

## Hegesztett szerkezet VE szimulációval és méréssel történő modálanalízise

### Modal analysis of a welded structure using FE simulation and measurement

SCHWEIGHARDT Attila egyetemi hallgató<sup>1</sup>,  
VEHOVSZKY Balázs PhD docens<sup>2</sup>, FESZTY Dániel PhD docens<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, H-9026 Győr,  
Egyetem tér 1., +36 96 503 400, schweighardtattila@gmail.com, jft.sze.hu

<sup>2</sup> Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, H-9026 Győr,  
Egyetem tér 1., +36 96 503 400, vehovszky.balazs@sze.hu, jft.sze.hu

<sup>3</sup> Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, H-9026 Győr,  
Egyetem tér 1., +36 96 503 400, feszty.daniel@sze.hu, jft.sze.hu

#### Kivonat

Akusztikai méréseknél – ahogy az általános műszaki gyakorlatban – általában szimulációkat és méréseket is végzünk egy alkatrész vagy rendszer vizsgálata során. Előbbi gyors elemzésre, összehasonlításra ad lehetőséget, míg utóbbival a nehezen szimulálható eseteket vizsgáljuk, vagy a szimulációkat validáljuk. Mindkét esetben kell azonban vizsgálni az eredmények pontosságát, megbízhatóságát. Az NVH (Noise, Vibration and Harshness) módszerek eredményeinek pontossága általában csökken a frekvencia illetve a vizsgálandó szerkezet összetettségének növekedésével. Továbbá a végeselemes (VE) szimulációk során a modell és hálózás kialakítása, illetve mérések során az alkalmazott beállítási részletek is jelentős mértékben befolyásolják az eredmények hibáját. Ezért a különböző elemtípusok alkalmazásával kapott szimulációs eredmények pontossága, és a mérés egyes részleteinek (rögzítés, felbontás) hatása került számszerűsítésre jelen tanulmányban, a vizsgálható frekvenciatartomány kiterjesztése és a szimulációs eredmények megbízhatóságának javítása céljából. Az eredmények számszerűsítéséhez egy egyszerűsített járműváz modelljének viselkedése került megvizsgálásra.

**Kulcsszavak:** modálanalízis, rezonancia, végeselemes szimuláció, sajátfrekvencia, lengésalak

#### Abstract

During acoustical investigation of a part or a system, simulations and measurements are generally carried out simultaneously – as like as for general engineering investigations. Former gives possibility for a fast evaluation and comparison, while latter is good for the validation of simulations or characterization of systems which are hard to simulate. The accuracy and reliability of results, however, have to be determined in both cases. The accuracy of the NVH methods' results usually decreases with the increase of the examined frequency and structure complexity. In addition, the modeling and the mesh in the FE (finite element) simulation, as well as the settings used during measurements significantly affect the accuracy of the results obtained. Therefore, the simulation results got by using different element types, as well as the effect of the measurement details have been quantified in the present study, in order to extend the applicable frequency and to improve the reliability of the results. For this purpose, the behavior of a simplified vehicle frame model was examined.

## 1. BEVEZETÉS

Manapság az NVH/akusztikai eszközök, módszerek egyre szélesebb körben kerülnek alkalmazásra, ez igaz a járműipar világában is. A járművek esetében a mérnöki akusztika alkalmazására a termékek minőségbeli javulása miatt van szükség. Általában a zajok, nem kívánatos rezgések,

rezonanciák elkerülése a cél, ezzel növelve a komfortérzetet és minőségérzetet, csökkentve az alkatrészek kifáradásából származó meghibásodásokat és javítva az autó járműdinamikai tulajdonságait. A járművázak mechanikai és vibrációs tulajdonságainak, viselkedésének elemzésére is egyre fokozottabban alkalmazzák az akusztikai módszereket.

Az mérnöki akusztikai módszerek közül talán a modálanalízis a legszélesebb körben alkalmazott módszer, amely segítségével a meghatározhatók a vizsgált test rezonanciafrekvenciái, a hozzájuk tartozó lengésalakok és a szerkezeti csillapítás értékei. Mind a mérés, mind a VE (végelem) módszer alkalmazásakor jelentős a beállítási részletek hatása. Sok beállítási részlet befolyásolja az eredményeket, ezekből néhány fontos szempont: a rögzítés módja, helyzete, a frekvenciafelbontás; illetve végeselemes szimuláció (FES) esetén a modell- és hálóalkotás milyensége [1].

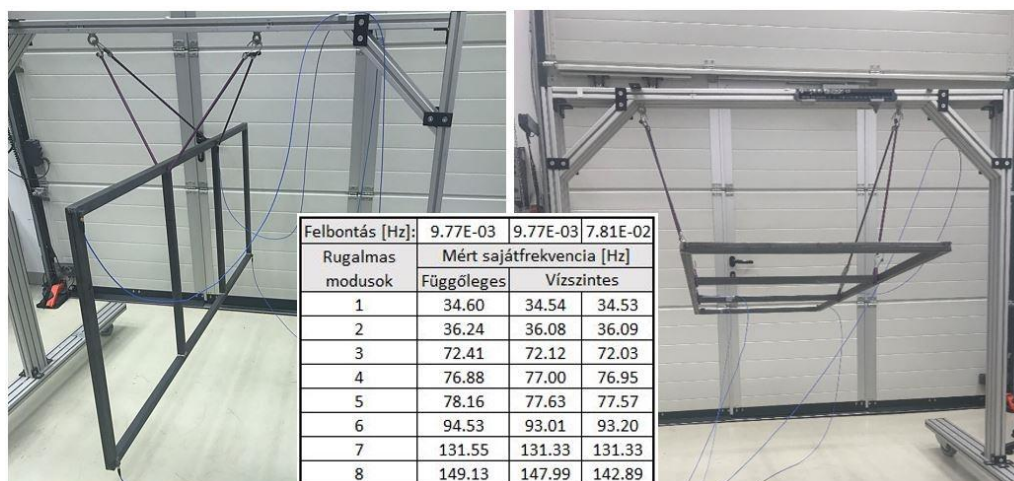
Ezért a különböző elemtípusok alkalmazásával kapott szimulációs eredmények pontossága, és a mérés során a rögzítés minőségének és a frekvenciafelbontásnak a hatása került számszerűsítésre, a vizsgálható frekvenciatartomány kiterjesztése és a szimulációs eredmények megbízhatóságának javítása céljából. A jelen értekezés a rezonanciafrekvenciákra és lengésalakokra gyakorolt hatást vizsgálja, a csillapítás és annak hatásai nem kerül részletezésre. Az eredmények számszerűsítéséhez egy egyszerűsített járműváz modelljének viselkedése került elemzésre.

## 2. VIZSGÁLAT MENETE, MÉRÉSI ELRENDEZÉS

Az experimentális vizsgálat során a vázmodell gumipókokkal került felrögzítésre egy masszív keretre (ld. 1. ábra). Ez a rugalmas rögzítés biztosította a szerkezet „szabad” merevtestszerű mozgását, rugalmas deformációját és vibrációját. A mérés során a gerjesztés impulzus kalapáccsal (PCB 086C03), az átviteli függvények mérése pedig 3 darab triaxiális szenzorral (PCB 356A45) történt.

A kapott eredményeket többek között a geometria, anyagtulajdonságok, rögzítés és a mérés során a vizsgált alkatrészekhez csatolt elemek is befolyásolják, tömegük, csillapítási vagy merevítési hatásuk révén. Ezen hatások minimalizálása a „roving hammer” és „roving sensor” metódusok együttes alkalmazásával valósult meg. (Roving hammer (kóborló kalapács) metódus: reciprocitást feltételezve a szükséges számú átviteli függvényt nem nagyszámú szenzorral, hanem számos kalapácsi ponttal kapjuk meg. Roving sensor (kóborló szenzor) metódus: a szükséges számú átviteli függvényt nem nagyszámú szenzorral, hanem számos mérés futtatásával kapjuk meg – a szenzorok áthelyezésével.) [2] [3]

A mérés során két vizsgálati paraméter került kiértékelésre: a szerkezet rögzítési pozíciója, valamint a mérés frekvenciafelbontása. A kétféle felrögzítés, a függőleges helyzetű, illetve vízszintes helyzetű rögzítés, valamint a változtatások hatásainak számszerűsített eredményei az 1. ábrán láthatók.



1. ábra A vizsgált vázmodell eltérő rögzítési módjai, valamint az egyes változtatások számszerűsített hatása a rezonanciafrekvenciákra

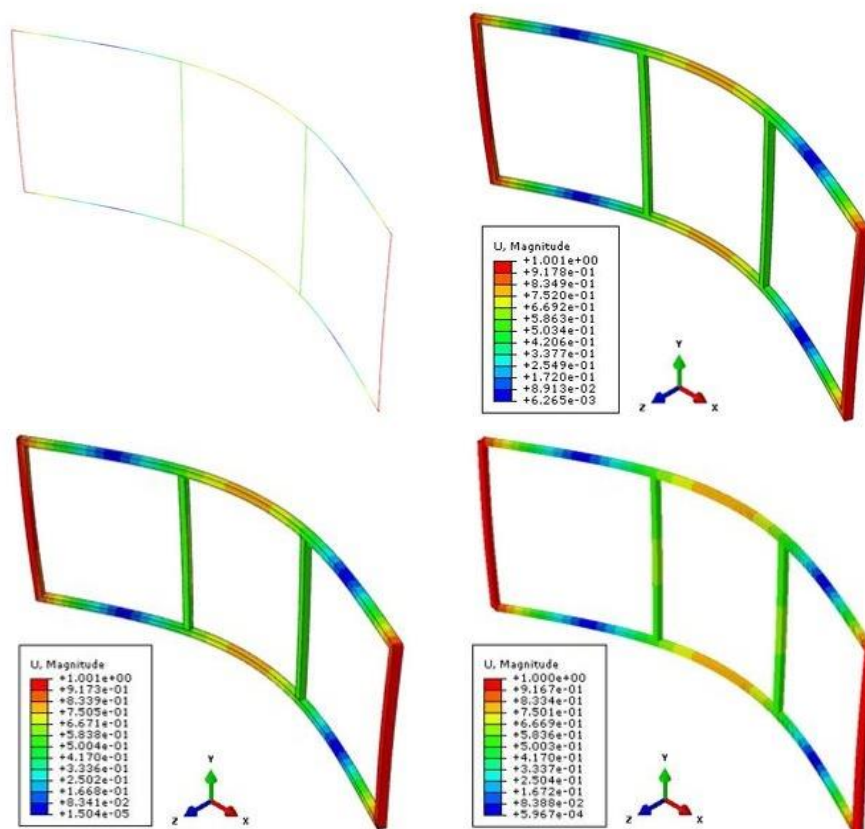
Az 1. ábra alapján látható, hogy 160 Hz-ig átlagosan maximum 0,5% eltérés van a rezonanciafrekvenciában az eltérő frekvenciafelbontásból (0,078 Hz és 0,0098 Hz) adódóan, vízszintes pozícióban mérve. A legtöbb sajátfrekvenciát csak kis mértékben befolyásolja a felbontás különbség.

Ellenben fontos megjegyezni, hogy előfordulhatnak rezonanciafrekvenciák, például a 8. rugalmas lengésalakhoz tartozó frekvencia, amelyeket nagyobb mértékben is elhangolhat. A két mérést közötti eltérés a 8. sajátfrekvencia esetén 3,45%, amely nélkül az átlagos frekvenciakülönbség csak 0,08% lenne. A felbontásnak a mintavételezett gyorsulás amplitúdókra is nagy hatása van – különösen ilyen kis csillapítású rendszer esetén. Az amplitúdók nagysága tekintetében átlagosan 16% az eltérés, de volt olyan lengésalak, ahol 76%-os volt a különbség.

Ugyanazt a frekvenciafelbontást alkalmazva (0,0098 Hz), a vízszintes és függőleges rögzítés esetén a sajátfrekvenciák tekintetében átlagosan 0,55% eltérés volt. A frekvenciakülönbségek szórása nem volt jelentős. A vizsgálat során a mért amplitúdókra a rögzítési pozíció volt a legnagyobb hatással, átlagosan 4,6-szoros eltéréssel lehetett számolni az egyazon móduszhoz tartozó amplitúdók esetén, de előfordult 15,35-szörös amplitúdó-különbség is. Az amplitúdó értékét leginkább a csillapítás határozza meg, az eltérés a rögzítésből adódó különböző csillapítási és előfeszítési viszonyokból adódik. Ebből a szempontból a függőleges helyzetben való rögzítés bizonyult kedvezőbbnek.

### 3. SZIMULÁCIÓ

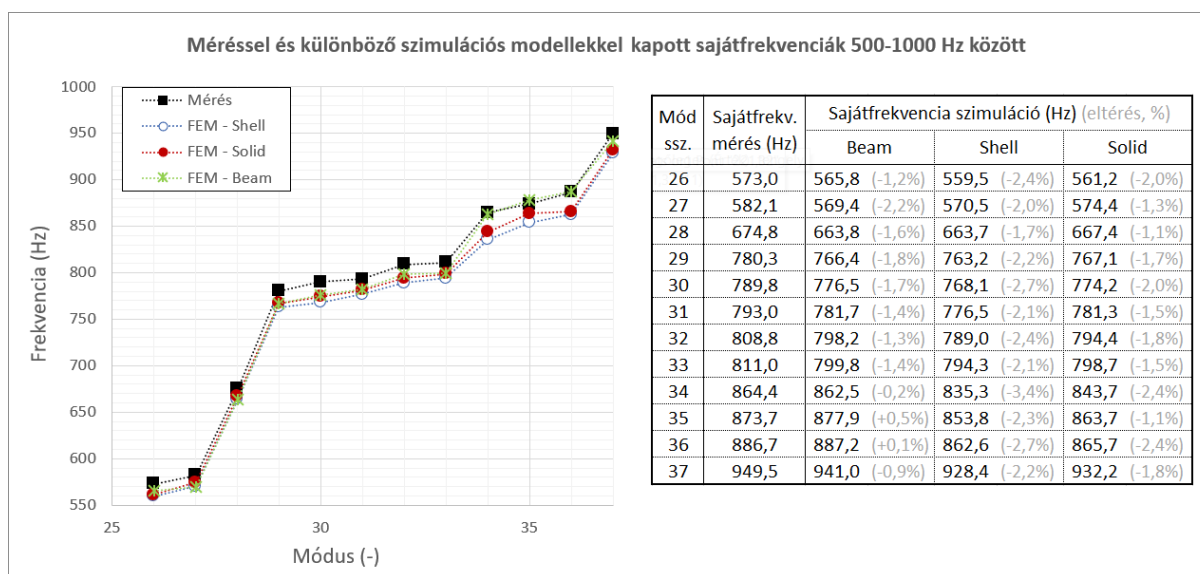
A végeelem szimulációk futtatása, Simulia Abaqus szoftverben történt. A szimulációk során lineáris anyagmodell került definiálásra. A megadott anyagtulajdonságok a következők voltak:  $\rho = 7,83 \text{ g/cm}^3$  (sűrűség),  $E = 206 \text{ GPa}$  (rugalmassági modulus),  $\nu = 0,3$  (Poisson-tényező) [4]. A szimulációk során az került megvizsgálásra, hogy az eltérő elemtípusok (rúd, héj, szolid) alkalmazásának mekkora és milyen hatása van a rezonanciafrekvenciák értékeire és a hozzájuk tartozó lengésalakokra. A 2. ábrán a méréssel, illetve eltérő modellezéssel kapott, ugyanazon rugalmas lengésalak vizualizációja látható. A megadott skálák a minimális (közel 0) és maximális (1) közötti relatív elmozduláshoz tartozó színértékeket mutatják.



2. ábra A vizsgált szerkezet 2. rezonanciájának lengésalakja méréssel (bal felül), valamint szimulációval különböző elemek használatával (shell: jobb felül, beam: bal alul, solid: jobb alul)

## 4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, KONKLÚZIÓK

Ahogy az korábban említésre került, a járművek karosszériájának experimentális modális analízisének kiértékelése csak alacsonyabb frekvenciatartományon szokott történni, körülbelül 75-80 Hz-ig, a frekvenciával együtt növekvő pontatlanságok miatt. Ezért a jelen munka célja volt, hogy a vizsgálható tartományt kitolja, és egészen 1000 Hz-ig elemezze a kapott eredményeket. Az 500 és 1000 Hz között kapott lengésalakokhoz tartozó sajátfrekvenciák, és a szimulációk méréshez (vízszintes rögzítés, frekvencia-felbontás: 0,078 Hz) képesti eltérései a 3. ábrán láthatók. A sajátfrekvenciák szempontjából a vizsgált szerkezet mérési eredményeit a rúdelemes modellel futtatott szimuláció eredményi közelítik meg a legkisebb hibával. A mérés és a rúdelemes (beam) szimuláció közötti eltérés 500 és 1000 Hz között átlagosan 1,19%. Szolid elemes (solid) modellezés esetén az átlagos eltérés ugyanezen frekvenciatartományon 1,72%, míg a héjelemes (shell) modellezés esetén 2,34%. A vizsgálat során mind a szimulációk, mind pedig a mérések során ugyanannyi sajátfrekvencia adódott a vizsgált frekvenciatartományban, a hozzájuk tartozó lengésalakok pedig egyezést mutattak.



3. ábra A szimulációból és mérésből kapott sajátfrekvenciák összehasonlítása

A vizsgálat alapján egy egyszerű rácsos szerkezet esetén akár 1000 Hz-ig 2%-on belüli hibával visszakaphatjuk a rendszer sajátfrekvenciáit szimulációval (legpontosabban rúd-elemes modellel). A szerkezet összetettségének növelésével (pl. lemezek alkalmazása) azonban ez a hiba várhatóan növekszik, ahogy a rúd-elemes modell alkalmazása is nehezkessé válik. Jelen vizsgálat finomhangolása (pl. csillapítás) után a jövőben ilyen összetettebb szerkezetekre végezzük el a vizsgálatokat, meghatározva az optimális szimulációs módszert és annak várható pontosságát.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a "Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen" című (azonosító szám: EFOP-3.6.1-16-2016-00017) projekt keretében készült.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. Schweighardt et al: NVH and Modal Analysis in Vehicle Industry, Perner's Contacts XIX/2 2019
- [2] B. Vehovszky et al: Potential errors of acoustical testing induced by stinger excitation, Proceedings of ICSV25
- [3] M. A. Peres et al: Practical aspects of shaker measurements for modal testing, Proceedings of ISMA 2010
- [4] J. Dizo et al: Computation of modal properties of two types of freight wagon bogie frames using the finite element method, Manufacturing Technology, 18 (2) 2018