

BURKOLATOK, FALAK HANGGÁTLÁSA MEGHATÁROZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A TERVEZÉSI FÁZISBAN

PREDICTION OF THE TRANSMISSION LOSS OF COVERS AND WALLS

Dr. Jálcs Károly PhD*

ABSTRACT.

The low noise level in the passenger compartment is crucial for the comfort of a passenger train. The noise generated by the wheel-rail contact is transmitted to the passenger compartment to a large extent through the vehicle floor. Therefore, the sound insulation of the floor is essential.

The purpose of this article is to present a method with measurement validated results that can be used in the preliminary design of sound insulation of machine covers, considering the weight of each element, as required by the customer. This method is based on measurement data for individual components of cover structures and determines the sound insulation of the entire structure. Of course, the method is applicable not only to railway vehicle, but also for machine covers and it is also well applicable in the architectural design.

1. BEVEZETÉS

Egy személyszállító vagon megfelelő utazási komfortja érdekében az utastér alacsony zajszintje döntő jelentőségű. A kerék-sín kapcsolat által keltett zaj jelentős részben a jármű padlózatán keresztül továbbítódik az utastérbe. Ezért a padlózat megfelelő zajszigetelése alapvető fontosságú.

Jelen cikk célja egy olyan módszer bemutatása méréssel validált eredményekkel, amely felhasználható a padlózat hangszigetelésének előzetes tervezésekor, figyelembe véve az egyes elemek tömegét, a megrendelői igényei szerint. Ez a módszer a padlószerkezetek egyes alkotóelemeinek mérési adatain alapul, és ebből határozható a teljes szerkezet hanggátlása. A módszer természetesen nemcsak vasúti járművek padlózatára alkalmazható, hanem gépek és berendezések burkolatának tervezésekor, vagy akár az építészeti tervezésen belül is.

2. A HANGGÁTLÁS ÉS MÉRÉSE

A hanggátlás (jele: R , az angolszász nyelvterületen a Transmission Loss (TL) használata terjedt el) a műszaki akusztika egyik legalapvetőbb mennyiségei közé tartozik. Megmutatja, hogy egy falra beeső akusztikus energia (intenzitás) hányad része jut át a falon. A számítási összefüggést az 1.sz. egyenlet tartalmazza,

$$R = 10 \lg \frac{W_{bs}}{W_{atv}} = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (1)$$

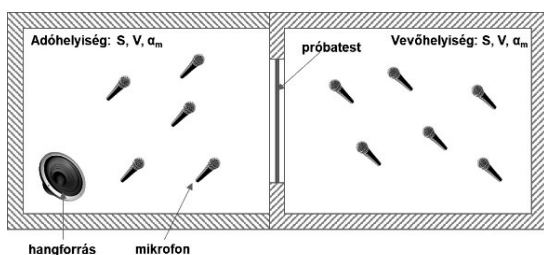
ahol R a hanggátlás, W_{atv} a falon átjutó energiahányad, W_{bs} a falra beeső energiahányad, τ az átvezetési tényező.

Meghatározása azonban általában méréssel történik, amely eljárás szabványosított, a mérés pontos leírását az EN ISO 10140 számú szabványsorozat tartalmazza. Elegendő csak annyit leírni erről, hogy két közel hasonló térfogatú, kis átlagos hangelnyelési tényezőjű terem ($\alpha < 0,1$) közötti, nagy hanggátlású falban elhelyezkedő nyílásba elhelyezett próbatest (lemez) hanggátlását lehet meghatározni. Ehhez az adó –és vevőhelyiségbe mikrofonokat kell elhelyezni, valamint az adóhelyiségben egy gömbkarakterisztikájú hangszórót, amely biztosítja a hangtér diffúzitását. A hanggátlás végeredményben a két helyiségben mért átlagos hangnyomásszintek különbségéből és egy a vevőhelyiségre vonatkozó korrekciós tényezőből számítható. A mérés elvi elrendezését az 1. ábra tartalmazza. A hanggátlás meghatározására szolgáló összefüggés:

$$R = \bar{L}_A - \bar{L}_V + 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{A_{\theta q}} \right) \quad (2)$$

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

ahol L_A az átlagos hangnyomásszint az adó helyiségben, L_V az átlagos hangnyomásszint a vevő helyiségben. S a vevő helyiség felülete és A_{eq} a vevő helyiség egyenértékű elnyelési felülete.



1. ábra: A hanggátlás mérésének elvi elrendezése

3. A HANGGÁTLÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Sokszor azonban nincs lehetőség a mérés elvégezni, különösen akkor, ha a tervezési folyamat elején egy előzetes tervet kell készíteni a még nem létező adott szerkezeti elem valószínűsíthető hanggátlására vonatkozóan. Ekkor olyan eljárásra van szükség, amely jó közelítéssel megadja a hanggátlás mértékét. Egy szerkezeti elem hanggátlását sok jellemző határozza meg:

- az anyag tulajdonságai: rugalmassági modulus, sűrűség, vastagság, csillapítási tulajdonságok,
- falszerkezet: egy vagy több héjú falak,
- a gerjesztés: a gerjesztés fajtája, a különböző hangbeesési szögek, frekvencia
- geometria: a falak és a terek méretei, a rögzítések, az illesztés típusa.

Egyhéjú falak, lemezek: A Berger-féle tömegtvény szolgál az egyhéjú, homogén, végtelen kiterjedésű falak hanggátlásának hozzávetőleges meghatározására (3. sz. egyenlet [1]), amely figyelembe veszi a fal területére vonatkoztatott tömegét, a hanghullámok beesési szögét, a levegő sűrűségét és a hangsebességet.

$$R = 10 \log \left(1 + \left(\frac{\omega m c \sin \Theta}{2 \rho c} \right)^2 \right) \quad (3)$$

ahol ω a körfrekvencia, m a lemez felületegységre vonatkoztatott tömege, Θ a beesési szög, ρ a levegő sűrűsége és c a hang terjedési sebessége levegőben.

A Berger – féle tömegtvény azt állítja, hogy a frekvencia vagy tömeg megkétszereződése, például egy kétszeres vastagságú fal használatával, 6dB-vel növeli a hanggátlást. Ezen kívül függ a hang beesési szögétől is: ferde hangbeesésnél a hanggátlás alacsonyabb, a merőleges hangbeesésnél a legnagyobb. Ezenkívül olyan matematikai

összefüggések is származtathatók, amelyek figyelembe veszik a fal hajlítási merevségét is.

Többhéjú falak, lemezek: Mint már említettük, amikor a fal tömege megkétszereződik, a hanggátlás 6dB-vel növekszik. Ha nagy hanggátlást kívánunk elérni, miközben szeretnénk fajlagos tömeget és ezáltal anyagköltségeket, megtakarítani akkor két- vagy többhéjú konstrukcióra térhetünk át könnyebb anyagok alkalmazásával.

Egy héj vastagsága: A lemezvastagság határozza meg az alkatrész alaptömegét és hajlítási merevségét. Ezek a tulajdonságok befolyásolják a komponens sajátfrekvenciáit, amelyek nélkülözhetetlenek a hanggátlás kiszámításához. A számításához szükséges egyenletekből látható, hogy a sajátfrekvenciák hajlamosak növekedni a lemez vastagságának növekedésével. Más szavakkal: minél vastagabb a lemez, annál nagyobb a lemez sajátfrekvenciája (ugyanabból az anyagból készült lemezek esetén).

Meg kell jegyezni, hogy a vizsgált komponensek hanggátlása vastagság növekedésével növekszik a teljes frekvenciatartományban. A hanggátlás növekedésének mértéke alacsony frekvenciákon (az első sajátfrekvencia alatt) és magas frekvenciákon (az első sajátfrekvencia felett) különbözik, mivel a hangszigetelést e két frekvenciatartományban különböző mechanizmusok befolyásolják. Az első sajátfrekvencia alatt a hangszigetelést a lemez hajlítási merevsége, az utolsó saját frekvencia felett pedig a fajlagos tömeg határozza meg.

4. A VIZSGÁLT PRÓBATESTEK

A vizsgálatokhoz 4-féle téglalap alakú, 1240x1480mm méretű fa rétegelt lemezt használtam, melyek néhány jellemzője az 1.sz táblázatban található.

1. táblázat A lemezek néhány fizikai jellemzője

Sorsz.	Megnevezés	vtg. [mm]	tömeg [kg/m ²]
1.	fa rétegelt lemez	18	11,98
2.		21	14,71
3.		24	16,34
4.		27	18,09

5. MÉRÉSEK

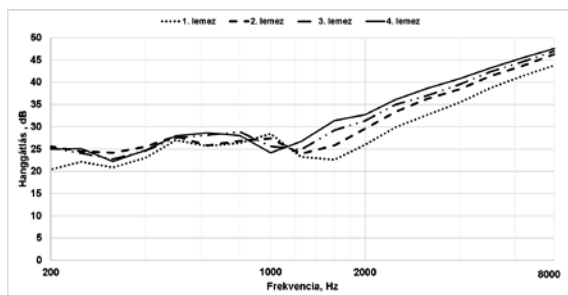
A lemezek hanggátlásának mérését az EN ISO 10140 szabvány alapján végeztem, melynek elvét a 2. fejezet leírja.

A mérés körülményeihez még meg kell említeni, hogy a méréseket egy olyan laborban végeztem el, ahol a helyiségek térfogatából (65 m³) adódó alsó határfrekvencia 200 Hz-re adódik. Az alsó határfrekvencia a következő tapasztalati összefüggéssel számítható:

$$f_{m, \text{in}} = \frac{c}{\sqrt[3]{V/g}} \quad (4)$$

ahol c a hang terjedési sebessége levegőben, V a vevőhelyiség térfogata. 200 Hz alatt nem elegendően diffúz a hangtér, tehát az ez alatti mérési eredményeket nem vettem figyelembe.

A mérés eredménye az 1-1 hanggátlás a frekvencia függvényében, amelyeket a 2. ábra mutat be. Látható a görbék közül, hogy kb. 1000 Hz-ig nem mérhető lényeges különbség a lemezek között, viszont 1000 Hz fölött a mért görbék szépen közelítik az elméletileg várható lefutásokat a Berger-féle tömegtvény alapján, tehát nagyobb fajlagos tömeg, nagyobb hanggátlás, valamint a kb. 6dB/oktáv emelkedést.



2. ábra: A rétegelt lemezek szabvány szerint mért hanggátlása

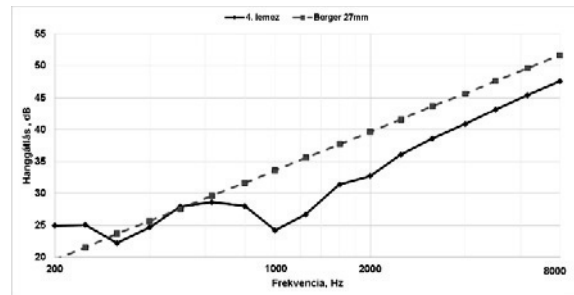
6. A HANGGÁTLÁS SZÁMÍTÁSA

Előfordulhat olyan eset is, amikor nem áll rendelkezésre mérési adat a beépíteni kívánt lemez hanggátlásával kapcsolatban. Ilyen eset lehet pl., ha előzetesen, a tervezési fázisban kell véleménymondani beépítendő szerkezeti elemek hanggátlásával kapcsolatban. Erre az esetre léteznek ugyan szimulációs módszerek, pl. a statisztikus energiafolyam analízis (Statistical Energy Analysis), amely segítségével akár többretegű, összetett falak hanggátlása is jó közelítéssel számítható [3]. Az ilyen szimulációs szoftverek azonban igen költségesek, nincs mindig mód ezek megvásárlására.

Szükség van tehát egy olyan számítási eljárásra, amely költséghatékonyan már ismert adatok pl. mérések, ill. egyéb adatok felhasználásával, lehetőleg széles frekvenciatartományon belül számítani tudja a kívánt vastagságú fal/lemez hanggátlását.

Amennyiben nem áll rendelkezésre korábbi mérési adat, hasonló szerkezetű falakra, burkolatokra vonatkozóan, akkor, ha legalább ismert a fal anyagának fajlagos tömege, alkalmazhatjuk a Berger-féle tömegtvényt (3. sz. egyenlet) a hanggátlás előzetes számításához. Kérdés tehát az, hogy ezzel az összefüggéssel számított hanggátlás

eleendő pontossággal közelíti-e a fal tényleges hanggátlását.



3. ábra: Mért (folytonos) és a Berger-féle tömegtvény alapján számolt (szaggatott) hanggátlások alakulása a 27mm vastag lemez esetén

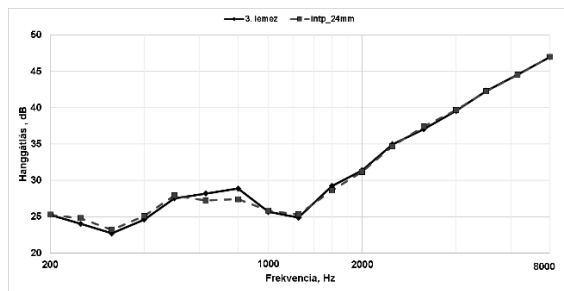
A 3. ábra mutatja a Berger-féle tömegtvény alkalmazását egy 27mm vastag $18,09 \text{ kg/m}^2$ fajlagos tömegű lemezre (1. táblázat 4. sorszámu lemez), összehasonlítva ugyanarra a lemezre vonatkozó mérési adattal. Látható, hogy a számítás jelentősen túlbecsüli a mérési eredményt az ún. tömeggel kormányzott frekvenciatartományban ($f > 1000 \text{ Hz}$). Ez alatt ugyan közelíti a mérési eredményeket, de ebben a frekvenciatartományban ez az egyezés csak véletlen, hiszen itt egészen más mechanizmus szabályozza a lemezek/falak hanggátlását, mégpedig az anyag belső rezgéscsillapítása.

Ha már rendelkezésre áll legalább két mérési adatsor egy-egy különböző vastagságú, de azonos anyagból készült lemezre/falra vonatkozóan, akkor lehetőség van a létező adatok inter- vagy extrapolációjára, közbenső, vagy kívül eső vastagságú lemezek/falak hanggátlásának meghatározására. A számításhoz rendelkezésre áll egy GNU/Octave (Matlab-ban is futtatható) rutin, amely segítségével megtörténik az inter-, ill. extrapoláció.

Példaként vizsgáljuk meg két létező mért hanggátlásból, egy 18 mm és egy 27 mm vastag rétegelt lemez esetén, a közbenső vastagságú, interpolált 24mm vastagságú rétegelt lemez hanggátlását. Az Octave „interp1” függvényét alkalmazva lineáris interpolációt figyelembe véve kiszámíthatjuk a kérdéses lemez hanggátlását. A számítás eredményét mutatja a 4. ábra összehasonlítva a 24 mm vastag lemezre elvégzett méréssel összehasonlítva.

Az ábrából leolvasható, hogy az interpolált számítási eredmény nagyon jól közelíti a mérési eredményt, 1000 Hz-ig észrevehető némi eltérés (helyenként az eltérés $< 1,5 \text{ dB}$), 1000 Hz fölött gyakorlatilag egyezik az interpolált és mért görbe. Kijelenthető tehát, hogy már korábbi mérési eredményekből kielégítő pontossággal tudjuk számítani egy adott vastagságú lemez hanggátlását. Az alkalmazott interpoláció fajtája, lineáris vagy pl. köbös, alig befolyásolja az eredményt, a maximális

eltérés kisebb, mint 0,5 dB, de csak 1000 Hz alatti frekvenciatartományban.

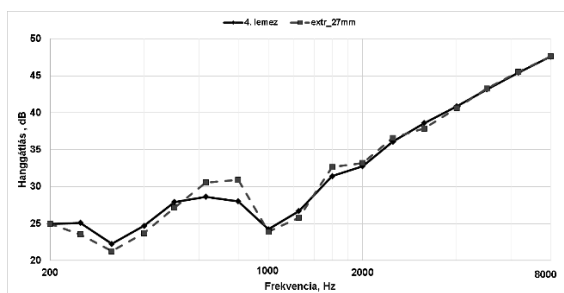


4. ábra: Mért (folytonos) és interpolált (szaggatott) hanggátlások alakulása a 24mm vastag lemez esetén

Következő példaként vizsgáljuk azt a már említett esetet, amikor a meghatározni kívánt lemez vastagsága (és ezzel együtt a felületegységre vetített tömege) kívül esik a már ismert lemezek hasonló adatain. A példában a már ismert 18, 21 és 24 mm vastagságú lemezek mérési adatait használjuk fel a 27 mm vastag lemez hanggátlásának extrapolációjához. A számításhoz szintén rendelkezésre áll egy GNU/Octave (ill. Matlab) rutin az „interp1” függvénnyel, amely az „extrap” kapcsolóval végzi a számításokat.

Az 5. ábrából látható, hogy az extrapoláció is megfelelő pontossággal közelíti a lemez mérési eredményét. A tömeggel kormányzott frekvenciatartományban a pontosság jobb (az eltérés maximum 0,8 dB), mint az az alatti tartományban, ahol az anyagcsillapításnak van szerepe. Itt az eltérés eléri a 3 dB-t. Az alkalmazott extrapolációs eljárás fajtája, lineáris, vagy köbös, nem befolyásolja jelentősen a végeredményt.

Levonható tehát az a következtetés, hogy az extrapolációval is megfelelő minőségű előrejelzés adható egy lemez hanggátlásával kapcsolatban, feltéve, hogy már rendelkezésre állnak mérési adatok.



5. ábra: Mért (folytonos) és extrapolált (szaggatott) hanggátlások alakulása a 27mm vastag lemez esetén

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Bemutattam, hogy amennyiben ismertek már korábbi mérési adatok lemezek hanggátlásával

kapcsolatban, az interpoláció, vagy az extrapoláció segítségével kielégítő pontossággal lehet az eltérő vastagságú lemez vagy burkolat hanggátlását meghatározni. A tömeggel kormányzott frekvenciatartományban az eltérés 1 dB alatti, ami kellő pontosságú előrejelzést tesz lehetővé a tervezett fal vagy burkolat hanggátlásával kapcsolatban. Ezzel szemben a Berger – féle tömegtörvénnyel számított hanggátlás kb. 5dB eltérést mutat a mért értékhez képest, ami csak tájékoztató jellegű előrejelzést adhat.

Jelen tanulmányban csak négyfajta azonos típusú (rétegelt) lemezre mutattam be az eljárást. Rendelkezésemre áll azonban még más felépítésű, szendvics szerkezetű lemezekre vonatkozó mérési adatok is. Egy további tanulmányban ezekre vonatkozóan is be kívánom mutatni az itt bemutatott eljárás hatékonyságát.

8. IRODALOM

- [1] Kováts A., Zaj- és rezgésvédelem, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1995
- [2] [2] Reisz., F: Az épületakusztika alapjai, Terc Kiadó, Budapest, 2003
- [3] Jálícs K: Az akusztikai szimuláció statisztikai módszerei, Gép, 2016/5-6
- [4] Möser, M.: Technische Akustik, Springer Verlag, Berlin, 2005

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatallódó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.