

1. részfeladat

A helyszíni hangelnyelés mérésének kidolgozása, eszközhátterének megteremtése és alkalmazási útmutató kidolgozása

A zajárnyékoló falak élettartama a típustól függően 10 - 15, esetleg 20 év. A zajárnyékoló falak felújítása egyrészt akusztikai, másrészt esztétikai kérdés. A közelmúltban lépett hatályba Magyarországon az MSZ EN 14389-1:2009 sz. Közúti zajcsökkentő berendezések - hosszú távú tartósság vizsgálati módszerek c. szabvány, amely a zajárnyékoló falak hosszú távú tartósság vizsgálatára ad előírásokat.

A zajárnyékoló falak paramétereire, tartósságának vizsgálatára vonatkozik a szabvány, amely alapján megállapítható, hogy a falszerkezet akusztikai paramétereit megfelelnek-e az elvárásoknak, vagy a fal akusztikai tulajdonságai leromlottak-e és a szerkezet cseréire szorul.

E szabvány a falszerkezet gyártók részére irányelveket fogalmaz meg a zajárnyékoló falak akusztikai tulajdonságainak elvárható időtartamára. A szabvány szerint a zajárnyékoló szerkezetek akusztikai paramétereit – helyszíni akusztikai minősítéssel – rendszeresen ellenőrizni kell. Az ellenőrzési vizsgálatok periódusideje a felállítást követő 5, 10, 15 vagy 20 év használat után javasolt, feltételezve, hogy a szerkezet karbantartása megfelel a gyártó által előírtaknak. A zajárnyékoló fal állapotának ellenőrzése részben fizikai vizsgálattal (az állapot ellenőrzése) részben a CEN/TS 1793-5:2003 (E) számú (Közúti zajcsökkentő berendezések - vizsgálati módszerek az akusztikai követelmények meghatározására - 5. rész: termékspecifikus jellemzők - a hangelnyelés és a léghanggátlás helyszíni mérés értékei) szabvány szerint kell végrehajtani.

A fenti európai szabvány szerint végezett vizsgálatban a hangelnyelést a DL_{R1} hangvisszaverődési értékben, a léghanggátlást a DL_{S1} léghanggátlási értékben kell megadni egyszámadatos formában. Ez Magyarországon nem lett honosítva és alkalmazására nincs is semmiféle gyakorlat, nem került még sosem alkalmazásra.

A külföldi szakirodalom szerint a vizsgálati módszer nem egyértelmű, a mérési eljárás kivitelezésére alkalmas mérőrendszer nincs bemutatva, ezért a szabvány alkalmazása több problémát vetett fel. Ezért is indítottak 2011-ben egy európai uniós kutatást (Quiesst munkabizottság) a módszer alkalmazhatóságának vizsgálatára.

Eddig a zajárnyékoló falak helyszíni akusztikai vizsgálata során a falak beiktatási vesztesége került mérésre az MSZ 13-121-2 szabvány szerint. E mérési szabvány kikötéseket tartalmaz, amelyek ha nem teljesülnek, a mérés nem végezhető el. Így például kell, hogy legyen referencia hely, illetve nem végezhető el a mérés abban az esetben, ha a zajárnyékoló fal mögött egyéb, nem kiiktatható zajforrás van. További problémája a szabványnak, hogy nem tartalmaz értékelési kritériumot. A MAUT Tervezési Útmutató 28. keskeny közúti zajárnyékoló falak (e-ÚT 03.07.46) c. kiadványban van csak a beiktatási veszteség értékelésére vonatkozó előírás.

Az eddigiekben felsoroltak miatt szükségesnek tartjuk a fenti előírások gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálatát, illetve az időközben megjelent 6. rész, ill. a Quiesst bizottság által javasolt eljárás alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatát is.

A zajárnyékoló falak akusztikai adatai eddig csak laboratóriumi vizsgálatok alapján lettek megállapítva, minősítve. Szükséges tehát azt megvizsgálni, hogy a laboratóriumi vizsgálatok és a helyszíni vizsgálatok milyen kapcsolatban állnak egymással.

A következőkben javasoljuk a zajárnyékoló falak MSZ EN 14389-1 sz. szabvány előírásai szerinti felülvizsgálatát és ezzel egy olyan új vizsgálati módszer hazai kidolgozását, amely a zajárnyékoló falak élettartam vizsgálatában jelentős előremutatásként ékelhető. Ezzel az innovatív módszerrel a hazai zajárnyékoló falak

hosszútávú akusztikai viselkedésének bemutatása szakszerű alapokat nyer, és így a gyártók kötelezhetőek a szerződésekben vállalt garanciális hibák kijavítására.

Megjegyezendő, hogy a falak helyszíni akusztikai vizsgálata és a burkolatok helyszíni hangelnyelés vizsgálata hasonló módszerrel történik. Az elv azonos. A továbbiakban kísérleti jelleggel javasoljuk a mérőrendszer kidolgozását, működtetését és helyszíni vizsgálatok tapasztalatai alapján dönteni az alkalmazásáról.

2013-ban jelent meg a MAUT Tervezési Útmutató 28. keskeny közúti zajárnyékoló falak (e-ÚT 03.07.46) c. kiadvány 5.1. pontja írja, hogy a zajárnyékoló fal akusztikai tulajdonságainak időbeli változását az MSZ EN 14389-1 sz. szabvány alapján kell meghatározni. Megjegyzésben szerepel, hogy az MSZ EN 14389-1 sz. szabványban előírt vizsgálat Magyarországon nem lett honosítva, és alkalmazására nincs semmiféle gyakorlat. A szabvány szerinti módszer kidolgozása kutatási szinten van. Ez is azt bizonyítja, hogy az európai előírások szerinti módszer kidolgozása rendkívül szükséges.

A témaművelés során:

- Bemutatjuk a rendelkezésre álló mérési módszereket, előírásokat azok alkalmazhatóságát, problémáit.
- Irodalmi adatok alapján is elemezzük a mérési módszerek alkalmazhatóságát.
- Megismertetjük a közelmúltban lefolytatott bemutatott előírások alkalmazhatóságát vizsgáló európai uniós kutatás eredményét, és egyéb vizsgálatokat.
- Kidolgozunk egy helyszíni minősítő vizsgálati módszert.
- Kísérleti méréseket végzünk.
- A mérési eredmények alapján értékeljük a kidolgozott vizsgálati módszert.
- Javaslatokat állítunk össze a további fejlesztési irányokra.

A helyszíni vizsgálati eljárásokat egyrészt a zajárnyékoló falak tartóssági ellenőrzésére, másrészt a laboratóriumban nem vizsgálható zajárnyékoló

szerkezetek akusztikai jellemzőinek meghatározására fejlesztették ki. Az alábbi három előírás/tervezet került kidolgozásra:

1. CEN/TS 1793-4:2003 (E) Közlekedési zajcsökkentő eszközök – Akusztikai tulajdonság meghatározásának módszere - 4. rész: Tényleges jellemzők – A hangelhajlás helyszíni meghatározása
2. CEN/TS 1793-5:2003 (E) Közlekedési zajcsökkentő eszközök - Akusztikai tulajdonság meghatározásának módszere - 5. rész: A hangvisszaverés és a hanggátlás helyszíni értékeinek meghatározása
3. EN 1793-6:2012 Közlekedési zajcsökkentő eszközök - Akusztikai tulajdonság meghatározásának módszere - 6. rész: A léhanggátlás helyszíni értéke

Kutatási jelentésünkben részletesen kifejtettük a fenti szabványokkal kapcsolatos tudnivalókat, azok alkalmazhatóságát.

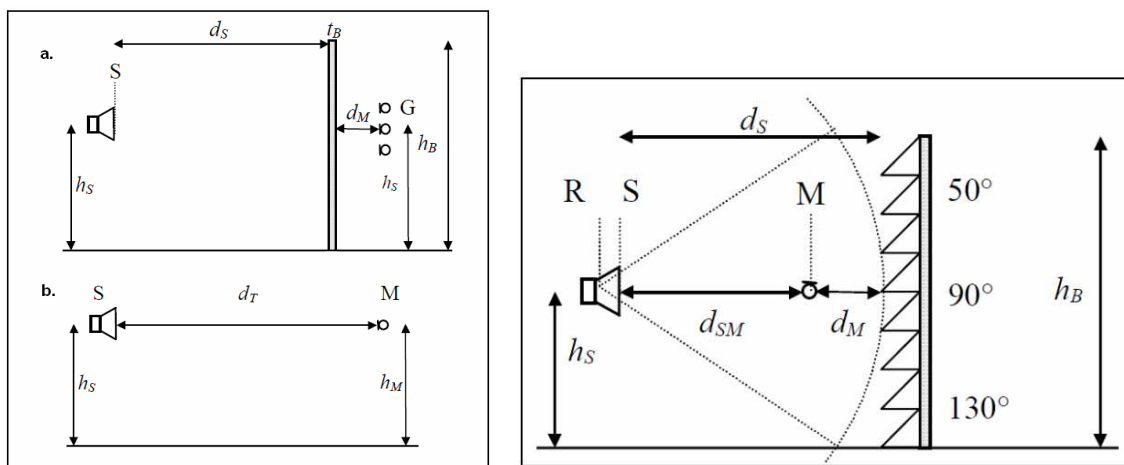
Zajárnyékoló falak helyszíni minősítéséhez javasolt mérési módszer

A mérési módszer a hangkártya, a hangsugárzó és a mikrofon szinkronizált működtetését követeli meg. Hosszas kutatás, hivatkozott kutatók személyes megkeresése, széleskörű piackutatás után arra a következtetésre jutottunk, hogy a fenti mérési módszer kivitelezéséhez a Dirac nevű programot és hozzátartozó hangkártyát alkalmazunk. Direkt helyszíni hangelnyelés mérésre alkalmas program kereskedelmi forgalomban nem kapható. Egyedül a beltéri akusztikai vizsgálatokhoz fejlesztett, hordozható számítógépre telepíthető Dirac programot találtuk alkalmasnak arra, hogy a méréseket elvégezzük. A mérés megkövetel egy olyan számítógépet, amely kezelni tudja a méréshez szükséges Adrienne-időkaput, tartalmazza a hangkártyát, és rögzíti a mérési eredményeket.

A Dirac program a Brüel&Kjaer cég által forgalmazott program, amely megfelelő típusú hangkártya és egy számítógép segítségével alkalmas a helyszíni hanggátlási és hangvisszaverődési jellemzők mérésére, a szükséges mérési funkciók

vezérlésére, a mérési adatok tárolására és utólagos feldolgozására. A mérések eredményeként rögzített mintafüggvényt és a mért eredményeket mutatjuk be ebben a fejezetben.

A B&K Dirac program - amely eredetileg teremakusztikai jellemzők mérésére lett kifejlesztve - alkalmas a zajárnyékoló falak helyszíni hangelnyelési fokának meghatározására az impulzus-válasz függvény mérésének segítségével. A program lehetővé teszi, hogy a mérési eredményekből időkapuzás segítségével kizárjuk a nem a méréstől eredő időfüggvényt (zajt), így megkapván a ténylegesen mért impulzus-válasz függvényt.



Hanggátlás és reflexió index mérése - mérési elrendezés

A mérési eredményből a program kiszámítja, és táblázatba foglalja az eredményeket, amelyek tartalmazzák a mért RI hanggátlási és a hangelnyelési fok (α_i) értékeket a frekvencia függvényében. A mért impulzusválasz függvény a kapuzott gerjesztő és válaszfüggvény időfüggvénye.



A Dirac program kezelőfelülete a mérés impulzus-válasz függvényével és az időablakkal

A teljes mérési összeállítás fél automatikus vezérlését a DIRAC programot futtató számítógép végzi és a rendszer a mérési eredményeket a számítógép memóriájában tárolja RI (reflexiós index), Q_w (reflexiós tényező), és α_i (elnyelési fok) értékeként, frekvenciasávok szerint. Ez a mérési rendszer hordozhatóságának és relatív egyszerű kezelésének következtében alkalmas a zajárnyékoló falak akusztikai minősítésére a felállítási helyszínen, így lehetővé teszi a zajárnyékoló falak helyszíni minősítését a bemutatott előírások által előírt mérési módszerrel. Ezzel az eljárással megvalósíthatók a CEN/TS 1793-5:2003, EN 1793-6:2012 előírások, illetve a QUIESST módszer szerinti helyszíni minősítő vizsgálatok periodikus elvégzése az MSZ EN 14389-1:2008 számú szabványban javasolt periodicitással, így megadható a falak akusztikai tulajdonságainak változása a használati idő függvényében. A rendszeres vizsgálat eredményei alapján követhető az akusztikai tulajdonságok változása és meghatározható a falak akusztikai élettartama, valamint a falszerkezet cseréjének szükséges időpontja.

A javasolt mérési módszerrel elvégzett vizsgálatok és értékelésük

A mérések során használt eszközök és műszerek bemutatása:

Zajszintmérő

SVANTEK gyártmányú, Svan959 típusú, digitális, első pontossági osztályú zaj- és rezgésmérő és értékelő műszer. Az eszköz alkalmas általános akusztikai- és rezgésmérések elvégzésére, környezeti monitoring rendszer üzemeltetésére és munkahelyi egészségvédelmi ellenőrzések elvégzésére. A műszerben három akusztikai vagy vibrációs profil áll rendelkezésre párhuzamos mérések elvégzésére, amelyekhez több típusú független szűrő áll rendelkezésre. Minden egyes profilban számos mérési eredmény mentésére és értékelésére van lehetőség. Az időjárási körülményeknek tág határokon belül ellenálló, robusztus, új generációs kézi műszer.

Erősítő

QSC gyártmányú, GX3 típusú professzionális két csatornás audio erősítő.

Hangszóró

Community gyártmányú, R.5 - 99X típusú kétutas, teljes frekvenciatartományt (90 Hz-16 kHz) lefedő, magas minőségű hang vagy zene generálására képes hangszóró, amely az időjárási körülményeknek széles skálájának ellenáll.

Mikrofon

G.R.A.S. gyártmányú, 40AE típusú nagy pontosságú, elektrolit technológiával készült mikrofon, amely megfelel az IEC 61094-4-es akusztikai követelményeknek, és lefedi a 3,15 Hz - 20 kHz közötti frekvenciatartományt.

Előerősítő

SVANTEK gyártmányú, SV12L típusú, az IEC 1094-es mikrofonokról szóló szabvány követelményeinek megfelelő előerősítő. A Svan94X típusú műszereknek szánt előerősítő masszív rozsdamentes acél tokkal és kerámia elektronikus betéttel készült a maximális teljesítmény érdekében.

Hangkártya

Brüel & Kjaer gyártmányú, ZE-0770-A-001 típusú hangkártya a Dirac működtetéséhez.

Szoftver

Brüel & Kjaer által forgalmazott, Dirac típusú szoftver, amely alkalmas a helyszíni hanggátlási és hangvisszaverődési jellemzők mérésére, a szükséges mérési funkciók vezérlésére, a mérési adatok tárolására és utólagos feldolgozására.

9 pozíciós mikrofonállvány

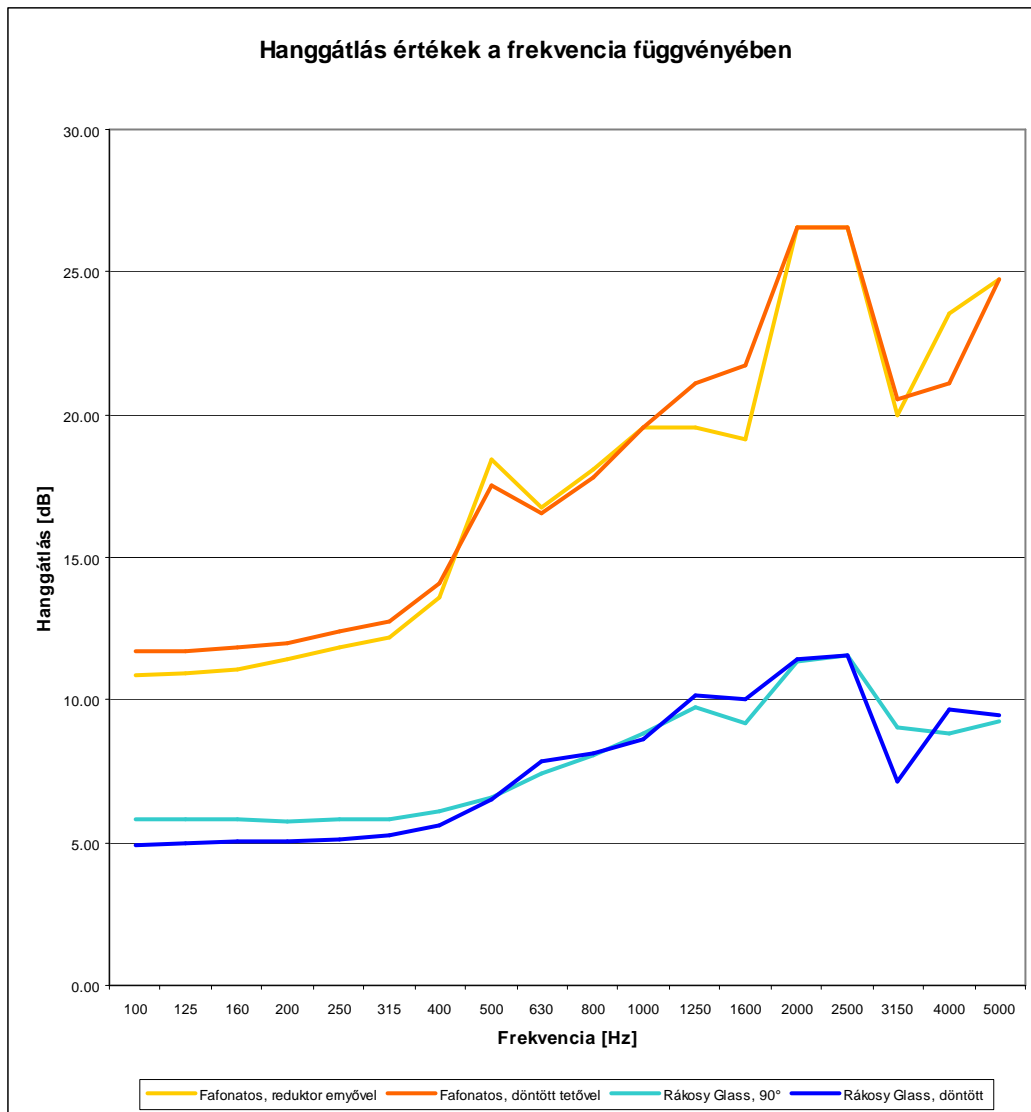
A szabványos mérések elvégzéséhez szükséges mikrofonállásokat biztosítani képes, 9 pozíciós állvány.

Ennek a méréssorozatnak az elvégzéséhez az erősítő, a hangszórt és a 9 pozíciós mikrofonállvány a kutatási munka költségkeretéből kerültek beszerzésre. A Dirac szoftvert és a hangkártyát béreltük a vizsgálat elvégzésének időtartamára.

Méréseink során három zajárnyékoló fal típusnak, egy rezonátorelemnek, valamint két felszínborításnak az akusztikai tulajdonságait vizsgáltuk meg, az eredményeinket a továbbiakban bemutatjuk:

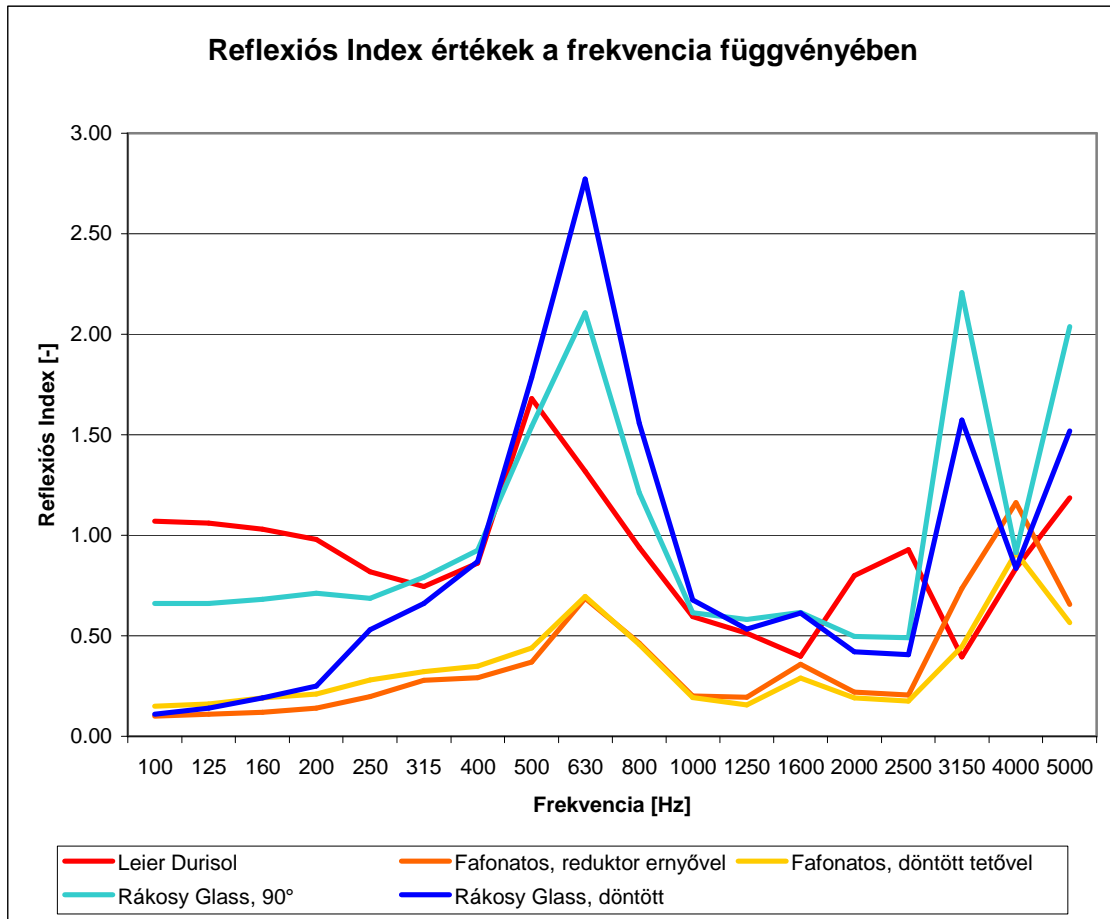
Hanggátlás mérési eredményeink összefoglalása

Zajvédő fal	SI [-]	DL _{SI} [dB]
Fafonatos, reduktor ernyővel	0,03	17,4
Fafonatos, döntött tetővel	0,03	17,8
Rákosy Glass, 90°	0,18	8,2
Rákosy Glass, döntött	0,20	8,1



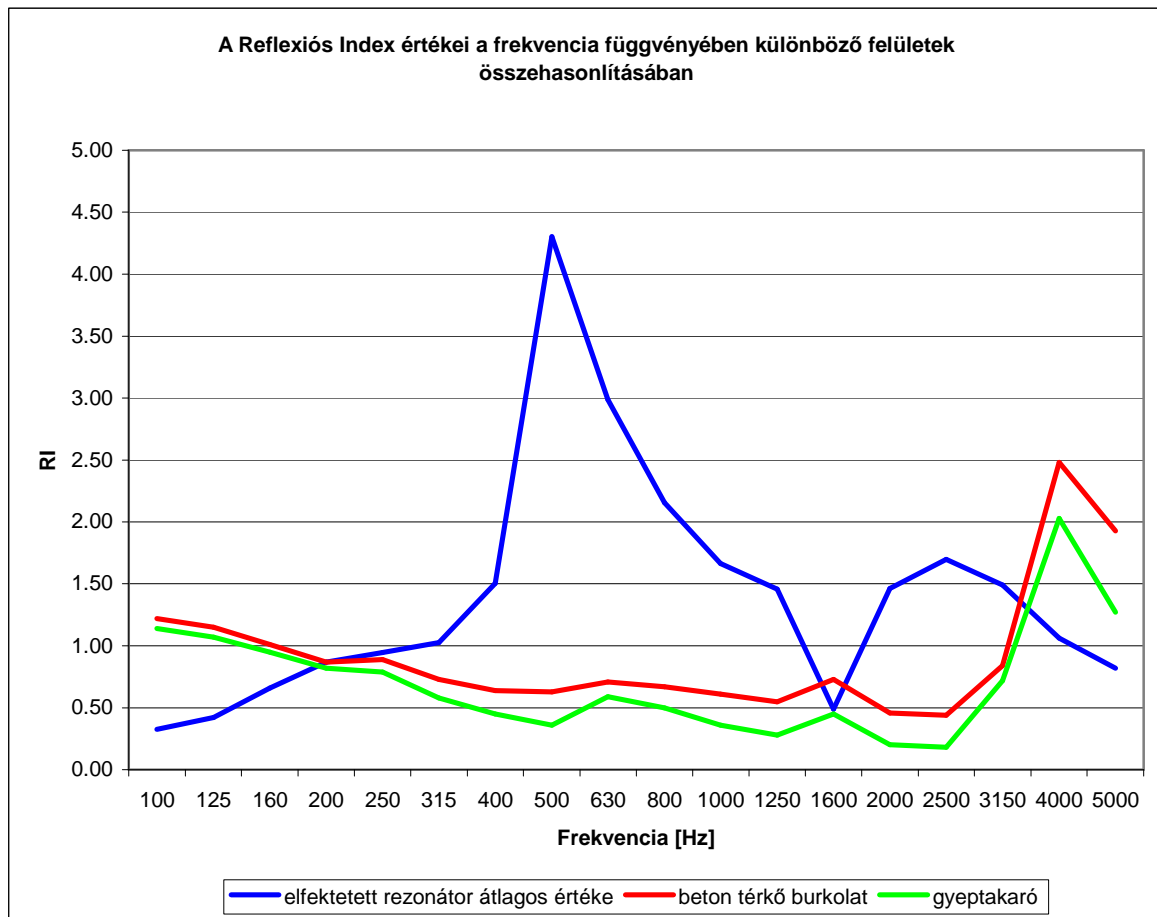
A reflexiós index mérési eredményeink összefoglalása

Zajvédő fal	RI [-]	DL _{RI} [dB]
Leier Durisol kerítés	0,90	0,9
Fafonatos, reduktor ernyővel	0,36	4,5
Fafonatos, döntött tetővel	0,34	4,8
Rákosy Glass, 90°	1,00	0,2
Rákosy Glass, döntött	0,86	0,0



A különböző felületek reflexiós indexének mérési eredményeinek

Felület	RI [-]	DL _{RI} [dB]
Beton térkő burkolat	0,92	1,5
Gyeptakaró	0,71	3,2
Elfektetett rezonátor átlagos értéke	1,41	-2,4



Megállapításaink

Az elvégzett vizsgálatok alapján kimondható, hogy az alkalmazott mérési, értékelési eszközökkel a zajárnyékoló falak helyszíni minősítése elvégezhető. A vizsgálatok elvégzésénél azonban több tényezőre is figyelemmel kell lenni. A legfontosabb, hogy a vizsgálandó zajárnyékoló falaknak - ahhoz, hogy a valóságosnak megfelelő értékeket kapjunk - el kell érniük egy minimális magasságot, illetve szélességet. Ezek a szabványban foglalt előírások szerint 4 m-es magasság, illetve ugyanekkor szélesség (ez utóbbi 6 m, ha oszlopot is tartalmazó szakaszt vizsgálunk). Ha a magassági feltételek nem teljesülnek, akkor a hanghullámok könnyebben megkerülik az akadályt, az hangelhajlás jelensége még jobban befolyásolja majd az eredményeinket, reflexiómérés esetében a felső szögállások alkalmazásakor mért értékek nem vehetőek figyelembe, mivel a mikrofon túlnyúlik az akadály tetején, az alacsony szögállások esetében pedig a talajról érkező parazitareflexiók lesznek a legfőbb mérést zavaró tényezők. Megjegyzendő, hogy hivatkozott külföldi kutatási

eredményekben 5,35 m-es falmagasságot említene, ami minimálisan szükséges, ha helyes eredményeket szeretnénk kapni, de zavaró hatások kizárásának érdekében a 7 m-es, vagy annál nagyobb magasság volna ideális. Rendkívül fontos tényező a mikrofon-hangszóró egységnek a pontos összeszerelése. Már néhány milliméteres tévesztés is szignifikáns különbséget okozhat a mérési eredményeink értékelésekor. Gondoljunk csak bele, hogy például a reflexiós index értékelésekor - ahol az akadályról visszavert hanghullámot vizsgáljuk - a hang útja az összeállítási pontatlanságból fakadóan mekkora változásokat szenvedhet el, megnehezítvén az időablak pontos alkalmazhatóságát. Figyelembe kell venni az időjárás hatásokat is. Amennyiben a mérésnek nem célja az időjárás vagy környezeti körülményeknek a fal hangelnyelési tulajdonságaira gyakorolt hatásának megállapítása, a mérések csak akkor végezhetőek el, ha a fal felülete száraz. Ha a falfelület nedvességtartalma nagyobb 8 százaléknál, a mérés addig nem végezhető el, amíg a pórusok ki nem száradnak. A vizsgálandó zajárnyékoló fal felületi hőmérsékletének a mérés során 0-70 °C közé kell esnie. A szél sebessége a mikrofon közelében a mérés alatt nem lépheti túl az 5 m/s értéket. A környező levegő hőmérsékletének a mérés alatt 0-40 °C közé kell esnie. Az időjárás körülmények nem csak a zajárnyékoló falak állapota miatt fontosak. Mindenképpen szem előtt kell tartani a zajmérő műszerek meteorológiai körülményekre vonatkozó előírás szerinti üzemeltetését is

További feladatok

A kutatási téma során kidolgoztunk egy európai irányelveken alapuló, de részleteiben nem publikált zajárnyékoló fal minősítési, hangelnyelés helyszíni mérési módszert. A módszerrel az újabb fejlesztésű, laboratóriumban nem mérhető szerkezetek akusztikai jellemzői is megállapíthatók, minősíthetők. Az ilyen szerkezetek eddigi vizsgálata egyedi, nem minősített módszerekkel történt, így az eredmények sem voltak általánosíthatók, tervezési módszerben alkalmazhatóak. A módszer nemcsak a közúti, hanem a vasúti zajárnyékoló falak vizsgálatánál is alkalmazható lesz, annál is inkább, mert az ismertett közúti zajárnyékoló falak vizsgálatához hasonló vasúti zajárnyékoló falak vizsgálatára vonatkozó eljárások az európai szabványosításban éppen most kerültek/kerülnek kidolgozásra.

A zajárnyékoló falak MSZ EN 14389-1 sz. szabvány előírásai szerinti felülvizsgálata a kidolgozott új vizsgálati módszerrel végrehajtható. Ez a vizsgálat a zajárnyékoló falak élettartam vizsgálatában jelentős előremutatásként értékelhető. Ezzel az innovatív módszerrel a hazai zajárnyékoló falak hosszútávú akusztikai viselkedésének bemutatása szakszerű alapokat nyer, és így a gyártók kötelezhetők a szerződésekben vállalt garanciális hibák kijavítására. Javaslatunk, hogy az MSZ EN 14389-1 számú szabványban az EN 1793-6:2012 számú, „Akusztikai tulajdonság meghatározásának módszere - 6. rész: A léghanggátlás helyszíni értéke” című szabvány rendelkezései legyenek előírva, mivel a nemzetközi előírásokban is ez lépett hatályba.

A módszer megteremtésével egy fennálló szakmai, műszaki hiányosság került megoldásra. A közelmúltban megjelent műszaki előírás MAUT Tervezési Útmutató 28. keskeny közúti zajárnyékoló falak (e-ÚT 03.07.46) c. előírásban nem írhatták elő az európai uniós vizsgálati módszert, mert hazai alkalmazásukra még nem volt példa, így csak jelezték létezésüket. A kutatás eredményeként létrejött módszerrel már végre lehet hajtani az európai szabványok szerinti vizsgálatokat. Ez is azt bizonyítja, hogy az európai előírások szerinti módszer kidolgozása rendkívüli jelentőséggel bír.

A módszerrel nemcsak a zajárnyékoló falak, hanem az útburkolatok akusztikai jellemzői is vizsgálhatók. Ezzel a módszerrel az útburkolatok zajcsökkentő hatásának tervezéséhez szükséges adatok állapíthatók meg. Ez az adat ugyancsak bizonytalanságokat eredményező tervezési hiányosság volt.

A 10-12 évvel ezelőtt épült zajárnyékoló falak a megnövekedett forgalom miatt több helyen már nem töltik be szerepüket. Az újabb fejlesztések eredményeként különböző kiegészítő elemekkel (behajlítás, cső, T idom, stb.) növelhető a zajcsökkentő hatás. Mint vizsgálataink is mutatják a kidolgozott módszerrel ezen szerkezetek akusztikai jellemzői is megállapíthatók, amely adat ugyancsak hézgapótló információt ad a tervezők számára.

A módszer Magyarországon teljesen ismeretlen, így a fő feladat a módszer megismertetése, hazai gyakorlatba való beépítése, tender előírásokban való

megjelentetése. A módszer szakmával való megismertetést az OPAKFI 2013. évi szemináriumán már megkezdtek „Új formai kialakítású zajárnyékoló falak a meglévő falak hatékonyságának javítására” című előadásunk bemutatásával. A továbbiakban konferenciákon, publikációkban kívánjuk a módszert megismertetni.