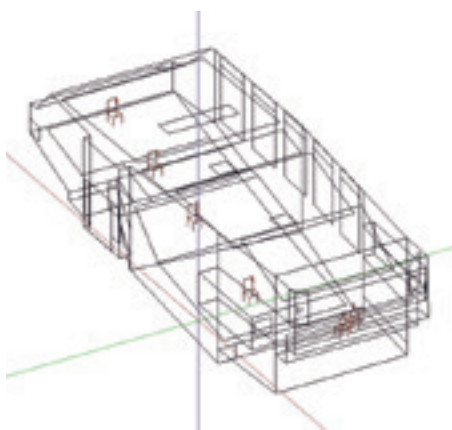


Multifunkcionális terem akusztikai tervezése

A Pannonhalmi Főapátság iskolájának egykori tornatermében egy professzionális multifunkcionális terem kialakítása volt a cél. A többcélúság mindig magában hordozza a kompromisszumot, hiszen minden funkció más és más optimális teremakusztikai paramétereiket igényel.



► 1. ábra: A rendezvényterem 3D modellje

Amikor a célokat a Megbízó megfogalmazta, akkor azt az alábbiak szerint lehetett összefoglalni:

- a rendezvényterem elsősorban zenekari koncertekre legyen alkalmas, de
- kapjon nagy hangsúlyt a régi hagyományokkal rendelkező mozivetítés, valamint
- legyen lehetőség színházi előadások rendezésére és prózai rendezvények lebonyolítására is.

A terem- és épületakusztikai tervezéssel az Arató Akusztikai Kft.-t bízták meg.

A teremakusztikai tervezéssel a rendezvényterem belső akusztikai paramétereit határozzuk meg, ezzel a terem hangzását.

Az épületakusztikai tervezés során úgy kellett méretezni a különböző szerkezeteket, hogy a rendezvényteremben a kívülről és a szomszédos helyiségekből származó zajszint hangverseny és rendezvény esetén ne lépje túl a megengedett

értéket (NR25, a gépészetből származó zaj megengedett értéke NR20).

Egy hangversenyterem, előadóterem akusztikai megítélésének az alapja általában annak a teremakusztikai viselkedése, ezért a cikkben elsősorban ezzel a kérdéssel foglalkozunk.

Teremakusztikai tervezés

A rendezvényterem színpaddal együtt ~260 m², térfogata ~1300 m³. A mérete alapján kamazenei hangversenyek befogadására kellett és lehetett optimálissá tenni, de amint már említettük, nagy hangsúlyt kapnak a mozivetítések is, ennek az iskolában nagy hagyománya van. Kisebbszínű előadásoknak, iskolai rendezvényeknek, műsoroknak is ez a terem ad helyet.

A teremben szükség van minimális változtatásra, továbbá a különböző előadások és a mozivetítés is igényli az elektroakusztikai rendszer működtetését.

Teremforma, teremarányok és teremrezonanciák

Egy tér akusztikai tulajdonságait alapvetően meghatározzák a fizikai méretei és a formája. Az, hogy akusztikailag egy tér az adott célra megfelel-e, sok mindentől függ.

Meglévő teremnél a méreteit nem lehetett tetszőlegesen megválasztani. A hosszúságán és szélességén nem lehetett változtatni, csak a padló lesüllyesztésével lehetett a belmagasságát növelni. Természetesen a mélyítés is csak bizonyos korlátokon belül volt lehetséges. Így az akusztikus számára a terem formája és arányai tulajdonképpen adottak voltak.

Előnyt jelentett, hogy akusztikai szempontból az egyik legkedvezőbb forma, a téglalast alak jó kiindulási feltételeket biztosított a tervező számára.

A fentiekből következően a terem térfogata is adott volt, ami meghatározta, hogy milyen típusú zenei eseményekre, koncertekre lehetett a terem akusztikailag optimálisan kialakítani.

Természetesen a tér többféle stílusú és méretű előadásra is alkalmas.

A terem adott formája és térfogata mellett nagyon lényeges a hosszúság, szélesség és magasság megfelelő aránya. Egy zenei célú teremben az alábbi arányokat ajánlott betartani:

- magasság/szélesség: > 0,7
- hosszúság/szélesség: < 2

Esetünkben ezek az arányok:

- magasság/szélesség arány: $8/12 = 0,61 < 0,7$, kisebb az ajánlott értéknél, nagyobb belmagasságra lenne szükség, de tervezéskor a burkolatok kialakításával a kis belmagasságból adódó hátrányt lehetett csökkenteni;

- hosszúság/szélesség arány: $21/12 = 1,75$, megfelelő.

Tervezett teremakusztikai paraméterek

Impulzusválasz

Zárt tér széles sávú gerjesztésre adott válasza. Az impulzusválasz önmagában sok információt tartalmaz, a direkt hang után beérkező reflexiók mennyiségéből, nagyságából különböző akusztikai jelenségekre lehet következtetni. Kedvező hangzásra utal, ha az impulzusválasz képe egyenletes lecsengést mutat, tehát nincsenek kiemelkedő reflexiók. Ennek elérését célozza például a fa diffúz felületek alkalmazása.

Utózenési idő

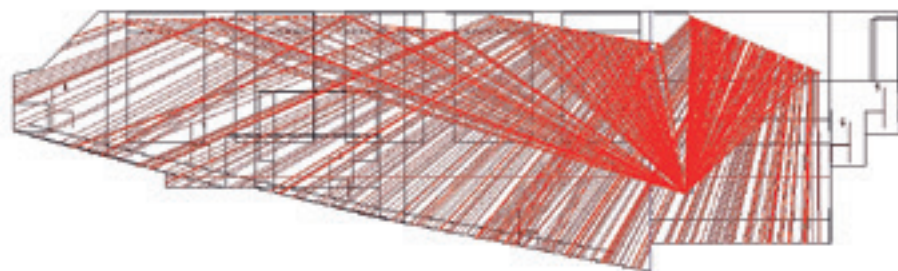
A teremakusztikai viszonyok alapvető jellemzője a helyiségek utózenési ideje. Nemzetközi megállapodás szerint azt az időt nevezzük utózenési időnek, amely alatt a hangforrás elhallgatása után a zárt térben a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken. Jelölése: T60 [sec].

A helyiségre jellemző utózenési időt a gyakorlatban a lecsengési görbe -5 dB és -25 dB/-35 dB pontjainak időbeli távolsága alapján határozzuk meg.

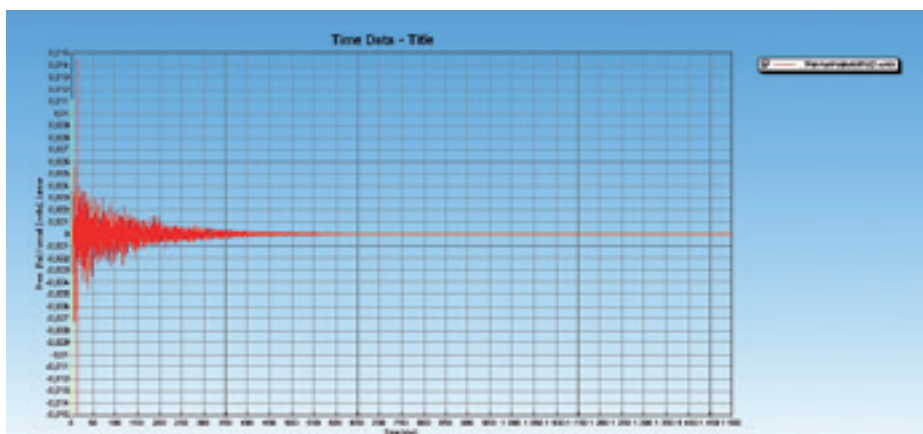
Közepes utózenési idő

A zárt helyiségekre vonatkozó általános jellemző, ami a különböző frekvenciákon mért/számított utózenési időkből átlagolható. Jelölése: Tm [sec].

A legkedvezőbbnek mondható utózenési idő eltérő térfogatú és akusztikai rendeltetésű helyiségekben más és más. Számos akusztikai vizsgálat, megfigyelés, mérés eredményeinek kiértékelése során alakultak ki azok az ajánlott értékek, amelyek a tervezés kiinduló adatai.



► 2. ábra: A mennyezeti hangvető alkalmazása a térben



► 3. ábra: Mért impulzusválasz. Hangforrás a színpad közepén, mikrofon a nézőtér közepén (üres teremben)

Ajánlott közepes utózungési idő érték

Amint azt már írtuk, a Főapátság eredetileg megfogalmazott céljaihoz különböző optimális paraméterek rendelkeznek. Mivel a zenei célhoz hosszabb utózungési idő szükséges, és a prózai célra rövidebb (azaz csillapítottabb tér), a terem utózungési idejét változtathatóvá kívántuk tenni. A fizikai lehetőségek miatt a valóságban nagyon kis határok közötti változtathatóságot sikerült elérni. Az ablakok előtt van leereszthető függöny, nem lehetett nagy súlyú függönyt alkalmazni, ebből következően a hangelnyelési foka nem éri el a kívánt értéket.

A tervezésnél azt is figyelembe kellett venni, hogy a terem akusztikai viselkedése megváltozik, ha nézőkkel van tele. Így a paraméterek meghatározását üres és teli állapotra is szükséges volt megtenni.

Röviden áttekintve az ajánlott utózungési idő értékek:

- üres terem: $T_m \approx 1,0 - 1,4$ sec
- tele terem: $T_m \approx 0,8 - 1,1$ sec

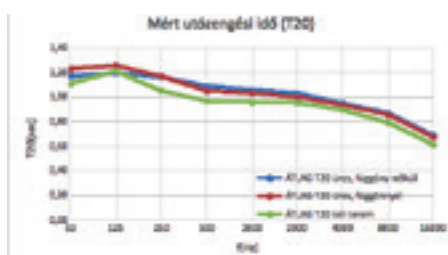
További teremakusztikai paraméterek

Zenei célú kialakítás esetén további, pszichoakusztikailag fontos paraméterek még:

- a basszuskiemelés (BR) – az akusztikai melegségre utal, az utózungési idő mélyfrekvenciás tartományban mért értékeiből számoljuk ki. Ajánlott érték: $BR = 1,1-1,3$

- a magashang-arány (HR) – a hang fényességét befolyásolja. Ajánlott érték: $HR = 0,95-1,1$
- az időkésérsretesz (te) – az egyik legfontosabb paraméter. Ez az az idő, ami az oldalirányú reflexió érzékésének ideje a direkt hanghoz képest. Ha ez az érték 20–30 msec alatt van, akkor tömör és egységes a hangzás, jó a teremérzet.

- a korai-késői hangenergia aránya, a hangtisztasági fok: $C(t)$. Ekkora méretű termekre a $C(80)$ az elfogadott paraméter. Ebben az esetben az első 80 msec-ban beérkező energiahányadot viszonyítjuk az ez utáni időpillanat után érkező energiahányadhoz. Ajánlott érték: $C(80) = 0 \pm 2$ dB.



► 4. ábra: A teremben mért utózungési idő értékek

Beszédérthetőség

A prózai előadásokra és eseményekre – fenti paramétereken kívül – a megfelelő beszédérthetőséget kell biztosítani. Ennek minőségét a beszédérthetőségi index jellemzi, jelölése: RaSTI

Az index 0 és 1 közötti értékeket vehet fel, a kettő közötti átmenetet felosztva a következő kategóriákat kapjuk:

0,75–1	kiváló
0,6–0,75	jó
0,45–0,6	megfelelő
0,3–0,45	rossz
0–0,3	elfogadhatatlan

A többcélú teremben a tervezési cél a megfelelő, illetve jó kategória elérése volt.

Számítógépes modell

A teremakusztikai tervezés segítésére elkészült a rendezvényterem számítógépes teremakusztikai modellje, melynek feladata volt, hogy a lehető leghűbb másolatát képezze a teremnek azért, hogy minél pontosabban meghatározhassuk a tér teremakusztikai viselkedését.

A számítógépes modell képe az 1. ábrán látható.

Az egyenletes hangenergia-eloszlás biztosításának egyik legfontosabb feltétele a megfelelő diffúziós elérés. A megfelelően diffúz térben a mért impulzusválasz lecsengése egyenletes lesz, nem lesznek kiugróan magas reflexiók. A fenti cél eléréséhez az oldalfalakat tettük diffúzzá, fadiffúzorok segítségével. A diffúzor kialakítása a fényképen látható.

A nagy hangtisztaságot és a jó beszédérthetőséget a mennyezeti hangvetők segítik. A megfelelő utózungési időt a teremben arányosan elhelyezett hangelnyelő burkolatokkal értük el.

A teremakusztikai modellel vizsgált paraméterek

A mennyezeti hangvetők elhelyezése pontos dőlésszögének vizsgálata

A teremben mennyezeti hangvetők alkalmazásával növeltük a hangtisztaságot és a beszédérthetőséget. A 2. ábra azt mutatja, hogy az alkalmazott hangvető milyen mértékben tereli a hangot a nézőközönség felé koncertek vagy más előadások idején.

Látható, hogy a hangvetők a teljes nézőteret ellátják a szükséges hangenergiával. Ennek köszönhetően a nézőtér utolsó soraiban is jól lehet hallani és érteni a természetes beszédhangot, hangosítás segítségével nélkül. A hangvetők a zenei hangtisztaságot is növelik.

A teremakusztikai modell segítségével kiszámoltuk a teremben várható paraméterértékeket a teljes teremre vonatkozóan. Ennek segítségével határoztuk meg a burkolatok végleges kiosztását, természetesen figyelembe véve a belső építészeti és építészeti lehetőségeket is.

A modellezett eredmények azt mutatták, hogy a paraméterek az ajánlott értékhatárokon belül lesznek.

Mért teremakusztikai paraméterek

Az elkészült teremben teremakusztikai méréseket végeztünk, több mérési ponton. Az iskola diákjainak segítségével tudtunk teli teremben is mérni. Az így kapott információ nagyon fontos, hiszen az előadóművészek üres teremben próbálnak, és ha nagy a különbség az üres és a teli állapot között, akkor a művésznek nagy feladatot jelent az előadáson az új teremakusztikai környezethez igazítani előadását.

A mérési eredményekből bemutatunk néhány jellemzőt:

Impulzusválasz

A mért impulzusválaszok azt mutatják, hogy a teremben egyenletes az energialecsengés, a tér kellően diffúz. A mért eredmények közül egy jellemző impulzusválaszt mutatunk be a 3. ábrán.

Mért utózungési idő

A méréseket üres állapotban, üres állapotban függönyökkel és teli állapotban függönyök nélkül végeztük el. A mérési eredményeket a 4. ábrán mutatjuk meg (teremben mért átlag).

A mért spektrumból számított közepes utózungési idő:

Üres terem függöny nélkül: $T_m = 1,07$ sec

Üres terem, függönyök leeresztve: $T_m = 1,04$ sec

Teli terem, függönyök felhúzva: $T_m = 0,96$ sec

Az ablak előtt leereszthető függöny nem befolyásolta jelentősen a terem utózungési idejét.

Értékelve az eredményeket, az látható, hogy a terem közepes utózungési ideje alacsonyabb →

→ lett a tervezett értéknél, ami nagyobb hangtisz-
taságot eredményez. Az eltérés oka a számítások szerint az, hogy a beépült székek nagyobb elnyelési tényezőjűek, mint amivel a tervezésnél számoltunk. A székek kiválasztásában nagy szerepet játszott a használhatóság, kényelem, a terem befogadóképessége. Meg kell jegyezni, hogy ugyan a székek hangelnyelési foka magasabb a tervezett értéknél, de ezzel jobban megközelítettük azt az állapotot, amikor a szék foglalt. Ennek eredményeként a teli állapotban és az üres állapotban mért utözengési idő között nincs nagy eltérés.

További mért paraméterek

A teremben mért átlagos basszushang-arány: BR = 1,1, ez az érték optimális. A teremben kellemes, telt a hangzás.

A mért átlagos magashang-arány: HR = 0,95, szintén optimális. A teremben kellemes, fényes a hangzás.

Az általunk mért beszédérthetőségi indexek:

Üres terem függöny nélkül: RaSTI = 0,61

Üres terem, függönyök leeresztve: RaSTI = 0,62

Teli terem, függönyök felhúzva: RaSTI = 0,65

A terem a beszédérthetőség szempontjából minden mért állapotban a „jó” kategóriába tartozik, megfelel a tervezett értéknek. Ez a jó

beszédérthetőség segíti a termet a több funkció betöltésében. Alkalmos hangosítás nélküli színházi és prózai előadásokra, eseményekre és elegendően jó a mozi funkcióra is.

Összegzés

A teremakusztikai mérések alapján, a terem összes mért és értékelte paramétereit figyelembe véve kijelenthető, hogy a tér akusztikai paramétere optimalisak. Az átadás óta eltelt pár hónap visszajelzései azt bizonyítják, hogy a terem szubjektív ítéletek alapján is kiváló, szeretik az előadók is, és a közönség is.

BORSINÉ ARATÓ ÉVA, BORSI GERGELY

Arató Akusztikai Kft.

PANNONHALMI FŐAPÁTSÁG

Hang- és videotechnika a díszteremben

Idén májusban ünnepélyes keretek között átadásra a Pannonhalmi Bencés Gimnázium multifunkcionális díszterme. A beruházás során a régi tornatermet átalakítva valósították meg az impozáns dísztermet, amely korszerű audiovizuális rendszereket kapott, beleértve a hangosítást, a vizuáltechnikát, a mozi, a hatásvilágítási és színpadgépészeti rendszereket. A tervezést és a kivitelezést az INTERTON Group végezte.

Az elkészült terem feladata az iskola különböző rendezvényeinek technikai kiszolgálása, úgymint koncertek, előadások, egyéb gimnáziumi események.

A végeredmény kiemelkedő, hiszen a legjobban felszerelt multifunkcionális teremről be-

szélünk a hazai iskolák között, de a díszterem önmagában mint koncert- és előadóterem is kimagasló színvonalú hazai viszonylatban.

A régi Teleki Teremből a mozi átköltözött a díszterembe, amely most igazi kulturális helyszíneként új pompában ragyog. A hagyományos, heti kétszeri gimnáziumi filmvetítéseket is itt rendezik. Ehhez a funkcióhoz QSC surround- és centersugárzók társulnak. Hangosított koncertek alkalmával a centerhangsugárzók színpadi monitorként üzemelnek. Ilyenkor frontrendszerként a hazánkban még kuriózumnak számító IDEA Proaudio line array rendszere üzemel, melyet szintén az INTERTON Group forgalmaz Magyarországon. A hangarzenál részét képezi

még a digitális hangátviteli hálózat, Yamaha QL1 keverőpultrál és RIO1608 stageboxszal, valamint a QSC PLD erősítők és a Sennheiser, Audix és Shure mikrofonpark.

A motoros vetítővászon szélessége 7,5 méter, melyre egy full HD felbontású, 7000 ANSI lumen fényerejű EIKI projektor vetít. Mind a prezentációk, mind pedig a mozifilmek ezzel a projektorral kerülnek megjelenítésre.

A hatásvilágítási rendszer teljes mértékben kiszolgálja a különböző produkciókat. A vezérlő pozícióban telepített ETC fénypult mellett korszerű, IGBT-s dimmerek szabályozzák a hagyományos fényvetőket (ETC és Spotlight gyártmányok), de a korszerű LED-es lámpapark is megtalálható a teremben. Az egyszerűsített színpadgépészeti rendszer fix és mozgatható világítási tartókkal szolgálja ki a világítástechnikát és a vizuáltechnikai rendszert.

Alapvető megrendelői kérés volt a teremmel kapcsolatban, hogy a végeredmény egy multifunkcionális, gombnyomásra vezérelhető rendszer legyen. Ezt a kérést egy Crestron vezérlőrendszer integrálásával valósítottuk meg, amellyel vezérelhető az általános világítás, a projektor, a vetítővászon, a DVD-lejátszó, a sötétítő rolók, a légtechnika és a hangosítás is.

A tervezés és telepítés során alkalmazkodnunk kellett az építészeti elvárásokhoz, mivel a terem letisztult belsőépítészete nagy hangsúlyt kapott. Bízunk benne, hogy ez a nagyszerű multifunkcionális terem sokáig lesz örömforrása a gimnázium tanárainak és diákjainak, valamint minden kultúráért rajongó, zene- és filmkedvelő látogatónak.

BOGÁR ISTVÁN

INTERTON Group



▶ A multifunkcionális terem IDEA ProAudio line array rendszere