

„Mission Impossible” Akusztikai tervezés

A Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem központi épületének rekonstrukciója során a műemléki szempontok minden tekintetben elsőbbséget élveztek. A meglévő funkciók minőségének és az épület állagának javításán túl a korábbi, elsősorban oktatási létesítményből több helyszínes koncertzenei központot kellett létrehozni.

Bevezetés

Az akusztika alatt legtöbbször a hangversenytermek teremakusztikai viszonyait értik. Az akusztikai tervezés azonban sokkal több-rétű dolog. A Zeneakadémia rekonstrukciós terveinek építészeti akusztikai területét az alábbiakban osztottuk részterületekre:

- zaj- és rezgésvédelem
- előadóterem pódiumának és nézőterek padozatának tervezése.

Az Akadémia megújulásával a zenei kultúra, oktatás és hangversenyélet számára korszerű körülményeket biztosít úgy, hogy a műemléki értékek megmaradtak.

Mit is jelentett ez a megkötöttség az akusztikus tervezők számára?

Egy új koncertzenei központ tervezésénél jól bevált alapelvek mentén haladva viszonylag egyértelmű az akusztikai tervezési feladat. A műszaki kötöttségek nélkül megválasztott épületszerkezetek, elrendezések, formák, felületek, anyagok sokat segítenek az alapvető célok elérésében. Ezek többek között a zaj- és rezgésvédelemben a párhuzamos funkciók kölcsönös zavartalanságának biztosítása, a környezeti hatások minimalizálása dilatációkkal és nagy tömegű szerkezetekkel, a zajos üzemi funkciók távol tartásával. Teremakusztikában a termék formájának, arányainak, az alkalmazott burkolatok típusainak és szerkezetének megválasztása. A pódiumok és padozatok felépítésének és szerkezetének megtervezése.

Általában egy rekonstrukció esetében is keresni kell a lehetőséget, hogy ezek az alapelvek érvényesüljenek. A Zeneakadémia központi épületében azonban több hangsúlyos szempont nehezítette a feladatot, ezért inkább azt kellett felmérni, hogy a korlátozó adottságok között mi az elérhető legjobb eredmény. A lehetőségeket és a felújítás előtti problémákat a rekonstrukciót megelőző mérések eredményei alapján lehetett megállapítani.

Zaj- és rezgésvédelem

Épületszerkezet, rezgésszigetelés

A meglévő épületszerkezet vegyesnek mondható, az ország első monolitbeton szerkeze-

tei és az akkori hagyományos, kiselemes falazóelemek és poroszszüveges födémelek alkotják. Ez alapvetően előnyös, mivel a főbb szerkezetek inhomogének és nagy tömegűek egyben.

Az új funkciók és a javítandó komfort érdekében új közönségforgalmi területekre (mosdók, büfék) és komoly gépészetre volt szükség. Ezek elhelyezésére az építészeti koncepció a Nagyterem fölött egy gépészeti híd építésével és a belső udvarok beépítésével válaszolt. Lényeges épületszerkezeti módosításra ugyanakkor nem volt lehetőség, így a megmaradó szerkezetek dilatációjára sem.

Az új udvari beépítéseknél végül arra törekedtünk, hogy az új födémlemez ne alkalmasan újabb kapcsolatokat a Nagyterem oldalfalaival, ezért ahol a statikai méretezés megengedte, ezek a födémelek a földszintől fölfelé rugalmas dilatációval készültek.

Az új teherlift rezgésvédelmi okokból az épületszerkezettől oldalirányban rugalmasan dilatált magba került, a megmaradó és az új személylift esetében viszont csak lokális rezgésszigetelésre volt lehetőség. Az egyéb gépészeti rezgésforrásokat (Kisterem fölött, Király utcai szárny fölött, gépészeti hídon) csak lokális, rezgésszigetelt gépalapokkal és úsztással tudtuk szigetelni.

Födémek

Különösen egybefüggő épületszerkezetek és komoly egyidejűség, fokozott közönségforgalom mellett volna egyértelmű a födémelek lépéshang elleni szerkezeti védelme úsztással. Erre a már leírt okok és a megmaradó szerkezetek korlátozott terhelhetősége, illetve megmaradó vagy pótlendő kemény burkolatai és kötött padlószintjei miatt csak a közönségforgalmi területek egy részén volt lehetőség.

A tanterem esetében numerikus módszerekkel komolyabb „mi lenne, ha” vizsgálatokat tudunk végezni, mert lehetőségünk volt új szerkezeteket beépíteni, természetesen ismét csak a meglévő poroszszüveges födém terhelhetőségének figyelembevételével. Végül azt a megoldást találtuk megfelelőnek, hogy a teljesen megtszítított tartószerkezetre

könnyűbetonos feltöltés és hagyományos úsztatás kombinációja került.

Falak

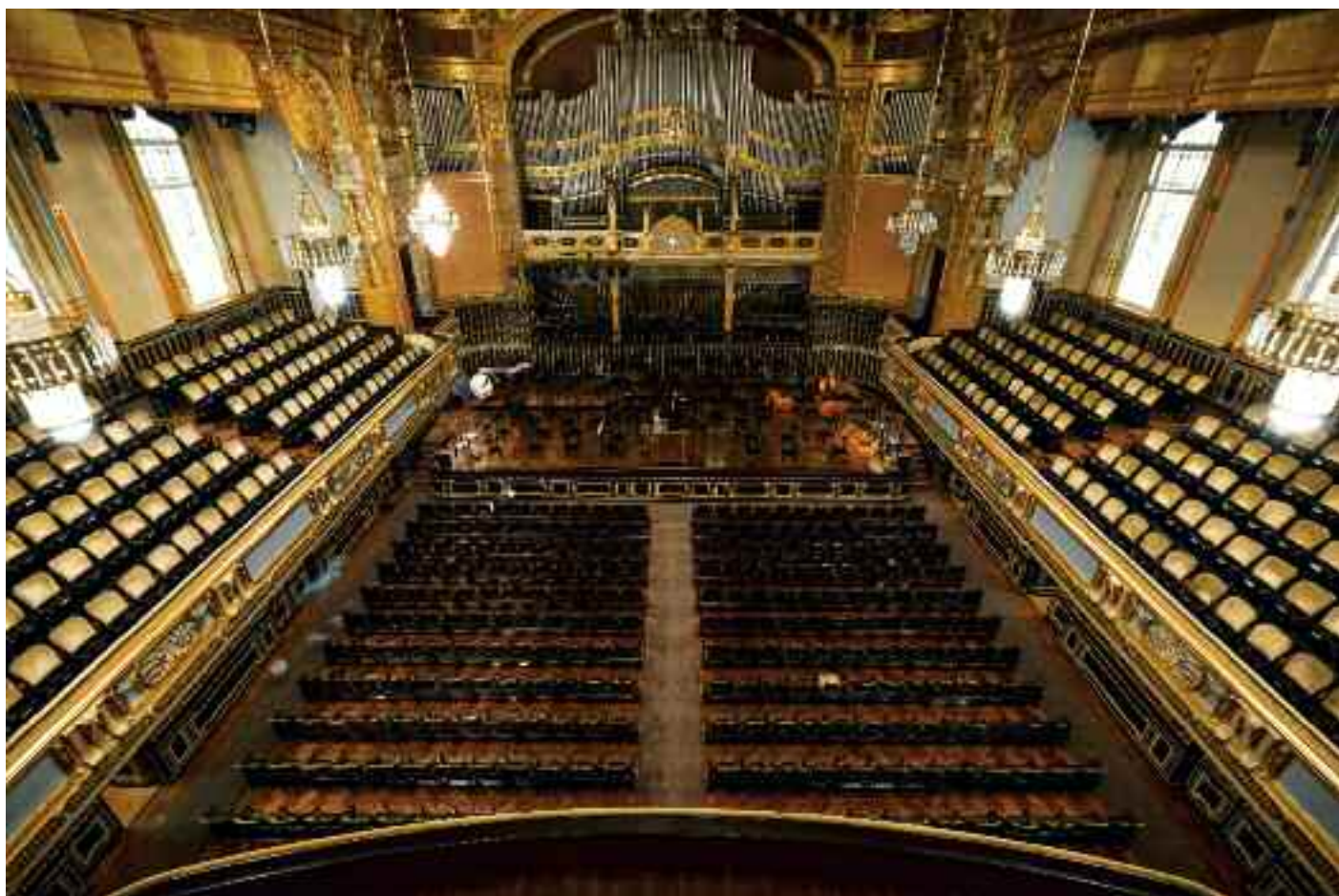
A legfontosabbnak tartott termek (Kisterem, Nagyterem, Kupolaterem) függőleges határolásait a rekonstrukció nem érinthette, ezért ezekben az esetekben a meglévő szerkezeti kialakítások korlátaival és lehetőségeivel kellett számolni. Az épületszerkezetnél leírt módon az újabb szerkezeteket – a statika kötöttségein belül – dilatációval igyekeztünk elválasztani.

A tanteremek közötti elválasztásoknál ugyanakkor lehetőségünk volt új falszerkezetek beépítésére. Ismét a födém terhelhetőségét szem előtt tartva szerelt, gipszkartonos válaszfalakat építettünk, amiket a tanteremek felől előtétfallal erősítettünk meg. Az előtétfalakat a meglévő homlokzati és a megmaradó téglafalak elé nem fordíthattuk be. A szerelt technológia ellenére néhány helyen szükséges volt a födém statikai megerősítése, amit a gipszkarton tartószerkezeti rétegében rejtettünk el.

Műszaki történeti szempontból itt kell megjegyezni, hogy a tanteremek között eredetileg is válaszfalakat építettek, az akkori technológiával, parafa téglákból. Terveinkben javasoltunk is legalább egy mintafelület megőrzését és kiállítását, mert az 1900-as évek elejéből a helyiségek közötti léghanggátlásra méretezett válaszfalokról nem hallottunk és nem is olvastunk azóta sem.

Nyílászárók

Nagyon komoly eredményeket vártunk a nyílászárók felújításától, mivel a meglévő homlokzati ablakok és a belső ajtók régi, mai szemmel hanggátlásra alkalmatlan szerkezetek voltak. Példaként hadd említsem a Nagyterem belső udvarra néző ablakait, a Kisterem Dohnányi utcára nyíló ablakait és a kemény felületekkel határolt zengő előcsarnokra hangszilip nélkül nyíló koncerttermi ajtókat... Ezek a „hogyan ne tervezzünk koncerttermet” tipikus, ugyanakkor műemléki okokból adottságnak tekintendő példái voltak. Az udvarok beépítésével a külső zajok ellen



Fotó: Hajdú József

ugyan a Nagyterem nagyobb védettséget élvezne elvileg, de a beépítéssel nyert terekben magasabb használati zajjal kell számolni.

További nehézséget jelentett a Nagyterem és Kisterem ablakainak műemléki jellege. A feladatot a műemléki szempontból nem érintett szárnyak és tokok cseréjével, illetve újabb, hanggátlásra minősített „ráüvegezésel” oldottuk meg.

Hasonló koncepcióval sikerült a tanterem homlokzati ablakainak hanggátlását javítani. Műemléki kötöttségek miatt csak a belső szárnyakat volt szabad hanggátlás szempontjából megerősíteni. Ez hőtechnikailag előnytelen kompromisszum, ugyanis hőszigetelt hanggátló réteg mögött a hőszigetetlen, de tömített műemléki szárnyakon kondenzáció keletkezhet.

Az ajtók esetében a legnagyobb kihívást természetesen a koncerttermek ajtóinak megerősítése jelentette, elsősorban a műemléki kötöttségek miatt. Nem volt elegendő ugyanis az eredetivel azonos megjelenés, az eredeti anyagok használata is kötelező volt. Hangszilipet építeni nem lehetett, így a megoldást az jelentette, hogy a meglévő ajtólapokat lapjával fel kellett szeletelni, és a két szelet közé egy új, hanggátlás szempontjából alkalmas magot kellett beépíteni. Így min-

den ajtó lényegében új fejlesztésnek is minősült.

Gépezet

Szinte lehetetlen küldetésnek számított a gépészeti problémák megoldása is. A megnövekedett komfortigény egyidejűség miatt nagyon jelentős, korszerű gépészeti eszközöket ugyan el lehetett helyezni az új padlásokon és a gépészeti hídon, de a megtartott szerkezeti adottságok mellett a légtechnikát a zajcsillapításhoz szükséges nagy keresztmetszettel és kis légssebességgel kellett elvezetni a helyiségekhez. Végső csapásként – természetesen műemléki okokból – a koncerttermekben a meglévő befúvó és elszívó nyílásokon keresztül kellett volna a nagyobb légmennyiséget igen alacsony zajszinttel megforgatni.

A konkrét megoldásokat nehéz egyszerűen leírni, ehhez a kulisszák mögé kell nézni. Ott látni a temérdek csillapított légcsatornát és hangcsillapítót. Az ágak, szelepek és vezérlés szabályozása hosszadalmas folyamat, és még ma is tart. A gondosságot szemléltetve érdemes említeni a Nagyterem aranyozott leveles motívumokkal takart megmaradó befúvórácsára készült külön szakvéleményt. Ez arról szól, hogy a nagyobb légmennyiség és légssebesség hatására sem kezdenek fűtőlüni a rések.

Ellenőrző mérések

A kivitelezést követő néhány mérési adatsor közlésével szemléltetjük az elért eredményeket.

Az 1. ábra a Nagyterem földszinti előcsarnoka, illetve a folyosó felől gerjesztett és a Nagyteremben mért hangnyomásszintek különbségét mutatja a rekonstrukciót megelőző felmérés és az ellenőrző mérések eredményei szerint.

A 2. ábra a Kisterem és a Nagyterem homlokzatai előtt és a Kisteremben illetve Nagyteremben mért hangnyomásszintek különbségét mutatja a rekonstrukció előtti felmérés és a rekonstrukciót követő ellenőrző mérés eredményei szerint.

A 3. ábra egy tanterem és a szomszédos tanterem (válaszfal), valamint a szomszédos előtér (ajtó) által biztosított hangnyomásszintkülönbséget mutatja a tanteremből kifelé, a rekonstrukció előtti és utáni állapotokban.

Teremakusztikai tervezés

A teremakusztikai tervezéskor szem előtt kellett tartani, hogy a műemléki értékek szerves részét képezi a hangversenyterem és a nagyobb oktatóterem hangzása is.

Miért is kell hangsúlyozni a hangzás műemléki mivoltát?

› Az 1907-ben, több mint száz esztendeje átadott épület nagyterme a már meglévő, 19. század második felében megépült kútúnó akusztikával rendelkező hangversenyterem sorát követte, átvéve ezen termeknél jól bevált formai és felületképzési módokat.¹ A Zeneakadémia épületét tervező Korb Flóris és Giergl Kálmán – mindketten Berlinben tanultak – még nem alkalmazták az akkor nagyon újnak mondható teremakusztikai tervezési el-

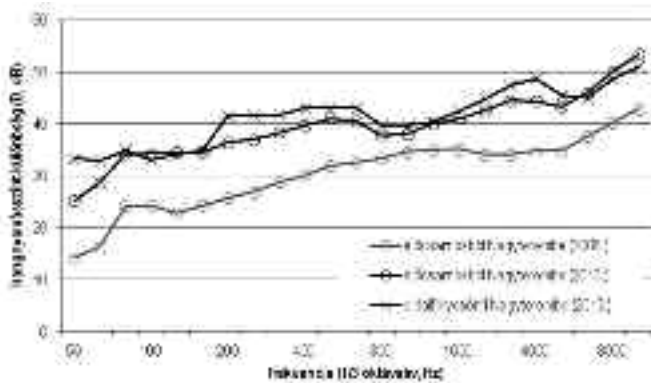
veket, de jól építettek az akusztikailag jó termekben bevált tapasztalatokra, különösen az 1884-ben épült Lipcsei Gewandhausra.

A rekonstrukció során a teremakusztikai tervezéskor természetesen nem csak az előadótermekkel kellett foglalkozni, hanem a Zeneakadémia gyakorló- és oktatói termekben is elsődleges feladat volt a megfelelő teremakusztikai viszonyok kialakítása.

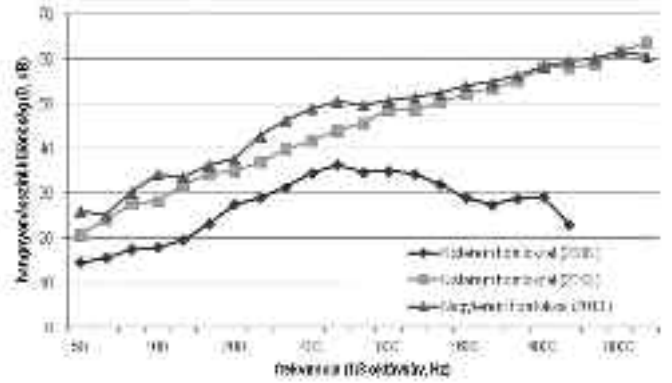
A belsőépítészeti cél mindenhol az eredeti

állapot visszaállítása volt. Ott azonban, ahol a korszerű akusztikai elvárásoknak megfelelően új burkolat került a termekbe, figyelembe kellett venni a meglévő, eredeti stílusjegyeket. Az anyaghasználatnak meg kellett felelnie annak a belsőépítészeti törekvésnek, miszerint ezek ne utánozzák a régi formákat, ugyanakkor minőséget jelenítsenek meg.

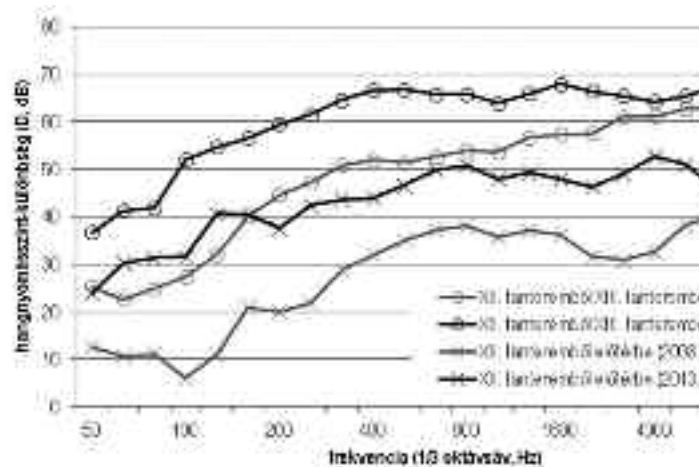
A teremakusztikai fejezetben most csak az épület lelkét képező Nagyteremmel foglalko-



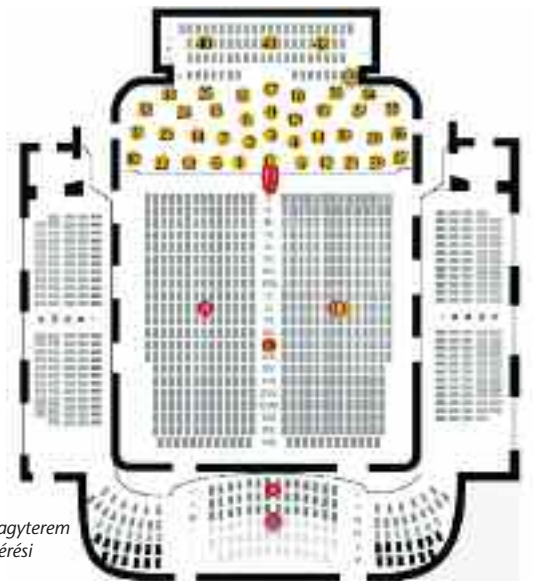
1. ábra: Nagyterem-ajtók léghanggátlása (felújítás előtt, felújítás után).



2. ábra: Ablakok léghanggátlása (Nagyterem, Kisterem).



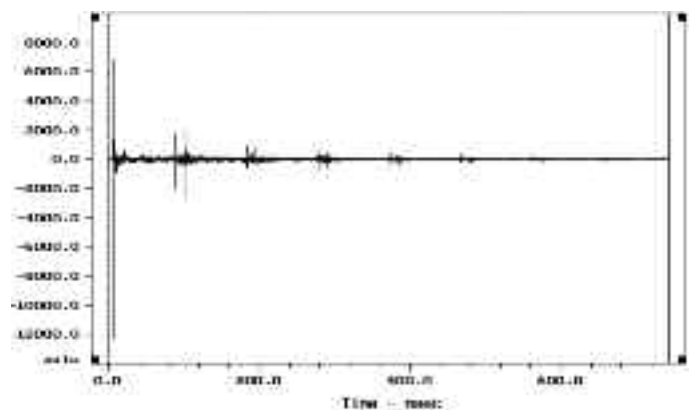
3. ábra: Léghanggátlás (tanterem között, valamint tanterem és előtér között).



4. ábra: A Nagyterem alaprajza, mérési elrendezés



5. ábra: A Nagyteremben mért utözengési idő rekonstrukció előtt és után



6. ábra: A Nagyterem tengelyében tapasztalható csörgővisszhang. Mért impulzusválasz (Fürjes Andor Tamás)

zunk. A rekonstrukciós tervek elkészítéséhez szakértői közreműködésre meghívtuk Larry Kirkegaard amerikai akusztikust, aki nagy tapasztalattal rendelkezik műemléki koncerttermek rekonstrukciós munkáiban. A tervek elkészítésében támaszkodtunk az általa kidolgozott javaslatokra is.

Elsődleges szempontok

Sok tényező együttes hatásától függ, hogy mitől jó egy hangversenyterem hangzása. A rekonstrukciót megelőző állapotban olyan teremakusztikai méréseket végeztünk, melyekből meg lehetett határozni azokat az objektív paramétereket, melyek jó egyezést

mutatnak a szubjektív ítélettel. Egyúttal azt is meg kellett határozni, hogy melyek azok a belsőépítészeti elemek, melyek közvetlenül vagy közvetve felelnek a már említett objektív paraméterek értékeiért.

A rekonstrukciót megelőző szubjektív ítéleteket összegezve elmondható, hogy a Nagytermet mind a zenészek, mind a zeneértő közönség nagyon szerette, sokszor csak „az imádott Zeneakadémia”-ként említve. A muzsikuskor egyöntetű kérése volt, hogy a terem hangzása ne változzon a rekonstrukcióval, ismerik a jó tulajdonságain túl a hibáit is, amivel együtt élnek, és már integrálták az előadói stílusukba is.

Az építészeti rekonstrukció alapját az archív képek és feltárások képezték. Ezekben nyomon lehetett követni a megváltozott elemeket, visszaállíthatók voltak a csillárok, függönyök és kárpitok is.

Vannak azonban olyan elemek, melyeket ki kellett cserélni, vagy fel kellett újítani, és akusztikailag fontos tényezőt jelentenek.

A mért objektív paraméterek, a tervezés kiinduló adatai

A rekonstrukció előtt részletes teremakusztikai mérések történtek. (4. ábra, mérési elrendezés)

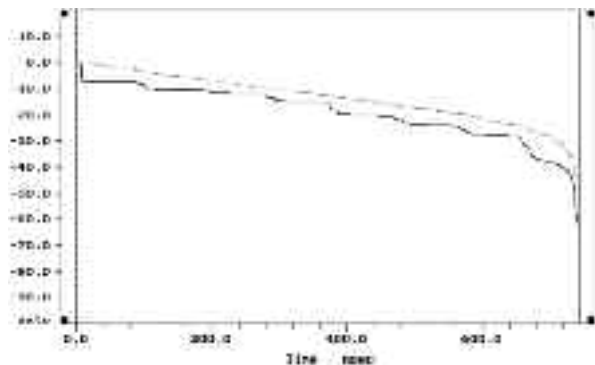
A meghatározott objektív akusztikai paraméterek közül a legfontosabbak:

- a mindig elsőként említett utózengési idő, aminek első lépésként a közepes értékre adnak előírást, de nagyon fontos ennek a frekvenciamenete is
- basszuskiemelés (BR): ami az akusztikai melegségre utal, az utózengési idő mélyfrekvenciás tartományban mért értékeiből számoljuk
- első időkésés retesz: ez az egyik legfontosabb paraméter. Ez az az idő, ami az oldalirányú reflexió érzésének ideje a direkt hanghoz képest. Ha ez az érték 20-30 msec alatt van, akkor tömör és egységes a hangzás, jó a teremérzet. Ha ez 70 msec fölött van, akkor már visszhangot hallunk. Ezt a paramétert az „akusztikai meghittség” mértékének tekintjük.
- említhetjük még a magashang-arányt (HR), ami a hang fényességét befolyásolja.

További mért paraméterek: hangtisztasági fok, hangenergia-eloszlás a termen belül, a diffuzitás, a zenekar együttes belső egyensúlya, egymás hallása.

Mérési eredmények

A rekonstrukció előtt a közepes utózengési idő értéke $T_m = 2,25$ sec volt, ami egy 9400 m³ térfogatú zenei célú teremben megfelelő. A rekonstrukció előtt és után mért utózengé-



7. ábra: A Nagyterem tengelyében tapasztalható csörgővisszhang detektálása a Schroder-lecsengésben. A lépcsőzetes lecsengést a terem tengelyében a „cs” pontból gerjesztve a hangforrás fölött fülmagasságban mértük. Az egyenes lecsengést a „0” pontból gerjesztve az „A” pontban rögzítettük (Fűrjes Andor Tamás)



8.a és b ábra: A nagytermi pódium támasztógerendázatának (a) és padlójának (b) eredeti szerkezete

› si idő az 5. ábrán látható. Az átépítés előtt mért utözengési idő frekvenciamenetéből az volt leolvasható, hogy a magas hangok tartományában a közepes értékhez képest erősen csökkent az utözengési idő, a magas-hang-arány az ideális értéknél jóval kisebb volt. ($HR = 0,67$ a kívánt 1-hez képest)

A mély hangok tartományában a mély-hang-arány összességében kicsit magasabb volt, mint az ideális ($BR = 1,4$), ugyanakkor a 63 Hz-es sávban volt egy beszakadás.

Az első időkézés retesz értékén nem tudunk (hiszen a terem formája adott volt) és nem is kellett változtatni. Ez az érték persze változó a teremben, de a közönségre az átlagérték 23 msec, ami nagyon jó.

A mért impulzusválaszokból a fent említett paramétereken túl vizsgáltuk a hangtisztasági fokot, a diffuzitást, az energia lecsengésének menetét is. Ezek az eredmények is azt mutatták, hogy a Zeneakadémia Nagyterme akusztikailag kiváló paraméterekkel rendelkezik és rendelkezik. Sajnos a végleges és részletes, teljes épületre vonatkozó teremakusztikai mérések még hátravannak. Ezek eredményeit analizáljuk és összevetjük a szubjektív ítéletekkel.

A teremben változó/változtatható elemek

A nézőtéri székek

A nézőtéri székek nagyon befolyásolják a terem akusztikai viselkedését. Általában az a cél, hogy olyan székeket válasszunk, amelyek megközelítik azt az elnyelési tulajdonságot, amit nézőkkel teli állapotban kapunk. Természetesen ilyen megoldás nincs, de lehet közelíteni hozzá. Itt a Nagyterem esetén akusztikailag a cél az eredeti állapot megtartása volt, miközben kényelmesebb székeket kellett választani. Az új, kényelmesebb székek beépítésével a nézőszám is változott. A rekonstrukció előtti állapotban a terem földszintjén 579 ülőhely volt, a rekonstrukcióval a székek száma 432-re változott. A belsőépítészeti tervek szerint nagyobb, kényelmesebb új székek a réginek megfelelő stílusban és formában készültek, olyan szerkezettel, ami lehetővé teszi a soronkénti eltolásukat és lesüllyesztésüket.

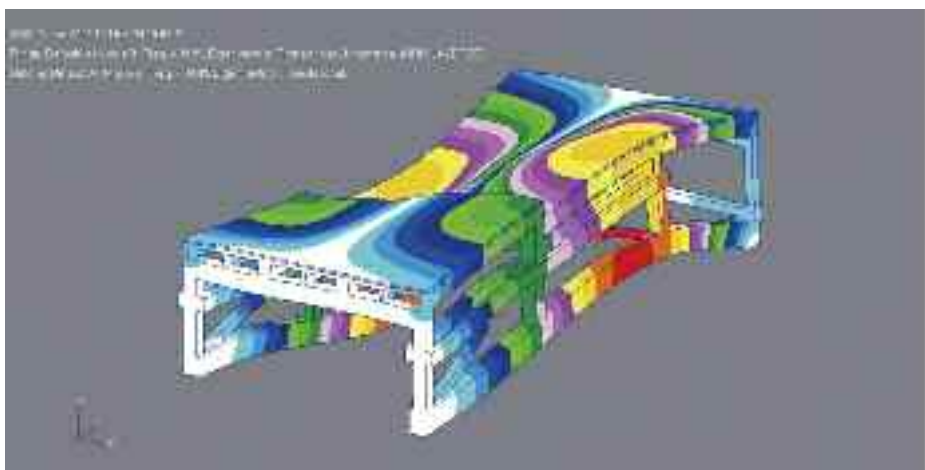
Ki kell emelni, hogy a székek kivitelezésénél olyan székeket kellett beépíteni, melyeknek az elnyelési tulajdonságai csak kismértékben térnek el az eredetitől.

A terem burkolata

Drapéria: A terem burkolata műemlékvédelmi okokból megjelenésében, anyagának minőségében nem változhatott, illetve vannak olyan anyagok, amelyek a korabeli állapot



9a és b ábra: A pódium padlószerkezetének vizsgálata (a) impulzusalapú méréssel történő mesterséges, ill. (b) nagybőgővel biztosított természetes gerjesztéssel.



10. ábra: A pódium vizsgált darabjának numerikusan meghatározott, 40 Hz-es saját rezgése. (A hasonló módusalak mért saját frekvenciája 53 Hz.)



11. ábra: Az új pódium padlójának betonoszlopokon történő rugalmas alátámasztása



12. ábra: Különféle rögzítésű parkettaminták rezgésakusztikai vizsgálata a Nagyterem nézőtérén



13. ábra: A nézőtérén és a pódiumon készült parkettázás szerkezete

visszaállítása érdekében újra beépítésre kerültek. A bontás során ezeket az anyagokat akusztikailag is megvizsgáltuk. Mivel a magashang-arány kicsit kicsi volt a teremben, meg kellett találni az optimális drapériamínőséget. Ugyanakkor az erkély szintjén a drapéria mögött volt egy 10-15 mm légrés, ami megnövelte a drapéria elnyelési fokát. Ezt a légrést a drapéria mögött megszüntettük.

Oldalfali panelek: az oldalfali panelek membránként működnek, vékony falemez, mögötte légrés. Ezek működése okozhatta részben a 63 Hz-es tartományban jelentkező beszakadást az utózengezési időben. A rekonstrukció során ezen membránfelületek egy részét kimerevítettük, ezzel lecsökkentettük a hangelnyelési tulajdonságának az intenzitását.

A Nagyterem megmaradó elemei

Egy terem akusztikai viselkedését nagyban meghatározza annak térfogata, formája, arányai. A Nagyterem alapformája téglatest, ami nagyon előnyös akusztikailag. A teremarányok is ideálisak. Van azonban egy érde-

kes jelenség: a csörgővisszhang, mely a terem tengelyében jelentkezik.

A jelenség oka az íves mennyezet. A Nagyteremben részletes akusztikai mérések készültek, és ez a jelenség mérhető. Az impulzusválaszban periodikusan megjelenő energiacsomag, valamint a lecsengésben jelentkező lépcsőzetesség mutatja a jelenséget (6–7. ábra).

A csörgővisszhang jelensége a teremben nem volt megszüntethető, hiszen megléte a terem fizikai kialakításából következik. A jelenség kezelésére született egy javaslat, nevezetesen, a pódium fölötti csillár „részeként” betervezett 3-4 m átmérőjű, átlátszó lap. Ez a színpadon a zenészek számára hozott volna akusztikai javulást. Sajnos műemléki szempontból ez a megoldás nem volt elfogadható, így maradt a már műemlékként számon tartható érdekes akusztikai jelenség.

Pódium és nézőterek padozatának tervezése

Külön szakértői feladatként kezeltük az előadóterem pódiumának és padozatának tervezői munkáját.

A Nagyterem eredeti padló szerkezete a téglalobozatos födém felett hosszanti irányban végigfutó 15×20 cm-es fagerendákból, a pódium alatt azon támaszkodó, andráskeresztekkel többszörösen megerősített gerendaszerkezetből állt (8.a ábra). A gerendázaton 4 cm vastag vakpadló, azon pedig szegezett tölgyfa parketta készült, a nyikorgás

csökkentése érdekében a gerendák és a vakpadló között valamilyen ismeretlen tulajdonságú műanyag lemezzel (8.b ábra). A Kisterem szerkezete hasonló, azzal az eltéréssel, hogy a hosszanti fagerendák itt keresztirányban futó acél I-gerendákon fekszenek.

Kezdetből feltételeztük, hogy a padló szerkezet (különösen a pódiumon) nem elhanyagolható mértékben befolyásolja az akusztikát, hatásmechanizmusa – és így esetleges megváltoztatásának lehetőségei és korlátai – azonban számos kérdést vetettek fel. A pódiumra támaszkodó hangszerek szempontjából a padló szekunder hangsugárzóként működhet, a membránként viselkedő nagyméretű padlólemez ugyanakkor hangelnyelőként is funkcionálhat. (Egy későbbi vizsgálat során az is kiderült, hogy a nagykörúti 4-6-os villamos gördülése talajrezgések és a téglalobozat közvetítésével rezgésbe hozta a hosszanti gerendákat, ami a padlólemez le-sugárzása révén szerkezeti zaj formájában az előadóterem alapzaját növelte.)

A beruházó a pódium alatt tárolóhelyet kívánt nyerni a kiserelhető széksorok számára, ehhez viszont a sok helyet elfoglaló és a mozgató akadályozó gerendaszerkezetet sokkal kisebb helyigényű szerkezetre kellett cserélni. Szintén szükséges volt a pódium inhomogén és erősen elhasználódott padló szerkezetének cseréje. Mindezek ismeretében az volt a legfontosabb kérdés, hogy milyen módon és mértékben szabad megváltoztatni a pódium (és a nézőtér) padló szerkezetét, hogy az akusztika semmiképpen ne szenvedjen kárt, sőt lehetőség szerint még javuljon is, ugyanakkor csökkenjenek a szerkezeti zajkomponensek (amelyek egyébként mértékadóvá válhattak volna a nyílászárók jelentős javítása következtében).

A kérdés eldöntésére még 2009 májusában, a nagytermi koncerttevékenység leállí-

› tása előtt, kiterjedt mérésorozatot végeztünk a pódiumon a padlószervezet rezgéseinek és lesugárzási, ill. hangelnyelési tulajdonságainak vizsgálatára. A pódium és támasztó gerendaszerkezete számos pontján rezgésérzékelőket, a pódium felett mérőmikrofonokat helyeztünk el, és mértük a padlószervezet rezgéseit, valamint a hangtér jellemzőit valószínűségi körülmények között – egy áriavizsga alkalmával – mesterséges gerjesztéssel, ill. speciálisan műszerezett körülmények között mélyvonalos hangszerek és művészek közreműködésével (9. a és b ábra). A vizsgálatok során meghatároztuk a szerkezet üzemi rezgésállapotát, saját frekvenciáit és a rezgésakusztikai kölcsönhatások főbb jellemzőit. Az adatok alapos kiértékelése arra engedett következtetni, hogy mind a szekunder lesugárzás, mind a hangelnyelés jelensége fennáll, a gerendaszerkezet elsősorban a hallható frekvenciasáv legalján, a padló pedig a mély hangú hangszerek frekvenciatartományában számottevő rezgéseket végez.

A további elemzések során elkészítettük a pódium egy darabjának szerkezeti modelljét, numerikus (véges elemes) számítással meghatároztuk a szerkezet saját frekvenciáit, és az anyagjellemző paraméterek hangolásával lehetőség szerint lehető legjobban megközelítettük a mért saját frekvenciákat. E modell segítségével (egy példát láss a 10. ábrán) megvizsgáltuk, hogy milyen szerkezet közelítené meg legjobban az eredeti tulajdonságait, ami ugyanakkor jelentős helyet is felszabadítana a pódium alatt. Többszöri közelítéssel és a társtervezőkkel való egyeztetés alapján végül az a megoldás született, hogy a gerendaszerkezet – ami az eredeti szerkezetben jelentős energiaemésztést képviselt – betonoszlopokra cserélhető, de a padlószervezetnek lehető legjobban közelítenie kell az eredetihez. A tartóoszlopok és a padló közé rugalmas rezgésszigetelő elemeknek kell kerülnie, hogy a szerkezeti zajok bejutása megelőzhető legyen (11. ábra).

A beruházó és kivitelező közös döntése alapján a nézőterek padlószervezete változatlan maradt, a vakpadlót azonban a gerendázat lángmentesítése érdekében eltávolították, majd visszahelyezték. Ez lehetőséget teremtett arra, hogy itt is bekerüljenek megfelelő frekvenciára hangolt, vékony rezgésszigetelő elemek a gerendázat alá. A kivitelezők a gőzölt akác parkettát a padló élettartamának növelése érdekében mindenképpen ragasztva kívánták lehelyezni, ami jelentős eltérést jelentett volna az eredetileg szögelt parketta tulajdonságaihoz képest. Ezt a kérdést is mérés alapján döntöttük el: háromféle próbadarabon végeztünk méréseket (12.



Az 1967-ben – a homlokzatát leszámítva – leszerelték a Nagyterem eredeti, a német Voit cég által gyártott orgonáját. Most 800 millió forintot biztosít a kormány az eredeti orgona helyreállítására, a munkákat három év alatt, 2015-re fejezik be. A szétthordott, más helyekre beépített sípok nagy részét sikerült fellelni és visszavásárolni, mintegy felét kell csak újragyártatni.

ábra), melyek eredményeként a vakpadló és a ragasztással rögzített parketta közé egy sűrű csavarozással rögzített rétegelt lemez és rugalmas, viszkózus műanyag lemez került (13. ábra). E konstrukció alkalmazása elfogadható mértékben biztosította azt a súrlódási veszteséget, amit az eredeti szerkezetben a szögelt parketta és a vakpadló közötti súrlódás képviselt.

A rezgésakusztikai módosítások akusztikát befolyásoló hatása nehezen különíthető el az egyéb beavatkozások következményeitől; a jelenleg rendelkezésünkre álló információk szerint az eredmények mindenesetre kedvezőek. Bízunk benne, hogy a 2009-es vizsgálatok megisméltése lehetőséget teremt majd a tervezéskor hozott, a rezgésakusztikát érintő döntések helyességének ellenőrzésére.

Összefoglaló

A Zeneakadémia felújítása során mérnökként nehéz volt megbarátkozni olyan helyzetekkel, ahol a megrendelői elvárások, valamint a műszakilag és gazdaságilag racionális érvek is más szempontoknak vannak alárendelve. A Zeneakadémia épületének rekonstrukciójával a létesítmény úgy újult meg, hogy a műemléki szempontok minden tekintetben elsőbbséget élveztek, tehát az akusztikusoknak ez a tervezés során komoly peremfeltételt jelentett.

Az eddig elvégzett akusztikai mérések azt igazolják, hogy a történelmi épületben javultak az akusztikai paraméterek. A Nagyteremről a zenészek egybehangozóan pozitívan nyilatkoznak, a terem megtartotta eredeti kiváló akusztikáját, sőt bizonyos momentumokban javult is.

Terveink szerint készül, illetve folytatódik a

széles körű akusztikai mérési sorozat, amihez tudományosan összeállított szubjektív felmérés is párosul. Ezek alapján lehet majd megítélni, hogy sikerült-e legalább olyan maradandó eredményeket elérni, mint az épület eredeti megalkotóinak.

Dr. Augustinovicz Fülöp
BME Hálózati Rendszerek és
Szolgáltatások Tanszék
Borsiné Arató Éva
Arató Akusztikai Kft.
Fürjes Andor Tamás
Aqurate Akusztikai Mérnök Iroda Kft.

¹ Ezekről a termekről és történelmi áttekintésükről Újházy László: A Zeneakadémia Nagyterme és a korabeli európai hangversenytermek címmel ír részletesen a 27. oldalon.