

# AUTONÓM FORMULA STUDENT AUTÓ MECHANIKAI PARAMÉTEREINEK HATÁSA A TAPADÁSI HATÁRON VALÓ MANŐVEREZÉSRE

## MECHANICAL PARAMETERS EFFECT TO GRIPLIMIT BEHAVIOUR OF AUTONOM FORMULA STUDENT CAR

Szűcs Gergely <sup>1\*</sup>, Bári Gergely <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Járműtechnológia Tanszék, Neumann János Egyetem, Kecskemét, Magyarország

<sup>2</sup> Járműtechnológia Tanszék, Neumann János Egyetem, Kecskemét, Magyarország

---

### **Kulcsszavak:**

Formula student  
MRA moment method  
jármű stabilitás  
autó egyensúly

### **Keywords:**

Formula student  
MRA moment method  
vehicle stability  
car balance

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2018. október 4.  
Átdolgozva 2019. október 31.  
Elfogadva 2019. március 20.

---

### **Összefoglalás**

*Az autonóm jármű lehetséges mozgásának korlátai nagymértékben függenek az autó paramétereitől. Vizsgálatunk célja, hogy egy általunk épített autonóm formula student autó paraméter változtatásának érzékenységét meghatározzuk a jármű tapadására, vezethetőségére, stabilitására. Ennek megállapítására az "MRA nyomaték módszer" használtunk a szimulációs környezetben. A módszer lényege, hogy képet kaphatunk a jármű tapadási határán való viselkedéséről.*

### **Abstract**

*Autonom vehicles motion depends on the parameter of the car. The aim of our study is to determine which parameters affect the controllability and stability of an autonom formula student car. To find this, we used the "MRA moment method" to create the "MMM diagram" in our simulation environment. MMM is a powerful tool to study, analyze and troubleshoot the "big picture" of vehicle stability, control and handling.*

---

## **1. Bevezetés**

A tanulmány célja annak megértése, hogy az autó paramétereik miként befolyásolhatják az autonóm jármű viselkedését, és meghatározhatják, hogy mely paraméterek befolyásolják az autó irányíthatóságát és stabilitását. Egy önjáró jármű esetében fontos, hogy elkerülje a baleseteket azok megelőzésével, például ha egy gyalogos hirtelen lelép az úttestre.

A vizsgálat során egy autonóm formula student autó [1] paramétereinek hatását vizsgáltuk. Az autonóm formula student verseny célja, egy egyetemisták által megépített önvezető versenyautó megépítése és versenyeztetése. A járművek tapadási határán való mozgásának megértésével, könnyebben tudunk tervezni autonóm pilóta algoritmusokat is. [2] Ehhez azonban olyan autót kell tervezni és megépíteni, melynek jellegzetes paramétereik lehetővé teszik az autó gyors irányváltását a jármű stabilitásának megtartása mellett, valamint minél nagyobb tapadást tudjon kinyerni az abroncsokból.

A jármű tapadási határának megállapításához van segítségünkre az MMM diagram. [3]

---

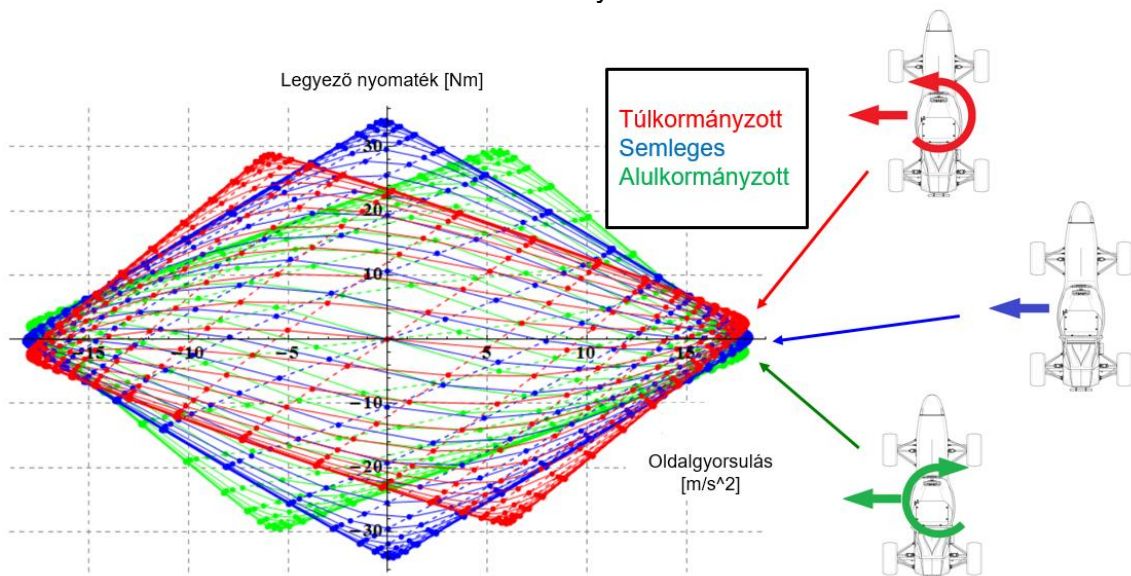
\* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 30 440 6024  
E-mail cím: szucsi.90.07.09mail.com

## 2. MRA módszer [4]

Az MRA Moment Method (MMM) egy kvázi-statikuss, átfogó járműdinamikai vizsgálatokra alkalmas módszer, melynek lényege, hogy állandó sebességek mellett, az autó manőverezhetőségéről és stabilitásáról kapunk képet. Az MMM segítségével számtalan járműdinamikai szempontból fontos paraméter hatása vizsgálható.

A módszer lényege, hogy a járműmodellre adjuk az egész autóra vett oldalkúszási szöveget, illetve a kormányzöveget, ezután ezeket léptetve számítjuk ki az egyes állapotokban a járműre ható oldalerőt és nyomatékot. Ezzel képet kapunk az egyes állapotokhoz tartozó szöggyorsulás és oldalgyorsulás értékeiről. Ezeket az értékeket egy közös diagramon ábrázolva megfigyelhető, az adott autó milyen határok között tud mozogni, emellett az alul-, illetve túlkormányzottságáról is kapunk információt.

Az általunk vizsgált formula student autó határait tekintve az a jó, ha minél nagyobb területű az 1. ábrán látható rombuszhoz hasonlító tartomány.



1. ábra: Egy semleges, egy túl-, illetve egy alulkormányzott autó MMM diagramja

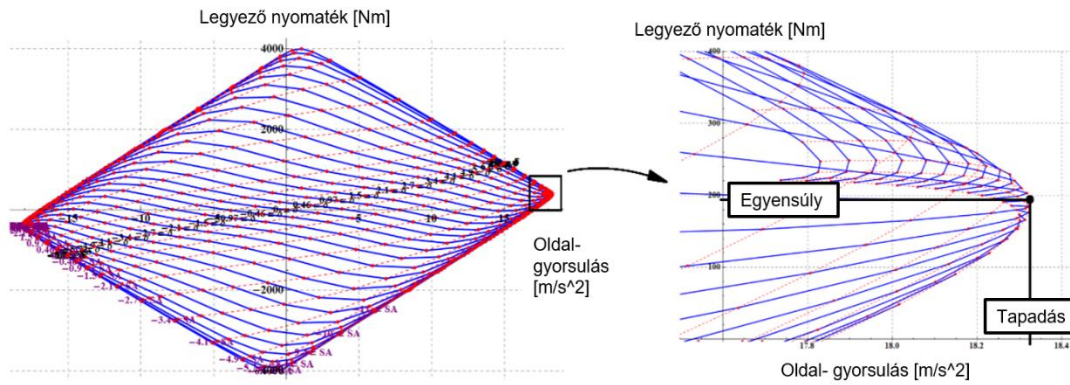
Az autó túl-, illetve alulkormányzottságáról a diagram szélső csücskeinél kaphatunk információt. Az 1. ábraán megfigyelhető, hogy a diagram jobb oldali csücske, nem esik a vízszintes tengelyre. Ez azt jelenti, hogy maximális oldalgyorsulás közben az autónak szöggyorsulása is van a kanyar irányába, tehát az autó túlkormányzott. Ez alapján elmondható, hogy ha az MMM diagram jobboldali csücske a yaw acceleration = 0 egyenesen van, akkor az autó semleges, ha felette, akkor túl-, illetve ha alatta, akkor alulkormányzott az autó.

### 2.1. Mérőszámok: Tapadás, Egyensúly, Manőverezhetőség, Stabilitás

Az MMM diagram alapján meg tudunk határozni különböző mérőszámokat:

- Tapadás (Grip)
- Egyensúly (Balance)
- Manőverezhetőség (Control)
- Stabilitás (Stability)

A tapadás és egyensúly mértékét az MMM diagram jobboldalának csücsében érdemes nézni, hiszen ebben a pontban a legnagyobb az autó oldalgyorsulása, azaz az oldalirányú tapadása.



2. ábra. Az MMM diagramon a tapadás és egyensúly mértékére használt mérőszám definiálása

Ahogy a 2. ábra mutatja, a tapadás mértékét az autó maximálisan elérhető oldalgyorsulásával jellemezzük, míg az autó egyensúlyát, az ebben a pillanatban ráható nyomaték nagysága jellemzi. Az egyensúly pozitív értéke azt jelenti, hogy az autó túlkormányzott, hiszen pozitív legyező nyomaték hat rá. Ennek megfelelően az autó semleges, ha az egyensúly értéke zérus, valamint alulkormányzott, ha az egyensúly negatív.

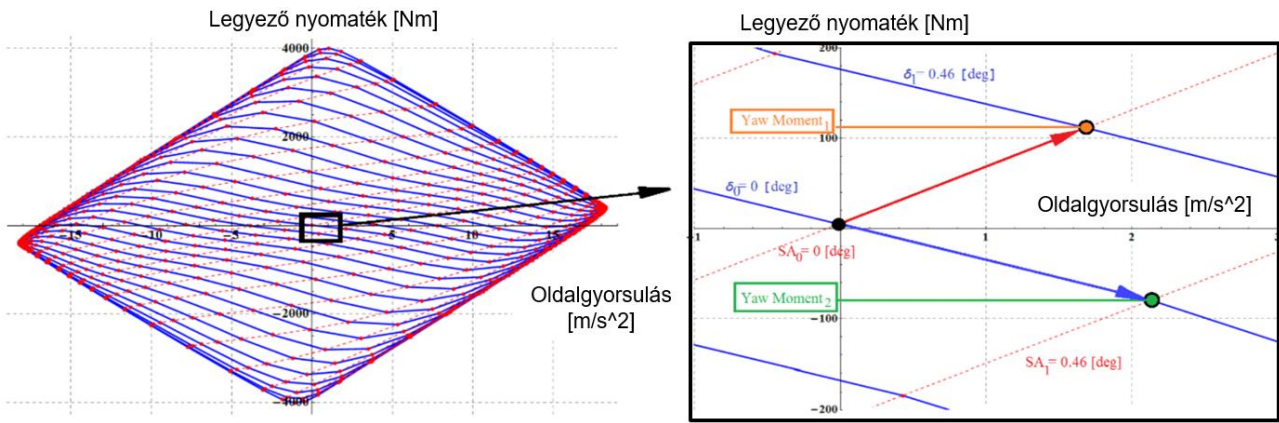
Az manőverezhetőség mértékére, az egységnyi kormánymozdulatra létrejövő nyomatékot szokás számítani. Tehát az manőverezhetőség, a kerék 1 fokos elkormányzására létrejövő legyezőnyomaték. Ugyanakkor az autó stabilitását meghatározó mérőszámnak, az 1 fokos oldalkúszás kialakulás közben létrejövő nyomatékot szokás számítani.



3. ábra. A manőverezhetőség és stabilitás mérőszámának definiálása [Claude Rouelle: Applied V.D. seminar]

Tehát például, ha az oldalkúszás következtében kialakuló legyező nyomaték pozitív, akkor a plusz nyomaték további oldalkúszást generál (lásd 3. ábra jobboldala). Ekkor az autó hátulja „kitör” (pozitív nyomaték - Instabil). Ha az egységnyi oldalkúszás hatására létrejövő nyomaték negatív, ekkor a létrejövő nyomaték a további oldalkúszás (azaz forgás) kialakulását akadályozza, azaz az autó egyenes állásba szeretne visszatérni (negatív nyomaték - Stabil).

Az autó viselkedése ilyen szempontból leginkább az irányváltás kezdetekor fontos, vagyis mikor az MMM diagram origójából mozdulunk el, ahogyan az a 4. ábrán figyelhető meg.



4. ábra. Az manőverezhetőség és stabilitás irányváltáskor

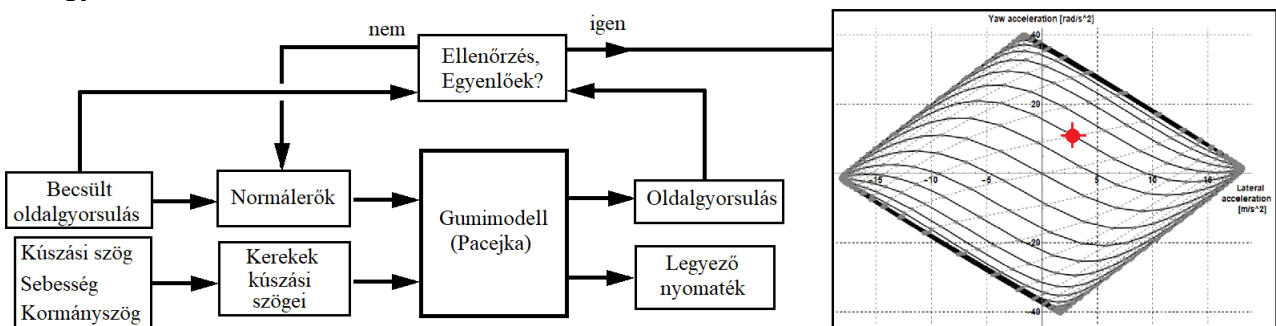
$$Control = \frac{d YawMoment}{d SteeringAngle} \cong \frac{YawMoment(SA = 0 ; \delta = \delta_1)}{\delta_1} \quad (1)$$

$$Stability = \frac{d YawMoment}{d CG SlipAngle} \cong \frac{YawMoment(SA = SA_1 ; \delta = 0)}{SA_1} \quad (2)$$

### 3. Matematikai modell

A matematikai modell egy négykerékű, azaz két nyomvonalú modell. A gumimodell a nemlineáris empirikus Pac2002 modell. [5] Ennek következtében az átterhelődések hatását is figyelembe vettük. A számítás során a sebességet konstansnak tekintjük, míg az autó kúszási szögét, illetve a kormányoszögét lépésről lépésre változtatjuk. Egy lépésben kapunk egy pontot az MMM diagramon.

A numerikus számítási módszer alapja egy ciklus, mely során egy oldalgyorsulást becslünk, aminek következtében kiszámíthatóak az átterhelődés során keletkezett normálerők. Eközben az autó sebességéből, oldalkúszásából és kormányoszögéből kiszámíthatóak az egyes kerekek oldalkúszásai. A kúszások és normálerők ismeretében a gumimodell alapján megkapjuk az egyes kerekek oldalerőit, melyekből megkapjuk az adott állapothoz tartozó oldalgyorsulást és legyező nyomatékot. Ezután a ciklusban ellenőrizzük, hogy a korábban becsült oldalgyorsulás megegyezik-e a becsült oldalgyorsulással. Ha igen, akkor a számítás egy adott pontra befejeződött, ha nem, akkor pedig a számítás végén kapott oldalgyorsulást vesszük a következő lépés becsült oldalgyorsulásának. A számítás addig tart, amíg a lépés elején becsült és a lépés végén kapott oldalgyorsulás kvázi azonos nem lesz.



5. ábra. Egy pont számítása az MMM diagramon

### 3.1. Változtatható paraméterek

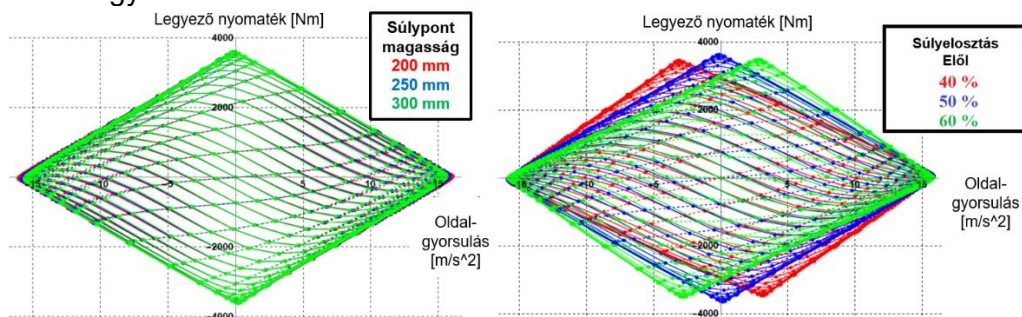
A korábbi évek során egy Formula Student csapat tagja voltam, ennek következtében a számítás során egy FS autó paramétereit vettem alapul. A modellben számos paraméter változtatható, melyeket alap értékekkel az 1. táblázat foglalja össze.

1. Táblázat. A járműmodell változtatható paramétereit

Paraméter neve	Mértékegység		Paraméter neve	Mértékegység	Elöl	Hátul
Jármű tömege	[kg]	300	Tengelytáv	[mm]	1200	1160
Tömegeloszlás elöl	[%]	50	Roll Center magasság	[mm]	30	50
Súlypontmagasság	[mm]	270	Rugómerevség	[N/mm]	30	35
Nyomtáv	[mm]	1540	Mozgásviszony (kerék-rugó)	[mm/mm]	1.03	1.07
Sebesség	[km/h]	70	Stabilizátor merevség	[N/mm]	52	32
Leszorító erő tényező	[-]	1.5	Mozgásviszony (kerék-stab)	[mm/mm]	2	2.7
Homlokfelület	[m <sup>2</sup> ]	1.5	Össze-/Széttartás	[deg]	0	0
Leszorítóerő eloszlás elöl	[%]	50				

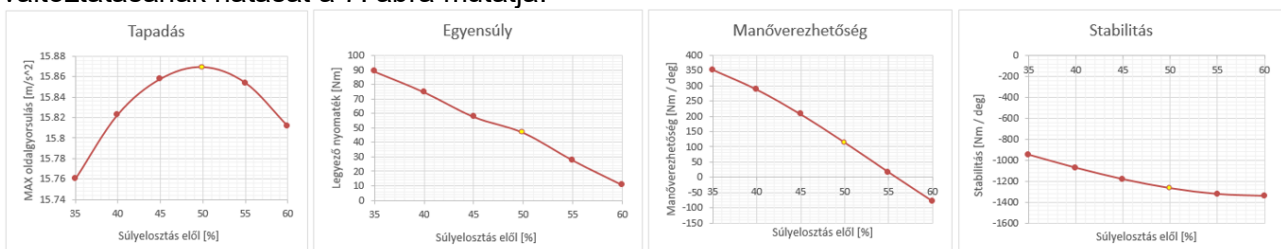
## 4. Eredmények

Az egyes paraméterek változtatásával az MMM diagram alakja is változik, mely folytán a leolvasható tapadás, egyensúly, manőverezhetőség és stabilitás értékek szintén változnak. A 6. ábrán például a súlypontmagasság, illetve az első-hátsó súlyelosztás megváltoztatásának hatása figyelhető meg. Mint látható a súlypontmagasság főként a tapadásra, míg a súlyelosztás az autó egyensúlyára van nagy hatással.



6. ábra. Különböző súlypontmagasság és súlyelosztás hatása

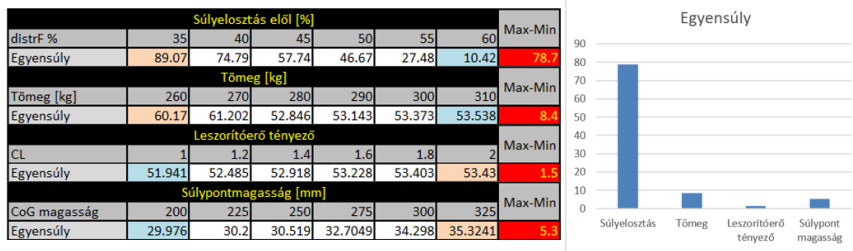
Az 1. Táblázatban található paramétereket észszerű keretek közötti változtatásával az MMM diagram formája mellett változik a 2.1 fejezetben taglalt négy mérőszám is. A súlyelosztás változtatásának hatását a 7. ábra mutatja:



7. ábra. A súlyelosztás hatása a tapadásra, egyensúlyra manőverezhetőségre és stabilitásra

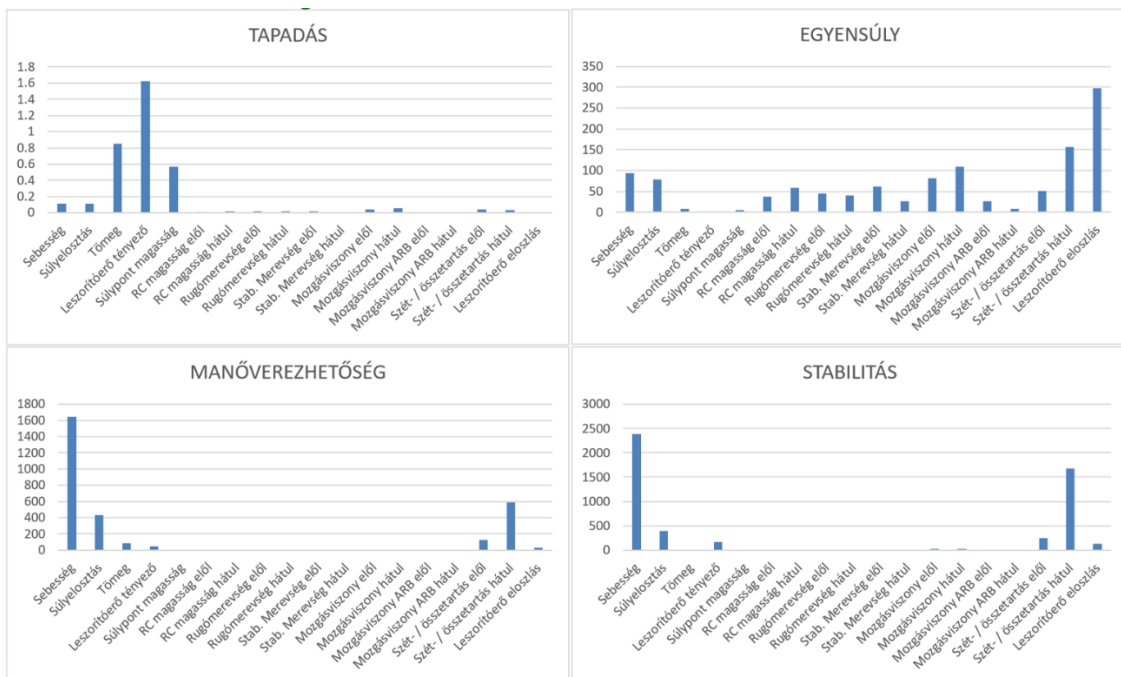
Mint az megfigyelhető a súlyelosztás főként az autó egyensúlyára és stabilitására van hatással. Az ábrát megfigyelve látható, hogy ha az autó első tengelyén növeljük a tömeget, az auto stabilabbá, illetve alulkormányzottabbá válik, ugyanakkor a manőverezhetősége csökken, azaz a hirtelen irányváltásokkal szemben lomhának tűnhet.

Az egyes paraméterek érzékenységét úgy állapítottuk meg, hogy a vizsgált intervallumon a minimális mérőszámot kivontuk a maximális mérőszámból. Mint az a 8. ábrán látható, négy paraméter közül a súlyelosztás van a legnagyobb hatással az autó egyensúlyára



8. ábra. A súlyelosztás, a tömeg, a leszorítóerő tényező és a súlypontmagasság hatása az autó egyensúlyára

Természetesen az 1. táblázat összes paramétereit megvizsgáltuk a fent taglalt módszerrel, mind a négy mérőszám tekintetében. Az auto paramétereinek hatását a 9. ábra foglalja össze.



9. ábra. Az autó paramétereinek hatása a tapadásra, egyensúlyra, manőverezhetőségre és stabilitásra

Végeredményként elmondható, hogy az autó tervezésekor a tapadásának maximalizálására a kis tömeg, az alacsony súlypontmagasság és a jó aero csomag a kulcs. Emellett az autó egyensúlyára az aerobalansz és a hátsó szét-/összetartás van nagy hatással. Manőverezhetőség és stabilitás szempontjából ugyancsak a hátsó szét-/összetartás a fontos tényező, így a hátsó önkormányzási karakterisztika tervezésére nagy hangsúlyt kell fektetni.

## Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 számú projekt biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.fsaonline.com/>
- [2] Kritayakirana K. and Gerdes J. C. 2012 Autonomous vehicle control at the limits of handling, *Int. J. Vehicle Autonomous Systems*, **10**, 271–96
- [3] Milliken Research Associates, <http://www.millikenresearch.com/mmmoutput.html> (accessed on Aug. 2018)
- [4] Milliken W F, and Milliken D L, 1995 Race car vehicle dynamics *Society of Automotive Engineers*
- [5] Pacejka H B, 2002 Tyre and Vehicle Dynamics, *Elsevier Butterworth-Heinemann*