabb alkotóelemét (Faraji 2019). Ahol szűkösek az erőforrások és javarészt a turizmusra és természeti erőforrásokra alapoznak gazdaságilag a városok, elengedhetetlen a természeti örökség biztonságos és megújuló használatának garantálása.

Megannyi smart city fogalom meghatározásban fellelhető azon egyező és egyforma megállapítás, miszerint leg többje a kommunikációs infrastruktúrára fókuszál. Egy osztrák egyetem (University of Technology, Regional Science, Vienna) kutatása alapján hat fő dimenziót állapítottak meg a smart cityknél: smart gazdaság, smart mobilitás, smart környezet, smart emberek, smart élet és smart kormányzás. Ezek mind egybe függenek és szorosan kötődnek a régi felfogásokhoz és vezetésekhez is, de jelentős tényezői maradtak ugyanakkor a mának.

Számos tesztpálya érhető el az autópárhánban, (Szalay *et al.* 2017) mely bizonyítja a hagyományos közúti járművek alapját. A tesztpálya követelményei azonban csak részben azonosak az autonóm járműtechnológiák esetében. Ezért a tesztpálya követelményeinek megfelelő meghatározása rendkívül fontos. Alapvető specifikációk viszont nem elérhetőek a témában. A zalaegerszegi tesztpálya a következő speciális elemeket tartalmazza: városi pályarész autonóm járműveknek, mely komplex városi út elemeket tartalmaz, mint kereszteződések, utcák, parkolóhelyek és épületek, valamint speciális felszerelések, mint például mozgó akadályok.



1. ábra: Zalaegerszegi Zala Zone Járműipari Tesztpálya, kép forrás: origo.hu

Elengedhetetlen a korszerű labor megléte. Műszaki-kutatási labor, alkatrész elemző labor, rendszerintegrációs labor, vehicle in the loop, tesztelés és validálás céljából, hogy a járműfejlesztések legtöbb funkciójának tesztelését tegyék lehetővé. Tesztpálya szükséges az autonóm járműfunkciók városi környezetben való teszteléséhez is (közúti tárgyakkal, városi közlekedés elemeivel, épület homlokzatokkal és közlekedési infrastruktúrával tesztelés). Ezen pályák legfőbb jellemzői: járműdinamikai tesztelés és érvényesítés, teljesen integrált autonóm járművizsgálat és érvényesítés, környezet előkészítése (akadályok, közlekedési táblák, forgalomirányítás, egyéb járművek, veszélyeztetett úthasználók) összetett vezetési és közlekedési helyzetek, intelligens város jellemzői, tesztelés és érvényesítés prototípustól tesztelésétől a tömegtermelésig. Megjelennek továbbá az intelligens város funkciók is, melyeket már korábban kifejtettünk a cikk során. Egyaránt szolgálja az alacsony sebességű autók tesztelését (vidéki utak) és a nagysebességű autonóm funkciók tesztelését is (általános autópálya: sávtartás, sávváltás, stb...). Külön pálya van a Car-to-X (C2X) (Schuenemann *et al.* 2009) kommunikációs technológiák tesztelésére, míg alternatív lehetőséget is szolgáltat a járműveknek különböző minőségű és lejtésű utakon való tesztelésre vagy éppen mérések elvégzésére. A vezető nélküli autók mögött meghúzódó technológia kiterjedt tesztelésen és újjáépítésen esik túl és a jelenlegi vezető nélküli autók kettős üzemmóddal rendelkeznek, lehetővé téve az ember számára, hogy manuálisan vezérelje a járművet. Egy ilyen helyzet megköveteli a megközelítés kombinációját; az egyik a vezető felelősségére alapoz, míg a másik a gyártót vonja felelősségre a hibás termékekért.

Tesztpályák fontosságát mi sem bizonyítja jobban az egyre inkább növekvő számú létesítmények megléte. Minden ország, minden állama igyekszik felvenni a technológia fejlődésével az iramot és egyre többen határoznak úgy és látják indokoltnak a tesztpályák építését és kezdenek bele ezen projektekbe. Ilyen példa Atlanta (Skip 2019), aki 2019-ben jelentette be 1,5 mérföldes nagyságú tesztpályájának megnyitását. Ezzel nem a fejlődéshez és fejlesztésekhez járulnak hozzá, de bevételi forrást is képeznek a város számára, melyet felhasználhatnak további innovációkra.

Közlekedési rendszernek három eleme van (Autószektor) (jármű, pálya és rendszer), mely fejlesztéseknél mindhárom tényezőre oda kell figyelni. Mindez elmondható az autonóm járművek fejlesztéséről is. Rengeteg tényezőt még vizsgálni kell, mint infrastruktúra, jogi háttér, felelősségi kérdések, gazdasági háttér, munkaerőpiacra gyakorolt hatás és egymás közti kommunikáció. Nem elég, hogy a három tényező külön-külön is jelen van és fejlesztjük, össze is kell hangolni őket egymással.

Az önvezető járművek tesztelése eltér egy hagyományos autó tesztelésétől. A vezetéstámogató asszisztens rendszerek egy újabb típusú tesztek igényelnek automatizáltsági fok függvényében, mely kiterjed későbbiekben a tesztelési elvárásokra is. Ugyanakkor nagy szükség van adatokra is, mellyel kiemelkedő szerephez jut a Big Data.

### 3. Módszer ismertetése

A Bevezetésben már hivatkoztam kutatási eredményeket (Bőr és Simon, 2020) egy kiegészítő módszertannal javasoljuk vizsgálni, nevezetesen az Interpretive Structural Modelling (ISM) technikával.

A módszer lényege, hogy a meglévő  $n$  döntési tényező hierarchikus függőségét feloldjuk (amely az AHP-ben feltétel), és megvizsgáljuk minden lehetséges egymásra hatását a döntési elemeknek. Amennyiben  $n$  faktort vizsgálunk  $n \in N$ , olyan  $n \times n$  kvadratikus és bináris mátrixot kell konstruálnunk, amelyben:

$$a_{ij} = 1, \text{ ha } i \text{ elem hatással van } j \text{ elemre, és}$$

$$a_{ij} = 0, \text{ ha } i \text{ elem nincs hatással } j \text{ elemre, } \forall i, j \in N$$

$$i=1, \dots, n$$

$$j=1, \dots, n$$

Szakértők, illetve döntéshozók töltik ki a mátrixot 1 és 0 értékekkel írva minden tényező párhoz. Ami az ISM valódi hozzáadott értéke, az a tranzitív kapcsolatok feltárása, vagyis ha  $i$  hat  $j$ -re és  $j$  hat  $k$ -ra, akkor  $i$ -nek is hatni kell  $k$ -ra, ez viszont még

szakértői kitöltések alapján sem garantált, hármasnál hosszabb összefüggés-láncokra pedig még inkább valószínűtlen, hogy ezt a kitöltők átlátnák. A tranzitivitási kritérium tehát:

$$\text{ha } a_{ij} = 1 \text{ és } a_{jk} = 1, \text{ akkor } a_{ik} = 1, \forall i, j \in N$$

$$i=1, \dots, n$$

$$j=1, \dots, n$$

$$k=1, \dots, n$$

Hogy ezt elérjük, az ISM hatványozza a kapcsolatmátrixot (relationship matrix, RM) a Boole-algebrát használva, amelyben az

$$1+1=1 \text{ és } 1 \times 1=1$$

összefüggések érvényesek, hogy megőrizze a mátrix 0 és 1 értékekből való feltöltését. Egészen addig kell a hatványozást elvégezni, amíg a következő hatványra emeléssel nem változik már az 1-esek és a 0-ák száma, ekkor elérjük a teljes tranzitivitást.

$$RM^* = RM^c = RM^{c+1}, \text{ ahol } c \in N \text{ az az egész hatványkitevő, amelyre stabilá válik a mátrix}$$

$$c=1, \dots, n$$

Ezzel a módszerrel tehát vizsgálható a tényezők egymásra hatása, a kijövő sorösszegek adott elem befolyását mutatják a többi elemre, az oszlopösszegek pedig más elemek befolyását az adott elemre.

## 4. Előzetes és várható eredmények

A cikk elején említett tanulmányban a következő szintek és döntési elemek kerültek megállapításra az önvezető teszt pályák vizsgálandó tényezőiként:

- Stratégiai szint
  - Operációs szint
    - Taktikai szint

A fenti lebontás szerinti minta alapján az eredmények, tényezőkre lebontva és pontozással együtt a következőképpen alakultak:

- Járműbe épített engedélyezők, C1 (**0.2090**)
  - Autonóm tesztjároműplatform fejlesztés, C11 (0.0319)
    - Rendszer-architektúra az ADAS és az autonóm járműfunkciók teszteléséhez, C111 (0.0135)
    - Autonóm jármű prototípus fejlesztés, C112 (0.0096)
    - Komplex szimulációs környezet Vehicle-in-the-Loop tesztelésére, azaz valódi jármű virtuális környezetben, C113 (0.0088)
  - Autonóm jármű irányítása, C12 (0.0566)
    - Kooperatív navigáció környezeti és jármű-érzékelők alapján, C121 (0.0081)
    - Kooperatív és elosztott járművezérlési stratégiák, C122 (0.0082)
    - Optimális pályatervezés és vezetés irányítás statikus és dinamikus akadályok figyelembevételével, C123 (0.0149)
    - Modellvezérelt tervezési eszközök és technikák önálló járművekhez, C124 (0.0064)
    - Döntéshozatal és cselekvés modellezése különböző forgalmi helyzetekben, C125 (0.0135)
    - Intelligens (vezetékes) járműbe épített szelepmozgatók, C126 (0.0055)
  - Környezet érzékelése az autonóm járműveknek, C13 (0.0586)
    - Környezeti érzékelés multiszenzoros fúzió alapján, C131 (0.0155)
    - Optimális érzékelő architektúra és lokalizáció autonóm járművekhez, C132 (0.0137)
    - A környezet érzékelésének és megjelenítésének jelfeldolgozása, C133 (0.0097)
    - Nagyfelbontású leképezés autonóm járműveknek, C134 (0.0077)
    - Környezeti zavarok érzékelése, C135 (0.0121)
  - Gépjármű funkcionális és számítógépes biztonság, C14 (0.0619)
- Jármű validáció, C2 (**0.2191**)
  - Megerősítés, C21 (0.0288)
  - Szimuláció alapú teszt és validálás, C22 (0.0147)
  - Laboratóriumi teszt és validálás, C23 (0.0163)
  - Tesztpálya teszt és validáció, C24 (0.0393)
  - Limitált közúti teszt és validálás, C25 (0.0480)
  - Közúti teszt és validálás, C26 (0.0709)

- Megosztott, összekapcsolt és automatizált mobilitási szolgáltatások emberek és áruk számára, C3 (0.1055)
  - Forgalomkezelés, C31 (0.0572)
    - Autonóm járművek flottakezelése, C311 (0.0091)
    - Közúti forgalomirányítás vegyes forgalomhoz (autonóm és hagyományos járművek), C312 (0.0257)
    - Forgalomirányítás a teljesen autonóm szállítás érdekében, C313 (0.0223)
  - Megosztott és automatizált mobilitási szolgáltatások utazók és áruk számára, C32 (0.0270)
    - Autonóm tömegközlekedés, C321 (0.0099)
    - Megosztott autonóm szállítás, C322 (0.0079)
    - Autonóm kiszállítási szolgáltatás, C323 (0.0047)
    - Autonóm teherparkok, C324 (0.0045)
  - Innovatív technológiák a társadalmi jólét érdekében, C33 (0.0213)
    - Városi parkolóhely kezelés, C331 (0.0040)
    - Energiafogyasztás optimalizálása, C332 (0.0080)
    - Intelligens városfejlesztések autonóm járművekkel, C333 (0.0093)
- Társadalmi-gazdasági hatások, a felhasználók / a közvélemény elfogadása, C4 (0.0833)
  - Oktatás, C41 (0.0238)
  - Kutatás, C42 (0.0330)
  - Jogalkotás, C43 (0.0265)
- Emberi tényezők, C5 (0.0923)
  - Emberi tényezők és dinamikus jellemzők, C51 (0.0108)
  - Emberi vezérlésű és autonóm járművek interakciója biztonságos szállítás érdekében (járműben és azon kívül), C52 (0.0239)
  - Anomália észlelés és előrejelzés intelligens eszközökkel, C53 (0.0252)
  - Információkezelés automatizálási lehetőségei döntéshozatalban, C54 (0.0207)
  - Utazási magatartás autonóm tömegközlekedési eszközön, C55 (0.0117)
- Fizikai és digitális infrastruktúra és biztonságos kapcsolat, C6 (0.1351)
  - Intelligens közúti infrastruktúra, C61 (0.0212)
  - ICT infrastruktúra, C62 (0.0251)
    - V2X technológia, C621 (0.0070)
    - Mobil (4G/5G) kommunikációs technológiák, C622 (0.0050)
    - WiFi alapú kommunikáció, C623 (0.0030)
    - Smart city ICT technológia, C624 (0.0055)
    - C-ITS technológiák, C625 (0.0046)
  - Jármű lokalizáció, C63 (0.0502)
    - HD térképek, C631 (0.0113)
    - Statikus, féig statikus térképek, C632 (0.0061)
    - Fél-dinamikus dinamikus térképek, C633 (0.0156)
    - GPS/DGPS technológiák, C634 (0.0171)
  - Kommunikációs rendszerek járművekben és azok között, C64 (0.0387)
    - Összekapcsolt és autonóm járművek kommunikációja, C641 (0.0101)
    - Kommunikációs hálózatok autóiipari tesztelése, C642 (0.0064)
    - Kiber-fizikai rendszerek autonóm járműkörnyezetben, C643 (0.0054)
    - Osztott mérés és információfeldolgozás, C644 (0.0044)
    - Autonóm járművek számítógépes biztonságos kommunikációja, C645 (0.0124)
- Big Data, mesterséges intelligencia, C7 (0.1567)
  - Adatkezelés, C71 (0.0392)
    - Tárolás, C711 (0.0045)
    - Hozzáférés, C712 (0.0076)
    - Analitika, C713 (0.0103)
    - Titoktartás, C714 (0.0167)
  - Big data a hatékony szállítás szervezéséhez és a forgalomirányításhoz, C72 (0.0636)
  - Mesterséges intelligencia optimalizált autonóm szállítás érdekében, C73 (0.0538)

A fenti súlypont-számok a hierarchikus szerkezetben kitöltők által pontozott értékeket mutatják, minél nagyon egy tényező értéke (minél közelebb van 1-hez), annál nagyobb súlyt tulajdonítottak neki a szakértők a tesztpálya kialakításában és működtetésében. Jelen cikkben azonban javasoljuk a tényezők további vizsgálatát a korábban bemutatott ISM módszerrel.

A szakértői lekérdezéseket a COVID járvány miatt 2021-re kellett halasztanunk. Jelen cikkben a várható eredményét taglaljuk a tényezők egymásra hatásának vizsgálatára.

Előre jelezhetően kapcsolat lesz és szorosan összefügg, (akár egy további tanulmánnyal feltárható lehet) maga a jármű és a környezetének kapcsolata, illetve a járműön belüli különböző technológiák összehangoltsága (digitális infrastruktúra). A

járműirányításon belüli érzékelők és modellvezérlés összefüggésbe hozható a környezetérzékeléssel, hiszen hiába megfelelő a járművünk érzékelése, ha nem megfelelően van feltérképezve a terep és fordítva, lehet bármilyen jó digitális térkép betáplálva a járműbe az érzékelői által, hogyha azok nem megfelelően vannak szinkronizálva és nem működnek jól. Ezek elősegítésére minél jobb digitális érzékelők vannak felszerelve, szükségessége teszi az azzal egyenértékű minőségű és kapacitású digitális teret.

Ami megint egy elválaszthatatlan csoportnak bizonyul az az emberi tényezők és a társadalmi-gazdasági hatások. Az ember, mint autonóm közlekedésben résztvevő utas, ugyanúgy része a társadalomnak. Ha ő sérül, a társadalom is sérül és ez által nagyon gyorsan a gazdaságra is hatással lehet, ahogy fentebb a cikkben már említettem ezekre példát: a bizalom kialakulása a technológia felé, baleseteknek a felértékelődése, a sikerek kevésbé felértékelődésével, stb.

Több kapcsolat feltárható a C6-os faktorcsoporthoz belül, ugyanis az ICT infrastruktúra C62 hatással van valószínűsíthetően mind a C63, mind a C64 tényezőkre. Kiemelten a C622 és C623 technológiák fejlesztése, vagyis a mobil-kommunikáció és a wifi-kapcsolat minősége a jármű lokalizáció és a kommunikációs rendszerek a járművekben és azok között tényezőit döntően meghatározza. Egy esetleges 5G megoldás jelentős pozitív hatást fejtené ki mind a C63, mind a C64 faktorokra, így ennek nagyobb jelentősége lehet, mint amit a korábbi tanulmány és az AHP módszertan felderített. A bemutatott ISM matematikai megoldás feltárhatja ezen lehetőségeket.

## 5. Következtetések, javaslatok

Mind a szakirodalom elemzése, mind a bemutatott ISM módszertan az önvezető autók tesztpálya elemeinek új módszertani vizsgálatát ösztönzi olyan tekintetben, hogy a tesztpálya egyes elemeinek egymásra hatása is figyelembe vételre kerüljön a továbbiakban. Természetesen a korábbi felmérés is értékes megállapításokat tett, de olyan módszertan alapján, amely az egyes faktorokat hierarchikusnak tekinti és a kölcsönhatásuk vizsgálatát nem tudta elvégezni. A javasolt ISM modell erre képes, mégpedig tranzitív módon, vagyis bonyolultabb függési láncokat is végig tud követni.

A következőkben tervezzük az újabb szakértői megkérdezést a tesztpálya kritikus elemeinek megállapítására úgy, hogy az indirekt fejlesztési hatásokat is figyelembe vegyük. Előzetesen arra számítunk, hogy az ICT infrastruktúra, ezen belül is kiemelten a mobil-kommunikáció és a wifi kapcsolat jóval jelentősebb szerepet tölt majd be annál, mint ami az előző felmérésből eredményként adódott.

A komplexebb és közvetett kapcsolatot azonban a tesztpálya szakértőinek vélemény-szintézise és a kapott adatok ISM módszerrel lefolytatott analízise fogja csak feltárni.

További kutatási iránynak a szakértői lekérdezések és a tesztpályákra vonatkozó mért adatok integrálását és együttes kezelését tartjuk, valamint egy olyan hibrid módszertan kidolgozását, amely lehetővé teszi, hogy a vélemények és objektív adatok kiegészíthessék egymást. Az önvezető autózás megteremtése szempontjából egy ilyen módszertan kidolgozása elengedhetetlennek tűnik.

### Köszönetnyilvánítás

Az első szerző köszöni a BME EFOP 3.6.3 ösztöndíj támogatását. A második szerző köszöni a Bolyai János kutatási ösztöndíj támogatását.

## 6. Felhasznált irodalom

[1] Andrea Caragliu, Chiara Del Bo, Peter Nijkamp (2009): *Smart cities in Europe*  
<http://degree.ubv.vu.nl/repec/vua/wpaper/pdf/20090048.pdf>

[2] Andrei Furda, Ljubo Vlacic (2011): *Enabling Safe Autonomous Driving in Real-World City Traffic Using Multiple Criteria Decision Making*, pp. 3-5., 11-13.

[3] Autószeletor, *Jövőutazás: autonóm járművek – mesterséges intelligencia* (2019)  
online: <https://www.autoszeletor.hu/hu/content/jovoutazas-autonom-jarmuvek-mesterseges-intelligencia>

[4] Bjoern Schuenemann, Ilja Radusch (2009): *V2X-Based Traffic Congestion Recognition and Avoidance*, pp.

[5] Bör Katalin, Simon Alexandra (2020): *Az önvezető autózás tesztelési tényezőinek rangsorolása szakértői vélemények szintézise alapján*. Logisztikai Évkönyv 2020, pp. 11-27.

[6] Daniel Fagnant, Kara Kockelman (2015): *Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations*, pp. 7., 10-13., 15-16.



- [11] European Union (2016): *Urban Agenda for the EU Pact of Amsterdam*
- [12] ITF Roundtable – *Cooperative Mobility Systems and Automated Driving* (2016)
- [13] Jeffery B. Greenblatt, Susan Shaheen (2015): *Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts*
- [14] Laurent Franckx, Inge Mayeres (2016): *Future trends in mobility: the rise of the sharing economy and automated transport*
- [15] Lukovics Miklós, Udvari Beáta, Zuti Bence, Kézy Béla (2018): *Az önvezető autók és a felelősségteljes innováció*, pp. 1-4., 6-8., 11-20.
- [16] Maxime Guériaux, Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Julien Monteil, Frédéric Armetta, Salima Hassas (2016): *How to assess the benefits of connected vehicles? A simulation framework for the design of cooperative traffic management strategies*, pp.
- [17] P. A. Hancock, Illah N., Jack S.: On the future of transportation in an era of automated and autonomous vehicles: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6475395/>
- [18] Seyed J. Faraji (2019): *Smart parking :an efficient approach to city's smart management and air pollution reduction*, pp. 6-7., 18-19.
- [19] Skip Descant – Government Technology (2019): *New Autonomous Vehicle Test Track to Open in Metro Atlanta* <https://www.govtech.com/fs/transportation/New-Autonomous-Vehicle-Test-Track-to-Open-in-Metro-Atlanta.html>
- [20] Szalay Zsolt, Tettamanti Tamás, Esztergár-Kiss Domokos, Varga István, Cesare Bartolini (2017): *Development of a Test Track for Driverless Cars: Vehicle Design, Track Configuration, and Liability Considerations*, pp. 2-7
- [21] Techxplore (2020): Albert Ludwigs University of Freiburg – *New deep learning research breaks records in image recognition ability of self-driving cars*  
online: [https://techxplore.com/news/2020-05-deep-image-recognition-ability-self-driving\\_amp](https://techxplore.com/news/2020-05-deep-image-recognition-ability-self-driving_amp)
- [22] WEF/McKinsey (2018): *The Next Economic Growth Engine Scaling Fourth Industrial Revolution Technologies in Production*