

# Körforgalmi szituáció szimulációja és validálása rádióvezérlésű (RC) autonóm járművek segítségével

## Simulation and validation with radio-controlled (RC) autonomous vehicles in roundabout situation

FERENCZ Csanád<sup>1</sup>, Dr. ZÖLDY Máté<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Automotive Technologies, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering,  
Budapest University of Technology and Economics, Stoczek J. u. 6., 1111 Budapest, Hungary

\* Corresponding author, e-mail: mate.zoldy@auto.bme.hu

### Kivonat

*A jelen kutatási cikkben a szerzők kiterjedt áttekintést nyújtanak az autonóm járműtechnológiák kutatás-fejlesztési (K+F) folyamatainak egy eddig még nem vizsgált megközelítéséről, ami körforgalmi szituáció szimulációját és validálását illeti rádióvezérlésű (RC) autonóm járművek segítségével, valamint az RC járművek tesztelésben való alkalmazhatóságának egy kimerítő vizsgálatát az összekapcsolt autonóm járműtechnológiák (CAV) területén, öt alfejezetre osztva, melyek mindegyike jelentősen hozzájárul ezen egyedi és átfogó projekt végső szerkezetének megvalósulásához.*

**Kulcsszavak:** autonóm járművek, szimuláció és validálás, körforgalmi szituáció, ZalaZONE, RC járművek

### Abstract

*In the present research paper, the authors provide an extensive overview about a so far uninvestigated approach regarding the research and development (R&D) of Autonomous Vehicle Technologies, an exhaustive investigation concerning the simulation and validation of roundabout situation with radio-controlled (RC) autonomous vehicles, as well as the examination of RC vehicles applicability in the testing processes of Connected Autonomous Vehicles (CAV), organized in five sections, each contributing significantly to the realization of the final structure of a unique and comprehensive project.*

## 1. AKTUÁLIS SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A járműrendszereken belüli megnövekedett komplexitás miatt a járművek tesztelése és validálása a korábbiaktól eltérővé vált. A jármű és a forgalmi helyzetek együttes tesztelése új tesztelési módszereket és stratégiákat igényel [5], [11].

Az aktuális sajnálatos balesetek rávilágítanak a közúti tesztelés kockázataira, és megerősítik a zárt tesztpályák, valamint a speciálisan erre a célra tervezett és épített, ellenőrzött városi jellegű vizsgálati területek szerepét, amelyek képesek hitelesen reprezentálni valós környezeteket [6], [8].

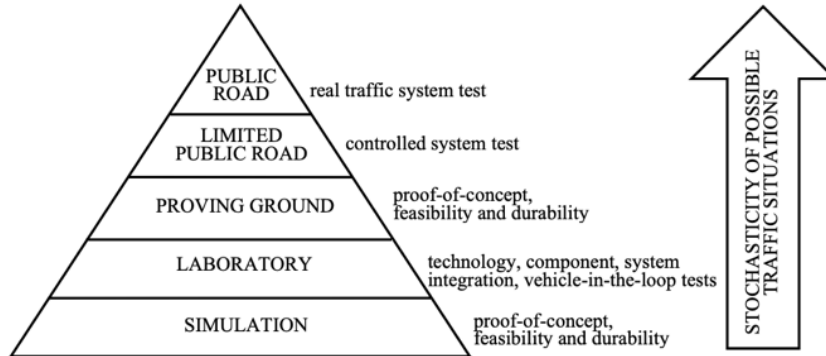
A jelen projekt esetében a szerzők leginkább körforgalommal kapcsolatos forgalmi helyzetekre koncentrálnak, ugyanakkor a bemutatott módszerek alkalmazhatósága természetesen nem korlátozódik csak körforgalmi tesztelésre, és nemcsak a leggyakrabban használt szimulációs és validálási technikákat mutatják be ezen szituációkat illetően, hanem viszonylagosan új, eddig még nem használt technológiákat is, különös tekintettel az RC járműmodellek alkalmazhatóságának a vizsgálatára összekapcsolt autonóm járművek K+F területeit illetően.

## 2. KUTATÁSI MÓDSZER

Az összekapcsolt és automatizált járművek tesztelése általában forgalmi szituációkra összpontosít, melyek jellemző tulajdonsága a sztochaszticitás [7].

Lehetetlen előre meghatározni minden forgalmi helyzetet, automatizált járművek megbízhatóságát közúti tesztek nélkül pedig nem lehet bizonyítani. A cél a rendszerek lépésről lépésre történő tesztelése a szimulációs környezettől a közutakig [3].

A *lépésről lépésre történő tesztelés* költség- és időhatékony módon igazolja az autonóm járművek megbízható működését. A *különböző tesztelési környezetek* vagy *szintek*, amelyekre az autonóm járművek tesztelési folyamatai épülnek az alábbi, 1. ábrán találhatóak összefoglalva.



1. ábra Autonóm járművek tesztelési és validációs piramisa [10]

### 2.1 RC járművek alkalmazhatósága mint K+F módszer

A *körforgalom* egy körkörös, egyirányú közúti kereszteződés egyedi esete, ahol a forgalom résztvevői azonos irányba mozognak egy központi sziget körül azzal a szándékkal, hogy irányt változtassanak és elérjék a körforgalmat érintő utak egyikét.

A körforgalomba való belépés, vagy az azelőtt való megállás *döntéshozatala* nemcsak az autonóm járművek, hanem az emberi járművezetők számára is meglehetősen bonyolult helyzet, amely jelentős mennyiségű szimulációs, tesztelési és validációs adatot igényel. Ezen adatok nem származhatnak kizárólagosan csak közúti tesztelésekből, ehhez *új tesztelési módszerekre és stratégiákra* van szükség [13].

Következésképp, mivel a valós életben végzett tesztelési procedúrák, úgymint a *közúti tesztelések* vagy a *zárt tesztpályás vizsgálatok* magasabb kockázatot jelentenek, emellett pedig túlságosan bonyolultak és költségesek is ahhoz, hogy a két teljesen felszerelt autonóm járművel adott esetben folyamatosan megvalósulhassanak, egy sokkal inkább fenntarthatóbb, *alternatív megoldást* kell hogy találni, amely például a *kisméretű modellekkel való tesztelési eljárás*, amely a két jármű lényegesen olcsóbb RC modelljeivel valósul meg.

Ezeknek a modelleknek a segítségével a fejlesztési idő drasztikusan csökkenthető, csak a legkritikusabb esetek szituációit kell valós környezetben tesztelni, így *több tesztelési adathoz* lehet hozzájutni *kevesebb idő* alatt, *kisebbségekkel*.

### 2.2 Összefüggés a ZalaZONE-nal

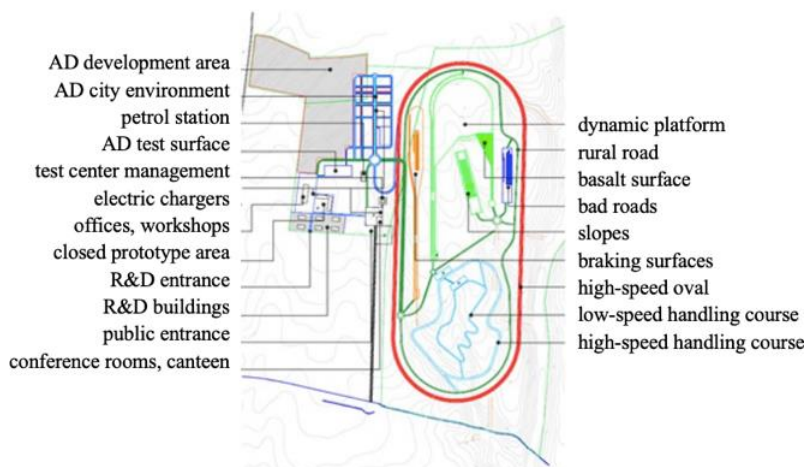
A zalaegerszegi *ZalaZONE* tesztpálya voltaképpen egy speciális járműipari tesztpálya, amely a vezetési biztonságra és a stabilitásra összpontosító hagyományos tesztpálya-jellemzőket egyesíti a jövőbeli járművek többszintű validációs rendszerének K+F infrastruktúrájával.

A próbapálya elemeit az összekapcsolt és automatizált járművek *tesztelési és validációs piramisa* határozza meg (lásd az 1. ábrát). Ahogy ezen az ábrán is látható, a meglehetősen jól ellenőrzött zárt tesztpályás vizsgálatok és a teljesen nyilvános közúti tesztelések között kell lennie egy köztes tesztelési és validációs rétegnek. Ez a réteg egy *városi közlekedési körülményeket biztosító modul*, egy részlegesen publikus/elérhető környezet. Ez az ellenőrzött városi tesztkörnyezet az úgynevezett *Smart City Zone* (lásd a 2. ábrát) [2].

Ebben a városi tesztkörnyezetben, melyet reális forgalmi körülmények biztosítására terveztek, található a tanulmány témáját érintő körforgalom is, amely alapján nemcsak a virtuális szimuláció kerül megtervezésre, fejlesztésre és kivitelezésre, hanem a kisméretű tesztkörforgalom is. Mindemellett, mivel a vizsgált körforgalom geometriája, kialakítása és felépítése teljes mértékben hasonlít bármely közúti forgalomban találhatóhoz, az elért szimulációs/validációs eredmények és következtetések valós és pontos alapokon fekszenek.

### 3. SZIMULÁCIÓ PRESCAN-NEL

A PreScan-nel végzett szimulációs folyamat *négy szakaszból* áll: a megfelelő szcenárió felépítése, a megfelelő vezérlőrendszerek hozzáadása, az érzékelőrendszer modellezése, illetve a kísérlet futtatása [4].



2. ábra A ZalaZONE tesztpálya és annak különféle elemei [11]

A *szcenárió felépítése* a PreScan dedikált preprocessor modulja segítségével valósul meg. A *vezérlőrendszerek* mind a PreScan szoftverével kompatibilis módon integrálódnak egy *MATLAB/Simulink* munkamenetbe. A *szenzorok* vagy a PreScan által vannak definiálva, mint a jelen projekt esetében, vagy a *MATLAB/Simulink* használatával, valamint a *kísérlet futtatására* is hasonló módon *MATLAB/Simulink* környezetben kerül sor [12].

#### 3.1 Paraméterek

Az 1. táblázatban a két járműmodell fő méretei kerültek összegzésre.

A szcenárió felépítése során nyilvánvalóvá vált, hogy az 1:10 arányú méretek nem valósíthatók meg a PreScan szoftverben, mivel a szimuláció a valóság egy jól meghatározott részének matematikai modellezése, ezért releváns eredmények elérése érdekében csak valós méretekkel és forgatókönyvekkel futtatható. Ebből adódóan a szimuláció a valós teszteseti szcenárió virtuális reprodukciója lesz.

A két járműmodell méretei

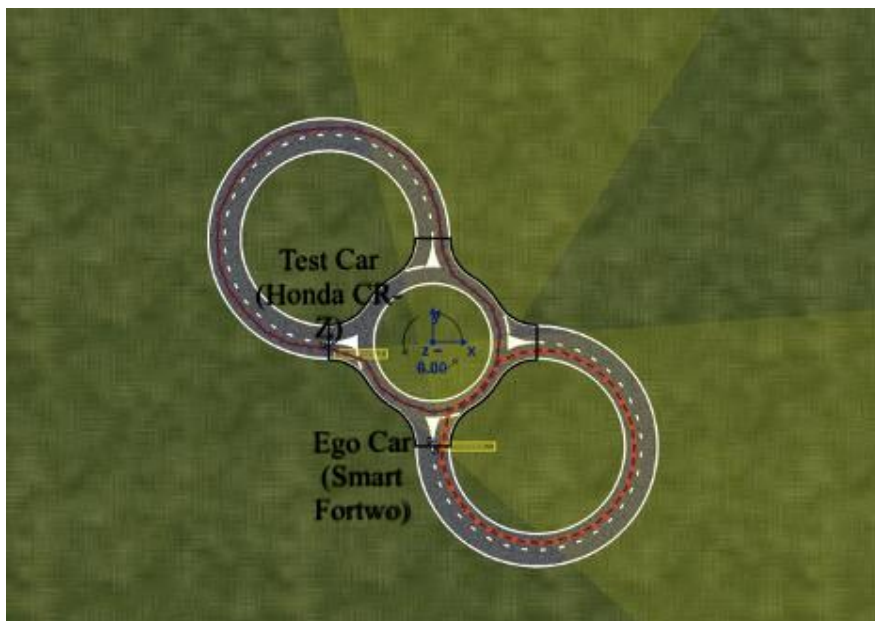
1. táblázat

Valós/1:10 méretek	Smart Fortwo	Honda CR-Z
Hosszúság, [m]	2,5/0,25	4,08/0,408
Szélesség, [m]	1,515/0,151	1,740/0,174
Magasság, [m]	1,529/0,152	1,395/0,139

#### 3.2 Szcenárió feltételek

A szóban forgó körforgalom *standard, egysávos, négy kijáratú*. A 3. ábra a szimulált körforgalom geometriáját és felépítését mutatja be, míg a 2. táblázat a pontos méreteit határozza meg.

A szimulált szituációban a *forgalmat reprezentáló „tesztautó”* (Honda CR-Z) a körforgalom bal oldaláról érkezik, elsőbbséget élvez, és a harmadik kijáraton kívánja elhagyni a körforgalmat, míg az „ego autó” (Smart Fortwo), vagyis a *döntéshozó jármű*, a körforgalom alsó kijáratától felől érkezik és jobbra tart (lásd a 3. ábrát). Ez utóbbi jármű dönt arról, hogy bemegy a körforgalomba vagy megáll előtte, a másik jármű helyzetétől függően [9], [14].



3. ábra A PreScan-ben definiált és szimulált körforgalom geometriája/felépítése

A körforgalom méretei

2. táblázat

Valós/1:10 méretek	Paraméterek, [m]
Átmérő	32,5/3,25
Szélesség bejárat/kijárat	3,61/0,361
Megközelítő út szélessége	3,61/0,361

### 3.3 A megfelelő szcenárió felépítése

A két jármű (*actor*) manőverei a PreScan grafikus felhasználói felületében (*GUI*) elérhető speciális eszközökkel kerültek meghatározásra: egy út került definiálásra *szegmensekből*, melyhez hogyha hozzárendelünk egy járművet, egy olyan *trajektóriát* kapunk, amely tartalmazza a sebességet, a profilt és az utat.

Ezt követően a modellek, a GUI-ban létrehozott összes információval együtt, szimuláció céljából dedikált MATLAB/Simulink munkamenetbe kerülnek, úgynevezett *Compilation Sheet* néven [1].

A szimuláció a *VisViewer* modulban jelenítődik meg. Az adott szcenárió háromdimenziós térben, több nézőpontból is megtekinthetővé válik. A szenzorok definiálása és szimulációja után a járművek helyzete kerül meghatározásra az úgynevezett *Simulation Engine* segítségével.

A *Process Manager* felügyeli a fő modulokat, illetve szinkronizálja és ütemezi a modulok közötti különböző információ-áramlásokat is [12].

### 3.4 Az érzékelőrendszer felépítése

A járművek és az útjelzések detektálása *előrefele néző autóiipari kamera* révén valósul meg. A két jármű esetében a vezérlőrendszer *központi fedélzeti számítógép*, míg a kisméretű modellek esetén *mikrokontroller*.

A *környezetérzékelés* tehát *kamera alapú látórendszeren* keresztül történik, ezáltal felmérhető és detektálható maga a tesztpálya, a járművek dinamikája, az úttesten levő objektumok és más járművek helyzete.

## 4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Az automatizált és ellenőrzött tesztkörnyezetek fokozott használata egyre fontosabbá válik napjaink járműipari K+F folyamataiban. A speciális CAV tesztelő létesítmények, mint például a ZalaZONE, rendelkeznek az alapvető eszközökkel, ami az autonóm járművekkel kapcsolatos legújabb tesztelési/validálási kihívásokat illeti.

Ezen túlmenően, azonban, továbbra is új, alternatív tesztelési és validálási módszerekre és stratégiákra van szükség, amelyek segítségével drasztikusan csökkenthetővé válik a fejlesztési idő annak érdekében, hogy csak a legkritikusabb esetek szituációit kelljen valós környezetben tesztelni. Egy lehetséges, és tökéletesen megfelelő példa erre a módszerre a jelen tanulmányban bemutatott rádióvezérlésű (RC) kisméretű járműmodellek használata.

Ezen felül, a szimulációt illetően is fontos következtetések fogalmazódtak meg, mint például a tesztpálya ideális geometriája, a jövőbeni tesztelési scénáriókkal együtt.

## 5. JÖVŐBELI MUNKA

E két részből álló jelen tanulmány folytatásában nagyobb hangsúly fektetődik a már elért eredmények és következtetések validálási folyamataira, a két kisméretű, rádióvezérelt modell hardver- és szoftver-alapú megvalósítása, valamint ezek és a két valós jármű kimerítő tesztelése által.

Ezen felül, egy új potenciális K+F terület és irány lehet *Software-in-the-loop (SiL) szituációk* lehetséges megvalósítása, a *körforgalmi szcenárió komplexitásának* fokozásával együtt.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Almroth, M. (2013) „Simulation, validation and design of cooperative driving systems using PreScan”, Master of Science in Engineering (M.Sc.Eng.), KTH Royal Institute of Technology. Available at: <https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:614537/FULLTEXT01.pdf> [Accessed: 27/09/2019].
- [2] Automotive Proving Ground Zala Ltd. „Track vision - ZalaZone”, [online] Available at: <https://zalazone.hu/en/> [Accessed: 27/09/2019].
- [3] Bock, T. (2008) „Vehicle-in-the-Loop – Test- und Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme”, Audi Dissertationsreihe, Volume 10, Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany. Available at: [https://cuvillier.de/uploads/preview/public\\_file/2474/9783867277273.pdf](https://cuvillier.de/uploads/preview/public_file/2474/9783867277273.pdf) [Accessed: 27/09/2019].
- [4] Cao, H. and Zöldy, M. (2019) „An Investigation of Autonomous Vehicle Roundabout Situation”, Periodica Polytechnica Transportation Engineering. <https://doi.org/10.3311/PPtr.13762>
- [5] Ferencz, Cs. (2019) „Implementarea unui sistem de conducere autonomă” (Implementation of an Autonomous Driving System), Bachelor of Science in Engineering (B.Sc.Eng.), Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (in [Romanian]).
- [6] NFM (Ministry of Development) Decree no. 11/2017 (IV.12.), Hungarian Journal, Official Gazette, no. 55. (12 April 2017).
- [7] Németh, H. (2017) „Proving ground test scenario simulation for autonomous vehicles”, Research paper for Automotive Proving Ground Zala Ltd.
- [8] Németh, H., Hány A., Szalay Z., Tihanyi V., Tóth B. (2019) „Proving Ground Test Scenarios in Mixed Virtual and Real Environment for Highly Automated Driving”, In: Proff H. Mobilität in Zeiten der Veränderung, Springer Gabler, Wiesbaden, Germany, pp. 198-210. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-26107-8>
- [9] Shaaban, K. and Hamad, H. (2018) „Group Gap Acceptance: A New Method to Analyze Driver Behavior and Estimate the Critical Gap at Multilane Roundabouts”, Journal of Advanced Transportation, Volume 2018, Article ID 1350679, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/1350679>
- [10] Szalay, Zs. (2016) „Structure and Architecture Problems of Autonomous Road Vehicle Testing and Validation”, presented at the 15<sup>th</sup> Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies – VSDIA, BME, Budapest, Hungary, Nov. 7-9, 2016.
- [11] Szalay, Zs., Nyerges, Á., Hamar, Z., Hesz, M. (2017) „Technical Specification Methodology for an Automotive Proving Ground Dedicated to Connected and Automated Vehicles”, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Volume 45 (3), pp. 168-174. <https://doi.org/10.3311/PPtr.10708>
- [12] Tass International (2018) „PreScan, (Version 8.4.0)”, [computer program] Available at: <https://tass.plm.automation.siemens.com/prescan> [Accessed: 27/09/2019].
- [13] Tollner, D., Cao, H., Zöldy, M. (2018) „Artificial Intelligence Based Decision Making of Autonomous Vehicles Before Entering Roundabout”, presented at the 18<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Hungary, Nov. 21-22, 2018.
- [14] Vaiana R., Gallelli V., Iuele T. (2012) „Simulation of Observed Traffic Conditions on Roundabouts by Dedicated Software”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 53, pp. 741-753. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.924>