

# Alacsony csillapítású lemez, csillapítási veszteség tényezőjének a meghatározása Bevitt Teljesítmény Módszerrel

## Damping determination for a slightly damped rectangular plate by Power Injection Method

TRESZKAI Marcell PhD hallgató<sup>1</sup>, Feszty Dániel egyetemi docens<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, H-9026 Győr, Egyetem tér 1., treszkai.marcell.ferenc@ga.sze.hu, jft.sze.hu

<sup>2</sup> Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, H-9026 Győr, Egyetem tér 1., feszty.daniel@sze.hu, jft.sze.hu

### Kivonat

*A vibroakusztikai szimulációk legfontosabb bemenő paramétere a csillapítási veszteség tényező (DLF). Jelen munka egy kis csillapítás értékkel rendelkező lemez DLF mérését mutatja be a középfrekvencia tartományban (400-1000 Hz). A teszteset egy 650 x 550 x 2 mm-es acél lemez volt, amin impulzus gerjesztés volt alkalmazva. A csillapítási értékek Bevitt Teljesítmény Módszerrel (Power Injection Method) kerültek meghatározásra. Az eredmények Statisztikai Energia Analízis (SEA) szimulációban lettek felhasználva, majd a szimuláció és a mérés került összehasonlításra. A szimuláció jó egyezést mutatott a méréssel, a legnagyobb eltérés csupán 1,6 dB adódott.*

**Kulcsszavak:** csillapítási veszteség tényező, rezgésmérés, Bevitt Teljesítmény Módszer, Statisztikai Energia Analízis

### Abstract

*In NVH (Noise, Vibration, Harshness) simulations one of the most important parameter is the Damping Loss Factor (DLF). This paper presents a methodology for measuring the DLF of a slightly damped plate in the mid-frequency range (400-1000 Hz) by the Power Injection Method (PIM). The considered case was a steel rectangular flat plate with the size of 650 x 550 x 2 mm, and impact excitation was applied on it. The calculated DLF values were used in Statistical Energy Analysis (SEA) simulation and the results were compared to the experiment. The results showed that the simulation had good agreement with the measurement, the maximum difference was only 1.6 dB.*

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az iparban a pontosabb szimulációs eljárásokra egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek, hiszen ezzel időt és pénzt lehet megspórolni. A pontos rezgéstani szimulációk alapja a pontos csillapítási tényező, amely meghatározására különböző lehetőségek vannak. Meghatározhatóak adattáblázatból, szimulációs szoftverek adatbázisából, vagy mérésből. A legpontosabb csillapítási veszteség tényezőt (DLF), egy adott szerkezetnek mérésből lehet meghatározni. Különböző mérési eljárások állnak rendelkezésre, amelyekből a csillapítás meghatározható, ezek közül a három legelterjedtebb: a) Bevitt Teljesítmény Módszer (PIM), b) Fél Teljesítményszint Módszer (HPBM), c) Lecsengési Idő Mérés Módszer (DRM) [1]. Mindegyik módszernek megvannak a korlátai, így a mérés elején fontos megvizsgálni, hogy melyik eljárás a legkézenfekvőbb az adott teszt esetre.

A Statisztikai Energia Analízis (SEA) szimuláció közép és magas frekvenciás rezgések megjósolására lett kifejlesztve, ahol már a rendszert nem globális, hanem lokális módusok jellemzik, így statisztikailag jól modellezhetőek. A szimulációs metódus, a Bevitt Teljesítmény Módszerén alapul, és összetett alkatrészek esetén energia egyensúlyi egyenletekkel számol. Az SEA fő egyenletét mutatja, egy alrendszer esetén a következő egyenlet [1]:

$$\Pi_{in} = \omega E \eta, \quad (1)$$

ahol  $\Pi_{in}$  a rendszerbe bevitt teljesítmény,  $\omega$  a körfrekvencia,  $E$  a kinetikus energiája az alrendszernek és  $\eta$  a csillapítási veszteség tényezője az alrendszernek. Ahogy az 1. Egyenlet mutatja a szimulációs eredményt közvetlenül befolyásolja a DLF értéke, így a pontos meghatározása elengedhetetlen szempont a pontos szimuláció eléréséhez.

## 2. MÉRÉSI ELV

Jelen munka a Bevitt Teljesítmény Módszerrel határozza meg a csillapítási veszteség tényező értékét, rezgéstani mérésből. A DLF megkapható az 1. egyenlet átrendezésével a következők szerint:

$$\eta = \frac{\Pi_{in}}{\omega E}. \quad (2)$$

A bevitt teljesítmény számításához szükség van a gerjesztéspontban mért erőre és sebességre, ebben az esetben a lemez ütéspontjának a túoldalán volt mérve a gyorsulás jel, amely aztán a vezető pont mobilitását (angolul: driving point mobility) adta meg. A bevitt teljesítmény a következő egyenletek által lett meghatározva a mérés során [2]:

$$\Pi_{in} = F^2 \operatorname{Re}\{Y(\omega)\}, \quad (3)$$

$$Y(\omega) = \frac{v}{F}, \quad (4)$$

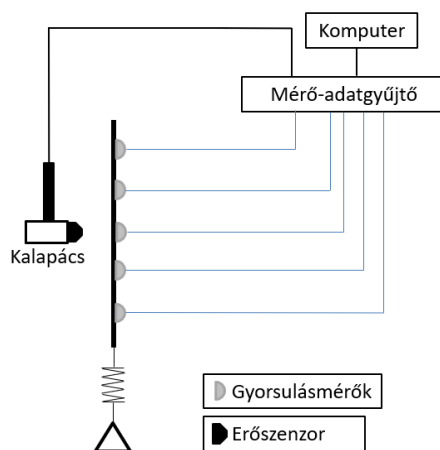
ahol  $F$  a bevitt erő,  $\operatorname{Re}\{Y(\omega)\}$  a gerjesztési pont mobilitásának a valós része, a körfrekvencia függvényében,  $v$  a gerjesztéspont sebessége. A szerkezet kinetikus energiájának a meghatározásához a következő összefüggésre volt szükség [2]:

$$E = m \langle v^2 \rangle, \quad (5)$$

ahol  $m$  az alrendszer tömege,  $\langle v^2 \rangle$  a sebességválaszok négyzetes közepének a négyzete.

## 3. MÉRÉS ÖSSZEÁLLÍTÁS

A vizsgált alkatrész egy 650 x 550 x 2 mm-es acéllemez volt. A vizsgálati tartomány a középfrekvencia tartománya volt (400 – 1000 Hz), mivel ennek a zónának a szimulációs megoldására több kutatás is fókuszál, valamint cél volt, az SEA korlátosságának a vizsgálata ebben a frekvenciasávban [3]. A mérés összeállítás sematikus ábráját az 1. ábra mutatja.



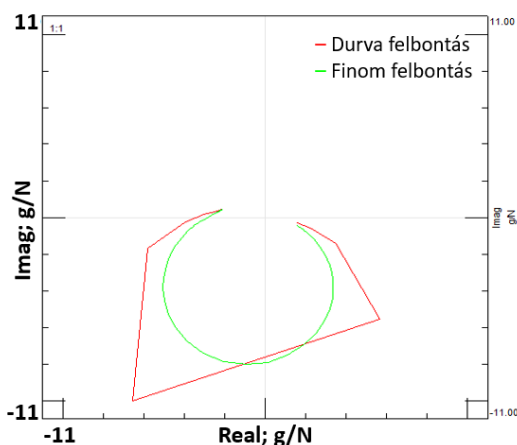
1. ábra A mérési összeállítás sematikus ábrája

Annak érdekében, hogy pontos DLF értéket kapjunk, elméletben az összes módus gerjesztésére szükség van, azért, hogy ez a feltétel minél inkább teljesüljön és az ebből adódó mérési hiba csökkenjen, 5 gerjesztéspont volt használva, amelyek véletlenszerűen lettek elhelyezve a lemezen [1][4]. Minden gerjesztés esetén 5 válaszpon volt vizsgálva, egy a gerjesztés helyén, a többi négy véletlenszerűen

eloszlatva a lemezen. A lemez szabadrezgése (free-free boundary condition) rugalmas gumikötél segítségével volt biztosítva. A gerjesztés impulzus kalapáccsal történt (PCB 086C03) kemény, műanyagfejjel, míg a válaszjelek mérése nagyon könnyű, 1,5 gramm/szenzorral történt, ezek ICP típusú (B&K, 4519-003) gyorsulásmérők voltak. A frekvencia felbontás helyes beállítása kulcsfontosságú, különösen egy alacsony csillapítású lemez esetén, amelyet a következőképpen lehet meghatározni [1]:

$$N > \frac{20}{\eta}, \quad (6)$$

ahol  $N$  a szükséges mintavételi pontok számát adja meg,  $\eta$  a lemez csillapítási veszteség tényező értéke. A vizsgált esetben a minimálisan szükséges mintavételi pontok száma 25 000 volt, míg a vizsgálat során 32 000 volt alkalmazva, így a kapott frekvencia felbontás 0,039 Hz-re adódott. Annak érdekében, hogy a szükséges frekvencia felbontás helyessége igazolva legyen, a frekvencia válasz függvények (FRF) Niquist – diagrammja volt megvizsgálva. A 2. ábra mutatja a megfelelő frekvencia felbontást és a nem megfelelőt.



2. ábra FRF görbék Niquist-diagramja. Zöld görbe: megfelelő frekvencia felbontás: 0,039 Hz.  
Piros görbe: nem megfelelő frekvencia felbontás: 0,39 Hz

#### 4. EREDMÉNYEK

Az Bevitt Teljesítmény Módszerrel meghatározott csillapítási veszteség tényezők, SEA szimulációban lettek alkalmazva, majd az így kapott szimulációs eredmény a méréssel lett összevetve. A kapott csillapítási értékeket a 3. ábra szemlélteti.

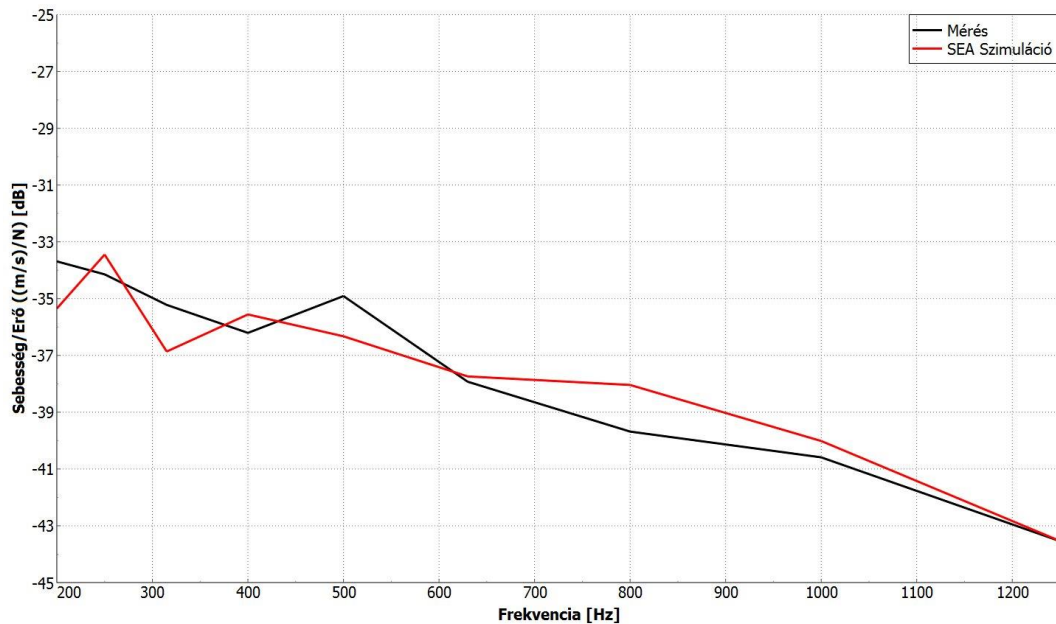
Közép frekvencia	DLF érték
200	0,001157944
250	0,000556251
315	0,000996452
400	0,000585369
500	0,000560941
630	0,000614952
800	0,000503939
1000	0,000677838
1250	0,001155583

3. ábra A középfrekvenciákhoz tartozó csillapítási veszteség tényezők értéke

Habár az SEA metódus elsősorban magas frekvenciás rezgésekre és lemezszerkezetek szimulálásra a legalkalmasabb, így nagy modális sűrűséget feltételez, amelyet a vizsgált alkatrész, a vizsgált frekvencia-tartományban nem biztosít. Emiatt, megállapítható, hogy az alacsony modális sűrűség miatt, a lemez nem ideális SEA alrendszer, a középfrekvencia tartományban.

A szimuláció ESI VA One szoftverrel volt elkészítve, amely során egységnyi gerjesztési erő volt definiálva és a mérés által meghatározott csillapítási veszteség tényezők voltak alkalmazva. Minden egyéb paraméter a valós geometriával egyenértékűen lett meghatározva, úgymint: anyag, méret, tömeg.

A mérés eredménye a sebességválaszok négyzetes közepéből lett meghatározva, ezután a görbe terc átlaga lett számítva. A mérés és a szimulációs eredménynek összehasonlítását a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra Szimuláció és mérés sebesség/erő eredménye

Ahogy látható az eredményből, a szimuláció jól közelíti a mérés eredményét, tehát a csillapítási tényezők megfelelően pontosak, hogy alkalmazhatóak legyenek. A legnagyobb eltérés a vizsgált tartományban, 1,6 dB, amely egy ilyen extrém alacsony csillapítási tényezőjű lemeznél nem tekinthető jelentősnek. Jól megfigyelhető, hogy a frekvencia növekedésével a szimuláció egyre jobban közelíti a mérést, a céltartomány felett (1250 Hz) a szimuláció eredménye megegyezik a mérés értékével.

## 5. KONKLÚZIÓK

Ahogy a példa mutatja, a jól beállított mérésösszeállítás és mérési paraméterek lehetővé teszik a megfelelően pontos csillapítási veszteség tényező meghatározását. Az 5 gerjesztési pont, valamint a 20 válaszpontra elegendőnek bizonyult, hogy a bevitt teljesítmény módszerrel reprezentatív csillapítási értéket lehessen meghatározni a lemezre. Habár, a szerkezet nem tökéletes SEA alrendszer a vizsgált frekvencia-tartományban, az eredmények azt mutatják, hogy módszer alkalmazható akár 200 Hz-től.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munkát az EFOP 3.6.1-16-2016-00017 sz. pályázat támogatta („Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen”).

## FELHASZNÁLT SZAKIRODALMI FORRÁSOK

- [1] R. H. Lyon, R. G. DeJong, Theory and Application of Statistical Energy Analysis, Butterworth-Heinemann, Second Edition, (1995) pp.: 153-166
- [2] MECAS ESI Group, VA One Users' Guide, (2018)
- [3] W. Desmet, et. al, "MID-FREQUENCY"-CAE Methodologies for Mid-Frequency Analysis in Vibration and Acoustics, Katholieke Universiteit Leuven-Faculty of Engineering (2012) pp. 233-262
- [4] D. Sipos, D. Feszty, Development of a Procedure for the Validation of Statistical Energy Analysis Simulations, Acta Technica Jaurinensis, 12(4), pp. 335-346. (2019) doi: 10.14513/actatechjaur.v12.n4.512.