

Akusztikai tervezés és megoldások



Fotó: BUJNOSZKY TAMÁS

A Bányffy-terem nézőtere összecsukskható

A Magyar Állami Operaház és Erkel Színház Műhelyháza és Próbacentruma akusztikailag is különleges helyszín. A próbacentrumot egy meglévő ipari csarnokba kellett beletervezni úgy, hogy a fő épületszerkezetek megmaradjanak, de a létesítmény a mai kor követelményeinek feleljen meg. Ez a feladat technológiailag, esztétikailag, építészeti és akusztikailag óriási kihívást jelentett, hiszen vegyes rendeltetésű épület lévén nagyon sok szempontot kellett figyelembe venni, sok célnak kellett megfelelni.

Az első tervek szerint elvégzett költségbebecslés alapján a beruházó úgy döntött, hogy a terveket át kell dolgozni. Építészeti, de elsősorban akusztikailag egy lényegesen egyszerűbb igényszinthez igazodva új tervek készültek. Ezeknél az is szempont volt, hogy a tervezett kialakítás olyan akusztikai paraméterekkel rendelkezzen, melyek maximálisan megfelelnek a beruházói igényeknek, és az épület maradéktalanul teljesíti a működéshez szüksége alapvető feltételeket. Ez a két feltétel együtt valóban sok megfontolást, a szakágak részéről közös gondolkodást igényelt.

A csarnoképület területének nagyobb hányadát a különböző műhelyek, díszletraktárak, 11 gyártóműhely foglalja el, emellett rekreációs létesítmények is helyet kapnak benne. A teljes alapterület kisebb, de nagyon fontos részét a próba- és színházterem, a zenekari hangstúdió és a házi színpad foglalja el. Az épület tehát többfunkciós, sok célnak felel meg, de akusztikailag ez utóbbi épületrész igényelt gondos tervezést.

Akusztikai tervezési feladatok

A csarnok Kőbányai útra néző részében kapott helyet a három, akusztikailag kiemelten kezelt helyiség, ahol mind az épületakusztika, mind a teremakusztika szempontjából magas követelményeknek kellett megfelelni: a Bányffy-terem (Kisszínház), a Fricsay-stúdió (Zeneterem) és a Hevesi-háziszínpad. E helyiségek akusztikai megítélésének alapja általában ezek teremakusztikai viselkedése, ezért az alábbi cikkben elsősorban ezzel a kérdéssel foglalkozunk.

Teremakusztikai tervezés

A három helyiség akusztikai kialakítása a funkciójuknak megfelelő paraméterekkel történt. A tervezéskor fontos célkitűzés volt, hogy ezekben a helyiségekben használatuknak megfelelő hangzást kell biztosítani. Első lépésként a fizikai adottságokat kellett felmérni, és ehhez igazítani az elvárható, optimális teremakusztikai paraméterek sorát.

Egy adott tér teremakusztikai viselkedését az alábbi legfontosabb tényezők határozzák meg:

- ▶ térfogat
- ▶ a teljes határoló felület
- ▶ a terem alakja
- ▶ a beépített anyagok jellemzői.

Ezek közül az első három tényező a fizikai adottságok miatt kiindulási adat. A csarnokban a technológiai szempontok és felhasználói célok alapján adódott, hogy mekkora alapterülettel és belső térfogattal lehet számolni. Ezeket figyelem-

be véve, a beépített anyagok típusának, méreteinek megfelelő megválasztásával érjük el a kívánt paramétereket.

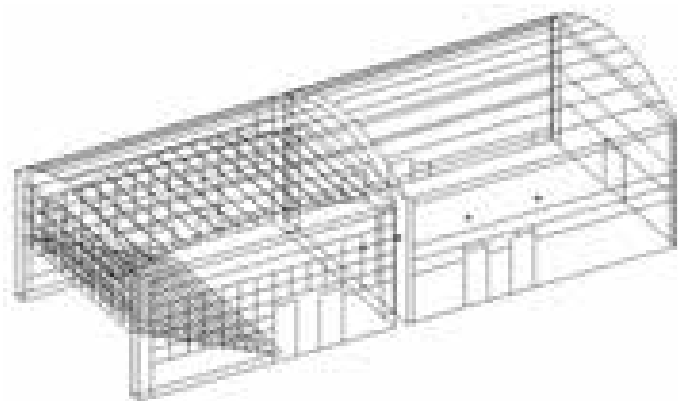
A teremakusztikai viszonyok leírására legáltalánosabban használt paraméter a helyiségek **utózungési ideje**. Nemzetközi megállapodás szerint azt az időt nevezzük utózungési időnek, amely alatt a hangforrás elhallgatása után, a zárt térben a hangnyomásszint 60 dB-lel csökken. Jelölése: T_{60} [sec].

A különböző célú termek optimális utózungési ideje más és más. Elsődlegesen a különböző frekvenciákon mért/számított utózungési időkből átlagolva számolt **közepes utózungési idő** értéket adjuk meg mint teremjellemezőt. Jelölése: T_m [sec]. A lecsengési idő hosszát érzékelve a tereket előbbnek vagy csillapítottabbnak ítéljük meg. Természetes, hogy zenei célra hosszabb lecsengési időt tartunk kedvezőnek, míg beszéd esetén inkább rövidebb lecsengést.

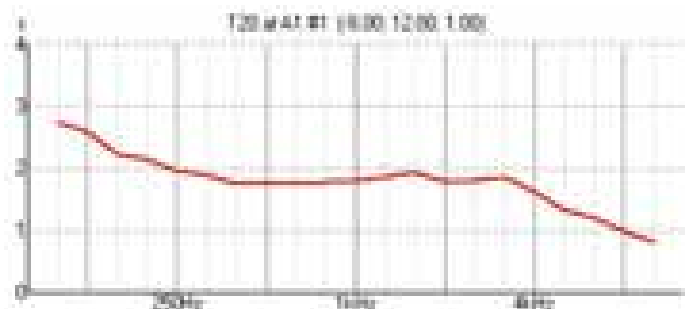
A lecsengési idő hossza mellett a szubjektív ítélet kialakulását a lecsengés minősége is befolyásolja. Minél egyenletesebben cseng le a hangenergia, annál kellemesebbnek érezzük a teret. Az egyenletes lecsengést nagy diffuzitással érjük el.

További teremakusztikai jellemzők (elsősorban zenei célú terekben):

▶ **Mélyhang-arány:** BR. A 125 Hz és 250 Hz oktáv-sávban számított utózungési időt hasonlítjuk az 500 Hz és 1000 Hz tartományban számított értékhez. A terem „melegségére” utaló jellemző,



1. ábra. A Bányffy-terem (Kisszínház) 3D modellje



2. ábra. A Bányffy-terem számított átlagos utózengési ideje berendezett állapotban nézők nélkül

Helyiség/tervezett paraméter érték	Közepes utózengési idő T_m [sec]		Mélyhang-arány BR		Magashang-arány HR		Hangtisztasági fok $C(80)$ [dB]	
	Ajánlott érték	Tervezett érték	Ajánlott érték	Tervezett érték	Ajánlott érték	Tervezett érték	Ajánlott érték (250–2000 Hz)	Tervezett érték
Bányffy-terem	1,7 ± 0,1	1,8	1,2 – 1,4	1,24	0,85 – 1	1,05	-1 ± 2	-1 ± 2

1. táblázat

azaz ennek megfelelő értéke biztosít kellemes meleg hangzást a teremben.

- ▶ **Magashang-arány:** HR. A 2000 Hz és 4000 Hz oktávsváiban számított utózengési időt hasonlítjuk az 500 Hz és 1000 Hz tartományban számított értékhez. Ennek megfelelő értéke biztosít kellemes, fényes hangzást a teremben.
- ▶ **Hangtisztasági fok:** $C(t)$ (dB). A korai-késői hangenergia-arányt adja meg.

Bányffy-terem teremakusztikai tervezése

A Kisszínház akusztikai tervezését teremakusztikai modellezéssel segítettük. (1. ábra)

A tervezés során figyelembe kellett venni azt az igényt, hogy a Bányffy-terem több célra is alkalmas legyen. Elsődleges funkció: opera-előadások színtere, mely egyben az Operaház próbáinak megtartására is alkalmas (a teljes repertoárra vonatkozóan). Ezért a színpad mérete megegyezik az Operaház Ybl által tervezett nagy színháztermének színpadával. A színpad alapterülete $A \approx 440 \text{ m}^2$. Ehhez a nagy alapterülethez a fizikai adottságok miatt nem tartozik magas zsinórpádlás, ugyanakkor a sokoldalú színpadhasználat modern színpadtechnikát igényel.

A rendelkezésre álló fizikai lehetőségek ehhez a nagy színpadhoz arányaiban (az Ybl-féle épülethez képest) kisebb nézőteret tudnak biztosítani. A nézőtér nagyságrendileg azonos alapterületű a színpaddal (valamivel kisebb, mint a színpad alapterülete).

A nézőtér és a színpad esatlakozása közel teljes felületen történik, tehát nem a klasszikus „kukucska-színház” kialakítású. Ezzel a megoldással a terem alkalmas nagy rendezvények – például bálók, nagyobb intézményi események – meg-



„Újjászületésnap” gálaelőadás a Bányffy-teremben a tervezők és munkások tiszteletére 2020 márciusában

Fotó: OPERA – NAGY ATTILA

tartására is. A nézőtér mobil széksorai betolható a terem technikai helyiségek felé eső végébe. A terem összenyitásával egy több mint 8500 m^3 térfogatú helyiséget kapunk.

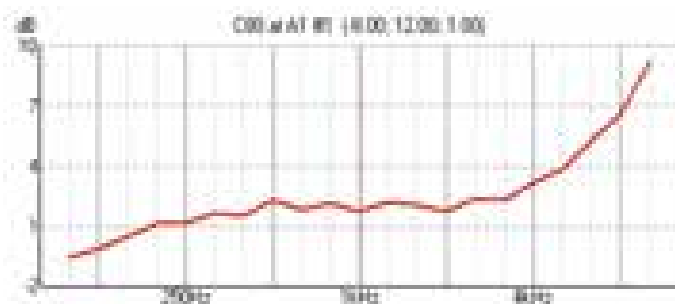
A nézőtér és a színpad teremakusztikai kialakítása elsősorban az opera-előadásokhoz szükséges paramétereket biztosítja. Ugyanakkor arra is törekedtünk, hogy a két térfél teljes összenyitása-akor a színpad rész ne legyen sokkal zengőbb a nézőtérnél, illetve a nézőtér se legyen túl csillapított.

A nézőtér akusztikai burkolatainak megválasztásával olyan környezetet alakítottunk ki, ahol nagy a hangtisztaság, jó a teremézet, és kellemes,

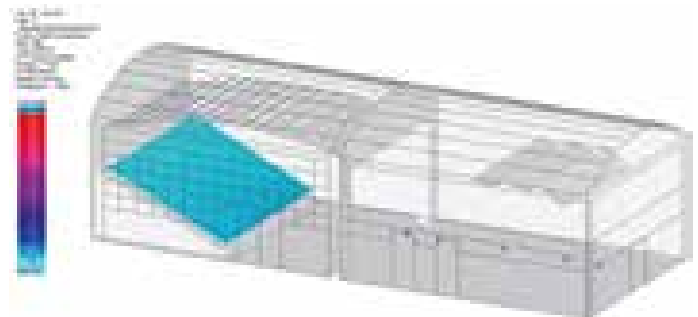
nem túl csillapított, diffúz hangtér biztosítja a jó akusztikai komfortot.

Alkalmazott burkolatok:

- ▶ mély frekvenciás elnyelő elemek: famembrán és műbőr membrán,
- ▶ széles sávú elnyelő elem: textillel burkolt szálas anyag,
- ▶ középfrekvenciás elnyelő: perforált rezonátor burkolat,
- ▶ diffúzor: első kemény reflexiók elkerülése és a beeső hangenergia egyenletes szétterítése a falakról, ezzel növeljük a hangtisztaságot és segítjük az egyenletes energiaellátást,



3. ábra. A Bánffy-terem számított hangtisztasági fok átlaga



4. ábra. A Bánffy-terem számított hangtisztasági foka 1000 Hz - frekvenciasávban a nézőtéren

► mennyezeti hangvetők.

A beépített hangelnyelő és -visszaverő felületek gondosan megtervezett mennyiségével, kiosztásával a térben kellemes, egyenletes energialecsengést, egyenletes hangenergia-eloszlást értünk el.

A Bánffy-terem összenyitott állapotában – nézőtér és színpad együtt – az 1. táblázatban összefoglalt teremakusztikai paramétereknek felel meg (berendezett állapotban, nézők nélkül).

Az akusztikai modellel számított teremakusztikai paraméterértékek:

A tervezett utózenngési idő összenyitott, berendezett állapotban a 2. ábrán látható.

Az utózenngési idő közepes értéke: $T_m = 1,8$ sec

Mélyhang-arány: BR = 1,24

Magashang-arány: HR = 1,05

Hangtisztasági fok: $-1 + 2$ dB (125 Hz és 2000 Hz között) (3–4. ábra)

A nézőtéren tervezett mennyezeti hangvetők a nézőtér megfelelő, egyenletes hangenergia-elosztását biztosítják. Hatékonyságukat, megfelelő szögben történő beállításukat számítógépes akusztikai modellel vizsgáltuk. (5. ábra)

Ahogy már fent leírtuk, a színpadtér a nézőtérhez képest arányaiban nagy. Ott hangvetőt a sok színpadtechnikai eszköz miatt csak korlátozott módon lehetett beépíteni. A színpadnak a nézőtértől távolabb eső részén három sávban tudunk elhelyezni hangvetőt. Ezek elsősorban a színpad hátulsó harmadából segítik a hangot a színpad első felében játszó művészek felé, ugyanakkor – kisebb mértékben ugyan, de – segítik a hangot a nézőtérre is. (6. ábra)

A Bánffy-terem (Kisszínház) mellett a csarnokban még két akusztikailag kiemelt helyiség van: a Fricsay-stúdió és a Hevesi-háziszínpad.

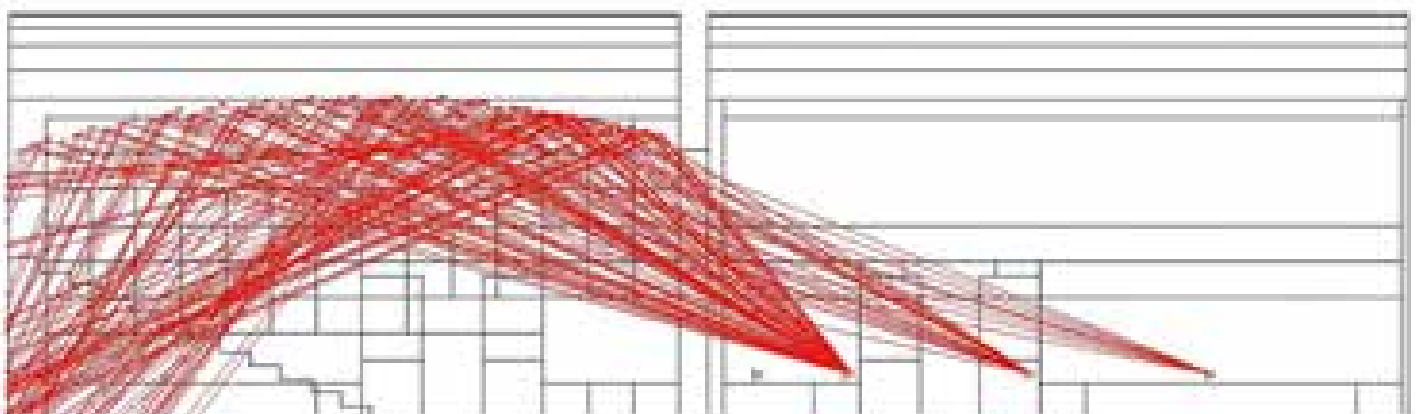
Fricsay-stúdió – Zeneterem teremakusztikai tervezése

A Fricsay-stúdió hangfelvétel készítésére alkalmas stúdió. A kb. 4300 m³ térfogatú és 400 m² alapterületű helyiség több zenei műfaj, például nagyobb lélegzetű és nagyobb létszámú zenei együttesekkel előadott művek igényes, magas színvonalú hangfelvételére alkalmas. Természete-

Fotó: OPERA – MARGITILIA



A Fricsay-stúdió – Zeneterem arany színű akusztikus burkolata



5. ábra. A Bánffy-terem nézőtérében lévő hangvetők vizsgálata

sen nagyon jó helyszíne kisebb ének- és hangszeres zenei felvételeknek is.

A helyiségben ugyanazokat a burkolattípusokat alkalmazzuk, mint a Bánffy-teremben. A terem nem túlesillapított, zenei felvételekre alkalmas. A burkolatok elosztásával egyenletes lecsengésű, magas diffuzitású hangteret kaptunk.

A tervezett paraméterek berendezett állapotban (zenészek nélkül, 2. táblázat).

A stúdió közepes utózungési ideje székek nélküli üres állapotban: $T_m = 1,53$ [sec]

Hevesi-háziszínpad teremakusztikai kialakítása

A Hevesi-háziszínpad funkciójában egy olyan próbaterem, kisszínpad, amely az Operaház műsorában meglévő, illetve tervezett darabok minden próbájának színtere.

A helyiség teremakusztikai kialakítása egyszerűbb, a célnak megfelelő mennyiségű burkolattal van megépítve.

A helyiségben a tervezett közepes utózungési idő berendezett állapotban: $T_m = 1,8$ sec.

Épületakusztikai tervezés

Az épületakusztikai tervezés során úgy kellett méretezni a különböző szerkezeteket, hogy a termekben a kívülről és a szomszédos helyiségekből származó zajszint ne lépje túl a megengedett értéket.

A három helyiség közül a legszigorúbb előírások a hangfelvételi stúdióban vannak, szigorú előírások szerint terveztük a háziszínpadot is. Ugyanakkor ez a terem akusztikailag kevésbé kiemelt, de itt is biztosítani kell a zavartalan próba lehetőségét.



A Hevesi Sándor-háziszínpad

Fotó: OPERA - NAGY ATTILA

A hangfelvételi stúdióban és a Bánffy-teremben a megengedett zajszintet NR-görbékben adtuk meg. Ez a zajosság nagysági mértékének egyadatos meghatározására alkalmazott módszer, ami a színek szerinti összehasonlításra szolgál.

A határérték a felvételi stúdióban: NR20, a Bánffy-teremben NR25.

A Háziszínpadon a megengedett zajszintet ekvivalens értékben L_{Aeq} adtuk meg ($L_{Aeq,H} = 40$ dB).

A Bánffy-teremre és a hangfelvételi stúdióra megadott szigorú határértékeket „ház a házban” rendszer megépítésével biztosítottuk. A helyiségeket elválasztó fő falak vasbetonból épültek, ezzel már biztosítjuk a megfelelő léghangátláshoz alapvetően szükséges nagy szerkezeti tömeget.

A helyiségek megfelelő hanggátlásának eléréséhez szükséges „ház a házban” rendszer belső fala könnyűszerkezetből, rugalmas kitámasztással épült meg.

Összefoglalás

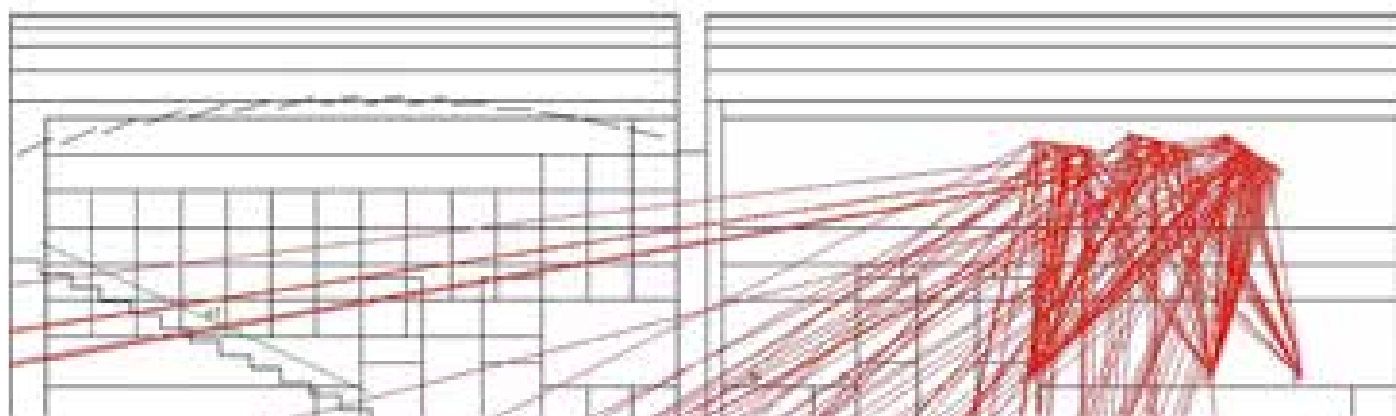
A Magyar Állami Operaház és Erkel Színház Műhelyháza és Próbacentruma méltó helyszínévé vált az Operaház művészeti életének. Az eredetileg megfogalmazott célok megvalósultak. Színházként, hangfelvételi helyszíneként és próbák helyszínéül egyaránt a legmagasabb igényeket is kielégíti.

Borsiné Arató Éva, Alabárdos Zsuzsanna

Arató Akusztikai Kft.

Helyiség/tervezett paraméter érték	Közepes utózungési idő T_m [sec]		Mélyhang-arány BR		Magashang-arány HR		Hangtisztasági fok $C(80)$ [dB]	
	Ajánlott érték	Tervezett érték	Ajánlott érték	Tervezett érték	Ajánlott érték	Tervezett érték	Ajánlott érték (250–2000 Hz)	Tervezett érték
Fricsay-stúdió	1,3 ± 0,1	1,3	1,2 – 1,4	1,4	0,85 – 1	1	0 ± 2	0 ± 2

2. táblázat



6. ábra. A színpadtérben lévő hangvetők vizsgálata