

# Dinamikus tesztek soros gerjesztésű DC motoron. A motorral hajtott jármű fékezésének szimulációja. Dynamic Tests on a Series Wound DC Motor. Simulation of the Braking of the Vehicle Driven by the Motor

A. SZÁNTÓ<sup>1</sup>, G. Á. SZÍKI<sup>2</sup>, K. SARVAJ CZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Debrecen, szanto.attila93@gmail.com

<sup>2</sup>University of Debrecen, szikig@eng.unideb.hu

<sup>3</sup>University of Debrecen, sarvajcz@eng.unideb.hu

*Absztrakt. A következőkben bemutatjuk a járműdinamikai szimuláció szerepét és hozzájárulását a Debreceni Egyetem Műszaki Karán folytatott járműfejlesztésekhez. Ismertetjük a szimulációs program részét képező soros gerjesztésű egyenáramú motor szimulációjához szükséges bemenő műszaki paramétereket, azok meghatározásához kifejlesztett eljárást, valamint a motoron végzett dinamikus tesztméréseket, és azok eredményét. Továbbá bemutatjuk a motor által hajtott járműhöz kifejlesztett szimulációs program legújabb – a fékezés szimulációjával kibővített – változatát, valamint a program futtatásával kapott eredményeket.*

*Abstract. In the following we present the role and contribution of vehicle dynamics simulation to vehicle development in the University of Debrecen Faculty of Engineering. We present the input technical parameters which are necessary for the simulation of the series wound DC motor – which drives the vehicle – and also the procedure for their measurement together with the results of dynamic test measurements on the motor. The latest version of our vehicle dynamics simulation program –which is capable of the simulation of braking too – is also presented here.*

## 1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Műszaki Kara régóta foglalkozik alternatív hajtású [1, 2, 3] járművek tervezésével, fejlesztésével. Számos saját tervezésű és készítésű alternatív (többnyire elektromos vagy pneumatikus) hajtású versenyautót készítettek már a Kar hallgatói, melyekkel több hazai és nemzetközi versenyen [4, 5] indult és ért el sikereket a Műszaki Kar csapata. A 2014. és 2015. évi MVM futamon, a Gépészmérnöki Tanszéken kifejlesztett versenyautóval, 2. és 1. helyezést értünk el. A 2016-ban, 2017-ben és 2018-ban a Londonban megrendezett Shell ECO Marathon versenyen szintén részt vettünk, eredményesen teljesítve a versenytávo.

A versenyeken való minél eredményesebb részvétel érdekében MATLAB [7] környezetben kifejlesztettünk egy szimulációs programot [6], amely az irodalomból [8], [9], [10] ismert és kísérletileg meghatározott műszaki adatokból, mint bemenő paraméterekből kiszámítja a versenyautó menetdinamikai jellemzőit. Ez mára elengedhetetlen feltételévé vált a sikeres versenyzésnek, hiszen a műszaki paraméterek nagyszámú lehetséges értékeiből csak egy ilyen program segítségével tudjuk kiválasztani azon optimálisakat, amelyekkel egy adott versenyfeladat a legeredményesebben teljesíthető. [11]

## 2. A villanymotor szimulációhoz szükséges paraméterek kísérleti meghatározása. Dinamikus tesztmérések a motoron.

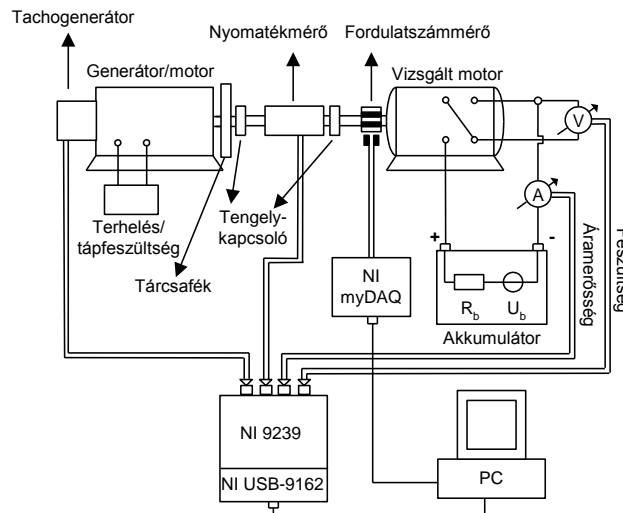
A program [11] egyik kulcsfontosságú része a jármű hajtásának szimulációja. Az általunk fejlesztett elektromos hajtású versenyautók többségében egy soros gerjesztésű egyenáramú motor található, amelynek nyomatékát lánchajtás közvetíti a meghajtott hátsó kerekre. Ebből adódóan a járműdinamikai modellünkben és programunkban ezt a motortípust modelleztük és szimuláltuk. [12, 13] A motor szimulációhoz a következő paraméterek pontos ismerete szükséges:

- A tekercsek (álló és forgórész) ohmos ellenállása
- Egyéb ohmos ellenállások (vezetékek ellenállása, akkumulátor belső ellenállása)
- Kefefeszültség
- Dinamikus öninduktivitások (álló és forgórész esetében)
- Kölsönös dinamikus induktivitás
- Csapágy és kefeellenállási nyomaték a szögsebesség függvényében
- A forgórész tehetetlenségi nyomatéka

Ezeket az utolsó kivétellel korábban sikerült meghatározni a tanszék egyik versenyautójának motorjára [12, 13]. A forgórész tehetetlenségi nyomatékát egy kifutási kísérletből határoztuk meg, az eljárást az alábbiakban ismertetem. A mérés elve, hogy a motort felpörgetjük egy bizonyos fordulatra, majd hagyjuk megállni, miközben folyamatosan mérjük a motor fordulatszámát az idő függvényében ( $\omega(t)$ ). Az  $\omega(t)$  függvényből idő szerinti deriválással meghatározható a szöggyorsulás-idő függvény ( $\varepsilon(t)$ ). Az  $\varepsilon(t)$  függvény, valamint a csapágy és kefeellenállási nyomaték fordulatszámfüggésének ismeretében meghatározható a forgórész tehetetlenségi nyomatéka az alábbi összefüggés szerint:

$$J_{rot} = \frac{M(\omega(t))}{\varepsilon(t)}$$

A méréshez az alábbi mérőelrendezést alkalmaztuk:



1. ábra: A kifutási kísérlethez alkalmazott mérőelrendezés

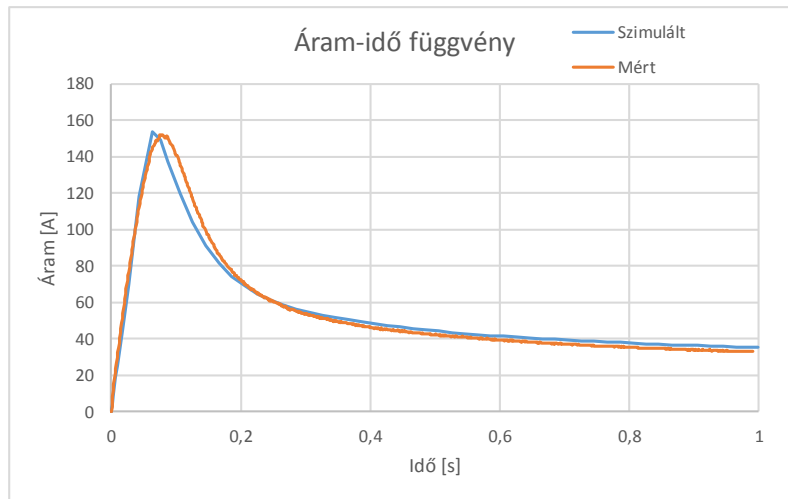
Az eredményeket a következő táblázat tartalmazza:

	$t$ [s]	$\omega(t)$ [rad/s]	$\epsilon(t)$ [rad/s <sup>2</sup> ]	$M(\omega(t))$ [Nm]	$J_{\text{rot}}$ [kg*m <sup>2</sup> ]
1.	2,5	58	18,54	0,21	0,0113
2.	3	49	18,54	0,2	0,0108
3.	3,5	40	18,54	0,2	0,0108
Átlag:					0,01096

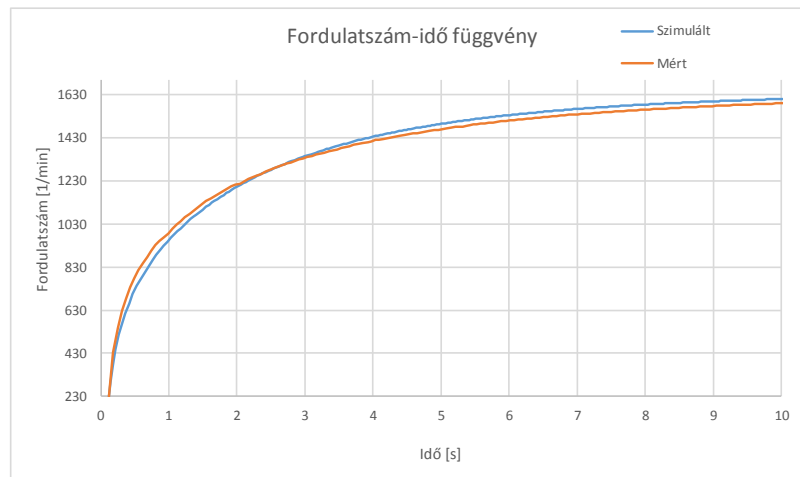
1. táblázat: A számított tehetetlenségi nyomatékok

Az így nyert tehetetlenségi nyomatékot fel tudjuk használni a szimulációs programunkba.

A szimulációs program teszteléséhez, valamint a motoron kimért műszaki paraméterek ellenőrzéséhez tesztméréseket kell végezni. A dinamikus tesztméréseknél a motort álló helyzetből pörgetjük fel, terhelést nem alkalmaztunk a motoron. A mérés során feszültséget adunk az álló motorra (a tápfeszültséget egy 12 [V]-os, 60 [Ah]-s személygépkocsi akkumulátor biztosítja), így az felpörög egy adott fordulatszámra. Közben mérjük a motoron átfolyó áram erősségét valamint a motor fordulatszámát az idő függvényében. Ezután a szimulációs programban beállítjuk a mérésnél alkalmazott paraméterértékeket, és lefuttatjuk a szimulációt. Ezt követően a mérési és szimulációs eredményeket összehasonlítjuk. A következő ábrák a motoron folyó áram erősségét valamint a motor fordulatszámát mutatják az idő függvényében mérés és szimuláció esetén.



2. ábra: A motoron folyó áram erőssége az idő függvényében

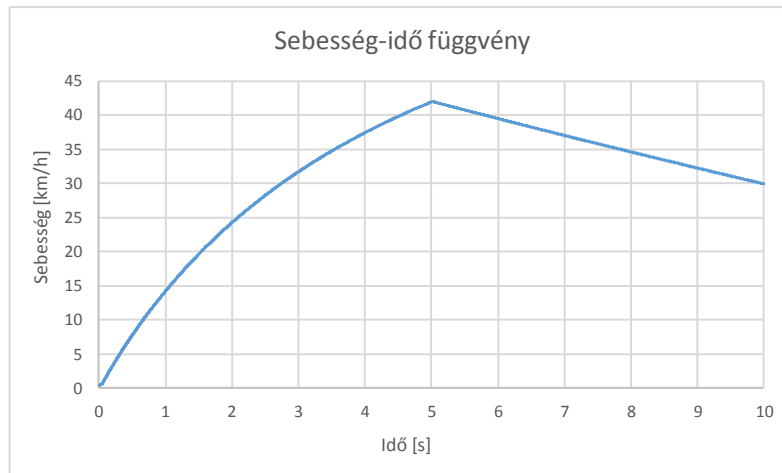


3. ábra: A motor fordulatszáma az idő függvényében

A mért és szimulált eredmények jó egyezést mutatnak, így megállapítható, hogy a szimulációs program megfelelően működik, valamint az elvégzett mérések pontosak voltak.

### 3. A jármű fékezésének szimulációja

A program kibővítése a fékezés szimulációjával fontos lépés a továbbfejlesztés szempontjából, hiszen a végső cél egy teljes pályaszimuláció megvalósítása. Emellett a fékezés szimulációja lehetőséget teremt a jármű fékrendszerének optimalizálására. Mivel mind a négy kereket fékezzük, a szimulációs programban a hátsó kerekek mellett az első kerekeknél is figyelembe kell venni a kerékcsúszást, valamint meg kell adni mind a négy kerék esetében egy-egy fékezőnyomatékat. Az alábbi esetben egy olyan szimulációt végeztem el, hogy álló helyzetből 5 másodpercig gyorsít a jármű, majd azt követően 5 másodpercig lassít.



4. ábra: Gyorsítás és fékezés szimulációja

## 4. Összefoglalás

A célunk az volt, hogy a korábban elkészített járműdinamikai szimulációs programunkat tovább fejlesszük, hogy az fékezési szakaszok szimulációjára is alkalmas legyen, illetve, hogy a motor szimulációjához szükséges hiányzó bemenő műszaki adatokat kísérleti úton meghatározzuk.

A motor műszaki paraméterei közül a korábban kimaradt csapágy és kefeellenállási nyomatékot, valamint a forgórész tehetetlenségi nyomatékát határoztuk meg. Erre kidolgoztunk egy mérési eljárást, amivel megfelelő pontossággal tudjuk a méréseket elvégezni. Majd ennek alapján a korábbi motorvizsgáló rendszerünket továbbfejlesztettük, kiegészítve egy optikai elven működő fordulatszám-mérővel. A méréseket sikeresen elvégeztük, a kapott eredményeket fel tudtuk használni a szimulációs programunkban.

Emellett a motoron dinamikus tesztméréseket végeztünk, ezzel igazolva a mérések és a szimuláció pontosságát. A mért és szimulált értékek jó egyezést mutattak, így megállapítható, hogy a szimulációs program megfelelően működik.

Következő lépésben a járműdinamikai szimulációs programot fejlesztettük tovább, hogy az fékezési szakaszok szimulációjára is alkalmassá váljon, ezáltal megvalósuljon a jármű egyenes vonalú mozgásának teljes szimulációjára. Az itt szerzett tapasztalatokat fel kívánjuk használni a járművek fejlesztéséhez, így a minél eredményesebb versenyzéshez.

## Köszönetnyilvánítás



AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-18-2 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

## Hivatkozások

- [1] A. Gábora – G. Á. Szíki – A. Szántó – T. A. Varga – A. Magyarai – D. Balázs (2017) *Prototype battery electric car development for Shell-ECO-Marathon® competition*. Proceedings of the XXII International Conference of Young Engineers, Kolozsvár. pp. 167-170.
- [2] Gy. Juhász György (2011) *A pneumobil versenyek és az oktatás - a felkészülés tanári szemmel*. Debreceni műszaki közlemények. 10 (1) pp. 35-40.
- [3] M. Zöldy – I. Emőd – Z. Tölgyesi (2006) *Alternatív járműhajtások*. Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft. ISBN 9639005738
- [4] Shell-ECO-Marathon® verseny In: <http://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon.html> letöltve: 2017. 11. 20.
- [5] Aventics pneumobil verseny In:<http://www.pneumobil.hu/> letöltve: 2017. 11. 20.
- [6] A. Szántó (2015) *Elektromos hajtású tanszéki versenyautó járműdinamikai modellezése*, TDK dolgozat. Debreceni Egyetem Műszaki Kar.
- [7] Matlab 2014b, The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, United States.
- [8] H. B. Pacejka– I. Besselink (2012) *Tire and Vehicle Dynamic.s* (Third edition). Elseiver Ltd. ISBN 978-0-08-097016-5.
- [9] J. Reimpell – J. W. Betzler – G. Bári – Z. Hankovszki – L. Kádár – Z. Lévai – I. Nagyszokolyai (2012) *Gépjármű futóművek I*. ISBN 978-963-279-606-2
- [10] B. Heissing – M. Ersoy (2011) *Chassic Handbook*. ISBN 978-3-8348-0994-0
- [11] A. Szántó (2017) *Járműdinamikai szimuláció és optimalizáció Matlab és LabVIEW környezetben*, TDK dolgozat. Debreceni Egyetem Műszaki Kar.
- [12] A. Szántó (2016) *Soros gerjesztésű DC motor modellezése a járműdinamikai szimulációs programunkban*, TDK dolgozat. Debreceni Egyetem Műszaki Kar.
- [13] G. Á. Szíki – K. Sarvajcz – J. Kiss – T. Gál – A. Szántó – A. Gábora – G. Husi (2017) *Experimental investigation of a series wound DC motor for modeling purpose in electric vehicles and mechatronics systems*. Measurement. 109. pp. 111-118.