

## Autonóm járművek irányításához szükséges járműrendszer-paraméterek és szenzorok rendszerek kutatása

Pup Dániel\*, Szakállas Gábor\*\*, Polák József\*\*\*

Széchenyi István Egyetem\*  
Közúti és Vasúti Járművek Tanszék  
(e-mail: [pupd@sze.hu](mailto:pupd@sze.hu); [szgabor@sze.hu](mailto:szgabor@sze.hu); [polakj@sze.hu](mailto:polakj@sze.hu))

**Abstract:** Távlati célunk az autonóm járműirányítási funkciók megvalósítása egy széria járművön. Munkánkat ezért az autonóm járművek irányításán belül fontos részterülettel, a kormányzás vizsgálatával kezdtük. A program ezen részében egy szenzor rendszerrel ellátott Nissan Leaf elektromos járművön járműdinamikai mérések megvalósítására került sor.

### I. A MÉRÉSI PROGRAM<sup>1</sup>

A jármű szenzorozása és mérőrendszerrel történő ellátása után statikus és validációs méréseket végeztünk laboratóriumi körülmények között, majd járműdinamikai méréseket zárt próbapályán.

A statikus laboratóriumi vizsgálatokat a Széchenyi István Egyetem Közúti és Vasúti Járművek Tanszékének Járműdiagnosztika laboratóriumában végeztük.

- Mért jellemzők:
  - kormányzási nyomaték,
  - futómű/kerék-beállítási jellemzők:
    - kerékösszetartás (egyedi),
    - kerékdőlés,
    - jármű tömegközéppont
    - kormányzási szögeltérés.
- A mért értékek alapján az alábbi függvények meghatározása:
  - kormányzási nyomaték a kerékterhelések függvényében,
  - kerékdőlés a kerékterhelések függvényében,
  - kerékösszetartás a kerékterhelések függvényében.

Zárt próbapályás vizsgálatokkal mért jellemzők:

- a dinamikai viszonyoknak megfelelően kétoldali karosszériamagasság,
- kormányzási szög,
- jármű sebesség,
- kormányösszekötőre ható rúderök,
- kormányzási nyomaték,
- hosszirányú és keresztirányú gyorsulás.

### II. A MÉRŐRENDSZER MEGTERVEZÉSE<sup>2</sup>

#### A mérés célja

A program célja, hogy egy minta járművön mérjük a különböző kormányzási helyzetekben szükséges kormányzási nyomatékokat. Ezzel az autonóm járművekben használt villamos kormánymű irányításához szükséges kormányzási paramétereket, dinamikát és referencia nyomatékokat kívánjuk megállapítani.

#### Mérőrendszer felépítése a kísérleti járművön

A vizsgált járműre (Nissan Leaf) Correvit mérőrendszert szereltük fel.

Az 1. ábra szemlélteti a mérőrendszer főbb elemeit a járművön. A mérőrendszer felépítése során törekedtünk a moduláris felépítésre.

A mérőrendszer két fő adatgyűjtő rendszert tartalmaz, amelyek a következők:

- NI cDAQ 9172 (általános célú mérőrendszer)
- VBOX IISX 5 Hz (járműdinamikai mérőrendszer)

A mérőrendszer főbb szenzorai:

- Corrsys Datron S-400: kéttengelyes sebességmérő
- Corrsys Datron: HT-500 magasságjeladó (a jármű dinamikus átterhelődésének vizsgálata)
- Corrsys Datron MSW2: Kormányzási nyomatékmérő szenzor / Kormánypozíció mérő mérőkormány (kormányzási nyomaték mérés, a kormányrásegítő működésének kiiktatásával)

A mérőrendszer programját NI LabVIEW környezetben tervezzük realizálni, amely biztosítja a valós idejű mérést és számítógépes adatrögzítést. A mérések kimenete lehet tdm; csv; mat; állományú fájl.

#### Szenzorok elhelyezésének szempontjai<sup>3</sup>

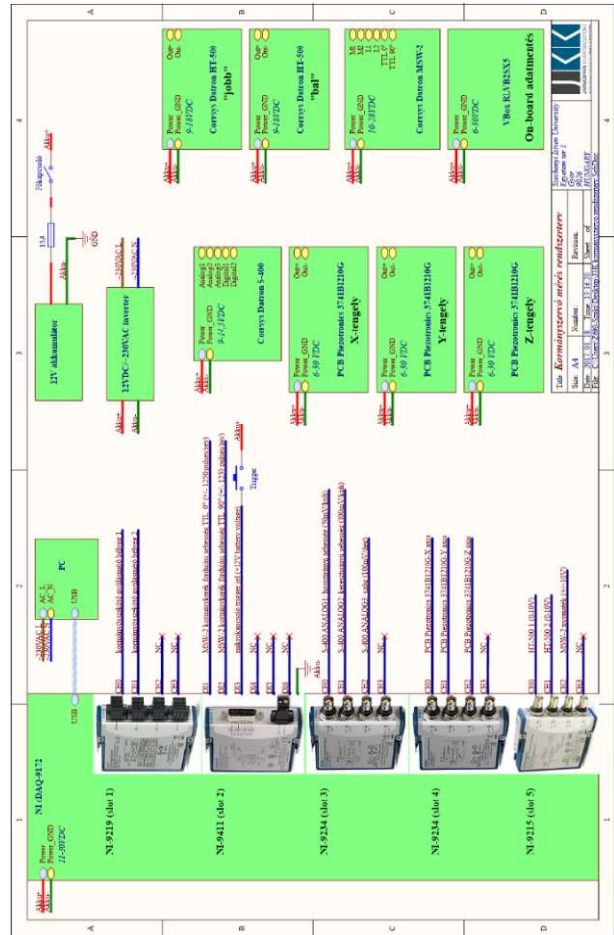
A mérőrendszer szenzorjait a következő előírásokat betartva szerelhetjük fel a járműre. Biztonsági okokból a nagyobb tömegű szenzorokat redundáns módon célszerű rögzíteni.

1. táblázat: Szenzorok és eszközök elhelyezése a járművön

Corrsys-Datron S-400	(jármű első lökhárítóján, közepén) Z: 400 mm +/-100 mm
Corrsys-Datron HT-500	(jármű két oldalán szimmetrikusan a jármű Y-Z síkjára) Z: 550 mm +/-50 mm
Corrsys-Datron MSW-2	Kormányoszlopon
Kyowa KFG-5-120-D16-1	Kormányösszekötő rúd
Mérésjelölő mikrokapcsoló	Utastér
PCB_piezotronics_3741B1210G	A jármű COG pontjában
VBOX RLVB2SX5	Utastér (Antenna, jármű tetején, közepén)
12V DC / 220V AC inverter	Utastér
12V 70Ah akkumulátor	Utastér
Adatgyűjtő laptop	Utastér



1. ábra: Mérőrendszer főbb elemei a kísérleti járművön



2. ábra: Mérőrendszer villamos kapcsolási rajza

### Szenzorok

A szenzorrendszer főbb elemeit a Corrsys Datron cég által forgalmazott, járműves mérésekre fejlesztett modelljeiből valósítottuk meg. Az így felépített mérőrendszer független rendszernek tekinthető, amely nem tartalmaz a jármű szenzorrendszeréből egyetlen elemet sem (amennyiben ez szükséges a jármű CAN rendszerének bizonyos üzenetei csatlakoztatásához).

### Kormányzási nyomaték és kormánypozíció mérése - Corrsys-Datron MSW-2

A szenzor adapterrendszer segítségével szereljük fel a kísérleti jármű kormányoszlopára úgy, hogy a funkcionalitás megmarad. A méréseket elvégzésénél a jármű eredeti szervórendszere nincs működtetve, így a kormányzáshoz szükséges nyomatékokat a jármű vezetőjének kell kifejteni.

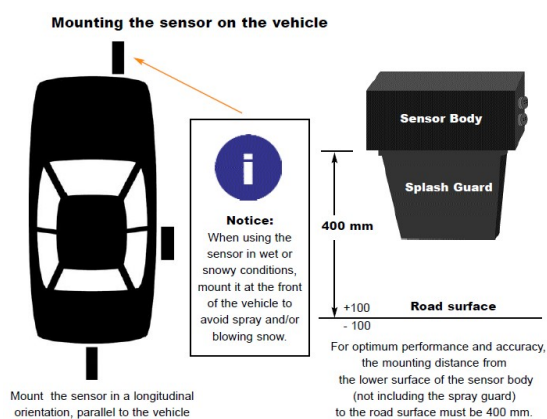
A kormányzási nyomatékmérésen túl a szenzor tartalmaz egy 1250 impulzus/fordulat enkódert is, amivel a kormány elfordulását lehet mérni.



3. ábra: Corrsys-Datron MSW-2 kormányzási nyomatékmérő szenzor és a méréshez használt kormánykerék

### Kéttengelyes járműsebességmérő szenzor – Corrsys-Datron S400

A jármű sebességének méréséhez egy optikai elven működő Corrsys-Datron S400 modellel szolgált, amely képes két tengely (y, x) mentén mérni a sebességet. Az első tengely a hosszirányú, míg a második tengely a keresztirányú sebességet fogja jelenteni. A szenzor a jármű elején került rögzítésre, párhuzamosan a jármű hossz tengelyével.



4. ábra: Corrsys-Datron S400 felszerelési útmutató

### Magasságmérés – Corrsys-Datron HT500

A kocsiszekrény dőlésének a méréséhez szintűgy egy Corrsys-Datron szenzort választottunk, mégpedig a HT500 modellt. A szenzor elhelyezésénél ügyelni kell, hogy a két szenzor a jármű Y-Z síkjára szimmetrikus legyen.



5. ábra: Corrsys-Datron HT500 felszerelése a járműre

### Jármű COG pontjában való gyorsulásmérés - PCB-Piezotronics 3741B1210G

A jármű középpontjának gyorsulását 3db PCB-Piezotronics 3741B1210G egytengelyes gyorsulásmérővel fogjuk mérni. A szenzorokból jobbsodrású koordináta-rendszernek megfelelő szenzorfelépítést alkalmaztunk, ahol:

- X tengely: jármű keresztirányú tengelye
- Y tengely: jármű hosszirányú tengelye
- Z tengely: jármű függőleges tengelye



6. ábra: PCB-Piezotronics 3741B1210G szenzor

### Kormányösszekötő-rúd erőmérés – Kyowa KFG-5-120-D16-1

A kormányösszekötő-rudakban ébredő erőt a Kyowa KFG-5-120-D16-1 nyúlásmérő bélyeggel mértük.

### Mérőrendszer

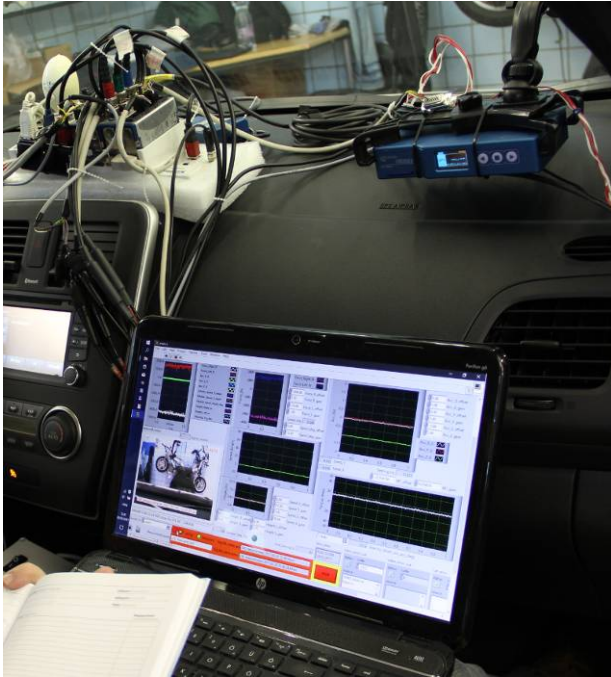
A komplett mérőrendszer két független mérő, adatgyűjtő rendszert tartalmaz, amelyek rögzített adatait utólag szinkronizálni volt szükséges. A VBOX IISX 5Hz adatgyűjtő rendszer által mentett adatok, nem feltétlenül szükségesek a kormányzási jellemzők méréséhez, de segítséget ad a jármű pozíciójának, trajektóriájának rögzítéséhez.

### NI rendszer

A mérőrendszer fő eszköze az NI cDAQ-9172-es valós idejű mérésadatgyűjtő kerete, amely USB csatlakozón keresztül menti a puffertelt adatokat a mérésadatgyűjtő számítógépre. A mérés ütemezését a hardveres időzítés biztosítja, nem a számítógép vezérli.

A mérés részmoduljai az alábbiak (a részletek és paraméterek a mellékletben kerültek bemutatásra):

- Nyúlásmérőbélyeges mérések - NI 9219 kártya
- A TTL jelek feldolgozása - NI 9411 kártya
- Analóg mérések +/- 5V mérésstartományban - NI 9234
- Analóg mérések +/- 10V mérésstartományban - NI 9215 (BNC)



7. ábra: mérőrendszer a járműben

#### VBOX IISX – Járműdinamikai mérőrendszer

A jármű pontos pozíció trajektóriájához a mérések során a Racelogic VBOX IISX modelljét is alkalmazzuk, amely GPS rendszer mellett gyorsulásmérő és inerciamodulokkal pontosított globális pozíciót ment az adattárolójára. A mérési adatsor nincs szinkronban az NI mérőrendszerrel.

#### Mérőrendszer programjához szükséges információk<sup>4</sup>

A mérőrendszer programjának kialakításához szükséges az NI mérőrendszer mérőkártyák szerinti mérési frekvenciájának meghatározása, asztali illetve járműves beépítése és tesztje csak ezután végezhető el!

A mérési frekvenciák meghatározása mellett szükséges megjelölni a mérőrendszer kimeneteit is, dimenzió megjelöléssel együtt.

Először a szenzorok funkciótesztjeit hajtottuk végre, ahol minden rendeltetésszerűen működött.

#### A kormányművet érő dinamikus erők mérése

A feladat olyan szenzor tervezése és készítése, amely menetközben méri a jármű kormányművet érő dinamikus erőket.

Lehetőségek:

- Kereskedelmi forgalomban kapható erőmérő cella beépítése a kormányműbe, a probléma evvel a megoldással, hogy a kormányművet át kell alakítani, amely engedély köteles.
- Egy a kormányműbe beépített alkatrész erőmérésre alkalmassá tétele, pl. a gömbcsukló nyúlásmérő bélyeggel történő installálása. Nehézsége, a létrehozott szenzor kialakítása, gyártása és kalibrálása. Előnye, hogy a jármű kormány művet nem kell átalakítani.

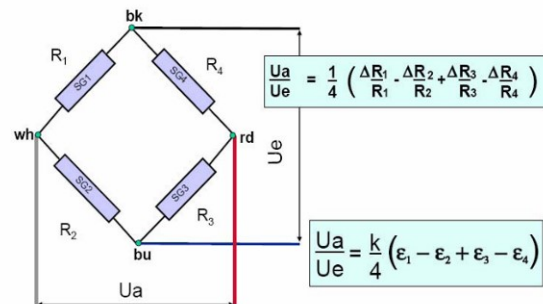
Ebben a projektben a második megoldást választottuk.

#### A szenzor tervezése<sup>4</sup>

A kiválasztott alkatrész a Nissan Leaf gömbcsuklója, amely egyben a kormány összekötő egyik fele (alábbi ábra). A jobb és bal oldali alkatrészt nyúlás mérő bélyegek segítségével tettünk erőmérésre alkalmassá. A gömbcsukló szárára nyúlás mérő bélyeget ragasztottunk úgy, hogy a gömbcsuklóba ébredő, húzó és nyomó erőket tudjuk mérni. A méréshez a három különböző bélyeg elhelyezés közül lehet választani:

- negyed híd alkalmazása (1db bélyeg szükséges hozzá),
- fél híd alkalmazása (2 db bélyeg szükséges hozzá),
- teljes híd alkalmazása (4 db bélyeg szükséges hozzá)

A gömbcsukló bélyegzésénél a teljes hidat alkalmaztunk, mivel ebben az esetben a hőmérséklet kompenzáció a hídon belül automatikusan megoldódik, míg a másik két esetben erről külön gondoskodni kell.



8. ábra: A nyúlásmérő bélyegek teljeshidban történő bekötése

A bélyegek kiválasztásánál különböző kialakítású bélyegek közül választhatunk:

- egy irány mérésére alkalmas lineáris nyúlásmérő bélyeg,
- két irány mérésére alkalmas rozettás nyúlásmérő bélyeg,

Mi a második megoldást választottuk, és így a következő bélyegeket választottuk:

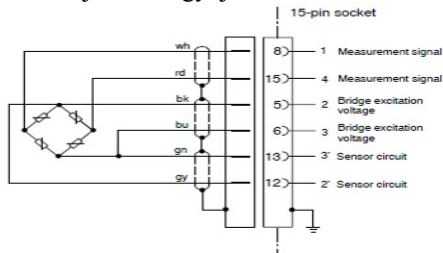
Kyowa KFG - 5 - 120 - D16 - 11 - L3 - M2S

A bélyeg jellemzői:

- 2-irányú (90°),
- 120 Ohm,
- 5 mm bélyeghossz (hordozó Ø: 11mm)
- acél hordozófelületre,
- hőtágulási együttható: 11 ppm/°C
- 2 x 3 m-es vezetékpárral szerelve

A terhelés hatására létrejövő válaszjel (mV/V) mérésére a QuantumX MX 840. A laboratóriumi és általános célú mérésadatgyűjtőt és a hozzá ajánlott catman DAQ Software-t alkalmaztuk. A nyúlásmérő bélyegek bekötése az alábbi ábrán látható, ez a bekötés egy korábbi adatgyűjtőhöz (HBM

Spider 8) tartozó bekötési mód. Igaz, hogy ennek az adatgyűjtő családnak egy újabb változatát alkalmaztuk a kalibrálásnál, de a mérési gyakorlatban bevált szokás, hogy a bekötést a korábbi adatgyűjtőhöz készítik el, és egy úgynevezett fordító segítségével csatlakoztatják az összeállítást az újabb adatgyűjtőhöz.



9. ábra: A nyúlásmérő bélyegek bekötése az adatgyűjtőbe.

### A szenzor készítése

A gömbcsukló függőleges síkjába helyeztünk el alura és felüre is egy-egy rozettát (10. ábra) úgy, hogy a húzó és nyomó erőket tudjuk mérni.

A bélyegek felragasztását Kyowa CC-33A típusú bélyeგრasztót alkalmaztunk.

A ragasztás megfelelő minőségének a biztosítása miatt a bélyeg alatti felületet elő kellett készítenünk, amely következtében kialakul a ragasztáshoz szükséges megfelelő felületi érdesség és felülettisztaság.

A bélyegek felragasztását követte a bekötésük, lásd alábbi ábrák.



10. ábra: Egy rozetta elhelyezése és a rozetták bekötése

### Szenzor kalibrálása<sup>56</sup>

A szenzor kalibrálásának első lépése a szenzor megterhelése az alkatrészben lévő feszültségi viszonyok homogenizálása miatt, ez a következő módon történt:

- A szenzort 1mm/min sebességgel terheljük addig, míg el nem értük a maximális húzóerő értékét, amely 7000 N,
- ezen az értéken tartottuk a szenzort 1 percig,
- a szenzort 1mm/min sebességgel terheljük addig, míg el nem értük a maximális nyomóerő értékét, amely -7000 N,
- ezen az értéken tartottuk a szenzort 1 percig,
- a szenzort 1mm/min sebességgel leterheljük.

A kalibrálás elvégzéséhez egy INSTRON 5582J9240 elektromechanikus szakítógépet (2006) alkalmaztunk, amely a következő erőmérővel szerelt: INSTRON 2525-801/50620 100kN.

Ahhoz, hogy a gömbcsuklót be tudjuk fogni a szakítógépbe készüléket kellett tervezni és gyártani.



11. ábra1: A befogó készülék kialakítása és a mérés összeállítása

A kalibrálást statikus állapotban végeztük el, ami azt jelenti, hogy a teljes terhelési tartományt (-7000 N ... 7000 N) 1000 N-os lépcsőkre osztottuk, így létrehozva a kalibrálási pontokat, majd ezt követően a szenzorokat külön-külön megterheljük a felsőhatárig, majd az alsó határig, és a végén tehermentesítettük. A munkapontokon regisztráltuk a szenzor meghatározott terhelésre adott válaszjelét.

### A kalibrálás eredménye<sup>6</sup>

Leaf baloldal (L)

A szenzor érzékenysége meghatározása:

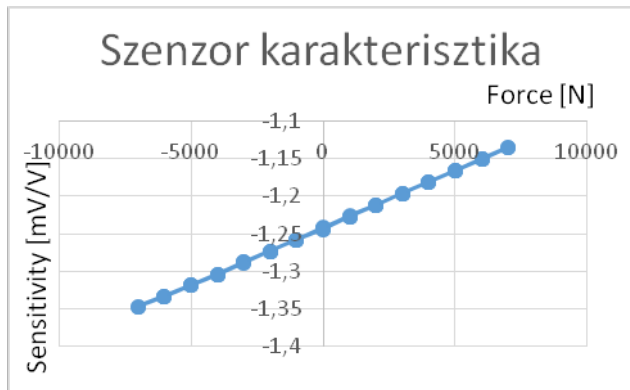
$$7000\text{N} \Rightarrow -1,135 \text{ mV/V},$$
$$-7000\text{N} \Rightarrow -1,347 \text{ mV/V},$$

Az adatokból a következő módon határozható meg a szenzor érzékenysége:

$$-1,347 - (-1,135) = -0,212$$

Tehát az érzékenység nagysága: 0,212 mV/V 14 kN mérési tartományon.

A kalibráláskor felvett munkapontokhoz tartozó válaszjelek ismeretében meghatározható a szenzor karakterisztikája.



12. ábra: A baloldali szenzor érzékenysége

### Leaf Jobboldal (R)

A szenzor érzékenysége meghatározása:

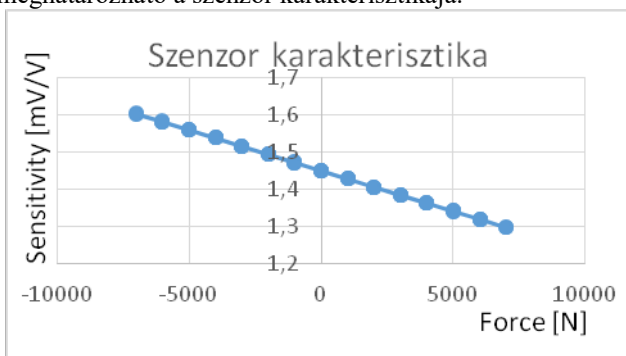
$$7000\text{N} \Rightarrow 1,297 \text{ mV/V},$$
$$-7000\text{N} \Rightarrow 1,602 \text{ mV/V},$$

Az adatokból a következő módon határozható meg a szenzor érzékenysége:

$$1,602 - 1,297 = 0,305$$

Tehát az érzékenység nagysága: 0,305 mV/V 14 kN mérési tartományon

Mint az előző esetben, a kalibráláskor felvett munkapontokhoz tartozó válaszjelek ismeretében meghatározható a szenzor karakterisztikája.



13. ábra: A jobboldali szenzor érzékenysége

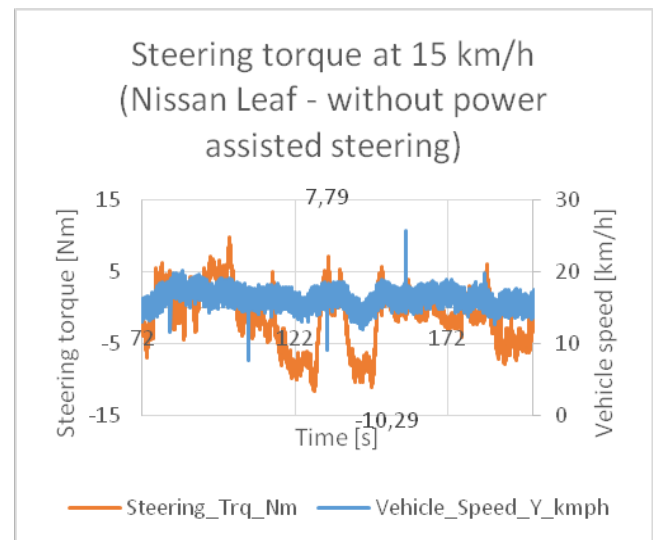
### III. MÉRÉSI HELYSZÍNE, ELVÉGZETT MÉRÉSEK

A Nissan Leaf típusú személygépjármű kormányzási jellemzőinek mérésének előkészítéséhez feltérképeztük a lehetséges helyszíneket és a méréseinket laboratóriumi körülmények között valamint egy zárt próbapályán végeztük valós forgalmi körülményeknek megfelelő szilárd útburkolatú aszfaltozott úton. A mérések során a következő ábrán látható nyomvonalon haladt a jármű és a ismételt méréseket végeztünk ugyanazon a nyomvonalon haladva.



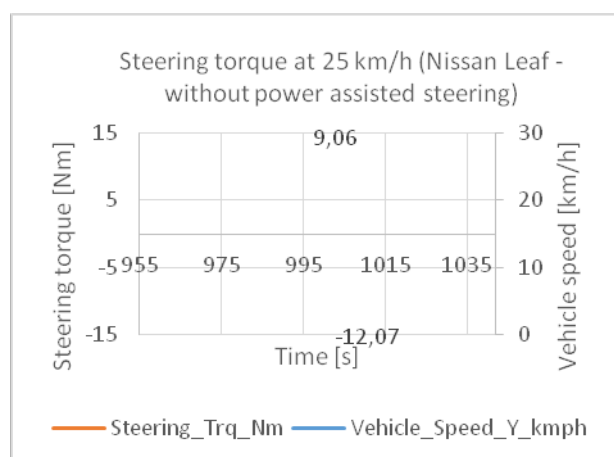
14. ábra: Mérési helyszín

Méréseinket különböző, alacsony sebességekkel végeztük el, a lenti két diagramon a 15km/h és a 25 km/h sebességgel elvégzett mérés eredményeit szemléltetjük.



15. ábra: Kormányzási nyomaték 15 km/h

A fenti ábrán a kormányzási nyomatékot szemléltetjük az idő függvényében, állandó 15 km/h sebesség mellett. Az eredményekből láthatóak az egy teljes kör alatt szemléltetett kormányzási nyomaték értékek.



16. ábra: Kormányzási nyomaték 25 km/h

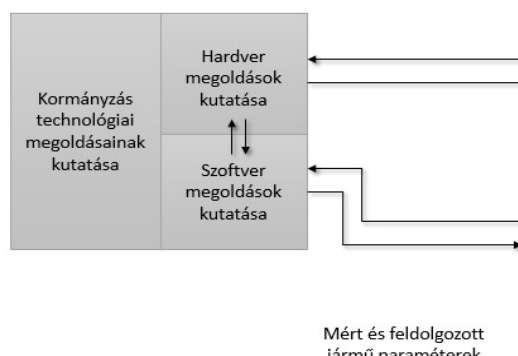
Második esetben a jármű sebességét növeltük a pálya adottságaiból biztonságosan megengedhető maximális 25 km/h-ra. Az eredményekből látható, hogy a kormányzási nyomaték értékek növekedtek a nagyobb sebesség mellett, viszont arra a következtetésre jutottunk, hogy az emberi tényezőtől adódó használat miatt, a kísérletek nem reprodukálhatók teljes körűen.

#### IV. EREDMÉNYEK, JÖVŐBELI TERVEK

Az elvégzett mérések a gépkocsi kormányzási paramétereinek, dinamikájának identifikációját célozzák, és kiinduló alapot képeznek az autonóm kormányzási funkciók megvalósításához. A mért értékek alapján az autonóm jármű lehetséges üzemiállapotainak és motordiagnosztikai kapcsolatok Lakatos István, Nagyszokolyai Iván (1998), Dr. Lakatos István (1994) elemzése és optimalizálása a validált modell segítségével megtörtént a következők szerint:

- a mellső futómű kormányzott modelljének felépítése és paraméterezése,
- a modell validálása a mért paramétereknek megfelelően, vizsgálatok a validált modellel.

A mérések elvégzése során sikerült azt is megvalósítani, hogy az elektromos kormány-rásegítő motor képes lett külső vezérléssel „steer by wire” kormányzásra, ami kísérleti alapot nyújthat az autonóm kormányzás megvalósításához. A program folytatásaként célunk megvalósítani, hogy a jármű emberi beavatkozás nélkül kövessen egy korábban felvett pálya nyomvonalat, miközben működteti a kormányzási, gyorsítási és lassítási funkciókat. Jelenleg a kutatás eszerint folytatódik tovább. Megvalósuló trajektóriakövetés esetén a kísérletek már megismételhetők lesznek, a kormányzás dinamikája nagymértékben fog függeni a jármű sebességétől és az emberi tényező már nem okoz hibát a mérések során.



17. ábra: A mérési adatok szerepe az autonóm jármű irányításának kutatásában

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 "Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában" projektben nyújtott támogatásért.

Köszönetet mondunk az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 "Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában" – projekt támogatásért.

#### V. REFERENCES

1. Péter, T. and Lakatos I. (2017) Hybrid model of vehicle and traffic for combined dynamic analysis, Int. J. Heavy Vehicle Systems, (ISSN: 1744-232X) 24: (2) pp. 1-14. (2017).
2. Lakatos István Elaboration of a new method for developing a diagnostic procedure for motor vehicles based on a model, PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING 41:(1) pp. 57-64. (2013)
3. István Lakatos, Péter Körös, Viktor Nagy, Operation and applicability issues of powertrain models in electric vehicle development In: Anon (szerk.) 10th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications. Konferencia helye, ideje: Senigallia, Olaszország, 2014.09.10-2014.09.12. (IEEE) New York: IEEE, 2014. Paper 6935610. 6 p.
4. Ernő Horváth, Péter Körös, István Lakatos, Péter Dely: Development of individual information technology systems of experimental vehicles In: Szakál Anikó (szerk.) 10th Jubilee IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2015). Konferencia helye, ideje: Timisoara, Románia, 2015.05.21-2015.05.23. Budapest: Óbudai Egyetem, 2015. pp. 489-493.
5. József Polák, István Lakatos EXAMINATION OF DRIVE LINE MATHEMATICAL MODEL MACHINE DESIGN 8:(1) pp. 33-36. (2016)

6. József Polák, István Lakatos ANALYSIS OF PROPULSION UNIT MATHEMATICAL MODEL MACHINE DESIGN 7:(4) pp. 137-140. (2015)
7. Lakatos István: Diagnostic measurement for the effective performance of motor vehicles, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 10:(3) pp. 239-249. (2013)"
8. Lakatos István: Modeling of a Naturally Aspirated Gasoline Engine in the GT-suite Software Environment, In: Matija Fajdiga, Jernej Klemenc (szerk.), IAT 2012 - Innovative Automotive Technology. Dolenjske Toplice, Szlovénia, 2012.04.12-2012.04.13. Ljubljana: Laboratory for Structure Evaluation (LAVEK), 2012. pp. 77-94., (ISBN:978-961-6536-61-5)"
9. Lakatos István: Instacioner üzemállapotú motorteljesítmény-mérés görgős járműfékpadon, In: Bikfalvi P (szerk.), MicroCAD 2010: XXIV. microCad International Scientific Conference: E szekció: Anyagtudomány és -technológia. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2010 Miskolc: Miskolci Egyetem, 2010. pp. 33-38., (ISBN:978-963-661-910-7)
10. Lakatos István, Nagyszokolyai Iván (1998) Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika II. Győr: Minerva-Sop Bt., 1998. 127 p., (ISBN:963-9056-16-2)
11. Dr.Lakatos István (1994) Gépjárműmotorok szelepezérlése, Győr: Jaurinum Bt., 1994. 132 p