

## GÉPKOCSI KERÉKFELFÜGGESZTÉSEK REZGÉSI TULAJDONSÁGAINAK SZIMULÁCIÓJA ÉS MÉRÉSE

### ANALYSIS OF VIBRATION STATES OF CARS BY EXPERIMENTAL MEASUREMENTS AND DYNAMICAL MODEL SIMULATIONS

Varga István<sup>1</sup>, Dezső Gergely<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézet Cím: Magyarország, 4400 Nyíregyháza Sóstói út 31/b. Telefon / Fax: +3620599400/2442, levelezési cím, [dezsog@nyf.hu](mailto:dezsog@nyf.hu)

<sup>2</sup>Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézet Cím: Magyarország, 4400 Nyíregyháza Sóstói út 31/b. Telefon / Fax: +3620599400/2442, levelezési cím, [vargaistvan.rs@gmail.com](mailto:vargaistvan.rs@gmail.com)

#### Abstract

Car suspension systems were investigated experimentally on a shock absorber test bench and theoretically by simulation. It is demonstrated that results of the model shows quantitative agreement with experimental measurements.

**Keywords:** quarter model, car suspension system, vibration.

#### Összefoglalás

Személygépkocsik kerékfelfüggesztésének rezgési tulajdonságait vizsgáltam lengéscsillapító próbapadon méréssel, valamint számítógépes szimulációval. Sikerült olyan számítógépes modellt felépíteni, amely jó kvantitatív egyezést mutat a kísérleti eredményekkel.

**Kulcsszavak:** negyedmodell, kerékfelfüggesztés, rezgés.

#### 1. Bevezetés, célkitűzés

A járműdinamika olyan kérdésekkel foglalkozik, amelyek alapjaiban határozzák meg egy gépjármű menettulajdonságait, biztonságát és használóinak kényelemérzetét [1]. A járműgyártók folyamatosan fejlesztik a futóműveket, ezért a dinamikai mennyiségek mérése igen fontos kérdés [2,3].

A gépjármű a szűkebb mechanikai szempontból is, és tágabb értelemben is egy

összetett dinamikai rendszer [4]. Működésének modellezésére matematikai eszközök is rendelkezésre állnak. Az elmúlt néhány évtizedben az informatika rohamos fejlődésének köszönhetően a számítógépes szimuláció a kutatás-fejlesztésben hatékony és egyre szélesebb körben elérhető eszközzé vált [5,6].

Célkitűzésünk személygépjárművek rezgéseinek mérése lengéscsillapító vizsgálati próbapadon történő gerjesztés során, két gépjármű esetén, a keréknyomás változtatásával.

## 2. A harmonikus analízis, az FFT

Ha az általunk vizsgált folyamat szigorúan periodikus és (elméletileg) végtelen ideig tart, akkor Fourier tétele szerint megadható az alábbi alakban:

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} [c_k \cdot \sin(k\omega_0 \cdot t) - d_k \cdot \cos(k\omega_0 \cdot t)] \quad (1)$$

A valóságban a legtöbb folyamatnak nincs szigorú periodicitása, és időben végesek (lásd: **1. ábra**).

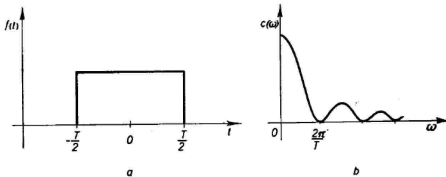
Ebben az esetben az  $x(t)$  függvény előállítása:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} c(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

ahol  $c(\omega)$  a valós számok halmazán értelmezett folytonos függvény, az  $x(t)$  Fourier-transzformáltja.

A  $c(\omega)$  Fourier-transzformált előállítása:

$$c(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} d\omega \quad (3)$$



**1. ábra:** Nem periodikus négyszögimpulzus

A diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) egy függvény egyenközű mintavételezésével kapott, véges számosságú adatsort alakít át szinusz függvények olyan lineáris kombinációjává, amelynek helyettesítési értékei megegyeznek a mintával.

A gyors Fourier-transzformáció (fast Fourier-transform, FFT) olyan algoritmus, amely a diszkrét Fourier-transzformáció hatékony kiszámítására szolgál. Az FFT a diszkrét Fourier-transzformáció  $N^2$  –tel arányos műveletigényét  $N \log_2 N$  –nel arányosra csökkenti, így teszi azt gyorsabbá [7].

A mintavételezés jelentősen befolyásolja az FFT hatékonyságát.  $N=2^n$  egyenközű mintavétel szükséges, ahol  $n \geq 6$ . A mintavételezés frekvenciáját úgy választjuk meg, hogy legalább kétszerese legyen a maximális vizsgálandó frekvenciának, ellenkező esetben a mintavételezés pontossága bizonytalan.

## 3. A mérés

A választott gerjesztő berendezés egy puztadobosi üzemben található, a személyautók időszakos hatósági vizsgáztatásához használt Weszti-Kontrol személygépkocsi fék- és lengéscsillapító vizsgáló berendezés lett. A szerkezet lengésvizsgáló része EUSAMA-rendszerű, 24 Hz-es induló gerjesztő frekvenciával és 3 milliméteres amplitúdóval működik. A műszer a kerék által a talajra kifejtett erőt („talpnyomás”), és annak minimumát vizsgálja a gerjesztő frekvencia 0-tól 24 Hz-ig terjedő tartományában.

A rezgésmérést Sinus Soundbook típusú berendezéssel végeztük [8]. Ennek fő részei:

- Piezoelektromos szenzor és ezt a panellel összekötő vezetékek (**2. ábra**);
- Sinus Soundbook moduláris panel;
- Panasonic Toughbook CF-19 laptop;
- Samurai 2.0 rezgés- és zajmérő szoftver.

A program, amely segítségével a mérési folyamat és a kiértékelés kontrollálható, a Samurai 2.0, melyet kifejezetten zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálatokhoz fejlesztettek.

A rezgésértékeket 0 és 20000 Hz közötti frekvenciatartományokban képes megjeleníteni és rögzíteni. A program segítségével a rögzített időbeli jelenség gyors Fourier-transzformációval frekvencia tartományba transzformálható, ami segíti a mérési eredmények elemzését.

A mérések alkalmával az egyik tengelyllyel ráálltunk a gerjesztő talpakra.

Az érzékelőt ragasztó segítségével rögzítettük a kerékanyán, a karosszéria fém sárvédő elemén és a gerjesztő lapon egyaránt.



2. ábra: A gerjesztő berendezés mérése

Megállapítottuk, hogy a gerjesztési ciklus 13 másodperc terjedelmű, ezért a mérési intervallumot 15 másodpercrek választottuk. A mérések végrehajtásához két járművet használtunk fel: egy 2005-ös évjáratú, lineáris rugózású Suzuki Ignist és egy 1992-es, progresszív hátsó futóműves BMW E30-ast.

#### 4. A modell

A modell megépítéséhez (3. ábra) a valós járműből a következő adatokat használtuk fel:

- A futóművek karakterisztikái
- Járművek tömege, méretjellemzői
- Gerjesztés adatai (frekvencia, amplitúdó)

Ezeket az információkat a fentebb leírtak alapján a mérések során határoztuk meg.

Modellünk megértéséhez érdemes az alkatrészeket szintekre osztani:

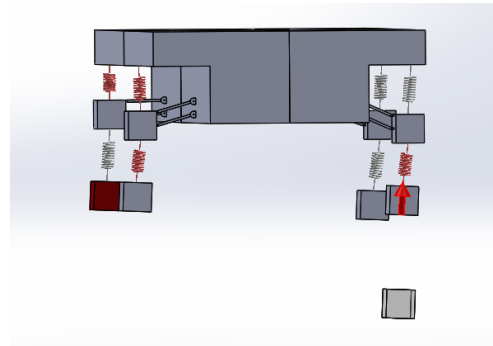
- Térben rögzített kocka (a képen átlátzó)
- Talaj kockái
- A kerekeket és a járulékos tömegeiket helyettesítő testek

- A kerekeket és a karosszériát összekötő kereszt-lengőkarok (futóművenként 2 darab)

- Jármű felépítmény

Az építés során a talajt és a térben rögzített testet pozicionáltam először. A talaj kockái közül egyet nem rögzítettem, hiszen ezen keresztül kapta a jármű a gerjesztést, a többi a referenciatesttel együtt térben rögzítettem a korábban meghatározott helyükön.

A jármű kerekeit és felépítményét egyszerű negyedmodellként konstruáltam, majd ezt két lépésben tükrözve kaptam meg a teljes autómódellet.



3. ábra: A dinamikai modell a gerjesztési folyamat közben

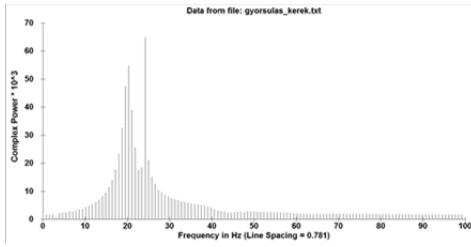
#### 5. Eredmények összehasonlítása

A szimuláció során másodpercenként 200 mintát vettük, így a 2 másodpercnyi gerjesztés 400 adatot eredményezett. Megjelenítésére a Scope DSP 5.0 nevű szoftvert hívtuk segítségül (4. ábra).

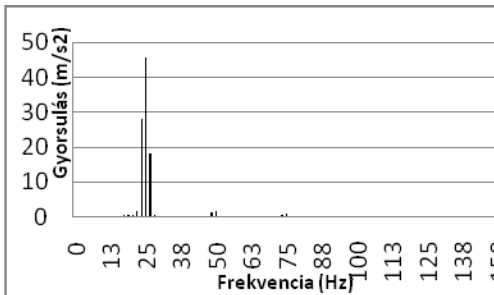
A mért adatokat az 5. ábrán látható módon a Samurai programból exportáltuk ki Excel formátumban.

Az amplitúdóbeli eltérések a csillapítás paraméter illesztés előtti állapotának köszönhetőek, hiszen magát a csillapítást nem tudtuk pontosan megmérni. Viszont ahogyan a 6. ábra is mutatja, megfelelően illesztett csillapítással igen nagy hasonlósá-

got tapasztalunk az eloszlás és az amplitúdók terén is.



4. ábra: Suzuki Ignis-modell kerekének FFT-je



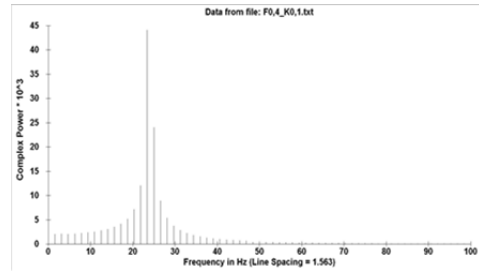
5. ábra: Suzuki Ignis kerekének mért FFT-je

## Következtetések

A mérések eredményei visszaigazolták a szimulációs eredmények a használhatóságát. A karosszéria rezgései, mivel mi a modell felépítményét monolit szerkezetként konstruáltuk, az összehasonlításához zajosak voltak.

Megállapítottuk, hogy a gyorsulás-idő függvények felhasználhatósága éppúgy helytálló, mint a kitérés-idő függvények esetében.

A BMW hátsó tengelyén, bár progresszív rugókat találunk, a megfelelő méretezésének köszönhetően a vizsgálat során nem tapasztaltunk nemlineáris viselkedést



6. ábra: Suzuki Ignis-modell kerekének FFT-je paraméter-illesztett csillapítással

Kimutattuk, hogy a szimulációval kapott gyorsulás-idő függvény frekvencia tartományban igen jó egyezést mutat a mérésrel kapott gyorsulás-idő függvénnyel.

Mindezek után elmondható, a töbptest szimuláció a gépjárművek vertikális dinamikai tulajdonságait jól írja le, ezért hatékony eszköz lehet a tervezés folyamatában.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Zomotor Ádám: *Gépjármű menetdinamika*, Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006, ISBN 963 212 400 6
- [2] Mike Blundell, Damian Harty: *The multibody systems approach to vehicle dynamics*, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004, ISBN 0 7506 5112 1
- [3] Giancarlo Genta: *Motor vehicle dynamics, modeling and simulation*, World Scientific Publishing Co., 2006, ISBN 9810229119
- [4] Varga, I., Dezső, G.: *Kerékfelfüggesztések mozgásának dinamikai vizsgálata személygépkocsiknál*, Nyíregyházi Főiskola, TDK dolgozat, 2013.
- [5] Wilfried Staudt: *Gépjárműtechnika*, „OMÁR” Könyvkiadó, Székesfehérvár, 1988, ISBN 963 85108 03
- [6] Dukkipati, V. R. et al. (2008): *Road Vehicle Dynamics*. SAE International, ISBN 978-0-7680-1643-7
- [7] Cooley, J. W., Tukey, O. W.: *An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series*, Math. Comput. 19, 297-301, 1965.
- [8] *Samurai 2.0 Manual*, Sinus Messtechnik GmbH, 2011