

## Mérőrendszer építése és eredményeinek feldolgozása a BME járműszimulátor egység mechanikai modelljének fejlesztéséhez

Németh Balázs\*, Gáspár Péter\*\*,  
Szalay Zsolt\*\*\*, Kánya Zoltán\*\*\*\*, Nagy Dávid\*\*\*\*\*

\*PhD hallgató, BME Közlekedésautomatikai Tanszék,  
Budapest, Tel: +36 (1) 463-1111; e-mail: bnemeth@sztaki.hu

\*\*egyetemi tanár, BME Közlekedésautomatikai Tanszék,  
tudományos főmunkatárs, MTA SZTAKI,

Budapest, Tel: +36 (1) 279-6171; e-mail: gaspar@sztaki.hu

\*\*\*egyetemi docens, BME Gépjárművek Tanszék

Budapest, Tel: +36 (1) 463-3226; e-mail: zsolt.szalay@auto.bme.hu

\*\*\*\*műszaki vezető, Inventure Autóelektronikai Kutató és Fejlesztő Kft.

Budapest, Tel: +36 (1) 381-0970; e-mail: zoltan.kanya@inventure.hu

\*\*\*\*\* MSc hallgató, BME Közlekedésautomatikai Tanszék

**Absztrakt:** A BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kara a Kutatóegyetemi pályázat keretében a korábban megkezdett járműszimulátor egység építés keretében, valós gépjárműves mérések alapján fejlesztette tovább a már meglévő, jármű mozgását leíró beépített dinamikai modelljét. A cikk beszámol a felépített mérőrendszeréről, az elvégzett mérésekről és a járműdinamikai modell pontosításának matematikai hátteréről.

### BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

A tavalyi év óta több jelentős fórumon bemutatásra került a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen fejlesztett járműszimulátor egység (Gáspár et al., 2011; Szalay et al., 2011). A felépített rendszer képes olyan valós idejű szimulációk elvégzésére, melynek bemeneteit egy AUDI TT Coupé teszttárműben ülő vezető generálja. A járműdinamikai szimulációt végző program beépített adatbázisokból dolgozik, mely a jármű paramétereit tartalmazza.

A valós jármű viselkedésének pontosabb leírásához szükséges, hogy a járműszimulátor egységbe épített járműmodell paramétereit a lehető legjobb közelítsék a jármű adatait. Számos járműparaméter (tömeg, tengelytáv, nyomtáv stb.) közvetlenül elérhetők a gyártó által kiadott forrásokból, viszont jelentős azon fontos járműdinamikai karakterisztikák, jellemző mennyiségek száma, amik nem nyilvánosak, illetve csak méréssel határozhatók meg.

Ezen kutatás célja az, hogy a jármű oldalirányú dinamikában jelentős szerepet játszó paraméterek meghatározását készítse elő előzetes mérések segítségével. A továbbiakban beszámolunk arról, hogy milyen járműdinamikai mérőrendszer került kifejlesztésre, milyen eredmények szűrhetők le a mérésekből és mely matematikai eszközökkel történt meg a jármű modelljének pontosítása.

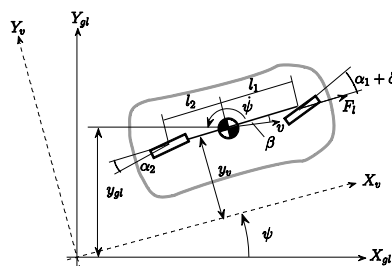
A cikk felépítése a következő: először a gépjármű oldalirányú modelljének bemutatása történik, majd pedig a paraméterek meghatározásához szükséges mérőrendszer felépítése kerül

részletezésre. Ezt követően a BME területén végzett mérések leírása következik, végül a mérési eredmények feldolgozása és a levont következtetések összefoglalása.

### JÁRMŰMODELL FELÍRÁSA

A gépjárműves mérési eredmények segítségével a leíró mechanikai modell hosszirányú, oldalirányú és függőleges irányú modelljének meghatározása, paramétereinek pontosítása lehetséges. Ebben a cikkben az oldalirányú dinamikai modell ismeretlen paramétereinek meghatározására tesszük a hangsúlyt.

A járműdinamikai irodalomban az oldalirányú (keresztirányú) dinamika leírására széles körben alkalmazzák a kerékpármodellt (Gillespie 1992), melynek rajza az 1. ábrán látható.



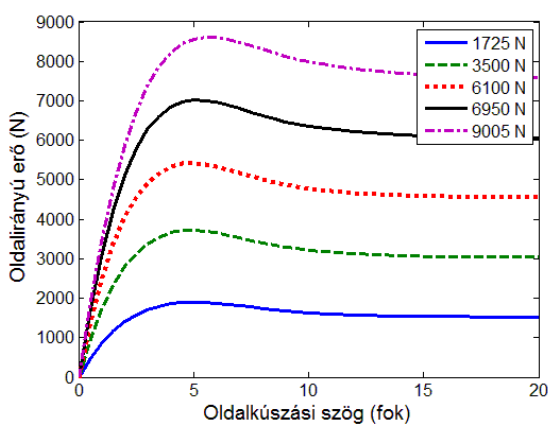
1. ábra: Gépjármű kerékpármodellje

A gépjármű oldalirányú mozgását két egyenlet írja le, egyrészt az oldalirányú erők dinamikai egyenlete, másfelől pedig a függőleges irányú nyomatékok, melyeket az oldalirányú kerékerők generálnak.

A modellezés során a legnehezebb feladat a gépjármű kerékpáramétereinek meghatározása. A klasszikus leírásban a keréken ébredő oldalirányú erő a következőképpen írható le:

$$F_y = C(\alpha)\alpha \quad (1)$$

ahol  $\alpha$  a kerék oldalkúszási szöge, valamint  $C(\alpha)$  a kanyarodási merevség. A kanyarodási merevség nemlineárisan változik az oldalkúszási szög függvényében, aminek az a következménye, hogy az oldalirányú erő is nemlineárisan függ az oldalkúszástól. A 2. ábra ezt az összefüggést illusztrálja egy példán keresztül.

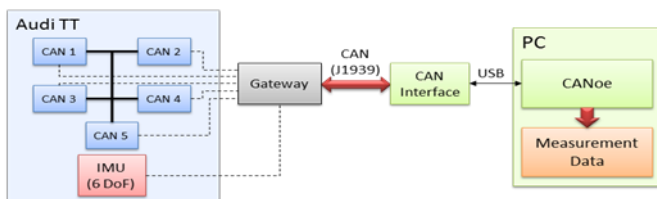


2. ábra: Kerék oldalirányú erő változása az oldalkúszási szög függvényében, különböző kerékterheléseknél

A járműdinamikában, különösen szabályozók tervezésekor  $C(\alpha)$  értéket linearizálni szokás kis  $\alpha$  értékek környezetében. Ez a közelítés megfelelő kis oldalgyorsulások és elegendően nagy tapadási tényező mellett. A mérések célja a továbbiakban az oldalirányú dinamika tekintetében egy ilyen, kis oldalkúszási szögek melletti linearizált kanyarodási merevség érték meghatározása.

### MÉRŐRENDSZER FELÉPÍTÉSE

A járműdinamikai mérések során az AUDI TT-be épített CAN csatornák kerültek felhasználásra. A mérőrendszerrel szemben támasztott egyik követelmény az volt, hogy képes legyen fogadni ezen csatornákról érkező üzeneteket, valamint ezeket lefordítani értelmezhető számszerű eredményekre.



3. ábra: Mérőrendszer összeállításának vázlata

A felépített mérőrendszer vázlata az 3. ábrán látható. Az ábra bal oldalán a jármű által használt 5 CAN csatorna látható, melyekből a kormánysszög elfordítás, gázpedál állás, fékezési értékek kerültek kinyerésre az Inventure Autoelektronika által fejlesztett Gateway egység segítségével. A jármű mozgásáról szerzett információkat egy, úgyszintén az Inventure által fejlesztett hatszabadságfokú inerciális szenzor (VSDU – Vehicle Dynamics Sensor Unit) biztosította. A hatszabadságfokú inerciális szenzor a jármű súlypontja közelébe, a rögzítőfék kar mögé került felhelyezésre (lásd 4.a. ábra). Ennek segítségével a jármű hossz, oldal és függőleges irányú gyorsulásai, valamint a bólintási, oldaloldelési és perdülési szögsebességei valós időben nagy felbontással mérhetőek. A mérési adatok a VSDU CAN kimenetén szabványos J1939 formátumban érhetőek el.



a, Hatszabadságfokú inerciális szenzor (VSDU) beépítése a gépjárműbe



b, CAN interface és Laptop egységek

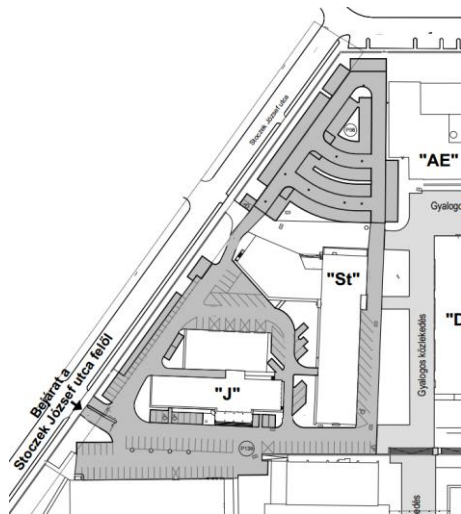
4. ábra: Gépjárműben elhelyezett valós mérőrendszer összeállítás

A Gateway a CAN interface-szel a járműiparban széleskörűen alkalmazott J1939-es autóiipari szabvány szerint

kommunikál. A Vector típusú CAN interface-t USB kábel köti össze egy laptoptal, mely CANoe program segítségével gyűjti a mérési adatokat (4.b. ábra). A CANoe egy járműrendszer tesztelésre, ECU hálózatok működésének vizsgálatára alkalmazott autóiipari szoftver, mely a teljes fejlesztési és mérési folyamatban képes segíteni a kutatókat. A program képes a nyert mérési adatokból a Matlab matematikai és szimulációs környezet számára feldolgozható formátumú adatfájlokat generálni.

## JÁRMŪDINAMIKAI MÉRÉSEK

A járműdinamikai szimulátor valós járművét képező AUDI TT gépjárművel a BME középű campusjának területén történtek mérések. Több különböző körpálya és gyorsításra-lassításra lehetőséget adó egyenes pályák kerültek kialakításra. A „tesztpálya” vázlatrajza az 5-ös ábrán látható.



5. ábra: A mérések helyszíne: BME középű campus J, St, AE épületek melletti parkolók (forrás: [http://portal.bme.hu/Document%20Library/2011\\_campus\\_parkolas.pdf](http://portal.bme.hu/Document%20Library/2011_campus_parkolas.pdf))

A mérések során a cél az volt, hogy a lehetőségekhez képest minél jobban lehessen megmozgatni a gépjárművet, minél nagyobb gyorsítási és fékezési eseteket generálni. Emellett körpályás vizsgálatoknál a cél folyamatosan növekvő kanyarsebességek mellett vizsgálni a jármű dinamikájában bekövetkező változásokat. Ezen mérések egy jövőben tervezett, próbapályás mérésekhez jelenthetnek segítséget, például a mért jelek zajosságának ismeretét. Ezen felül a kis sebességek melletti szimulációk esetében a járműdinamikai modell pontosítható.

A felvázolt célok elérése érdekében a következő mérési esetek kerültek elvégzésre:

- hosszirányú dinamika vizsgálatára hosszú egyenes szakaszon történő erőteljes gázadás melletti gyorsítás, a szakasz végén erőteljes fékezés,

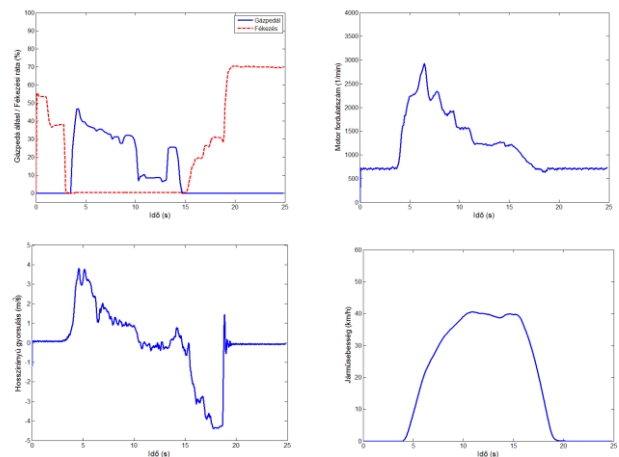
- oldalirányú dinamika több körpályán került elemzésre, ahol szakaszonként állandó és folyamatosan változó sebességű vizsgálatok történtek.

A mérések során a következő jelek kerültek rögzítésre:

- hatszabadságfokú inerciális szenzoregységen keresztül: a jármű hosszirányú, oldalirányú és függőleges gyorsulásértékei, valamint bőlintási, dőlési és legyezési szöggyorsulásai,
- jármű CAN csatornákon mért értékek: kormánykerék elfordulás, gázpedál állás, fékezési ráta, járműsebesség, motorfordulatszám, főtengelykapcsoló helyzet, aktuális sebességfokozat.

## MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA

A mérések során az előzőeknek megfelelően alapvetően a hosszirányú és az oldalirányú dinamika elemzésére történtek vizsgálatok. A felvett adatok Matlab környezetnek megfelelő konvertálása CANoe programmal történt. Konvertálás és szűrés utáni diagramok a 6. és 7. ábrákon láthatók. Mindegyik típusú mérésből több készült a mérési hibák és pontatlanságok kiszűrése végett, viszont itt csak egy-egy példa kerül belőlük bemutatásra.

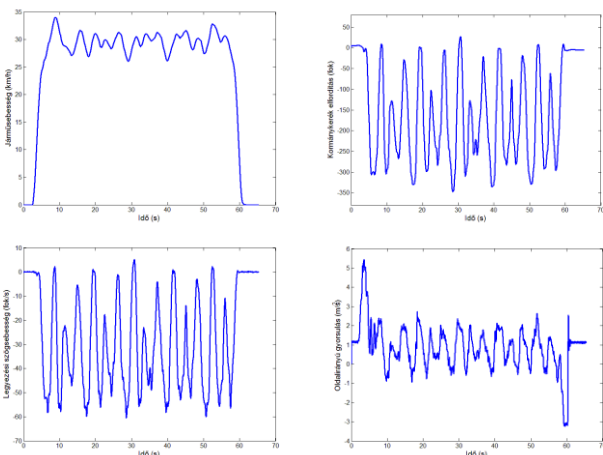


6. ábra: Egyenes pályán való mérés

A gépjárművel végzett első típusú mérés a hosszú egyenes pályán való fékezés és gyorsítás, aminek során a gépjármű először erőteljes gázadás mellett felgyorsításra került, majd pedig a szakasz végén erős fékezéssel lassításra (6.a. ábra). Ennek következtében a jármű hosszirányú gyorsulása  $\pm 4 \text{ m/s}^2$  tartományban mozgott (6.c. ábra). Ez a lassulás a szakasz végén kiváltotta némely esetben a blokkolásgátló rendszer (ABS) működését is. A szakasz rövidege miatt az elért sebesség maximuma  $40 \text{ km/h}$ , ami városi közlekedésnek megfelelő járműmodell felírását teszi lehetővé (6.d. ábra). A motor fordulatszámának változása a 6.b. ábrán látható, benne felfedezhetők az automata sebességváltó fokozatváltásai. Ilyen jellegű információkkal lehetőség nyílik

annak feltérképezésére is, milyen stratégia szerint vált fokozatot az automatikus rendszer.

A második típusú mérés az oldalirányú dinamika vizsgálatára irányult, ahol a jármű egy közel körpályán halad. 7.a. ábra mutatja a jármű sebességét, mely a bemutatott körpályás mérés során  $30 \text{ km/h}$  körül ingadozik. Ez a sebesség bizonyosan megfelelő ahhoz, hogy a jármű ne lépjen ki az oldalirányú linearitási tartományból. A kormánykerék elfordítási szöge a 7.b. ábrán látható, mely egyik irányba közel teljes tartományban való kitekerést jelent, mikor a jármű a kanyarmenetbe lép egy rövid egyenes szakaszból. Ennek következményként lép fel a legyezési szögsebesség és az oldalirányú gyorsulás megváltozása (7.c. és d. ábrák).



7. ábra: Egyenes és íves szakaszokból álló pályán való mérés

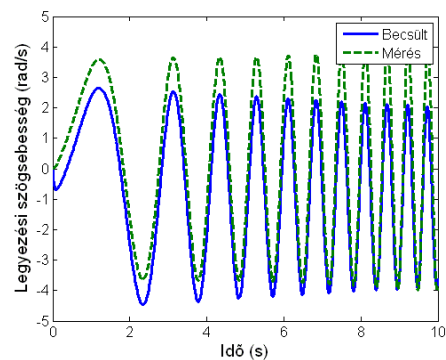
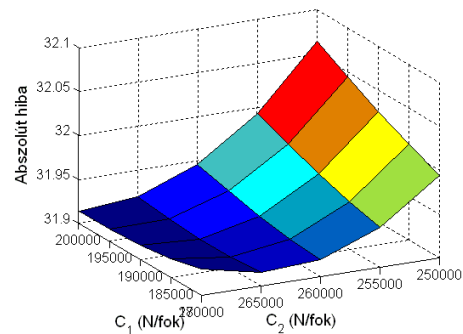
Az oldalirányú mérések lehetőséget biztosítanak arra, hogy az első és hátsó tengelyek  $C_1$  és  $C_2$  kanyarodási merevsége meghatározható legyen kis  $\alpha$  oldalkúszási szögértékek mellett. A járműszimulátor kanyarodási merevsége akkor megfelelő értékű, ha az abba beépített CarSim szimulátor által kapott legyezési szögsebesség és oldalgyorsulás értékek jól közelítik a mérések során nyert diagramokat. Ez a feltétel a következőképpen fogalmazható meg matematikailag:

$$|y(t) - \hat{y}(t, C_1, C_2)| \rightarrow \min! \quad (2)$$

Ennek a feladatnak a megoldása egy optimalizálási problémára vezet, melynek megoldása többféleképpen is lehetséges (Gill et al., 1981).

Az alábbiakban egy példán keresztül illusztrálásra kerül, milyen eredmények érhetők el az alkalmazott illesztési módszer segítségével. A gépjármű ismeretlen paramétereinek feltérképezése érdekében érdemes olyan teszt gerjesztő bemeneteket érdemes használni, amilyenek a valóságban is érik a járművet. Erre alkalmas jel az irányításeleméletben használatos chirp jel, ami adott tartományban folyamatosan növekvő frekvenciájú szinuszos gerjesztő jel. A 8. ábrán látható példában egy ilyen illesztési feladat került megoldásra. A 8.a ábrán látható a legyezési szögsebesség

hibafüggvényének értéke az első és hátsó kerekek kanyarodási merevségének függvényében. A hibafüggvény minimalizálása a feladat, jelen példában  $C_1 = 185000 \text{ N/rad}$  és  $C_2 = 265000 \text{ N/rad}$  értékeknél veszi fel a minimumát a függvény. 8.b. ábrán látható, hogy a becsült paraméterekkel kapott legyezési szögsebesség diagram és a méréssel kapott kissé eltér pozitív értékek esetében növekvő frekvenciákon. Ennek oka a kerékpármodell linearitásában keresendő: pontosabb eredmények eléréséhez figyelembe kell venni a kanyarodási merevségek nemlinearitását. Viszont ezek a becsült értékek kiválóan használhatók lineáris szabályozók tervezésére, lásd például (Németh&Gáspár, 2011).



8. ábra: Kanyarodási merevségek illesztése

## ÖSSZEFOGLALÁS

A BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Karán épített járműszimulációs környezet beépített járműmodell méréseken alapuló fejlesztése került bemutatásra. A járműmodell paramétereinek pontosítása érdekében többféle, a gépjármű hossz és keresztirányú dinamikájának elemzésére alkalmas mérés történt egy, a célra kiépített mérőrendszerrel. Az ebből nyert adatok feldolgozásra kerültek és egy optimalizálási eljárással némely ismeretlen paraméterek meghatározásra kerültek. A végzett járműdinamikai mérésekből megállapítható, hogy a további ismeretlen paraméterek meghatározása nagyobb sebességgel végzett járműves méréseket igényelnek. Jelen cikkben bemutatott mérési sorozat és annak feldolgozása egy megfelelő előkészítése az újabb vizsgálatoknak.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

A cikkben bemutatott kutatásokat az OTKA CNK 78168 pályázat támogatta.

## HIVATKOZÁSOK

Gáspár P., Szalay Zs., Kánya Z., Németh B. (2011).  
Járműszimulátor egység fejlesztése a BME

kutatóegyetemi pályázat keretében. *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia.*

Gill P. E., Murray W., Wright M. (1981). *Practical Optimization*. Academic Press, London UK

Gillespie T. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers Inc.

Németh B., Gáspár P.: Design of actuator interventions in the trajectory tracking for road vehicles. In.: 50th IEEE Conference on Decision and Control – European Control Conference. Orlando, Florida, USA, 12.12.2011-15.12.2011.

Szalay Zs., Kánya Z., Gáspár P., Németh B. (2011). Audi TT közúti jármű szimulátorként történő felhasználása a mérnökképzésben. A jövő járműve, 3/4, pp. 2-5.



CAETS

„IFFK 2012” Budapest

Online: ISBN 978-963-88875-3-5

CD: ISBN 978-963-88875-2-8



Paper 25

Copyright 2012. Budapest, MMA.

Editor: Dr. Péter Tamás

