

## Motorhűtő egység végeleemes rezgésvizsgálata

### Finite element vibration test of an engine cooling unit

UNGÁR Péter<sup>1</sup> junior kutató, BÉZI Zoltán<sup>2</sup> vezető kutató, DOROGI Dániel<sup>3</sup> PhD hallgató

<sup>1,2</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., H-3519 Miskolc, Iglói út 2.,  
Tel.: +36 46/560-110, [bay-eng@bayzoltan.hu](mailto:bay-eng@bayzoltan.hu), <http://www.bayzoltan.hu/hu/fooldal/>

<sup>3</sup> Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék,  
Tel.: +36 46/565-154; [aramdd@uni-miskolc.hu](mailto:aramdd@uni-miskolc.hu), <http://geik.uni-miskolc.hu/intezetek/EVG>

#### Kivonat

A cikk egy motorhűtő egység rezgéseinek végeleemes szimulációját mutatja be Comsol programmal. Ennek segítségével különböző módosítások megvizsgálhatók még prototípusgyártás előtt. A felépített modell tartalmazza a mechanikai analízishez szükséges terheléseket, áramlástanai szimulációkból származó erőket. Megtörtént a szimulációk összehasonlítása a mérésekkel. Bemutatásra kerül a felépített modell, annak részei, a szimulációk eredményei.

**Kulcsszavak:** rezgésvizsgálat, végeleemes szimuláció, többtest dinamika, mechanika

#### Abstract

This paper deals with a finite element simulation of a motor cooling unit using Comsol Multiphysics. This allows various modifications to be examined before prototype production. The model contains the loads required for the mechanical analysis and the forces from the flow simulations. The simulations were compared with the measurements. The model, its parts and the results of the simulations are presented.

## 1. BEVEZETÉS

Az elektromos és hibrid hajtású járművek széleskörű elterjedése egy olyan folyamatot indukál, melynek eredményeképp bizonyos alkatrészekre, modulokra szigorúbb gyártói követelmények vonatkoznak. A gyártás szempontjából fontos, hogy a lehetséges módosításokat még prototípusgyártás előtt szimulációkkal vizsgálni lehessen, ezzel csökkentve a fejlesztések ráfordításait.

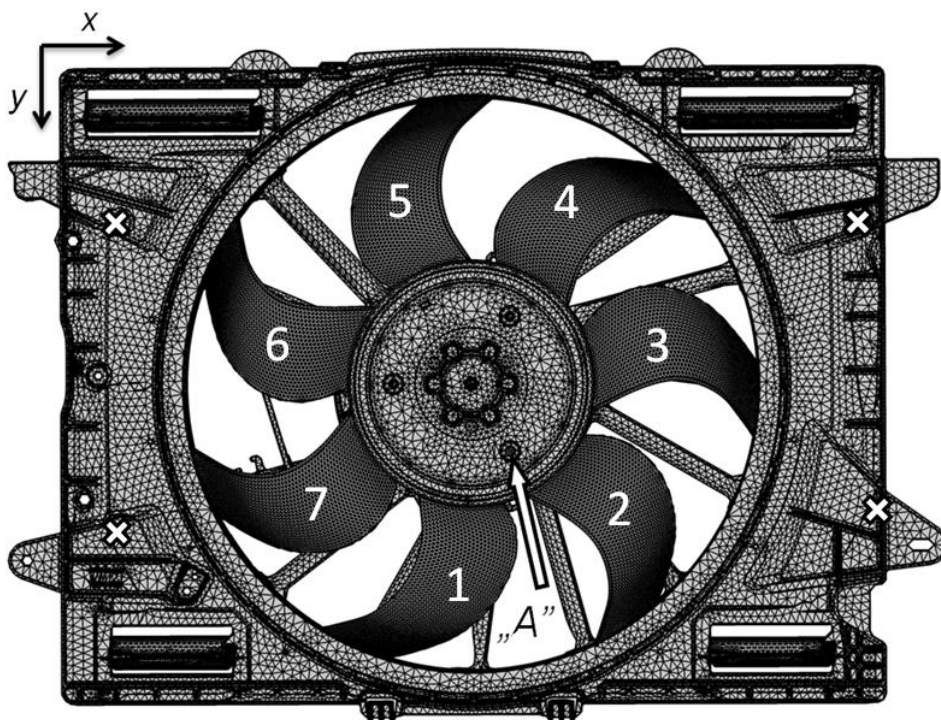
A mechanikailag káros rezgések csökkentése a motorhűtő egység élettartamát, valamint az utasok komfortszintjét is növeli. Álló helyzetben a belső égésű motor és a motortérben lévő alkatrészek együttes rezgéséből alacsony frekvenciájú zaj keletkezik. Ez a komfortérzetet csökkenti, hosszabb távon pedig az egészségre is káros lehet. Személygépkocsiknál ezek a frekvenciák a [2] szerint jellemzően 20-40 Hz közé esnek.

Jelen cikk célja egy motorhűtő egység mechanikai rezgéseinek végeleemes analízise, felhasználva az áramlástanai szimulációkból származó lapátokra ható átlagerőket. A modell felépítése egy korábbi cikkben [1] bemutatott motorhűtő ventilátor vizsgálatának alapján történik. A vizsgált egység maximális fordulatszáma 41,67 Hz. Itt kiemelő, hogy Jinhan Park és társai [3] arra jutottak, hogy az alacsonyfrekvenciás zajhoz dominánsan a motorhűtő ventilátor járul hozzá, ezért is fontos ennek kiemelt vizsgálata. Jonghyuk Lim és társai [4] a karosszériára átvitt rezgéseket vizsgálták numerikus szimulációk segítségével, az általuk alkalmazott szimulációs metodológiát adaptáltuk COMSOL végeleemes környezetbe.

## 2. COMSOL MODELL FELÉPÍTÉSE

A végeleemes szimulációhoz a modell COMSOL-ban készült el. A program multibody dynamics modulja került felhasználásra. A vizsgálatokhoz részben a korábban [1] elkészült végeleemes hálók lettek importálva.

A forgórészhez tartozó alkatrészek merev testek, míg az állórész rugalmas testként lett definiálva. A keret végelemek hálója a korábbihoz képest kevesebb elemet tartalmaz, ez a futási idő csökkenését okozta. A ventilátor motorjának tekercselését a pólusházhoz és állórészhez hozzáadott tömeggel lehetett figyelembe venni.



1. ábra Végeelem háló a COMSOL modellben

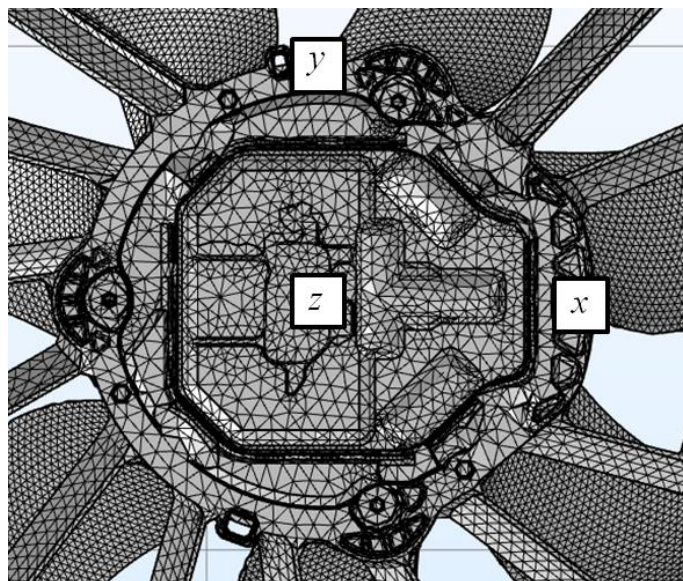
Az állórész a térben négy ponton van rugalmasan rögzítve. Ehhez a forgórész csapágyazásokon keresztül csatlakozik, melyek rugómerevséggel és csillapítással lettek figyelembe véve. A [4] által kidolgozott módszer bemutatja, hogy hogyan lehet egy ilyen ventilátor egység merevségi és csillapítási értékeit mérések alapján kiszámítani. Az ott kapott eredményekből kiindulva lettek a csapágyazások és rögzítések beállítva. A merevségi értékek  $x$  és  $y$  irányban  $k_{cx,cy} = 80000 \text{ N/m}$ ,  $z$  irányban pedig  $k_{cz} = 10000 \text{ N/m}$  nagyságúak. A csillapítások  $c_{cx,y} = 25 \text{ Ns/m}$ ,  $c_{cz} = 10 \text{ Ns/m}$ .

Az elkészült COMSOL modell, és az alkalmazott irányok az 1. ábrán láthatók. A négy terelő nem része a tényleges modellnek. A lapátok terheléséhez a Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszékén elkészült egy CFD szimuláció Ansys Fluent programmal. A térbeli diszkrétizáció negyedrendű, a konvergencia kritériuma pedig az, hogy a maradéktag (reziduális hiba) érje el a  $10^{-4}$  értéket. Az így kapott lapátokat terhelő átlagerőket az 1. táblázat foglalja össze három irányban. Ezek felületi terhelésként lettek a COMSOL modellben definiálva.

Áramlástanai szimulációkból származó, lapátokat terhelő erők

1. táblázat

Lapát sorszám	F <sub>x</sub> [N]	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]
1.	0.921412	-0.33682	-1.84944
2.	0.265611	-0.95329	-1.83878
3.	-0.47953	-0.8853	-1.77169
4.	-0.93684	-0.18074	-1.55513
5.	-0.7414	0.830009	-2.26904
6.	0.150857	0.96772	-1.76445
7.	0.774404	0.576755	-1.65228

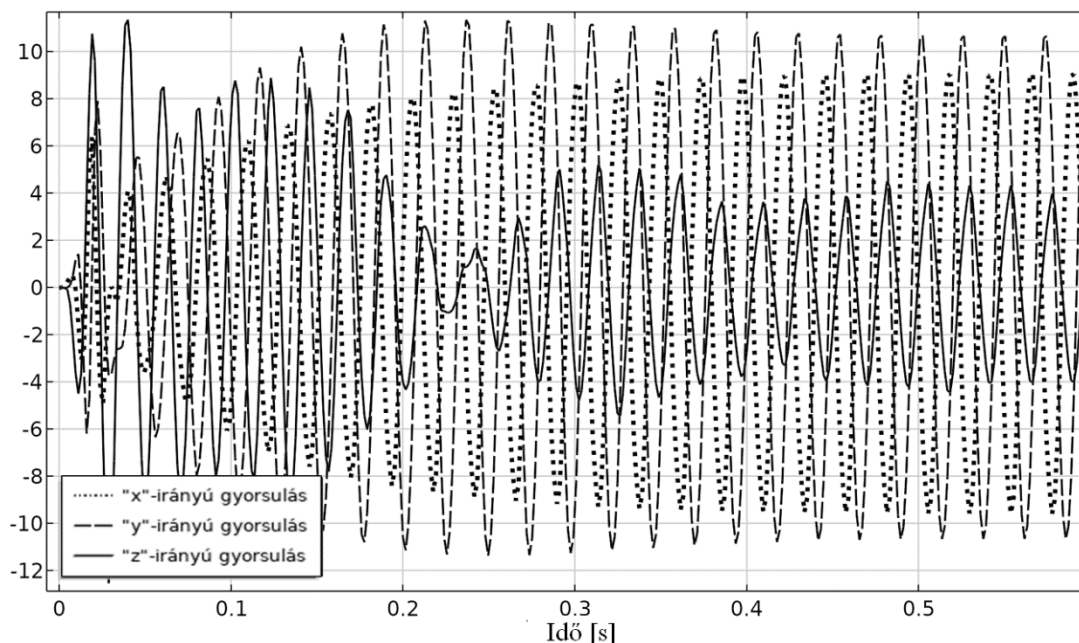


2. ábra Gyorsulásmérő szenzorok elhelyezése

A merevségi értékek megválasztásának igazolása mérések alapján történt. Ehhez az 1. ábrán jelölt „A” csavarozási pontban került elhelyezésre egy 4 g tömegű csavar. Ezzel a kiegyensúlyozatlansággal és a CFD szimulációkból kapott erőkkel terhelt modell került összehasonlításra a mérésekkel.

### 3. ÖSSZEHASONLÍTÁS MÉRÉSEKKEL

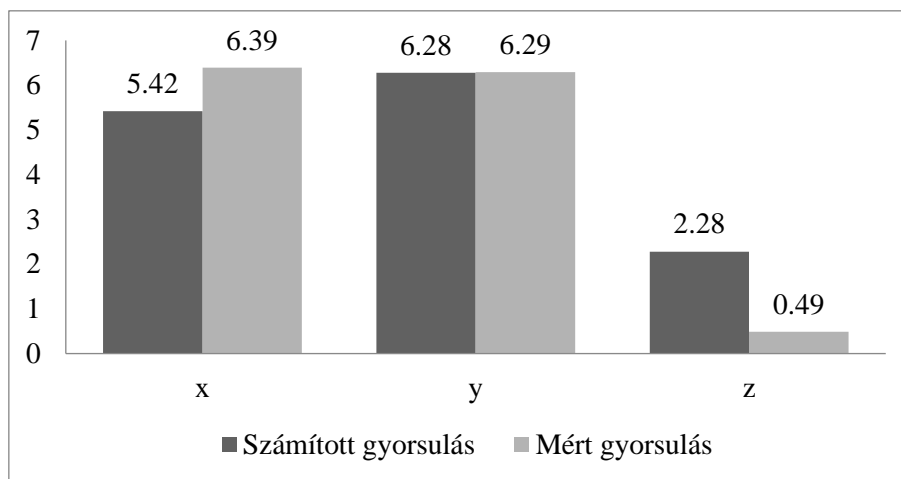
A mérések során három gyorsulásmérő szenzor lett az állórészen elhelyezve, kettő radiális irányban (x,y), a harmadik axiális, z irányban mért. Az elrendezés, ami alapján a COMSOL szimulációk kiértékelése is történt, a 2. ábrán látható. A gyorsulásmérők a ventilátor motorának hátulján lettek elhelyezve. A szimulációk  $t = 0,0016$  s időlépéssel futottak.

3. ábra Gyorsulásértékek a mérési pontokban [m/s<sup>2</sup>]

A szimulációval kapott gyorsulásokat a három mérési pontban a 3. ábra mutatja. A radiális gyorsulások állandósult állapotban kétszer akkora, mint az axiális. Az összehasonlítás a gyorsulások FFT analízisének Fourier együtthatói alapján történt. A szimulációkból a mért pontokban ezek rendre:

$a_{sz,x} = 5,42 \text{ m/s}^2$ ,  $a_{sz,y} = 6,28 \text{ m/s}^2$ ,  $a_{sz,z} = 2,28 \text{ m/s}^2$ . A mérésekből ezek az értékek  $a_{m,x} = 6,39 \text{ m/s}^2$ ,  $a_{m,y} = 6,29 \text{ m/s}^2$ ,  $a_{m,z} = 0,49 \text{ m/s}^2$ . Az értékek összehasonlítása a 4. ábrán látható. A radiális gyorsulások jól közelítik a szimulációkból kapottakat, az axiálisnál nagyobb a különbség, melyet a modell pontosításával csökkenteni lehet a továbbiakban. Az  $x$ ,  $y$  irányú elmozdulások is jó egyezést mutatnak a mérésekkel.

A felépített modell segítségével könnyen vizsgálhatók a különböző továbbfejlesztési elképzelések. A terheletlen vizsgálatokkal összehasonlítva még prototípusgyártás előtt ki lehet értékelni az adott változatot.



4. ábra Számított és mért gyorsulások [m/s<sup>2</sup>] összehasonlítása a három irányban

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy motorhűtő ventilátor végeleselemes rezgésvizsgálatával foglalkozik. Ehhez elkészült egy COMSOL modell, amely mérésekkel igazolva lett. Az elrendezés alkalmas arra, hogy a különböző fejlesztési elképzelések rezgésekre gyakorolt hatása szimulációval megvizsgálható legyen, csökkentve a szükséges megépítendő prototípusok számát, ezzel pedig csökkentve a ráfordításokat. A továbbiakban a merevségi értékek pontosabb meghatározása a cél, illetve a hűtő egység többi, a ventilátorhoz szerelt részének beépítése.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és a Magyar Kormány támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg az „E-mobility Miskolcra: Hűtővíz keringető szivattyú és motorhűtő ventilátor továbbfejlesztése az elektromos járművekben elvárt magasabb minőségi követelmények figyelembevételével” című GINOP-2.2.1-15-2017-00090 azonosítószámú projekt keretében.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Ungár Péter – Motorhűtő ventilátor kiegyensúlyozatlanságának vizsgálata – XXVII: Nemzetközi Gépészeti Konferencia OGÉT, EMT, (2019) 581-584
- [2] Iyer, G., Prasanth, B., Wagh, S., and Hudson, D., - Idle Vibrations Refinement of a Passenger Car, - SAE Technical Paper 2011-26-0069, 2011
- [3] Jinhan Park, Junwoo Lee, Sejin Ahn, Weuibong Jeong - Reduced ride comfort caused by beating idle vibrations in passenger vehicles - International Journal of Industrial Ergonomics Volume 57, Elsevier B.V., (2017) 74-79
- [4] Jonghyuk Lim, Woojeong Sim, Seen Yun, Dongkon Lee, Jintai Chung - Reduction of vibration forces transmitted from a radiator cooling fan to a vehicle body - Journal of Sound and Vibration Volume 419, Elsevier Ltd., (2018) 183-199